

## Termoelektrik Üreteç ile Kalorifer Radyatörlerinden Elektrik Üretiminin Deneysel İncelenmesi

Yakup Yağmur<sup>1</sup>, Kubilay Taşdelen<sup>1\*</sup>

**Özet:** Termoelektrik teknolojisi 19. yüzyıl ortalarından beri biliniyor olmasına karşılık yeterince işlevsel bir kullanım alanına ulaşamamıştır. En yoğun kullanım alanı elektrik üretim alanı değil soğutma alanı olmuştur. Otomobillerde kullanılan küçük buzdolaplarının yapımında, bilgisayar işlemcilerinin soğutulmasında, otomobil egzozlarında oluşan ısıyı elektrik enerjisine dönüştürme amacıyla kullanılmaktadır. Termoelektrik üreteç veya termoelektrik jeneratör ısı enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren cihazdır. Bu dönüşüme Seebeck etki veya daha genel bir ifade ile termoelektrik etki denir. Yapılan bu çalışmada, termoelektrik dönüştürme elemanlarından oluşan bir termoelektrik jeneratör modül kullanımıyla elektrik enerjisinin elde edilmesi ve bu enerji ile ısı konfor hedeflenmiştir. Kalorifer radyatörünün ve duvarın yüzey sıcaklığını kullanarak sıcaklık farkı elde edilmiş ve bu sıcaklık farkını elektrik enerjisine dönüştüren termoelektrik jeneratörler ile harici bir kaynağa ihtiyaç kalmadan elektrik enerjisi elde edilmiştir. Üretilen enerjiyi faydalı kullanmak için radyatör kanallarındaki fanlar beslenmiştir. Üretilen enerji ile beslenen fanlar kanallardaki sıcak havayı odaya daha hızlı yayarak oda sıcaklığını daha etkin hale getirmiştir. Sıcaklık farkından, termoelektrik jeneratörler ile oda sıcaklığında 3,24 W güce sahip elektrik enerjisi elde edilmiştir. Üretilen enerjiyi faydalı kullanmak için radyatör kanallarındaki fanlar beslenerek normal oda sıcaklığı 8°C artırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Peltier, Termoelektrik jeneratör, Enerji verimliliği, Isıl konfor

## Experimental Analysis of Producing Electrical Energy From The Radiator Using Thermoelectric Generator

**Abstract:** Although thermoelectric technology has been known since the middle of 19th century, it has not reached its a functional area. The most intensive use area is not the electricity production area but the cooling area. It is used in the invention of small refrigerators used in automobiles, cooling of computer processors, heat generated in automobile exhausts, and converting it into electrical energy. Thermoelectric generator is the device that converts heat energy directly to electrical energy. This formation is called Seebeck effect or, more generally, thermoelectric effect. In this study, it is aimed to obtain electrical energy by using thermoelectric generator modules and thermal comfort with this energy. Temperature difference is obtained by using the surface temperature of the heating radiator and wall, and with the thermoelectric generators that convert this temperature difference into electrical energy, electrical energy is obtained without the need of an external source. The fans in the radiator ducts were supply in order to utilize the energy generated. The fans supply the energy generated ced make room temperature more efficient by spreading the hot air in the ducts to the room faster. From the temperature difference, the electrical energy with thermoelectric generators at room temperature of 3.24 W was obtained. In order to use the generated energy useful, the fans in the radiator channels are supply and the normal room temperature is increased by 8 ° C.

**Keywords:** Peltier, thermoelectric generator, Energy efficiency, Thermal comfort

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

\*Corresponding author (İletişim yazarı): [kubilaytasdelen@isparta.edu.tr](mailto:kubilaytasdelen@isparta.edu.tr)

Citation (Atıf): Yağmur, Y., Taşdelen, K., 2019. Termoelektrik Üreteç ile Kalorifer Radyatörlerinden Elektrik Üretiminin Deneysel İncelenmesi. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 3 (2): 152-160.

