



**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ YERLEŞKESİ İÇİN
KOJENERASYON SİSTEMİNİN EKONOMİK
ANALİZİ**

Ahmet ERİŞMİŞ

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL
2021**

(Her hakkı saklıdır).

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ YERLEŞKESİ İÇİN KOJENERASYON SİSTEMİNİN
EKONOMİK ANALİZİ**

(Economic Analysis of A Cogeneration System FOR Atatürk University Campus)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet ERİŞMİŞ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL

Erzurum
Ocak, 2021

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Ahmet ERİŞMİŞ tarafından hazırlanan “Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi İçin Kojenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi” başlıklı çalışması 04 / 01/ 2022 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Termodinamik Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	<i>Dr.Ögr. Üyesi Eda Feyza AKYÜREK</i> <i>Erzurum Teknik Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	<i>Dr.Ögr Üyesi Nesrin ADIGÜZEL</i> <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	<i>Dr.Ögr. Üyesi Fadime ŞİMŞEK</i> <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır

Enstitü Yönetim Kurulunun
.../.../.... tarih ve sayılı
kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Graduate School of Natural and
Applied Sciences

T.C.

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ****ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU**

Yüksek Lisans Tezi olarak *Dr.Ögr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL* danışmanlığında sunulan “Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi İçin Kojenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	8	30
Kuramsal Temeller	4	30
Materyal ve Yöntem	1	35
Bulgular	11	20
Tartışma	0	20
Tezin Geneli	10	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Ahmet ERİŞMİŞ	Dr.Ögr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL
13.12.2021	13.12.2021
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

Not: Bu form, Tezin son şekline uygun olarak bilgisayar ortamında doldurulmalı, çıktısı imzalanıp Tezin sonuna eklenmelidir.

TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesi ile başlayan süreçte desteğini esirgemeyen bilgisi ve tecrübesi ile yoluma yön veren danışmanım Sayın Dr.Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL’e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında desteklerini eksik etmeyen arkadaşlarım Arş. Gör. Musa DEMİR’e,, İnşaat Yüksek Mühendisi Halit Çağrı KOYUNOĞLU’na, ayrıca yardımlarından dolayı Öğr. Gör. Abdulkadir Bayrakçeken’e, Aileme, ve Atatürk Üniversitesi Isı Merkezi çalışanlarına teşekkür ederim.

Ahmet ERİŞMİŞ



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ YERLEŞKESİ İÇİN KOJENERASYON SİSTEMİNİN EKONOMİK ANALİZİ

Ahmet ERİŞMİŞ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nesrin ADIGÜZEL

Amaç: Bu çalışmada. Atatürk Üniversitesi yerleşkesi için kurulması düşünülen kojenerasyon sisteminin ekonomik analizi yapılmıştır.

Yöntem: Bu çalışma için Atatürk Üniversitesi yapı işleri daire başkanlığından ve ısı merkezinden 2019 yılına ait gerekli bilgiler alınmıştır. Aylık tüketimlerin en çok ve en az olduğu aylar dikkate alınarak motor gücü belirlenmiştir. Bu verilere göre Geri Ödeme Süresi (GÖS), Net Bugünkü Değer (NBD) ve Fayda Maliyet Analizleri (F/M) yapılarak gerekli grafikler oluşturulmuştur.

Bulgular: Atatürk Üniversitesi yerleşkesinin yıllık elektrik enerjisi ihtiyacının %91,9 u seçilen kojenerasyon sistemi ile karşılandığı görülmüştür. Ancak seçilen kojenerasyon sistemi yerleşke için gerekli olan ısı enerjisinin yalnızca %18,6'sını üretebilecektir.

Sonuç: Elde edilen analizler sonucu Atatürk Üniversitesi yerleşkesindeki ısı merkezi ile ısıtılan birimler için kojenerasyon ünitesinin kurulması durumunda geri ödeme süresi yaklaşık 2 yıl olarak bulunmuştur. Paranın bugünkü değeri analizi ve fayda/maliyet analizinin de olumlu olduğu görülmüştür. Analizler sonucunda kojenerasyon sisteminin enerji açısından Atatürk Üniversitesi'ne hem ekonomik hem de çevresel olarak katkı sağlayacağı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kojenerasyon, Ekonomik Analiz

Ağustos 2021, 37 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

ECONOMIC ANALYSIS OF A COGENERATION SYSTEM FOR ATATÜRK UNIVERSITY CAMPUS

Ahmet ERİŞMİŞ

Advisor: Asst. Dr. Nesrin ADIGÜZEL

Purpose: In this study, an economic analysis of a cogeneration system, which is planned to be established for the Atatürk University campus, was made.

Method: The data necessary for this study was obtained from Atatürk University, Directorate of Construction and from the Heating Plant for the year 2019. Engine power was determined by taking into account the months with the highest and lowest monthly consumptions. According to these data, Payback Period (PBP), Net Present Value (NPV) and Cost-Benefit Analysis (CBA) were made and relevant graphs were plotted.

Findings: It has been found out that 91.9% of the annual electrical energy need of the Atatürk University campus could be met by the proposed cogeneration system. However, the cogeneration system will be able to produce only 18.6% of the thermal energy required for the campus.

Results : As a result of the analyzes, the PBP was found to be approximately 2 years in the case a cogeneration system is established for the units heated by the Heating Plant in the Atatürk University campus. Present value of money analysis and benefit/cost analysis were also found to be positive. As a result of the analyzes, the proposed cogeneration system was found to have the potential to contribute to Atatürk University both economically and environmentally with regards to the energy consumption.

Keywords: Cogeneration, Economic Analysis

August 2021, 37 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
GİRİŞ.....	1
Literatür Araştırmaları	3
Tezin Amacı.....	5
KURAMSAL TEMELLER.....	6
Kojenerasyon Sistemleri ve Gelişimi.....	6
Kojenerasyon Sistemlerinin Kullanıldığı Alanlar.....	7
Kojenerasyon Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları	7
Ülkemizde Kojenerasyon	8
Kojenerasyon Sistemlerinde İşlem Akışı.....	10
Kojenerasyon Sistemlerinin Güç Kaynakları.....	11
Buhar türbinli sistemler.....	12
Gaz türbinli kojenerasyon sistemleri.....	13
Dizel motorlu kojenerasyon sistemleri	15
Gaz motorlu kojenerasyon sistemleri.....	16
Kojenerasyon Sistemlerinde Kullanılan Yakıtların Özellikleri	17
Kojenerasyon Sistem Seçimleri	18
Kojenerasyon Ünitelerinin Güç Kaynağı Seçimi.....	19
Kojenerasyon Sistemleri İle Bölgesel Isıtmanın Ekonomik Olurluğu.....	19
MATERYAL VE YÖNTEM	21
Araştırma Bulguları.....	21
Sistem Seçimi.....	23
Seçilen Kojenerasyon Ünitesinin Tahrik Gücü Seçimi.....	24
ARAŞTIRMA BULGULARI	26

Atatürk Üniversitesi Kampüsüne Kurulması Düşünülen Kojenerasyon Ünitesinin İşletme Değerleri.....	26
Kurulması Planlanan Kojenerasyon Sistemi İçin Kullanılacak Ekonomik Analiz Yöntemleri	29
Kojenerasyon Ünitesinin Kurulacağı İşletmedeki Gelirler, Giderler Ve Proje Kazancı	30
Kojenerasyon Santrali İlk Kurulum Maliyeti.....	30
Kojenerasyon Sistemlerinin Kurulmasına Karar Vermek İçin Kullanılacak Ekonomik Analiz Yöntemleri.....	31
Geri ödeme süresi ile ekonomik analiz	31
Net bugünkü değer ile ekonomik analiz (NBD)	32
Fayda maliyet analizi	32
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	33
KAYNAKLAR.....	35
ÖZGEÇMİŞ.....	37

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Kojenerasyon Sistemlerinin Kullanıldığı Tesisler.....	7
Tablo 2. Türkiye’deki Kojenerasyon Ünitelerinde Üretilen Elektrik ve Isı Enerjisi Miktarları	10
Tablo 3. Bazı Yakıtların Metan Sayıları	17
Tablo 4. 2019 Yılı Elektrik ve Doğalgaz Tüketim Miktarları	21
Tablo 5. 2019 Yılı Elektrik ve Doğalgaz Tüketimleri için Ödenen Ücretler.....	22
Tablo 6. 2019 Yılı Elektrik ve Doğalgaz Tüketimleri	22
Tablo 7. Ocak Ayı Tüketim Değerleri	25
Tablo 8. Haziran Ayı Tüketim Değerleri.....	25
Tablo 9. MWM Marka, TCG-2020-V20 Model Doğalgazlı Motorun Özellikleri	25
Tablo 10. Kojenerasyon Ünitesi İşletme Değerleri	26
Tablo 11. Çevrim Verimlerinin Santral Kapasitesi Yüzdesi	26
Tablo 12. Çevrim Verimlerinin Enerji Tüketimine Göre Yüzdesi	26
Tablo 13. Yıllık Santral İşletme Değerleri.....	29
Tablo 14. İşletme Gelirleri.....	30
Tablo 15. İşletme Giderleri	30
Tablo 16. Proje Kazancı.....	30

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 2019 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı.....	2
Şekil 2. Kojenerasyon sisteminin şematik görünümü	6
Şekil 3. Türkiye’de 1992 - 2019 yılları arasında bulunan kojenerasyon sistemlerinin kurulu güç değerleri.....	8
Şekil 4. Türkiye kojenerasyon santrallerinde üretilen elektrik ve ısı enerjisi miktarları	9
Şekil 5. Türkiye kojenerasyon tesislerinin sektörel dağılımı	9
Şekil 6. Kojenerasyon sisteminin şematik görünümü	11
Şekil 7. Ara buhar almalı buhar türbin	12
Şekil 8. Buhar türbinli kojenerasyon sisteminin çalışma ilkesi.....	13
Şekil 9. Gaz türbini.....	13
Şekil 10. Gaz türbinli kojenerasyon sistemi.....	14
Şekil 11. Gaz türbinli kojenerasyon sisteminin çalışması.....	14
Şekil 12. Dizel motorlu kojenerasyon sistemi.....	15
Şekil 13. Dizel motorlu kojenerasyon sistemi.....	15
Şekil 14. Gaz motorlu kojenerasyon sistemi	16
Şekil 15. Gaz motorlu kojenerasyon sistemi	17
Şekil 16. İçten yanmalı gaz motorlu kojenerasyon ünitesi.....	24
Şekil 17. Ocak ayında tesisin elektrik enerjisi ihtiyacının kojenerasyon sistemi ile karşılanması	27
Şekil 18. Ocak ayında tesisin ısı enerjisi ihtiyacının kojenerasyon sistemi ile karşılanması..	27
Şekil 19. Haziran ayında tesisin elektrik enerjisi ihtiyacının kojenerasyon sistemi ile karşılanması	28
Şekil 20. Haziran ayında tesisin ısı enerjisi ihtiyacının kojenerasyon sistemi ile karşılanması	28
Şekil 21. Kojenerasyon sistemi ile üretilen elektrik enerjisinin ihtiyacı karşılama mukayesesi	33
Şekil 22. Kojenerasyon sistemi ile üretilen ısı enerjinin ihtiyacı karşılama mukayesesi.....	34

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

kW_e	kilowatt elektrik
kW_t	kilowatt ısı
B_t t.	Yıldaki nakit girdisi
CO_2	karbondioksit
C_t t.	Yıldaki nakit girdisi
F_n n.	Yıldaki getiri
Nm^3	normal metreküp
m^3	metreküp
Gwh	gigawatt saat
H	yatırımın hurda değeri
kcal	kilo kalori
kW	kilowatt
MW	megawatt
NO	azotmonoksit
r	r yıllık faiz oranı

Kısaltmalar Açıklamalar

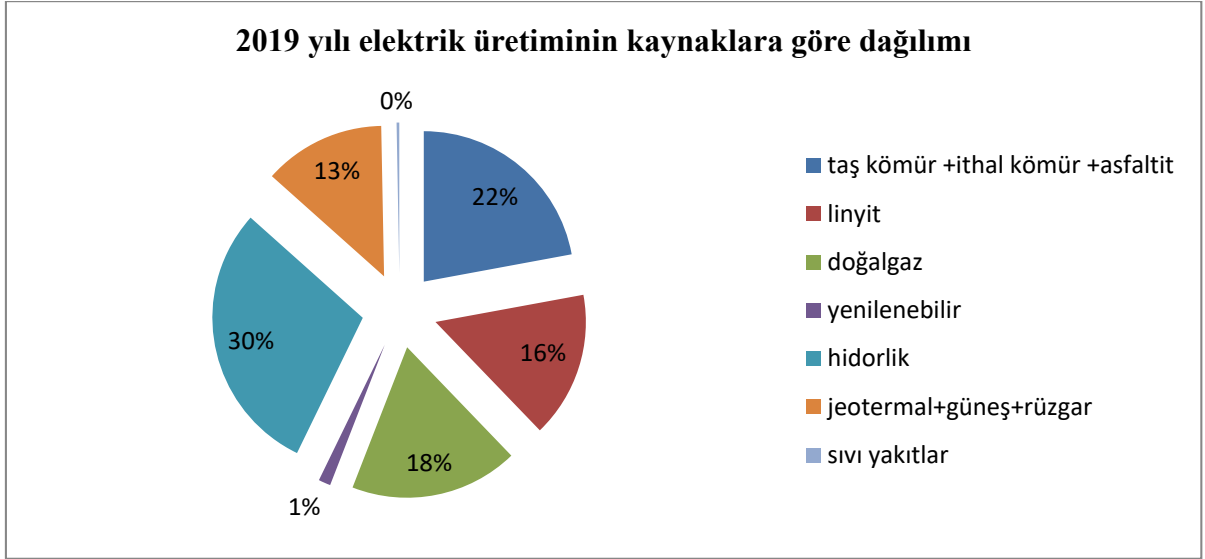
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AVM	Alışveriş Merkezi
CHP	Combined Heat And Power
EIO	Elektrik Isı Oranı
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
F/M	Fayda Maliyet Oranı
GGF	Gelir Gider Farkı
GÖS	Geri Ödeme Süresi
KDV	Katma Değer Vergisi
NBD	Net Bugün Ki Değer
YT	Yatırım Tutarı

GİRİŞ

Dünya genelinde nüfusun artışı ve sanayileşmenin artması neticesinde ortaya çıkan enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Sanayi devrimi ile birlikte enerji ihtiyacını karşılamada önce kömür daha sonra petrol enerji ihtiyacının karşılanmasında ilk sıradaki yerini almıştır. Daha sonraki dönemde hem çevre kirliliği daha az olan hem de ısı verimi yüksek olan doğalgaz da enerji ihtiyacının giderilmesi için kullanılmıştır. Günümüzde kullanılan enerjinin büyük kısmı fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. Ülkeler arasında büyük soruna neden olan enerji ihtiyacının alternatif enerji kaynaklarından sağlanma çalışmaları giderek hız kazanmaktadır. Dünyadaki fosil kaynaklardan kömür rezervinin 2227, petrol rezervinin 2040, doğalgaz rezervinin 2065 senesine kadar yeterli olacağı tahmin edilmektedir. Durum böyle olunca enerjinin verimli kullanılması kaçınılmaz bir hal almıştır (Goza 2013).

