

Atık Baca Gazı Kullanımı ile Termoelektrik Jeneratörlerde Elektrik Üretiminin Faydalı Kullanımının Deneysel İncelenmesi

Mehmet ÖZKAYMAK¹, Şahin BAŞ², Bahadır ACAR¹, Celil YAVUZ³,
Kurtuluş BORAN⁴, A. Samet TABAK¹, H. İbrahim VARİYENLİ⁴, Ömer ASAL⁴

¹Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sist. Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük

²Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı, Karabük Destek Ofisi, 78170 Karabük

³Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Enerji Sist. Mühendisliği Bölümü, 57000, Sinop

⁴Gazi Üniversitesi Teknoloji Fak. 06500 Beşevler-Ankara

Başvuru:11/04/2014 Düzeltme:24/06/2014 Kabul:04/11/2014

ÖZET

Termoelektrik jeneratörlerin çok sayıda jeneratörün birbirine seri bağlanması ile voltaj çıkışı yükseltilebilmekte, paralel bağlanması ile de akım değeri artırılabilir. Bu çalışmada, termoelektrik jeneratörler kullanılarak bir deney seti oluşturulmuş, jeneratörün sıcak tutulması gereken yüzeyi soba borusunda üretilen atık gaz tarafından ısıtılarak ve soğuk olan yüzeyi üzerinden su geçirilip soğutulmuş sıcaklık farkı ile elektrik üretimi sağlanmıştır. Burada gerilim değerleri 5,11 V ile 8,69 V arasında değiştiği görülmüştür. Debi 0,083 lt/s olduğu anda 8,69 Volt ve 1,45 Amper'lik maksimum performans elde edilmiştir. Soğutma suyu debisi değiştirilerek yapılan deneylerde elektrik üretimi doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiş, sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Termoelektrik jeneratör, Atık ısı, Baca gazı, Elektrik üretimi

ABSTRACT

As wiring up the many thermoelectric generators in serial, voltage can be increased and wiring up the parallel the current can be increased. In this work, experiment set has occurred with thermoelectric generators. The generator surface which is need to keep warm is heated by waste gases produced in stove pipe and cooled water is passed through the cold surface to keep cool. Electricity production has occurred because of the temperature differences. During operation the changing of voltage range is observed between 5,11V and 8,69V. When the flowrate is 0,083 lt/s, the maximum performance has observed with 8,69V and 1,45A. Varying the cooling water flowrate in experiment, changing of electricity production has observed and the results has shown graphical.

Key words: Thermoelectric generators, waste heat, flue gas, electricity generation

1. GİRİŞ

Termoelektriğe ilişkin ilk bulgu, 1821 yılında, Alman bilim adamı Thomas Seebeck tarafından ortaya konulan iki farklı tür metalin içerisinde bulunduğu kapalı bir devrede elektrik akımı dolaştırıldığında, metal jonksiyonlarının iki farklı sıcaklık değeri tepkisini gösterdiği bulgusudur. Aslında Seebeck bu keşfin temelini fark etmemiştir. Bununla beraber ne yazık ki süregelen sıcaklık üretiminin, dolaşan elektrik akımı ile aynı etkiyi yarattığını farz etmiştir [1].

1834'lere gelindiğinde, Fransız saat üreticisi ve aynı zamanda part-time fizikçi olan Jean Peltier, Seebeck Etkisi'ni araştırırken, elektrik akımının kapalı bir döngüde dolaştığı sırada termal enerjinin farklı jonksiyonlardan birinde absorbe edilirken, diğerinde deşarj olduğunu fark ederek, teoriye bambaşka bir bakış açısı getirmiştir. Bundan 20 yıl sonra William Thomson (Lord Kelvin olarak da bilinir), Seebeck ve Peltier etkilerini kapsayan ve bunların ilişkilerini açıklayan bildiri yayımlamıştır. Bununla beraber, o zamanlarda bu öngörülerin hala daha fazla laboratuvar çalışmalarına konu olması gerektiği ve pratik uygulamalardan yoksun olduğu düşünülmektedir [1].

1930'larda ise Rus bilim adamları, bazı termoelektrik çalışmaları kullanarak, ülkeleri boyunca uzak yerleşim yerlerinde kullanılmak üzere güç jeneratörleri kurma girişimi ile araştırmalarına başlamışlardır. Rusların termoelektrik üzerine yoğunlaşan bu ilgisi nihayetinde dünyanın diğer ülkelerine de yansımış ve daha pratik termoelektrik modüllerin gelişimini daha da yaygınlaştırmıştır. Bugün daha önceki deneylerde kullanılan farklı metal jonksiyonları yerine, termoelektrik soğutucularda modern yarı iletken materyaller teknolojisinin kullanımı sağlanmıştır. Seebeck, Peltier ve Thomson etkileri ile birlikte diğer bulgular da, işlevsel termoelektrik modülün temellerini oluşturmaktadırlar [1].

Ciylan ve Yılmaz (2006), yaptıkları çalışmada termoelektrik modülün dinamik parametrelerini hesaplamayı amaçlayan universal mikro işlemcili test sistemi dizayn etmiş ve bu sistemle testler gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada mevcut formül dizisinin daha basit formuna göre test sistemi tasarlanması amaç edinmiştir. Minimum giriş değişkeni ile daha kesin sonuç bulunabilmektedir. Sonuç olarak termoelektrik modülün dinamik parametreleri universal olarak ölçülebilen ve yalnızca sıcak yüzey sıcaklığını, modül çalışma gerilimini, modülün akımını ve termoelektrik değerlerini kullanan bir test sistemi üretilmiştir. Aynı zamanda gerçekleştirilen yeni test sistemi, performansının değerlendirilebilmesi için standart termoelektrik modülün (melcor cp 1,4-127-102) ölçümünde kullanılmıştır [2].

