

Tesislerde Kojenerasyon Sisteminin Ekonomik ve Isıl Olarak İncelenmesi

***Makale Bilgisi / Article Info**

Alındı/Received: 18.04.2025

Kabul/Accepted: 26.10.2025

Yayımlandı/Published: 03.02.2026

Economic and Thermal Analysis of Cogeneration Systems in Facilities

Rabia KAVAK^{1*}, **Mustafa ATMACA²**¹ Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı² Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

© 2026 The Authors | Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 (CC BY-NC) International License

Öz

Bu çalışmada, İstanbul ilinde bulunan özel bir hastanenin yıllık elektrik ve ısı ihtiyacına göre doğal gaz yakıtlı bir kojenerasyon sisteminin enerji ve maliyet açısından fizibilitesi değerlendirilmiştir. Sistem, iki adet MWM TCG 3016 V12 gaz motoru (her biri 600 kW elektrik gücü ve toplam 1.210 kW ısı güç kapasitesine sahip) kullanılarak modellenmiştir. Analizler, hastanenin enerji talebinin büyük oranda karşılandığını, geri ödeme süresinin 1,97 yıl olduğunu ve toplam enerji verimliliğinin %85'in üzerinde gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca, yaz aylarında oluşan fazla ısı enerjisinin değerlendirilmesine yönelik üç farklı yöntem önerilmiştir: absorpsiyonlu soğutma sistemleri, sıcak su depolama tankları ve yakın binalara ısı transferi. Bu sonuçlar, sistemin ekonomik ve çevresel faydalarını ortaya koyarak, sürekli enerji ihtiyacı olan tesisler için uygulanabilir ve sürdürülebilir bir çözüm olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, yaz aylarında fazla ısının değerlendirilmesine yönelik üç senaryonun teknik ve ekonomik karşılaştırmasını sunarak hastane uygulamalarına özgün bir katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kojenerasyon, Güç, Yatırım Maliyeti, Geri Ödeme Süresi, Çevresel Etki.

Abstract

This study evaluates the techno-economic feasibility of a natural gas-fueled cogeneration system designed to meet the annual electricity and heat demand of a private hospital in Istanbul, Turkey. The system is modeled using two MWM TCG 3016 V12 gas engines, each with an electrical output of 600 kW and a total thermal capacity of 1,210 kW. The analysis shows that the hospital's energy demand can be largely met, achieving an overall energy efficiency of over 85% and a payback period of 1.97 years. Additionally, three methods are proposed to utilize excess heat during summer months: absorption cooling systems, hot water storage tanks, and heat transfer to nearby buildings. These results highlight the system's economic and environmental benefits, making it a viable and sustainable solution for facilities with continuous energy needs.

Keywords: Cogeneration, Power, Investment Cost, Payback Period, Environmental Effect.

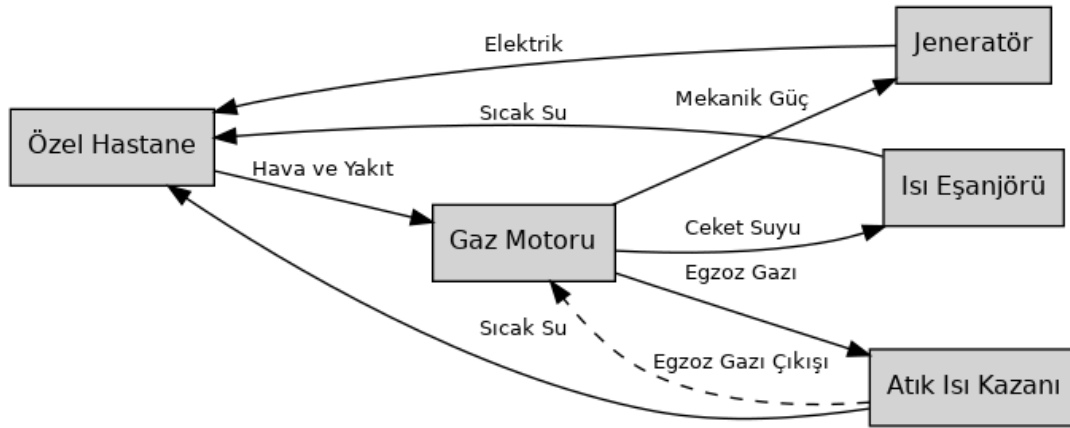
1. Giriş

Kojenerasyon, elektrik ve ısı enerjisinin aynı anda üretilmesini sağlayan bir teknolojidir. Bu yöntem, enerji kullanımında yüksek verimlilik sunarak fosil yakıt tüketimini ve sera gazı emisyonlarını azaltır. Bu sistemler, tek bir yakıt kaynağından hem elektrik hem de ısı üreterek iletim ve dağıtım kayıplarını minimize eder. Dünya genelinde, özellikle hastane, üniversite kampüsü ve endüstriyel tesislerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Günümüzde artan enerji talebi, enerji maliyetlerindeki dalgalanmalar ve çevresel kaygılar, kojenerasyon sistemlerine olan ilgiyi artırmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, doğru boyutlandırılmış ve işletilen sistemlerin toplam enerji verimliliğini %80'in üzerine çıkarabildiğini göstermektedir (Zhang vd. 2022, Yılmaz vd. 2023). Kojenerasyon sistemleri, dünya genelinde, özellikle hastane, üniversite kampüsü ve endüstriyel tesislerde

yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca literatürde benzer ölçekli tesislerde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Kısakesen (2016), tarafından Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesi'nde yapılan karşılaştırmalı analizde, kojenerasyon sisteminin geri ödeme süresi 2,78 yıl olarak belirlenmiştir. Goza (2013), İstanbul'daki bir hastanede önerilen 800 kW kapasiteli motorun ekonomik açıdan en verimli seçenek olduğunu ve geri ödeme süresinin 2 yıl olduğunu raporlamıştır. Zhang vd. (2022), Çin'deki bir üniversite hastanesinde %88 toplam verimlilik ve 2,1 yıl geri ödeme süresi elde etmiştir. Yılmaz vd. (2023) ise Türkiye'de bir devlet hastanesinde kojenerasyon uygulamasının CO₂ emisyonlarını %42 oranında azalttığını bildirmiştir.