## 1. Giriş

Yenilenebilir ve temiz enerji teknolojileri arasında belki de en fazla dikkat çekenlerden bir tanesi, termal enerjiyi kullanarak elektrik enerjisi üretilmesini sağlayan termoelektrik teknolojisidir. Enerji kaynakları içinde elektrik enerjisi üretimi, büyük ölçüde elektromanyetik induksiyona dayalı jeneratörlerin etkisinde olduğunu söyleyebiliriz. Söz konusu etki dışında günümüzde termoelektrik olarak adlandırılan teknoloji 19. yüzyıl ortalarından beri biliniyor olmasına karşılık yeterince işlevsel bir kullanım alanına ulaşamamıştır.

Isı enerjisi ile elektrik enerjisinin birbirlerine doğrudan dönüşümünü tanımlayan termoelektrik yapıların temelleri 1821 yılında Alman fizikçi Thomas Johann Seebeck tarafından atılmıştır. Termoelektrik Seebeck iki farklı metalin uçları arasında sıcaklık farkı oluşturulduğunda pusula iğnesinin saptığını keşfetmiştir. Seebeck etkisi olarak bilinen ve Seebeck'in ölümünden sonra gerçek anlamıyla tanımlanan bu etki sıcaklık farkı ile yaratılan elektriksel potansiyel sonucunda oluşan devreye bağlanan bir yük direncinden akım akmasıyla sonuçlanmaktadır (Dikmen, 2002). Bu buluştan on üç yıl sonra Fransız fizikçi Jean Charles Athanase Peltier tarafından Peltier etkisi bulunmuştur. Peltier iki farklı iletkenin ara yüzeyinden akım geçirilmesi sırasında ısının ya absorplandığı veya dışarı verildiğini bulmuştur. Son olarak William Thomson (Lord Kelvin) tarafından bu iki etki termodinamik yasaları çerçevesinde incelenip bütünleştirilmiştir. Thomson kendi adıyla yayınladığı bu etkiyi şu şekilde tanımlamıştır; iki farklı iletken hem ısıtılıp hem de üzerlerinden akım akması sağlandığında, bütün yapı boyunca ısı ya absorblanır veya dışarı verilir (Özgün, 2009).

Termoelektrik malzemelerin önemli teorik ifadeleri Edmund Altenkirch tarafından ortaya konmuştur. Altenkirch iyi bir termoelektrik malzemenin karakteristiğini belirlerken Seebeck katsayısı ve elektriksel iletkenliği yüksek, fakat termal iletkenliğin kötü olması gerektiğini ortaya koymuştur. Yarı iletken malzemelerin gelişimleri ile verimleri %5-6 seviyesine çıkan termoelektrik yapıların gelişimi hızla devam etmektedir. Kuantum kuyu biçiminde yapılandırılmış malzemelerle verimler bugün laboratuvar ölçeğinde %20 değerlerine ulaşmıştır (Chavez vd., 2011).

Termal konfor kişinin termal çevre ile olan memnuniyetini ifade edip değerlendirmesini sağlayan nesnel bir değerlendirme değildir. Isıl konforu etkileyen parametreler kişisel ve çevresel olarak sınıflandırılabilir. Çevresel parametreler olarak ortam sıcaklığı, ortam bağıl nemi, ortam hava hızı ve ortalama ışınım sıcaklığıdır. Kişisel parametreler ise kişinin metabolik aktivite düzeyi ve giyinme durumudur (Atmaca ve Yiğit, 2009).

Canlılar ve özellikle de insanların yaşadığı ortamlarda ısıl konfor şartlarının sağlanması iş verimi açısından önemlidir. İnsan vücudu enerji üreten ve tüketen bir sistemdir. İnsan ancak ürettiği ve tükettiği enerji arasında enerji dengesi kurabilir ve vücut sıcaklığını 37°C de sabitleyebilirse kendisini rahat hisseder ve ısıl konfora ulaşır. Isıl denge sağlanıncaya kadar vücut ve ortam arasında farklı ısı transferi mekanizmaları oluşmaktadır.

