



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOĞAL GAZ YAKITLI BİR KOJENERASYON SİSTEMİNİN
TASARIMI VE ANALİZİ: AKSARAY ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emrah ÇALIŞ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN**

AKSARAY, 2023



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOĞAL GAZ YAKITLI BİR KOJENERASYON SİSTEMİNİN
TASARIMI VE ANALİZİ: AKSARAY ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emrah ÇALIŞ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN**

AKSARAY, 2023

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 202304001 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, Emrah ÇALIŞ, tarafından hazırlanan “**DOĞAL GAZ YAKITLI BİR KOJENERASYON SİSTEMİNİN TASARIMI VE ANALİZİ: AKSARAY ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Fen Bilimleri Eğitimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

Üniversite Adı: Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Yüksel KAPLAN

Üniversite Adı: Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Muhammet ÇELİK

Üniversite Adı: Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 05/01/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Mehmet Ali HİNİS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Emrah ÇALIŞ

TEŞEKKÜR

Yaşadığımız dünyanın şekillenmesinde önemli rol oynayan mesleğimi, geleceğe ve sonraki araştırmalara yararlı bir proje bırakmak için başladığım Yüksek Lisans eğitimimin sonuna gelmiş bulunuyorum.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesinin yanı sıra ahlaki değerleri ile de örnek aldığım kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN'e şükranlarımı sunarım.

Ayrıca tez çalışmama en fazla desteğini sunan, her anımda yanımda olan ve en büyük güç kaynağım olan aileme ve eşim Nurdan ÇALIŞ'a teşekkür etmeyi kendime bir borç bilirim.

Emrah ÇALIŞ
AKSARAY, 2023

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Kojenerasyon Sisteminin Tanımı	2
1.2 Kojenerasyon Sistemlerinin Avantajları	3
1.3 Kojenerasyon Sisteminin Kullanım Alanları	4
1.3.1 Yapılardaki uygulanabilirlik alanları	4
1.3.2 Endüstriyel uygulanabilirlik alanları	5
1.3.3 Tarımsal amaçlı uygulanabilirlik alanları	5
1.4 Kojenerasyon Sisteminin Çalışma Prensibi	5
1.5 Kojenerasyon Sistem Bileşenleri.....	6
1.5.1 Güç ünitesi	7
1.5.2 Isı kazanım ünitesi	7
1.5.2.1 Atık ısı geri dönüşüm sisteminin avantaj ve dezavantajları.....	9
1.5.3 Jeneratör ve bileşenleri	10
1.5.4 Kontrol sistemi.....	10
1.6 Kojenerasyon Sisteminin Güç Üretim Sistem Tipleri	11
1.6.1 Buhar türbinli güç üretim sistemleri	11
1.6.2 Gaz türbinli güç üretim sistemleri	11
1.6.3 Gaz motorlu güç üretim sistemleri	11
1.6.4 Mikro türbinli güç üretim sistemleri.....	12
1.6.5 Stirling motorlu güç üretim sistemleri	13
1.7 Kojenerasyon Sisteminde Kullanılan Yakıtlar	14
1.7.1 Kojenerasyon sisteminde kullanılan doğal gaz yakıtın özellikleri	15
1.8 Kojenerasyon Sisteminde Sistemin ve Güç Kaynağı Seçimi.....	17
1.9 Kojenerasyon Sisteminin Enerji ve Maddi Kazancı.....	18
1.9.1 Kojenerasyon sistemlerinde yüksek verimlilik.....	18
1.9.2 Kojenerasyon sistemlerinde düşük yakıt maliyetleri	19
1.9.3 Kojenerasyon sistemleri ile yüksek tarife fiyatlandırmasından kaçınmak	19
1.9.4 Kojenerasyon sistemlerinde vergi avantajları ve mali teşvikler	19
1.10 Kojenerasyon Sisteminin Çevresel Faktörleri	20
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	28
3.1 Çalışmanın Amacı	28
3.2 Aksaray Üniversitesinin Tanıtımı	28
3.3 Aksaray Üniversitesinin Enerji İhtiyacı	29
3.3.1 Aksaray Üniversitesinin elektrik ihtiyacı	30
3.3.2 Aksaray Üniversitesinin ısı ihtiyacı	32
3.4 Kojenerasyon Teknolojisi Sisteminin Seçimi	34
3.4.1 Kojenerasyon sistem seçimiyle ilgili bilgiler	34
3.4.2 Aksaray Üniversitesi için uygun kojenerasyon sistemi seçimi.....	36
3.4.2.1 Güç Ünitesi Seçimi	36

3.4.2.2 Güç Kaynağı Kapasitesi Belirleme	39
3.4.2.3 Güç Kaynağı İçin Yakıt Seçimi	40
3.4.2.4 Maksimum Güce Göre Örnek Güç Kaynağı ve Özellikleri.....	41
3.5 Sistem ve Kapasitelerin Tasarımları.....	42
3.5.1 Kojenerasyon sisteminin tasarımı.....	42
3.6 Aksaray Üniversitesi İçin Kullanılan Motora Göre Kojenerasyon Sistemin	
Isıtma Kapasitesinin Belirlenmesi	44
3.6.1 Isıtma kapasitesinin belirlenmesi.....	44
3.7 Sistemin Ekonomik Analiz Kriterleri.....	50
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	53
4.1 Kojenerasyon Sistemin Elektriksel Verimi	53
4.2 Kojenerasyon Sistemin Isıl Verimi	54
4.3 Sistemin Toplam Verimi	54
4.4 Sistemin Net Enerji Verimi	54
4.5 Kojenerasyon Sistemden Elde Edilen Enerji Tasarrufu	55
4.6 Sistemin Çevresel Analizi	56
4.7 Kojenerasyon Sistemlerin Çalıştırılması	57
4.8 Kojenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi	60
5. SONUÇ.....	62
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ.....	69

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOĞAL GAZ YAKITLI BİR KOJENERASYON SİSTEMİNİN TASARIMI VE ANALİZİ: AKSARAY ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

Emrah ÇALIŞ

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

ÖZET

Bu çalışmada, Aksaray Üniversitesinin enerji verimliliğini üst düzeyde kullanabilmek amacı ile üniversitenin enerji ihtiyacına göre kojenerasyon sistemi ekonomik analizi yapılmıştır. Dünyada artan nüfus, teknolojik ilerlemeler ve insanların modern şartlarda yaşama isteği doğal olarak artmaktadır. Bu sebeple son yıllarda hızla artan petrol, doğal gaz ve kömür gibi enerji kaynaklarındaki tüketim miktarı şimdi ve gelecekte enerji krizlerine sebep olacaktır. Aynı zamanda Dünya Covid-19 salgını yaralarını sarmaya çalışırken, ortaya farklı enerji arayışları çıkartacaktır. Bu gelişme ile dünyadaki enerji krizi 2022 ve sonrasındaki yıllarda enerji arayışı kriz haline gelecektir. Bu nedenle yeni kaynak arayışı devam ederken mevcut kaynakları ekonomik, verimli, geri kazanımları maksimum seviyede ve enerji tüketimini tasarruflu şekilde kullanılmalıdır. Bu arayışlara en uygun süreçlerden biri kojenerasyon sistemleridir. Kojenerasyon veya Birleşik Isı ve Güç (CHP) sistemi aynı anda hem elektrik hem de kullanılabilir ısı üreten yüksek verimli bir sistemdir. Kojenerasyon sistemi yüksek enerji verimliliği, enerji tasarrufu sağlar ve sera gazı salınımını azaltır. Kojenerasyon sistemlerinin ana özelliği genel olarak, tek bir enerji kaynağı tüketimi süreci aracılığıyla elektrik ve faydalı ısı üretir. Kojenerasyon sistemi ile elektrik, tüketim noktasında üretilir. Bu durum arzın ulaşım ve dağıtım ile ilgili arızalara ve kayıplara maruz kalmaması anlamına gelmektedir. Aynı zamanda, dağıtım ve bakım maliyetleri ortadan kalkmaktadır. Kojenerasyon sistemlerinin kullanımının enerji tüketiminin azalmasına ve daha temiz yakıtların kullanımına imkan vermesi sonucunda çevreye daha az zarar verilmesi, kojenerasyon sistemlerinin yapılabilirliği açısından avantajlı sayılabilecek özelliklerdendir. Sayılan özellikler, literatürden alınan bilgiler, yapılan hesaplamalar ve araştırmaların ışığında yapılan bu test çalışmasının sonucunda da kojenerasyon uygulamasının avantajlı bir sistem olduğu kanıtlanmıştır. Sistemin analiz sonuçlarına göre üniversitenin yıllık amortisman sonucu 1.916.847,57 TL/Yıl yatırım için ilk maliyet yaklaşık 2,85 yıl gibi kısa bir zaman diliminde amorti edebilme durumu hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kojenerasyon, Doğal Gaz, Ekonomik Analiz, Dinamik Geri Ödeme Süresi, Sera Gazı Etkisi.

Ocak, 2023; 69 sayfa

M.Sc. THESIS

DESIGN AND ANALYSIS OF A NATURAL GAS FUEL COGENERATION SYSTEM: AKSARAY UNIVERSITY CASE

Emrah ÇALIŞ

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

ABSTRACT

In this study, in order to use the energy efficiency of Aksaray University at a high level, the economic analysis of the cogeneration system was made according to the energy needs of the university. Increasing population in the world, technological advances and people's desire to live in modern conditions naturally increase. For this reason, the amount of consumption in energy resources such as oil, natural gas and coal, which has increased rapidly in recent years, will cause energy crises now and in the future. At the same time, while the world is trying to heal the wounds of the Covid-19 epidemic, different energy searches will emerge. With this development, the energy crisis in the world will become a crisis in 2022 and the following years. For this reason, while the search for new resources continues, existing resources should be used economically, efficiently, with maximum recovery and energy consumption saving. One of the most suitable processes for these pursuits is cogeneration systems. A Cogeneration or Combined Heat and Power (CHP) system is a highly efficient system that simultaneously produces both electricity and usable heat. The cogeneration system provides high energy efficiency, energy savings and reduces greenhouse gas emissions. The main feature of cogeneration systems is generally generating electricity and useful heat through a single process of energy source consumption. With the cogeneration system, electricity is produced at the point of consumption. This means that the supply is not subject to failures and losses associated with transportation and distribution. At the same time, distribution and maintenance costs are eliminated. Less damage to the environment as a result of the use of cogeneration systems to reduce energy consumption and to use cleaner fuels is one of the features that can be considered advantageous in terms of the feasibility of cogeneration systems. As a result of this test study, which was carried out in the light of the listed features, information obtained from the literature, calculations and researches, cogeneration application has proven to be an advantageous system. According to the analysis results of the system, it has been calculated that the university can amortize its investment cost in a short period of approximately 2.85 years as a result of annual depreciation.

Keywords: Cogeneration, Natural Gas, Economic Analysis, Dynamic Payback Period, Greenhouse Gas Effect.

January, 2023; 69 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Elektrik ve ısınn ayrı, ayrı ve birlikte üretilmesi halindeki yakıt giderleri.	3
Şekil 1.2. Kojenerasyon bileşenleri.	6
Şekil 1.3. Güç ünitesine göre kojenerasyon yakıt çeşitleri	15
Şekil 1.4. Doğal gazın tanım ve özellikleri.....	166
Şekil 3.1. Aksaray Üniversitesi.....	2828
Şekil 3.2. Aksaray Üniversitesinin aylara göre elektrik tüketim bilgileri.....	322
Şekil 3.3. Aksaray Üniversitesinin aylara göre doğal gaz tüketim bilgileri.	344
Şekil 3.4. Aksaray Üniversitesinin elektrik ve doğalgaz tüketim değerleri.....	3737
Şekil 3.5. MWM TCG 3016 V8 modeline ait gaz motorunun görüntüsü.....	422
Şekil 3.6. Kojenerasyon sisteminin proses tasarımı.	433
Şekil 3.7. Plakalı ısı değıştiricisi.....	455
Şekil 3.8. Motorlardan kazanılan atık ısı geri kazanım şeması.....	466
Şekil 3.9. Atık ısı kazanı	4747
Şekil 3.10. Atık ısı kazanında egzoz gazından kazanılan ısı şeması.	4848

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Stirling motorlu güç üretim sistemleri özellik ve faydaları	14
Çizelge 3.1. Aksaray'ın 1929 - 2021 yılları arası meteorolojik değerleri	300
Çizelge 3.2. Aksaray Üniversitesinin elektrik tüketim ve maliyet verileri.....	311
Çizelge 3.3. Aksaray Üniversitesinin doğal gaz tüketim ve maliyet verileri.....	333
Çizelge 3.4. Kojenerasyon sistemi seçiminde etkili olan parametreler	355
Çizelge 3.5. Aksaray Üniversitesinin elektrik ve doğalgaz tüketim değerleri.....	377
Çizelge 3.6. Gaz motoru ve gaz türbini yaklaşık verim kıyaslaması.....	388
Çizelge 3.7. Gaz motoru ve gaz türbini yaklaşık güç kıyaslaması	39
Çizelge 3.8. Aralık ayının saatlik tüketim değeri hesabı	39
Çizelge 3.9. MWM TCG 3016 V8 modeline ait gaz motorunun teknik özellikleri.....	411
Çizelge 3.10. Kojenerasyon sisteminin ilk yatırım kaynaklarının maliyeti.....	511
Çizelge 4.1. Kojenerasyon sistemine ait enerji değerleri.....	533
Çizelge 4.2. Kojenerasyon sisteminin çalışması ile bulunan değerler.....	58
Çizelge 4.3. Kojenerasyon sisteminden sonra karşılanamayan enerji miktarları..	59
Çizelge 4.4. Sistemin öncesi ve sonrasına ait aylık giderler ve net kar değerleri....	600

SİMGELER VE KISALTMALAR

BOTAŞ	Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş
CCHP	Kombine Soğutma Isı ve Güç
CHP	Birleşik Isı ve Güç Santrali
EIO	Elektril Isı Oranı
LPG	Liquefied Petroleum Gas
mCHP	Mikro Birleşik Isı ve Güç Santrali
PES	Birincil Enerji Tasarrufu
RCES	Emisyon Tasarrufu
SÖAEM	Sistemden Önceki Aylık Enerji Maliyeti
SSAEM	Sistemden Sonraki Aylık Enerji Maliyeti
c	Özgül ısı
C_K	Yıllık Amortisman Bedeli (TL/YIL)
Gi	Yıllık net kazanç (TL)
Gy	İlk yatırım maliyeti (TL)
I	İlk yatırım değeri (TL)
H	Kojenerasyon sisteminde yakıt ile tüketilen enerji
$\dot{m}$	Kütleli debi
n	Kullanım ömrü (yıl)
tg	Geri ödeme süresi (yıl)
$\dot{Q}_E$	Egzoz gazından elde edilen ısı (kW)
$\dot{Q}_l$	Sistemin toplam ısı yükü (kW)
$\dot{Q}_C$	Ceket suyundan elde edilen ısı (kW)
$\dot{Q}_{El}$	Sistemin elektrik enerji kapasitesi
$\dot{Q}$	Isıl güç
ΔT	Sıcaklık değişimi
f	Yıllık faiz oranı (%)
η_e	Kojenerasyon sisteminin elektriksel verimi
η_{th}	Kojenerasyon sisteminin ısı verimi
η_t	Kojenerasyon sisteminin toplam verimi
η_{net}	Sistemin net verimi

1. GİRİŞ

Enerji, günümüzde en kritik ve önemli tüketim ihtiyaçlarından biri ve yaşamın vazgeçilmezidir. Gelişmekte olan ülkelerin en önemli ihtiyacı hiç kuşkusuz enerjidir. Enerji tüketimi devamlı artmakta ve bu ihtiyaç gelecekte de günümüzdeki gibi devam edecektir. Bugün sahip olduğumuz teknolojik gelişmelerin devam etmesi ve sunduğu imkânların yaşamımızda sürmesi için doğrudan ve dolaylı olarak enerji tüketmek zorundayız (MEB, 2012). Günümüzde harcadığımız enerjinin bugün büyük bir bölümü fosil yakıtlardan karşılanmakta olup, çok düşük bir kısmı için yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edilmektedir.

Enerji tüketim oranları; Dünyada kömür (%30), petrol (%33) ve doğal gaz (%23) olarak görülürken, Türkiye’de ise bu veriler, petrol (%27), doğal gaz (%33), taşkömürü (%15), linyit (%14) ve hidrolik (%4) yüzdelik dilimlerde olduğu görülmüştür (URL-1).

Türkiye, büyüyen nüfusu ve ilerleyen teknolojisine bağlı olarak artan enerji ihtiyacına karşı gelen yerli fosil kaynaklı enerjinin sınırlı olduğundan üretilen enerjinin büyük bir kısmını ithal eden bir ülkedir. 2020’de 28,9 milyar dolar civarında enerji ürünü ithalatı yapan ülkemiz, 2021’de bu ürün grubuna 50,7 milyar dolar ödedi. Başka bir ifadeyle, enerji ithalatının bir önceki yıla oranla yüzde 75 yükseldiği görülmektedir (URL-2). Türkiye’de 2019 yılında sektörlerin net elektrik enerjisi tüketimi, 1990 yılına göre 449% oranında, 2005 yılına göre 98% oranında artmış 2018 yılına göre ise 0,4% oranında azalarak 257,3 TWh olmuştur. 2019 yılında Türkiye’de, elektrik enerjisi tüketiminde en fazla payı sanayi sektörü (45%) ve hizmet sektörü (29%) almış, bunları mesken tüketimi (22%) ile tarım ve diğer sektörler (4%) takip etmiştir (URL-3). Fosil Enerji kaynaklarının yetersiz olduğu ülkemizde, enerjiyi verimli şekilde kullanmak ve tasarruflu kullanımın artırılması ülkemizin enerji ithalatının azaltılması yönünde büyük etkisi olacaktır.

Günümüzde dünya ekonomisi, Kovid-19 salgınının yaralarını sarmaya çalışırken, küresel enerji krizi 2022’de de dünya ekonomisini derinden etkilemeye devam etmektedir. Enerji talebinde tarihi düşüşe neden olan Kovid-19 salgını, kapanmaların ardından tekrar canlanan ekonomi piyasalarının hızla artan petrol, doğal gaz ve kömür talepleri karşısında fosil yakıt piyasalarında şiddetli dalgalanmalara yol açmıştır

(URL-4). Bu süreçte kaynakların azaldığı ve rekabetin arttığı dünyada enerji arzında devamlılık, kalite ve minimum giderleri sağlamak ilk önceliğimiz olacaktır. Bu bağlamda kojenerasyon günümüzde kullanılan inovatif enerji yönetimi modelleri içinde kritik bir seviyede yer tutmaktadır. Kojenerasyon özetle birleşik ısı ve elektriğin aynı sistemden üretildiği bir enerji türüdür. Alınan sonuçlara bakıldığında iki enerji üretiminin de kendi başlarına ayrı sistemlerden karşılanmasından daha ekonomik olduğu görülmüştür.

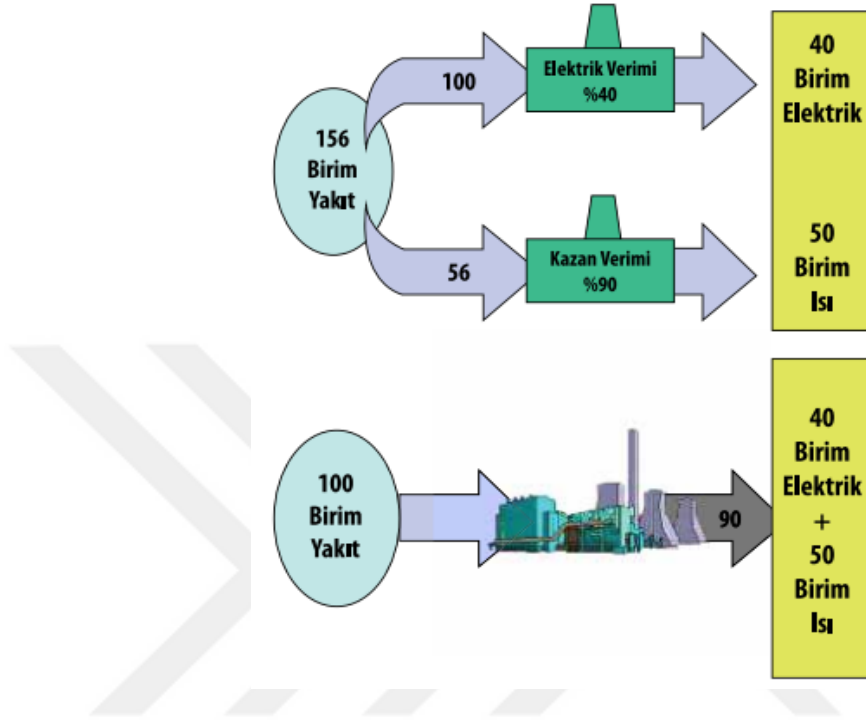
Tek elektrik üreten bir sistem enerjinin %30 - %40 civarını elektriğe çevirebilme potansiyeline sahip olabilir. Bunu kojenerasyon sistemi olarak üretilmesi halinde sistemden egzoza gönderilecek olan ısı enerjisinin büyük bir kısmını da yararlı bir enerjiye çevirerek enerji girişinin %70 - %90 arasında kullanılmasına olanak sağlayabilmektedir. Buna ilaveten kojenerasyon santrallerinde üretilen elektrik enerjisi bireysel kullanım olacağı için iletim ve dağıtım kayıpları yok sayılır ve santral veriminde %15 - %40 civarında artış oluşturabilmektedir.

Bileşik ısı-güç üretimi veya kojenerasyon, elektrik ve ısı aynı güç ünitesinde üretilmesidir. Bu sistemin altında yatan temel düşünce, güç santrallerin de çevreye atılan ısı enerjisi dönüştürülmesidir. Bu yöntem ile sayesinde elde edilen faydalar; proses ısısının sağlanması, kurutma, konut ısıtması, ek güç üretimi olarak sayılabilir. Böylece Ülkemizin birincil enerji kaynağı daha etkin kullanılmış olur. Enerji verimliliğinin yanı sıra, çevreye salınan CO₂ ve diğer zararlı gazların en aza indirilmesi, daha büyük ölçekte ise ilerleyen zamanlarda sera etkisini azaltmakta en önemli faktörlerden biri olacaktır.