Özel hastanedeki bir kojenerasyon sisteminin tasarımı Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Kojenerasyon Sisteminin Proses Tasarımı

Bu çalışmanın amacı, İstanbul'da yer alan özel bir hastanenin yıllık elektrik ve ısı ihtiyacına uygun doğal gaz yakıtlı bir kojenerasyon sisteminin teknik ve ekonomik fizibilitesini değerlendirmektir. Analiz kapsamında motor tipi, kapasite, enerji verimliliği, yatırım maliyeti, geri ödeme süresi ve yaz aylarında fazla ısı enerjisinin değerlendirilmesine yönelik çözüm önerileri sunulmuştur.

1.1. İlgili Çalışmalar

Kojenerasyon sistemleri üzerine yapılan çalışmalar, bu teknolojinin enerji verimliliğini artırmada ve emisyonları azaltmada etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle hastaneler gibi sürekli enerji ihtiyacı olan tesislerde uygulamalar yaygınlaşmaktadır.

Örneğin, Zhang vd. (2022), Çin'deki bir üniversite hastanesinde doğal gaz yakıtlı kojenerasyon sistemi ile %88 toplam enerji verimliliği ve 2,1 yıl geri ödeme süresi elde etmiştir. Yılmaz vd. (2023), Türkiye'de bir devlet hastanesinde kojenerasyon uygulaması ile yıllık 4.200 ton CO₂ emisyon azaltımı ve %82 toplam verimlilik raporlamıştır. Çalışmada ayrıca yaz aylarında fazla ısı enerjisinin absorpsiyonlu soğutma sistemleri ile değerlendirildiğinde ek %5 enerji tasarrufu sağlandığı belirtilmiştir.

Gonzalez vd. (2021), yaptıkları çalışmalarında İspanya'daki 500 yataklı bir hastanede kojenerasyon sisteminin enerji maliyetlerini %35 azalttığı ve yatırımın 3 yıl içinde geri döndüğü bildirilmiştir. Bu veriler, kojenerasyonun hem ekonomik hem de çevresel açıdan cazip bir çözüm olduğunu desteklemektedir.

Ayrıca, Kısakesen (2016), tarafından Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Hastanesi'nde yapılan çalışmada kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri karşılaştırılmış ve kojenerasyon sisteminin daha kısa geri ödeme süresine sahip olduğu belirlenmiştir. Goza (2013), İstanbul'daki bir hastanede yaptığı analizde, 800 kW kapasiteli gaz motoru

kullanımının yatırım maliyetini düşürdüğünü ve geri ödeme süresini 2 yıla indirdiğini bildirmiştir.

Wang vd. (2021), sağlık tesislerinde mevsimsel enerji talep değişimlerini dikkate alarak CHP sistemlerinin işletme stratejilerini optimize etmiş ve yaz aylarında fazla ısının absorpsiyonlu soğutma ile değerlendirilmesinin toplam verimliliği artırdığını raporlamıştır.

Son üç yıl içinde yapılan çalışmalarda, özellikle absorpsiyonlu soğutma sistemleri ile entegre edilen kojenerasyon uygulamalarının yaz aylarında sistem verimliliğini artırdığı ve enerji israfını önlediği vurgulanmaktadır (Çalış 2023, Derinpınar 2022). Ayrıca, bölgesel ısıtma sistemleri ile entegre edilen tesislerde enerji kullanımında ek %10 tasarruf sağlandığı belirtilmektedir.

Bununla birlikte, mevcut çalışmaların büyük bir kısmı yaz aylarında ortaya çıkan fazla ısının değerlendirilmesine yönelik senaryo bazlı teknik ve ekonomik karşılaştırmaları kapsamamaktadır.

Bu çalışma, yaz döneminde oluşan fazla ısının değerlendirilmesine yönelik absorpsiyonlu soğutma, sıcak su depolama ve yakın binalara ısı transferi olmak üzere üç farklı senaryoyu aynı ölçek ve koşullar altında karşılaştırmasıyla literatürdeki mevcut boşluğu doldurmaktadır. Ayrıca, elde edilen %85,3 toplam verimlilik ve 1,97 yıl geri ödeme süresi, benzer ölçekli çalışmalara kıyasla daha kısa yatırım geri dönüş süresi ve çok yönlü mevsimsel ısı yönetimi sağlaması bakımından özgün bir katkı sunmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, İstanbul'da yer alan özel bir hastanenin yıllık elektrik ve ısı talebine yönelik doğal gaz yakıtlı kojenerasyon sistemi tasarlanmıştır. Sistem, iki adet

MWM TCG 3016 V12 (Çizelge 1) model gaz motoru kullanılarak modellenmiştir. Her bir motor 600 kW elektrik gücüne ve toplam 1.210 kW ısı güç kapasitesine sahiptir.

