

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

300 YATAKLI HASTANEDE KURULACAK
KOJENERASYON/TRİJENERASYON SANTRALİNİN TEKNOEKONOMİK
ANALİZİ

ERSOY ÇETİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Yrd. Doc. Dr. Cenk MISIRLI

EDİRNE-2017

ERSOY ÇETİN'in hazırladığı "300 YATAKLI HASTANEDE KURULACAK KOJENERASYON/TRİJENERASYON SANTRALİNİN TEKNOEKONOMİK ANALİZİ" başlıklı bu tez, tarafımızca okumuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyadı):

PROF.DR. YILMAZ ÇAN

.....

YRD.DOÇ.DR. CENK MISIRLI

.....

YRD.DOÇ.DR. OLCAY EKŞİ

.....

İmza

Tez Savunma Tarihi: 27 / 11 / 2017

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Yrd. Doç. Dr. Cenk MISIRLI
Tez Danışmanı

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

PROF.DR. MURAT YURTCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.


27 / 11 / 2017
Ersoy ÇETİN
İmza

Yüksek Lisans Tezi

300 Yataklı Hastanede Kurulacak Kojenerasyon/Trijenerasyon Santralinin
Teknoekonomik Analizi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Bu çalışmada, Edirne İli'nde kurulacak 300 yataklı kamu hastanesinde enerji verimliliğini üst düzeyde kullanabilmek amacı ile tesis edilen trijeneratör santralinin teknoekonomik analizi yapılmıştır.

Kojenerasyon en yalın ifadeyle, enerjinin hem elektrik hem de ısı biçimlerinde aynı sistemden, eş zamanlı olarak beraberce üretilmesidir. Bu birliktelik, iki enerji biçiminin kendi başlarına ayrı yerlerde üretilmesinden daha ekonomik sonuçlar vermektedir. Teze konu hastanede tesis edilen trijeneratör sistemi gaz motorlu olarak planlanmıştır. Gaz motoru ile belirli bir miktar elektrik üretmek üzere elektrik jeneratörü döndürülürken, doğal gaz motorun egzoz gazları ve motor soğutma suyu vasıtasıyla ürettiği önemli miktarda faydalı atık ısının, plakalı ısı eşanjörleri kullanılarak sıcak suya buradan da sıcak havaya dönüşümü sağlanmaktadır. Böylece kış mevsiminde hastane binası ısıtma sistemindeki doğalgaz kazanlarına, yaz mevsiminde de hava soğutmalı soğutma gruplarına destek verilerek enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu çalışmada, hastane için projelendirilmiş trijenerasyon santralinin sistem yapısının özellikleri incelenmiş ve santralin kurulum, montaj ve devreye alma safhaları irdelenerek iş akış diyagramları oluşturulmuştur. Kojenerasyon/trijenerasyon

sistemlerinin ekonomik bir şekilde çalışabilmesi için şebeke elektriği bağlantısı, yardımcı kazan ve elektrikle çalışan mekanik soğutma sistemlerinin maliyetlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Yıl : 2017

Sayfa Sayısı : 57

Anahtar Kelimeler : Trijenerasyon, kojenerasyon, teknoekonomik analiz, hastane,

Master's Thesis

Technoeconomical Analysis Of Cogeneration/Trigeneration Plant To Be Installed In A
300 Bed Capacity Hospital.

Trakya University Institute of Natural Sciences

Mechanical Engineering

ABSTRACT

In this study, technoeconomic analysis of the trigeneration plant, which was established with the aim of using energy efficiency at a high level in a 300 bed public hospital to be built in Edirne province.

Cogeneration, in its simplest form, is the simultaneous generation of energy from the same system in both electrical and heat forms. This combination gives more economic results than the two forms of energy being produced separately on their own. The trigeneration system, which is installed in the subject of the examination, is planned as gas engine. While the electric generator is being rotated to produce a certain amount of electricity with the gas engine, significant amounts of waste heat generated by the naturalgas engine through the exhaust gases and engine coolant are converted in to hot water from the hot water through the plate heat exchangers. Thus, naturalgas boilers in the heating system of the hospital building during the winter season and air cooling cooling groups in the summer are supported to save energy. In this study, the characteristics of the system structure of the projected triangulation plant for the hospital were examined and work flow diagrams were created by examining the phases of installation, installation and commissioning of the plant. In order for the cogeneration / trigeneration systems to operate economically, a comparison of the costs of mains electricity connection, auxiliary boiler and electrically operated mechanical cooling systems has been made.

Year : 2017

Number of Pages : 57

Keywords : Cogeneration, trigeneration, technoeconomic analysis, hospital

TEŞEKKÜR

Bu önemli konu üzerine tez hazırlamamı sağlayan, tezimin hazırlanmasında başından sonuna kadar teknik bilgi ve tecrübesini ve manevi desteğini benden esirgemeyen, bana yol gösteren, yoğun çalışma temposu içinde bana zaman ayıran saygıdeğer hocam ve danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Müh. Cenk MISIRLI'ya tüm katkılarından ve hiç eksiltmediğı desteğinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca yorulduğum, olumsuzluğa kapıldığım her an yanımda olarak bana moral ve destek veren sevgili eşim, Serpil ÇETİN'e daha az yaramazlık yapıp erken uyuyan oğlum Ege ÇETİN ve kızım Elvin ÇETİN'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışması Trakya Üniversitesi BAP birimi tarafından 2017/75 numaralı proje ile desteklenmiştir. Proje desteğı için Trakya Üniversitesi BAP birimine de teşekkürlerimi sunarım.

Ersoy ÇETİN

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1. Konu.....	1
1.2. Amaç	2
1.3. Kapsam	2
BÖLÜM 2 KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3 MATERYAL VE YÖNTEM	8
3.1. Kojenerasyon / Trijenerasyon Sistemi	8
3.2. Sistemde Kullanılacak Yakıt Seçimi	10
3.3. Yakıcı Sistem Seçimi	11
3.4. İşletme Yöntemi Seçimi.....	13
3.5. Trijenerasyon Sisteminde Kullanılan Ekipmanlar	14
3.5.1. Gaz Jeneratörü.....	16
3.5.2. Alternatör	17
3.5.3. Eşanjörler (Isı Aktarıcılar)	18
3.5.4. Plakalı Tip Eşanjörler.....	19
3.5.5. Plakalı Eşanjörün Kapasite Hesabı	19
3.5.6. Boru Tip Eşanjörler (Egzoz Eşanjörü).....	21
3.5.7. Egzoz Eşanjörünün Kapasite Hesabı	22
3.5.8. Absorbsiyonlu Soğutucu	26
3.5.9. Soğutma Kulesi	29

3.5.10. Elektrik Kumanda ve Güç/Transfer Panoları Ekipmanları	32
3.5.11. Trijeneratörlerin Elektrik Sistemine Bağlanma Tek Hat Şeması	34
3.5.12. Trijeneratör Santrali P&ID ve PFD Şeması	35
BÖLÜM 4 HASTANEDE KURULAN TRİJENERASYON SANTRALİNİN MALİYET VERİMLİLİK ANALİZİ VE TEST ÇALIŞMASI VERİLERİNİN İZLENMESİ.....	36
4.1. Trijeneratör Santralinin Birincil Enerji Kaynağı Tasarrufu.....	36
4.2. Hastanenin Elektrik ve Doğalgaz Tüketimleri.....	38
4.3. Trijeneratör Santralinin Test Çalışması Dönemi Değerlendirmesi.....	42
4.4. Trijeneratör Santralinin Test Çalışması Dönemi Elektrik Üretim Verileri	42
4.5. Trijeneratör Santralinin Test Çalışması Dönemi Doğalgaz Tüketim Verileri	44
4.6. Trijeneratör Santralinin Enerji Üretim Mali Analizi	46
BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	52
5.1. Sonuçlar	52
5.2. Tartışma	53
5.3. Öneriler	53
KAYNAKLAR	54

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

CHP	: Birleşik Isı ve Güç Santrali (Combined Heat and Power)
Q_{kule}	:Su Soğutma Kulesi Kapasitesi
Q_E	:Su Soğutma Grubu Evaporatör Kapasitesi
N_k	:Su Soğutma Grubu Kompresörünün Çektiği Güç
F	:Düzeltilme Katsayısı (1,1 ila 1,15 arası bir değer)
V	:Sistem Su Debisi
$T_{sç}$:Sistem Su Çıkış Sıcaklığı
T_{sg}	:Sistem Su Giriş Sıcaklığı
T	:Kuleye Suyun Giriş Sıcaklığı İle Çıkış Sıcaklığı arasındaki fark.
AVR	:Jeneratör Voltaj Regülatör Kartı (Automatic Voltage Regulator)
T_1	:Egzoz Gazı Motor Çıkış Sıcaklığı
T_2	:Egzoz Gazı Baca Çıkış Sıcaklığı
m_1	:Egzoz Gazı Akış Miktarı
C_1	:Egzoz Gazının Özgül Isısı (490°C ve 140°C deki gazın ortalama değeri)
T_1	:Proses Suyunun Egzoz/Plakalı Eşanjörüne Giriş Sıcaklığı
T_2	:Proses Suyunun Egzoz/Plakalı Eşanjöründen Çıkış Sıcaklığı
m_1	:Egzoz Gazı/Ceket Suyu Akış Miktarı
m_2	:%30 Etilen Glikol Karışımlı Suyun Akış Miktarı
C_2	:%30 Etilen Glikol Karışımlı Suyun Özgül Isısı
η_h	:Kojenerasyon Tesisinin Isıl Verimi
η_{h-ref}	:Tek başına Elektrik Üretimi İçin Referans Verim

η_e :Kojenerasyon Tesisinin Elektriksel Verimi

η_{e-ref} :Tek Başına Elektrik Üretimi İçin Referans Verim

$\eta_{e-ref-2}$:Tek Başına Elektrik Üretimi İçin Düzeltilmiş Referans Verim

t_g :Geri Ödeme Süresi

G_i :Yıllık Net Kazanç

G_y :İlk Yatırım Maliyeti

f :Yıllık Faiz Oranı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Türkiye kurulu gücünün yıllar itibarı ile gelişimi (Türkiye Elektrik İletim A.Ş., 2015).	3
Şekil 2.2 Pearl Street Elektrik Santrali, New York, ABD, (1882) (American History, 2017)	5
Şekil 2.3 AB Ülkeleri CHP santrali kapasiteleri 2013 yılı (Eurostat DATA, 2015).	6
Şekil 3.1 Konvansiyonel üretim ve kojenerasyon santralinin verimlilik karşılaştırılması (Zor ve ark., 2015a).....	9
Şekil 3.2 Konvansiyonel, Kojenerasyon ve Trijenerasyon sistemlerinin toplam verimliliklerinin karşılaştırılması (Zor ve ark., 2015b).....	10
Şekil 3.3 Hastane ısınma ihtiyacını karşılayan 3 adet 2.500 kW gücündeki doğal gaz kazanları.	11
Şekil 3.4 2x425kW _e gücünde paralel çalışan doğalgaz motor/alternatör setleri.....	12
Şekil 3.5 300 yataklı ve 70.897 m ² kapalı alan kapasiteli benzer hastanelerin yaklaşık günlük tüketim değişim grafiği.	13
Şekil 3.6 Hastane elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanma durumu.....	14
Şekil 3.7 Gaz motorlu Kojenerasyon Santrali şeması (Zor ve ark., 2015b).....	15
Şekil 3.8 Gaz motorlu Trijeneratör Santrali şeması (Zor ve ark., 2015b).....	15
Şekil 3.9 Hastanede kullanılan doğalgaz motoru.....	17
Şekil 3.10 Alternatörün 3 faz verimlilik eğrisi.	18
Şekil 3.11 Doğalgaz motoru ceket suyu soğutma devresindeki plakalı eşanjör.	19
Şekil 3.12 Boru Tip Egzoz Eşanjörünün iç yapısı.	21
Şekil 3.13 Hastanede tesis edilen 275 kW gücündeki egzoz eşanjörü.....	22
Şekil 3.14 Absorbsiyonlu soğutucu çalışma prensibi şeması. (SHUNGLIANG ECO-ENERGY ve SYSTEMS, 2017)	27
Şekil 3.15 Hastaneden kullanılan 675 kW gücündeki Absorbsiyonlu soğutucu	28
Şekil 3.16 Hastaneden kullanılan 675 kW gücündeki Absorbsiyonlu soğutucu	28

Şekil 3.17 Soğutma Kulesi iç yapısı.	30
Şekil 3.18 Hastanede kullanılan 1.610.000 kCal/h (1.872 kW) kapasiteli, tel kafes (bigudi) tipi dolgu elemanlı çift kuleli su kulesi.	32
Şekil 3.19 Trjineratör santrali kumanda panoları.....	32
Şekil 3.20 ComAp marka InteliSys-NTC-Basebox model kontrol kartı	33
Şekil 3.21 Comap marka InteliVision8 model dijital kontrol ekranı.	34
Şekil 4.1 Hastanenin yıllara göre aylık elektrik tüketim grafiği	38
Şekil 4.2 Hastanenin 2017-Mart ayı saatlik elektrik tüketim grafiği	39
Şekil 4.3 Hastanenin 2017-Ağustos ayı saatlik elektrik tüketim grafiği.....	39
Şekil 4.4 Hastanenin yıllara göre aylık doğalgaz tüketim tablosu	40
Şekil 4.5 Hastanenin 12 aylık periyotta aylara göre saatlik doğalgaz tüketim grafiği....	41
Şekil 4.6 Hastanenin 2017 yılında aylara göre saatlik hava soğutmalı soğutucuların soğutma kapasiteleri grafiği	42

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1 Doğalgazın üretiminin yapıldığı illere göre dağılımı (Elektrik Piyasası Düzenleme Kurulu, 2017).....	4
Çizelge 2.2 2015 ve 2016 Yıllarındaki Doğal Gaz Tüketiminin Sektörlere Dağılımının Karşılaştırılması (milyon Sm ³) (Elektrik Piyasası Düzenleme Kurulu, 2017).	6
Çizelge 3.1 Trijenerasyon sistemlerindeki ana hareket makinelerinin elektrik üretimi ve yakıt tüketimi arasındaki ilişki (Martínez-Lera ve Ballester, 2010).	12
Çizelge 3.2 Perkins 4008-30TRS1 doğalgaz motorunun teknik özellikleri (Perkins Engine, 2017).	16
Çizelge 3.3 Doğalgaza ait farklı sıcaklık değerlerindeki özgül ısı değerleri (Mobley, 2001)	23
Çizelge 3.4 Shungliang marka HSB model Absorbsiyonlu soğutucu teknik özellikleri (SHUNGLIANG ECO-ENERGY ve SYSTEMS, 2017).....	29
Çizelge 3.5 Yolyapı DSKC-9CB Model 1.872 kW kapasiteli su kulesi teknik özellikleri	30
Çizelge 4.1 Trijeneratör santralının test çalışması ile çalışmadığı dönemlerinin saatlik hastane elektrik tüketimi karşılaştırma tablosu	43
Çizelge 4.2 Trijeneratör santralının iç tüketim ekipmanları tablosu.....	44
Çizelge 4.3 Trijeneratör santralının test çalışması ile çalışmadığı dönemlerinin saatlik doğalgaz tüketim karşılaştırma tablosu	45
Çizelge 4.4 Trijeneratör santralının test çalışması sürecindeki doğalgaz tüketim karşılaştırma tablosu.....	46
Çizelge 4.5 Trijeneratör Santralının Enerji Üretimindeki Maliyet/Kazanç Tablosu	48
Çizelge 4.6 Trijeneratör Santralının Yıllık Kazanç Çizelgesi.....	50

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Konu

Hastaneler çalışma düzenleri nedeni ile yılın tamamında ve günün büyük kısmında aktif çalışan işletmelerdir. Gelişen tıp biliminin aradığı asgari şartlar, hasta ve çalışan sağlığı ve konforunun teknolojik ve toplumsal gelişmeler ile doğru orantılı olarak standartlarının yükselmesi, hastane binalarını elektrik ve ısı enerjisinin yoğun kullanıldığı işletmeler haline getirmiştir. İşletme tarafından elektrik ve ısının aynı anda talep edilmesi, iki enerji türünün aynı anda üretildiği kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin sağlık tesislerinde kullanılmasını gerektirmiştir. Bu yolla birincil enerji kaynağı olan doğal gaz, petrol ve kömür vb. dönüştürülerek ikincil enerji kaynakları ısı ve elektrik üretimi sağlandığından işletmelerin enerji verimliliği artmaktadır.

Dünyada ve Avrupa’da bu sistemler hastanelerde yoğun olarak kullanılmaktadır (Deutsche Gesellschaft, 2016). Ülkemizde özel sektör hastanelerinde bu tesisler kurulmuş ve işletilmeye devam etmektedir (Acıbadem, 2010). Kamu hastanelerinde ise yasal düzenlemeler yapılarak kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin kurulması desteklenmeye başlanmıştır. Bu kapsamda ilk uygulamalar 2014 yılı ve sonrasında tesis edilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada Edirne İli’nde inşa edilen 300 yataklı hastane binasında kurulan trijeneratör sisteminin kurulum aşamaları, sistemde kullanılan ekipmanların özellikleri incelenecek ve sistemin yatırım ve işletme maliyetleri ile verimliliğinin analizi yapılacaktır.

1.2. Amaç

Bu tez çalışmasında hastanenin elektriksel kurulu ve talep gücüne göre seçilecek doğal gaz motoru ve alternatörünün, sistemden üretilecek elektrik enerjisi ve buna bağlı ısı enerjisinin kış mevsiminde ısınmada kullanılmasını sağlayan plakalı ve egzoz eşanjörlerinin ve yaz mevsiminde soğuk su üretilmesinde kullanılacak olan Absorbsiyonlu soğutucu ve buna bağlı soğutma kulelerinin kapasiteleri teknik özellikleri incelenecektir. İkinci olarak hastanenin trijenerasyon sistemi devreye alınmadan önceki elektrik ve doğalgaz tüketimleri ile devreye alındıktan sonraki tüketimleri karşılaştırılarak sistem verimliliği değerlendirilecektir. Üçüncü olarak sistem kurulum, devreye alma ve işletilmesi maliyetlerinin değerlendirilmesi ile sistemin kendini geri ödeme süresi hesaplanacaktır.

1.3. Kapsam

Bu yüksek lisans tezinin konusunu oluşturan Edirne İli'ndeki kamu hastanesinde kurulan trijenerasyon sisteminin teknoekonomik analizi 5 bölüm olarak hazırlanmıştır.

İkinci bölümde kojenerasyon sistemlerinin dünyada ve ülkemizdeki tarihsel süreci, sistemin trijenerasyon evresine geçişi ile ilgili bilimsel çalışmalar ve kamu hastanelerinde bu sistemlerin tesis edilmesi ile ilgili yasal düzenlemeler araştırılmıştır.

Üçüncü bölümde trijenerasyon sisteminin teorisi ve hastanede kurulan sisteme ait ekipmanlar tanıtılmıştır.