Kılıç (2010), termoelektrik jeneratörler kullanılarak yapılardaki atık enerjinin geri kazanılması üzerine bir çalışma hazırlamıştır. Çalışmada yapılan bir deney düzeneğiyle, bacadan atık olarak çıkan baca gazının oluşturduğu hava kirliliğinin olumsuz etkisini, oluşan baca ısısından hibrit enerji elde ederek olumlu yöne

çevirmek amaçlanmıştır. Sonuçta yapılan hesaplamalar neticesinde %12,2'lik bir fayda sağlanmıştır. Benzer şekilde tezimize konu çalışmada da baca gazı ve soğutma suyu ile elektrik enerjisi üretimi sağlanmış, bunun yanında üretilen elektrik enerjisi soğutma suyunun akış hızı vasıtasıyla kontrol edilmiştir [3].

Martins, Brito, Goncalves ve Antunes (2011), ısı pompaları boyunca sıcaklık kontrolü ile termoelektrik atık gaz enerjisinin geri kazanımı isimli çalışmada, başta uzun mesafeli elektrikli ve hibrit araçlar olmak üzere alternatörün çalışma zamanını azaltabilecek küçük bir miktar elektrik üretimi faydası alabilecek bütün araçlar için termoelektrik jeneratörler kullanarak atık termal enerjinin geri kazanımını hedeflemişlerdir. Sıcaklık ve basınç kontrolü için tasarlanan değişken iletimli ısı pompası, bu kontrolün başarılmasına katkı sağlamıştır. Sonrasında tasarımı elektrik üretebilmesi için termoelektrik modül dahil edilerek ısı pompası ile kombinasyonu sağlanmıştır. Soğutma sistemi ile ısı pompası arasında 130°C'lik sıcaklık farkı sağlandığında sistemin verimliliği %3 olarak kaydedilmiştir. Geliştirilmeye hâlâ açık olan bu örnek uygulama ile termoelektrik jeneratörün atık gazı kullanarak, standart araçlarda, hibritlerde ve uzun mesafeli elektrikli araçlarda bir miktar ısıl kazanç sağlayabileceği araştırmaları için bir kapı açmıştır [4].

Şahin ve Yılbaş (2012), termodinamik tersinirlik ve termoelektrik güç jeneratörünün performans karakteristiklerini araştırmışlardır. Harici yük parametre etkileri, termal iletkenlik oranları, cihazın çıkış gücü oranı ve verimliliği tahmin edilmiştir. Artan harici değişken yüklemelerin cihazdaki entropi oranı düştüğündeki çıkış gücünü ve verimliliği doğrudan etkilediği görülmüştür [5].

Oplustil ve Zalesak (2013), termal enerji jeneratörü kullanarak iletim sistemleri için güç seçeneği oluşturulmasını araştırmışlardır. Çalışmada kablosuz iletim sistemleri için elektrik jeneratörünün olması gereken yapısı tanımlanmıştır. Çalışmada kullanılan termal jeneratör 1ms'lik sürede 40mA'lık akım sağlayabilmektedir. Bu zamanlama basit bir telegramı iletmek için yeterli verimliliktedir. Böylelikle çalışma gelecekteki kablosuz iletim sistemlerinin termoelektrik jeneratör kullanarak tasarlanabileceğine ve telegramların iletilebileceğine kapı açmaktadır [6].

Bu çalışmada ise termoelektrik modüllerin uygulama alanlarına göre çalışma prensibi ve karakteristik özelliklerinin araştırmasına yönelik araştırmalar yapılmış, termoelektrik jeneratör olarak elektrik üretmesini sağlayacak pratik deney sistemi oluşturulmuş, oluşturulan bu deney sisteminde termoelektrik jeneratörün sıcak olması gereken kısmının atık gaz tarafından ısıtılması ve soğutulan kısım ise farklı su debilerinde soğutulmuştur. Sıcak tarafın ısıtılması için özellikle evlerde kullanılan soba borusundan çıkan sıcak gaz kullanılarak, herhangi bir sanayi kuruluşunda kullanılabilecek atık gazlardan enerji üretimine de bu düzenek ile ışık tutulması hedeflenmiştir.

2. TERMOELEKTRİK ETKİLER

2.1. Seebeck Etkisi

İki farkı yarıiletken malzemelerin birbirine seri olarak birleştirilerek oluşturulan devrede, farklı sıcaklıklarda elektrik gerilimi ölçülür. Bu gerilim “seebeck voltajı” olarak da isimlendirilir. Devreden ölçülen gerilim, malzemelerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır[7].

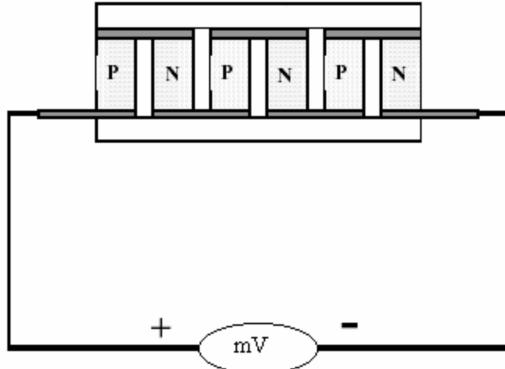
İki farkı yarıiletken malzemedan oluşturulan devrede ölçülen voltaj;

$$V = \alpha \Delta T \quad (1)$$

V: Devreden ölçülen Voltaj (Volt)

$\Delta T = T_2 - T_1$ Yarıiletken malzemelerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ($^{\circ}C$)

$\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ Seebeck katsayısı veya termo emk ($V / ^{\circ}C$) dir. α 'nın değeri; devreyi oluşturan malzemelerin özelliklerine bağlıdır. Örneğin bakır konstantandan yapılan bir termokupl için $\alpha = 40 \mu V / ^{\circ}C$ 'dır. Yani her $1 ^{\circ}C$ sıcaklık farkı için $40 \mu V$ 'luk voltaj üretir. α 'nın değeri $100 \mu V / ^{\circ}C$ 'dan büyük olan yarıiletkenlere, termoelektrik yarıiletkenler denir. N tipi yarıiletken için α değeri negatif, P tipi yarıiletken için α değeri ise pozitifdir. Meydana gelen seebeck etki yarıiletkenlerde jeneratör gibi, metallerde ise termokupl veya ısı sensörü gibi kullanılır [7].