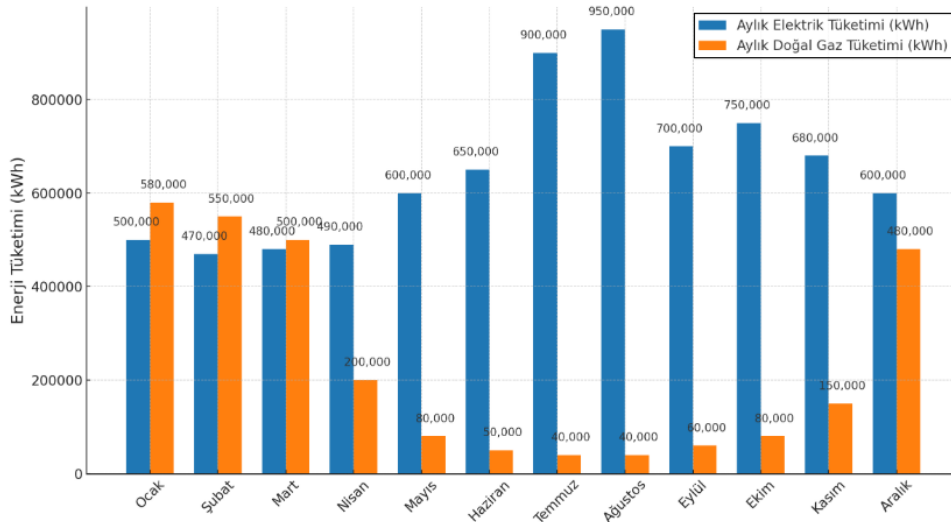
Veriler, hastanenin 2022 yılına ait elektrik ve doğalgaz faturaları ile bina otomasyon sisteminden alınan saatlik tüketim kayıtlarından elde edilmiştir. Elektrik tüketim değerleri sayaç ölçümlerinden, ısı enerji tüketimi ise kazan dönüş suyu sıcaklığı ve debi ölçümlerinden hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda kullanılan doğal gaz birim fiyatı, 2022 yılı EPDK tarife ortalaması (EPDK, 2022) olan 4,25 TL/m³ olarak alınmıştır. Elektrik birim fiyatı ise aynı dönemin TEİAŞ ortalama elektrik satış fiyatı (TEİAŞ,2022) olan 2,32 TL/kWh'tir. Motorun ceket suyu ısı kazanımı hesaplanırken üretici verilerinden elde edilen kütesel debi değeri (15 m³/saat) ve sıcaklık farkı ($\Delta T=15^{\circ}\text{C}$) kullanılmıştır. Egzoz gazı ısı kazanımı ise motor teknik dokümanında belirtilen egzoz debisi (3.200 m³/sa) ve

ortalama egzoz sıcaklığı (420°C) ile, baca çıkış sıcaklığı (150°C) arasındaki sıcaklık farkı dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Hastanenin ısıtma ve diğer termal ihtiyaçlarının miktarı, bina otomasyon sisteminden elde edilen ısıtma suyu tüketim verileriyle belirlenmiştir. Bu veriler, yaz-kış dönemlerindeki tüketim farkı analiz edilerek değerlendirilmiştir. Bu analizde, 2022 yılı verileri temel alınmış ve önceki iki yılın (2020-2021) tüketim verileri ile karşılaştırma yapılarak artış ve azalış trendleri değerlendirilmiştir.

Yaz aylarında oluşan fazla ısı enerjisinin değerlendirilmesi için üç senaryo geliştirilmiştir: (1) absorpsiyonlu soğutma sistemleri ile soğutma enerjisine dönüştürme, (2) sıcak su depolama tanklarında muhafaza etme ve (3) yakın binalara ısı transferi. Bu senaryolar teknik uygulanabilirlik, yatırım maliyeti ve geri ödeme süresi açısından karşılaştırılmıştır. Hastanenin aylık elektrik ve doğalgaz tüketimi ise Şekil 2'de sütun grafiği olarak sunulmuştur.



Şekil 2. Özel hastanenin aylara göre elektrik ve doğalgaz tüketim verileri (2022)

Bir tesise kojenerasyon sistemi seçilirken, tesisin enerji talebi, sistemin verimliliği ve yatırım maliyeti dikkate değerlendirilmelidir. Yüksek maliyetli bir yatırım olacağı için, sistemin fizibilite çalışmalarına dayanarak doğru şekilde seçilmesi büyük önem taşımaktadır.

İncelenen özel hastanede yapılan analizler, elektrik tüketiminin doğal gaz tüketimine kıyasla daha düzenli bir seyir izlediğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, kojenerasyon sisteminin güç ünitesinde öncelik elektrik üretimine verilmelidir. Güç kaynağı kapasitesinin belirlenmesinde temel amaç, hastanenin ısı ve elektrik ihtiyacını karşılamak olmalıdır. Bu doğrultuda, elektrik tüketiminin en yüksek olduğu ay göz önünde bulundurularak kapasite hesaplama yapılması

gerekmektedir. Literatür incelemesi, hastanelerin elektrik ve ısı enerjisini yoğun bir şekilde tükettiğini göstermektedir. Bu ihtiyaç, yüksek güç gerektiren biyomedikal cihazların sayısı ve hastaların ısınma gereksinimi gibi önemli unsurlara dayanmaktadır.

Özel hastanenin elektrik tüketim grafiğine göre ağustos ayında 966.081 kWh harcanmıştır. Yakıt olarak ise doğal gaz yakıtlı bir motor seçimi yapılmıştır. Buna göre özel hastane için 2 adet MWM TCG 3016 V12 modeli seçilebilir. Bu gaz motoru, %43'e kadar elektrik verimliliği sağlaması, düşük gaz tüketimi, yakıtın esnek kullanımı, kurulum ve işletme maliyetlerinin az olması ve uzun bakım aralıklarına sahip olması nedeniyle seçilmiştir (Çizelge 1). İki ayrı gaz motoru seçilmiştir. Bunun temel nedeni, arıza

ve bakım durumlarında elektrik üretimine kesintisiz devam edebilmektedir.

