KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE ENERJİ GERİ KAZANIMI ÇÖZÜMLERİ İLE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

ÜMİT ATALAY

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE ENERJİ GERİ KAZANIMI ÇÖZÜMLERİ İLE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Ümit ATALAY

Prof. Dr. Engin ÖZDEMİR
Danışman, Kocaeli Üniv. ……

Prof. Dr. İbrahim KILIÇASLAN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. ……

Doç. Dr. Ethem TOKLU
Jüri Üyesi, Düzce Üniv. ……

Tezin Savunulduğu Tarih: 27.06.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmasında,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesinin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsünün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

[X] Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

[ ] Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler ..... tarafından ..... no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Ümit ATALAY

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesine verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Ümit ATALAY

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitim ve tez yazım aşamam zamanında bilgi, birikim ve tecrübelerinden faydalandığım, yardım ve desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Engin ÖZDEMİR'e Tezimde yer alan bir takım bilgi ve verilerin paylaşılması konusunda bana destek olan Yıldız Demir Çelik AŞ'ye ve sayın yöneticim Emre VERAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim süresince bana her türlü desteği veren ve her zaman yanımda olan eşim Rümeysa ATALAY'a, bu süreçte beni hiç yalnız bırakmayan ve her türlü desteği sağlayan aileme, sonsuz ve en içten teşekkürlerimi sunarım.

Haziran – 2022 Ümit ATALAY

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ……i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI…….....ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR…… iii
İÇİNDEKİLER……iv
ŞEKİLLER DİZİNİ……vii
TABLOLAR DİZİNİ…… viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....ix
ÖZET……x
ABSTRACT ……xi
1. GİRİŞ……1
1.1. Demir Çelik Sektörü……...1
1.2. Türkiye'de Enerjini Kullanımı ……...3
1.3. Sanayi Sektöründe Enerji Kullanımı ve Verimlilik……4
2. BUHAR ÜRETİMİ VE BUHAR KAZANLARI……..6
2.1. Buhar Oluşumu……...7
2.2. Buhar Kazanları ……..8
2.3. Buhar Kazanları Sınıflandırılması ……....8
2.4. Tesisteki Buhar Kazanları…… ..9
2.5. Buhar Kazanı Ekipmanları ……...10
2.5.1. Brülör……..10
2.5.2. Ekonomizer……11
2.5.3. Degazör……...11
2.5.4. Kondens Tankı……12
2.5.5 Blöf Tankı……13
2.5.6. Emniyet Ventili……...13
2.5.7. Su Seviye Göstergesi ……..14
2.5.8. Kazan Besi Pompası …….....15
2.5.9. Kazan Oransal Seviye Cihazı ……15
2.5.10. Transmitter……....15
2.5.11. Manometre……15
2.5.12. Kazan Prosestatı …….....15
2.5.13. Alarm Sistemi ……16
2.5.14. Kondenstop ……...16
2.5.14.1. Termodinamik Kondenstop …….....16
2.5.14.2. Şamandıralı Kondenstop……16
2.5.14.3. Ters Kovalı Kondenstop …….....16
2.5.14.4. Termostatik Kondenstop……17
2.5.14.5. Bimetalik Kondenstop ……...17
3. ENERJİ GERİ KAZANIMI ……19
3.1. Ekonomizer İle Enerji Geri Kazanımı ……..20
3.1.1. Ekonomizer Çalışma Mantığı ve Faydaları ……21
3.1.2. Ekonomizerin Kazanç Maliyet Hesabı ……...21
4. EKONOMİZER KULLANIMI İLE KAZANLARDA VERİM HESABI…….....24
4.1. Ekonomizer Kullanımının Verime Etkisinin Teorik Hesabı……..... 24
4.1.1. Isı Kayıpları…… 26
4.1.1.1. Kuru Baca Gazı Yolu İle Isı Kaybı……... 26

4.1.1.2. Baca Gazında Bulunan Nem İle Isı Kaybı……26
4.1.1.3. Baca Gazındaki Yanmamış Karbonmonoksit Nedeni İle Isı Kaybı……..…….. 27
4.1.1.4. Blöf Nedeni İle Isı Kaybı……...27
4.1.1.5. Isı Kayıpları Toplamı……27
4.1.2. Kazan Verimi……..27
5. KOMPRESÖR VE EŞANJÖR SİSTEMİ İLE ENERJİ GERİ KAZANIMI ……..28
5.1. Kompresörler Türleri……28
5.1.2. Pozitif Yer Değiştirmeli Kompresörler ……..28
5.1.3. Pozitif Deplasmanlı Kompresörler ……29
5.1.3. Dinamik Kompresörler ……...31
5.2. Kompresör ve Yardımcı Ekipmanlar…….....32
5.2.1. Deplasmanlı Kompresörler……32
5.2.2. Pistonlu Kompresörler……32
5.2.3. Yağsız Pistonlu Kompresörler……32
5.2.4. Diyaframlı Kompresör……33
5.2.5. Çift Vidalı Kompresörler……34
5.2.5.1. Yağsız Vidalı Kompresörler……..35
5.2.5.2. Sıvı Enjeksiyonlu Vidalı Kompresörler ……36
5.2.6. Dişli Kompresörler ……37
5.2.7. Scroll Kompresörler ……...39
5.2.8. Kanatlı Kompresörler ……40
5.2.9. Kök Üfleyiciler ……...40
5.2.10. Dinamik Kompresörler ……....41
5.2.11. Santrifüj Kompresörler ……41
5.2.12. Eksenel Kompresörler ……..43
5.3. Enerji Geri Kazanımı……44
5.3.1. Geri Kazanımın Hesaplanması Potansiyel ……....46
5.3.2. Kurtarma Yöntemleri……..47
5.3.3. Hava Soğutmalı Sistem ……..47
5.3.4. Su Soğutmalı Sistem……...48
5.4. Kompresör Enerji Geri Kazanımı……....48
5.5. Enerji Geri Kazanım Devresindeki Su Akışının Hesaplanması ……...49
5.6. Geri Kazanım Isı Eşanjörü Boyunca Enerji Dengesi ……...50
5.7. Isı Eşanjörleri……50
5.8. Isı Eşanjörlerinin Sınıflandırılması……...51
5.8.1. Borulu Eşanjörler……51
5.8.1.1. Gövde Borulu Eşanjörler ……...52
5.8.1.2. Çift Borulu Eşanjörler ……...53
5.8.1.3. Spiral Borulu Eşanjörler ……....54
5.8.1.4. Hijyenik Borulu Eşanjörler……54
5.8.2. Plakalı Eşanjörler...……56
5.8.2.1. Plakalı Eşanjörleri Meydana Getiren Parçalar……...57
5.9. Isı Geri Kazanımı Uygulamaları……...58
5.10. Kompresör Ve Eşanjör İle Kazanç Maliyet Hesabı……59
5.11. Kompresör Verim Hesabı……... 60
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER…….61
KAYNAKLAR…… 63

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER……65
ÖZGEÇMİŞ……66

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. 2020 yılı sektörlere göre doğal gaz satış miktarı……...7
Şekil 2.2. Buhar kazanının şematik diyagramı…….....8
Şekil 2.3. Tesiste kullanılan buhar kazanları……...10
Şekil 2.4. Ekonomizer çalışma şeması……..... 11
Şekil 2.5. Degazör tankı fotoğrafı……..... 12
Şekil 2.6. Kondens tankıfotoğrafı……....13
Şekil 2.7. Yaylı tip emniyet ventili kesit görünümü..……..14
Şekil 2.8. Programlanabilir mantıksal denetleyici (pcl) üzerinden operatör takip ekranı……14
Şekil 2.9. Kondenstop grup şeması…… 17
Şekil 2.10. Kondenstop türleri……..……18
Şekil 4.1. Kazan ve kazan kayıpları şeması…….25
Şekil 5.1. Tek kademeli, tek etkili pistonlu kompresör kesiti…… 29
Şekil 5.2. Pistonlu kompresör çalışma diyagramı……... 30
Şekil 5.3. Pistonlu kompresör için p/V diyagramı……...30
Şekil 5.4. Dinamik kompresör merkezkaç yük eğrisi……..31
Şekil 5.5. Pistonlu kompresör....……..33
Şekil 5.6. İki parçalı, valf sistemli pistonlu kompresör..……... ..33
Şekil 5.7. Mekanik diyaframlı kompresör…..……... ..34
Şekil 5.8. Çift vidalı kompresördeki sıkıştırma mantığı……..……...35
Şekil 5.9. Yağsız vidalı kompresör akış şeması……..…….. ..35
Şekil 5.10. Tipik yağla yağlanan vidalı kompresör elemanı ve tahriki……... ..36
Şekil 5.11. Modern bir entegre tahrikli yağla yağlanan vidalı kompresör…….. ..36
Şekil 5.12. Su soğutmalı yağsız vidalı kompresör…….....37
Şekil 5.13. Çift dişli kompresörün sıkıştırma prensibi…… ..38
Şekil 5.14. Çift dişli kompresörün rotor seti……... ..38
Şekil 5.15. Kaydırma kompresör kesiti……... ..39
Şekil 5.16. Scroll kompresörün sıkıştırma prensibi…….....40
Şekil 5.17. Kök üfleyicinin sıkıştırma prensibi…….. ...41
Şekil 5.18. Üç kademeli entegre dişli santrifüj kompresör……....42
Şekil 5.19. Modern yüksek hızlı kompresör……..43
Şekil 5.20. Eksenel kompresör…… ..43
Şekil 5.21. Kompresör enerji geri kazamı……... ..45
Şekil 5.22. Kompresör soğutma suyundan enerji geri kazanım uygulama alanları..…… ..45
Şekil 5.23. Enerji geri kazanımı uygulaması……..…..46
Şekil 5.24. Hava soğutmalı bir kompresörden enerji geri kazanımı……..47
Şekil 5.25. Kompresör enerji geri kazanım hesabı……..…..49
Şekil 5.26. Gövde borulu eşanjörler…… ..53
Şekil 5.27. Çift borulu eşanjör……..53
Şekil 5.28. Spiral borulu eşanjör…… ..54
Şekil 5.29. Plakalı ısı değiştirici…….. ..56
Şekil 5.30. Plakalı ısı değiştiriciyi oluşturan parçalar……. ..58
Şekil 5.31. Kompresörden ısı geri kazanım akış şeması…… ..59

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Üretim, tüketim ve birim maliyet tablosu…… ...22
Tablo 4.1. Doğalgaz yakıt parametreleri…… ..25
Tablo 4.2. Doğalgaz yakıtında bulunan gaz ve sıcaklık değerleri.....25
Tablo 5.1. Eşanjör giriş – çıkış sıcaklıkları ve debi tablosu…… ….59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

W : Sıkıştırma işi (J)
p1 : İlk basınç (Pa)
V1 : İlk hacim (m^3)
p2 : Nihai basınç (Pa)
K : İzentropik üs
T_R : Geri kazanılan enerji talebinin süresi (saat/yıl)
K_1 : Yüklü kompresörle TR'nin parçası (saat/yıl)
K_2 : Yüksüz kompresörlü TR'nin parçası (saat/yıl)
Q_1 : Yüklü kompresör soğutma sıvısı gücü (kW)
Q_2 : Yüksüz kompresör soğutma sıvısı gücü (kW)
e_P : Enerji fiyat düzeyi (€/kWh)
η : Normal ısı kaynağı verimliliği (%)
C_P : Su için özgül ısı kapasitesi (J/kg)
m : Enerji geri kazanım devresindeki kütle akışı (l/sn)
T_e : Ekonomizer kullanıldığı durumda tüketim miktarı (Sm^3)
T : Ekonomizer kullanılmadığı durumda tüketim miktarı (Sm^3)
X_e : Ekonomizerli durumda spesifik doğalgaz tüketimi (Sm^3/ton)
X : Ekonomizersiz durumda spesifik doğalgaz tüketimi (Sm^3/ton)
M_e : Ekonomizer kullanıldığı durumda toplam buhar maliyeti ($)
M : Ekonomizer kullanılmadığı durumda toplam buhar maliyeti ($)
Bh : Yakıt miktarı (m3/h)
Dh : Buhar miktarı (kg/h)
İd : Buharın entalpisi (kjoule/kg)
Ts : Besi suyu entalpisi (kjoule/kg)
Ŋk : Kazan verimi (%)
Hu : Yakıtın enerjisi (kjoule/Nm3)
Ws : Besleme suyu miktarı (kg/h)
L_{KGB} : Kuru baca nedeni ile ısı kaybı (%)
L_{NBG} : Baca gazacındaki nem nedeni ile ısı kaybı (%)
L_{COBG} : Baca gazacındaki yanmamış karbonmonoksit nedeni ile ısı kaybı (%)
L_B : Blöf nedeni ile ısı kaybı (%)
T_B : Blöf sıcaklığı (℃)

Kısaltmalar

PLC : Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)

DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE ENERJİ GERİ KAZANIMI ÇÖZÜMLERİ İLE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

ÖZET

Dünya nüfusunun artışı, sanayileşme ve teknolojinin hızlı gelişimi ile birlikte dünyanın enerji ihtiyacı ve tüketimi giderek artmaktadır. Enerji tüketimi ile birlikte enerji kayıplarıda artış göstermektedir. Artan bu enerji kayıplarının önüne geçmek geçebilmek enerji geri kazanım sistemleri ile mümkün hale gelmektedir. Buda sektörde enerji geri kazanımının rolünü ve payını arttırmakla birlikte mevcut enerjinin en verimli şekilde kullanılması için çalışmalar yapmaya yönlendirmektedir. Bu sebeple şirket sahipleri enerji geri kazanımına yönelerek enerji kayıplarının önüne geçip artan enerji maliyetlerini düşürmeye büyük önem vermeye başlamışlardır. Bu çalışmada, demir çelik endüstrisinde kullanılan buhar kazanları ve buhar kazanlarının ekipmanlarının bir kısmından bahsedilmiş olup kullanılan doğalgaz yataklı buhar kazanlarında ekonomizer yardımı ile atık baca gaza ısısının sisteme geri kazandırılması ele alınmıştır. Ayrıca kazanların beslendiği saf suyu fabrikada kullanılan kompresörlerin ısısından eşanjör sistemi yardımı ile faydalanarak hem beslenilen suyun sıcaklığını arttırarak bir kazanım sağlanması hem de kompresörlerin soğutulması işleminde fayda sağlanarak, elde edilen kazanım ele alınmıştır. Bu kazanımlar sonrasında gerekli ekonomik analizler yapılmış ve yapılan analiz ve hesaplamalar sonucunda sağlanılan yakıt tasarrufunun ekonomizer için 6.500 $/ay, kompresör ve eşanjör geri kazanım sistemi için ise 5.120 $/ay olduğu hesaplanmıştır. Böylece her iki enerji geri kazanımının toplamda sağladığı tasarruf ve maddi kazanç 11.620 $/ay olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık Isı, Buhar Kazanı, Demir Çelik Endüstrisi, Enerji, Isı Geri Kazanımı.

ENERGY EFFICIENCY WITH ENERGY RECOVERY SOLUTIONS IN STEEL INDUSTRY

ABSTRACT

The world's Energy needs and consumption are increasing, with the increase in the world's population, industrialization and the rapid development of technology. Energy losses are increasing with energy consumption. It is possible to, avoid these increased energylosses through energy recovery systems. This increases the role and share of energy. Therefore, the owners have started to focus on energy recovery, preventing energy losses and reducing increasing energy costs. In this study, the steam boileres and steam boilers used in the iron steel industry were discussed in part, and the economy helped to restore the temperature of the waste chimney gas to the system in the natural gas bed vapors used. In addition, the gain obtained is taken into focus by utilizing the heat of the compressors used in the factory, which supplies the pure water to the boilers, increasing the temperature of the water being fed, while also benefiting from the cooling of the compressors. After these gains, the necessary economic analysis was carried out and the fuel economy as a result of the analysis and calculations was estimated to be $6,500/month for the economizer and $5,120/month for the compressor and exchanger recovery system. Thus, the total sayings and financial gain of both energy recovery were calculated as $11,620/month.

Keywords: Waste Heat, Steamer, Iron Steel Industry, Energy, Heat Recovery.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızlı artışı ve sanayi alanındaki gelişmeler ile orantılı olarak enerji tüketimi de hızlı bir şekilde artmaktadır. Enerji tüketimindeki bu hızlı artış özellikle işletmecileri enerji maliyetini düşürmek adına çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Bu da enerji geri kazanım sistemleri kullanmak ve enerji verimliliğini arttırmak ile mümkün hale gelmektedir. Bu sebeple işletmeciler ve enerji tüketicileri enerjiyi nereden ve nasıl geri kazanabiliriz adına çok sayıda araştırma ve uygulamalar yapmışlardır. Dünya çapındaki birçok endüstriyel tesisin enerji kullanımının yaklaşık %25'inin atmosferde ısı ve gaz emisyonları nedeniyle kaybolduğu tahmin edilmektedir. Bu büyük kayıp, Kazanım sistemi kullanılarak telafi edilebilir. Geri kazanım sistemleri ile endüstriyel tesisler enerji ihtiyaçlarını daha düşük maliyetle, çevreye daha az zarar vererek karşılamakta ve enerji en verimli şekilde kullanılmaktadır. Buda enerji tüketicilerin ve işletmecilerin yakalamaya çalıştıkları fırsattır. Bu tez çalışmasında örnek bir demir çelik endüstrisinde kullanılmakta olan buhar kazanlarında ekonomizer, kondenstop grupları, ısı ceketleri, kondens tankı, degazör tankı ve fabrikada kullanılan kompresörler ile kazan dairesi arasında kapalı çevrim bir ısı geri kazanım ve eşanjör sistemi kullanılarak yakalanan faydalar, enerji verimliliği ve hangi düzeyde ekonomik fayda sağladığının maliyet analizi yapılmıştır.

1.1. Demir Çelik Sektörü

Türkiye çelik üretimi konusunda toparlanma hızını sürdürmektedir. 2012 ile 2015 yılları arasında düşüş eğilimi sergileyen Türkiye çelik üretimi, gözlemlere göre bu yıl Ocak ayı ile Eylül ayı döneminde %4 artışla yeniden yükselmeye başladı. 1 milyon tonluk toplam üretim artışı yarı mamul çelik üretiminden kaynaklandı, kütük üretimi ise bir önceki sene ile aynı kaldı. Yöntemler açısından üretimdeki artışın %85'inin elektrik ark ocağına sahip tesislerde gerçekleştiği tespit edildi. Piyasa fiyatlarındaki toparlanmanın ve girdi maliyetlerinin dengeye dönmesinin, üretimin toparlanmasını desteklediğine inanılıyor. Özellikle son iki yılda kömür fiyatlarındaki anormal artış nedeniyle entegre tesislerin elektrik ark ocaklı tesislere göre düşük demir cevheri fiyat avantajı yılın ilk yarısından itibaren ortadan kalkmış ve mevcut noktaya gelmiştir. Hurda üretimini kullanmak için daha rekabetçi. Son yıllarda demir cevheri üretim tesislerine fayda sağlayan maliyet avantajları artık çelik hurdasına kaysada, temel iki üretim teknolojisi arasındaki denge

dönemsel gelişmeler doğrultusunda değişebilir. Dünya ham çelik üretimindeki düşüş de yavaşlama eğilimindedir. Dünya ham çelik üretimi yılın ilk yarısında %1,9 düşmesine rağmen Ocak ve Eylül ayları döneminde %0,6 ya yakın düşüşle yaklaşık 1,3 milyon tonda kaldı, ancak Çin'in üretiminin yeniden büyümeye başladığı görülüyor. Dünya pazarında yükselen kar marjlarının desteği. Çin'in üretimi ilk çeyrekte %3,2 ve senenin ilk periyodunda %1,1 oranında kesintiye uğradı ve büyüme yeniden başladı, bu da dünya çelik piyasasının olumsuz bir döneme dönebileceği endişelerini artırdı. Takip eden aylarda, Türkiye çelik tüketimindeki büyüme üçüncü çeyrekte daraldı. Gözlemlere göre, Türkiye'de çelik tüketiminin büyüme oranı ilk çeyrekte %9,3, yılın ilk yarısında ise %6,3 olurken, Ocak-Eylül döneminde Türkiye'de çelik tüketiminin büyüme hızı yavaşlayarak %2,1'e geriledi. Tüketim, üçüncü çeyrekte tüketimdeki %6'lık azalmadan kaynaklanmaktadır. Eylül ayında tüketimin %12 gerilemesi daralmanın devam ettiğini göstermektedir. Özellikle yassı ürünlerde çekmenin daha keskin boyutlara ulaştığı gözlemlendi. Senenin ilk periyodunda sac tüketiminin büyüme hızının %6 olduğunu ve Ocak-Eylül döneminde büyümenin %1'e düştüğünü belirtmekte fayda var. Eylül ayında Türkiye'de yassı çelik tüketimindeki %16'lık düşüş, üretim girdisi olarak yassı çelik kullanan sanayi sektöründeki hareketliliğin hızla yavaşladığını göstermesi açısından önemlidir. Türkiye'de çelik tüketimindeki yavaşlama, çelik ürünleri ithalat verilerine de yansıdı. Çelik ithalatı, çoğunlukla yarı mamul ürünler, Eylül'de %27, Ocak'tan Eylül'e ise %1.8 düştü. Gözlemlere göre, Rusya ve Ukrayna'dan yapılan ithalat bir miktar geriledi, ancak Çin üzerinden yapılmakta olan ithalat artmayı sürdürdü ve Güney Kore ve Brezilya'nın da Türkiye'ye yapılan çelikteki ihracatı büyük bir oranda arttı. Dünya pazarının yeni dengesinin de Türk çelik ürünleri ithalatına olumlu katkı sağladığı gözlemlendi. Yılın ikinci yarısında ve gelecekte ülkemin çelik sektörünün performansı, başta girdi maliyetleri yükü olmak üzere rekabet gücünü artıracak, ayrıca dünya çelik sektörünün kapasite fazlası, damping ve devlet destekli ihracatları ile ihracatını artıracaktır. Sektörün karşılaştığı haksız rekabet faktörlerinin ortadan kaldırılması. Çeşitli kısıtlayıcı uygulamaların bitirilmesi hususunda alınan tedbirlerin etkili olacağına inanıyoruz. Çelik sektörümüzün bu seneki kapanışının üretiminde yaklaşık %5 oranında artış ile olacağı tahmin ediliyor. Ancak, toparlanma ile ilgili sorunlar azalsa bile, sektörde üretimdeki seviyenin daha önceki senelerin gerisinde kalacağı ve ithalatın yerel çelik tüketiminde bir miktar düşse bile ağırlıklı payını sürdürmesi bekleniyor. Ülkemize uygun

olmayan bu durumun hızlı bir şekilde değiştirilmesi ve Türkiye'nin çelik ürünlerinin ihracat ve üretimini artıracak, kesin ihracatçı konumuna gelecek ve sanayisini yerli ürünlerle destekleyecek bir yapıya kavuşturulması gerekmektedir. Çelik sektörünün potansiyelini değerlendirmek, yeniden büyümeye başlayan cari açığı azaltmak için Türkiye ekonomisi için kritik öneme sahiptir. Bugünden itibaren piyasamızda normal fiyatının altında, devlet desteği bulunan kalitesiz ithal çeliğe kapatılması ve devlet planında bulunduğu gibi değer piramidinin alt halkasına kadar yerli üretimin gerçekleştirilmesine yönelik tedbirlerin bir an önce alınması gerekmektedir. Çünkü bu önlemler ülke ekonomisi için çok önemlidir.