Şekil 1. Seebeck Voltajının ölçümü[7].

2.2. Peltier Etkisi

1834 yılında Fransız fizikçi Jean Charles Athanasa Peltier tarafından iki farkı yarıiletken malzeme üzerinden DC akım geçirilmesi ile akımın hareket ettiği yönde ısı hareketi oluşmasıyla keşfedilmiştir. Bu olaya Peltier etkisi denilmektedir. Birleştirilen iki farkı yarıiletken malzemedan oluşturulan devre üzerinden doğru akım geçtiğinde, Joule ısısı ile birlikte birleşme noktasından ısı emilirken, diğer birleşme noktasından ısı açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan ısı miktarı, devreden geçirilen doğru akımla doğru orantılıdır;

$$Q_p = \pi I \quad (2)$$

Q_p : Birim zamanda transfer edilen ısı miktarı (W),

I: Devre üzerinden geçen doğru akım (A),

π : Peltier sabiti (V) dir.

$$\pi = \alpha T \quad (3)$$

α : Seebeck katsayısı ($V / ^{\circ}C$),

T: Mutlak sıcaklık' dir.

$$Q_p = \alpha T I \quad (4)$$

Dışarıdan verilen elektriksel güç, elektronların sistem içinde hareket etmeleri için gerekli enerjiyi sağlamakta ve böylece hareketlenen elektronlar değişen enerji düzeyleri arasında ilerlerken ısı transfer etmekte, başka bir deyişle ısı taşımaktadır.

Dışarıdan verilen elektriksel güç artırılırsa, hareketli elektron sayısı da artacağından soğuk yüzey ile sıcak yüzey arasındaki ısı transfer miktarı da artacaktır. Eğer akım yönü ters çevrilirse, bu işlem tersine işleyecek ve sıcak yüzeyle, soğuk yüzey kendi arasında yer değiştirecektir.

Joule etkisi ve Fourier Etkisi' den dolayı soğuk yüzey ile sıcak yüzey arasındaki sıcaklık değişimi aynı oranda olmamaktadır. Devre kararlı hale geldiğinde soğuk yüzeyden soğurabilen ısı miktarı, $Q_p = \alpha T I$ eşitliği ile bulunmaktadır. Buna ters yöndeki istenmeyen ısı kazançları aşağıdaki eşitlikle bulunur [7].

$$Q = \alpha T_H I - \frac{1}{2} I^2 R + K \Delta T \quad (5)$$

Q: Birim zamandaki ısı kazancı (W),

T_H : Sıcak yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$),

T_C : Soğuk yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$),

$\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$, Seebeck katsayısı ($V / ^{\circ}C$),

I: Devre üzerinden geçen akım şiddeti (A),

$R = R_1 + R_2$, Elektriksel direnç, (ohm),

$K = K_1 + K_2$, Isıl iletkenlik ($W / ^{\circ}C$),

$\Delta T = T_H - T_C$, Sıcaklık farkı ($^{\circ}C$) dir.

Burada kullanılan yarıiletken malzemelerin elektriksel direnci aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$R_1 = \frac{\rho_1 L_1}{A_1} \quad R_2 = \frac{\rho_2 L_2}{A_2} \quad (6)$$

ρ : Malzemenin elektriksel iletkenliği ($\Omega \text{ cm}$),

L: Malzemenin uzunluğu (m),

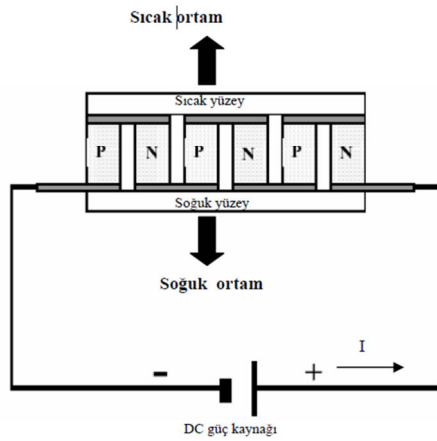
A: Malzemenin alanı (m^2) dir.

Kullanılan yarıiletken ısıl iletkenliği ise aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$K_1 = \lambda_1 \frac{A_1}{L_1} \quad K_2 = \lambda_2 \frac{A_2}{L_2} \quad (7)$$

λ : Malzemenin iletkenlik katsayısı ($W / \text{m}^{\circ}C$) dir.

Akımın yönüne göre birleşme noktalarının birinde ısınma, diğerinde de soğuma meydana gelmektedir.