Çizelge 1. MWM TCG 3016 V12 modeline ait gaz motorunun 50 Hz'deki teknik özellikleri

Elektriksel çıkış gücü	600 kW
Ortalama efektif basınç	18,9 bar
Isıl çıkış gücü $\pm$ %8	618 kW
Elektriksel verimlilik	%43,3
Isıl verim	%44,6
Toplam Verim	%87,9
Güç-ısı oranı	0,97

Özel hastaneye kurulması planlanan kojenerasyon sisteminde ısı gücü, motorların ürettiği ısının ısı değiştiriciler aracılığıyla transfer edilmesiyle elde edilecektir. Motor ceket suyu için plakalı ısı değiştirici, egzoz gazından yararlanmak için ise boru tipi ısı değiştirici kullanılabilir.

Hesaplama sürecinde tüm enerji dönüşümleri için %2,5'lik bir sistem kaybı varsayılmıştır. Ayrıca, motor verimlilikleri üretici katalog değerlerinden alınmış ve analizlerde sabit kabul edilmiştir. Bu yöntemle hem elektrik hem de ısı üretimi senelik bazda hesaplanarak ekonomik analizlere girdi olarak kullanılmıştır.

Bir motorun ceket suyundan elde edilen ısı miktarı 280,47 kW olarak hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{\text{ceket 1}} = \dot{m}_{\text{ceket suyu 1}} \times C_{\text{ceket suyu 1}} \times \Delta T_{\text{ceket suyu 1}} = 280,47 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{\text{ceket 1}}: \text{Motor 1'den kazanılan ceket ısısı (kW)}$$

$$\dot{m}_{\text{ceket suyu 1}}: \text{Ceket suyu kütleli debisi (kg/s)}$$

$$C_{\text{ceket suyu 1}}: \text{Ceket suyu özgül ısısı (kJ/kg.K)}$$

$$\Delta T: \text{Sıcaklık farkı}$$

İki motorun ceket suyundan sağlanacak toplam ısı gücü ise 560,94 kW olacaktır.

$$\dot{Q}_{\text{ceket 1}} = \dot{Q}_{\text{ceket 2}}$$

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_{\text{ceket 1}} + \dot{Q}_{\text{ceket 2}} \text{ (kW)}$$

$$\dot{Q}_c = 280,47 \text{ kW} + 280,47 \text{ kW} = 560,94 \text{ kW}$$

Egzoz gazından kazanılan güç miktarı ise 649,80 kW olarak belirlenmiştir.

$$\dot{Q}_E = (\dot{m}_{\text{egzoz 1}} + \dot{m}_{\text{egzoz 2}}) \times c \times \Delta T_{\text{egzoz}} = 649.799,616 \text{ W}$$

Ceket suyundan ve egzoz gazından sağlanan toplam ısı gücü 1.211 kW'a ulaşmaktadır.

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_c + \dot{Q}_E$$

$$\dot{Q}_1 = 560,94 \text{ kW} + 649,80 \text{ kW} = 1.210,74 \text{ kW}$$

Bu değer, kojenerasyon sisteminde her iki gaz motorunun tam kapasiteyle çalışması durumunda elde edilecek toplam ısı gücünü ifade etmektedir. Bu ısı enerjisi, hastanenin ısıtma ve diğer termal ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılabilir.

1.210 kW'lık ısı kapasitesi, kojenerasyon sistemindeki her iki gaz motorunun da çalışmasıyla elde edilecek yaklaşık gücü göstermektedir. Her bir motor 605 kW'lık ısı üretim kapasitesindedir.

Motor 600 kW elektrik gücü üretimine karşı motor teknik verilerine göre yaklaşık 1391 kW doğalgaz tüketir.

1 kW'lık elektrik üretiminde ortaya çıkan ısı üretimi ve yakıt tüketimi genellikle aşağıdaki oranlarla hesaplanır:

$$*1 \text{ kW'lık elektrik üretimine karşı} \Rightarrow$$

$$(605 \text{ kW}) / (600 \text{ kW}) \Rightarrow 1,008 \text{ kW'lık ısı}$$

$$*1 \text{ kW'lık elektrik üretimine karşı} \Rightarrow$$

$$(1391 \text{ kW}) / (600 \text{ kW}) \Rightarrow 2,318 \text{ kW'lık yakıt tüketimi}$$

Bir kojenerasyon sisteminin bir tesise uygun olup olmadığını belirlemek için detaylı bir fizibilite çalışması yapılması gerekmektedir. Bu çalışma, enerji talebi, maliyet, verimlilik ve sistemin geri ödeme süresi gibi unsurları içerir. İncelenen projede, iki gaz motorundan oluşan kojenerasyon sisteminin toplam yatırım maliyeti alınan teklife istinaden yaklaşık 29.968.000 TL olarak hesaplanmıştır.

Sistemin yatırım maliyetine ulaşmak için Çizelge 2'de belirtilen bütçe hesaplamaları dikkate alınmıştır. Bu bütçe, aşağıdaki kalemleri içerebilir:

- Motorların satın alma bedeli ve ilgili teknik ekipmanlar.
- Plakalı ve boru tipi ısı değiştiricilerin maliyeti.
- Sistemin tesise kurulumu için gerekli olan işçilik ve mühendislik hizmetleri.
- İlk kurulum sonrası bakım ve işletme giderlerinin hesaplanması.
- Altyapı çalışmaları, otomasyon sistemleri ve enerji dağıtım ekipmanları.

