



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Hermetik gaz yakıcı cihazlardaki atık ısı enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi

Conversion to electric energy of waste heat energy in hermetic gas burning devices

Yazar(lar) (Author(s)): Halil İbrahim VARIYENLİ¹, Koray GÖKTEKİN²

ORCID¹: 0000-0001-6313-1786

ORCID²: 0000-0003-4496-2247

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Variyenli H. İ. ve Göktekin K., “Hermetik gaz yakıcı cihazlardaki atık ısı enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi”, *Politeknik Dergisi*, 21(4): 821-830, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.418849

Hermetik Gaz Yakıcı Cihazlardaki Atık Isı Enerjisinin Elektrik Enerjisine Dönüştürülmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Halil İbrahim VARIYENLİ^{1*}, Koray GÖKTEKİN²

¹Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 06500, Teknikokullar, Ankara, TÜRKİYE

²Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 29.01.2018 ; Kabul/Accepted : 08.03.2018)

ÖZ

Bu çalışmada, gaz yakıcı cihazlardaki atık ısı enerjisinden faydalanmak amacı ile bir termoelektrik baca sistemi tasarlanmış ve sistemin teorik analizi yapılmıştır. Tasarlanan sistem; hermetik kombilerdeki atık ısı enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesinde kullanılacaktır. Kalorifer konumunda hesaplamalar -20 °C ile +20 °C dış hava sıcaklıkları arasında 5 °C lik değişimlere göre ve kalorifer suyu sıcaklığı ise 35 °C ile 85 °C arasında 5 °C aralıklarla hesaplanmıştır. Kullanım suyu konumunda ise, dış hava sıcaklığı ise -20 °C ile 35 °C arasında 5 °C lik değişimlere göre ve kullanım suyu sıcaklığı ise 35 °C ile 65 °C arasında 5 °C aralıklarla hesaplanmıştır. Kalorifer konumunda, en düşük güç değeri dış hava sıcaklığı 20 °C ve kalorifer suyu sıcaklığı 35 °C'de iken 57,83 W ve en yüksek güç değeri dış hava sıcaklığı -20 °C ve kalorifer suyu sıcaklığı 85 °C'de ise 273,6 W olarak hesaplanmıştır. Kullanım suyu konumunda ise; en düşük güç değeri dış hava sıcaklığı 35 °C ve kullanım suyu sıcaklığı 35 °C'de iken 31,19 W ve en yüksek güç değeri dış hava sıcaklığı -20 °C ve kullanım suyu sıcaklığı 65 °C'de ise 273,6 W olarak hesaplanmıştır. Dış hava sıcaklığının azalması, kalorifer ve kullanım suyu sıcaklığının artmasına bağlı olarak atık gaz sıcaklığının yükselmesi ile elde edilen güç miktarının arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hermetik gaz yakıcı cihaz, atık ısı, elektrik enerjisi, üretim

The Conversion to Electric Energy of Waste Heat Energy in Hermetic Gas Burning Devices

ABSTRACT

In this study, to use waste heat of combi boilers thermoelectric generators mounted in flue part of the system and theoretical analysis of the system was done. The designed system will be used to generate electrical energy from waste heat in hermetic combi boilers. Calculations were done in boiler heating mode at outside air temperatures range of -20 °C and +20 °C with 5 °C variations and heating water temperature is in range of 35-85 °C with 5 °C variations. In hot water heating mode, calculations were done in outside air temperatures range of -20 °C and +35 °C with 5 °C variations and heated water temperature is in range of 35-65 °C with 5 °C variations. In boiler heating mode, the lowest power value was calculated as 57,83 W at 20 °C outside air temperature and heater temperature of 35 °C, and the highest power value was calculated as 273,6 W at -20 °C outside air temperature and heater temperature of 85 °C. In hot water heating mode, the lowest power value was calculated as 31,19 W at at 35 °C outside air temperature and supplying hot water temperature of 35 °C, and the highest power value was calculated as 273,6 W at -20 °C outside air temperature and supplying hot water temperature of 65 °C. By decreasing outside air temperature, depending on the increase in temperature of the heater and supplying hot water, it has been observed that the amount of obtained power increased by increasing the flue gas temperature.

Keywords: Hermetic combi boilers, waste heat, electrical energy, generate.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya enerji ihtiyacı; hızlı nüfus artışı, sanayideki gelişmeler, kaynakların plansız kullanılması ve benzeri sebeplerden dolayı hızla artmaktadır. Enerji tüketiminin artmasına paralel olarak insanların maden ve enerji kaynaklarına olan talebi de artmıştır [1, 2]. Kullanımı artarak devam eden kömür, petrol ve doğalgaz tüketimi CO₂ yayılımını arttırmakta olup sera etkisine ve küresel ısınmaya neden olmaktadır [3]. Dünya enerji ihtiyacının büyük kısmını sağlayan birincil enerji kaynaklarının 2017 yılı verilerine göre kullanım miktarı 13647 MTEP

(milyon ton eşdeğer petrol) olmuştur. Dünya birincil enerji ihtiyacını karşılamada, petrol kullanımı % 31,7'lik pay ile birinci sırada yer almaktadır. Petrolü; % 28,1'lük pay ile kömür, % 21,6'lük pay ile doğal gaz takip etmektedir. Diğer enerji kaynakları ise jeotermal, güneş, rüzgâr ve ısı enerjisi kaynaklarıdır [4].

Fosil yakıtların alternatifi olan yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, biokütle enerjisi, dalga enerjisi, gel-git enerjisi ve hidrojen enerjisi olarak sıralanabilir [1]. Yenilenebilir enerji üretimi; yüksek maliyetli olması, bakım onarım gerektirmesi ve verimlerinin düşük olması nedeniyle kısıtlı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca tüm enerji üretim sistemlerinde olduğu gibi yenilenebilir

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : halilv@gazi.edu.tr

enerji sistemleri de genellikle yerleşim yerlerinin dışında kurulmakta ve üretilen enerjinin bir kısmı son kullanıcılara ulaştırılırken iletim – dağıtım hatlarında kaybolmaktadır.

Termoelektrik enerji üretim sistemleri; sıcaklık farkından elektrik enerjisi üretiminde (uzay araçları, otomobiller, jeotermal kaynaklar vb.) ısı enerjisinin mevcut olduğu yerlerde kullanılabilen, uzun ömürlü ve bakım-onarım ihtiyacı duymayan sistemlerdir. Gaz yakıcı cihazlarda fosil gaz yakıtların yanması ile ısı enerjisi açığa çıkmaktadır. Ortaya çıkan ısı enerjisinin büyük kısmı ana eşanjör vasıtasıyla kalorifer veya kullanım suyunun ısıtılması için kullanılmakta, kullanılmayan ısı enerjisi ise baca gazları ile atmosfere atılmaktadır.

Yenilenebilir enerji sistemleri ile kıyaslandığında, termoelektrik enerji üretiminin birçok avantajı bulunmaktadır. Rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji ile biokütle enerjisinden belirli bölgelerde yararlanılmakta ve üretilen enerji iletim dağıtım hatları ile kilometrelerce uzağa taşınmaktadır. Güneş panelleri ile enerji üretiminde çok fazla yüzey alanına gereksinim duyulmakta ve güneşten günün belirli bölümlerinde yararlanıldığı için yüksek maliyetli depolama sistemlerine gereksinim duyulmaktadır. Ayrıca bu sistemler periyodik bakım onarım ve temizlik gerektirmektedir. Termoelektrik sistemler ise bakım onarım gerektirmezler ve termodinamik sistemlerin kullanılmadığı yerlerde kullanılabilirler.