Şekil 2. Peltier Etkisi Devresi [7]

2.3. Thomson Etkisi

1856 yılında bulunan Thomson etkisi şöyle açıklanabilir. Akım taşıyan bir iletkenin uçları arasında sıcak farkı varsa akım yönüne göre jolue ısısına ek olarak Thomson ısıyı açığa çıkarmaktadır. Thomson ısı akım şiddeti, sıcaklık farkı ve zamanla doğru orantılıdır. Ortaya çıkan Thomson ısı;

$$Q_T = \tau \Delta T I \quad (8)$$

Q_T : Thomson ısı (W),

ΔT : İletkenin uçları arasındaki sıcaklık farkı (° C),

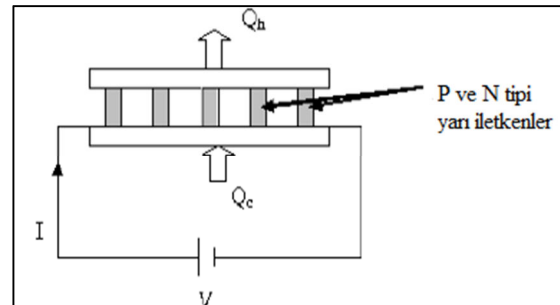
I : İletken üzerinden geçen akım şiddeti (A),

τ : Thomson katsayısı (V / ° C) dir[7].

3. TERMOELEKTRİK MODÜLLER

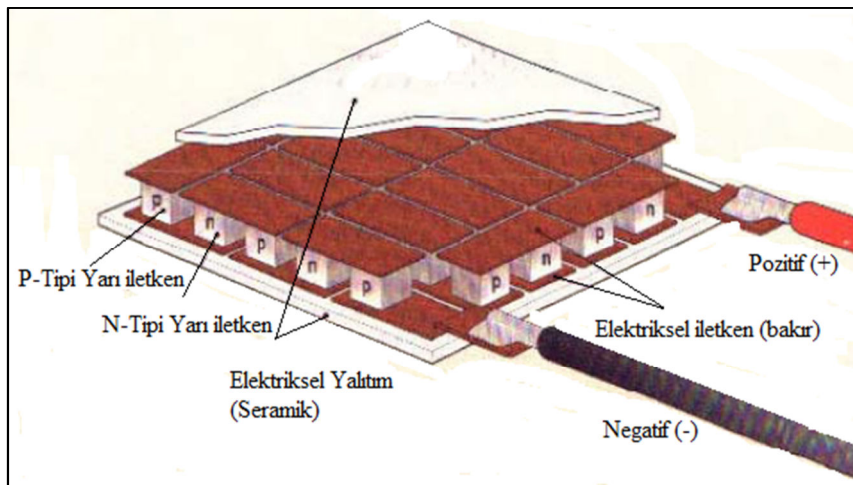
Termoelektrik modüller elektrik enerjisi kullanarak ısıyı düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa pompalarlar. Bu sistemin tersinir çalışması, yani bir kısmının sıcak diğer

kısımının ise soğuk tutulması durumunda ise elektrik enerjisi üretir. Termoelektrik soğutmanın avantajları; hareketli parçalarının olmaması, titreşim ve ses yapmaması, aynı modülle hem ısıtma hem soğutma yapabilmeleri, çevreye zararsız olmaları, kontrol edebilme kolaylığı vb.dir. En önemli sakıncaları ise verimlerinin düşük olması ve pahalı olmalarıdır. Askeri ve uzay çalışmalarında, fiber optik ve lazer uygulamalarında, bilgisayarlarda, laboratuvar ve bilimsel deneylerde, düşük güçlü ticari soğutma uygulamalarında ve tıp alanlarında kullanılmaktadırlar. Bir termoelektrik modülün yapısı ve karakteristik değerleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Uçlarına uygulanan doğru akımın etkisinde soğuk kaynaktan sıcak kaynağa doğru ısı akışı oluşturmaktadırlar [8].



Şekil 3. Bir termoelektrik modülün yapısı [8].

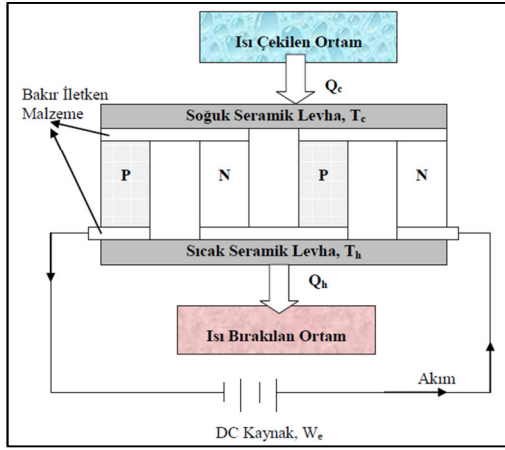
Termoelektrik modüller bir yüzeyi P-tipi yarı iletken malzemeden, diğer yüzeyi ise N-tipi yarı iletken malzemeden oluşan bir yarı iletken sistemidir. Elektriksel olarak seri bağlı, ısıl olarak paralel bağlıdır. İç yapısı Şekil 4'te görüldüğü gibidir. Modülün alt ve üst yüzeyi de şekilde görüldüğü gibidir. Yüzeylerde kullanılan seramik ısıl olarak iletken elektriksel olarak yalıtkan olduğu için tercih sebebidir [8].



Şekil 4. Termoelektrik modülün iç yapısı[8].

3.1. Termoelektrik Soğutucular

Termoelektrik soğutma, N ve P tipi yarı iletken metal çiftlerinden oluşmuş bir veya daha çok modülden bir doğru akımın geçmesi ile elde edilir. Şekil 5'te bir N ve P yarı iletken çiftinden meydana gelmiş bir termoelektrik soğutma modülü gösterilmiştir. P ve N tipi termo elemanlar elektrikselsel olarak seri, ısıl olarak paralel şekilde seramikler arasında bağlanırlar. Akımın yönüne bağlı olarak ısıtma ve soğutma elde edilebilir. Şekil 5'te de görülebileceği gibi soğutma durumunda, doğru akım N tipi yarı iletken P tipine geçmektedir. Akım, düşük enerji seviyesindeki P tipi yarı iletken malzemeden yüksek enerji seviyesine geçtiğinde soğutulacak ortamdan ısı çekerek soğutma meydana getirmektedir. Soğuk ortamdan çekilen bu ısı, yüksek sıcaklıktaki ortalama elektronlar vasıtasıyla transfer edilir. Böylelikle ısı, bir ortamdan çekildiği gibi başka bir ortama da terk edilmektedir. Dolayısıyla termoelektrik modül ısı pompası vazifesi de gösterir [9].