Dünya nüfusunun hızla artmasına bağlı olarak nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için sanayileşme de hızlı şekilde artmaktadır. Sanayileşmenin artması fosil yakıtlarının tüketimini de arttırmaktadır. Fosil yakıtların tüketiminin artması ile baca gazları (SO_2 , NO_x v.b.) çevresel kirliliğe ve küresel ısınmaya neden olmaktadırlar. Fosil yakıtların yakılması ile ortaya çıkan yanma ürünlerinin sera etkisi yaparak buzulların erimesine, okyanusların yükselmesine ve istenmeyen iklim değişikliğine neden olduğu bilinen bir gerçektir.

Ülkemizde elektrik ve ısınma için kullanılan enerjinin büyük kısmı dışa bağımlı olduğumuz kömür, petrol ve doğalgazdan elde edilmektedir. Fosil yakıtların giderek azalması, çevre kirliliği ve iklim değişiklikleri fosil yakıtların diğer dezavantajlarıdır. Kömür ülkemizde bol bulunmasına rağmen ülkemizde çıkarılan kömürün kalori değeri yeterli seviyede değildir. Dolayısı ile enerji kaynaklarının verimli kullanılması ülkemiz açısından son derece önemlidir. Aşağıdaki grafikte ülkemizde üretilen elektriğin, üretim kaynaklarına göre miktarları verilmiştir.



Şekil 1. 2019 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı

Yukarıdaki grafikte de görüldüğü üzere Türkiye’deki elektrik üretiminin büyük kısmı (yaklaşık %56) fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu durumun hem çevre kirliliğine hem de ülke ekonomisinde büyük kayıplara neden olduğu açıkça görülmektedir. Türkiye’nin enerji ihtiyacının giderek arttığı göz önüne alındığında, zaman kaybetmeden alternatif enerji kaynaklarına yönelme gerekliliği kaçınılmazdır.

Çevresel kirliliklerin en az düzeye indirilmesi amacıyla; rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, güneş enerjisi ve dalga enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları üzerine çalışmalar artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını gerekli kılan asıl nedenler;

- Birincil enerji kaynak rezervlerinin sınırlı ve tükenecek olması,
- Birincil enerji kaynaklarının yeryüzünde homojen dağılmaması ve ülkeler arasında gerilime neden olması,
- Fosil enerji kaynakları rezervi düşük olan ülkelerin dış bağımlılıklarını azaltma istekleri,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre dostu olmasıdır.

Dünyanın geldiği son durum işletmeleri enerji yönetimi konusunda yeni arayışlara itmiştir. Doğalgaz veya biyogaz gibi yakıtlarla çalışan kojenerasyon sistemleri işletmeler için daha uygun fiyata elektrik üretirken aynı anda atık ısı kazanımı ile işletmelerin ısı ihtiyacını da karşılamaktadır (Kabacan 2019).

Geleneksel yöntemler ile enerji üretim sistemlerinde enerjinin yaklaşık %60’ı atıl ısı olarak çevreye atılmaktadır. Bu durum geleneksel enerji üretim sistemlerini verimsiz kılmaktadır. Ancak kojenerasyon sistemlerinde elektrik enerjisi üretimi ile eş zamanlı üretilen

ısı ısı enerji, işletmelerin ısıtma ve sıcak su ihtiyaçlarında kullanılabilir. Gaz yakıt ile çalışan kojenerasyon sistemlerinin verimi % 80-90 seviyelerine çıkabilir (Kabacan 2019).

Literatür Araştırmaları

(Sivrioğlu *et al.* 2011) ısıtma ve iklimlendirme sistem alternatiflerini incelemiş, alternatifler arasından seçilen dört ısıtma ve iklimlendirme sistemini bir binaya uygulayarak bina için en ekonomik ısıtma ve iklimlendirme yöntemini belirlemişlerdir. Ayrıca bina için uygun bir kojenerasyon sistemini seçmişlerdir. Seçilen kojenerasyon sistemini, en ekonomik iklimlendirme sistemi ile ekonomik açıdan karşılaştırarak, kojenerasyon sistemlerinin ısıtma ve iklimlendirme sistemlerine entegre edilmelerinin ekonomik yönden önemli olduğunu göstermişlerdir.

(Adigüzel, Çomaklı *et al.* 2015) çekme köy ilçesinde bulunan Aktürk sitesi için farklı kapasiteli 5 adet kojenerasyon sisteminin ekonomik analizini yapmışlardır. 1200 kW kapasiteli kojenerasyon ünitesini seçmiş ve geri ödeme süresini 1 yıl 5 ay olarak bulmuşlardır. Bu kojenerasyon sisteminin ekonomik ve geri dönüşüm süresinin kısa olduğunu göstermiştir.

(Abusoglu *et al.* 2013) yaptıkları çalışmada, GASKİ atık su arıtma tesisinde üretilen biyogazı yakıt olarak kullanan gaz motorlu bir kojenerasyon sistemini, gerçek işletme verileri ile SPECO metodu kullanarak eksergoekonomik analizini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen verilere göre tesis için kojenerasyon sisteminden biyogaz ile üretilen elektriğin daha ucuza mal edildiğini belirtmişlerdir.

(Goza 2013) 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.

(İmal *et al.* 2015) ticari binalarda ve üniversite kampüslerinde kullanılan birleşik ısı ve güç sistemleri için termodinamik ve ekonomik analiz yapmışlardır. Birleşik ısı ve güç sisteminin verimli çalışması için kapasite seçiminin önemini incelemişlerdir. Kahramanmaraş sütçü imam üniversite hastanesi için kojenerasyon sistemlerini ve trijenerasyon sistemlerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak trijenerasyon sisteminin kurulmasının daha büyük miktarda kâr getireceğini belirtmişlerdir. Sistemde gaz motoru seçilmesi ile ele geçecek kârın gaz türbinli sistemden daha fazla olacağını göstermişlerdir.

(Isa, Tan, and Yatim 2018)' de yaptıkları 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.

(Kaplan and Bükler 2019)'da yaptıkları bir çalışmada Türkiye'de ilk kez uygulanan konut tipi bir mikro kojenerasyon sisteminin performansını enerji ve ekonomi yönünden değerlendirmişlerdir. Sisteme giren enerji, sistemden çıkan elektriksel ve termal güç, toplam verim ve ilk yatırım maliyeti ile ilgili analizler üzerine çalışmalar yapmışlardır. Elde edilen verilere göre termal çıkış gücünün, mikro kojenerasyon sistemlerinde elektriksel güçten daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Sistemin toplam veriminin ise %85'in üzerinde olduğunu göstermişlerdir. Elektrik ve ısı üretiminde geleneksel sistemlere göre atmosfere salınan CO₂ emisyonlarının, mikro kojenerasyon destekli bir yapıda üç kat daha az olduğunu ve CHP sistemi kullanılması halinde atmosfere salınan zararlı gazların en aza indirileceğini belirtmişlerdir.

(Violetto, Noro *et al.* 2017) yaptıkları çalışmada bir mikrokojenerasyon sistemini ele almışlardır. Elektrikli bir arabayı şarj etmek ve mevcut atık ısıyı verimli bir şekilde kullanmak için yeni stratejiler ortaya koymuşlardır. Çalışmanın amacı sistemi şebekeden bağımsız hale getirmektir. Sonuçlar sistemin enerji verimliliğini ve ekonomik karlılığını göstermektedir.

(Mosaffa, Garousi Farshi *et al.* 2021) yaptıkları çalışmada çalışma sıvısı olarak amonyak – su çözeltilisini kullanan bir kombine güç sistemi önermiş ve çalışmışlardır. Bu sistemin en büyük avantajının çift evedaporatör kullanılması olduğunu söylemişlerdir. Parametrik çalışma sonuçları, yüksek sıcaklıktaki soğutma yükünün hem termodinamik hem de ekonomik performans üzerinde büyük etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ekonomik analizden, optimal net bugünkü değer ve basit geri ödeme süresi sırasıyla 49.2 M\$ ve 4.8 yıl ile elde etmişlerdir.

(Li, Ehyaei *et al.* 2020) yaptıkları çalışmada kömürle çalışan bir kojenerasyon tesisinin yeni bir konfigürasyonu önemişlerdir. Bu yeni sistem, yanma odası, Rankine çevrimi, absorpsiyonlu soğutucu, alkalın elektrolizör ve metanasyon tesisinden oluşmaktadır. Önerilen konfigürasyonda, yanma odasından çıkan egzoz gazının ısısı, elektrik üretmek için bir Rankine çevriminde kullanılabilir. Egzoz gazının ısısı ayrıca absorpsiyonlu chillere soğutma sağlamak

için güç verir. Elektrik enerjisi sağlamak için Rankine çevriminin yanı sıra rüzgar türbinleri de düşünülmüştür. Ekonomik analize dayalı olarak, sistemin geri ödeme süresi 11,2 yıl olarak hesaplamışlardır.

(Karellas and Braimakis 2016) yaptıkları çalışmada bir Organik Rankine Çevrimi (ORC) ve bir buharın ortak çalışmasına dayalı olarak, ısı ve güç üretimi ve soğutmayı birleştirebilen mikro ölçekli bir tri/kojenerasyon sisteminin termodinamik modellemesi ve ekonomik analizini yapmışlardır. Yunan Adası'ndaki tipik bir apartman bloğu dikkate alınarak bir örnek olay incelemesi için sistemin ekonomik analizini yapmışlar ve geri ödeme süresini 7 yıl olarak bulmuşlardır.

(Kanbur, Xiang *et al.* 2017) yaptıkları çalışmada bir LNG pompası, bir LNG buharlaştırıcı, bir yanma odası, bir geri kazanıcı, bir kompresör, bir gaz türbini ve bir ısı eşanjörü içeren kombine LNG kullanılan mikro kojenerasyon sistemi önermişlerdir. Çeşitli ortam hava sıcaklıklarına göre ekonomik, enerji ve çevresel analizler yapmışlar ve sonuçları geleneksel mikro kojenerasyon sistemi ile karşılaştırmışlardır. Geri ödeme süresini, geleneksel döngüden yaklaşık %6 daha yüksek bulmuşlardır. Ortalama çevresel geri ödeme süresi yaklaşık 4.8 yıl olarak bulmuşlardır.

(Chen, Wang *et al.* 2022) yaptıkları çalışmada 35 MW'lık bir biyokütle kojenerasyon tesisine dayalı olarak, sistemin termodinamik ve ekonomik performansı değerlendirilmiş ve ana parametrelerin etkileri de araştırmışlardır. Bu sistemin hem termodinamik hem de ekonomik açıdan oldukça avantajlı olduğu sonucuna varmışlardır.

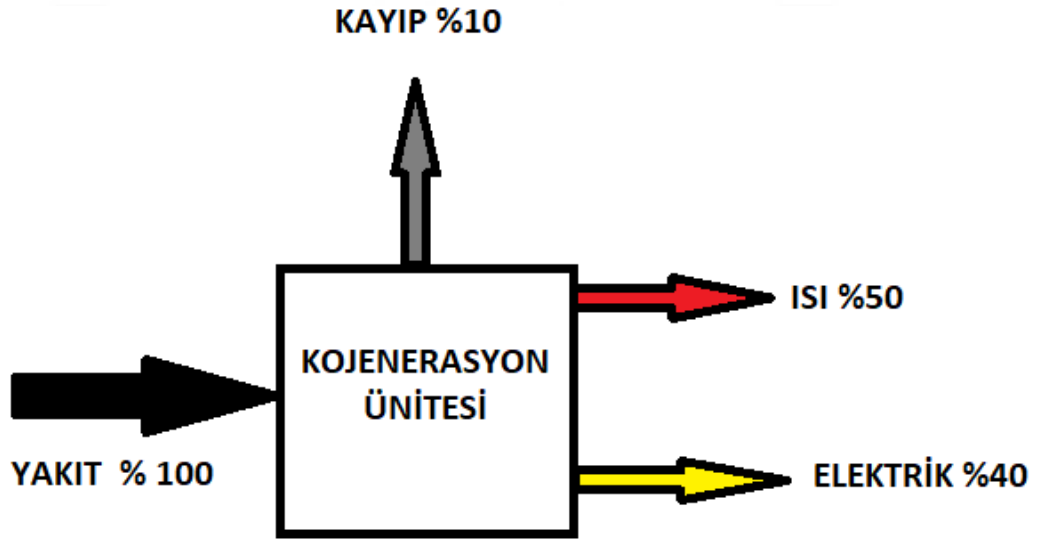
Tezin Amacı

Bu çalışmada Atatürk üniversitesi kampüs alanı (ısı merkezi ile ısıtılan alan) için kojenerasyon sisteminin ekonomik analizi yapılmıştır. Isı merkezi ve yapı işleri daire başkanlığından alınan veriler ile hesaplamalar yapılmış ve Atatürk üniversitesi kampüsünün yıllık elektrik ve ısı enerjisi ihtiyacı hesaplanmıştır. İhtiyaç olan enerjiler için ödenen miktarlar hesaplanmış ve kojenerasyon sistemi kurulması durumunda bu miktarlardaki değişim hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda ortaya çıkan veriler doğrultusunda kojenerasyon sistemi kurulum yatırımının ön fizibilite raporu hazırlanmıştır.

