

## **Benzinli Bir Motorda Egzoz Gazı Isı Enerjisinden Termoelektrik Jeneratörü ile Elektrik Enerjisi Üretimi**

İlker TEMİZER<sup>1,\*</sup>, Tahsin YÜKSEL<sup>2</sup>, İbrahim CAN<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Cumhuriyet Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Sivas, Türkiye

\* [ilktemizer@gmail.com](mailto:ilktemizer@gmail.com)

### **ÖZET**

*Motorlarda egzoz sistemine dayalı atık enerji geri kazanımlı bir sistemin kurulması halinde enerjinin sürekliliği sağlanacak ve çevresel boyutta sera gazı salınımları azaltılacaktır. Bu doğrultuda termoelektrik jeneratörlerin ürettiği elektrik enerjisi ile alternatörlerin ürettiği enerjinin bir bölümünü karşılayabilecek etkiye sahip olabileceğine inanılmaktadır. Termoelektrik, sıvı ya da katı maddelerin sıcaklıklarına bağlı olarak malzemeler üzerinde oluşan elektriksel potansiyeli inceleyen bilim dalıdır. Aynı zamanda termoelektrik, ısı enerjisinin elektrik enerjisine veya elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümüdür. Bu çalışmada, alüminyum 6061 yapıdan oluşturulan yapı üzerine yerleştirilmiş 20 adet termoelektrik modülün elektriksel olarak seri bağlandığı bir prototip, termoelektrik jeneratör çalışma prensiplerine uygun olarak geliştirilmiştir. Motor 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 2250 ve 2500 dak<sup>1</sup> devirlerde çalıştırıldı. Termoelektrik modüllerin performansı, farklı motor devirlerinde oluşan sıcak ve soğuk yüzey sıcaklıkları gibi parametreler kullanılarak değerlendirildi. Termoelektrik jeneratör sistemleri atık ısı dönüşüm uygulamalarında kullanılırlar. Termoelektrik jeneratörü (TEJ) oluşturan her bir modül 56 mmx56 mm yüzey uzunluklarına ve 5 mm kalınlığa sahiptir. Termoelektrik jeneratör termoelektrik modüller (TEM), egzoz gazı akış hattı ve soğutma suyu akışını düzenleyen kanallardan oluşmaktadır. Çalışmada, farklı çalışma şartları altında egzoz gazlarının termoelektrik jeneratöre giriş sıcaklığı ve akış hızı ölçüldü. Motor egzoz sistemine bağlanan termoelektrik jeneratör sisteminin ürettiği elektrik enerjisi hesaplandı. Bütün testler sonucunda, sistemin maksimum elektriksel çıkış gücü 39.27 W olarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda, bu sistemin içten yanmalı benzinli motor üzerindeki etkisi araştırıldı.*

**Anahtar kelimeler:** Atık Isı Enerjisi, Benzinli Motor, Termoelektrik

## **Generation of Electric Energy with Thermoelectric Generator from Exhaust Gas Heat Energy in a Gasoline Engine**

### **ABSTRACT**

*In case of establishing a waste energy recovery system based on exhaust system in engine, the continuity of the energy will be provided and the emissions of greenhouse gases in the environmental dimension will be reduced. Hence, it has been believed that the electrical energy produced by thermoelectric generators may have an important effect to meet a part of the energy produced by alternators. Thermoelectric is the science that examines the electrical potential that is composed on the materials due to the temperatures of the liquid or solid materials. Also, thermoelectric is the transformation of the temperature energy into electrical energy or electrical energy into temperature energy. In this study, a prototype which electric connection of the 20-piece thermoelectric modules (TEM) mounted on the structure made from Aluminium 6061 material was been developed for the working principle suitable to the thermoelectric generator systems. The engine was operated 1000, 1250, 1500, 1750, 2000,*

*2250 ve 2500 rpm. The performance of the thermoelectric modules is evaluated using the operating parameters such as the hot and cold junction temperatures in terms of different engine speed. Thermoelectric generators (TEG) are used in waste heat recovery application. Each module which is form the thermoelectric generator a surface area of 56 mm x 56 mm and a thickness of 5 mm. TEG was constructed by exhaust gas and coolant channels, the TEMs. In study was measured mass flow rate, and TEG inlet temperatures of the exhaust gas under various engine operating conditions. The electric energy generated of the thermoelectric generator system which connected to the engine exhaust system was calculated. After all testing, the maximum elektrical power output of the system was 39.27 W. Also, the effect of this system on the internal combustion gasoline engine was investigated.*