1.2. Türkiye'de Enerjini Kullanımı

Türkiye'nin geçtiğimiz yirmi yıl içinde gerek ekonomi gerek nüfus sal artışları, enerji ihtiyacını da aynı oranda artırmış ve ayrıca bunun yanında, ithalata olan ihtiyacını ve ithalata olan zorunluluğunu artırmıştır. Bunun sonucunda Türkiye, enerji talebi büyümesini rasyonelleştirme, tüketici için enerji fiyatları düşürmek adına ve ithalatın büyümesi oranlarını yavaşlatabilmek için mevcut enerji sistemlerini tekrardan yapılandırmıştır. Petrole ve gaza yüksek ithalat bağımlılığından dolayı Türkiye, enerji arz güvenliğini enerji stratejilerinin temel taşlarından birisi haline getirmiştir. Politika, yerli petrolün, gaz aramanın ve üretimin artırılmasını, petrol ile gaz tedarik kaynaklarıyla alakalı altyapı çeşitlendirilmesi, yenilenebilir enerji üretiminin arttırması ve enerji verimliliği iyileştirilmesini içermektedir. Türkiye, yeni keşifleri, boru hatlarını, sıvı doğal gaz terminallerini ve depolama yolu ile artış gösteren gaz tedarik seçeneklerinin genişletilmesi konusunda büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Türkiye geçtiğimiz son on yıl içerisinde, Türkiye'nin enerji karışımı önemli bir çeşitlenme yaşamıştır. Bu çeşitlenmeden bahsedecek olursak özellikle yenilenebilir enerji, geçtiğimiz on yıl içerisinde yenilenebilir kaynaklardan elektriğin üretiminin üç katına çıkması ile çok önemli bir büyüme kaydetmiştir. Türkiye'nin ilk nükleer santrali 2023'te devreye girecek ve bu da Türkiye'nin enerji karışımı konusunda daha da zenginleşmesini sağlayacaktır. Enerji piyasalarında serbestleştirilme ve enerji çeşitlendirmesinde ilerleme olmasına rağmen, hükümetin, kömür ile çalışan elektrik üretiminin büyümesi de dâhil enerji güvenliğinin desteklendiği politikalar Türkiye'nin uzun yılları kapsayan karbondan arındırma uğraşlarının önüne geçilmemesini sağlamalıdır. (International Energy Outlook, 2021).

1.3. Sanayi Sektöründe Enerji Kullanımı ve Verimlilik

Sanayi sektörünün ülkemin nihai enerji tüketimindeki tüketim payı yaklaşık %34, elektrik tüketimindeki tüketim payı ise %54 civarındadır. Yüksek enerji tasarrufu potansiyeli nedeniyle neredeyse tüm enerji tüketimi, enerji tasarrufunun kilit bir alanı haline gelmiştir. Araştırmalara göre tükettiği enerji ticari enerjidir. Bu nedenle sanayi sektörünün genel yapısının enerji tasarrufu açısından incelenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir. Ülkemizde halen temel parametreleri günümüz koşullarında ekonomik özelliğini yitirmiş, başta kamu tesisleri olmak üzere sanayi tesisleri bulunmaktadır. Maliyet standartlarına göre bu tesisler halen çok fazla enerji tüketen ve teknolojik gelişmeye ayak uyduramayan tesislerdir. Ek olarak, birçok endüstriyel prosesin enerjiyi başka bir forma dönüştürmesi gerekir, bu nedenle genellikle önemli bir dönüşüm kaybı olur. Elbette bazı kayıplar kaçınılmazdır. Ancak sanayi sektörümüzde bu kayıpların büyük boyutlara ulaştığı gözlemlenmiştir. Son yıllarda teknolojik gelişme ve artan enerji fiyatları, kayıp enerji yatırımını geri kazanmayı karlı hale getirdi. Önlem alınmazsa bu kayıplar devam edecek. Enerji tasarrufu ve emisyon azaltımı ile hem enerji tüketimi azaltılmakta hem de bakım, onarım ve işletme alışkanlıkları gibi fonksiyonlar standartlaştırılmakta, üretim ve işletme verimliliği artırılmaktadır. Enerji tasarrufu fırsatlarının çok yönlü karlılığına rağmen, enerji tüketicileri anında önlem alamamaktadır. Maliyetlerin hemen fiyatlara yansıdığı bir piyasa ekonomisinde bile sanayide ve diğer sektörlerde enerji tasarruflu yatırımların uygulanması oldukça yavaştır. Bu yavaşlama azgelişmiş ülkelerde daha ciddidir. Bu durumun temel nedenleri şu şekilde özetlenebilir:

- Fiyat değişikliklerine yanıt vermek yavaştır ve genellikle mevcut şirketlerin etkin bir şekilde faaliyet gösterdiğine inanılır.
- Enerji tasarrufu yatırımının karmaşıklığı, önerilen yeni ekipmana ve gerekli değişiklikler nedeniyle üretimin beklenmedik şekilde kesintiye uğramasına tamamen güvenmeyi imkânsız kılıyor,
- Bu yatırımlar çok sayıda küçük yatırımı içerir,
- Son yıllarda kötüleşen ekonomik durum nedeniyle yeni yatırımlara ayrılan kaynakların yetersiz kalması,
- Üretimi artırmak, verimliliği artırmaktan daha önemlidir ve üst yönetim, enerji tasarrufuna yeterince dikkat etmemektedir.

- Bu nedenlere ek olarak endüstriyel enerji tasarrufu çalışmaları da teknik ve mali engellerle karşı karşıyadır. Bazen teknik, mali ve ekonomik engeller örtüşebilir. Uygun teknik olanaklar hakkında bilgi eksikliği, enerji yönetimi uzmanlarının eksikliği ve tesis bazlı ölçüm ve kontrol araçlarının eksikliği gibi faktörler, enerji tasarrufu çabalarını geciktirmiştir. Mali engeller şunlardır: fon sıkıntısı, yüksek faiz oranları ve enerji tasarruflu ekipman için basit orta vadeli finansman eksikliği. Bu engeller, gelişmekte olan ülkelerde sanayileşmiş ülkelere göre daha ciddidir. Bu nedenle gelişmekte olan ülkeler, uzun vadede enerji tüketimini azaltmanın bir yolunu bulmak için gelecekteki sanayileşme stratejilerini belirlemelidir.

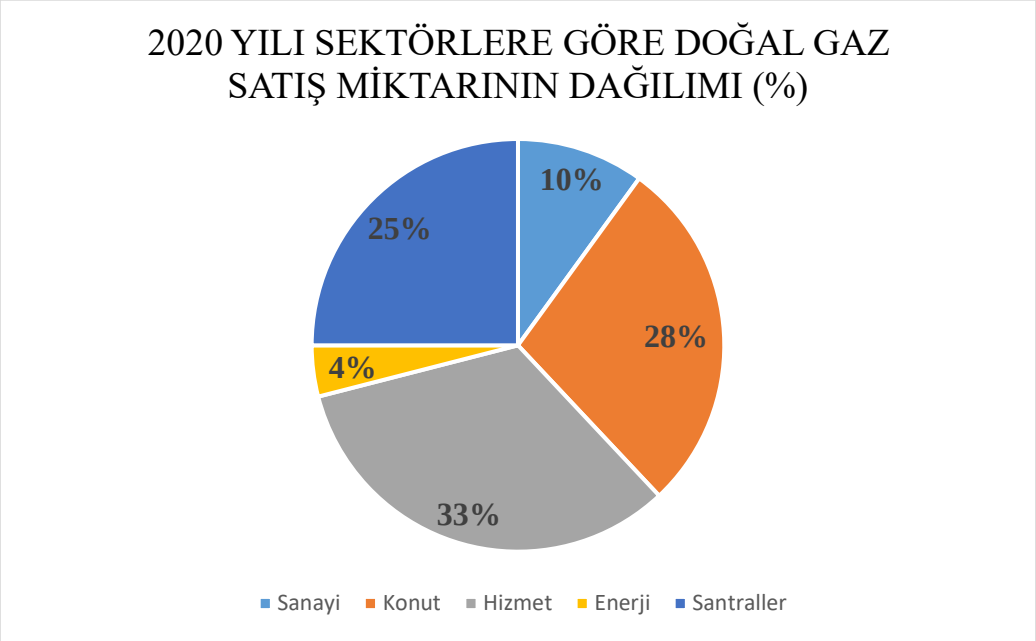
2. BUHAR ÜRETİMİ VE BUHAR KAZANLARI

Sıvılaşma bölgesine yakın gazlara buhar, sonsuz küçüklükteki bir sıcaklık düşmesinin sıvılaştırdığı buhara doymuş buhar, sıvılaşmak için belirli bir sıcaklık isteyen buhara ise kızgın buhar adı verilmektedir. Buhar, sıvı veya katı halden buharlaşma veya sublimasyon yoluyla oluşur. Suyun buharlaşma sırasında eşit miktarda sıvı veya katı parçacıkların gaz haline geçtiği ve aynı zamanda da gaz halinden tekrardan geri döndüğü bir dinamik denge kurulur. Su buharı, ısı tekniğinde birçok alanda çalışma akışkanı olarak kullanılabilmektedir. Bunun en büyük nedenleri; suyun doğada bol olarak bulunması, su ve su buharı işlemlerinin termodinamik özelliklerinin iyi olması, suyun ve su buharının canlılar üzerinde olumsuz etkilerinin bulunmaması şeklinde sıralanabilir. Büyük işletmelerde ısıtma için su buharı kullanılması tek çözümdür. Özellikle buhar türbini ve elektrik jeneratörü kullanılarak elektrik üretimi ile birlikte türbin egzoz buharının ısıtmada kullanılması en ideal çözümdür. Birim ısı taşımada, diğer akışkanlara göre buhar boruları çaplarının daha küçük olması, çok fazla ısıtma cihazlarına gerek duyulan petro-kimya, tekstil ve kâğıt endüstrileri için buhar en uygun ısıtıcı akışkandır. Endüstriyel tesislerde ısı taşıyıcı akışkan olarak buhar kullanılmasının avantajları maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- İdeal bir ısı taşıyıcı akışkandır.
- Boru çapı küçüldükçe taşınan ısı miktarıda aynı oranda artış gösterir.
- Geri kazanımı ile enerji tasarrufu sağlanabilir.
- Akışkanın taşınması kendi basıncıyla gerçekleşir. Pompaya gerek yoktur. Dolayısıyla maliyeti düşüktür.
- Sıcaklık kontrolünü çok hassas bir biçimde gerçekleştirmek mümkündür.
- Buhar, tesisattaki korozyon riskini azaltır.
- Çapları küçük olan borular ile iletilmesinden dolayı diğer sistemler ile kıyaslandığında ısı kayıplarının daha az olduğu gözlemlenir.
- Yatırım giderleri düşüktür, çapları küçük olan boru tercih edilir, yalıtım az yapıldığından maliyeti düşüktür, dolayısıyla yatırım maliyeti düşüktür.
- Buhar alevlenme özelliği bulunmadığından dolayı emniyetlidir. Steril bir akışkandır.
- Buhar çevre dostudur, Saf madde olduğundan dolayı çevreye zarar vermez.

Endüstri de buhar, verimli ve kolay elde edilebilir olması, hat boyunca basınç düşümüyle taşınıp sirkülasyon pompalarına gerek olmaması ve yüksek enerji taşıması gibi birçok

nedenlerden dolayı enerji transferi için kullanılmaktadır. Günümüz rekabet piyasasında fabrika enerji yöneticileri, hem ülke ekonomisine katkıda bulunmak için hem de düşük maliyetle üretim yapmak amacıyla tesislerinde hangi noktalarda geri kazanım çalışmaları yapabileceklerinin arayışına girmişlerdir.



Şekil 2.1. 2020 Yılı Sektörlere Göre Doğal Gaz Satış Miktarı

2020 yılında sektörel baz da en fazla tüketim %32 pay ile konutlarda olurken, sanayide toplam tüketimin yaklaşık %28'i, elektrik santrallerinde ise %25'i gerçekleşmiştir. Resmi dairelerin ve ticarethanelerin yer aldığı Hizmet sektöründe ise toplam tüketimin %10'u gerçekleştiği şekil 2.1 de görülmektedir. Sanayide buhar kullanılan işletmelerde yakıt tüketimini azaltmanın çeşitli yöntemleri vardır. Enerji sarfiyatına neden olan etkenlerden başlıcaları; kazan baca kayıpları, kaçıran kondenstoplar, kondensin enerji geri kazanımında kullanılmaması, yalıtım eksikliği, eksik yanma kaybı ve blöf kaybıdır. Enerji geri kazanım sistemleri ile büyük ölçüde yakıt tasarrufu sağlanabilir.

2.1. Buhar Oluşumu

Buhar, ısı etkisi ile birlikte sıvı ve bazı katı halde bulunan maddelerin geçtikleri gaz durumudur. Suyun buharlaşması aynı oranda sıvı veya katı taneciklerin gaz fazına geçtiği ve gaz fazından yeniden eski formuna dönüştürülebildiği dinamik denge sistemlerdir.(İzbul, 2017).

2.2. Buhar Kazanları

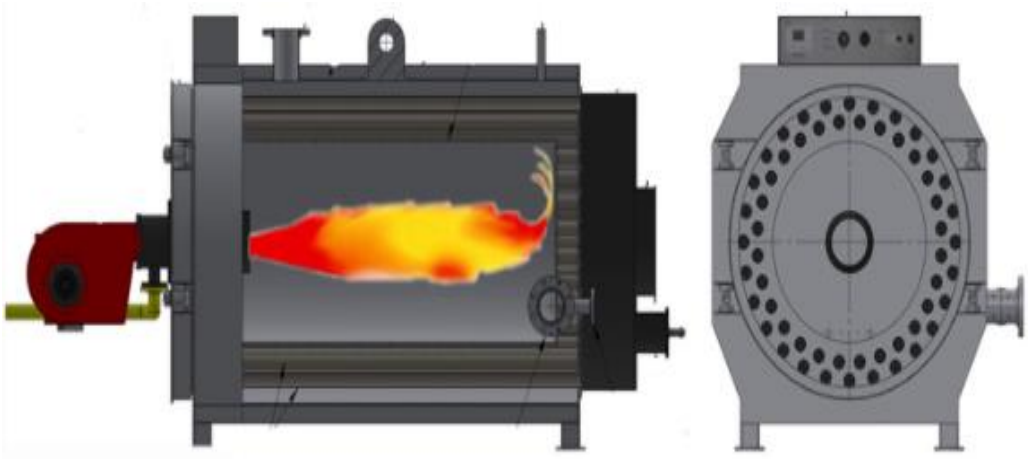
Yakıtın kimyasal enerjisini yanma yolu ile ısı enerjisine dönüştüren ve bu ısı enerjisini iş akışkanına aktaran sistemlere kazan denir. Kazanlar, sıcak su veya istenilen basınç, sıcaklık ve miktarda buhar elde etmek amacı ile kullanılan cihazlardır. Kazanların verimi, yanma sonucu oluşan ısı enerjisinin hangi oranda iş akışkanına veya ihtiyaç duyulan prosese taşınmasına bağlıdır. Buhar kazanı, istenilen basınç, sıcaklık ve miktarda buhar üreten cihazlardır. Buhar üretimi, herhangi bir yolla elde edilen ısı enerjisi kapalı bir kap içerisindeki suya verilerek suyun buharlaşmasıyla gerçekleştirilir. Buhar kazanlarında suyun buharlaştırılması,

- Suyun sabit basınçta buharlaşma sıcaklığına kadar ısıtılması,
- Doymuş sıvı fazından doymuş buhar fazına kadar buharlaştırılması,
- Sabit basınçta buharın istenilen sıcaklığa kadar kızdırılması,

Şeklinde üç kademede gerçekleşir.

2.3. Buhar Kazanları Sınıflandırılması

Buhar kazanı, herhangi bir yakıt türünün yakılması, elektrik veya nükleer enerji kullanılması sonucu kazandaki suyun sıcaklığının ve basıncının istenilen oranda ayarlanabildiği buhar üretme sistemidir. Buhar kanallarında ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülmektir. Buharı meydana getiren moleküller, taşımakta oldukları ısı enerjisi nedeniyle sürekli olarak hareket halinde bulunmaktadır (Beşergil, 2011; Bujak, 2008). Şekil 2.2 de buhar kazanının şematik diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Buhar kazanının şematik diyagramı

Buhar kazanları aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilmektedir (Bulut, 2011; Behbahaninia, 2017):

- Kullanılış yerine göre kazanlar (Sabit, portatif, lokomotif ve gemi buhar kazan sistemleri)
- Kazan basıncına göre kazanlar (Alçak, yüksek ve süper kritik basınçlı kazanlar)
- Kazan ocak cinsine göre kazanlar (İçten ocaklı kazan sistemleri, dıştan ocaklı kazan sistemleri, ön ocaklı kazan sistemleri, arka ocaklı kazan sistemleri)
- Kullanılan yakıt türüne göre kazanlar (Katı yakıt yakabilen kazanlar, sıvı yakıt yakabilen kazanlar, gaz yakıt yakabilen kazanlar, çok çeşit yakıt yakabilen kazanlar, yanabilir çöp ve endüstriyel atık yakan kazanlar, atık ısı(çürük gaz) kazanları, elektrikli kazanlar)
- Konstrüksiyonuna göre kazanlar (Duman borulu, alev borulu, alev-duman borulu, su boru sistemli kazanları)
- Isıalan akışkanın özelliklerine göre kazanlar (Sıcak su kazan sistemi, kaynar su kazan sistemi, kızgın yağ kazan sistemi, buhar kazan sistemi)
- Bulundurduğu su hacmine göre kazanlar (Büyük, küçük ve çok küçük su hacimli kazanlar)
- Suyun dolaşım şekline göre kazanlar (Doğal ve cebri dolaşıma sahip kazanlar).

2.4. Tesisteki Buhar Kazanları

Erensan (ESB850 ve ESB1000) marka buhar kazanları kullanılmaktadır. Şekil 2.3 de gösterilen kazanların işletme basıncı 8 bar ve buhar üretim kapasiteleri 18.500 kg/h dir. Kazan sıvı ve gaz yakıtlı, üç geçişli, yüksek basınçlı buhar kazanı olup, TRD 604 normuna uygun gözetimsiz çalışma için gerekli emniyet kontrol sistemine sahiptir. Kazandan buhar çekişi oldukça kazan içi su seviyesi azalır. Azalan su miktarını kazana emniyetli bir şekilde beslemek için otomatik oransal seviye sistemi kullanılmaktadır. İhtiyaç halinde ya da arıza durumunda manuel besleme yapılabilmektedir.

Kazan içi su seviyesi belirlenen değerin üzerinde olursa hatta tesisattan su sürüklenir ve koç darbelerine neden olur. Su seviyesi çok düşer ise de bu durum ciddi sorunlara neden olur. Bu sebeple kazan üzerinde 2 adet yüksek ve 2 adet düşük su seviye kontrol sistemi mevcuttur. Kazan içi su seviyesine göre üç yollu vana vasıtası ile kazanlara su beslenmekte veya besleme durdurulmaktadır. Ayrıca kazan atık ısısından yararlanarak kazan besi suyu ön ısıtılması ekonomizer vasıtası ile olmaktadır.



Şekil 2.3. Tesiste kullanılan buhar kazanları

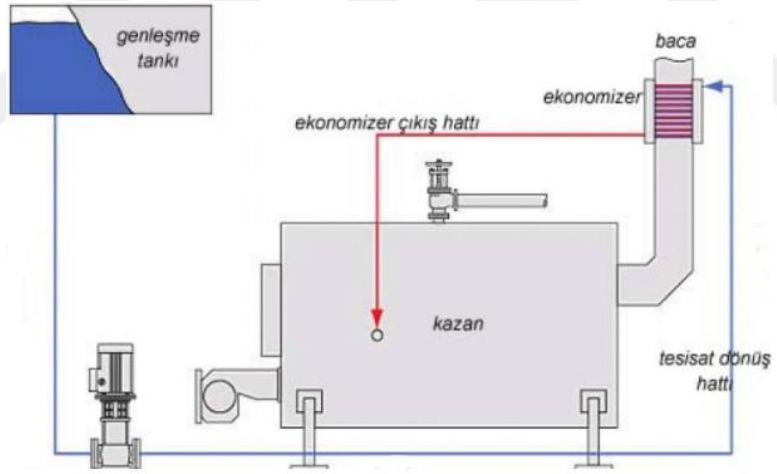
2.5. Buhar Kazanı Ekipmanları

2.5.1. Brülör

Brülör, kazanda kullanılan yakıtı hava ile en avantajlı oranda karıştırarak yakıtın tam yanmasını sağlayan bir mekanizmadır. Brülöre giren yakıt ve oksijenin reaksiyonu sonucu oluşan ısı, kazandaki suyu ısıtmak için kullanılır. Brülör yanma işlemine dayandığından içinde bir yanma odası bulunmaktadır. Yanma odasında yanma işleminden sonra oluşan ısı buradan enerjiye ihtiyaç duyan kısma aktarılır. Brülör motoruna elektrik verilir, brülöre hava sağlamak için kullanılan bir fan ve sıvı yakıt brülöründe motordan gelen güç sıvıyı aktarmak için kullanılır. Elektrik enerjisi, yanma odasındaki ilk ateşleme sırasında bir kıvılcım oluşturmak için yüksek voltajlı bir transformatörden alınır. Ateşleme kafasına gelen yakıt, brülör gövdesindeki fan ve yanma kafasına verilen hava özel bir türbülans mekanizması ile eşit şekilde karıştırılarak yanma reaksiyonu meydana gelir. Bundan sonra, yanma işleminin güvenliğini sağlamak ve kontrollü bir durumda tutmak için zaman, anahtar değeri ve miktar oranlarını doğru bir şekilde ayarlamak için yanma kontrol rölesi mekanizması devreye girer. Sonuç, tamamen verimli ve son derece güvenli bir yanma sürecidir. Brülörler, enerji verimliliğinde önemli bir rol oynamaktadır.

2.5.2. Ekonomizer

Çalışma şeması şekil 2.4 de gösterilen ekonomizer; akışkanların ön ısıtılması ve enerji tüketimini azaltarak enerji tasarrufu sağlayan bir sistemin uygulamasıdır. Atık ısı veya atık gaz üretim sistemlerinde ekonomizerlerin kullanılması, yüksek kalorifik değerli atık sıvıların veya atık gazların enerjisini geri kazanabilir. Ekonomizerler, su ve kızgın yağ kazanlarında, yüksek kalorifik değerleri nedeniyle buhar kazanlarında, atık su ve yanma ürünü gazların bulunduğu tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Enerji tasarrufu uygulamaları, ilk yatırım maliyetini kısa sürede amorti edebildikleri için çok popülerdir. Ekonomizerler, kazandan çıkan veya bacaya aktarılan baca gazındaki ısının bir kısmını, içinde dolaşan suya aktararak geri kazanımı sağlamak için kullanırlar. Geri kazanılan ısı, ısıtma, sıcak su kullanımı ve kazan dönüşü tesislerinde kullanılabilir. Ekonomizer tarafından geri kazanılan ısı miktarı, egzoz gazının çıkış sıcaklığı ile orantılıdır. Ekonomizer de giriş ile egzoz arasındaki sıcaklık farkı arttıkça geri kazanılan ısı miktarı ve o ısının verim değeri de aynı oranda artmaktadır. (Özgün, 2018)



Şekil 2. 4. Ekonomizer çalışma şeması

2.5.3. Degazör

Degazör, kazan besleme suyu içinde erimiş ve çözünmüş gazları ayrıştırma amacı ile kullanılan bir ekipmandır. Ayrıca, besleme suyu sıcaklığını 102-105°C'a çıkartarak kazan performansına yardımcı olurlar. Normal olarak, suda çözünmüş halde oksijen, nitrojen ve karbondioksit gazları bulunur. Özellikle oksijen çelik ekipmanlar için oldukça aşındırıcı bir gazdır, buhar kullanılan makinaların metal aksamına ve kazanın metal bölümlerine kolaylıkla zarar verebilir. Bunun yanında, besi suyunun ısıtılması, soğuk suyun yaptığı

ve kazan için oldukça tehlikeli olan termal şokların oluşmasını da engeller; kazanın ve diğer makina aksamlarının ömrünü uzatır. Besi suyundan gazların ayrıştırılması fiziksel ve kimyasal yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Ancak buhar tesislerinde kullanılan en uygun ve ucuz yöntem fiziksel esaslı termik degazörlerdir. Şekil 2.5 de bir degazör'e ait fotoğraf gösterilmektedir. Besleme suyu degazör içinde buhar ile 102- 105°C'a kadar ısıtılır. 80°C mertebelerinde su içindeki erimiş gazlar ayrışmaya başlar ve ayrışma 102-105°C'ta tamamlanır. Bu işlem basınç altında kaynama noktası civarında ısıtılarak ya da vakum altında yapılabilir. Bu yöntemle su içinde bulunan oksijen 0.02 mg/lt'ye kadar azaltılabilir. Su, degazörün üst noktasından püskürtülür ve paslanmaz çelik tavalara çarparak parçalanmış damlacıklara ayrılarak aşağı düşer. Su damlacıkları düşerken aşağıdan gelen buharla temas ederek ısınırlar. Isıtılmış su, domun altında depolama tankında toplanır. Depolama tankında suyun içine buhar enjekte edilir. Degazör içindeki buhar basıncı 0.2 bar civarında basınç regülatörü vasıtası ile sabit tutulur. Degazör'e verilmiş olan suyun minimum sıcaklığının 70°C derece olması zorunludur. Aksi takdirde degazör verimliliği azalacak ve gazların yeterli miktarda atılması zorlaşacaktır.



