

T.C
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**TRİJENERASYON SİSTEMİNDE GAZ MOTORU
ÜNİTESİ YAĞLAMA YAĞININ SOĞUTULMASINDAN
ELDE EDİLEN ENERJİNİN BOYLER SİSTEMİNDE
KULLANILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan
Resül KAYA

İstanbul, 2017

T.C
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**TRİJENERASYON SİSTEMİNDE GAZ MOTORU
ÜNİTESİ YAĞLAMA YAĞININ SOĞUTULMASINDAN
ELDE EDİLEN ENERJİNİN BOYLER SİSTEMİNDE
KULLANILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan
Resül KAYA

Öğrenci No:
150893004

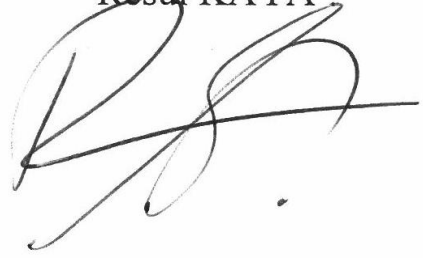
Danışman
Prof. Dr. Ahmet CİHAN

İstanbul, 2017

YEMİN METNİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “trijenerasyon üretim sistemi gaz motoru ünitesi yağlama yağının soğutulmasından elde edilen enerjinin boyler sisteminde kullanılması” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmamın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım. (20.08.2017)

Resül KAYA



T.C.
BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ SAVUNMA SINAVI SONUÇ TUTANAĞI

Beykent Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Aşağıda tez adı belirtilen yüksek lisans öğrencisi 150893004...no'lu Resul KAYA'nın 9/8/2017 tarihinde yapılan tez savunma sınavı¹ sonucunda 100 dakika süreyle sunduğu ve savunduğu tezi hakkında² oybirliğiyle KABUL kararı verilmiştir.

Bilgilerinize saygılarımızla arz ederiz.

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği
Programı : Makine
Tez Başlığı³ : Trijenerasyon Sisteminde Gaz Motoru Ünitesi Yağlama Yağının Sıvılaşmasından Elde Edilen Enerjinin Boyler Sisteminde Kullanılması

Tez Sınav Jürisi

Öğretim Üyesi

Danışman : Prof. Dr. Ahmet ÇİHAN
Üye : Doç. Dr. Cüneyt EZGİ
Üye : Doç. Dr. Uğur AKYOL

İmza

Resul Kaya
Öğretim Üyesi

¹ Jüri üyeleri söz konusu tezin kendilerine teslim edildiği tarihten itibaren en geç bir ay içinde toplanarak öğrenciyi tez savunma sınavına alır. Belirlenen günde yapılamayan jüri toplantısı, katılanların hazırladığı bir tutanakla enstitü yönetimine bildirilir. Bu durumda jüri en geç onbeş gün içinde toplanarak adayın tez savunma sınavına alır. Tez savunma sınav süresi en az 45 dakikadır. Yüksek lisans tez savunma sınavı, tez çalışmasının sunulması ve bunu izleyen soru-yanıt bölümlerinden oluşur ve dinleyiciye açıktır. (Beykent Lisansüstü eğitim ve Öğretim Yönetmeliği-Madde30-3)

² Tez sınavının tamamlanmasından sonra jüri, tez hakkında "kabul", "düzeltme" veya "red" kararı verir. Jüri başkanı, jüri üyelerince imzalanmış sınav tutanağını, tez sınavını izleyen üç gün içinde ilgili enstitü yönetimine teslim eder. Tezi başarısız bulunan öğrencinin Enstitü ile ilişkisi kesilir. Tezi hakkında düzeltme kararı verilen öğrenci en geç üç ay içinde gerekli düzeltmeleri yaparak ve yönetmelikte belirtilen usullere uygun olarak tezini aynı jüri önünde yeniden savunur. Bu savunma sınavında da tezi kabul edilmeyen öğrencinin enstitü ile ilişkisi kesilir. (Beykent Lisansüstü eğitim ve Öğretim Yönetmeliği-Madde30-4)

³ İleride doğabilecek aksaklıkların engellenmesi için tezin başlığının yazılması gerekmektedir.

Adı ve Soyadı : Resül KAYA
Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet CİHAN
Türü ve tarihi : Yüksek Lisans , 2017
Alanı : Makina Mühendisliği
Anahtar Kelimeler : Trijenerasyon, Kojenerasyon, Atık Isı, Termodinamik,
Yağlama Yağı

ÖZ

TRİJENERASYON SİSTEMİNDE GAZ MOTORU ÜNİTESİ YAĞLAMA YAĞININ SOĞUTULMASINDAN ELDE EDİLEN ENERJİNİN BOYLER SİSTEMİNDE KULLANILMASI

Trijenerasyon sistemi, (Birleşik Soğutma-Isı-Güç Sistemleri) elektrik ve ısı enerjisinin aynı yakıttan, aynı sistem içerisinde, eş zamanlı olarak üretilmesidir. Endüstri ve konut uygulamalarında iki enerji türünde ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemlerde en önemli nokta yakıtın enerjisinden optimal derecede yararlanmaktır. Geleneksel elektrik üretim sistemlerinde verim %35-40 civarındayken, trijenerasyon sistemiyle üretilen enerji verimliliği %80-85'e kadar çıkmaktadır.

Birleşik Isı Güç sistemlerinde kullanılan yöntemlerden biri de gaz motorlu trijenerasyon sistemleridir. Bu sistemlerde gaz motoru ve alternatör yardımıyla elektrik üretilirken, açığa çıkan atık ısıdan da ısıtma ve soğutma enerjisi olarak faydalanılmaktadır. Trijenerasyon sisteminde geri kazanılan atık ısılar; motora alınan yanma havasının soğutulmasından elde edilen ısı, motorda dolaşan yağlama yağından kazanılan ısı, motor gövdesinin soğutulmasından elde edilen ısı ve baca gazından elde edilen ısıdır.

Bu çalışmanın amacı, yağlama yağı soğutma suyu atık ısısından faydalanılmayan sistemin, bu atık ısısının, plakalı eşanjörler ve kullanım suyu yardımıyla geri kazanılması ve akümülyasyon tankında geçici depolanarak sirkülasyon pompaları vasıtası ile boiler sisteminde ön ısıtma olarak kullanılmasıyla sistemin enerjiden yararlanma oranının artırılmasıdır.

Name and Surname : Resül KAYA
Supervisor : Prof. Dr. Ahmet CİHAN
Degree and Date : Master, 2017
Major : Machine Engineering
Key Words : Trigeneration, Cogeneration, Waste Heat, Thermodynamics,
Lubrication Oil

ABSTRACT

USING THE ENERGY OBTAINED FROM THE COOLING OF THE GAS MOTOR UNIT LUBRICATING OIL FOR THE BOILER IN THE TRIGENERATION SYSTEM

The Trigeneration System (Combined Cooling, Heat and Power Systems) is the simultaneous production of the electricity and heat energy from the same fuel in the same system. Both of these energies are needed in the industrial applications and the residence buildings. The most important point in these systems is to make optimal use of the fuel's energy. While the efficiency of conventional electricity generation systems is around 35-40%, the energy efficiency produced by the trigeneration system is up to 80-85%.

One of the methods used in combined heat and power systems is the trigeneration systems with gas engines. In these systems, the generated waste heat is made use of as a heating and cooling energy while the electricity is produced with the help of a gas engine and an alternator. The heat obtained by cooling the combustion air absorbed in the engine, the heat acquired from the lubrication oil processing in the engine, the heat obtained by cooling the engine casing and obtained from stack gas are the recycled waste heats in the trigeneration system.

The aim of this study is to recover the efficiency of the current system which does not make use of the waste heat of cooling water of the lubricant oil and to regain this waste heat with the help of plate exchangers and running water and by keeping it temporarily in the accumulation tank and using it for preheat in boiler system through circulation pumps so that the system's operating rate of the energy improves.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Çağımızda tükenme noktasına gelen enerji kaynakları, artan israf ve insanların hırsından dolayı enerji kaynaklarında yaşanan problemler, elimizdeki kaynakları en iyi şekilde kullanmamızı zorunlu kılmaktadır. Bunun bir sonucu olarak trijenerasyon sistemi de enerji kaynağından optimal verim elde etmeyi amaçlamaktadır.

Bu noktada bize düşen görev enerji kaynaklarını daha verimli ve efektif kullanılabilir hale getirmektir. Yapılan çalışmada, bu fikirden yola çıkılarak verimin artırılması hedeflenmiştir.

Tez çalışması boyunca, konunun tespitinden sonucuna kadar her safhada desteğini esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım sayın Prof. Dr. Ahmet Cihan'a ve Müdürüm Hüseyin EROĞLU'na teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca bugünlere gelmemde büyük emeği ve desteği olan aileme ve müstakbel eşim Zeynep Sinem Demir'e teşekkürlerimi sunarım.

Resül KAYA

İstanbul, 2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
SİMGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Trijenerasyon Sistemi.....	2
1.1.1. Trijenerasyon Sistemi Çalışma Prensibi.....	3
1.1.2. Çalışma Modları.....	4
1.1.3. Alçak Gerilim Eşgüdümü (AG).....	5
1.1.4. Orta Gerilim Eşgüdümü (OG).....	5
1.1.5. Lisanssız Elektrik Üretimi.....	5
2. TRİJENERASYON SİSTEM ELEMANLARI	6
2.1. Güç Üreticiler.....	6
2.1.1. Gaz Motorları.....	6
2.2. Baca Gazı Atık Isı Geri Kazanım Ünitesi.....	17
2.2.1. Duman Borulu Atık Isı Kazanları.....	18
2.2.2. Su Borulu Atık Isı Kazanları.....	19
2.2.3. Helezon Borulu Atık Isı Kazanları.....	19
2.3. Plakalı Isı Değişiriciler.....	19
2.3.1. Contalı Plakalı Eşanjörler.....	22
2.3.2. Lehimli Plakalı Eşanjörler.....	23
2.4. Jeneratör ve Elektrik Ekipmanları.....	24
2.5. Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi.....	26
2.5.1. Absorpsiyonlu Soğutma Çevrimi.....	28
2.5.2. Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Avantaj Ve Dezavantajları.....	34
3. GAZ MOTORLU TRİJEN SİSTEMLERİNDE ISI GERİ KAZANIMI	35
3.1. Ceket Isısı Geri Kazanımı.....	35
3.2. Egzoz Gazı Isı Geri Kazanımı.....	35
3.3. Yağlama Yağı Isı Geri Kazanımı.....	36
4. KAYNAK ÖZETLERİ	37
4.1. Materyal Ve Metot.....	37

4.1.1. Sistem Özeti	37
4.2. Hesaplamalar	39
4.2.1. Lt-Primer Devre	39
4.2.2. Plakalı Eşanjör Isı Geçiş Miktarı	44
4.2.3. LT-Seconder Devre	45
4.2.4. Plakalı Eşanjör Isı Geçiş Miktarı	52
4.3. Sistem Verimi	56
4.3.1. Gaz Motoru Hakkında Genel Bilgiler	56
4.3.2. 2017 Ocak Ayı İçerisinde Saatlik Üretim / Tüketim Miktarları	57
4.3.3. Maliyet ve Verim Analizi	67
5. SONUÇ	68
KAYNAKLAR DİZİNİ	70
EKLER	73
EK-1 Suyun Termodinamik Özellikleri Tablosu	73
EK-2 Boru Çapları Tablosu	74
EK-3 Isı Aktarım Katsayısı Tablosu	75
EK-4 Trijenerasyon Sistemi Yağlama Yağı Isı Geri Kazanımı Akış Diyagramı.	76
ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1	Trijenerasyon Gaz Motoru.....	3
Şekil 2	Dizel ve Gaz Motorlu Trijen Sistemi.....	7
Şekil 3	Gaz Motoru Bileşenleri	8
Şekil 4	Gaz Motoru Bileşenleri	9
Şekil 5	Üst Karter Görünümü	10
Şekil 6	Silindir Kapağı Görünümü	11
Şekil 7	Manifold Görünümü	12
Şekil 8	Turboşarj Görünümü	13
Şekil 9	Turboşarj Şeklinin Şematik Gösterimi	14
Şekil 10	Motor Soğutma Sistemi	15
Şekil 11	Plakalı Isı Değiştiriciler	21
Şekil 12	Contalı Tip Plakalı Eşanjör.....	23
Şekil 13	Lehimli Tip Plakalı Eşanjör.....	24
Şekil 14	Faraday'ın Absorption Deney Aygıtı	27
Şekil 15	Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi Çevrimi	29
Şekil 16	Tek Etkili LiBr-H ₂ O Çözeltili Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi	30
Şekil 17	Çift Etkili LiBr-H ₂ O Çözeltili Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi.....	33
Şekil 18	SHE 32-160/15/A Pompa H-Q Grafiği	40
Şekil 19	FCS 40-125/07/D Pompa H-Q Grafiği	47
Şekil 20	FCS 40-125/11/D Pompa H-Q Grafiği	55
Şekil 21	Günlük Bazda Elektrik Üretim ve Doğalgaz Tüketim Reel Değerler	58
Şekil 22	Elektrik Üretim Günlük Değerleri	59
Şekil 23	Doğalgaz Tüketim Günlük Değerleri	60
Şekil 24	Sistem Verim ve Maliyet Hesaplamaları	61
Şekil 25	İntercooler Isı Geri Kazanımı Yapılmış Sistem Verim ve Maliyet Hesaplamaları	64
Şekil 26	Trijenerasyon Akış Diyagramı – ilk hali	65
Şekil 27	Trijenerasyon Akış Diyagramı – son hali	66

KISALTMALAR DİZİNİ

AG	: Alçak gerilim
AgCl₂	: Gümüş klorür
CCHP	: Combined cooling, heating and power generation
CO₂	: Karbondioksit
COP	: Performans katsayısı
CTP	: Cam elyaf takviyeli plastik
HDPE	: High density polyethylene
LiBr	: Lityum bromür
NBR	: Nitril kauçuk
NH₃	: Amonyak
OG	: Orta gerilim

SİMGELER DİZİNİ

ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
C_p	Isıl kapasite ($\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$)
Q	Pompa debisi (m^3/h)
H	Pompa basma yüksekliği (m)
P	Pompa gücü (kW)
D_d	Boru dış çapı (mm)
D_i	Boru iç çapı (mm)
Q_i	Sistem enerjisi (kW)
\dot{m}	Kütleli debi (kg/s)
T	Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)
\dot{V}	Hacimsel debi (m^3/h)
V	Akış hızı (m/s)
q	Sistem enerjisi (kW)
U	Toplam ısı geçiş katsayısı ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)
ΔT	Sıcaklık farkı ($^\circ\text{C}$)
ΔT_{lm}	Logaritmik ortalama sıcaklık farkı ($^\circ\text{C}$)
ϵ	Enerjiden yararlanma oranı
P	Sistemden elde edilen elektrik gücü (kW)
H	Harcanan toplam yakıt (kWh)

Alt İndisler

g	Giren
ϕ	Çıkan
w	Ortalama
1	1. Devre
2	2. Devre
i	İç
d	Dış
e	Elektrik
b	Baca
c	Ceket
i	Yağlama yağı

1. GİRİŞ

Enerji sektörü, ülkelerin gelişmeyi sürdürmesi ve sosyal, ekonomik açıdan kalkınmayı sağlamasında en önemli rolü üstlenmektedir. Bir çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de fosil kaynaklı yakıtlar oldukça çok kullanılmaktadır. Fosil yakıtların kullanılması sonucu oluşan etkiler gittikçe artmakta olup, özellikle bu yakıtların yanma reaksiyonu sonucu ortaya çıkan zehirli gazlar çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Nüfusunun artması ve ekonomisinin gelişmesi nedeni ile ülkemizin enerji ihtiyacı gittikçe artmakta olup, buna karşın doğal enerji kaynakları etkin bir şekilde kullanılamamaktadır. Enerji sektöründe uzun vadede yapılacak planlamaların önemi de buna bağlı olarak artmaktadır[1].

Trijenerasyon sistemleri, yakıttan elektrik üreten ve bu üretim sonucu açığa çıkan ısı enerjisini kullanan kombine sistemlerdir. Bu sistemlerin avantajları; yüksek verim, üretim ve dağıtım kayıplarının yerinde üretim yapılmak suretiyle en aza indirilmesi, iletim dağıtım hatlarına yapılacak yatırımın azaltılması, yakıt tüketiminin yüksek verimden dolayı düşmesiyle hem işletmenin enerjiye ayrılan bütçesini düşürmek hem de CO₂ emisyonunu azaltmaktır. Trijenerasyon sistemlerinin üstünlüğü üretilen enerjideki kalite ve sürekliliktir. Böylece elektrik kesilmesi, frekans ve voltajdaki düzensizlikler ortadan kalmış olur[2].

Trijenerasyon sistemleri tasarlanırken, sistemin ekonomik olması, teknik açıdan toplam enerjiden yararlanma oranı ve kullanıcının gereksinimleri dikkate alınmaktadır. Genellikle gaz motorları, 15-20 MW seviyesinin altında, bu seviyenin üzerinde ise gaz türbinleri kullanılmaktadır. Bu konuda dikkat edilmesi gereken husus elektrik-ısı oranıdır. Eğer çok az miktarda atık ısıdan faydalanılacaksa gaz türbini kurmak daha avantajlıdır. Ülkemiz koşullarında elektrik birim fiyatı pahalı olduğundan ve gaz motorlarının da elektriksel verimi yüksek olduğundan, bu teknolojiyi seçmek daha ekonomik görülmektedir.

Kojenerasyon sistemine absorpsiyonlu soğutma grubu eklenerek trijenerasyon sistemleri oluşturulmaktadır. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin sıcak su kullanılarak işletilmesinde tercih edilen iki tür sistem vardır. Bunlar amonyak-su ve su-lityum bromür ikili karışımlarını kullanan çevrimlerdir.

1.1. Trijenerasyon Sistemi

Yalnızca elektrik üreten bir gaz türbini ya da motoru kullanarak basit çevrimde çalışan sistemlerde, enerjinin %30-40'lık miktarı elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Bu sisteme absorpsiyonlu soğutma grubu eklenerek trijenerasyon sistemine dönüştürülmesi halinde, kullanılmayan ısı enerjisinin önemli bir miktarı kullanılabilir enerjiye dönüştürülerek toplam enerjiden yararlanma oranı %80-90'lara kadar çıkarılabilir. Bu teknik, birleşik ısı-güç ya da trijenerasyon sistemi olarak isimlendirilir.

Adından da anlaşılacağı gibi trijenerasyon sistemi üç çeşit enerjinin (elektrik+ısıtma+soğutma) aynı enerji kaynağından birlikte üretilmesine olanak sağlar. Bu değişim sürecinin ardından kojenerasyon, trijenerasyon veya kombine soğutma-ısıtma-güç üretimi olarak tanımlanmaktadır (CCHP: combined cooling, heating, and power generation).

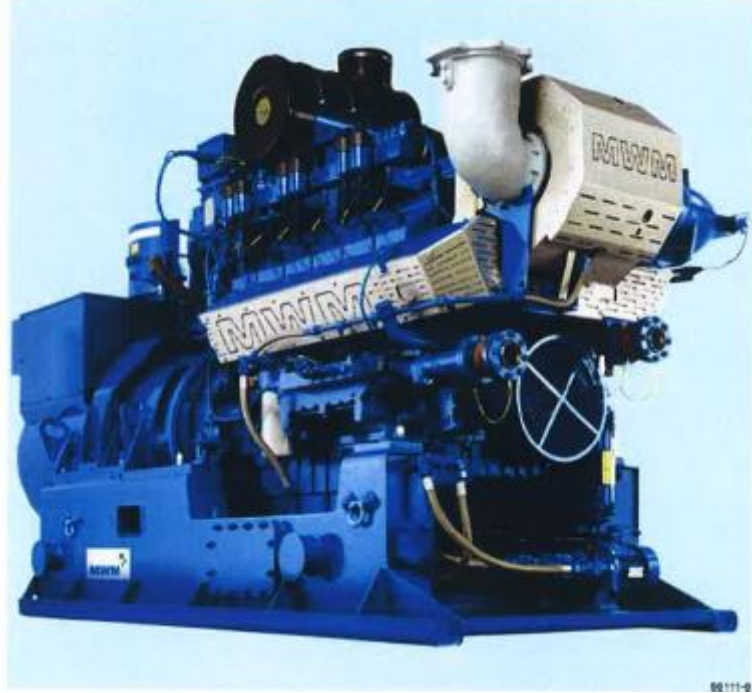
Kojenerasyon sistemindeki mekanizmanın aynısı kullanılmakta; ihtiyaç duyulan soğutma enerjisi, bir soğutma ünitesi eklenerek ısıtma enerjisinden sağlanmaktadır. Trijenerasyon sisteminde, absorpsiyonlu soğutma grubu kullanılarak kojenerasyonun atık ısısından faydalanılarak elde edilen sıcak su veya buhar ile soğuk su üretilmektedir. Toplam enerji verimi, basit çevrimde ortalama %30-40, kojenerasyonda %60-70, trijenerasyonda ise %80-90 oranlarındadır.