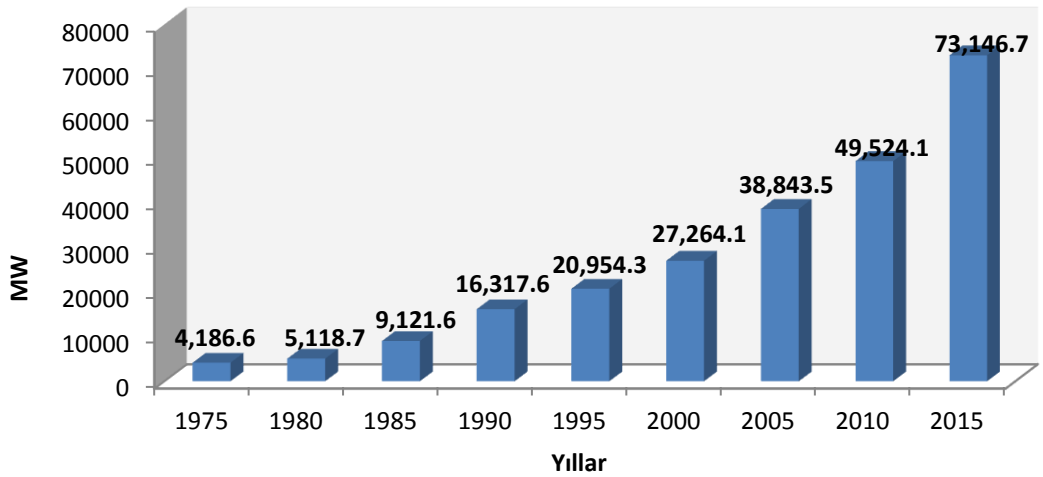
Dördüncü bölümde hastanede kurulan trijenerasyon sisteminin teorik ve matematiksel olarak öngörülen verimliliği ile işletmeye alındıktan sonra pratikte gerçekleşen verimliliğinin karşılaştırması ve sistemin maliyet amortisman süresi hesaplanmıştır.

Beşinci bölümde sonuçlar değerlendirilmiş ve dünyada ve ülkemizdeki kojenerasyon/trijenerasyon sistemleri ile karşılaştırılması yapılmış, kurulan sistemin hastane enerji giderlerine yaptığı katkı değerlendirilmiş ve sistemin verimliliğinin artırılması için öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2

KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çağımızda gelişen teknoloji ve insanın konforlu yaşam anlayışı birbirini besleyen iki unsur olarak ortaya çıkmıştır. Bu durum enerji ihtiyacı miktarı ve tüketiminin giderek artan bir eğilim göstermesine neden olmuştur. İnsanlık 21.Yüzyıla geçerken yaşamını, gelişen teknolojiyle birlikte, daha konforlu hale getirmiş ve bunun sonucu olarak da enerji tüketimi artmıştır. Bununla birlikte artan insan nüfusuna paralel olarak Dünyada ve Türkiye’de enerji tüketimi de belirgin bir şekilde artmaktadır (Türkiye Elektrik İletim A.Ş., 2015).



Şekil 2.1 Türkiye kurulu gücünün yıllar itibarı ile gelişimi (Türkiye Elektrik İletim A.Ş., 2015).

Bu kurulu güç kapasitesinin yaklaşık dörtte birini yani 18.527,6 MW'ını doğalgaz termik santralleri oluşturmaktadır (Türkiye Elektrik İletim A.Ş., 2015). Kurulu güç kapasitesinin %25,33'lük kısmını karşılayan doğalgaz termik santralleri hidrolik

santrallerden sonra ikinci sırada gelmektedir (Türkiye Elektrik İletim A.Ş., 2015). Buradan da anlaşıldığı üzere ülkemizde üretilen elektrik enerjisinin önemli bir kısmı birincil enerji kaynağı olan doğalgazdan üretilmektedir. Bu santrallerde üretilen ikincil enerji türü olan ısı enerjisi ne yazık ki çoğunlukla kullanılamamaktadır.

Ülkemizde doğalgaz üretimi yapılan sahalarda üretim kapasiteleri incelendiğinde; %55,14'lük payla en fazla üretimin Tekirdağ ili içerisindeki sahalarda yapıldığı görülmektedir. İkinci sırada ise %16,95 ile Kırklareli İli gelmektedir (Elektrik Piyasası Düzenleme Kurulu, 2017). Bu verilerden Türkiye'de doğalgaz üretim sahalara önemli bir kısmının Trakya Bölgesinde bulunduğu görülmektedir. Bununla birlikte son yıllarda dünyada önem kazanması ile birlikte Türkiye'de de kaya gazı bulunması ve çıkarılması konusuna önem verilmektedir.

Çizelge 2.1 Doğalgazın üretiminin yapıldığı illere göre dağılımı (Elektrik Piyasası Düzenleme Kurulu, 2017).

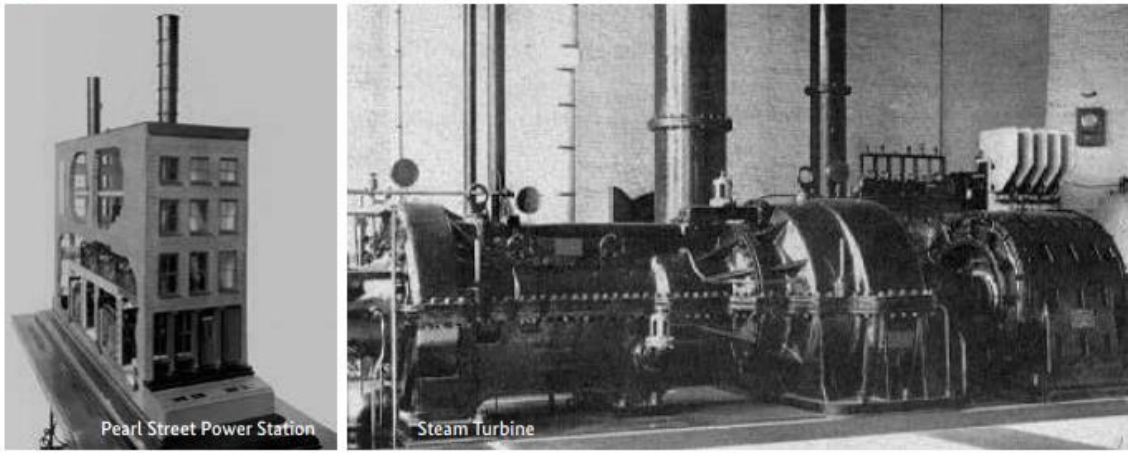
İl Adı	Tüketim Miktarı (milyon Sm³)
TEKİRDAĞ	202,5
KIRKLARELİ	62,27
İSTANBUL	56,40
DÜZCE	44,18
EDİRNE	1,24
MARDİN	0,35
ADYAMAN	0,34
Genel Toplam	367,28

Sürekli artan enerji ihtiyacı ve kısıtlı enerji kaynakları insanı var olan kaynakları verimli kullanmaya zorlamıştır. Ayrıca gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakmak adına daha az karbon salımlı sistemler tesis edilmesi gerekmektedir. Ortalama bir kombine ısı ve güç sisteminin sera gazı emisyonlarını yaklaşık yüzde 18 oranında azalttığı tahmin edilmektedir (Health Care Without Harm, 2013). Bu nedenlerle birincil enerji kaynaklarından (kömür, petrol, doğalgaz vb.) elde edilen ısı ve elektrik enerji formunun ayrı ayrı üretilmesi yerine, tüketilme noktasına en yakın noktada birlikte üretilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu şekildeki yani aynı anda hem elektrik hem ısı enerjisinin aynı anda üretildiği sistemlere kojenerasyon sistemleri

denmiştir. Kojenerasyon sisteminde ortaya çıkan ısının soğutma işleminde kullanılması ile birlikte geliştirilmesine trijenerasyon sistemi adı verilmiştir.

18. ve 19. yüzyıllarda sanayi devrimi ile ilk temelleri atılan kojenerasyon sistemleri aslında ilk olarak ısıtma amaçlı kullanılmıştır (Korkut ve Şekerci, 2015).

İlk sistem elektriğin mucidi Thomas Edison tarafından, 1882'de Pearl Street İstasyonu'nda kurulmuştur. Şekil 2.2.'de görülen santral, dünyanın ilk ısı ve elektriği kombine şekilde üreten endüstriyel tesisi olmuştur. Tesiste elektrik üretimi esnasında oluşan atık ısı değerlendirilmiş, böylece komşularının ihtiyacı olan ısı ve elektrik enerjisi bu tesisten sağlamıştır (Filoğlu, 2011).



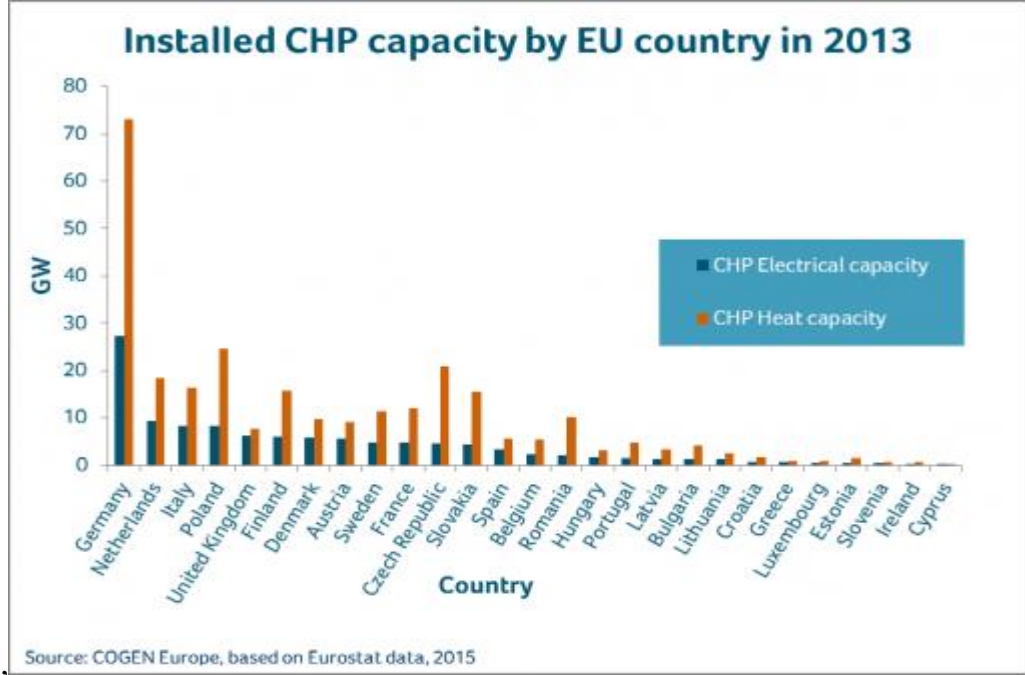
Şekil 2.2 Pearl Street Elektrik Santrali, New York, ABD, (1882) (American History, 2017)

Ülkemizde ise ilk kurulan kojenerasyon tesisi 1992 yılında özel sektör tarafından tesis edilmiş olan 4 MW'lık Yalova Elyaf Kojenerasyon tesisidir (Korkut ve Şekerci, 2015).

Enerji verimliliği, karbon salınımı önem kazandıkça dünyada ve ülkemizde ısı üretimi ve elektrik üretiminin birlikte üretildiği santraller daha çok tercih edilir olmuştur.

Ülkemize coğrafi olarak en yakın komşularımız Avrupa ülkelerinde birleşik ısı ve güç üretim santralleri (Combined Heat and Power- CHP) yaygın olarak kullanılmaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinde üretilen elektriğin % 11,7'si kojenerasyon kullanarak üretilmektedir (Eurostat DATA, 2015). Bununla birlikte, toplam elektrik üretiminde kojenerasyonun kullanım oranı ülkelere göre farklılık göstermektedir. 2011 yılı Eurostat verilerine göre, Malta'da kojenerasyon yokken Kıbrıs'ta toplam üretimin %

0,6'sı Fransa'da % 2,7'si olarak tespit edilmiştir. Slovakya% 78,6 ile bu oranın en yüksek gerçekleştiği ülkedir. Slovakya'yı % 48,8 kojenerasyon kullanım oranı ile Danimarka takip etmektedir. Bu üretim santrallerinde üretilen elektrik ve ısı kapasiteleri aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 2.3 AB Ülkeleri CHP santrali kapasiteleri 2013 yılı (Eurostat DATA, 2015).

Dünyadaki bu alandaki gelişmelere paralel olarak Türkiye’de de CHP Santrallerinin kurulması hız kazanmıştır. EPDK tarafından yayımlanan verilere göre Isı ve Elektrik CHP Santrallerinin 2016 yılı tüketim miktarları bir önceki yıla göre %72,66 oranında artmıştır (Elektrik Piyasası Düzenleme Kurulu, 2017).

Çizelge 2.2 2015 ve 2016 Yıllarındaki Doğal Gaz Tüketiminin Sektörlere Dağılımının Karşılaştırılması (milyon Sm³) (Elektrik Piyasası Düzenleme Kurulu, 2017).

Dönüşüm/Çevrim Sektörü	2015	2016	2016 Pay (%)	Değişim (%) 2015 → 2016
Elektrik Santralleri	11.414,66	12.570,40	27,09	10,13
Otoprodüktör Elektrik Santralleri	6.867,08	3.490,31	7,52	-49,17
Isı ve Elektrik (CHP) Santralleri	19,23	33,21	0,07	72,66
Otoprodüktör Isı ve Elektrik Santralleri	64,89	361,36	0,78	456,87
Isı Santralleri	0,00	25,62	0,06	-

Dönüşüm/Çevrim Sektörü	2015	2016	2016 Pay (%)	Değişim (%) 2015 → 2016
Otoprodüktör Isı Santralleri	644,79	249,35	0,54	-61,33
Diğer Çevrim Sektörü Tüketicileri	0,02	0,07	0,00	227,59
TOPLAM	19.010,67	16.730,31	36,06	-12,00

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte kojenerasyonda ortaya çıkan ısıyı kimyasal reaksiyonlar ve soğurma yardımı ile soğutma işlemini gerçekleştiren absorpsiyonlu soğutucular ortaya çıkmıştır. Absorpsiyonlu Soğutucu (Chiller) doğal gaz türbini ya da motorundan alınan ısıyı iklimlendirme sistemi soğutma suyunun soğutulmasında kullanılmasını sağlamıştır.

Kamu binaları ve hastanelerinde bu konu ile ilgili yasal düzenlemeler ile çerçeve içine alınmış, uygulaması ve gelişmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda düzenlenmiş kanun ve yönetmelikler ile konu düzenlenmiştir. Böylece yeni yapılacak kullanım alanı 20.000 m²'nin üzerinde olan binalarda ısıtma, soğutma, havalandırma, sıhhi sıcak su, elektrik ve aydınlatma enerjisi ihtiyaçlarının tamamen veya kısmen karşılanması amacıyla, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı, hava, toprak veya su kaynaklı ısı pompası, kojenerasyon ve mikrokojenerasyon gibi sistem çözümlerinin tesis edilmesinin önü açılmıştır. Ayrıca bu uygulamaların maliyetlerinin, Bakanlık tarafından yayımlanan birim fiyatlar esas alınmak suretiyle hesaplanan, binanın toplam maliyetinin en az yüzde onuna karşılık gelecek şekilde yapılması şartları belirlenmiştir (Bayındırlık ve İskân, 2010). Bu yasal düzenlemeler ile yeni tesis edilecek kamu ve özel binalarda enerji verimliliğini sağlamak amacı ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile kojenerasyon ve mikrokojenerasyon gibi sistem çözümleri teşvik edilmeye başlanmıştır.

Bu sistemlerin optimum kapasitelerinin ve geri ödeme süreleri ile karlılıklarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. İşletmelerde kurulacak birleşik elektrik ve ısı üretim santrallerinin karlılığı ve geri ödeme süresi konusunda yapılan çalışmalarda; Si Doek OH ve arkadaşları 2006 yılında Seul'de bulunan bir ofis ve otel binasında kurulacak tesisin optimum konfigürasyon ve işletilmesi için matematiksel model geliştirmişlerdir (Oh vd. 2007). Woojin Cho ve arkadaşları kojenerasyon sistemleri için geliştirdikleri yaklaşımda kullanılan iki farklı yöntemle, grafiksel bir yöntem ve basit bir eşitlik yardımı ile optimum kapasiteyi sırasıyla %7 ve %15 olarak tahmin edebilmişlerdir (Cho vd. 2012).

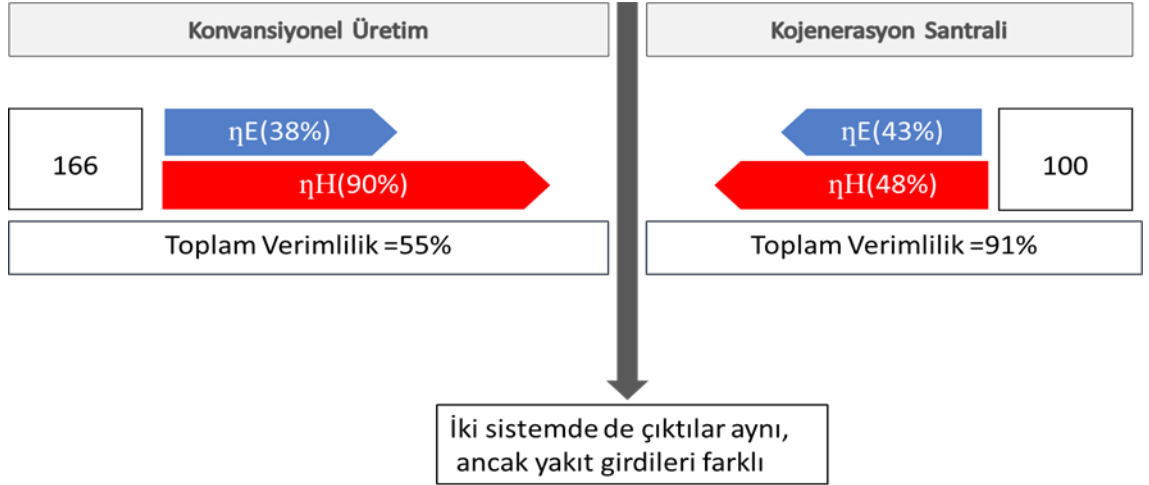
BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde Edirne İli'ndeki 70.897 m² kapalı alana kurulan kamu hastanesinde tesis edilen trijenerasyon sisteminin tasarlanması ve uygun ekipmanın seçilmesi kriterleri belirlenmiştir. Seçilen ekipmanın hastane ısı ve enerji merkezi binasında tesis edilmesi ve montajı süreçleri izlenmiş ve iş akış diyagramları düzenlenmiştir. Sistemde kullanılan ekipmanların teknik detayları ve tanıtımı yapılmıştır.

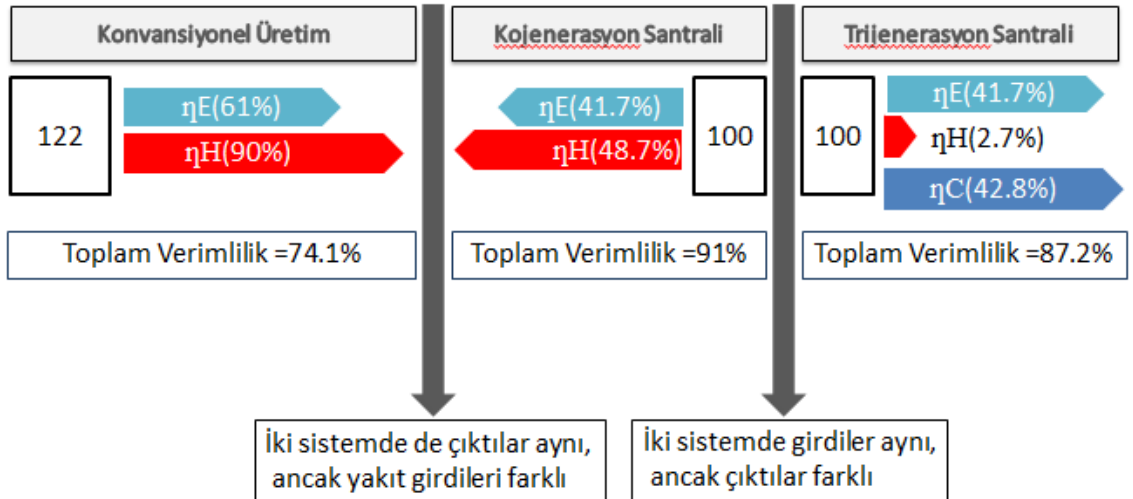
3.1. Kojenerasyon / Trijenerasyon Sistemi

Konvansiyonel üretim yapılan sistemlerde ısı ve elektriğin ayrı ayrı üretilmesi nedeni ile düşük seviyelerde kalan enerji verimliliği kojenerasyon/trijenerasyon sistemi ile artırılmaktadır. Konvansiyonel sistemin % 55 olan toplam verimliliği doğalgaz motorlu kojenerasyon sistemine dönüştürüldüğünde % 91 seviyelerine yükselmektedir (Zor vd. 2015a). Şekil 3.1' de kömür yakıtlı elektrik üretim santrali ile doğal gaz kazanlı konvansiyonel sistem ile toplam verimliliği %91 olan kojenerasyon sistemi karşılaştırıldığında aynı için konvansiyonel sistemde daha fazla enerji tüketildiği görülmektedir (Zor vd. 2015a).