Fosil yakıtların yanması ile çalışan sistemlerde; sistemin tasarımına göre elde edilen ısı enerjisinin bir kısmı sistem tarafından kullanılmakta, bir kısmı ise baca gazları ile kullanılmadan çevreye atılmaktadır [5]. Çevreye atılan ısı enerjisinin geri kazanımı sistemlerin verimini arttıracak; buna bağlı olarak enerji tasarrufu sağlanacak [6], yakıt tüketimi azaltılacaktır [7]. Günümüzde enerjinin büyük çoğunluğu sınırlı rezervlere sahip fosil yakıtlardan sağlandığından, bu kaynakların verimli kullanılması bakımından atık ısıların geri kazanımı oldukça önemlidir [8]. Konvansiyonel ve kondenzasyonlu olarak ikiye ayrılan kombilerin ısı verim değerleri; günümüz teknolojisinde konvansiyonel olanlarda % 80'in, kondenzasyonlu kombilerde % 90'ın üzerindedir [9]. Enerji kaybının büyük kısmı ise kullanılmadan çevreye atılan sıcak baca gazlarından kaynaklanmakta, atık ısının farklı biçimlerde geri kazanımı sağlanmaktadır. Günümüz teknolojisinde atık ısının bir kısmı termoelektrik jeneratörler (TEJ) ile elektrik enerjisine dönüştürülerek, elektrik ihtiyacı şebekeden bağımsız olarak karşılanabilir.

Adavbiele 2013 yılında, benzinli bir motorun atık ısı enerjisinin performans ve fizibilitesini değerlendirmek amacıyla, üç egzoz gazına dayalı TEJ ve bir su soğutucu temelli TEJ kullanmıştır. Geri dönüşümsüzlüklerin yüksek olması nedeniyle TEJ'lerin toplam verimliliğin düşük olmasına rağmen, TEJ'lerin çıkış gücünü motor atık ısısından elde edilebilen bir elektrik düzeyi oluşturmuştur. Genel verimlilik yalnızca % 2,18 iken, kazanılan enerjinin kalitesini arttırmak amacıyla motorun

atık ısıdan elektrik enerjisi üretmek için hala çok fazla alana sahip olduğunu ve TEJ'lerin sera gazı azaltılmasındaki rolünün küresel iklim şemasında çok önemli olabileceğini belirtmiştir [10]. Baskar ve arkadaşları 2014 yılında, atık ısı geri kazanım sisteminin iki zamanlı bir benzinli motora uyarlanmasının fizibilitesini incelemeyi amaçlamışlardır. Birleştirilmiş ısı ve güç sisteminin güç ve ısı üretimi için karbondioksit (CO₂), kükürt dioksit (SO₂) ve azot oksitler (NO_x) emisyonunda azalma gibi yararlar sağladığını belirtmişlerdir. Deneysel performans testi, atık ısı geri kazanım sistemi ile birlikte ve atık ısı geri kazanım sistemi olmadan, iki kez çalıştırılan benzinli motorun genel verimliliğinin sırasıyla % 29,67 ve % 29,2 olduğunu, güç miktarının 90 W olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu deneysel çalışma ile yakıt tüketiminin % 4 oranında azaldığının gözlemlendiğini ve atık ısı geri kazanım sisteminin çeşitli proses endüstrilerinde boşa harcanmış enerjiyi kullanmak için daha verimli olduğunu ortaya koymuşlardır [11]. Kılıç 2010 yılında, enerji mimarlığı çerçevesinde yaptığı bir deney düzeneğiyle binlerce bacadan atık olarak çıkan baca gazının oluşturduğu hava kirliliğinin olumsuz etkisini, oluşan baca ısısından hibrit enerji elde ederek olumlu yöne çevirmeyi amaçlamıştır. Termoelektrik jeneratörün iki yüzeyi arasında sıcaklık farkı oluşturmak için bir yüzeyinde bacadan gelen atık ısı, diğer yüzeyinde ise çevre havası ve soğutma suyu döngüsü kullanmıştır. Yapmış olduğu çalışma sonunda, toplam faydanın rakamsal değerinin % 12,2 olduğu sistemde, herhangi bir ısı kaybı olmaksızın yapının sıcak su ve elektrik enerjisi ihtiyacının verimli bir şekilde karşılanabileceğini belirtmiştir [12]. Özkaymak ve arkadaşları 2014 yılında, termoelektrik jeneratörler kullanarak bir deney seti oluşturmuşlar ve jeneratörün sıcak tutulması gereken yüzeyini soba borusunda üretilen atık gaz yoluyla ısıtarak ve soğuk olan yüzeyi ise üzerinden su geçirip soğutarak sıcaklık farkı ile elektrik üretimi sağlamışlar. Yaptıkları ölçümlerde debinin sıfır olduğu düzeyde 5,11 Volt ve 0,92 Amper üretirken, termoelektrik jeneratörün performansının debinin artırılmasıyla arttığını ve debinin 0,083 lt/s olduğu anda 8,69 Volt ve 1,45 Amper'lik performans elde ettiklerini belirtmişlerdir [13]. Kumar ve arkadaşları, termoelektrik jeneratörlerin performansını incelemek için egzoz gazı ile motor soğutma sıvısı arasındaki sıcaklık farkına göre seçtikleri 18 adet termoelektrik jeneratör modülü bulunan bir ısı eşanjörü tasarlamışlar ve farklı motor çalışma koşullarında motor test cihazında test etmişlerdir. Isı eşanjörlerinin çeşitli tasarımları bilgisayar destekli tasarım programı kullanarak modellemişler ve analiz, akış, ısı aktarım özelliklerini incelemişlerdir. TEJ'in güç üretim verimliliğini en üst düzeye çıkartmak için sıcak ve soğuk yüzey arasında büyük sıcaklık farklılığı sağlanması gerektiğini, çalışmanın aynı zamanda enjektör egzozunda verimli bir şekilde uygulanabileceğini ve yakın gelecekte termoelektrik jeneratörlerin alternatörün boyutunu azaltabileceğini veya otomobillerde alternatörü ortadan kaldırdığını ortaya koymuşlardır [14].

Jadhao ve Thombare 2013 yılındaki çalışmalarında, içten yanmalı motorun atık ısısının egzoz gazı enerjisi ile kaybı açıklamış, içten yanmalı motorlardan atık ısının geri kazanılması için olası yöntemleri ve içten yanmalı motorun performansını ve emisyonlarını incelemiş, atık ısı geri kazanım sisteminin atık ısıyı geri kazanmanın ve yakıt tasarrufu yapmanın en iyi yolu olduğunu belirtmişlerdir. Atık ısı geri kazanım teknolojilerinin kullanımı ile büyük enerji tasarrufu potansiyeli olduğunu ifade etmişlerdir. Egzoz gazı atık ısı geri kazanım ve mekanik güç dönüşümünün Rankine, Stirling ve Brayton gibi termodinamik döngüler ve buhar emme yardımı ile mümkün olduğunu, atık ısı geri kazanımı için termoelektrik jeneratörlerin düşük verimlilikle düşük ısı kullandığını, termal verimlilikte ve emisyonda azalmada aynı miktarda artış için faydalı olduğunu belirlemişlerdir [15].

Literatürdeki çalışmalar, TEJ'ler vasıtasıyla motor atık ısı enerjisinden elektrik elde etme ve çevresel etkileri üzerindedir. Yapılan çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, konvansiyonel gaz yakıcı cihazların atık ısı enerjisinden faydalanılarak TEJ'ler vasıtasıyla gaz yakıcı cihazın ihtiyacı olan elektrik enerjisini sağlamak, atık gaz sıcaklığını düşürerek çevresel etkilerini azaltmak ve ülkemizin fosil gaz yakıtta dış ülkelere bağımlılığını azaltmak üzerindedir.