Trijenerasyon tesisleri, kentsel yerleşimlerin ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını karşılamak için de kullanılmaktadır. Yaşam alanlarının hem elektrik hem de ısıtma ihtiyacı, güç ve ısı merkezli trijenerasyon tesisi tarafından karşılanabilir. İhtiyaç duyulduğunda absorpsiyonlu soğutucularla soğutma da sağlanabilir. Trijenerasyon tesislerinden yararlanan diğer kentsel birimler hastane yerleşkeleri, oteller, alışveriş merkezleri, büyük depolar, banka merkezleri, üniversite kampüsleri ve 24 saat ısıtma, soğutma, havalandırmaya ihtiyaç duyan büyük yapılarıdır[3].

1.1.1. Trijenerasyon Sistemi Çalışma Prensibi

Trijenerasyon sistemlerinde, basit bir çevrimden farklı olarak yüksek bir verim elde edilmesinin nedeni egzoz gazı, ceket soğutma ve yağlama yağı atık ısılarının geri kazanılmasıdır. Basit çevrimlerde motor, yakıt enerjisinin %30-40 kadarını sadece elektrik enerjisine çevirebilirken, trijenerasyon sistemlerinde buna ek olarak atık ısının büyük bir kısmı enerjiye dönüştürülür.

Trijenerasyon sisteminde, güç üreteçlere bağlı alternatör yardımı ile 400 V elektrik üretimi gerçekleştirilir. Üretim esnasında oluşan atık ısılar, çeşitli yöntemler yardımıyla geri kazanılarak tesisin ısıtma ve soğutma ihtiyacını giderir.



Şekil 1 Trijenerasyon Gaz Motoru

Jeneratörde yanan yakıt enerjisinin (birincil enerji);

- % 35-40' lık oranı mekanik güce,
- % 30-35' lik oranı motor ceket ısısına,
- % 25-30' luk oranı egzoz ısısına dönüşmekte,
- Geri kalan % 7-10' luk oranı da enerji kaybına uğramaktadır.

Motorun turbo şarj ve ceket soğutma döngüsünden plakalı eşanjör yardımıyla elde edilen ısı, ısı geri kazanım kazanında baca gazının enerjisini de alarak tesisin ısıtma ve soğutma ihtiyacını karşılamak üzere eşanjörlere gönderilir[4].

1.1.2. Çalışma Modları

Trijenerasyon elektrik üretim sistemi 3 farklı şekilde çalıştırılabilir.

1.1.2.1. Şebeke İle Eşgüdümlü Çalışma

Elektrik ihtiyacını karşılamak için trijenerasyon sisteminin kesintisiz olarak çalışması gerekir. Şebeke, üretim sisteminin kapasitesini aşan elektrik enerjisi taleplerini karşılar. Paralel çalışma, motor arızalarında sistemin güvenilirliğini arttırmasına rağmen, şebekeden gelen darbelerde sistemin kendini korumaya alarak elektrik kesintisine neden olan çalışma modudur.

1.1.2.2. Ada Modunda Çalışma

Trijenerasyon sistemleri, ada modundayken jeneratör seti şebeke enerjisine bağımlı olmaksızın çalışarak şebeke rolünü üstlenir. Şebeke ile paralel çalışma modu aktifken, talep edilen elektrik ihtiyacı da sistem kapasitesinin üzerinde değil ise, şehir şebeke enerjisinin herhangi bir şekilde kesilmesi durumunda jeneratör seti otomatik olarak ada modunda çalışmaya başlar. Gaz motorlu sistemlerin ani ve blok yük alma kabiliyetinin düşük olması ve motorlar çalıştırılırken ihtiyaç duyulan

yüksek akımlara dizel jeneratör setleri gibi tekpi verememesi bu modun dezavantajlarından.

1.1.2.3. Yedek Modda Çalışma

Acil bir durumda şebeke enerjisi kesildiğinde jeneratör setinin yedek bir güç üretici gibi çalıştırıldığı moddur. Trijenerasyon tesis maliyeti, aynı kapasiteye sahip bir dizel jeneratörün yaklaşık iki katı olacağından, sadece yedek olarak çalıştırılacak bir tesisin kurulması günümüz koşullarında pek mantıklı değildir.

1.1.3. Alçak Gerilim Eşgüdümü (AG)

Yalnızca bir elektrik barasının beslenilmesinin planlandığı tesislerde, yükseltici trafo, trafo tesisi, OG hücreleri, elektriksel kablolama ve nötr direnç gibi maliyetlerden tasarruf edilmesine olanak sağlayan AG eşgüdümü, 0,4 kV gerilim seviyesinde senkron olmaktadır.

1.1.4. Orta Gerilim Eşgüdümü (OG)

Bara ve trafo miktarı birden fazla olan tesislerde, tek bir bara alçak gerilim seviyesinden beslenemeyeceğinden ve elde edilen enerji sadece orada kullanılamayacağından, jeneratör setinde üretilen elektrik enerjisi yükseltici trafo ile orta gerilim seviyesine yükseltilerek senkronize edilir ve enerji tüm sisteme istenilen gerilim seviyelerinde (gerektiğinde trafo yardımıyla gerilim düşürülerek) basılarak ihtiyaç duyulan noktalarda kullanılır. OG senkronizasyonunun, AG senkronizasyona göre dezavantajlı olmasının nedeni maliyetinin yüksekliğidir. Fakat, beslenilecek sistemler göz önünde bulundurulduğunda, enerji kullanımında tesise esneklik sağlar.

1.1.5. Lisanssız Elektrik Üretimi

Son yıllarda, lisanssız elektrik üretimi popülaritesini artırmıştır. Bu durumun nedenleri arasında; geçerliliğini yitiren otoprodüktör lisansı, enerji satışı yapmak isteyen tesislere getirilen üretici lisansı alma zorunluluğu, enerji piyasasındaki büyük rol üstlenen kurumlar ile saatte 2 MWh elektrik enerjisi üreten ve bunun bir kısmını

mahsuplaşma yoluyla değerlendirmek isteyen trijenerasyon sistemine sahip tesislerin aynı şekilde sınıflandırılması gibi maddeler sıralanabilir. Toplam verimlilik oranı %80 ve üzerine çıkan trijenerasyon tesisleri, sadece ihtiyaçlarını karşılamak ve aynı bölge içerisinde kendi bünyelerindeki farklı tesislerde mahsuplaşma yoluyla kullanılmak için yerinde üretim yapmak istediklerinde, lisanssız elektrik üretimi yapabilme avantajına sahip olabilir[4].

2. TRİJENERASYON SİSTEM ELEMANLARI

Trijenerasyon sistemleri genel olarak 5 ana kısımdan oluşmaktadır:

- Güç üreticiler
- Baca gazı ısı geri kazanım ünitesi
- Plakalı ısı değiştiriciler
- Jeneratör ve elektrik ekipmanları
- Absorpsiyonlu soğutucu

2.1. Güç Üreticiler

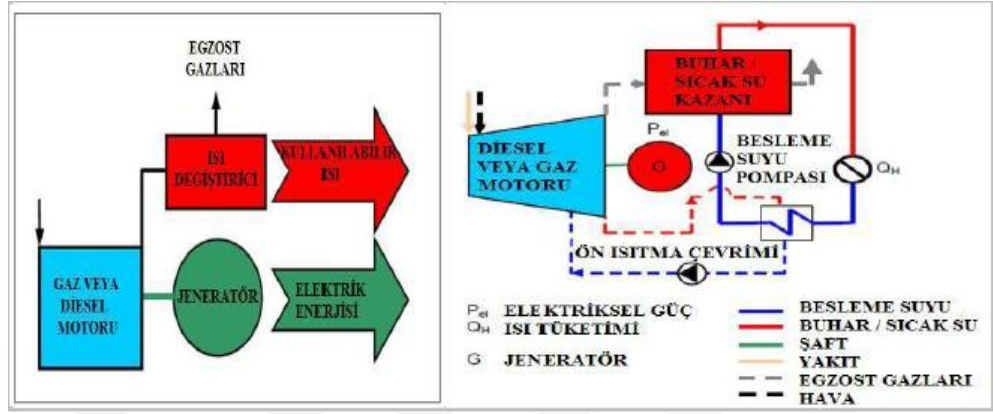
Trijenerasyon sistemlerinde güç üreticileri genellikle kullanılan yakıt tipi ve jeneratöre göre sınıflandırılırlar:

- Gaz motorları
- Gaz türbinleri
- Buhar türbinleri

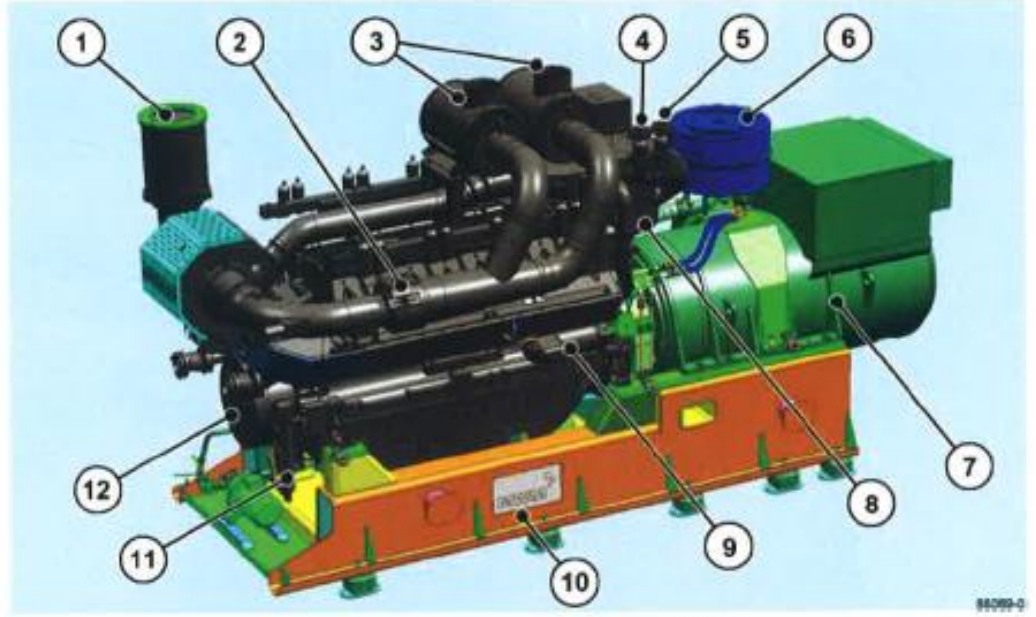
2.1.1. Gaz Motorları

Silindirli olup 500 ile 22000 kW güç aralıklarında değişirler. Son derece büyük bir silindir hacimlerinin olması yanında, kapasitelerine göre değerlendirildiklerinde kW başına en düşük maliyetli sistemler olup elektrik verimleri ortalama %45 gibi yüksek seviyelere ulaşabilmektedir. Genel olarak 5 MW kurulu gücün altındaki kapasitelerde tercih edilen bu sistemlerde elde edilen termal

enerji; egzoz gazları, soğutma eşanjörleri ve motor soğutma suyu sisteminden sağlanır. Çıkan egzoz gazı 480 °C ve elde edilen sıcak su ise 95 °C civarlarındadır. Gaz motorları yakıt olarak doğalgaz, biogaz ve propandan faydalanır.



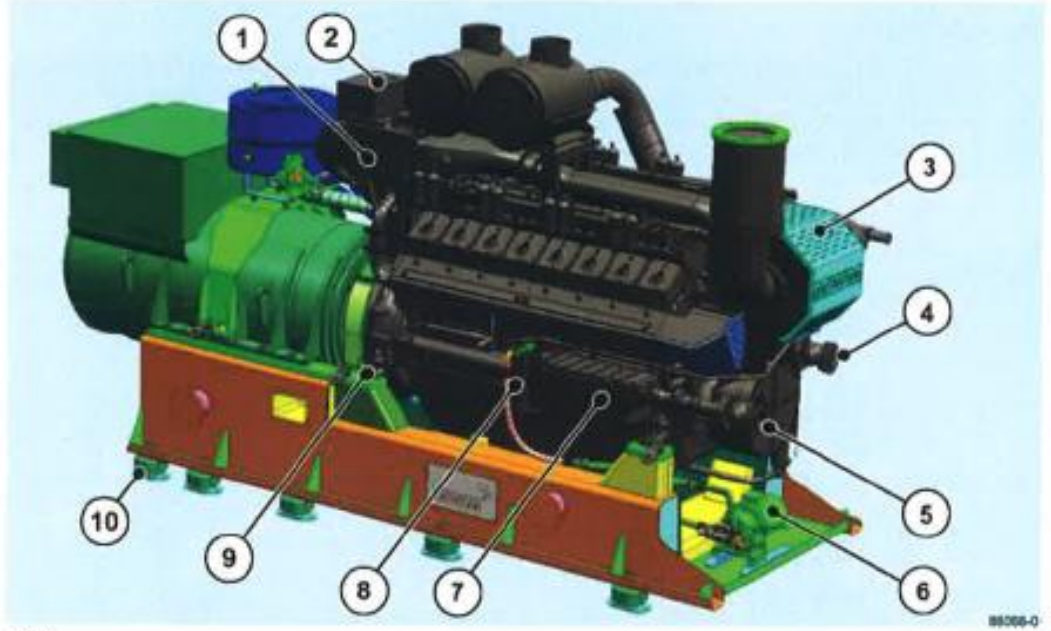
Trijenerasyon sistemlerinde kullanılan pistonlu motorlar ikiye ayrılır: Araba motorlarındaki gibi buji ateşlemeli (otto çevrimi) ve sıkıştırma ateşlemeli (dizel çevrimi)[6].



A 4-4

- 1 Egzoz kompensatörü
- 2 Karbüratör
- 3 Emme havası filtresi
- 4 Soğutma sıvısı çıkışı (düşük sıcaklık devresi)
- 5 Soğutma sıvısı girişi (düşük sıcaklık devresi)
- 6 Üst karter havalandırma sistemi
- 7 Alternatör
- 8 Aktuatör
- 9 Marş motoru
- 10 Ana şase
- 11 Yağ seviye sensörü
- 12 Burulma titreşimi sönümleyicisi

Şekil 3 Gaz Motoru Bileşenleri



A 4-5

88066-0

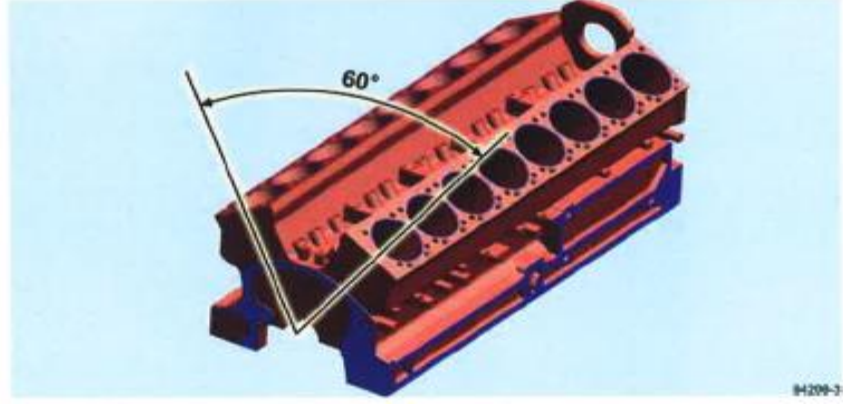
- 1 Ara soğutucu
- 2 Ateşleme sistemi
- 3 Turboşarj
- 4 Soğutma sıvısı çıkışı (yüksek sıcaklık devresi)
- 5 Soğutma sıvısı girişi (yüksek sıcaklık devresi)
- 6 Ön yağlama pompası
- 7 Yağ soğutucusu
- 8 Yağ filtresi
- 9 Motor yatağı
- 10 Elastik yataklama

Şekil 4 Gaz Motoru Bileşenleri

2.1.1.1. Üst Karter

Üst karter, burulma dayanımı, kırılmaya karşı dayanıklılık ve döküm sızdırmazlığı gibi özelliklere sahip alaşımlı özel döküm malzemedan imal edilmektedir. Üst karterin yan duvarları, krank mili ortasına kadar uzanmakta ve böylece ek bir burulma dayanımı sağlanmaktadır.

60° lik silindir açısı, bir çok uygulamada talep edilen ince yapı şeklini mümkün kılmaktadır.



Şekil 5 Üst Karter Görünümü

Krank mekanizması, krank mili, biyel kolu, pistonlar, burulma titreşimi sönümleyici ve volan yapı parçalarını içermektedir.

2.1.1.2. Silindir Kapağı

Silindir kapakları, aynı üst karter gib alaşımli özel döküm malzemedden imal edilmektedir. Her silindir için ayrı tekil silindir kapağı takılmıştır. Tekil silindir kapağı, sorunsuz bir şekilde ulaşılabilir olması ve sahip olduğu uygun yapı şekli sayesinde çok kısa bir sürede değiştirilebilmektedir. Silindir kapakları sıvı soğutmalı olup, motor soğutma sistemine entegre edilmiştir.



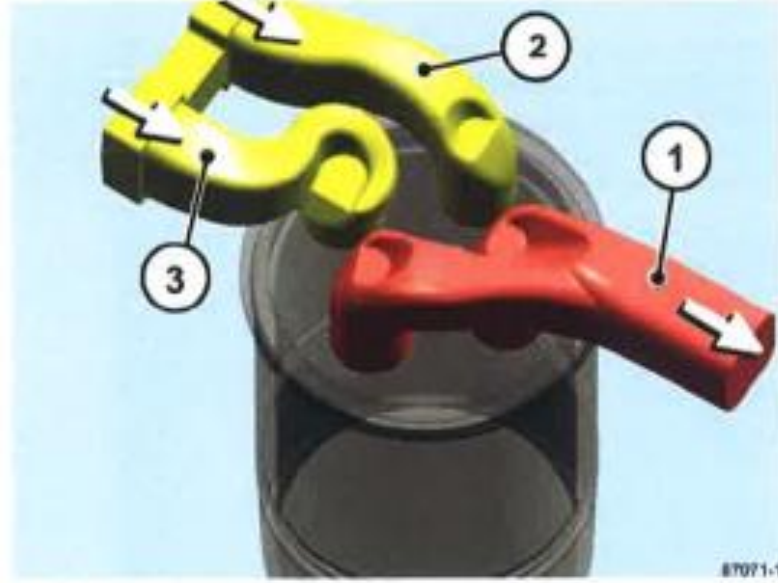
A 4-13

- 1 Emme supabı külbütör kolu
- 2 Külbütör kolunun ayar vidası
- 3 İtme çubuğu
- 4 Egzoz supabı külbütör kolu
- 5 Supap yayı
- 6 Supap tablası
- 7 Supap köprüsü

Şekil 6 Silindir Kapağı Görünümü

2.1.1.3. Manifold Yapısı

Manifoldların yapısı, çapraz akış prensibine göre tasarlanmıştır. Silindir kapakları bir taraftan, karışım hattı üzerinden gaz/hava karışımı ile beslenir. Silindir kapaklarındaki her iki emme manifoldu, farklı bükümlere sahiptir. Bunlar, doldurma kanalı ile bir türbülans kanalına ayrılır. Bunlar şekiller itibari ile karışımın yanma odasına akışını sağlamakta ve dolunun iyileştirilmesine yol açmaktadır. Egzoz manifoldları, egzoz gazı enerjisinin kaybolmadığı, aksine tekrar kullanıldığı egzoz sisteminde sonlanır.