Şekil 3.1 Konvansiyonel üretim ve kojenerasyon santralinin verimlilik karşılaştırılması (Zor vd. 2015a).

Aynı şekilde konvansiyonel üretim yapılan sistem ile soğutmanın da yapıldığı trijenerasyon santrali karşılaştırıldığında sistem verimi azalmaktadır. Bunun nedeni absorpsiyonlu soğutucu egzoz eşanjörü ve diğer ısı transfer ekipmanları ile kıyaslandığında göreceli düşük verimidir (Zor vd. 2015b). Bununla birlikte hastane, hotel gibi işletmelerde 12 ay boyunca çalışan trijenerasyon santralleri, kojenerasyon santrallerinin sadece kış aylarında kullanılabilmesi nedeni ile yatırım geri ödeme süresi yönünden daha avantajlıdır.



Şekil 3.2 Konvensiyonel, Kojenerasyon ve Trijenerasyon sistemlerinin toplam verimliliklerinin karşılaştırılması (Zor vd. 2015b).

Bununla birlikte kojenerasyon ve trijenerasyon teknolojisi için ısı geri kazanım şemaları, yakıt enerjisinin kullanıldığı dizilime bağlı olarak, tepe döngüsü (topping-cycle) veya dip döngüsü (bottoming-cycle) sistemi olarak sınıflandırılır (Casten, 1998). Tez konusu çalışmada sistemde önce elektrik enerjisinin üretildiği devamında ısı enerjisinden yararlanılan tepe döngüsü sistemi tercih edilmiştir.

3.2. Sistemde Kullanılacak Yakıt Seçimi

Sistemde motor ve türbin şeklinde iki tür sistem kullanılabilir. Motorlu sistemler; gaz motorlu ve diesel motorlu, türbinli sistemler ise e gaz türbinlidir. Motor veya türbin seçimini yapmadan önce trijenerasyon sisteminde yakıt seçimini yapmak gerekir. Trijenerasyon sisteminde kullanılan yakıt türleri: doğal gaz, biyogaz, propan gazları ve nadiren dieseldir. Doğalgaz diğer yakıtlardan ucuz olması, zararlı karbonmonoksit ve azot oksit emisyonlarının diğer yakıt türlerine göre çok daha düşük olması ve tüketiminin sayaçlarca ölçülebilir ve kontrol edilebilir olması özellikleri ile üstün bir yakıttır.

Bununla birlikte Şekil 3.3’de gösterilen hastane ısınma ihtiyacı için 3 adet 2.500 kW (2.150.000 kcal/h) gücünde doğalgaz kazanı tesis edilmiştir. Ayrıca Edirne İli doğalgaz altyapısı tamamlanmış durumdadır. Bu nedenle çalışmaya konu sistemde doğalgaz yakıtlı sistem kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Hastane ısınma ihtiyacını karşılayan 3 adet 2.500 kW gücündeki doğal gaz kazanları.

3.3. Yakıcı Sistem Seçimi

Araştırmalar hastane işletmelerinde motorlu üretim sistemlerinin performansının türbinli üretim sistemlerine daha yüksek olduğunu göstermiştir (Ziher ve Poredos, 2006). Trijenerasyon sisteminde kullanılacak ana yakıcı makinenin özelliği besleyeceği tüketim tesisinin elektriksel kurulu gücü ile doğrudan bağlantılıdır. Bu çalışmaya konu hastanenin elektriksel kurulu gücü 4x1600 kVA toplam 6.400 kVA'dır. Bu güç tüm yüklerin devrede olduğu puant zaman için hesaplanarak tasarlanmıştır. Hastaneler çalışma rejimleri gereği günün 18:00 / 06:00 saatleri arasında minimum seviyede elektrik enerjisine ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle günde 24 saat esasına göre çalışacak olan trijeneratör elektriksel gücünün optimum seviyede seçilmesi çok önemlidir. Böyle bir yükü elektriksel olarak besleyecek trijeneratör gücü hastanenin elektriksel yüklerinin minimum seviyeye ineceği saat 18:00 / 06:00 saatleri baz alınarak seçilmesi gerekmektedir. Bu seçim kriterleri için bazı teknik çalışmalar yapılmıştır. Motor verimi, ısı/güç oranı ve yakıt tüketimi değerleri, ticari ekipmanlar için gerçek verilerden türetilmiş olan Tablo 1'de verilen ilişkilerden belirlenebilir. Üretici firmalardan alınan

mevcut bilgi ve genel büyüklük sınırlarına göre, Çizelge 3.1’de verilen bu ilişkiler sadece güçleri 100-3500 kW aralığında değişen motorlar için kullanılabilir (Martínez-Lera ve Ballester, 2010).

Çizelge 3.1 Trijenerasyon sistemlerindeki ana hareket makinelerinin elektrik üretimi ve yakıt tüketimi arasındaki ilişki (Martínez-Lera ve Ballester, 2010).

y değişkeni	x değişkeni	İlişki	R
Elektrik üretimi (kW)	Isı üretimi (kW)	$y=6x10^{-5}x^2 + 0,7401x$	0,91
Yakıt tüketimi (kW)	Elektrik üretimi (kW)	$y=-7x10^{-5}x^2 + 2,727x$	0,99

Bu çalışmaya konu hastanede 2 adet paralel çalışan 425kW_e gücünde doğalgaz motoru ve alternatör seti tasarlanmıştır. Şekil 3.4’te bir jeneratörde ortaya çıkacak bakım/arıza gibi durumlarda diğerinin çalıştırılması ve böylece elektrik ve ısı üretilmesine devam edilmesi öngörülerek tasarlanmış 2’ li doğalgaz motor ve alternatör setleri görülmektedir.

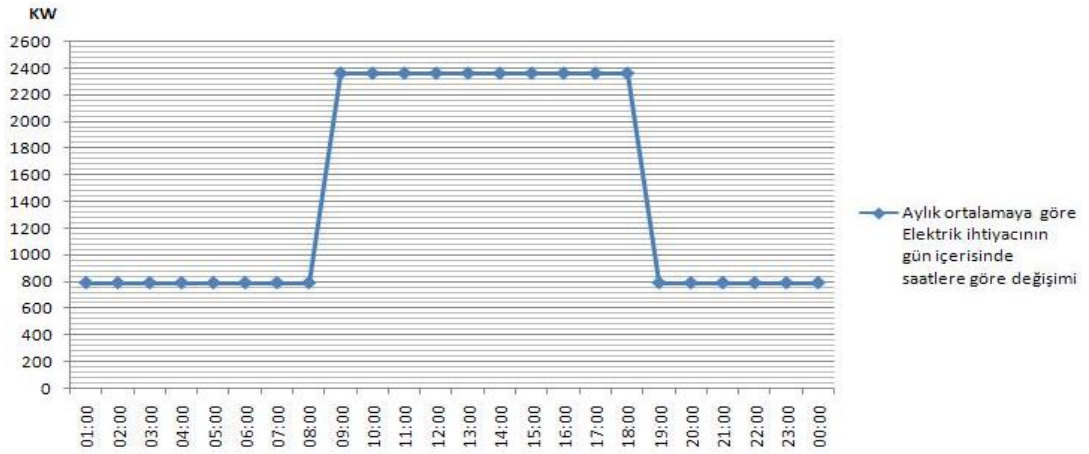


Şekil 3.4 2x425kW_e gücünde paralel çalışan doğalgaz motor/alternatör setleri.

3.4. İşletme Yöntemi Seçimi

Süre gelen uygulamalardan elde edilen tecrübeler ve bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılan işletme yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar; ısı gereksiniminin izlenmesi, elektrik gereksiniminin izlenmesi, sürekli çalışma, aşırı tüketim durumunda takviye uygulaması, asıl yükte çalışma şeklinde ortaya çıkmıştır. Bu işletme yöntemlerinden yaygın olarak kullanılanı dinamik verimi zayıf işletmelerde oldukça faydalı olan asıl yükte çalışma yöntemidir (Kavvadias vd. 2010). Bu işletme yönteminde trijeneratör santralinden maksimum verim alınması için jeneratörlerin arıza, periyodik bakım, yağ değişimi vb. durumlar haricinde sürekli çalıştırılması gerekmektedir. Yine yapılan araştırmalar hastanelerin elektrik eğrisinin karşılanmasında kullanılan motorlu sistemlerden türbinli sistemlere göre daha iyi performans alındığını göstermektedir (Renedo vd. 2006).

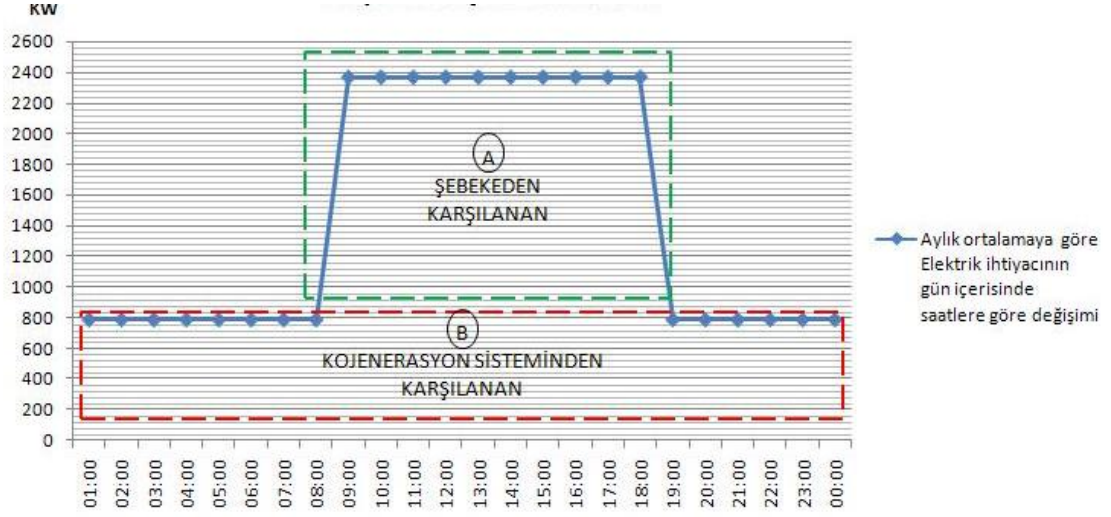
Hastanenin günlük elektrik tüketim rejimi benzer yatak kapasitesi ve bina toplam kapalı alan hastane tüketimleri baz alınarak değerlendirildiğinde Şekil 3.5'te belirtilen yük durumu ortaya çıkmaktadır. Bu tabloya göre hastanenin tüm gün boyunca en az yük durumunda iken şebekeden yaklaşık 800 kW yük çektiği görülmektedir



Şekil 3.5 300 yataklı ve 70.897 m² kapalı alan kapasiteli benzer hastanelerin yaklaşık günlük tüketim değişim grafiği.

Bu durumda kurulacak olan trijeneratörün elektriksel üretim kapasitesinin asıl yükte çalışma işletme yönetimine göre seçilmesi doğru olacaktır. Şekil 3.6'da

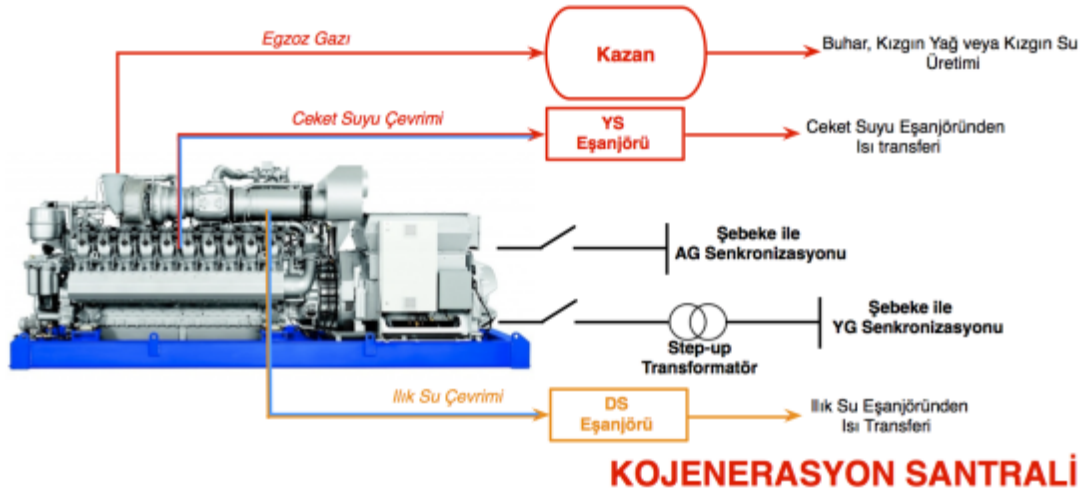
belirtildiği üzere şebekeye elektrik verilmeyecek ve puant zamanlarda 800 kW'ın üzerindeki gerekli elektrik şebekeden karşılanacak şekilde tasarlanacaktır. Bu tercih nedeni ile 24 saat durmaksızın birbirleri ve şebeke ile paralel çalışacak şekilde 2x425kW_e elektriksel üretim kapasiteli doğalgaz jeneratörleri seçilmiştir.



Şekil 3.6 Hastane elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanma durumu.

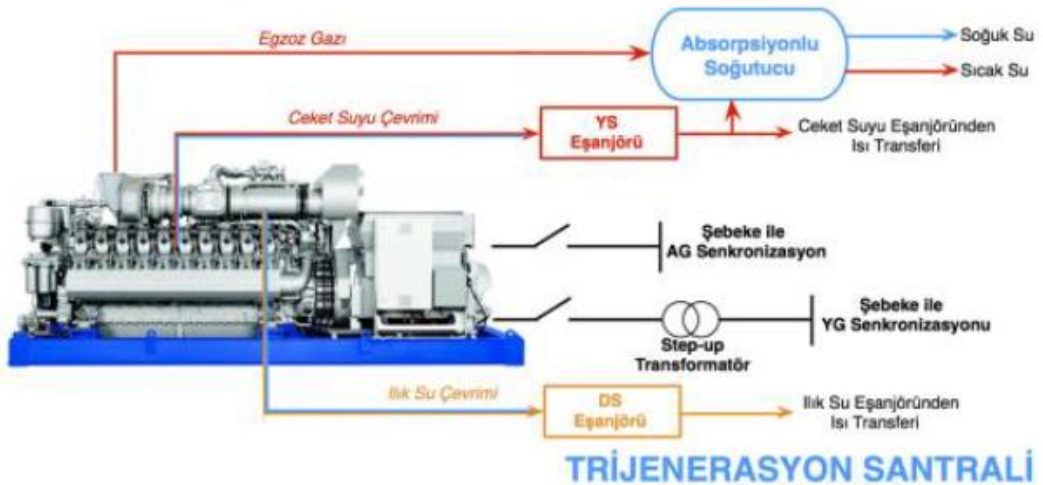
3.5. Trijenerasyon Sisteminde Kullanılan Ekipmanlar

Bir trijenerasyon santrali ana makine (motor ve alternatör) ve diğer yardımcı ekipmanlar (absorbsiyonlu soğutucu, egzoz eşanjörü, elektrik güç panoları vb.) parçalarından oluşmaktadır. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de kojenerasyon ve trijenerasyon santrallerindeki ekipmanlar görülmektedir (Zor vd. 2015b).



Şekil 3.7 Gaz motorlu Kojenerasyon Santrali şeması (Zor vd. 2015b).

Trijenerasyon sisteminde yazın soğutma işlemi de yapılacağı için sisteme absorpsiyonlu soğutucu eklenmektedir. Bu şemada gösterilen Yükseltici (step-up) Transformatör ilgili belirleyici temel kriter bölgesel ve ulusal elektrik dağıtım kamusal/özel tüzel kurumların (Trakya Elektrik Dağıtım A.Ş. ve Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.) proje şartlarıdır. Çalışmaya konu hastanede santral toplam kurulu gücü ve verimliliği lisanssız enerji üretim şartlarını sağladığından bu ekipman sisteme dahil edilmemiştir. Sistem işletilmesi süreçlerinde ayrıca değerlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.8 Gaz motorlu Trijeneratör Santrali şeması (Zor vd. 2015b).

3.5.1. Gaz Jeneratörü

Sistemin elektrik ve ısı olarak kaynağını oluşturan ekipmandır. Doğalgaz motoru ve buna bağlı alternatörden oluşmaktadır. Temel çalışma prensibi; elektrik enerjisi üretim işlemi yapmak amacı ile doğalgaz yakıtının motor silindirlerinde yanmasıyla mekanik enerji oluşması, bu mekanik dönme hareketinden alternatörlerde faydalanmak suretiyle elektrik enerjisi üretim işlemidir.

Bu işlem sırasında yanma sonucu 400-600°C sıcaklık aralığında egzoz gazı ısıyı açığa çıkar. Bu ısının yanında motor ceket suyunun soğutulması sırasında da 80-90°C aralığında sıcak proses suyu elde edilir. Elde edilen bu atık ısılar ısı eşanjörlerinden geçirilerek sıcak su elde edilir.

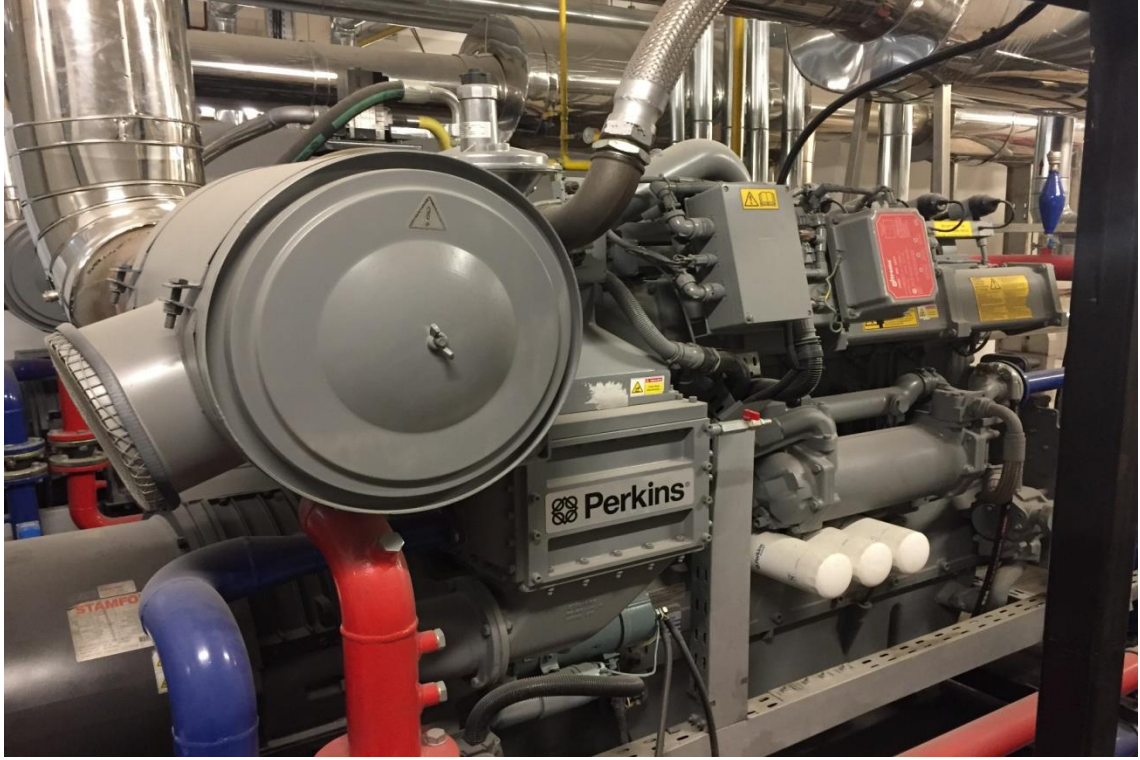
Çalışmaya konu hastaneden elektriksel üretim kapasitesi 425kW_e 'lik 8 silindirli Perkins marka 4008-30TRS1 model doğalgaz motoru kullanılmıştır.