Çizelge 2, bu kalemlerin detaylı dökümünü ve toplam yatırım maliyetine olan katkılarını içerecektir. Böylece, sistemin ekonomik açıdan fizibilitesi net bir şekilde ortaya konabilir.

Çizelge 2. Kojenerasyon sisteminin ilk yatırım maliyetleri

Kojenerasyon Yatırım Maliyetleri	Maliyet (EURO)	Maliyet (TL)
Gaz motorları, yardımcı ve kontrol üniteleri		
Motor elektronik kontrol panosu		
Generatör, koruma ve kumanda panosu ile senkronizasyon 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 kabloları	2x400.000	2x14.984.000
Kapsam dâhili borulama ve kablolar		
Atık ısı geri kazanım sistemi		
Motor 11 m atık bacası		
Nakliye, montaj ve devreye alma işlemleri		
Lisanssız elektrik üretim izinleri takibi işleri		
Sözleşme damga vergisi		
Eğitim, uygulama ve mühendislik hizmetleri		
TOPLAM	800.000	29.968.000

3. Bulgular

Özel hastane için tasarlanan kojenerasyon sisteminde, 600 kW elektrik üretim kapasitesine sahip iki gaz motorunun teknik özellikleri esas alınarak, hastanenin elektrik ve ısı ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik bir modelleme gerçekleştirilmiştir. Sistemin temel amacı hem elektrik hem de ısı enerjisi üretimini etkin bir şekilde gerçekleştirmektir.

Bu doğrultuda, kojenerasyon sisteminden üretilen elektrik, hastanenin enerji ihtiyacını karşılarken, sistemden açığa çıkan atık ısının da verimli bir şekilde kullanılması planlanmıştır. Atık ısı, motorun ceket suyu ve egzoz gazlarından ısı değiştiriciler aracılığıyla geri kazanılarak hastanenin ısı enerji gereksinimlerini karşılamak üzere kullanılacaktır. Böylece, enerji kaynaklarının en yüksek verimlilikle değerlendirilmesi ve maliyet tasarrufu sağlanması hedeflenmiştir.

Kojenerasyon sisteminin %100 yükte çalıştığı durumda, sistemin enerji verimlilik oranları şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\eta_e = \frac{\dot{Q}_{el}}{H} = \frac{1.200}{2.782} = \%43,13$$

$$\eta_{ısı} = \frac{\dot{Q}_i}{H} = \frac{1.210}{2.782} = \%43,49$$

η_e = elektriksel verim, $\dot{Q}_{el}$ = birim zamanda üretilen elektrik enerjisi (kW), $\eta_{ısı}$ = ısı verim, $\dot{Q}_i$ = üretilen ısı enerji (kW), H = birim zamanda tüketilen yakıtın enerjisi (kW)

Sistemin ürettiği toplam enerjinin %43,13'ü elektrik enerjisi olarak sağlanmaktadır. Bu, gaz motorlarının elektrik üretimindeki verimliliğini temsil eder.

Kojenerasyon sisteminden açığa çıkan atık ısı enerjisi geri kazanılarak toplam enerjinin %43,49'u ısı enerjisi olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 3. Kojenerasyon sisteminin çalışması ile bulunan değerler

Bu hesaplamalara göre, sistemin toplam enerji verimliliği şu şekilde belirlenebilir:

$$\eta_{top} = \frac{\dot{Q}_{el} + \dot{Q}_i}{H} = \frac{1.200 + 1.210}{2.782} = \%86,62$$

$$\eta_{top} = \text{toplam verim}$$

Toplam verim ise yaklaşık %86,62 olacaktır. Bu değer, kojenerasyon sisteminin enerji kaynaklarını son derece verimli bir şekilde kullandığını ve enerji kaybını minimum seviyede tuttuğunu göstermektedir. Kojenerasyon sisteminin toplam enerji verimliliği başlangıçta %86,62 olarak hesaplanmış olsa da, sistemin kendi iç ihtiyaçları (örneğin pompa, fan, otomasyon sistemleri gibi) için harcanan enerjisi de hesaba katıldığında net verimlilik düşmektedir. Bu iç tüketim enerjisi göz önünde bulundurulduğunda, net verimlilik %85,24 olarak hesaplanmıştır.

$$\eta_{net} = \frac{\dot{Q}_{el} + \dot{Q}_i}{H + W_t} = \frac{1.200 + 1.210}{2.782 + 45} = \%85,24$$

$$\eta_{net} = \text{net verim, } W_t = \text{iç tüketim enerjisi}$$

Bu durum, sistemin kendi ihtiyaçları için harcadığı enerjinin toplam verimlilikten çıkarılmasıyla elde edilen net verimliliğin, gerçek kullanım performansını yansıttığını göstermektedir. Net verim, sistemin enerji tasarrufu potansiyelini ve genel performansını daha doğru bir şekilde ifade eder.

Özel hastaneye kurulacak kojenerasyon sisteminde, motorların toplam çalışma saatleri, yakıt miktarları, üretilen ısı ve elektrik enerjisi ile maliyet bilgileri Çizelge 3'te ayrıntılı olarak sunulmuştur. Sistemin eş yaşlandırma yöntemiyle işletileceği varsayılmıştır. Bu yöntemle, iki motorun çalışma süreleri eşitlenecek ve her bir motorun ürettiği elektrik enerjisi, toplam üretimin yarısına eşit olacaktır. Bu yaklaşım, motorların daha dengeli bir şekilde çalıştırılmasını sağlayarak bakım ve işletme maliyetlerini optimize etmeyi hedeflemektedir.