KURAMSAL TEMELLER

Kojenerasyon Sistemleri ve Gelişimi

Kojenerasyon kelimesi “ Combined Generation” teriminin kısaltılmasından meydana gelmiş bir kelimedir. Genel anlamda ısı enerjisi ve elektrik enerjisinin tek kaynaktan, tek yakıttan, aynı zamanda üretilmesidir. Kojenerasyon sistemleri geleneksel yöntemlerle üretim yapan sistemlerden daha verimlidir. Ayrıca çevre korunumu bakımından da geleneksel sistemlere göre daha avantajlıdır. Aşağıdaki şekilde bir kojenerasyon sisteminin şematik görünüşü verilmektedir.



Şekil 2. Kojenerasyon sisteminin şematik görünümü

Kojenerasyon sistemlerinin kullanılması 1930 – 1940’lı yıllara dayanır. 1970’lerde petrol krizlerinin patlak vermesinin ardından gelişimi sürekli olarak devam etmiştir. 20. asrın başlarında güç sistemleri yerleşim yerlerinde kurulmaya başlanmış ve bu durum bölgesel ısıtma çalışmalarını gerekli kılmıştır. Kojenerasyon sistemleri bölgesel ısıtmanın kullanıldığı ABD, Fransa, Almanya gibi ülkelerde daha erken kullanım ve gelişim imkanı bulmuştur.

Bölgesel ısıtmanın ilk örneği Amerika Birleşik Devletleri’nde kurulmuştur.

Fransa’da bölgesel ısıtmanın ilk örneği Paris’te kurulmuştur. Bu tesis daha sonra sürekli olarak gelişerek birleşik güç santrallerinden beslenmeye başlamıştır.

Almanya da bölgesel ısıtma çalışmaları 1930’lu yıllarda kurulmaya başlanmış ve daha sonra birleşik güç santrallerine geçilmiştir.

Bu çalışmalar kojenerasyon sistemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır.

Kojenerasyon Sistemlerinin Kullanıldığı Alanlar

Kojenerasyon sistemlerinin uygulama alanları genellikle yerleşim birimleri ve sanayidir. Kojenerasyon sistemlerinin kullanıldığı tesisler Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kojenerasyon Sistemlerinin Kullanıldığı Tesisler

Endüstriyel tesisler	Yerleşim birimleri
Tuğla, çimento seramik fabrikaları	Üniversiteler
Gübre üretim tesisleri	Hastaneler
Kimya endüstrisi	Stadyumlar
Kağıt üretim tesisleri	Bölgesel ısıtma
Gıda endüstrisi	Alışveriş merkezleri
Demir – Çelik endüstrisi	Seralar
Tekstil fabrikaları	Çok sayıda konut içeren siteler

Bölgesel ısıtma kullanılan birçok yerleşim biriminde kojenerasyon sistemleri kullanılmaktadır. Ancak bu sistemin kurulum aşamasında yatırım maliyetinin fazla olması olumsuzluk teşkil etmektedir.

Kojenerasyon sistemlerinin farklı uygulamaları da mevcuttur. Örneğin Danimarka’daki bir tesiste elektrik üretilirken geri kazanılan ısı ile sera ısıtması yapılmıştır.

Kojenerasyon Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

Kojenerasyon sistemlerinin avantajları;

- Çevrim verimi yüksek olduğundan enerji kaynaklarından tasarruf elde edilir.
- İletim ve dağıtım kayıpları azalır. İletim ve dağıtım sistemi için ek yatırım gerektirmez.
- Egzoz gazlarından yararlanıldığı için karbon salınımı düşüktür.
- Elektrik kesintileri ve voltaj değişimleri olmaz.
- Enerji kesintilerinin neden olduğu zarar ortadan kalkar.
- Çeşitli yakıtlar kullanılabilir.
- Kojenerasyon sistemi kullanan tesislerin dışa bağımlılığı azalır.
- İşletmelerin toplam enerji maliyetleri azalır ve işletmenin rekabet gücü artar.

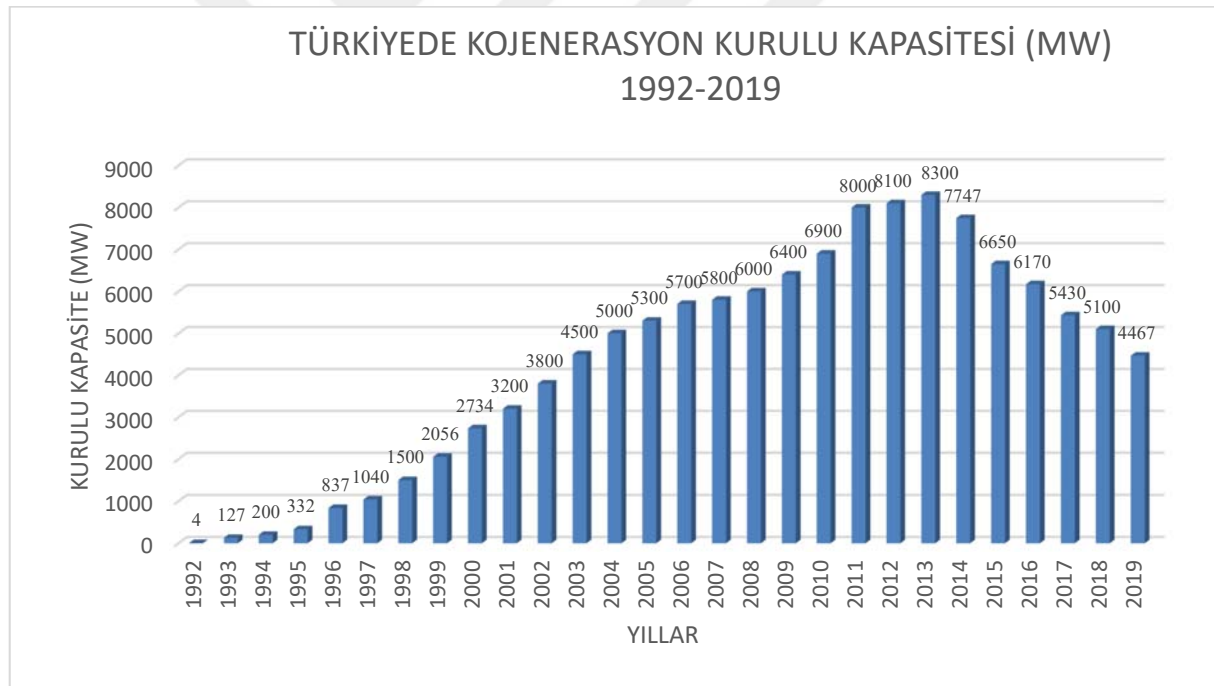
Kojenerasyon sistemlerinin dezavantajı ise ilk yatırım maliyetlerinin fazla olmasıdır.

Bu avantaj ve dezavantajlar göz önüne alındığında kojenerasyon sistemlerinin kullanılabilirliğinin enerji kaynaklarının tasarrufu açısından önemi açıkça görülmektedir.

Ayrıca kojenerasyon ünitelerinin ortalama ekonomik ömürlerinin 100.000 – 150.000 saat civarında olduğu bilinmektedir. Bu durum sistemin ilk yatırım maliyetinin karşılanması yanı sıra uzun süreli işletimde ekonomik olarak karlı olduğunu gösterir.

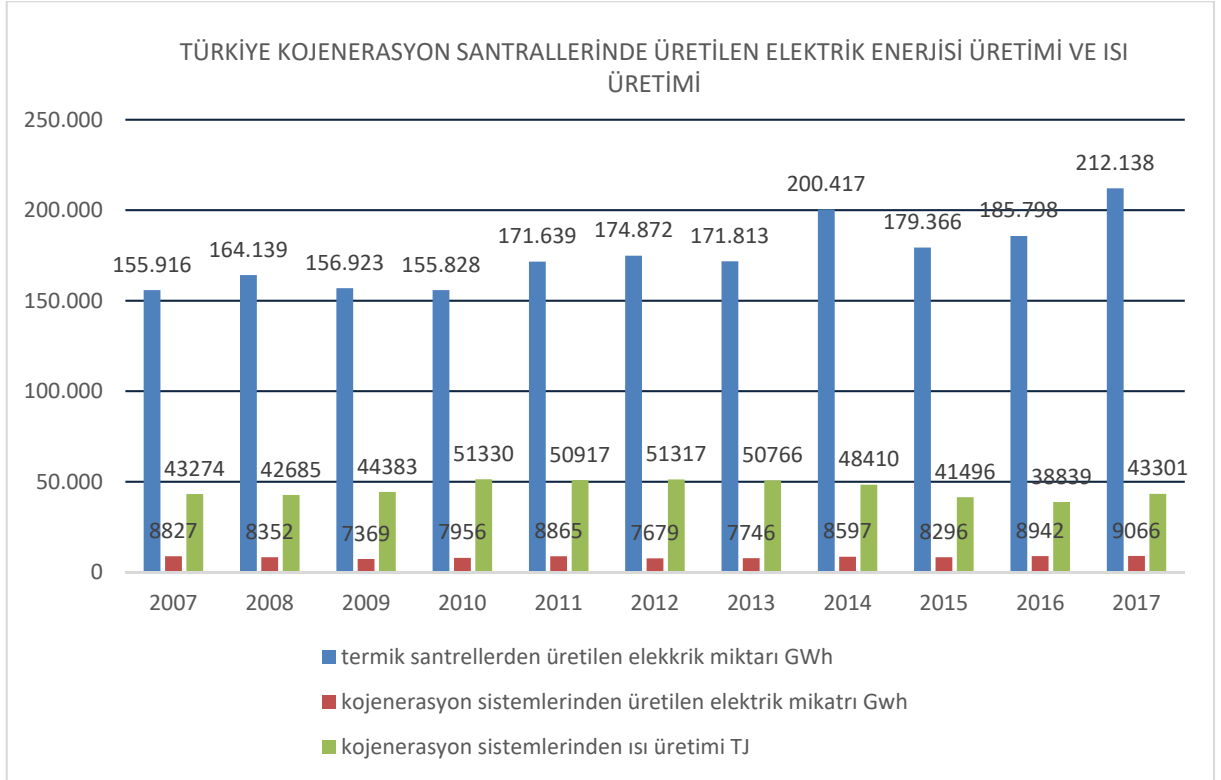
Ülkemizde Kojenerasyon

Ülkemizde ilk kojenerasyon sistemi 1992 yılında Yalova’da bir elyaf fabrikasında 4 MW gücünde gaz türbinli bir sistem ile başlamıştır. Daha sonraki yıllarda özellikle doğalgaza erişimin yaygınlaşması ile kojenerasyon sistemi uygulamaları hızlı bir şekilde artmıştır. 2013 yılına gelindiğinde kojenerasyon sistemlerinin 1992 yılına göre yaklaşık 2000 kat büyüdüğü görülmektedir. 2013 yılından sonra çeşitli sebeplerden dolayı kurulu güç miktarı her yıl azalmaktadır. Şekil 3’de 1992 – 2019 yılları arasında ülkemizde bulunan kojenerasyon sistemlerinin kurulu güç değerleri verilmiştir.



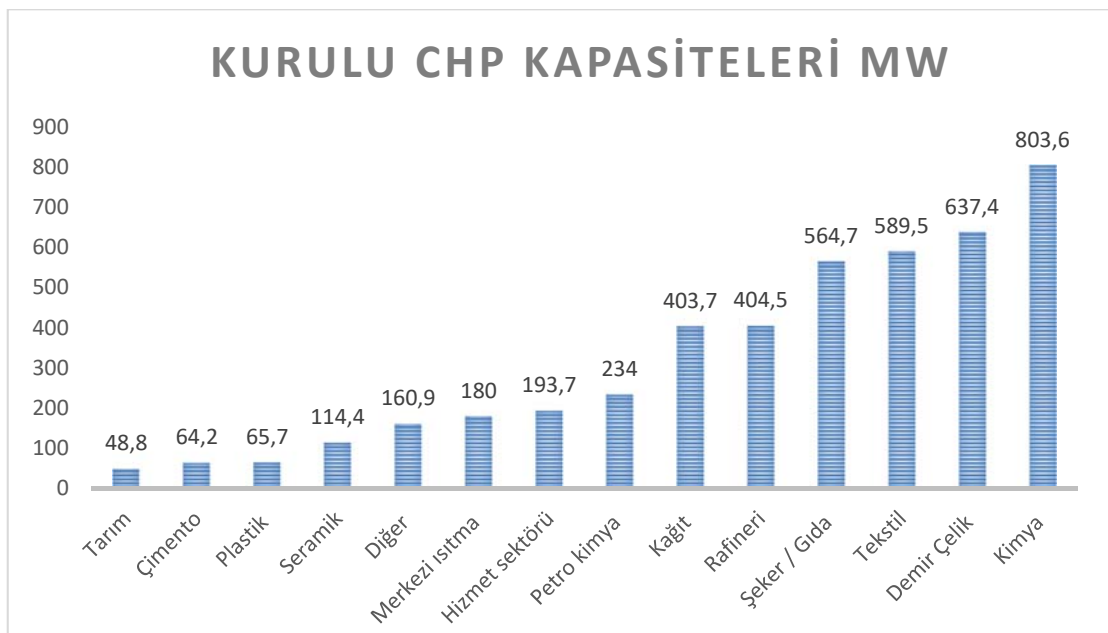
Şekil 3. Türkiye’de 1992 - 2019 yılları arasında bulunan kojenerasyon sistemlerinin kurulu güç değerleri.(Anonim 2021 n.d.)