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. Bu elektrik jeneratörlerini kullanmaktaki ana hedef, insanın avuç içindeki sıcaklık ve duvar yüzü sıcaklığı arasındaki farka bağlı olarak küçük bir ısıl fark,  $\Delta T$ , sağlanarak bu sıcaklık farkını kullanabilmektedir. Ölçülen bir bilgi göstermiştir ki, çok küçük sıcaklık farkları bile binalardaki kablosuz iletim sistemleri için yeterli enerji elde etmeyi mümkün kılmaktadır. Çalışmada kullanılan termal jeneratör 1ms'lik sürede 40mA'lik 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 (Oplustil ve Zalesak, 2013).

Baş (2014), Bu çalışmada ise termoelektrik modüllerin uygulama alanlarına göre çalışma prensibi ve karakteristik özelliklerine yönelik araştırmalar yapılmış, termoelektrik jeneratör sistemi ile elektrik üretimi için prototip deney sistemi oluşturulmuş, oluşturulan bu deney sisteminde termoelektrik jeneratörün sıcak olması gereken kısmının atık gaz tarafından ısıtılması ve soğutulan kısım ise farklı su debilerinde soğutulması sağlanmıştır. Çalışma esnasında gerilim değerlerinin 5,11V ile 8,69 V arasında değiştiği görülmüştür. Debi 0,083 lt/s olduğu anda 8,69 Volt ve 1,45 Amper'lik maksimum

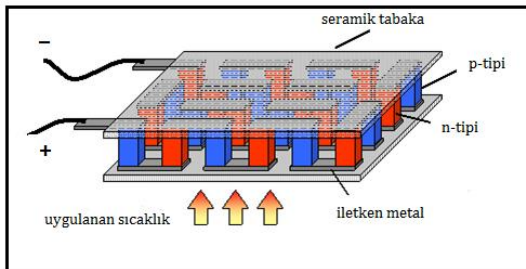
performans elde edilmiştir. Soğutma suyu debisi değiştirilerek yapılan deneylerde artan soğuk su debisi ile elektrik üretiminin doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir (Baş, 2013).

Yapılan bu çalışmada, termoelektrik dönüştürme elemanlarından oluşan termoelektrik jeneratör modül kullanımıyla elektrik enerjisinin elde edilmesi ve bu üretilen elektrik enerjisi ile ısı konfor sağlamak hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Termoelektrik yapısı

Termoelektrik yapılar, termoelektrik jeneratörler ve soğutucular olmak üzere iki başlık altında incelenebilir. Termoelektrik jeneratörler ve soğutucular termodinamik kanunlarına bağlı olarak doğrudan enerji dönüşümlerini gerçekleştiren yapılardır. Termoelektrik jeneratörler ısı enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren yapılardır. Termoelektrik soğutucular ise ısının soğuk bölgeden sıcak bölgeye elektrik enerjisini kullanarak taşınmasını sağlayan ısı pompalarıdır. Termoelektrik jeneratörlerde ve soğutucularda yarı iletken malzemeler kullanılmakta ve kullanılan N ve P tipi yarı iletkenlerin ısı transferinde gösterdikleri tepkiler değişiklik göstermektedir. N tipi yarı iletkenlerde ısı serbest olan elektronlar ile taşınırken P tipi yarı iletkenlerde boşluklar ile taşınır. N ve P tipi bu iki yarı iletkenin birbirlerine iletken bir malzeme ile bağlanması ile tek bir hücre oluşturulmuş olur. Bu hücrelerin iki seramik tabaka arasında birleştirilmesiyle termoelektrik modül oluşturulur. Şekil 3.1’de termoelektrik modül yapısına ait şekil verilmiştir (Doğdu, 2013).



Şekil 1. Termoelektrik modüllerin yapısı

### 2.2. Termoelektrik etkiler

İki farklı yarı iletken malzemelerin kimyasal yöntemlerle birbirine birleştirilerek, oluşturulan devre üzerinden elektrik akımı geçirilmesiyle meydana gelen farklı sıcaklıklarda devrede aynı anda üç çeşit termoelektrik etki oluşur. Bu üç etki, bu etkileri bulan araştırmacıların isimlerini taşır (Rowe ve Bhandari, 1983).