A 4-14

- 1 Egzoz manifoldu
- 2 Doldurma kanalı
- 3 Türlülans kanalı

Şekil 7 Manifold Görünümü

2.1.1.4. Turboşarj

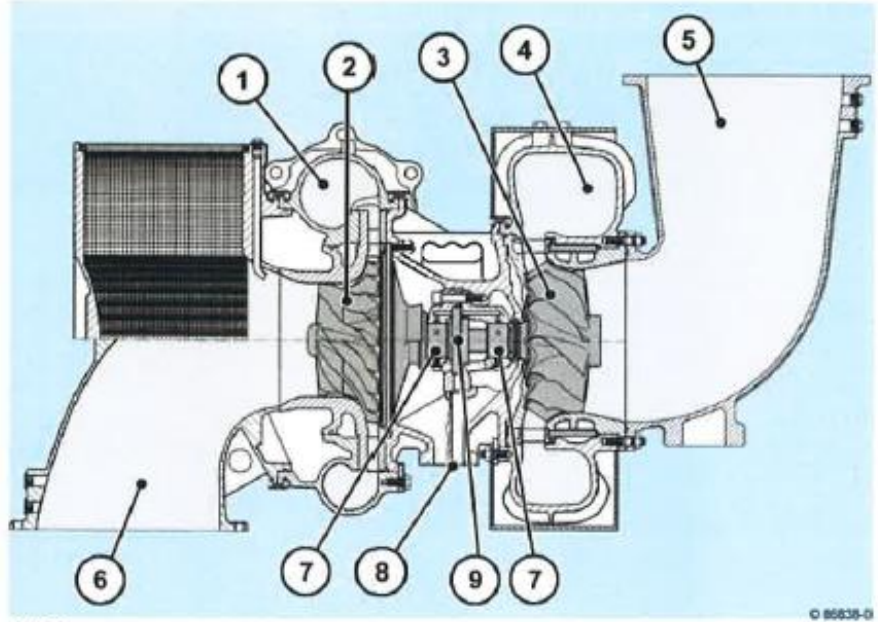
Turboşarj, egzoz gazı akışından enerji elde eder ve motorun işlemi için gerekli olan gaz-hava karışımını sıkıştırır.

Turboşarjın aşırı doldurması sayesinde, egzoz gazlarındaki zararlı madde emisyon yüzdeleri azaltılmakta ve aynı anda bir güç artışı elde edilmektedir.

Turboşarj, aynı rotor üzerine takılmış iki turboşarj ünitesinden, bir radyal türbinden ve bir radyal kompresörden oluşmaktadır. Motorun egzoz gazları, giriş gövdesinden ve emme bileziğinden geçerek türbin çarkına ulaşır. Türbin çarkı, kompresör çarkına hareket vermek için egzoz gazındaki enerjiyi kullanır.

Motorun çalıştırılması için gerekli olan gaz-hava karışımı, emme manifoldu üzerinden kompresör çarkına ulaşır. Gaz/hava karışımı, kompresör çarkı tarafından sıkıştırılır ve kompresörü gövdesindeki difüzör ve basınç girişleri üzerinden motorun

karışım hattına iletilir. Egzoz gazları, gaz çıkış flanşına bağlanmış egzoz borusu üzerinden dışarı atılır.

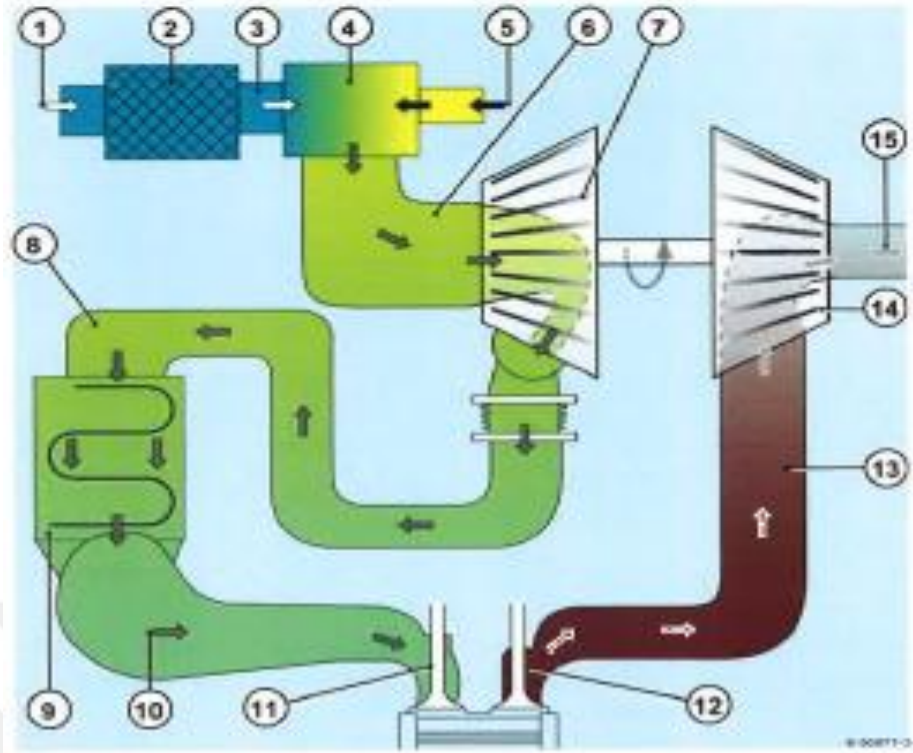


A 4-28

© 86638-0

- 1 Gaz-hava karışımı çıkışı
- 2 Radyal kompresör ya da kompresör çarkı
- 3 Radyal türbin ya da türbin çarkı
- 4 Egzoz gazı girişi
- 5 Egzoz gazı çıkışı
- 6 Gaz-hava karışımı girişi
- 7 Radyal yatak ya da kayar yatak
- 8 Yağlama yağı kanalı
- 9 Eksenel yatak

Şekil 8 Turboşarj Görünümü



A 4-20

©-00011-3

- | | |
|----|---|
| 1 | Emme havası |
| 2 | Emme havası filtresi |
| 3 | Filtre edilmiş emme havası |
| 4 | Karbüratör |
| 5 | Gaz yakıt |
| 6 | Gaz-hava karışımı |
| 7 | Kompresör çarkı |
| 8 | Sıkıştırılmış gaz-hava karışımı |
| 8 | Ara soğutucu |
| 10 | Soğutulmuş, sıkıştırılmış gaz-hava karışımı |
| 11 | Emme supabı |
| 12 | Egzoz supabı |
| 13 | Egzoz gazı |
| 14 | Türbin çarkı |
| 15 | Egzoz susturucusu |

Şekil 9 Turboşarj Şeklinin Şematik Gösterimi

Trijenerasyon sistemlerinde gaz motorlu uygulamaların tercih edilme nedenleri ve elde edilen avantajlar şunlardır:

- En yüksek miktarda elektrik üretebilmesi, (elektrik ısı oranı $\cong 0,8$) ısı enerjisi tüketimine oranla elektrik enerjisi ihtiyacı daha fazla olduğu durumlarda toplam %45'e varan enerjiden yararlanma oranı ile uygun çözüm alternatifleridir. Gaz motorları bu özellikleri ile elektrik ihtiyacının yanında, ısıtma veya soğutma amaçlı ısı enerjisi gereksinim duyan tesisler gibi uygulama sahalarında uygun çözümler sunmaktadırlar.
- Elektrik çevrim verimi arttıkça toplam çevrim veriminin önemli miktarda azaldığı sistemler, %85-91 arasında değişen türbinli CCHP (Combined Heat and Power – Bileşik ısı ve güç) sistemleriyle karşılaştırıldığında gaz motorlu sistemlerde toplam çevrim veriminin düşmediği gözlemlenmektedir.
- Fakir karışım yanma sistemlerinin modernize edildiği motorlar, emisyonlarını azaltabilmek için katalizöre ihtiyaç duymamakta, uzun süreler izin verilen emisyon değerlerinin altında çalışabilmektedirler. Fakir karışım veya katalizörlü yakma sistemlerinin çevre dostu temiz doğalgazla birleştirilmesi ile ulaşılan emisyon seviyesi çok düşük olabilmektedir.
- Gaz motorlu trijenerasyon sistemlerini en esnek CHP sistemi yapan en önemli faktör, kısmi yük verimlilikleri ve çok modüllü konfigürasyonudur. Enerji maliyetlerinin gün bazında en aza indirilmesine olanak sağlayan, gün içinde sistemin elektrik ve ısı enerjisi talep değişikliklerini karşılayabilen sistemlerdir. Bu durumu sağlayan ana faktör ise düşük yükte çalışma şeklinde verimin önemli miktarda etkilenmemesi ve modüllerin ihtiyaç halinde sırayla devreye girip çıkma imkânlarıdır.

- Sağladığı kolaylıklardan biri de kısa zamanda devreye alınabilmesi ya da devre dışı bırakılabilmesidir. Bu sistemler az devre elemanı içermesi sayesinde diğer sistemlere göre daha kısa sürede inşa edilebilmektedirler.
- Genellikle gaz motorlarında yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Fakat atık arıtma tesislerinden elde edilen kanalizasyon gazı (Sewage gas), çöp depolama tesislerinden elde edilen çöplük gazı (Landfill gas) ve benzer şekilde biyogaz, kok gazı vb. yakıtlar da kullanılabilir.

2.2. Baca Gazı Atık Isı Geri Kazanım Ünitesi

Trijenerasyon sistemlerinde ikinci önemli ekipman atık ısı geri kazanım kazanlarıdır. Buna ek olarak absorpsiyonlu soğutma sistemleri de ısı geri kazanımı olarak kullanılmaktadır. Absorpsiyonlu sistemlerde, mevcut olan iki farklı tipten birincil olanı doğrudan baca gazından ısı geri kazanımı yaparken, ikincil olanı atık ısı geri kazanım kazanından gelen sıcak sudan ısı elde ederek ısı geri kazanımı yapar.

Bu sistemlerde baca gazı, konveksiyonla ısını suya aktararak kazanı terkeder ve atmosfere gönderilir. Atmosfere atılan baca gazının içerdiği önemli ölçüdeki ısı, geri kazanılabilir nitelikte değildir. Bu durumu engel olan nedenlerden bazılarını şöyle sıralayabiliriz;

- Egzoz gazları, yoğunluk farkı sebebiyle yükselme hareketini yapamayacakları sıcaklıklara soğutulmamalıdır.
- Egzoz sıcaklıklarının düşük olması kazanlarda büyük ısı transfer alanları, buna bağlı olarak da büyük hacimler gerektirir.
- Egzoz gazlarının karşılaşacakları direncin aşırı olması motorda zorlamalara yol açabilir.

Atık ısı geri kazanım kazanları, kullanım amacı, gaz özellikleri, yerleşim yeri, ısı kapasite ve kazan kapasitesi gibi faktörlere bağlı olarak;

- Duman borulu,
- Su borulu,
- Spiral serpantinli,
- U boru serpantinli,
- Düz boru serpantinli,
- Helezon serpantinli

tiplerde buhar, kaynar su ve sıcak su üretmek üzere tasarlanmakta ve üretilmektedir.

2.2.1. Duman Borulu Atık Isı Kazanları

- Buhar ve kaynar su üretmek için, genellikle küçük ve orta kapasiteli tesislerde kullanılırlar.
- Cam fabrikalarında, gemi acil durum dizel motorlarda, enerji üretim tesislerinde yatay veya dikey tip olarak kullanılabilirler.
- Kazan içine kolaylıkla müdahale edilebildiğinden temizlik ve bakımları oldukça zahmetsizdir.
- Su borulu kazanlardan daha yüksek su hacimleri olduğundan, işletmeden çıktıktan sonra buhar akümülatörü gibi çalışabilirler.
- Kullanılacak su kalitesi açısından hassasiyet göstermezler.
- Su borulu kazanlarla karşılaştıklarında daha düşük bir ilk tesis yatırım maliyetleri vardır.

2.2.2. Su Borulu Atık Isı Kazanları

- Buhar üretmek amacıyla, orta ve büyük kapasiteli tesislerde tercih edilirler.
- İşletmeye alış süreleri kısadır.
- Kullanılacak suyun niteliğine büyük miktarda hassasiyet gösterirler.

2.2.3. Helezon Borulu Atık Isı Kazanları

- Baca kazanı olarak da bilinirler.
- Atık ısı açığa çıkan tesislerde ve gemi dizel motorlarında buhar, sıcak su veya kızgın yağ sistemleri için ısı geri kazanım için kullanılırlar.
- Hacimleri ufak olduğundan az yer kaplarlar. Kısa sürede işletmeye alınabilirler.
- Kara tesislerinde kapasitenin düşük olduğu durumlarda baca hattı üzerine yerleştirilerek de kullanılabilirler.
- İşletme ve bakımları oldukça zahmetsizdir.

2.3. Plakalı Isı Değişiriciler

Sistemdeki atık ısıların geri kazanılması ve kullanılmasında önemli bir göreve sahiptirler. Motor ceket suyu ve yağlama yağı ünitelerinden elde edilen atık ısının 80-90 °C sirkülasyon suyu ve 40-45 °C de kullanım sıcak suyu elde edebilmek için sisteme entegre edilmiş ısı değişiricilerdir.

Isı değişimi yapacak akışkanları plakalar ile birbirinden tamamen ayırmış olan plakalı eşanjörlerin çalışma prensipleri, aralarında sıcaklık farkı bulunan iki akışkan arasında ısı transferi yapmaktır.

Plakalı ısı eşanjörlerinde temel ısı geçişi olan yüzeyler, düz veya dalgalı biçimdeki ince metal levhalardan dizayn edilir.

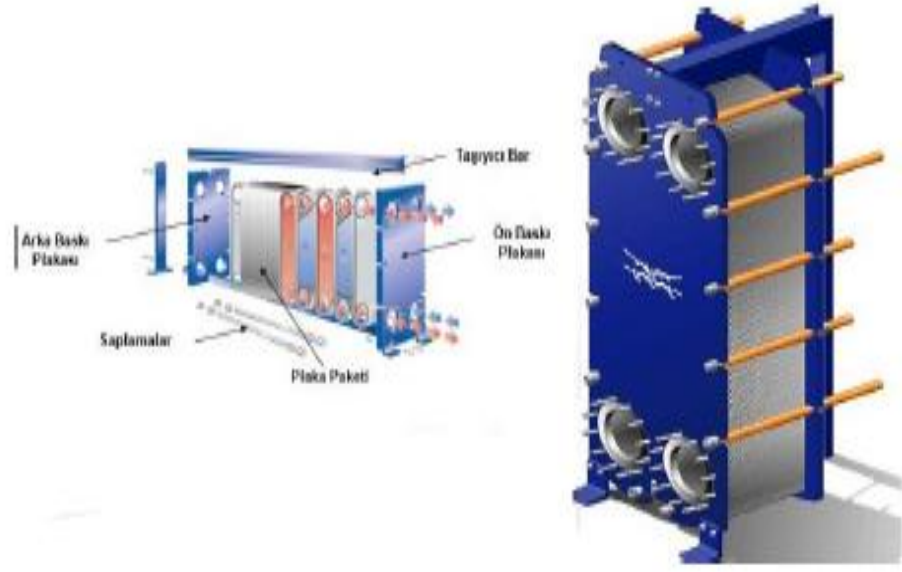
Toplam ısı transfer katsayıları gövde-borulu tip ısı eşanjörleri ile kıyaslandığında daha yüksektir.

Isı eşanjörlerinde kullanılan kanal geometrileri içerisinde en uygun olanı, eni ile boyu arasındaki oranı mümkün olduğu kadar yüksek olan dikdörtgen şeklindeki yapıdır. Böyle bir geometri, akışın tamamen laminer ve basınç kayıplarının düşük olması nedeniyle, kare, yuvarlak, üçgen, altıgen vb. geometrilere göre çok daha yararlı ve uygun olmaktadır[13].

Standart plakalı eşanjörlerde bulunan toplam dört adet giriş - çıkış portundan ikisi ısıtıcı akışkana, diğer ikisi ise ısınacak akışkana ait giriş ve çıkışlardır. Birden fazla ısıtıcı veya ısınacak akışkan bulunan eşanjörleri özel olarak üretmek de mümkündür.

Plakalı ısı eşanjörleri aşağıdaki parçalardan oluşmaktadır;

1. Ön gövde
2. Plakaları sabitlemeye yarayan alt ve üst taşıma milleri
3. Sıvının gövde ile temasına engel olan ilk plaka
4. Akışkanların geçişine izin veren ve ısı transferi sağlayan akış plakaları
5. Akışkanların arka gövde ile temasını engel olan tamamen kapalı son plaka
6. Miller üzerinde hareketli arka gövde
7. Plakaların belirli bir sıkma ölçüsünde tutulmasını sağlayan saplama ve pullar[13].



Şekil 11 Plakalı Isı Değişiriciler

Plakalı eşanjörler dört çeşitten oluşmaktadır; contalı, lehimli, spiral plakalı ve lamelli. Plakalı ısı eşanjörleri, sahip oldukları birçok karakteristik özellik sayesinde kullanımda ön plana çıkmaktadır.

Bu özellikler;

1. Yüksek ısı performans:

Plakalı ısı eşanjörleri 10 °C 'lik ısı farklarında bile gövde-boru tipi eşanjörlerle karşılaştırıldıklarında daha yüksek bir performans sunmaktadırlar. Bunun yanında plakalı ısı eşanjörlerinde elde edilen ortalama ısı transfer katsayısı (U) gövde boru tipi eşanjörlere oranla üç ile dört kat daha yüksektir.

2. Korozyona dirençli birçok alaşımın kullanılabilirliği:

Isı transfer alanının çok ince plakalardan oluşması sebebiyle paslanmaz çelik ve diğer alaşım maliyetleri gövde-boru tipi eşanjörlere nazaran oldukça düşüktür. Bunun sebebi eşanjörün aynı ısı transfer kapasitesine sahip gövde boru tipi eşanjöre göre boyutlarının ufak olmasıdır.

3. Bakım kolaylığı:

Eşanjörün parçaları kolay sökülebilir olduğundan ısı transfer alanları (plakalar) rahatça inceleme ve temizleme olanağı vermektedir. Üstelik söküm işlemi sadece birkaç vidanın gevşetilmesi gibi basit ve kısa bir işlemde oluşmaktadır.

4. Kompakt tasarım:

Plakalı tip eşanjörler kullanıldığı alanda yer tasarrufu sağladıklarından kullanışlıdır. Bir plakalı ısı eşanjörü için gerek duyulan alan, gövde boru tipi ısı eşanjörü için ihtiyaç duyulan alana oranla %10 - %50 daha azdır.

2.3.1. Contalı Plakalı Eşanjörler

Isı transferi, contalar yoluyla, plakaların arasında oluşturulan akış kanallarından geçen ve birbirine karışmayan akışkanlar arasındaki sıcaklık farkından dolayı gerçekleşir. Plakalı ısı eşanjörlerinin plaka boyutu ve sayısını belirleyen faktörler; ısı transferi yapacak olan akışkanın debisi, giriş-çıkış sıcaklık değerleri, fiziksel özellikleri, basınç düşümleri ve istenen maksimum mukavemet değeridir. Yüksek ısı transfer katsayılarının elde edilebilmesi, akışın türbülanslı olmasını sağlayan plakalar üzerindeki simetrik veya asimetrik tasarımlara bağlıdır. Plakalar arasında oluşturulan temas noktaları sayesinde plaka paketi istenen mukavemete ulaştırılabilir. Isı değişimi yapan plakalar, saplamalar vasıtasıyla çelikten imal

edilmiş ön ve arka plakaları arasında, alt ve üst taşıyıcılar üzerine dizilerek tasarlanırlar. Plakaların her birinin bütün olarak sıkıştırılmış olması, yüksek mukavemet için oldukça büyük önem taşır. Plakalar üzerinde herhangi bir kaynak veya bağlantı noktası bulunmaz. Her plaka üzerinde, her köşede bir tane olmak üzere dört delik bulunur. Bunun yanında sızdırmayı önlemek ve ısı transfer kanallarını oluşturmak için kauçuk esaslı contalar, plaka etrafındaki conta yerine yerleştirilir. Uygulamaların bir çoğunda, giriş-çıkış noktaları ön baskı plakası üzerindedir. Özel durumlar için tasarlanmış ısı değiştiricilerin çok geçişli olarak üretilmesine gerek duyulabilir, bu durumda giriş-çıkış noktaları ön ve arka baskı plakaları üzerinde bulunur. Bakım ve temizlik amacıyla eşanjörün kolayca açılabilmesi, plakalı ısı eşanjörünün konstrüktif yapısı sayesinde mümkündür. Şekil 12 'de contalı plakalı bir ısı eşanjörünün resmi görülmektedir.