Şekil 2. 5. Degazör tankı fotoğrafı

2.5.4. Kondens Tankı

Buhar ısı transfer yüzeylerinde ısısını verdikten sonra aynı basınç ve sıcaklıkta suya dönüşür. Bu suya Kondens denir. Şekil 2.6 da Kondens tankına ait bir fotoğraf gösterilmektedir. Yüksek sıcaklıktaki kondensi tanka döndürmeyerek önemli ölçüde ısı enerjisi kaybedilir. Çünkü kazana aynı oranda düşük sıcaklıkta su alınır. Alınan bu suyu, kazan şartlarına getirmek için verilen enerji suyun sıcaklığına bağlıdır. Ne kadar düşük

sıcaklıkta su kazana alır ise o kadar fazla yakıt enerjisi verilir ve yakıt sarfiyatı artar. Kazana giren suyun sıcaklığı ne kadar yüksek ise o kadar yakıt sarfiyatı azalır.



Şekil 2. 6. Kondens tankı fotoğrafı

Kondens tankının seviyesi seviye kontrol sensörleri ile takip edilmektedir ve tankın seviyesi düştüğü zaman otomatik olarak su ıslah tesisinde hazırlanan demineralize su ile beslenmektedir. Kondens tankına ayrıca buhar kolektöründen alınmış bir branşman ile su sıcaklığı 40°C ile 60°C arasında tutulacak şekilde ihtiyaç halinde buhar verilmektedir. Ayrıca hatlarda bulunan kondenstop grupları yardımıyla Kondens tankına oluşan Kondens suları gelmektedir.

2.5.5. Blöf Tankı

Kazan sıcak suyunu güvenli bir şekilde tahliye etmek için kullanılan sistemlerdir. Su yüksek basınç altında olduğu için doğrudan deşarj edilmesi sakıncalıdır. En iyi prensip önce blöf suyunu blöf tankı aracılığıyla soğutmak ve sonra atmaktır.

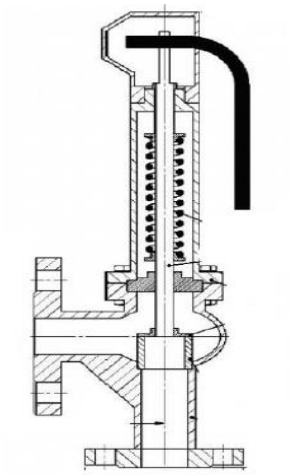
2.5.6. Emniyet Ventili

Şekil 2.7 de kesit görünümü verilen yaylı tip emniyet ventilinin asıl kullanım amaçları kazanın içerisinde herhangi bir sebepten dolayı basıncın yükselmesi durumunda yüksek basıncın sisteme zarar vermemesi için otomatik olarak buhar tahliyesi yaparak basıncın dengelenmesini sağlamaktır. İki çeşit emniyet Ventili bulunmaktadır:

- Yay sistemli emniyet ventilleri

- Ağırlık sistemli emniyet ventilleri

Çalışma yapılan tesiste belirlenen buhar basıncına uygun olarak dizayn edilmiş yay sistemli emniyet ventilleri kullanılmaktadır.



Şekil 2. 7. Yaylı tip emniyet ventili kesit görünümü

2.5.7. Su Seviye Göstergesi

Buhar kazanının çalışma şartlarına uygun olan su seviyesinin izlenmesini sağlamaktadır. İsteğe bağlı olarak aynı şekilde programlanabilir mantıksal denetleyici (PLC) üzerinden sensörler aracılığıyla da takip edilebilmektedir. Bahsi geçen takibin sağlandığı bu takip ekranı şekil 2.8 de gösterilmektedir. Bütün detaylar ve ayrıntılar takip ekranı üzerinde belirtilmiş ve gösterilmiştir.



Şekil 2. 8. PLC üzerinden operatör takip ekranı

2.5.8. Kazan Besi Pompası

Buharlaşmadan dolayı eksilen kazan su seviyesinin belirlenen aralıkta olmasını sağlamak için kullanılan ekipmanlara kazan besi pompası adı verilmektedir. Genellikler bu pompalar yedekli olarak çalışmaktadır ve aynı zamanda eş yaşlandırmalı olarak kullanılmaktadır.

2.5.9. Kazan Oransal Seviye Cihazı

Otomatik olarak çalışmada sisteme belirlenen aralıklarda su beslemesi yapılmaktadır ya da seviyenin herhangi bir sebepten düşmesi veya yükselmesi durumunda yüksek su seviye alarmı ve alçak su seviye alarmlarını vererek sistemi otomatik olarak durdurmaktadır. Otomatik olarak takip edilmesi emniyet açısından daha güvenli bir çalışma şeklidir.

2.5.10. Transmitter

Kazanda oluşan buhar basıncını belirlenen set değerlerinde tutmayı sağlayan ekipmanlardır. Manuel olarak girilen set değerine göre on / off şeklinde çalışmaktadır. Set değerine göre kendini ayarlamaktadır. Sistemin gereksinimlerine bağlı olarak ısı ya da basınca göre kullanılmaktadır.

2.5.11. Manometre

Kazan içindeki basınç değerini izlemeye yarayan cihazdır. Kazanın çalışma basıncı manometrede kalem veya işaretçi ile belirtilmelidir. Sistemde iki adet manometre vardır ve her iki okunan değerde aynı olmalıdır. Değerlerin birbirinden farklı olması istenmeyen bir durumdur. Manometrelerden biri farklı bir değer okunuyorsa arızalı manometre hemen tespit edilip yenisi ile değiştirilmelidir. Vibrasyona maruz kalan manometrelerde sağlıklı değer takibi yapılabilmesi için gliserinli tip manometre kullanılmalıdır.

2.5.12. Kazan Prosestatı

Prosestatlar buhar kazanlarında limit ve emniyet olmak üzere iki adet olarak tasarlanmaktadır. Limit prosestatları istenilen ayara göre brülör sistemini durdurmak amacı ile kullanılmaktadırlar emniyet Prosestatı da kazan buhar basıncını ayarlamakta kullanılır.

2.5.13. Alarm Sistemi

Kazan dairelerinde herhangi bir sebepten dolayı sistem arıza ve ya uyarı verdiğinde sesli ve ışıklı şekilde alarm veren sistemlerdir. Işıklı alarm sistemlerinde kırmızı renk arıza, sarı renk ikaz anlamına gelmektedir.

2.5.14. Kondenstop

Kondenstoplar, buhar sistemlerinde oluşan yoğuşmanın dışarı atılmasında kullanılan bir tesisat elemanıdır. Buhar kullanılan cihazların sonrasında ya da buhar hatlarının drenaj noktalarında kullanılmaktadır. Uygulama farklılıklarına göre farklı türlerde kondenstoplar geliştirilmiştir. Kondenstop ’un en kritik ve önemli olan özelliği buhar ile kondensi birbirinden ayırabilmekte olmasıdır. Farklı türdeki kondenstoplar; buharı, havayı ve kondensi ayırabilmek için farklı çalışma prensibi ve farklı mekanizmalara sahiptirler. Kondenstoplar, çalışma prensiplerine göre sınıflandırıldıklarında avantajlarının ve dezavantajların olduğu görülecektir. Bu sebeple kondenstop seçimlerinde, kondenstopların özelliklerin dikkate alınması önemlidir.

2.5.14.1. Termodinamik Kondenstop

Termodinamik prensiple çalışmaktadır. Ana buhar hatlarında kullanılan en ideal kondenstoptur. Kondensi aralıklarla boşaltmaktadır. Kesintilerin aralıklarını, kondens yük ve ortam sıcaklığına bağlı olarak ayarlamaktadır. Komple paslanmaz çelik olmasından dolayı korozyona karşı oldukça dayanaklıdır.

2.5.14.2. Şamandıralı Kondenstop

Yoğunluk farkı prensibiyle çalışmaktadır. Yük değişimine uyumludur. Kondens oluşması ile birlikte, kesintisiz bir şekilde kondensi boşaltır. Kondenstop ’un içinde özel bir termostatik hava tahliyesi elemanı bulunmaktadır. Buhar sıcaklığında bulunan kondensi tahliye etmekle birlikte, havayı da en iyi şekilde tahliye eden kondenstop çeşitidir.

2.5.14.3. Ters Kovalı Kondenstop

Yoğunluk farkıyla çalışmakta olan, mekanik bir kondenstop çeşitidir. Kondenstop ‘un içinde ters konumda bir kova bulunmaktadır. Ters kovalı kondenstoplar, oluşan kondensi aralıklar ile fakat devamlı bir şekilde tahliye etmektedirler. Buhar sıcaklığında bulunan

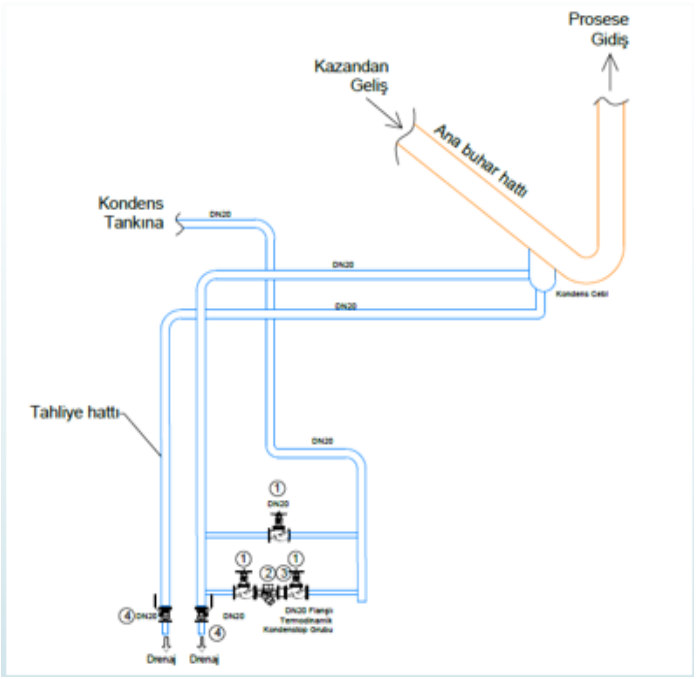
kondensi tahliye ettikleri için, kondenstop ’un girişinde Kondens birikmesi oluşmaz. Ayrıca hava tahliyeleri zayıf kondenstop çeşitlerindendir.

2.5.14.4. Termostatik Kondenstop

Sıcaklık farkıyla çalışmaktadırlar. Kondenstop ‘un içinde basınç dengeli bir körük mevcuttur. Bu sebeple termostatik kondenstop çeşitleri havayı iyi tahliye ederler. Fakat oluşan kondensin tamamını tahliye edemezler. Kapsül yapısına göre belirli bir sıcaklığın altında bulunan Kondens sistemde kalır.

2.5.14.5. Bimetalik Kondenstop

Sıcaklık farkıyla çalışmaktadırlar. İçerisinde genleşme katsayıları farklı olan iki adet metal mevcuttur. Karşı basınç, Kondens tahliye sıcaklığını etkiler. Buhar sıcaklığının 10-25°C altındaki kondensi tahliye ederler. Belirli bir sıcaklığın üzerindeki Kondens sistemde kalmaktadır. Tesiste üretim hatlarında toplamda 13 adet kondenstop grubu bulunmaktadır. Kondens grup şeması şekil 2.9 da gösterilmiş olup şekil 2.10 da ise Kondens çeşitleri gösterilmiştir. Ayrıca kondenstop gruplarında termodinamik kondenstop tercih edilmiştir.



Şekil 2. 9. Kondenstop grup şeması



Şekil 2. 10. Kondenstop türleri

3. ENERJİ GERİ KAZANIMI

Türkiye'nin büyümekte olan ekonomisine, artan nüfusuna, değişmekte olan sosyoekonomik yapısına ve artan üretim kapasitesine paralel olarak enerji ihtiyacı da gün geçtikçe artmaktadır. Artmakta olan enerji ihtiyacına karşılık, üretilmekte olan enerji miktarının aynı seviyede artırılamaması, enerjide açık yaratmakta ve dış güçlere bağımlılık oluşturmaktadır. Enerji arz güvenliğinin sağlanmasında %73'ler seviyesinde olan dışa bağımlılık oranımızın ve bundan kaynaklanan risklerin azaltılmasında ve iklim değişikliği ile mücadelenin etkinliğinin artırılmasında, enerjinin üretiminden kullanımına kadar olan süreçte israfın önlenmesi, enerji geri kazanımı ve enerji verimliliği büyük bir önem taşımaktadır. Ülkemize sektörel olarak baktığımızda verimlilik açısından bina sektöründe % 30, sanayi sektöründe % 20 ve ulaşım sektöründe % 15 seviyelerinde çok önemli düzeylerde enerji tasarrufu potansiyeli olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'de sanayi sektöründe %20 seviyelerinde olan enerji tasarruf potansiyelinin iki yıldan daha az bir amortisman süresine sahip olduğu tespit edilmiştir. Enerji verimliliği, binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasıdır.

Dünyanın enerji kaynaklarının sınırlı olduğu ve sürdürülebilir bir gelecek için enerjinin verimli kullanımının gerekli olduğu gerçeği kamuoyu tarafından giderek daha fazla anlaşılmakta ve hükümetleri enerji politikalarını tekrardan gözden geçirmeye ve enerji israfının önüne geçmeye sevk etmektedir. Bu fenomen, bilim camiasını enerji dönüştürme araçlarını yeniden değerlendirmeye ve mevcut sınırlı enerji kaynaklarından daha fazlasını elde etmek için yeni yaklaşımlar geliştirmeye sevk etti. (Çengel ve Boles, 1996).

Bu sebeple 20. yüzyılın ikinci yarısında alternatif enerji kaynaklarının araştırılması ve mevcut enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması çalışmaları yoğun bir şekilde artmıştır. (Ertesvag, 2005).

Buhar, steril ve çok iyi bir ısı taşıyıcısı olması nedeniyle, endüstriyel alanda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Buharlı sistemlerde enerji geri kazanımı önemli ekonomik faydalar sağlarken, aynı zamanda çevre kirliliğini de önlemektedir. Buharlı sistemlerde enerji geri kazanımı, kazan besi suyu sıcaklığının artırılması, brülör yakma havasının ısıtılması, kazan içi ve borularda kireç oluşumunun önlenmesi, otomatik blöf

sistemi kurulması, kondensten flaş buhar üretimi, vb. gibi yöntemlerle sağlanabilmektedir. Dünyada ki birçok endüstriyel üretim tesisine ait enerji tüketiminin dörtte birine yakınının atmosfere atılan ısıyla ve gazla birlikte kaybolduğu varsayımı üzerinde durulmaktadır. Fazlaca miktarda olan bu kayıpların tekrardan geri kazanımı geri kazanım sistemlerinin kullanımı ile mümkündür. Geri kazanım sistemleri endüstriyel tesis ve işletmelerin enerji ihtiyaçlarına ayırdıkları payı azaltmakla birlikte, hem çevreye vermekte oldukları zararları düşürmekte hem de enerjinin en verimli şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Örneğin; endüstriyel bir kazan işletme tesisinde verim %75 civarındadır. Buda göstermektedir ki yaklaşık %25 civarında bir enerji kaybı yaşanmaktadır. Ayrıca buhar kazanında üretilmekte olan enerjinin yaklaşık olarak %20'ye yakını atık ısı olarak baca gazları ile birlikte sistemden atılmaktadır. Kayıp oranının bu kadar yüksek olması, enerji geri kazanım sistemlerinin baca gazları için önemini çok net bir şekilde göstermektedir.

3.1. Ekonomizer İle Enerji Geri Kazanımı

Ekonomizerler, baca gazının atık ısısından yararlanarak buhar kazanlarında besi suyunun ısıtılmasında ve sıcak su kazanlarında sıcak su ve sistem suyunun ısıtılmasında yakıt ekonomisi sağlayan ve kazan verimini artıran cihazlardır. Ekonomizer, sıvıları önceden ısıtmak ve enerji tüketimini azaltarak enerji tasarrufu yapmak için kullanılan bir sistemdeki bir uygulamadır. Atık ısı veya atık gaz üretim sistemlerinde ekonomizerlerin kullanılması, yüksek kalorifik değerli atık sıvıların veya atık gazların enerjisini geri kazanabilir. Ekonomizer uygulamaları, ilk yatırım maliyetini kısa sürede amorti edebildiği için oldukça popülerdir. Ekonomizerler, kazandan çıkan veya bacaya aktarılan baca gazındaki ısının bir miktarını kendi içinde dolaşan suya vererek geri kazanımı sağlamak için kullanırlar. Geri kazanılan ısı, tesis içinde ısıtma, sıcak su kullanımı ve kazan geri beslemesi için kullanılabilir. Ekonomizer kullanılarak yakalanacak olan geri kazanımın ısısının büyüklüğü eksoz gazının çıkış sıcaklığıyla doğru orantılıdır. Ekonomizerlerde giren ve eksoz edilen gazların arasındaki sıcaklık farkı arttıkça geri kazanım sağlanan ısı ve bu ısıya ait verim değeri de aynı oranda artmaktadır. Ekonomizerlerde baca gazı sıcaklığının kuru işletme şartlarına düşürülmesi halinde kazanlarda % 3 ile % 4 verim artışı sağlamaktadır. Ekonomizer sistemin kapasitesine,

çalışma süresine ve kullanım amacına göre 3 - 6 ay gibi kısa sürede yatırım maliyetini amorti etmektedir (Aydın, 2017; Eriksen, 2017).

Spirax Sarco tarafından yapılan bir araştırmada kazan sistemi için ekonomizer kullanımında, baca gazı sıcaklığının her 5°C azaltılması için verimliliği %1 artırabileceği gösterilmiştir. Sistemin amortisman süresinin 2 yıldan az olacağı ve yakıt tüketiminin %5-10 oranında azaltılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca tesiste kullanılan Erensan marka ekonomizerlerin de firmanın taahhüt ettiği verilere göre %91'e varan kazan veriminin, ekonomizerli uygulamalarda %95'e vardığı ve dönüş suyu sıcaklığına bağlı olarak kazan verimini %3 - %4 arasında artırdığı belirlenmiştir.

3.1.1. Ekonomizer Çalışma Mantığı Ve Faydaları

Tesiste bulunan iki adet (ESB850 ve ESB1000) kazanların su seviyeleri ayarlanan set değerlerine göre seviye sensörleri aracılığı ile kontrol edilmektedir. Seviyeler set değerinin altına düştüğü zaman üç yollu vana otomatik olarak degazör tankında bulunan su ile kazanları beslemektedir. Degazör tankında 102°C ile 105°C sıcaklığı arasında bulunan su kazana beslenmeden önce ekonomizerden geçerek brülörün yüzde kaç yükte çalıştığına da bağlı olarak 115°C ile 130°C arasında bir sıcaklığa ulaşmasını sağlamaktadır. Kapalı çevrim bir sistem olan bu çalışma mantığı kazan seviyeleri dolduğu zaman yine üç yollu vana ile su degazör tankına geri çevrilir. Hem su sıcaklığını arttırmış olurken hem de atmosfere atılan duman çıkış sıcaklığını da düşürerek ısıl kirliliğin önüne geçilmektedir. Tesiste de kullanılan ekonomizer Erensan firmasının sağlamış olduğu verilere ve dönüş suyu sıcaklığına bağlı olarak kazan verimini %3 - %4 arasında arttırmaktadır.

3.1.2. Ekonomizerin Kazanç Maliyet Hesabı

Tesiste de kullanılan iki adet (ESB850 ve ESB1000) kazanların aylık ortalama doğalgaz tüketim miktarı aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. Ekonomizer kullanıldığı zaman %3 - %4 verim arttığı göz önüne alınarak, %3 verim üzerinden hesaplama yapıldığında doğalgaz Sm3 değeri düşmektedir ve üretilen buhar ton miktarı göz önüne alınarak yapılan hesaplama sonucu aylık 6345 $ kazanç sağlandığı tabloda gösterilmektedir. Dolar kuru 2022 yılının nisan ayına göre 14,7 tl olarak alınmıştır. Buhar maliyet hesabı şu şekilde yapılmaktadır;

Tablo 3.1. Üretim, tüketim ve birim maliyet tablosu

Ekonomizersiz tüketim miktarı (Sm^3)	Ekonomizerli tüketim miktarı (Sm^3)	Buhar üretim miktarı (ton)	Doğalgaz birim maliyeti ($)
274.709	266.468	4.095	0,77

$X_e = \frac{T_e}{B} = \frac{266.468 Sm^3}{4095 ton} = 65{,}07 Sm^3/Ton$ (3.1)

$X = \frac{T}{B} = \frac{274.709 Sm^3}{4095 ton} = 67{,}08 Sm^3/Ton$ (3.2)

$M_e = T_e$ x Birim fiyat = $266.468 Sm^3$ x 0,77$ = 205.180 $ (3.3)

M= T x Birim fiyat = $274.709 Sm^3$ x 0,77$ = 211.525 $ (3.4)

$A = M_e - M$ = 211.525$ – 205.180$ = 6345 $ (3.5)

Bu durumda ekonomizer kullanımı ile aylık 6.345 $/ay kazanç elde edilmektedir.

Bu hesaplamayı temel ısı formülü üzerinden hesaplayarak da sağlamasını yapabiliriz. Bu işlem için;

$Q = m.C.\Delta t$ (3.6)

$Q = 4{,}2 \text{ x } \left(140 \frac{m^3}{h} \text{x} \frac{1000}{3600}\right) \text{ x } (120{,}6 °C - 103{,}1 °C)$ (3.7)

$Q = 2.858$ kWh

1 Sm^3 doğalgazın enerji değeri 10,64 kWh olduğuna göre;

$\frac{2.858 kWh}{10{,}64 kWh} = 268{,}6 Sm^3$ doğalgaz yapmaktadır.

1 Sm^3 doğalgazın birim maliyeti 0,77$ olduğuna göre;

$268{,}6 Sm^3$ x 0,77$ = 206,822 $ günlük kazanç elde edildiği görülmektedir.

Nisan ayı 30 gün olduğu için; $206{,}822\$ \text{ x } 30\text{gün} = 6.204\ \$/\text{ay}$ aylık kazanç elde edildiği görülmektedir. Bu sonuç göz önüne alınarak yorum yapacak olursak ekonomizer kullanımı ile yaklaşık %3 verim elde edildiğini görmüş olmaktayız.

