

Enerji Ekonomisi Açısından Kojenerasyon ve Trijenerasyon Teknolojilerinin Isıtma - Soğutma Kapasitelerinin Analizi: KSÜ Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesi Örneği

Muharrem İmal¹, Taha Kısakesen¹, Ahmet Kaya¹

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği Böl., Kahramanmaraş, Türkiye

ÖZET: Kojenerasyon, tek bir enerji kaynağı ile aynı sistemden elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretilmesidir. Trijenerasyon ise, bir adım daha ileriye atarak, kojenerasyona soğutma enerjisinin de entegre edilmesidir. Bu çalışmanın amacı, enerji verimliliği esasına dayanan kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin KSÜ Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesine uygulanmak ve bu sistemlerin ekonomik açıdan karşılaştırmasını yapmaktır. Bu doğrultuda ilk olarak hastanenin işletme verileri tespit edilip sistemlerin dizaynı yapılmış ve dizayn edilen sistemlerin çalışma koşulları oluşturulmuştur. İkinci olarak sistemlerde üretilen elektrik, ısı ve soğutma enerjisi miktarları hesaplanmıştır. Son olarak sistemlerin ekonomik analizi karşılaştırmalı bir şekilde yapılarak, ilk yatırım maliyetlerinin geri ödeme süreleri bulunmuştur. Ampirik bulgular, her iki sisteminde hastane için kârlı olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak kojenerasyon sisteminin ilk yatırım maliyetini geri ödeme süresi trijenerasyon sistemine göre daha kısadır.

Anahtar Sözcükler: Kojenerasyon, Trijenerasyon, Hastane, Ekonomik Analiz

A Comparative Analysis of Heating and Cooling Capacities for Technologies of Cogeneration and Trigeneration from Perspective of Energy Economy: The Case of KSU Health Application and Research Hospital

ABSTRACT: Cogeneration is the production of electricity and heat from a single energy sources in one process. Trigeneration takes a step further by integrating additionally cooling to the cogeneration as part of the process. The aim of this study is to apply both cogeneration and trigeneration systems based upon the principle of energy efficiency to KSU Health Application and Research Hospital and to economically comparing of systems. In this perspective, firstly, the designs of the systems are constructed based on available data from the hospital and working conditions of designed systems are determined. Secondly, the production of electricity, heat and cooling energy capacities in the systems are calculated. Finally, payback periods of initial investment are found by economically comparing the systems. Empirical findings show that both systems are profitable for the hospital. However the payback period of the initial investment in the cogeneration system is shorter than the trigeneration system.

Keywords: Cogeneration, Trigeneration, Hospital, Economic Analysis

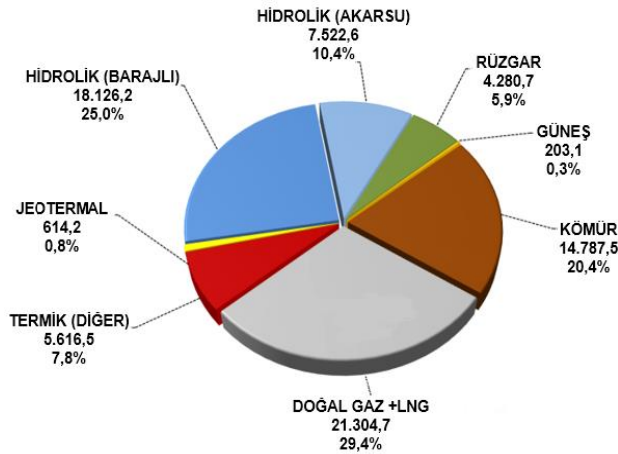
1.GİRİŞ

Enerji farklı birçok formu ile yaşamın her alanında kendine yer edinerek vazgeçilmez bir ihtiyaç halini almıştır. Dünya’da enerji üretiminde birincil enerji kaynakları olan (doğal gaz, kömür, petrol vb.) yakıtlar, yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgâr, güneş vb.) ve nükleer enerji kaynakları kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları iklim ve çevre şartlarına bağlı oldukları için her yerde uygulanamamaktadır. Nükleer enerji kullanımında ise taşıdığı riskler, yaşanabilecek bir kaza durumunda uzun yıllar doğada kalacak radyoaktif etkileri ve yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle kullanımı sınırlıdır. Karşılaşılan bu nedenlerden ötürü enerji üretiminde en çok fosil enerji kaynakları kullanılmaktadır.

Türkiye’deki enerji kaynakları ve elektrik talebine baktığımızda; Türkiye, Dünya ülkeleri arasında sahip olduğu genç nüfusu, endüstrileşmedeki ilerlemesi,

artan enerji ihtiyacı ve büyüyen ekonomisi ile gelişmekte olan bir ülkedir. Elektrik üretimi için kurulu gücü 2014 yılı sonunda 69.516,40 MW iken 2015 yılı Ekim ayı verilerine göre 72.455,4 MW ‘a ulaşmıştır. Türkiye’deki elektrik enerjisinin kaynaklara göre kurulu gücü (2015 Ekim ayı) Şekil 1.1’de verilmiştir. Yine 2015 Ekim ayı verilerine göre elektrik enerjisinin toplam tüketim miktarı 21.666.903 MWh olarak gerçekleşmiştir. 2014 yılı Ekim ayına göre kişi başı elektrik tüketimi yaklaşık % 7 artarak 2015 yılının Ekim ayında 274 kWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik enerjisi üretiminde enerji kaynaklarının payına bakıldığında %41 ile doğal gazın en çok tüketildiği görülmektedir. Doğal gazdan sonra % 17 ile hes barajları, %16 ile ithal kömür ve %12 ile linyit kullanımı gerçekleşmiştir [1].

^{*}Sorumlu Yazar: Muharrem İMAL, muharremimal@ksu.edu.tr



Şekil 1.1. Türkiye'deki elektrik enerjisi kurulu gücü Ekim 2015 [2].

Ülkemizde enerji üretiminde ilk sırada kullanılan doğal gazın 2015 Ekim ayı sonu itibari ile tüketim miktarı 3.853.620 bin stdm³ 'tür. Şekil 1.2'de verilen doğal gaz tüketim miktarları incelendiğinde enerji santrallerinde 1.288.631 bin stdm³, sanayide 1.656.080 bin stdm³ ve şehir de 451.863 bin stdm³'lük doğal gaz tüketimi gerçekleşmiştir. Gerçekleşen bu tüketim pastasında en büyük pay % 49 ile sanayi tüketimindedir. Diğer pay sahipleri %38 ile enerji santralleri ve % 13 ile şehir tüketimidir. Ekim ayı 2015 doğal gaz tüketim miktarı Ekim ayı 2014 doğal gaz tüketim miktarına göre %10 artmıştır.



Şekil 1.2. Türkiye'de kullanılan doğal gaz tüketim oranları Ekim 2015 [1].