Şekil 12 Contalı Tip Plakalı Eşanjör

2.3.2. Lehimli Plakalı Eşanjörler

Lehimli ısı eşanjörleri; sökülebilir eşanjörlerle karşılaştırıldığında % 25, klasik borulu tip eşanjörlerle karşılaştırıldıklarında ise 10 kat fazla verim sağlarlar. Borulu tip eşanjörlerin % 5-10 'u kadar hacme sahiptir ve daha hafiftirler. Büyüklükleri, aynı kapasitedeki borulu tip eşanjörlerin % 85-90 'ına eşdeğer olduğundan, uygulamalarda rahat bir tasarım özgürlüğü sunarlar. Contaya ihtiyaç

duyulmadığı için conta maliyetin söz konusu olmaz. Yüksek ısı transfer katsayısına sahip olduğu için, sistemde düşük debi kullanımı, düşük kapasiteli pompa kullanımı ve buna bağlı olarak daha az enerji tüketimi sağlarlar. 1 °C 'lık sıcaklık farklarında bile verimli olarak işleyebilirler. Basınç kayıpları diğer eşanjör sistemlerine göre oldukça düşük olması işletme maliyetinin daha düşük olmasını sağlar. Lehimli eşanjörler, ön ve arka gövde - koruyucu plaka paketi arasında yer alan oluklu plakaların oluşturduğu plaka paketinden meydana gelmektedir. Vakum-ergitme süreci sırasında, her iki plaka arasında temas noktasında oluşturulan kaynak noktasıyla iki farklı çevrime sahip bir eşanjör ortaya çıkmış olur.



Şekil 13 Lehimli Tip Plakalı Eşanjör

2.4. Jeneratör ve Elektrik Ekipmanları

Trijenerasyon sistemi elektrik ekipmanları şunlardan oluşur; alternatörler, trafolar, devre kesiciler, iletim hatları, sayaçlar ve kontrol sistemleri. Elektrik üretim sistemlerini destekleyen bu ekipmanların yanı sıra, şebekeye paralel acil durum gücü olarak çalıştırılan veya elektrik satan trijenerasyon sistemleri, şebekeye bağlantı

ekipmanlarına da ihtiyaç duyarlar. Güç üreticinin dönen şaftındaki mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürme görevi alternatörlere aittir. Bu süreç için temel prensip “Faraday Etkisi” olarak adlandırılır. Bu prensibe göre elektriksel olarak iletken bir malzeme örneğin kablo, manyetik alan boyunca hareket ettirilirse kablo üzerinde elektriksel akım oluşur. Manyetik alana ihtiyaç duymaları jeneratörler için en önemli özelliktir.

Manyetik alanın ihtiyaç duyduğu enerji kaynağı jeneratörleri iki ana tipe ayırır.

Eğer bir jeneratör elektriği manyetik alan olarak kullanıyorsa indüksiyon jeneratörü veya asenkron jeneratör olarak adlandırılır. Bu durumda jeneratörler senkron hızların üzerinde çalışırlar.

Ancak bu tipteki jeneratörler, çalışabilmek için dış akıma (genellikle elektrik şebekesinden gelen akım) ihtiyaç duyarlar. Asenkron jeneratörler bu özelliklerinden dolayı yedek jeneratör olarak kullanılamazlar. Ama bununla birlikte şebeke bağlantı ara yüzleri basittir.

İkinci tipte ise manyetik alan, bir alternatör yardımıyla jeneratörün içinde oluşturulur. Bu tür jeneratörler senkron jeneratörler olarak isimlendirilir ve senkron hızlarda çalışırlar. Senkron jeneratörler diğer santrallerden ve şebeke bağlantısından bağımsız olarak çalışabilir ve şebekede kesinti olduğunda da enerji üretmeye devam edebilirler. Bu nedenle yedek jeneratör görevini üstlenebilirler. Senkron jeneratör maliyetleri, 200kWe'nin altındaki güç üretimlerinde asenkron jeneratörlere göre oldukça yüksektir. Bu maliyet yüksekliği ek kontrol, başlatma ve bağlantı ara yüzü ekipmanları gerektirmesi ile açıklanabilir. Buna ek olarak küçük yüklerdeki trijenerasyon sistemlerinde bile genel eğilim senkron jeneratör kullanmak yönündedir.

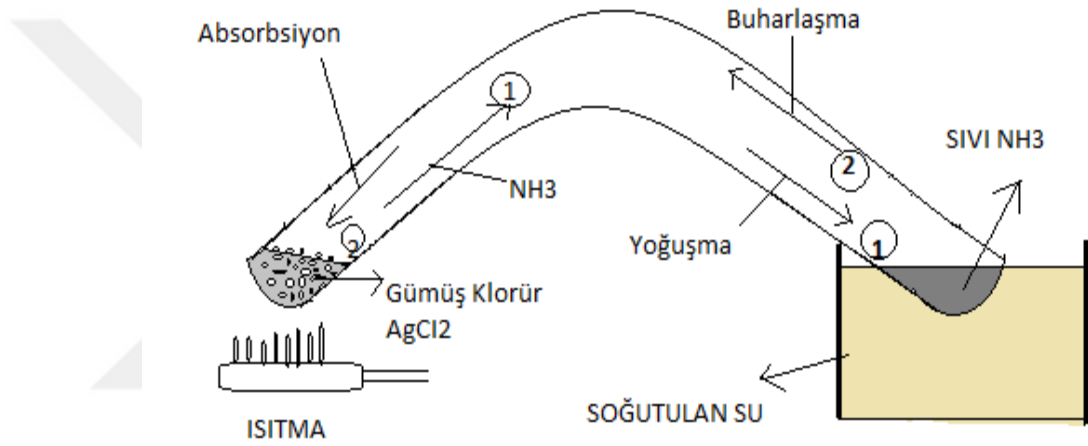
2.5. Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi

Isıyı kullanarak soğutma enerjisi üreten ekipmana “Absorpsiyonlu Soğutucu” denir. Kojenerasyonun sistemi atık ısısından elde edilen sıcak suyu kullanarak absorpsiyonlu soğutucu tarafından soğuk su üretilmekte ve bu sayede üçlü üretime geçilerek trijenerasyon sistemi oluşturulmaktadır. Yaz aylarında sistemden elde edilen atık ısının denize deşarjını önlemek ve soğutma ihtiyacını karşılamak için bu çevrim kullanılmaktadır. Absorpsiyon prensibi ilk olarak Michael Faraday tarafından yüz yıldan uzun bir zaman önce amonyağı (NH_3) yoğunlaştırma işlemleri sırasında keşfedilmiş, daha sonra bir soğutma çevrimi olarak uygulanıp bundan yararlanılmaya başlanılmıştır. Absorpsiyonlu soğutma çevrimi Faraday’ın şekil 15’de gösterilen deney aygıtı ile kavranabilir.

Deneyin birinci bölümünde amonyağa karşı emiciliğı olan, amonyak ile doyurulmuş gümüş klorür ($AgCl_2$) ısıtılırken deney tüpünün karşı ucu soğutma suyuna daldırılmış şekilde bekletilir. Kısa süre sonra, deney tüpünün soğutulan ucunda amonyağın yoğunlaşarak birikmeye başlar. Deneyin ikinci kısmı amonyağın ısıtılan uçtan soğutulan uca geçerek sıvı halde toplanmasıyla başlar. Isıtmaya son verilerek soğutma suyu alınır. Kısa sürede, deney tüpünün soğutulan ucunda yoğunlaşmış olan sıvı amonyağın kaynamaya başlaması ile birlikte tüpün bu ucunun fazlasıyla soğuduğı gözlemlenir. Bu süreç, sıvı amonyağın tamamı buharlaşarak gümüş klorür kısmına geçinceye kadar sürer. Deney tekrarlandığında aynı süreçler oluşur. Burada, gümüş klorür soğurucu madde, amonyak da soğutucu akışkan (soğutkan) madde rolünü üstlenmektedir. Absorpsiyon soğutma çevriminde daima iki akışkan mevcuttur: (1) Soğutucu madde, (2) Soğurucu madde. Aşağıdaki Faraday deney aygıtında, soğutma işleminin devamlı olmadığı görülecektir ve pratik uygulama için bunun giderilmesine gereksinim duyulmuştur. Bugünkü absorpsiyonlu soğutma çevrimlerinde soğutma işleminin süreç döngüsü sağlanmıştır. Ayrıca, absorban madde gümüş klorürün yerini daha yaygın ve ekonomik olan maddeler almıştır[6].

Günümüzde sıklıkla rastlanan soğutkan(R)-Absorban(A) madde çiftleri aşağıdaki gibidir;

- Amonyak (R)–su (A)
- Su (R)–Lityum Bromür (A)
- Su (R)–Lityum Klorür (A)
- Metilen Klorür (R)–Dimetil Eteri (Tetra Etilen Glikolin) (A)



Şekil 14 Faraday'ın Absorpsiyon Deney Aygıtı

Absorpsiyonlu soğutma çalışma prensibi, buharlaşma-yoğuşma döngüsüne dayanmaktadır. Absorpsiyonlu soğutmada buharın sıkıştırılması işlemi bir ısı kaynağı tarafından elde edilen enerjiyle sağlanmaktadır. Bu ısı kaynağı, kazan kullanarak yakma veya diğer süreçlerden elde edilen buhar, sıcak su veya atık ısı olabilir. Absorpsiyonlu soğutucular iki gruba ayrılır; 1. Düşük atık ısı enerjili tek-etkili soğutucular, 2. Isı kaynağı olarak yakmalı ya da yüksek dereceli buhar kullanan enerji verimliliği yüksek çift-etkili soğutucular. Absorpsiyonlu soğutucular, pik dönemde elektrik enerjisini az miktarda kullanarak soğutma enerjisi elde ettiği için enerji tüketimini azaltmakta, atık ısı kaynağına dayanarak çalışmakta, oldukça az

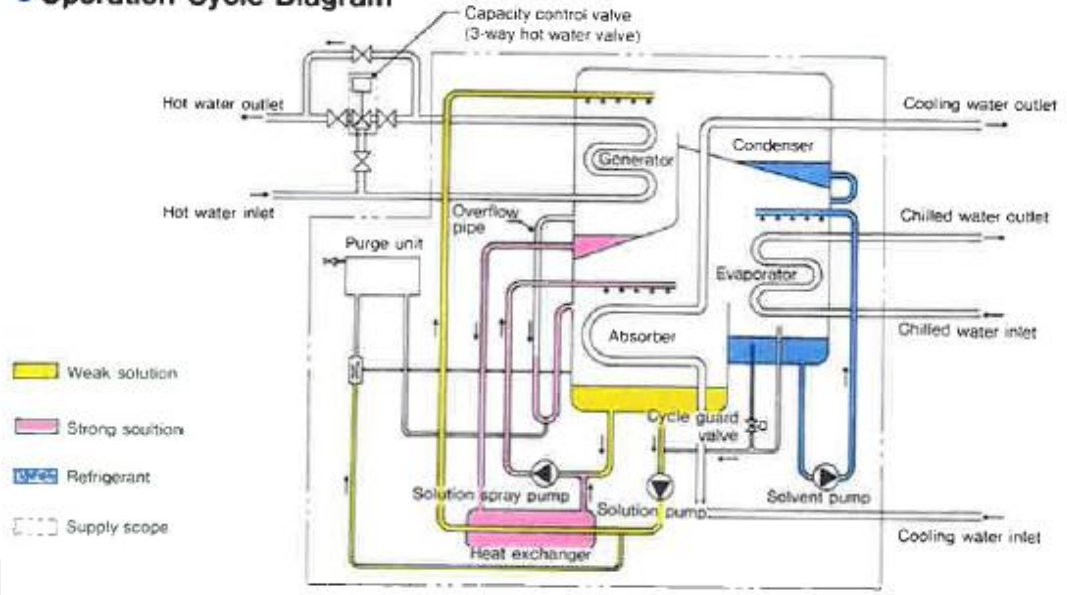
sayıda hareketli ekipmandan oluşmalarından dolayı daha az bakıma ihtiyaç duymakta, daha sessiz çalışmakta ve zararlı soğutucu gaz kullanmamaktadır[6].

Boru demeti içinden geçen su, vakum altında hücre içine serpilerek püskürtülen ve $+3v^{\circ}C$ 'de buharlaştırılan su tarafından soğutulur. Bu durum hücre doluncaya kadar uygulanabilir. Gerekli hacme tekrar ulaşabilmek amacıyla su buharının bir çeşit tuz (Lityum Bromür) tarafından soğurulması gerekir. İşlemin tekrarı LiBr'ün ve suyun tekrar kullanılabilmesine bağlıdır. Bunun için LiBr ısıtılır ve içerdiği suyu bırakması ve sistem çevriminin tekrarlanması sağlanır.

2.5.1. Absorpsiyonlu Soğutma Çevrimi

LiBr tarafından soğurulan su, soğutucu akışkan olarak kullanılır. Soğurmalı soğutmanın buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminden farkı kompresörün yerine soğutma mekanizması olmasıdır. Soğurma mekanizma sisteminin içerisinde: Soğurucu, pompa, ısıtıcı, ısı değiştirici, kısılma vanası ve yer alır. Saydığımız mekanizmaların tamamı suyun basıncını yükseltmek için oluşturulmuştur. Su buharı soğurucuda LiBr içinde soğrulur ve kimyasal reaksiyon sonucunda LiBr-Su çözeltilisini meydana getirir. Bu etkileşim ekzotermik bir tepkimedir. LiBr tarafından soğurulan su miktarı sıcaklıkla ters orantılı olduğundan dolayı soğurucu sıcaklığını mümkün olduğunca düşürmek ve böylece soğrulabilen su miktarını çoğaltmak adına soğurucudan ısı transfer edilir.

● Operation Cycle Diagram

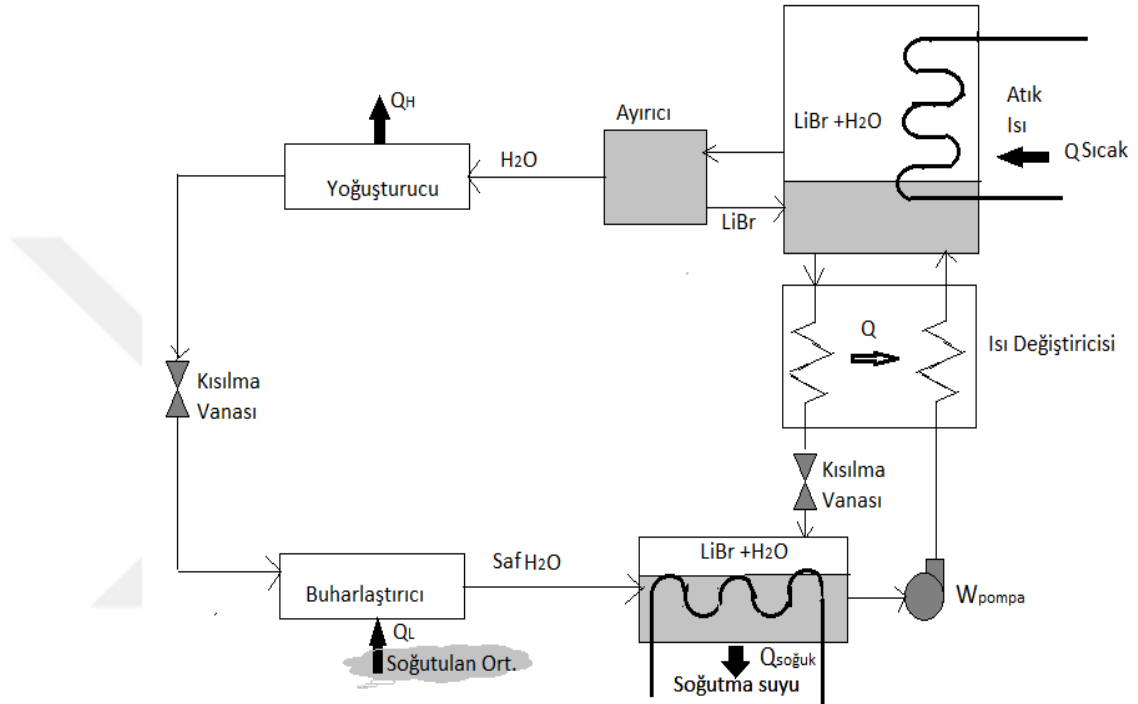


Şekil 15 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi Çevrimi

Su bakımından zengin olan LiBr-Su eriyiği, daha sonra ısıtıcıya pompalanır. Çözelti ısıtıcıda buharlaştırılır ve ayırıcıya gider. Bu kısımda LiBr, su bakımından zengin olan buhardan ayrılır ve ısıtıcıya geri döner. Saf su buharı ise yoğuşturucuya geçerek çevrimi döndürür. Isıtıcıda kalan su bakımından zayıf LiBr-su çözeltisi bir ısı değiştiricisinden geçerek, pompadan çıkan çözeltiliye bir miktar ısı verir ve sonrasında soğurucu basıncına kısılır. Bu sistemin en önemli farkı buhar değil sıvının sıkıştırılmaktadır. Sürekli akışlı iş özgül hacimle orantılı olduğundan dolayı, pompadan verilen iş kompresöre göre çok küçüktür. Bu nedenle soğurmalı sistem için gerekli iş de oldukça küçüktür. Bu verilen iş, çevrime sağlanan ısının yüzde biri oranında olup, çevrimin termodinamik açıdan incelenmesinde genellikle ihmal edilir. Soğurmalı sistemlerde çevrim için gerekli olan enerji kaynağı ısı, buhar sıkıştırımlı çevrimlerde ise sistemin ihtiyaç duyduğu enerji kaynağı elektrik işidir.

2.5.1.1. Tek Etkili Absorpsiyonlu Soğutucu Soğutma Prensipleri

Bu sistemde soğutma prensibi ısı transferi olup, dört temel ısı transfer yüzeyi bulunur. Bunlar: Buharlaştırıcı, absorber, jeneratör ve yoğuşturucudur. Sisteme ait şema Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16 Tek Etkili LiBr-H₂O Çözeltili Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi

2.5.1.1.1. Buharlaştırıcı

Genleşen soğutucu akışkan alt kovanın üst tarafına girer, buradan pompalanan ve buharlaştırıcı boruları yüzeyine püskürtülen soğutucu sıvısına katılır. Sıvınının soğumasıyla açığa çıkan ısıyı kullanan soğutucu malzemenin bir kısmı buharlaşır.

2.5.1.1.2. Absorber

Soğutucu malzeme buharı alt kovanın alt tarafına ulaşır. Burada, buhar Lityum Bromür çözeltisi tarafından soğurulur. Esasında suda çözülmüş bir tuzdan başka bir şey olmayan Lityum Bromür, 38 °C sıcaklığın üzerinde bile güçlü bir su soğurucu maddedir. Lityum Bromürün püskürtülmesi ile, soğutucu madde buharını tutan yüzlerce küçük sünger etkisi oluşmaktadır. Lityum bromür ve yoğunlaşmış soğutucu madde buharı karışımı (seyreltik eriyik) alt kovanın dibinde birikir. Absorber borularından geçen soğutma suyu çözelti ısını uzaklaştırılır.

2.5.1.1.3. Jeneratör

Seyreltik çözelti daha sonra, jeneratörden ön ısıtmaya tabi tutulduğu ısıtıcının içine pompalanır. Isıtıcı jeneratördeki seyreltik çözeltinin ısıtılması için ihtiyaç duyulan buhar ya da sıcak suyun miktarını azaltarak çevrimin etkinliğini artırır. Bunun ardından seyreltik çözelti, basıncın dış atmosfer basıncının yaklaşık onda biri ya da 70 mmHg(0,1 bar) basıncı kadar olduğu yoğunlaştırıcı ve üretici ihtiva eden üst kovana doğru ilerler. Buhar ya da sıcak su üretici borularından geçen seyreltik çözeltiyi ısıtır.