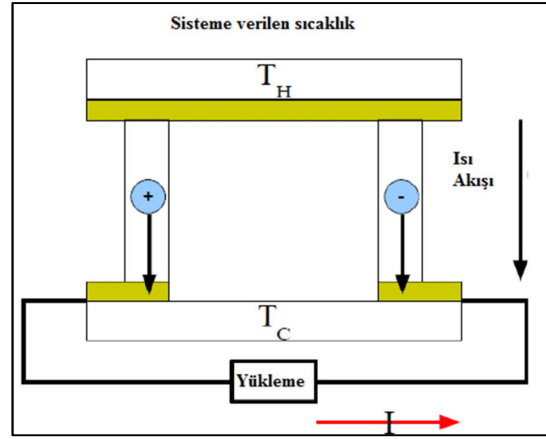
Şekil 5. Bir termoelektrik soğutucu modülü[9].

Bir termoelektrik uygulama en az üç parametreyle bağlı olarak yapılabilir. Bu para-metreler, sıcak yüzey sıcaklığı (T_h), soğuk yüzey sıcaklığı (T_c) ve soğuk yüzeyde absorbe edilen ısıl yüklemidir (Q_c). Termoelektrik malzemenin sıcak tarafı DC güç uygulandığında ısının sağlandığı taraf olacaktır. Termoelektrik malzemenin soğuk tarafı DC güç devreye verildiğinde soğumaya başlar. Bu kısım soğutulacak nesne için talep edilen soğukluktan daha soğuk değerlere bile ulaşabilir. Bu durum özellikle de çevirerek soğutma gibi objenin soğuk tarafla direk temas ettirilmediği durumlarda olur[9].

3.2. Termoelektrik Jeneratörler

Termoelektrik jeneratörler iki yüzeyleri arasında sıcaklık farkı olduğunda doğru akım üreten elemanlardır. Kullanılan modül sayısı artırılmak suretiyle temiz ve kolay elde edilebilen jeotermal enerji bulunduğu her yerde elektrik enerjisine dönüştürülebilir. İki farklı metalden oluşan kapalı bir devrede birleşme noktaları farklı sıcaklıklarda

bulunursa, bu yüzeyler arasında Joule etkisi, Fourier etkisi, Peltier etkisi ve Seebeck etkisi geçerli olur. Seebeck etkisi; farklı iki malzemeden oluşan bir devrede, iki jonksiyon (birleşme) farklı sıcaklıklarda olduğunda malzeme uçlarında ölçülen gerilimin sıcaklık farkıyla orantılı olduğunu ifade eder. Seebeck etkisine göre devreden ölçülen voltaj $V = \alpha \Delta T$ olup, α 'nın değeri; devreyi oluşturan malzemelerin özelliklerine bağlıdır. $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ 'dir. Burada α_2 ve α_1 kullanılan malzemelerin özellikleridir[10].



Şekil 6. Termoelektrik jeneratörün basit şematası[11].

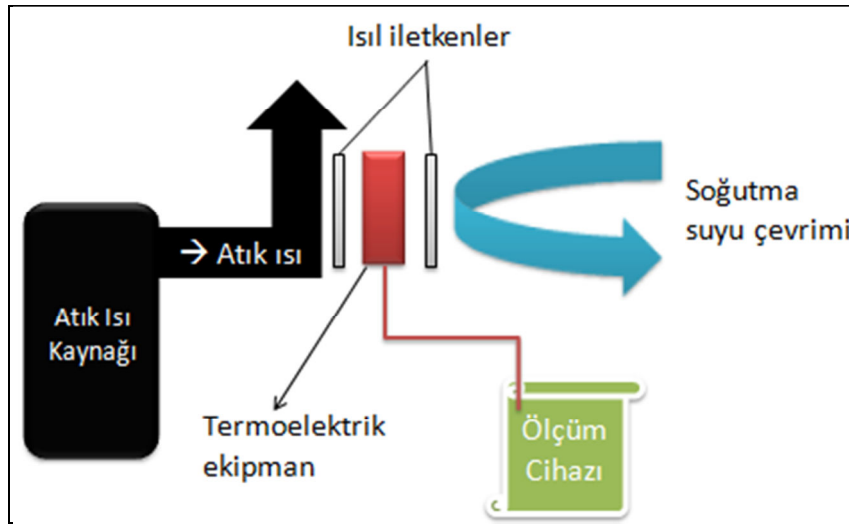
4. DENEY YÖNTEMİ VE ÖLÇÜMLER

4.1. Deneysel Seti İçin Gerekli Malzemeler

Deneysel başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için gerekli malzemeler, termoelektrik jeneratör olarak görev yapacak modül, modülün sıcak yüzü için gerekli ısı geçirgenliğine sahip tercihen alüminyum plaka, soğuk yüzeyi ısıyan yüzeyden etkilenmeksizin soğuk tutabilecek soğutucu, termal tutkal, elektrikselsel üretimi ve ısıl değerleri ölçmek için test cihazı ve elektrik çıkışını görsel olarak takibe alabilmemizi sağlayacak elektronik cihaz veya lambalar yeterli olacaktır.