4. EKONOMİZER KULLANIMI İLE KAZANLARDA VERİM HESABI

8 Bar işletme basıncı, 10.000kg/h buhar üretim kapasitesine sahip buhar kazanının verimi kazanların günde 18 saat, bir senede toplam 300 gün ve %75 kapasite ile çalıştığı düşünülerek hesaplandığında ekonomizer kullanıldığı durumda;

$$\eta k = \frac{Dh\ x\ id - Ws\ x\ ts}{Bh1\ x\ Hu} \quad (4.1)$$

$$\eta k1 = \frac{(\ 10.000\ )\ x\ (\ 2257 - 427\ )}{569\ x\ 34.545} \quad (4.2)$$

$$\eta k1 = \%93 \quad (4.3)$$

kazan verimi çıkmaktadır. Ekonomizer kullanılmadığı durumda ise;

$$\eta k2 = \frac{Dh\ x\ id - Ws\ x\ ts}{Bh2\ x\ Hu} \quad (4.4)$$

$$\eta k2 = \frac{(\ 10.000\ )\ x\ (\ 2257 - 427\ )}{587\ x\ 34.545} \quad (4.5)$$

$$\eta k2 = \%90 \quad (4.6)$$

kazan verimi çıkmaktadır. Bu durumda ekonomizer kullanımı ile elde edilen verim;

$$\eta k(Toplam) = \eta k1 - \eta k2 \quad (4.7)$$

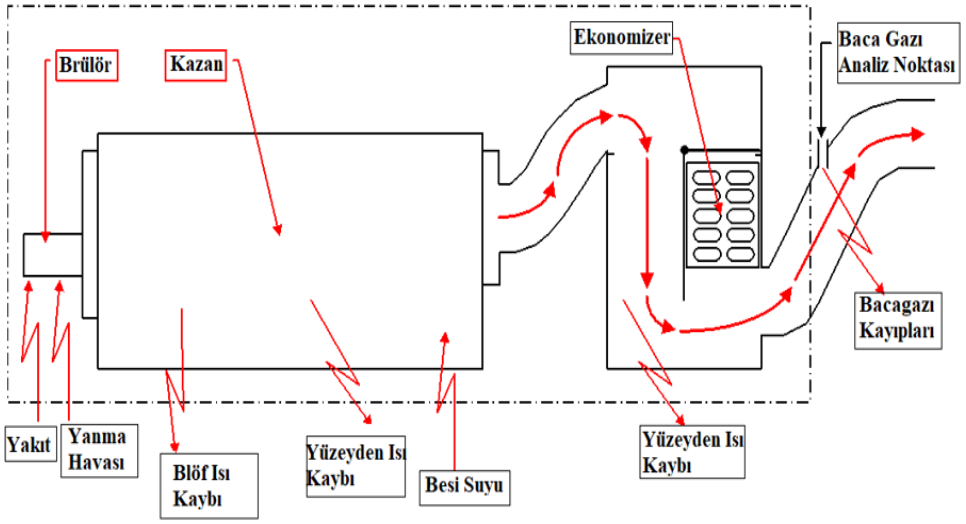
$$\eta k(Toplam) = 93 - 90 \quad (4.8)$$

$$\eta k(Toplam) = \%3 \quad (4.9)$$

olarak bulunmaktadır.

4.1. Ekonomizer Kullanımının Verime Etkisinin Teorik Hesabı

Yakıt cinsi doğalgaz olan kazanın ekonomizer kullanılması durumunda kayıplar göz önüne alınarak veriminin hesaplanması aşağıda gösterilmiştir. Şekil 4.1 de kazan kayıpları, ekonomizer, brülör vs. şema gösterilmiştir. Ekonomizer kullanımının kazan verimine etkisi hesaplama sonrasında açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.2. Kazan ve kazan kayıpları şeması

Yakıt cinsi doğalgaz olan kazanın ekonomizer kullanılması durumunda kayıplar göz önüne alınarak veriminin hesaplanması aşağıda gösterilmiştir. Şekil 4.1 de ise bu kayıpların ve kazan ekipmanlarının şeması gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Doğalgaz yakıt parametreleri

Karbon (C) % si	Hidrojen (H_2) % si	Kükürt (S) % si	Nem (nem) % si	Oksijen (O_2) % si	Diğerleri % si	Yakıtın Alt Isıl Değeri kCal / Nm3	Yakıt Özgül Ağırlığı Kg / Nm3
73,9 %	24,57 %	0 %	0 %	0 %	1,53 %	8250	0,68

Yakıtın Alt Isıl Değeri = 12.132,35 x 4,186 = 50.786,02 kJ/kg

Yakıtın Üst Isıl Değeri = Yakıtın alt ısıl değeri + (6 x (9 x yakıttaki H_2 % si))

Yakıtın Üst Isıl Değeri = 12.132,35 + (6 x (9 x 24,57))

Yakıtın Üst Isıl Değeri = 13.459,13 kCal / kg = 13.459,13 x 4,186 = 56.339,92 kJ/ kg

Tablo 4.2. Doğalgaz yakıtında bulunan gaz ve sıcaklık değerleri

Oksijen (O_2) Hacimce %	Karbon monoksit (%)	Baca gazı Sıcaklığı °C	Ortam Sıcaklığı °C
3,60	0,0001	93,20	20

4.1.1. Isı Kayıpları

4.1.1.1. Kuru Baca Gazı Yolu İle Isı Kaybı

Yakıt alt ve üst ısıl değerleri göz önüne alınarak formül üzerinden ısı kayıp oranları bulunur.

$$L_{KGB} = \frac{K\ x\ (T_{BG} - T_o)}{CO^2} \text{ x } \frac{Yakıtın\ üst\ ısıl\ değeri}{Yakıtın\ alt\ ısıl\ değeri} \quad (4.10)$$

$$CO_2 = \{\ 1 - (\ \frac{O_2}{21}\ )\ \}\ \text{x}\ CO_{2\ max} \quad (4.11)$$

Yakılan yakıt için $CO_{2\ max}$ değeri 11,74 olarak kabul edilmektedir.

$$CO_2 = \{\ 1 - (\ \frac{4.90}{21}\ )\ \}\ \text{x}\ 11,74 = 9,73 \quad (4.12)$$

$$K = \frac{69,7\ x\ C_{yakıt}\ x\ (yakıt\ alt\ ısıl\ değeri)^2}{(yakıt\ üst\ ısıl\ değeri)^3} \quad (4.13)$$

$$K = \frac{69,7\ x\ 73,90\ x\ (12.132,35)^2}{(13.459,13)^3} \quad (4.14)$$

$$K = \frac{7,58171E+11}{2.4381E+12} = 0.311 \quad (4.15)$$

$$L_{KGB} = \frac{0,311\ x\ (\ 92,20 - 20\ )}{9,73} \text{ x } \frac{13.459,13}{12.132,35} \quad (4.16)$$

L_{KGB} = % 2,60

4.1.1.2. Baca Gazında Bulunan Nem İle Isı Kaybı

$$L_{NBG} = \frac{(\ 9\ x\ (\ H_{yakıt}\ )\ x\ (\ 50 - T_o + (\ 0,50\ x\ T_{BG}\ )\ )}{Yakıt\ üst\ ısıl\ değeri}\ x\ \frac{Yakıtın\ üst\ ısıl\ değeri}{Yakıtın\ alt\ ısıl\ değeri} \quad (4.17)$$

$$L_{NBG} = \frac{(\ 9\ x\ (\ 24,57\ )\ x\ (\ 50 - 20 + (\ 0,50\ x\ 93,20\ )\ )}{13.459,13}\ x\ \frac{13.459,13}{12.132,35} \quad (4.18)$$

$$L_{NBG} = \frac{16.938,56}{13.459,13}\ x\ \frac{13.459,13}{12.132,35} \quad (4.19)$$

L_{NBG} = % 1,4

Olarak bulunur.

4.1.1.3. Baca Gazındaki Yanmamış Karbonmonoksit Nedeni İle Isı Kaybı

$$L_{COBG} = \frac{K\ x\ CO_{bacagazı}}{CO^2 + CO_{bacagazı}}\ x\ \frac{Yakıtın\ üst\ ısıl\ değeri}{Yakıtın\ alt\ ısıl\ değeri} \quad (4.20)$$

Doğalgaz için K değeri 32 olarak kabul edilmektedir.

$$L_{COBG} = \frac{32\ x\ 1E{-}04}{9{,}73 + 1E{-}04}\ x\ \frac{13.459{,}13}{12.132{,}35} \quad (4.21)$$

L_{COBG} = % 3,17

4.1.1.4. Blöf Nedeni İle Isı Kaybı

$$L_B = \frac{(T_B - T_{H2O})\ x\ BM\ x\ (100-L)}{((T_B - T_{H2O})\ x\ BM) + ((100-BM)\ x\ (660 - T_{H2O}))}\ x\ \frac{Yakıtın\ üst\ ısıl\ değeri}{Yakıtın\ alt\ ısıl\ değeri} \quad (4.22)$$

$$BM = \frac{Besi\ suyu\ iletkenliği}{Kazan\ suyu\ iletkenliği}\ \text{x}\ 100 \quad (4.23)$$

$$BM = \frac{23}{1000}\ \text{x}\ 100 = \%2{,}3 \quad (4.24)$$

Blöf miktarı, sıcaklık değerleri vs. değerleri göz önüne alınarak ısı kaybı oranı bulunur.

$$L_B = \frac{(152 - 20)\ x\ 2{,}3\ x\ (100-7{,}17)}{((151{,}8 - 20)\ x\ 3{,}5) + ((100-3{,}49)\ x\ (660 - 20))}\ x\ \frac{13.459{,}13}{12.132{,}35} \quad (4.25)$$

$L_B = \frac{28.132{,}188}{62.228{,}66}$ = % 0,45

4.1.1.5. Isı Kayıpları Toplamı

$$L_{Toplam} = L_{KBG} + L_{NBG} + L_{COBG} + L_B \quad (4.26)$$

L_{Toplam} = 2,6 + 1,4 + 3,17 + 0,45

L_{Toplam} = 7,62

4.1.2. Kazan Verimi

$$Verim = 100 - L_{Toplam} \quad (4.27)$$

Verim = 100 – 7,62 = % 92,4 olarak hesaplanmaktadır.

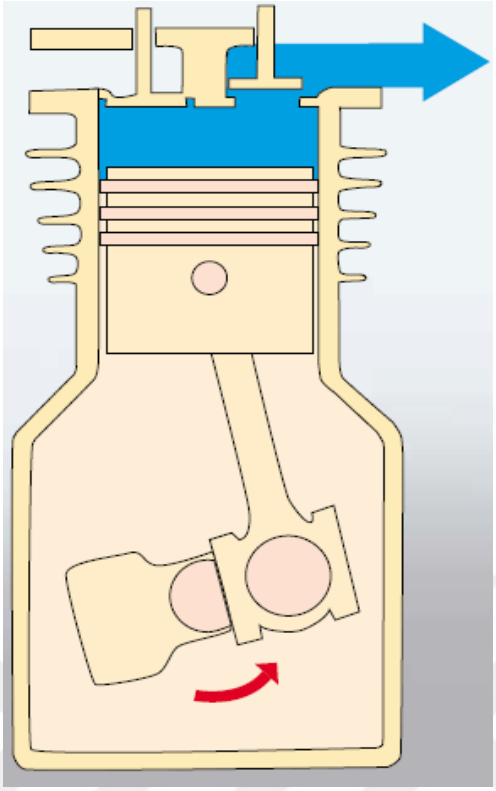
5. KOMPRESÖR VE EŞANJÖR SİSTEMİ İLE ENERJİ GERİ KAZANIMI

5.1. Kompresörler Türleri

Havanın (veya gazın) sıkıştırılmasının iki genel prensibi vardır. Bunlar pozitif deplasmanlı sıkıştırma ve dinamik sıkıştırma olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Pozitif deplasmanlı kompresörler, örneğin bunlar pistonlu kompresörler olabilir, orbital (scroll) kompresörler ve farklı türdeki döner kompresörleri (vida, diş, kanatçık) içermektedir. Pozitif deplasmanlı sıkıştırmada, hava bir veya daha fazla sıkıştırma odasına çekilir ve daha sonra girişten kapatılır. Her odanın hacmi kademeli olarak azalır ve hava dâhili olarak sıkıştırılır. Bu çalışma prensibi göz önüne alınarak düşünüldüğü zaman basınç, tasarlanan dâhili basınç oranına ulaştığında, bir port veya valf açılır ve sıkıştırma odasının hacminin sürekli azalması nedeniyle hava çıkış sistemine boşaltılır. Dinamik sıkıştırmada hava, hızlı bir şekilde dönen sıkıştırma pervanesi üzerindeki kanatlar arasında çekilir ve yüksek hıza çıkar. Yüksek hıza ulaşan hava daha sonrasında gaz, kinetik enerjinin statik basınca dönüştürüldüğü bir difüzör aracılığıyla boşaltılır. Bu kompresörlerin çoğu dinamik kompresör, eksenel kompresörler veya radyal akış düzenine sahip turbo kompresörlerdir. Bahsi geçmekte olan bu kompresörlerin tümü büyük hacimli akış hızları için tasarlanmıştır.(Atlas Copco compressed aır manual, 2015)

5.1.1. Pozitif Yer Değiştirmeli Kompresörler

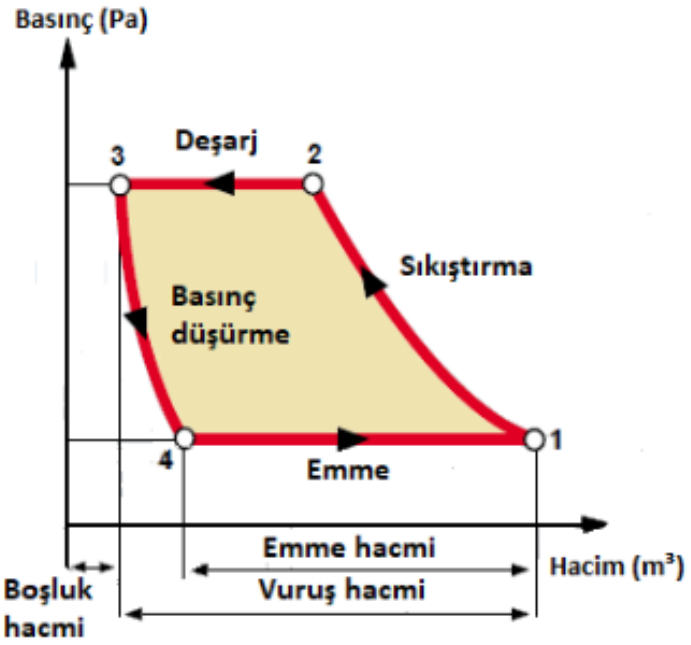
Pozitif yer değiştirmeli kompresörlere bir örnek verecek olursak bisiklet pompası, havanın silindire çekildiği ve hareket eden bir piston tarafından sıkıştırıldığı pozitif deplasmanlı kompresörün en basit biçimidir. Piston kompresörü aynı çalışma prensibine sahiptir ve ileri ve geri hareketi bir biyel kolu ve dönen krank mili ile elde edilen bir piston kullanır. Şekil 5.1 de tek kademeli, tek etkili pistonlu kompresörün kesiti gösterilmiştir. Pistonun sadece bir tarafı sıkıştırma için kullanılıyorsa, buna tek etkili pistonlu kompresör denir. Pistonun hem üst hem de alt tarafı kullanılırsa, kompresör çift etkili pistonlu kompresör olur. Çift etkili ve tek etkili kompresörün farkı bu şekilde anlaşılmaktadır. Basınç oranı, giriş ve çıkış taraflarındaki mutlak basınç arasındaki ilişkidir. Özel olarak çalışması görülmek istenen bir kompresör atmosfer basıncında 1 bar(A) hava çeken ve 7 bar'a kadar basınç çekerek çalıştırılan bir kompresör (7+1)/1=8 basınç oranında çalışır.



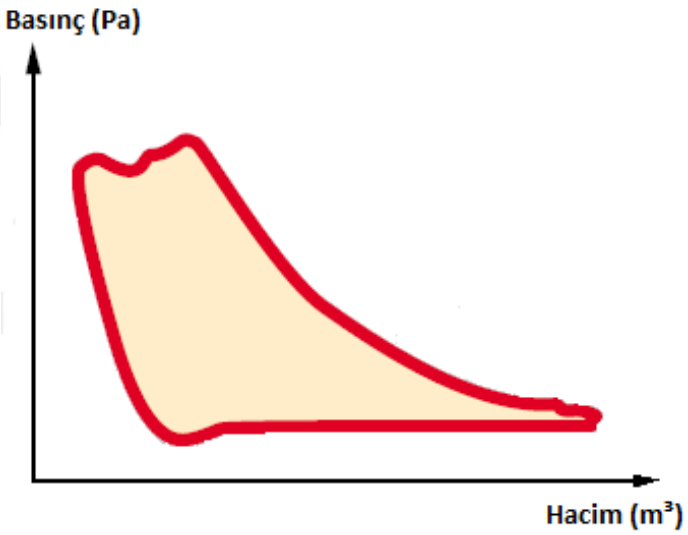
Şekil 5.3. Tek kademeli, tek etkili pistonlu kompresör kesiti

5.1.2. Pozitif Deplasmanlı Kompresörler

Pozitif deplasmanlı kompresörler için şekil 5.2'de teorik bir kompresör için basınç ve hacim arasındaki ilişki gösterilmektedir ve şekil 5.3'de ise bir piston kompresörü için daha gerçekçi bir kompresör şeması gösterilmektedir. Strok hacmi, emme aşamasında pistonun hareket ettiği silindir hacmine göre olur. Boşluk hacmi, mekanik nedenlerden dolayı pistonun üst dönüş noktasında kalması gereken emme valflerinin ve çıkış valflerinin hemen altında ve pistonun üzerinde bulunan hacimdir. Açma ve kapama hacmi ile emme hacmi arasındaki fark, emme başlamadan önce aralık hacminde kalan havanın genleşmesinden kaynaklanır. Teorik p/V şeması ile gerçek şema arasındaki fark, bir kompresörün, örneğin bir piston kompresörünün pratik tasarımından kaynaklanmaktadır. Valfler hiçbir zaman tamamen sızdırmaz değildir ve piston eteği ile silindir duvarı arasında her zaman bir sızıntı vardır. Valfler minimum gecikme olmadan tam olarak açılıp kapanmaz ve bu da gazın kanallardan geçişi esnasında basınç düşmesine neden olmaktadır. Bu tasarım sonucunda, silindire akarken de gaz ısıtılır. Böylelikle gazın kanallardan geçişi sırasında yaşanan basınç düşüşünün önüne geçilmeye çalışılmaktadır.



Şekil 5.4. Pistonlu kompresör çalışma diyagramı



Şekil 5.5. Pistonlu kompresör için p/V diyagramı

Sıkıştırma, izotermal sıkıştırma ile çalışır:

$$W=P_1 \times V_1 \times \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (5.1)$$

Sıkıştırma, isen tropik sıkıştırma ile çalışır:

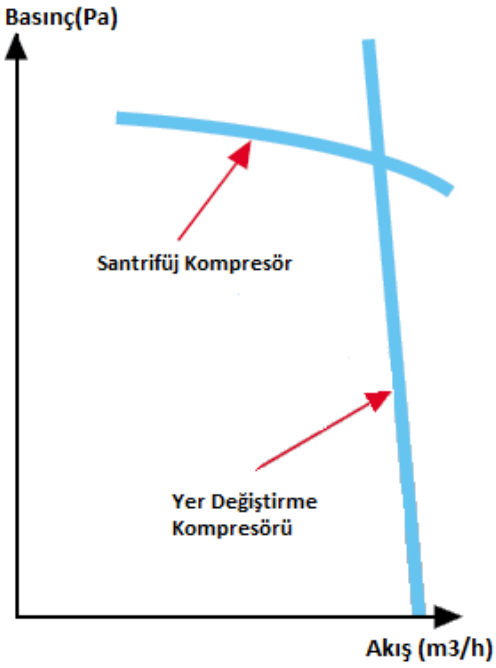
$$W=\frac{K}{K-1} \times (P_2V_2 - P_1V_1) \quad (5.2)$$

$$K \approx 1,3 – 1,4 \quad (5.3)$$

Bu ilişkiler, izotermal sıkıştırmaya göre isentroik sıkıştırma için daha fazla çalışma gerektiğini gösterir.

5.1.3. Dinamik Kompresörler

Dinamik bir kompresörde, gaz akışı sırasında basınç artışı gerçekleşir. Akan gaz, bir pervane üzerindeki döner bıçaklarla yüksek hıza çıkar. Çalışma esnasında difüzörün genleşme sırasında yavaşlamaya zorlandığında, gazın hızı daha sonra statik basınca dönüştürülür. Kullanılan gaz akışının ana yönüne bağlı olarak bu kompresörlere radyal veya eksenel kompresörler denir. Deplasmanlı kompresörlerle karşılaştırıldığında dinamik kompresörler, deplasmanlı kompresörlere göre çalışma basıncındaki küçük bir değişikliğin akış hızında büyük bir değişmeye yol açtığı bir özelliğe sahiptir. Şekil 5.4. görüldüğü gibi her pervane hızının bir üst ve alt akış hızı sınırı vardır. Üst sınır, gaz akış hızının sonik hıza ulaştığı anlamına gelmektedir. Alt sınır, karşı basıncın kompresörün basınç oluşmasından daha büyük olduğu anlamına gelmektedir. Bu da bize şunu net bir şekilde göstermektedir ki bu basınç kompresör içindeki geri dönüş akışı anlamına gelir. Bunun sonucunda titreşim, gürültü ve mekanik hasar riski ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu risk istenmeyen bir durum yaratmaktadır.



Şekil 5.6. Dinamik kompresör merkezkaç yük eğrisi

5.2. Kompresör ve Yardımcı Ekipmanlar

5.2.1. Deplasmanlı Kompresörler

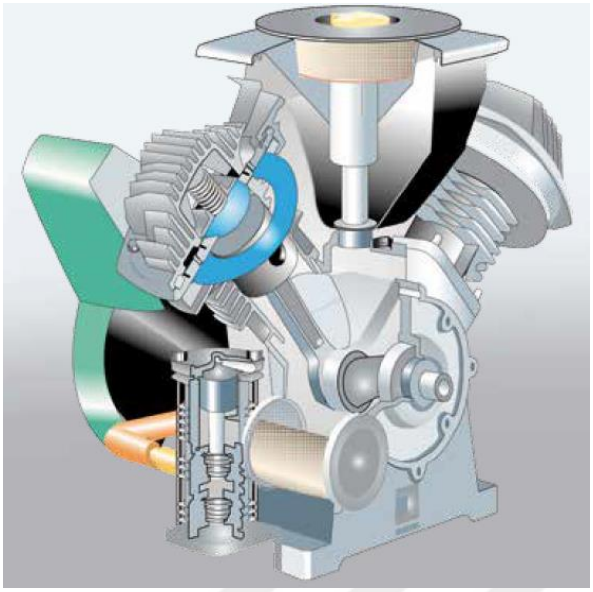
Deplasmanlı kompresör çalışma mantığına bakıldığı zaman bir gaz veya hava hacmini çevreler ve ardından bir veya daha fazla hareketli elemana ait yer değiştirme yoluyla kapalı hacmi azaltarak basıncı artırır.

5.2.2. Pistonlu Kompresörler

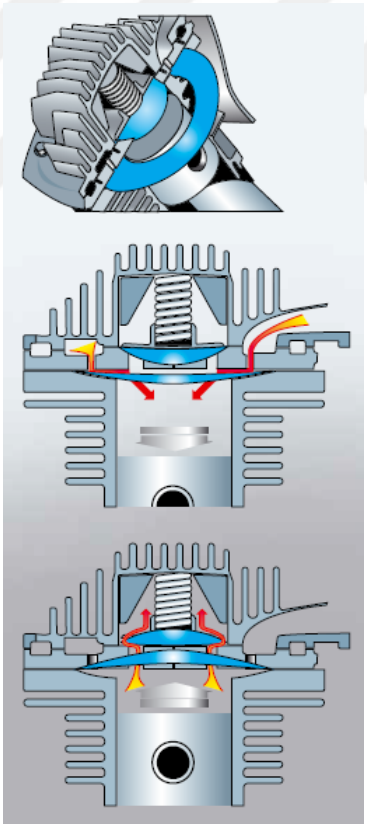
Piston kompresörü, tüm endüstriyel kompresörlerin en eski ve en yaygın olanıdır. Farklı yapılandırmalarda çeşitli silindir sayılarına sahip tek hareketli veya çift hareketli, yağlı veya yağsız modeller mevcuttur. Dikey silindirlere sahip çok küçük kompresörler dışında, V konfigürasyonu küçük kompresörler için en yaygın olanıdır. Çift etkili büyük kompresörlerde, dikey düşük basınçlı silindir ve yatay yüksek basınçlı silindir ile L konfigürasyonu büyük avantajlar sağlar ve en yaygın tasarım haline gelmiştir. Yağlı kompresörler normalde sıçratarak yağlama veya basınçlı yağlama ile çalışır. Çoğu kompresörde kendinden hareketli valfler bulunur. Bir kendinden hareketli valf, valf diskinin her iki tarafındaki basınç farklarının etkisiyle açılır ve kapanır.