Her geçen gün artmakta olan enerji talebine karşın Dünya üzerinde bulunan enerji kaynakları artmamaktadır ve hızla tükenmektedir. Ayrıca fosil enerji kaynaklarının kullanımı ile havaya salınan zehirli gazlar ile Dünyanın ekolojik dengesine zarar verilmektedir. Yapılan araştırmalar ve gelişen teknoloji ile birlikte sınırlı birincil enerji kaynaklarından daha fazla verim alabilmek ve çevreye daha az zarar vermek

amacıyla yeni sistemler üretilmekte ve geliştirilmektedir. Kojenerasyon ve trijenerasyon teknolojileri bu amaç doğrultusunda çalışan sistemlerdir. Kojenerasyon sistemleri tek bir enerji kaynağından aynı sistemde elektrik ve ısı enerjisinin üretilmesidir. Sistemde elektrik üretimi sırasında dışarı atılan egzoz gazı değerlendirilerek ısı enerjisi elde edilmektedir. Trijenerasyon sisteminde ise kojenerasyon sisteminde elde edilen enerji türlerine ek olarak soğutma enerjisi üretimi de gerçekleştirilmektedir. Soğutma enerjisi üretimi yine sistemden elde edilen atık ısı enerjisinden yararlanılarak gerçekleştirilmektedir.

Kojenerasyon ve trijenerasyon uygulamasının örneklerine, hastane ve sağlık hizmetlerinde, otellerde, sinemalarda, okullarda, her türlü perakende ticari, endüstriyel mekânlarda, üniversitelerde ve kamu hizmetlerinin sunulduğu yerlerde her geçen gün daha sık rastlamak mümkündür.

Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri ile ilgili yapılan çalışmaları incelediğimizde; Kojenerasyonun ekonomik uygulanabilirliği; işletmenin elektrik-ısı enerjisi tüketim yapısı, ekonomik ve iklimsel şartlar, yıllık çalışma süresi ve enerji kaynaklarının temin edilebilirliği kriterleridir [3]. Hastane binasına kurulacak trijenerasyon sisteminde kullanılan soğutma ünitesi yatırım maliyetini artırırken sistemin geri ödeme süresini kısaltmaktadır [4]. Doğal gaz yakıtlı termo-güç teknolojileri git gide artarak daha önemli hale gelmektedir. [5]. Hastanenin elektrik eğrisinin karşılanmasında kullanılan motorlu sistemlerden türbinli sistemlere göre daha iyi performans alınmıştır [6]. Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinde atık enerjinin geri kazanımı ile sera gazı yayılımının azaltılması sağlanır [7]. Apartmanlarda uygulanacak kojenerasyon sistemi ile %30'dan fazla doğal gaz tasarrufu sağlanarak ekonomik kazanç sağlanacağı görülmüştür [8]. Kojenerasyon sisteminin konvansiyonel sisteme göre birincil enerji tasarrufu %37'den daha fazla olmuştur. Yıllık toplam gelir, yıllık toplam tasarruf ve geri ödeme süresi yapılan analiz sonucunda kojenerasyon sisteminde daha fazla ekonomik fayda göstermiştir [9]. Bir bina uygulamasında proje ömrü için en ekonomik sistemin bina yüküne göre seçilen kojenerasyon sistemi olduğu görülmüştür [10].

Bu çalışmanın amacı, KSÜ Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesinin enerji ihtiyacının kojenerasyon ve trijenerasyon teknolojileri ile karşılanarak sistemlerin karşılaştırılması ve ekonomik analizini yapmak.

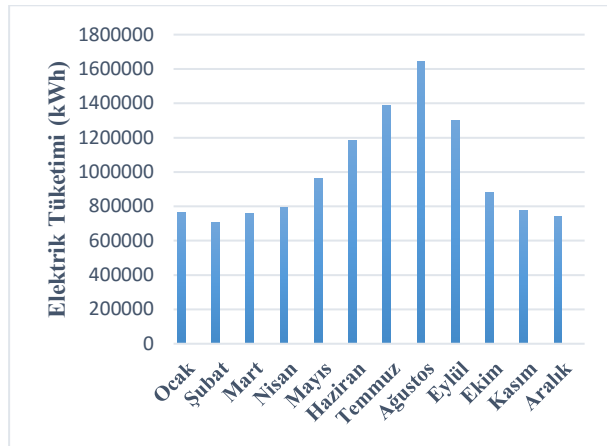
2. MATERYAL VE METOD

Toplam 98 bin 562 metre kare kapalı alan üzerine kurulu KSÜ Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesinin yıllık elektrik, ısı enerjisi ve soğutma enerjisi giderlerinin tespiti için fizibilite çalışması yapılmıştır. Fizibilite sonucunda ilk aşamada hastanenin

enerji ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için kojenerasyon ve trijenerasyon teknolojilerinin çalışma sistemi oluşturulmuştur. İkinci aşamada ise sistemlerin karşılaştırılması ve ekonomik analizi yapılmıştır.

2.1. KSÜ Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesinin Elektrik, Isı ve Soğutma Enerjisi İhtiyacı

Hastanenin yıllık elektrik ihtiyacı Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Hastanenin yıllık elektrik tüketim miktarı

Hastanenin ısı ihtiyacını ise, kullanım sıcak suyu ve ısıtma sıcak suyu oluşturmaktadır. İşletme verilerine göre hastanenin ısı ihtiyacı 14.000.000 kcal/h olarak tespit edilmiştir. Bu ısı ihtiyacı hastanenin ısı merkezinde bulunan kapasiteleri 6.880.000 kcal/h olan 4 adet kızgın su kazanından karşılanmaktadır. Kazanlarda yakıt türü olarak doğal gaz kullanılmaktadır.

Hastanenin soğutma enerjisi için; yaz aylarında iklimlendirme sisteminde kullanılmak üzere 353 kW / 217 kW (iki devreli) elektriksel güce sahip 6 adet soğutma grubu bulunmaktadır. Ünite başı nominal soğutma kapasitesi 1352 kW tır.

2.2. Hastane İçin Elektrik Üretiminde Sistem Seçimi

Sistem kurulduğunda elektrik üretimi öncelikli hedef olarak alınmıştır. Kojenerasyon ve trijenerasyon sisteminde, kolay devreye alınabilmesi, sistemin elektriksel veriminin iyi oluşu ve yakıt türü olarak doğal gaz kullanılabilirliği ile gaz motoru kullanımına karar verilmiştir.

Hastanelerin elektrik tüketim eğrileri yıl boyunca gün içerisinde değişkenlik göstermektedir. Bu husus dikkate alınarak gün içerisindeki zaman dilimlerinde elektrik ihtiyacının mümkün olan en fazla miktarının

karşılanması hedeflenmiştir. Gaz motorların çalışma kapasiteleri ve çalışma planlaması bu yönde hazırlanmıştır. Sistemlerden atık ısı geri kazanımı ile elde edilen ısı enerjisi hastanenin ısı enerjisi ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılacaktır. Yaz aylarına gelindiğinde hastanenin ısı enerjisi (sıcak su) ihtiyacının karşılanmasından sonra kalan ısı enerjisi miktarı ile absorpsiyonlu soğutma ünitesi çalıştırılacaktır. Hastanenin ısı enerjisi miktarının tespitinde hastanenin yıllık doğal gaz tüketim verileri alınarak aylık olarak ayrıştırılmıştır.