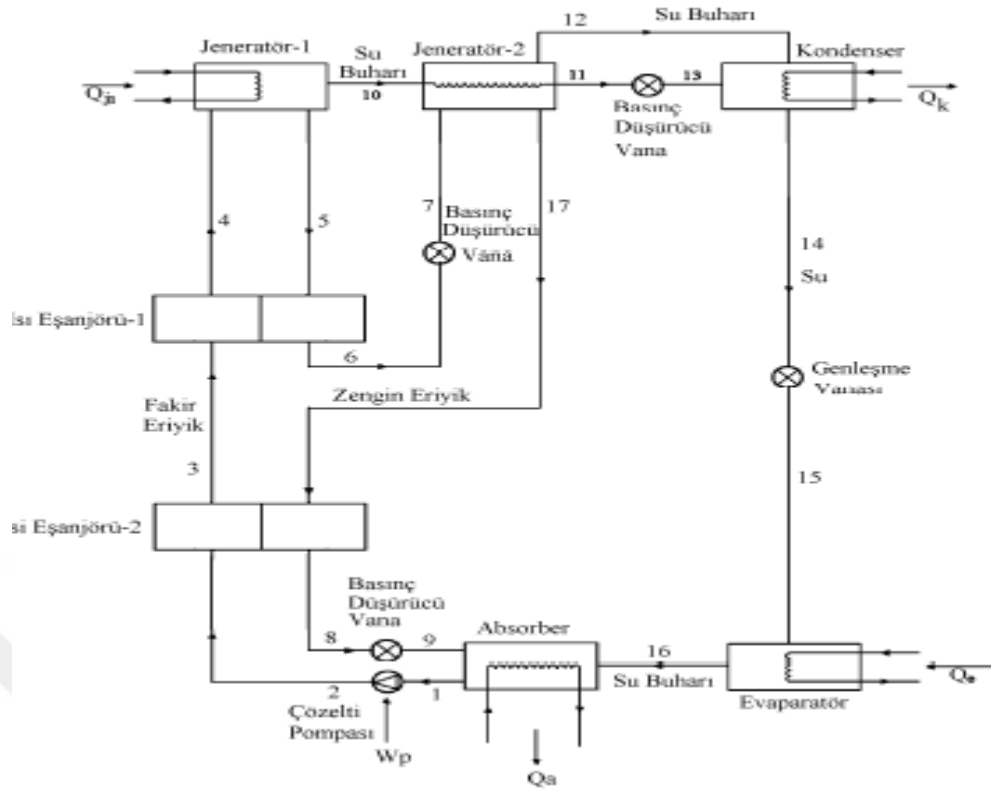
Buhar ya da sıcak sudan kaynaklanan ısı girişinin gereken soğutma yüküne karşılık olacak şekilde belirlenmesi ve kontrol edilmesi bir valf tarafından yapılır. Bu aşamada sıcak jeneratör boruları seyreltik çözeltinin sıcaklığını artırarak soğutucu malzeme buharının serbest kalmasını sağlaması çözeltinin yeniden yoğunlaşmasına yol açar.

2.5.1.1.4. Yoğuşturucu

Yoğuşturucuya kadar yükselen soğutucu malzeme buharı yoğuşturucu borularından akan suyun soğutucu etkisi sayesinde yoğuşur. Sıvı soğutucu alt kovana döner ve devir daim yaptırılan soğutucu ile yeniden püskürtmeye maruz kalır. Soğutucu malzeme çevrimi jeneratörden, alt kovandaki yeniden soğutucu malzeme emmeye hazır olan soğurucuya döner. Lityum Bromür çevrimi de bu şekilde tamamlanır.

2.5.1.2. Çift Etkili LiBr-H₂O Akışkanlı Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi

Şekil 17’de görülen çift etkili sistemlerde iki adet jeneratör kullanımı ile soğutma gücü arttırılarak COP değeri yükseltilir. Sistemde buharlaştırıcı, yoğuşturucu, absorber, iki jeneratör ve iki adet ısı değiştirgeci vardır. Sistem elemanları üç farklı basınç kategorisinde çalışmaktadır: Yüksek basınç, orta basınç ve düşük basınç. Birinci jeneratör yüksek basınçta, ikinci jeneratör ve yoğuşturucu orta basınçta, buharlaştırıcı ve absorber ise düşük basınçta çalışır. Birinci jeneratördeki yüksek basıncı sağlayan bir pompa iken, ikinci jeneratör ve yoğuşturucuda orta basınç iki adet basınç düşürücü vana ile sağlanır. Absorberdeki ve yoğuşturucudaki düşük basınç bir kısılma vanası ile elde edilir.



Şekil 17 Çift Etkili LiBr-H₂O Çözeltili Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi

Bu sistemde LiBr-su akışkan çiftinden LiBr absorber, su ise soğutucu olarak kullanılmaktadır. Absorberden çıkan LiBr-su çözeltisi ikinci ısı eşanjörü, birinci ısı eşanjörü, birinci jeneratör, birinci ısı eşanjörünü dolaştıktan sonra tekrar absorbere girer. Birinci jeneratörde buharlaşan su, ikinci jeneratörden geçerek yoğuşturucuya girer. İkinci jeneratörde ayrılan su yoğuşturucuya girerek diğer su buharıyla birleşir. Yoğuşturucudan çıkan su buharlaştırıcıdan geçerek absorbere girer ve burada çözelti tarafından absorbe edilir. Döngü bu şekilde devam eder. Birinci ve ikinci jeneratör, yoğuşturucu, buharlaştırıcı, absorber sıcaklıkları temel çalışma sıcaklıklardır. Birinci jeneratördeki yüksek basınç, ikinci jeneratör ve yoğuşturucudaki orta basınç, buharlaştırıcı ve absorberdeki düşük basınçlar temel basınçlardır.

Çok çeşitli soğutma-absorbent çiftleri kullanılmaktadır. Onlar arasında en sık tercih edilen ikisi su-lityum bromür (LiBr) ve amonyum-su çiftleridir. Her iki çift de iyi bir termodinamik performans sergilemektedir. Ancak LiBr çözeltileri onların

yüksek hidratasyon ısı, katı fazın yüksek çözünürlüğü ve uygun vizkozitesi nedeniyle absorbant olarak oldukça arzulanan özelliklere sahiptir[6].

2.5.2. Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Avantaj Ve Dezavantajları

Avantajları:

- Hareketli kısımlarının az olmasından kaynaklı sessiz çalışma.
- Ayarlama ve kontrolünün kolay, kullanım ömrünün uzun olması.
- Soğutma yükü ayarlanabilme özelliği.
- Genleşme valfindeki küçük ayarlamalarla sıcaklık değişimlerinin korunabilir olması.
- Buharlaştırıcı basınç ve sıcaklıklarında düşme olduğunda, soğutma kapasitesinin etkilenmemesi.
- Soğutma yükünü hızlı bir şekilde karşılayabilmesi.
- Buhar sıkıştırma sistemlerinden %2-9 oranında elektrik sarfiyatının az olması.
- Atık ısı kaynaklarından faydalanabilmesi[6].

Dezavantajları:

- İlk yatırım maliyetlerinin çok yüksek olması.
- Sistemin ağır ve hantal olması
- Korozyona neden olan kimyasallar kullanıldığından cihaz ömrünün sınırlı olması
- Absorbent ömrünün kısa olması[6].

3. GAZ MOTORLU TRİJEN SİSTEMLERİNDE ISI GERİ KAZANIMI

Trijenerasyon sistemlerinde ısı geri kazanımı, güç üretme işleminin ardından açığa çıkan atık ısının kullanılabilir ısı enerjisine dönüşümüdür. Elektrik üretiminin her ünitesinden geri kazanılabilen kullanılabilir ısı miktarı; trijenerasyonda kullanılan güç üretim sistemine, düzenlemesine ve ihtiyaç duyulan ısı enerjisinin niteliklerine bağlıdır. Güç üretim sisteminin belirlenmesindeki önemli nokta, üretim sistemlerindeki atık ısının niteliğidir. Motorlarda, ceket soğutma suyu, yağlama yağı soğutma suyu, egzoz baca gazı soğutma suyu olmak üzere 3 adet ısı kaynağı vardır. Isı geri kazanımının en önemli görevi aşırı ısınmayı önlemek için motordan ısının uzaklaştırılmasıdır. Tüm bu ısı geri kazanım işlemleri motor setinin güvenli bir şekilde çalışması amacıyla yapılmalıdır.

3.1. Ceket Isısı Geri Kazanımı

Motor gövdesini soğutmak için motor gövdesinde dolaştırılan ceket suyu; sıcaklığı 95 °C civarlarında ceket suyu soğutma eşanjörüne girerek, 75 °C civarlarında ceket suyu soğutucu eşanjöründen çıkar ve motora geri gönderilir.

Ceket soğutma sistemi motora giren enerjinin yaklaşık üçte birini alır. Bu ısının tamamına yakını geri kazanılabilir.

3.2. Egzoz Gazı Isı Geri Kazanımı

Sıcaklık değerleri 430 °C ile 460 °C arasında değişen motor egzoz gazları sıcak su üretmek için geri kazanılabilir. Motor tipine ve yüklemeye bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığı değişir. İki zamanlı motorlar, dört zamanlı motorlarla kıyaslandığında daha düşük sıcaklıkta egzoz gazı üretirler. Egzoz manifoldunun su soğutması da egzoz sıcaklığını düşürür.

Egzoz boruları ve ısı değiştiricisi, makine dairesinin gereğinden fazla ısıya maruz kalmaması ve çalışanların korunması için izole edilmelidir. Egzoz gazı

bacalarında sert dönemeçlerin gereğinden fazla art basınca neden olmasından dolayı sert dirseklerden kaçınılmalıdır.

3.3. Yağlama Yağı Isı Geri Kazanımı

Motora giren enerjinin %10'luk kısmı yağlama yağı ile atılır. Yüksek kaliteli yağlama yağları genel olarak 70 °C ile 95 °C arasında kayba uğramadan çalışır. Çalışma ısısı düşmesi yağın ömrünü uzatır. Ancak geri kazanılabilir ısı kullanılabilirliğini kaybeder. Bununla birlikte, yağ sıcaklığı çok düşük olursa su yoğunlaşabilir. Yüksek sıcaklıktaki yağlama yağları, yağın ömrünü düşürür, ancak geri kazanılabilir ısının miktarını ve kalitesini artırır. Yağ sıcaklığı aynı zamanda bazı parçaların ve yüzey sıcaklığını belirleyen ceket soğutucusunun sıcaklığından da etkilenir.

4. KAYNAK ÖZETLERİ

4.1. Materyal Ve Metot

4.1.1. Sistem Özeti

Sistemde kojenerasyon seti ve bu set ile birlikte çalışan eşanjörler, sirkülasyon pompaları ve absorpsiyonlu soğutucu ile fosil yakıt yakılarak elde edilen elektrik enerjisinin yanında atık ısısından elde edilen sıcak su ile ısıtma enerjisi ve ayrıca absorpsiyonlu soğutucu üzerinden geçirilen aynı sıcak su ile elde edilen soğutma enerjisini oluşturan sete trijenerasyon denilmektedir.

Proje kapsamında deniz suyu, 480 m mesafe ve 17 m derinlikte beton odacık içerisinden DN600 CTP boru ile kampüs içerisinde bulunan 420 m³ depoya cazibesi ile alınmakta, klorlama işlemlerinden sonra sistemde çalışan makine ve ekipmanlarda titanyum alaşımli eşanjörler vasıtası ile kondens olarak kullanılmaktadır.

Deniz suyu deposundan, 280 m³/h 5+1 adet pompa yardımıyla 1400 m³/h debi ile 500 µm hassasiyete sahip otomatik bernoulli filtreden geçirilerek DN400 HDPE boru ile sisteme gönderilmektedir.

Sisteme gönderilen deniz suyu, doğalgaz motoru, yağlama yağı soğutma devresi, acil durum devreleri, absorpsiyonlu soğutma ve ısı pompaları kondensinde titanyum alaşımli eşanjörler vasıtası ile kullanılmaktadır.

Trijenerasyon sisteminde, 800 kWe elektrik gücü ve 854 kWm mekanik gücü kapasitene sahip doğal gaz motoru ile 400 V, 1130 A elektrik üretilmektedir. Üretilen elektrik yükseltici trafo ile 34500 V'a yükseltilerek orta gerilim seviyesinde senkron olmakta ve trafolar ile tekrar alçak gerilim seviyesine indirilerek tesiste kullanılmaktadır.

Elektrik üretiminin yan çıktıları, 407 kW ceket soğutma suyu ısısı, 454 kW egzoz gazı atık ısısı eşanjörler ve atık ısı geri kazanım kazanı vasıtası ile geri kazanılarak, sirkülasyon pompaları yardımıyla tesiste ısıtma ve soğutma amaçlı

kullanılmaktadır. 56 kW yağlama yağı ısısı geri kazanım işlemine tabi tutulmayarak denize deşarj edilmektedir.

Devrede olan trijenerasyon sistemi ceket ve egzoz gazı atık ısısı ile eşanjör ve geri kazanım kazanında ısıtılan 65-85 °C sıcaklığında sirkülasyon suyu sistem kış modunda iken ısıtma öncelikli olarak eşanjörlerin birincil tarafına ısıtma suyu olarak gönderilerek ve boyler kullanım sıcak suyu, havuz suyu ve nem alma santrali, klima santralleri ve indüksiyon ünitelerinde kullanılmaktadır.

Yaz modunda çıkış suyu yine ısıtma öncelikli olarak boyler, havuz suyu ve klima santralleri yolunu izler, fakat ek olarak soğutma suyu ihtiyacı absorpsiyon soğutma cihazları ile bu sirkülasyon suyu vasıtası ile karşılanarak klima santralleri ve indüksiyon ünitelerinde kullanılır.

Bu sistemlerde kullanılan gömlek soğutma suyu dönüşü 72 °C' nin üzerine çıktığında 3 yollu vana otomasyon komudu olarak deniz suyu yardımıyla acil durum moduna geçilerek sıcaklığı 65 °C' ye kadar düşürür.

Tez aşamasında faydalanılmayan LT yağlama yağı atık ısısı (56 kW) eşanjör yardımı ile geri kazanılıp sirkülasyon pompaları ve akümülayon tankı vasıtası ile boyler kullanım sıcak suyu sisteminde ön ısıtma olarak kullanılacaktır.

Boyerler tek serpantinli sıcak su kazanları mevcut durumda kullanım suyu ile beslenmekte ve motor ceket sıcak suyu ile ısınan devre tarafından ısıtılmaktadır. Yağlama yağı ısısının geri kazanılması ile boylerlere direk kullanım suyu beslemesi yapılmayacaktır. Kullanım suyu yağlama yağı ısısının geri kazanılması sayesinde eşanjörde ısıtılacak, akümülayon tankına aktarılıp pompa yardımıyla boylerlere ön ısıtılmış su olarak gönderilecektir. Bu sayede sistem veriminin artırılması hedeflenmektedir.

Sıcak su kullanımının olmadığı durumlarda yağlama yağı devresi soğutulamayacağından gaz motoru güç azaltımına gideceğinden, sisteme 3 yollu vana yardımıyla acil durum hattı eklenerek deniz suyu eşanjörleri ve deniz suyu vasıtası ile yağlama yağı dönüş suyunun soğutulması planlanmaktadır.

4.2. Hesaplamalar

4.2.1. Lt-Primer Devre

Lt; Yağlama yağı devresi

Primer devre; Jeneratör ile eşanjör arası

50°C Suyun özellikleri; [Ek-1]

$$\rho = 988 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

Primer devre pompa seçimi;

Primer devre hattında kullanılacak sirkülasyon pompa özellikleri;

Q ; Hacimsel debi, m³/h

H ; Pompa su basma yüksekliği, m

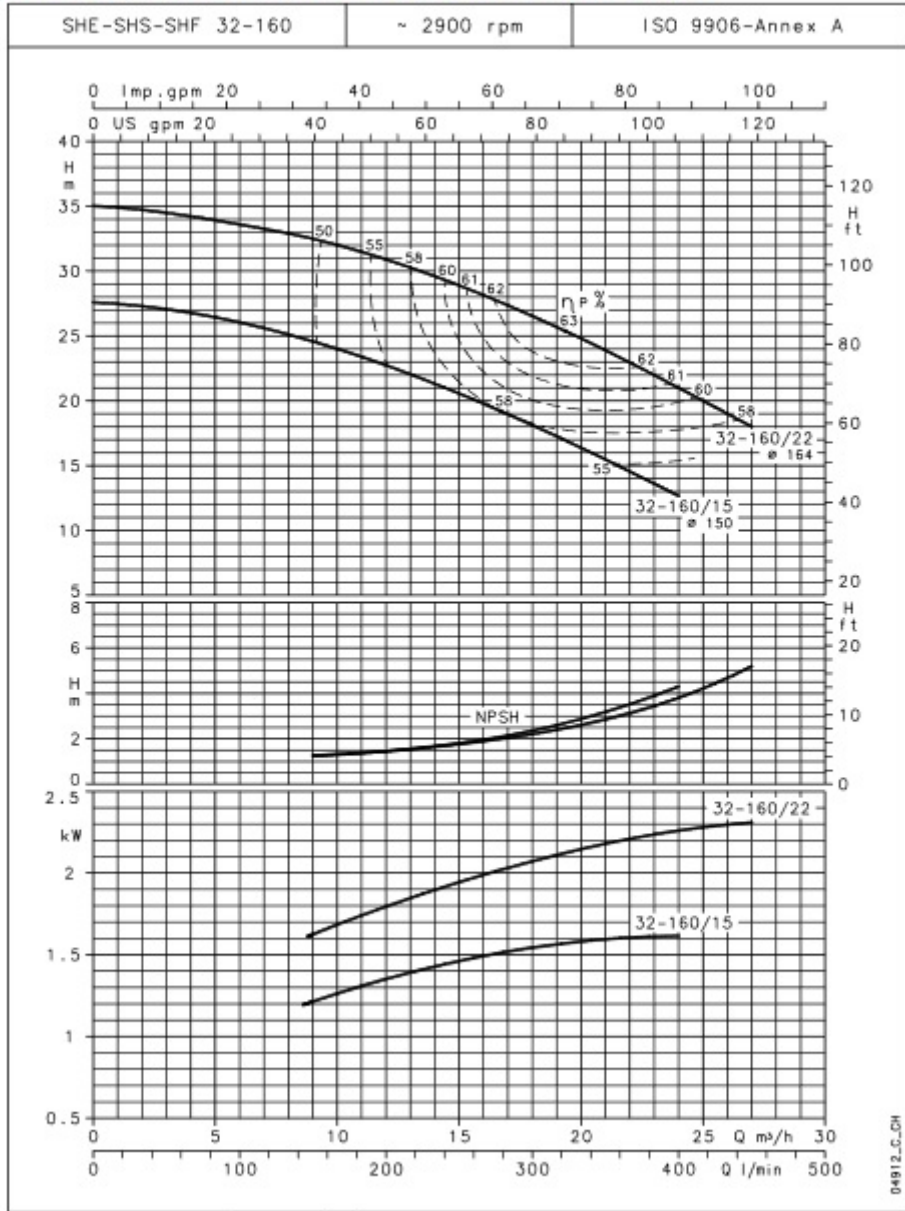
P ; Pompa gücü, kW

$$Q = 24 - 9 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H = 12 - 25 \text{ m}$$

$$P = 1,5 \text{ kW}$$

SHE-SHS-SHF SERIES
OPERATING CHARACTERISTICS AT 50 Hz, 2 POLES



The NPSH values are laboratory values; for practical use we suggest increasing these values by 0.5 m.
 These performances are valid for liquids with density $\rho = 1,0 \text{ Kg/dm}^3$ and kinematic viscosity $\nu = 1 \text{ mm}^2/\text{sec}$.

Şekil 18 SHE 32-160/15/A Pompa H-Q Grafiği

Primer devre borulama seçim kriterleri;

Primer devre, gaz motoru ile plakalı eşanjör arasındaki borulama hattı.