Bu çalışmada, Hermetik tip kombilerin baca borusundan atmosfere atılan atık ısı enerjisi kullanılarak TEJ'ler vasıtasıyla elektrik enerjisi üretecek, atmosfere atılan ısı enerjisinin sıcaklığını düşürecek ve gaz yakıcı cihazın ihtiyacı olan elektrik enerjisini sağlayacak Termoelektrik Baca Sistemi tasarlanmıştır. Fosil yakıtlar ile santrallerde elektrik enerjisi üretiminde çevreye CO₂ salındığı bilinmektedir. Tasarlanan sistemde; sadece ısıtma amaçlı kullanılan birim yakıttan aynı zamanda elektrik enerjisi de üretileceği için gaz yakıcı cihazın enerji verimliliğinin artacağı ve ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin bir kısmı santraller yerine atık gazdan sağlanacağından CO₂ salınım miktarının düşeceği öngörülmektedir.

2. TEORİK ANALİZ (THEORETICAL ANALYSIS)

Termoelektrik jeneratörlerin soğuk yüzey sıcaklığı (T_c), sıcak yüzey sıcaklığı (T_h), maksimum gücü (P_{max}) gibi parametreleri ticari olarak üretimde bulunan firmalar tarafından belirtilir. Maksimum gücün elde edilmesinde termoelektrik jeneratör iç direnci (R), yük direnci (R_L) olmak üzere, yük karşılaşmasındaki ($R_L=R$) yük gerilimi ($V_{max}=VR$) ve maksimum verimlilik (η_{max}) olacaktır. Bu değerler kullanılarak devrenin elektriksel parametreleri hesaplanabilir. Bir termoelektrik jeneratörün verimliliğinin yüksek olmasında; Seebeck sabitinin (α) büyük, elektriksel direnç (R) ve termal iletkenliğin (κ_{th}) düşük değerlerde olması etkilidir. Termoelektrik jeneratörlerde kalite faktörü Eşitlik – 1 ile hesaplanır [16,17].

$$Z = \frac{\alpha^2}{R \cdot \kappa_{th}} \quad (1)$$

Termoelektrik jeneratörün elektrik direnci (R) Eşitlik – 2 ile hesaplanır.

$$R = R_L = \frac{v_{max}^2}{P_{max}} \quad (2)$$

TEJ'in verimliliği yüke bağlı olarak değişir. Yük direnci ($R_L=m.R$) olduğu varsayılır. Burada (m) yük direncinin iç dirence oranıdır. Akım denklemi ise Eşitlik – 3 ile belirlenir.

$$I = \frac{\alpha \Delta T}{[(1+m).R]} \quad (3)$$

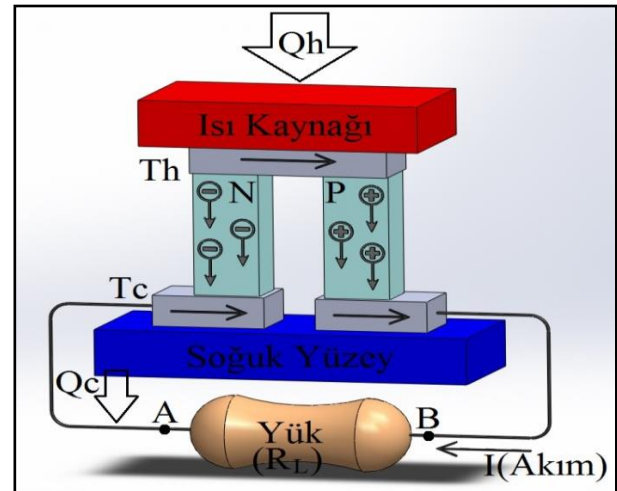
Termoelektrik jeneratörün verimliliği elektrik güç çıkışının sıcak yüzeye uygulanan termal güç girişine oranıdır ve Eşitlik – 4 ile bulunabilir.

$$\eta = \frac{I^2 \cdot R_L}{Q_h} \quad (4)$$

Termoelektrik jeneratörün termal iletkenliği Eşitlik – 5 ile hesaplanır [16,17].

$$\kappa_{th} = \frac{\alpha^2}{R.Z} \quad (5)$$

Şekil 1'de basit bir mikro modül – termo çift modellenmiştir. Güç üretimi ve soğutma amaçlı kullanılan termoelektrik modüller çok sayıda termo çiftin birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Şekil 1'de termo çiftin ısı kaynağı olan yüzeyine (T_h), soğuk yüzeyine (T_c) sıcaklıklarının uygulandığı görülmektedir. Burada T_h sıcaklığı, T_c sıcaklığından büyük olduğundan devrede bir I akımı meydana gelmektedir.



Şekil 1. Basit bir termo çift katı modellemesi (A simple solid modeling thermocouple)

Termo çiftte, R_L yükü olmadan A ve B noktaları arasındaki ölçülen açık devre gerilimi; $V=\alpha.\Delta T$ formülü ile hesaplanır. Termo çiftin uçlarına bir yük bağlandığında ise yükten geçen akım Eşitlik – 6 ile belirlenir.

$$I = \frac{\alpha \Delta T}{(R_c.R_L)} \quad (6)$$

Termoelektrik mikro modüle toplam ısı (Q_h) girişi Eşitlik – 7 kullanılarak hesaplanır.

$$Q_h = \alpha \cdot T_h \cdot I - \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot R_c + K_c \cdot \Delta T \quad (7)$$

Tam bir modül bir sıra termoelektrik mikro modülden meydana geldiğinden, gerçek bir modüle ait jeneratör çıkış gerilimi Eşitlik – 8 kullanılarak hesaplanır.

$$V_o = \alpha_M \cdot \Delta T = I \cdot (R_M \cdot R_L) \quad (8)$$

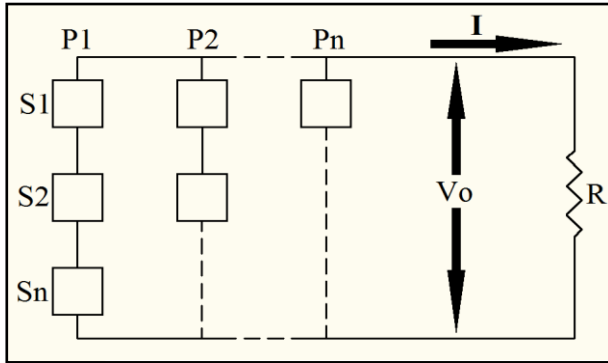
Ortalama modül sıcaklığı Eşitlik – 9 yardımıyla belirlenir.

$$T_{avg} = \frac{(T_h + T_c)}{2} \quad (9)$$

Modülün güç çıkışı (P_o), Eşitlik – 10 ile hesaplanır.

$$P_o = R_L \cdot [(\alpha_M \cdot \Delta T) / (R_M \cdot R_L)]^2 \quad (10)$$

Sonuç olarak, termoelektrik jeneratörlerin büyük bir kısmı elektriksel olarak seri, paralel veya seri - paralel düzende bağlı olan çok sayıda bireysel modülden oluşmaktadır. Bir termoelektrik jeneratörün iç yapısı Şekil 2’de görüldüğü gibi P_n adet paralel ve her paralel kolda S_n adet seri modülün birleşiminden meydana gelmektedir [17].