#### 2.2.1. Seebeck etkisi

İletken bir çubuğun iki ucuna sıcaklık farkı uygulandığı zaman soğuk ve sıcak tarafları arasında elektrik akımı meydana gelmesi olayıdır. İki farklı yarı iletken malzemenin (P-N çifti) birbirine seri olarak birleştirilmesiyle oluşturulan devrede (peltier modül), yüzeylere farklı sıcaklıklar uygulanmak suretiyle bir elektrik gerilimi elde edilir. Bu gerilim "Seebeck voltajı" olarak da isimlendirilir. Devreden ölçülen gerilim, malzemelerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır (Li vd., 2011).

#### 2.2.2. Peltier etkisi

Bir iletkenin elektrik enerjisi geçirildiğinde iki uç arasında sıcaklık farkı meydana gelmesi prensibine dayanır. Peltier etkisinden meydana gelen ısınma ya da soğuma olayını gözlemleyebilmek için iki farklı metalden meydana gelen bir modül kullanılması gerekmektedir. Bu 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 akımla doğru orantılıdır.

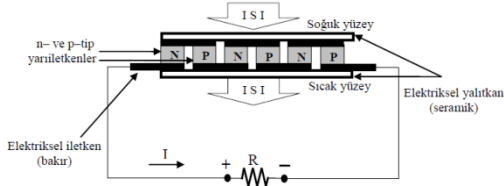
#### 2.2.3. Thomson etkisi

Bir iletkenin iki ucunun farklı sıcaklıklarda tutuluyor olduğu durumda uygulanan akımın yönüne bağlı olarak enerjinin iletken üzerinde soğurulması ya da birikmesi olayıdır. Diğer bir ifadeyle, Thomson etkisi, ısıtmada ya da soğutmada homojen bir iletken üzerinden akım geçtiği sürece sıcaklık gradyanının meydana geldiğini ifade eder. Thomson ısısı akım şiddeti, sıcaklık farkı ve zamanla doğru orantılıdır ve kullanılan metallerin cinsine bağlıdır.

### 2.3. Termoelektrik jeneratör

Çok sayıda termoelektriğin birleşmesinden termoelektrik modül oluşturulur. Termoelektrik

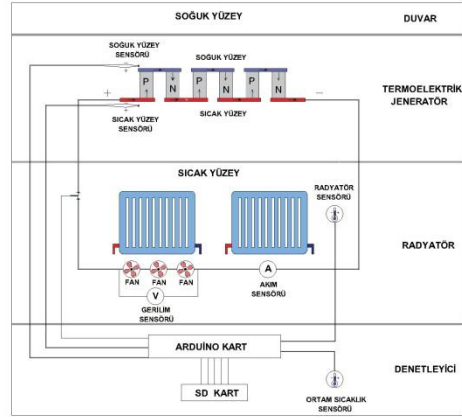
modüller, Seebeck etkisinin kullanılmasıyla jeneratör olarak çalışabilmektedirler. Şekil 3.9'da termoelektrik modülün termoelektrik jeneratör modunda kullanıldığı termoelektrik devre görülmektedir. Bir termoelektrik jeneratör sistemi temelde üç parçadan meydana gelir; (1) ısıtıcı blok, (2) soğutucu blok ve (3) termoelektrik modül. Termoelektrik modülün yüzeyleri arasında bir sıcaklık farkı oluşturulduğunda ısı sıcak yüzeyden soğuk yüzeye doğru transfer edilecek ve bu durumda termoelektrik jeneratör uçlarında bir DC gerilim düşümü olacaktır. Termoelektrik jeneratör uçlarına harici bir yük bağlanırsa, yük üzerinden bir I akımı geçişi olur. Termoelektrik jeneratörden elde edilen P gücü veya I akımı;  $\Delta T$  sıcaklık farkına, yarıiletken materyallerin özelliklerine ve harici  $R_L$  yük direncinin değerlerine bağlıdır. Elektrik enerjisi, ısı transferine bağlı olarak Termoelektrik yarıiletkenler boyunca elektriksel yük taşıyıcıların hareketinden üretilmektedir (Mamur, 2013).