Çizelge 3.2 Perkins 4008-30TRS1 doğalgaz motorunun teknik özellikleri (Perkins Engine, 2017).

TEKNİK VERİLER	BİRİM	MİKTAR
Brüt Motor Gücü	kW	477
Yanma Havası Akış Hızı	m ³ /dk	34
Egzoz Gazı Sıcaklığı	°C	490
Egzoz Gaz Akışı	m ³ /dk	90
Elektriksel Verimlilik	%	37,9
Soğutma sıvısı debisi	lt/sn	8,3
Nominal Aşırı Hava Faktörü (Lambda)	λ	1,71
Jeneratör Brüt Elektrik Üretimi	kW	425
Kullanılabilir Toplam Isı	kW	539
Motor Soğutma Yağı Tüketimi	gr/kWh	0,14
Motor Gaz Tüketimi (Tam yükte)	Sm ³ /h	116,1

Kullanılan motorda üretilen enerjinin %39,9'u mekanik güce, %31,3'ü egzoz ısısına, % 22,9'umotor gövde ve ceket ısısına şeklindeki faydalı güç ve ısıya dönüşür.

Kullanılmayan kayıp olarak değerlendirilen %5,9'lük enerji de radyasyon enerjisine dönüşür.



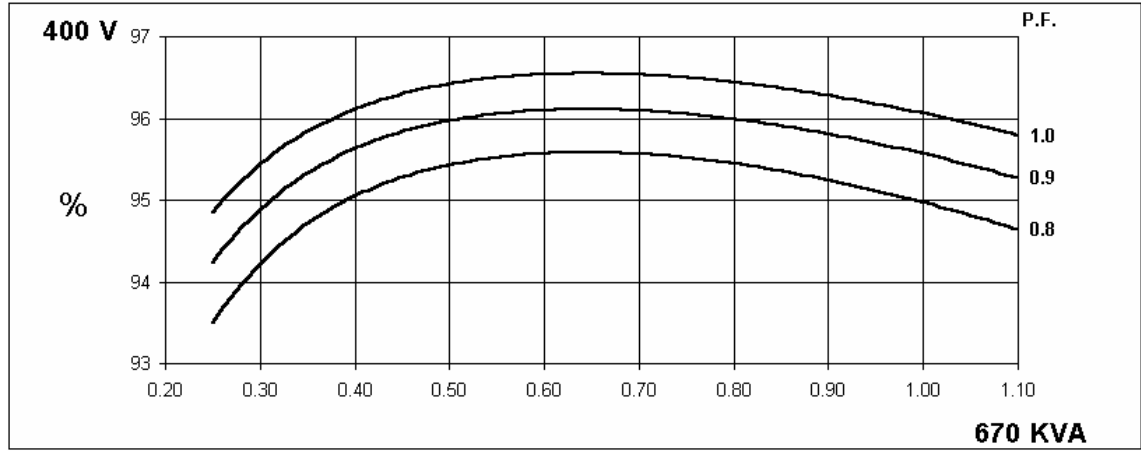
Şekil 3.9 Hastanede kullanılan doğalgaz motoru

3.5.2. Alternatör

Doğalgaz motoru şaftına akuple edilmiş olan ve şafttaki mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elektromekanik ekipmandır. Rotor uyartım sargılarının stator sabit sargıları arasında dönmesi ile meydana gelen değişken elektromanyetik kuvvet nedeni ile stator sargılarında alternatif akım üretilmesi prensibine göre çalışırlar. Gaz jeneratörlerinde yüksek verimli alternatörler kullanılır. Ayrıca jeneratörler için seçilen alternatörün koruma sınıfı ve sargı sıcaklığı dayanımı, jeneratörün çalışacağı yerin koşullarına göre uygun seçilmelidir. Alternatör gücü doğalgaz motorunun yüksüz ve tam yükte ürettiği mekanik güce göre seçilir. Burada alternatörün verimlilik eğrisi önemlidir.

Teze konu hastanede doğalgaz motoruna bağlı set şeklinde tasarlanmış sistemde Stamford marka, HCKI544F1 model, 400kVA, 600 kW çıkış gücünde alternatör

kullanılmıştır. Şekil 3.10'da alternatörün verimlilik eğrisi verilmiştir (Stamford Power Generation, 2017).



Şekil 3.10 Alternatörün 3 faz verimlilik eğrisi.

3.5.3. Eşanjörler (Isı Aktarıcılar)

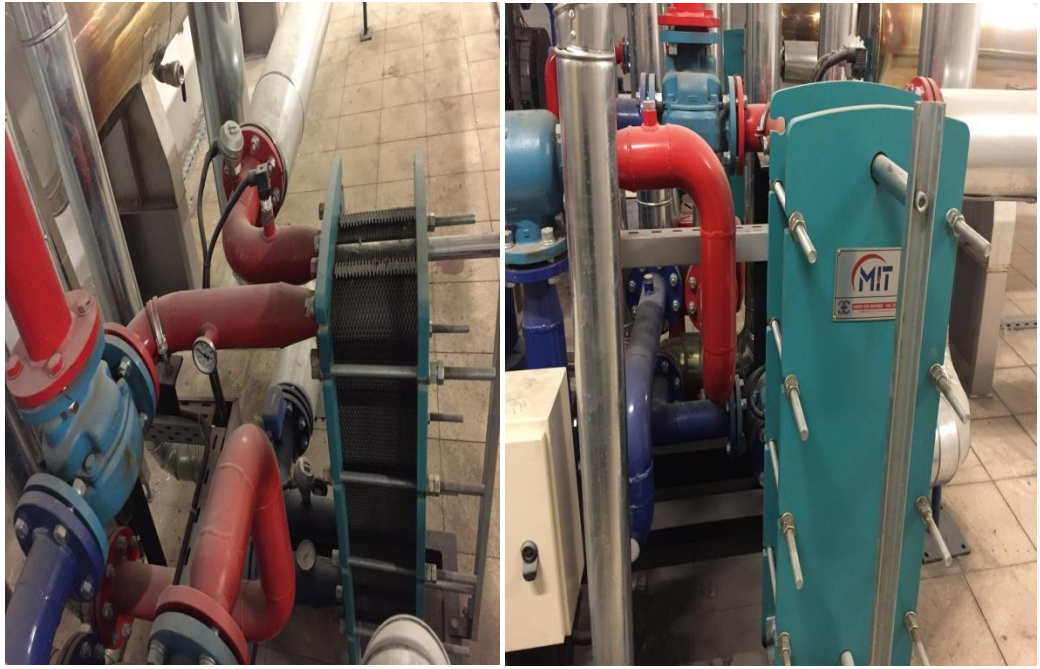
Gaz motorlarının kojenerasyon sisteminde kullanılması ile birlikte sistemde ortaya çıkan ısı enerjisi üç unsurdan elde edilir. Bunlar; gaz motorunun yağlama devresi, egzoz gazları ve silindir bloğu (ceket suyu) soğutma devresidir. Gaz motorlarında atık ısının yaklaşık % 70'i sıcak suya, % 30'u ise buhar fazına geçer (Pravadalıoğlu vd. 2011).

Gaz motorunun nominal çalışma sıcaklık şartlarının sağlanabilmesi için kapalı soğutma devreleri tasarlanmıştır. Bu devreler silindir-gömlek (ceket) , karterdeki yağın soğutulması ve intercooler soğutması şeklinde 3 ayrı bölümden oluşur. Bu devrelerde bulunan soğutma suyunun sıcaklığının istenilen seviyelerde tutulabilmesi için üzerindeki fazla ısı plakalı eşanjörler ile merkezi ısıtma sistemine ve yazın absorpsiyonlu soğutucuya aktarılır. Bu sisteme egzoz eşanjöründen elde edilen ısı eklenerek sistemden üreyen tüm faydalı ısı kullanılmış olur.

Sistemde oluşan ısının hedef akışkana aktarılmasını sağlayan ekipmanlar eşanjörlerdir. Eşanjörlerde, birbirine karışmadan dolaşan, ancak birbirine ısı transferi yapabilen iki ayrı akışkan devresi mevcuttur. İncelemeye konu hastanedeki santralde egzoz gazlarının ısını aktarmak için boru tip egzoz eşanjörü ile diğer motor soğutma devrelerindeki ısı için de plakalı eşanjörler tercih edilmiştir. Hastanede kullanılan trijenerasyon santralinde intercooler soğutma devresinden yararlı ısı elde edilmemiştir.

3.5.4. Plakalı Tip Eşanjörler

İki devresi vardır. Bu devreler; ısıtan veya soğutulan akışkanın dolaştığı primer devre, ısıtılan veya soğutacak akışkanın dolaştığı sekonder devre olarak tanımlanmıştır. Isı transferi plakalar üzerinden gerçekleşir. 90 °C ve daha düşük sıcaklıktaki suyun primer devrede kullanıldığı eşanjörler plakalı veya lehimli tip olmalıdır. Trijeneratör santralinde 2 adet 189 kW kullanılmıştır.



Şekil 3.11 Doğalgaz motoru ceket suyu soğutma devresindeki plakalı eşanjör.

3.5.5. Plakalı Eşanjörün Kapasite Hesabı

Bu çalışmada konu edilen trijeneratör santralinde sistemin ürettiği ısı enerjisi yaralı ısıya dönüştürülürken; ilk önce motor ceket suyu ısısı plakalı eşanjör ile %30 Etilen Glikol Su karışımına aktarılacak şekilde tasarlanmıştır. Devamında eşanjörden bir kademe ısınarak çıkan su egzoz eşanjörüne gönderilmiştir.

Sistemde kullanılan Perkins marka doğalgaz motorunun katalog bilgilerinden elde edilen motor ceket suyu sıcaklık değerleri ve su debisi verilerine bağlı kalarak plakalı eşanjör tasarımı yapılmıştır. Termodinamiğin Birinci Yasası ısı transferi formülünü kullanırsak;

$$Q = m_1 \times C_1 \times \Delta T \dots \dots \dots (3.1)$$

Sistem ısı olarak dengede olacağından formül;

$$Q = m_1 \times C_1 \times \Delta T_1 = m_2 \times C_2 \times \Delta T_2 \dots \dots \dots (3.2)$$

formülde kullanılacak veriler motor kataloğu, ve literatür bilgileri,

$$T_1: 89,8^\circ\text{C} \dots \dots \dots (3.3)$$

$$T_2: 85^\circ\text{C} \dots \dots \dots (3.4)$$

$$m_1: 36 \text{ m}^3/\text{h} \dots \dots \dots (3.5)$$

$$C_1: 0,924 \text{ kcal}/(\text{kg}/^\circ\text{C}) \text{ (%30 Etilen Glikollü Suyun Özgül Isısı)} \dots \dots \dots (3.6)$$

$$C_2: 1 \text{ kcal}/(\text{kg}/^\circ\text{C}) \dots \dots \dots (3.7)$$

$$T_1 = 86,6^\circ\text{C} \dots \dots \dots (3.8)$$

$$T_2 = 80^\circ\text{C} \dots \dots \dots (3.9)$$

şeklindedir. Tasarımda %30 etilen glikolün yoğunluğu $1013 \text{ kg}/\text{m}^3$, suyun yoğunluğu $969,3 \text{ kg}/\text{m}^3$ (su sıcaklığı yaklaşık 85°C) kabul edilmiştir. Veriler formülde yerine konduğunda plakalı eşanjörün gücü;

$$Q = m_1 \times C_1 \times \Delta T = (36 \text{ m}^3/\text{h} \times 1013 \text{ kg}/\text{m}^3) \times 0,924 \text{ kcal}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (89,8^\circ\text{C} - 85^\circ\text{C}) \dots \dots \dots (3.10)$$

$$Q = 161.742 \text{ kcal} = 188,1 \text{ kW} \dots \dots \dots (3.11)$$

hesaplanır. Eşanjörün sekonder tarafının sıvı debisi ise;

$$Q = m_1 \times C_1 \times \Delta T_1 = m_2 \times C_2 \times \Delta T_2 \dots \dots \dots (3.12)$$

$$Q= 161.742 \text{ kcal} = (\text{Debi} \times 969,3\text{kg/m}^3)1\text{kcal/kg.}^\circ\text{C} \times (86,6^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C})\dots\dots\dots(3.13)$$

$$m_2= 25,28 \text{ m}^3 \dots\dots\dots(3.14)$$

olarak bulunur.

Bu tespitlere göre teze konu santralde ceket suyunun ısısını transfer edecek plakalı eşanjör 189 kW gücünde seçilmiştir. Eşanjörün sekonder tarafındaki proses sıvısının debisi 25,45 m³ olarak seçilmiştir. Bu tespitler 3.5.12 Trijeneratör Santralinin P&ID diyagramı bölümünde ve *Ek A*'da gösterilmiştir.

3.5.6. Boru Tip Eşanjörler (Egzoz Eşanjörü)

Borulu ısı eşanjörleri ısı transfer yüzeyi borulardan oluşur. Bu eşanjörler, doğalgaz, LPG, dizel, biodizel, biogaz gibi yakıtlarla çalışan motor ve jeneratörlerin egzoz gazlarındaki atık ısıyı suya alarak sıcak su ve endüstriyel işlemlerde kullanılan proses suyu üretir. Uygun kapasitedeki eşanjör tasarımı sistemde kullanılan yakıt tipi, egzozdan atılan gazın kütleli debisi, egzoz gazının eşanjöre giriş sıcaklığı ile proses suyunun eşanjöregiriş sıcaklığı ve debisi bilgilerine göre şekillenmektedir. Şekil 3.12'de görüldüğü üzere proses suyu boru içindeki ısıtıcı akışkan veya gaz tarafından ısıtılır.



Şekil 3.12 Boru Tip Egzoz Eşanjörünün iç yapısı.



Şekil 3.13 Hastanede tesis edilen 275 kW gücündeki egzoz eşanjörü.

Trijenerasyon santralinde 2 adet doğalgaz motoru egzoz çıkışına ayrı ayrı 2 egzoz eşanjörü bağlanmıştır.

3.5.7. Egzoz Eşanjörünün Kapasite Hesabı

Doğalgaz motorlarının ürettiği ısı enerjisinin bacadan atılmadan önce faydalı ısıya dönüştürülmesi için kullanılacak olan egzoz eşanjörünün kapasitesinin belirlenebilmesi için sistemde kullanılan doğalgaz motorlarının katalog bilgileri kullanılmaktadır. Tablo3.2' de sistemde kullanılan Perkins marka doğalgaz motorunun katalog bilgileri verilmiştir. Burada egzoz gazının motordan çıkış sıcaklığı ile bacadan atılış sıcaklığı arasında ortaya çıkan ısıl kapasiteyle, eşanjöre giriş- çıkış yapacak suyun sıcaklıklarını dengeleyebilecek eşanjörün tasarımı Termodinamiğin Birinci Yasası ısı transferi formülüne göre yapılmaktadır.

$$Q = m_1 \times C_1 \times \Delta T \dots \dots \dots (3.15)$$

Burada sistem ısıl olarak dengede olacağından formül;

$$Q = m_1 \times C_1 \times \Delta T_1 = m_2 \times C_2 \times \Delta T_2 \dots \dots \dots (3.16)$$

olur. Literatür, işletme tasarımı ve katalog bilgilerine göre motorun bazı verileri;

$$T_1: 490 \text{ }^\circ\text{C} \dots\dots\dots(3.17)$$

$$T_2: 140 \text{ }^\circ\text{C} \dots\dots\dots(3.18)$$

$$m_1: 90 \text{ m}^3/\text{dk} \text{ (yaklaşık } 5.409 \text{ m}^3/\text{h}) \dots\dots\dots(3.19)$$

$$C_2: 0,936 \text{ kcal}/(\text{kg}/^\circ\text{C}) \text{ (%30 Etilen Glikol +Suyun Özgül Isısı)} \dots\dots\dots(3.20)$$

$$T_1=86,6^\circ\text{C} \dots\dots\dots(3.21)$$

$$T_2=95^\circ\text{C} \dots\dots\dots(3.22)$$

şeklindedir. Burada egzoz gazı özgül ısı değerini (C_1) hesaplamak için Çizelge 3.3’de verilen değerlerden faydalanılmıştır (Mobley, 2001). Doğalgazın özgül ısı değeri sıcaklığa göre değiştiğinden tablodaki verilere interpolasyon uygulanarak gerekli olan (C_1) bulunur.

Çizelge 3.3 Doğalgaza ait farklı sıcaklık değerlerindeki özgül ısı değerleri (Mobley, 2001)

SICAKLIK ($^\circ\text{C}$)	ÖZGÜL ISI ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$)	VİSKOZİTE ($\text{kg}/\text{ms}\times 10^6$)	İLETKENLİK ($\text{W}/\text{mK}\times 10^6$)	ÖZGÜL AĞIRLIK (m^3/kg)
100	1098	20,01	27,27	1,10
200	1133	23,97	34,45	1,395
300	1166	27,55	41,34	1,69
400	1198	30,83	47,94	1,985
500	1227	33,89	54,25	2,28
600	1255	36,74	60,29	2,575
700	1281	39,44	66,09	2,87

800	1305	41,99	71,61	3,164
900	1328	44,43	76,86	3,459
1000	1348	46,75	81,86	3,754
1100	1367	48,98	81,60	4,049
1200	1384	51,13	91,08	4,344
1300	1400	53,20	95,31	4,639
1400	1413	55,20	99,25	4,934

Egzoz gazının 490 °C'deki özgül ısısını bulmak için interpolasyon yapılırsa;

$$\frac{400-500}{490-500} = \frac{1198-1227}{x-1227} \dots\dots\dots(3.23)$$

$$x = 1224,4 \text{ J/kg.K} \dots\dots\dots(3.24)$$

$$1 \text{ j/kg.K} = 0,000238845896627 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \dots\dots\dots(3.25)$$

$$x = 0,292 \text{ kCal/(kg.}^\circ\text{C)} \dots\dots\dots(3.26)$$

Egzoz gazının 140 °C'deki özgül ısısını bulmak için interpolasyon yapılırsa;

$$\frac{100-200}{140-200} = \frac{1098-1133}{x-1133} \dots\dots\dots(3.27)$$

$$x = 1112 \text{ J/kg.K} \dots\dots\dots(3.28)$$

$$x = 0,0,265 \text{ kCal/(kg.}^\circ\text{C)} \dots\dots\dots(3.29)$$

490 °C ve 140 °C sıcaklık değerlerinde hesaplanan özgül ısı değerlerinin aritmetik ortalaması alınırsa;

$$C_1 = 0,278 \text{ kcal/(kg.}^\circ\text{C)} \dots\dots\dots(3.30)$$

490 °C'deki egzoz gazının hava yoğunluğu 0,45 kabul edilirse (kütlesel debi zamanla değişmeyecektir);

$$m_1: 5.409 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,45 = 2434 \text{ kg/h} \dots \dots \dots (3.31)$$

bulunur. Tijenatör sisteminin ısı üreticisi motorunun hesaplanan değerleri formülde yerine konulursa egzoz eşanjörünün gücü;

$$Q = m_1 \times C_1 \times \Delta T = 2434 \text{ kg/h} \times 0,278 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (490^\circ\text{C} - 140^\circ\text{C}) \dots \dots \dots (3.32)$$

$$Q = 236.833 \text{ kcal} = 275,4 \text{ kW} \dots \dots \dots (3.33)$$

elde edilir. Bu değer egzoz eşanjörünün ısı gücüdür. Formül 3.16'daki eşitlikten sekonder taraftaki etilen glikol su karışımı sıvının debisi;

$$Q = m_1 \times C_1 \times \Delta T_1 = m_2 \times C_2 \times \Delta T_2 \dots \dots \dots (3.34)$$

$$Q = 236.833 \text{ kcal} = m_2 \times 0,936 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (95,6^\circ\text{C} - 86,11^\circ\text{C}) \dots \dots \dots (3.35)$$

$$m_2 = 28,46 \text{ m}^3 \dots \dots \dots (3.36)$$

olarak tespit edilir. Sistemde egzoz eşanjörünün proses girişi yukarıda değinilen plakalı eşanjörün proses çıkışı olarak tasarlanmıştır. Bu nedenle burada hesaplanan debi; yukarıda plakalı eşanjör hesaplamasında ortaya çıkan debi ile yaklaşık olarak örtüşmektedir.