2019 yılı değerleri baz alındığında kojenerasyon sistemlerinden üretilen toplam elektriğin, termik elektrik üretimi içerisindeki payı % 4,27’dir. Şekil 4’ de 2007 – 2017 yılları arasında termik santrallerden üretilen elektrik miktarı ve kojenerasyon sistemlerinden üretilen elektrik ve ısı miktarı verilmiştir.



Şekil 4. Türkiye kojenerasyon santrallerinde üretilen elektrik ve ısı enerjisi miktarları (Anonim 2021.)

Ülkemizde kojenerasyon sistemlerinin sektörel dağılımına bakıldığında; kurulu kojenerasyon ünitelerinin yaklaşık % 18’lik kısmının kimya endüstrisinde, %14’lük kısmının da demir çelik endüstrisinde kullanıldığı görülmektedir. Şekil 5’te kasım 2019 itibari ile Türkiye’de kurulu kojenerasyon ünitelerinin sektörel dağılımı verilmiştir.



Şekil 5. Türkiye kojenerasyon tesislerinin sektörel dağılımı

Türkiye’de bulunan kojenerasyon tesislerinin kurulu güç miktarları Şekil 3’de gösterilmiştir. Bu tesislerde üretilen elektrik ve ısı enerjisi miktarlarının sektörlere göre dağılımı ise Tablo 2’de gösterilmiştir (Anonim 2021).

Tablo 2. Türkiye’deki Kojenerasyon Ünitelerinde Üretilen Elektrik ve Isı Enerjisi Miktarları (Anonim 2021)

SEKTÖR	ELEKTRİK KURULU GÜÇ (kWe)	ISIL KURULU GÜÇ(kWt)
TEKSTİL	61.780	69.256
GIDA	46.063	45.060
PLASTİK VE AMB.	22.657	24.196
KAĞIT	41.628	53.000
DİĞER	97.009	29.918
AVM	28.207	28.671
HASTANE	111.387	119.273
HİZMET BİNASI	34.530	45.877
OTEL	15.902	17.152
OKUL	6.993	7.312
KONUT	151	235
TOPLAM	466.309	439.951

Kojenerasyon Sistemlerinde İşlem Akışı

Bir kojenerasyon sisteminde bulunan ekipmanlar şunlardır;

- Kompresör
- Yanma odası
- Türbin
- Jeneratör
- Atık ısı kazanı
- Buhar türbini

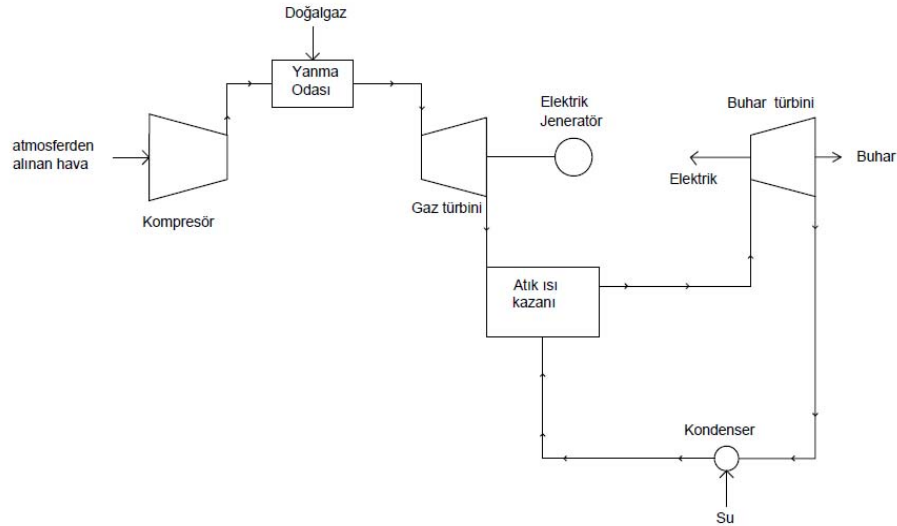
Kojenerasyon tesislerinin işlem akışı;

1. Atmosferden alınan hava filtreden geçerek kompresöre gelir.
2. Kompresör tarafından basınçlandırılan hava yanma odasına gönderilir.
3. Yanma odasına yakıt kaynağından püskürtme yöntemi ile verilen yakıt, sıkıştırılmış hava ile beraber yanar.

4. Yanma işlemi sonucu oluşan ve 1000°C 'nin üzerinde olan yüksek basınçlı sıcak gazlar, gaz türbinindeki kanatçıklardan geçer ve türbini döndürmeye başlar.
5. Türbindeki dönme enerjisi jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüşür.

Yukarıda belirtilen adımlar geleneksel elektrik üretiminde kullanılan adımlardır. Bu adımdan itibaren kojenerasyon sistemi başlar.

6. Gaz türbininden çıkan yaklaşık 500°C 'deki atık gaz, atık ısı kazananına gelir ve buhar üretiminde kullanılır.
7. Üretilen buharın bir kısmı ısınma ihtiyacının giderilmesi için kullanılır.
8. Buharın geri kalan kısmı buhar türbinine gönderilir ve dönme hareketi oluşturur.
9. Buhar türbinindeki dönme enerjisi jeneratör yardımı ile elektrik enerjisine dönüşür (Kaya and Öztürk 2014).



Şekil 6. Kojenerasyon sisteminin şematik görünümü

Kojenerasyon Sistemlerinin Güç Kaynakları

Güç kaynakları kojenerasyon sistemlerinin önemli elemanlarından biridir. Kojenerasyon sistemlerinde;

1. Buhar türbini
2. Gaz türbini
3. Dizel motorlar
4. Gaz motorları ısı ve güç kaynağı olarak kullanılabilirler.

Güç kaynakları tesisin elektrik enerjisi ve ısıtma enerjisi ihtiyacına göre seçilir. Kojenerasyon sistemlerinde güç kaynağının belirlenmesinde aşağıdaki etmenlere dikkat edilmelidir.

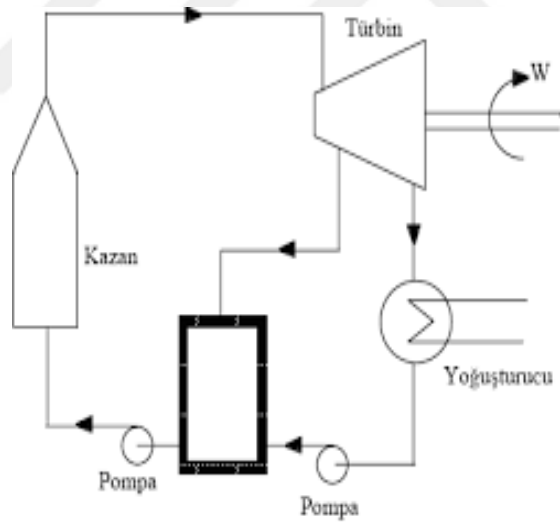
- Yakıt cinsi
- Tesisin elektrik / ısı oranı
- Tesisin yük grafiği
- Devreye alınabilme süresi
- Tesisin toplam elektrik enerjisi ve ısı enerjisi miktarı

Yukarıda belirtilen etmenler kojenerasyon sistem seçimleri başlığında detaylı olarak anlatılacaktır.

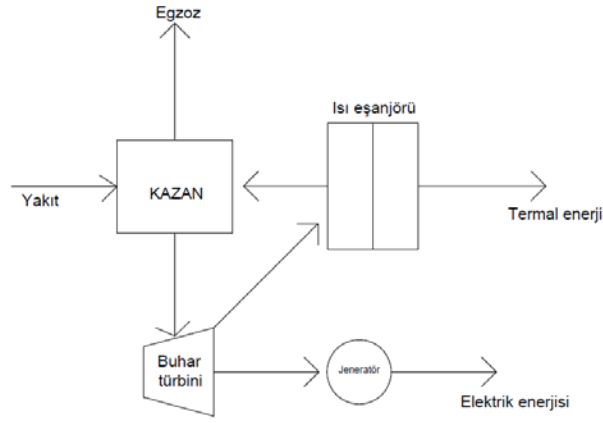
Buhar türbinli sistemler

Buhar türbini, yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlı akışkanın sahip olduğu ısı enerjisinin, mekanik sistemler ile elektrik enerjisine dönüştüğü sistemlerdir. Buhar türbinlerinde, yüksek sıcaklık ve yüksek basınçtaki akışkan türbin kanatçıklarına çarpar ve kanatçığa bağlı olan miller dönmeye başlar. Bu dönme hareketi milin çıkışında mekanik enerjiye dönüşür.

Buhar türbinli kojenerasyon sistemlerinde türbinden çıkan buhar, tesisin ısı ihtiyacını karşılamak için kullanılır. Bu sistemler ısı ihtiyacının elektrik ihtiyacından fazla olduğu tesislerde kullanılmalıdır (Kaya and Öztürk 2014)



Şekil 7. Ara buhar almalı buhar türbin (Özdemir 2011)



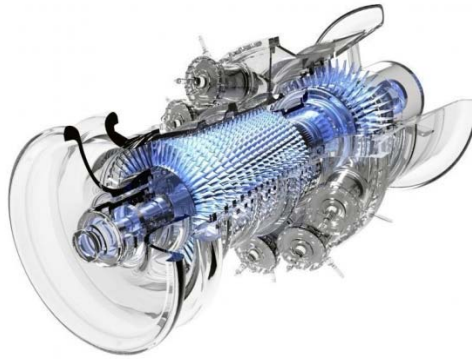
Şekil 8. Buhar türbinli kojenerasyon sisteminin çalışma ilkesi

Buhar türbinli kojenerasyon sistemlerinin avantajı yakıtta çeşitliliktir. Kömür, doğalgaz, petrol, biyogaz gibi yakıtların tamamı bu sistemlerde kullanılabilir.

Gaz türbinli kojenerasyon sistemleri

Gaz türbini

Sıkıştırılmış hava ile gaz veya sıvı yakıtın yanması sonucu çıkan enerjiyi dönme enerjisine çeviren gaz türbinleri bir tür içten yanmalı motor çeşididir. Gaz türbinleri enerji santralleri ve jet motorlarında kullanılırlar. Gaz türbinlerinin yüksek güvenilirlik ve bakım ihtiyaçlarının az olması (yılda bir kez) en önemli avantajlarıdır. Bunların yanı sıra boyutlarının küçük olması, gürültü seviyelerinin düşük olması, kısa sürede devreye alınabilmesi gibi avantajları da mevcuttur.



Şekil 9. Gaz türbini (Kaya and Öztürk 2014)

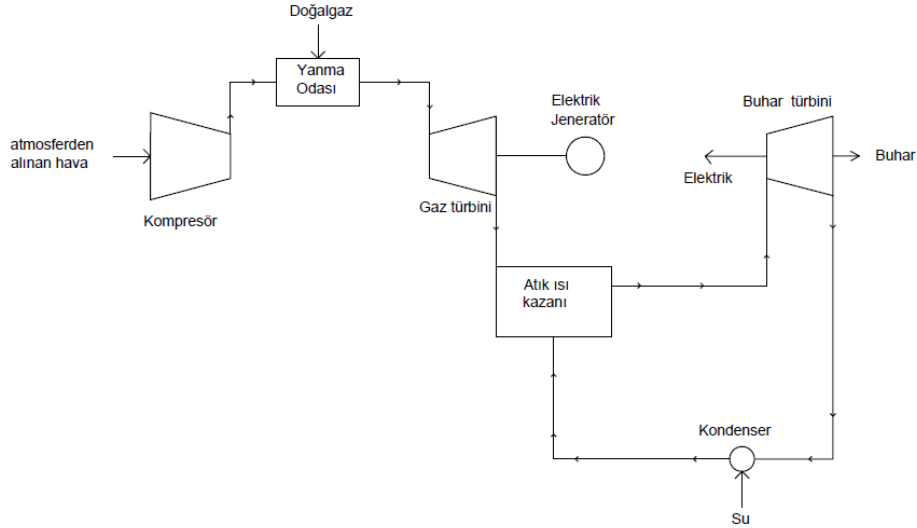
Gaz türbinlerinin ana bileşenleri kompresör, yanma odası, türbin ve egzozdur.

Gaz türbinli kojenerasyon sistemleri

Günümüzde en çok rastlanan kojenerasyon sistemi gaz türbinli sistemlerdir. Gaz türbinleri yüksek sıcaklık değerlerinde çalıştıkları için yakıt kalitesi çok önemlidir. Türbine

gelen sıcak gazlar kanatlarda aşınmaya ve korozyona neden olmamalıdır. Bu yüzden doğalgaz, damıtılmış yağlar ve biyogaz gibi yakıtlar gaz türbinlerinde yakıt olarak kullanılabilir.

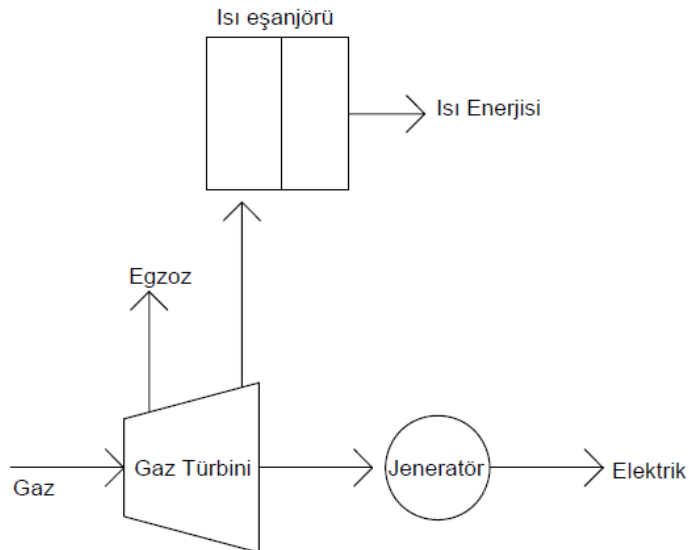
Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinde jeneratörü çalıştıran gaz türbininin atık ısısı ile atık ısı kazanında buhar elde edilmekte, elde edilen buharın bir kısmı ısıtmada veya üretimde kullanılırken bir kısmı da buhar türbini yardımıyla elektrik üretiminde kullanılmaktadır.