1.1 Kojenerasyon Sisteminin Tanımı

Kojenerasyon, elektrik ve ısı üretmek için çok verimli bir teknoloji ve buluştur. Kojenerasyon aynı anda ve aynı proseste ısı ve elektrik ürettiği için Birleşik Isı ve Güç (CHP) olarak da söylenebilir. Tek bir proses ile aynı anda ısı ve elektrik üretmek için bir yakıt kullanılmaktadır. İki farklı proseste ayrı ayrı ısı ve elektrik üretmekten daha verimli, çevreye zararı daha az ve uygun maliyetli olduğu bilinmektedir. Kojenerasyonun, kullanıcılar ve toplumumuz için çeşitli faydaları vardır.

Kojenerasyon prosesi ayrı ısı prosesi ve güç üretiminden %40'a kadar daha verimlidir. Kojenerasyon, verimli olması sayesinde her yıl çok miktarda CO₂ çevreye atılımı azalmaktadır. Şekil 1.1'de elektrik ve ısıyı ayrı üretilmesi durumunda toplamda 90 birimlik enerji üretimine karşılık gelen 156 birim yakıt harcandığı görülmüştür.



Şekil 1.1. Elektrik ve ısıya ayrı, ayrı ve birlikte üretilmesi halindeki yakıt giderleri.

Buna karşılık kojenerasyon sistemi ile birlikte üretilmesi durumunda 100 birim yakıt harcandığı gösterilmiştir. Bu durumda aynı değerlerde enerji üretilmesi için; $100/156=\%64$ oranında daha az yakıt harcandığı gözlenmektedir. Dolayısıyla %36 oranında yakıttan kar edilebilmektedir (Pravadalıoğlu, 2012).

1.2 Kojenerasyon Sistemlerinin Avantajları

Verimlilik: Kojenerasyonun en büyük avantajı, enerji tasarrufu sağlayıp elde ettiği verimliliğidir. Ayrı proseslerde elektrik üretimi, santralde kullanılan yakıt tüketiminin sadece yaklaşık %40'ını elektriğe dönüştürür. Kalan %60 ısı olarak harcanır. Bir kojenerasyon santrali bu boşa harcanan ısıyı en iyi ve faydalı olarak kullanır; enerji kullanımını en üst düzeye çıkarır.

İki enerji türü: İki tür enerjinin oluşturulması; elektrik ve ısı. Standart bir jeneratör yalnızca bir tür enerji yani elektrik üretecektir.

Kararlılık: Kojenerasyon, verimli bir işin yürütülmesi için çok önemli olan tutarlı ve istikrarlı elektrik sunar.

İşletme maliyetleri: Genel olarak, işletme maliyetleriniz kojenerasyon ile azalır.

Atık: Kojenerasyon, başta ısı enerjisi olmak üzere diğer geleneksel düzenlemelerden kaynaklanan enerji israfının miktarını azaltır.

Termal enerji: Kojenerasyon termal enerjisi üretir.

Isıtma maliyetleri: Kojenerasyon ısıtma maliyetlerini düşürür.

Yedek güç: Kojenerasyon aynı zamanda harika bir yedek güç kaynağıdır.

Çevre: Egzoz gazlarından yararlanıldığı için karbon salınımı düşüktür ve çevre dostudur.

Yakıt Çeşitliliği: Çeşitli yakıtlar kullanılabilir.

Tam güce 10 dakika içinde ulaşılır.

Tasarımlar hafif, kompakt ve modülerdir.

1.3 Kojenerasyon Sisteminin Kullanım Alanları

Kojenerasyon sistemlerinin uygulama alanları genellikle yerleşim birimleri, tarımsal alanlar ve sanayidir.

Elektrik ve ısı gereksinimi yüksek olan alanlarda kojenerasyon sisteminden enerji üretimi kullanımı oldukça yüksek sayıdadır. İşletmelere önemli miktarlarda kar sağlamaktadırlar. Kojenerasyon sistemine örnek uygulanabilir alanlar aşağıdaki listede verilmiştir.

1.3.1 Yapılardaki uygulanabilirlik alanları

- Bölgesel ısıtmaya ihtiyaç duyulan yerler
- Hastane
- Otel

- Havaalanı bölgeleri
- Hapishane bölgeleri
- AVM
- Eğitim yapılan bölgeler
- Mağazalar
- Süpermarket
- Ofis binaları
- Tekstil sanayi
- Motor sanayi

1.3.2 Endüstriyel uygulanabilirlik alanları

- Seramik üreten fabrikalar
- İlaç ve kimya üreten fabrikalar
- Tuğla çimento üreten fabrikalar
- Distilasyon ve eritme endüstrisi sanayisi
- Demir çelik üreten fabrikalar
- Kâğıt, ağaç ve kereste üreten fabrikalar
- Gıda üreten fabrikalar
- Petrol rafine endüstrisi
- Cam üreten fabrikalar
- Madencilik endüstrisi
- Kereste üreten fabrikalar
- Damıtma endüstrisi
- Kültür tarımı ve sera endüstrisi

1.3.3 Tarımsal amaçlı uygulanabilirlik alanları

- Balık Üretim Çiftlikleri
- Seralarda

1.4 Kojenerasyon Sisteminin Çalışma Prensibi

Kojenerasyon sisteminin çalışma aşamaları aşağıdaki birbirini takip eden süreçler ile oluşur. Bu süreçlerdeki işlemlerin devamında çalışma sistemi prosesi tamamlanır.

Aşama;

Kompresör veya fan motoru dışarıdan aldığı havanın basıncını artırarak yanma odasına gönderir. Hava güç ünitesinin teknik özelliklerindeki değer kadar basınçlanması gerekmektedir. Aynı şekilde yakıtta yanma odasına gönderilir. Bir kıvılcım yardımı ile oluşacak patlamanın ardından ve meydana gelen ısı enerjisinden faydalanarak krank mili dönmeye başlayacaktır. Ardından mekanik güç elde edilecektir.

Elde edilen mekanik güç bir mil sayesinde jeneratöre ulaşır ardından elektrik enerji çevrimi oluşmaya başlar. Bu süreçlerin ardından kojenerasyon süreci devreye girer.

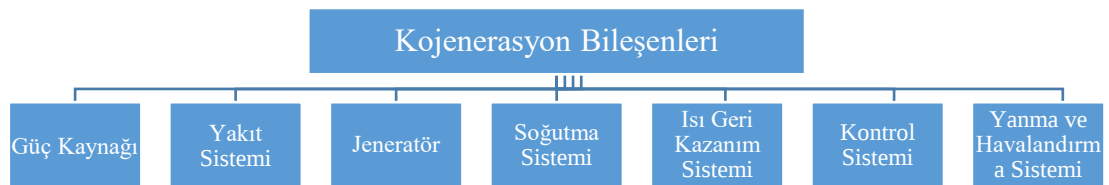
Öncesinde yanma odasında yanan yakıtın ürettiği egzoz gazı atık ısı kazanı ünitesindeki bir ısı değiştiricisine gönderilir. Oluşan buharın bir bölümü ısınma için kullanılan sıcak su elde etme amacı ile ısı değiştiricilere gönderilir. Burada merkezi sistemde sirkülasyon olan hat içerisindeki su ısıtılarak ısınma ihtiyacı karşılanır.

Kojenerasyon; enerjinin, hem elektrik hem de ısı formlarında aynı prostesten üretilmesidir. Yakıttaki ısı enerji bir mil yardımı ile jeneratör elektrik enerjisine dönüşürken; egzoz gazından, motor bloğu ve aftercooler’da proseslerde kullanılabilecek ısı elde edilir.

Atık ısının tekrar enerji üretiminde kullanılması ile birlikte kojenerasyon sistemlerinin yüksek verimli ve tasarruflu sistemler olmasını sağlar.

1.5 Kojenerasyon Sistem Bileşenleri

Kombine bir ısı ve güç sisteminin temel bileşenleri Şekil 1.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Kojenerasyon bileşenleri.

Güç Kaynağı, jeneratörü çalıştırmak için kullanılan bir motordur.

Yakıt sistemi,

Jeneratör, mekanik enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için kullanılır.

Isı Geri Kazanım Sistemi, motordaki kullanılabilir ısıyı almak için kullanılır.

Soğutma sistemi, motordan atılan ve kullanılamayan ısıyı soğutmak için kullanılır.

Yanma & Havalandırma Sistemleri, temiz hava temini ve motorda kalan atık gazların taşınması için kullanılır.

Kontrol Sistemi, güvenli ve yetkin çalışmayı sürdürmek için kullanılır.

Muhafaza, motor ve makinistler için koruma sağlamak ve ayrıca gürültüyü azaltmak için kullanılır.

Kojenerasyon sistemleri 4 ana başlık altında toplayabiliriz.

1.5.1 Güç ünitesi

Yanma ile elde edilen enerjiyi mekanik ve ısı enerjisine çeviren sistemdir. Kojenerasyon proseslerinde mekanik gücün sağlandığı ve güç kaynağı olarak görev yapan ve sistemin tercihinde, verimliliğinde son derece etkilidir. Başlıca güç ünitesi tipleri aşağıda verilmiştir.

- Buhar türbinli güç üretim
- Gaz türbinli güç üretim
- Gaz motorlu güç üretim
- Mikro türbinli güç üretim
- Stirling motorlu güç üretim

Kojenerasyon proseslerinde güç üretim tipinin hangisi olacağına karar verilmesi kullanılacak enerji ihtiyacına göre seçilir. Elektrik ve ısıtma ihtiyacının yanında yakıt tipi ve ekonomikliği, prosesin inşa edileceği yere olan çevresel etkileri dikkate alınarak güç ünitesi seçimi yapılır.

1.5.2 Isı kazanım ünitesi

Atık ısı geri kazanımı, enerjiyi verimli bir şekilde kullanılmasına olanak sağlar. Isı eşanjörleri kojenerasyon sisteminde kritik öneme sahiptir. Günümüz teknolojisi,

mevcut proseslerden çıkan atık ısıının ısıtma ve elektrik üretimi gibi başka amaçlar için yeniden kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Hafif sanayiden ağır sanayiye, enerji tasarrufu ve emisyon azaltma açısından yeterince kullanılmayan bir kaynak olan çok miktarda atık ısı üretilir.

İyi tasarlanmış ısı eşanjörü teknolojisi kullanılarak ısıının geri kazanılması, verimliliği artırmanın basit ve etkili bir yoludur.

Atık ısı geri kazanımının ardındaki temel fikir, bir tesisin bir bölümünde üretilen ısıyı mümkün olduğunca diğer uygulamalarda kullanmaktır. Ne kadar ısıının geri kazanılabileceğini ve yeniden kullanılabileceğini belirlemede önemli bir faktör, ısı eşanjörü teknolojisidir.

Atık ısı kazanları temelde aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır (Othan, 2021).

- Isı eşanjörleri ve elemanları
- Kazan için besleme suyu pompaları ve düzeneği
- Genleşme tankları
- Kompansatör
- Boru düzenekleri

Isı eşanjörleri, ısıyı bir ortamdan diğerine aktarmak için kullanılır. Bu ortamlar gazlar, sıvılar veya her ikisinin bir kombinasyonu olabilir. Ortam, akışkanların karışmasını önlemek için katı duvarlarla ayrılır veya doğrudan temas halinde ayrılabilir şekilde üretebilir. Isı eşanjörleri, ısıyı ihtiyaç duyulmayan sistemlerden verimli bir şekilde kullanılabileceği diğer sistemlere taşıyarak bir sistemin enerji verimliliğini artırabilir.

Sızıntı ve buharlaşma yoluyla kaybedilen suyu telafi etmek için kazana kazan besleme suyu eklenir. Çoğu durumda, yoğunlaşma sisteminden kazana geri dönen yoğunlaşmış buhar, besleme suyunun yoğunluğunu oluşturur. Besleme suyu, dönüş kondensini tamamlamak için kullanılan sudur. Besleme suyu genellikle ham su veya kullanımdan önce herhangi bir işleminden geçirilmiş arıtılmış su olabilen doğal sudur. Bu nedenle besleme suyunun bileşimi, besleme suyunun kalitesine ve geri dönen kondens miktarına göre değişecektir (URL-5).

Su ısındığında, genleşme deposu genişler. Genleşen su, içinde bulunduğu kapalı ısıtma sistemlerinde basıncı etkiler ve bu sistemlerde basınç artışlarına neden olur. Zamanla bu basınç çeşitli dalgalanmalarla daha da artar. Bu dalgalanmalar sistemi bozmaya başlar. Isındıkça genleşen su, kontrol edilmediği takdirde borularda, kazanlarda ve ısıtma sistemlerinde sızıntılara neden olabilir. Bu kaçaklar en zayıf noktasından patlayarak ısıtma sisteminden verim almamamıza ve sistemin arızalanmasına neden olur. Bu basınca ve olası tehlikeye karşı korunmak için tasarlanmış cihaza genleşme tankı denir. Aslında genleşme deposu, artan ısı basıncı ile ısıtma sistemi arasında bir "aracı" görevi görür. Yüksek sıcaklıkların kontrol edilmesini sağlar. Sistemdeki basıncı azaltır, dengeler ve sistemin istenilen performansta çalışmasına yardımcı olur. Günümüzde her kazan dairesinde bir genleşme tankı bulunmaktadır. Genleşme tankı sistemdeki basıncı eşitler. Kauçuk bir diyaframla ikiye bölünmüş küçük bir tanktır. Sistem şu şekilde çalışır; ısıtma sistemine sıcak su girdiğinde sistemdeki basınç yükselir. Bu basınç arttıkça genleşme deposundaki diyafram aşağı doğru itilir. Bu, tanktaki havayı sıkıştırır ve fazla suyun girmesi için yer açar. Sistemdeki aşırı basıncı azaltır, böylece boruların zarar görmesini önler (URL-6).

Kompansatör, sıcak akışkan taşıyan ya da yüksek oranda ısı değişimine maruz kalan boru bağlantılarında hattaki esnemeleri absorbe edecek körüklü parçalardır.

Boru demetleri, prosesteki akışkanı taşıyan borulardır.

1.5.2.1 Atık ısı geri dönüşüm sisteminin avantaj ve dezavantajları

İşlem sonrası kullanılan ısı sağlanan ortamı kısmen bozabilir. Verimli geri kazanım için elektrik üretmek için bu atık ısıyı kullanmak çok caziptir. Egzoz gazları, büyük miktarda kullanılan proses ısısı tarafından üretilir. Örneğin doğalgaz santrallerindeki gaz türbinleri egzoz gazı üretir. Bu gaz daha sonra buhar üretmek için bir buhar türbinine gönderilir. Doğalgaz santrallerinde genellikle oluşan atık ısının değerlendirilmesi için atık ısı kazanları sağlanmaktadır. Böylece üretilen kullanılmış ısı çevreye verilmeden değerlendirilmekte ve ayrıca sisteme ek verim sağlamaktadır (URL-7).

Avantajlar:

- Geri dönüşüm süreci, yakıt tasarrufu sağlama ve verimliliği artırma açısından çok verimli ve uygun maliyetlidir.
- Açığa çıkan atık ısı geri dönüştürülebildiği için hava ve ısı kirliliğinde önemli azalma olur.

Dezavantajlar:

- Atık ısı geri kazanım sistemleri çok yaygın olmadığı için çok pahalıdır.
- Proses sonucu oluşan ısıнын kalitesi sistemi zora sokması büyük dezavantajlardan sayılabilir (URL-8).

1.5.3 Jeneratör ve bileşenleri

Mekanik güç ünitesi, alternatör ve yardımcı ekipmanlardan oluşur. Motora bir şaft ile bağlı bulunan alternatör üzerinden elektrik enerjisi üretilir.

Bu mekanik güç ünitesinde, rotasyonunun hızını kontrol etmek için hassas hız ayarlayıcı ünitesi olan elektrik ayarlayıcısı olur. Giren gazı ayarlayan bir regülatör olmalıdır. Titreşimi sönümleyen yapıda olması gerek, prosese uygun yağlama sistemi olması gerekmektedir. Bu özellikler prosesin verimli çalışmasında etkilidir.

Egzoz emisyonları seviyesi ilgili yönetmelik sınır değerleri içindedir. Hava/yakıt karışımı oranı kontrolü, ateşleme kontrolü, devir kontrolü ve start-stop kontrolü motor üstünde bulunan kontrol merkezinden yapılır. Bu kontroller sınır değerleri belirli seviyede tutar.

Alternatör, mekanik enerjiyi AC elektrik enerjisine dönüştüren bir ekipmandır.

Prosesi tamamlayan yardımcı ekipmanlar; çelik konstrüksiyon, izolasyon, hidrolik sistem vb. gibi ekipmanlardan oluşur.

1.5.4 Kontrol sistemi

Sistem uygun çalışma için bir kontrol merkezini, elektrik güç girişi, sıcaklık ve basınç duyar elemanları ve diğer gerekli elemanlarının sistemlerin izlenmesi ve kontrolü için kullanılır. Bu sistemin avantajlarının biri de geçmiş veri arşivinde bulundurabilir.

Kontrol sistemi uzaktan izleme ve kontrolü de mümkündür. Ayrıca bu sistemlerin üzerinde oluşacak arızalarda kontrol sisteminden izlenebilir.

1.6 Kojenerasyon Sisteminin Güç Üretim Sistem Tipleri

Temel olarak, kojenerasyon santrallerinin türleri, işletme süreci ve enerji kullanım tiplerine göre sınıflandırılır. Bu nedenle, kojenerasyon sistemlerinin türleri, tepe çevrimi ve dip çevrimidir. Tepe çevrimi sistemi elektrik üretimi ile başlar yan ürün atık ısıdan elektrik üretir. Dip çevrimli tesisler ise önce ısı üretir - atık ısı, daha sonra elektrik üretmek için kullanılan buhar üretir. Dip çevrimli tesisler çok yüksek sıcaklıklı fırınlar kullanan endüstrilerde bulunur. Kısmen fazla elektriği satmak daha kolay olduğu için, çevrim santrallerini doldurmaktan daha az yaygındırlar.

Tepe çevrimli santraller en popüler ve yaygın olarak kullanılan kojenerasyon sistemleridir. Bir tepe çevrimli enerji santralleri temel olarak beş tipte sınıflandırabiliriz.

1.6.1 Buhar türbinli güç üretim sistemleri

Bu tesisler oldukça yaygındır ve buhar türbinine güç sağlamak için buhar kondansatörünü kullanan bir ısıtma sistemi prensibiyle çalışır.

1.6.2 Gaz türbinli güç üretim sistemleri

Bu tesisler ile türbinin baca gazında atık ısı üretilir. En yaygın yakıt doğal gazdır. Gaz türbini tesisleri tipik olarak büyüktür ve iç mekânlarda değil, gaz hattına erişimi olan sesi azaltılmış muhafazalarda depolanır.

1.6.3 Gaz motorlu güç üretim sistemleri

Bu tesisler, genellikle bakımı daha küçük bir gaz türbininden (5 MW) daha kolay olan bir gaz motoru kullanır. Kullanılan en yaygın yakıt, doğal gaz veya propandır. Bu tesisler tipik olarak eksiksiz bir paket olarak gelir ve ısıtma, elektrik ve gaz sistemlerine bağlantıları olan büyük bir depo tipi odada depolanır.

1.6.4 Mikro türbinli güç üretim sistemleri

Mikrotürbinler, yaklaşık olarak bir buzdolabı boyutunda, çıkışları 25 kW ile 500 kW arasında olan küçük içten yanmalı türbinlerdir. Otomotiv ve kamyon turboşarjlarından, uçaklar için yardımcı güç ünitelerinden ve küçük jet motorlarından evrimleşmişlerdir. Çoğu mikro türbin bir kompresör, yanma odası, türbin, alternatör, reküperatör (kompresör aşamasının verimliliğini artırmak için atık ısıyı yakalayan bir cihaz) ve jeneratörden oluşur.

Mikrotürbinler, bileşenlerinin fiziksel düzenine göre sınıflandırılırlar: tek şaftlı veya iki şaftlı, basit çevrimli veya geri kazanımlı, ara soğutmalı ve yeniden ısıtılmalı. Makineler genellikle dakikada 40.000 devirden fazla döner. Yatak seçimi - yağ veya hava - kullanıma bağlıdır. Yapımı daha basit ve ucuz olduğu için daha yaygın olan tek şaftlı mikrotürbinlerin dakikada 90.000 ila 120.000 devir arasında yüksek dönüş hızlarına sahiptirler. Buna karşın, AC gücünün frekansını değiştirmek için bir invertör gerektirmeyen makine tahrik uygulamaları için ayrı şaft gereklidir.

Mikrotürbin jeneratörleri ayrıca iki genel sınıfa ayrılabilir:

Basit çevrim mikro türbinler; Basit bir çevrimde, sıkıştırılmış hava yakıtla karıştırılır ve sabit basınç altında yakılır. Ortaya çıkan sıcak gaz, türbin aracılığıyla genişleyerek iş gerçekleştirilir. Basit çevrimli mikro türbinler, yaklaşık %15 civarında daha düşük verimliliğe sahiptir, ancak aynı zamanda daha düşük sermaye maliyetlerine, daha yüksek güvenilirliğe ve kojenerasyon uygulamaları için geri kazanılmış ünitelere göre daha fazla ısıya sahiptir.

Geri kazanılan mikro türbinler; Geri kazanılan üniteler, bir egzoz akışından ısının bir kısmını geri kazanan, bunu gelen hava akışına aktaran böylece yanma odasına sağlanan hava akışının sıcaklığını artıran bir sac metal ısı değiştirici kullanır. Bir kojenerasyon konfigürasyonunda daha fazla egzoz ısı geri kazanımı kullanılabilir. Aşağıdaki şekiller, geri kazanılmış bir mikrotürbin sistemini göstermektedir. Yakıt-enerji-elektrik-dönüşüm verimlilikleri %20 ila %30 aralığındadır. Ayrıca, geri kazanılmış üniteler ön ısıtmadan %30 ila %40 arasında yakıt tasarrufu sağlayabilir.

Mikrotürbinler için başlıca uygulamalardan bazıları şunlardır:

Yerinde üretim; güç şebekelerinden uzakta, bağımsız, yerinde uygulamalardır.