Bu tespitlere göre teze konu santralde egzoz eşanjörü 275 kW gücünde, 25,45 m³ akışkan debisinde ve 23 m² soğutma yüzeyli olarak seçilmiştir. Bu tespitlerden elde edilen veriler 3.5.12 Tijenatör Santralinin P&ID diyagramı bölümünde ve *Ek A*'da gösterilmiştir.

3.5.8. Absorbsiyonlu Soğutucu

Absorbsiyonlu soğutucu kojenerasyon sistemlerine ilave edilerek sistemden yaz döneminde ısı verim alınmasını sağlayan ekipmandır. Sistem sadece kojeneratör olarak kullanıldığında; kış dönemi hastane binasını ısıtan kazanlara ısınıyı aktaran doğalgaz motorları yaz dönemi çalışmasında ürettiği ısınıyı hastane içinde kullanamayacak ve sistem verimi düşeceğinden santral durdurulmak durumunda kalacaktır. Bu durum sistemin geri ödeme süresinin uzamasına neden olmaktadır. Sistem Absorbsiyonlu soğutucu sayesinde yaz döneminde de çalıştırılabilir duruma gelmektedir.

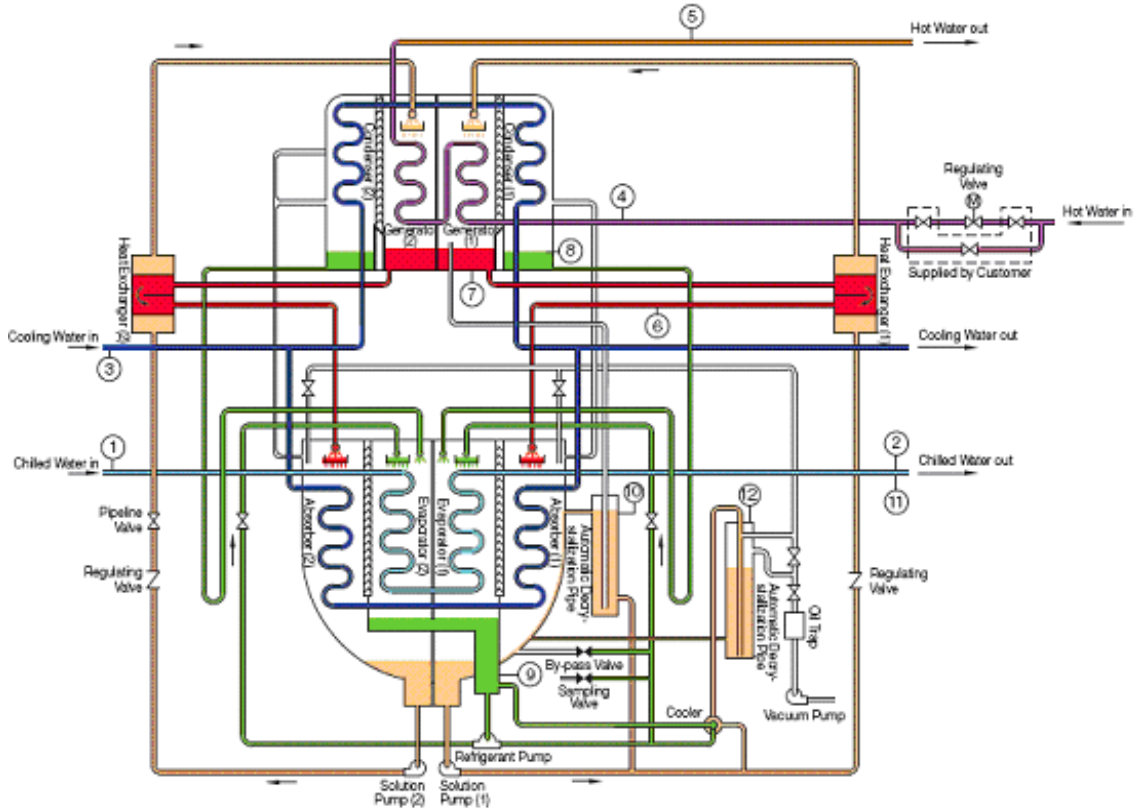
Absorbsiyonlu soğutucu hastaneler gibi mevsimsel olarak büyük miktarda soğutma ihtiyacı duyan binalarda kojenerasyon tesisi ile birlikte kullanılır ve üretilen termal enerjinin en yüksek verimle kullanımını sağlar, elektrik üretimini dengeler ve CO₂ üretimini azaltır. Trijenerasyon sistemlerinde atık ısınıyı kullanarak elde edilen sıcak su (90 - 95°C) ile soğutma sistemlerinde soğutma elde etmek mümkündür. Yapılan araştırmalar iki aşamalı absorbsiyonlu soğutucunun ticari açıdan en elverişli sistemler olduklarını ortaya koymuştur (Srihirin vd. 2001).

Hastanede H₂ Tipi sıcak suyla çalışan iki aşamalı Lityum Bromür absorbsiyon soğutucu kullanılmıştır. H₂ tipi Sıcak suyla çalışan iki aşamalı lityum bromür absorbsiyon soğutucu ısı kaynağı olarak sıcak su, soğutucu olarak su, soğurucu olarak lityum bromür kullanan bir ekipmandır, iklimlendirme ve teknoloji prosesi amacıyla vakum koşulları altında soğutulmuş su üretir (SHUNGLIANG ECO-ENERGY ve SYSTEMS, 2017).

Sıcak suyla çalışan iki aşamalı soğutucu; iki grup jeneratör, kondensatör, evaporatör, soğurucu, ısı eşanjörü, soğutma pompası, solüsyon pompası, kristalleşme önleyici borular ve valfler ile bir grup kontrol sistemi ve otomatik arıtma ünitelerinden oluşur.

Şekil 3. 14'te absorbsiyonlu soğutucu içyapısı ve çalışma prensibi görülmektedir. Soğutulmuş su ve soğutma suyu her ikisi arasında ısı transferini sağlamak için zıt yönlerde akarlar. Birinci aşamada, zayıf Lityum-Bromür + Su solüsyonu zenginleştirilir. Bu amaçla doğalgaz motoru egzoz eşanjöründen gelen 95 °C sıcaklığındaki su ile zayıf karışım jeneratörde karşılaştırılır. Bu karşılaşma sonucunda zayıf karışım içerisindeki suyun bir kısmı buharlaşır. Buharlar kondansatöre geçer ve buradaki soğutma kulesinden gelen 28 °C – 32 °C sıcaklığındaki su sayesinde yoğuşarak sıvı soğutucu

akışkana (Şekil 3.14'te yeşil renkli sıvı) dönüşür. Elde edilen sıvı soğutucu; evaporatörde içinden işletme için gerekli soğutulacak suyun (chilled water) geçtiği borulara püskürtülür. Vakum altına alındığı için bu haznede oluşturulan alçak basınç 0.9kPa (6.75 mmHg) seviyelerindedir ve bu basınç şartlarında, su 3 °C– 4 °C gibi sıcaklıklarda buharlaşmaya başlar. Buharlaşmaya çalışan soğutucu akışkanın ortamdan ısı çekmesi etkisi ile soğutma bataryası içinden geçmekte olan soğutma suyunun (chilled water) ısısı alınarak soğuması sağlanmış olur. Bu şekilde işletme iklimlendirme sistemi dönüş suyunun 12 °C olan sıcaklığı 7 °C 'ye düşürülmesi sağlanmış olur.

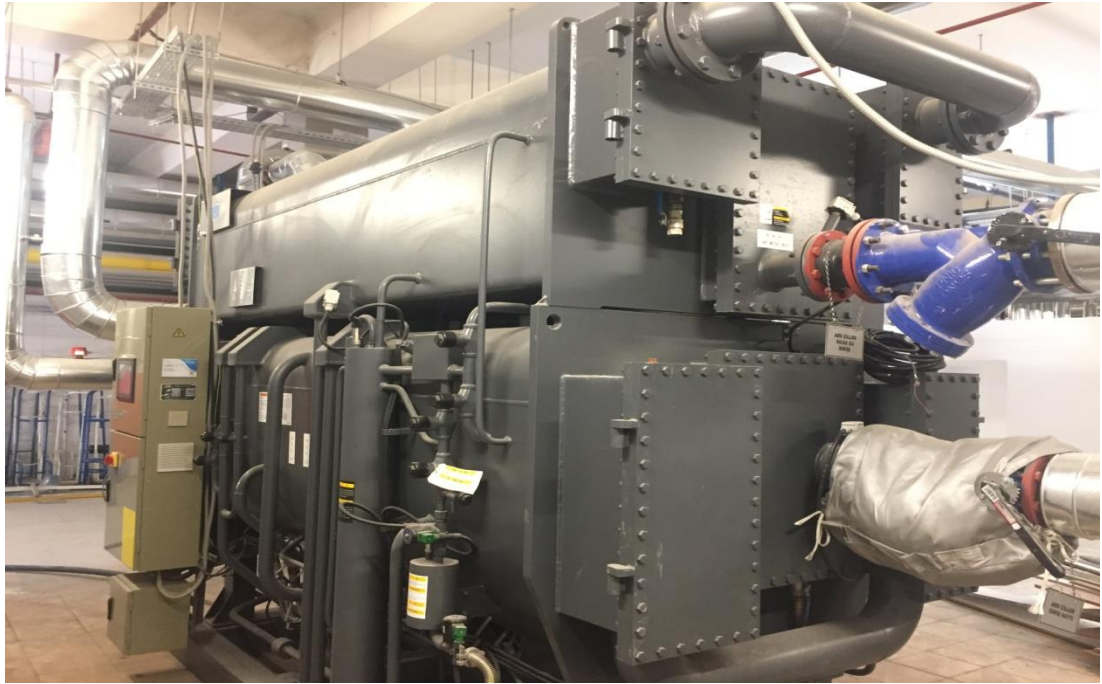


Şekil 3.14 Absorbsiyonlu soğutucu çalışma prensibi şeması. (SHUNGLIANG ECO-ENERGY ve SYSTEMS, 2017)

Hastanedeki trijenerasyon sisteminde kullanılan 675 kW gücündeki H2 Tipi sıcak suyla çalışan iki aşamalı Lityum Bromür absorpsiyon soğutucu Şekil 3.15 ve 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Hastaneden kullanılan 675 kW gücündeki Absorbsiyonlu soğutucu



Şekil 3.16 Hastaneden kullanılan 675 kW gücündeki Absorbsiyonlu soğutucu

Çalışmaya konu hastanede Shungliang marka HSB model 675 kW soğutma kapasiteli absorbsiyonlu soğutucu teknik özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

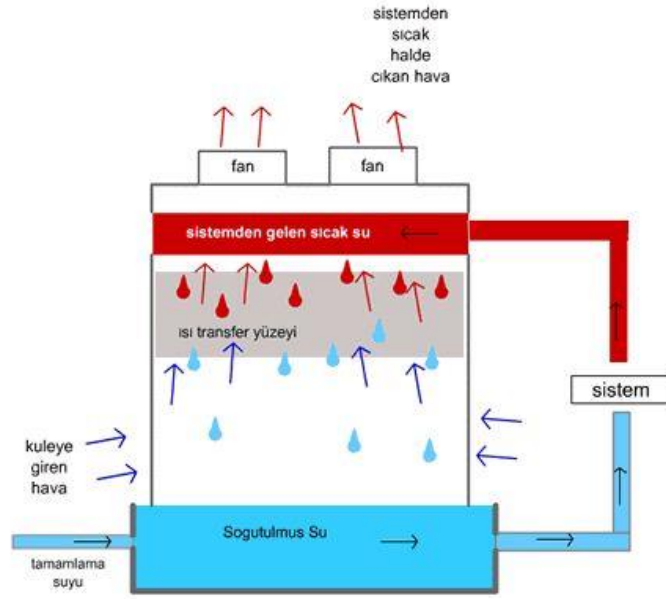
Çizelge 3.4 Shungliang marka HSB model Absorbsiyonlu soğutucu teknik özellikleri
(SHUNGLIANG ECO-ENERGY ve SYSTEMS, 2017)

TEKNİK VERİLER	BİRİM	MİKTAR
Soğutma Kapasitesi	kW	675
Soğutulmuş Su Çıkış Sıcaklığı	°C	7
Performans Katsayısı (COP)		0,7
Soğutulmuş Su Akış Hızı	m ³ /h	116
Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı	°C	30
Soğutma Suyu Akış Hızı	m ³ /h	280
Sıcak Su Giriş/Çıkış Sıcaklık Değerleri	°C	95/80
Sıcak Su Akış Hızı	m ³ /h	48,9
Elektriksel Yüğü	kW	7,25

3.5.9. Soğutma Kulesi

Absorbsiyonlu soğutucunun çalışmasının en önemli ekipmanları kondansatör ve evaporatörde işlem gören fakir ve zengin Lityum Bromür/Su karışımlarının buharlaşma/yoğuşma dönüşümleri sırasında ortaya çıkan fazla ısı soğutma suyu vasıtası ile dışarı atılır. Soğutma suyunun üzerine aldığı fazla ısının atmosfere atılması için geliştirilmiş ekipmanlar soğutma kuleleridir. Yoğuşturucudan gelen ılık su soğutma kulelerinde soğutulur ve sisteme geri döner. Bu işlemde atık ısı atmosfere verilir.

Hava kuleye tepe fanları ile aşağıdan çekilir ve yukarıdan çıkar. Yoğuşturucudan gelen ılık su kulenin tepesine pompalanır ve içerisinden hava akımı geçen dolgu malzemesi üzerine ince film tabakası oluşturacak şekilde püskürtülür. Dolgu malzemeleri sayesinde su akışı ile hava akışı arasında en yüksek ısı transferinin sağlanması amaçlanır (Wurtz, 2000). Su damlaları yer çekiminin etkisi ile yere düşerken %1 kadarı buharlaşır ve bu eksilen miktar sisteme sürekli eklenir. Soğutulan su kulenin altında toplanır. Şekil 3.17’de soğutma kulesi içyapısı görülmektedir.



Şekil 3.17 Soğutma Kulesi iç yapısı.

Soğutma kulesi tasarımına; soğutulacak suyun debisi, soğutulacak suyun giriş sıcaklığı, soğutulacak suyun çıkış sıcaklığı, tesisin kurulacağı yerin yaş termometre sıcaklığı gibi verilerin tespit edilmesi gerekmektedir.

Bu verilere dayanarak yapılan tespitlere göre hastanede Yolyapı marka DSKC-9CB model 1.610.000 kCal/h (1.872 kW) kapasiteli, tel kafes (bigudi) tipi dolgu elemanlı çift kuleli su kulesi seçilmiştir. Çizelge 3.5'te hastanede kullanılan su kulesinin teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.5 Yolyapı DSKC-9CB Model 1.872 kW kapasiteli su kulesi teknik özellikleri

TEKNİK VERİLER	BİRİM	MİKTAR
Kapasitesi	kCal/h	1.610.000
Kapasite Debisi	m ³ /h	322
Giriş Suyu Sıcaklığı	°C	35
Çıkış Suyu Sıcaklığı	°C	30
Yaş Termometre Sıcaklığı (Edirne)	°C	25
Buharlaşma Kaybı	%	0,8
Elektriksel Yüğü	kW	19,8

Söz konusu soğutma kulesi su soğutmalı kondanserli bir su soğutma sisteminde kondanser soğutması için kullanılacak ise burada su soğutma kulesi kapasitesi,

$$Q_{kule} = F \cdot (Q_E + 860 \cdot N_k) \dots \dots \dots (3.37)$$

bağıntısı ile elde edilebilir (Özel ve Çimen, 2003). Eğer su soğutma kulesine endüstriyel bir sistemde proses suyu soğutması için ihtiyaç duyuluyorsa kapasite hesabının yapılabilmesi için öncelikle prosesteki soğutma suyunun soğutma ihtiyacının belirlenmesi gerekir. Bunun için proseste kullanılan suyun debisinin, sisteme giriş sıcaklığının ve sistemden çıkış sıcaklığının bilinmesi yeterli olacaktır. Bu veriler doğrultusunda kule kapasitesi;

$$Q_{kule} = F \cdot V \cdot (T_{sç} - T_{sg}) \dots \dots \dots (3.38)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Bu bağıntılardan elde edilecek Q_{kule} kule soğutma kapasitesini aşağıda belirtilen bağıntıda yerine koyarak kulenin çalışması için gerekli su debisi kapasitesi belirlenebilmektedir.

$$V = Q_{kule} / (T \cdot 1000) \dots \dots \dots (3.39)$$

Çalışmaya konu hastanede kullanılan soğutma kulesi Şekil 3.18’de görülmektedir.



Şekil 3.18 Hastanede kullanılan 1.610.000 kCal/h (1.872 kW) kapasiteli, tel kafes (bigudi) tipi dolgu elemanlı çift kuleli su kulesi.

3.5.10. Elektrik Kumanda ve Güç/Transfer Panoları Ekipmanları

Trijeneratör santralinde bulunan önceki başlıklarda detayları ile belirtilen ekipmanlar günün 24 saati ve tüm yıl boyunca arıza ve bakım duruşları dışında neredeyse durmaksızın çalışacaklardır. Bu nedenle yüksek sıcaklık ve basınç altında çalışan doğalgaz motoru, egzoz ve plakalı eşanjörler ile elektrik dağıtım şebekesi ile paralel çalışacak olan alternatör çalışma verilerinin sürekli şekilde takip ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu kesintisiz kontrol ve takip, sisteme bağlı tüm ısı üretim ve transfer sistemlerinin sıcaklık ve basınç değerlerinin de eklenmesi gerekmektedir.

Bu amaçla trijeneratör santrali sisteminde kumanda ve güç transfer panoları geliştirilmiştir. Şekil 3.19'da hastanedeki trijenerasyon santrali için dizayn edilen kumanda panoları görülmektedir.



Şekil 3.19 Trijeneratör santrali kumanda panoları.

Bu kumanda panosu motor ve alternatör üzerinde monte edilmiş sensör ve algılayıcılardan gelen dataların set edildiği ve değerlendirildiği ComAp marka InteliSys-NTC-Basebox ve InteliMains-NTC-Basebox model kontrol kartları ve dijital

ekrandan oluşmaktadır. Her motor için ayrı bir ComAp kontrol ünitesi ve elektrik dağıtım şebekesi ile çalışma modu için ayrı bir Comap kontrol ünitesi olmak üzere 3 adet kontrol kartı kullanılmaktadır. ComAp'a ait Genconfig ve InteliMonitor yazılımları ile tüm kontrol ünitelerinin programlama ve set değeri ayarlaması yapılabilmektedir.