Şekil 10. Gaz türbinli kojenerasyon sistemi

Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinde atık ısı kazanına bağlı çalışan buhar türbini ile daha fazla elektrik üretilir. Bu tür sistemlere kombine çevrim santralleri denir.

Gaz türbinli kojenerasyon sisteminin çalışma ilkesi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



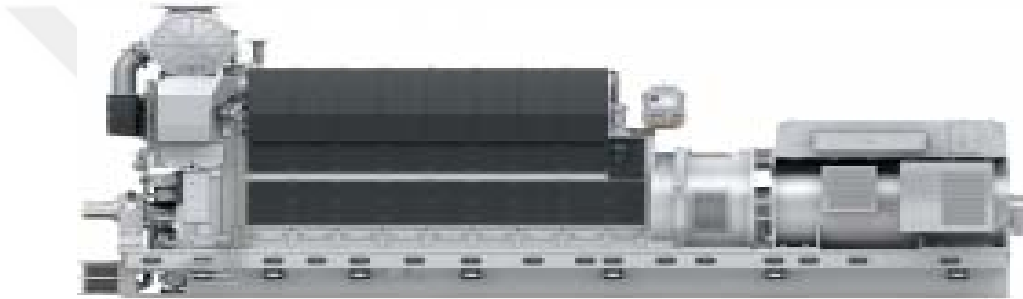
Şekil 11. Gaz türbinli kojenerasyon sisteminin çalışması

Gaz türbinli kojenerasyon üniteleri doğalgaz kullanımının artması, kurulum maliyetlerinin azalması ve diğer sistemlere göre daha fazla çevre dostu olması nedeniyle son zamanlarda önemli oranda gelişme kaydetmiştir.

Bu tür kojenerasyon sistemlerinde verilen enerjinin (yakıt enerjisi) %15 – 30'luk kısmı elektriğe, %40 – 60'luk kısmı ısı enerjisine dönüşmektedir (Kaya and Öztürk 2014).

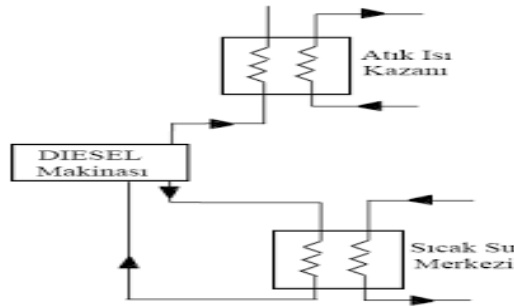
Dizel motorlu kojenerasyon sistemleri

Dizel motorun çalışma prensibi termodinamik olarak dizel çevrime dayanır. Dizel motorlarda yakıt olarak motorin kullanılır. Bu motorlarda hava, yüksek basınçta sıkıştırılır ve yakıt püskürtme yolu ile ortama gönderilir. Dizel motorlar yüksek sıkıştırma oranına sahip oldukları için verimleri yüksektir.



Şekil 12. Dizel motorlu kojenerasyon sistemi

Bu tür kojenerasyon sistemlerinde egzoz gazları ve motor soğutma suyundan sıcak su elde etmek mümkündür.



Şekil 13. Dizel motorlu kojenerasyon sistemi (ÖZDEMİR 2011)

Dizel motorların gaz motorlarına göre avantajları;

- Dizel motorların verimleri gaz motorlarından daha yüksektir.
- Gaz hattının olup olmamasından bağımsız çalışırlar.
- Kesintiler daha azdır.

Dizel motorların dezavantajları;

- Azot oksit emisyonu üretirler.

- İlk yatırım maliyetleri yüksektir.
- Bakım ve onarım maliyetleri yüksektir.

Gaz motorlu kojenerasyon sistemleri

Gaz motorları termodinamik olarak otto çevrimi ile çalışan, devirleri düşük ve çok silindirli makinelerdir. Gaz motorlarında önce yakıt hava sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırılan yakıt hava karışımı bujiler yardımı ile yakılır. Ortaya çıkan yanma basıncı ile pistonlar hareket eder ve kimyasal enerji mekanik enerjiye dönüşür. Mekanik enerji krank mili yardımıyla jeneratörde elektrik üretimini gerçekleştirmiş olur.

Bu motorlarda doğalgaz, propan, biogaz, lpg, çöpgazı,vb gazlar yakıt olarak kullanılabilir. NO (azot oksit) emisyonu az olduğundan çevre kirliliğine olumsuz etkileri azdır.

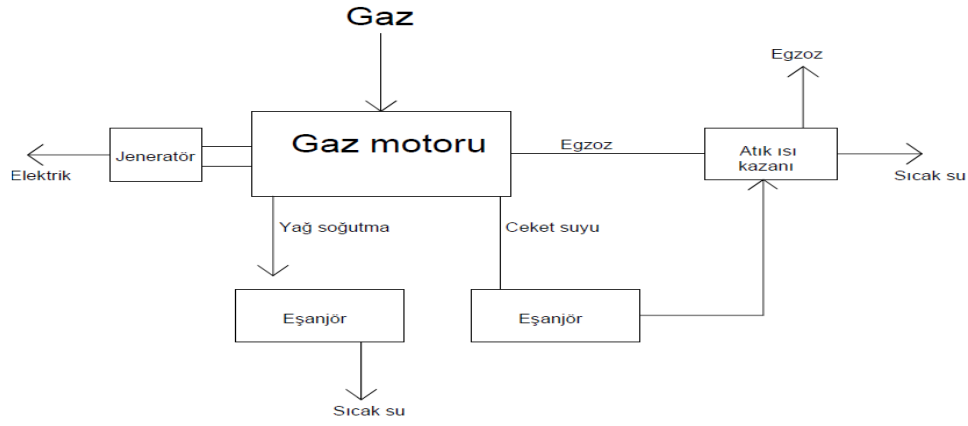


Şekil 14. Gaz motorlu kojenerasyon sistemi

Gaz motorlarında yakıt enerjisinin;

- %35 – 40’lık kısmı güce dönüşür,
- %30 – 35’lik kısmı gömlek ısısına harcanır,
- %25- 30’luk kısmı egzoz ile atılır,
- %5- 10’luk kısmı ısınım olarak kaybolur.(Kaya and Öztürk 2014)

Gaz motorlarının kojenerasyon sisteminde kullanılması durumunda gerekli olan ısı enerjisi; Egzoz gazlarından, motor bloğu soğutma devresinden ve motor yağlama devresinden elde edilir.



Şekil 15. Gaz motorlu kojenerasyon sistemi

Gaz motorlu kojenerasyon sisteminin avantajları;

- Yüksek miktarda elektrik üretilebilir (yaklaşık %40). Bu sayede elektrik ihtiyacının ısı ihtiyacından fazla olduğu tesisler için uygulanabilir. Gaz motorları elektrik enerjisinin yanı sıra ısı enerjisi ihtiyacı duyan üniversite kampüslerinde ve toplu konutlarda uygun çözümler sunmaktadır.
- Toplam çevrim verimi %85- 90 arasındadır. (tablo 9)
- Çevreye verdiği emisyon değeri çok düşüktür (fakir karışım).
- Sistemin elektrik ve ısı ihtiyacının gün içerisindeki değişikliklerini dengeler.
- Gaz motorlarının devreye alınması ve devreden çıkarılması kısa sürede gerçekleşir.

Kojenerasyon Sistemlerinde Kullanılan Yakıtların Özellikleri

Gazların kojenerasyon sistemlerinde kullanılabilmesi için metan sayısı, yakıtın alt ve üst ısı değeri, ve alevlenme hızı önemli ölçütlerdir. Yakıtın metan sayısı arttıkça sıkıştırılma oranı artar. Metan sayısı yüksek olan yakıttan daha fazla güç almak mümkün olur.

Sıvı yakıtlar için ise oktan sayısı önemlidir. Otto çevrimi ile çalışan motorlarda sıkıştırma oranı oktan sayısı ile belirlenir.

Aşağıda bazı yakıtların metan sayıları verilmiştir.

Tablo 3. Bazı Yakıtların Metan Sayıları(Donk 2017)

Yakıt	Metan Sayısı
Metan	100
Propan	33
Doğalgaz	80
Çöplük gazı	150
Karbonmonoksit	75

Kojenerasyon sistemlerinin en temel yakıtı doğalgazdır. Kojenerasyon sistemlerinde kullanılan diğer yakıtlar motorin, propan ve fueloil'dir. Bu yakıtların özellikleri aşağıda verilmiştir.

Doğalgaz: Kojenerasyon sistemlerinde en çok kullanılan yakıttır. Ekonomik olarak en iyi yakıttır. Çevreye verdiği zarar diğer yakıtlara göre daha azdır. Depolamaya gerek yoktur.

Dizel: Yanması en sorunsuz yakıttır. Sıvı yakıtlar arasında zararlı emisyon miktarı en azdır. Yüksek fiyatlı olmasından dolayı kojenerasyon sistemlerinde kullanılması uygun değildir.

Propan: Çok yüksek oranda saflık gerektirir. Genellikle ithal edilir. Metan sayısı oldukça düşüktür.

Fuel Oil: Kojenerasyon için uygun yakıtlardan biridir. Atık gazları için arıtma gerektirir. Fiyat bakımından ekonomik değildir.

Çöp Gazları: Çöp gazları metan, karbondioksit ve azottan meydana gelir. Metan sayısı yüksektir.

Kojenerasyon Sistem Seçimleri

Kojenerasyon sistemlerinin yatırımlarında ana amaca bağımlı olarak 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.

- **Yakıt:** Kojenerasyon sistemi seçiminin ana parametrelerinden biridir. Yakıtın ekonomikliğı, sürekliliğı, depolanma durumu, ısı değeri önemlidir.
- **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.
- **Yük Eğrisi:** Kojenerasyon sisteminin uygulanacağı tesisin ısı yükü ve elektrik yükü eğrisi belli zamanlarda aşırı değışkenlik gösteriyorsa tüketim birden fazla sistem ile karşılanmalıdır.
- **Tesis Kapasitesi:** Tesisin ihtiyaç duyduğu enerji miktarı büyüdükçe sistem seçimi de gaz türbinine doğru yönelir.

- Ortam Sıcaklığı: Gaz türbinleri ortam sıcaklığına duyarlıdır. Gaz motorları aşırı duyarlı olmadığından bazı uygulamalarda gaz motoru kullanmak kaçınılmaz olabilir.
- Start Sayısı: Gaz motorları daha kolay devreye alınabilir. Bu nedenle start sayıları çok olan tesislerde gaz motoru kullanılabilir.

Kojenerasyon Ünitelerinin 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 ve araştırma yapıldıktan sonra karar verilmelidir.

Kojenerasyon Sistemleri İle Bölgesel Isıtmanın Ekonomik Olurluğu

Bölgesel ısıtma, birden fazla binanın tek ısı merkezinden ısıtılması ve sıcak su ihtiyacının karşılanmasıdır. Isı merkezindeki ısı üreten cihaz kombine çevrimli bir kojenerasyon ünitesi veya sadece ısı üreten bir kazan olabilir. Isı merkezinde üretilen ısı enerjisi, yalıtımlı boru vasıtasıyla sıcak su olarak binalara gönderilir. Enerjisini kalorifer sisteminde harcayan akışkan dönüş hattı aracılığı ile tekrar ısınmak üzere ısı merkezine geri döner.

Bölgesel ısıtma tesislerde kojenerasyon sistemlerinin kullanılabilirliğine termodinamik parametreler, ekonomik parametreler ve iklim parametrelerinin birlikte değerlendirilmesi ile karar verilir.

Kojenerasyon sistemlerinin ekonomik kullanılabilirliğinin belirlenmesi için yıllık işletme gelirlerinin ve ilk yatırım maliyetlerinin belirlenmesi gerekir. Yıllık işletme geliri bölgede bulunan binaların yıllık olarak ödeyeceği elektrik, ısıtma, personel ve bakım giderlerinin toplamından, kojenerasyon sisteminin yakıt, personel, bakım giderlerinin çıkarılması ile elde edilir. İlk yatırım gideri ise kojenerasyon sisteminin alınması ve kurulması gibi başlangıçta ödenen ücrettir. Bu değerler belirlendikten sonra ekonomik değerlendirme yöntemleri kullanılarak yatırımın kar - zarar durumuna karar verilir.

Kojenerasyon uygulamasının yapılacağı bölgenin ısı enerjisi ve elektrik enerjisi ihtiyacının, kojenerasyon sistemindeki elektrik/ısı oranına uygun olmalıdır. Bu durumu

sağlamak oldukça zordur. Örnek vermek gerekirse kojenerasyon sistemleri ile üretilen elektrik enerjisinin bölgenin elektrik enerji ihtiyacını karşılayamaması durumunda şebekeden elektrik alınabilmeli ya da kojenerasyon sistemi ihtiyaçtan fazla elektrik üretirse şebekeye satılabilmelidir (Özdemir 2011).



MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma Bulguları

Bu çalışmada kojenerasyon sisteminin, Atatürk Üniversitesi kampüsünde bulunan ısı merkezi ile ısıtılan binalar için uygulanması halinde yatırım maliyetinin ekonomik açıdan analizi yapılmıştır. Yapılacak analiz için ısı merkezinin 2019 yılı doğalgaz tüketim değerleri ve söz konusu binaların 2019 yılı elektrik tüketim değerleri incelenmiştir. Tablo 4'te Atatürk Üniversitesi yerleşkesi için 2019 yılına ait doğalgaz ve elektrik tüketim miktarları verilmiştir.

