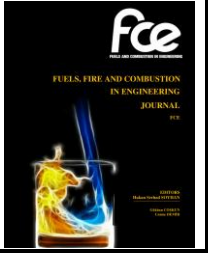
	ULUSLARARASI YAKITLAR, YANMA VE YANGIN DERGİSİ <i>FUELS, FIRE AND COMBUSTION IN ENGINEERING JOURNAL</i>		
	ISSN: 2564-6435 Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/fce		
	<u>Geliş/Received:31.12.2018</u>		
	<u>Kabul/Accepted:18.01.2019</u>	<u>Doi</u>	

TRAKTÖR EGZUZUNDAN ATILAN ISI ENERJİSİNİN ELEKTRİK ENERJİSİ OLARAK KAZANIMINI SAĞLAYAN TERMOELEKTRİK JENERATÖR

Uğur Recep ŞAHİN^{*1}, Gökhan COŞKUN², Hakan Serhad SOYHAN³

ÖZET

Günümüzde insan nüfusunun hızla artmasıyla enerjiye olan talep de her geçen gün artmaktadır. Bu taleplere bağlı olarak enerji maliyetlerinin hızlı bir şekilde yükselmesi ve değişen iklim koşulları gibi nedenler ülkeler açısından önemli problemlere yol açmaktadır. Özellikle ülkemizde, enerji üretimini çeşitlendirebilmek ve kendi enerji ihtiyacımızı kendimiz karşılayabilmek için yenilenebilir enerji, atık ısı enerjisinin geri kazanımı vb. birçok alanda teşvikler olmaktadır. Bu kapsamda hazırlanan çalışmada, bir traktör egzozundan hiç kullanılmadan doğaya bırakılan atık ısı enerjisinin geri kazanımını sağlayarak temiz, ucuz ve verimli bir enerji üretimini sağlayacak termoelektrik jeneratör tasarımı yapılmıştır. Öncelikle sistem parametreleri belirlenerek matematiksel bir model oluşturulmuştur. Bu modele bağlı olarak uygun tasarım için SolidWorks ve ANSYS Workbench simülasyon programları kullanılmıştır. Bu tasarımda termoelektrik modül, altıgen şeklinde olan bir blok ve kanatlı soğutma ünitesi bulunmaktadır. Tasarımı yapılmış bu modelin ısı-elektrik ve ısı analizleri yapılarak hem elde edilecek akım, gerilim ve güç değerleri incelenmiş hem de yapılan ısı analizle egzoz gazından gelen ısı enerjisinin doğru bir dağılımı olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen akım ve gerilim değerlerini yükseltmek için ayarlanabilir dc-dc voltaj regülatör kartı kullanılmıştır. Yapılan işlemler sonunda modelin şartlara bağlı olarak 200 W elektrik enerjisi üretmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Termoelektrik Jeneratör, Atık Isı Enerjinin Geri Kazanımı, Isı-Elektrik

THERMOELECTRIC GENERATOR PROVIDING GAIN AS ELECTRIC ENERGY FROM THE WASTE HEAT ENERGY OF TRACTOR EXHAUST

ABSTRACT

Today, the demand for energy is increasing each passing day with the rapid increase in human population. Depending these demands, the rapid rise in energy costs and changing climate conditions cause significant problems for countries. Especially in our country, there are incentives in many areas such as renewable energy, waste heat energy recovery in order to diversify energy production and to meet our own energy needs. In this study, thermoelectric generator design has been made to provide a clean, inexpensive and efficient energy production by providing the recovery of waste heat energy left to the nature without using a tractor exhaust. Firstly, a mathematical model was established by determining the system parameters. In addition, SolidWorks and ANSYS Workbench simulation programs are used for appropriate design depending on this model. This model has a thermoelectric power generator peltier module, a hexagonal frame and a wing cooling unit. The thermal, electricity-thermal analyzes of the designed model have been carried out and the current, voltage and power values to be obtained are examined and it has been observed that the thermal energy from the exhaust gas has an accurate distribution. Adjustable DC-DC voltage regulator board is used to increase current and voltage values. At the end of this process, the model is intended to produce 200 W electrical energy depending on the conditions.

Keywords: Thermoelectric Generator, Recovery of Waste Heat Energy. Heat-Electric

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Serdivan/Sakarya ugurrecepsahin@gmail.com

² Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Serdivan/Sakarya gcoskun@sakarya.edu.tr

³ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Serdivan/Sakarya hsoyhan@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde küresel ısınma, artan nüfusla beraber gelen enerji talebinin artması, fosil yakıtlara bağlı olarak artan ekonomik sorunlar ve fosil yakıtların gün geçtikçe azalması gibi sebeplerden dolayı insanoğlu enerji üretiminde farklı yollar aramaya başlamıştır. Özellikle yenilenebilir enerji ve kullanılmadan ortama bırakılan enerjinin geri kazanımı büyük önem kazanmıştır. Örneğin içten yanmalı motorların egzoz yoluyla doğaya bıraktığı egzoz gazının ısı enerjisi kullanılarak verimli bir enerji elde edilebilmektedir. Böylece boşa giden enerji miktarı azaltılarak hem maliyetlerden kazanç sağlayarak enerji ihtiyacı karşılanmış olacak hem de çevreye zarar veren fosil yakıtlara ihtiyaç azaltılmış olacaktır.

Ülkelerin birçoğu için enerji ihtiyacının karşılanmasının yanında çevre bilincinin sağlanması, varolan verimliliğin artırılması, kullanılan kaynak çeşitliliğinin ve sürekliliğinin sağlanması da hayati derecede önem arz etmektedir [1].