Şekil 2. Termoelektrik jeneratör çalışması

## 2.4. Termoelektrik Jeneratör ile Kalorifer Radyatöründen Elektrik Üretimi

Termoelektrik jeneratör kullanarak, kalorifer radyatörü (sıcak yüzey) ve duvar (soğuk yüzey) arasındaki sıcaklık farkından elektrik enerjisi üretilmiştir. Üretilen bu elektrik enerjisi ile ısıyı odaya daha iyi yayması için kalorifer radyatörlerine bağlanan fanları besleyecek bir sistem tasarlanmıştır. Geliştirilen bu sistem donanım bölümü ve yazılım bölümü olmak üzere temelde iki ana bölümden oluşmaktadır.



Şekil 3. Sistemin çalışma şeması

Şekil 3.20'den anlaşıldığı gibi duvardaki soğuk TEJ'in bir yüzünü soğuturken kalorifer radyatörünün sıcak yüzü de TEJ'in diğer yüzünü ısıtır ve oluşan sıcaklık farkı  $\Delta T$ 'ye oranla elektrik enerjisi üretilmiştir. Üretilen elektrik enerjisi ile fanlar beslenerek fanların gönderdiği havayla radyatör kanallarındaki ısının odaya daha etkin yayılması sağlanmıştır. 15m<sup>2</sup> lik iki odada yaptığımız bu deneyde üretilen enerji ile ısı konfor sağlanmıştır.

Deney süresince TEJ'in sıcak ve soğuk yüzeyinde sıcaklık verileri ve fanlı ve fansız ortam sıcaklık verileri sıcaklık sensörleri yardımıyla ölçülerek denetleyici vasıtasıyla SD kart hafızasına aktarılmaktadır. Bunun yanında termoelektrik jeneratörler tarafından üretilen anlık akım değeri ile anlık voltaj değeri de hassas akım/gerilim sensörü yardımıyla ölçülerek denetleyici vasıtasıyla SD kart hafızasına aktarılmaktadır. Termoelektrik jeneratörlerden üretilen enerjinin fanları döndürmeye yetecek güce eriştiğinde fanları çalıştırarak radyatör fanlarını kontrol işlemini gerçekleştirir.

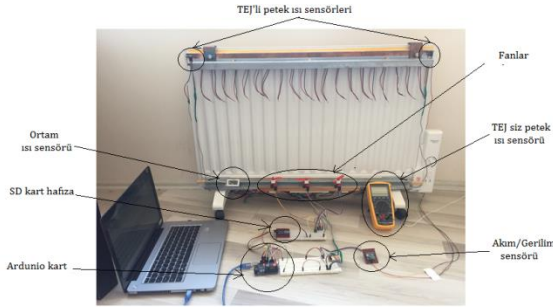
Ölçüm ve deney için TEJ'li kalorifer radyatöründe TEJ'in soğuk ve sıcak yüzey sıcaklığı MAX6675 termokupl modülü ve radyatörlerin bulunduğu ortam sıcaklığı MCP9808 sıcaklık sensörleri tarafından ölçülmüştür. Üretilen enerjinin akım ve gerilim değerleri INA219 akım/gerilim sensörüyle ölçülmüştür. Sensörler tarafından ölçülen sıcaklık ve akım/gerilim değerleri arduino kart tarafından okunarak veriler SD karta kaydedilmiştir.

### 3. Bulgular

Kalorifer radyatöründen termoelektrik jeneratörler ile elektrik üretiminin yapıldığı deney düzeneğinin çalıştırılması neticesinde, radyatör kanallarına bağladığımız 100 mA 1,5V değerlerine sahip 3 adet motor beslenerek radyatör kanallarındaki ısı, fan sistemi ile odaya yayılmıştır. Kış aylarında farklı hava sıcaklıklarında sistem incelenmiştir.

Deney düzeneği Ocak, şubat ve mart aylarında 15 m<sup>2</sup>'lik iki oda da bulunan tek kalorifer radyatörleri üzerlerinde gerçekleştirilmiştir. Odanın birinde fanlı oda sıcaklığı diğerinde fansız oda sıcaklığı gözlemlenmiştir.