5.2.3. Yağsız Pistonlu Kompresörler

Yağsız pistonlu kompresörlerde PTFE veya karbondan yapılmış piston halkaları bulunur ve alternatif olarak piston ve silindir duvarı labirent kompresörlerde olduğu gibi profilli (dişli) hale gelebilir. Daha büyük makinelerde piston pimlerinde çapraz kafa ve contalar ve yağın karterden sıkıştırma odasına aktarılmasını önlemek için havalandırmalı bir ara parça bulunur. Daha küçük kompresörlerde ise genellikle kalıcı olarak sızdırmaz yataklara sahip bir karter bulunur. Şekil 5.5 de pistonlu kompresör, Şekil 5.6 da ise iki parçalı valf sistemli pistonlu kompresörün hareket mantığı gösterilmiştir. İki paslanmaz çelik valf diskinden oluşan valf sistemine sahip piston kompresörleridir. Piston aşağı doğru hareket edip silindire hava çektiğinde, en büyük disk esneyerek aşağıya doğru katlanarak havanın geçmesini sağlar. Piston yukarı doğru hareket ettiğinde, büyük disk yukarı katlanır ve koltuğa karşı sızdırmazlık sağlar. Daha sonrasında ise küçük olan diskin flexi işlevi, basınçlı havanın valf oturağındaki delikten geçmeye zorlanabilmesini sağlar.



Şekil 5.7. Pistonlu kompresör

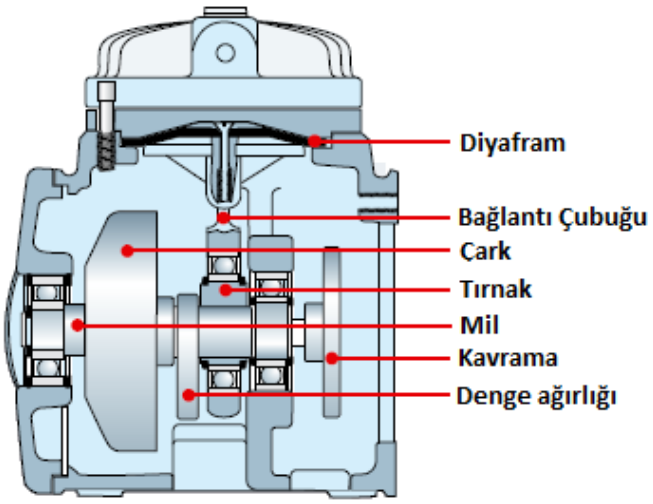


Şekil 5.8. İki parçalı, valf sistemli pistonlu kompresör

5.2.4. Diyaframlı Kompresör

Diyaframlı kompresörler diğer kompresörlere göre başka bir grup oluşturur. Diyaframı kompresörlerin diyaframı mekanik veya hidrolik olarak çalıştırılır. Mekanik diyaframlı

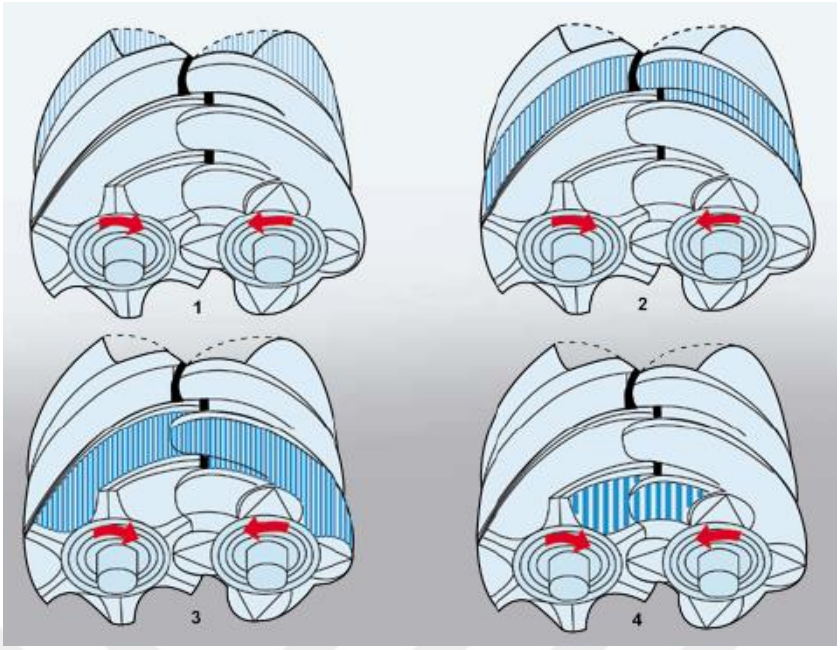
kompresörler küçük bir akış ve düşük basınç ile veya vakum pompaları olarak kullanılır. Hidrolik diyaframlı kompresörler yüksek basınç uygulamaları için kullanılır. Şekil 5.7 de Mekanik diyaframlı kompresörü oluşturan parçalar ve geleneksel bir krank mili ile bir bağlantı çubuğu aracılığıyla diyaframa karşılıklı hareketi aktardığı bir kompresörü göstermektedir.



Şekil 5. 9. Mekanik diyaframlı kompresör

5.2.5. Çift Vidalı Kompresörler

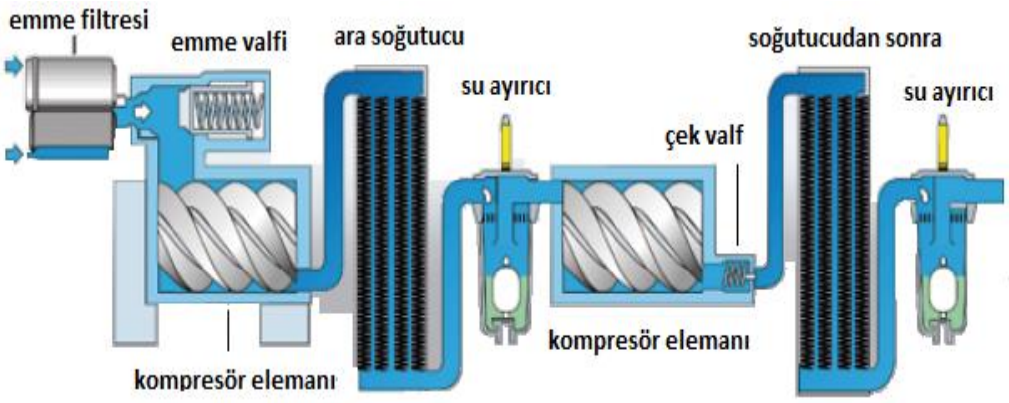
Çift vidalı formda dönen deplasmanlı kompresör prensibi, yüksek akış hızına ve değişken basınç koşullarında dengeli akışa sahip bir dönen kompresör ihtiyacı oluştuğu 1930 yıllarında geliştirilmiştir. İkiz vida elemanının ana parçaları, aralarında hacim azalırken ters yönde dönen erkek ve dişi rotorlardan oluşmaktadır. Her vida elemanının uzunluğu, vida adımı ve boşaltma portu şekline bağlı olan sabit, dâhili basınç oranı vardır. Maksimum verimliliğe ulaşmak için ise basınç oluşturma oranı gerekli çalışma basıncına göre ayarlanmalıdır. Vidalı kompresörde genellikle valfler bulunmaz ve dengesizliğe neden olan mekanik kuvvetler mevcut değildir. Bu da yüksek bir mil hızında çalışabileceği ve büyük bir akış hızını küçük dış boyutlarla birleştirebileceği anlamına gelmektedir. Giriş ve çıkış arasındaki basınç farkına bağlı olarak eksenel etki kuvveti yataklar tarafından aşılmalıdır. Şekil 5.8'de çift vidalı kompresördeki sıkıştırmayı ve çalışma mantığını göstermektedir. Birinci adımda rotorlar arasındaki boşluğa hava dolar, ikinci adımda kapalı alan azalırken, üçüncü ve dördüncü adımda ise kapalı alan kademeli olarak daha fazla azalır ve basınç artar.



Şekil 5. 10. Çift vidalı kompresördeki sıkıştırma mantığı

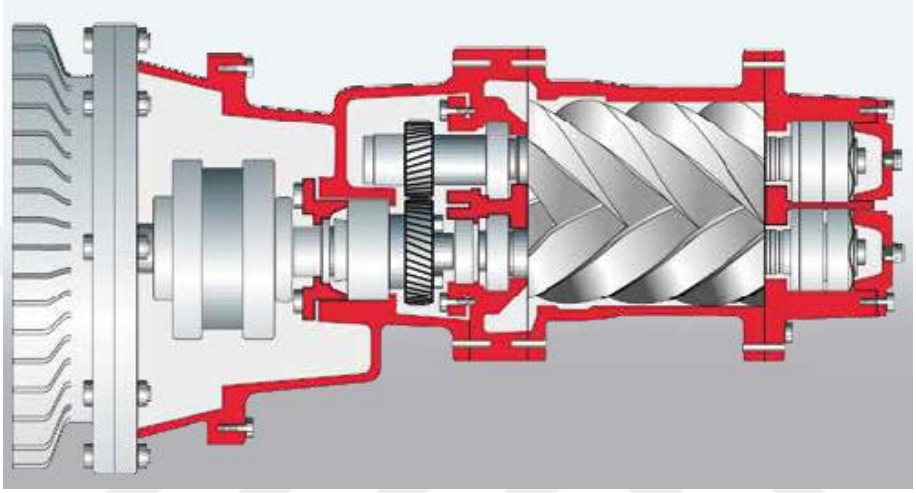
5.2.5.1. Yağsız Vidalı Kompresörler

İlk ikiz vidalı kompresörlerin simetrik rotor profili vardı ve sıkıştırma bölmesinin içinde herhangi bir soğutma sıvısı kullanmadı. Bunlara yağsız veya kuru vidalı kompresörler adı verilir. Modern, yüksek hızlı, yağsız vidalı kompresörler asimetrik vida profillerine sahiptir ve böylece iç sızıntıların azalması sayesinde enerji verimliliği önemli ölçüde artar. Harici dişliler genellikle karşı dönüşlü rotorların konumunu senkronize etmek için kullanılır. Rotorlar birbirleriyle ya da kompresör muhafazasıyla temas etmedikçe sıkıştırma odasının içinde yağlama yapılması gerekmez. Sonuç olarak, basınçlı hava tamamen yağsız olur. Şekil 5.9 da bu prensibin akış şeması gösterilmiştir.

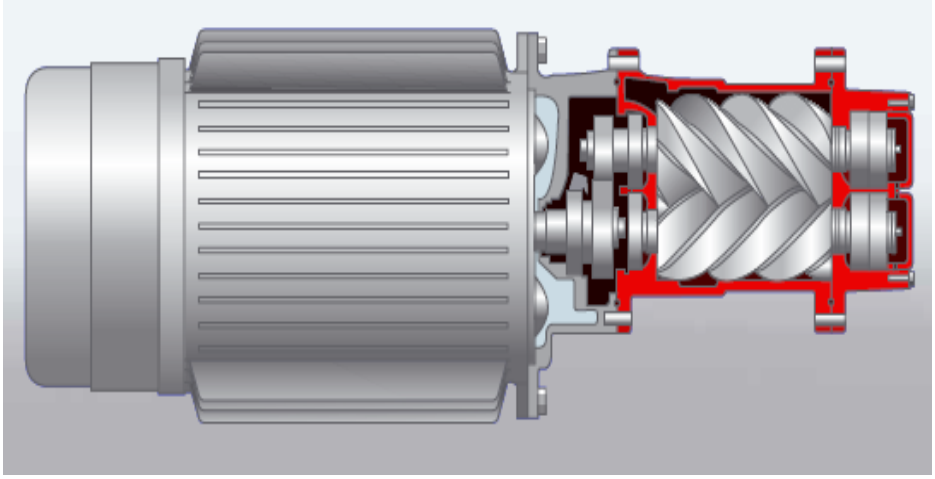


Şekil 5. 11. Yağsız vidalı kompresör akış şeması.

Rotorlar ve muhafaza, basınç tarafından girişe sızıntıyı en aza indirmek için son derece hassas bir şekilde üretilmiştir. Dâhili basınç oranı, giriş ile deşarj arasındaki sıcaklık farkı sınırlamasıyla sınırlanır. Bu nedenle, yağsız vidalı kompresörler daha yüksek basınçlara ulaşmak için sık sık çeşitli aşamalar ve ara aşamalar soğutma ile üretilmektedir. Şekil 5.10 ve 5.11 da tipik yağlı vidalı kompresör ve tahrik ünitesi ile modern entegre tahrikli yağlı vidalı kompresör gösterilmektedir.



Şekil 5. 12. Tipik yağla yağlanan vidalı kompresör elemanı ve tahriki

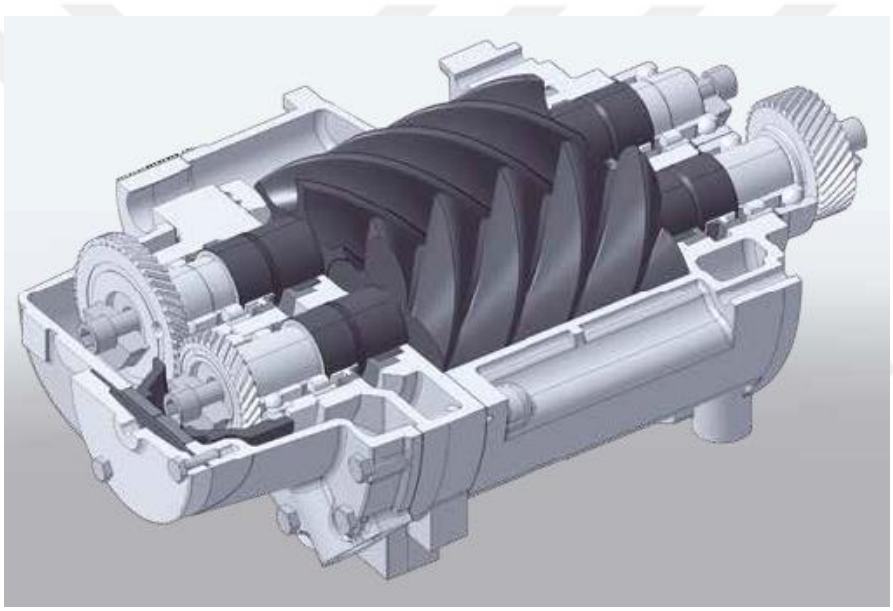


Şekil 5. 13. Modern bir entegre tahrikli yağla yağlanan vidalı kompresör

5.2.5.2. Sıvı Enjeksiyonlu Vidalı Kompresörler

Sıvı enjeksiyonlu vidalı kompresörlerde, sıkıştırma odasına ve genellikle kompresör yataklarına bir sıvı enjekte edilir. Enjekte edilen bu sıvının işlevi, kompresör elemanının hareketli parçalarını soğutmak ve yağlamak, sıkıştırılan havayı dâhili olarak soğutmak ve

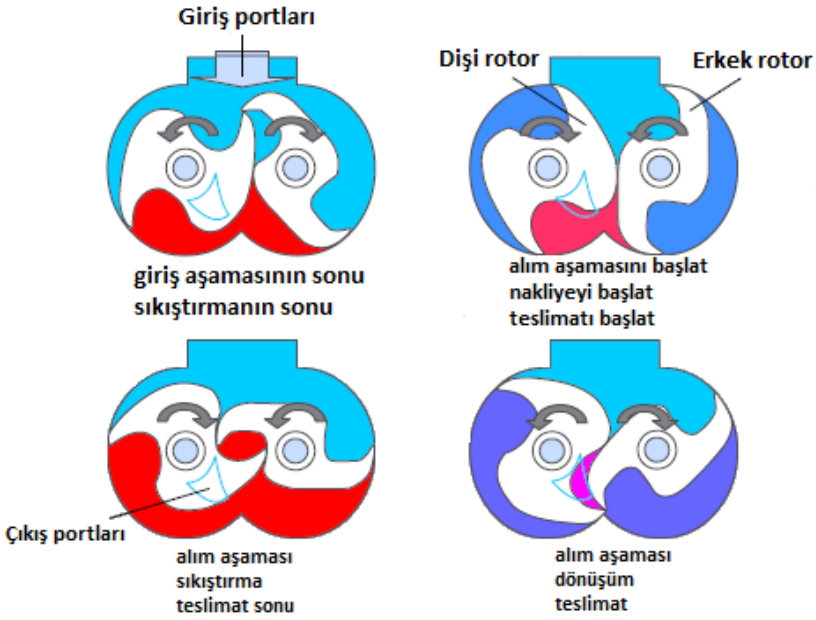
girişe geri dönüş sızıntısını azaltmaktır. Günümüzde yağ, iyi yağlama ve sızdırmazlık özellikleri nedeniyle en yaygın olarak enjekte edilen sıvıdır. Ancak su veya polimerler gibi başka sıvılar da ihtiyaçların karşılanması için kullanımı mümkündür. Fakat yağın daha verimli oluşundan, sızdırmazlığı daha iyi sağlamasından vb. kaynaklı daha fazla tercih edilmesine sebep olmaktadır. Sıvı enjeksiyonlu vidalı kompresör elemanları yüksek basınç oranları için üretilebilir; bir sıkıştırma aşaması genellikle 14 bar ve hatta 17 bar'a kadar basınç için yeterli olmakla birlikte, enerji verimliliği düşmektedir. Şekil 5.12'de su soğutmalı rotor muhafazası, her iki uçta hava contaları ve yağ keçeleri ve çok küçük rotor açıklıklarını korumak için senkromeç dişlileriyle yağsız vidalı kompresör aşaması gösterilmiştir.



Şekil 5. 14. Su soğutmalı yağsız vidalı kompresör

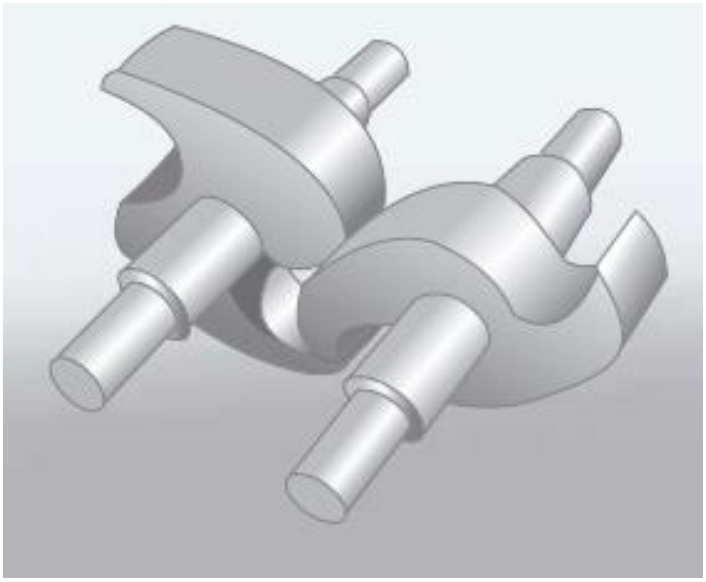
5.2.6. Dişli Kompresörler

Bir dişli kompresördeki sıkıştırma elemanı, sıkıştırma odasının içinde ters yönlerde dönen iki rotordan oluşmaktadır. Sıkıştırma işlemi giriş, sıkıştırma ve çıkıştan oluşmaktadır. Şekil 5.13 de çift dişli kompresörün sıkıştırma prensibi aşamalar halinde detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Emme aşamasında, rotorlar girişi engelleyene kadar hava sıkıştırma odasına çekilir. Sıkıştırma aşamasında ise içeri çekilen hava sıkıştırma odasında sıkıştırılır ve rotorlar döndükçe küçülür. Çıkış portu sıkıştırma sırasında rotorlardan biri tarafından bloke edilir, giriş ise yeni havayı sıkıştırma odasının diğer bölümüne çekmek için açıktır.



Şekil 5. 15. Çift dişli kompresörün sıkıştırma prensibi.

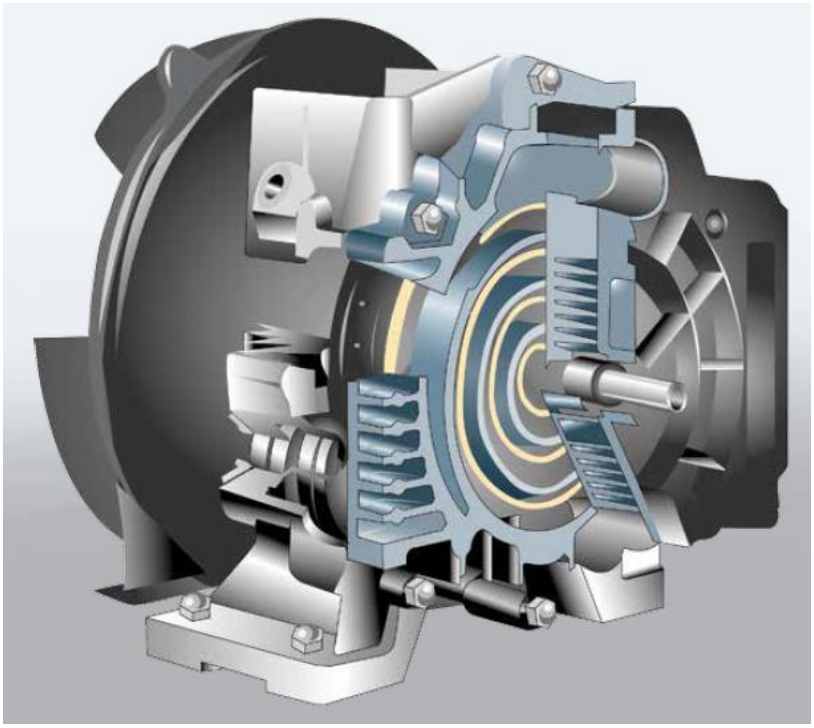
Tahliye işlemi, rotorlardan biri çıkış portunu açtığında ve basınçlı hava sıkıştırma odasından çıkmaya zorlandığında gerçekleşmektedir. Tahliye işlemi gerçekleştikten sonra her iki rotor da bir dizi dişli çarkı ile senkronize edilir. Yağsız dişli kompresörle elde edilebilecek maksimum basınç oranı, giriş sıcaklık farkı ve tahliye arasındaki sıcaklık farkı sınırlamasıyla sınırlanır. Sonuç olarak, daha yüksek basınçlar için kademeler arası soğutmaya sahip birkaç aşama gerekmektedir. Kademeler arası birkaç soğutma arttıkça basınçta arttırılabilir.



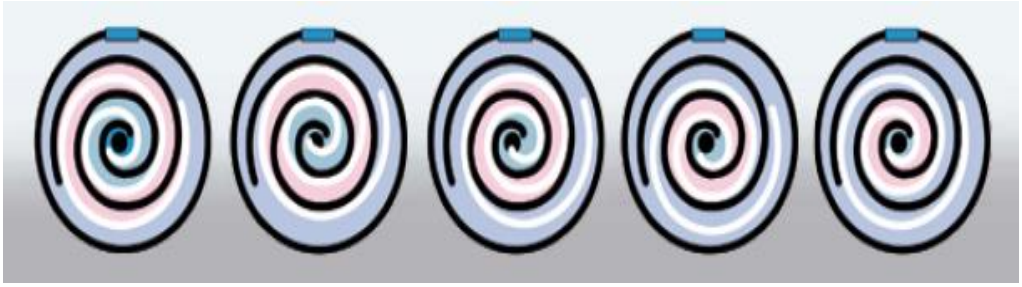
Şekil 5. 16. Çift dişli kompresörün rotor seti.