Kaliteli güç ve güvenilirlik; düşük frekans değişimleri, voltaj geçişleri, dalgalanmalar, düşüşler veya diğer kesintilerden uzaktır.

Bekleme gücü; elektrik şebekesine yedek olarak, bir kesinti durumunda kullanılır.

Pik azaltımı; elektrik kullanımının ve talep ücretlerinin yüksek olduğu zamanlarda kullanılır.

Güç artırımı; mevcut üretim kapasitesinin tüketimini karşılamadığı durumlarda kullanılır.

Düşük maliyetli enerji; mikrotürbinlerin kullanımı ile bireysel olarak elektriğin üretilmesi kuruluşundan satın almaktan daha ucuz ve ihtiyaç duyulduğunda ekstra ödeme gerekmez.

Isı ve güç birleşimi (kojenerasyon); mevcut termal proses için atık ısıyı kullanarak yerinde elektrik üretiminin verimliliğini artırır.

Mikrotürbinler, dağıtılmış güç üretimi için birçok potansiyel avantaj sunar. Mikrotürbin teknolojisinin güçlü ve zayıf yönleri aşağıda çizelgede listelenmiştir.

Mikrotürbinlerin güçlü ve zayıf yönlerinden aşağıda bahsedilmektedir.

Güçlü yönleri: Az sayıda hareketli parça, kompakt boyut, hafif, verimli kojenerasyon, düşük emisyon, atık yakıtlarla çalışabilme, uzun bakım aralıkları, vibrasyon problemi olmayan, pistonlu motorlara göre daha az sesli olması ve enerji güvenliğini artırmasıdır.

Zayıf yönleri: Yakıttan elektriğe düşük verimlilikte geçmesidir. Daha yüksek ortam sıcaklıklarında güç çıkışında ve verimlilikte kayıp yüksek olmasıdır.

1.6.5 Stirling motorlu güç üretim sistemleri

Mikro Kombine Isı ve Güç (mCHP) sistemlerinin bir üyesi olan Stirling motoru CHP sistemleri, son teknoloji ürünü bir Stirling jeneratörü, yüksek verimli bir yanma süreci

ve endüstrinin önde gelen su ısıtma transferi teknolojisini kullanarak yüksek işletme verimliliği sağlamaktadır.

Stirling motoru CHP Sistemi boyutları, hafif ticari veya büyük konut uygulamaları için tasarlanmıştır. Daha büyük saha ihtiyaçları için birden fazla ardışık sistemin birlikte kullanılabileceği unutulmamalıdır.

Stirling motorlu güç üretim sistemleri özellik ve faydaları Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Stirling motorlu güç üretim sistemleri özellik ve faydaları (URL-9).

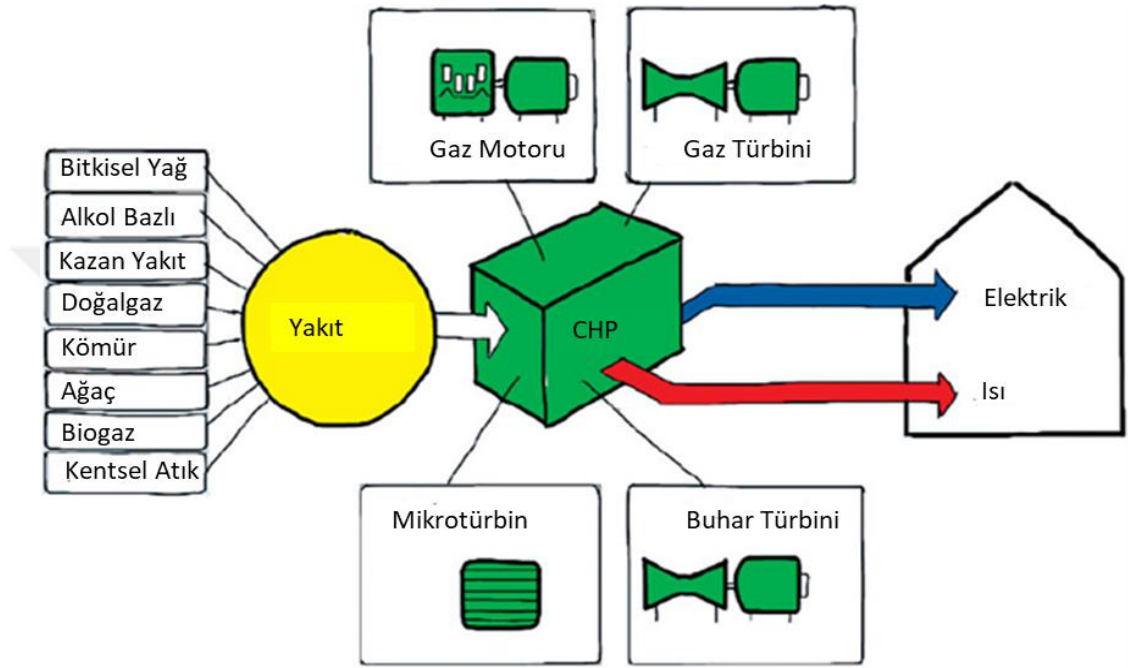
Özellikler	Fayda
Bakım gerektirmeyen jeneratör	Yağ değişimi yok
Hermetik contalı ortam (motor seviyesi) 60.000 saatlik döngüde sıfır bakım	Rulman yok
Sistem, kazan benzeri bakım döngüsü için tasarlanmıştır	Şanzıman yok
%95e varan Yüksek verimli motor	Düşük emisyon ve azaltılmış işletme maliyetleri
Düşük titreşim seviyesi (motor kayışlar kullanılarak askıya alınır)	Konutlarda uygulama kolaylığı
Esneklik	Herhangi bir gaz ile çalışır.
Gaz agnostik motor (dıştan yanmalı)	
Bağımsız şebeke frekansı	Universal kullanım
Ardışık kullanıma uygun modülerlik	Hızlı kurulum

CHP Stirling motoru termal enerji üreten standart bir kazan gibi çalışır, ancak Stirling motoru, motoru başlatmak için kullanılan doğal gaz veya LPG yakıtı ile oluşturulan ısının bir kısmını kullanarak elektrik üretir. Üretilen termal enerji, konut içi sıcak su ihtiyacı, alan ısıtmanın sağlanması, bir yüzme havuzunun, sıcak küvetin veya termal ısı yükü talebi olan diğer herhangi bir ticari uygulama türünün ısıtılması için kullanılabilir.

1.7 Kojenerasyon Sisteminde Kullanılan Yakıtlar

Kojenerasyon proseslerinde yakıt olarak çeşitli katı ve sıvı çeşitli yakıtlar kullanılır. Kurulacak kojenerasyon santralleri seçimi oluşturulmasında kullanılacak yakıt gazının tedariki ve maliyeti çok büyük etkiye sahiptir. Prosesin ekonomik olarak geri dönüşümü yakıtın ekonomikliği açısından bu süreyi en aza indirebilir.

Güç ünitelerinin türüne göre kojenerasyon sistemleri için çeşitli yakıtlar kullanılabilir: hem fosil hem de yenilenebilir yakıtlar ve ayrıca atık ürünler kullanılır. Bunlardan doğal gaz, doğada en çok bulunan ve yaygın olarak kullanılan yakıt türüdür. Gaz arzı nadiren kesintiye uğradığı için güvenilir bir kaynak olduğu için ticari bir yakıttır. Diğer yakıtlar genellikle özel işletmelerde, küçük boyutlu tesislerde kullanılır. Güç ünitesine göre kojenerasyon yakıt çeşitleri Şekil 1.3'te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Güç ünitesine göre kojenerasyon yakıt çeşitleri (URL-10).

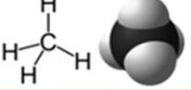
1.7.1 Kojenerasyon sisteminde kullanılan doğal gaz yakıtın özellikleri

Doğal gaz, yüksek ısı değeri, uygun yakıt maliyeti ve birçok lokasyonda bulunabilirlik gibi birçok avantaj sunmaktadır. Aynı zamanda temiz, düşük karbonlu bir yakıttır. Kömürle çalışan CHP'ye göre %40 ila 50 daha az CO₂ üretir. Bu özellikler, doğal gazı birçok kojenerasyon tesisi için tercih edilen yakıt haline getirmektedir.

İlk olarak doğal gazı tanımını yapacak olursak doğadan geldiğini anlamamız gerekir. Doğal gaz, farklı moleküler özelliklere sahip, doğada kendiliğinden oluşan dört farklı gazın birleşiminden meydana gelmektedir. Bu karışım öncelikle, etan, bütan ve propan ile birlikte doğal gazın %70-90'ını oluşturan metandan oluşur. Bu gazlar, milyonlarca yıldır Dünya yüzeyinin derinliklerinde gömülü olan ölen hayvanların sıkıştırılmış ısı ve basıncının bir sonucudur. Doğal gaz, doğal gaz sondajı ve petrol sondajlarından çıkarılır.

- Doğal gaz, diğer enerji kaynaklarına göre aşağıdakiler gibi avantajlar sunan faydalı bir doğal enerji kaynağıdır:
- Daha az kirlilik,
- Doğal gaz kokusuz, renksiz, yanıcı ve toksik değildir.
- Daha az kimyasal olarak karmaşık,
- Yanma daha az kirlilik sağlar,
- Daha az karbondioksit (birincil sera gazıdır), kükürt dioksit (asit yağmurunun birincil sebebi), nitrojen oksitler (dumanın birincil sebebi) ve partikül madde (sağlığı ve görüşü etkiler), diğer enerji kaynaklarına göre avantajı,
- Uygun fiyatlı,
- Güvenilir, yani ekstraksiyon için uygundur.
- Doğal gaz aynı zamanda aşağıdaki yollara da temiz bir enerji kaynağı olmaktadır:
- Etanol için gübre yapmak,
- Evler ve işletmeler için elektrik üretmek,
- Karada ve denizde ulaşım,
- Elektrik üretimi,
- Hidrojen için metan yapmak,
- Üretim ürünlerimizin çoğunda kullanılmaktadır (URL-11).

Şekilde daha önce tanımı yapılan ve özelliklerinden bahsedilen doğal gazın, tanım ve özellikleri Şekil 1.4 göstermektedir.

Doğal gaz	
	
Genel	
Diğer adlar	Gaz
Moleküler formül	
Görünüm	Renksiz gaz
Özellikler	
Yoğunluk ve faz	0.717 kg/m ³ , gaz g/cm ³
Ergime noktası	-182.5 °C (90.6 K)'de 1 atm
Kaynama noktası	25 °C (298 K)'de 1.5 GPa°C
	-161.6 °C (111.55 K)
Tehlikeler	
Malzeme güvenlik bilgi sayfası	
Ana tehlikeler	Oldukça yanıcı
Parlama noktası	-188 °C
Kendiliğinden tutuşma noktası	537 °C
Patlama limiti	%5-15
İlgili bileşikler	
İlgili alkanlar	Etan Propan
İlgili bileşikler	Metanol Klorometan

Şekil 1.4. Doğal gazın tanım ve özellikleri.

1.8 Kojenerasyon Sisteminde Sistemin ve Güç Kaynağı Seçimi

Bir CHP sisteminin ekonomikliği, genel sistem verimliliği için kullanıcının gereksinimleri dikkate alınarak teknik açıdan uygun şekilde seçilmelidir. Isı ve gücü birleştirmek çok büyük bir yatırımdır, bu nedenle sistemin uygulanabilirliği dikkatle kontrol edilmelidir (Özdemir, 2011).

Kojenerasyon sistemlerinin yatırımlarında ana amaca bağımlı olarak genellikle türbin veya motorlu sistemler seçilir. Elektrik ihtiyacının ısı ihtiyacından fazla olduğu tesislerde gaz motorlu, ısı ihtiyacının elektrik ihtiyacından fazla olduğu tesislerde ise gaz türbinli kojenerasyon sistemleri tercih edilir. Uygun kojenerasyon sistem seçimi aşağıdaki parametreler dikkate alınarak yapılabilir (Erişmiş, 2021).

Yakıt: Kojenerasyon sistemi seçiminin ana parametrelerinden biridir. Yakıtın ekonomikliği, sürekliliği, depolanma durumu, ısı değeri önemlidir (Erişmiş, 2021).

Türkiye için özellikle doğalgaz bulunduğu yerlerde sistem çok ekonomiktir. İlk yatırım maliyetini geri ödeme süresi 2 yıl, hatta daha da altına düşürebilir. Bu durumda sistem daha ekonomik olur (Özdemir, 2011).

Elektrik Isı Oranı (EIO): Kojenerasyon sisteminin ilk kez uygulanacağı tesislerde, tesislerin ısı ve elektrik ihtiyacı sistem seçimi için çok önemli etmendir. Tesisin elektrik ihtiyacının ısı ihtiyacına oranı sistem seçiminde büyük oranda fikir verir (Erişmiş, 2021).

Yük Eğrisi: Kojenerasyon sisteminin uygulanacağı tesisin ısı yükü ve elektrik yükü eğrisi belli zamanlarda aşırı değişkenlik gösteriyorsa tüketim birden fazla sistem ile karşılanmalıdır (Erişmiş, 2021).

Tesis Kapasitesi: Tesisin ihtiyaç duyduğu enerji miktarı büyüdükçe sistem seçimi de gaz türbinine doğru yönelir (Erişmiş, 2021).

Ortam Sıcaklığı: Gaz türbinleri ortam sıcaklığına duyarlıdır. Gaz motorları fazla hassas değildir, bu nedenle bazı uygulamalarda kullanılması kaçınılmaz olabilir.

Start Sayısı: Gaz motorları daha kolay devreye alınabilir. Bu nedenle start sayıları çok olan tesislerde gaz motoru kullanılabilir (Erişmiş, 2021).

Güç kaynağı seçimi daha önce de belirtildiği gibi kojenerasyon ünitelerinde gaz türbini, buhar türbini ve içten yanmalı motorlar güç kaynağı olarak kullanılabilirler. Güç kaynağı kararı verilirken tesisin elektrik ısı oranı (EIO) dikkate alınmalıdır.

- $E/I > 1$ ise motor,
- $E/I < 0,8$ ise türbin seçilmelidir.
- $0,8 < E/I < 1$ ise çok ayrıntılı inceleme yapılır (Erişmiş, 2021).

1.9 Kojenerasyon Sisteminin Enerji ve Maddi Kazancı

Kojenerasyon veya birleşik ısı ve güç, aynı anda elektrik ve faydalı ısı üretmek için bir ısı makinesinin veya elektrik santralinin kullanılmasıdır. Kojenerasyon, geleneksel elektrik santralleri ve kazanlardan sağlanan elektrik ve ısı ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayabilir. Kojenerasyon sistemi otomatik ve uzaktan izlenen sistem, zamanında ve uygun maliyet ile hem enerji hem de maddi kazanç sağlar.

Kojenerasyon sistemleri maliyetini açıklayan tasarruf yolları 4 ana başlık altında açıklanabilir.

1.9.1 Kojenerasyon sistemlerinde yüksek verimlilik

Kaliteli CHP (birleşik ısı ve güç), birincil enerji verimliliğini sağlamada çok önemli bir rol oynar ve ayrı şebeke gücü ve bireysel kazanlar kullanmaktan neredeyse iki kat daha verimlidir. Doğru boyutlandırılmış kojenerasyon sistemleri, %90'a varan olağanüstü yüksek verimlilikler sağlayabilir.

Geleneksel elektrik santralleri önemli miktarda atık ısı üretir. CHP sistemlerinin en önemli avantajı, kojenerasyon sırasında 'kaybedilen' ısıнын çoğunu geri kazanmaları ve bu geri kazanılan ısı, suyu veya proses ısıtmasını ısıtmak için kullanılmaktadır.

Alternatif olarak, bir absorpsiyonlu soğutma grubu eklenerek kombine soğutma, ısı ve güç (CCHP)/trijenerasyon uygulaması için bir CHP kurulumu da yapılabilir. Burada atık ısı, soğutma ve proses soğutma gibi enerjinin yoğun proseslerde veya iklimlendirmede kullanılmak üzere soğutulmuş su oluşturur.

CHP ayrıca, uzak elektrik santrallerinden müşterilere elektriği taşıırken herhangi bir iletim kaybı (yaklaşık %7-8) yaşanmadığından güç verimliliği de sağlar.

1.9.2 Kojenerasyon sistemlerinde düşük yakıt maliyetleri

Kurulmuş olan CHP, genellikle doğal gaz şebekesinden yakıt gazını toptan temin edeceğinden daha ucuz bir oranda elektrik üretecektir. Çünkü toptan gaz fiyatları, üretilen elektrik fiyatlarını daha düşük olmasına sebep olacaktır.

Bunun nedeni, enerjinin fiyatı ile bu enerjiyi üretmek için kullanılan yakıtın maliyeti arasındaki fark ne kadar az oldukça o kadar avantajlı olur.

1.9.3 Kojenerasyon sistemleri ile yüksek tarife fiyatlandırmasından kaçınmak

CHP sistemlerinin genel verimliliğini en üst düzeye çıkarmak ve her zaman enerjinin sürekliliğini sağlamak için işletmeler hem jeneratör sistemini hem de elektrik şebeke kaynaklarını kullanırlar. Bu, işletmelere en ucuz olduğunda şebeke gücünden yararlanma ve yoğun zamanlarda kendi ürettikleri gücü kullanma esnekliği verir. Bu, fiyatların aşırı derecede şiştiği pik dönemleri gibi en pahalı saatlerde şebeke gücünden faydalanmaktan kaçınabilecekleri anlamına gelir.

1.9.4 Kojenerasyon sistemlerinde vergi avantajları ve mali teşvikler

Ek mali teşvikler CHP için ekonomikliği daha da artırmaktadır. En önemlilerinden biri, tipik bir işletme enerji faturasındaki toplam ücretlerin yaklaşık %5'ini oluşturan ve en büyük çevre vergilerinin muafiyettir.

Mevcut bu ekonomik ortamda, birçok işletme sermayelerini kullanmak konusunda isteksizdir. Esnek finansman seçenekleri yaygın olarak mevcut olduğundan, bu CHP'nin benimsenmesine engel değildir. Düşük maliyetli elektrik satın alma sözleşmeleri ve enerji hizmeti sözleşmeleri dâhil olmak üzere çeşitli seçenekler vardır.

Finans hem kısa hem de uzun vadeli belirli proje gereksinimlerini ve iş hedeflerini karşılayacak şekilde uyarlanabilir. Bu, anında enerji tasarrufu ile sıfır sermaye yatırımı anlamına gelebilir ve böylece alternatif stratejik yatırımlar için sermayeyi serbest bırakabilir (URL-12).

1.10 Kojenerasyon Sisteminin Çevresel Faktörleri

CHP, maliyet tasarrufu sağlamanın yanı sıra, özellikle konvansiyonel üretimde boşa harcanan ısıyı geri dönüştürme ve yeniden kullanma konusundaki yüksek verimliliği sayesinde karbon emisyonlarını da azaltabilir. Tabii ki, biyogaz gibi yenilenebilir yakıtlar kojenerasyon için kullanıldığında, karbon tasarrufu daha da artırmaktadır.

Yüksek verimliliği nedeniyle bir doğal gaz CHP sistemi, işletmelerin sıfır karbon salınımı hedeflerine doğru ilerlemesine katkı sağlayarak diğer düşük ve sıfır karbon önlemlerini destekleyebilir. Bazı işletmeler, CHP'den elde ettikleri nakit tasarruflarını geri ödeme süresini kısaltmak için daha yeni yenilenebilir teknolojilere yatırım yapabilirler.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Erişmiş (2021), tarafından yapılan çalışmada Atatürk Üniversitesi kampüsü için kurulması planlanan kojenerasyon santralinin ekonomik analizi yapmışlardır. Kojenerasyon sistemi proses seçiminde Atatürk Üniversitesi kampüsünün elektrik tüketimi, Elektrik/Isı oranı, ve gerekli ısı enerjisi miktarının yıl içinde aşırı değişkenlik göstermesi etkili olmuştur. Ayrıca bu çalışmada soğuk iklim bölgelerinde elektrik/ısı oranından faydalanılamayacağı kanaatine varılmıştır. Bunun nedeni bu bölgelerde kış aylarında duyulan ısı ihtiyacının elektrik ihtiyacından oldukça fazla olmasıdır. Yaz aylarında ise ısı ihtiyacı neredeyse hiç yoktur. Bu şartlar göz önünde bulundurularak doğalgaz motorlu sistemin seçilmesini etkilemiştir.

Kabacan (2019), tarafından yapılan çalışmada Bir CHP tesisinin kapasitesi seçilirken, kampüsteki güç tüketim seviyeleri, güç ve ısıtma enerjisi gereksinimlerinin oranı ve gerekli güç çıkışının yıl boyunca oldukça değişken olduğu gerçeği de dikkate alınır. Bu çalışmanın bulgularından biri de Muş Alparslan Üniversitesi yerleşkesinin soğuk bir iklimde yer almasıdır. Bir sistem seçilirken, yaygın uygulamaların güç-ısı oranından tam olarak yararlanamadıkları için doğal gazla çalışan CHP sistemleri tercih edilmiştir. CHP sistemlerini daha güvenilir ve ekonomik hale getirmek için kullanılan yakıtların sürekli, güvenilir, kolay ve ucuz bir şekilde temin edilebilmesi nedeniyle doğal gaz en uygun yakıt olarak tercih edilmiştir.

Özdemir (2011), tarafından yapılan çalışmada Çekmeköy’de 5 site üzerinde kojenerasyon sisteminin ekonomikliği araştırılmıştır. Kojenerasyon sistemi seçiminde 3 temel kriterin maksimize edilmesi gerektiği incelenmiştir. Bunlardan en önemlisi kojenerasyon sisteminin maksimum kapasite çalışması olduğu düşünülmüştür. Daha sonra elektrik üretiminin maksimum oranda karşılanması olduğu düşünülmüştür. Daha sonrada ısı ihtiyacının maksimum oranda karşılanması karşılanmasıdır. Bu çalışmalarda asıl amaç elektrik ve ısı tüketim değerlerine göre seçilen kojenerasyon sisteminin kapasitesinin maksimum oranda olması, elektrik tüketiminin azami oranda karşılanması ve ısı üretiminin maksimum oranda karşılanmasıdır. Yapılan çalışmalarda elektrik kapasitesini gece saatlerinde ve sabah saatlerinde kojenerasyon sistemi karşılamaktadır. Gündüz saatleri ve akşam saatlerinde yetersiz kaldığı görülmüştür. Isı ihtiyacını da yaz aylarında karşılamaktadır. Fakat kış aylarında kojenerasyon sistemi karşılayamamaktadır.