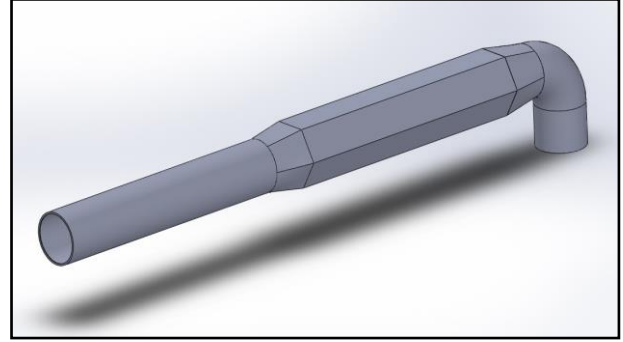


Şekil 2. Basit bir termo çiftin seri ve/veya paralel bağlantı şekli (A simple thermocouple series and / or parallel connection type)

3. MATERYAL VE METOD (MATERIALS and METHOD)

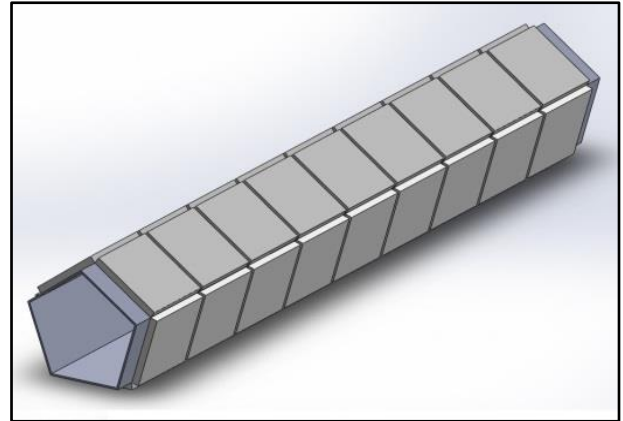
Hermetik kombinin atık gaz ısı enerjisini TEJ’ler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürecek Termoelektrik Baca Sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan Termoelektrik Baca Sistemi için bundan sonraki bölümlerde TBS sembolü kullanılacaktır.

Hermetik kombilerin iç baca borusu ısı iletim katsayısı yüksek olan alüminyumdan üretilmektedir. Mevcut hermetik kombilerin iç baca borusu alüminyumdan ve silindirik olarak imal edilmektedir. Standart iç baca borusuna TEJ’ler monte edilemeyeceğinden beşgen olarak tasarlanmıştır. Beşgen baca borusunun geometrik şekli standart baca borusundan farklıdır. Bu nedenle beşgen baca borusunun kombiye montajı için giriş ve çıkış kısımları 6 cm çapında standart baca borusuna dönüştürülmüştür. Şekil 3’te tasarlanmış iç baca borusunun modellenmiş hali görülmektedir.



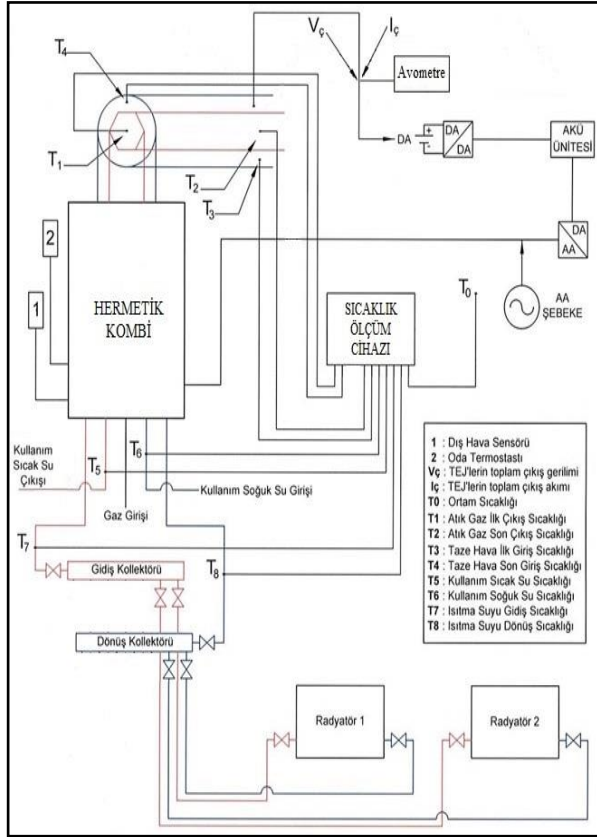
Şekil 3. TBS iç baca borusunun modellenmiş görüntüsü (Modeled image of TBS interior chimney pipe)

Hermetik kombilerin iç baca borusu yanma için gerekli oksijeni atmosferden fan vasıtasıyla alırken atık gazın ısısından faydalanarak yanma odasına ısınarak girer. Bu nedenle, TBS iç baca borusu beşgen olarak TEJ boyutlarına göre 4x40 cm ölçülerinde tasarlanmış olup, İç baca borusuna TEJ’lerin montaj detay görüntüsü Şekil 4’teki gibi modellenmiştir.



Şekil 4. Tasarlanan TBS iç baca borusuna TEJ’lerin montaj detayı (Installation details of TEJs for the designed TBS chimney pipe)

Tasarımı yapılan sisteme ait şematik görünüm Şekil 5’te görülmektedir. Tasarlanan sistemde gaz yakıcı cihaz atık ısı sıcaklığı dikkate alınarak 24 kW gücünde Baymak marka Luna 3 model hermetik tip kombiye göre tasarlanmıştır.



Şekil 5. Tasarlanan sistemin şematik görünümü (Schematic view of the designed system)

Elektrik şebekesi, güç üretim sistemi, depolama birimi, DA-DA konvertör ve DA-AA invertör elektriksel bağlantısı Şekil 3.3'te görüldüğü gibi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem, 5 ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler; gaz yakıcı cihazdan elde edilen doğru akımı (DA) akü ünitesine uygun hale getiren DA-DA konvertör, elde edilen enerjinin depolandığı akü ünitesi, depolanan enerjinin gaz yakıcı cihazın ihtiyaç duyduğu gerilim şekli olan alternatif akıma (AA) dönüştürülmesi için kullanılan DA-AA invertör, TBS'den elde edilen enerjinin yetersiz kalabileceği ve enerji üretiminde herhangi bir arıza olabilmesi durumları göz önünde bulundurularak AA şebekeden oluşmaktadır.

Sistemden elde edilen akım ve gerilim değerlerinin ölçülmesi için dijital avometre kullanılacaktır. Atık gaz sıcaklığı ve temiz hava sıcaklığının ölçülmesi için 16 kanallı Elimko E-680 model sıcaklık ölçüm cihazı ve sıcaklık ölçümünde kullanılacak Termokupllar ise PT 100 RTD tiptir. PT 100 RTD tip Termokupl'a ait teknik özellikler Çizelge 1'de görülmektedir.

Çizelge 1. PT 100 RTD Özellikleri (PT 100 RTD Features)

Ölçüm aralığı	-50 ~ 400 °C (-58 ~ 752 °F)
Kablo uzunluğu	2 metre
Prob uzunluğu	98 mm
Prob çapı	5 mm
Sonda malzeme	Paslanmaz

Tasarlanan TBS'de kullanılacak Tecteg firmasının TEG2-07025HT-SS model termoelektrik jeneratörüne ait sıcaklık farkına bağlı güç değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Modülün yüzeyleri arasında sıcaklık farkı oluştuğunda, uçlarında DC akım meydana gelmektedir. Modül maksimum 190 °C sıcaklığa dayanabilmektedir.