Termoelektrik cihazlar, yapılan işlemler sonucunda ortaya çıkan atık ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme konusunda son derece uygun cihazlardır. Termoelektrik cihazlar yardımıyla belli bir sıcaklık farkı sonucunda Thomas J. Seebeck tarafından keşfedilen Seebeck etkisi yoluyla elektrik potansiyeli üretilir. Ayrıca termoelektrik cihazlar, Peltier etkiyle soğutma veya ısıtma amaçlarında kullanılabilir.

Termoelektrikle ilgili ilk çalışmalar, 1821 yılında Alman bilim adamı Thomas Seebeck tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada farklı iki malzemeden oluşan metallerin içerisinde bulunduğu kapalı bir devrede elektrik akımı dolandırılmış ve kullanılan metallerin iki farklı sıcaklık değerine olan tepkisi gözlenmiştir. Fakat Seebeck yapılan çalışmanın temelini fark etmemiş ve devam eden sıcaklık üretiminin, devrede dolaşan elektrik akımıyla eşit değerde etki yarattığını kabul etmiştir [2].

1834 yılına gelindiğinde Fransız fizikçi Jean Peltier, Seebeck Etkisi üzerine çalıştığı sıralarda elektrik akımının kapalı bir döngüde hareket ederken metallerin birinde ısı enerjini soğurduğunu, diğerinde ise boşalttığını farketmiştir [2].

Fransız fizikçi Jean Peltier'in yapmış olduğu çalışmaların üzerinden belli bir süre geçtikten

sonra William Thomson, Seebeck ve Peltier etkilerini anlatan ve bu iki termoelektrik etkinin birbiriyle olan bağlantısını açıklayan bir bildiri yayınlamıştır [2].

Günümüz çalışmaları incelediğinde, araç teknolojilerinde, jeotermal enerji alanında vb. birçok alanda çalışmalar yapıldığını görülmektedir. Örneğin içten yanmalı dizel bir motorun egzozundan çıkan egzoz gazının ısı enerjisinden faydalanarak elektrik üretimi yapılmıştır. Bu çalışmada akış analizleri yapılmış olup deney ortamında motorun farklı çalışma şartları altında ne kadarlık güç ürettiği incelenmiştir [3].

Bir başka benzer çalışmada termoelektrik sistemler, araç koltuklarının ısıtılması ve soğutulması için kullanılmaktadır. Bu konu üzerine son zamanlarda otomobil firmaları çalışmalar yürütmektedir. Termoelektrik sistemlerden elde edilen temiz enerji doğrudan kullanılabilirdiği gibi depolanarak da kullanılabilir. Termoelektrik sistemler araç egzozlarında kullanılabilirdiği gibi araç içerisinde başka uygulama alanlarında da kullanılabilir. Yapılan çalışmalarda 30, 50 ve 70 km/h hızda yapılan ani frenleme değerlerine bağlı olarak fren sisteminde açığa çıkan ısı enerjisi kullanılarak elektrik enerjisi elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında yapılan deneylerde az miktarda olsa enerjisinin geri kazanımı sağlanmıştır [3].

Termoelektrik sistemler araç egzozlarında kullanılabilirdiği gibi araç içerisinde başka uygulama alanlarında da kullanılabilir. Yapılan çalışmalarda 30, 50 ve 70 km/h hızda yapılan ani frenleme değerlerine bağlı olarak fren sisteminde açığa çıkan ısı enerjisi kullanılarak elektrik enerjisi elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında yapılan deneylerde az miktarda olsa enerjisinin geri kazanımı sağlanmıştır [3].

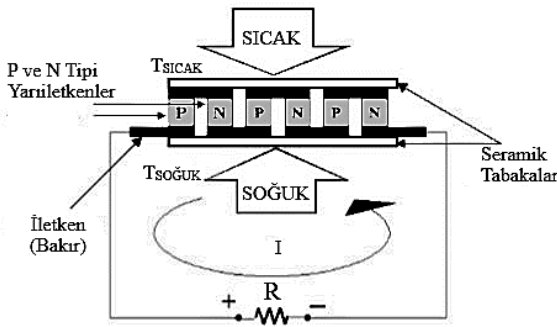
Termoelektrik sistemlerin kullanabileceği başka bir alan olan baca gazından elektrik eldesi ile ilgili de birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada deney düzeneği hazırlanarak, bacadan dışarıya atılan gazın oluşturduğu olumsuz etkileri, oluşan atık ısıdan elektrik enerjisi elde ederek pozitif bir yönde değiştirmek hedeflenmiştir. Sonuç olarak yapılan hesaplamalarda %12,2'lik bir kazanç sağlandığı gözlemlenmiştir [4].

Benzer bir çalışmada da termoelektrik jeneratörün sıcak yüzeyinin atık gaz ile ısıtılması ve soğuk yüzeyinin ise farklı su debilerinde soğutulması işlemi gerçekleştirilmiştir. Sıcak yüzeyin ısıtılmasında evlerde kullanılan sobaların borusundan çıkan atık gaz kullanılarak, sanayi kuruluşlarında meydana gelen atık gazlardan enerji üretiminin yapılabileceği bu temsili düzenek yardımıyla gösterilmiştir [5].

Hazırlanan bu tasarımda bir traktör egzoz sistemine uygun termoelektrik jeneratör tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistem için matematiksel model oluşturularak tasarım parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen parametrelere uygun sistem tasarımı yapılarak ısı analizleri gerçekleştirilmiş ve uygun termoelektrik modüller seçilmiştir. İstenen güç değeri için belirlenen sıcaklık farkının elde edilmesi için termoelektrik modüllerin soğuk yüzeyinde kanatlı ısı alıcıları kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda bir traktörün ve traktör römorkunun elektrik aksamalarının çalıştırılması için gereken gücün elde edilmesi amaçlanmıştır.