**Key words: Waste Heat Energy, Gasoline Engine, Thermoelectric**

## GİRİŞ

Günümüzde mevcut enerji kaynaklarının artan enerji ihtiyacı ile birlikte sürekli tükenmesi ve çevre üzerinde bırakmış olduğu tahribat ülkeleri ve bilim dünyasını harekete geçirmiştir. Teknolojinin gelişimine paralel olarak enerji ihtiyacının artması beraberinde yeni ve alternatif enerji kaynaklarına olan ilgiyi de arttırmıştır. Aynı zamanda mevcut enerji kaynaklarının verimli ve etkili bir biçimde kullanılması da bu noktada çok önemlidir. Atıl durumda büyük bir enerji potansiyeline sahip sistemlerin faydalı enerji kaynaklarına dönüşümü ülkelerin enerji maliyetlerini düşürebildiği gibi dışa bağımlılığı da azaltabilecek bir formüle sahiptir. Özellikle, içten yanmalı motorlarda yakıtın yanması sonucu oluşan ısı enerjisi belirli oranlarda efektif güç haline dönüşebilmektedir. Egzoz sistemlerinin sahip olduğu enerji potansiyeli son derece önemlidir. Bu sistemlerin dönüştürülebilir olması taşıtların ihtiyaç duyduğu enerji yoğunluğunu azaltarak, zararlı egzoz emisyon ürünlerinin oluşmasının önüne geçebilir. Bu dönüşüm olayını taşıtlarda termoelektrik sistemlerle gerçekleştirebilmek mümkündür. Termoelektrik sıcaklık farkının elektriğe dönüşümü veya bu olayın tersi işlemi olarak tanımlanır. Sıcaklık etkisiyle elektrik enerjisi oluşumu Seebeck Etkisi olarak bilinir. Sıcaklık farkında iki metal ya da yarı iletken arasında termoelektrik voltaj fark oluşmaktadır. Termoelektrik dönüştürücüler p ve n tipi yarı iletkenlerden oluşur (Temizer ve İlkılıç, 2016).

Seebeck katsayısı malzeme özelliğidir ve her malzemenin farklı bir katsayısı değeri vardır. Malzemelerin iki farklı ucu için fark sıcaklığı olduğu anda sıcak tarafta daha çok elektron fermi enerji seviyesini geçebilecek enerjiye sahip olacaktır. Bu enerji seviyesini aşan, serbest halde dolaşabilen yüksek enerjili elektronlar malzemenin içerisinde yayılımı gösterecekler ve net elektron yayılımı sıcak kısımdan soğuk olan kısma doğru olacaktır. Bu olay malzeme içinde yerleşik bir voltaj farkı oluşması anlamına gelmektedir. Malzemede oluşan bu voltaj farkı malzemenin voltaj farkını vermektedir. Verimli bir termoelektrik etki oluşturmak için Seebeck katsayısı mümkün oldukça büyük olmalıdır. Bazı malzemelerde enerji ile birlikte örgü titreşimleri artar. Bu örgü titreşimleri elektronların ortalama serbest yolunun büyüklüğünü, yayılımını ters yönde etkileyebilir ve bazı iletkenlerde elektron yayılımı yönü soğuktan sığa doğru olabilir. Bu durumda Seebeck katsayısı negatif olacaktır. P ve n tipi yarı iletkenlerin yük taşıyıcı yoğunlukları üstünde katkıya yoluyla bazı değişiklikler yapmak mümkündür. Elektron yoğunluğunun artması, beraberinde elektriksel iletkenliğin de artmasını sağlamaktadır. Fakat katkıya yoluyla yük taşıyıcı yoğunluğunu arttırmak Seebeck katsayısında düşüşe neden olabilir. Ayrıca değişen sıcaklık değerlerinin de malzemenin Seebeck katsayısı üzerinde etkilidir. Bu değerler Tablo 1’de gösterilmektedir (Jaegle, 2007).

Tablo 1. Farklı sıcaklıklarda Seebeck Katsayısı

Sıcaklık (°C) P-tipi	Seebeck Katsayısı (V K <sup>-1</sup> ) P-tipi	Sıcaklık (°C) N-type	Seebeck Katsayısı (V K <sup>-1</sup> ) N-tipi
150	0,000125	150	-0,000125
200	0,00017	200	-0,00017
250	0,0002	250	-0,0002
300	0,000218	300	-0,000218
350	0,000225	350	-0,000225

Seebeck olayı süresince sisteme giren ısı yarı iletkenler içindeki elektronların bir kısmının enerji düzeyini artırır. Daha yüksek enerji düzeyindeki elektronlar yarı iletkenin kristal yapısında hareket edecek şekilde serbest kalırlar. Elektronlar serbest kaldıkça, kristalde bir boşluk (deşik) bırakırlar. Düşük enerjili elektronlar, materyalin içinde serbestçe harekete geçememelerine rağmen bir boşluktan sıçrayabilir. Bu şekilde boşluklar yarı iletken materyal içinde yer değiştirebilir (Ünsaç, 2010). Şekil 1’de TEM yapısının genel görünümü verilmektedir.