Uzungöl (2017), tarafından yapılan çalışmada Muğla bölgesinde bir mermer fabrikasının elektrik ve ısı enerji ihtiyacını karşılayacak kojenerasyon sistemi kurulması için fizibilite çalışması yapılmıştır. Fizibilite çalışmasında şirketin 2013-2014 elektrik tüketimi dikkate alınmış ve Ekim ayında minimum elektrik tüketiminin 559 kWh olduğu tespit edilmiştir. Yüksek ısı değeri nedeniyle kojenerasyon santrallerinde doğal gaz tercih edilen yakıt olmuştur. Bir CHP tesisi, kombine bir ısı ve güç santralidir ve ancak elektrik enerjisi ile ısı enerjisini aynı anda üretebiliyorsa uygulanabilir. Bu bilgiler üzerine egzoz ısıdan elde edilecek olan yararlı ısı enerjisi için, yatırım giderleri kaleminin birim maliyete etkisi değerlendirilerek üç farklı senaryo tartışılmıştır. İlk senaryo, atıl ısı enerjisinin kullanılmadığı şirketin mevcut yapısını inceler, bu nedenle birleşik ısı ve elektrik santrali verimliliği, %42 elektrik verimliliğine eşittir. İkinci senaryoda, yasal gerekliliklere göre toplam verimin en az %75 olması gerekir. Son senaryoda ise olabilecek en faydalı model incelenmiştir. %42 elektrik veriminin yanı sıra %41 de yararlı ısı enerjisi kazanımı öngörüldüğü durumundaki senaryodur.

Çakır (2007), tarafından yapılan çalışmada Erzurum Aziziye Araştırma Hastanesi'nin enerji ihtiyacı için iki farklı doğalgazlı CHP sisteminin çalışma koşulları ve karlılığı incelenmiştir. Bu çalışmada, sistem seçimi, seçilen sistem uygulaması ve sistem analizinde kullanılan alışlagelmiş yöntemlerin aksine iyileştirme yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntem yıllık çalışma saatlerini veya koşullarını değil, tesisin günlük çalışma koşullarını dikkate alınmıştır. Kojenerasyon santrallerini daha güvenilir ve ekonomik hale getirmek için yakıt olarak doğal gaz, kolay bulunması, ucuz olması, sürekliliği ve kullanımının güvenilir olması nedeniyle tercih edilmiştir. İncelemenin ilk sonuçları, CHP sisteminin kurulacağı tesisin soğuk bir iklimde yer almasından kaynaklanmaktadır. Sistemi seçtikten sonra, tipik uygulamalarda olduğu gibi ısı-elektrik oranından tam olarak yararlanılamadığı görülmüştür. Ayrıca bir hastaneye CHP sistemi kurmaktan ideal kar ve mali fayda elde etmek zor olduğu görülmüştür.

Othan (2021), tarafından yapılan çalışmada Kars ilinde bulunan Kafkas Üniversitesine için kojenerasyon ve trijenerasyon uygulamaları hem enerji hem de ekonomik açıdan incelenerek hastane için daha uygun olabilecek teknolojilerin karşılaştırılması yapılarak sistemlerin fizibilite çalışmaları yapılmıştır ve bu teknolojiler

karşılaştırılarak hangisinin hastaneye daha uygun çözüm olacağı araştırılmıştır. Sistemlerin ekonomik analizlerinde yaygın olarak kullanılan yıllık amortisman, dinamik ve statik geri ödeme süreleri hesaplanarak kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri karşılaştırılmıştır. Kafkas Üniversitesi Sağlık Araştırma ve Uygulama Hastanesi'ne hangi sistemin daha uygun olacağı hususunda ise kojenerasyon sistemlerinin daha avantajlı ve ekonomik olacağı gözlenmiştir. Sonuç olarak elektrik ve ısı gibi önemli enerjilere sürekli ve yüksek talebi olan hastane gibi tüketici birimlere birçok araştırmacı tarafından güvenilir etiketi yapılandırılan "Birleşik enerji üretim" yöntemleri çevresel, ekonomik ve enerji tasarrufu anlamında geleneksel sisteme göre birçok avantajı olmakla birlikte Kars bölgelerde kojenerasyon uygulamalarının bu yöntemlere daha da uygun olduğu söylenebilir.

Ener (2006), tarafından yapılan çalışmada bir CHP sistemi, uygulama yapılacak yerin ne kadar ısı ve elektrik ihtiyacı olduğu dikkate alınarak seçilmeli ve elde edilen ısıнын mutlaka ihtiyaçları karşılayacak şekilde kullanılması yoluna gidilmesi gerektiği söylenmiştir. Çalışması yapılan örnekte tesisin enerji durumuna göre, kurulması gereken sistemin “Gaz Motorlu” olması tercih edilmiştir. Hesaplamalara göre fabrikanın yaklaşık o tarihte ihtiyaç duyduğu güç miktarı ise 4,5 MW civarındadır. Bu değer o zamanın koşulları için geçerlidir.

Kısakesen (2016), tarafından yapılan çalışmada Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesi'nin enerji ihtiyacını karşılamak için hastanede kurulu CHP ve CCHP sistemlerini karşılaştırdık. Hastaneye uygun CHP sistemini seçmek ve kurmak için öncelikle hastanenin yıllık işletme verileri belirlendi. Hastane için doğru bir kojenerasyon sistem seçimi ve kurulumu yapabilmek için ilk olarak hastanenin yıllık işletme verileri tespit edilmiştir. Çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesinin enerji ihtiyacını karşılamak için kurulacak bir kojenerasyon sisteminin ilk yatırım maliyetine dayalı olarak hesaplanan 2,78 yıllık bir geri ödeme süresi buldu. Hastane için kurulacak trijenerasyon santralinin ilk yatırımına göre hesaplanan amortisman süresi 3,1 yıl olarak belirlendi. Sonuç olarak hem kojenerasyon hem de trijenerasyon sistemlerinin her ikisi de hastane için kârlı bir yatırımlar olduğu kanıtlanmıştır. CHP sisteminin ilk yatırım maliyetini geri ödeme süresi CCHP sistemine göre daha kısa bulunmuştur.

Bala (2002), tarafından yapılan çalışmada Kemerburgaz Çöp Arıtma Tesisi'ndeki atık ısının kojenerasyon sistemi ile değerlendirilmesi anlatılmıştır. Yapılan araştırmalar sonunda bilinen en verimli enerji üretim tekniklerinden birisi olan kojenerasyon sisteminin uygulanabileceği görülmüştür.

Türkoğlu (2019), tarafından yapılan çalışmada doğal gaz depolama faaliyetlerinde kullanılmakta olan 3 adet 10 MW lık gaz türbinlerinden elde edilen baca gazından elektrik üretmek ve kaybedilen ısıyı geri kazanmak için Kojenerasyon sisteminin uygulanabilirliğinin analizini yapmıştır. Tasarlanan sisteme Isı Dönüşüm Buhar Jeneratörü ve buhar türbini düşünülmüştür. Tasarlanan çalışmadan elde edilen veriler sonucunda doğal gaz depolama faaliyetlerinde kullanılıyor olan kompresör sistemleri baca gazı atık ısısının kojenerasyon santralleri kurulumu için uygun olabileceği değerlendirilmiştir.

Kaya, Duymaz ve İmal (2016), tarafından yapılan çalışmada çalışmakta olan Kahramanmaraş Kağıt San. ve Tic. A.Ş Kojenerasyon Tesisi'nin tespit edilen parametrelere göre Termodinamik analizi yapılmıştır. Santralde enerji ve ekserji kaybının olduğu yerler tespit edilmiştir. Enerji ve Ekserji verimleri göze alındığında öncelikli iyileştirmenin kazanda olması gerektiği anlaşılmıştır.

Gözalıcı (2019), tarafından yapılan çalışmada Kastamonu Entegreye ait Balıkesir bölgesinde bulunan bir ağaç sanayisi sektöründe çalışmakta olan gaz türbini destekli kojenerasyon sisteminin termodinamik değerleri incelenmiştir. Elde edilen değerler basit bir gaz türbini kojenerasyon sisteminde kullanılarak %43 oranında verim artışı gözlemlenmiştir. Ayrıca, elyafları ısıtmak için artık ısıyı kullanan sistemde bulunan bir ön ısıtma ünitesinde ekonomizörün gücü kullanılarak, kalan gaz kullanılabilir enerji olarak değerlendirilerek kojenerasyon sisteminin daha verimli hale gelmesi beklenmektedir.

Akdeniz (2007), tarafından yapılan çalışmada Süleyman Demirel Üniversitesi'nin güç ve termal enerji gereksinimlerini karşılamak üzere modellenmiş 10 MW doğal gazla çalışan bir CHP sistemini termodinamik, verimli ve ekonomik olarak inceledi. Gaz türbini kojenerasyon sisteminin ekonomik analizinden sonra, gaz türbini ve gaz motoru sistemlerinin maliyet analizini yaptık ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Beştaş (2018), tarafından yapılan çalışmada Eskişehir ilinde kombine bir ısı ve g sisteminin, doğal gazdan ısıtma ve elektrik enerjisi ihtiyaçlarını karşılayan varsayımsal bir alanda enerjiyi ne kadar verimli kullanıp koruyabileceğini araştırmıştır. Kojenerasyona geçilmeden önceki enerji maliyeti ile kojenerasyona geçildikten sonraki enerji maliyeti arasındaki maliyet farkının incelenmesi sonucunda yıllık %34 oranında enerji tasarrufu etkisi elde edilebildiği görülmüştür. Bu tasarruflar, sistemin kendini 2,9 yılda amorti edeceğini göstermiştir.

etin (2017), tarafından yapılan çalışmada yeni inşa edilen bir hastane binasına kurulan kojenerasyon santralinin ana ekipmanlarını inceleyerek montaj ve devreye alma sürecini gözlemlenmiştir. Araştırma sonuçlarına dayalı olarak trijenerasyon santralinin elektrik üretim miktarı ve ısı miktarının optimal olarak seçilip seçilmediği, sistemin ekonomik verimliliği ve sistemin amortisman süresi incelenmiştir. Santralin saatlik ve yıllık karlılığı belirlenerek geri ödeme süresi belirlenmiştir. Tesisin aylık çalışma süresinin oldukça yüksek seviyeye çıkartma sonucu olarak geri ödeme süresini kısaltılması yönünde olumlu etkilediği görülmüştür. Sonuç olarak trijenerasyon sisteminin hastane tesislerinde enerji maliyetlerini azaltabileceğini göstermektedir

Erdönmez (2014), tarafından yapılan çalışmada Boya Fabrikasına nerilen kojenerasyon santrali için bir ön fizibilite çalışması yapılmıştır. Boya Fabrikasında kojenerasyon kullanılacak olursa elektrik birim satış fiyatı 0,196581 TL/kWh, doğalgaz birim satış fiyatı 0,688600 TL/Nm³ ve çalışma saati 3.750 saat olarak alındığında kojenerasyon santrali kurulmasıyla 418.813 /yıl kazanç sağlayacağı bulunmuştur. Bu kazanç için 1.853.381Euro yatırım maliyeti gerekli olup bu koşullar altında kojenerasyon santralinin geri ödeme süresi yaklaşık 4,43 yıl olarak hesaplamışlardır. Bu durumda elektrik tüketim maliyeti %47 oranında azaltılabileceğini hesaplamışlardır.

Gezer (2014), tarafından yapılan çalışmada doğalgaz yakıtlı 1,2 MW gücündeki gaz motorlu ve çift yakıtlı kojenerasyon sisteminin Türk Ytong San A.ř firmasının Pendik fabrikasına uygulanabilirliği farklı işletme senaryoları ile değerlendirilmiş ve çok olumlu sonuçlar almışlardır. İki farklı senaryo ile ele alınmıştır. İlk senaryo çalışma içeriğinde kojenerasyon sisteminin %75 yük ile çalıştırılması ile sadece kendi elektrik talebini karşılamasıyla geri ödeme süresi değerlendirilmiştir. Diğer bir senaryo ise kojenerasyon sisteminin %100 yükte çalıştırılarak tüketim fazlası üretilen elektrik

enerjisinin dışarıya satma durumu değerlendirilmiştir. %75 ve %100 yükte çalışma halleri tek yakıtlı (doğalgazlı sistem) ve çift yakıtlı (doğalgaz+motorin) sistemler için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çift yakıtlı sistemin yatırım maliyeti çok yüksek olduğundan birçok senaryoda fizibil çıkmadığı için uygulanmamıştır. Kojenerasyon sisteminin konvansiyonel sisteme göre ortalama %35 daha verimli olması, şirkete mali desteğinin olması, devletin enerjideki dışa bağımlılığını azaltması ve son olarak çevreye olan olumlu katkılarından dolayı bu yatırımın gerçekleştirilmesi uygun görülmüştür.

Goza (2013), tarafından yapılan çalışmada İstanbul ilindeki 22.000 m2 kapalı alana sahip, 109 yatak kapasiteli hastaneye uygulanacak kojenerasyon tesisini ekonomik açıdan incelemiştir. Yatırım maliyetinin ekonomik olarak uygunluğunu, üretilen elektrik enerjisi ve ısı enerjisinin maksimum düzeyde kullanılabilecek olduğunu göstermiştir. Farklı kapasitelerdeki 3 farklı motor tipini incelemiş ve 800 Kw kapasiteli motorun daha verimli olduğunu göstermiştir. Sistemin geri ödeme süresinin 2 yıl olduğunu ve sistemin ekonomik ömrü içerisinde 10.000.000 TL kazanç sağlayacağını belirtmiştir.

Özkan (2009), tarafından yapılan çalışmada Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. Kuvvet Santralinin enerji ve ekserji analizleri yapmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu, ekserji tahripleri, ekserji ve enerji verimleri ve geliştirme potansiyeli değerlerini bulmuştur. Buna göre en yüksek ekserji verimine sahip birim gaz türbinlerinin olduğunu, en fazla ekserji tahribi buhar kazanlarında bulunduğunu, en fazla geliştirme potansiyeli buhar kazanlarında bulmuştur. Kuvvet santralinin ekserji analizi en kötü termodinamik performansı gösteren alt sistemlerin tanımlanmasını sağladığı ve bu çeşit bir bilgi ekonomik açıdan sistemin performansının optimize edilmesine yardımcı olacağı tespit edilmiştir. Bu analiz var olan bir sisteme uygulandığı için, yeni operasyon stratejileri geliştirilebileceği tespit etmişlerdir.

Aydoğan (2009), tarafından yapılan çalışmada 20.000 m2 ve üzerinde inşaat alanı olan örnek binada CHP sisteminin uygulanabilirliği enerjik ve ekonomik analizler kullanılarak incelenmiştir. Araştırma dört ana bölüm halinde düzenlenmiştir. Birinci bölümde model binayı tanımlanmış, binanın ısıtma, soğutma, aydınlatma ve yüklerini bulunmuş ve modeli oluşturulmuş. İkinci bölümde alternatif iklimlendirme sistemleri olan; jeotermal ısı pompaları, su ısı pompaları, doğrudan genleşmeli klima ve dörtlü

klimanın enerji bazlı analizi yapılmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde ise binalarda klima dışında kullanılan aydınlatma gibi diğer elektrik yükleri hesaba dâhil edilmiş ve bina gereksinimlerinin örnek bina gereksinimlerine uyması ve bina gereksinimlerinin toplam kapasitenin %80'i olması durumunda iki adet gaz türbinli CHP santrali seçilmiştir. Dördüncü ve son bölüm, sistem duyarlılığının ve riskinin bir analizini sunar. Bu maddelerde ilk yatırım maliyetlerinin geri ödeme süresine etkisinin incelenmesi, toplam inşaat alanı 20.000 m² ve üzeri olan ticari binalar için yapı sistemlerinde ısı pompası kullanımının ekonomik bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Bu sistem kojenerasyon ile desteklenirse ekonomik olarak en uygun çözümü sunmuştur.

İsa, Tan ve Yatım (2018), tarafından yapılan çalışmada enerji santrali, bina ve endüstriyel tesislerde kullanılan mevcut güç kaynaklarının temel işleyişini kapsayan kojenerasyon sisteminin kapsamlı bir incelemesini ele almışlardır. Gaz türbini, buhar türbini, mikro türbin, pistonlu motor ve yakıt hücresi gibi ana güç kaynakları büyüklük (kW), verim ve çalışma prensibi açısından karşılaştırarak belirli kojenerasyon sistemleri için en uygun kontrol stratejisini elde etmişlerdir. Kojenerasyon sisteminin etkinliğini göstermek için hastane, havaalanı, alışveriş merkezi ve otel gibi ticari binalarda bir dizi kojenerasyon uygulamasını inceleyerek kojenerasyon sistemi ile birlikte yenilenebilir enerjinin kullanılması durumunda sistemden maksimum faydanın elde edildiğini göstermişlerdir.

İster (2006), tarafından yapılan çalışmada Mevcut kuruluşlar için trijenerasyon sistemlerinin uygulanabilirliğini araştırmış ve sistemleri uygulanabilir hale getirmiştir. Çalışma, fizibilite parametrelerinin tanımlanması, CCHP sisteminin uygulanabilirliğinin gösterilmesi ve tesiste sistem için çalışma koşullarının belirlenmesi ile sonuçlanmıştır.

Kıncay ve Yumurtacı (2006), tarafından yapılan çalışmada Yıldız Teknik Üniversitesi Davut Paşa Kampüsü'nün yıllık elektrik ve ısı tüketimlerini hesaplayarak, ideal olan kojenerasyon tesisinin ekonomik fizibilitesini yapmışlardır. Bu modelleme ve araştırmalar sonucunda yerleşkede kurulacak kojenerasyon sisteminin toplam getirisinin yılda 1.884.171,40 \$ olup sistemin kendini amorti süresinin 15 ay olduğu ortaya çıkmıştır. Tesisin işletme geliri de yıllık net 573.672,10 \$ olarak elde edilmiştir. Sonuçlar bu veriler ışığında CHP uygulamalarının karlılığını göstermiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında Aksaray ilinde bulunan Aksaray Üniversitesi' nin yıllık enerji ihtiyacı doğrultusunda enerji talebinin karşılanması, birleşik ısı ve güç teknolojisi olan kojenerasyon sisteminin maliyet ve enerji açısından fizibilite analizi yapılarak sistemin uygun olup olmadığı araştırılmıştır.

3.2 Aksaray Üniversitesinin Tanıtımı

Tez çalışmasına konu olan üniversite Aksaray ili Merkez ilçede bulunan Aksaray Üniversitesidir. Aksaray Üniversitesi 17 Mart 2006 tarih ve 26111 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 5467 Sayılı Kanun ile Aksaray'da kurulmuş, mevcut fakülte ve yüksekokullarının Niğde Üniversitesi ile bağlantısı değiştirilerek Aksaray Üniversitesi Rektörlüğü'ne bağlanmıştır.



Şekil 3.1. Aksaray Üniversitesi.

Kampüsün toprak bütünlüğü 5.000.000 m² alan içerisinde Diş Hekimliği Fakültesi, Eğitim Fakültesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İletişim Fakültesi, İslami İlimler Fakültesi, Mimarlık ve tasarım Fakültesi, Mühendislik Fakültesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Tıp Fakültesi, Turizm Fakültesi ve Veteriner Fakültesi olarak 13 fakülte, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Sosyal Bilimleri Enstitüsü olarak 3 enstitü ve Uygulama ve Araştırma Merkezi ve İdari Birimler olmak üzere kampüsteki bu yerleşkelerdeki 169.226,25 m² toplam kapalı alan için kurulacak olan kojenerasyon sisteminin yapılabilirliği incelenmiştir. Aksaray Üniversitesi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

3.3 Aksaray Üniversitesinin Enerji İhtiyacı

Literatür incelendiğinde genelde ulaşılan sonuçlara bakıldığında üniversiteler elektrik enerjisi ve ısı enerjisinin yoğun olarak kullanıldığı yerlerdir. Enerji ihtiyacının potansiyelini belirleyen üniversitedeki fakülteler, enstitüler, uygulama ve araştırma merkezlerinin sayılarının çokluğunun yanı sıra Aksaray ilinin de soğuk iklim kuşağında olması enerji ihtiyacını belirleyen önemli unsurlardır. Sonuçta tüketilen elektrik ve ısı enerjisinin kullanımına da iklimin özellikleri doğrudan etki edebilmektedir.

Aksaray, kuzey ve güney Anadolu dağlarının birbirinden uzaklaştığı İç Anadolu bölümünün orta Kızılırmak kesimine girer. Kuzey yarım kürede ekvatorun 37-38 paralelleri, doğu yarım kürede 33-35 meridyenleri arasında yer alır. Doğuda Nevşehir, güneydoğuda Niğde, batısında Konya ve kuzeyde Ankara ile kuzeydoğuda Kırşehir ile çevrilidir. 7997 km² yüzölçümünde geniş bir alana sahiptir. Aksaray İli orta iklim kuşağında olup, soğuk, karasal iklim tipine sahiptir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlıdır. Yağışlar genellikle ilkbahar ve kış aylarında görülmektedir. Ortalama yağış miktarı (son 40 yıl) 340 mm (kg/m²)’ dir. Yaz-kış ve gece-gündüz sıcaklık farkları çok fazladır (URL-13).

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan sayısal verilere göre Aksaray iline ait ortalama hava ölçümü 1929 – 2021 yılları arasındaki değeri gösteren Çizelge 3.1’de gösterilmiştir (URL-14).

Çizelge 3.1. Aksaray’ın 1929-2021 yılları arası meteorolojik değerleri.