2. TERMOELEKTRİK JENERATÖRLER

Termoelektrik jeneratörler, iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkına bağlı olarak doğru akım üretebilen termoelektrik elemanlardır. Bu termoelektrik elemanlar sayesinde sıcaklık farkının bulunduğu bütün alanlarda kolaylıkla elektrik enerjisi elde edilebilir. İki farklı metalden oluşan kapalı bir devrede, bağlantı noktalarına farklı sıcaklık değerleri etki ederse, bu yüzeyler arasında Joule etkisi, Peltier etkisi ve Seebeck etkisi geçerli olur. Şekil 1'de termoelektrik jeneratörün yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1. Termoelektrik jeneratörün yapısı [7].

Termoelektrik jeneratörler, ortaya çıkan atık ısının yani herhangi bir nedenle ısıya dönüşen enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Böylece atık olarak boşa giden enerji israfının önüne geçilmekte ve ortaya çıkan enerji kayıpları en aza indirilmektedir [6].

Termoelektrik jeneratörlerin birçok avantajı vardır. Bunlar;

- Sessiz çalışırlar,
- Güvenilirler,
- Kararlı çalışırlar,
- Basit yapıları,

- Bakım gerektirmezler,
- Hareketli parçaları yoktur,
- Uzun ömürlüdürler,
- Elektrik enerjisini doğrudan elde ederler,
- Sıcaklık kontrolüne izin verirler.

Termoelektrik jeneratörlerin birçok avantajı olduğu gibi dezavantajları da vardır. Termoelektrik jeneratörlerin en büyük dezavantajı, verimlerinin düşük olmasıdır. Termoelektrik jeneratörlerin verimi yaklaşık %5-10 civarındadır.

Termoelektrik jeneratörlerin hem maliyetlerinin kullanılan alanlara göre artması hemde artan maliyetlerine bağlı olarak elde edilen verim miktarının istenen seviyede olmaması uygulandıkları alanların sayısını azaltmaktadır. %5-10 değerinde olan verim miktarı çok düşük olarak düşünülebilir fakat atık ısının geri kazanımından elektrik olarak elde edilen enerjinin kullanılabilir hale getirildiği düşünüldüğünde verim miktarının hiçte az olmadığı görülmektedir [7].

Termoelektrik jeneratörlerin çalışma prensibi Seebeck etkisine dayanmaktadır. Termoelektrik jeneratörler temelinde termoelementlerden oluşan termoelektrik modüller olmaktadır. Bir termoelektrik modül, p ve n tipi yarı iletkenlerin üretilen gerilimi yükseltebilmek için elektriksel olarak seri, ısıl genişlemeyi oluşturabilmek için de seramik plakalarla ısıl olarak paralel bağlanmasıyla oluşturulur. Bir termoelektrik jeneratörün uç kısımlarına elektrik yükü bağlanarak yüzeyleri arasında oluşturulacak olan sıcaklık farkıyla birlikte elektrik gerilimi üretilir ve yükten akım geçişi gerçekleşir. Termoelektrik jeneratörlerin genel anlamda çalışma prensibi budur [7].

3. MATERYAL VE METOT

Yapılan bu çalışmada, kullanılmadan doğaya bırakılan ısı enerjisinin verimli bir şekilde elektrik enerjisine dönüştürerek enerji açığının bir miktar azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda tasarımı yapılan modelin ısı geçişi prensiplerine uygun matematiksel modeli oluşturulmuş ve oluşturulan bu modelin bilgisayar ortamında yani ANSYS Workbench 16.0 yazılım programında bulunan Thermal-Electric ve Thermal modülleri kullanılarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu

analizler sonucu elde edilen akım, gerilim ve güç değerleri belirli sıcaklık şartlarına bağlı olarak kaydedilmiştir.

3.1. Termoelektrik Jeneratör Tasarımında Kullanılan Bağlantılar

Güç üretimini gerçekleştirmek amacıyla tasarlanan bu modelde kullanılan her bir parçanın boyutlarının ve tasarım parametrelerine uygun bir şekilde seçilen malzeme özelliklerinin belirlenmesinde ideal termoelektrik denklemler kullanılmıştır. Bu kapsamda kullanılan ideal termoelektrik denklemler, Seebeck etkiye, Joule ısıya ve iletimle geçen ısıya bağlıdır [8]. Modelin tasarımında kullanılan bu ideal denklemlerin çıkarılması için bazı kabuller yapılmıştır:

- Tasarlanan termoelektrik jeneratörün egzoz üzerine yerleştirildiği bölümden geçen egzoz gazı sıcaklığı 177 °C (450 K)'dir.
- Oluşturulan termoelektrik jeneratörde sıcaklık dağılımı homojen bir şekildedir.
- Termoelektrik modülün soğuk yüzeyi bir ısı alıcısıyla temas etmektedir. Isı alıcısıyla çevre arasında etkileşim konveksiyonel bir biçimdedir.
- Isıl ve elektriksel temas dirençleri ihmal edilmiştir.
- Sıcaklığa bağlı olarak malzeme özellikleri değişmemektedir. Buna bağlı olarak Thomson etki ihmal edilmiştir.
- Termoelektrik modül içerisinde yer alan yarı iletken termoelektrik ayaklar için taşınım ve ışınım ihmal edilmiştir.
- Model içerisinde bağlantı noktaları kusursuz bir şekildedir.