Aylar	Motorların Toplam Çalışma Saati (saat)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m ³)	Maliyet (TL)	1 Motorla Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	1 Motorla Üretilen Isı Enerjisi (kWh)
Ocak	744	97.225,92	939.186,05	446.400,00	449.971,20
Şubat	672	87.816,96	848.297,08	403.200,00	406.425,60
Mart	744	97.225,92	939.186,05	446.400,00	449.971,20
Nisan	720	94.089,60	908.889,73	432.000,00	435.456,00
Mayıs	744	97.225,92	939.186,05	446.400,00	449.971,20
Haziran	720	94.089,60	908.889,73	432.000,00	435.456,00
Temmuz	744	97.225,92	939.186,05	446.400,00	449.971,20
Ağustos	744	97.225,92	939.186,05	446.400,00	449.971,20
Eylül	720	94.089,60	908.889,73	432.000,00	435.456,00
Ekim	744	97.225,92	939.186,05	446.400,00	449.971,20
Kasım	720	94.089,60	908.889,73	432.000,00	435.456,00
Aralık	744	97.225,92	939.186,05	446.400,00	449.971,20
TOPLAM	8760	1.144.756,80	11.058.158,37	5.256.000,00	5.298.048,00

Çizelge 3'te sistemin yıllık çalışma parametreleri ve enerji üretim değerleri özetlenmiştir. Bu veriler, elektrik ihtiyacının hangi ölçüde karşılanabildiğini ve şebekeden çekilen enerji miktarını ortaya koymaktadır. Söz konusu durumu daha ayrıntılı değerlendirebilmek amacıyla, Çizelge 4'te kojenerasyon sistemi devreye alındıktan sonra karşılanamayan enerji miktarları sunulmuştur.

Bir motorun ürettiği elektrik enerjisi, hastanenin ihtiyacını karşılamak için yetersiz kalacağından, 2 motorun kullanılması gerektiği belirlenmiştir. Hastanenin ısı ihtiyacı ise bir motorun ürettiği ısı enerji ile fazlasıyla karşılanabilmektedir. Şebekeden çekilen ısı miktarları ve bir motorla sağlanan ısı enerjiye ilişkin veriler yer almaktadır. Bu durum, ısı enerji açısından 2 motor kullanımının gereksiz olduğunu göstermektedir. Diğer yandan elektrik ihtiyacı ancak 2 motorla karşılanabilirken, ısı ihtiyaç için 1 motor fazlasıyla yeterlidir. 3 adet motor seçilmemesinin sebebi ise temmuz ve ağustos ayındaki toplam 85.087 kWh için 400.000 Euro'luk 1 motor daha koymak gereksiz olacaktır. Çünkü bu motorun fazladan ürettiği elektriği kullanacak bir alan bulunmamakta ve bu üretilen elektrik şebekeye boşa basılacaktır. Ek bir motor kullanılmamıştır. Bu tercih, yatırım maliyetlerini optimize

ederken gereksiz enerji üretimini önleyerek ekonomik verimliliği artırır. Ayrıca, şebekeye fazladan elektrik aktarımının engellenmesi hem enerji kayıplarını minimize etmekte hem de sistemin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine uygun şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Bu yaklaşım, özel hastanenin enerji ihtiyacını karşılarken gereksiz maliyetlerden ve kaynak israfından kaçınılmasını hedeflemektedir.

Öte yandan, kojenerasyon sisteminin enerji ihtiyacına yönelik esnekliği, uzun vadeli enerji planlamasında avantaj sağlamaktadır. İlerleyen yıllarda enerji talebinde bir artış olması durumunda, mevcut sistem üzerine yapılacak kapasite artırımı kolaylıkla sağlanabilir. Bu, sistemin hem başlangıç maliyetlerini düşük tutmayı hem de gelecekteki olası enerji gereksinimlerine uygun şekilde genişletilebilir olmasını mümkün kılmaktadır. Böylece, özel hastanenin enerji yönetimi hem ekonomik hem de çevresel açıdan sürdürülebilir bir yapıya kavuşmaktadır.

Çizelge 4'te görülen elektrik üretim verimliliği sonuçları, ısı enerji tarafında da benzer bir analiz gerektirmektedir. Bu kapsamda, Çizelge 5'te sistemin ürettiği ısı enerjinin hastane ihtiyacını ne ölçüde karşıladığı ve fazla ısı enerjisi miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 4. Kojenerasyon sisteminden sonra karşılanamayan enerji miktarları

Aylar	Özel Hastanenin Elektrik İhtiyacı (kWh)	1 Motorla Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	2 Motorla Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	1 Motorla Şebekeden Çekilen Elektrik (kWh)	2 Motorla Şebekeden Çekilen Elektrik (kWh)
Ocak	506.087	446.400,00	892.800,00	59.687,00	-
Şubat	512.563	403.200,00	806.400,00	109.363,00	-
Mart	515.130	446.400,00	892.800,00	68.730,00	-
Nisan	513.220	432.000,00	864.000,00	81.220,00	-
Mayıs	598.211	446.400,00	892.800,00	151.811,00	-
Haziran	669.266	432.000,00	864.000,00	237.266,00	-
Temmuz	904.606	446.400,00	892.800,00	458.206,00	11.806,00
Ağustos	966.081	446.400,00	892.800,00	519.681,00	73.281,00
Eylül	760.123	432.000,00	864.000,00	328.123,00	-
Ekim	692.044	446.400,00	892.800,00	245.644,00	-
Kasım	597.222	432.000,00	864.000,00	165.222,00	-
Aralık	585.234	446.400,00	892.800,00	138.834,00	-
TOPLAM	7.819.787	5.256.000,00	10.512.000,00	2.563.787,00	85.087,00