5.2.7. Scroll Kompresörler

Kaydırmalı kompresör, genellikle bir tür yağsız yörünge değiştirme kompresörüdür. Yani belirli bir miktarda havayı sürekli olarak azalan bir hacme sıkıştırır. Kompresör elemanı, bir muhafazaya sabitlenmiş bir stator spiralinden ve motor tahrikli bir eksantrik, yörünge spiralinden oluşur. Spiraller, kademeli olarak değişen hacme sahip hava cepleri oluşturmak için 180° faz yer değiştirmesiyle monte edilir. Bu, kaydırma elemanlarına radyal denge sağlar. Hava ceplerindeki basınç farkı giriş ve çıkış arasındaki basınç farkından düşük olduğundan sızıntı indirilebilecek en az seviyeye indirilir. Yörünge spirali, kısa stroklu bir krank mili tarafından tahrik edilir ve sabit spiralin merkezi çevresinde eksantrik olarak hareket eder. Giriş, eleman muhafazasının üst kısmında bulunmaktadır. Yörünge spirali hareket ettiğinde hava içeri çekilir ve hava ceplerinden birinde yakalanır; burada çıkış portu ve geri dönüşsüz valfin bulunduğu merkeze doğru hareket ederken hava kademeli olarak sıkıştırılır. Sıkıştırma döngüsü, neredeyse sabit ve titreşimsiz hava akışı sağlayan 2.5 tur boyunca devam etmektedir. Bu işlem nispeten sessiz ve titreşimsiz bir işlemdir. Çünkü eleman, örneğin bir piston kompresörüne kıyasla neredeyse hiç tork değişimi içermemektedir. Bu tip bir kaydırma kompresör kesitine şekil 5.15 de yer verilmiştir. Şekil 5.16 da ise sıkıştırma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 5. 17. Kaydırma kompresör kesiti



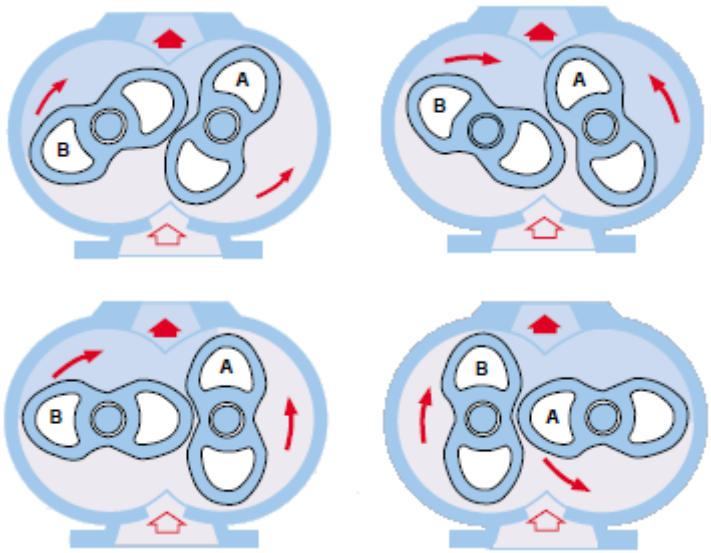
Şekil 5. 18. Scroll kompresörün sıkıştırma prensibi

5.2.8. Kanatlı Kompresörler

Kanatçıklı kompresörün çalışma prensibi, birçok basınçlı hava genleşme motorundaki çalışma prensibi ile benzerlik göstermektedir. Basınçlı hava genleşme tankındaki çalışma prensibi ile aynı olan kanatçıklı kompresörlerde kanatlar genellikle şu şekilde üretilmektedir. Özel dökme alaşımlar ve çoğu kanatlı kompresörler yağlı olarak yağlanır. Radyal, hareketli bıçak şekilli kanatçıklara sahip bir rotor, stator muhafazasına eksantrik olarak monte edilir. Dönerken kanatçıklar merkezkaç kuvvetiyle stator duvarlarına doğru bastırılır. Rotor ile stator arasındaki mesafe arttığında ise hava çekilir. Hava, farklı kompresör ceplerinde yakalanır ve bu da dönüşle hacmin azalmasını sağlar. Kanatçıklar çıkış portundan geçerken hava boşaltılır.

5.2.9. Kök Üfleyiciler

Kök üfleyiciler için blower, dâhili sıkıştırma içermemektedir ve dahili sıkıştırma içermeyen, valfsiz deplasmanlı bir kompresördür. Şekil 5.17 de görüldüğü gibi sıkıştırma odası çıkış portuna temas ettiğinde, basınçlı hava basınç tarafından muhafazaya geri akmaktadır. Daha sonra ise sıkıştırma odasının hacmi sürekli dönüşle daha fazla azaltılır ve daha fazla azaldığında daha fazla sıkıştırma gerçekleşir. Her azalışta sıkışma fazlalaşmaktadır. Buna göre, sıkıştırma tam olarak karşı basınca karşı gerçekleşir ve bu da düşük verimlilik ve yüksek gürültü seviyesi sağlamaktadır. İki adet aynı, genellikle simetrik, karşı dönüşlü rotor, dişli çark seti ile senkronize bir muhafazada çalışır. Blower'lar genellikle hava soğutmalı ve yağsız olurlar. Düşük verimliliklerinin olması, iki ve üç aşamalı modellerin mevcut oluşu olsa bile bu blowerları çok düşük basınçlı uygulamalar ve tek bir aşamada sıkıştırma ile sınırlar. Kök üfleyiciler sıklıkla vakum pompaları olarak kullanılmaktadırlar ve ayrıca pnömatik taşıma için kullanılmaktadır.



Şekil 5. 19. Kök üfleyicinin sıkıştırma prensibi

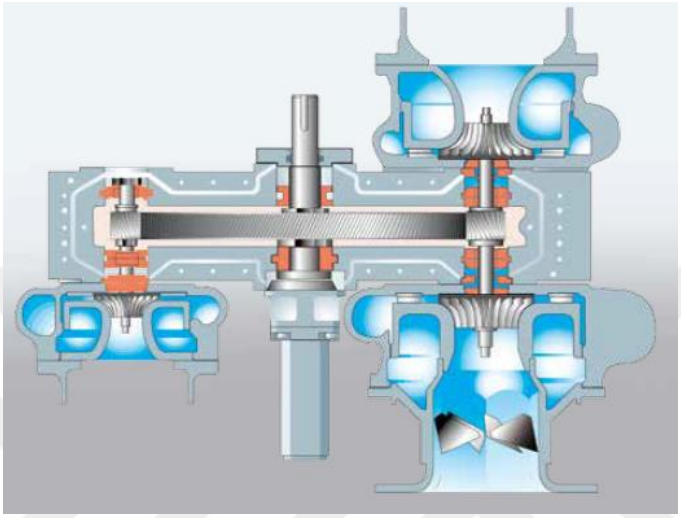
5.2.10. Dinamik Kompresörler

Dinamik kompresörler hem eksenel hem de radyal tasarımlarda mevcuttur. Bunlar sık sık turbo kompresör olarak adlandırılır. Radyal tasarımlı kompresörlere santrifüj kompresörler denir. Dinamik bir kompresör, sabit bir akışla çalışan yer değiştirme kompresöründen farklı olarak sabit bir basınçta çalışır. Dinamik bir kompresörün performansı dış koşullardan etkilenir: Örneğin, giriş sıcaklığında oluşacak bir değişiklik kapasitede bir değişikliğe neden olur.

5.2.11. Santrifüj Kompresörler

Santrifüjlü kompresör radyal deşarj akışıyla karakterize edilir. Hava, radyal bıçaklarla dönen bir pervanenin merkezine çekilir ve merkezkaç kuvvetleriyle pervanenin çevresine doğru itilir. Havanın radyal hareketi aynı zamanda bir basınç artışı ve bir kinetik enerji üretimi ile sonuçlanır. Hava, bir sonraki kompresör kademesinin pervanesinin merkezine gitmeden önce, bir difüzör ve kinetik enerjinin basınca dönüştürüldüğü bir kıvrım içinden geçer. Her aşama, kompresör ünitesinin genel basınç artışının bir kısmını alır. Endüstriyel makinelerde, santrifüj kompresör kademesinin maksimum basınç oranı genellikle 3'den fazla değildir. Daha yüksek basınç oranları, kademe verimliliğini azaltır. Örneğin atık su arıtma tesislerinde düşük basınçlı, tek aşamalı uygulamalar kullanılır. Çok aşamalı uygulamalar, güç gereksinimini azaltmak için ara soğutma olanağı sağlar. Tek bir düşük hızlı şaft üzerinde seri olarak birden fazla kademe düzenlenebilir. Bu konsept genellikle

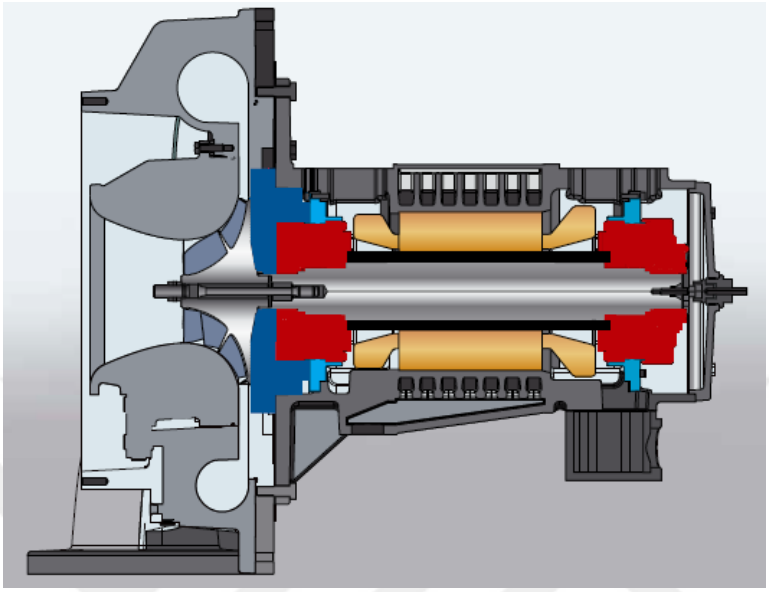
petrol ve gaz veya proses sektöründe kullanılır. Kademe başına basınç oranı düşüktür ancak istenen çıkış basıncına ulaşmak için çok sayıda kademe ve/veya seri olarak birden fazla kompresör seti kullanılır. Hava sıkıştırma uygulamalarında, yüksek hızlı pinyonlarda çarkları döndürmek için kompresör kademesine yüksek hızlı bir dişli kutusu entegre edilmiştir. Şekil 5.18 de bunun örneği görülmektedir.



Şekil 5. 20. Üç kademeli entegre dişli santrifüj kompresör

Pervane açık veya kapalı tasarıma sahip olabilir. Açık tasarım en çok yüksek hızlı hava uygulamalarında kullanılır. Pervane normalde özel paslanmaz çelik alaşımdan veya alüminyumdan yapılmıştır. Pervane şaft devri, diğer kompresör tipleriyle karşılaştırıldığında çok yüksektir. 15,000 - 100,000 dev/dak hızları yaygındır. Bu, yüksek hızlı kompresör mili veya pinyondaki muyluların makara yatakları yerine düz yağ filmli yataklar kullanılarak gerçekleştiği anlamına gelir. Alternatif olarak, tamamen yağsız bir makine için hava filmli rulmanlar veya aktif manyetik rulmanlar kullanılabilir. Basınç farklılıklarından kaynaklanan eksenel yükleri gidermek için aynı milin her iki ucuna iki itici monte edilmiştir. Standart basınçlı hava uygulamaları için ara soğutuculu tipik olarak 2 veya 3 kademe kullanılır. Santrifüjlü hava kompresörünün modern bir yapılandırmasında, ultra yüksek hızlı elektrikli motorlar çarkları doğrudan tahrik etmek için kullanılır. Bu teknoloji, vites kutusu ve ilişkili yağ yağlama sistemi olmayan kompakt bir kompresör oluşturarak onu tamamen yağsız bir kompresör tasarımı haline getirir. Kompresör muhafazasından geçtiği mil boyunca sızıntıyı azaltmak için her bir santrifüj kompresör uygun bir şekilde sızdırmaz hale getirilmelidir. Çok sayıda conta kullanılır ve en gelişmiş conta, yüksek basınç için tasarlanmış yüksek hızlı kompresörlerde

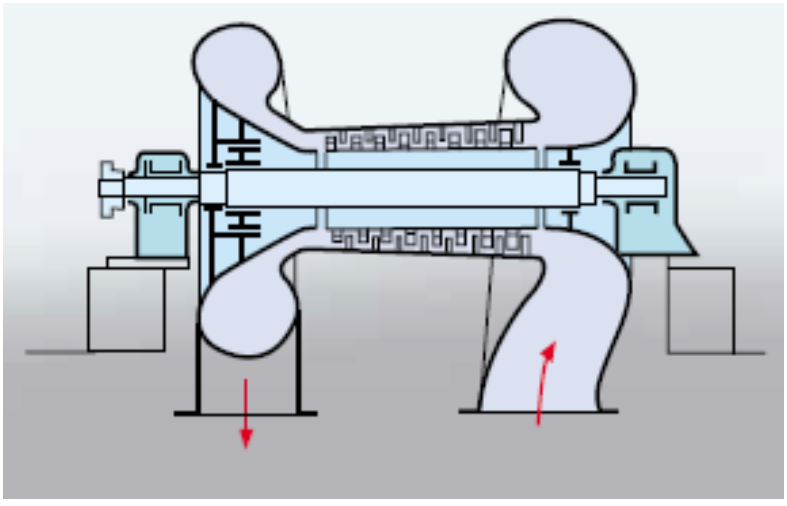
bulunabilir. Şekil 5.19 da bir modern yüksek hızlı doğrudan tahrikli santrifüj kompresör örneği gösterilmiştir. En yaygın tipler labirent contalar, halka contalar veya kontrollü boşluk contaları (genellikle grafit contalar) ve mekanik contalardır.



Şekil 5. 21. Modern yüksek hızlı kompresör

5.2.12. Eksenel Kompresörler

Şekil 5.20 de görülen eksenel kompresörde eksenel akış vardır; hava veya gaz, döner ve sabit kanatlar sıraları boyunca kompresör milinden geçer ve sabit bıçaklar kinetik enerjiyi basınca dönüştürürken havanın hızı da kademeli olarak artar. Bir dengeleme kampanası eksenel baskıyı dengelemek için genellikle kompresöre dâhil edilmiştir.

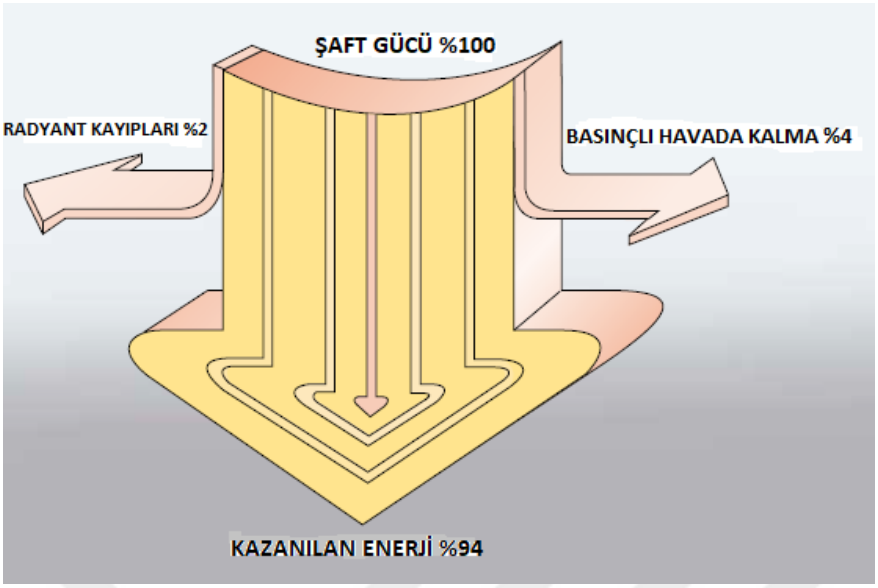


Şekil 5. 22. Eksenel kompresör.

Eksenel kompresörler genellikle eşdeğer santrifüj kompresörlerden daha küçüktürler ve daha da hafiftirler. Ayrıca eksenel kompresörler eşdeğer santrifüj kompresörlerden normalde daha yüksek hızlarda çalışırlar. Bunlar, örneğin havalandırma sistemlerinde nispeten orta bir basınçta sabit hacimli akış hızı ve yüksek hacimli akış hızları için kullanılırlar. Yüksek dönüş hızları göz önüne alındığında elektrik üretimi sağlamak için ve uçak itme için ideal olarak gaz türbinlerine bağlanırlar.

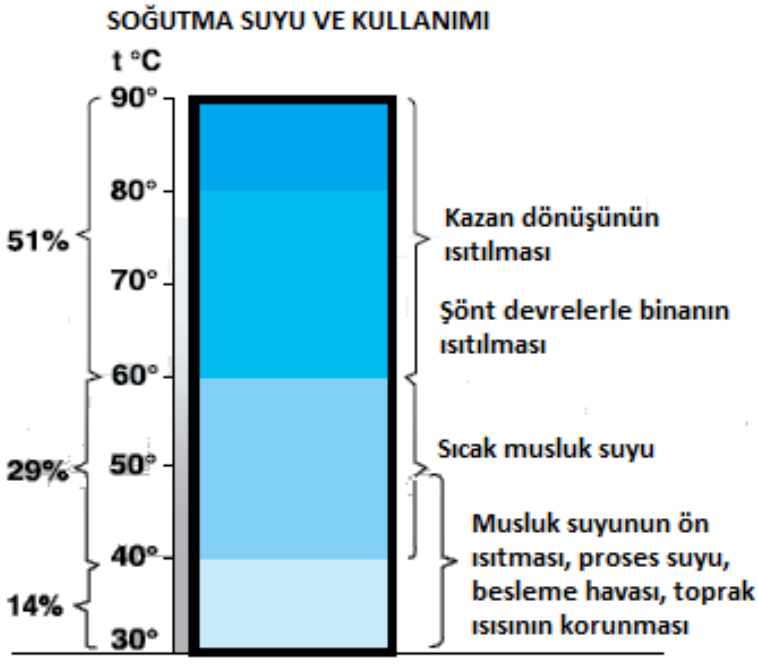
5.3. Enerji Geri Kazanımı

Hava sıkıştırıldığında mevcut durumda ısı oluşmaktadır. Basınçlı hava boru sistemine dağıtılmadan önce ısı enerjisi dışarı atılır ve atık ısı haline gelir. Her basınçlı hava tesisatı için, kurulum için yeterli ve güvenilir soğutma kapasitesi sorunu giderilmelidir. Soğutma, açık hava veya açık veya kapalı bir sistemde belediye suyu, akarsu veya proses suyu kullanan bir soğutma suyu sistemi aracılığıyla gerçekleşebilir. Basınçlı hava üreten birçok tesisat, atık enerji geri kazanımı biçiminde önemli ve sık sık kullanılmayan enerji tasarrufu olanakları sunmaktadır. Büyük sektörlerde enerji maliyetleri, basınçlı hava üretiminin toplam maliyetinin %80'ine karşılık gelebilir. Kompresöre sağlanan enerjinin %94'i geri kazanılabilir, örneğin yağsız vidalı kompresörlerden gelen 90° sıcak su ortaya çıkmaktadır. Bu gerçek, tasarruf tedbirlerinin hızlı bir şekilde önemli getiriler sağladığını gösteriyor. Yılda 8,000 çalışma saati boyunca 500 kWh tüketen büyük bir sektördeki kompresör merkezi tesisi, yıllık 4 milyon kWh enerji tüketimini temsil etmektedir. Sıcak hava veya sıcak suyoluyla önemli miktarda atık ısı geri kazanmanın imkânları gerçektir. Enerji geri kazanımı için yatırım getirisi genellikle 1 yıl ile 3 yıl kadar kısa sürelerde gerçekleşmektedir. Buna ek olarak, kapalı bir soğutma sistemi aracılığıyla geri kazanılan enerji kompresörün çalışma koşullarını, dengeli bir sıcaklık seviyesi ve yüksek soğutma suyu kalitesi sayesinde güvenilirliği ve kullanım ömrünü geliştirir ve ayrıca bunların yanında birkaç avantaj da sunmaktadır. Kuzey Avrupa ülkeleri bu alanda bir hayli ileri durumda ve enerji geri kazanımı kompresör kurulumlarında bir süredir standart uygulama olarak bulunmuştur. Büyük tedarikçilerden orta ölçekli ve büyük ölçekli kompresörlerin çoğu artık atık ısı geri kazanımı için standart ekipmanlarla uyumlu hale getirilmiştir. Şekil 5.21de'de görüldüğü gibi ısı, sıkıştırmanın kaçınılmaz bir yan ürünüdür. Enerji, kompresör soğutma sisteminden sıcak su şeklinde geri kazanılabilir ve verimliliği de arttırır.



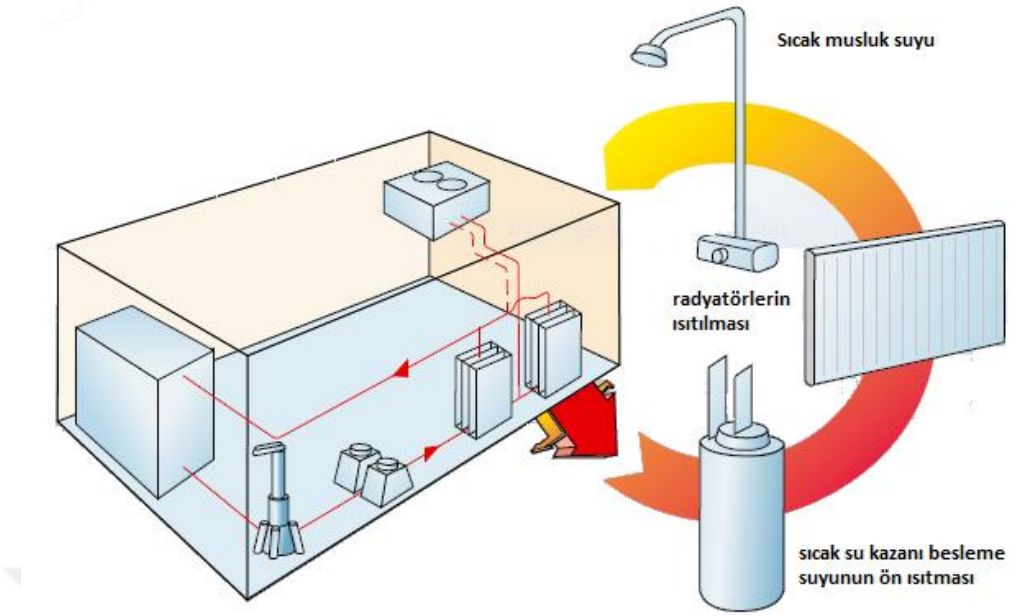
Şekil 5. 23. Kompresör enerji geri kazamı

Ve bu bahsi geçen kompresör soğutma suyundan enerji geri kazanımı için bazı tipik uygulama alanlarını gösteren şema şekil 5.22 de gösterilmektedir. En yüksek sıcaklık seviyelerinde, iyileşme derecesinin de en yüksek seviyelere ulaştığı görülmektedir.



Şekil 5. 24. Kompresör soğutma suyundan enerji geri kazanım uygulama alanları

Şekil 5.23 de görüldüğü üzere her kompresör sistemi enerji geri kazanımı için büyük bir potansiyele sahiptir. Örneğin büyük, yağsız vidalı kompresörlerden sağlanan enerjinin %95'ine kadar geri kazanılabilir.



Şekil 5. 25. Enerji geri kazanımı uygulaması

5.3.1. Geri Kazanımın Hesaplanması Potansiyel

Fizik kurallarına göre kompresör kurulumuna sağlanan enerjinin neredeyse tamamı ısıya dönüştürülmektedir. Diğer süreçlerde geri kazanılıp kullanılabilecek enerji arttıkça, sistemin genel verimliliği de aynı orantıda artar. Geri kazanılabilir ısı miktarı şu denklemle hesaplanabilir:

Geri kazanılan enerji kWh/yıl olarak:

$$W=[(K_1 \times Q_1) + (K_2 \times Q_2)] \times T_R \quad (5.4)$$

$$\text{Yıllık tasarruf: } (€)=W \times \frac{e_P}{n} \quad (5.5)$$

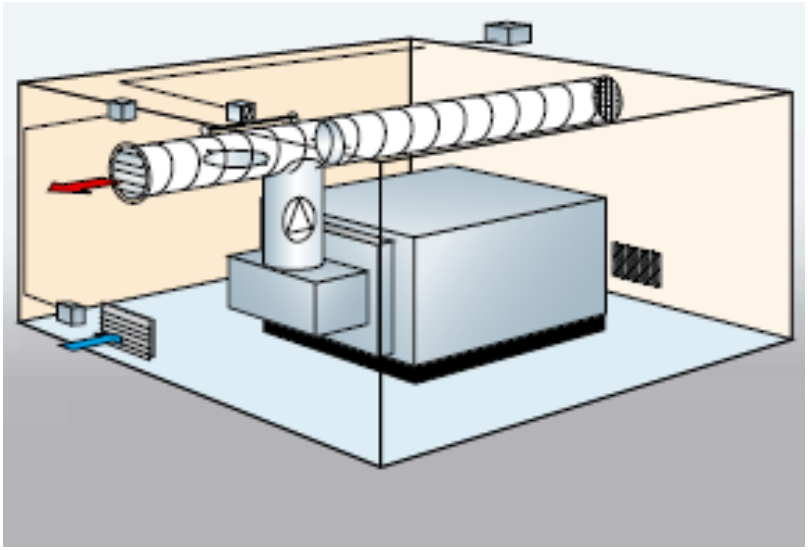
Çoğu durumda, kompresör sisteminin soğutulmasıyla elde edilen enerji verimli bir şekilde kullanılabilirse ısı geri kazanımı derecesi %90 oranlarını aşabilmektedir. Soğutma sisteminin işlevi, tüketim noktasına olan mesafe ve ısı gereksiniminin derecesi ve sürekliliği belirleyici faktörlerdir. Büyük termal akışlarda, geri kazanılan ısı enerjisinin satılması göz ardı edilmemesi gereken bir olasılıktır. Elektrik enerjisi tedarikçisi potansiyel bir müşteri olabilir ve yatırım, alt sipariş ve teslimat kolayca görüşülebiliyor. Çeşitli süreçlerden enerji geri kazanımını koordine ederek tasarruf fırsatı da mevcuttur.