Tasarımda bulunan ve egzoz gazı sıcaklığını istenen şartlarda termoelektrik modülün sıcak yüzeyine iletmek için kullanılan altıgen şeklindeki bloğun ısı iletim katsayısını ve boyutlarını belirlemek için temel ısı geçişi formüllerinden yararlanılmıştır. Egzoz gazından termoelektrik jeneratöre aktarılan ısı,

$$Q = m c \Delta T \quad (W) \quad (1)$$

formülüyle hesaplanmaktadır. Bu formülde kullanılan egzoz gazı termofiziksel özellikleri Tablo 1'deki gibidir.

Tablo 1. Egzoz gazı termofiziksel özellikleri [9].

Sıcaklık (K)	Özgül Isı (c_p) (kJ/kgK)	Yoğunluk (ρ) (kg/m ³)	Isıl İletkenlik (W/mK)
400	1,106	0,912	23,6
450	1,114	0,810	29,1
500	1,126	0,729	35
550	1,140	0,662	36,6
600	1,070	0,607	48

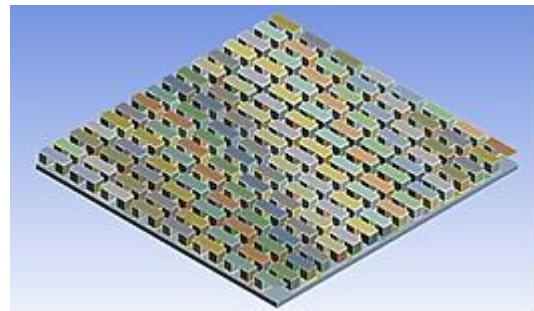
Hesaplanan ısı miktarına göre tasarımın bir bölümü olan altıgen bloğun boyutunu ve kullanılacak malzemenin ısı iletim katsayısını bulabilmek için

$$Q = K \Delta T \quad (W) \quad (2)$$

formülü kullanılmaktadır. Buradaki K toplam ısı iletim katsayısıdır. Birimi W/K'dir. Aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$K = k \frac{A}{L} \quad (W/K) \quad (3)$$

Şekil 2'de iç yapısı gösterilen termoelektrik güç jeneratörü modülünden tasarım parametrelerine ve kabullere bağlı olarak elde edilecek gerilim, akım, direnç ve güç değerleri aşağıdaki bağıntılara göre hesaplanmaktadır.



Şekil 2. Termoelektrik modülün iç yapısı

Gerilim değeri;

$$V = \frac{N S (T_H - T_L)}{\frac{R_L}{R} + 1} \left(\frac{R_L}{R} \right) \quad (\text{V}) \quad (4)$$

İç direnç değeri;

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (\Omega) \quad (5)$$

Akım değeri;

$$I = \frac{S (T_H - T_L)}{R_L + R} \quad (\text{A}) \quad (6)$$

Güç değeri;

$$W = \frac{N S^2 (T_H - T_L)^2}{R} \frac{\frac{R_L}{R}}{\left(1 + \frac{R_L}{R}\right)^2} \quad (\text{W}) \quad (7)$$

Bu bağıntılara göre seçilen termoelektrik güç jeneratörü modülünün verimi aşağıdaki gibidir.

$$\eta = \frac{W}{Q_H} \quad (8)$$

Seçilen termoelektrik modülün performans kriteri (FoM) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{FoM} = \frac{S^2}{\rho k} \quad (1/\text{K}) \quad (9)$$

3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi (FEM) mühendislik alanında birçok uygulamada kullanılan önemli bir çözüm yöntemidir. FEM termal, akış ve elektromanyetik analizler gibi birçok analizde birleşik çözümleme olanaklarını da sağlamaktadır. Ayrıca termal-yapısal, akışkan-yapısal, elektromanyetik-termal, termal-elektrik gibi birleşik fizik yeteneklerinin çözümlemelerini oluşturmaktadır.

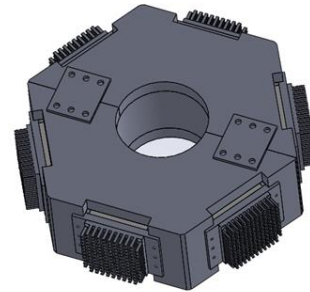
ANSYS analiz programı termoelektrik cihazların tam ve etkili bir şekilde analizine imkan sağlamaktadır. FEM'e göre yapılan analizlerde Joule ısıtma etkisine ek olarak Seebeck, Peltier ve Thomson etkileri de kullanılmaktadır. Bu etkiler,

termoelektrik jeneratör ve termoelektrik soğutucu cihazların analizlerinde kullanılmaktadır [10].