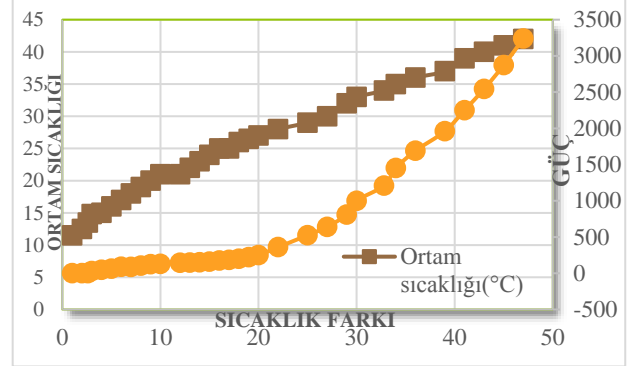
Isıyı daha hızlı bir şekilde duvara aktarmak için termoelektrik jeneratörlerin dış kısımları bakır ile kaplanarak duvar teması sağlanmıştır. Isı transferini daha etkin yapabilmesi ve yüzey temasını artırmak için termoelektrik jeneratörlerin yüzeylerinde termal macun kullanılmıştır. Deney düzeneğinin genel görünüşü Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 4. Deney düzeneğinin genel görünüşü

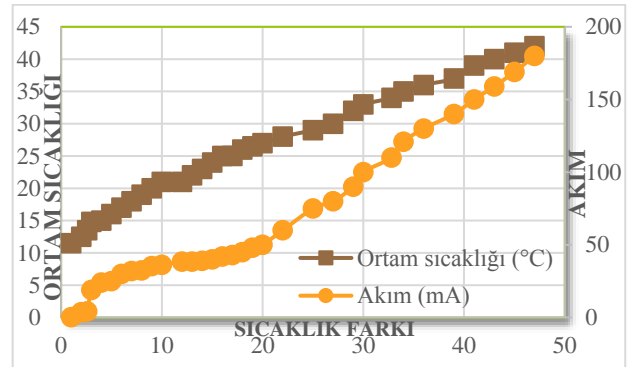
Tablo 1'de evlerde ısınmak amacıyla kullandığımız kalorifer radyatörlerinin sıcak yüzeyi ve duvarın soğukluğundan faydalanarak termoelektrik jeneratör modüllerimizin ürettiği güç, gerilim ve akım parametrelerinin sıcaklık farkına göre değişimi izlenmiştir. Bu aşamada kalorifer radyatörü sıcaklığına, duvar sıcaklığına ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişen sıcaklık farkının, akım ve gerilim parametrelerine bağlı olarak değişen güç değerleri sıcaklık sensörleri ve akım/gerilim sensörleri ile ölçülerek kaydedilmiştir. Ocak, şubat ve mart aylarında her gün toplanan verilerin ortalama değerleri hesaplanarak tablo 1'de oluşturulmuştur.

Şekil 5'de görüldüğü gibi, Ortam sıcaklığı 42°C'de iken TEJ'lerin sıcak yüzeyi ve soğuk yüzeyi arasında maksimum 47°C'lik bir fark oluşmaktadır. TEJ'ler tarafından üretilen elektriksel güç ise maksimum 3,24W tur.



Şekil 5. Sıcaklık farkına ve ortam sıcaklığına göre değişen güç eğrisi

Şekil 4.6.'da sıcaklık farkına göre ve ortam sıcaklığına göre değişen akım değerleri gösterilmiştir. Ortam sıcaklığı 42°C'de ve sıcaklık farkı 47°C'de iken en yüksek akım değeri 180mA olmuştur.

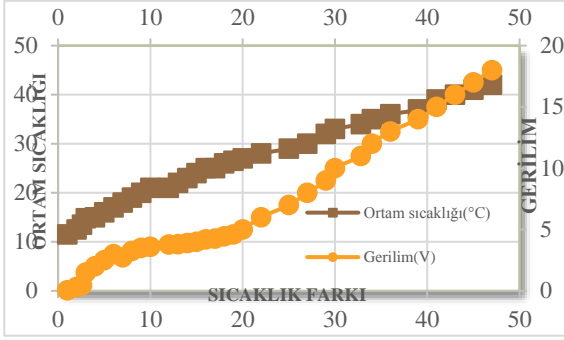


Şekil 6. Sıcaklık farkına ve ortam sıcaklığına göre değişen akım eğrisi

Şekil 7'de sıcaklık farkına göre ve ortam sıcaklığına göre değişen gerilim değerleri gösterilmiştir. Ortam sıcaklığı 42°C'de ve sıcaklık farkı 47°C'de iken en yüksek gerilim değeri 18V olmuştur.