AYLAR	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)
Ocak	0,5	5,5	-3,6	3,1
Şubat	2,1	7,5	-2,2	4,5
Mart	6,4	12,6	1,3	5,7
Nisan	11,5	18	5,5	7
Mayıs	16,1	23,1	9,7	9,1
Haziran	20,2	27,1	13,1	11,1
Temmuz	23,5	30,7	16,2	12,1
Ağustos	23,2	30,7	15,9	11,4
Eylül	18,7	26,7	11,4	9,7
Ekim	13,3	21	6,8	7,1
Kasım	7,2	13,8	2	5
Aralık	2,6	7,7	-1,4	3,2

Aksaray Üniversitesi enerji tüketim ihtiyaçları belirlenirken 2021 yılına ait aylık kullanılan elektrik ve doğalgaz tüketimleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

3.3.1 Aksaray Üniversitesinin elektrik ihtiyacı

Aksaray üniversitesinin elektrik ihtiyacını aynı zamanda da ilinde elektrik gereksinimi Meram Elektrik Perakende Satış A.Ş. tarafından sağlanmaktadır. Tezin konusu olan Aksaray Üniversitesinin elektrik ihtiyacını 2021 yılının 12 ayındaki toplam elektrik tüketim miktarları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Birim olarak kWh kullanılmıştır. On iki ayın toplamına göre tüketim miktarları ve maliyetleri gösteren Çizelge 3.2' de verilmiştir. Birim fiyatı EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Haziran 2022 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler listesinden bakılarak hesaplanmıştır. Elektriğin Birim Fiyatı = 2,638 (TL/kWh) olarak alınmıştır.

Hesaplamaların karşılığı olarak maliyetler belirlenirken hem TL olarak hem de EURO cinsinden verilmiştir. 1 EURO 17,60 TL olarak alınmıştır.

Birim fiyatı ve maliyet tutarları Denklem 3.1, Denklem 3.2 ve Denklem 3.3 göre hesaplanmıştır.

$$\text{Elektriğin Birim Fiyatı (TL/kWh)} = \frac{\text{Aylık Fatura Tutarı (TL) }}{\text{Aylık Tüketilen Elektrik (kWh)}} \quad (3.1)$$

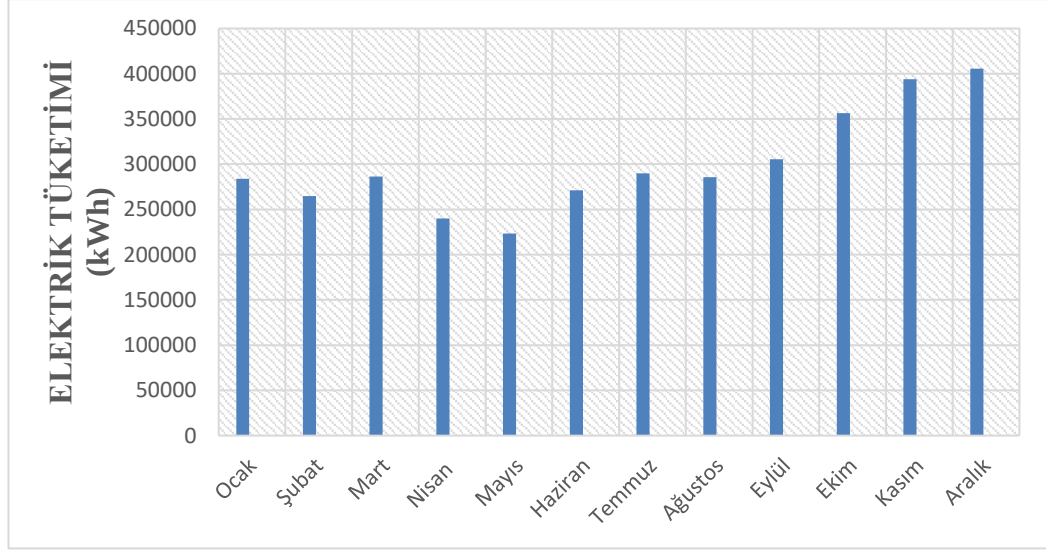
$$\text{Aylık Maliyet (TL) } = \text{ Tüketilen Elektrik (kWh) } \times \text{ Birim Fiyatı (TL/kWh)} \quad (3.2)$$

$$\text{Aylık Maliyet (EURO) } = \text{ Aylık Maliyet (TL) } / 17,60 \text{ TL} \quad (3.3)$$

Çizelge 3.2. Aksaray Üniversitesinin elektrik tüketim ve maliyet verileri.

AYLAR	TÜKETİM DEĞERİ (kWh/ay)	BİRİM FİYATI (TL / kWh)	MALİYET (TL)	MALİYET (EURO)
Ocak	283913,17	2,638	748962,9425	42554,71264
Şubat	264846,9	2,638	698666,2277	39696,94476
Mart	286267,65	2,638	755174,0607	42907,61709
Nisan	240072,98	2,638	633312,5212	35983,66598
Mayıs	223242,25	2,638	588913,0555	33460,96906
Haziran	271136,52	2,638	715258,1398	40639,66703
Temmuz	289819,56	2,638	764543,9993	43439,99996
Ağustos	285585,23	2,638	753373,8367	42805,33163
Eylül	305413,65	2,638	805681,2087	45777,3414
Ekim	356447,56	2,638	940308,6633	53426,6286
Kasım	393891,2	2,638	1039084,986	59038,91964
Aralık	405440,3	2,638	1069551,511	60769,97224
Toplam	3.606.077,01	2,638	9.512.831,152	540.501,77

Üniversitenin ihtiyaç duyduğu enerji gereksinimi şebekeden karşılanır. Aylara göre Aksaray Üniversitesinin elektrik ihtiyacı sütun grafiği üzerinde Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Aksaray Üniversitesinin aylara göre elektrik tüketim bilgileri.

Aksaray Üniversitesinin aylık tüketim bilgileri incelendiğinde kış aylarında ısıtma ihtiyacı için tüketim değerlerinin fazla olması aynı zamanda yaz aylarında soğutma ihtiyacı için klima sistemlerinin soğutma modunda çalıştığından tüketim değerlerinin ilkbahar aylarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu bilgilerin doğrultusunda yıllık toplam 3.606.077,01 kWh elektrik tüketimine karşı 9.512.831,152 TL (540.501,77 EURO) ödenmiştir.

3.3.2 Aksaray Üniversitesinin ısı ihtiyacı

Aksaray Üniversitesinin ısı ihtiyacını Aksaray ilinin de doğalgaz dağıtımını yapan ENERYA tarafından karşılanmaktadır. Aksaray Üniversitesinde doğal gaz dağıtımını üniversite kampüs içerisinde yer alan 19 adet abonelik ile Aksaray Üniversitesi içerisinde yer alan fakültelerin, enstitülerin ve idari binaların hem ısıtma hem de kullanım sıcak suyu vb. uygulamalar için kullanılmaktadır.

Tezin konusu olan Aksaray Üniversitesinin ısı enerjisi ihtiyacını 2021 yılının 12 ayındaki toplam doğal gaz tüketim miktarları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Birim olarak m³ cinsi kullanılmıştır. On iki ayın toplamına göre tüketim miktarları ve maliyetleri gösteren Çizelge 3.3'te verilmiştir. Birim fiyatı Enerya tarafından onaylanan ve 1 Temmuz 2022 – 31 Temmuz 2022 tarihleri serbest tüketici satış fiyatlarına ait değerler listesi göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

Doğal Gazın Birim Fiyatı = 5,345 (TL/ m³) olarak alınmıştır.

Hesaplamaların karşılığı olarak maliyetler belirlenirken hem TL olarak hem de Euro cinsinden verilmiştir. 1 Euro 17,60 TL olarak alınmıştır.

Birim fiyatı ve maliyet tutarları Denklem 3.4, Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 göre hesaplanmıştır.

$$\text{Doğal Gazın Birim Fiyatı (TL/ m}^3 \text{)} = \text{Aylık Fatura Tutarı (TL) / Aylık Tüketilen Doğalgaz (m}^3 \text{)} \quad (3.4)$$

$$\text{Aylık Maliyet (TL) = Tüketilen Doğalgaz (m}^3 \text{) X Birim Fiyatı (TL/ m}^3 \text{)} \quad (3.5)$$

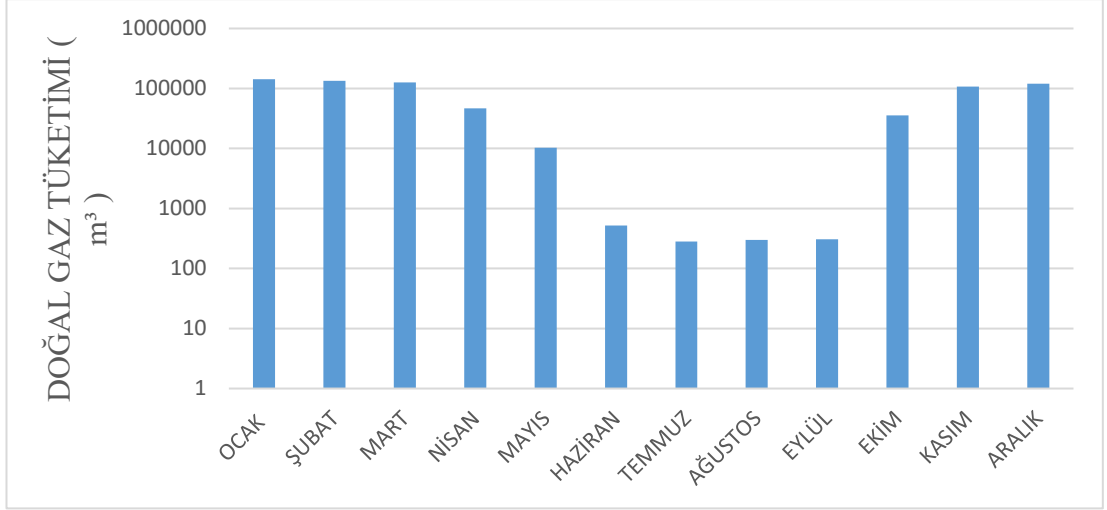
$$\text{Aylık Maliyet (EURO) = Aylık Maliyet (TL) / 17,60 TL} \quad (3.6)$$

Aksaray Üniversitesinin doğal gaz tüketim ve maliyet verileri Çizelge 3.3'te sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Aksaray Üniversitesinin doğal gaz tüketim ve maliyet verileri.

AYLAR	TÜKETİM DEĞERİ (m ³ /ay)	BİRİM FİYATI TL/ m ³	MALİYET (TL)	MALİYET (EURO)
Ocak	141935	5,345	758642,575	43104,69176
Şubat	134510	5,345	718955,95	40849,76989
Mart	126835	5,345	677933,075	38518,92472
Nisan	46573	5,345	248932,685	14143,90256
Mayıs	10315	5,345	55133,675	3132,59517
Haziran	519	5,345	2774,055	157,6167614
Temmuz	283	5,345	1512,635	85,94517045
Ağustos	299	5,345	1598,155	90,80426136
Eylül	308	5,345	1646,26	93,5375
Ekim	35439	5,345	189421,455	10762,58267
Kasım	107892	5,345	576682,74	32766,06477
Aralık	119585	5,345	639181,825	36317,14915
Toplam	724.493	64.140	3.872.415,085	220.023,5844

Aylara göre Aksaray Üniversitesinin doğal gaz ihtiyacı sütun grafiği üzerinde aşağıdaki Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Aksaray Üniversitesinin aylara göre doğal gaz tüketim bilgileri.

3.4 Kojenerasyon Teknolojisi Sisteminin Seçimi

3.4.1 Kojenerasyon sistem seçimiyle ilgili bilgiler

Birleşik ısı güç sistemleri, verimlilik, maliyet, yakıt ve enerji talepleri gibi kriterler değerlendirilerek seçilmelidir. Birleşik ısı güç sistemleri tesisleri kurulmadan önce fizibilite çalışmaları ve mühendislik çalışmaları yapılarak uygulama aşamasına geçilmelidir. Sonuçta çok büyük yatırım olduğu için işletmeye olan karlılığı hesap edilmelidir.

Birleşik ısı güç sistemlerinde fizibilite ve mühendislik çalışmalarında aşağıdaki kriterler etkin rol oynar:

- İşletmenin enerji ihtiyacı
- İşletmenin ısı ve elektrik tüketimi
- İşletmenin çalışma süresi
- İşletmenin yakıta ulaşabilirliği
- İşletmenin mali durumu

Birleşik ısı güç sistemlerinin seçiminde Güç, Elektrik/Isı Oranı ve Verimlilik gibi etmenler etkisi çok büyüktür. Bu yüzden sistem seçimlerinde bu parametrelere dikkat edilmesi gerekmektedir.

Çizelge 3.4. Kojenerasyon sistemi seçiminde etkili olan parametreler (URL-15).

PARAMETRELER	TANIMI
YAKIT	Çeşitli nedenlerle sistem seçimi, kojenerasyon sisteminde kullanılan yakıtın cinsine veya türüne bağlıdır. Bazı uygulamalar, iki veya üç yakıt sistemi gibi birden fazla yakıt sistemi kullanır. Bazı tesislerde, CHP sistemi doğrudan yakıt tarafından seçilir. Örnekler, depolama ve proses gazlarını işleyen sistemleri içerir. CHP sistemleri, özellikle işleme tesisleri olan şirketler için çok caziptir, çünkü bu tesisler için birincil enerjinin işletme maliyetleri 'sıfır' olacaktır. Sistem, özellikle doğal gazın kullanıldığı Türkiye için çok ekonomiktir ve tesisin ilk yatırım maliyetinin geri dönüş süresi iki yıl veya daha az olabilir. Daha fazla yakıt türü kullanıldıkça, tercih edilen sistem gaz türbinlerine yönelmektedir. Gaz türbinlerinde ağır sanayi türleri, jet türbinlerine göre daha fazla türde yakıt yakma kabiliyetine sahiptir.
ELEKTRİK ISI ORANI	Önemli seçim parametreleri, bağlı sistemin termal ve mekanik güç gereksinimlerini içerir. Özellikle yeni inşa edilen tesislerde (henüz elektrik ve ısı yatırımı yapılmamış) bu ihtiyaçlar ve karşılıklı ilişkiler sistem seçiminde önemli ve temel bir faktör haline gelmektedir. Gaz türbinli CHP sistemlerinde ısı-elektrik oranı yaklaşık 0,40 ila 0,50'dir. Bu, toplam enerji çıkışının 1/3'ünün elektrik enerjisi ve 2/3'ünün termal enerji olduğu anlamına gelir. Gaz motoru uygulamalarında, elektrikli ısıtma oranı yaklaşık 0,75 ila 0,80'dir. Bu, toplam enerji çıkışının yaklaşık %40'ının elektrik enerjisi ve %50'sinin termal enerji olarak geri kazanıldığı anlamına gelir. CHP sistemleri arasındaki temel farklılıklar nedeniyle, seçim, tüketim bölgesinin özelliklerine (gerekli ısı ve elektrik oranı) göre yapılır.
YÜK EĞRİSİ	Seçim, tüketim alanının termal ve elektriksel yük eğrilerine bağlıdır. Eğer yük eğrisi; günün, haftanın, yılın çeşitli zamanlarında çok dengesiz oluyorsa; Bu yük eğrisini birden çok aralığa bölerek, birden çok modül tüketimi karşılar. Örneğin bir hastane gündüz 400 kw, gece 200 kw elektriğe ihtiyaç duyuyorsa iki adet 200 kw gaz motoru kullanmak iş sisteminin verimini artıracaktır.
START SAYISI	Gaz motorlarının devreye alınması kolaydır, bu da kullanımlarını yılda çok sayıda start yapan tesisler için vazgeçilmez kılar.
ORTAM SICAKLIĞI	Gaz türbini gücü ve ısı çıkışı, ortam sıcaklığına karşı oldukça hassastır. Ortam sıcaklığına daha az duyarlı oldukları için bazı uygulamalarda gaz motorlarının kullanılması zorunludur.
TOPLAM SİSTEM KAPASİTESİ	CHP için güç gereksinimleri arttıkça, tercih edilen sistem gaz türbinlerine yönelmektedir. Genelde 15-20 MW seviyesinin altında gaz motorları, üstünde ise gaz türbinleri kullanılmaktadır. Aslında bu seçim güç ve ısı oranına göre yapılıyor. Sistem az ısı kullanıyorsa, kombine çevrim gaz türbini kurmak daha avantajlıdır. Türkiye şartlarımızda elektrik faturası daha yüksek olduğunda, bu nedenle elektrik verimi daha yüksek olduğu için gaz motorunu seçmek daha ekonomik olacaktır.
ELEKTRİĞİN KALİTESİ	Güç frekansına ve voltajına yüksek hassasiyete sahip şirketler için, sistem karlılığı veya şebeke sürekliliği ne olursa olsun, CHP yatırımı zorunlu olabilir. Özellikle hassas elektronik ekipmanların (tekstil, bilgisayar vb.) bulunduğu tesislerde frekans ve voltaj toleransları çok düşüktür. Bir santral bu tür problemlerle karşılaştığında bu operasyon için kojenerasyon şarttır ve kapasite düştükçe sistem tercihi gaz motorlarından gaz türbinlerine kayar.

Güç: Birim zamanda üretilen enerjiyi gösterir. Gücün ölçü birimi ise Watt (W)' dır.

Kojenerasyon santralleri kurulurken hesaplama ve mühendislik çalışmalarında Güç birimi kW olarak alınmaktadır.

Elektrik / Isı Oranı: Üretilen elektrik ihtiyacının ısı ihtiyacına bölünmesi ile gösterilir. Birim olarak EIO olarak gösterilir (Denklem 3.7).

$$EIO = \text{Üretilen Elektrik Enerjisi} / \text{Üretilen Isı Enerjisi} \quad (3.7)$$

Verim: İşletmelerde kojenerasyon tesislerinde üretilen enerjinin tüketilen yakıt enerjisine oranlaması ile elde edilir. Verim ne kadar 1'e yakın olursa kurulan sistem o kadar verimli olduğu kanısına varılabilir. Kojenerasyon sistemlerinde mühendislik ne kadar başarılı olursa bu oran %90'lık verim değerine ulaşabilir (Denklem 3.8).

$$\text{Toplam Verim} = \text{Üretilen Toplam Enerji} / \text{Tüketilen Yakıt Enerjisi} \quad (3.8)$$

Birleşik ısı güç sistemleri seçilirken Çizelge 3.4'te yer alan parametreler dikkate alınır.

3.4.2 Aksaray Üniversitesi için uygun kojenerasyon sistemi seçimi

3.4.2.1 Güç Ünitesi Seçimi

Güç kaynağı aşağıdaki özelliklere göre seçilmiştir.

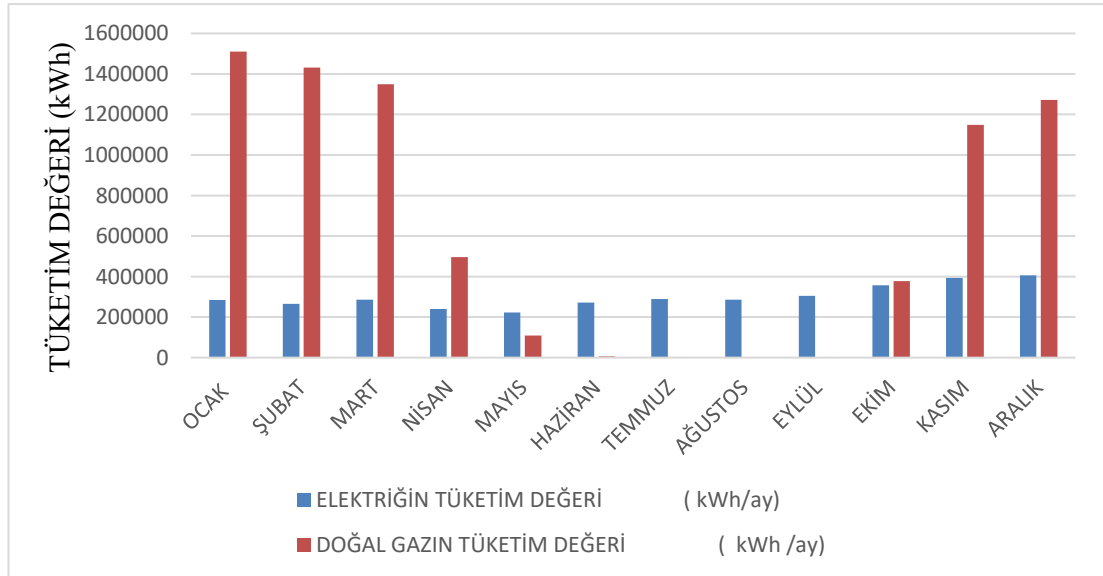
Aksaray Üniversitesine ait elektrik ve doğal gaz giderleri incelendiğinde elektrik tüketiminin doğalgaz tüketimine göre daha düzenli olmasından dolayı sistemin mühendislik çalışmaları öncelikle elektriksel üretimi karşılayabilecek şekilde planlanması daha doğru bir tercih olacaktır. Doğalgazın tüketim değerinin birimi m³ olduğundan kWh birimine dönüştürmek için doğalgazın alt ısı değeri bulunup doğal gazın birimini kWh dönüştürülür (Denklem 3.9). Aksaray Üniversitesinin doğalgaz tüketimini aylık toplam kWh cinsinden bulmak için Denklem 3.10 kullanılır. Aylara göre Aksaray Üniversitesinin elektrik ve doğalgaz tüketim değerlerini kWh cinsinden Çizelge 3.5'te, grafiği Şekil 3.4'te gösterilmiştir (Albayrak, 2007).

$$1 \text{ m}^3 \text{ Doğal gaz} = 10,64 \text{ kWh (URL-16).} \quad (3.7)$$

$$\text{Doğal Gazın Tüketim Değeri kWh} = \text{Doğal Gazın Tüketim Değeri m}^3 \times \frac{10,64}{10,64} \quad (3.8)$$

Çizelge 3.5. Aksaray Üniversitesinin elektrik ve doğalgaz tüketim değerleri.

AYLAR	ELEKTRİĞİN TÜKETİM DEĞERİ (kWh/ay)	DOĞAL GAZIN TÜKETİM DEĞERİ (m ³ /ay)	DOĞAL GAZIN ALT ISIL DEĞERİ	DOĞAL GAZIN TÜKETİM DEĞERİ (kWh /ay)
Ocak	283913,17	141935	10,64	1510188,4
Şubat	264846,9	134510	10,64	1431186,4
Mart	286267,65	126835	10,64	1349524,4
Nisan	240072,98	46573	10,64	495536,72
Mayıs	223242,25	10315	10,64	109751,6
Haziran	271136,52	519	10,64	5522,16
Temmuz	289819,56	283	10,64	3011,12
Ağustos	285585,23	299	10,64	3181,36
Eylül	305413,65	308	10,64	3277,12
Ekim	356447,56	35439	10,64	377070,96
Kasım	393891,2	107892	10,64	1147970,88
Aralık	405440,3	119585	10,64	1272384,4
TOPLAM	3606077,01	724493	127,68	7708605,52



Şekil 3.4. Aksaray Üniversitesinin elektrik ve doğalgaz tüketim değerleri.