3.3. Termoelektrik Jeneratörün Modellenmesi

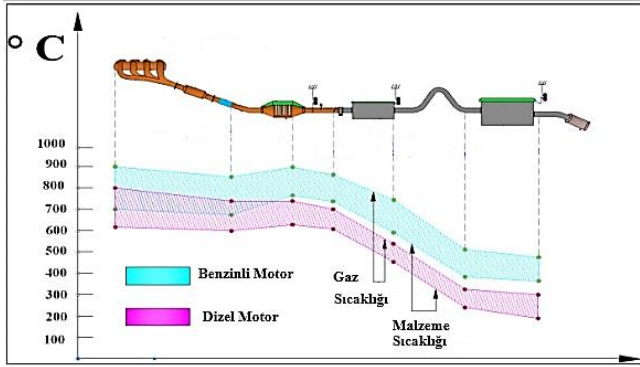
Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte bilgisayar ortamında yapılan simülasyonlar, birçok alanda tasarım yapılmasına olanak sağlamıştır. Bu simülasyon programlarından birisi olan ve bu modelin de tasarlanmasında kullanılan SolidWorks çizim programı kullanım kolaylığı, tasarım etkinliği vb. özelliklere bağlı olarak parçaların tasarlanmasında ve montajında çok fazlaca kullanılan bir programdır. Ayrıca başka bir simülasyon programı olan ve bu projede de parça analizlerinde kullanılan ANSYS Workbench 16.0 programı, FEM tabanlı yazılım ile birleştiğinde sistemlerin tasarlanması ve simülasyonlar üzerinden analizlerinin yapılmasına imkan vermektedir. ANSYS sonlu elemanlar programı çok büyük bir arşive sahip olması ve analiz modüllerinin birbiriyle etkileşim halinde kullanılabilmesinden dolayı çok fazla tercih edilen bir programdır.

Tasarımı bilgisayar ortamında gerçekleştirilen ve bütün ölçüleri bire bir olarak tasarlanan bu model, 1 adet altıgen blok, 6 adet termoelektrik modül, 6 adet ısı alıcısı, 6 adet alüminyum plakadan oluşmaktadır. Ayrıca Şekil 3'te gösterilen modelde termoelektrik modüllerin silikon bölümünün yüksek sıcaklık değerlerinde zarar görmemesi için bir miktar cam yünü, tasarımı yapılmış termoelektrik jeneratörün traktör egzoz sistemine montajını sağlamak ve dış ortamdaki korumak için iki parçadan oluşan dış kasa ve oluşturulan tasarımın bir arada tutulmasını sağlayacak bağlantı elemanları bulunmaktadır.



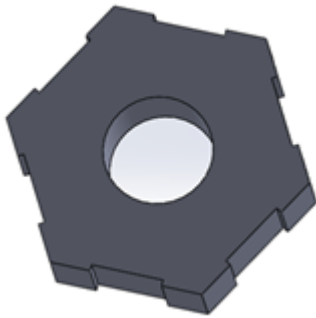
Şekil 3. Termoelektrik jeneratör tasarımı

Araç egzoz sistemlerinde özellikle yoğuşan su moleküllerinden kaynaklanan korozyon etkiye ve yüksek sıcaklık etkilerine dayanıklı olduğu için paslanmaz çelik malzeme kullanımı son derece yaygındır. Şekil 4'te de görüldüğü gibi motordan başlayıp egzoz bölümüne kadar son derece yüksek sıcaklık değerleri etki etmektedir.



Şekil 4. Dizel ve benzinli motorlarda bulunan egzoz sisteminin sıcaklık dağılımı [11].

Böyle bir sisteme uyumlu termoelektrik jeneratör tasarımında oluşabilecek en büyük problemlerden biri yüksek sıcaklık faktörüdür. Çünkü termoelektrik jeneratörde kullanılacak olan termoelektrik modüller belirli sıcaklık değerlerine kadar sağlıklı çalışabilmektedir. Aksi takdirde termoelektrik modüller yanar ve tasarlanan sistem istenen verimi sağlayamaz. Bu kapsamda termoelektrik modüllerin sıcak yüzeyine egzoz gazı sıcaklığından daha düşük bir sıcaklık değerinin etki etmesini sağlamak için ısı iletim katsayısı düşük seramik malzemeden imal edilmiş olan altıgen şekilli bir blok tasarlanmıştır. Şekil 5'te gösterilen bu blok, 18 cm genişliğinde, 4 cm kalınlığında olup Bölüm 3.1.'de de bahsedildiği gibi 177 °C (450 K) sıcaklık değerini termoelektrik modülün sağlıklı çalışabileceği bir sıcaklık değerine kadar düşürmesini sağlamaktadır.



Şekil 5. Altıgen Blok

Tasarımda kullanılan termoelektrik modüller altıgen blok içerisinde yer almaktadır. Bunun nedenleri termoelektrik modüllerin sıcak yüzeyine etki eden sıcaklık değerlerinin daha uniform bir şekilde etki etmesini sağlamak, kısıtlı olan çalışma alanını verimli kullanabilmek ve traktörlerin hareketi sırasında termoelektrik modüllerin sabit tutulmasını sağlamaktır. Ayrıca bu bloklarda kullanılan ısı iletim katsayısı son derece düşük

olan cam yünü sayesinde termoelektrik modüllerin silikon bölümlerinin yüksek sıcaklıktan etkilenmemesi amaçlanmıştır.

Termoelektrik modüllerin sağlıklı bir şekilde çalışarak istenen gerilim, akım ve güç değerlerinin elde edilmesi için ANSYS Workbench 16.0 analiz programı kullanılarak altıgen seramik bloğun ısı analizleri yapılmıştır. Tasarımı SolidWorks programında yapılan bu model ANSYS Workbench 16.0 programına aktarılmıştır. Bu işlemlerden sonra mesh (örgü) işlemi yapılarak modelin bütün özellikleri birbine bağımlı hale getirilir. Mesh (örgü) yapısı kurma işlemi sırasında belli düğüm sayısı, element sayısı ve element boyutu değerleri, özellikle altıgen blokta uniform bir sıcaklık dağılımının sağlanabilmesi ve çalışılan bilgisayarın performans özelliklerine bağlı olarak elde edilecek akım, gerilim ve güç değerleri için en uygun şekilde seçilmiştir. Element sayısı ve düğüm sayısı, element boyutuna göre değişmektedir. Tablo 2'de element boyutlarına bağlı olarak düğüm sayısı ve element sayısı verilmiştir.