Çizelge 5. Kojenerasyon sisteminden sonra fazla enerji miktarları

Aylar	Özel Hastanenin Isı İhtiyacı (kWh)	1 Motorla Üretilen Isı Enerjisi (kWh)	Sistemin İhtiyacından Fazla Olan Isı Enerjisi (kWh)
Ocak	585.200	449.971,20	135.228,80
Şubat	478.800	406.425,60	72.374,40
Mart	563.920	449.971,20	113.948,80
Nisan	212.800	435.456,00	- 222.656,00
Mayıs	85.120	449.971,20	- 364.851,20
Haziran	53.200	435.456,00	- 382.256,00
Temmuz	53.200	449.971,20	- 396.771,20
Ağustos	53.200	449.971,20	- 396.771,20
Eylül	79.800	435.456,00	- 355.656,00
Ekim	138.320	449.971,20	- 311.651,20
Kasım	319.200	435.456,00	- 116.256,00
Aralık	478.800	449.971,20	28.828,80
TOPLAM	3.101.560	5.298.048,00	- 2.196.488,00

Hesaplamalar sonucunda, kojenerasyon sisteminin devreye alınmasından önce hastanenin elektrik ve ısınma maliyetleri ile sistem kurulduktan sonra elektrik ve ısınma için tüketilen yakıt maliyetleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, sistemin ekonomik avantajlarını ve sağlayacağı tasarrufu ortaya koymaktadır. İki durum arasındaki maliyet farkı, hastane için elde edilecek net kazancı ifade etmektedir. Ocak, Şubat, Mart ve Aralık aylarında hastanenin ihtiyacı ile üretilen enerji birbirine yakın olup, fazla enerji miktarı nispeten düşüktür. Ancak özellikle Nisan'dan Ekim'e kadar olan dönemde, hastanenin ısı ihtiyacı oldukça düşük olmasına rağmen motorun ürettiği enerji aynı kaldığı için büyük miktarda fazla ısı enerjisi oluşmaktadır. Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında fazla enerji miktarı 350.000 kWh'in üzerindedir. Bu, sistemin bu aylarda çok daha fazla enerji ürettiğini ve bu fazla enerjinin boşa gittiğini göstermektedir. Toplam değerlere bakıldığında, hastanenin yıllık toplam ısı ihtiyacı 3.101.560 kWh iken,

bir motorun ürettiği toplam ısı enerjisi 5.298.048 kWh'tir. Bu durumda sistemin ihtiyacından fazla üretilen toplam ısı enerjisi 2.196.488 kWh olarak hesaplanmaktadır. Yani üretilen enerjinin önemli bir kısmı hastanenin ihtiyacını karşılamak için kullanılamamaktadır. Bu, sistemin enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi gerektiğini ve fazla enerjinin nasıl değerlendirilebileceğine dair alternatif çözümler üretilmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu sonuçlar, sistemin verimli çalışıp çalışmadığı konusunda önemli bilgiler sunmaktadır. Fazla ısı enerjisi, başka alanlarda kullanılabilir mi veya üretim optimize edilebilir mi gibi sorular araştırılmalıdır. Örneğin, fazla üretilen ısı enerjisi başka binalara yönlendirilebilir, depolanabilir veya farklı bir enerji dönüşüm sistemi ile değerlendirilerek enerji israfı önlenabilir. Özellikle yaz aylarında fazla üretim sorununa yönelik bir çözüm geliştirilmesi, sistemin genel verimliliğini artırabilir ve enerji tasarrufu sağlayabilir.

Çizelge 6. Sistemin Öncesi ve Sonrasına Ait Aylık Giderleri ve Net Karı

Aylar	Sistemden Önceki Maliyet (TL)		Sistemden Sonraki Maliyet (TL)		
	Aylık Elektrik Maliyeti	Aylık Isınma Maliyeti	Motorun Harcadığı Doğalgaz Maliyeti	Bakım ve İşletme Maliyeti	NET KAR (TL)
Ocak	1.779.157,96	286.327,08	939.186,05	263.373,77	862.925,22
Şubat	1.801.924,45	411.151,43	848.297,08	237.885,98	1.126.892,82
Mart	1.810.948,79	341.562,00	939.186,05	263.373,77	949.950,97
Nisan	1.804.234,15	168.399,85	908.889,73	254.877,84	808.866,43
Mayıs	2.103.021,54	71.704,93	939.186,05	263.373,77	972.166,65
Haziran	2.352.816,67	30.853,50	908.889,73	254.877,84	1.219.902,60
Temmuz	3.180.158,68	31.210,92	939.186,05	263.373,77	2.008.809,77
Ağustos	3.396.275,14	30.669,97	939.186,05	263.373,77	2.224.385,29
Eylül	2.672.226,09	28.766,98	908.889,73	254.877,84	1.537.225,50
Ekim	2.432.893,14	43.556,18	939.186,05	263.373,77	1.273.889,50
Kasım	2.099.544,69	153.803,85	908.889,73	254.877,84	1.089.580,97
Aralık	2.057.400,66	245.746,13	939.186,05	263.373,77	1.100.586,97
TOPLAM	27.490.601,95	1.843.752,81	11.058.158,37	3.101.013,72	15.175.182,68

Elde edilen veriler, sistemin maliyet etkinliğini ve enerji verimliliğini gözler önüne sermektedir. Özellikle yüksek enerji tüketiminin olduğu dönemlerde sağlanan tasarruf miktarı, yatırımın geri ödeme süresini kısaltarak sistemin ekonomik açıdan avantajlı bir seçenek olduğunu kanıtlamaktadır. Tüm bu maliyet analizlerinin sonucu, Çizelge 6'da ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Yatırımın getirisi ve ekonomik uygulanabilirliği konusunda net bir bakış açısı sağlamaktadır.