Kojenerasyon sisteminin seçimi yapılırken ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılaması önceliklidir. Türkiye'de elektriğin fatura bedelleri yüksek olması nedeniyle kurulacak

sistemin elektrik ihtiyacı karşılaması dikkate alınarak yapılması daha ekonomik ve işletme açısından daha avantajlı olacaktır.

Uygun güç ünitesinin seçiminin en önemli amacı enerji ihtiyacını karşılamanın yanı sıra ilk yatırım maliyetini daha kısa sürede geri dönüşünü karşılayan sistemin seçilmesidir.

Elektrik ihtiyacının öncelikli olduğu, günlük sıcaklığın değişken olması durumunda buna karşılık verecek ve elektrik veriminin diğer güç ünitelerine göre daha yüksek olduğu için gaz motoru kullanmak daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

Kojenerasyon sistemleri için genel olarak iki farklı güç ünitesi kullanılmaktadır:

- Gaz ve/veya buhar türbini
- Gaz motoru ya da dizel motor

Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinde güç aralığı genellikle 4,5-20 MW bandındadır. Gaz motorlu kojenerasyon sistemleri uygulamaları da genellikle 1,5 MW' tan küçük işletmelerde kullanılır. Ülkemizde genellikle 1 MW seviyelerinde küçük ölçekli kojenerasyon sistemlerinde gaz motorlarının kullanılmasının avantajlı olabileceği düşünülmektedir. Ancak gaz motorlu sistemlerinin diğer avantajlarında biride tek modül çalışabileceği gibi enerji ihtiyaçlarının artması doğrultusunda çoklu modül olarak çalışabilir. Bu şekilde tek modül ile 100kW seviyelerinden çoklu modül ile 10MW seviyelerine çıkabilir.

Çizelge 3.6. Gaz motoru ve gaz türbini yaklaşık verim kıyaslaması.

	Gaz motoru	Gaz türbini
Elektrik verimi	43,50%	29,60%
Isı verimi	47%	54%
Kayıp verim	9,50%	16,40%

Güç ünitesi seçiminde öncelikli amaç elektrik üretimi olduğunu dikkate alarak aynı zamanda gaz motoru ve gaz türbini güç üniteleri seçimi yapılırken verimlilik de dikkate alınmalıdır. Gaz motoru ve gaz türbini yaklaşık verim kıyaslaması Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Gaz motoru ve gaz türbini güç üniteleri seçimi yapılırken üretilen güçte dikkate alınmalıdır. Çizelgedeki değerler hesaplanırken 1000m³/h doğalgaz tüketimi dikkate alınarak Çizelge 3.7’ki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3.7. Gaz motoru ve gaz türbini yaklaşık güç kıyaslaması (URL-17).

	Gaz motoru	Gaz türbini
Elektrik gücü	4300kW	2928kW
Isıl güç	4650kW	5341kW
Kayıp güç	941kW	1622kW

Sonuç olarak Aksaray Üniversitesi’nin ilk öncelikli gereksimi elektrik üretimi olduğundan kurulacak kojenerasyon sisteminde gaz motorlu güç ünitesinin seçimi daha uygun olacağı düşünülmektedir.

3.4.2.2 Güç Kaynağı Kapasitesi Belirleme

Aksaray Üniversitesi’nin ısı ve elektrik gereksinimini karşılamak için gaz motorlu kojenerasyon sisteminin gücünü belirlemek için tüketilen elektrik gücünün en fazla olduğu aydaki değerler dikkate alınarak hesaplanması gerekmektedir. Elektrik tüketiminin en fazla olduğu ay Aralık ayıdır. Aralık ayının tüketimine göre hesaplama yapılması gerekmektedir. Aralık ayına ait saatlik ortalama tüketim değeri hesabı Çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Aralık ayının saatlik tüketim değeri hesabı.

Elektriksel Tüketimin Maksimum Olduğu Ay	Tüketim Değeri (kWh / ay)	Saatlik Tüketim Miktarı (kWh)
ARALIK	405440,3	$Saatlik\ Tüketim = 405440,3 / (31 \times 24) = 544,94\ kWh$

Aksaray Üniversitesi’nin elektrik tüketiminin en fazla olduğu ay Aralık ayı ve bu ayda saatlik tüketim değeri 544,94 kWh olarak hesaplanmıştır.

Ancak bu değer günlük tüketim değerinin ortalaması 544,94 kWh olarak hesaplanmıştır. Gün içerisinde bu tüketim değerinin üstünde kullanım olacaktır.

İşletmede gün içerisinde kullanılan bu gücün yarısı kadar olan yaklaşık 272,5 kWh değeri ekleyip çıkarıldığında günlük en az ve en fazla tüketim değerleri takribi olarak aşağıdaki gibi olacaktır.

En fazla tüketim: $544,94 \text{ kWh} + 272,5 \text{ kWh} = 817,44 \text{ kWh}$

En az tüketim: $544,94 \text{ kWh} - 272,5 \text{ kWh} = 272,44 \text{ kWh}$ olarak bulunur.

Dolayısıyla Aksaray Üniversitesi için yaklaşık 415 kW gücüne sahip 2 adet gaz motoru kojenerasyon sistemi için uygun olacaktır.

3.4.2.3 Güç Kaynağı İçin Yakıt Seçimi

Gaz motorlu sistemlerde genellikle yakıt gazı olarak doğal gaz kullanılır. Bunun sebebi aşağıdaki gerekçelerden kaynaklanıyor olmasıdır.

- Doğal gaz, farklı moleküler özelliklere sahip, doğal olarak oluşan dört gazın karışımından oluşur. Bu karışım öncelikle, etan, bütan ve propan ile birlikte doğal gazın %70-90'ını oluşturan metandan oluşur. Metan gazının fazla olması demek o yakıtın verimliliğinin artması demektir.
- Daha az kirlilik
- Doğal gaz kokusuz, renksiz, yanıcı ve toksik değildir
- Daha az kimyasal olarak karmaşık
- Yanma daha az kirlilik sağlar
- Daha az karbondioksit (birincil sera gazıdır), kükürt dioksit (asit yağmurunun birincil sebebi), nitrojen oksitler (dumanın birincil sebebi) ve partikül madde (sağlığı ve görüşü etkiler), diğer enerji kaynaklarına göre avantajlarıdır
- Uygun fiyatlı olması
- Güvenilir olması

Bu özelliklere bakıldığında ve Aksaray ilinde doğal gaz imkanı göz önünde bulundurduğumuzda yakıt gazı olarak doğal gaz kullanılması avantajlı olacaktır.

3.4.2.4 Maksimum Güce Göre Örnek Güç Kaynağı ve Özellikleri

Aksaray Üniversitesi maksimum elektrik tüketimine bakılarak güç ünitesi seçilmiştir. Elektrik tüketim grafiğine göre Aralık ayında 544,94 kWh olarak hesaplanmıştır. Elektrik şebekesine paralel olarak çalışacak güç ünitesi doğal gaz yakıtlı olacaktır. Buna göre Aksaray Üniversitesi için 2 adet MWM TCG 3016 V8 modeli seçilebilir. Bu seçilen ürünün güç aralığı, elektrik enerjisi verimliliği, düşük yakıt kullanımı, kurulum ve işletme giderlerinin azlığı, düşük bakım maliyeti, operatör için daha az iş gücü, optimum kullanıma sahip ve daha uzun hizmet ömrü olacağı düşünüldüğü için tercih edilmiştir. Endüstriyel tesislerde genellikle kritik ekipmanlar yedekli olmak zorundadır. Ayrıca diğer iki adet gaz motorunun seçilme nedeni; arıza durumunda, bakım durumunda ve kapasite eksikliği gibi nedenlerde elektrik üretimine kesintisiz devam edilmesi için kullanılması uygundur. Diğer önemli nokta ise büyük tesislerde ileriki zamanlarda talep edilen enerji miktarı artması olasılığı da dikkate alınmalıdır. Bu durumlar dikkate alınarak iki adet seçilmiştir. Seçilen gaz motoru Şekil 3,5'te gaz motoruna ait teknik özellikleri de Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9. MWM TCG 3016 V8 modeline ait gaz motorunun teknik özellikleri.

MWM TCG 3016 V8 GAZ MOTORU		
Özellikler	Değeri	Birimi
Mekanik Güç	415	kW
Elektrik Gücü	400	kW
Generatör Gerilimi	400	Volt
Yakıt Tüketimi	927	kW
Egzoz Isısı	193	kW
Egzoz Çıkış Sıcaklığı	410	°C
Ceket Suyu Isı Gücü	211	kW
Intercooler Isı Gücü	31	kW
Elektrik Verimi	43,15	%
Termik Verimi	46,93	%
Toplam Verim	90,08	%



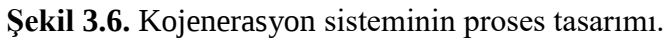
Şekil 3.5. MWM TCG 3016 V8 modeline ait gaz motorunun görüntüsü (URL-18).

3.5 Sistem ve Kapasitelerin Tasarımları

3.5.1 Kojenerasyon sisteminin tasarımı

Aksaray Üniversitesine kurulacak olan kojenerasyon sisteminin çalışma prensibi aşağıdaki gibi söylenebilir.

Sistem çalışmadan önce motorun içine girecek olan hava ve yakıtın motorun teknik verilerine uygun basınçta ve akışta gelmesi gerekmektedir. Ayrıca motorun yanma odasına gidecek olan hava ve yakıt gazının motorun teknik özelliklerinde belirtilen mikron seviyesinde filtreden geçirilip temizlenmesi gerekmektedir. Yanma için bu işlemler yapıldıktan sonra motorun ilk hareketini sağlamak için 24 Voltluk bataryalardan enerji alınarak ilk hareketi verecek olan elektrik motoruna enerji verilir. İlk hareketi alıp yanma odasına giren yakıt hava karışımına verilecek olan kıvılcım ile patlama olduktan sonra oluşan basıncın etkisi ile krank mili dönmeye başlar. Ardından krank milinin dönmesi ile oluşan mekanik enerji aynı mile bağlı olan alternatördeki mıknatıslanma etkisi ile elektrik enerjisine dönüşür. Üretilen elektrik enerjisi şebeke



3.6 Aksaray Üniversitesi İçin Kullanılan Motora Göre Kojenerasyon Sistemin Isıtma Kapasitesinin Belirlenmesi

Kojenerasyon sisteminde elde edilmek istenen elektrik gücü üretimi, doğalgaz doğal gaz yakıtlı ve 400 kW elektrik üretebilecek 2 adet gaz motorundan sağlanacaktır. Bu nedenle kojenerasyon sistemin elektrik üretim kapasitesi toplamda 800 kW olacaktır (Denklem 3.11 ve 3.12).

$$\dot{Q}_{El} = 800 \text{ kW} \quad (3.9)$$

$$\dot{Q}_{El} = \text{Sistemin elektrik enerjisi kapasitesi (kW)} \quad (3.10)$$

Gaz motorunun teknik özelliklerinden ve termodinamik formüllerden yararlanarak tasarlanacak kojenerasyon sisteminin ısıtma gücü fizibilite analizi yapılması gereklidir.

3.6.1 Isıtma kapasitesinin belirlenmesi

Aksaray Üniversitesine kurulacak kojenerasyon sistemindeki ısı gücü; ısı değiştiricileri ile yapılan ısı transferi ile elde edilebilecek ısı ile sınırlıdır. Bu ısı değiştiricileri; ceket suyu için plakalı ısı değiştirici, egzoz gazı ısısı için ise boru tip ısı değiştirici olarak düşünülebilir.

Isı geri kazanımı motor ceket suyunun soğutulması ile elde edilen ısı ve egzoz gazından alınan ısıların toplamı ile hesaplanır (Denklem 3.13).

$$\dot{Q}_I = \dot{Q}_C + \dot{Q}_E \text{ (kW)} \quad (3.11)$$

$$\dot{Q}_I: \text{Sistemin toplam ısı yükü (kW)}$$

$$\dot{Q}_C: \text{Ceket suyundan elde edilen ısı (kW)}$$

$$\dot{Q}_E: \text{Egzoz gazından elde edilen ısı (kW)}$$

Ceket suyundan elde edilecek ısıyı plakalı ısı değiştiriciler vasıtasıyla elde edilecektir. Motorun teknik özelliklerindeki sıcaklık değerleri dikkate alınarak gerekli ısı değiştirici hesaplanır (Denklem 3.14). Sistemde iki adet gaz motoru düşünüldüğünden

iki motordaki ısılar toplanıp elde edilecek ceket suyu ısısı ($\dot{Q}_C$) bulunur. Şekil 3.7’de plakalı ısı değıştiricisi gösterilir (Denklem 3.15).



Şekil 3.7. Plakalı ısı değıştiricisi (URL-19).

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T \text{ (kW)} \quad (3.12)$$

$\dot{Q}$: Isıl Güç (kW)

$\dot{m}$: Kütlesel Debi (kg/s)

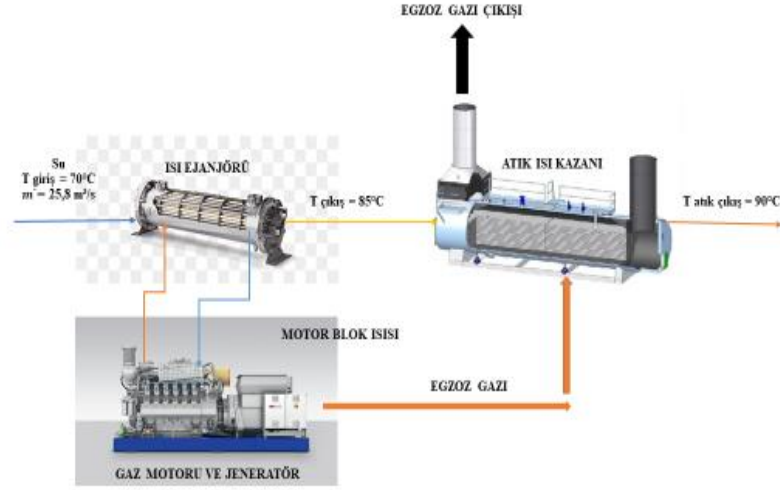
c : Özgöl Isı (kJ/kg.K)

ΔT : Sıcaklık Değişimi

$$\dot{Q}_C = \dot{Q}_{\text{ceket},1} + \dot{Q}_{\text{ceket},2} \text{ (kW)} \quad (3.13)$$

$\dot{Q}_{\text{ceket},1}$ = 1. Motordan kazanılan ceket ısısı (kW)

$\dot{Q}_{\text{ceket},2}$ = 2. Motordan kazanılan ceket ısısı (kW)



Şekil 3.8. Motorlardan kazanılan atık ısı geri kazanım şeması.

Suyun giriş sıcaklığı 70 °C ve giriş debisi 25,8 m³/h olarak gaz motorunun teknik özelliklerinde veriler dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Motorun ceket suyundan kazanılan ısı aşağıdaki Denklem 3.16, Denklem 3.17 ve Denklem 3.18 kullanılarak hesaplanmıştır. Aksaray bölgesi iklim ve ortam koşulları, saf suyun motor içerisine yapacağı korozyon ve aşınma dikkate alınarak motorun ceket suyu akışkanının içeriği olarak da yaklaşık olarak %35 etilen glikol, %65 su karışımı şekilde kullanımı sistemin daha ömürlü olmasına yardımcı olacaktır. Bu sebeple ceket suyunun (etilen glikol) öz ısı (c) ve yoğunluk (ρ) değerleri bu oran dikkate alınarak motorun teknik verilerinden ve çizelgeden yararlanarak alınmıştır.

$$\dot{Q}_{ceket,1} = \dot{m}_{ceket\ suyu,1} \times c_{ceket\ suyu,1} \times \Delta T_{ceket\ suyu,1} \quad (3.14)$$

$$\dot{m}_{ceket\ suyu,1} = 25,8 \text{ m}^3/\text{h} \times 1096 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ h}/3600\text{s} = 7,85 \text{ kg/s}$$

$$c_{ceket\ suyu,1} = 3,84 \text{ kJ/kg.K} \quad (\text{Kütlesel \%35 etilen glikol, \%65 su karışımı})$$

$$\Delta T_{ceket\ suyu,1} = T_{motor, çıkış} - T_{motor, giriş}$$

$$T_{motor, çıkış} = 92 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{motor, giriş} = 84 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{ceket\ suyu,1} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C} - 84 \text{ }^{\circ}\text{C} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ veya } (8\text{K})$$

$$\dot{Q}_{ceket,1} = 7,85 \text{ kg/s} \times 3,84 \text{ kJ/kg.K} \times 8\text{K}$$

$$\dot{Q}_{ceket,1} = 241,152 \text{ (kW)}$$

Motorlar özdeş olduğu için $\dot{Q}_{ceket,2}$ değeri de aynı sonucu verecektir.

$$\dot{Q}_{ceket,2} = \dot{m}_{ceket\ suyu,2} \times c_{ceket\ suyu,2} \times \Delta T_{ceket\ suyu,2} \quad (3.15)$$

$$\dot{Q}_{ceket,2} = 7,85 \text{ kg/s} \times 3,84 \text{ kJ/kg.K} \times 8K$$

$$\dot{Q}_{ceket,2} = 241,152 \text{ (kW)}$$

İki motorun ceket suyundan kazanılan toplam ısı ise

$$\dot{Q}_C = \dot{Q}_{ceket,1} + \dot{Q}_{ceket,2} \text{ (kW)} \quad (3.16)$$

$$\dot{Q}_C = 241,152 \text{ (kW)} + 241,152 \text{ (kW)}$$

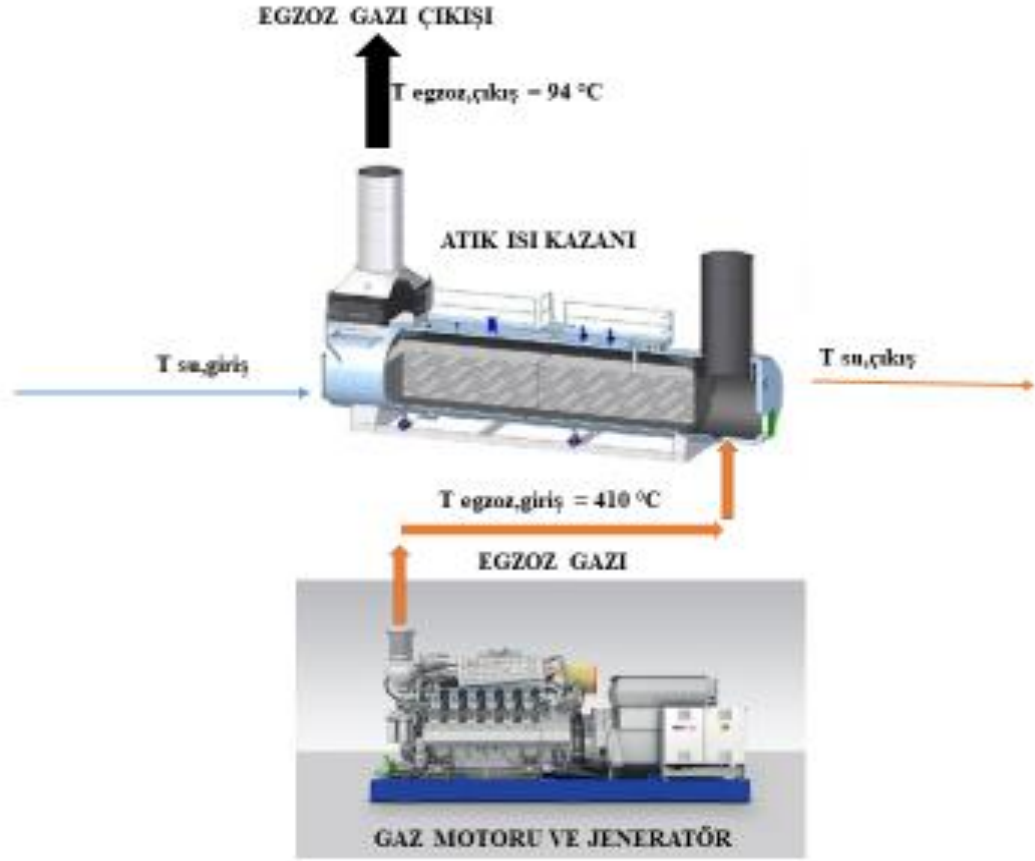
$$\dot{Q}_C = 482,304 \text{ (kW)}$$

olarak çıkmaktadır.

Atık ısı kazanında motorun egzoz gazından yararlanılabilecek ısıyı bulmak için boru tip ısı değiştiriciye ihtiyaç vardır. Motorun teknik verilerinden yararlanarak ve bazı bağlantılar kullanılarak iki gaz motorunun egzoz gazından toplam ne kadar ısı elde edebileceğimizi bulabiliriz. İki ayrı gaz motoru olduğundan toplam gazın debisini alarak hesaplama yapmamız gerekmektedir. Atık ısı kazanı Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Atık ısı kazanında egzoz gazından kazanılan ısı şeması Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Atık ısı kazanı (URL-20).



Şekil 3.10. Atık ısı kazanında egzoz gazından kazanılan ısı şeması.