Çizelge 2. TEG2-07025HT-SS modülün çeşitli sıcaklık farklarında güç değerleri (Power values of TEG2-07025HT-SS module at various temperature differences)

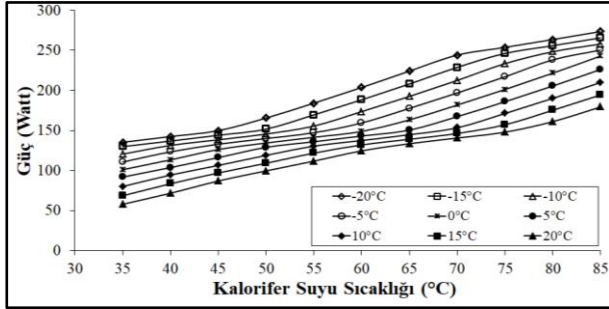
Sıcaklık Farka (°C)	Eşdeğer Gerilim (V)	Eşdeğer Akım (A)	Maksimum Güç (W)
50	0,6	1,1	0,66
80	1,0	2,0	2,00
100	1,3	2,2	2,86
120	1,4	2,4	3,36
150	1,8	3,0	5,40
170	1,9	3,2	6,08
180	2,0	3,4	6,80

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

TEJ'lerin verimi sıcaklık farkına bağlıdır; sıcaklık farkı arttıkça verim yükselir, sıcaklık farkı azaldıkça ise verim düşer. TEJ'lerin performansını belirleyen dış hava ve atık gaz arasındaki sıcaklık farkıdır. Kombilerdeki kalorifer ve kullanım su sıcaklığı arttıkça alev boyu büyüyecek, yanma odasında elde edilen ısı enerjisinin tamamı ısı değiştiriciye aktarılamayacak ve bunun sonucunda atık gaz sıcaklığı artacaktır. Bu nedenle, tasarımı yapılan sistemde; yaz konumunda, minimum ve maksimum kullanım suyu sıcaklığı değerlerine göre değişen atık gaz sıcaklığı ve dış hava sıcaklığı, kış konumunda ise minimum ve maksimum kalorifer suyu sıcaklığı değerlerine göre değişen atıkgaz sıcaklığı ve dış hava sıcaklığı baz alınarak elde edilebilecek elektrik enerjisi teorik olarak hesaplanmıştır.

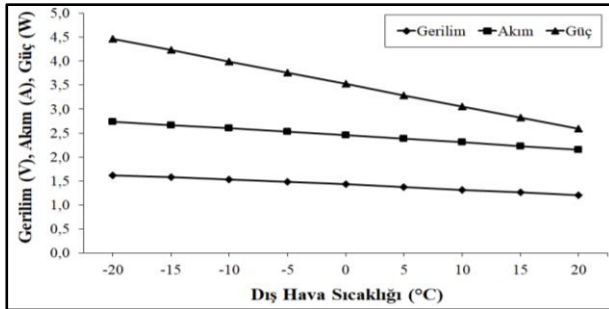
4.1. Kalorifer Konumu (Heating Position)

Şekil 6'da kalorifer suyu sıcaklığına bağlı olarak TBS'den elde edilebilecek güç değerleri teorik olarak verilmiştir. Hesaplamalar -20 °C ile +20 °C dış hava sıcaklıkları arasında 5 °C lik değişimlere göre yapılmıştır. Kalorifer suyu sıcaklığı ise 35 °C ile 85 °C arasında 5 °C aralıklarla her bir dış hava sıcaklığı değerinde hesaplanmıştır. En düşük güç değeri dış hava sıcaklığı 20 °C olduğunda ve kalorifer suyu sıcaklığı 35 °C'de 57,83 W ve en yüksek güç değeri dış hava sıcaklığı -20 °C olduğunda ve kalorifer suyu sıcaklığı 85 °C'de 273,6 W olarak hesaplanmıştır. Dış hava sıcaklığının azalması ve kalorifer suyu sıcaklığının artmasına bağlı olarak atık gaz sıcaklığının yükselmesi ile elde edilebilecek güç miktarının artacağı görülmektedir.



Şekil 6. Klorifer suyu sıcaklığına bağlı olarak hesaplanan TBS'den elde edilebilecek teorik güç değerleri (Theoretical power values that can be obtained from TBS calculated based on the water temperature of the central heating system)

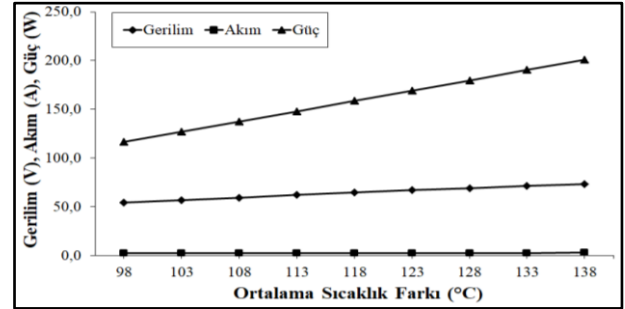
Şekil 7'de dış hava sıcaklığının bir adet TEJ'in elektriksel parametrelerine etkisi verilmiştir. Dış hava sıcaklığı azaldıkça termoelektrik jeneratörlerden elde edilecek ortalama akım, gerilim ve güç değerleri de artmaktadır. Dış hava sıcaklığı 20 °C'de klorifer suyu sıcaklığı 35-85 °C aralığında sıcaklık farkı değerlerinin ortalaması alınarak sistemden elde edilebilecek gerilim değerleri ortalaması 1,21 V olduğunda, akım değerleri ortalaması 2,15 A ve bunlara bağlı olarak güç değeri de 2,59 W olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler minimum elektriksel parametrelerdir. Dış hava sıcaklığının değeri -20 °C'de klorifer suyu sıcaklığı 35-85°C aralığında sıcaklık farkı değerlerinin ortalaması alınarak sistemden elde edilebilecek gerilim değeri ortalaması 1,63 V olduğunda, elde edilebilecek akım değeri ortalaması 2,74 A ve bunlara bağlı olarak güç değeri de 4,46 W hesaplanmıştır. Bu değerler ise maksimum elektriksel parametrelerdir. Elde edilebilecek güç değerleri, sıcaklık farkına bağlı olarak maksimum ve minimum elektriksel parametreler arasında değişmektedir.



Şekil 7. Dış hava sıcaklığının bir adet TEJ'in ortalama elektriksel parametrelerine etkisi (Effect of outside air temperature on the average electrical parameters of one TEJ)

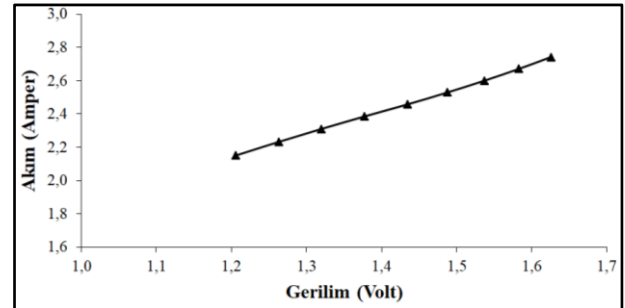
Şekil 8'de yüzeyler arasındaki ortalama sıcaklık farkına bağlı olarak TBS'den elde edilebilecek akım, gerilim ve güç değerleri verilmiştir. Ortalama sıcaklık farkı, klorifer suyu sıcaklığı değiştirildiğinde çevreye atılan atık gaz sıcaklığı ile yanma havası girişindeki dış hava sıcaklığına göre en düşük ortalama değeri 98 °C, en yüksek ortalama değeri ise 138 °C olarak belirlenmiştir. Baca sistemine 45 adet TEJ gerilimi yükseltmek amacıyla birbirine seri bağlanacak şekilde tasarlanmıştır.

Sıcaklık farkına bağlı olarak ortalama gerilim değeri 54,25 V ile 73,15 V arasında, ortalama akım değeri 2,15 A ile 2,74 A arasında, ortalama güç değeri ise 116,69 W ile 200,67 W arasında değiştiği görülmektedir.



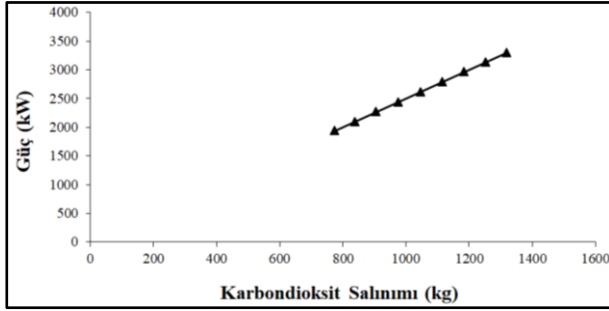
Şekil 8. Yüzeylerde oluşan ortalama sıcaklık farkına bağlı olarak TBS'den elde edilebilecek akım, gerilim ve güç değerleri (Current, voltage and power values that can be obtained from TBS depending on the average temperature difference on the surfaces)

Şekil 9'da dış hava sıcaklığının -20 °C ile 20 °C arasında her 5 °C'lik farkı için, klorifer suyu sıcaklığının 35 °C ile 85 °C arasında aldığı değerlerin ortalaması alınarak elde edilen akım ve gerilim değerleri verilmiştir. Akım değeri 2,15 A iken gerilim değeri 1,21 V değerinde, akım değeri 2,74 A iken gerilim değeri 1,63 V değerindedir. Akım değeri arttıkça gerilim değeri de artmıştır. Buna bağlı olarak TEJ'lerden elde edilen güç miktarının da arttığı görülmektedir.