Tablo 2. Element boyutlarına bağlı olarak oluşturulan bağ yapısı değerleri

Boyut	Element Sayısı	Düğüm Sayısı
0,02	101586	443932

Altıgen seramik blok için yapılan ısı analizde egzoz gazı sıcaklığı 177 °C (450 K) olarak tanımlanmış olup modele etki eden hava sıcaklığı değeri 22 °C olarak belirlenmiştir. Ayrıca hava taşınım katsayısı doğal taşınım olduğu için 18 W/m²K olarak tanımlanmıştır. Bu parametrelere bağlı olarak yapılan ısı analiz sonuçları gözlemlenmiştir.

Tasarım içerisinde bulunan başka bir materyal olan termoelektrik modül, güç üretimine uygun seçilmiştir. Bölüm 3.1.'de teorik hesapları gösterilen termoelektrik modül Şekil 6'da gösterilmiştir.



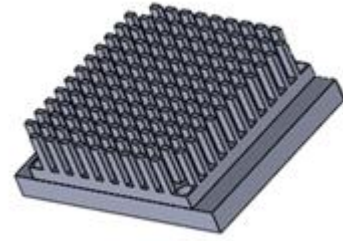
Şekil 6. SP1848-27145 tipi termoelektrik güç jeneratörü modülü [12].

Tasarımda kullanılan yüksek güç üretimine uygun, boyutları 40 mm x 40 mm x 3,4 mm olan SP1848-27145 tipi termoelektrik modül 150 °C sıcaklıklara kadar dayanabilmektedir. Kullanılan termoelektrik modülün sıcaklık farkına bağlı olarak elde edeceği gerilim ve akım değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Özellikleri belirtilen SP1848-27145 tipi termoelektrik modüllerden 6 adet kullanılmış olup hepsi seri bağlanmıştır.

Tablo 3. SP1848-27145 tipi termoelektrik modül özellikleri [12].

Sıcaklık Farkı (ΔT)	Gerilim (V)	Akım (MA)
20	0,97	225
40	1,8	368
60	2,4	469
80	3,6	558
100	4,8	669

Termoelektrik modüllerde güç üretimi için bir yüzeyin sıcak tutulması gerekirken diğer yüzeyinde soğutulması gerekmektedir. Tasarımda termoelektrik modülün diğer yüzeyini soğutabilmek için 40 mm x 40 mm x 27 mm boyutlarında 6 adet alüminyum iğne kanat ısı alıcısı kullanılmıştır. Kolaylıkla üretilebilecek şekilde tasarlanan ısı alıcısı, alüminyum bir plakaya vidalar yardımıyla monte edilmiştir. Şekil 7'de görüldüğü gibi alüminyum plakanın kullanılması nedeni soğutma işlemini hızlandırabilmektir. Plaka, ısı alıcı ve modelde kullanılan dış kasaya vidalarla bağlanabildiği için dış ortam sıcaklığına göre tercih edilebilir.



Şekil 7. Isı alıcısı tasarımı

Doğal taşınım ile soğutma işlemi gerçekleştirilen bu sistemde havanın geliş yönüne ve hava ile temas eden yüzey alanının artırılması için iğne kanat ısı alıcısı tercih edilmiştir.

Yapılan ısı analizler, dış ortam sıcaklığının düşük veya yüksek olduğu durumlar için yapılmıştır. Ayrıca termoelektrik modülün bir ayak çifti için gerçekleştirilen ısı-elektrik analizi sonucunda termoelektrik modülün seramik altlığına gelen sıcaklık değeri belirlenmiş olup ısı alıcısı için yapılan ısı analizlerde bu değerler kullanılmıştır. Isı alıcısı için yapılan ısı analizlerde hava sıcaklığı değerleri 20 ve 35 °C kabul edilmiş ve havanın ısı taşınım katsayısı 18 W/m²K kabul edilmiştir.

Matematiksel modeli oluşturulan, ısı ve ısı-elektrik analizleri yapılan bu tasarımda elde edilen gerilim, akım değerlerini ayarlayabilmek ve bu değerlere bağlı olarak elde edilecek güç değerini arttırabilmek için Şekil 8'de gösterilen 70 mm x 38 mm x 30 mm boyutlarına sahip K101 200W ayarlanabilir dc-dc voltaj regülatör kartı kullanılmıştır.



Şekil 8. K101 200W ayarlanabilir dc-dc voltaj regülatör kartı [13]

Dc dc gerilim yükseltici kart olarak da bilinen bu kart için giriş ve çıkış gerilim değerleri ve çıkış akım değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

merkezinden kenar bölgelerine gittikçe az miktarda azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4. Dc dc gerilim yükseltici kartın genel özellikleri [13]

Giriş İçin Gerilim Değeri	6 V - 35 V
Çıkış İçin Gerilim Değeri	6 V - 55 V
Çıkış İçin Akım Değeri	10 A

Tasarımda altıgen seramik bloğun zorlu dış ortam şartlarından korunması ve termoelektrik jeneratörün traktör egzozunda sabit kalabilmesi için 2 adet dış kasa tasarlanmıştır. Bu kasalar birbirlerine vidalar yardımıyla bağlıdır. Ayrıca model içerisindeki diğer parçaların da sabitlenebilmesi için vida ve termal macun kullanılmıştır.

Oluşturulan modelde kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayıları Tablo 5’te verilmiştir.