Bu ünite ile jeneratör akım, gerilim, gaz hattı, şalter açma-kapama, AVR kartı kontrolü, doğalgaz motoru ve bağlı eşanjörlerden alınan sıcaklık, basınç bilgileri, motoryağı, silindir sıcaklıkları, actuator kontrolü, Lambda ve emisyon oran kontrolü, marş sistemi, ateşleme, vuruntu vs. gibi tüm kontrol edilmesi gereken sistemler bu kontrol ünitesinde toplanır, değerlendirilir ve ekrana yansıtılır. Şekil 3.20'de ComAp Kontrol Kartı gösterilmektedir (ComAp Control, 2017).



Şekil 3.20 ComAp marka IntelliSys-NTC-Basebox model kontrol kartı

ComAp kontrol kartından elde edilen tüm veriler Comap InteliVision8 ekranları kullanılmıştır. Bu ekranlar kendi kontrol cihazlarından aldıkları verileri ekrana yansıtarak sistem ile ilgili tüm anlık durumları ve alarmları göstermekte ve gerekirse kayıt altına almaktadır. Şekil 3.21'de hastanede kullanılan dijital kontrol ekranı görülmektedir.



Şekil 3.21 Comap marka IntelliVision8 model dijital kontrol ekranı.

Alternatörden üretilen 380/400 V gerilimindeki elektrik akımının işletmeye (hastane içine) gönderileceği bir güç transfer panosu kullanılmıştır. Bu transfer panosunda her bir alternatör için 2 adet 800 A Termik Manyetik Şalter ile bunların birleştiği ve tüketim tarafına bağlanan 1 adet 1600 A Termik Manyetik Şalter bulunmaktadır.

3.5.11. Trijeneratörlerin Elektrik Sistemine Bağlanma Tek Hat Şeması

Elektrik sistemine bağlanması yönünden Trijenerasyon santrallerinin iki tür çalışma modu söz konusudur (Özkaya, 1988; Blackburn, 1998). Bunlar; elektrik dağıtım şebekesi ile Paralel (senkron) ve Ada Modu (island) çalışmadır. Tez çalışmasına konu hastanenin 6.400 kVA olan kurulu gücü 4 adet 31,5/0,4 kV 1.600 kVA Kuru Tip Güç Trafosu ile sağlanmıştır. Sistem çalışma modu olarak şebeke ile paralel çalışma modu seçilmiştir. Trijeneratör alternatörlerinden üretilen elektrik enerjisi alçak gerilim seviyesinden (0,4 kV) termik manyetik şalterler üzerinden işletmenin en yüklü alçak gerilim barasına bağlanmıştır. *Ek B'*'de sistemin tekhat şeması gösterilmiştir.

Sistem işletme senaryosu dağıtım şebekesi ile Trijeneratörler sürekli paralel çalışacak, dağıtım şebekesi elektrik kesintilerinde trijeneratörler de devre dışı kalacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tip kesintilerde işletme dizel jeneratörler ile beslenecektir.

3.5.12. Trijeneratör Santrali P&ID ve PFD Şeması

Üretim sistemleri gereği; üretimin başlangıcı ve sonuçlandırılması aşamalarında çok büyük miktarda çeşitli verilerin birleştirilmesini, izlenmesi ve kontrolünü gerektiren kompleks kimyasal tesislerin tasarımı PFD (Process Flow Diagrams/Proses Akış Diyagramları) ve P&ID (Piping and Instrumentations Diagrams/Borulama ve Ekipmanları Diyagramları) sayesinde yapılabilmektedir (Baloochy ve Bozorgmehry, 2010).

Tez çalışmasına konu Trijeneratör Santralinin P&ID diyagramı *Ek A*'da gösterilmiştir. Diyagramda sistemden üretilen ısının tüketici tarafa aktarımı detaylı olarak tasarlanmıştır. Sistemdeki iki ayrı doğalgaz jeneratörü ürettikleri ısıyı bir kollektörde birleştirerek hastaneye aktarmaktadır.

Sistemin P&ID Diyagramına göre motor ceketinde meydana gelen 89,8 °C düzeyindeki ısı su ile taşınarak 36 m³/h kapasiteli pompa ile 189 kWh gücündeki plakalı eşanjöre gönderilecektir. Eşanjörde; hastane işletmesinden dönen ve 25,45 m³/h pompa ile basınçlandırılan 80°C'lık dönüş suyunun sıcaklığı 86,6 °C'ye yükseltilecektir. Plakalı eşanjörden 86,6 °C olarak çıkan işletme dönüş suyu 275,65 kWh ısı gücündeki egzoz eşanjörüne girecek ve buradan 95 °C olarak çıkacaktır. Böylece sistemden elde edilen ısı, kış döneminde hastanenin ısınma, yaz döneminde de absorpsiyonlu soğutucu üzerinden soğutma işlemlerinde kullanılmış olacaktır.

BÖLÜM 4

HASTANEDE KURULAN TRİJENERASYON SANTRALİNİN MALİYET VERİMLİLİK ANALİZİ VE TEST ÇALIŞMASI VERİLERİNİN İZLENMESİ

Hastanede kurulan trijenerasyon sisteminin teorik ve matematiksel olarak öngörülen verimliliği ile işletmeye alındıktan sonra pratikte gerçekleşen verimliliğinin karşılaştırması ve sistemin maliyet amortisman süresi hesaplanabilmesi için hastane binasının günlük/aylık elektrik ve doğalgaz tüketim verileri izlenmiştir. Trijenerasyon sistemi kısa süre de olsa kış döneminde test çalışmasına tabi tutulmuş ve bu süreçteki tüketim/üretim verileri ile teorik verimliliği değerlendirilmiştir.

4.1. Trijeneratör Santralinin Birincil Enerji Kaynağı Tasarrufu

Kojeneratör ve Trijeneratör sistemlerinin tasarımında işletme tarafından ihtiyaç duyulan ısı ve elektrik ve/veya mekanik enerjinin aynı yerde eş zamanlı üretimi için kullanılan sistemlerde aranacak asgari verimlilik kriterleri devletler tarafından düzenlenmiştir (Muccillo vd. 2015). Amaç sistemlerin yüksek verimli olarak tasarlanması ve tesis edilmesidir. Yasal düzenleme ile yararlı ısı ve elektrik ve/veya mekanik enerjinin ayrı ayrı üretimine göre birincil enerji kaynağında en az yüzde on ve üzeri tasarruf sağlayan kojenerasyon üniteleri yüksek verimli kojenerasyon olarak tanımlanmıştır (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2014). Teze konu trijeneratör sistemi bu kritere göre değerlendirilmesi için yukarıda belirtilen yasal düzenlemedeki formül;

$$BEKT = (1 - 1/((\eta_h/\eta_{h-ref}) + (\eta_e/\eta_{e-ref-2}))) \times 100 \dots \dots \dots (4.1)$$

kullanılmıştır. Formülde istenen değerler;

$$\eta_h = \frac{\text{Kojeneratörün Kullanılabilir Isı Gücü (kW)}}{\text{Kojeneratör Yakıt Tüketimi (kW)}} \dots\dots\dots(4.2)$$

$$\eta_h = \frac{1078 \text{ kW}}{2238 \text{ kW}} \dots\dots\dots(4.3)$$

$$\eta_h = \% 48,1 \dots\dots\dots(4.4)$$

$$\eta_e = \frac{\text{Kojeneratörün Net Elektrik Üretim Gücü (kW)}}{\text{Kojeneratör Yakıt Tüketimi (kW)}} \dots\dots\dots(4.5)$$

$$\eta_e = \frac{824 \text{ kW}}{2238 \text{ kW}} \dots\dots\dots(4.6)$$

$$\eta_e = \% 36,8 \dots\dots\dots(4.7)$$

$$\eta_{e-ref-2} = \eta_{e-ref} \times (\text{Yerinde Tüketilen Elektrikğin Üretim İçindeki Payı} \times C_y + \text{Şebekeye Verilen Elektrikğin Üretimdeki Payı} \times C_s) \dots\dots\dots(4.8)$$

$$\eta_{e-ref-2} = \%52,5 \times (\%100 \times 0,925) \dots\dots\dots(4.9)$$

$$\eta_{e-ref-2} = \%48,6 \dots\dots\dots(4.10)$$

$$\eta_{h-ref} = \%82 \dots\dots\dots(4.11)$$

$$\eta_{e-ref} = \%52,5 \dots\dots\dots(4.12)$$

olarak tespit edilir. Bu değerler BEKT formülünde yerine konulduğunda;

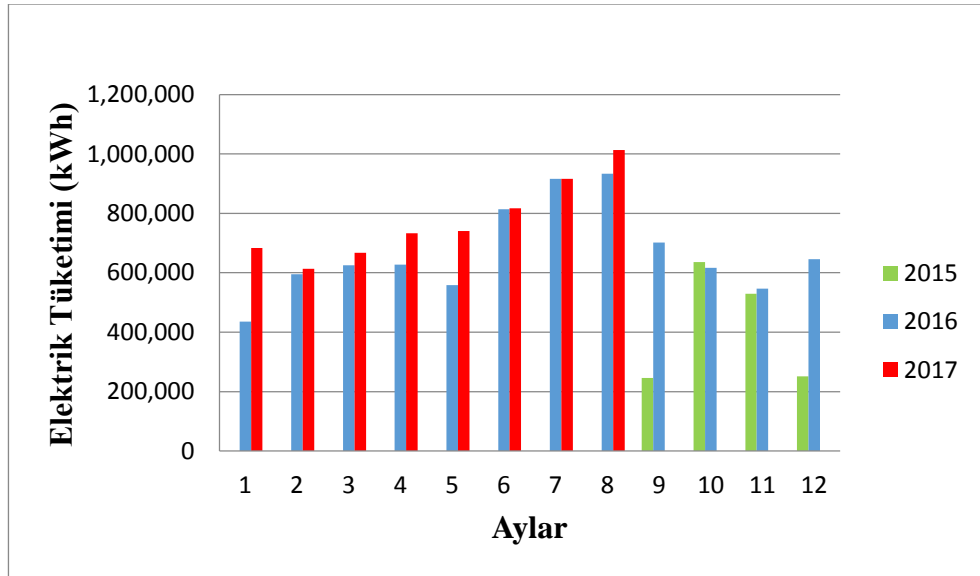
$$BEKT = (1 - 1/((0,481/0,82) + (0,368/0,486))) \times 100 \dots\dots\dots(4.13)$$

$$BEKT = \%25,6 \dots \dots \dots (4.14)$$

bulunur. Bu değer yüksek verimli kojenerasyon sistemleri için gerekli olan en yüzde 10 ve daha üzeri olarak belirlenen yasal sınırın üzerindedir. Bu sınırlamalar ülkeden ülkeye farklılık gösterebilir.

4.2. Hastanenin Elektrik ve Doğalgaz Tüketimleri

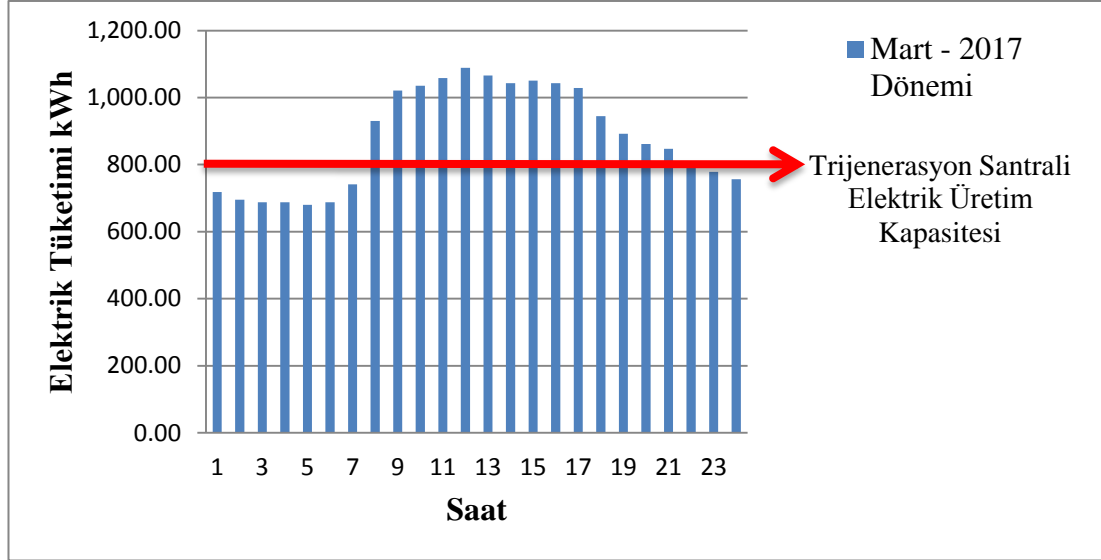
Hastane binasının inşaatı 2015 yılı Ağustos ayında tamamlanmıştır. Tesisin elektrik kurulu gücü 6.400 kVA'dır. Tesisin işletmeye alınması ile birlikte elektrik ve doğalgaz tüketim rejimi ortaya çıkmaya başlamıştır. şekil 4.1'de hastanenin işletmeye alınmasından tezin kaleme alındığı döneme kadar olan aylık elektrik tüketim miktarları verilmiştir. Bu verilere göre tesisin işletmeye alındığı erken dönem 2015/09 – 2015/12 periyodundan sonra giderek belli bir artış göstermekle birlikte aylık 650.000 –950.000 kWh arasında değişen elektrik tükettiği görülmektedir. Hastanenin elektrik tüketimi, yılın yaz dönemi olan 6.-7. ve 8. aylarında elektrikli hava soğutmalı soğutucu gruplarının devreye girmesi nedeni ile artmaktadır



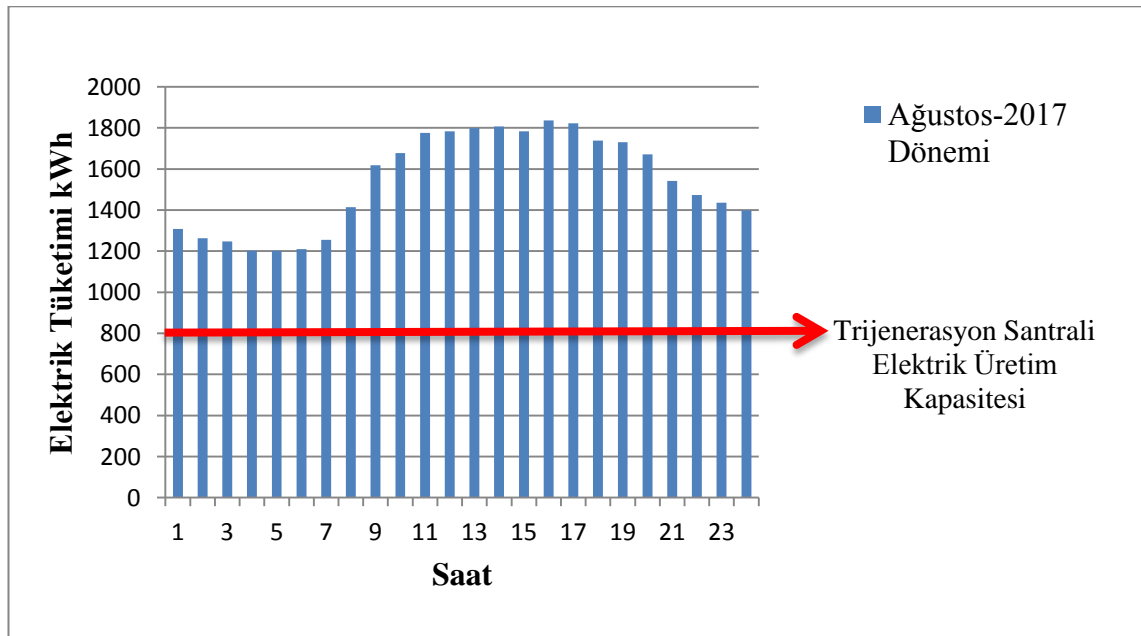
şekil 4.1 Hastanenin yıllara göre aylık elektrik tüketim grafiği

Trijenerasyon santralinin kurulu gücü 2x425 kW_e olduğundan yaz dönemi dışında hastanenin elektrik ihtiyacının anlık puant yükler dışında tamamına yakını tek başına karşılayabileceği görülmektedir. Yaz dönemlerinde ortaya çıkan fazla talep elektrik dağıtım şebekesinden karşılanacaktır.

Hastanenin gün içinde saatlik elektrik tüketim verileri incelendiğinde hastanede poliklinik hizmetlerinin başladığı saat 09:00'da tüketimin belirgin şekilde arttığı ve saat 17:00 dan sonra azaldığının tespit edildiği Şekil 4.2 ve 4.3'deki grafiklerde görülmektedir. Saatlik tüketim durumu 2017 yılı yaz ve kış döneminden birer ay seçilerek izlenmiştir.



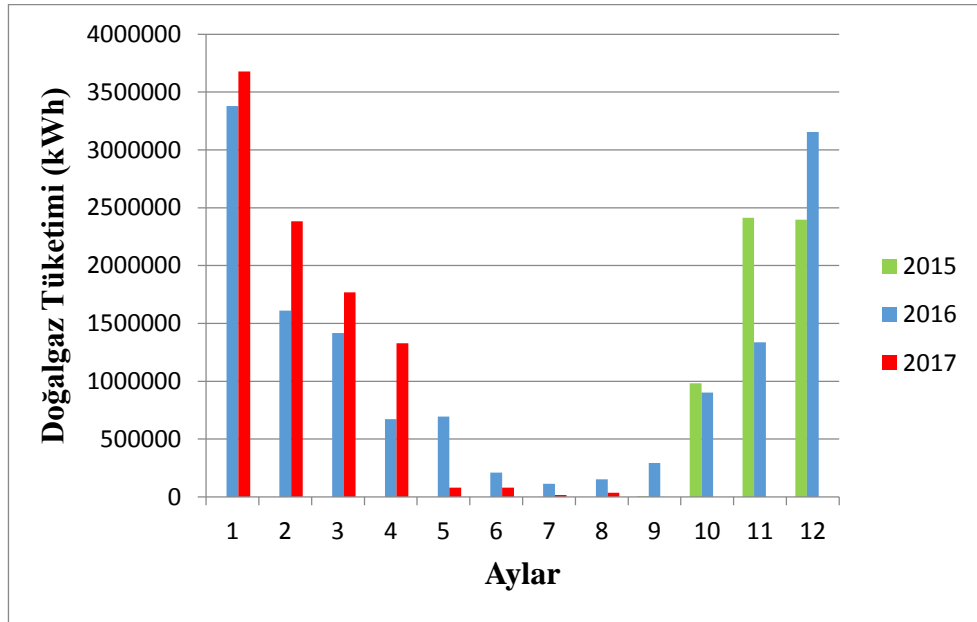
Şekil 4.2 Hastanenin 2017-Mart ayı saatlik elektrik tüketim grafiği



Şekil 4.3 Hastanenin 2017-Ağustos ayı saatlik elektrik tüketim grafiği

Bu tablolarda yaz ile kış dönemi arasında belirgin bir fark gözlemlenmektedir. Anlık yaklaşık 800 kW_e üretecek olan Trijenerasyon Santralinin Mart ayı saatlik tüketim verilerine göre saat 21:00 ile 07:00 arası ihtiyacı karşıladığı görülmektedir. Geri kalan saatlerdeki tüketimin 800 kW üzerindeki miktarları elektrik dağıtım şebekesinden karşılanacaktır. İşletme açısından buradaki önemli nokta kış dönemlerinde saat21:00 ile 07:00 periyodunda trijeneratörün ihtiyaçtan fazla ürettiği enerjidir. Sistem şebekeye elektrik satmayacağından bu anlarda yük durumu sürekli takip edilerek ihtiyaç miktarı kadar enerji üretimi sağlanacaktır. Bu işlem, 3. Bölümde bahsedilen Şekil 3.20. ve 21’de gösterilen ComAp kontrol kartından elde edilen anlık veriler yardımı ile Comap IntelliVision8 ekranı ile yapılabilmektedir. Bu ekrandan belirlenecek set değerleri ile trijeneratörlerin hastane tarafı yük durumunu 50 kW/100 kW geriden takip etmesi sağlanmaktadır.