Şekil 9. Akım - Gerilim Eğrisi (Current - Voltage Curve)

Şekil 10'da üretilen güç değerine bağlı olarak azalan CO₂ salınımı miktarı verilmiştir. Gaz yakıcı cihazlarda fosil yakıtların yanması ile ısı enerjisi elde edilmekte bu enerjinin bir kısmı kullanılmadan baca gazları ile çevreye atılmaktadır. Tasarlanan sistemde atık gaz ile elektrik enerjisi üretileceğinden, elde edilen enerjinin santrallerde üretilmesi sonucunda çevreye atılan CO₂ gazları oluşmayacaktır. Termik santrallerde 1 kWh elektrik enerji üretimi için çevreye ortalama olarak 0,4 kg CO₂ salınır. Fakat tek tek yakıtlara baktığımızda yerli kömürlü santrallerde bu değer 0.59 kg CO₂'ye ulaşır [18]. Şekil 6.5'teki değerler 1 kWh elektrik üretimi için 0,4 kg CO₂ salınacağı kabul edilerek hesaplanmıştır. Grafik oluşturulurken gaz yakıcı cihazın ve TBS'nin ömrü 15 yıl, gaz yakıcı cihazın 6 ay boyunca günde ortalama 6 saat çalıştığı kabul edilmiştir.

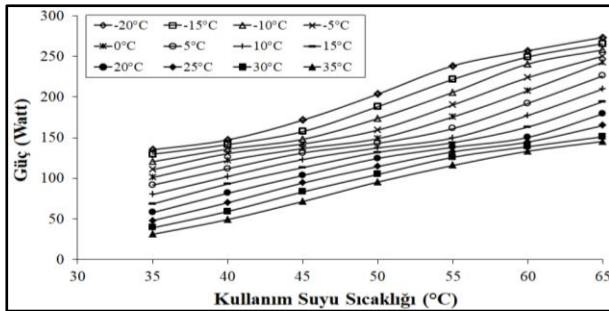


Şekil 10. TBS'den elde edilen güce bağlı olarak azalan CO₂ salınımı grafiği (Decreasing CO₂ emission graph based on TBS)

Kalorifer suyu sıcaklığı 35 °C'de iken bir adet hermetik gaz yakıcı cihazın TBS vasıtasıyla ömrü boyunca ortalama 1936,51 kW elektrik enerjisi üretebileceği ve buna bağlı olarak atmosfere 774,6 kg CO₂ salınımı engellenebileceği tespi edilmiştir. Kalorifer suyu sıcaklığı 85 °C'de iken bir adet TBS vasıtasıyla ömrü boyunca ortalama 3299,38 kW elektrik enerjisi üretecek ve buna bağlı olarak atmosfere 1319,75 kg CO₂ salınımı engellenecektir. Hermetik gaz yakıcı cihazlar ile kalorifer suyu sıcaklığı 35 °C – 85 °C arasında değişmektedir. Bu değerler arasında çalışan bir adet hermetik gaz yakıcı cihazın ortalama 2614,35 kW elektrik enerjisi üreteceği ve atmosfere 1045,74 kg CO₂ salınımı engellenmiş olacağı aşikârdır.

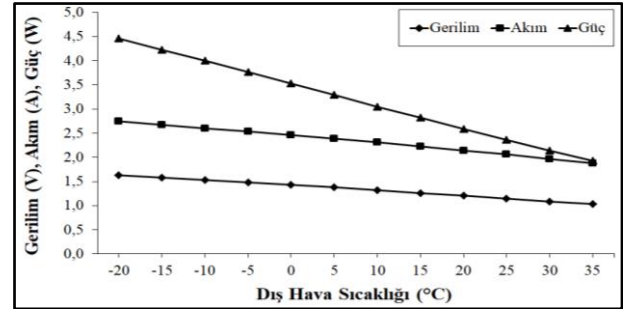
4.2. Sıcak Su Konumu (Hot Water Position)

Şekil 11'de kullanım suyu sıcaklığına bağlı olarak TBS'den elde edilebilecek güç değerleri verilmiştir. Hesaplamalar -20 °C ile +35 °C dış hava sıcaklıkları arasında 5 °C lik değişimlere göre yapılmıştır. Kullanım suyu sıcaklığı ise 35 °C ile 65 °C arasında 5 °C aralıklarla her bir dış hava sıcaklığı değerinde hesaplanmıştır. En düşük güç değeri dış hava sıcaklığı 35 °C olduğunda ve kullanım suyu sıcaklığı 35 °C'de 31,19 W ve en yüksek güç değeri dış hava sıcaklığı -20 °C olduğunda ve kullanım suyu sıcaklığı 65 °C'de 273,6 W olarak hesaplanmıştır. Dış hava sıcaklığının azalması ve kullanım suyu sıcaklığının artmasına bağlı olarak atık gaz sıcaklığının yükselmesi ile elde edilebilecek güç miktarı da artacaktır.



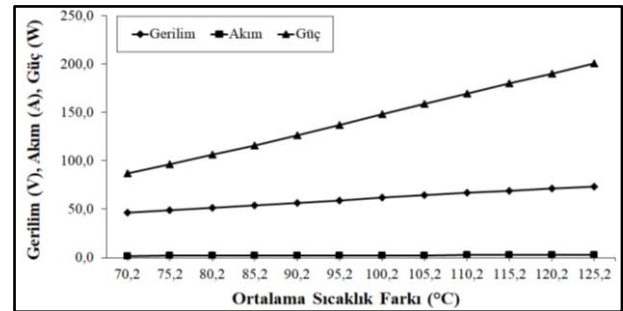
Şekil 11. Kullanım suyu sıcaklığına bağlı olarak TBS'den elde edilebilecek teorik güç değerleri (Theoretical power values that can be obtained from TBS depending on the usage water temperature)

Şekil 12'de dış hava sıcaklığının bir adet TEJ'in elektriksel parametrelerine etkisi verilmiştir. Dış hava sıcaklığı 35 °C'de kullanım suyu sıcaklığı 35-65 °C aralığındaki sıcaklık farkı değerlerinin ortalaması alınarak sistemden elde edilebilecek gerilim değerleri ortalaması 1,03 V olduğunda, akım değerleri ortalaması 1,87 A ve bunlara bağlı olarak güç değeri de 1,93 W olarak hesaplanmıştır. Dış hava sıcaklığının değeri -20 °C'de kullanım suyu sıcaklığı 35-65 °C aralığındaki sıcaklık farkı değerlerinin ortalaması alınarak sistemden elde edilebilecek minimum gerilim değeri ortalaması 1,63 V olduğunda, elde edilecek akım değeri ortalaması 2,74 A ve bunlara bağlı olarak güç değeri de 4,46 W hesaplanmıştır. Bu değerler ise maksimum elektriksel parametrelerdir.