Tablo 4. 2019 Yılı Elektrik ve Doğalgaz Tüketim Miktarları

AYLAR	AYLIK DOĞALGAZ TÜKETİM MİKTARI (M^3)	AYLIK ELEKTRİK TÜKETİM MİKTARI (kWh)
OCAK	2.105.727	2.958.720
ŞUBAT	1.911.412	2.855.919
MART	1.837.475	2.503.862
NİSAN	1.463.442	2.790.044
MAYIS	707.074	2.658.744
HAZİRAN	180.861	2.490.299
TEMMUZ	71.894	2.418.332
AĞUSTOS	0	2.529.892
EYLÜL	119.281	2.386.870
EKİM	791.208	2.306.858
KASIM	1.292.764	2.707.339
ARALIK	1.801.776	2.745.673
TOPLAM	12.282.914 (M^3)	31.352.552 kWh

Tablo 5'de Atatürk Üniversitesi ısı merkezinde kullanılan doğalgaz miktarı için ve Atatürk Üniversitesi'nin elektrik tüketimi için ödediği ücretler aylık olarak verilmiştir.

Tablo 5. 2019 Yılı Elektrik ve Doğalgaz Tüketimleri için Ödenen Ücretler

AYLAR	AYLIK DOĞALGAZ TÜKETİM ÜCRETİ TL	AYLIK ELEKTRİK TÜKETİM ÜCRETİ TL
OCAK	3.567.166	2.008.500
ŞUBAT	3.226.422	1.656.166
MART	3.138.857	1.516.636
NİSAN	2.472.852	1.772.100
MAYIS	1.207.461	1.683.089
HAZİRAN	308.655	1.649.675
TEMMUZ	121.702	1.549.002
AĞUSTOS	0	1.773.346
EYLÜL	229.936	1.614.646
EKİM	1.528.068	1.580.535
KASIM	2.499.613	1.854.923
ARALIK	3.482.305	1.881.187
TOPLAM	21.783.037TL	20.539.805TL

Tablo 6’da elektrik ve doğalgaz tüketim değerleri kW /ay olarak verilmiştir. Bu değerlerden biri olan doğalgaz tüketim değeri Atatürk Üniversitesi ısı merkezinde bulunan yetkililerden, elektrik tüketimi değerleri ise Atatürk Üniversitesi Yapı İşleri Daire Başkanlığından alınmıştır.

Ocak ayı doğalgaz tüketim değeri m^3 /ay : 2.133.508

Ocak ayı doğalgaz tüketimi kW /ay : 20.430.472

Bu hesap tüm aylar için yapılmış ve tabloya eklenmiştir.

Tablo 6. 2019 Yılı Elektrik ve Doğalgaz Tüketimleri

AYLAR	AYLIK ELEKTRİK TÜKETİMİ kW /ay	AYLIK DOĞALGAZ TÜKETİMİ m^3 /ay	AYLIK DOĞALGAZ TÜKETİMİ kW /ay
OCAK	2.958.720	2.105.727	20.164.441
ŞUBAT	2.855.919	1.911.412	18.303.681
MART	2.503.862	1.837.475	17.595.660
NİSAN	2.790.044	1.463.442	14.013.920
MAYIS	2.658.744	707.074	6.770.940
HAZİRAN	2.490.299	180.861	1.731.924

Tablo 6. (Devamı)

TEMMUZ	2.418.332	71.894	688.456
AĞUSTOS	2.529.892	0	0
EYLÜL	2.386.870	119.281	1.142.234
EKİM	2.306.858	791.208	7.576.607
KASIM	2.707.339	1.292.764	12.379.508
ARALIK	2.745.673	1.801.776	17.253.806
Toplam	31.352.552	12.282.914	117.621.184

Kojenerasyon sisteminin seçiminde kW birimi kullanılacağından tüketim değerleri kW cinsinden hesaplanmıştır. 1 m³ doğalgazın enerji değeri yaklaşık 10,64 kW'tır. Yakıt verimi %90 alınmıştır.

Sistem Seçimi

Tahrik ünitesinin belirmesinde; enerji ihtiyacının en yüksek düzeyde karşılanması yanı sıra ilk yatırım maliyetinin de mümkün olan en kısa sürede karşılanması önemlidir. Ayrıca müşteri talepleri ve enerji çeşidi gibi faktörler de dikkate alınmalıdır.

Kojenerasyon sistemleri bölüm 2.7 de ifade edildiği gibi türbinli sistemler ve motorlu (gaz ve dizel) sistemler olmak üzere iki gruba ayrılır. Türbinli sistemler performans bakımından esnekliğe sahip değildir. Yani hem sistemin devreye alınması hem de bakım için sistemin devre dışı bırakılması zaman bakımından uzun sürer. Türbinli sistemlerde ısı verimi elektrik veriminden daha fazladır. Motorlu sistemlerin devreye alınması ve devreden çıkarılması kısa sürer. Elektrik verimi ısı veriminden fazladır. Bu parametreler sistem seçiminde önemli faktörlerdir.

Atatürk üniversitesi ısı merkezinden alınan doğalgaz faturaları ve yapı işleri daire başkanlığından alınan elektrik faturalarından elektrik tüketim maliyetinin doğalgaz tüketim maliyetinden fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca sistemin devreye alınması ve devreden çıkarılması kısa sürede gerçekleştirilmelidir. Aksi halde ek maliyetler doğacak ve yatırımın geri ödeme süresi artacaktır.

Bu bilgiler ışığında tesis için kampüs içinde bulunan doğalgazla çalışan örnek görünümü aşağıda şekilde verilen içten yanmalı gaz motorlu sistem seçilmiştir.



Şekil 16. İçten yanmalı gaz motorlu kojenerasyon ünitesi

Seçilen Kojenerasyon Ünitesinin Tahrik Gücü Seçimi

Tesisin ihtiyacı olan enerji miktarını karşılayacak olan kojenerasyon sistemi, tesisin enerji ihtiyacı ile uyumlu olmalıdır. Doğru seçimin yapılması için;

1. Tesisin ısı enerjisi ihtiyacının en yüksek düzeyde karşılanması,
2. Tesisin elektrik enerjisi ihtiyacının en yüksek düzeyde karşılanması,
3. İlk yatırımın maliyetinin en kısa sürede geri dönüşünün olması,
4. Kojenerasyon sisteminin en yüksek düzeyde çalışması.
5. Yaz ve kış aylarında enerji tüketimindeki değişimler de dikkate alınmalıdır.

Kojenerasyon sisteminin tahrik gücünü belirlemek için, enerji tüketim değeri en yüksek kış ayı olan ocak ayı ile enerji tüketim değeri en yüksek olan yaz ayı haziran ayları referans aylar olarak alınmıştır. Kojenerasyon sistemindeki enerji üretiminin, referans aylardaki enerji tüketimini karşılama oranı dikkate alınmıştır.

Tesisin aylık elektrik ve doğalgaz tüketim değerleri ilgili birimlerden alınarak tablo haline getirilmiştir. (tablo 6) Bu tabloda Atatürk üniversitesi kampüsünün kış aylarında elektrik tüketiminin biraz daha fazla olduğu görülmüştür. Kış aylarında daha fazla olmasının nedeni öğrenci sayısının fazla olmasına, ısı merkezindeki kazanların sürekli çalışmasına ve kışın havanın erken kararmasına bağlanmıştır.

Tablo 7 ve Tablo 8'den referans aylardaki tüketim değerlerine bakılırsa;

Tablo 7. Ocak Ayı Tüketim Değerleri

Doğalgaz tüketimi (kW)	Doğalgaz tüketimi (m^3)	Doğalgaz tüketimi(TL)	Elektrik tüketimi (kW)	Elektrik tüketimi(TL)	TOPLAM TÜKETİM(TL)
20.164.441	2.105.727	3.567.166	2.958.720	2.008.500	5.575.666

Tablo 8. Haziran Ayı Tüketim Değerleri

Doğalgaz tüketimi (kW)	Doğalgaz tüketimi (m^3)	Doğalgaz tüketimi(TL)	Elektrik tüketimi (kW)	Elektrik tüketimi(TL)	TOPLAM TÜKETİM(TL)
1.731.924	180.861	308.655	2.490.299	1.649.675	1.958.330

Tablo 7 ve tablo 8 de görüldüğü üzere Atatürk üniversitesinin elektrik enerjisi ihtiyacı çok fazla değişmemektedir. Ancak ısı enerjisi ihtiyacı mevsimler arasında çok büyük değişime uğramaktadır. Dolayısı ile tahrik gücü seçiminde elektrik ihtiyacının maksimum düzeyde karşılanması hedeflenmiştir. Bu bağlamda MWM Marka, TCG-2020-V20 Model Doğalgazlı Motor seçilmiştir.

Seçilen motorun özellikleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 9. MWM Marka, TCG-2020-V20 Model Doğalgazlı Motorun Özellikleri

Mekanik gücü	2056 kW	
Elektrik gücü	2000 kW	
Yakıt tüketimi	4577 kW	(+ %5)
Egsoz ısı (120 °C)	972 kW	(± %8)
Egsoz çıkış sıcaklığı	414 °C	
Ceket suyu ısı gücü	1040 kW	(± %8)
Intercooler ısı gücü	142 kW	(± %8)
Elektrik verimi	43,70 %	
Termik verimi	47,06 %	
Toplam verim	90,76 %	
Yıllık ortalama çalışma saati	8.000saat	
Ana bakım zamanı	64.000saat	

Proje Sahası Teslim Fiyatı: 1.350.000 – Euro + KDV

Step-up Trafo ve OG Şalt Tesis: 220.000 – Euro + KDV

ARAŞTIRMA BULGULARI

Atatürk Üniversitesi Kampüsüne Kurulması Düşünülen Kojenerasyon Ünitesinin İşletme Değerleri

Aşağıdaki tabloda Atatürk üniversitesi kampüsüne kurulması düşünülen kojenerasyon ünitesinin işletme değerleri verilmiştir.

Tablo 10. Kojenerasyon Ünitesi İşletme Değerleri

Modül Çalışma Saatleri	saat/yıl	8.000	8.000
Yakıt Türü	NG		
Yakıt Isıl Değeri	kcal/m ³	8.250	8.250
Yakıt Tüketimi(+%5 tolerans)	kW	8.330	8.330
Yakıt Tüketimi	m ³ /saat	868	868
Senelik Yakıt Tüketimi	m ³ /yıl	6.945.620	6.945.620
Elektrik Üretimi – Brüt(cos phi=1)	kWh	3.600	3.600
İç İhtiyaç ve Dahili Kayıplar	kWh	90	90
Elektrik Üretimi - Net	kWh	3.510	3.510
Senelik Elektrik Üretimi (Net)	kWh/yıl	28.080.000	28.080.000
Yağ Tüketimi	kg/h	0,54	0,54
Egzoz ısı gücü(±%8 tolerans)	kWh	1.788	1.788
Ceket Isı Gücü(±%8 tolerans)	kWh	1.872	1.872
Ara Soğutucu(±%8 tolerans)	kWh	261	261
Maksimum Toplam Isı Üretim Kapasitesi	kWh	3.660	29.280.000
İşletme Toplam Isı Tüketimi75%	kWh	2.745	21.960.000

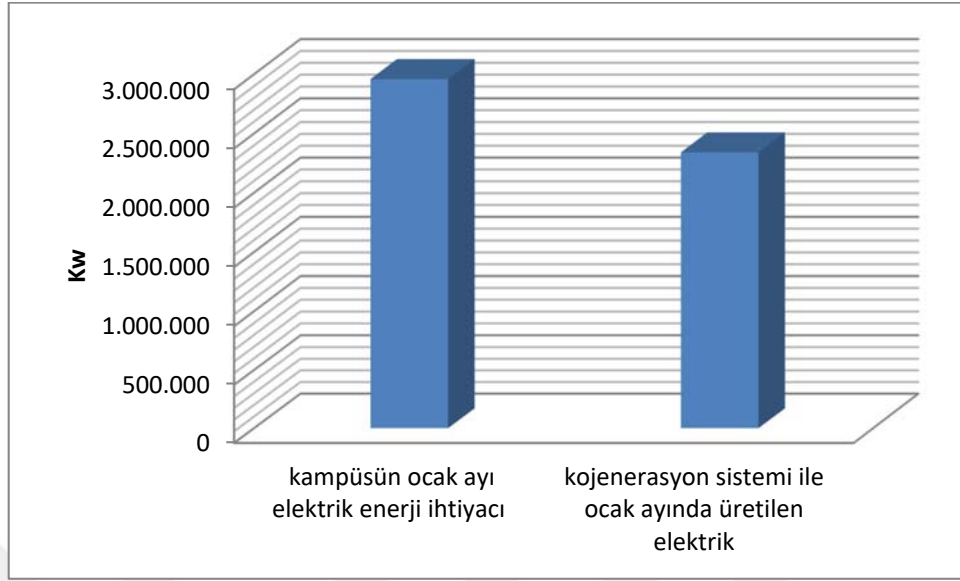
Tablo 11. Çevrim Verimlerinin Santral Kapasitesi Yüzdesi