Hastanenin Şekil 2.1'de verilen yıl boyunca aylık elektrik tüketim verileri incelendiğinde saatlik en düşük elektrik tüketiminin Şubat ayında, saatlik maksimum elektrik tüketiminin Ağustos ayında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Hastanenin elektrik yükünün belirlenmesinde maksimum elektrik tüketiminin gerçekleştiği Ağustos ayı baz alınarak 2670 kWh olarak belirlenmiştir. Yapılan piyasa araştırması sonucunda; verim kayıpları da göz önünde bulundurularak elektriksel çıktısı 1300 kWh olan iki adet Cat G3516B gaz motorunun sistemde kullanılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 2.1. Cat G3516B Gaz motorunun teknik özellikleri [11]

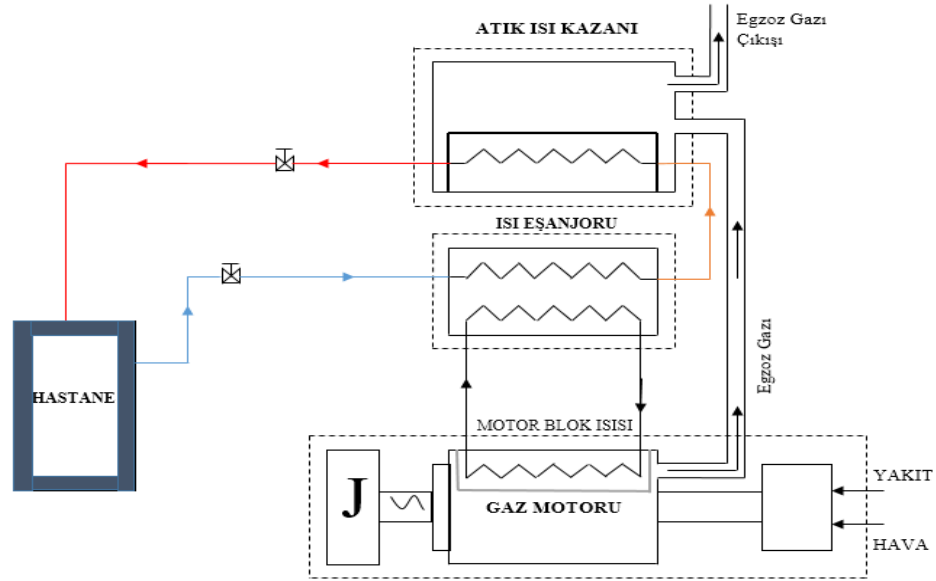
Motor Tipi	G3516B
Mekanik Gücü	1356 kW
Elektrik Gücü	1300 kW
Enerji Girdisi	3766 kW
Isı Enerjisi	1830 kW
Egzoz Çıkış Sıcaklığı	530 °C
Elektriksel Verim	36,0 %
Isıl Verim	48,6 %
Toplam Çevrim Verimi	84,6 %

Üretici firma tarafından motorun teknik kataloğunda verilen motor çalışma yükleri incelendiğinde motor yükünün %50'nin altında çalıştırılması motor verimini düşürmektedir. Bu husus göz önünde bulundurularak motor yükünün %50-100 arasında çalıştırılmasına dikkat edilmiştir.

2.3. Sistem Dizaynı

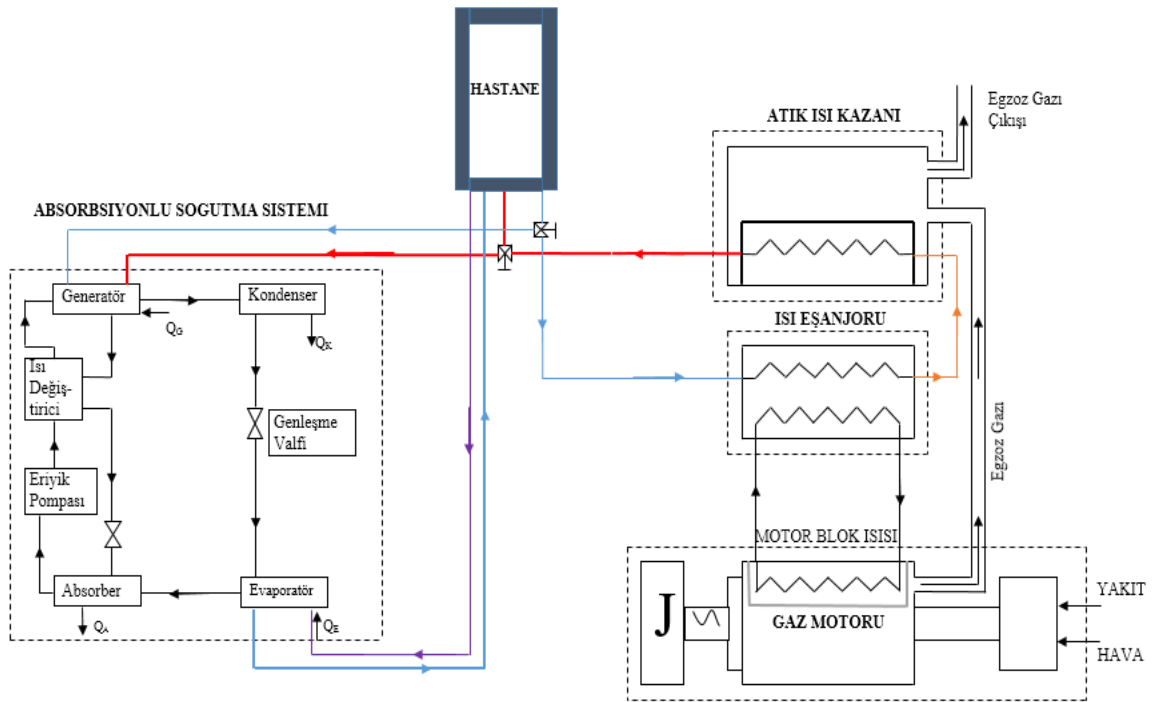
2.3.1. Kojenerasyon Sistem Dizaynı

Kojenerasyon sistem dizaynında elektrik enerjisi üretimini gerçekleştirecek gaz motoru, elektrik üretimi sırasında meydana gelen atık ısı enerjisinden yararlanmak amacıyla; motor blok ısısını kullanmak için ısı eşanjörü ve motor egzoz gazı ısısını kullanmak için atık ısı kazanı kullanılarak sistem tasarımı yapılmıştır. Şekil 2.2 'de kojenerasyon sistemi akış şeması verilmiştir.



Şekil 2.2. Kojenerasyon sistemi akış şeması

2.3.2. Trijenerasyon Sistem Dizaynı



Şekil 2.3. Trijenerasyon sistemi akış şeması

Trijenerasyon sisteminde elektrik enerjisi üretimini gerçekleştirecek gaz motoru, elektrik üretimi sırasında meydana gelen atık ısı enerjisinden yararlanmak amacıyla; motor blok ısı eşanjörü, motor egzoz gazı ısı eşanjörü ile yaz aylarında soğutma yapabilmek için absorpsiyonlu soğutma ünitesi kullanılarak sistem tasarımı yapılmıştır.

ısı eşanjörü, motor egzoz gazı ısı eşanjörü ile yaz aylarında soğutma yapabilmek için absorpsiyonlu soğutma ünitesi kullanılarak sistem tasarımı yapılmıştır.

2.3.3 Atık Isı Kazanı Dizaynı

Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinde elektrik üretimi sırasında meydana gelen atık ısının değerlendirilmesi amacıyla sistemde iki bölgeden ısı enerjisi üretimi gerçekleştirilecektir. Bunlar;

- Motor blok ısısının kullanılması ile atık ısıdan yararlanmak,
- Motordan atılan egzoz gazlarının atık ısısını kullanarak atık ısıdan yararlanmaktır.

Sistemde iki adet gaz motorunun birer adet ısı eşanjörünü ve atık ısı kazanını besleyecek şekilde sistem tasarlanmıştır. Atık ısı değerlendirme sistemi ile sıcak su üretilmesi hedeflenerek yapılan tasarımda şu kabuller yapılmıştır;

- Sistem termodinamik açıdan dengededir.
- Suyun 48,8 m³/h debide ve 70 °C sıcaklıkta sisteme girdiği kabul edilmektedir.
- Suyun özgül ısısı (c_p) sabit kabul edilmiştir.
- Isı eşanjörü verimi $\eta = 0,90$, Atık ısı kazanı verimi $\eta = 0,90$ olarak kabul edilmiştir.

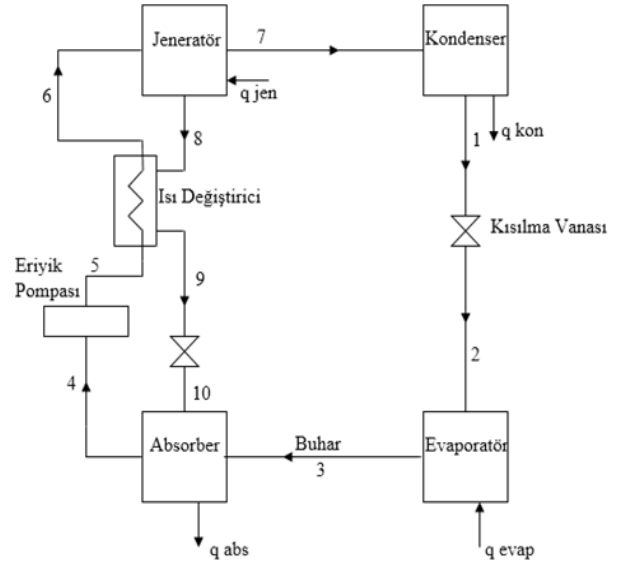
Tasarladığımız atık ısı değerlendirme sisteminde ısı enerjisini taşıyacak olan suyun 48,8 m³/h debide ve 70 °C dönüş sıcaklığında olduğu kabulüyle sistem tasarımı yapılmıştır. Isı taşıyıcı olarak kullanılan su önce ısı eşanjörü yardımıyla motor blok ısısını absorbe ederek T_{s1} sıcaklığına yükselmektedir, Daha sonra egzoz gazlarının ısısını absorbe edebilmek için borulu atık ısı kazanına gelerek T_{s2} sıcaklığına ulaşmaktadır. [12]

$$T_{s1} = \frac{Q_{\text{Eşanjör Isısı}}}{m \cdot c_p} + T_{s0} \quad (1)$$

$$T_{s2} = \frac{Q_{\text{Atık Isı Kazanı Isısı}}}{m \cdot c_p} + T_{s1} \quad (2)$$

2.3.4. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi Dizaynı

Absorbsiyonlu soğutma sisteminin dizayn edilmesinde Lityum bromür – su eriyikli tek etkili absorpsiyonlu soğutma çevrimi kullanılmıştır.



Şekil 2.4. Lityum bromid - su eriyikli tek kademeli absorpsiyonlu soğutma çevrimi [13].

Her bir sistem elemanına aşağıdaki kütle ve enerji eşitlikleri uygulanmıştır [13].

Kondenserde kütle ve enerji denge eşitlikleri:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_7 \quad (3)$$

$$X_1 = X_7 \quad (4)$$

$$Q_K = \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_1 h_1 \quad (5)$$

Evaporatörde kütle ve enerji denge eşitlikleri:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad (6)$$

$$X_2 = X_3 \quad (7)$$

$$Q_E = \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_2 h_2 \quad (8)$$

Absorberde kütle ve enerji denge eşitlikleri:

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_3 + \dot{m}_{10} \quad (9)$$

$$\dot{m}_4 X_4 = \dot{m}_3 X_3 + \dot{m}_{10} X_{10} \quad (10)$$

$$Q_A = \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_4 h_4 \quad (11)$$

Generatörde kütle ve enerji denge eşitlikleri:

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_7 + \dot{m}_8 \quad (12)$$

$$\dot{m}_6 X_6 = \dot{m}_7 X_7 + \dot{m}_8 X_8 \quad (13)$$

$$Q_G = \dot{m}_7 h_7 + \dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_6 h_6 \quad (14)$$

Isı değiştiricide kütle ve enerji denge eşitlikleri:

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (15)$$

$$X_5 = X_6 \quad (16)$$

$$\dot{m}_8 = \dot{m}_9 \quad (17)$$

$$X_8 = X_9 \quad (18)$$

$$Q_{ID} = \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_8 h_8 = \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_9 h_9 \quad (19)$$

Eriyik pompasında kütle ve enerji denge eşitlikleri:

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 \quad (20)$$

$$X_4 = X_5 \quad (21)$$

$$W = \dot{m}_5 h_5 - \dot{m}_4 h_4 \quad (22)$$

Soğutkan genişleme valfinde kütle ve enerji denge eşitlikleri:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (23)$$

$$X_1 = X_2 \quad (24)$$

$$h_1 = h_2 \quad (25)$$

Eriyik genişleme valfinde kütle ve enerji denge denklemleri:

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{10} \quad (26)$$

$$X_9 = X_{10} \quad (27)$$

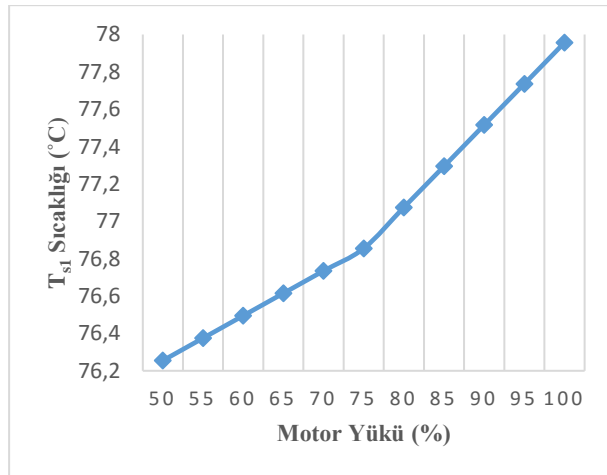
$$h_9 = h_{10} \quad (28)$$

3.BULGULAR VE TARTIŞMA

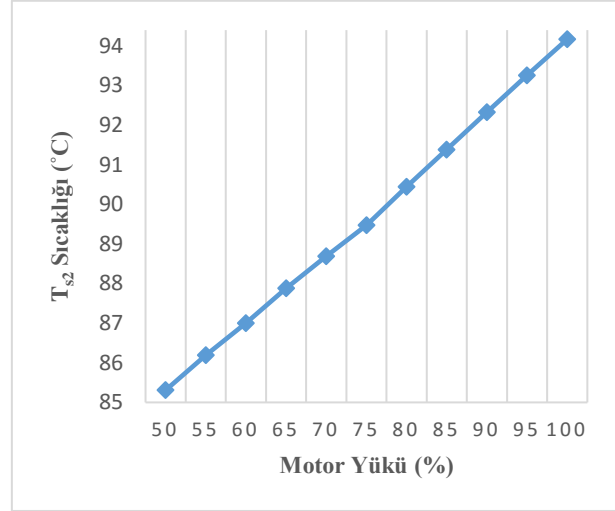
KSÜ Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesinin enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla hastaneye kurulacak kojenerasyon ya da trijenerasyon tesisi için iki farklı sistem modellenmesi gerçekleştirilmiştir. İlk sistem modellenmesi kojenerasyon sistemi için yapılmıştır. Hastanenin elektrik ve ısı ihtiyacının karşılanması gerçekleştirilmiştir. İkinci modelleme ise trijenerasyon sistemi için yapılmıştır. Trijenerasyon sisteminde ise hastanenin elektrik, ısı enerjisi ve soğutma enerjisi ihtiyaçlarının karşılanması gerçekleştirilmiştir.

3.1. Kullanılan Gaz Motorunun Çalışma Yüküne Göre Atık Isı Geri Kazanımı

Gaz motorlarının çalışma yüklerine göre meydana gelen; motor ceket ısısından elde edilen T_{s1} ve egzoz gazlarının atık ısısından elde edilen T_{s2} çıkış sıcaklıkları Şekil 3.1 ve 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma yüküne göre motor ceket ısısı ile ısıtılan suyun çıkış sıcaklığındaki değişim



Şekil 3.2. Çalışma yüküne göre egzoz gazlarının ısısı ile ısıtılan suyun çıkış sıcaklığındaki değişim

3.2. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi

Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinde gerçekleştirilen atık ısı geri kazanımı ile elde edilen T_{s2} sıcaklığındaki su kış mevsiminde hastanenin ısı enerjisi ihtiyacının karşılanmasında kullanılmakta iken yaz mevsiminde ise hastanenin soğutma enerjisi ihtiyacını karşılamak için absorpsiyonlu soğutma ünitesinde kullanılmaktadır.

Trijenerasyon sistemi içinde kurulan absorpsiyonlu soğutma ünitesinde performans katsayısı ve soğutma kapasitesini bulmak için [14];

Sistemin performans katsayısı;

$$(COP)_{IDEAL} = \frac{T_e (T_g - T_a)}{T_g (T_a - T_e)} \quad (29)$$

T_e = Evaporatör sıcaklığı, (K)

T_g = Generatör sıcaklığı, (K)

T_a = Absorber sıcaklığı, (K)

$(COP)_{IDEAL} = 1,09$ bulunur.

$$COP = \frac{q_{evap}}{q_{gen}} \quad (30)$$

$COP = 0,77$ bulunur.

Sistemin soğutma etkisi (verimi);

$$\eta = \frac{COP}{(COP)_{IDEAL}} \quad (31)$$

$\eta = 0,77 / 1,09 = 0,71$

bulunur.

3.3. Kojenerasyon Sisteminde Yıllık Üretilen Enerji Miktarları, Tüketilen Enerji Miktarları ve Parasal Değerleri

Çizelge 3.1. Kojenerasyon sisteminde yıllık üretilen enerji miktarları, tüketilen enerji miktarları ve mali değerleri

Aylar	Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Üretilen Elektrik Enerjisi Değeri (TL)	Üretilen Isı Enerjisi (kWh)	Üretilen Isı Enerjisi Değeri (TL)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m ³)	Tüketilen Yakıt Maliyeti (TL)
Ocak	765297	332.514,4	839300,2	98.379,7	238476,8	265.058,5
Şubat	710528	309.565,6	815244,2	95.560,5	226388,4	251.622,3
Mart	761267	330.345,1	836200,2	98.016,4	239124,7	265.778,1
Nisan	801840	348.456,5	903294	105.881,2	252957	281.152,5
Mayıs	970424	422.244,9	667604	78.254,4	311063,3	321.481
Haziran	1197300	507.724,8	631227	73.990,5	387411	400.386
Temmuz	1396798	604.981,2	611047,2	71.624,8	441824,4	456.621,5
Ağustos	1645852	719.036,2	593491,9	69.567,3	509680,3	526.750
Eylül	1307280	566.626,4	679467	79.644,6	416484	430.432,5
Ekim	888615	387.521,8	1024519	120.091	284493,2	316.203,7
Kasım	781950	340.100,6	877710	102.882,2	246375	273.837,1
Aralık	745550	324.089,2	824469,8	96.641,4	233302,9	259.308,1
Toplam		5.193.207		1.090.534		4.048.631

3.4. Trijenerasyon Sisteminde Yıllık Üretilen Enerji Miktarları, Tüketilen Enerji Miktarları ve Parasal Değerleri

Çizelge 3.2. Trijenerasyon sisteminde yıl boyunca üretilen enerji miktarları, tüketilen enerji miktarları ve mali değerleri