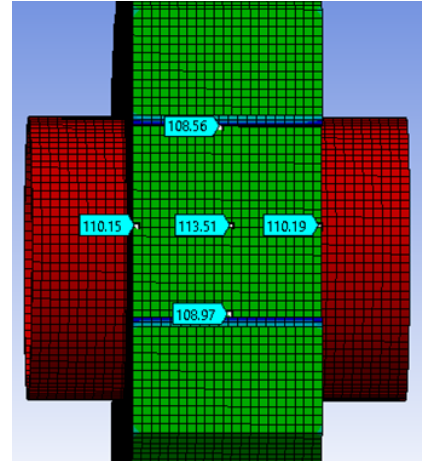
Tablo 5. Kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayıları

Malzeme Adı	Isı İletim Katsayısı (W/mK)
Seramik	4
Alüminyum	237,5
Cam Yünü	0,035
Termal Macun	11

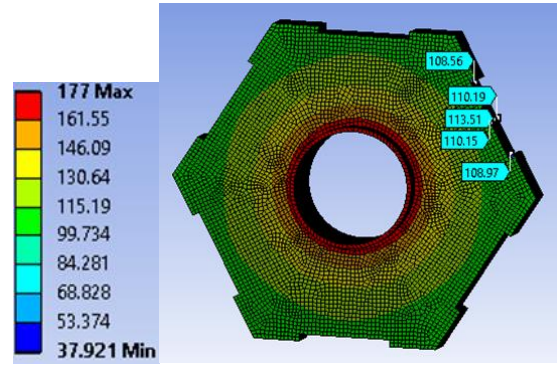
4. SONUÇ VE BULGULAR

Yapılan bu çalışmada tasarlanan altıgen blok ve ısı alıcısı için ısıl analizler yapılmıştır. Bu ısıl analizler sonucunda elde edilen sıcaklık değerlerine göre kullanılan termoelektrik modüllerin çalışma şartları kontrol edilmiş ve termoelektrik modüllerden elde edilen gerilim, akım ve güç değerleri bulunmuştur.

Altıgen blok için yapılan ısıl analizlerde termoelektrik modülün sıcak yüzeyine gelen sıcaklık değerleri ve termoelektrik modüllerin silikon bölümlerine etki eden sıcaklık değerleri bulunmuştur. Bu kapsamda Şekil 9’da görülen altıgen bloğun termoelektrik modülün sıcak yüzeyi ile temas ettiği bölümün sıcaklık değerleri belirtilmiştir. Şekil 10’daki gibi uniform bir sıcaklık dağılımı olan altıgen modelde, termoelektrik modülün sıcak yüzeyinin orta kısmında yaklaşık olarak 113,51 °C sıcaklık değeri gözlemlenmiştir. Ayrıca bu sıcaklık değeri, termoelektrik modülün sıcak yüzeyinin

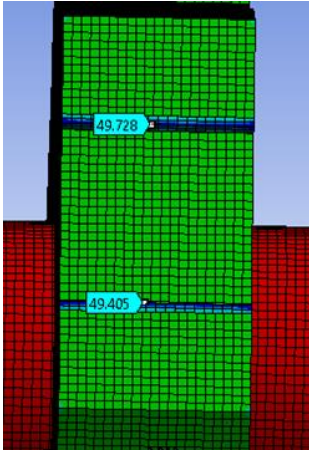


Şekil 9. Termoelektrik modülün sıcak yüzeyine gelen sıcaklık değerleri



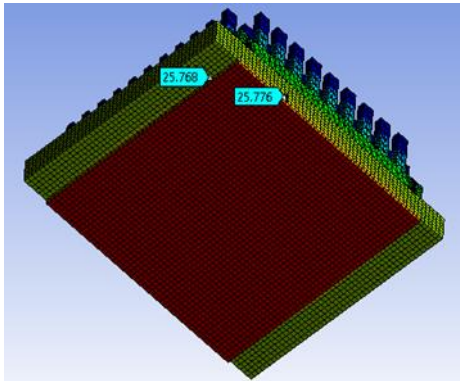
Şekil 10. Altıgen blokta gerçekleşen sıcaklık dağılımı

Altıgen blok için yapılan ikinci ısıl analiz, termoelektrik modüllerin silikon bölümlerinin yüksek sıcaklıktan etkilenmemesi için kullanılan cam yününe sıcaklığa etkisini gözlemlemek için yapılmıştır. Yapılan ısıl analiz sonucunda Şekil 11’de görüldüğü gibi silikon bölümlere etki eden sıcaklık değeri yaklaşık olarak 49,728 °C ‘dir. Bu sonuçlara göre istenen gerilim, akım ve güç değerlerini sağlayabilecek sıcaklık değerleri elde edilmiş ve tasarlanan altıgen blok amaca uygun olduğu gözlemlenmiştir.

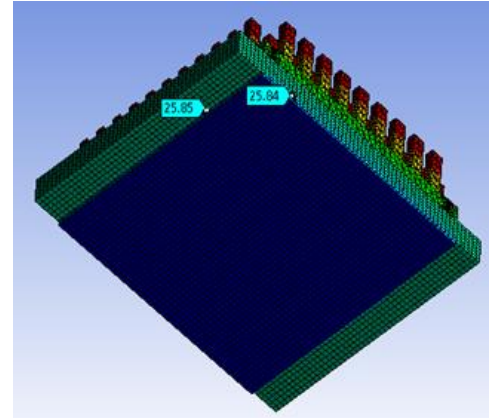


Şekil 11. Silikon yüzeylere etki eden sıcaklık değerleri

Termoelektrik modülün diğer yüzeyini soğutabilmek için ısı alıcısı kullanılmıştır. Dış ortam sıcaklığına bağlı olarak doğal taşınım ile soğutma işlemi gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda yapılan ısı analizlerinde dış ortam sıcaklığı olarak 20 ve 35 °C belirtilmiştir. Ayrıca termoelektrik modülün bir ayak çifti için yapılan ısı-elektrik analizi sonucunda modülün alt seramik yüzeyine gelen sıcaklık miktarı belirlenmiştir. Şekil 12. ve 13'te 20 ve 35 °C sıcaklık değerleri için ısı analiz verilmiştir. Yapılan analiz işlemlerine göre termoelektrik modülün soğuk yüzeyi için istenen sıcaklık değerleri elde edilmiştir.