Elektrik Verimi	%	43,22
Isı Verimi	%	43,94
Toplam Verimi	%	87,16

Tablo 12. Çevrim Verimlerinin Enerji Tüketimine Göre Yüzdesi

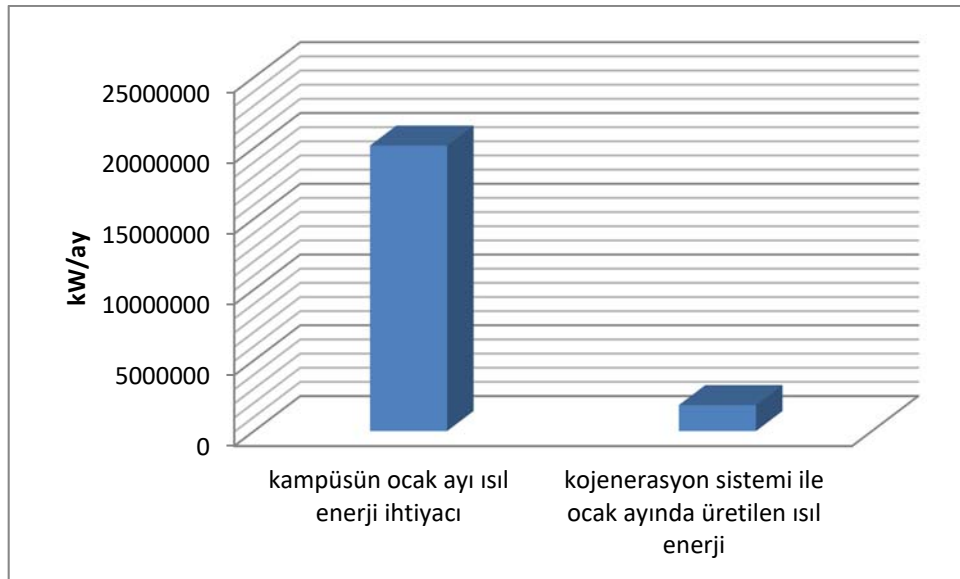
Elektrik Verimi- Net	%	42,14
Isı Verimi	%	32,96
Toplam Verimi	%	75,09

Seçilen kojenerasyon sisteminin ürettiği enerjinin referans aylardaki enerji tüketimini karşılama durumu aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



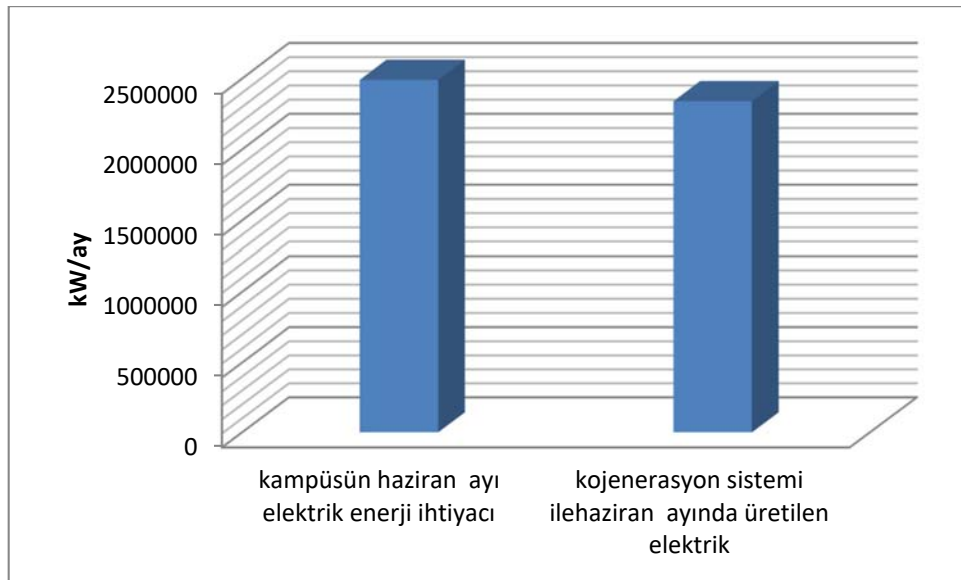
Şekil 17. Ocak ayında tesisin elektrik enerjisi ihtiyacının kojenerasyon sistemi ile karşılanması

Şekil 17’de görüldüğü üzere ocak ayından kampüsün elektrik enerjisi ihtiyacı yaklaşık 2.958.720 kW ve kojenerasyon sisteminden üretilen elektrik enerjisi 2.340.117 kW’dır. Yani kojenerasyon sistemi ocak ayında gerekli olan elektrik enerjisinin yaklaşık % 79,1’ini üretmektedir.



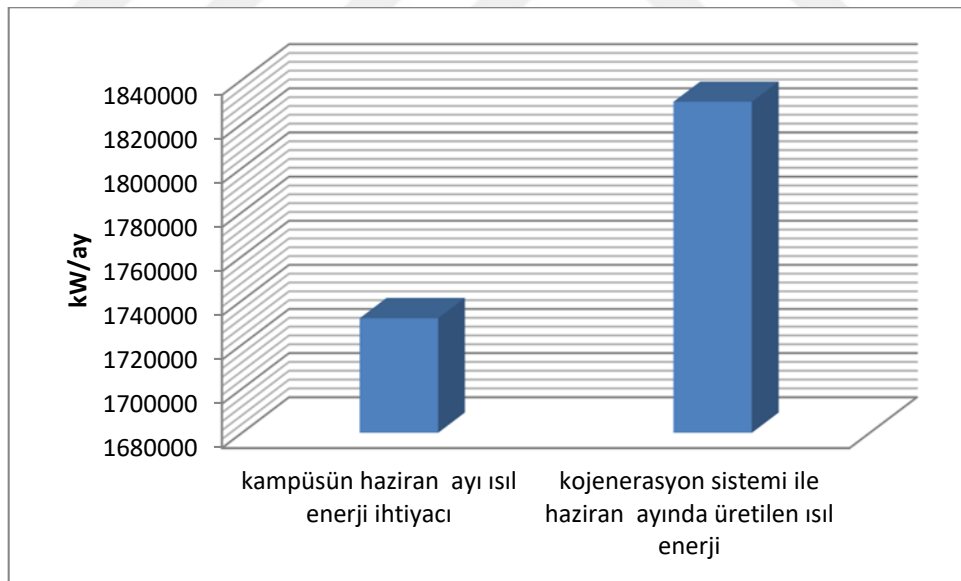
Şekil 18. Ocak ayında tesisin ısı enerjisi ihtiyacının kojenerasyon sistemi ile karşılanması

Kojenerasyon sistemi ocak ayında gerekli olan ısı enerjisinin yalnızca %9,1’ini karşılayabilmiştir. Geriye kalan ısı enerjisi mevcut kullanılan sistemden karşılanacaktır.



Şekil 19. Haziran ayında tesisin elektrik enerjisi ihtiyacının kojenerasyon sistemi ile karşılanması

Şekil 19’da görüldüğü üzere Haziran ayından kampüsün elektrik enerjisi ihtiyacı yaklaşık 2.490.299 kW ve kojenerasyon sisteminden üretilen elektrik enerjisi 2.340.117 kW’dır. Yani kojenerasyon sistemi ocak ayında gerekli olan elektrik enerjisinin yaklaşık % 94’ünü üretmektedir.



Şekil 20. Haziran ayında tesisin ısı enerjisi ihtiyacının kojenerasyon sistemi ile karşılanması

Şekil 20’ de görüldüğü üzere kojenerasyon sistemi haziran ayında ihtiyaç duyulan ısı enerjisinin tamamını karşılamıştır.

Kurulması Planlanan Kojenerasyon Sistemi İçin Kullanılacak Ekonomik Analiz Yöntemleri

Kojenerasyon sistemini kurmak için karar vermeden önce ekonomik analiz yapılması gerekmektedir. Bu analizin sonucuna göre karar vermek oldukça önemlidir. Analizde dikkate alınması gereken hususlar;

- Satın alınan elektriğin birim maliyeti,
- Satın alınan yakıtın (doğalgaz) birim maliyeti,
- Yağlama yağı birim maliyeti,
- Bakım giderleri,
- Personel giderleri,
- Tesis sigorta bedeli ve vergiler,
- Kojenerasyon sistemi için yapılacak olan yatırım giderleridir.

Aşağıdaki tabloda kojenerasyon sisteminin üreteceği yıllık elektrik enerjisi, ısı enerjisi, doğalgaz tüketimi, yağlama yağı tüketimi değerleri ve alınan elektrik enerjisinin birim fiyatı, doğalgazın birim fiyatı, yağlama yağının birim fiyatı verilmiştir.

Tablo 13. Yıllık Santral İşletme Değerleri

İşletme Yılları	1.Yıl	2.Yıl	3.Yıl	4.Yıl	5.Yıl	10.Yıl	15.Yıl
Net elektrik üretimi kWh/yıl	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000
Tüketilen elektrik miktarı kWh/yıl	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000
Net atık ısı kazanımı kWhth	29.280.000	29.280.000	29.280.000	29.280.000	29.280.000	29.280.000	29.280.000
Tüketilen ısı enerjisi kWhth (%75)	21.960.000	21.960.000	21.960.000	21.960.000	21.960.000	21.960.000	21.960.000
Doğalgaz tüketimi NM ³	6.945.620	6.945.620	6.945.620	6.945.620	6.945.620	6.945.620	6.945.620
Yağlama yağı tüketimi ton	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
Tüketilen elektriğin fiyatı €/kWh	0,09160	0,09160	0,09160	0,09160	0,09160	0,09160	0,09160
Doğalgazın fiyatı €/1000NM ³	257,6	257,6	257,6	257,6	257,6	257,6	257,6
Yağlama yağı fiyatı €/ton	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500

Kojenerasyon Ünitesinin Kurulacağı İşletmedeki Gelirler, Giderler Ve Proje Kazancı

Tablo 14’de kojenerasyon santrali ile birlikte işletmenin gelirleri verilmiştir.

Tablo 14. İşletme Gelirleri

İşletme yılları	1.Yıl	2.Yıl	3.Yıl	4.Yıl	5.Yıl	10.Yıl	15.Yıl
Tüketilen elektrik geliri (€)	2.572.128	2.572.128	2.572.128	2.572.128	2.572.128	2.572.128	2.572.128
Satılan elektrik geliri (€)	0	0	0	0	0	0	0
Atık ısıdan kazanılan gelir (€)	657.951	657.951	657.951	657.951	657.951	657.951	657.951
Toplam gelirler Euro	3.230.079	3.230.079	3.230.079	3.230.079	3.230.079	3.230.079	3.230.079

Tablo 15’ de işletme giderleri verilmiştir.

Tablo 15. İşletme Giderleri

İşletme Giderleri (€)	1.Yıl	2.Yıl	3.Yıl	4.Yıl	5.Yıl	10.Yıl	15.Yıl
Doğalgaz gideri	1.788.895	1.788.895	1.788.895	1.788.895	1.788.895	1.788.895	1.788.895
Yağlama yağı giderleri	15.120	15.120	15.120	15.120	15.120	15.120	15.120
Bakım giderleri	168.000	168.000	168.000	168.000	168.000	168.000	168.000
Personel giderleri	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Tesis sigorta bedeli %0.25	3.925	3.925	3.925	3.925	3.925	3.925	3.925
Toplam işletme gideri	2.005.940	2.005.940	2.005.940	2.005.940	2.005.940	2.005.940	2.005.940

Tablo 16’da kojenerasyon santrali ile oluşacak proje kazancı (gelir gider farkı) verilmiştir.

Tablo 16. Proje Kazancı

İşletme yılları	1.Yıl	2.Yıl	3.Yıl	4.Yıl	5.Yıl	10.Yıl	15.Yıl
Toplam işletme gelirleri (Euro)	3.230.079	3.230.079	3.230.079	3.230.079	3.230.079	3.230.079	3.230.079
Toplam işletme giderleri (Euro)	2.005.940	2.005.940	2.005.940	2.005.940	2.005.940	2.005.940	2.005.940
İşletme karı (Euro)	1.224.139	1.224.139	1.224.139	1.224.139	1.224.139	1.224.139	1.224.139
Yatırımın hurda bedeli Euro %10	-	-	-	-	-	-	185.260

Kojenerasyon Santrali İlk Kurulum Maliyeti

Proje Sahası Teslim Fiyatı: 1.593.000 Euro (KDV dahil)

Step-up Trafo ve OG Şalt Tesis: 259.600 Euro (KDV dahil)

Santral Binası, Genset, Trafo ve kabin temelleri ve yeraltı kanalları gibi tüm inşaat işleri: 200.000 Euro

Yerel ve merkezi makamlardan tüm izin ve lisans işleri: 10.000 Euro

Kapsam dışı borulama ve kablolama işleri: 100.000 Euro

Motor gaz girişine kadar doğalgaz boru hattı döşenmesi işi: 15.000 Euro

Tesis içi, gerekli olabilecek kompanzasyon işlemleri: 20.000 Euro

Ön görülmeyen giderler %10: 219.760 Euro

Toplam İlk Yatırım Maliyeti: 2.417.360 Euro

Kojenerasyon Sistemlerinin Kurulmasına Karar Vermek İçin Kullanılacak Ekonomik Analiz Yöntemleri

1. Geri Ödeme Süresi (GÖS)
2. Net Bugünkü Değer (NBD)
3. Fayda Maliyet Analizi (F/M)

Geri ödeme süresi ile ekonomik analiz

Bu yöntem, ekonomik ömür içinde ana paranın ve faiz giderlerinin ne kadar zamanda geri alınabileceğini ölçen ve yatırımın ne kadar süre işletme lehine işletilebileceğini gösteren, zaman ölçümüne dayalı bir metottur.

Teknolojik ilerlemenin hızlı olduğu sektörlerde (elektronik, silah, bilgisayar, kamera, v.b.) bu yöntem çok önemlidir. Bu sektörlerde piyasaya çıkan ürünün ne kadar süre ile üretileceği ve pazarlanacağı aşağı yukarı hesaplanmış durumdadır. Üretilen ürünün hayat seyri içerisinde yatırımı geri ödemesi gerekir. Aksi takdirde teknolojik yenilikler ve yeni ürünler yatırımı zararlı hale getirebilir.