DN80 [Ek-2]

Dd ; Boru dış çapı, mm

Di ; Boru iç çapı, mm

$$Dd = 88,9 \text{ mm}$$

$$Di = 77,9 \text{ mm}$$

$$\text{Cidar Kalınlığı} = 5,5 \text{ mm}$$

4.2.1.1. LT-Primer Devre Kütlesel Debi

$$Q_1 = \dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot \Delta T_1$$

$$\Delta T_1 = (T_{1g} - T_{1\phi})$$

$$T_{1g} = 48^\circ\text{C}$$

$$T_{1\phi} = 40^\circ\text{C}$$

$T_{1g, \phi}$; Su

$$56 = \dot{m}_1 \cdot 4,18 \cdot (48 - 40)$$

$$56 = \dot{m}_1 \cdot 4,18 \cdot 8$$

$$\dot{m}_1 = 1,67 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_1 = 1,67 \text{ kg/s} \times \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_1 = 6028 \text{ kg/h}$$

4.2.1.2. LT-Primer Devre Hacimsel Debi

$$\dot{V} = \frac{m}{\rho}$$

$$\dot{V} = \frac{6028 \text{ kg/h}}{988 \text{ kg/m}^3}$$

$$\dot{V} = 6,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

4.2.1.3. LT-Primer Devre Akış Hızı

$$v = \frac{\dot{V}}{A}$$

$$\dot{V} = 6,1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$\dot{V} = 1,69 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

DN80 [Ek-2]

D_i ; Boru iç çapı, mm

$$D_i = 0,078 \text{ m}$$

$$A = \pi \cdot \frac{D_i^2}{4}$$

$$A = \pi \cdot \frac{0,078^2}{4}$$

$$A = 4,7 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$v = \frac{1,69 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{4,7 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$v = 0,35 \text{ m/s}$$

4.2.1.4. LT-Primer Devre Plakalı Eşanjör Hesabı

Primer devre 60 kW plakalı eşanjör

Primer devre ile seconder devre arasında ısı aktarımı yapacak olan plakalı eşanjör.

$$T_{1g} = 48^{\circ}\text{C}$$

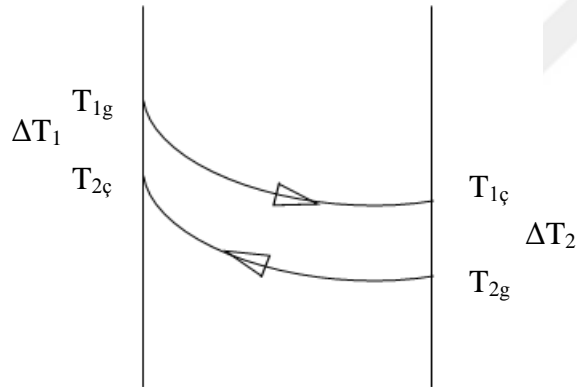
$$T_{1\ç} = 40^{\circ}\text{C}$$

$$T_{1g, 1\ç} ; \text{Su}$$

$$T_{2g} = 33^{\circ}\text{C}$$

$$T_{2\ç} = 40^{\circ}\text{C}$$

$$T_{2g, 2\ç} ; \text{Su}$$



$$\Delta T_1 = T_{1g} - T_{2\ç}$$

$$\Delta T_2 = T_{1\ç} - T_{2g}$$

$$\Delta T_1 = 48 - 40$$

$$\Delta T_1 = 8^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 40 - 33$$

$$\Delta T_2 = 7^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \Delta T_1 / \Delta T_2}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{8 - 7}{\ln 8/7}$$

$$\Delta T_{lm} = 7,48^\circ\text{C}$$

4.2.2. Plakalı Eşanjör Isı Geçiş Miktarı

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

U, W/m² °C , Sabit değer olarak alınacaktır. [Ek-3]

$$U = 1250 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$U = 1,25 \text{ kW/m}^2\text{°C}$$

4.2.2.1. Plakalı Eşanjör Isıtma Yüzey Alanı ve Plaka Sayısı

$$Q = 60 \text{ kW}$$

$$\Delta T_{lm} = 7,48^\circ\text{C}$$

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T}$$

$$A = \frac{60}{1,25 \times 7,48}$$

$$A = 6,41 \text{ m}^2$$

Plakalı eşanjör seçim kriterleri.

Plaka boyutları = 162 / 636 mm

Plaka kalınlığı = 1,4401 / 0,5 mm

Contalar = NBR (P) - Kauçuk

0,10 m² ısı aktarım alanı olan 65 adet plakalı eşanjör sistemi konulacaktır.

4.2.3. LT-Secondar Devre

Lt; Yağlama yağı devresi

Secondar devre; 1. eşanjör ile 2. eşanjör arası

40°C suyun özellikleri; [Ek-1]

$$\rho = 992,3 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p : 4,179 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

4.2.3.1. LT-Secondar Devre Kütlesel Debi

$$Q_2 = \dot{m}_2 \cdot C_{p2} \cdot \Delta T_2$$

$$\Delta T_2 = (T_{2ç} - T_{2g})$$

T_{2ç, g}; Su

$$T_{2ç} = 40^\circ\text{C}$$

$$T_{2g} = 33^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = (40-33)$$

$$\Delta T_2 = 7^\circ\text{C}$$

$$56 = \dot{m}_2 \cdot 4,179 \cdot (40 - 33)$$

$$56 = \dot{m}_2 \cdot 4,179 \cdot 7$$

$$\dot{m}_2 = 1,91 \text{ kg/s}$$

Secunder devre pompa seçim kriterleri;

Q ; Hacimsel debi, m³/h

H ; Pompa basma yüksekliği, m

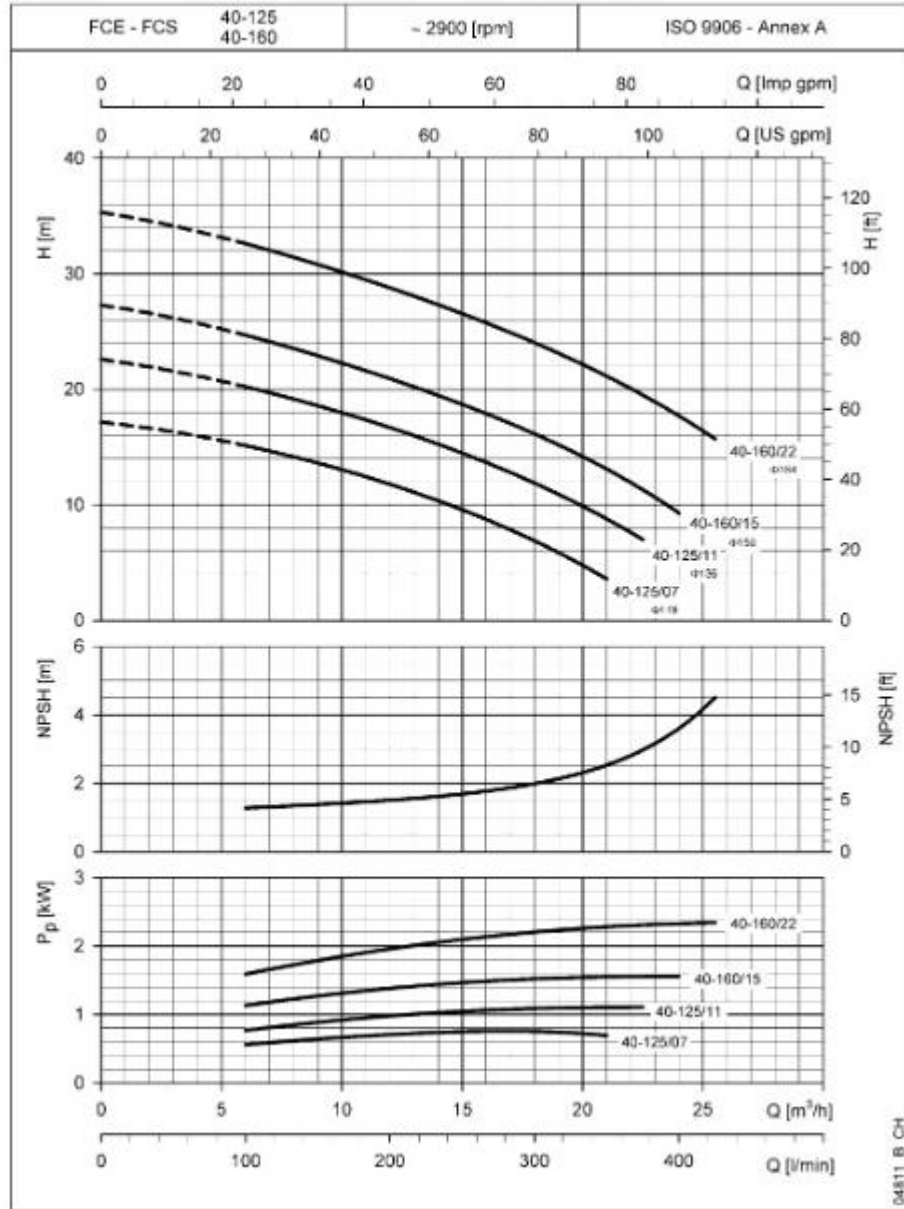
P ; Pompa gücü, kW

$$Q = 23 - 6 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H = 15 - 3 \text{ m}$$

$$P = 0,7 \text{ kW}$$

FCE-FCS SERIES
OPERATING CHARACTERISTICS AT 50 Hz, 2 POLES



The NPSH values are laboratory values, for practical use we suggest increasing these values by 0,5 m.
 These performances are valid for liquids with density $\rho = 1,0 \text{ Kg/dm}^3$ and kinematic viscosity $\nu \leq 1 \text{ mm}^2/\text{sec}$.

Şekil 19 FCS 40-125/07/D Pompa H-Q Grafiği

Seconder devre borulama seçim kriterleri;

Primer devre plakalı eşanjör ile seconder devre plakalı eşanjörü arasında ki borulama hattı.

DN40 [Ek-2]

Dd : Boru dış çapı, mm

Di : Boru iç çapı, mm

Dd = 48,3 mm

Di = 40,9 mm

Cidar Kalınlığı = 3,7 mm

4.2.3.2. LT-Seconder Devre Akış Hızı

$$v = \frac{\dot{V}}{A}$$

DN 40 [Ek-2]

D_i ; Boru iç çapı, mm

$D_i = 0,04$ m

$$A = \pi \cdot \frac{D_i^2}{4}$$

$$A = \pi \cdot \frac{0,04^2}{4}$$

$$A = 1,25 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

4.2.3.3. LT-Seconder Devre Hacimsel Debi

$$\dot{m} = 1,91 \text{ kg/s} \times 3600 \text{ s/h}$$

$$\dot{m} = 6891 \text{ kg/h}$$

$$\dot{V} = 6891 \text{ kg/s} \times \frac{1 \text{ m}^3}{992,3 \text{ kg}}$$

$$\dot{V} = 6,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{V} = 6,9 \text{ m}^3/\text{h} \times \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}}$$

$$\dot{V} = 1,92 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

4.2.3.4. LT-Seconder Devre Akış Hızı

$$v = \frac{\dot{V}}{A}$$

$$v = \frac{1,92 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{1,25 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$v = 1,5 \text{ m/s}$$

4.2.3.5. LT-Seconder Devre Plakalı Eşanjör Hesabı

Seconder devre plakalı 60 kW plakalı eşanjör

Seconder devre ile akümülayon tankı arasında ısı aktarımı yapacak olan plakalı eşanjör.

$$V = \frac{Q}{\rho \cdot C_p \cdot \Delta T}$$

25°C 'deki suyun termodinamik özellikleri; [Ek-1]

$$\rho = 995.7 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 4,179 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_{1g} = 12^\circ\text{C}$$

$$T_{1\phi} = 25^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = (T_{1\phi} - T_{1g})$$

$$\Delta T = (25 - 12)$$

$$\Delta T = 13^\circ\text{C}$$

$$\dot{V} = \frac{60}{995,7 \cdot 4,179 \cdot 13}$$

$$\dot{V} = 1,1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \times \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}}$$

$$\dot{V} = 3,99 \text{ m}^3/\text{h}$$

Seconder devre ile akümülayon tankı arası borulama seçim kriterleri;

Seconder devre eşanjör ile seonder devre plakalı eşanjörü arasında ki borulama hattı.

DN40 [Ek-2]

D_i ; Boru iç çapı, mm

D_a ; Boru dış çapı, mm

D_d = 48,3 mm

D_i = 40,9 mm

Cidar Kalınlığı = 3,7 mm

4.2.3.6. Kullanım Suyu Beslemesi Akış Hızı

$$v = \frac{\dot{V}}{A}$$

$$A = \pi \cdot \frac{D_i^2}{4}$$

$$A = \pi \cdot \frac{0,04^2}{4}$$

$$A = 1,25 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$v = \frac{\dot{V}}{A}$$

$$v = \frac{1,1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{1,25 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$v = 0,88 \text{ m/s}$$

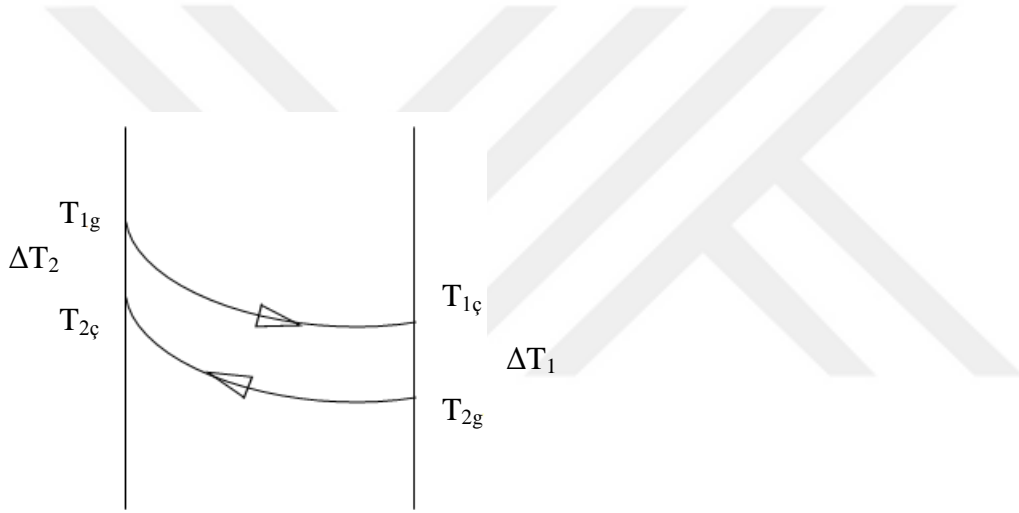
4.2.4. Plakalı Eşanjör Isı Geçiş Miktarı

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$U, \text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, Sabit değer olarak alınacaktır. [Ek-3]

$$U = 1250 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U = 1,25 \text{ kW/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$



$$T_{1g} = 40^\circ\text{C}$$

$$T_{1ç} = 33^\circ\text{C}$$

$$T_{1g,ç} = \text{SU}$$

$$T_{2g} = 12^\circ\text{C}$$

$$T_{2ç} = 25^\circ\text{C}$$

$$T_{2g,ç} = \text{SU}$$

$$\Delta T_1 = T_{1ç} - T_{2g}$$

$$\Delta T_2 = T_{1g} - T_{2ç}$$

$$\Delta T_1 = 33 - 12$$

$$\Delta T_1 = 21^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 40 - 25$$

$$\Delta T_2 = 15^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \Delta T_1 / \Delta T_2}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{21 - 15}{\ln 21 / 15}$$

$$\Delta T_{lm} = 17,83^\circ\text{C}$$

4.2.4.1. Plakalı Eşanjör Isıtma Yüzey Alanı ve Plaka Sayısı

$$Q = 60 \text{ kW}$$

$$\Delta T_{lm} = 17,83^\circ\text{C}$$

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{lm}}$$

$$A = \frac{60}{1,25 \times 17,83}$$

$$A = 2,70 \text{ m}^2$$

Plakalı eşanjör seçim kriterleri.

Plaka boyutları = 162 / 636 mm

Plaka kalınlığı = 1,4401 / 0,5 mm

Contalar = NBR (P) - Kauçuk

0,1 m² ısı aktarım alanı olan 27 adet plakalı eşanjör konulacaktır.

Akümülyasyon tankı seçim kriterleri;

Dikey tip galvaniz tank

V: 5000 litre

İşletme basıncı; 10/16 bar

Akümülyasyon tankı ile boyler arası pompa ve borulama seçim kriterleri;

Pompa;

Q ; Hacimsel debi, m³/h

H ; Pompa basma yüksekliği, m

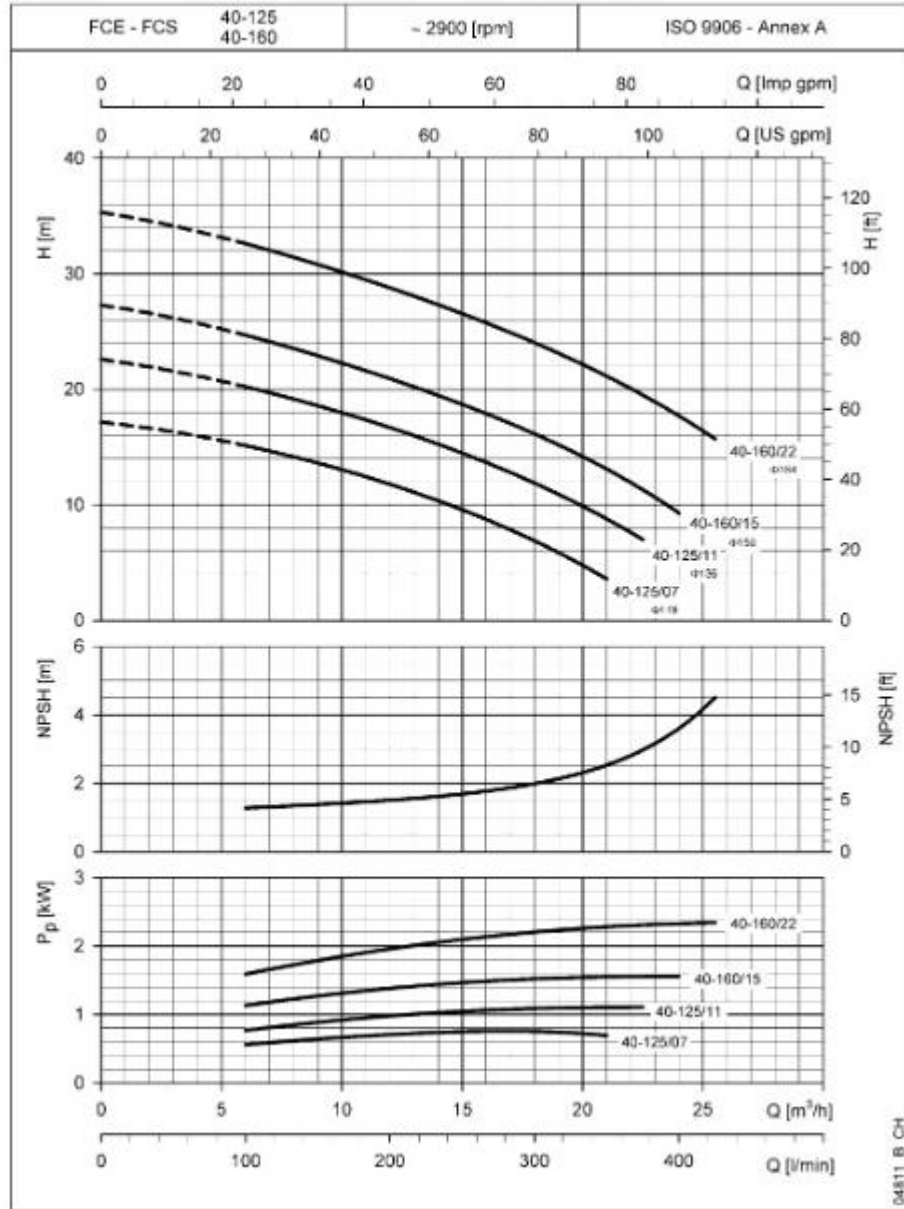
P ; Pompa gücü, kW

Q = 22-6 m³/h

H = 20-7 m

P = 1,1 kW

FCE-FCS SERIES
OPERATING CHARACTERISTICS AT 50 Hz, 2 POLES



The NPSH values are laboratory values, for practical use we suggest increasing these values by 0,5 m.
 These performances are valid for liquids with density $\rho = 1,0 \text{ Kg/dm}^3$ and kinematic viscosity $\nu \leq 1 \text{ mm}^2/\text{sec}$.