Şekil 1. Termoelektrik Modül (TEM) içyapısı

Termoelektrik sistemlerdeki dönüşüm verimliliği doğrudan ısı transfer oranı ile ilişkilidir. Bu nedenle farklı ısı değiştirgeçlerinin yada farklı soğutucuların kullanılması bu sistemlerden elde edilen gücün artmasına neden olur (Demir ve Dinçer, 2017). Yapılan önceki çalışmalarda TEJ sistemlerinin tasarım optimizasyonu üzerinde temelde odaklandı (Najafi ve ark., 2011; Abouzar ve Hajmohammadi, 2012; Hajmohammadi ve ark., 2013; Hajmohammadi ve ark., 2014; Kim ve ark., 2016). Atık enerji geri kazanım sistemi olan TEJ’ler, askeri alanlarda jeotermal enerji uygulamalarında, güç santrallerinde, uzay uygulamalarında ve araç sistemleri gibi birçok alanda kullanımı genişletir (Champier ve ark., 2011; Cran ve ark., 2013; Viklund ve Johansson, 2014; Faraji, 2015). Sistem tasarımında egzoz gaz kanalında ısı transferi mutlaka dikkat edilmesi gereken unsurlardan biridir. Egzoz gaz akışını bozan kompleks geometri yapılar borularda geri basınç potansiyelini artırırlar (Rezania ve Rosendahl 2015, Karri and Thacher 2011, Chen ve ark., 2011). Motorlarda egzoz kanalı içerisinde oluşabilecek geri basınç motordaki yanma olayı etkileyebildiği gibi motorun yakıt tüketiminin artmasına da neden olur. Bu nedenle basit geometrilere sahip kanatçık yüzeylerinin kullanılması gerekir (Kim ve Kim, 2009). Egzoz sistemi boyunca egzoz gazlarının akışı için gerek olan güç motor üfleme gücü olarak bilinir. Bu güç motor tarafından sağlanır. Değişen üfleme gücü egzoz gazı geri basıncı tarafından değişmektedir.

$$\Delta Pb = k_e \frac{m_e^3}{Qe^2} - k_0 \frac{m_{e,0}^3}{Q_{e,0}^2} \quad (1)$$

Burada Q egzoz gaz yoğunluğu,  $k_e$  egzoz sisteminde kayıpları içeren egzoz kayıp katsayısı,  $m_e$  egzoz gazlarının kütleli akış oranı, Pb basınç düşüşünü ifade etmektedir (Karrı, 2011). Termoelektrik sistemlerin aynı zamanda hibrit bir güç santrali oluşturabileceğini Zhu ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında göstermiştir (Zhu ve ark., 2016). Bir başka çalışma yine enerji kaynağı olarak güneşin termoelektrik jeneratörde uygulanabileceğini göstermekte (Sudharshan ve ark., 2016; Ming ve ark., 2015). Bu alandaki yenilikçi çalışmalardan bir kısmı ise termoelektrik materyaller alanında yapılmaktadır. Farklı termoelektrik materyallerin termoeleman verimleri üzerinde etkili olduğu yapılan bir başka çalışmada ispatlanmıştır (Gou ve ark., 2010). Fark sıcaklıklarına bağlı olarak üretilen enerji miktarının kıyaslandığı bir başka çalışmada aynı zamanda farklı elektriksel yüklerin üretilen elektrik enerjisi miktarına katkısı incelenmiştir. Bu amaçla yapılan bir başka çalışmada soğutucu akışkan olarak hava ve su kullanılmıştır. Soğutucu kanal içerisinde akışkan olarak hava kullanımı ile basınç düşüşünün su akışkanının kullanımına kıyasla daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Du ve ark., 2015). Bu çalışmada, elektriksel olarak seri bağlı 20 adet termoelektrik modüllerden oluşan bir jeneratörün etkinliği üzerinde durulmuştur. İlk olarak egzoz gaz akışını bozmayacak kademeli giriş ve çıkış imkanı sağlayan prototip üretilmiştir. Üretilen prototip egzoz sistemine entegre edilmiştir. Benzinli bir motorda sabit soğutucu sıcaklığı altında TEM'lerin performansı test edilerek egzoz gazı enerjisinin sistem üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

Deneyler tek silindirli 4 zamanlı Loncin Marka benzinli motorunda gerçekleştirilmiştir. Deneyler yük altında 7 farklı motor devirde yapılmıştır. Motorun yüklemesi Baturalp Taylan Marka motor dinamometre yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Tablo 2'de deney motorunun teknik özellikleri görülmektedir.