5.3.2. Kurtarma Yöntemleri

Basınçlı hava tesisatlarından enerji geri kazanımı, yeterli miktarda değil, gerektiğinde ve genellikle her zaman ısıya neden olmaz. Kompresörde değişken bir yük varsa geri kazanılan enerji miktarı zamanla değişir. İyileşmenin mümkün olabilmesi için buna karşılık olarak nispeten istikrarlı bir ısı enerjisi talebi gereklidir. Geri kazanılan ısı enerjisi, sisteme sağlanan enerjiyi desteklemek için en iyi şekilde kullanılır; böylece kompresör çalışırken mevcut enerji her zaman kullanılır.

5.3.3. Hava Soğutmalı Sistem

Nispeten düşük sıcaklıkta yüksek sıcak hava akış hızı üreten hava soğutmalı kompresör seçenekleri, ön ısıtma aküsünde doğrudan bina ısıtmasını veya ısı değişimi sağlar. Daha sonra ısıtılmış soğutma havası bir fan kullanılarak dağıtılır. Binalarda ek ısı gerekmediğinde sıcak hava, termostat kontrolü ile otomatik olarak veya hava damperi manuel olarak kontrol edilerek atmosfere tahliye edilir. Sınırlayıcı bir faktör, kompresörlerle ısıtılması gereken bina arasındaki mesafedir. Bu mesafe sınırlı olmalıdır (tercihen bitişik binalar arasındaki mesafe). Ayrıca, kurtarma olasılığı yılın soğuk dönemleri ile sınırlı olabilir. Hava kaynaklı enerji geri kazanımı, küçük ve orta boyutlu kompresörler için daha yaygındır. Kompresör hava soğutma sistemlerinden gelen atık ısının geri kazanılması, dağıtım sonucunda yalnızca küçük kayıplara neden olur ve çok az yatırım gerektirir.



Şekil 5. 26. Hava soğutmalı bir kompresörden enerji geri kazanımı

5.3.4. Su Soğutmalı Sistem

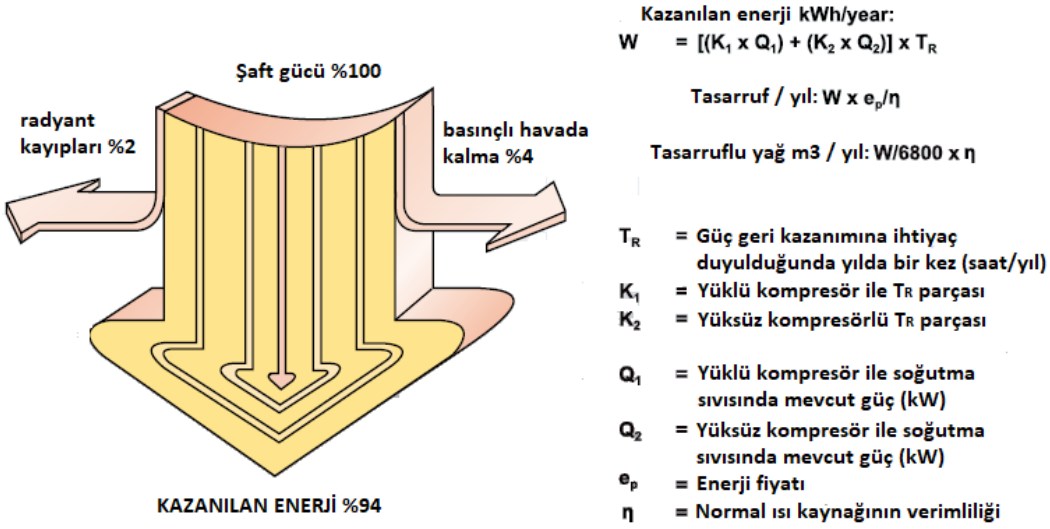
90°'ye kadar sıcaklığa sahip su soğutmalı bir kompresörden gelen soğutma suyu, sıcak su ısıtma sistemini destekleyebilir. Yıkama, temizleme veya duş için sıcak su kullanılırsa normal bir baz yüklemeli sıcak su kazanı gereklidir. Basınçlı hava sisteminden geri kazanılan enerji, kazan üzerindeki yükü azaltan, ısınan yakıtı kaydeden ve daha küçük bir kaynatıcının kullanımına yol açabilecek ek bir ısı kaynağı oluşturur.

Basınçlı hava kompresörlerinden enerji geri kazanımı ön koşulları, kompresör tipine bağlı olarak farklılık gösterir. Standart yağsız kompresörler enerji geri kazanımı için kolayca değiştirilebilir. Verimli enerji geri kazanımı için gerekli su sıcaklığını (90°C) sağladığı için bu tip kompresör sıcak su ısıtma sistemine entegrasyon için idealdir. Yağlı kompresörlerde, sıkıştırma işleminde yer alan yağ, yüksek soğutma suyu sıcaklıkları için olasılıkları sınırlayan bir faktördür. Santrifüjlü kompresörlerde, sıkıştırma aşaması başına düşük basınç oranı nedeniyle sıcaklık seviyeleri genellikle daha düşüktür ve böylece geri kazanım derecesi sınırlanmaktadır. Suyoluyla taşınan atık enerji geri kazanımı, 10 kW üzerinde elektrik motoru gücüne sahip kompresörler için en uygun seçenektir. Atık enerjinin suyoluyla geri kazanımı, havadaki atık enerji geri kazanımı yerine daha karmaşık bir kurulum gerektirir. Temel ekipman; sıvı pompaları, ısı eşanjörleri ve regülasyon valflerinden oluşur. Isı ayrıca, su kaynaklı enerji geri kazanımı kullanılarak önemli ısı kayıpları olmadan nispeten küçük boru çapları (40-80 mm) kullanılarak uzak binalara da dağıtılabilir. Yüksek ilk su sıcaklığı, atık enerjinin sıcak su kazanından gelen suyun sıcaklığını artırmak için kullanılabileceği anlamına gelir. Bu nedenle, normal ısıtma kaynağı periyodik olarak kapatılabilir ve kompresörün atık ısı geri kazanım sistemi ile değiştirilebilir. Proses endüstrisindeki kompresörlerden gelen atık ısı, proses sıcaklığını artırmak için de kullanılabilir. Su ile taşınan atık enerji geri kazanımı uygulamak için hava soğutmalı, yağlı vidalı kompresörler de kullanılabilir. Bu, yağ devresinde bir ısı eşanjörü gerektirir ve sistem, yağsız kompresörlere göre daha düşük sıcaklıklarda (50° - 60°) su sağlar.

5.4. Kompresör Enerji Geri Kazanımı

Üretim tesislerinde veya süreçte herhangi bir şekilde ısıtma için elektrik, gaz veya yağ kullanırken, bu enerjinin kompresör tesisatından geri kazanılan atık enerjiyle tamamen veya kısmen değiştirilmesi ihtimali araştırılmalıdır. Belirleyici faktörler €/kWh cinsinden

enerji maliyeti, kullanım derecesi ve gerekli ek yatırım miktarıdır. Atık enerji geri kazanımı için iyi planlanmış bir yatırım çoğunlukla 1 veya 3 yıllık geri ödeme süresi sağlar. Kompresöre sağlanan gücün %90'inden fazla bir oranı, son derece değerli ısı enerjisi şeklinde geri kazanılabilir. Geri kazanılan enerjinin sıcaklık seviyesi, olası uygulama alanlarını ve dolayısıyla değerini belirler. En yüksek verimlilik derecesi genellikle, kompresör sisteminin sıcak soğutma suyu çıkışı doğrudan mevcut ısıtıcı kazanının dönüş devresi gibi sürekli bir ısıtma talebine bağlanabildiği su soğutmalı kurulumlardan elde edilir. Geri kazanılan atık enerji, yıl boyunca etkili bir şekilde kullanılabilir. Geniş ve yüksek ısı akışı gerektiren bazı durumlarda, kullanım noktasına uzun ısı taşıma mesafeleri, ya da yıl içinde değişen bir gereklilik olarak, geri kazanılan enerjiyi ısı, soğutma veya elektrik gibi satma olasılıklarına bakmak ilginç olabilir. Kompresör basınçlı hava üretmekle birlikte, sağlanan enerjiyi ısıya dönüştürür ve bu da soğutma sıvısına, havaya veya suya aktarılır. Basınçlı havada yalnızca küçük bir parça bulunur ve makine ve borulardan ısı radyasyonu olarak yayılır. Bu oran ve elde edilen kazanım hesabı ile birlikte şekil 5.25 de gösterilmiştir.



Şekil 5. 27. Kompresör enerji geri kazanım hesabı

5.5. Enerji Geri Kazanım Devresindeki Su Akışının Hesaplanması

$$P = m \times C_P \times \Delta T \quad (5.6)$$

$$\Delta T = t_{E2} - t_{E1} = 80°C - 60\,°C = 20°C \quad (5.7)$$

$$C_P = 4.185\ \text{kJ/kg x K} \quad (5.8)$$

m = enerji geri kazanım devresindeki kütle akışı = M_E (5.9)

P = Sağlanan mil gücünün %70'i = PE = 0,70 x 162 = 113 kW (5.10)

Bu, seçilen kompresörden geri kazanılması mümkün olan maksimum güçtür. Formül şu şekilde yazılabilir:

$$\mathrm{M_E} = \frac{\mathrm{P_E}}{\mathrm{C_P x\ \Delta T}} = \frac{113}{4.185 \times 20} = 1.35 kg/s = 1.35 l/s \quad (5.11)$$

5.6. Geri Kazanım Isı Eşanjörü Boyunca Enerji Dengesi

Geri kazanım ısı eşanjörü için aşağıdakiler geçerlidir:

$$P_E = M_E \text{ x } C_P \text{ x } (t_{E2}\text{-}t_{E1}) \quad (5.12)$$

$$P_A = M_A \text{ x } C_P \text{ x } (t_{A2}\text{-}t_{A1}) \quad (5.13)$$

Ancak çevre ile ısı alışverişi olmadığı varsayıldığından, kompresörden enerji geri kazanım devresine aktarılan güç geri kazanım ısı eşanjöründe aktarılan güce eşit olacaktır. Örneğin; PA = PE = 113 kW.

Formül şu şekilde yazılabilir:

$$M_A = \frac{P_A}{(t_{A2} - t_{A1})} = \frac{113}{(75-55) \times 4.185} = 1.35 kg/s = 1.35 l/s \quad (5.14)$$

Hesaplama, kurtarılabilir gücün 113 kW olduğunu göstermektedir. Bu, 1.35 l/sn'lik enerji geri kazanımı devresinde su akışı gerektirir. Kazan geri dönüşü için uygun akış da 1.35 l/sn'dir ve kazan besleme sıcaklığı 20°C artar.

5.7. Isı Eşanjörleri

Bir ısı eşanjörü temel olarak farklı iki akışkanın birbirlerine karışmadan aralarında ısı transferi yapmalarını sağlayan cihazlardır. Bir ısı eşanjörünün en belirgin özelliği, sıvı veya gaz halde bulunan iki akışkan arasındaki ısıyı optimum verim ve kompaktlıkla birbirine aktarmasıdır. Genellikle ısı eşanjörlerinde kullanılan plakalar, borular veya diğer ısı transfer yüzeyleri, sıcak bir akışkandan soğuk bir akışkana ısı transfer ederken aynı zamanda akışkanların birbirlerine karışmasını önlemektir. Bu ısı değişimi aynı anda hem ısıtma, hem soğutma veya çift yönlü olabilir. Tüm ısı transferi uygulamalarında

olduğu gibi, ısı eşanjörü uygulamalarında da ısı eşanjöründeki akışkanlar arasındaki sıcaklık farkı arttıkça bu yöndeki ısı transferi de aynı oranda artmaktadır. Çoğu uygulamada, ısı transferini ve verimliliği iyileştirmeye ihtiyaç vardır. Bunu yapmanın birçok yolu ve yöntemi vardır. Bunlardan bazıları, yüzeye kanatçık eklenmesi, boru ve plaka üzerinde türbülansın arttırılması, akışkan özelliklerinin değiştirilmesi ve bu tarz farklı yöntemler olarak sıralanabilir. Ancak bu uygulamalara ek olarak ısı eşanjöründeki kirlilik faktörü ve basınç kaybı, kriterler eşanjör seçimi uygulamaları ve en iyi ısı transferinin sağlanması için yatay uygulama önemlidir. Yapılarına göre sınıflandırıldığında plakalı, borulu ve lehimli ısı eşanjörleri piyasada çok fazlaca yaygın olarak kullanılmaktadır. İklimlendirme sistemleri, prosesler, petrokimya, enerji santralleri, gemi yapımı, ilaç, gıda, anotlama tesisleri, dökümhane, alüminyum ve kâğıt endüstrileri, ısı eşanjörlerinin kullanıldığı birçok uygulamadan yalnızca bazılarıdır. Isı eşanjörleri, ısıtma veya soğutma ihtiyacını gerektiren hemen hemen tüm endüstriyel veya endüstriyel tesislerde kullanılmakta olup, günlük hayatımızda otomobil radyatörleri, kombi ve klimalar gibi ekipmanlarda da karşımıza çıkmaktadır. Isı değiştiricilerin sınıflandırılmasında ısı transfer seçenekleri, akış özellikleri, uygulanacak proses ve yüzey yoğunluğu çok önemli rol oynamaktadır. Endüstriyel ısı eşanjörleri aşağıdaki faktörlere göre sınıflandırılır.

- Konstrüksiyon
- Isı transfer prosesi
- Yüzey yoğunluğu
- Akış çeşitliliği
- Isı transfer düzeneği
- Geçiş çeşitliliği
- Akışkan fazları

5.8. Isı Eşanjörlerinin Sınıflandırılması

5.8.1. Borulu Eşanjörler

Borulu tip eşanjörler, ısı değiştiricinin diğerlerine göre daha farklı bir çeşididir. Aslına bakılırsa borulu tip eşanjör tasarımında kullanılmakta olan sınıflandırmalardan biridir. Adını eşanjörün tasarımında kullanılmakta olan borulardan almaktadır. Silindirik veya dairesel bir gövde ve bu gövdenin içine tasarıma göre yerleştirilmiş farklı çaplardan

borulardan oluşmaktadır. Boruların uzunluk ve et kalınlıkları, kullanılan akışkanın çalışma sıcaklığı, basıncı ve kimyasal özelliklerine göre hesaplanabilir. Borulu ısı eşanjörleri; rafinerilerde, ağır sanayi ve kimyasal proseslerde yaygın olarak kullanılan borulu ısı eşanjörleri, dairesel, girdaplı ve sarmal spiral borular kullanır. Yüksek ısı transfer katsayıları ve yüksek basınçlar gerektiren uygulamalarda yuvarlak ve helisel serpantinler tercih edilir. Borulu bir ısı eşanjöründeki ısı transfer alan ve ısı transfer yüzeyi borulardan oluşmaktadır. Isı eşanjöründeki plaka veya borulardan farklı sıcaklıklarda sıvı veya farklı sıcaklıkta ki gaz gibi iki akışkan akar, biri iç borudan diğeri ise dış geniş çaplı borudan akmaya devam eder. Kullanılan akışkan gövdesi nedeniyle ısı borular boyunca veya borulara paralel olarak akar. Bu nedenle akışkanlar arasında ısı transferi boru yüzeyinde gerçekleşir. Borulu ısı eşanjörü tasarımına göre;

- U borulu eşanjör
- Düz borulu eşanjör

Uygulamaya göre;

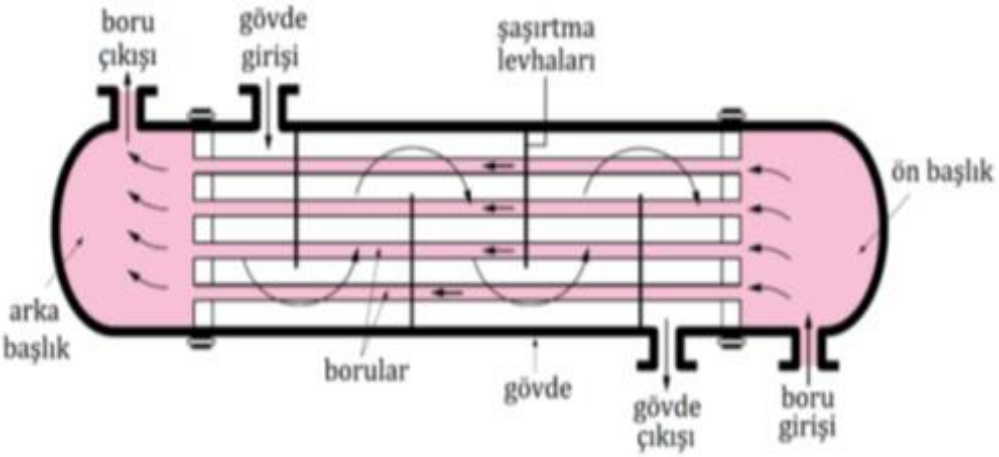
- Gövde borulu Eşanjörler
- Çift borulu Eşanjörler
- Spiral borulu Eşanjörler

Borulu Eşanjörler de kendi içinde 3’e ayrılır.

- Gövde borulu Eşanjörler
- Çift borulu Eşanjörler
- Spiral borulu Eşanjörler

5.8.1.1. Gövde Borulu Eşanjörler

Gövde borulu eşanjörler gıda üretimi yapılan tesisler ve endüstriyel proseslerin çok fazlaca tercih ettiği ve kullandığı eşanjör modelidir. Endüstriyel tesislerde eşanjör kullanımı bakımından çok yaygın bir eşanjör modelidir. Yaygın kullanımı nedeniyle bütün eşanjör modellerinin yarısından daha büyük bir pay sahibidir. Bu tip ısı eşanjörü, büyük silindirik veya dairesel bir gövde içinde birbirine paralel olarak yerleştirilmiş borulardan oluşur. Şekil 5.26 da çok yaygın bir şekilde kullanılan gövde borulu ısı eşanjörü gösterilmektedir.

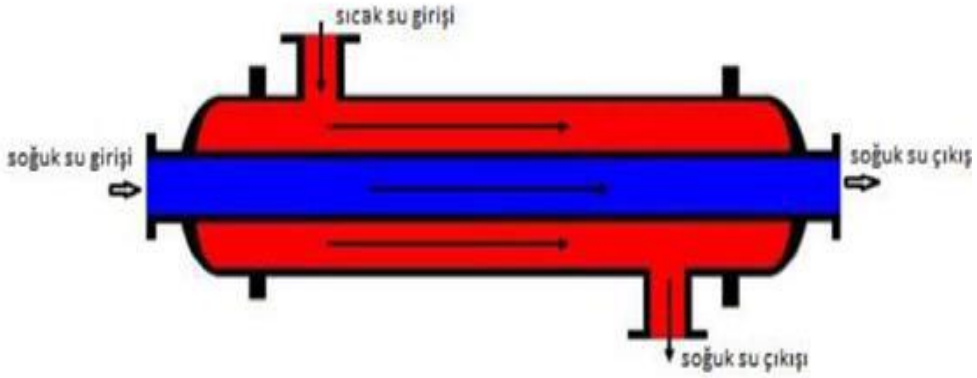


Şekil 5. 28. Gövde borulu eşanjörler

Gövde borulu eşanjörlerin çalışma prensibi; Akışkanlardan biri borudan geçtiğinde, ikinci akışkan ana gövde tarafından boruya çapraz veya paralel olarak akar. Bu tip ısı eşanjörünü oluşturan en önemli unsurlar şunlardır: borular (dairesel, helis vb.), gövde (silindirik, dairesel), her iki taraftaki başlıklar, boruları birbirine bağlayan ön ve arka aynalar ve gövde plakaları ve destek çubukları içindeki akışı yönlendiren kılavuzlardır. Isıl işlem, basınç kaybı, çalışma basıncı, boru veya plakalardaki kirlilik, tasarım ve miktar, temizlik konularına bağlı olarak çeşitli vana gövdesi ve boru tarafı akış düzenlemeleri kullanılmaktadır.

5.8.1.2. Çift Borulu Eşanjörler

Çift borulu ısı eşanjörü, uygulanması en kolay ısı eşanjörüdür. Herhangi bir borunun mümkün olduğu kadar geniş çaplı başka bir boruya yerleştirilmesi ve ikinci akışkanın geçişine izin verilmesi ile elde edilir. Şekil 5.27'de gösterildiği gibi.

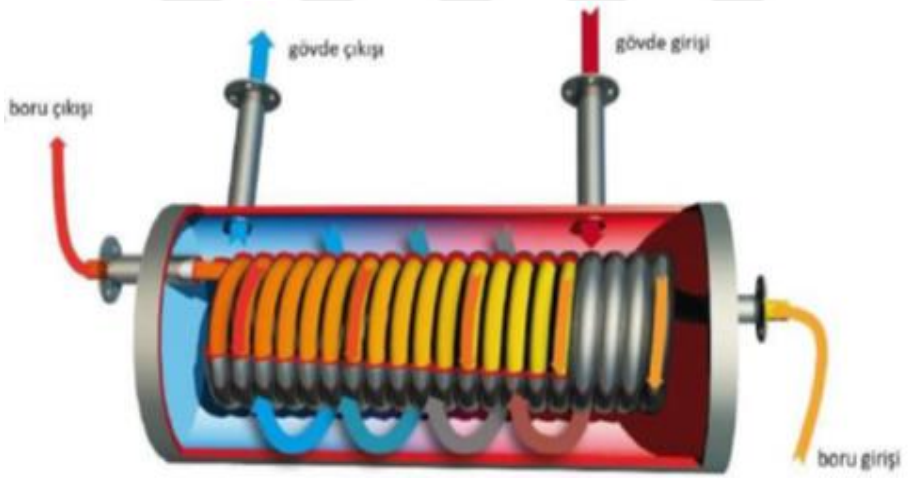


Şekil 5. 29. Çift borulu eşanjör

Çift borulu eşanjör çalışma prensibi; İç içe borulardan oluşan böyle bir ısı eşanjöründe, bir akışkan iç boruların yüzeyinden, diğer akışkan ise dış boruların yüzeyinden akmaktadır. Bu tür ısı eşanjöründe, istenilen basınç kaybı ve sıcaklık yakınlığı gereksinimlerini karşılamak için çeşitli seri tasarımlar ve paralel tasarımlar düzenlenebilir. İçindeki tüpler tekli tüpler veya çoklu tüpler olabilir. Ancak halkadaki ısı transfer katsayısı düşük ise eksenel yapı kanatlı boru kullanılmak zorundadır.

5.8.1.3. Spiral Borulu Eşanjörler

Spiral olarak sarılmış ve vücuda yerleştirilmiş çok sayıda tüpten oluşur. Düz borulara göre daha yüksek ısı transfer katsayıları nedeniyle helisel sarılmış borular tercih edilir. Havuzlarda, soğutma uygulamalarında ve sıcaklık kontrolü gerektiren proseslerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Helisel bobinin bağlantı çapı ve ısı transfer alanı kullanılacak prosese göre değişmekte olup, uygun şekilde seçilebilmektedir. Şekil 5.28 bir örnek spiral borulu ısı eşanjörünü göstermektedir.



Şekil 5. 30. Spiral borulu eşanjör

Bu ısı eşanjörünün helisel olarak sarılmış borularının dış yüzeyi ve gövdenin içinin temizlenmesi kolaydır. Ancak dış yüzeyinin aksine borunun iç yüzeyi kolay bir şekilde temizlenebilmesi çok mümkün değildir. Bu modellerdeki ısı eşanjörünün gövde tarafındaki akışkanın düşük akışı ve hızı, ısı kapasitesin inde düşük olmasına neden olur.