Gaz motorundan çıkan ve atık ısı kazanına giren egzoz gazının sıcaklığı 410 °C ve atık ısı kazanından çıkan egzoz gazının sıcaklığı 94 °C olarak motorun verilerinden yararlanılmıştır. Denklem 3.19 yardımıyla egzoz gazından kazanılan ısı ($\dot{Q}_E$) bulunabilir.

$$\dot{Q} = \dot{m} \times c \times \Delta T \text{ (kW)} \quad (3.17)$$

$$\dot{Q}_E = (\dot{m}_{\text{egzoz},1} + \dot{m}_{\text{egzoz},2}) \times c_{\text{egzoz,ort}} \times \Delta T_{\text{egzoz}}$$

$$\dot{m}_{\text{egzoz},1} = \dot{m}_{\text{egzoz},2}$$

$$\dot{m}_{\text{egzoz},1} = 2207 \text{ kg/h} = 2207 \text{ kg/h} \times 1 \text{ h/3600s} = 0,613 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{\text{egzoz},2} = 0,613 \text{ kg/s}$$

$$c_{\text{egzoz},410 \text{ °C}} = 1117,1 \text{ J/kg.K}$$

$$c_{\text{egzoz},94 \text{ °C}} = 1042,3 \text{ J/kg.K}$$

$$C_{egzoz, ort} = \frac{C_{egzoz, 410^\circ C} + C_{egzoz, 120^\circ C}}{2}$$

$$C_{egzoz, ort} = \frac{1117,1 \text{ J/kg.K} + 1042,3 \text{ J/kg.K}}{2}$$

$$C_{egzoz, ort} = 1079,7 \text{ J/kg.K}$$

$$\Delta T_{egzoz} = T_{egzoz, giris} - T_{egzoz, cikis}$$

$$T_{egzoz, giris} = 410^\circ C$$

$$T_{egzoz, cikis} = 120^\circ C$$

$$\Delta T_{egzoz} = 410^\circ C - 120^\circ C$$

$$\Delta T_{egzoz} = 295^\circ C \text{ veya } 295K$$

$$\dot{Q}_E = (\dot{m}_{egzoz,1} + \dot{m}_{egzoz,2}) \times C_{egzoz, ort} \times \Delta T_{egzoz}$$

$$\dot{Q}_E = (0,613 \text{ kg/s} + 0,613 \text{ kg/s}) \times 1079,7 \text{ J/kg.K} \times 295K$$

$$\dot{Q}_E = 390.495,099 \text{ W}$$

Egzoz gazından kazanılan güç 390,50 kW' tır.

Ceket suyu ısıl gücü ile egzoz gazının ısıl gücünün toplamı ise; Denklem 3.20 yardımıyla bulunabilir.

$$\dot{Q}_I = \dot{Q}_C + \dot{Q}_E \quad (3.18)$$

$$\dot{Q}_I = 482,304 \text{ (kW)} + 390,50 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_I = 872,804 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_I = 873 \text{ kW}$$

olarak bulunur. Bulunan 873 kW' lık ısı kapasitesi kojenerasyon sistemde bulunan her iki gaz motorun çalıştırılmasıyla elde edilebilecek olan yaklaşık güç değeridir. Buna göre her bir motorun ısı kapasitesi aşağıdaki denklem 3.21'de verilmiştir.

$$\dot{Q}_{tek\ motor, ısı} = \dot{Q}_I / 2 = 873 \text{ kW} / 2 = 436,5 \text{ kW} \quad (3.19)$$

Her bir motor 361.5 ısı üretim kapasitesine sahip olacaktır.

Sonuç olarak kurulacak olan kojenerasyon sisteminin yaklaşık olarak elektrik Denklem 3.22 ve ısı enerjisi üretim kapasiteleri Denklem 3.23'te verilmiştir.

$$\dot{Q}_{EI} = 800 \text{ kW} \quad (3.20)$$

$$\dot{Q}_I = 873 \text{ kW} \quad (3.21)$$

olarak bulunur. Bu değerler sistemdeki iki motorun %100 çalışma esnasında enerji üretim kapasiteleri vermektedir. Her bir motora ait üretim kapasiteleri Denklem 3.24 ve Denklem 3.25'te verilmiştir.

$$\dot{Q}_{tek \text{ motor, elektrik}} = 400 \text{ kW} \quad (3.22)$$

$$\dot{Q}_{tek \text{ motor, ısı}} = 436,5 \text{ kW} \quad (3.23)$$

Bu veriler göre 1 kW 'lık elektrik üretimine karşılık gelen ısı üretimi aşağıdaki Denklem 3.26'daki gibi olacaktır.

$$1 \text{ kW 'lık elektrik üretimine karşı} \Rightarrow \frac{436,5 \text{ kW}}{400 \text{ kW}} \Rightarrow 1,091 \text{ kW 'lık ısı üretimi} \quad (3.24)$$

Motor 400 kW elektrik üretimine karşı motorun teknik verilerine göre yaklaşık 927 kW doğalgaz tüketir. 10,64 kWh doğalgazın alt ısı değeri'dir. Dolayısıyla motorun 1 kW elektrik üretimine karşılık gelen tükettiği yakıtın m³ miktarı aşağıdaki Denklem 3.27, Denklem 3,28 ve Denklem 3,29'da hesaplanır.

$$1 \text{ m}^3 \text{ doğalgaz} = 10,64 \text{ kWh} \quad (3.25)$$

$$1 \text{ kW 'lık elektrik üretimine karşı} \Rightarrow \frac{927 \text{ kW}}{400 \text{ kW}} \Rightarrow 2,3175 \text{ kW 'lık yakıt tüketimi} \quad (3.26)$$

$$2,3175 \text{ kW 'lık yakıt} \Rightarrow \frac{2,3175}{10,64} = 0,2178 \text{ m}^3 \text{ doğalgaz tüketilir.} \quad (3.27)$$

3.7 Sistemin Ekonomik Analiz Kriterleri

Kojenerasyon sisteminin ekonomik yönden işletmeye uygun olduğunun araştırılması ve fizibilitesinin çıkarılması gerekmektedir. Yatırım maliyetleri hesaplanırken Çizelge 3.10'da kalemlerin bütçeleri hesaplanarak yapılması gerekmektedir.

Çizelge 3.10. Kojenerasyon sisteminin ilk yatırım kaynaklarının maliyeti

Kojenerasyon Yatırım Maliyetleri	Maliyet (EURO)	Maliyet (TL)
Gaz motorları, yardımcı ve kontrol üniteleri	2 X 324.000	2 X 5.605.200
Motor elektronik kontrol panosu		
Generatör, koruma ve kumanda panosu ile senkronizasyon sistemi		
Atık ısı geri kazanım sistemi		
Motor soğutma sistemi ve borulaması		
Sıcak su kalorimetresi		
Tek katlı konteyner ve havalandırma sistemi		
İlk yağ ve antifriz dolumu		
AG şalter panosu ve 30 metre güç kablolaması		
Sözleşme damga vergisi		
Lisanssız elektrik üretim izinleri takibi işleri		
Kapsam dâhili borulama ve kablolama		
Motor 11 m atık bacası		
Eğitim, uygulama ve mühendislik hizmetleri		
Nakliye, montaj ve devreye alma işlemleri		
AG şalter panosu ve 30 metre güç kablolaması	2 X 16.000	2 X 281.600
TOPLAM	680.000	11.773.600

Kojenerasyon sistemlerinde genelde ekonomik analiz yapılırken sistemin amortisman, değeri ve dinamik geri ödeme süreleri hesaplanarak sistemin maliyeti çıkarılabilir.

1. Amortisman, yatırım maliyetinin kurulu CHP sisteminin faydalı ömrüne bölünmesiyle hesaplanır. Bir varlığın yaşam döngüsünün tüm yılları için aynı amortisman giderini varsayan hesaplamalar genellikle yıllık amortisman gideri olarak kullanılır. Amortisman aşağıdaki Denklem 3.30'a göre hesaplanabilir (Aybers ve Şahin, 1995):

$$C_K = \left[I \frac{f(1+f)^n}{(1+f)^n - 1} \right] \quad (3.28)$$

$$C_K = \text{Yıllık Amortisman Bedeli} \frac{TL}{YIL}$$

$$I = \text{İlk Yatırım Değeri (TL)}$$

$$f = \text{Yıllık Faiz Oranı (\%)}$$

$$n = \text{Kullanım Ömrü (yıl)}$$

2. Aksaray Üniversitesine kurulacak olan kojenerasyon tesisi için sistem maliyetlerini hesapladıktan sonra aşağıda gösterilen dinamik geri ödeme süresi hesaplamasını kullanarak geri ödeme süresini belirlenir. Dinamik bir amortisman hesabı, ilk yatırım maliyetini, yıllık net geliri ve yıllık faiz oranını belirleyerek geri ödeme süresi aşağıdaki Denklem 3.31'e göre hesaplar (Öztürk ve Kaya, 2014).

$$tg = \frac{\ln\left(\frac{Gi}{Gi - Gy f}\right)}{\ln(1 + f)} \quad (3.29)$$

$$tg = \text{Geri Ödeme Süresi (yıl)}$$

$$Gi = \text{Yıllık Net Kazanç (TL)}$$

$$Gy = \text{İlk Yatırım Maliyeti (TL)}$$

$$f = \text{Yıllık Faiz Oranı (\%)}$$

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Aksaray Üniversitesi için modellemesi yapılan kojenerasyon sisteminde ihtiyaca göre seçilen 400 kw elektrik enerjisi üretme gücüne sahip iki adet gaz motoru teknik özellikleri dikkate alınarak üniversitenin elektrik ve ısı kapasiteleri belirlenmiştir. Üniversitede gaz motorunda yakıt olarak ısı ve elektrik üretmek için doğalgaz enerji kaynağı olarak kullanılacaktır. Elektrik üretiminin yanı sıra ortaya çıkacak olan atık ısıdan ise ısı enerjisi kullanılacaktır. Enerji analizlerinde kullanılacak sisteme ait değerler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kojenerasyon sistemine ait enerji değerleri

ASÜ Kojenerasyon Sistemi Güç Üretim-Tüketim Değerleri	
Tüketilen Yakıt	2 X 927 kW
Üretilen Elektrik	800 kW
Üretilen Isı	870 kW
İç İhtiyaç	30 kW

4.1 Kojenerasyon Sistemin Elektriksel Verimi

Bir kojenerasyon sisteminin elektrik verimliliği, sistemin uygulanmasının ve %100 yükte üretilen elektrik enerjisinin bu enerjiyi üretmek için kullanılan yakıtın enerjisine oranının bir fonksiyonudur (Denklem 4.1).

$$\eta_e = \frac{\dot{Q}_{EI}}{H} \quad (4.1)$$

η_e = kojenerasyon sisteminin elektriksel verimi

$\dot{Q}_{EI}$ = kojenerasyon sisteminde üretilen elektrik enerjisi (kW)

H = kojenerasyon sisteminde yakıt ile tüketilen enerji (kW)

$$\eta_e = \frac{\dot{Q}_{EI}}{H} = \frac{800}{1854}$$

$$\eta_e = 043,14 \rightarrow \% 43$$

Kojenerasyon sistemi %100 yükte çalıştığı anda elektriksel verimi %43,14 olmaktadır.

4.2 Kojenerasyon Sistemin Isıl Verimi

Kojenerasyon sistemin ısı verimi, sistemin uygulanmasının ve %100 yükte üretilen ısı enerjisinin bu enerjiyi üretmek için kullanılan yakıtın enerjisine oranının bir fonksiyonudur (Denklem 4.2).

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_I}{H} \quad (4.2)$$

η_{th} = kojenerasyon sisteminin ısı verimi

$\dot{Q}_I$ = kojenerasyon sisteminde üretilen ısı enerjisi (kW)

H = kojenerasyon sisteminde yakıt ile tüketilen enerji (kW)

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_I}{H} = \frac{873}{1854}$$

$$\eta_{th} = 0,47 \rightarrow \% 47$$

4.3 Sistemin Toplam Verimi

Kojenerasyon sistemin toplam verimini hesaplamak için sistemin uygulanmasıyla uygulamasıyla elde edilen ısı ve elektriksel enerjiyi üretebilmek için kullanılan yakıtın enerjisine bölünmesi sonucu elde edilir (Denklem 4.3).

$$\eta_t = \frac{\dot{Q}_{EI} + \dot{Q}_I}{H} = \frac{800 + 873}{1854} \quad (4.3)$$

$$\eta_t = 0,9023 \rightarrow \% 90,02$$

4.4 Sistemin Net Enerji Verimi

Sistemin net enerji verimini bulabilmek sistem çalıştığı andaki iç tüketimi de dâhil ederek kojenerasyon sisteminin net enerji verimini bulabiliriz (Denklem 4.4).

$$\eta_{net} = \frac{\dot{Q}_{EI} + \dot{Q}_I}{H + W_t} \quad (4.4)$$

$$\eta_{net} = \text{Net verim}$$

$$W_t = \text{İç tüketim enerjisi}$$

$$\eta_{net} = \frac{\dot{Q}_{EI} + \dot{Q}_I}{H + W_t} = \frac{800 + 873}{1854 + 30}$$

$$\eta_{net} = 0,8880 \rightarrow \% 88,80$$

4.5 Kojenerasyon Sistemden Elde Edilen Enerji Tasarrufu

Birleşik ısı ve güç üretim yapan kojenerasyon proseslerinde kullanılan yakıttaki enerji ile elektriğin ve ısının ayrı ayrı üretildiği geleneksel sistemlerdeki tüketilen enerji arasındaki fark enerji tasarrufunu başka bir deyişle birincil enerji tasarrufunu verir. Bu araştırmayı yapabilmek için geleneksel sistemlerin tüketicinin elektrik ve ısı talebini karşılamak için tükettiği enerji miktarını gösteren bir referans değer kavramını kullanılır. Kısacası bu değer aynı zamanda bireysel elektrik verimliliği veya bireysel ısı verimliliği olarak da adlandırılır. Elektrik için 0,5; ısı için ise 0,9 olarak kabul gören değerler dikkate alınırsa birincil enerji tasarrufu aşağıdaki Denklem 4.5, Denklem 4.6, Denklem 4.7 ve Denklem 4.8'e göre hesaplanır (Öztürk ve Kaya, 2014).

$$PES = H_{ref} - H \text{ (kW)} \quad (4.5)$$

$$H_{ref} = H_{e,ref} + H_{th,ref} \text{ (kW)} \quad (4.6)$$

$$H_{e,ref} = \frac{\dot{Q}_{EL}}{\eta_{e,ref}} \text{ (kW)} \quad (4.7)$$

$$H_{th,ref} = \frac{\dot{Q}_I}{\eta_{th,ref}} \text{ (kW)}$$

$$PES = \text{Birincil enerji tasarrufu}$$

$$H_{ref} = \text{Elektrik ve ısı referans tesislerde üretilmesiyle harcanan güç}$$

$$H_{e,ref} = \text{Elektriğin referans tesiste üretilmesiyle harcanan güç} \quad (4.8)$$

$$H_{th,ref} = \text{Isının referans tesiste üretilmesiyle harcanan güç}$$

$$\eta_{e,ref} = \text{Elektrik üretimi için referans etkinlik değeri}$$

$$\eta_{th,ref} = \text{Isı üretimi için referans etkinlik değeri}$$

Bu bağlantıya göre Aksaray Üniversitesine kurulacak olan bir kojenerasyon tesisinde PES değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$H_{e,ref} = \frac{800}{0,5} (kW) \quad (4.9)$$

$$H_{e,ref} = 1600 (kW)$$

$$H_{th,ref} = \frac{873}{0,9} (kW)$$

$$H_{th,ref} = 970 (kW)$$

$$H_{ref} = 1600 (kW) + 970 (kW)$$

$$H_{ref} = 2570 (kW)$$

$$PES = 2570 - 1854 (kW)$$

$$PES = 716 (kW)$$

4.6 Sistemin Çevresel Analizi

Çevresel etki genellikle yakıt emisyon seviyeleri ile ilgilidir. CHP tesislerinde atık ısının kullanılması emisyonların azalmasına yol açar. Primer enerji tasarrufu hesabına benzer şekilde emisyon değerlerinde referans değerler kullanılarak konvansiyonel sisteme göre emisyon farkı Denklem 4.9, Denklem 4.10 ve Denklem 4.11'e göre belirlenir.

$$RCES = 1 + \frac{(\gamma_{th} \times Q - \gamma_F \times H)}{\gamma_e \times W} \quad (4.10)$$

$$\gamma_{th} = \frac{\gamma_F}{\eta_{th,ref}} \quad (4.11)$$

$$\gamma_e = \frac{\gamma_F}{\eta_{th,ref}} \quad (4.12)$$

RCES : Emisyon tasarrufu

γ_F : Referans yakıt için CO_2 emisyonu ($\frac{kgCO_2}{kW}$)

γ_{th} : Birim ısı enerjisi başına CO_2 emisyonu

γ_e : Birim elektrik enerjisi başına CO_2 emisyonu

$$\gamma_{th} = \frac{0,251}{0,9} = 0,279 \frac{kgCO_2}{kW}$$

$$\gamma_e = \frac{0,251}{0,5} = 0,502 \frac{kgCO_2}{kW}$$

$$RCES = 1 + \frac{(0,279 \times 873 - 0,251 \times 1854)}{0,502 \times 800}$$

$$RCES = 0,448 \Rightarrow \% 44,8$$

Referans yakıt emisyon faktörü (γ_F) $0,251 \frac{kgCO_2}{kW}$ değeri alınabilir (Öztürk ve Kaya, 2014).

4.7 Kojenerasyon Sistemlerin Çalıştırılması

Aksaray Üniversitesi kampüsü, ısıtma ve elektrik gerektiren farklı bina ve daire tiplerine sahiptir. Bu bina ve apartmanlar Aksaray'ın iklim şartlarından dolayı 5-6 ay boyunca 7/24 ısıtma gerektirmektedir. Kampüs genelinde ısıtma sistemi 7/24 mevcuttur. Bunun nedeni yaz aylarında havuzun ısıtma ve sıcak su ihtiyacının karşılanması ihtiyacıdır. Her bir motor her gün 24 saat çalıştırıp ekonomik ömrünün kısaltılmaması için motorları hem eş yaşlandırma hem de ihtiyaç duyulan net enerjiye göre motorların kaç saat çalıştırılacağını bulmak için belirli analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucu optimum saat bulunarak hesaplamalar yapılmıştır.

Aksaray Üniversitesi'ne kojenerasyon sisteminin yapılıp çalıştırılması ile üniversitenin aylık net elektrik ihtiyacı, aylık iç tüketim, aylık yakıt tüketimi(m^3), motorların aylık yakıt tüketimlerini, aylık toplam elektrik üretimi, aylık toplam ısı üretimini ve şebekeden üretilen ısı(m^3) değerlerini Denklem 4.13,..., Denklem 4.19 sayesinde bulabilir.

$$\begin{aligned} \text{Üniversitenin aylık net elektrik ihtiyacı} = \\ \text{üniversitenin aylık elektrik ihtiyacı} + \text{aylık iç tüketim} \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$\text{Aylık iç tüketim} = \text{aydaki gün sayısı} \times 24 \times 30 \text{ kW} \quad (4.14)$$

$$\text{Aylık yakıt tüketimi}(m^3) = \text{aylık üretilen elektrik} \times 0,2178 \quad (4.15)$$

$$\begin{aligned} & \text{Motorların aylık yakıt tüketim maliyeti} \\ & = \text{Aylık yakıt tüketimi}(m^3) \times 5,345 \end{aligned} \quad (4.16)$$

$$\begin{aligned} & \text{Aylık toplam elektrik üretimi} \\ & = \text{motorların aylık çalışma saati} \times 400 \text{ kW} \end{aligned} \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned} & \text{Aylık toplam ısı enerji üretimi} \\ & = \text{aylık toplam elektrik üretimi} \times 1,091 \end{aligned} \quad (4.18)$$

$$\text{Şebekeden çekilen ısı}(m^3) = \text{şebekeden çekilen ısı} / 10,64 \quad (4.19)$$

Üniversiteye kurulan kojenerasyon sistemin çalıştırılmasıyla motorların toplam çalışma saatleri, tükettikleri yakıt değerleri, üretilen ısı ve elektrik enerjileri ve maliyet değerleri Çizelge 4.2’de yer verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kojenerasyon sisteminin çalışması ile bulunan değerler.

Aylar	Motorların Toplam Çalışma Saati	Tüketilen Yakıt Miktarı (m ³)	Maliyet (tl)	Üretilen Elektrik Enerjisi (kwh)	Üretilen ısı Enerjisi (kwh)
Ocak	765,36	66.677,98	356.393,82	306.143,17	334.002,20
Şubat	712,52	62.074,50	331.788,22	285.006,90	310.942,53
Mart	771,24	67.190,79	359.134,76	308.497,65	336.570,94
Nisan	654,18	56.992,35	304.624,13	261672,88	285.485,11
Mayıs	613,68	53.463,86	285.764,31	245472,25	267.810,22
Haziran	731,84	63.758,01	340.786,59	292736,52	319.375,54
Temmuz	780,12	67.964,39	363.269,69	312049,56	340.446,07
Ağustos	769,54	67.042,16	358.340,33	307815,23	335.826,42
Eylül	817,53	71.223,57	380.690,00	327013,65	356.771,89
Ekim	946,69	82.475,97	440.834,07	378677,56	413.137,22
Kasım	1.038,73	90.493,98	483.690,34	415491,20	453.300,90
Aralık	1.069,18	93.146,59	497.868,53	427670,30	466.588,30
	9.670,62	842.504,17	4.503.184,78	3.868.246,87	4.220.257,34

Üniversiteye sistemin faaliyete geçirilmesiyle aylık net elektrik ve ısı ihtiyaçları; üretilen ısı ve elektrik enerjisi verilerine göre karşılanamayan ısı enerjinin miktarları şebekeden çekilen ısı şeklinde Çizelge 4,3’te hesaplanıp yazılmıştır.

Çizelge 4.3. Kojenerasyon sisteminden sonra karşılanamayan enerji miktarları.