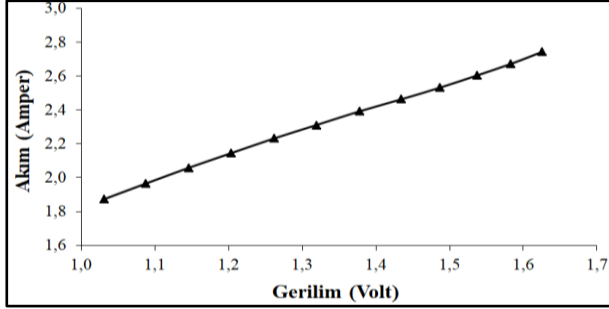
Şekil 12. Dış hava sıcaklığının bir adet TEJ'in elektriksel parametrelerine etkisi (Effect of outside air temperature on the electrical parameters of one TEJ)

Şekil 13'de yüzeyler arasındaki ortalama sıcaklık farkına bağlı olarak TBS'den elde edilebilecek akım, gerilim ve güç değerleri görülmektedir. Ortalama sıcaklık farkı, kullanım suyu sıcaklığı değiştirildiğinde çevreye atılan atık gaz sıcaklığı ile yanma havası girişindeki dış hava sıcaklığına göre en düşük ortalama değeri 70,2 °C, en yüksek ortalama değeri ise 125,2 °C olarak belirlenmiştir. Baca sistemine 45 adet TEJ gerilimi yükseltmek amacıyla birbirine seri bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Sıcaklık farkına bağlı olarak ortalama gerilim değeri 46,37 V ile 73,16 V arasında, ortalama akım değeri 1,87 A ile 2,74 A arasında, ortalama güç değeri ise 86,85 W ile 200,66 W arasında değiştiği görülmektedir.



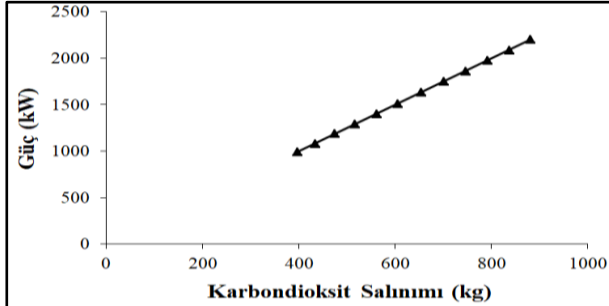
Şekil 13. Yüzeylerde oluşan ortalama sıcaklık farkına bağlı olarak TBS'den elde edilebilecek akım, gerilim ve güç değerleri (Current, voltage and power values that can be obtained from TBS depending on the average temperature difference on the surfaces)

Şekil 14'de dış hava sıcaklığının $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında her $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik farkı için, kullanım suyu sıcaklığının $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında aldığı değerlerin ortalaması alınarak elde edilen akım ve gerilim değerleri verilmiştir. Akım değeri arttıkça güç değeri de artmıştır. Buna bağlı olarak TEJ'lerden elde edilebilecek güç miktarı da artmıştır.



Şekil 14. Akım - Gerilim Eğrisi (Current - Voltage Curve)

Şekil 15'de üretilen güç değerine bağlı olarak azalan CO_2 salınımı miktarı görülmektedir. Grafik oluşturulurken gaz yakıcı cihazın ve TBS'nin ömrü 15 yıl, gaz yakıcı cihazın 1 yıl boyunca günde ortalama 2 saat çalıştığı kabul edilmiştir.



Şekil 15. TBS'den elde edilen güce bağlı olarak azalan CO_2 salınımı grafiği (Decreasing CO_2 emission graph based on TBS)

Kullanım suyu sıcaklığı $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de iken bir adet hermetik gaz yakıcı cihaz TBS ile ömrü boyunca ortalama $990,74\text{ kW}$ elektrik enerjisi üreteceği tespit edilmiş ve buna bağlı olarak atmosfere $396,3\text{ kg CO}_2$ salınımı engellenmiş olacaktır. Kullanım suyu Sıcaklığı $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de iken bir adet hermetik gaz yakıcı cihaz TBS ile ömrü boyunca ortalama $2201,71\text{ kW}$ elektrik enerjisi üreteceği tespit edilmiş ve buna bağlı olarak atmosfere $880,69\text{ kg CO}_2$ salınımı engellenmiş olacaktır. Hermetik gaz yakıcı cihazlar ile kullanım suyu sıcaklığı $35\text{ }^{\circ}\text{C} - 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. Bu değerler arasında çalışan bir adet hermetik gaz yakıcı cihaz ile ortalama $1581,78\text{ kW}$ elektrik enerjisi üreteceği ve buna bağlı olarak atmosfere $632,71\text{ kg CO}_2$ salınımı engellenmiş olacağı aşikârdır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Kalorifer konumunda elde edilebilecek minimum güç, dış hava sıcaklığı $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ve kalorifer suyu sıcaklığı $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de iken $57,83\text{ W}$ olarak hesaplanmıştır. Kalorifer konumunda elde edilebilecek maksimum güç ise dış hava sıcaklığı $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ve kalorifer suyu sıcaklığı $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de $273,6\text{ W}$ olarak hesaplanmıştır. Kalorifer konumunda sıcaklık farkına bağlı olarak ortalama güç değeri $119,54\text{ W}$ ile $203,67\text{ W}$ arasında değiştiği görülmüştür. Tasarlanan TBS'nin kalorifer konumunda ortalama verimi minimum % 3,33 ve maksimum % 5,55 olarak tespit edilmiştir.

Kalorifer konumunda yapılan hesaplamalara göre, bir adet hermetik gaz yakıcı cihazın ömrü boyunca ortalama $2614,35\text{ kW}$ elektrik enerjisi üreteceği ve buna bağlı olarak atmosfere $1045,74\text{ kg CO}_2$ salınımı engellenmiş olacağı tespit edilmiştir.

Kullanım sıcak suyu konumunda elde edilebilecek minimum güç dış hava sıcaklığı $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve kullanım suyu sıcaklığı $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de $31,19\text{ W}$ olarak hesaplanmıştır. Kullanım sıcak suyu konumunda elde edilen maksimum güç ise dış hava sıcaklığı $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve kullanım suyu sıcaklığı $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de $273,6\text{ W}$ olarak hesaplanmıştır.

Kullanım sıcak suyu konumunda yapılan hesaplamalara göre ortalama güç değerleri $91,74\text{ W}$ ile $203,86\text{ W}$ arasında değişirken, bir adet hermetik gaz yakıcı cihaz ile ortalama $1581,78\text{ kW}$ elektrik enerjisi üreteceği ve buna bağlı olarak atmosfere $632,71\text{ kg CO}_2$ salınımı engellenmiş olacağı belirlenmiştir. Tasarlanan TBS'nin kullanım suyu konumunda ortalama verimi minimum % 2,56 ve maksimum % 5,66 olarak tespit edilmiştir.

Tasarımı yapılan TBS vasıtasıyla hem kalorifer hem de kullanım suyu konumunda gaz yakıcı cihaz ömrü boyunca toplam $4196,13\text{ kW}$ elektrik enerjisi üretililebileceği ve bunun sonucunda atmosfere atılan $1678,45\text{ kg CO}_2$ salınımı engellenmiş olacağı aşikârdır.