Şekil 20 FCS 40-125/11/D Pompa H-Q Grafiği

Borulama;

DN40 [Ek-2]

D_i ; Boru iç çapı, mm

D_d ; Boru dış çapı, mm

D_d = 48,3 mm

D_i = 40,9 mm

Cidar Kalınlığı = 3,7 mm

Akümülayon tankı içerisinde bulunan 25 °C sıcak su boyler kullanım sıcak suyu tanklarına ön ısıtma olarak gönderilecektir.

4.3. Sistem Verimi

4.3.1. Gaz Motoru Hakkında Genel Bilgiler

Sistemde kullanılan MWM marka doğalgaz motorlarının seçim kataloglarından alınmış değerler;[4]

Elektrik Gücü = 800 kW

Egzoz gazı ısı kapasitesi = 454 kW

Ceket soğutma ısı kapasitesi = 407 kW

İntercooler yağ soğutma ısı kapasitesi = 56 kW

Enerjiden yararlanma oranı(elektrik) = % 42

Enerjiden yararlanma oranı(ısı) = % 48

Enerjiden yararlanma oranı (toplam) = % 90

ε ; Enerjiden Yararlanma Oranı

$$\varepsilon = \frac{P}{H}$$

P ; Sistemden elde edilen elektrik gücü

H; Harcanan toplam yakıt miktarı

4.3.2. 2017 Ocak Ayı İçerisinde Saatlik Üretim / Tüketim Miktarları

Toplam Üretilen Elektrik = 543.713 kWh

Toplam Çalışma Saati = 689 h

Birim Enerji Üretimi = 789 kW

Tüketilen Doğalgaz = 130.855 m³

Toplam Çalışma Saati = 689 h

Birim Doğalgaz Tüketimi = 190 m³

Güncel Ortalama Fiili Üst Isıl Değer = 10.82 kWh/m³

Birim Tüketilen Enerji = 2056 kW

Kalorimetre Cihazından Okunan Enerji Değeri = 558.000 kWh

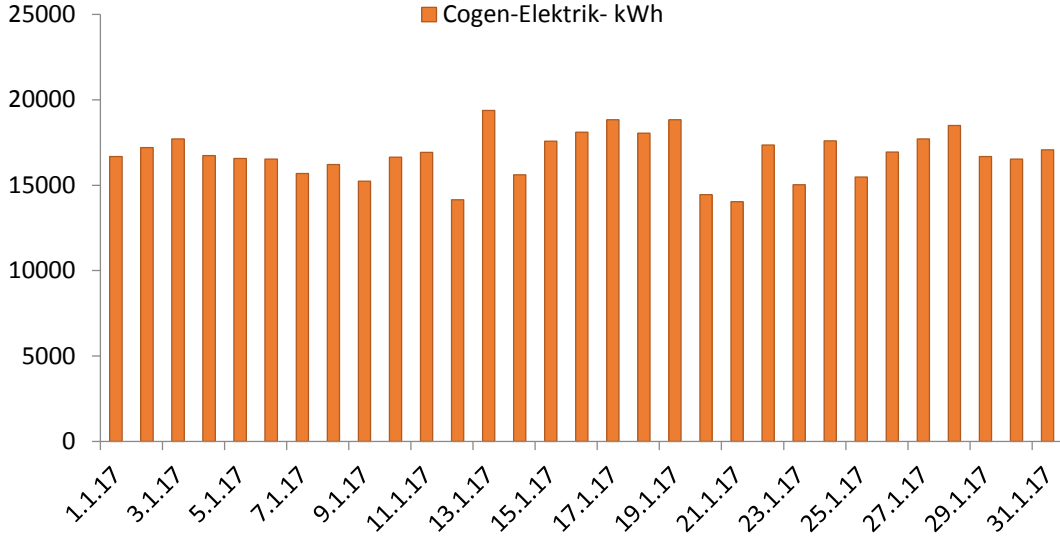
Toplam çalışma saati = 689 h

Birim Isıl kapasite = 810 kW

Tarih	Elektrik										Doğalgaz											
	Sayaç Değerleri					Günlük Tüketim					Sayaç Değerleri		Günlük Tüketim									
	Tek Sayaç (MW)	ATI+AT 2	Cogen 1 Sızma Sayaç (320)	Cogen 1 e kran sayacı - kWh	Cogen 1 Sızma Sayaç (320)	Cogen 2 e kran sayacı - kWh	Cogen 2 Sızma Sayaç (320)	Cogen 2 e kran sayacı - kWh	Tek Sayaç Tüketim (kwh)	Cogen1 Tüketim	Cogen2 Tüketim	Toplam Tüketim	Cogen Sayaç	Kalorimetre (MW)	Günlük Tüketim Kalori (MW)							
1.01.2017	7407,36		13122,949	3110250	17964,473	5912050	10190	16670,4	0	16670,4	26860,4	2540859	8394,8	4170	19							
2.01.2017	7417,55		13122,949	3110250	18016,568	5928760	8970	17196,8	0	17196,8	26166,8	2545029	8413,8	4328	19,2							
3.01.2017	7426,52		13122,949	3110250	18070,308	5945930	8440	17714,88	0	17714,88	26154,88	2549357	8433	4422	19,4							
4.01.2017	7434,96		13122,949	3110250	18125,667	5963720	8570	16735,04	0	16735,04	25305,04	2553779	8452,4	4155	18,6							
5.01.2017	7443,53		13122,949	3110250	18177,964	5980470	8260	16557,44	0	16557,44	24817,44	2557934	8471	4297	22,5							
6.01.2017	7451,79		13122,949	3110250	18229,706	5997060	8810	16522,88	0	16522,88	25332,88	2562231	8493,5	4317	15,5							
7.01.2017	7460,6		13122,949	3110250	18281,34	6013580	10620	15686,72	0	15686,72	26306,72	2566548	8509	4025	17,6							
8.01.2017	7471,22		13122,949	3110250	18330,361	6029310	10590	16203,2	0	16203,2	26793,2	2570573	8526,6	4072	17,9							
9.01.2017	7481,81		13122,949	3110250	18380,996	6045510	12730	15241,28	0	15241,28	27971,28	2574645	8544,5	3812	16,8							
10.01.2017	7494,54		13122,949	3110250	18428,625	6060790	12280	16640	0	16640	28920	2578457	8561,3	4233	18,2							
11.01.2017	7506,82		13122,949	3110250	18480,625	6077450	11020	16926,4	0	16926,4	27946,4	2582690	8579,5	4180	18,3							
12.01.2017	7517,84		13122,949	3110250	18533,52	6094300	12690	13426,24	0	13426,24	26843,28	2586870	8597,8	3776	15,9							
13.01.2017	7530,53		13125,221	3110970	18575,477	6107820	4660	10551,36	0	10551,36	24044,64	2590646	8613,7	4887	20,7							
14.01.2017	7535,19		13158,194	3121440	18603,081	6116730	3790	15610,56	0	15610,56	19400,56	2595553	8634,4	3813	16							
15.01.2017	7538,98		13206,977	3137090	18603,081	6116730	5570	17578,56	0	17578,56	23148,56	2599346	8650,4	4503	17,5							
16.01.2017	7544,55		13261,91	3154600	18603,081	6116730	7160	18109,12	0	18109,12	25269,12	2603849	8667,9	4508	16,4							
17.01.2017	7551,71		13318,501	3172610	18603,081	6116730	6210	18834,56	0	18834,56	25044,56	2608357	8684,3	4743	20,1							
18.01.2017	7557,92		13377,359	3191390	18603,081	6116730	7300	18050,24	0	18050,24	25350,24	2613100	8704,4	4480	18,7							
19.01.2017	7565,22		13433,766	3209410	18603,081	6116730	8060	18826,56	0	18826,56	26886,56	2617580	8723,1	4563	19,8							
20.01.2017	7573,28		13492,599	3228130	18603,081	6116730	11510	14448,32	0	14448,32	25958,32	2622143	8742,9	3591	15,9							
21.01.2017	7584,79		13537,75	3242510	18603,081	6116730	10440	5743,68	8286,4	8286,4	24470,08	2625734	8758,8	3408	14,7							
22.01.2017	7595,23		13555,699	3248250	18628,976	6125030	9140	17358,72	0	17358,72	26498,72	2629142	8773,5	4466	18,6							
23.01.2017	7604,37		13609,945	3265460	18628,976	6125030	10000	6118,4	8917,76	8917,76	25036,16	2633608	8792,1	3512	15,5							
24.01.2017	7614,37		13629,065	3271570	18656,844	6133930	9830	17599,36	0	17599,36	27429,36	2637120	8807,6	4459	18,9							
25.01.2017	7624,2		13629,065	3271570	18711,842	6151560	9190	10717,44	4766,72	4766,72	24674,16	2641579	8826,5	3983	16,7							
26.01.2017	7633,39		13662,557	3282240	18726,738	6156370	7100	16937,92	0	16937,92	24037,92	2645562	8843,2	4306	17,7							
27.01.2017	7640,49		13715,488	3299160	18726,738	6156370	5790	17709,44	0	17709,44	23499,44	2649868	8860,9	4693	12,8							
28.01.2017	7646,28		13770,83	3316860	18726,738	6156370	5380	18500,16	0	18500,16	23880,16	2654561	8873,7	4591	18,5							
29.01.2017	7651,66		13828,643	3335030	18726,738	6156370	9050	16678,08	0	16678,08	25728,08	2659152	8892,2	4152	25							
30.01.2017	7660,71		13880,762	3351760	18726,738	6156370	6750	16528,32	0	16528,32	23278,32	2663304	8917,2	4207	17,1							
31.01.2017	7667,46		13932,413	3368070	18726,738	6156370	7510	17074,56	0	17074,56	24584,56	2667511	8934,3	4203	18							
1.02.2017	7674,97		13985,771	3384960	18726,738	6156370						2671714	8952,3									
TOPLAM											267.610	276.103	243.925	787.638							130.855	558
ORTALAMA											8.633	14.532	14.349	25.408							4.221	18

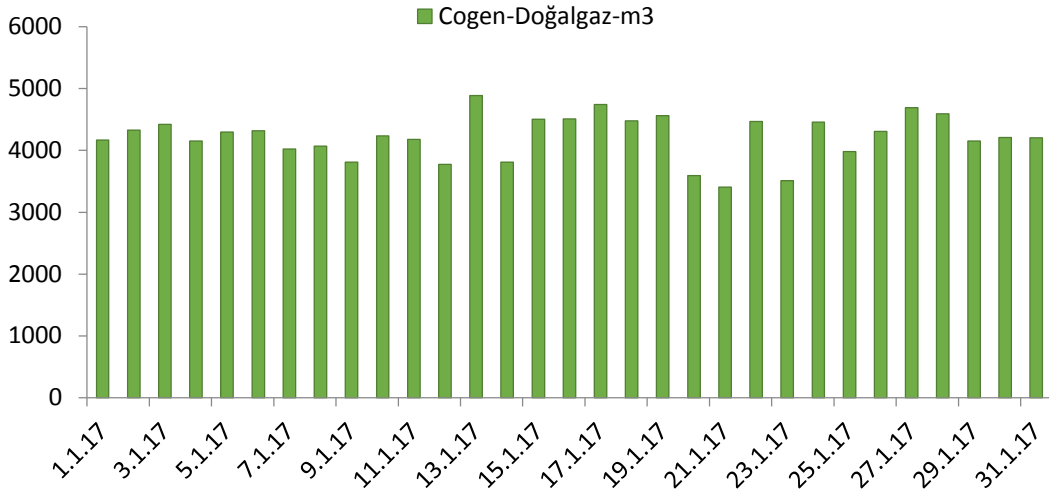
Şekil 21 Günlük Bazda Elektrik Üretim ve Doğalgaz Tüketim Reel Değerler

Cogen-Elektrik- kWh



Şekil 22 Elektrik Üretim Günlük Değerleri

Cogen-Doğalgaz-m³



Şekil 23 Doğalgaz Tüketim Günlük Değerleri



TRJENERASYON ANALİZİ OCAK 2017

ENERJİ TÜKETİM-ÜRETİM DEĞERLERİ		MALİ KARŞILAŞTIRMA		BİRİM FİYAT TABLOSU	
	MIKTAR	TUTAR	REEL FATURALAR	KOJEN OLMASAYDI	BİRİM FİYAT
ELEKTRİK	ENERJİSA'dan Alınan	267.610,00 kWh	67.742 TL	199.379 TL	18,350000 kr/kWh
	KOJEN'DEN Üretilen Elektrik	520.028,00 kWh	131.637 TL	217.854 TL	20,521900 kr/kWh
	TOPLAM Elektrik Tüketimi	787.638,00 kWh	199.379 TL	40.012 TL	0,000000 kr/kWh
D.GAZ	KAZANDAN Tüketilen Doğalgaz	0,00 kWh	0 TL	0 TL	5,495500 kr/kWh
	KOJEN'DEN Tüketilen Doğalgaz	1.427.395,00 kWh	102.352 TL	0 TL	0,000000 kr/kWh
	TOPLAM Doğalgaz Tüketimi	1.427.395,00 kWh	102.352 TL	239.390 TL	8%
IS	KOJEN'DEN Kullanılan Isı	558.000,00 kWh	40.012 TL		7,170543 kr/kWh
BAKIM	KOJEN Bakım Gideri	689 Sa	14.205 TL		
	KOJEN Arıza&Yedek Parça Gideri		0 TL		
	TOPLAM Bakım Arıza Gideri		14.205 TL		
			NET KÂR		
			ENERJİSA ya GÖRE	55.092 TL	
			TEDAŞ'A GÖRE	67.290 TL	
KOJEN PERFORMANS DEĞERLERİ					
				Birim Enerjisa Elektrik Fiyatı	0,253135
				Birim Kojen Elektrik Fiyatı	0,147195
				Kojen Elektrik Verim	36,43%
				Kojen Isıl Verim	39,09%
				Toplam Kojen Verimi	75,52%

Şekil 24 Sistem Verim ve Maliyet Hesaplamaları

ϵ ; Enerjiden Yararlanma Oranı

$$\epsilon = \frac{\text{Üretilen Güç} + \text{Proses Isısı}}{\text{Girilen Toplam Isı}}$$

$$\epsilon = \frac{789 \text{ kW} + 810 \text{ kW}}{2056 \text{ kW}}$$

$$\epsilon = 0,77 , \% 77$$

Enerjiden Yararlanma Oranı = % 77

Kayıp Enerji Hesabı;

Sistem Toplam Isıl Kapasitesi = 861 kW

Sayaçtan Okunan Isıl Kapasite = 810 kW

$$\% \text{ Isıl Kayıp} = \frac{\text{Sayaç tan Okunan Isıl Kapasite}}{\text{Sistem Toplam Isıl Kapasite}}$$

$$\% \text{ Isıl Kayıp} = \frac{810}{861} \times 100$$

$$\% \text{ Isıl Kayıp} = \% 10$$

Yağlama yağı atık ısısını geri kazandığımızda;

Yağlama yağı atık ısı miktarı 56 kW,

Trijenerasyon sistemi verim hesaplamalarında ortalama %10 kayıp olduğunu göz önünde bulundurursak;

$$\text{Yağlama Yağı Atık Isısı} = 56 \times 0,9$$

$$\text{Yağlama Yağı Atık Isısı} = 50,4 \text{ kW}$$

ϵ ; Enerjiden Yararlanma Oranı

$$\epsilon = \frac{\text{Üretilen Güç} + \text{Proses Isısı}}{\text{Girilen Toplam Isı}}$$

$$\epsilon = \frac{789 \text{ kW} + 810 \text{ kW} + 50,4 \text{ kW}}{2056 \text{ kW}}$$

$$\epsilon = 0,79 , \% 79$$

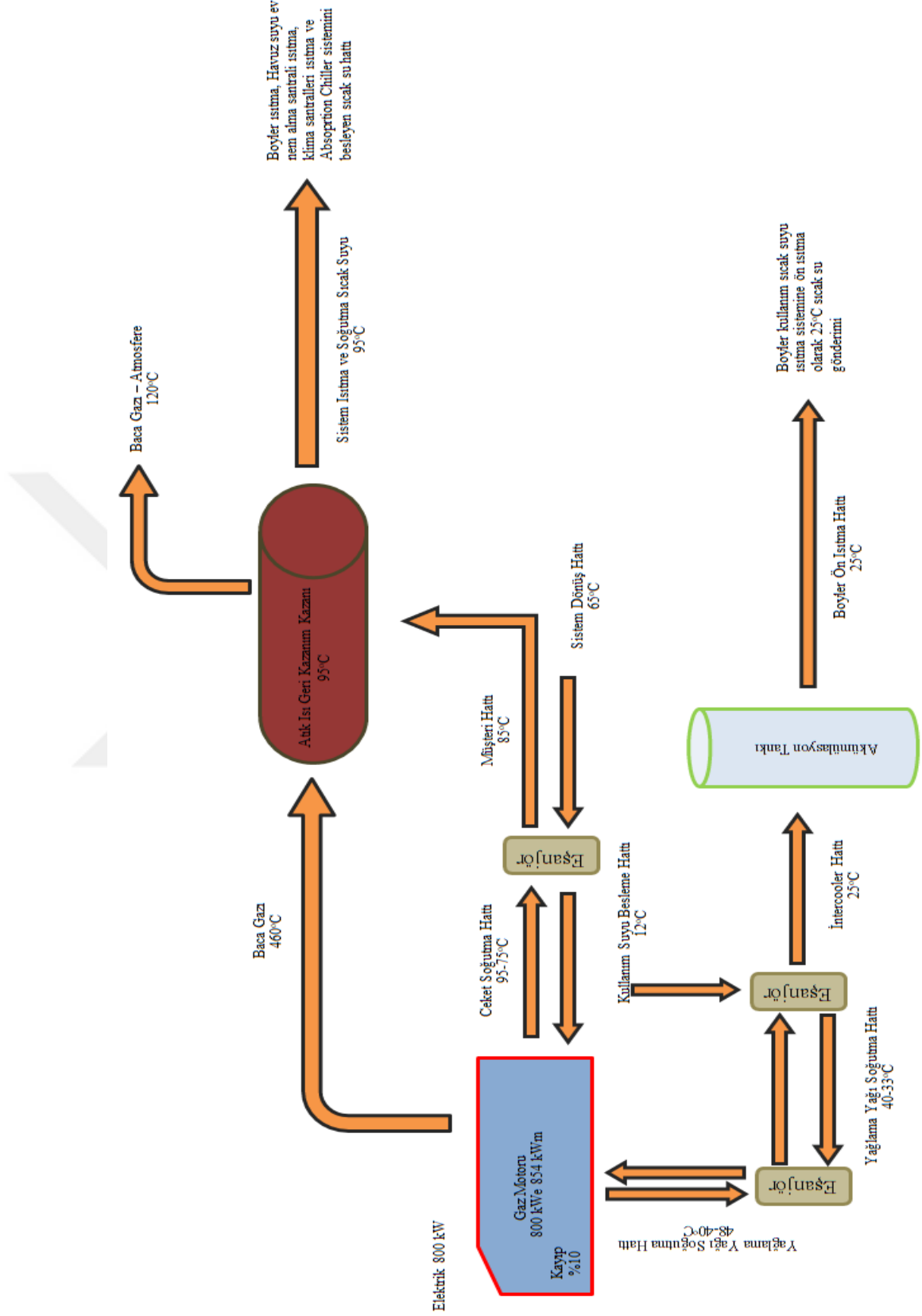
Enerjiden Yararlanma Oranı = % 79

Yağlama yağı atık ısısını geri kazandığımızda enerjiden yararlanma oranında %2'lik bir artış elde edilmiştir.