Aylar	Üniversitenin Net Elektrik İhtiyacı (kwh)	Üniversitenin Isı İhtiyacı (kwh)	Üretilen ısı enerjisi (kwh)	Şebekeden Çekilen Elektrik (kwh)	Şebekeden Çekilen Isı (kwh)
Ocak	306.143,17	1.510.188,40	334.002,20		1.176.186,20
Şubat	285.006,90	1.431.186,40	310.942,53	-	1.120.243,87
Mart	308.497,65	1.349.524,40	336.570,94	-	1.012.953,46
Nisan	261672,88	495.536,72	285.485,11	-	210.051,61
Mayıs	245472,25	109.751,60	267.810,22	-	
Haziran	292736,52	5.522,16	319.375,54	-	
Temmuz	312049,56	3.011,12	340.446,07	-	
Ağustos	307815,23	3.181,36	335.826,42	-	
Eylül	327013,65	3.277,12	356.771,89	-	
Ekim	378677,56	377.070,96	413.137,22	-	
Kasım	415491,2	1.147.970,88	453.300,90	-	694.669,98
Aralık	427670,3	1.272.384,40	466.588,30	-	805.796,10
	3.868.246,87	7.708.605,52	4.220.257,34	-	5.019.901,23

Üniversiteye kurulan kojenerasyon sistemi Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi ısının hepsini Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Kasım ve Aralık aylarında karşılamamaktadır. Bu aylarda toplam 5.019.901,23 (kWh) ısı şebekeden çekilmiştir. Bu çekilen ısının maliyeti aşağıdaki Denklem 4.20'ye göre hesaplanmıştır.

$$\text{Şebekeden çekilen ısı}(m^3) = \text{şebekeden çekilen ısı} / 10,64 \quad (4.20)$$

$$\text{Şebekeden çekilen ısı}(m^3) = 5.019.901,23 / 10,64$$

$$\text{Şebekeden çekilen doğalgaz}(m^3) = 471.795,22 m^3$$

$$\text{Motorların yakıt maliyeti}(TL) = 471.795,22 m^3 \times 5,345$$

$$\text{Motorların yakıt maliyeti}(TL) = 2.521.745,45 TL$$

$$\text{Şebekeden çekilen ısı}(m^3) = \text{şebekeden çekilen ısı} / 10,64$$

$$\text{Şebekeden çekilen ısı}(m^3) = 5.019.901,23 / 10,64$$

olarak hesaplanır.

4.8 Kojenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi

Aksaray Üniversitesi'nin enerji ihtiyacını giderilmesi için kurulacak kojenerasyon sisteminin ekonomikliğini belirlemek için amortisman ve dinamik geri ödeme süreleri Denklem 4.21, Denklem 4.22 ve Denklem 4.23'e göre hesaplanacaktır.

$$\text{Aylık net kazanç} = (\text{SÖAEM} - \text{SSAEM}) \quad (4.21)$$

SÖAEM = sistemden önceki aylık enerji maliyeti

SSAEM = sistemden sonraki aylık enerji maliyeti

SÖAEM = (aylık elektrik maliyeti + aylık ısınma maliyeti)

$$\text{SSAEM} = \left(\begin{array}{c} \text{elektrik} \\ \text{üretimi için harcanan} \\ \text{doğal gaz maliyeti} \end{array} + \begin{array}{c} \text{sistem tarafından} \\ \text{karşılanmayan} \\ \text{ısınma maliyeti} \end{array} + \begin{array}{c} \text{bakım ve} \\ \text{işletme} \\ \text{maliyeti} \end{array} \right) \quad (4.22)$$

$$\text{Bakım ve işletme maliyeti} = 7 \frac{\text{EURO}}{\text{SAAT}} = 123,2 \frac{\text{TL}}{\text{SAAT}} \quad (4.23)$$

Hesaplamalar sonucu sistemden önceki elektrik ve ısınma maliyetinden sistemin kurulumundan sonraki elektrik ve ısınma için kullanılan yakıtın maliyeti çıkarılarak net kazanç bulunur. Bulunan bu değerler Çizelge 4,4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Sistemin öncesi ve sonrasına ait aylık giderleri ve net karı.

Aylar	SİSTEMDEN ÖNCEKİ MALİYET (TL)		SİSTEMDEN SONRAKİ MALİYET (TL)			NET KAR (TL)
	Aylık Elektrik Maliyeti	Aylık Isınma Maliyeti	Motorun Harcadığı Doğal Gaz Maliyeti	Sistemin Karşılama dığı Isınma Maliyeti	Bakım ve İşletme Maliyeti	
Ocak	748.962,94	758.642,58	356.393,82	590.856,69	91.660,80	468.694,21
Şubat	698.666,23	718.955,95	331.788,22	562.754,08	82.790,40	440.289,48
Mart	755.174,06	677.933,08	359.134,76	508.856,78	91.660,80	473.454,79
Nisan	633.312,52	248.932,69	304.624,13	105.519,34	88.704,00	383.397,74
Mayıs	588.913,06	55.133,68	285.764,31		91.660,80	266.621,62
Haziran	715.258,14	2.774,06	340.786,59		88.704,00	288.541,61
Temmuz	764.544,00	1.512,64	363.269,69		91.660,80	311.126,15
Ağustos	753.373,84	1.598,16	358.340,33		91.660,80	304.970,86

Çizelge 4.4. (Devamı). Sistemin öncesi ve sonrasına ait aylık giderleri ve net karı.

Eylül	805.681,21	1.646,26	380.690,00		88.704,00	337.933,47
Ekim	940.308,66	189.421,46	440.834,07		91.660,80	597.235,24
Kasım	1.039.084,99	576.682,74	483.690,34	348.967,20	88.704,00	694.406,18
Aralık	1.069.551,51	639.181,83	497.868,53	404.791,36	91.660,80	714.412,65
	9.512.831,15	3.872.415,09	4.503.184,78	2.521.745,45	1.079.232,00	5.281.084,01

Yıllık amortisman bedeli (Denklem 4.24);

$$C_K = I \left[\frac{f(1+f)^n}{(1+f)^n - 1} \right] \frac{TL}{YIL} \quad (4.24)$$

$$I = 11.773.600$$

$$f = \% 14 = 0,14(\text{URL-21})$$

$$n = 15 \text{ Yıl}$$

$$C_K = 11.773.600 \left[\frac{0,14(1+0,14)^{15}}{(1+0,14)^{15} - 1} \right] \frac{TL}{YIL}$$

$$C_K = 1.916.847,57 \frac{TL}{YIL}$$

Dinamik geri ödeme süresi (Denklem 4.24);

$$tg = \frac{\ln\left(\frac{Gi}{Gi - Gy f}\right)}{\ln(1+f)} \quad (4.25)$$

$$tg = \text{Geri Ödeme Süresi (yıl)}$$

$$Gi = 5.281.084,01 \text{ (TL)}$$

$$Gy = 11.763.600 \text{ (TL)}$$

$$f = \% 14 = 0,14$$

$$tg = \frac{\ln\left(\frac{5.281.084,01}{5.281.084,01 - 11.763.600 \times 0,14}\right)}{\ln(1+0,14)}$$

$$tg = 2,85 \text{ yıl olarak bulunur.}$$

5. SONUÇ

Dünyada artan nüfus, teknolojik ilerlemeler ve insanların modern şartlarda yaşama isteği doğal olarak artmaktadır. Bu sebeple son yıllarda hızla artan petrol, doğal gaz ve kömür gibi enerji kaynaklarındaki tüketim miktarı şimdi ve gelecekte enerji krizlerine sebep olacaktır. Aynı zamanda Dünya Kovid-19 salgını yaralarını sarmaya çalışırken, ortaya farklı enerji arayışları çıkartacaktır. Bu gelişme ile dünyadaki enerji krizi 2022 ve sonrasındaki yıllarda enerji arayışı kriz haline gelecektir. Bu nedenle yeni kaynak arayışı devam ederken mevcut kaynakları ekonomik, verimli, geri kazanımları maksimum seviyede ve enerji tüketimini tasarruflu şekilde kullanılmalıdır.

Bu çalışmada Aksaray Üniversitesinin enerji ihtiyacı için kurulması düşünülen kojenerasyon sisteminin fizibilite çalışması yapılmıştır. Çalışmaya konu olan üniversite içindeki 13 fakülte, 3 enstitü ve Uygulama ve Araştırma Merkezi ve İdari Birimlerin bulunduğu 169.226,25 m² toplam kapalı alana sahip üniversitenin 2021 yılına ait elektrik ve doğalgaz tüketim değerleri dikkate alınarak kojenerasyon sistemi seçimi yapılmıştır.

2021 elektrik ve doğalgaz tüketim harcamalarına bakıldığında sistemin güç ünitesi ve kapasitesi seçilirken doğalgaz tüketimindeki dalgalanmalar yıl içerisinde fazla olduğundan ve elektrik tüketimi daha stabil olduğundan elektrik enerjisine göre sistemin fizibilite yapılması daha uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Elektrik tüketiminin en fazla olduğu ay Aralık ayı olarak tespit edilmiştir. Bu değer 544,94 kWh olarak hesaplanmıştır. Üniversitenin enerji ihtiyacının karşılanmasındaki hedef elektrik tüketimin maksimum olacağı düşünülmüş hesaplanması gerekir. Ayrıca kampüs içeresine yapılması muhtemel olan fakülte ya da farklı yerleşke olabileceği de düşünülerek ve gelecek yıllarda elektrikli araçların yaygınlaşacağı göz önünde bulundurularak elektrik talebinin mümkün olduğunca fazla kurulu güce sahip olması gerekir. Kurulacak sistem elektrik yükünü tek bir güç üniteden karşılaması yıl içerisindeki dalgalanmalardan kaynaklanacak olan motorların düşük yükte çalışması ve bu sebepten dolayı motorların verimlerinin düşmesi, tek motorun herhangi bir bakım veya arıza anında sistemi aksatması, gibi sebeplerden ötürü 2 adet 400 kW'lık güç ünitesi seçilmesi uygun görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada kojenerasyon sistemimde en uygun yakıt tipi doğalgaz seçilmiştir. Doğal gaz; ekonomik, kolay ve sürekliliği, güvenilir, temiz gibi özelliklerinde dolayı seçilmesi uygun bulunmuştur.

Fizibilitesi yapılan kojenerasyon sisteminde elektrik verimi, ısı verimi, toplam verim ve net verim bulunmuştur (Denklem 5.1, ... , Denklem 5.4).

$$\eta_e = \% 43 \quad (5.1)$$

$$\eta_{th} = \% 47 \quad (5.2)$$

$$\eta_t = \% 90,02 \quad (5.3)$$

$$\eta_{net} = \% 88,80 \quad (5.4)$$

Enerji tasarrufu, güç ve ısı üretimini yapan bir kojenerasyon tesisinde kullanılan yakıtın enerjisi ile konvansiyonel bir tesiste tüketilen enerji arasındaki fark enerji tasarrufu olarak bulunmuştur (Denklem 5.5).

$$PES = 716 (kW) \quad (5.5)$$

Yapılan birincil enerji tasarrufu sağlamanın yanında da emisyon tasarrufu da sağlanacaktır. Bulunan RCES = %44,8 oranıyla emisyon değerlerinde ciddi bir tasarruf edileceği görülüyor. Bu da çevresel yönden baktığımızda kojenerasyon sistemi çok cazip olduğu anlaşılabacaktır. Örnek olarak pekiştirecek olursak 100 birim CO₂ üretildiği bir durumda miktarın 55.2 birime düşeceği görülür.

2021 yılında toplam 3.606.077,01 kWh elektrik enerjisi ve 724493 m³ doğalgaz harcanmıştır. Bu tüketimlere göre elektrik için 9.512.831,15 TL ve doğalgaz için ise 3.872.415,08 TL ödenmiştir.

Üniversitenin enerji ihtiyacı iç tüketimler dahil yıllık elektrik enerjisi ihtiyacı için 3.868.246,87 kWh olarak hesaplanmıştır. Isı enerjisi ihtiyacı ise 7.708.605,52 kWh aynı değer olarak alınmıştır. Kojenerasyon sistemindeki güç ünitesinin motorları toplamda 9.670,62 saat çalışarak toplamda 3.868.246,87 kWh elektrik enerjisi, 4.220.257,34 kWh ise ısı enerjisi üretilmiştir. Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim aylarında kullanılan ısınsın hepsi sistem tarafından karşılanmıştır. Diğer

aylarda ise elektrik ihtiyacının hepsini sistem karşılamış ısı enerjisinin ise 5.019.901,23 kWh karşılanamayıp şebekeden çekilmiştir. Kurulacak kojenerasyon sistemi üniversitenin elektrik enerjisini karşılama oranı %100; ısı enerjisini karşılama oranı ise %35 olup kurulacak sistem tarafından karşılanacaktır. Üniversitenin toplam enerji ihtiyacını ise %57' si sistem tarafından karşılanacaktır.

Yapılan bu çalışmada yıllık amortisman bedeli ve dinamik geri ödeme süreleri kojenerasyon sistemi için hesap edilmiştir. Yapılan hesaplar doğrultusunda sistemin Aksaray Üniversitesi' ne uygulandığı takdirde amortisman sonucu yaklaşık $1.916.847,57 \frac{TL}{YIL}$ ve dinamik geri ödeme süresi ise 2,85 yıl olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak kojenerasyon sistemi yüksek enerji verimliliği, enerji tasarrufu sağlar ve sera gazı salınımını azaltır. Kojenerasyon sistemlerinin ana özelliği genel olarak, tek bir enerji kaynağı tüketimi süreci aracılığıyla elektrik ve faydalı ısı üretir. Birleşik enerji üretimi, dağıtılmış üretimin ve atık enerjinin yeniden kullanımının sebep olduğu yüksek performansının bir sonucu olarak, geleneksel üretimden daha verimlidir. Bu çözüm sayesinde enerji için yakıt tüketimi yarı yarıya azalmaktadır. Kojenerasyon sistemi ile elektrik; tüketim noktasında üretilir. Bu durum arzın ulaşım ve dağıtım ile ilgili arızalara ve kayıplara maruz kalmaması anlamına gelmektedir. Aynı zamanda, dağıtım ve bakım maliyetleri ortadan kalkmaktadır. Kojenerasyon sistemlerinin kullanımının enerji tüketiminin azalmasına ve daha temiz yakıtların kullanımına imkân vermesi sonucunda çevreye daha az zarar verilmesi, kojenerasyon sistemlerinin yapılabilirliği açısından avantajlı sayılabilecek özelliklerdendir. Sayılan özellikler, literatürden alınan bilgiler, yapılan hesaplamalar ve araştırmaların ışığında yapılan bu test çalışmasının sonucunda da kojenerasyon uygulamasının avantajlı bir sistem olduğu kanıtlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Akdeniz, N., 2007. Doğal gazlı kojenerasyon sisteminin ekserjetik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Albayrak, S., 2007. Kojenerasyonun bölgesel ısıtma sisteminde kullanılabilirliği ve klasik bölgesel ısıtma ile karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aybers, N. ve Şahin, B., 1995. Enerji Maliyeti, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul.
- Aydoğan, A., 2009. Toplam inşaat alanı yirmibin metrekareden büyük ticari yapılarda kojenerasyon sisteminin alternatif sistemlerle enerji ve bina maliyeti açısından karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bala, H., 2002. Çöplük gazı ile kojenerasyon uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Beştaş, E. H., 2018. Üç Bloklu Bir Sitenin Isıtma İhtiyacının Kojenerasyon Sistemi ile Karşılansması ve Enerji-Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Çakır, U., 2007. Aziziye araştırma hastanesi enerji gereksinimi için kojenerasyon sisteminin uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Çetin, E., 2017. 300 yataklı hastanede kurulacak kojenerasyon/trijenerasyon santralinin teknoekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Duymaz, M. M., 2016. Bir kojenerasyon tesisinin enerji, ekserji ve eksergoekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Ener, Ö., 2006. Örnek bir işletmede kojenerasyon tesisi uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Erdönmez, M. U., 2014. Boya fabrikası kojenerasyon tesisinde enerji analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Erişmiş, A., 2021. Atatürk Üniversitesi yerleşkesi için kojenerasyon sisteminin ekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Gezer, İ., 2014. Bir gaz beton fabrikasında doğalgaz motorlu kojenerasyon sistemi yatırımı için fizibilite çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

- Goza, M., 2013. Kojenerasyon sistemleri ve uygulamalı ekonomik analizi: hastane örneği, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova.
- Gözalıcı, H., 2019. Ağaç sanayinde gaz türbinli bir kojenerasyon çevrimi sisteminin tasarımı ve termodinamik analizi: Balıkesir şartlarında uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun.
- İsa, N. M., Tan, C. W., Yatim, A. H. M., 2018. A Comprehensive Review of Cogeneration System In A Microgrid: A Perspective From Architecture and Operating System, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 2236-2263.
- İster, İ., 2006. Mevcut bir fabrikada trijenerasyon uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kabacan, T., 2019. Bölgesel ısıtma yapılan yerleşkelerde ısı merkezlerine kojenerasyon sisteminin entegrasyonu ve Muş Alparslan Üniversitesi kampüsü örneği, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kıncay, O. ve Yumurtacı, Z., 2006. Bir Üniversite kampüsü için Uygun Enerji Sisteminin Seçimi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 95, 5-12.
- Kısakesen, T., 2016. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi sağlık uygulama ve araştırma hastanesinin enerji ihtiyacının karşılanmasında kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin karşılaştırılması ve ekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- MEB, 2012. Yenilenebilir enerji teknolojileri, Yenilenebilir enerji kaynakları ve önemi, Millî Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- Othan, O., 2021. Kafkas Üniversitesi Sağlık Araştırma ve Uygulama Hastanesi enerji ihtiyacının kojenerasyon ve trijenerasyon sistemi ile karşılanmasının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars.
- Özdemir, N., 2011. Çekmeköy ilçesi toplu konut bölgeleri için kojenerasyon sistemlerinin analizi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Özkan, E., 2009. Erdemir Ereğli Demir Çelik fabrikası kojenerasyon ve konvansiyonel elektrik üretim tesislerinin ekserji analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztürk, H. ve Kaya, H., 2014. Kojenerasyon ve Trijenerasyon Tekniği, Umuttepe Yayınları, İstanbul.
- Pravadalıoğlu, S., 2012. Kojenerasyon sistemleri ile yerinde enerji üretimi, TTDM Bilimsel Sektör Dergisi, 77, 24-28.

Türkoğlu, S., 2019. Doğal gaz depolama tesislerinde kullanılan gaz türbinlerinde kojenerasyon sisteminin uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.

Uzungöl, S., 2017. Mermer imalat sektöründe doğalgaz ile çalışacak kojenerasyon sisteminin ekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.

URL-1 <<https://ekonometri.com.tr/blog/dunya-enerji-sorunu/>> Erişim tarihi: 20.06.2022

URL-2 <<https://www.kizilkaya.com.tr/blog/enerji-ithalati-rekor-duzeyde>>Erişim tarihi: 20.10.2022

URL-3 <<https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektörlere-gore-nihai-enerji-tuketimi-i-85804#:~:text=2019%20y%C4%B1l%C4%B1nda%20T%C3%BCrkiye'de%20%20nihai,%256%2C5'dir.>>Erişim tarihi: 20.10.2022

URL-4 <<https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/enerji-krizinin-dunyayi-derinden-etkilemeye-devam-edecegi-ongoruluyor/2469768>> Erişim tarihi: 20.07.2022

URL-5 <<https://www.solechem.com/u/kazansartlandirma/#:~:text=Kazan%20besleme%20suyu%20nedir%3F,kondensi%20tamamlamak%20i%C3%A7in%20kullan%C4%B1lan%20sudur.>> Erişim tarihi: 25.07.2022.

URL-6 <<https://masgrup.com/genlesme-tanki-nedir#:~:text=Genle%C5%9Fme%20tanklar%C4%B1%20%20sistemdeki%20bas%C4%B1nc%C4%B1%20e%C5%9Fitler,deposunda%20bulunan%20diyafram%20a%C5%9Fa%C4%9F%C4%B1%20itilir.>> Erişim tarihi: 25.05.2022.

URL-7 <<https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/atik-is-geri-kazanm/8796#ad-image-0>> Erişim tarihi: 26.07.2022.

URL-8 <<https://www.wbdg.org/resources/microturbines>> Erişim tarihi: 02.07.2022.

URL-9 <<https://helec.co.uk/products/stirling-enginechp/#:~:text=Stirling%20engine%20CHP%20systems%2C%20a,leading%20water%20heating%20transfer%20technology.>> Erişim tarihi: 26.07.2022

URL-10 <<https://www.urbangreenbluegrids.com/measures/efficient-use-ofrenewable-and-fossil-sources/>> Erişim tarihi: 25.06.2022

URL-11 <<https://naturalgassolution.org/what-is-natural-gas/>> Erişim tarihi: 25.07.2022

URL-12 <<https://www.edina.eu/news/how-to-generate-fast-cost-savings-with-high-efficiencychp#:~:text=CHP%20is%20often%20the%20most,investment%20of%202%2D3%20years>>.Erişim tarihi: 28.07.2022

- URL-13 <[https://aksaray.ktb.gov.tr/TR-63622/cografyaiklim.html#:~:text=Aksaray%20%C4%B0li%20orta%20iklim%20ku%C5%9Fa%C4%9F%C4%B1nda,kg%20Fm%C2%B2\)%20dir.](https://aksaray.ktb.gov.tr/TR-63622/cografyaiklim.html#:~:text=Aksaray%20%C4%B0li%20orta%20iklim%20ku%C5%9Fa%C4%9F%C4%B1nda,kg%20Fm%C2%B2)%20dir.)> Erişim tarihi: 26.07.2022
- URL-14 <<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=AKSARAY>> Erişim tarihi: 26.07.2022
- URL-15 <<https://portal.enerya.com.tr/DogalGazBirimFiyatlari/index.xhtml?city=68>> Erişim tarihi: 06.07.2022
- URL-16 <<https://www.epdk.gov.tr/DownloadDocument4.Versiyon-01.01.2018-EPDK>> Erişim tarihi: 26.07.2022
- URL-17 <<http://kosano.org.tr/wp-content/uploads/2015/03/sunu2.pdf>> COşKUN ÖZ ALP İL TEKNO > Erişim tarihi: 16.07.2022
- URL-18 <<https://www.mwm.net/en/gas-engines-gensets/gas-engine-tcg-3016/>> Erişim tarihi: 20.07.2022
- URL-19 <<https://www.alfalaval.com.tr/urunler/isi-transferi/plakali-esanjorler>> Erişim tarihi: 21.07.2022
- URL-20 <<https://www.enevaenerji.com.tr/urunler/atik-isi-kazanlari>> Erişim tarihi: 20.07.2022
- URL-21 <<https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/tr/tcmb+tr/main+menu/duyurular/basin/2022/duy2022-26>> Erişim tarihi: 20.06.2022

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Emrah ÇALIŞ

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği (2011-2016)

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği A.B.D.

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Çalış, E., 2023. Doğal gaz yakıtlı bir kojenarasyon sisteminin tasarımı ve analizi: Aksaray Üniversitesi örneği, 8. Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi.