

Thermo-economic Analysis of Gas Engine Combined Heating and Power System

Muharrem Imal (Corresponding author)
Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Department of Mechanical Engineering,
Kahramanmaraş, Turkey
E-mail: muharremimal@ksu.edu.tr:

Ayşe Kubra Paksoy
Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Department of Mechanical Engineering,
Kahramanmaraş, Turkey
E-mail: aysekubrapaksoy@gmail.com

Abstract

Industrial combined heat-power systems are to obtain electric and steam from the same gas engine using a single type of fuel. In the combined heating and power systems, the cooling cycle is also used. In this study, low cost and high profitability heating and power system were established in an industrial process and economically evaluated. The energy expenses of the plant were calculated; the cogeneration system is designed and has been activated. The electricity, heating energy amounts obtained by the cogeneration system were determined. The economic analysis of the system's input values and the economic analysis of the output values were made comparatively and the first investment payback period has been calculated. Both systems have been found to be profitable for the process but the repayment period was different. The efficiency of the first system was 90.78% and the payback period was 3,007 years, the efficiency of the second system was 90.74% and the payback period was 2,671 years.

Keywords: Gas Engine, Combined Heating and Power, Economic Analysis

DOI: 10.7176/JSTR/7-10-04

Gaz Motorlu Birleşik Isı-Güç Üretim Sisteminin Termoekonomik Analizi

Özet

Endüstriyel gaz motorlu birleşik ısı-güç sistemleri, yakıtın kimyasal enerjisini kullanarak aynı sistemde elektrik ve ısı enerjisinin üretilmesidir. Gaz motorlu birleşik ısıtma ve güç sistemlerinde, soğutma çevrimi de kullanılır. Bu çalışmada, maliyeti düşük, karlılığı yüksek birleşik ısı-güç sisteminin bir endüstriyel tesise uygulanması ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır. Tesisin enerji giderleri ölçülerek sistem dizaynı yapılmış maliyeti uygun olan sistem işletmeye alınmıştır. Gaz motorlu birleşik ısı-güç sistemi ile elde edilen elektrik, ısı enerjisi miktarları tespit edilmiştir. Sistemin yakıt girdi değerleri ile enerji çıktı değerlerinin ekonomik analizi karşılaştırmalı bir şekilde yapılarak, ilk yatırımının geri ödeme süresi bulunmuştur. Her iki sistemde endüstriyel tesis için kârlı olduğu hesaplanmış ancak geri ödeme süresinin farklı olduğu görülmüştür. Birinci sistemin verimi %90,78 ve geri ödeme süresi 3,007 yıl, ikinci sistemin verimi %90,74 ve geri ödeme süresi 2,671 yıl bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gaz Motoru, Birleşik Isı Güç Sistemi, Ekonomik Analizi

1. Giriş

Dünya ülkelerinin endüstriyel gelişmesi sonucu, artan enerji ihtiyacı büyük yatırımlar gerektiren bir sorun olmaktadır. Türkiye'de elektrik üretimi için kurulu gücü Mart 2021 dönemi itibarıyla 97.069,7 MW 'a ulaşmıştır. Elektrik enerjisi üretiminde enerji kaynaklarının payına bakıldığında %41 ile doğal gazdan üretim yapıldığı görülmektedir. Doğal gazdan sonra elektrik üretiminin % 17 si hidroelektrik barajlarından, %16 sı ithal kömür santrallerinden ve %12 si linyit

kullanan termik santrallerden gerçekleşmiştir [1].

Endüstriyel birleşik ısı ve güç sistemlerinde doğalgaz kullanılarak yakıtın daha verimli şekilde yanmasını sağlamak, ısı veriminin artmasını ve birim yakıt maliyetlerinin azalmasını sağlayacaktır. Bu nedenle, sınırlı enerji kaynaklarının verimli kullanımında en dikkat çekici yöntemlerden biri atık ısı geri kazanımıdır [2]. Geleneksel bir ısı prosesinde üretilen enerjinin yaklaşık olarak %16-20 kadarı baca veya egzoz gazlarıyla sistemden çevreye atılır. Bu oranın çok yüksek olması yüzünden, ısı geri kazanım sistemlerinin kullanılması enerji ekonomisi açısından gerekli olmaktadır [3]. Gaz motorlu birleşik ısı güç sistemleri, tek bir yakıtın ısı girdisi ile birden fazla enerji çıktısı sağlanabilmektedir. Bu sistemlerde doğalgaz kullanımı hem enerji değeri olarak hem de ısı verim olarak daha performanslı olmaktadır. Kurulacak sistemde doğalgaz yakıtı girdi olarak kullanılarak, elektrik ve buhar üretilmektedir. Gaz motorlu birleşik ısı güç sistemleri ile geleneksel sistemlerden farklı olarak atık ısı enerjisinin de kullanımı sonucunda ısı verim artırılmaktadır [4].

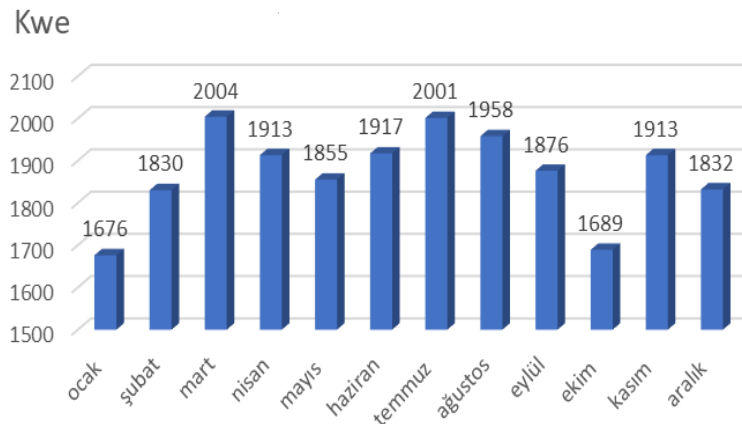
Planlaması iyi yapılmış bir birleşik ısı güç sistemi, düşük maliyetle, verimli enerji ve ısı üretimi imkânı verir. [5]. Yanlış sistem seçimi maliyeti artırır ve işletmeyi zarar ettirir [6]. Bu nedenle kapasite seçiminin doğru yapılması önemlidir [7]. Birleşik ısı sistemlerinin konutlarda kullanımı amacıyla yapılan çalışma sonucunda enerjinin yerinde ve çoklu üretiminin daha verimli ve ekonomik olduğu vurgulanmıştır [8]. Birleşik ısıtma ve soğutma sistemi kurulacak bir proses için sistemden elde edilen ısı enerjisinden mümkün olduğu kadar fazla yararlanılmalıdır. Bu sayede kayıplar azaltılarak, toplam fayda artırılabilecektir [10-12]. Yapılan çalışmalarda baca gazı atık ısı ve motor soğutma suyu ısı geri kazanımı için yoğunlaşma ısı değiştiricisi tasarlanmış ve performans analizleri yapılmıştır [13-15]. Atık ısı geri kazanımı için demir çelik sektöründe çeşitli çalışmalar yapılarak reel işletme verileri termodinamik, teknoekonomik ve emisyon kontrolü açısından değerlendirilmiştir. Çalışmalar sonucunda atık ısı geri kazanımı ile ısı ve ekonomik karlılığın arttığı ve eksoz emisyonlarının azaldığı görülmüştür [16-17]. Bu çalışmada, bir sanayi tesisinde işletmenin elektrik ve buhar ihtiyaçlarını karşılamak üzere kurulacak olan gaz motorlu birleşik ısı güç santrali ve atık ısı geri kazanım sistemlerinin karşılaştırılması ile enerji üretiminin termoekonomik analizi yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

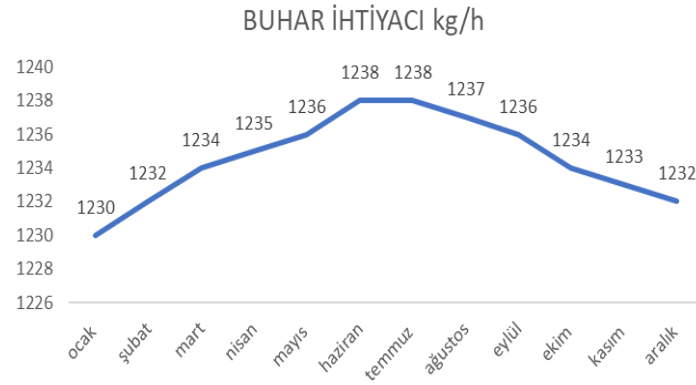
Gaz motorlu birleşik ısı güç santrali, düşük maliyetle, verimli bir şekilde enerji ve ısı üretilmesini sağlar. Tesis kurulumunda ilk olarak işletmenin yıllık elektrik, ısı enerjisi ve soğutma enerjisi giderlerinin tespiti için fizibilite çalışması yapılmıştır. Fizibilite sonucunda işletmenin enerji ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için birleşik ısıtma ve soğutma grubunun model belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. İkinci olarak belirlenen sistemlerin karşılaştırılması ve ekonomik analizi yapılmıştır.

2.1. Endüstriyel İşletmenin Elektrik ve Isı Enerjisi İhtiyacı

İşletmenin diğer enerji ihtiyaçları da göz önünde bulundurulduğunda yaklaşık 1230 kg/h ile 1238 kg/h arası buhar kapasitesine ihtiyaç duyulmaktadır. Toplam enerji yükünü karşılamak için doğal gaz yakıtlı gaz motoru kullanılmaktadır. Tesisin yıl boyunca aylık elektrik ihtiyacının değişimi Şekil 1.1'de verilmiştir. Buna bağlı olarak işletmenin yıl boyunca aylık buhar tüketiminin değişimi Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.1. İşletmenin yıl boyunca aylık elektrik tüketimi (kWe)



Şekil 1.2. İşletmenin yıl boyunca aylık buhar tüketimi (kg/h)

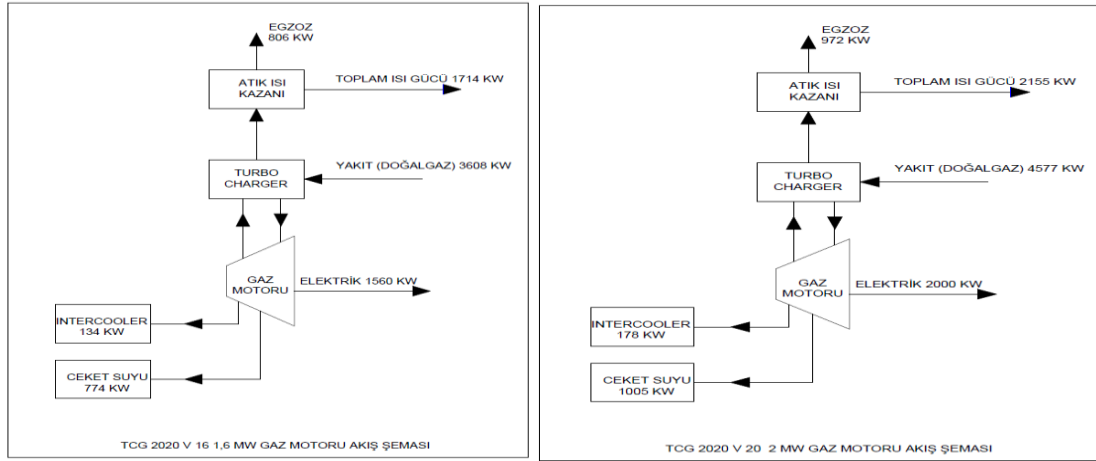
2.2. Sistem Seçimi

Gaz motorlu birleşik ısı güç sisteminde elektrik üretimi gerçekleştirilirken açığa çıkan atık ısı enerjisini de kullanmak amacıyla motor blok ısısının bir ısı eşanjörü ile ısı geri kazanımı yapılacaktır. Motor egzoz gazı ısı enerjisini kullanmak için atık ısı kazanı ile ısı geri kazanımı yapılarak ısı verim en yüksek değere çıkarılacaktır. Endüstriyel işletmenin elektrik ihtiyaçları göz önünde alındığında elektrik tüketiminin en düşük olduğu ay 1676 kwe ile Ocak ayı ve elektrik tüketiminin en yüksek olduğu ay ise 2004 kwe ile Mart ayıdır. Buhar tüketimi en düşük Ocak ayında 1230 kg/h olarak, en yüksek buhar tüketimi ise 1238 kg/h olarak Haziran ve Temmuz aylarında gerçekleşmektedir. Sistem kurulurken elektrik üretimi öncelikli ihtiyaç olarak alınmıştır. Birleşik ısı ve güç tesisinde, sistemin kolay devreye alınabilmesi, elektriksel veriminin yüksek olması ve yakıt türü olarak doğal gaz kullanılabilmesini sağlayan gaz motoru ünitesine karar verilmiştir. Böylece hem elektrik hem de buhar gereksiniminin tek bir sistem ile karşılanması amaçlanmıştır. Aynı ayrı sistemlerle elektrik ve buhar üretmek yerine tek bir sistem elektrik ve buhar üretimi yapılarak yatırım ve tesis maliyetleri düşürülmüştür [18].

Yapılan çalışmalar sonucu gaz motoru modelleri üzerinde kapasite analizi yapılarak, MWM markasının üretimi olan Tcg v20 gaz motoru sistemi ile Tcg v16 gaz motoru sistemi arasında kıyaslama yapılmıştır. İşletmenin Şekil 1.1'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. İşletmenin 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 1605 kWe ve 2056 kWe olan iki adet MWM marka gaz motoru Tcg v20 ile Tcg v16 sistemleri tercih edilerek işletme ihtiyaçlarının karşılanması için kullanılmasına karar verilmiştir. Tcg v20 ile Tcg v16 gaz motoru sistemlerinin teknik özellikleri çizelge 2.1' de, gaz motoru sistemlerinin ısı çevrimi şekil 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Tcg v20 ile Tcg v16 gaz motoru sistemlerinin teknik özellikleri [11]

Gaz Motoru Modeli	TCG V16	TCG V20
Motor gücü	1605 kw	2056 kw
Üretilen Elektrik gücü	1560 kw	2000 kw
Yakıt tüketimi	3608 kw	4577 kw
Egzos atık ısısı	806 kw	972 kw
Ceket suyu atık ısısı	774 kw	1005 kw
Intercooler atık ısı gücü	134 kw	178 kw
Sistemin elektriksel verimi	43,24 %	43,7 %
Sistemin ısı verimi	47,51%	47,08 %
Sistemin toplam verimi	90,74%	90,78%



Şekil 2.1. Tcg v20 ile Tcg v16 gaz motoru sistemlerinin ısıl çevrimi

Tcg v20 ile Tcg v16 gaz motoru sistemlerinin termodinamik özellikleri Çizelge 2.2' de verilmiştir.

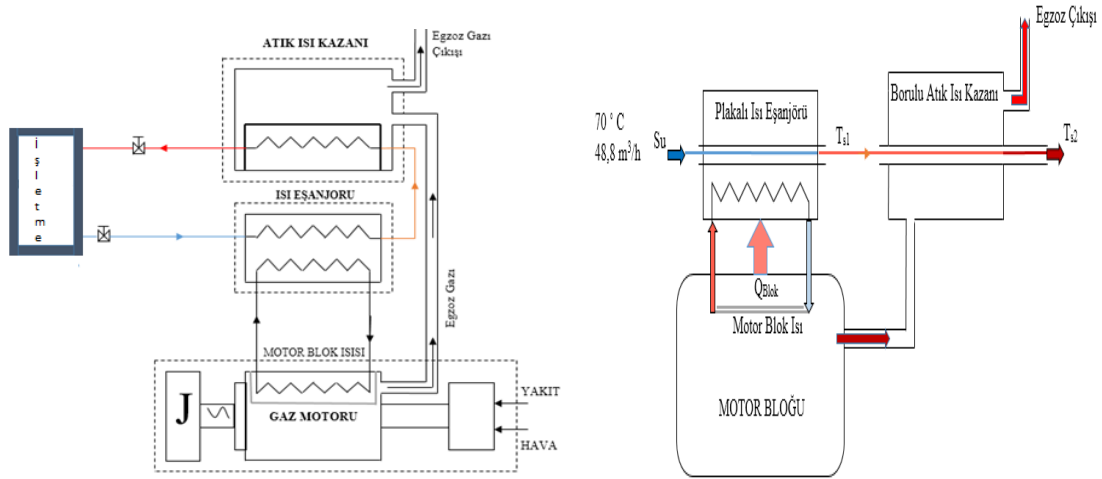
Çizelge 2.2. Tcg v20 ile Tcg v16 gaz motoru termodinamik özellikleri

	TCG V16 1,6 MW	TCG V20 2 MW
Sistemde kullanılacak yakıt miktarı (doğalgaz) m ³ /h	398	497
Baca gazı debisi m ³ /h	8787,2	10984
Baca gazı evaporatör giriş sıcaklığı °C	419	419
Baca gazı ekonomizer çıkış sıcaklığı °C	196	196
Kazan besi suyu sıcaklığı °C	102	102
Besi suyu entalpi değeri kJ/kg	427,541	427,541
Buhar çıkış sıcaklığı °C	175	175
Buharın entalpi değeri kJ/kg	2773,1	2773,1
Buharın kütleli debisi kg/s	1250	1300
Buhara aktarılan ısı miktarı kw	1714	2262

Üretici firma tarafından motorun teknik verilerine göre motor çalışma yükleri incelendiğinde motor yükünün %50'nin altında çalıştırılması motor verimini düşürmektedir. Bu husus göz önünde bulundurularak motor yükünün %50-100 arasında çalıştırılması sağlanarak termo-ekonomik analiz yapılmıştır [9].

2.3. Gaz Motorlu Birleşik Isı-Güç Sistem Dizaynı

Gaz motorlu birleşik ısı güç sisteminde elektrik enerjisi üretimini gerçekleştirecek gaz motoru-jeneratör grubu elektrik enerjisini üretirken, meydana gelen atık ısı enerjisinden de buhar üretmek için yararlanır. Motor blok ısısını kullanacak ısı eşanjörü ve motor egzoz gazı ısısını kullanacak atık ısı kazanı ile buhar ve sıcak su üretilirken bazı büyük kapasiteli sistemlerde motorun yağlama yağının atık ısısı da kullanılır.



Şekil 2.2. Birleşik ısı güç sistemi (a) ve atık ısı (b) akış diyagramı [18]

2.3.1 Atık Isı Kazanı

Gaz motorlu birleşik ısı ve güç sistemlerinde meydana gelen atık ısının geri kazanımı amacıyla iki farklı alt sistem ile ısı enerjisi üretimi gerçekleştirilir. Bu alt sistemlerden birincisi motor blok ısısının kullanılması ile atık ısıdan yararlanmak ve ikincisi atılan egzoz gazlarının atık ısısını kullanmaktır. Ayrıca büyük kapasiteli sistemlerde motor yağlama sistemindeki atık ısıdan da yararlanır. Gaz motorunun ısı eşanjörünü ve atık ısı kazanısını besleyeceği varsayılarak projelendirme yapılır. Fizibilitesi yapılan gaz motoru atık ısı sisteminde ısı enerjisini taşıyacak olan akışkanın $48,8 \text{ m}^3/\text{h}$ debi ve $70 \text{ }^\circ\text{C}$ dönüş sıcaklığında olduğu kabul edilerek tasarım yapılmıştır. Isı taşıyıcı olarak kullanılan proses akışkanına önce ısı eşanjörü yardımıyla motor blok ısısı aktarılarak akışkan sıcaklığı T_{s1} değerine yükselmektedir, daha sonra proses akışkanı egzoz gazlarının ısısını almak için borulu atık ısı kazanına gönderilir ve akışkan sıcaklığı T_{s2} sıcaklık değerine yükseltilir. [19].

$$T_{s1} = \frac{Q_{es}}{m \cdot c_p} + T_{so} \quad (1)$$

$$T_{s2} = \frac{Q_{at}}{m \cdot c_p} + T_{s1} \quad (2)$$

3. Dinamik Geri Ödeme Süresinin Hesaplanması

Gaz motorlu birleşik ısı ve güç sisteminin karlılığı yatırım ve işletme maliyetlerinin az olmasına bağlıdır. Sistemin yatırımını değerlendirirken göz önüne alınabilecek bir kriter de yatırımın ne kadar sürede geri alınabileceği yani yatırımın kendini amorti süresidir. Sistemin geri ödeme süresinin kısa olması elde edilecek kazancın artmasını sağlayacaktır. Sistemin yatırım maliyeti ortaya çıktıktan sonra geri ödeme süresinin hesabında dinamik geri ödeme süresi yöntemi kullanılmıştır. Dinamik geri ödeme süresi hesaplanırken ilk yatırım maliyeti, yıllık net kazanç ve yıllık faiz oranı belirlenerek geri ödeme süresi hesaplanır. G_i : yıllık net kazanç (TL), G_y : ilk yatırım maliyeti (TL), i : yıllık faiz oranı olmak üzere Geri ödeme süresi tg (yıl), eşitlik 3 ile bulunur.

$$tg = \frac{\ln \left\{ \frac{G_i}{G_i - G_y \cdot i} \right\}}{\ln(1 + i)} \quad (3)$$

4.Bulgular Ve Tartışma

4.1. Gaz Motorlu Birleşik Isı Güç Sisteminde Üretilen Enerji Miktarı ve Tüketilen Yakıt Miktarı
Gaz motorlu birleşik ısı ve güç sisteminin yatırım maliyeti hesaplandıktan sonra doğalgaz kullanımı ile elde edilen işletme gelirleri ve işletme giderlerini belirleyecek sistem kapasitesi Çizelge 4.1'de verilmiştir. Bu kapasite değerlerine göre birim fiyatlar kullanılarak elde edilen işletme gelirleri her bir sistem için Çizelge 4.3'te görülmektedir.

Çizelge 4.1. Tcg v20 ile Tcg v16 gaz motoru kapasite tablosu

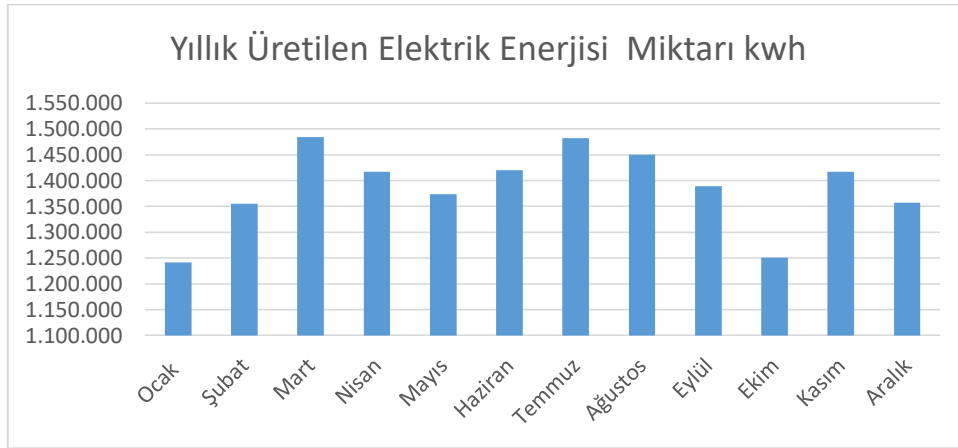
		TCG V16	TCG V20
Modül Çalışma Saatleri	saat/yıl	8.000	8.000
Yakıt Türü		Doğalgaz	Doğalgaz
Yakıt Isıl Değeri	kcal/m ³	8.250	8.250
Yakıt Tüketimi (+%5 tolerans)	kW	3.608	4.577
Yakıt Tüketimi	m ³ /saat	376	477
Senelik Yakıt Tüketimi	m ³ /yıl	3.008.329	3.816.275
Elektrik Üretimi - Brüt (cos phi=1)	kWh	1.560	2.000
İç İhtiyaç ve Dahili Kayıplar	kWh	30	38
Elektrik Üretimi - Net	kWh	1.530	1.962
Senelik Elektrik Üretimi (Net)	kWh/yıl	12.242.880	15.696.000
Yağ Tüketimi	kg/h	0,31	0,4
Egsoz ısı gücü (±%8 tolerans)	kWh	806	972
Ceket Isı Gücü (±%8 tolerans)	kWh	774	1005
İntercooler (±%8 tolerans)	kWh	134	178
Maksimum Toplam Isı Üretim Kapasitesi	kWh	1.714	2.155
İşletme Toplam Isı Tüketimi 90%	kWh	1.543	1.940

Çizelge 4.2. Enerji güncel birim fiyatları tablosu

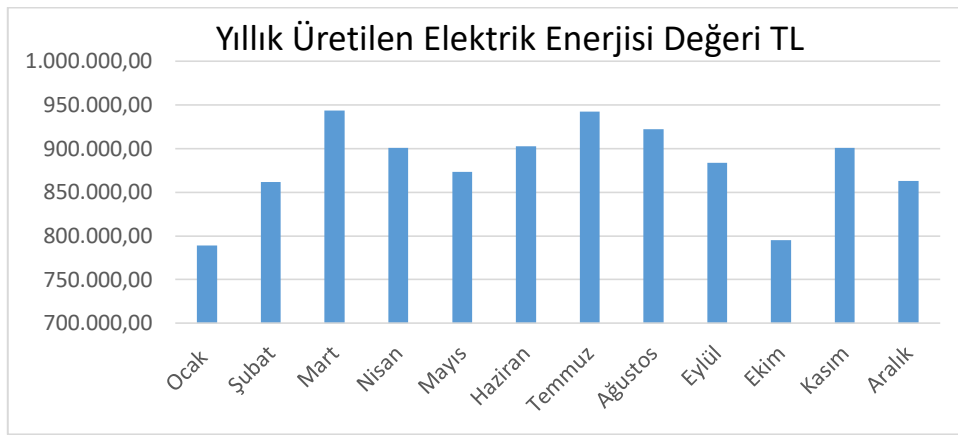
En Birim Fiyatları Güncel	Ağustos-2021
Birim Elektrik Maliyeti	0,6357 TL/kwh
Birim Doğalgaz Maliyeti	1,27719 TL/kwh

Çizelge 4.3. Tcg v16 sisteminin yıl boyunca üretilen enerji, tüketilen enerji ve maliyet dağılımı

Aylık	Elektrik Tüketimi kwh	Üretilen Elektrik Enerjisi kwh	Üretilen Elektrik Enerjisi Tl	Üretilen Isı Enerjisi kwh	Üretilen Isı Enerjisi Tl	Tüketilen Yakıt m ³	Tüketilen Yakıt Tl
Ocak	1676	1.241.544	789.249,24	1.719	137.524,82	415,98	354.185,62
Şubat	1830	1.355.623	861.769,75	1.877	150.161,35	454,20	386.730,12
Mart	2004	1.484.519	943.708,52	2.055	164.438,99	497,39	423.501,18
Nisan	1913	1.417.108	900.855,48	1.962	156.971,95	474,80	404.270,34
Mayıs	1855	1.374.143	873.542,56	1.903	152.212,74	460,40	392.013,32
Haziran	1917	1.420.071	902.739,13	1.966	157.300,17	475,79	405.115,65
Temmuz	2001	1.482.296	942.295,78	2.052	164.192,82	496,64	422.867,20
Ağustos	1958	1.450.443	922.046,54	2.008	160.664,44	485,97	413.780,10
Eylül	1876	1.389.699	883.431,72	1.924	153.935,90	465,62	396.451,21
Ekim	1689	1.251.174	795.371,10	1.732	138.591,54	419,20	356.932,88
Kasım	1913	1.417.108	900.855,48	1.962	156.971,95	474,80	404.270,34
Aralık	1832	1.357.105	862.711,58	1.879	150.325,46	454,70	387.152,78
TOPLAM	22464		10.578.576,90		1.843.292,16		4.747.270,77



Şekil 4.1. Tcg v16 ısıll güç santrali ile yıl boyunca aylık üretilen elektrik enerjisi miktarları



Şekil 4.2. Tcg v16 ısıll güç santrali ile yıl boyunca aylık üretilen elektrik enerjisi değeri

Çizelge 4.4. Tcg v16/v20 model gaz motoru için yıllık kazanç değeri tablosu

İŞLETME GELİRLERİ TL	ELEKTRİK	TCG V16	3.720.429
		TCG V20	4.769.779
	ATIK ISI	TCG V16	1.218.701
		TCG V20	1.532.262
	TOPLAM	TCG V16	4.939.130
		TCG V20	6.302.042
İŞLETME GİDERLERİ TL	DOĞALGAZ	TCG V16	3.220.429
		TCG V20	4.085.338
	YAĞLAMA YAĞI	TCG V16	39.936
		TCG V20	71.680
	BAKIM	TCG V16	243.200
		TCG V20	304.640
	TESİS SİGORTA BEDELİ %25	TCG V16	9.728
		TCG V20	11.168
TOPLAM	TCG V16	3.513.293	
	TCG V20	4.472.826	
NET İŞLETME KAZANCI (TL)	TCG V16	1.425.837	
	TCG V20	1.829.216	

4.4. Gaz Motorlu Birleşik Isı Güç Sisteminin Ekonomik Analizi

4.4.1. Sistemin Ekonomik Analizi

Sistem için ekonomik analiz, bir önceki bölümde tasarlanan sistem ile elde edilecek yakıt tasarrufu ve amortisman süresini hesaplayabilmek için yapılmaktadır. Ekonomik analiz yapılırken; ilk yatırım maliyetleri, ekonomik ömür, senelik bakım ve işletme harcamaları, senelik kar miktarı, hurda değeri ve faiz oranları önem arz etmektedir. Kurulacak sistem vasıtası ile geri kazanılan enerjinin yıllık maddi tasarruf miktarı Eşitlik 4 ile hesaplanmıştır. Eşitlikteki n, yatırımın faydalı ömrünü AB yatırımın amortisman bedelini göstermektedir.

Çizelge 4.5 Birleşik ısı-güç çevrim santrali sisteminin yatırım maliyeti

	TCGV16 Yatırım Maliyeti TL	TCG V20 Yatırım Maliyeti TL
Modül ve Yardımcı Ekipmanlar	768.000,00	896.000,00
Isı geri kazanım sis. (Atık ısı kazanı)	640.000,00	768.000,00
Step up Trafo ve OG Sistemi	742.400,00	742.400,00
Motor soğutma ünitesi	1.280.000,00	1.472.000,00
Nakliye, mekanik ve elektrik montajı	268.800,00	332.800,00
İnşaat işleri (santrale ait bölümler)	192.000,00	256.000,00
Toplam ilk yatırım maliyeti	3.891.200,00	4.467.200,00

Tcg v16 birleşik ısı sisteminin amortisman bedeli olarak sistemindeki sabit yatırım varlıklarının toplam maliyeti 3.891.200 TL dir. Yıllık faiz oranı $i = \% 5,5$ ve sistem ömrü $n=10$ yıl olarak kabul edilerek; AB amortisman bedeli, eşitlik 4 kullanılarak

$$AB = I \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad \text{TL /yıl} \quad (4)$$

$$AB = 3.891.200 * (0,055(1+0,055)^{10}) / (1+0,055)^{10} - 1$$

$$AB = 516.362,24 \text{ TL /yıl bulunur.}$$

Tcg v20 Birleşik ısı sisteminin amortisman bedeli olarak sistemindeki sabit yatırım varlıklarının toplam maliyeti 4.467.200 TL dir. Yıllık faiz oranı $i = \% 5,5$ ve sistem ömrü $n=10$ yıl olarak kabul edilerek; AB amortisman bedeli, eşitlik 4 kullanılarak,

$$AB = 4.467.200 * (0,055(1+0,055)^{10}) / (1+0,055)^{10} - 1$$

$$AB = 592.797,44 \text{ TL /yıl bulunur.}$$

4.5. Gaz Motorlu Birleşik Isı Güç Sisteminin Geri Ödeme Süresi

Ekonomik analiz yapılırken sistemin dinamik geri ödeme süresi değerinden faydalanılmıştır. Bu değer ile dinamik geri ödeme süresi hesaplanarak kısa olan ödeme süresi sistemin daha karlı olduğunu gösterirken, uzun geri ödeme süresi sistemin karlılığının daha uzun dönemde ortaya çıkacağını göstermektedir. Daha kısa geri ödeme süresi veya daha uzun geri ödeme süresi için uygun bir faiz oranı ile daha uygun bir geri ödeme süresine ulaşılabilir.

4.5.1. Sisteminin Dinamik Geri Ödeme Süresi

Birleşik ısı güç sisteminde dinamik geri ödeme süresi eşitlik 5 ile hesaplanır. Eşitlikteki n, yatırımın faydalı ömrünü AB yatırımın amortisman bedelini, i faiz oranını, Gi yatırımın yıllık net kazancını, Gy

yatırım nakit maliyetini ifade etmektedir.

$$tg = \frac{\ln \left\{ \frac{G_i}{G_i - G_y \cdot i} \right\}}{\ln(1+i)} \quad (5)$$

TCG V16 modeli için dinamik geri ödeme süresi,

Yıllık net kar Çizelge 4.4 'te toplam işletme karı olarak hesaplanan değer ile 1.425.837 TL dir. Tesisin ilk yatırım maliyeti ise Çizelge 4.5'daki verilere göre 3.891.200 TL' dir.

$$G_i = 1.425.837 \text{ TL}$$
$$G_y = 3.891.200 \text{ TL}$$
$$i = \%5,5$$

$$tg = \frac{\ln \left\{ \frac{1425837}{1425837 - 3891200 \cdot 0,05} \right\}}{\ln(1+0,05)}$$

$$tg = 3,007 \text{ yıl}$$

bulunur.

TCG V20 modeli için dinamik geri ödeme süresi,

Yıllık net kar Çizelge 4.4 'te toplam işletme karı olarak hesaplanan değer ile 1.829.216 TL dir. Tesisin ilk yatırım maliyeti ise Çizelge 4.5'daki verilere göre 4.467.200 TL' dir.

$$G_i = 1.829.216 \text{ TL}$$
$$G_y = 4.467.200 \text{ TL}$$
$$i = \%5,5$$

$$tg = \frac{\ln \left\{ \frac{1829216}{1829216 - 4467200 \cdot 0,05} \right\}}{\ln(1+0,05)}$$

$$tg = 2, 671 \text{ yıl}$$

bulunur.

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, bir endüstri işletmesinde iki adet gaz motorlu birleşik ısı güç sisteminin enerji ve ekonomik analiz çalışmaları ele alınarak, ısı transferi analizi ve ekonomik değerlendirme için çeşitli hesaplar yapılmıştır. Sistemin kurulmasını işletmenin enerji ve buhar gereksinimlerine göre inceleyerek, iki tip gaz motoru ünitesinin enerji ve termoekonomik fizibilitesi yapılmış ve sistemin termoekonomik analizleri çıkarılmıştır. İşletme gereksinimlerine göre seçilen iki adet gaz motorundan Tcg v20 ile Tcg v16 arasında enerji ve ekonomik analiz sonuçları kıyaslanarak Tcg v20 gaz motorunun kullanılmasının işletme açısından daha efektif ve verimli olduğu ortaya konulmuştur. Yapılan çözümler sonucu elde edilen değerlere göre; sisteme ait gaz motorlarının yakıt tüketimi yaklaşık 7.305.760 TL/yıl dir, atık ısıdan yıllık tasarruf miktarının 3.751.000 TL ve toplam yakıt tasarrufunun 2.206.500 m³ olacağı görülmüştür.