4.2. Deneysel Setinin Oluşturulması

Şekil 7'de görüldüğü üzere evsel ortamda termoelektrik jeneratörün çalıştırılacağı sistem kurulmuştur. Termoelektrik jeneratörün ısıtılacak kısmına ait alüminyum levha atık gazın çıkacağı soba borusuna teller vasıtasıyla monte edilmiştir. Soba borusunun yüksek ısıl değerlerine rağmen alüminyumun daha düşük seviyelerde seyretmesi sebebiyle sonradan alüminyum levha boru içerisine yerleştirilmiştir. Soğuk kısmındaki soğutucu üzerindeki plastik boruların şebeke suyu ile dolaşımı sağlanabilmesi için musluk bataryası ile bağlantısı sağlanmıştır. Böylece hazır hale getirilen test düzeneğinde, soğutma suyunun serbest bırakılıp, sobanın yakılması ile deney süreci başlatılmıştır.



Deneye başlamadan önce üretilen elektrik enerjisini gözlemleyebilmek için LED devresi ve hazır bulundurulmuştur. Ölçümlerin yapılabilmesi için kullanılan test cihazları olan dijital ve termal multimetreler temin edilmiştir. Soğutma suyunun debi kontrolünü yapabilmek için debimetre kullanılmıştır.

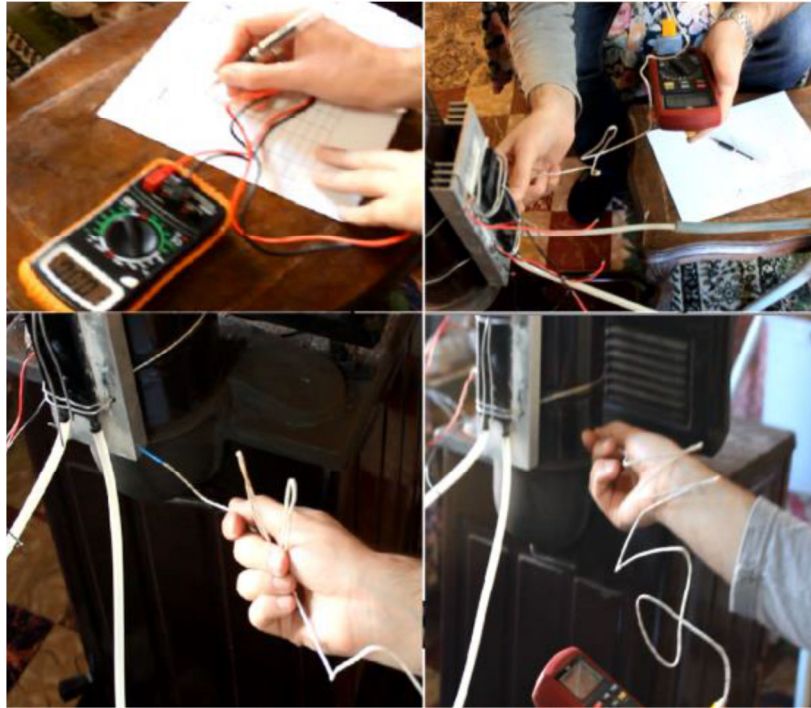


Deneyde su debisini ölçmek için debimetre kullanılmıştır. Debimetre için 1 lt kapasiteli bir pet şişe kullanılarak musluk akış hızına göre kaç saniyede dolduğu ölçülmüş, böylece debi kontrolü yapılmıştır. Ölçümler basit usulde gerçekleştirildiği ve amaç debi hızının elektriksel etkiye oransal dönüşümünü test etmek olduğu için bu basit yöntemle doğruluk oranı artmaktadır. Sistemin kritik ölçümleri ise multimetre

vasıtasıyla yapılmıştır. Sıcaklık ölçümleri atık ısının yayıldığı bacadan, bacaya monte edilen iletken, soğuk su çevrimi yapılan iletken ve soğuk sudan yapılmıştır. Elektriksel çıkışlar ise doğrudan termoelektrik ekipmandan alınmıştır. Ölçüm yapılan cihazın bazı hassasiyet değerleri Çizelge 1'de belirtilmektedir.

Çizelge 1. Ölçüm Cihazının Özellikleri

	Aralık	Çözünürlük	Doğruluk
DC VOLTAJ	200 mV	100µV	±0.5%of rdg ±2 digits
	2V	1mV	±0.5%of rdg ±2 digits
	20V	10mV	±0.5%of rdg ±2 digits
	200V	100mV	±0.5%of rdg ±2 digits
	600V	1V	±0.5%of rdg ±2 digits
DC AKIM	200µA	0,1µA	±1%of rdg ±2 digits
	2mA	1µA	±1%of rdg ±2 digits
	20mA	10µA	±1%of rdg ±2 digits
	200mA	100µA	±1,5%of rdg ±2 digits
	10A	10mA	±3%of rdg ±2 digits
SICAKLIK	-20°C	1 °C	±3°±2D(up to 150°C)
	1370 °C	-	±3°±% of rdg(over 150°C)



Şekil 9. Ölçüm dönemi

Çizelgede belirtilen özelliklere sahip digital multimetre ile sistem üzerinde yapılan ölçümler Şekil 9'da belirtilmektedir. Görüldüğü üzere sıcaklık ölçümleri termoelektrik çiftin iki yüzeyine yerleştirilen iletkenin atık baca gaza ile etkileşen bölgesinden, soğuk dolaşım suyu ile etkileşen bölgesinden, atık baca gazından ve soğuk dolaşım suyundan gerçekleştirilmiştir. Elektriksel değerler ise bu iki iletken plakanın arasında kalan termoelektrik ekipmanın çıkışından alınmıştır.