Tablo 2. Deney motorunun teknik özellikleri

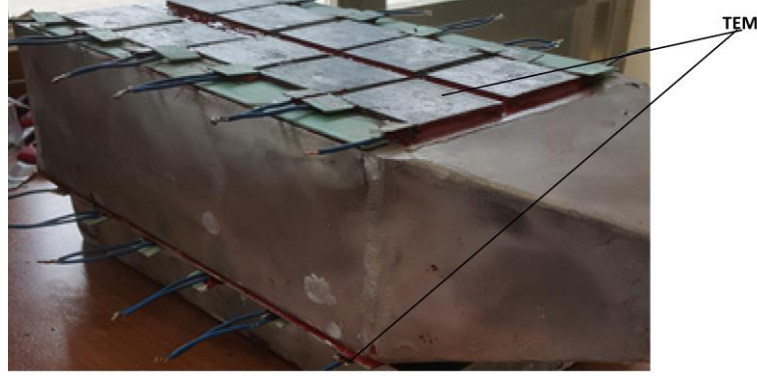
<b>Motor modeli</b>	Loncin G420 F
<b>Motor soğutma teknolojisi</b>	Hava soğutmalı
<b>Silindir sayısı</b>	1
<b>Motor Hacmi</b>	420 cc
<b>Maksimum Güç</b>	3600 dev/dak, 8.5 kW
<b>Sıkıştırma oranı</b>	8.3:1

Benzinli motor 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 2250 ve 2500  $\text{dak}^{-1}$  devirlerde, tam gaz keleşi açıklığında çalıştırılmıştır. Deneylerde egzoz gazının hız değerleri PCE-PFM-2 cihazı yardımıyla ölçülmüştür. Motorun farklı çalışma şartlarında TEJ sisteminin ürettiği elektrik enerjisinin tespiti için 2 çeşit multimetre kullanılmıştır. Ayrıca elektrik üreten TEM'lerin çalışma sıcaklık aralıkları k tipi termokupl yardımıyla kaydedilmiştir.

## Sistem Tasarımı

Termoelektrik jeneratör sistemlerinin tanımına uygun olarak üretilen sistemlerde aranan en önemli özellikler işlenebilir özelliği, hafif olması, korozyon dayanımı, ısı iletim katsayısının yüksek oluşu ve iyi kaynak edilebilmesidir. Bu nedenle çoğu endüstride kullanılan Alüminyum 6061 malzemesi bizimde bu çalışmamızda kullanılmıştır. MIG

kaynağı kullanılarak dikdörtgen yapıda oluşturulan bu sistemde iki adet soğutma bloğu sisteme bağlanmıştır. Sistemin ölçütleri Tablo 3’de görülmektedir. Akış yapısına uygun iki adet lüle egzoz gazlarının kademeli giriş ve çıkış yapmasını sağlamak için tasarlanmıştır. Ayrıca egzoz gazlarından daha fazla yararlanmak adına egzoz gaz akışını en az etkileyebilecek kanatçık sistemi tasarlanmıştır. Sistemde egzoz akış yönüne paralel yerleştirilen kanatçıklar 2 mm kalınlığa sahip olup alüminyum malzemeden oluşmaktadır. Sistemde sıcak yüzeyi egzoz gazlarının geçiş yaptığı kanal gerçekleştirirken, soğuk yüzeyi ise iki adet soğutma kanalı sağlamaktadır. Soğutma suyu sisteme bütün çalışma şartlarında 0.9 m/sn hızda ve 15 °C sıcaklıkta girmiştir. Sistemde atık ısı enerjisini elektrik enerjisine çevirecek 20 adet TEM kullanılmıştır. Şekil 2’de TEM’ler görülmektedir.



Şekil 2. Elektriksel olarak seri bağlı TEM’ler

Tablo 3. TEJ sistemi ölçütleri

Sistem Elemanları	Özellikler
Lüleler	Uzunluk:120 mm, Daralan kesit dış çapı:45 mm, Geniş kesit Yükseklik:100 mm, Et kalınlığı: 2mm
Dikdörtgen yapı	Uzunluk: 340 mm, Yükseklik: 100 mm, Genişlik 185 mm, Et kalınlığı: 2mm
Soğutucu Kanal	Uzunluk: 340 mm, Yükseklik: 35 mm, Genişlik: 185 mm, Et kalınlığı 15mm, Su giriş ve çıkış çapı: 20 mm
TEM	56 mm x 56 mm x 5 mm

Sistemde kullanılan bir başka yapı ise DC/DC dönüştürücülerdir. Bu dönüştürücüler, güç dönüştürücülerinin bir sınıfı olup voltaj seviyelerini belirlemede önemli bir rol oynamaktadırlar. Modern elektronik sistemlerde bu dönüştürücülere güç kaynaklarından belirli bir voltajı dönüştürmek için ihtiyaç duyulmuştur. Aynı zamanda bu dönüştürücüler çıkış gerilimlerini de düzenlemiş olurlar. Otomotiv uygulamalarında TEJ kullanımları için, bu dönüştürücüler TEJ tarafından beslenen gerilimin artırılması ya da azaltılması amacıyla kullanılabilir. Aynı zamanda elektriksel dalgalanmaların önüne geçilerek daha stabil değerlerde elektriğin kullanımına müsaade eder. SD 1000 -12 serisi modeline sahip konvertör için giriş voltaj sınırı maksimum 72 V maksimum çıkış voltajı ise 60 A ‘dir. Bütün modüller kendi aralarında elektriksel olarak seri bağlı olup, DC/DC konvertöre bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Üretilen elektrik enerjisinin miktarının tespit edilebilmesi için DC/DC konvertör çıkışına elektrikli bir araç fanı yerleştirilmiştir. Amaç farklı akım değerlerinde çalışabilecek elektrikli bir alıcıyı kullanarak sistemde üretilen elektrik enerjini tespit etmektir. Ayrıca TEM’lerin yüzeylerle birleşimi esnasında oluşabilecek mikropkobik boşlukları engellemek için her iki yüzeyine termal macun sürülmüştür. Bu uygulama ile aynı zamanda