Şekil 12. Dış ortam sıcaklığı 20 °C olduğu durumda termoelektrik modülün soğuk yüzeyine gelen sıcaklık değeri



Şekil 13. Dış ortam sıcaklığı 35 °C olduğu durumda termoelektrik modülün soğuk yüzeyine gelen sıcaklık değeri

Isı alıcısı tasarımı için yapılan ısı analizlerinde kullanılan iki sıcaklık değerinden daha düşük sıcaklık değerlerinde isteğe bağlı olarak iğne kanat ısı alıcısı kullanılmadan da soğutma işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

Çalışılan dış ortam sıcaklıklarına, traktörün kullanıldığı şartlara, egzoz gazının sıcaklık değerlerine vb. birçok değişkene göre sıcaklık farkı değişmektedir. Bu durumda güç değerlerinin istenen değerlere çıkarılması için dc dc kıyıcı kart kullanılmıştır. 6 adet termoelektrik modülden toplamda 28,8 V gerilim, 0,669 A akım ve 19,26 W güç değerleri elde edilmiştir. Kullanılan dc dc gerilim yükseltici kart sayesinde elde edilen güç değerinin 200 W'a kadar çıkarılması amaçlanmaktadır. Böylece isteğe göre doğrudan veya depolanarak kullanılacak bu güç değeri traktörlerin ve traktör römorklarının elektrik aksamalarının verimli bir şekilde çalıştırılabilmesine olanak sağlayacaktır.

5. SEMBOLLER VE KISALTMALAR

DC	: Doğru Akım
FEM	: Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Method)
FoM	: Performans Kriteri
K	: Toplam Isı İletim Katsayısı (W/K)
A	: Kesit Alanı, m ²
L	: Uzunluk, m
V	: Gerilim, V
I	: Doğru Akım, A
W	: Güç, W
Q_H	: Termoelektrik jeneratörün sıcak yüzeyinden çekilen ısı miktarı
ΔT	: Sıcaklık Farkı, °C
T_H	: Yüksek Sıcaklık, °C

T_L	: Düşük Sıcaklık, °C
S	: Seebeck Katsayısı, V/K
ρ	: Öz direnç, Ωm
k	: Isı İletim Katsayısı W/mK
R	: Toplam İç Direnç, Ω
R_L	: Yük Direnci, Ω
N	: Termoelektrik Ayak Çifti Sayısı
η	: Verim

KAYNAKLAR

- [1] İ. Temizer, "Bir dizel motorunun performans ve emisyonları üzerine katkı maddelerinin etkisinin incelenmesi," *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 2010.
- [2] E. Dikmen, "Fixing of factors what affects thermoelectric coolers' working criteria and fields of use in industry," *Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 2002.
- [3] İ. Temizer, C. İlkılıç, C. Öner, "Dizel motor egzoz sistemi için termoelektrik jeneratör uygulaması ve akış analizi," *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, 431-445, 2016.
- [4] T. Kılıç, "A study about recycling waste energy in buildings by using thermoelectric generators," *Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2010.
- [5] B. Acar, M. Özkaymak, Ş. Baş, C. Yavuz, K. Boran, A.S. Tabak, H.İ. Varıyenli, Ö. Asal, "Atık baca gazı kullanımı ile termoelektrik jeneratörlerde elektrik üretiminin faydalı kullanımının deneysel incelenmesi," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 289-298, 2014.
- [6] M.M. Yaman, "Güneş ısınımı ve termoelektrik malzemeler ile elektrik enerjisi üretimi," *Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 2009.
- [7] R. Ahısta, H. Mamur, M. Ulaş, "Termoelektrik modülün jeneratör olarak modellenmesi ve deneysel çalışması," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 26, No 4, 889-896, 2011.
- [8] Y. İslamoğlu, "Termoelektrik enerji sistemleri: güç üretimi ve soğutma," *Termodinamik Dergisi*, Sayı 306, 66-70, 2018.
- [9] A. Karabulut Kavaklı, "Egzoz gazı ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sisteminin otobüslerde kullanımı," *Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 2005.
- [10] E.E. Antonova, C.D. Looman, "Finite Elements for Thermoelectric Device Analysis in ANSYS," *ANSYS Inc. Southpointe, Technology Drive, Canonsburg, PA 15317, USA*, 2005.
- [11] S. Rajadurai, M. Afnas, M. Ananth, S. Surendhar, "Materials for automotive exhaust system," *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*, Volume 2, Issue 3, 82-89, 2014.
- [12] Url-1 <https://robu.in/product/sp1848-27145-thermoelectric-power-generator-peltier-module-teg-120-degree/> (Erişim Tarihi: 31.12.2018)
- [13] Url-2 <https://www.robolinkmarket.com/k101-200w-ayarlanabilir-dc-dc-voltaj-regulatoru.html> (Erişim Tarihi: 31.12.2018)