Aylar	Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Üretilen Elektrik Enerjisi Değeri (TL)	Üretilen Isı Enerjisi (kWh)	Üretilen Soğutma Enerjisi (kWh)	Üretilen Isı-Soğ. Enerjisi Değeri (TL)	Tüketilen Yakıt Miktarı (m ³)	Tüketilen Yakıt Maliyeti (TL)
Ocak	765297	332.514,4	839300,2	0	98.379,7	238476,8	265.058,5
Şubat	710528	309.565,6	815244,2	0	95.560,5	226388,4	251.622,3
Mart	761267	330.345,1	836200,2	0	98.016,4	239124,7	265.778,1
Nisan	801840	348.456,5	903294	0	105.881,2	252957	281.152,5
Mayıs	970424	422.244,9	667604	353257,4	119.727	311063,3	321.481
Haziran	1197300	507.724,8	631227	609633	143.294	387411	400.386
Temmuz	1396798	604.981,2	611047,2	751424,5	156.595	441824,4	456.621,5
Ağustos	1645852	719.036,2	593491,9	915702,8	174.175	509680,3	526.750
Eylül	1307280	566.626,4	679467	635145	133.345	416484	430.432,5
Ekim	888615	387.521,8	1024519	0	120.091	284493,2	316.203,7
Kasım	781950	340.100,6	877710	0	102.882,2	246375	273.837,1
Aralık	745550	324.089,2	824469,8	0	96.641,4	233302,9	259.308,1
Toplam		5.193.207			1.444.592		4.048.631

4. SONUÇLAR

4.1. Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sistemlerinin Ekonomik Analizi

Kojenerasyon ve trijenerasyon tesislerinin kurulum maliyetinin tespit edilmesi için sistemlerin ekonomik yönden analiz edilmesi gereklidir. Yatırım maliyeti analizi aşağıdaki adımlarla incelenmiştir;

4.1.1. Kojenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi

Çizelge 4.1. Kojenerasyon sisteminin yatırım maliyeti

YATIRIM BİLGİLERİ	FİYATLAR(€)
1.Gaz Motoru, Kontrol Sistemleri	2 x 550.000
2.Atık Isı Kazanı Sistemi	
2.1.Atık Isı Kazanı ve Ekonomizer	
2.2.Kompansatörler	300.000
2.3.Gaz Kanalları, Baca	
2.4.İzolasyon ve Montaj	
2.5.Kontrol Sistemi	
2.6.Ön Görülmeyen Ekipmanlar	
3.İlk Dolum Masrafları	
3.1.İlk Yağ Dolumu	33.000
3.2.Antifiriz ve Kimyasallar	
3.3.İşçilik Giderleri	
4.İnşaat İşleri	30.000
5.Ön Görülmeyen Maliyetler	15.000
6. Sigorta Masrafları	25.000
7.EPDK İzinleri	11.000

Kojenerasyon Sisteminin Amortisman Maliyeti:

Kojenerasyon sistemindeki sabit yatırım varlıklarının (1, 2, 4 ve 5'inci maddeler) toplam maliyeti 1.445.000 € dur. (1 € = 3,095 TL alındı)

Yatırımın Türk Lirası değeri: 4.472.275 TL dir.

Yıllık faiz oranı $i = \% 8,5$ ve sistem ömrü 20 yıl olarak kabul edilerek, amortisman bedeli aşağıdaki şekilde hesaplanır [15];

$$C_A = I \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \text{ TL/yıl} \quad (32)$$

$$C_A = 4.472.275 \left[\frac{0,085(1+0,085)^{20}}{(1+0,085)^{20} - 1} \right]$$

$$C_A = 472.590 \text{ (TL / yıl)}$$

bulunur.

4.1.2. Trijenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi

Çizelge 4.2. Trijenerasyon sistemi yatırım maliyeti

YATIRIM BİLGİLERİ	FİYATLAR (€)
1.Gaz Motoru, Kontrol Sistemleri	2 x 550.000
2.Atık Isı Kazanı Sistemi	300.000
2.1.Atık Isı Kazanı ve Ekonomizer	
2.2.Kompansatörler	
2.3.Gaz Kanalları, Baca	
2.4.İzolasyon ve Montaj	
2.5.Kontrol Sistemi	
2.6.Ön Görülemeyen Ekipmanlar	450.000
3.Absorbsiyonlu Soğutma Grubu	
3.1.Soğutma Grubu	
3.2.Evaporatör Hattı ve Borulama	
3.3.Buhar Hattı Borulama ve Kondenser	
3.4.Generatör, Absorber	
3.5.Soğutma Borulama ve Pompa	33.000
3.6.Ön Görülemeyen Ekipmanlar	
4.İlk Dolun Masrafları	
4.1.İlk Yağ Dolumu	30.000
4.2.Antifiriz ve Kimyasallar	
4.3.İşçilik Giderleri	
5.İnşaat İşleri	18.000
6.Ön Görülemeyen Maliyetler	25.000
7.Sigorta Masrafları	11.000
8.EPDK İzinleri	

Trijenerasyon Sisteminin Amortisman Maliyeti:

Trijenerasyon sistemindeki sabit yatırım varlıklarının (1, 2, 3, 5 ve 6'nci maddeler) toplam maliyeti 1.898.000 € dur. (1 € = 3,095 TL alındı)

Yatırımın Türk Lirası değeri: 5.874.310 TL dir. Yıllık faiz oranı $i = \% 8,5$ ve sistem ömrü 20 yıl olarak kabul edilerek, amortisman bedeli aşağıdaki şekilde hesaplanır [15];

$$C_A = I \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \text{ TL/yıl} \quad (32)$$

$$C_A = 5.874.310 \left[\frac{0,085(1+0,085)^{20}}{(1+0,085)^{20} - 1} \right]$$

$$C_A = 620.744 \text{ (TL / yıl)}$$

bulunur.

Ayrıca kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinde yıl boyunca değişen masraflar aşağıda verilmiştir;

- Tamir Bakım- İşçilik giderleri: 29.597 €
- Yağlama yağı giderleri: 24.186 €
- Yakıt giderleri: Çizelge 3.1 ve 3.2'de hesaplanmıştır.

4.2. Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sistemlerinin Geri Ödeme Süreleri

Sistemlerin yatırım değerlendirmesinde; ilk kurulum maliyeti ve elde edilecek net kâr durumu ile yıllık %8,5 faiz oranı ve 20 yıllık çalışma ömrü dikkate alınarak sistemlerin dinamik geri ödeme süreleri hesaplanır.

4.2.1. Kojenerasyon Sisteminin Geri Ödeme Süresi

Kojenerasyon sisteminde yıllık net kâr; üretim değerlerinden (elektrik ve ısı enerjisi) tüketim değerleri (tüketilen yakıt giderleri, tamir-bakım ve işçilik giderleri, yağlama giderleri, sigorta giderleri ve EPDK izinleri) çıkarılarak hesaplanır.