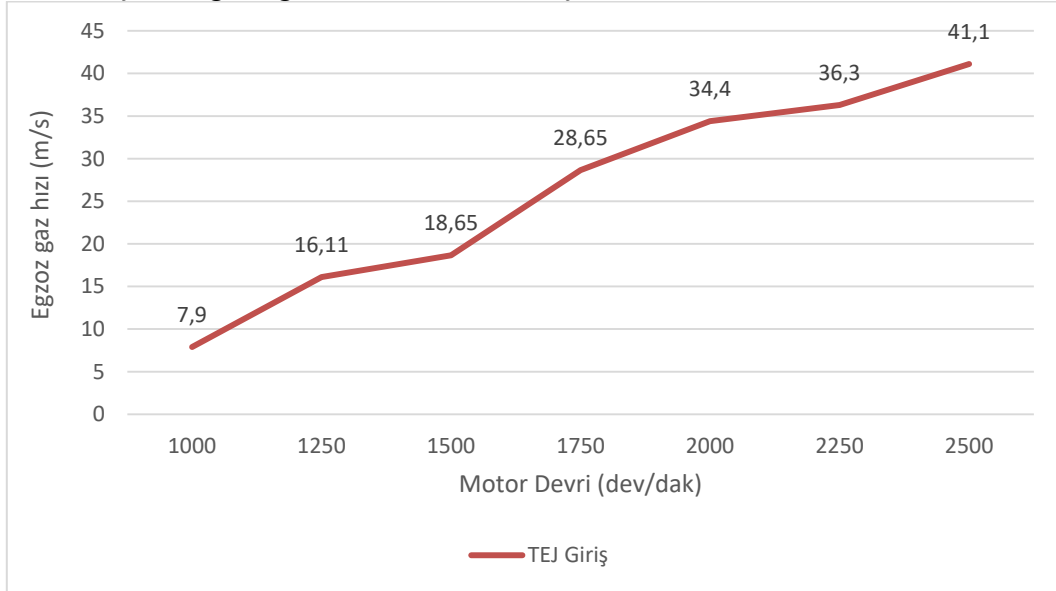
TEM 'lerin tüm yüzeylerindeki ısının uniform dağılması sağlanacaktır. Çalışmada kullanılan deney düzeneği Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Deney düzeneği

### DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

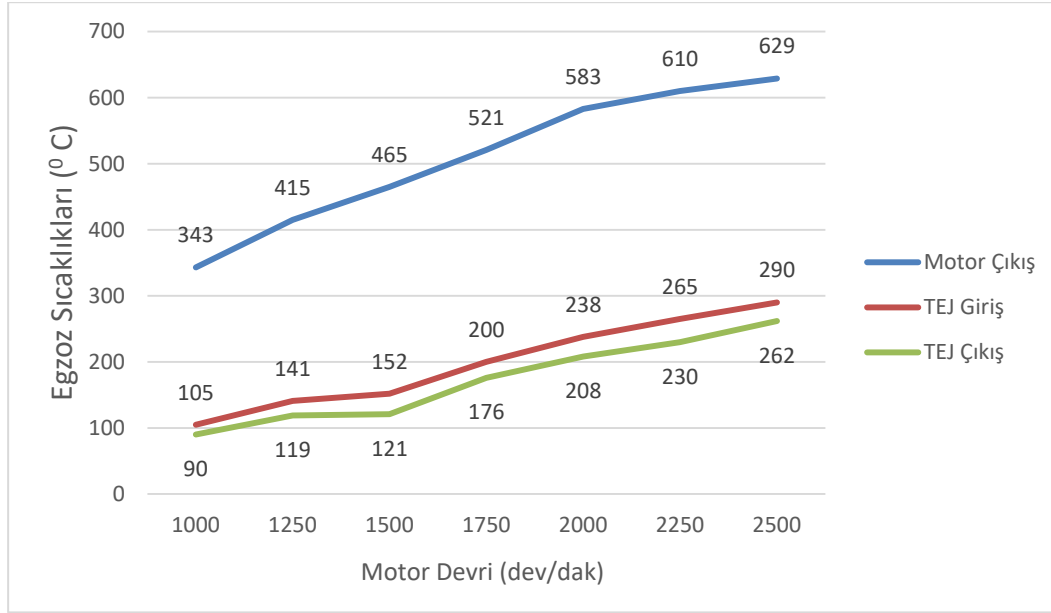
Motor egzoz sistemine bağlantısı yapılan deneylerde iki farklı yöntem seçilmiştir. İlk olarak motor, egzoz sisteminde herhangi bir modifikasyon yapılmadan farklı devirlerde çalıştırılmıştır. Daha sonra egzoz sistemine TEJ bağlanarak ölçümler farklı motor devirlerinde yapılmıştır. Her bir devir için TEJ sistem üzerindeki değişimler kayıt altına alınmıştır. Benzinli motorlarda silindir içerisine alınan hava/yakıt karışımı bujinin ateşleme olayını başlatmasıyla birlikte tutuşmaya başlar. Basınç ve sıcaklığı aniden yükselen yanmış gazlar egzoz supabının açılmasıyla birlikte silindirleri terk eder. Egzoz sistemi yardımıyla sistemi terk eden gazlar belirli bir enerji potansiyeline sahiptirler. Bunun en güzel örneklerinden biri egzoz gazlarının sahip oldukları hız değerleridir. Şekil 4'de görüldüğü gibi motorun farklı devirlerinde ölçülen egzoz gaz hızları elde edilmiştir.