Geri ödeme süresi herhangi bir yatırıma ait anaparanın ne kadar sürede geri alınacağını gösterir. Bu metot projenin kabulü veya reddi konusunda kesin sonuç vermez. Sadece yatırımcıyı yönlendirebilir. Geri ödeme süresi 3 yıl veya 3 yıldan az ise yatırım kabul edilebilir aksi halde yatırım reddedilir. Projenin getirisinin bulunması için NBD, NGD, KI, İ* metotlarının kullanılması gerekir. Geri ödeme süresi metodu bu metotlara yardımcı bir metottur.

$$GÖS = \frac{YT}{GGF} \quad (1)$$

$$GÖS = \frac{2.417.360}{1.224.139} = 23,7 \text{ ay yaklaşık 2 yıl olarak bulunur.}$$

Net bugünkü değer ile ekonomik analiz (NBD)

NBD, yatırımın nakit girişlerinin bugünkü değerinden (BD_H), nakit çıkışlarının bugünkü değerinin (BD_G), çıkarılmasıyla hesaplanır. Şayet sonuç pozitif değer ise kabul edilir, negatif değer ise proje reddedilir. Yani;

$NBD > 0$ ise proje kabul edilir,

$NBD = 0$ ise durum farksızdır herhangi bir yatırıma gerek yoktur,

$NBD < 0$ ise proje reddedilir.

$$NBD = BD_H - BD_G = -YT + \sum \frac{F_1}{(1+i)} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \frac{F_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (2)$$

2020 yılı ortalama faiz oranının ülkemizde %12, yatırımın ekonomik ömrünün 15 yıl olduğu düşünülürse;

$$NBD = BD_H - BD_G = -2.417.360 + \sum \frac{1.224.139}{(1+0,12)} + \frac{1.224.139}{(1+0,12)^2} + \dots + \frac{1.224.139}{(1+0,12)^{15}}$$

$$NBD = 2.193.038 \text{ Euro}$$

$NBD > 0$ olduğundan yatırım kabul edilir.

Fayda maliyet analizi

Fayda maliyet oranı yatırımın ömrü boyunca sağlayacağı girdilerin bugünkü değerlerinin, bu yatırım için yapılan harcamaların bugünkü değerine oranıdır. Bu analizde yatırımın kabul edilebilmesi için F/M oranının 1 den büyük olması gerekmektedir.

$$F/M = \frac{\left[\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} \right] + \frac{H}{(1+r)^{n+1}}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (3)$$

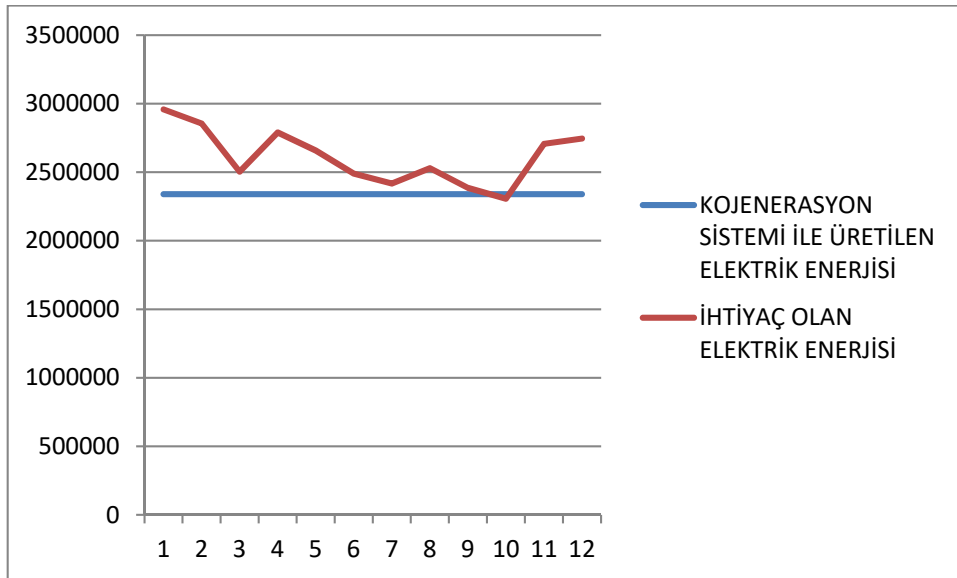
$$F/M = \frac{\left[\sum_{t=1}^{15} \frac{3.230.079 * (1+0.09)^t}{(1+0.12)^t} \right] + \frac{185.260}{(1+0.12)^{16}}}{\sum_{t=1}^{15} \frac{2.005.940 * (1+0.09)^t}{(1+0.12)^t} + 2.417.360}$$

F/M= 1,568 olarak hesaplanır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

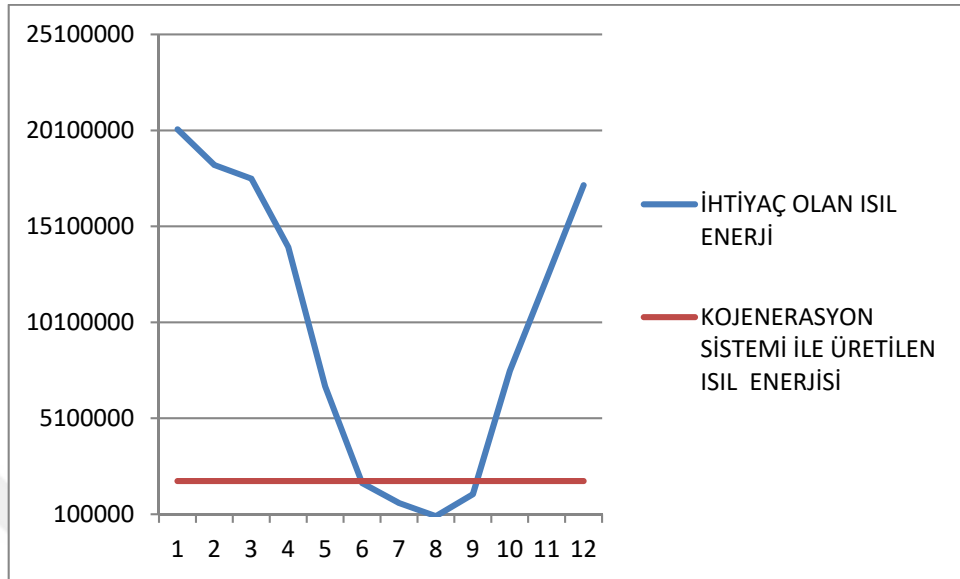
Bu çalışmada Atatürk Üniversitesi kampüsü için kurulması planlanan kojenerasyon santralinin ekonomik analizi yapılmıştır. Kojenerasyon sistemi seçiminde Atatürk Üniversitesi kampüsünün elektrik tüketimi, E/I oranı, ve gerekli ısı enerjisi miktarının yıl içinde aşırı değişkenlik göstermesi etkili olmuştur. 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. Türbinli sistemlerin kurulum maliyetinin fazla olması ve kampüsün ısı ihtiyacının yıl içinde değişkenlik göstermesi, doğalgaz motorlu sistemin seçilmesini etkilemiştir. Aylık tüketimlerin en çok ve en az olduğu aylar dikkate alınarak motor gücü belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalara göre 2 adet MWM marka TCG 2020 V20 model doğalgaz motorlu sistem seçilmiştir.

Atatürk üniversitesine ait bir yıllık enerji tüketim değerleri Tablo 4’de verilmiştir. Bu bilgilere göre Atatürk Üniversitesi kampüsünün yıllık elektrik enerjisi ihtiyacı 31.352.552 kW olduğu görülmüştür. Yıllık $12.282.914 m^3$ doğalgaz harcamasına denk gelen eş değer enerji tüketiminin 117.621.184 kW olduğu görülmüştür. Bu sistemle yıllık 28.800.000 kW elektrik üretililecektir. Şekil 20’de bulunan grafiğe göre ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin çok büyük bir kısmı (%91,9) kojenerasyon sistemi ile üretililecektir.



Şekil 21. Kojenerasyon sistemi ile üretilen elektrik enerjisinin ihtiyacı karşılama mukayesesi

Ancak elde edilen sonuçlara göre Atatürk Üniversitesi kampüsünün ihtiyaç duyduğu ısı enerjisinin yalnızca bir kısmı (%18,6) sistem tarafından karşılanabilecektir.



Şekil 22. Kojenerasyon sistemi ile üretilen ısı enerjisinin ihtiyacı karşılama mukayesesi

Seçilen sistem için çeşitli ekonomik analiz yöntemleri uygulanmıştır. Geri ödeme süresi analizinde geri ödeme süresi yaklaşık 2 yıl olarak bulunmuştur. Bu süre gayet makul kabul edilmektedir. Ancak geri ödeme süresi analizi tek başına anlamlı sonuç vermemektedir. Sistemin değerlendirilmesi için yapılan diğer analiz paranın bugünkü değeri üzerinden yapılmıştır. Bu analiz sonucu da olumludur ve yatırımın yapılmasını desteklemektedir. Son olarak fayda/maliyet analizi yapılmış ve bu analiz de yatırımın yapılmasını desteklemiştir.

Kojenerasyon sistemlerinin bölgesel ısıtma yapılan kampüslerde, AVM'lerde, hastanelerde, toplu konut projelerinde, büyük ölçekli otellerde, havaalanlarında uygulanması için desteklenmelidir. Kojenerasyon sistemleri enerjide büyük ölçüde dışa bağımlı olan ülkemiz için hem ekonomik hem de çevresel olarak katkı sağlayacaklardır.

KAYNAKLAR

- Abuşoğlu, A., Demir, S., & Kanoğlu, M. (2013). Biyogaz beslemeli gaz motorlu bir kojenerasyon sisteminin termoekonomik analizi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 33(2), 09-21.
- Adıgüzel, N., Comaklı, O., Ekmekci, I., and Pusat., S. (2015). "Economical evaluation of a cogeneration system for a building complex." *Advances in Mechanical Engineering* 7(3): 1687814015575951.
- Anonim 2021. N.D. "Web Sitesi." 18:S257–58. Retrieved (<https://Kojenturk.Org/Tr>, Erişim Tarihi: 15.08.2021).
- Anonim 2021. N.D. "Web Sitesi." Retrieved (<https://Www.Tedas.Gov.Tr/>, Erişim Tarihi: 10.08.2021).
- Anonim 2021. N.D. "Web Sitesi." Retrieved (<https://Www.Enerji.Gov.Tr/>, Erişim Tarihi: 15.08.2021).
- Chen, H., Wang, Y., Li, J., Xu, G., Lei, J., & Liu, T. (2021). Thermodynamic analysis and economic assessment of an improved geothermal power system integrated with a biomass-fired cogeneration plant. *Energy*, 240(2022), 122477.
- Donk, M. (2017). *İlbank A.Ş. Üstyapı İşlerinde Kojenerasyon Sistemlerinin Uygulanması ve Maliyet Analizinin Araştırılması* (Uzmanlık Tezi). İller Bankası Anonim Şirketi,
- Goza, M. (2013). *Kojenerasyon Sistemleri Ve Uygulamalı Ekonomik Analizi: Hastane Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova.
- İmal, M., Kaya, A., Güneş, M., Kuyumcu, M. E., & Sönmez, K. (2015). Birleşik Isı ve Güç Üreten Sistemlerin Uygulamalı Analizi ve KSÜ Hastanesi Örnek Çalışması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2), 33-40.
- Isa, N. M., Tan, C. W., & Yatim, A. (2018). A comprehensive review of cogeneration system in a microgrid: A perspective from architecture and operating system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(2), 2236-2263.
- Kabacan, T. (2019). *Bölgesel Isıtma Yapılan Yerleşkelerde Isı Merkezlerine Kojenerasyon Sisteminin Entegrasyonu Ve Muş Alparslan Üniversitesi Kampüsü Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Kanbur, B. B., Xiang, L., Dubey, S., Choo, F. H., & Duan, F. (2017). A micro cogeneration system with LNG cold utilization-part 1: energetic, economic and environmental analyses. *Energy Procedia*, 105(2017), 1902-1909.
- Karellas, S., & Braimakis, K. (2016). Energy–exergy analysis and economic investigation of a cogeneration and trigeneration ORC–VCC hybrid system utilizing biomass fuel and solar power. *Energy conversion and management*, 107, 103-113.
- Li, Z., Ehyaei, M., Ahmadi, A., Jamali, D., Kumar, R., & Abanades, S. (2020). Energy, exergy and economic analyses of new coal-fired cogeneration hybrid plant with wind energy resource. *Journal of Cleaner Production*, 269, 122331.
- Mosaffa, A., Farshi, L. G., & Khalili, S. (2021). A novel enhanced ammonia-water power/cooling cogeneration system with dual level cooling temperature: Thermodynamic and economic assessments. *Energy conversion and management*, 244, 114530.
- Özdemir, N. (2011). *Çekmeköy İlçesi Toplu Konut Bölgeleri İçin Kojenerasyon Sistemlerinin Analizi*. (Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum

- Özdemir, N., & Ekmekçi, İ. (2012). Çekmeköy İlçesi Toplu Konut Bölgeleri İçin Kojenerasyon Sistemlerinin Analizi. *130*, 21-32.
- Öztürk, H., Kaya, H., 2014. Kojenerasyon Sistem Seçimi. *Kojenerasyon ve Trijenerasyon Tekniği*, Kocaeli, 79-92.
- Sivrioğlu, M., Yurdakul, M., Aydoğan, A., & İç, Y. T. (2011). Büyük Ticari Yapılarda Kurulacak Kojenerasyon Sistemlerinin Ekonomik Açıdan Alternatif Sistemlerle Karşılaştırılması. *Çankaya University Journal of Science and Engineering*, 8(1), 135-151.
- Vialetto, G., Noro, M., & Rokni, M. (2017). Combined micro-cogeneration and electric vehicle system for household application: An energy and economic analysis in a Northern European climate. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(15), 10285-10297.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler		
Adı Soyadı	:	Ahmet ERİŞMİŞ
E-mail	:	
Eğitim		
Lise	:	Erzurum Lisesi
Lisans	:	Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek lisans	:	Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği ABD. Termodinamik Bilim Dalı
Yabancı Dil Bilgisi		
İngilizce	:	Orta
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar		
Makine Mühendisleri Odası		