Çizelge 7'de sistemin temel teknik ve ekonomik performans göstergeleri sunulmuştur. Ayrıca yaz aylarında hastanenin ısı ihtiyacı azaldığından, kojenerasyon sisteminden elde edilen fazla ısı enerjinin değerlendirilmesi için üç senaryo analiz edilmiştir. Her senaryo teknik uygulanabilirlik, yatırım maliyeti, yıllık ek kazanç ve geri ödeme süresi açısından Çizelge 8'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 7 Sistemin Temel Teknik ve Ekonomik Performans Göstergeleri

Parametre	Değer	Birim
Toplam elektrik üretimi	9.600	MWh/yıl
Toplam ısı üretimi	19.350	MWh/yıl
Toplam enerji verimliliği	85,3	%
Yatırım maliyeti	23,5	Milyon TL
Yıllık tasarruf	11,9	Milyon TL
Geri ödeme süresi	1,97	Yıl

Çizelge 8 Sisteme Uygulanabilecek Üç Senaryonun Karşılaştırılması

Senaryo	Yatırım Maliyeti (Milyon TL)	Yıllık Ek Kazanç (Milyon TL)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)
Absorpsiyonlu soğutma	6,8	3,1	2,19
Sıcak su depolama	2,4	0,9	2,67
Yakın binalara ısı transferi	4,1	1,5	2,73

4. Sonuç

Yapılan analizler sonucunda, seçilen kojenerasyon sisteminin hastanenin elektrik ve ısı ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayabildiği belirlenmiştir. İki adet MWM TCG 3016 V12 motor kullanılarak yıllık 9.600 MWh elektrik ve 19.350 MWh ısı enerji üretimi öngörülmektedir. Aşağıda sistemin temel teknik ve ekonomik performans göstergeleri sunulmuştur:

Yaz aylarında hastanenin ısı ihtiyacı azaldığından, kojenerasyon sisteminden elde edilen fazla ısı enerjinin değerlendirilmesi için üç senaryo analiz edilmiştir. Her senaryo teknik uygulanabilirlik, yatırım maliyeti, yıllık ek kazanç ve geri ödeme süresi açısından karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma, yaz aylarında ortaya çıkan fazla ısının değerlendirilmesine yönelik üç farklı senaryoyu teknik ve ekonomik boyutlarıyla karşılaştırarak literatüre önemli bir katkı sunmaktadır. Literatürde benzer ölçekli hastane uygulamalarında toplam enerji verimliliği genellikle %80–88 aralığında ve geri ödeme süresi 2–3 yıl olarak raporlanmaktadır (Zhang vd. 2022, Goza 2013). Bu çalışmada ise %85,3 toplam verimlilik ve yalnızca 1,97 yıl geri ödeme süresi elde edilerek, ekonomik açıdan daha kısa sürede amorti olabilen ve mevsimsel ısı fazlası için çok yönlü çözüm önerileri sunan bir sistem geliştirilmiştir. Ayrıca, absorpsiyonlu soğutma, sıcak su depolama ve yakın binalara ısı transferi gibi üç farklı uygulama senaryosunun karşılaştırmalı olarak analiz edilmesi,

mevcut literatürde sınırlı sayıda ele alınmış bir yaklaşım olup, hastane ölçeğinde özgün ve uygulanabilir bir model ortaya koymaktadır.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Kaynaklar, Araştırma, Deney, Yazma – orijinal taslak
Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak

Yazar 2: Kaynaklar, Araştırma, Deneyleme, Biçimsel analiz, Doğrulama, Metodoloji, Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

5. Kaynakça

- Çalış, E.; 2023; Absorpsiyonlu soğutma sistemleri ile kojenerasyon entegrasyonu: Yaz aylarında verimlilik artışı üzerine bir inceleme; *Journal of Energy Systems*; 7(3); 215–228.
- Derinpınar, M.; 2022; Bölgesel ısıtma sistemleri ve kojenerasyon: Türkiye örneği; *Energy Reports*; 8; 5567–5578.
- EPDK; 2022; Doğal gaz tarife raporu; Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Yayınları.

- Goza, E.; 2013; İstanbul'daki bir hastane için doğal gaz kojenerasyon sistemi uygulaması; *Journal of Engineering Research*; 15(2); 145–154.
- Gonzalez, J., Ramirez, P., Lopez, M.; 2021; Operational performance of cogeneration plants in healthcare facilities: An economic and environmental perspective; *Applied Thermal Engineering*; 196; 117307.
- Kısakesen, A.; 2016; Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin ekonomik karşılaştırması: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi örneği; *International Journal of Energy Applications*; 4(1); 23–31.
- TEİAŞ; 2022; Elektrik piyasası fiyat raporu; Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
- Wang, H., Liu, Z., Zhang, Y.; 2021; Optimal operation of CHP systems in healthcare facilities considering seasonal variations; *Energy*; 235; 121367.
- Yılmaz, M., Demir, H., Koç, A.; 2023; Evaluation of combined heat and power applications in Turkish hospitals: Energy efficiency and emission reduction potentials; *Renewable Energy*; 205; 345–357.
- Zhang, L., Chen, Y., Wu, X.; 2022; Techno-economic analysis of natural gas-fired cogeneration systems in hospitals: A case study in China; *Energy Conversion and Management*; 267; 115925.