Şekil 4. Motorun farklı devirlerinde ölçülen egzoz gaz hızları

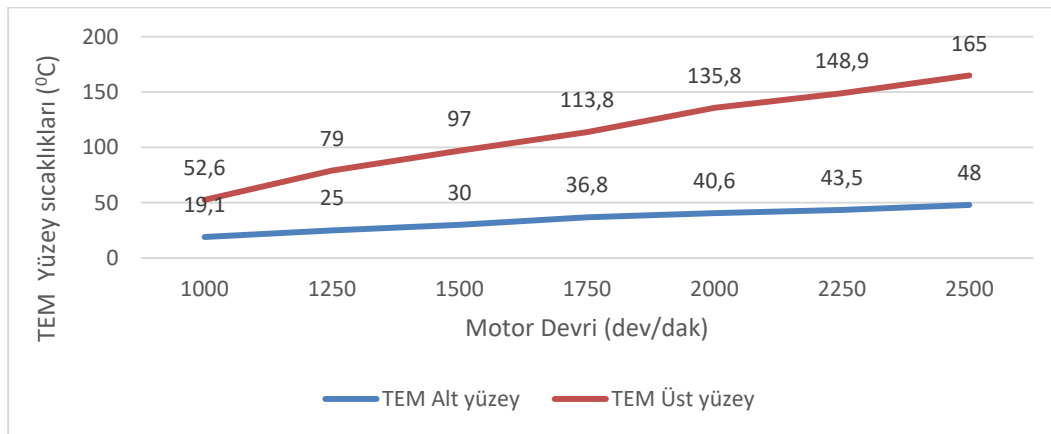
Egzoz gaz sıcaklığı ve hızındaki artış TEM yüzey sıcaklıklarında motor devri ile paralellik göstermiştir. Motorda devir sayısının artması silindir içerisine birim zamanda gönderilen yakıt miktarı artar. Motorda meydana gelen yanma hızı aynı zamanda egzoz gaz akış hızını belirler. Belirli bir ısı ve kinetik enerjiye sahip olan gazlar egzoz sistemi boyunca ilerleyerek TEJ

sistemine giriş yapmıştır. Egzoz gazların sahip olduğu bu potansiyel sistem içerisinde bir takım kayıplara uğramaktadır. Bunlardan biri Şekil 5’de görüldüğü gibi soğuma etkisidir. Gerek TEJ cidarları, gerekse TEJ soğutma sistemi egzoz gazlarının giriş ve çıkış sıcaklıklarının azalmasında büyük bir etkiye sahip olduğu düşünülmektedir.



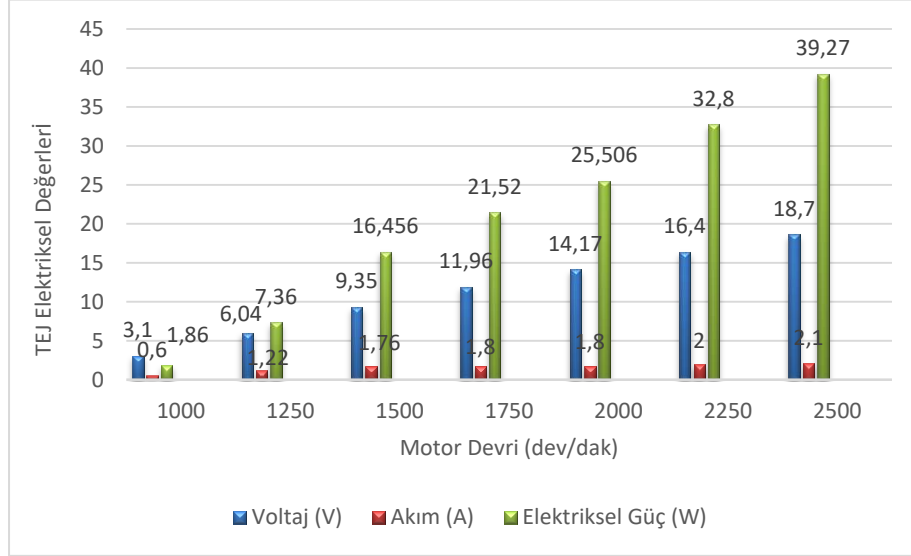
Şekil 5. Ölçülen egzoz sıcaklık değerleri