Tesisin ısınma ihtiyacı 3 adet 2.500 kW (2.150.000 kcal/h) gücünde doğalgaz kazanı ile karşılanmaktadır. Aynı şekilde doğalgaz tüketim seyri incelendiğinde ise Şekil 4.2’de gösterilen tablo ortaya çıkmaktadır. Buna göre yaz döneminde doğalgaz kazanları sadece işletmenin sıcak su ihtiyacını karşılamak için çalıştığından hastanenin ısı ihtiyacı minimum seviyeye inmektedir.

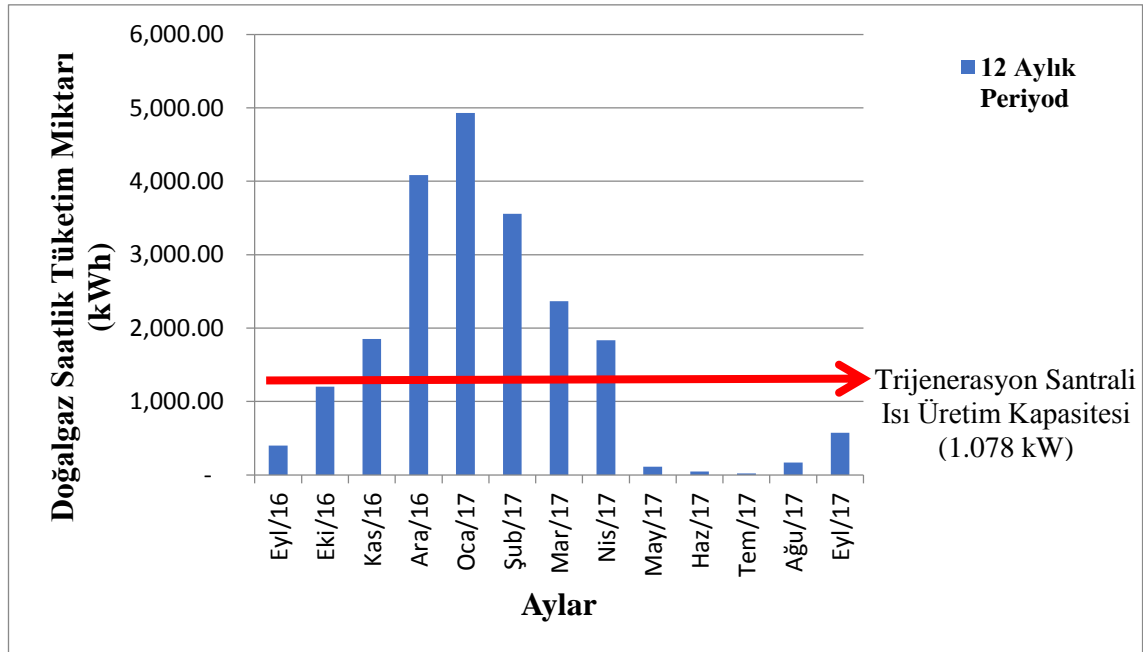


Şekil 4.4 Hastanenin yıllara göre aylık doğalgaz tüketim tablosu

Grafikten anlaşılacağı üzere Aralık – Ocak –Şubat kış aylarında yaklaşık 2.500.000 kWh ila 3.500.000 kWh arası doğalgaz tüketmektedir. Bu tüketim ısınma

ihtiyacının azaldığı diğer sonbahar ve ilkbahar aylarında yaklaşık 1.500.000 kWh seviyesindedir. Yaz aylarında sadece sıcak su ihtiyacı için doğalgaz kazanları çalıştığından tüketim minimum seviyesindedir.

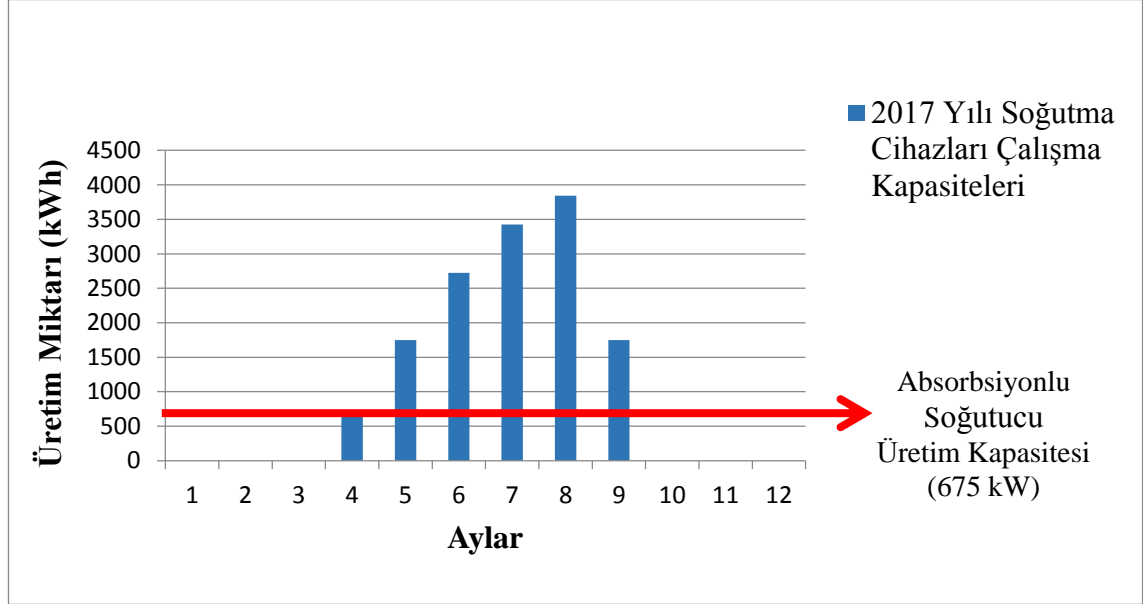
Şekil 4.5'te hastanenin 12 aylık (1 yıllık) periyotta aylık bazda saatlik yaklaşık doğalgaz tüketimi gösterilmiştir. Tablo 3.2'de Perkins doğalgaz motorunun üreteceği kullanılabilir toplam ısı miktarı 539 kW olarak belirtilmiştir. Bu veriye göre trijeneratör santralinin toplam ısı üretimi 1.078 kW olacaktır (Şekil 3.2'de kırmızı çizgi ile gösterilmiştir). Bu verilere göre santralin hastanenin ısı ihtiyacının Eylül-Ekim aylarında %100'ünü, en yüksek tüketime ulaşılan Aralık-Ocak aylarında ise yaklaşık %25'ini karşılayabildiği görülmektedir. Doğal gaz tüketim miktarının m³'ten kWh'a dönüşüm hesabında Üst Isıl Değer 9155kcal/m³, Ortalama Fiili Isıl Değer 9220 kcal/m³, Isıl Değer Düzeltme Katsayısı 1,0074, 1 sm³ 10,64 kWh olarak alınmıştır.



Şekil 4.5 Hastanenin 12 aylık periyotta aylara göre saatlik doğalgaz tüketim grafiği

Şekil 4.6'da Nisan – Eylül döneminde hastanenin soğutucu soğutma gruplarının soğuma üretim miktarları ile trijenerasyon sistemine ait absorpsiyonlu soğutucunun üretim kapasitesi grafiği verilmiştir. Yaz dönemi çalışmasında santralden elde edilen ısı 675 kW soğutma kapasiteli Absorpsiyonlu soğutucu kullanılarak soğutma yapılacaktır. Bu sayede yaz aylarında binayı soğutmak için ihtiyaca göre devreye giren 4 adet 1.398 kW soğutma kapasiteli hava soğutmalı soğutucu cihazlarının devreye

girme sayıları ve süreleri azalacağından elektrik tüketiminde tasarruf sağlanmış olacaktır.



Şekil 4.6 Hastanenin 2017 yılında aylara göre saatlik hava soğutmalı soğutucuların soğutma kapasiteleri grafiği

4.3. Trijeneratör Santralinin Test Çalışması Dönemi Değerlendirmesi

Tezin hazırlanma döneminde sistemin işletmeye alınması için gerekli yasal prosedür devam ettiğinden santral test amaçlı çalıştırılabildiği. Bu dönemde elde edilen veriler ile sistemin projelendirilme aşamasında öngörülen ve planlanan üretim ve verimlilik kapasitesi karşılaştırılmıştır.

2015 Kasım ayı ile 2016 yılı Ocak ayı süresince yaklaşık 40 gün süren test çalışmasında kurulan trijenerasyon santralinin hastanenin elektrik ve ısı ihtiyacını belli oranlarda karşılayabildiği görülmüştür.

4.4. Trijeneratör Santralinin Test Çalışması Dönemi Elektrik Üretim Verileri

2x400 kW_e elektrik üretim kapasitesi olan Trijeneratör Santralinin farklı çalışma dönemlerde hastanenin elektrik yükünü karşılaması ile ilgili öngörülerini içeren veriler yukarıda gösterilmiştir. Bu kısımda ise test çalışması dönemindeki elektrik tüketimleri ile bir sonraki yılın aynı dönem tüketimleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.1 Trijeneratör santralının test çalışması ile çalışmadığı dönemlerinin saatlik hastane elektrik tüketimi karşılaştırma tablosu

TEST DÖNEMİ TRİJENERATÖR SANTRALİ İŞLETMEDE (Dönem 2015 - 2016)				NORMAL DÖNEM TRİJENERATÖR SANTRALİ KAPALI (Dönem 2016 - 2017)			
Aylar	Aylık Tüketim (kWh)	Gün Sayısı	Ortalama Saatlik Tüketim (kWh)	Aylar	Aylık Tüketim (kWh)	Gün Sayısı	Ortalama Saatlik Tüketim (kWh)
Eki-15	635,800	31	855	Eki-16	615,869	31	828
Kas-15	525,116	30	729	Kas-16	548,850	30	762
Ara-15	250,709	31	337	Ara-16	647,851	31	871
Oca-16	432,148	31	581	Oca-17	683,348	31	918

Çizelge 4.1'den santralin çalışması ile birlikte elektrik dağıtım şebekesinden çekilen aylık tüketim miktarlarında önemli bir azalma olduğu gözlenmiştir. Arıza nedeni ile duruşlar hariç durmanın az yaşandığı Aralık-2015 döneminde şebekeden çekilen tüketimin bir sonraki yılın aynı ayına göre yaklaşık %60 azaldığı görülmektedir. Bu azalma miktarı santralin minimum duruş sayısı ve süresi ile sürekli olarak çalışması ile çok daha yüksek seviyelere çıkabilecektir.

Saatlik tüketim miktarlarına bakıldığında ise anlık olarak 800 kW, saatlik olarak 800 kWh elektrik üreten santralin bunu sağlamadığı anlaşılmaktadır. Aralık ayına bakıldığında trijeneratör santralının üretiminin 546 kWh olarak görülmektedir. Bu durum iki nedenden kaynaklanmaktadır. Birinci ve önlenemeyen etken trijeneratör santralının çalıştığı süreçte ürettiği elektriğin bir kısmının kendi iç tüketiminde kullanılmak zorunda kalınmasıdır. Çizelge 4.2'de tez konusu tesiste kurulan santralin iç tüketim ekipmanları ve güçleri belirtilmiştir.

Çizelge 4.2 Trijeneratör santralinin iç tüketim ekipmanları tablosu.

İç Tüketim Ekipmanı	Adet	Güç (kW)	Toplam Güç (kW)
Radyatör Fanı	4	1,94	7,76
Ceket Suyu Pompası	2	4	8
İntercooler Pompası	2	1	2
Sekonder Pompa	2	2,2	4,4
Soğutma Kulesi Pompaları	1	37	37
Soğutma Kulesi Fanları	2	11	22
Absorbsiyonlu Soğutucu	1	7,25	7,25

Trijeneratör santrali devreye alınarak çalışmaya başladığında tabloda belirtilen ekipmanlar çalıştırılmak zorundadırlar. Bu nedenle sistem kendi ürettiği elektriğin kış çalışma döneminde yani ısıtma rejiminde 22,16 kW'nı, yaz dönemi soğutma rejiminde 66,25 kW'nı tüketmiş olur. Bu durumda sistemin net üretim kapasitesi soğutma rejiminde 733,75 kW'a ısıtma rejiminde ise 777,84 kW olarak gerçekleşecektir.

İkincil neden ise hastanenin yük durumu ile ilgilidir. Daha iyi anlaşılması için Bölüm 4.1'de sunulan Şekil 4.2'deki Mart ayı saatlik elektrik tüketim grafiğini incelemek gerekir. Bu grafik incelendiğinde hastanenin saat 23:00'den bir gün sonraki sabah saat 07:00'a kadar 800 kW'dan daha az elektrik tükettiği görülmektedir. Hastane yükü trijeneratör santrali üretim kapasitesinin altına indiği anlarda dağıtım şebekesine elektrik verilmeyeceğinden santral otomatik kontrollü olarak üretim kapasitesini kısımaya başlar. Bu anlarda trijeneratör üretim kapasitesi hastane yükünü karşılayacak kadar olacaktır. Örneğin belirtilen tabloda saat 04:00'de hastane şebekeden yaklaşık 680 kW yük çekmiştir. Bu durumda trijeneratör 600 kW civarı enerji üretmek durumunda kalacaktır. Sistemin kapasitesinin altında elektrik üretmesi toplam verimliliğini düşüreceğinden hastane çalışma süreçlerinden bazılarını (sterilizasyon, çamaşırhane vb.) gece çalışmasına planlanması gibi uygulamalar denenmelidir.

4.5. Trijeneratör Santralinin Test Çalışması Dönemi Doğalgaz Tüketim Verileri

Üçüncü bölüm Çizelge 3.2'de belirtilen sistemde kullanılan Perkins marka doğalgaz motorunun katalog değerlerine göre sistem saatte 116,1 Sm³/h doğalgaz

tüketmektedir. Sistem algoritmasına göre trijeneratörlerden elde edilen ısı hastanenin doğalgaz kazanlarına destek sağlayacağından hastanenin toplam doğalgaz tüketiminin artması beklenir. Test çalışması dönemindeki doğalgaz tüketimleri ile bir sonraki yılın aynı dönem tüketimleri karşılaştırılmıştır

Çizelge 4.3 Trijeneratör santralının test çalışması ile çalışmadığı dönemlerinin saatlik doğalgaz tüketim karşılaştırma tablosu

TEST ÇALIŞMASI DÖNEMİ TRİJENERATÖR SANTRALİ DEVREDE (Dönem 2015 - 2016)				NORMAL ÇALIŞMA DÖNEMİ TRİJENERATÖR SANTRALİ DEVRE DIŞI (Dönem 2016 - 2017)			
Aylar	Aylık Tüketim (kWh)	Gün Sayısı	Ortalama Saatlik Tüketim (kWh)	Aylar	Aylık Tüketim (kWh)	Gün Sayısı	Ortalama Saatlik Tüketim (kWh)
Eki-15	982.755,37	31	1.321	Eki-15	901.142,87	31	1.211
Kas-15	2.411.812,73	30	3.350	Kas-15	1.335.642,06	30	1.855
Ara-15	2.395.725,27	31	3.220	Ara-15	3.155.325,72	31	4.241
Oca-16	3.379.482,14	31	4.542	Oca-16	3.678.376,77	31	4.944

Çizelge 4.3’de trijeneratörün 2015 yılı Kasım ayı ortalarından sonra devreye girmesinden sonra hastane doğalgaz tüketimlerinin bir sonraki yıl aynı aylarına göre belirgin şekilde artmadığı aksine azaldığı tespit edilmiştir. Hastane doğalgaz ölçümü tek bir noktadan hem sıcak su kazanlarını hem de trijeneratör santralının tüketimlerini ölçmektedir. Mevsim sıcaklık değerlerindeki normalin üzerindeki düşüşler sıcak su kazanlarının daha fazla çalışmasına neden olmasının sonucu olarak bu veriler ortaya çıkmaktadır.

Bu durumda trijeneratör santralının yakıt girişi ve ısı enerjisi üretim dengesi kullanılan doğalgaz motorlarının katalog bilgileri üzerinden değerlendirilmiştir. Üçüncü bölümde trijeneratör santralının egzoz ve ceket suyu eşanjörleri sırası ile 275 kW ve 189 kW olduğu tespit edilmiş ve toplam 928 kW’lık faydalı ısı üretebileceği hesaplanmıştı. Sistemin Tasarımda intercooler ısısı kullanılmayacağına santralin toplam ısı üretiminin kazanlar dahil tüketime göre değişimi Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 Trijeneratör santralının test çalışması sürecindeki doğalgaz tüketim karşılaştırma tablosu

TEST ÇALIŞMASI DÖNEMİ TRİJENERATÖR SANTRALİ DEVREDE (Dönem 2015 - 2016)					
Aylar	Aylık Tüketim (kWh)	Gün Sayısı	Ortalama Saatlik Tüketim (kWh)	Üretilen Saatlik Isı Enerjisi (kWh)	Kazanlardan Karşılana n Isı Enerjisi (kWh)
Eki-15	982,755.37	31	1,321	928	393
Kas-15	2,411,812.73	30	3,350	928	2,422
Ara-15	2,395,725.27	31	3,220	928	2,292
Oca-16	3,379,482.14	31	4,542	928	3,614

4.6. Trijeneratör Santralının Enerji Üretim Mali Analizi

Trijeneratör santralinde kullanılan 2 adet 400 kW doğalgaz motorunun saatlik tüketimi 116,1 Sm³/h olarak verilmiştir. Maliyet analizinde doğalgaz tüketimi kW birimine dönüştürülmüştür (EPDK, 2017). Doğalgaz motorlarının 1 saate tükettiği doğalgaz miktarı;

$Tüketim(kWh) =$

$$2 \times \left(Motor \ Tüketimi \ m^3/h \times \left(\frac{Ortalama \ Fiili \ Isıl \ Değer}{Üst \ Isıl \ Değer} \right) \times 10,64 \ kcal/m^3 \right) \dots\dots\dots(4.15)$$

olarak hesaplanabilir. Formüldeki Üst Isıl Değer 9155 kcal/m³ değerini, her ay mevsimsel şartlara göre değişen ortalama fiili ısı değer ise ulusal ve bölgesel gaz dağıtım ve satış yapan tüzel kişiliklerin belirlediği (örneğin Ocak/2017 faturasındaki değer 9220 kcal/m³) değer olarak alınmaktadır (EPDK, 2017). Motor katalog

bilgilerinde tüketim Sm^3/h biriminde verildiğinden veriler formüle uygulandığında formül;

$$Tüketim(kWh) = 2 \times (116,1 Sm^3/h \times 10,64 kcal/sm^3) \dots\dots\dots(4.16)$$

şekline dönüşür. Sonuçta;

$$Tüketim = 2.470,6 kWh \dots\dots\dots(4.17)$$

olarak hesaplanır.