TRIJENERASYON ANALİZİ OCAK 2017

ENERJİ TÜKETİM-ÜRETİM DEĞERLERİ			MALİ KARŞILAŞTIRMA			BİRİM FİYAT TABLOSU		
	MİKTAR	TUTAR	REEL FATURALAR	KOJEN OLMASAYDI	BİRİM FİYAT	BİRİM		BİRİM
ELEKTRİK	ENERJİSA'dan Alınan	267.610,00 kWh	67.742 TL	199.379 TL	18,350000	kr/kWh	ENERJİSA Elektrik Birim Fiyatı	18,350000
	KOJEN'DEN Üretilen Elektrik	520.028,00 kWh	131.637 TL	217.854 TL	20,521900	kr/kWh	TEDAŞ Birim Fiyatı	20,521900
	TOPLAM Elektrik Tüketimi	787.638,00 kWh	199.379 TL	42.614 TL	0 TL	kr/kWh	Kayıp Kaçak Bedeli	0,000000
D.GAZ	KAZANDAN Tüketilen Doğalgaz	0,00 kWh	0 TL	0 TL	5,495500	kr/kWh	Dağıtım Bedeli	5,495500
	KOJEN'DEN Tüketilen Doğalgaz	1.427.395,00 kWh	102.352 TL	0 TL	0,000000	kr/kWh	İletim Bedeli	0,000000
	TOPLAM Doğalgaz Tüketimi	1.427.395,00 kWh	102.352 TL	241.992 TL	8%		KDV Öncesi Fonlar	8%
IS	KOJEN'DEN Kullanılan Isı	594.288,00 kWh	42.614 TL	57.694 TL	7,170543	kr/kWh	Kazan Doğalgaz Birim Fiyatı	7,170543
				69.892 TL	7,170543	kr/kWh	Kojen Doğalgaz Birim Fiyatı	7,170543
BAKIM	KOJEN Bakım Gideri	689 Sa	14.205 TL		5,3000	€/Sa	Bakım Birim Fiyatı	5,3000
	KOJEN Arıza&Yedek Parça Gideri		0 TL		3,8900	/TL	Euro Kuru	3,8900
	TOPLAM Bakım Arıza Gideri		14.205 TL		0,000000	TL	Perakende satış hiz. bedeli	0,000000
					0,000000	TL/Fatura	PSH Sayac okuma bedeli	0,000000
KOJEN PERFORMANS DEĞERLERİ								
							Birim Enerjisa Elektrik Fiyatı	0,253135
							Birim Kojen Elektrik Fiyatı	0,142191
							Kojen Elektrik Verim	36,43%
							Kojen Isıl Verim	41,63%
							Toplam Kojen Verimi	78,07%

Şekil 25 Intercooler Isı Geri Kazanımı Yapılmış Sistem Verim ve Maliyet Hesaplamaları



Şekil 27 Trijenerasyon Akış Diyagramı – son hali

4.3.3. Maliyet ve Verim Analizi

Yalnız elektrik üreten doğalgazlı sistemlerde verim % 35-40 aralığında olduğundan kar oranı düşmektedir. Trijenerasyon sistemlerinde elektrik üretiminin yanı sıra motor çalışmasının yan çıktıları olarak atık ısıların kullanılmasıyla enerjiden yararlanma oranı oldukça yükselmekte ve kar oranı da artmaktadır.

Atık ısılar kullanılarak sistem ısıtılmakta, bu sayede ısıtma yükü düşük maliyetle karşılanmaktadır. Buna ek olarak atık ısıdan elde edilen sıcak suyu kullanarak saatlik 2,5 kW elektrik sarfiyatıyla 7-12 °C soğuk su üretilip bina soğutmasını sağlayan absorpsiyonlu soğutma cihazları vasıtası ile verim ve kar büyük oranda artmaktadır.

Mevcut durumda gaz motoru ceket ısısı ve baca gazı ısısı geri kazanılırken sistemden % 75,52 verim elde edilmekte ve 55.092 TL şebeke elektriğine göre kar sağlanmaktadır.

Yağlama yağı atık ısısının geri kazanılması ile birlikte sistem verimi %78,07'ye yükselmiş, buna bağlı olarak da şebeke elektriğine göre kar 57.694 TL olmuştur.

Bu ısının geri kazanılması ile birlikte verimde % 2,55 ve karda 2.602 TL artış gözlenmiştir. Buna bağlı olarak yıllık 31.224 TL kar hedeflenmektedir.

5. SONUÇ

Deniz suyunu kondens olarak kullanarak doğalgaz motorları ile elektrik üreten, bu elektriği kullanan, aynı zamanda fazla elektriği tedarikçi firmaya satabilen, bu enerji üretiminin yan çıktıları olan baca gazı, ceket atık ısılarını geri kazanarak kampüs ısıtmasında kullanan ve yine bu sisteme absorpsiyonlu soğutucu ekleyerek bu geri kazanılan ısıdan soğutma suyu elde eden sistemin verimi oldukça yüksektir.

Sistem bu yukarıda ifade ettiğimiz düzende çalıştığında, 30 kW gücünde 5 adet pompa vasıtası ile kondenser hattı eşanjörlerine 1400 m³/h deniz suyu sağlanmaktadır. Doğalgaz motoru saatte 2056 kWh enerji harcayarak 789 kWh 400V elektrik enerjisi üretmektedir. Elektrik üretimi esnasında motorun ve baca gazının soğutulması ile elde edilen 810 kW atık ısı sistemin ısıtılması ve saate 2,5 kWh elektrik enerjisi harcayan absorpsiyonlu soğutucu yardımı ile soğutulması sağlanmaktadır.

Atık ısı vasıtası ile boiler kullanım sıcak suyu sistemi, havuz ve nem alma santralleri ve bina ısıtma suyu sistemi ısıtılmaktadır. Kampüs soğutulması absorpsiyonlu soğutucu vasıtası ile 7 °C soğuk su olarak sağlanmaktadır.

Sistem bu şekilde çalıştığında enerjiden yararlanma oranı(elektrik) %38, enerjiden yararlanma oranı(ısı) %39, toplam toplam enerjiden yararlanma oranı %77 olarak hesaplanmıştır.

Doğalgaz motorunun üçüncü ısı çıkışı olan intercooler yağlama yağı soğutma atık ısı plakalı eşanjörler vasıtası ile geri kazanılmıştır. Plakalı eşanjörde kullanım suyu tarafından ısının geri kazanılması ile birlikte sıcaklığı 25 °C'ye çıkmaktadır. Akümülyasyon tankında toplanan 25 °C'de boiler ön ısıtma suyu pompa yardımıyla boilerlere kullanım sıcak suyu ön ısıtması olarak gönderilmektedir.

Doğalgaz motoru yağlama yağı sıcaklığının sıcaklığı 46 °C civarlarında tutulması gerekmektedir. Kullanım sıcak suyunda kullanım debisi düştüğünde plakalı eşanjörlerde ısı aktarımı olmayacaktır. Bu durumda yağlama yağının sıcaklığını düşürmek için acil durum sistemi kurulacaktır. Deniz suyu titanyum alaşım plakalı eşanjör yardımıyla hattın üzerine üç yollu otomasyon bazlı vana ekleyerek devre suyu sıcaklığının deniz suyu ile düşürülmesi sağlanacaktır.

Yağlama yağı ısısının geri kazanılmasıyla birlikte enerjiden yararlanma oranı(ısı) %42'ye toplam enerjiden yararlanma oranının ise %80'e çıkartılması hedeflenmektedir.

Bu sayede aylık karın 2602 TL, yıllık karın da 31224 TL olarak olarak artırılması planlanmaktadır.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1]. İlk A., Trijenerasyon Sistemleri Enerji ve Ekserji Analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, Isparta 2012
- [2]. Haberdar F., Bir İlaç Fabrikasında Trijenerasyon Sistemi Kurulmasının Termodinamik Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, İstanbul 2009
- [3]. Hastanelerde ve Alışveriş Merkezlerinde Trijenerasyon Uygulamaları, Aylık Enerji Dergisi, 2013
- [4]. Piri Reis Replacement, Natural gas, İleri Teknoloji Müh. A.Ş., MWM GmbH
- [5]. Pistonlu Gaz Motorlarıyla Tahrik Edilen Kojenerasyon Sistemleri ile Yerde Enerji Üretimi, Aylık Enerji Dergisi, 2013
- [6]. Ekinci D. A., Erzurum Kampüs Hastanesine Uygulanacak Trijenerasyon Sisteminin Fizibilitesi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, D. Tezi, Erzurum 2013
- [7]. Rahim M., Gündüz D., Gaz Türbinli Bir Isıl-Güç Çevrim Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi, Ankara Şartlarında Uygulama, TUBAV Bilim Dergisi, 2013 Sayı,2
- [8]. EES Programı Kullanılarak Bir Trijenerasyon Sisteminin Termodinamik Analizi, 2. Uluslararası İklimlendirme Soğumta Eğitimi Sempozyumu ve Sergisi, 2014, Süleyman Demirel Üniversitesi Teknoloji Fakültesi
- [9]. Demirhan M., Sıcak Sulu Bir Isıtma Sistemine Plakalı Eşanjör Yerleştirilmesinin Sistem Çalışma Parametrelerine Etkisi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 2012
- [10]. Yenice O. T., Kırsal Kesimde Kurulabilecek Doğalgaz Yakıtlı Otoproduktör Kojenerasyon Santralleri Üzerine Bir Araştırma, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, D. Tezi, 2005
- [11]. Arda M., Kojenerasyon Sistemlerinde Kullanılan Gaz Motorlarının İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, L. Tezi, 2009
- [12]. İster İ., Mevcut Bir Fabrikada Trijenerasyon Uygulaması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Müh., Y. Lisans Tezi, 2006
- [13]. Yazman E., 0,4 MW Trijenerasyon Sisteminin Modellenmesi, Motor Seçimi ve Verim Analizi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, Ercan Yazaman, 2015

- [14]. Aras H., Doğalgaz Yakan Sistemlerde Baca Gazından Isı Geri Kazanımı, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 1991
- [15]. Abuşoğlu A., Exergetic and Thermo-economic Performance Analysis and Optimization of Diesel Engine Powered Cogeneration systems, Gaziantep University Graduate School of Natural and Applied Sciences, 2008
- [16]. Lowara, Xylect brand Teknik Doküman Kataloğu
- [17]. Brown A.I. and Marco S. M. "Introduction to Heat Transfer" 3d ed., McGraw Book Company, New York, 1958
- [18]. Çakır U., Aziziye Araştırma Hastanesi Enerji Gereksinimi İçin Kojenerasyon Sisteminin Uygulanabilirliği, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 2007
- [19]. Çalışıcı Ü., Kojenerasyon Sistemleri ve Bir İşletmenin İhtiyacını Karşılacak Kojenerasyon Sisteminin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 2005
- [20]. Turgut G. H., Enerji Etkin Bina Tasarımı Kapsamında Büyük Ankara Oteli Yenileme Süreci ve Trijenerasyon Uygulaması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Y. Lisans Tezi, 2010
- [21]. Elhanan E., Cogeneration Of Electricity and Cooling by Gas Turbines, İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Y. Lisans Tezi. 2006
- [22]. Beltir V., Bir Ticari İşletmede Kurulacak Kojenerasyon veya Trijenerasyon Sistemlerinin Ekonomik Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü,
- [23]. Karaali R., Kojenerasyon Tesislerinin Termoekonomik Optimizasyonu, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, D. Tezi, 2010
- [24]. Kojenerasyon Sistemlerinin Termodinamik Analizi, Ulusal Tesisat Mühendisliği kongresi, 2011
- [25]. Ener Ö., Örnek Bir İşletmede Kojenerasyon Tesisi Uygulaması, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 2006
- [26]. Szargut, J., Morris, R.D. ve Steward, R. F., Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes, Hemisphere, New York, 1998

- [27]. Todd, J.P. ve Ellis, B. E., An Introduction to Thermodynamics for Engineering Technologists, John Wiley & Sons, Canada, 1976
- [28]. Piri Reis Üniversitesi Trijenerasyon Sistemi, 2013
- [29]. Rice, I.G. “ Thermodynamics Evaluation of Gas Turbine Cogeneration Cycles”, 1987



EKLER

EK-1 Suyun Termodinamik Özellikleri Tablosu [17]

Suyun Özellikleri

°F	°C	c_p kJ/kg·°C	ρ kg/m ³	μ kg/m·s	k W/m·°C	Pr	$\frac{g\beta\rho^2L_r}{\mu k}$ 1/m ² ·°C
32	0	4.225	999.8	1.79×10^{-3}	0.566	13.25	
40	4.44	4.208	999.8	1.55	0.575	11.35	1.91×10^8
50	10	4.195	999.2	1.31	0.585	9.40	6.34×10^8
60	15.56	4.186	998.6	1.12	0.595	7.88	1.08×10^9
70	21.11	4.179	997.4	9.8×10^{-4}	0.604	6.78	1.46×10^9
80	26.67	4.179	995.8	8.6	0.614	5.85	1.91×10^9
90	32.22	4.174	994.9	7.65	0.623	5.12	2.48×10^9
100	37.78	4.174	993.0	6.82	0.630	4.53	3.3×10^9
110	43.33	4.174	990.6	6.16	0.637	4.04	4.19×10^9
120	48.89	4.174	988.8	5.62	0.644	3.64	4.89×10^9
130	54.44	4.179	985.7	5.13	0.649	3.30	5.66×10^9
140	60	4.179	983.3	4.71	0.654	3.01	6.48×10^9
150	65.55	4.183	980.3	4.3	0.659	2.73	7.62×10^9
160	71.11	4.186	977.3	4.01	0.665	2.53	8.84×10^9
170	76.67	4.191	973.7	3.72	0.668	2.33	9.85×10^9
180	82.22	4.195	970.2	3.47	0.673	2.16	1.09×10^{10}
190	87.78	4.199	966.7	3.27	0.675	2.03	
200	93.33	4.204	963.2	3.06	0.678	1.90	
220	104.4	4.216	955.1	2.67	0.684	1.66	
240	115.6	4.229	946.7	2.44	0.685	1.51	
260	126.7	4.250	937.2	2.19	0.685	1.36	
280	137.8	4.271	928.1	1.98	0.685	1.24	
300	148.9	4.296	918.0	1.86	0.684	1.17	
350	176.7	4.371	890.4	1.57	0.677	1.02	
400	204.4	4.467	859.4	1.36	0.665	1.00	
450	232.2	4.585	825.7	1.20	0.646	0.85	
500	260	4.731	785.2	1.07	0.616	0.83	
550	287.7	5.024	735.5	9.51×10^{-4}			
600	315.6	5.703	678.7	8.68			

† Adapted from A. I. Brown and S. M. Marco, "Introduction to Heat Transfer," 3d ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1958.

EK-2 Boru apları Tablosu

ANMA API (mm)		DIŞ AP(mm)	IDAR KALINLIĞI(mm)	İ AP (mm)
1/2"	DN 15	21,3	2,8	15,7
3/4"	DN 20	26,9	2,9	21,1
1"	DN 25	33,7	3,4	26,9
1 1/4"	DN 32	42,4	3,6	35,2
1 1/2"	DN 40	48,3	3,7	40,9
2"	DN 50	60,3	3,9	52,5
2 1/2"	DN 65	73,0	5,20	62,6
3"	DN 80	88,9	5,5	77,9
4"	DN 100	114,3	6	102,3
5"	DN 125	141,0	6,6	127,8
6"	DN 150	168,3	7,1	154,1
8"	DN 200	219,1	8,18	202,74
12"	DN 300	323	9,5	304
16"	DN 400	406	9,5	387
18"	DN 450	470	9,5	451

EK-3 Isı Aktarım Katsayısı Tablosu

TABLE 13-1

Representative values of the overall heat transfer coefficients in heat exchangers

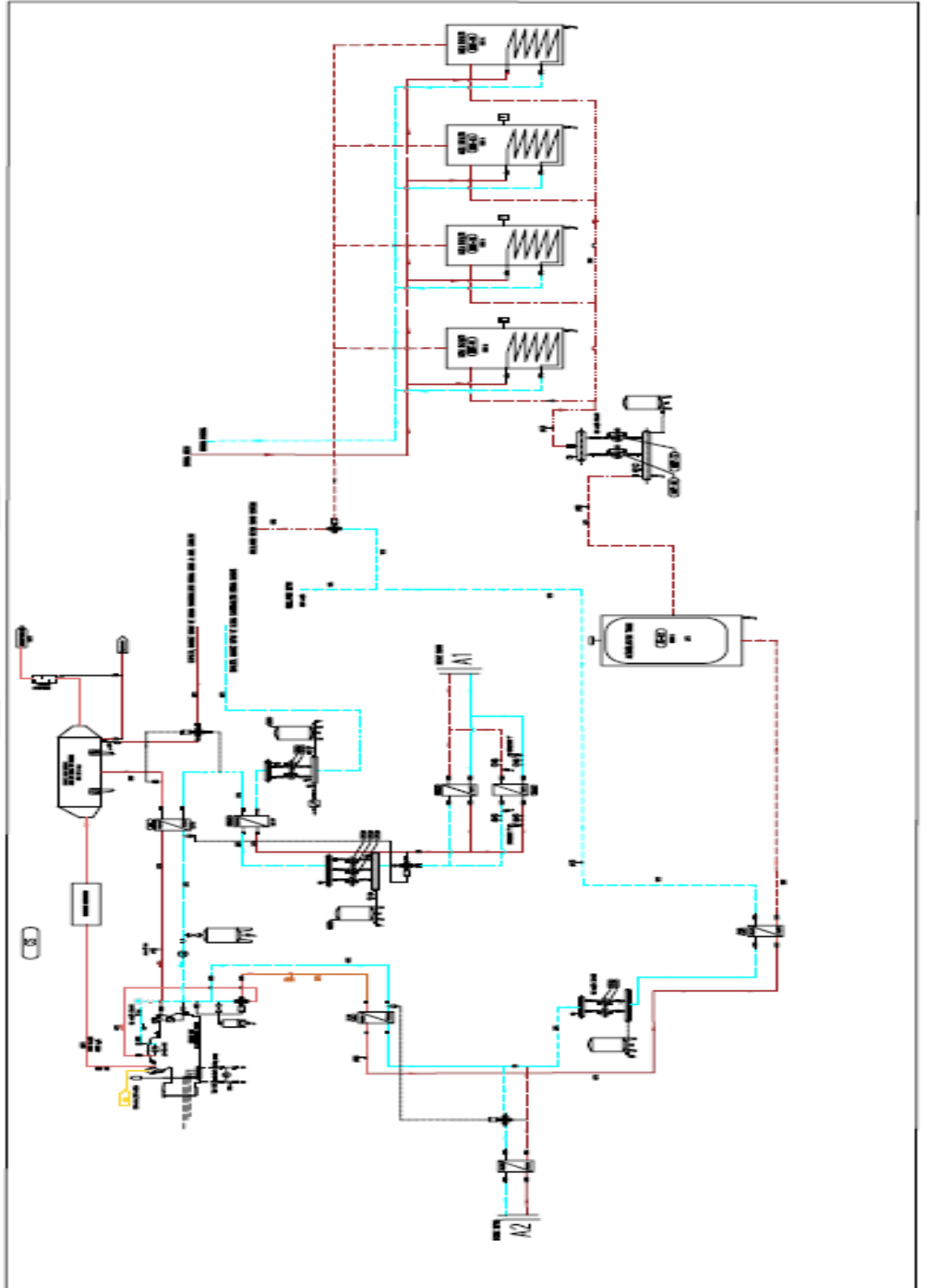
Type of heat exchanger	U , $W/m^2 \cdot ^\circ C^*$
Water-to-water	850–1700
Water-to-oil	100–350
Water-to-gasoline or kerosene	300–1000
Feedwater heaters	1000–8500
Steam-to-light fuel oil	200–400
Steam-to-heavy fuel oil	50–200
Steam condenser	1000–6000
Freon condenser (water cooled)	300–1000
Ammonia condenser (water cooled)	800–1400
Alcohol condensers (water cooled)	250–700
Gas-to-gas	10–40
Water-to-air in finned tubes (water in tubes)	30–60 [†]
	400–850 [†]
Steam-to-air in finned tubes (steam in tubes)	30–300 [†]
	400–4000 [‡]

*Multiply the listed values by 0.176 to convert them to $Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$.

[†]Based on air-side surface area.

[‡]Based on water- or steam-side surface area.

EK-4 Trijenerasyon Sistemi Yağlama Yağı Isı Geri Kazanımı Akış Diyagramı [28]



ÖZGEÇMİŞ

Resül KAYA, 1988 yılında İstanbul Üsküdar'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Şile ilçesi Üvezli Köyü'nde, Lise öğrenimini Ümraniye'de tamamladı. 2005 yılında girdiği Cumhuriyet Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında Kimya Mühendisi olarak mezun oldu. Eylül 2015'te Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisansa başladı. Şu an RGM Turkey Işık Üniversitesi projesinde Proje Müdürü olarak çalışmaktadır.

Resül KAYA