Çizelge 2'de en düşük elektriksel parametreler $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık farkında; gerilim $0,6\text{ V}$, akım $1,1\text{ A}$, güç $0,66\text{ W}$ ve en yüksek elektriksel parametreler ise $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık farkında gerilim 2 V , akım $3,4\text{ A}$, güç $6,80\text{ W}$ olarak belirtilmiştir. TBS'de ise kalorifer ve kullanım sıcak suyu konumlarında en düşük elektriksel parametreler $51\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık farkında; gerilim değeri $0,61\text{ V}$, akım değeri $1,33\text{ A}$, güç değeri $1,27\text{ W}$ ve en yüksek elektriksel parametreler ise $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık farkında gerilim $1,9\text{ V}$, akım $3,2\text{ A}$, güç $6,08\text{ W}$ olarak belirlenmiştir. Kullanım suyu sıcaklığının $35-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığındaki ortalama değerleri alındığında; dış hava sıcaklığı $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ için en düşük ortalama değerler olan gerilim $1,03\text{ V}$, akım $1,87\text{ A}$, güç $1,93\text{ watt}$ ve dış hava sıcaklığı $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ için en yüksek ortalama değerler olan gerilim $1,63\text{ V}$, akım $2,74\text{ A}$, güç $4,46\text{ W}$ olarak hesaplanmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında; Adavbiele % 2,18, Baskar ve arkadaşları ortalama % 29,44 ve Kılıç % 12,2 verim elde etmişlerdir. Bu çalışmada minimum % 2,95 ve maksimum % 5,6 ortalama verim elde edilmiştir. Literatürde yapılan

çalışmalar genelde egzoz gazı sıcaklığından ve katı yakıtlı soba atık gaz sıcaklığından faydalanılarak TEJ'ler vasıtasıyla elektrik enerjisi elde etme üzerinedir. Bu çalışmada ise kombi atıkgaz sıcaklığından faydalanılmıştır. Sistem verimini etkileyen en önemli faktör atık gaz sıcaklığı ile soğutucu akışkan sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkıdır.

Sonuç olarak gaz yakıcı cihazlardaki atık ısı enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin mümkün olduğu teorik olarak tespit edilmiştir. Sistemin mevcut gaz yakıcı cihaz baca sistemlerinde kullanılması ile atık ısıdan elektrik enerjisi üretilebileceği ve CO₂ salınımının azaltılabileceği öngörülmüştür.

Yarı iletken malzemelerin performansı gün geçtikçe artmakta ve yeni yarı iletken malzemeler üretilmektedir. TEJ'lerin verimlerinin artmasıyla tasarlanan sistem ile elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı da artacaktır. Elektrik üretiminde fosil yakıtların kullanımı sonucunda yüksek miktarda ısı çevreye atılmakta, elektrik iletim ve dağıtımında yüksek kayıplar meydana gelmektedir. Bunun sonucunda fosil yakıtlar verimsiz kullanılmaktadır. Ayrıca elektrik iletim-dağıtım sistemlerinin kurulumu oldukça maliyetlidir. Teknolojinin ilerlemesiyle; TBS ile PV panellerden oluşan hibrit bir sistem ile konutlarda şebekeden bağımsız olarak elektrik üretimi sağlanabilir. Böylece fosil yakıtlar % 90 üzerinde verimle kullanılabilir ve kullanılmadan çevreye atılan enerji % 10 seviyelerinin altına düşürülebilir.

6. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma, 07/2015-10 kodlu proje kapsamında Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

KISALTMALAR VE SEMBOLLER (ABBREVIATIONS AND SYMBOLS)

KISALTMALAR

MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
TEJ	Termoelektrik Jeneratör
TBS	Termoelektrik Baca Sistemi

SEMBOLLER

T _c	Soğuk Yüzey Sıcaklığı (°C)
T _h	Sıcak Yüzey Sıcaklığı (°C)
P _{max}	Maksimum Güç (W)
R	Elektriksel Direnç (Ω)
R _L	Yük Direnci (Ω)
V _{max}	Maksimum Yük Gerilimi (V)
η _{max}	Maksimum Verimlilik (%)
α	Seebeck sabiti (V/°C)
K _{th}	Termal İletkenlik (W/mK)
Z	Kalite Faktörü

m	Yük Direncinin İç Dirence Oranı
Q _h	Termal Güç Girişi (W)
I	Jeneratör çıkış akımı (A)
R _C	Termoelektrik mikro modülün ortalama iç direnci (Ω)
K _c	Termo Çiftin İletkenliği (W/K)
V _o	Jeneratör Çıkış Gerilimi (V)
α _M	Modülün Ortalama Seebeck Katsayısı (V/°C)
R _M	Modülün Ortalama Direnci (Ω)
T _{avg}	Ortalama Modül Sıcaklığı (°C)
P _o	Modülün Güç Çıkışı (W)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Koç, E., Şenel, M. C., Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54(639): 32-44, (2013).
- [2] Kılıç, A. M., Kılıç, Ö., Türkiye'de Elektrik Üretiminde Kömür Kullanımı ve Stratejik Önemi. *Madencilik Türkiye*, 40: 74-83, (2014).
- [3] Keçebaş A., Gedik E., Kayfeci M., Fosil Yakıtların Kullanımından Kaynaklanan Hava Kirliliği Üzerine Jeotermal Enerji ve Doğalgaz Kullanımının Etkisi: Afyon Örneği. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(3): 23-30, (2010).
- [4] IEA (International Energy Agency), September 2017. *Key World Energy Statistics*, Paris, France.
- [5] Terhan, M., Çomaklı, K. Baca Gazı Atık Isısı ile Kazan Yakma Havasının Ön Isıtılmasının Fizibilitesi. *Mühendis ve Makina*, 56(668): 56-63, (2015).
- [6] Kara, O., Hürdoğan, E., Kaşka, Ö. (2015). Endüstriyel bir fırının atık ısısının enerji verimliliğine etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 12(4): 95-101.
- [7] Çomaklı, K., Terhan, M. Sıcak su üretimi için baca gazı atık enerjinin kullanımı, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 124: 43-51, (2011).
- [8] Çomaklı, K., Terhan, M., Doğalgaz Yakıtlı Kazandan Çıkan Atık Baca Gazının Ekserji Analizi. *Mühendis ve Makina*, 56(670): 58-64, (2015).
- [9] Yılmaz, O. T., Doğalgazlı ısıtma cihazlarında (kombi) atık gazdan enerji kazanımı sağlayan yeni nesil plakalı rekuperatörün simülasyon tabanlı geliştirilmesi. *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, (2015).
- [10] Adavbiele, A.S., Generation of Electricity from Gasoline Engine Waste Heat. *Journal of Energy Technologies and Policy*, 3(5): 3-16, (2013).
- [11] Baskar, P., Seralathan, S., Dipin, D., Thangavel, S., Norman, C. F. I. J. and Arnold, C., Experimental Analysis of Thermoelectric Waste Heat Recovery System Retrofitted to Two Stroke Petrol Engine. *International Journal of Advanced Mechanical Engineering*. 4(1): 9-14, (2014).
- [12] Kılıç, T., Termoelektrik Jeneratörler Kullanılarak Yapılardaki Atık Enerjinin Geri Kazanılması Üzerine Bir Çalışma, *Yüksek Lisans Tezi*, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 79-81, (2010).
- [13] Özkaymak, M., Baş, Ş., Acar, B., Yavuz, C., Boran, K., Tabak, S. A., Varyenli, H.İ., Asal, Ö. (2014). Atık Baca

- Gazı Kullanımı ile Termoelektrik Jeneratörlerde Elektrik Üretiminin Faydalı Kullanımının Deneysel İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C Tasarım ve Teknoloji*, 2(4): 289-298, (2014).
- [14] Kumar, C. R., Sonthalia, A., Goel R., Experimental Study On Waste Heat Recovery From An Internal Combustion Engine Using Thermoelectric Technology. *Thermal Science*, 15(4): 1011-1022, (2011).
- [15] Jadhao, J. S., Thombare, D. G., Review on Exhaust Gas Heat Recovery for I.C. Engine. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 2(12): 93-100, (2013).
- [16] Kunt, M. A., İçten Yanmalı Motor Atık Isılarının Geri Kazanımında Termoelektrik Jeneratörlerin Kullanımı. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(2): 192-203, (2016).
- [17] Baş, Ş., Atık Baca Gazı Kullanımı İle Termoelektrik Jeneratörlerde Elektrik Üretiminin Faydalı Kullanımının Deneysel İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 36-39, (2014).
- [18] Yumurtacı, Z., Dönmez, A.H. (2013). Konutlarda Enerji Verimliliği. *Mühendis ve Makina*, 54(637): 38-43, (2013).