5.8.1.4. Hijyenik Borulu Eşanjörler

Kimya ve gıda endüstrilerinde hijyenik uygulama yoğun işlemler sıcaklığın ve basınçların yüksek olduğu durumlarda gerçekleştirilir. Bu uygulamalarda 190 °C'yi aşan sıcaklıklar

nedeniyle plakalı eşanjörün üzerindeki contalar bu sıcaklıklara ve basınç değerlerine dayanamaz. Bu tür uygulamaların tamamı paslanmaz çelik ve de montajı mümkün borular ile mümkün olabilir. Hijyenik borulu ısı eşanjörleri ile 360 °C'ye kadar yükselebilmektedir. Ürün akışının durumunu düzgün ve optimum seviyede tutmak için kaynak tekniğinin uygulanması çok büyük önem arz etmektedir. Bir ısı eşanjörünün örnek bir resmi Şekil 5.28'te verilmiştir. Sanitasyon uygulamaları sağlık için önemli olduğundan, bu tür kaynaklar sertifikalı personel tarafından gerçekleştirilir. Ar-Ge mühendisleri tarafından kalite kontrol ve denetim ile kontrol edilir. Bir gıda uygulamasında kullanılacak gıdanın türü, akış hızı ve uygulanacak proses, tasarım ve üretim kısmı için önem arz etmektedir.

Yüksek sıcaklık ve basınç gerektiren uygulamalarda kullanılan malzemenin kalınlığı ve kaynak dikişi önemli rol oynamaktadır. Bu durumda üretim tamamlandıktan sonra kullanılacak basınçlarda test edilmeden hiçbir eşanjör prosese bağlanmamalıdır.

Borulu eşanjörler de kullanılan malzemeler:

- Düz ve U borular türbülansı ve ısı transferini artırır,
- Gövde (levha veya tüpten yapılmış),
- Ayna,
- Kullanılan akışkanı yönlendirmek için geri dönüş ekranı,
- Vücudun bir tarafında kullanılan sıvıların hareketini kontrol eden nozullar,
- Pens ve kafa bağlantısı için flanş,
- Eşanjörün herhangi bir kaideye monte edilmesini sağlayan yükleme ayakları,
- İzolasyon sistemi, ısı eşanjörünün dış yüzeyinden ısı kaybını önler.

Borulu Eşanjörlerin kullanım avantajı;

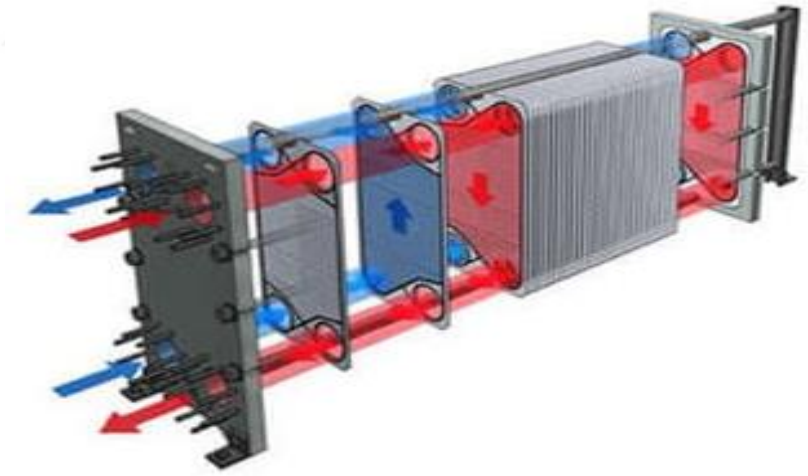
- Plakalı eşanjör contalarının dayanamayacağı yüksek sıcaklık ve basınçta çalışacak şekilde imal edilmiştir.
- İki devre sıvısı arasında büyük sıcaklık farkları olan uygulamalarda çalışmak üzere üretilmiştir.
- İstenilen ölçülerde üretilebilir ve tasarlanabilir.
- Plakalı eşanjörlü veya eşanjörsüz tüm uygulamalarda kullanılabilir.
- Eşanjördeki basınç kaybı uygulanan işleme göre sınırlandırılabilir.
- Bakımı ve onarımı kolaydır.

Gıda endüstrisi için kullanım alanları:

- Yumurta ve yumurta ürünlerinin pastörizasyonu
- Salça pastörizasyonu
- Soğutma yumurtaları ve yumurta ürünleri
- Hardal soğutması
- Sosların ısıtılması ve soğutulması
- Yağ ısıtma ve soğutma
- Meyve ısıtma ve soğutma
- Tatlıları ısıtma ve soğutma
- Pompalanabilen gıda ürünlerinin ısıl işlemidir.

5.8.2. Plakalı Eşanjörler

Plakalı eşanjör, benzer veya farklı özellikleri bulunan iki akışkanı karıştırmadan hızlı ve verimli bir şekilde ısı transferini sağlayan bir cihazdır. Plakalı eşanjörün şekli Şekil 5.29 da gösterilmiştir.



Şekil 5. 31. Plakalı eşanjör

Kompakt boyutları ve yüksek verimleri nedeniyle plakalı ısı eşanjörleri birçok uygulamada kullanılmaktadır. Plakalı eşanjörler paket mantığına göre oluşturulur. Eşanjör gövdesinin basınç sınıfına bağlı olarak 10-16-25 bar, verim sınıfına ve farklı eşanjör modellerine göre farklı bağlantı çaplarına göre farklı açılarda plakalar oluşturulabilir. Bu ısı eşanjörleri, uygulamaya ve sıcaklığa bağlı olarak plakalar eklenerek

veya çıkarılarak yeni çalışma koşulları için tasarlanabilir. Ek olarak, kompakt boyutu sayesinde ısı eşanjörünün açılması, temizlenmesi ve yeniden montajı kolaydır.

Isı eşanjörü, esas olarak ST37 karbon çelik gövdeler arasında taşıyıcı çubuklar üzerinde plakaların birbiri ardına düzenlenmesi ve iki gövde arasındaki mesafenin gerekli boyuta getirilmesi için saplamalar kullanılarak oluşturulur. Levhalar tek preste preslenirse daha dayanıklı bir yapıları olmuş olur. Yüksek verim veya basınç kaybının az olmasını gerektiren uygulamaya bağlı olarak plakalar farklı kanal yapılarına sahiptir. Kart üzerinde 4 adet port deliği bulunmaktadır. Ek olarak, sızıntıların önüne geçmek ve sızdırmazlık yakalamak için contalar kullanımları yapılır. Uygulama ve çalışma sıcaklığına bağlı olarak çeşitli conta türleri mevcuttur. Gövdenin ön tarafında sıcak ve soğuk akışkan girişler ve çıkışların delikleri bulunmaktadır. Fakat iki değilde daha fazla akışkan kullanan uygulamalar için çok kanallı bir konfigürasyonda üretilebilmektedirler. Bu tür uygulamalar için akışı sağlamak için ara elemanlar ve perdeler bulunmakta olup, bu özelliklerinden dolayı plakalı eşanjörler yaygın olarak kullanılırlar.

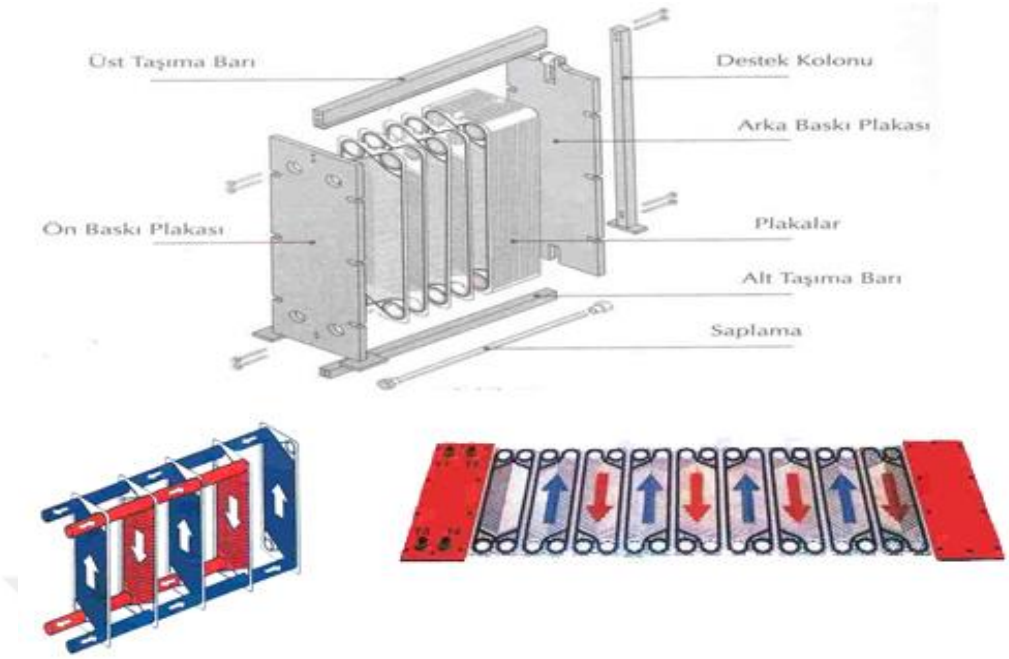
5.8.2.1. Plakalı Eşanjörleri Meydana Getiren Parçalar

- Giriş-çıkış bağlantıları ve eşanjör bilgilerine sahip gövde,
- Eşanjör plakalarını tutmak için yukarı ve aşağı taşıma milleri,
- Akışkanın öncü ile temasını önleyen ilk plaka,
- Eşanjör akışını sağlayan plakalı akışkan kanalları ve ısı transferi sağlamak için sonuncusu
- Üzerinde montaj ve bakım talimatları bulunan arka gövde mil üzerinde hareket edebilir
- Plakanın tutulduğu cıvata ve rondelalar

Kullanım alanları:

- Isıtma ve soğutma uygulamaları
- Enerji uygulamaları
- Gıda uygulamaları
- Denizcilik uygulamaları
- Endüstriyel uygulamalar

Yukarıda maddeler halinde belirtilen plakalı eşanjörleri oluşturan parçalar Şekil 5.30’da verilmiştir.



Şekil 5. 32. Plakalı eşanjörü oluşturan parçalar

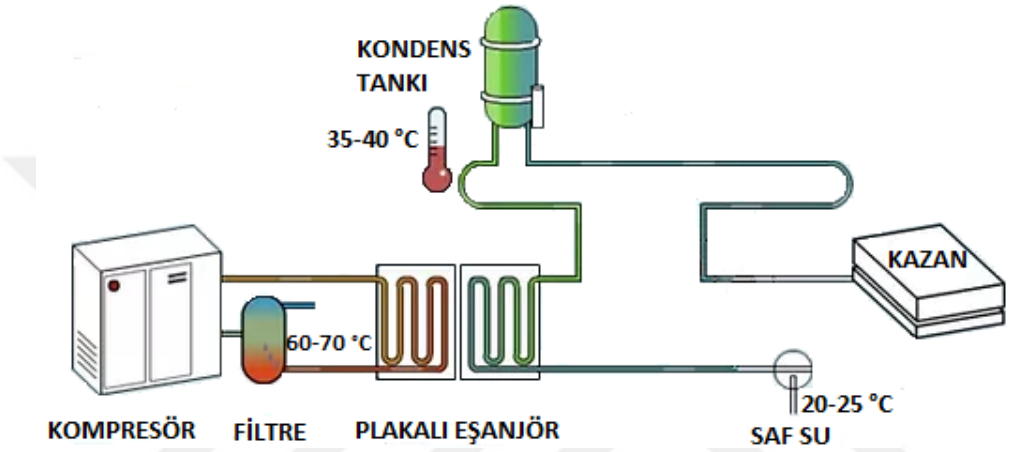
5.9. Isı Geri Kazanımı Uygulamaları

Enerji üretiminin sürdürülebilirliği, enerji alanında dışa bağımlılığın azaltılması ve iklimsel değişiklikler ile mücadele çalışmaları ile dünya için olduğu gibi ülkemiz içinde enerji ve enerjinin kaynaklarının verimli kullanılmasının önemi artmaktadır. Arz güvenliğinin ve enerji politikasının sürdürülebilirliğinin sağlanması sanıldığı kadar kolay değildir. Isı geri kazanımı sistemleri işletmeler, ülkemiz ve çevresel açıdan büyük önem taşımaktadır. Artan tüketim ve işletmeler ve sektörler arasında artan rekabet, ülkeleri ve işletmeleri enerjilerini daha verimli kullanmaya ve sistemlerine mümkün olduğu kadar çok enerjiyi geri getirmeye yöneltmiştir. Sonuç olarak, birçok endüstri ısı geri kazanımına öncelik vermiştir.

Örnek ısı geri kazanım uygulaması;

- Gıda endüstrisi
- Tekstil sektörü boyahane uygulamaları
- Demir çelik endüstrisi
- Hava soğutma sistemleri
- Su soğutma sistemleri
- Flash buhar
- Kompresör uygulamaları şeklindedir.

Son zamanlarda kompresörlerden ısı geri kazanım uygulamaları oldukça yaygın hale gelmiştir. Çoğu kompresörün yağ ve hava devrelerinin ayrı olduğu endüstriyel tesislerde ısı geri kazanım uygulamaları iki ayrı sistemden oluşmaktadır. Havayı sıkıştırmak için kompresörler kullanılır. Kompresör basınçlı hava üretmek için tüketilen elektrik enerjisinin %80'i geri kazanılabilir. Geri kazanılan enerji elde edildikten sonra havadan veya yağdan suya ısı aktarılabilir. Böylelikle sistemin ihtiyaç duyduğu sıcak su ihtiyacı karşılanmış olur. Şekil 5.31 kompresör ısı geri kazanım sistemini göstermektedir.



Şekil 5. 33. Kompresörden ısı geri kazanım akış şeması

5.10. Kompresör Ve Eşanjör İle Kazanç Maliyet Hesabı

Kondens tankının seviyesinin düşmesi ile birlikte su ıslah tesisinde üretilen saf su ile Kondens tankı otomatik olarak beslenir. 10 – 20 °C sıcaklıkta bulunan saf su Kondens tankına dökülmeden önce eşanjörlerden geçirilerek 30 – 40 °C sıcaklığa getirilir. Aradaki 15 - 20 °C sıcaklık kazancı demektir. 5°C sıcaklık artışı %3 - %4 verim artışı sağladığı düşünülürse, besleme miktarı, beslenen suyun sıcaklığı vs. durumları göz önüne alınarak ortalama %10'a yakın kazanç sağlanmış olur. Bu işlem temel ısı formülü üzerinden hesaplanarak da sağlaması yapılabilir. Bu işlem için; Eşanjör giriş sıcaklığı, eşanjörün çıkış sıcaklığı ve beslenen suyun debisinin tespit edilmesi gerekmektedir. Sistemden kontrol edildiğinde;

Tablo 5.1. Eşanjör giriş – çıkış sıcaklıkları ve debi tablosu

Debi (m^3/h)	Eşanjör giriş sıcaklığı (°C)	Eşanjör çıkış sıcaklığı (°C)
7,5 m^3/h	13 °C	31 °C

Vana günlük ortalama 15 saat besleme yapmaktadır. Bu durumda;

$7{,}5\ m^3/\text{h}$ x 15 h $= 112\ m^3$

besleme yapılmaktadır.

Q = m.C.Δt

Q = 4,2 x $\left(112\ \frac{m^3}{h}\ x\ \frac{1000}{3600}\right)$ x (31 °C – 13 °C)

Q = 2362 kWh

1 Sm^3 doğalgazın enerji değeri 10,64 kWh olduğuna göre;

$\frac{2362kWh}{10{,}64kWh} = 222\ Sm^3$ doğalgaz yapmaktadır.

1 Sm^3 doğalgazın birim maliyeti 0,77$ olduğuna göre;

$222\ Sm^3$ x $0{,}77\$ = 170{,}9\ \$$ günlük kazanç elde edildiği görülmektedir.

5.11. Kompresör Verim Hesabı

$$\text{Kompresör verimi} = \frac{Motor\ g\text{ücü}(kW)\ x\ YÇS\ x\ YF\ x\ Elk.Birim\ Fiyatı}{Yıllık\ Enerji\ Maliyeti} \quad (5.15)$$

Enerji maliyeti bir senelik TL olarak alınmaktadır. Yük faktörü de kompresörler tam yükte çalıştıkları için 1 alınmaktadır. Yıllık enerji maliyeti ise 1 Nm^3 hava üretmenin maliyeti ile yıllık üretilen havanın çarpımı ile bulunmaktadır. Bu durumda;

$$\text{Kompresör verimi} = \frac{1365x\ 5475\ x\ 1\ x\ 2{,}49}{19.796.494} \quad (5.16)$$

Kompresör verimi = % 94 olarak bulunur.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Ülkemizin gelişen ekonomisi enerji talebini çok büyük oranda arttırmıştır. Artan bu enerji talebini ithalat ile değil de enerji geri kazanım sistemleri ile karşılamak ülkemiz için oldukça önemlidir. Çünkü bu sayede enerji konusundaki dışa bağımlılığımız azalır ve ülkemiz için önemli bir ekonomik katkı sağlanır. Enerji geri kazanımı ülkemiz için önemli olduğu kadar işletme ve firmalar için de maddi olarak büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple tezde bahsedilen enerji geri kazanım uygulamaları, benzer enerji tüketimi yapan işletmelerce değerlendirilmelidir.

Tezde konu alınan enerji geri kazanım uygulamaları incelenmiş olup uygulamaların getirileri belirlenmiş ve maliyet kazançları hesaplanmıştır. Ekonomizer kullanımı ile aylık ortalama 6500$ kazanç elde edildiği, eşanjör sistemi kullanımı ile de aylık ortalama 5120$ kazanç elde edildiği hesaplanmıştır.

- İncelenen her iki enerji geri kazanımı sonrasında ekonomizer ile elde edilen enerji geri kazanımının yatırım maliyeti ekonomizer, armatürleri, oransal besi sistemi dâhil olmak üzere toplam 36.000$ olmaktadır.
- Ekonomizer kullanımı ile aylık ortalama kazanım hesabına göre 6.500$ kazanç elde edildiğine göre yaklaşık 6 ay gibi bir geri ödeme süresi olduğu görülmektedir.
- Ekonomizer kullanımı ile elde edilen kazanç aylık 6500$ olduğuna göre, 36.000$ yatırım maliyeti göz ününe alındığında ilk sene 42.000$, daha sonra ki seneler 78.000$ senelik kazanç elde edildiği hesaplanmıştır.
- Kompresör ve eşanjör sistemi ile enerji geri kazanımı yatırım maliyeti ve geri ödeme süresi hesaplandığında, enerji geri kazanım sistemli kompresör maliyeti 12.000$ daha fazla olmaktadır. İncelenen sistemde toplamda altı kompresör kullanıldığına göre yatırım maliyetini 72.000$ arttırdığı görülmektedir. Eşanjör sistemi ve borulama maliyeti de 7.000$'dır.
- Bu durumda kompresör ve eşanjör sistemi ile enerji geri kazanımı toplam maliyeti 79.000$ olarak hesaplanmaktadır. Sistem kazancı aylık ortalama 5120$ olarak hesaplandığına göre sistemin geri ödeme süresi yaklaşık olarak 16 ay olarak hesaplanmaktadır.
- Sistemin geri ödeme süresi tamamlandıktan sonra senelik olarak 61.440$ kazanç sağladığı görülmektedir. İşletmeler de ağırlıklı olarak iki yıl ve daha düşük geri ödeme

sürelerini kabul etmektedir. Bu sebeple her iki yatırımında kabul edilebilir olduğu görülmektedir.

Yapılan hesaplar sonucunda ortaya çıkan tabloya baktığımızda tezde konu alınan uygulamaların yaygınlaştırılması hem endüstriyel kuruluşlar için hem ülke ekonomimiz için oldukça önemlidir ve büyük katkılar sağlamaktadır. Bu sebeple benzer kazan kullanım ve uygulamalarında aynı enerji geri kazanım uygulama yöntemlerinin kullanılması tavsiye edilir. Çünkü yapılan incelemeler sonucunda hem maddi olarak hem de bizden sonra gelecek olan nesillere daha ucuz bir enerji daha temiz bir çevre bırakabilmek adına enerji geri tasarrufu ve enerji geri kazanımı çok büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Akbay, M. (2019). Akışkan Yataklı Buhar Kazanı Tesisinde Enerji Geri Kazanımına Yönelik Yapılan Uygulamaların Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 595685.

Durukafa, D. (2010). Buhar Üretim Merkezlerinde Enerji Verimliliğinin Arttırılması ve Bir Endüstriyel Tesisin Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 312246.

Dülger, S. 2007. Akışkan Yataklı Kömür Yakma Sistemlerinde Otomatik Kontrol Tasarım Ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 200979.

Filiz, Ç. (2012). Bir Buhar Kazanının Enerji ve Ekserji Analizi Yoluyla Performansının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, 301817.

Gelir, B. Ç. (2017), Tekstil Sektöründe Kullanılan Ramöz Makinelerinde Isı Geri Kazanımı İle Enerji Tasarrufu. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 476615.

İpek, S. 2018. Otomotiv Endüstrisi Buhar Hatlarında Enerji Geri Kazanımının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 528372.

Karakurt, A.S. (2012). Buhar Türbinlerinin Kısmi Yüklerdeki Performans Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 302614.

Kavak, H. (2018). Tekstil Terbiye Fabrikalarında Enerji Kayıplarının Belirlenmesi ve Kızgın Yağlı Merkezi Kazandan Atık Enerji Geri Kazanım Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 540468.

Kılınç, H. (2016). Endüstriyel Tav Fırını Bacalarından Atık Isının Geri Kazanımı. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, 453391.

Onan, M. E. (2020). Experımental Study Of An Economızer That Recovers Energy From The Waste Gas Of a Steam Generator. Degree of Master, Yeditepe University, Mechanical Engineering, İstanbul, 643066.

Özağdaş, E. (2020). Bölgesel Isıtma Sisteminde Ekonomizer Tasarımı İle Enerji Geri Kazanım Potansiyelinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kars, 630475.

Özdilim, M. (2017). Bir Enerji Santralinde Buhar Kazanı Blöf Atık Isısının Geri Kazanımı ve Maliyet Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yalova, 478725.

Özgün, Ö. (2018). Geri Kazanım Sisteminin Tasarlanması ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korku Ata Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Osmaniye, 522117.

Terhan, M. (2015). Doğalgaz Yakıtlı Bir Kazanda Baca Gazından Enerji Geri Kazanımı ve Yoğuşma Olayının Enerji, Ekserji ve Ekonomik Yönden İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 380484.

Turhan, F. (2012). Endüstriyel Bir Buhar Kazanında Enerji Verimliliği ve Çevresel Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, 316272.

URL-1:https://erensan.com.tr/tr/home-2-2/ , (Ziyaret Tarihi: 20 Mart 2022).

URL-2:https://www.ayvaz.com/Steam-Traps/ , (Ziyaret Tarihi: 27 Mart 2022).

URL-3:https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021 , (Ziyaret Tarihi: 1 Nisan 2022).

URL-4:https://www.atlascopco.com/en-uk/compressors/compressed-airips/compressed-air-manual , (Ziyaret Tarihi: 11 Nisan 2022).

URL-5:https://www.ayvaz.com/Steam-Traps/ , (Ziyaret Tarihi: 27 Mart 2022).

Uysal, H. L. (2019). Endüstriyel Boyahane Tesislerinde Baca Gazı Atık Isısının Geri Kazanım Analizi ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 560673.

Yılmaz, Y. (2010). Demir Çelik Üretimi Yapan Entegre Bir Tesiste Atık Gazlarla Çalışan Buhar Kazanının Teknik ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 268092.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Özdemir E., **Atalay Ü.**, Buhar Kazan Sistemlerinde Enerji Geri Kazanımı Çözümleri, *Uluslararası Mühendislik Fen Bilimleri ve Mimarlık Sempozyumu*, Isensa, Kocaeli, 20 – 21 Mayıs 2021.

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimimi Kocaeli'nde tamamladı. 2013 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümüne başlayıp 2016 yılında Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. 2017-2018 yılları arasında, askerlik görevini tamamladı. 2018 yılından beri Yıldız Demir Çelik Fabrikasında Yardımcı Tesisler Mühendisi olarak görev yapmaktadır.