4.3. Deney Sonucu Analizleri

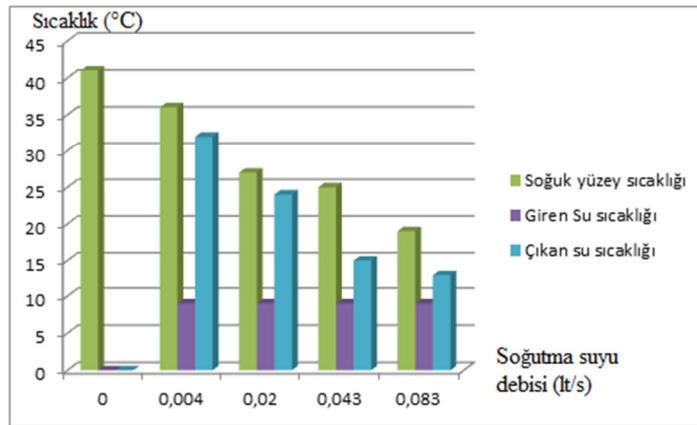
Suyun debisine göre elde edilen elektriksel veriler Çizelge 2'de belirtilmiştir. Değerlere göre debi hızı arttıkça gerilim değerleri de doğru orantılı olarak artmaktadır. Sobanın sıcaklığı birinci aşamanın sonundan itibaren sabit tutulmaya çalışılmıştır. İlk olarak soğutma suyu olmadan yapılan denemede termoelektrik jeneratörün yanma ihtimali bulunduğu için süre kısa tutulmuştur. Bu durum bize suyun debi hızı artırıldıkça, ürettiğimiz akım ve voltaj miktarı da orantısız olarak arttığını ispatlamıştır.

Çizelge 2. Soğutma suyu debisi değişimine göre elektriksel değerler.

Zaman	Soğutma Debisi (lt/s)	Suyu	Gerilim (V)	Akım (A)	Sıcaklık farkı (°C)
14:40	0		5,11	0,92	77
15:10	0,004		5,27	1,00	79
15:25	0,021		5,5	1,03	81
15:45	0,043		6,41	1,16	91
16:00	0,083		8,69	1,45	102

Başlangıç olarak soğutma suyu kullanılmamıştır. Bu durumda soğuk kalması gereken kısım hızla ısınmıştır. Bu durum aradaki sıcaklık farkının azalmasına sebebiyet vermiştir. Daha sonra soğuk suyun debisi yavaş yavaş artırılmıştır. Suyun giriş sıcaklığı 9°C’de sabit kalmıştır. Suyun döndürülmediği anda soğuk yüzey oldukça ısındığı için yavaş akan suyun soğuk yüzeyi kısa sürede soğutma mümkün olmamıştır. Bu aşamada soğutucu yüzeyden çıkan su en yüksek sıcaklığı olan 32 °C’ye ulaşmıştır. Zamana göre artırılan

su akış hızına bağlı olarak yüzeyler arasındaki sıcaklık değişimi Şekil 10’da belirtilmiştir. Şekilde başlangıçta su girişi olmadığı için sıcaklık değeri görülmektedir. Suyun serbest bırakılmasıyla yüzey soğumaktadır. Tablodaki zaman ölçüm aralıklarının düzensiz bir şekilde seyretmesinin özel bir nedeni olmayıp, diğer çalışmalar için birim dakikada ne kadarlık bir debiyle ne kadarlık ölçüm değerlerine ulaşılabileceğine yönelik veri olabilmesi için kayıt altına alınmıştır.

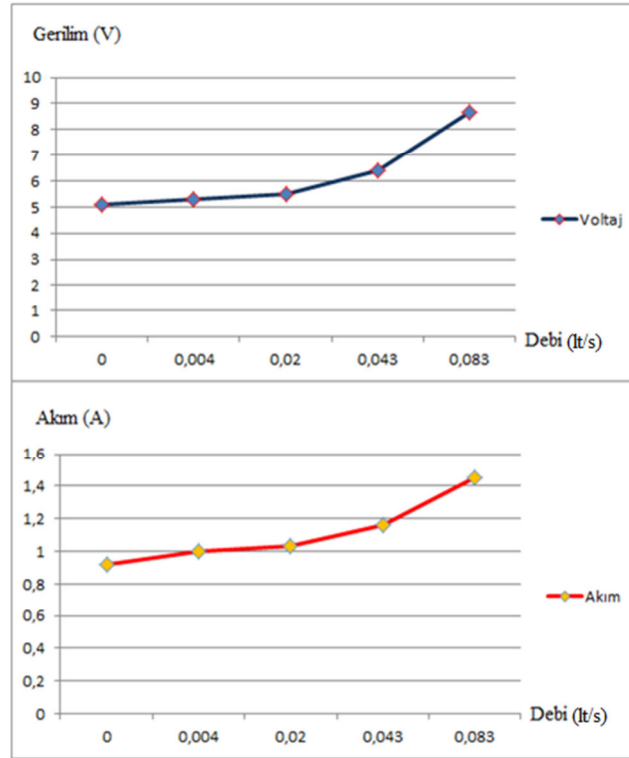


Şekil 10. Soğutma suyunun akış hızının sıcaklığa etkisi.