Buna göre yıllık net kâr 1.957.232 TL olarak bulunur. Kojenerasyon sistemi tesisi için dinamik geri ödeme süresi hesaplanırsa;

Tesisin ilk yatırım maliyeti Çizelge 4.1' deki verilere göre 1.514.000 € dur. Türk lirası olarak 4.685.830 TL dir. Dinamik geri ödeme süresi hesabı formülü kullanılarak [16];

$$t_g = \frac{\ln\left\{\frac{G_i}{G_i - G_y \cdot f}\right\}}{\ln(1+f)} \quad (33)$$

G_i = Yıllık net kazanç (TL)

G_y = İlk Yatırım Maliyeti (TL)

f = Yıllık Faiz Oranı

t_g = Geri Ödeme Süresi (yıl)

$G_i = 1.957.232$ TL

$G_y = 4.685.830$ TL

f (yıllık faiz oranı) = % 8,5

$$t_g = \frac{\ln\left\{\frac{1.957.232}{1.957.232 - 4.685.830 \cdot 0,085}\right\}}{\ln(1+0,085)}$$

$$t_g = 2,78 \text{ yıl}$$

bulunur.

4.2.2. Trijenerasyon Sisteminin Geri Ödeme Süresi

Trijenerasyon sisteminde yıllık net kâr; üretim değerlerinden (elektrik, ısı enerjisi ve soğutma enerjisi) değerlerinden tüketim değerleri (tüketilen yakıt giderleri, tamir-bakım ve işçilik giderleri, yağlama giderleri, sigorta giderleri, EPDK izinleri) çıkarılarak hesaplanır.

Buna göre yıllık net kâr 2.311.288 TL olarak bulunur.

Trijenerasyon sistemi tesisi için dinamik geri ödeme süresi hesaplanırsa;

Tesisin ilk yatırım maliyeti Çizelge 4.2' deki verilere göre 1.967.000 € dur. Türk lirası olarak 6.087.865 TL dir.
[16]

$$t_g = \frac{\ln\left\{\frac{G_i}{G_i - G_y \cdot f}\right\}}{\ln(1+f)}$$

$G_i = 2.311.288$ TL

$G_y = 6.087.865$ TL

f (yıllık faiz oranı) = % 8,5

$$t_g = \frac{\ln\left\{\frac{2.311.288}{2.311.288 - 6.087.865 * 0,085}\right\}}{\ln(1+0,085)}$$

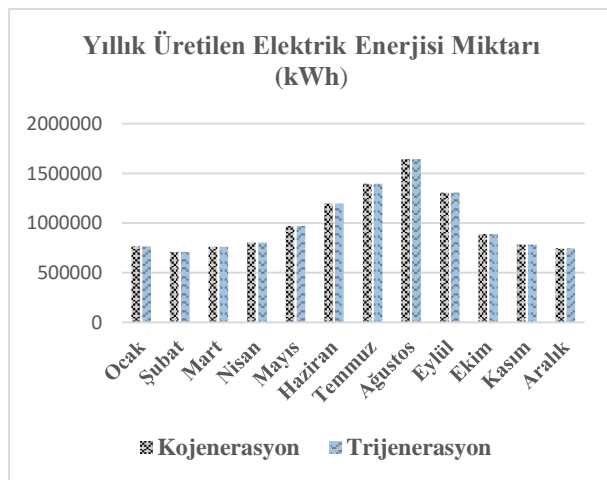
$t_g = 3,1$ yıl

bulunur.

4.3. Sistemlerden Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

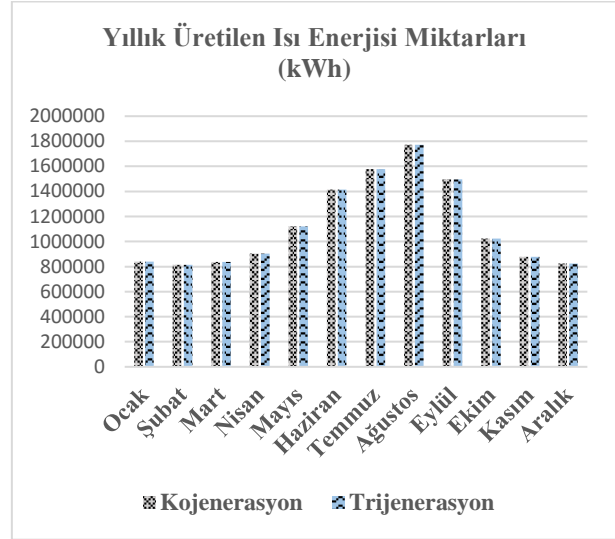
KSÜ Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesinin enerji ihtiyacının karşılanmasında kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin uygulanması, sistemlerin karşılaştırılması ve ekonomik analizi yapılmıştır.

Bu doğrultuda Hastanenin yıllık işletme verilerine göre sistem kapasitesi maksimum elektrik tüketiminin gerçekleştiği Ağustos ayı baz alınarak 2670 kWh hesaplanmıştır. Elektriksel çıktısı 1300 kWe olan iki adet gaz motoru sistemlerde kullanılmıştır. Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin çalışma koşulları oluşturularak yıllık sistemlerde üretilen elektrik enerjisi miktarları şekil 4.1'de verilmiştir.



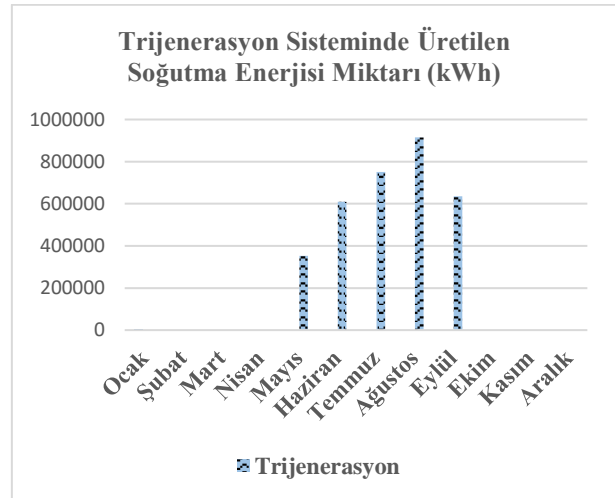
Şekil 4.1. Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinde yıllık üretilen elektrik enerjisi miktarları

Sistemlerdeki atık ısı enerjisinin geri kazanımı için kurulan atık ısı geri kazanım sisteminde yıllık elde edilen ısı enerjisi miktarları Şekil 4.2'de verilmiştir.