Şekil 5 benzinli bir motorun egzoz manifoldunda, TEJ giriş ve çıkışındaki oluşan egzoz gaz sıcaklıklarını göstermektedir. Şekil incelendiğinde manifold çıkışında egzoz gazlarının sahip olduğu sıcaklık değerleri TEJ girişine kadar yaklaşık 238 K ile 339 K arasında bir azalmaya maruz kalmıştır. Bu nedenle TEJ sistemlerinin motor egzoz sistemleri üzerindeki konumunun optimum sınırlar içerisinde olması gerekir. Nitekim TEM’lerin maksimum çalışma sıcaklıkları 300-320 °C’dir. Ayrıca, TEM’lerin bütün çalışma şartlarında yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Şekil 6’da ölçülen yüzey sıcaklıkları sistem girişinde ilk sırada yer alan TEM’e aittir. TEM alt ve üst yüzeylerine yerleştirilen termokupl yardımıyla her bir çalışma sıcaklığı kayıt altına alınmıştır. Özellikle motor devrindeki artış ile paralel olarak sıcaklık farkının da arttığı görülmektedir. Bu artış aynı zamanda TEM’lerde üretilen elektriğin sayısal büyüklüğüne de yansıdığını söyleyebiliriz. Birim zamanda motora alınan yakıt miktarındaki artış hem yanma hızını hem de yanma sonu sıcaklıklarını arttırmaktadır. Egzoz gaz sıcaklık ve hız değerlerindeki artış TEM yüzey sıcaklıklarını da arttırmıştır.



Şekil 6. TEM alt ve üst yüzey sıcaklıkları

TEM yüzeylerinde elde edilen fark sıcaklıklarına bağlı olarak sistem tarafından üretilen elektrik enerjisi değerleri Şekil 7’de görülmektedir. Deney sonuçları incelendiğinde motor devri ile üretilen elektriksel voltaj değeri paralel bir artış eğilimi dikkat çekmiştir. Tam yükte ve 1000, 1200, 1500, 1750, 2000, 2250 ve 2500  $\text{dak}^{-1}$  motor devirlerinde 20 adet modülden üretilen toplam voltaj değeri sırasıyla 3.1, 6.04, 9.35, 11.96, 14.17, 16.4 ve 18.7 V olarak kaydedilmiştir. Bu ölçümler DC/DC konvertör ile TEJ arasında ölçülen değerlerdir. Maksimum devre akımı ise sırasıyla 0.6, 1.22, 1.76, 1.8, 1.8, 2 ve 2.1 A (Amper) olarak ölçülmüştür. Üretilen enerji ile elektrikli bir araç fanı çalıştırılmıştır



Şekil 7. TEJ sistemi tarafından üretilen elektriksel büyüklükler

Egzoz gazlarının sahip olduğu enerji potansiyelinin motor devir sayısı ile birlikte artması, sistemden elde edilen enerjinin miktarını da arttırmaktadır. En fazla üretilen enerji sıcaklık farkının en fazla olduğu 2500 dev/dak ‘da elde edilmiştir. Elektriksel olarak birbirine seri bağlı modüllerde sistem performansı motorun düşük devirlerinde düşük olmaktadır. Birtakım kayıplar TEM’lerin performansında etkili olduğu düşünülmektedir. Termal macun kullanımı ile mikropkobik boşlukların mümkün olduğunca azalması, ısı kayıplarının düşürülmesi, daha etkin soğutucu akışkanların kullanımı şüphesiz sistemin performansını arttıracaktır.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı, TEKNO.004 No’lu proje kapsamında maddi olarak destekleyen CÜBAP’a ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

### SONUÇLAR

Çalışmada, benzinli bir motorun egzoz sistemine montajı yapılan TEJ sistemi ile atık ısı enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmüştür. Aynı zamanda deneysel ve sayısal analizler kıyaslanmıştır. Motorun farklı şartlarda çalışması durumunda TEJ sistemi üzerindeki etkileri ile TEJ sisteminin motor üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Egzoz sistemine TEJ bağlı iken birde TEJ bağlanmadan gerçekleştirilen deney sonuçları incelendiğinde, TEJ’in motorda yanma üzerinde etkisi çok düşüktür. 20 adet TEM kullanılan çalışmada 2500 motor devrinde maksimum 39,27 W ‘lık bir elektrik enerjisi üretilmiştir. TEM’lerde dönüşüm etkinliği ve ısı kayıpları dikkate alınmalıdır. Elde edilen bu enerji taşıtın bütün elektrik enerjisinin karşılanmasında yeterli olmayabilir. Ancak enerjinin sürekliliği ve taşıt alternatör yükünü hafifleteceği, zararlı egzoz gazları salınımını azaltarak motor performansını iyileştireceği düşünülmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda, araç balata-disk veya radyatör sistemleri gibi atıl durumda olan ısı enerjisinin kullanımının mümkün olabileceği bu çalışma ile ispatlanmıştır.