Santralin saatlik elektrik ve ısı üretim miktarları ise aşağıdaki şekilde olacaktır. Santral iç tüketiminde çalışan Tablo 4.2’de belirtilen ekipmanlar yaz ve kış dönemine göre farklılık gösterdiğinden elektrik üretim kapasitesi;

$$\begin{aligned} &Elektrik Üretimi_{Net} = \\ &Elektrik Üretim Kapasitesi - Santral İç Tüketimi_{Isıtma/soğutma} \dots\dots\dots(4.18) \end{aligned}$$

$$Elektrik Üretimi_{Net} = 2 \times 400 kW - 22,16 kW_{Isıtma} \dots\dots\dots(4.19)$$

$$Elektrik Üretimi_{Net} = 777,84 kW_{Isıtma} \dots\dots\dots(4.20)$$

$$Elektrik Üretimi_{Net} = 2 \times 400 kW - 66,25 kW_{soğutma} \dots\dots\dots(4.21)$$

$$Elektrik Üretimi_{Net} = 733,75 kW_{soğutma} \dots\dots\dots(4.22)$$

olacaktır.

Tesisin Isı üretim kapasitesi motor ceket ısısı ve egzoz ısısından faydalanan eşanjörlerin kapasite toplamından;

$$Isı Üretimi = Ceket Isısı Plakalı Eşanjörü + Egzoz Eşanjörü \dots\dots\dots(4.23)$$

$$Isı Üretimi = (2 \times 189 kW_{th}) + (2 \times 275,4 kW_{th})Egzoz Eşanjörü \dots\dots\dots(4.24)$$

$$Isı \text{ Üretimi} = 928,8 \text{ kW}_{th} \dots \dots \dots (4.25)$$

olacaktır.

Tesisin yaz döneminde üreteceği soğutma kapasitesi absorpsiyonlu soğutucu gücü;

$$Isı \text{ Üretimi}_{Absorbsiyonlu \ soğutucu} = 675 \text{ kW}_{th} \dots \dots \dots (4.26)$$

olacaktır.

Tüketim ve üretim miktarlarının birim maliyetleri aşağıda belirtildiği şekildedir (birim bedeller vergi, harç vb. dahil seçilmiştir).

$$Birim \ Fiyat_{Elektrik} = 0,35 \text{ TL/kWh} \dots \dots \dots (4.27)$$

$$Birim \ Fiyat_{Doğalgaz} = 0,085 \text{ TL/kWh} \dots \dots \dots (4.28)$$

Bu veriler ile sistemin 1 saatte tükettiği ve ürettiği enerji maliyeti Çizelge 4.5’ deki şeklinde bulunur. Tablodaki ısı üretim miktarı sütununda ısının sıcak su kazanında üretilmesi halinde tasarruf edilen doğalgaz miktarının tespiti için kazan verimi 0,9 kabul edilmiştir. Benzer şekilde tablodaki soğutma üretimi sütunundaki absorpsiyonlu soğutucunun ürettiği soğutma enerjisinin elektrikli hava soğutmalı soğutuculardan üretilmesi durumunda tasarruf edilen elektrik miktarının tespiti için performans katsayısı 4 kabul edilmiştir.

Çizelge 4.5 Trijeneratör Santralinin Enerji Üretimindeki Maliyet/Kazanç Tablosu

	Doğalgaz Tüketimi	Elektrik Üretimi		Isı Üretimi	Soğutma Üretimi
		Sistem Isıtma Modunda	Sistem Soğutma Modunda		
Tüketim/Üretim Miktarı (kWh)	2.470,60	777,84	733,75	928,80	675,00
Birim Fiyatı (TL)	0,085	0,35	0,35	0,085	0,35
Tüketim Bedeli / Üretim Kazancı (TL)	210,00	272,24	256,81	87,72	59,06

Çizelge 4.5’de belirtilen mali çerçeveye ilave olarak sistemin çalıştığı sürece doğalgaz motorlarınca harcanacak motor yağı maliyeti ile bu kompakt sistemin konunun uzmanı ekiplerce yürütülecek işletme ve bakımların maliyetleri eklenmelidir.

Çizelge 4.6’da teze konu trijeneratör santralinin motor yağı ve işletme bakım maliyetleri gösterilmiştir. Perkins marka doğalgaz motorunun katalog bilgisinde yağ tüketiminin 0,14 gr/kWh_e yağ tank kapasitesinin 165 lt olduğu verilmiştir. Maliyet hesabında motor yağının yoğunluğu 0,9 gr/mlt, birim maliyeti 13 TL/lt kabul edilmiştir. İşletme bakım hizmet alımı maliyeti ise 5 €/saat olarak öngörülmüştür.(1€ = 4,2 TL Ekim/2017)

$$\text{Yağ Tüketim Maliyeti} = 2 \times 400 \text{ kWh}_e \times \left(\frac{0,14 \text{ gr/kWh}_e}{0,9 \text{ gr/mlt}} \right) \times 13 \text{ TL/lt} \dots \dots \dots (4.29)$$

$$\text{Yağ Tüketim Maliyeti} = 1,62 \text{ TL/saat} \dots \dots \dots (4.30)$$

$$\text{Yağ Değişim Maliyeti} = 2 \times (3 \text{ defa} \times 165 \text{ lt}) \times 13 \text{ TL/lt} \dots \dots \dots (4.31)$$

$$\text{Yağ Değişim Maliyeti} = 12.870 \text{ TL} \dots \dots \dots (4.32)$$

$$\text{İşletme Bakım Maliyeti} = 21 \text{ TL/saat} \dots \dots \dots (4.33)$$

bulunur.

Sistem geri ödeme süresinin hesaplanabilmesi için yıllık maliyetin ortaya çıkarılması gerekmektedir. Sistem; mevsim değişimlerinde düşük karlılık dönemlerinde, arıza hallerinde, yağ değişim ve periyodik bakımlarda çalışmayacaktır. Bu nedenle yıllık çalışma süresi ayda yaklaşık 2,6 gün duruşa karşılık gelen 8.000 saat alınmıştır. Yaz çalışmasına karşılık gelen ve Mayıs – Ağustos dönemini kapsayan 4 ay için 2.700 saat, geri kalan kış çalışması için 5.300 saat çalışma öngörülmüştür. Sistemin yıllık kazancı Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 Trijeneratör Santralinin Yıllık Kazanç Çizelgesi

	SİSTEM TÜKETİMİ		SİSTEM ÜRETİMİ			
	Doğalgaz Tüketimi	Yağ Değişimi ve Çalışma Tüketimi	Elektrik Üretimi		Isı Üretimi	Soğutma Üretimi
			Sistem Isıtma Modunda	Sistem Soğutma Modunda		
Tüketim/Üretim Miktarı (kWh)	2,470.60	-	777.84	733.75	928.80	675.00
Birim Fiyatı (TL)	0.085	3.23	0.35	0.35	0.085	0.35
Tüketim Bedeli /Üretim Kazancı (TL/saat)	210.00	3.23	272.24	256.81	87.72	59.06
Yıllık Çalışma Süresi (saat)	8,000	8,000	5,300	2,700	5,300	2,700
Yıllık Bedel ve Kazanç (TL)	1,680,008.00	25,840.00	1,442,893.20	693,393.75	464,916.00	159,468.75
Yıllık İşletme Bakım Gideri (TL)	336,000.00					
Yıllık Kar (TL)	718,823.70					

Trijeneratör santralinin ilk yatırım maliyeti yaklaşık 545.000 €'dur. Türk Lirası olarak değeri 2.289.000 TL olan ilk yatırım maliyetinin geri ödeme süresi hesaplamasında yıllık faiz oranı % 9,olarak kabul edildiğinde dinamik geri ödeme süresi formülü (İmal vd. 2016);

$$t_g = \frac{\ln[G_i / [G_i - [G_y \times f]]]}{\ln[1+f]} \dots\dots\dots(4.34)$$

ile bulunur. Veriler yerine konulduğunda;

$$t_g = \frac{\ln[718.823,7 TL / [718.823,7 TL - [2.289.000 \times 0,09]]]}{\ln[1+0,09]} \dots\dots\dots(4.35)$$

$$t_g = 3,91 \text{ yıl} \dots\dots\dots(4.36)$$

olarak tespit edilir.

Bununla birlikte pistonlu motorlarda birçok hareketli parça ve temas yüzeyi bulunduğundan diğer teknolojilere kıyasla genellikle daha yüksek bakım gereksinimi (ve maliyetleri) vardır. Planlı bakım, 2000 çalışma saat aralığında gerçekleştirilir. 24.000 ila 30.000 saatlik çalışmada genellikle küçük bir revizyon gereklidir. Yine yaklaşık 60.000 işletim saatinde (yani, yaklaşık yedi yıl tam zamanlı çalışma sonrasında) büyük bir revizyon gereklidir (NSW Office of Environment, 2013). Bu yarı bakım ve tam bakımların maliyetleri çok önemlidir. Yüksek bedelli bakımlar sistemin karlılığını ortadan kaldırabilir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Sonuçlar

Bu yüksek lisans tezinde yeni yapılan bir hastane binasında kurulan trijenerasyon santralının ana ekipmanları incelenmiş ve montaj ve işletmeye alma süreçleri gözlemlenmiştir. Test çalışması sonuçlarına göre trijeneratör santralının elektrik ve ısı üretim kapasitesinin optimum seçilip seçilmediği incelenmiş ve santralin karlılığı ile sistem geri ödeme süresi incelenmiştir.

Bu amaçla hastanenin saatlik tüketim verileri incelenmiştir. Yaklaşık 70.000 m² kapalı alana sahip 300 yatak kapasiteli hastane tesisi için belirlenen 2 x 400 kW_e kurulu gücündeki trijeneratör santralının ürettiği elektrik enerjisinin hastanenin ihtiyacını karşılama kontrolü yapılmıştır. Santralden eşanjörler vasıtası ile üretilen ısının hastane doğalgaz ve elektrik tüketimine sağladığı fayda tespit edilmiştir. Egzoz eşanjörünün kapasite belirlenmesinin hastane ısıtma sistemi geri dönüş suyunun sıcaklığı ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür.

Santralin 1 saatlik ve yıllık karlılığı tespit edilerek geri ödeme süresi bulunmuştur. Santralin aylık çalışma süresinin mümkün olan en yüksek dereceye artırılmasının geri ödeme süresini kısaltılması yönünde olumlu etkilediği görülmüştür.

Sonuç olarak trijeneratör sistemlerinin hastane tesislerinde enerji giderlerinde karlılık sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte sistemin verimliliğinin ve karlılığının ulusal ve uluslararası doğalgaz ve elektrik birim fiyatları ile güçlü şekilde ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Ucuz doğalgaz birim fiyatı ile pahalı elektrik birim fiyatı sistemin karlılığını arttırırken tersi durumda karlılık azalmaktadır.

5.2. Tartışma

Bu ve benzeri sistemler için ilk yatırım maliyeti geri ödeme süreleri kaynaklarda 2-3 yıl olarak belirlenmiştir (İmal vd. 2016). Tez konusu santralin geri ödeme süresi ise 3,9 yıl olarak tespit edilmiştir.

İncelenen santralde kullanılan doğalgaz motorlarının egzoz ısı üretim kapasitesi ile termodinamik denge hesabı ile ortaya çıkan eşanjör kapasitesinin aynı olmadığı gözlenmiştir.

Sistemin ilkbahar ve sonbahar aylarındaki mevsim geçişleri döneminde çalıştırılmasında üretilen faydalı ısının kullanılabilmesi için yeni kullanım alanları tasarlanarak verimlilik artırıcı çözümler geliştirilmelidir. Aksi halde sistemin yıllık çalışma süresi azalacaktır.

5.3. Öneriler

Teorik hesaplama ve planlama ile tasarlanarak tesis edilmiş olan Trijenerasyon Santralinin tam kapasite çalışmaya başlaması ile birlikte uzun süreli işletme şartlarında çalışma verimliliği gözlemlenecektir.

Teze konu trijenerasyon santralinde kullanılmayacak şekilde tasarlanmış olan doğalgaz jeneratörlerinin intercooler soğutma devrelerinden elde edilecek ısının ve yazın absorpsiyonlu soğutucu kullanımından artan ısının tedavi amaçlı (fizik tedavi hastalarında) sıcak su havuzlarında kullanılması için gerekli araştırma ve çalışmalar yapılacaktır.

Bölüm 3'de de değinildiği üzere çalışma konusu sistemde kış mevsimi çalışmasında trijenerasyon santralinden elde edilen ısı plakalı eşanjörler üzerinden hastane ısıtma sistemine aktarılmaktadır. Bu plakalı eşanjörlerin aradan kaldırılarak elde edilen sıcak suyun doğrudan hastane ısıtma sistemine verilebilmesi durumunda sistem verimliliğinin artırılması amaçlı çalışmalar yapılması ve böylece yatırımın geri ödeme süresinin kısaltılması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- Acıbadem, S. H. T. A. Ş., 2010, 2010 Yılı Faaliyet Raporu, 56.
- American History, 2017, Powering A Generation: Historical Power Generation.
- Baloochy, B. ve Bozorgmehry, R., 2010, A Fuzzy Expert System for Converting Process Flow Diagrams to Piping and Instrumentation Diagrams, *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 1 (2), 206.
- Bayındırlık ve İskân, B., 2010, BİNALARDA ENERJİ PERFORMANSI YÖNETMELİĞİ.
- Blackburn, J., 1998, Protective Relaying Principles and Applications 2nd Edition New York Basel Marcel Dekker, Inc.
- Casten, T. R., 1998, Turning off the heat. Why America must double energy efficiency to save money and reduce global warming.
- Cho, W., Kim, J. ve Lee, K.-S., 2012, Combined heat and power unit capacity for high-heat to power ratio buildings without selling excess electricity to the grid, *Energy*, 38 (1), 354-361.
- ComAp Control, 2017, <https://www.comap-control.com>.
- Deutsche Gesellschaft, f. I. Z. G. G., 2016, Technology Cooperation in the Energy Sector, *Cogeneration & Trigeneration – How to Produce Energy Efficiently*, 99 - 101- 106.
- Elektrik Piyasası Düzenleme Kurulu, 2017, 2016 Yılı Doğalgaz Piyasası Sektör Raporu.
- EPDK, E. P. D. K., 2017, Doğal Gazın Faturalandırmaya Esas Satış Miktarının Tespiti ve Faturalandırılmasına İlişkin Esaslar Hakkında Tebliğ
- Eurostad DATA, 2015, <http://www.cogeneurope.eu>.
- Filoğlu, E., 2011, Türkiye’de Mikro Kojenerasyon, 2, *Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi Bildirileri*.
- Health Care Without Harm, 2013, POWERING THE FUTURE OF HEALTHCARE, 64.

- İmal, M., Kısakesen, T. ve Kaya, A., 2016, Enerji Ekonomisi Açısından Kojenerasyon ve Trijenerasyon Teknolojilerinin Isıtma-Soğutma Kapasitelerinin Analizi, *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 19 (2), 9-19.
- Kavvadias, K., Tosios, A. ve Maroulis, Z., 2010, Design of a combined heating, cooling and power system: Sizing, operation strategy selection and parametric analysis, *Energy Conversion and Management*, 51 (4), 833-845.
- Korkut, I. Ö. ve Şekerci, H., 2015, ADA MODUNDA ÇALIŞAN BİR KOJENERASYON SİSTEMİNİN HATA ANALİZİ.
- Martínez-Lera, S. ve Ballester, J., 2010, A novel method for the design of CHCP (combined heat, cooling and power) systems for buildings, *Energy*, 35 (7), 2972-2984.
- Mobley, R. K., 2001, Plant engineer's handbook, Butterworth-Heinemann, p.
- Muccillo, M., Gimelli, A. ve Sannino, R., 2015, Multi-objective optimization and sensitivity analysis of a cogeneration system for a hospital facility, *Energy Procedia*, 81, 585-596.
- NSW Office of Environment, a. H., 2013, Energy Saver, *ENERGY SAVER Cogeneration feasibility guide*, 136.
- Oh, S.-D., Oh, H.-S. ve Kwak, H.-Y., 2007, Economic evaluation for adoption of cogeneration system, *Applied Energy*, 84 (3), 266-278.
- Özel, F. ve Çimen, F., 2003, Su Soğutma Kuleleri, *TTDM Türk Tesisat Mühendisleri Derneği*.
- Özkaya, M., 1988, Yüksek gerilim tekniği, İstanbul Teknik Üniversitesi, p.
- Perkins Engine, 2017, www.perkins.com.
- Pravadaloğlu, S., Komisyonu, E. ve Şti, Ü. T. E. M. L., 2011, Yerinde Enerji Üretimi-Kojenerasyon Sistemleri.
- Renedo, C., Ortiz, A., Manana, M., Sillio, D. ve Perez, S., 2006, Study of different cogeneration alternatives for a Spanish hospital center, *Energy and Buildings*, 38 (5), 484-490.
- SHUNGLIANG ECO-ENERGY ve SYSTEMS, 2017, <http://sl-ecoenergy.com>.

- Srikhirin, P., Aphornratana, S. ve Chungpaibulpatana, S., 2001, A review of absorption refrigeration technologies, *Renewable and sustainable energy reviews*, 5 (4), 343-372.
- Stamford Power Generation, 2017, <https://stamford-avk.com>.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş., 2015, TÜRKİYE ELEKTRİK ÜRETİM-İLETİM 2015 YILI İSTATİSTİKLERİ.
- Wurtz, W., 2000, Fundamentals of Cooling Tower Design, *Process Cooling & Equipment*.
- Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2014, Kojenerasyon ve Mikrokojenerasyon Tesislerinin Verimliliğinin Hesaplanmasına İlişkin Usul Ve Esaslar Hakkında Tebliğ.
- Ziher, D. ve Poredos, A., 2006, Economics of a trigeneration system in a hospital, *Applied Thermal Engineering*, 26 (7), 680-687.
- Zor, K., Teke, A., Çelik, Ö. ve Latran, M. B., 2015a, Türkiye'de Gaz Motorlu Kojenerasyon ve Trijenerasyon Santralleri ile Elektrik Enerjisi Üretimi, *IV. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi*, 189-195.
- Zor, K., Teke, A. ve Timur, O., 2015b, Developing a Software Program to Determine the Optimal Capacity Rating of Gas Engine Based Cogeneration and Trigeneration Plants for Unlicensed Generation of Electricity, 12.

ÖZGEÇMİŞ

Ersoy ÇETİN 25.06.1974 tarihinde Edirne İli Süloğlu İlçesi Büyük Gerdelli Köyünde doğdu. İlköğrenimini B. Gerdelli İlköğretim Okulunda tamamladı. 1991 yılına Edirne 1. Murat Lisesi Matematik bölümünden, 1996 yılında Yıldız Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Bitirme tezini “Trafolarda Bucholz Rölesi ile Koruma” konusunda yaptı. Stajlarını Edirne Meriç Tekstil Fabrikası ve İzmit Kaya Elektronik şirketinde yaptı.

Askerliğini Jandarma Komanda Tim Komutanı olarak Hakkari Çukurca’da yaptı. İş hayatında sırasıyla; İzmit Gebze Makyal Enerji’de jeneratör imalat/montaj mühendisi olarak, Edirne Türk Telekom İl Müdürlüğü tesis yüklenici firması Detel Telekom’da Edirne şantiye şefi olarak çalıştı. 2000 yılında Devlet Memurluğu Sınavını (DMS) kazanarak TREDAS’a girdi. TREDAS Edirne İşletme Müdürlüğünde Proje Tesis ve Müşteriler Başmühendisliği ve son olarak Teknik Şube Müdürlüğü görevlerini yürüttü.

2012 yılından beri Edirne Sultan 1. Murat Devlet Hastanesi’nde sırası ile Teknik Birim Sorumlusu ve Klinik Mühendisliği Birim Sorumlusu olarak görev yapmaktadır.

Orta düzeyde İngilizce bilmektedir. Autocad, Solidworks ve Ofis programlarını kullanabilmektedir.

Bina otomasyonu ve tıbbi cihaz teknolojileri ilgi alanları arasındadır.

Ersoy ÇETİN, evli ve bir erkek ve bir kız çocuğu babasıdır.