Şekil 10’dan da görüleceği üzere soğutma suyu henüz dolaşımında değilken soğuk yüzey sıcaklığı, ilgili iletkenin soba borusundan etkilenmesi sebebiyle ısınmıştır. Bu aşamada giren ve çıkan su olmadığı için bu kısım, grafikte “0” derece olarak görülmektedir. Zamanla soğutma suyu sisteme kademeli olarak verilmiştir. Bu aşamada debi hızı arttıkça termoelektrik ekipmanın bağlı olduğu soğuk iletkenin hızla soğuduğu görülmektedir. Buna karşın çevrim suyunun giriş sıcaklığı doğal olarak sabit kalırken, çevrimden çıkan suyun ise ısındığını, bir başka deyişle termoelektrik ekipmanın soğuk yüzeyindeki iletken

enerji olarak bu yüzeyin soğumasını sağladığı gözlemlenmiştir.

Akış hızına bağlı olarak elektriksel değişimler Şekil 11’de verilmiştir. Buradaki sıcaklık farkı değerleri Çizelge 2’de belirtilenle aynıdır. Soğutma suyunun kullanılmadığı aşamada sıcak ve soğuk yüzeydeki sıcaklık değişimi azaldığından akım ve voltaj değerlerinde düşme gözükmemektedir. Zamanla verilen soğutma suyu ile aradaki fark tekrar artarak doğru orantılı olarak elektriksel değerlerde de artış gözlenmektedir.



Şekil 11. Soğutma suyunun akış hızının elektriksel değişime etkisi.

Suyun akış hızı, soğutulan yüzeye giren suyun ne kadar ısınacağına etki etmekle beraber, termoelektrik jeneratörün ürettiği elektrik enerjisine de doğrudan etki etmektedir. Sıcak yüzey sıcaklığının sabit tutulması durumunda soğutma suyu debisi vasıtasıyla istenilen elektriksel değerlerin elde edilebileceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada sıcaklık farklarından yararlanılarak elektrik üretebilen termoelektrik jeneratörlerin yapısı ve performansı incelenmiş, soğutma olarak kullanılan suyun debisi değiştirilerek üretilen elektriksel değerlerin kontrol edilip edilemeyeceği hazırlanan deney seti üzerindeki pratik uygulamalar vasıtası ile test edilmiştir. Deney sonucunda elde edilen veriler vasıtasıyla yapılan hesaplamalarda yeterli verimliliğe ulaşılmış ve su debisindeki değişimin elektriksel değerlere doğru orantılı olarak etki ettiği görülmüştür.

Suyun akış hızı sıfırdan itibaren artırılarak, ısınma ve elektriksel durumlar gözlenmiştir. Suyun hiç akmadığı durumda soğuk taraf, sıcak taraftan da etkilenecek hızla ısınmaya başlamıştır. Bu durum termoelektrik jeneratörün yanmasına sebebiyet verebileceğinden uygulama süresi oldukça kısa tutulmuştur. Bu durumda çıkan suyun sıcaklığı maksimum olduğu ve 32°C'ye ulaştığı gözlemlenmiştir. Çıkan su sıcaklığı ile ters orantılı olarak üretilen gerilim ve akım değeri düşmektedir. Bunun sebebi sabit olan sıcak yüzey sebebiyle sıcaklık farkının azalmasıdır. Debinin sıfır olduğu düzeyde 5,11 Volt ve 0,92 Amper üreten termoelektrik jeneratörün performansı, debinin

artırılmasıyla artmış ve debi 0,083 lt/s olduğu anda 8,69 Volt ve 1,45 Amper'lik performans elde edilmiştir.

SEMBOOLLER VE KISALTMALAR

Simgeler

α	: Seebeck katsayısı
τ	: Thomson katsayısı
ρ	: Yarıiletkenin öz direnci
Π	: Peltier katsayısı
Ω	: Ohm
μ	: Mikro
η	: Verimlilik
a	: Yarıiletkenin kesit alanı
K	: Modülün termal iletkenliği
Z	: Termoelektrik yarıiletkenin kalite katsayısı

Alt İndisler:

h	: Sıcak
c	: Soğuk
M	: Modül
o	: Çıkış
max	: En yüksek
min	: En düşük

Kısaltmalar

COP	: Coefficient of performance (performans katsayısı)
TE	: Termoelektrik
TEM	: Termoelektrik modül
TEG	: Termoelektrik Jeneratör
DC	: Doğru akım
CCD	: Charge coupled device, bağlı şarj aygıtı

KAYNAKLAR

1. Dikmen, E., "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, 1-19 (2002).
2. Cıylan B. ve Yılmaz S., "Design of a Thermoelectric Module Test System Using a Novel Test Method", *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 46, 717-725, (2002).
3. Kılıç T., "A study about recycling waste energy in buildings by using thermoelectric generators", Yüksek Lisans Tezi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 55-80 (2010).
4. Martins J., Brito P.F., Goncalves L.M. and Antunes J., "Thermoelectric Exhaust Energy Recovery with Temperature Control through Heat Pipes", *SAE International*, 315: 1-19 (2011).
5. Şahin A.Z. ve Yılbaş B.S., "Thermodynamic Irreversibility and Performance Characteristics of Thermoelectric Power Generator", *Energy*, 55: 899-904 (2013).
6. Wireless Sensor Networks", *International Journal of Distributed Sensor Networks-Hindawi*, 23: 1-14 (2013).
7. Li M., "Thermoelectric Generator Based DC-DC Conversion Network For Automotive Applications", Master of science thesis, *KTH Information and Communication Technology*, Stockholm-Sweden, 25-30 (2011).
8. Gür S. Ve Atik K., "Power Generation Using Concentration Solar Collectors And Thermoelectric Generators", *5th International Advanced Technologies Symposium*, Karabük, 13-17 (2009).
9. Bulut H., "Thermoelectric Cooling Systems", *Soğutma Dünyası*, 31: 9-16 (2005).
10. Ahiska R., Mamur H. Ve Uliş M., "Modelling Thermoelectric Module as Generator and Experimental Study", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Derneği*, 4(26): 889-896 (2011).