## KAYNAKLAR

- Abouzar, P. Hajmohammadi, MR. Sadegh, P. (2012) Investigations on the internal shape of constructal cavities intruding a heat generating body. *Therm Sci*;00:164. 164-164.
- Champier, D. Bedecarrats, JP. Kousksou, T. Rivaletto, M. Strub, F. Pignolet, P.(2011). Study of a TE (thermoelectric) generator incorporated in a multifunction wood stove. *Energy*;36:1518–26.
- Chen, M. Rosendahl, L.A. Condra, T. A. (2011). Three-dimensional numerical model of thermoelectric generators in fluid power systems. *Int J Heat Mass Transf*;54:345–55.
- Cran, D. LaGrandeur, J. Jovovic, V. Ranalli, M. Addinger, M. Poliquin, E.E. et al. (2013). TEJ on-vehicle performance and model validation and what it means for further TEJ development. *J Electron Mater*;42:1582–91
- Demir, M E. Dincer, I. (2017). Development of an inTEJrated hybrid solar thermal power system with thermoelectric generator for desalination and power production, *Desalination* 404 59–71.
- Du, Q. et all, (2015). Effect of cooling design on the characteristics and performance of thermoelectric generator used for internal combustion engine, *Energy Conversion and Management*, 101 9–18.
- Faraji, A. Goldsmid, H.J. Dixon, C. Akbarzade, (2015). A. Exploring the prospects of thermoelectric power generation in conjunction with a water heating system. *Energy*;90:1569–74.
- Gou, X. Heng, X. Yang, S. (2010). Modeling, experimental study and optimization on low-temperature waste heat thermoelectric generator system. *Appl Energy*;87:3131–6.
- Hajmohammadi, MR. Campo, A. Nourazar, SS. Ostad, AM. (2013). Improvement of forced convection cooling due to the attachment of heat sources to a conducting thick plate. *J Heat Transfer Trans*;135:124504-1.
- Hajmohammadi, MR. Moulod, M. Shariatzadeh, O. (2014). Effects of a thick plate on the excess temperature of iso-heat flux heat sources cooled by laminar forced convection flow: conjugate analysis. *Numer Heat Tran, Part A*;2:205–16.
- Jaegle, M. (2007). Multiphysics simulation of thermoelectric systems, Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques Heidenhofstr, Freiburg.
- Karri, M.A. Thacher, E.F. Helenbrook, B.T. (2011). Exhaust energy conversion by thermoelectric generator: two case studies. *Energy Convers Manage*;52:1596–611.
- Karri, M. A., (2011). Thermoelectric Power Generation System Optimization Studies, Department Of Mechanical And Aeronautical Engineering, Clarkson University.
- Kim, T.Y. Kim, S.J. (2009). Fluid flow and heat transfer characteristics of cross-cut heat sinks. *Int J Heat Mass Transf*;52:5358–70.
- Kim, TY. Negash, AA. Cho, G. (2016). Waste heat recovery of a diesel engine using a thermoelectric generator equipped with customized thermoelectric modules. *Energy Convers Manage*;124:280–6.
- Ming, T. Wu, Y. Peng, C. Tao, Y. (2015). Thermal analysis on a segmented thermoelectric generator. *Energy*;80:388–99
- Najafi, H. Najafi, B. Hoseinpoori, P. (2011). Energy and cost optimization of a plate and fin heat exchanger using genetic algorithm. *Appl Therm Eng*;31:1839–47.
- Rezania, A. Rosendahl, L.A. (2015). A comparison of micro-structured flat-plate and cross-cut heat sinks for thermoelectric generation application. *Energy Convers Manage*,101:73–737
- Sudharshan, K.Y. Kumar, V.P. Barshilia, (2016). H.C. Performance evaluation of a thermally concentrated solar thermo-electric generator without optical concentration. *Sol Energy Mater Sol Cells*;157:93–100.
- Temizer, İ. İlkılıç, C. (2016). The performance and analysis of the thermoelectric generator system used in diesel engines, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63.
- Ünsaç, A. (2010). Kriyojenik isi değiştiricisinde termoelektrik jeneratör uygulaması ve karakterizasyonu, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknolojisi, İstanbul.
- Viklund, S.B. Johansson, MT.(2014). Technologies for utilization of industrial excess heat: potentials for energy recovery and CO<sub>2</sub> emission reduction. *Energy Converse Manage*;77:369–79.
- Zhu,W. Deng,Y. Wang, Y. Shen, S. Gulfam R. (2016). High-performance photovoltaicthermoelectric hybrid power generation system with optimized thermal management. *Energy*;100:91–101.