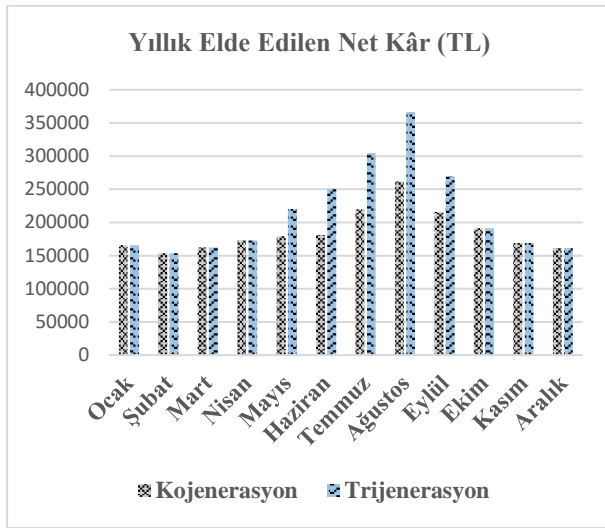
Şekil 4.2. Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinde yıllık üretilen ısı enerjisi miktarları

Atık ısı geri kazanım sisteminden elde edilen ısı enerjisi yaz mevsiminde trijenerasyon sistemindeki absorpsiyonlu soğutma ünitesinde hastanenin soğutulması için kullanılmaktadır. Trijenerasyon sisteminde üretilen soğutma enerjisi miktarları Şekil 4.3.'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Yıllık üretilen soğutma enerjisi miktarları

Hastane için kurulacak kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinden elde edilecek net kazancın aylık değişimi Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinde yıl boyunca aylık net kazancın değişimi

Çalışma sonucunda KSÜ Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesinin enerji ihtiyacının karşılanması için kurulacak kojenerasyon sisteminin ilk yatırım maliyetini geri ödeme süresi 2,78 yıl olarak bulunmuştur. Hastane için kurulması planlanan trijenerasyon sisteminin ise ilk yatırım maliyetini geri ödeme süresi 3,1 yıl olarak bulunmuştur.

Sistemlerde elektrik üretimi sırasında meydana gelen atık ısının değerlendirilmesi ile hastanenin ısı enerji ihtiyacının %44,15'i karşılanmaktadır. Hastanenin soğutma yükünün ise trijenerasyon sisteminde %11'i karşılanmaktadır. Sistemlerin yatırım maliyetlerini geri ödeme sürelerinde elektriğin birim fiyat değişiminin belirleyici faktör olduğu görülmüştür. Sistemler içerisinde diğer parametrelerin değişmediği bir durumda sadece elektrik tarifesinde yaşanacak %9'luk fiyat indiriminde kojenerasyon sisteminin geri ödeme süresinin 3,9 yıla, trijenerasyon sisteminin geri ödeme süresinin ise 4,15 yıla çıktığı görülmüştür.

Sonuç olarak enerji verimliliği esasına göre çalışan kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin her ikisi de hastane için kârlı bir yatırımdır. Ancak kojenerasyon sisteminin ilk yatırım maliyetini geri ödeme süresi trijenerasyon sistemine göre daha kısadır. Sistemlerin ilk yatırım maliyetlerini geri ödedikten sonraki zaman periyodunda hastane için trijenerasyon sistemi daha kârlı bir yatırım olacaktır.

Ayrıca, KSÜ Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesinin, konumu ve iklim özelliklerinin etkisiyle yaz ayları yüksek sıcaklıklarda geçmektedir. Hastanenin sistem içerisindeki enerji ihtiyaçları ayrıştırıldığında bu iklim koşullarında trijenerasyon sistemi ile hastanenin soğutma enerjisi iyi derecede karşılanmaktadır. Bu durum sıcak iklim bölgelerinde bulunan işletmelerde enerji üretimi ve soğutma ihtiyacı için trijenerasyon

sisteminin uygulanmasının gerekliliğini ortaya koymuştur.

5. KAYNAKLAR

- [1]. EİGM (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü) Ekim 2015 Aylık Enerji İstatistikleri Raporu. URL (erişim tarihi: 15.12.2015)
<http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT/1/Documents/E%20C4%B0GM%20Periyodik%20Rapor/2015%20Eki m%20Ay%20C4%B1%20Enerji%20Raporu.pdf>
- [2]. EMO (Elektrik Mühendisleri Odası) Türkiye'de Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü. URL (erişim tarihi: 01.11.2015)
http://www.emo.org.tr/ekler/ccf715eae0ff698_ek.pdf
- [3]. İnallı, M., Yücel, H., Işık, E., "Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği" Mühendis ve Makine Dergisi, MMO Yayınları, Sayı 506, (2002).
- [4]. Zihir, D., Poredos, A., "Economics of a trigeneration system in a hospital", Applied Thermal Engineering 26 680-687, (2006).
- [5]. Tolmasquim, M.T., Szklo, A.S., Soares, J.B., "Economic potential of natural gas fired cogeneration plants at malls in Rio de Janeiro", Energy Conversion and Management, 42:663-674, (2001).
- [6]. Renedo, C.J., Ortiz, A., Manana, M., Silio, D., Perez, S., "Study of different cogeneration alternatives for a Spanish hospital center", Energy and Buildings, 38:484-490, (2006).
- [7]. Chicco, G., Mancarella, P., "Assessment of the greenhouse gas emissions from cogeneration and trigeneration systems. Part I: Models and indicators", Energy 33:410-417, (2008).
- [8]. Seo, H., Sung, J., Oh, S-D., Oh, H-S., Kawak, H-Y., "Economic optimization of a cogeneration system for apartment houses in Korea", Energy and Buildings, 40:961-967, (2008).
- [9]. Sun, Z-G., "Energy efficiency and economic feasibility analysis of cogeneration system driven by gas engine", Energy and Buildings, 40:126-130, (2008).
- [10]. Sivrioğlu, M., Yurdakul, M., Aydoğan, A., İç, Y.T., "Büyük Ticari Yapılarda Kurulacak Kojenerasyon Sistemlerinin Ekonomik Açından Alternatif Sistemlerle Karşılaştırılması", Çankaya University Journal of Science and Engineering, No: 1, 135-151, (2011).
- [11]. Borusan güç sistemleri URL (erişim tarihi: 10.09.2015) www.borusangucsystemleri.com.tr

[12]-[16]. Ekinçi, D.A., “Erzurum Kampüs Hastanesine Uygulanacak Trijenerasyon Sisteminin Fizibilitesi”. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum, 2013.

[13]. Şencan, A., “Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin Tasarımı ve S.D.Ü Oditoryumunda Uygulanabilirliğinin Araştırılması”. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta, 1999.

[14]. Şencan A., Selbaş R., Yakut, A. K., “ Su/Lityum Bromid ve Üçlü Hidroksit Karışımlarıyla Çalışan Absorbsiyonlu Sistemlerin Performanslarının Karşılaştırılması”, Teknoloji, Yıl 5, Sayı 3-4, 2002.

[15]. Aybers, N., Şahin, B., Enerji Maliyeti, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, 1995.

[17]. BERR INDUSTRY. Kojenerasyon-Trijenerasyon Tesisi Tanımlamaları. URL (erişim tarihi: 20.02.2015) <http://slideplayer.biz.tr/slide/2605778/>

[18]. Koç E., Şenel M.C., Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme, Mühendis ve Makina, 2013. cilt 54, sayı 639, s. 32-44.

[19]. Öztürk H., Kaya D., 2014. Kojenerasyon ve Trijenerasyon Tekniği Kitabı. Umuttepe Yayınları.

[20]. DOĞAKA (Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı). Enerji Sektör Raporu. URL(erişim tarihi: 04.04.2015) www.dogaka.gov.tr/442_CU5U25VC_Enerji-Sektor-Raporu-2014.pdf