Sonuç olarak enerji verimliliği esasına göre çalışan birleşik ısı ve güç sistemleri endüstriyel işletme için kârlı bir yatırımdır. Bu sistem işletme için sürekli elektrik enerjisi ve ısı enerjisi sağlayacaktır. İşletmenin ihtiyaç fazlası elektrik enerjisi genel elektrik şebekesine satılarak daha fazla kazanç sağlamak mümkün olacaktır. Ancak sistemlerin ilk yatırım maliyetlerini daha kısa zamanda geri ödemeleri için birleşik elektrik-ısı ve soğutma sistemi daha kârlı bir yatırım olacaktır. Ayrıca atık ısı kazanı uygulaması ile elde edilen buhar sayesinde ısı verim artacak, beraberinde de atmosfere atılan NO_x ve CO₂ emisyonları azalacaktır. NO_x ve CO₂ emisyon oranı azalırken baca gazı kaynaklı çevre kirliliği de önlenecektir. Atık ısı geri kazanımının kullanıldığı benzer birleşik ısı ve güç sistemi uygulamalarında enerji ve yakıt tasarrufu yapılarak parasal kazanç değerinin artması benzer uygulamaların yatırıma dönüşmesini sağlayacak, işletmelerin enerji maliyetlerinin düşmesi ile rekabetçi koşullarda başarılı olmalarının devamlı olması ile ülke ekonomisine yapacakları katkı artacaktır.

6. Kaynaklar

- [1] Çiçek A., Ekmekçi, İ., Güven, H.R., “Bir Sanayi Tesisinde Kojenerasyon ve Atık Isı Geri Kazanımının İncelenmesi” SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 7., Sayı 2., 2003.
- [2] Dinçer İ., Al-Muslim H., “Thermodynamic analysis of reheat cycle steam power plants” International Journal of Energy Research., V.25., pp.727-739., 2001.(DOI:10.1002/er.717)
- [3] Chang, S., Modeling Thermodynamic and Techno-Economic Analysis of Coke Production Process with Waste Heat Recovery, Energy, 141, 435-450 .,2017.
- [4] Chen, Q., Finney, K., Li, H., Zhang, X., Zhou, J., Sharifi, V., Swithenbank, J., Condensing Boiler Applications in the Process Industry, Applied Energy, 89, 30- 36.,2012.
- [5] Çengel A.Y. Boles AM. Thermodynamics: An Engineering Approach., Mc Graw-Hill, New York,2000.
- [6] Yazıcı, H., Selbaş, R., “Bir buharlı güç santralinin enerji ve ekserji analizi” Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Teknik Dergi., Cilt 10.,Sayı 1., 2011.
- [7] Sürer F., “Kombine gaz/buhar türbinli kojenerasyon sistemlerinin termodinamik ve ekonomik analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul., 2003.
- [8] Goel, N., Design and Performance Analyses of Condensing Heat Exchangers for Recovering Water and Waste Heat from Flue Gas, Lehigh University, Department of Mechanical Engineering, Master’s Thesis, Ann Arbor, 1-107.,2012.
- [9] Ünlü, C., Buharlı Sistemlerde Enerji Geri Kazanımı, Tesisat Mühendisliği, 108, 53-63.,2008.
- [10] Rumeli, M., Simultaneous Industrial Waste Heat Recovery and Power Generation Using Heat Pipe Assisted Thermoelectric Generator, Manufacturing Engineering College of Science., RMIT University, Master’s Thesis, Australia, 1-158., 2015.
- [11] Çalışıcı Ü., Kojenerasyon Sistemleri ve Bir İşletmenin İhtiyacını Karşılacak Kojenerasyon Sisteminin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği., Yüksek Lisans Tezi., Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Antakya,2005.
- [12] Sancar O., 2010. Ticari Binalarda Uygulanan Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sistemlerinin Teknoekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.,2010.

- [13] Wang, D., Coal Power Plant Flue Gas Waste Heat and Water Recovery, Applied Energy Journal, 91, 341–348.,2012.
- [14] Öztürk H., Kaya D., Kojenerasyon ve Trijenerasyon Tekniği Kitabı. Umuttepe Yayınları., 2014.
- [15] He, B., Thermodynamic Analysis of a Low-Pressure Economizer Based Waste Heat Recovery System for a Coal-Fired Power Plant, Energy Journal, 65, pp. 80-90.,2014.
- [16] Peris, B., Experimental Study of an ORC for Low-Grade Waste Heat Recovery in a Ceramic Industry, Energy Journal, 85, 534-542.,2015.
- [17] Savruk N., Yeşin T., Gaz/Buhar Kombine Çevrim Enerji Santrallerinin Performans Analizi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi., 2001.
- [18] Paksoy A., K., Gaz motorlu bir ısı güç çevrim santralının atık ısı geri kazanımının termoeconomik analizi, Yüksek Lisans Tezi, K.S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü., Kahramanmaraş, 2015.
- [19] İmal M., Kaya A., Güneş M., Kuyumcu M. E., Sönmez K., Birleşik Isı ve Güç Üreten Sistemlerin Uygulamalı Analizi ve KSÜ Hastanesi Örnek Çalışması. KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(2), 2015.
- [20] Seyedkavoosi, S., Exergy-Based Optimization of an Organic Rankine Cycle for Waste Heat Recovery from an Internal Combustion Engine, Applied Thermal Engineering Journal, 126, 447–457., 2017.
- [21] Yamankaradeniz, N., Tekstil Sanayiinde Atık Isıdan Yararlanılarak Enerji Tasarrufunda Klasik Sistem ile Isı Pompasının Karşılaştırılması, Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 12(1), 115-124.,2007.