**Tablo 1.** Değişen oda sıcaklığında duvar ve radyatör yüzey sıcaklık farkına göre üretilen elektriksel değerler

TH Sıcak yüzey °C	TC Soğuk yüzey °C	I Akım mA	V Gerilim V	P Güç mW	$\Delta T$ Sıcaklık Farkı °C	Tort Ortam sıcaklığı C
12	11	0,2	0,05	0,01	1	11,5
13	11	3,6	0,32	1,152	2	12,5
14	11,4	4,2	0,43	1,806	2,6	13,5
16	13	19	1,5	28,5	3	14,8
18	14	24	2	48	4	15
20	15	25	2,5	62,5	5	16
21	15	30	3	90	6	17
23	16	32	2,74	87,68	7	18
25	17	32,4	3,25	105,3	8	19
27	18	35,4	3,5	123,9	9	20
30	20	36,2	3,59	129,958	10	21
32	20	38,5	3,78	145,53	12	21
33	22	38,5	3,8	146,3	13	22
35	23	39	3,9	152,1	14	23
37	25	40	4	160	15	24
39	26	42	4,2	176,4	16	25
41	23	43	4,26	183,18	17	25
43	24	45	4,45	200,25	18	26
45	26	48	4,6	220,8	19	26,5
46	26	50	5	250	20	27
49	27	60	6	360	22	28
52	27	75	7	525	25	29
55	28	80	8	640	27	30
57	28	90	9	810	29	32
59	29	100	10	1000	30	33
62,8	30	110	11	1210	32,8	34
65	31	121	12	1452	34	35
67	32	130	13	1690	36	36
72	33	140	14	1960	39	37
75	34	150	15	2250	41	39
78	35	159	16	2544	43	40
81	36	169	17	2873	45	41
84	37	180	18	3240	47	42



**Şekil 7.** Sıcaklık farkına ve ortam sıcaklığına göre değişen gerilim eğrisi

Şekil 4.5, şekil 4.6 ve şekil 4.7'deki eğriler incelendiğinde, ortam sıcaklığı  $T_{ort}=21^{\circ}\text{C}$ 'ye ve TEJ yüzeyler arası sıcaklık farkı  $\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$ 'ye getirildiğinde, TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 3,59\text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 36,2\text{ mA}$  ve TEJ gücü  $P = 129,958\text{ mW}$  olmuştur.

Ortam sıcaklığı  $T_{ort}=27^{\circ}\text{C}$ 'ye ve TEJ yüzeyler arası sıcaklık farkı  $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$ 'ye getirildiğinde, TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 5\text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 50\text{ mA}$  ve TEJ gücü  $P = 250\text{ mW}$  olmuştur.

Ortam sıcaklığı  $T_{ort}=33^{\circ}\text{C}$ 'ye ve TEJ yüzeyler arası sıcaklık farkı  $\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$ 'ye getirildiğinde, TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 10\text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 100\text{ mA}$  ve TEJ gücü  $P = 1\text{ W}$  olmuştur.

Ortam sıcaklığı  $T_{ort}=42^{\circ}\text{C}$ 'de iken deneyde maksimum sıcaklık farkına çıkılabildiği  $\Delta T = 47^{\circ}\text{C}$  değerinde, TEJ sıcak tarafının sıcaklığı  $T_h = 80^{\circ}\text{C}$  ve TEJ soğuk tarafının sıcaklığı  $T_c = 37^{\circ}\text{C}$  değerindedir. Bu durumda, TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 18\text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 180\text{ mA}$  ve TEJ gücü  $P_{max} = 3,24\text{ W}$  olmuştur. Ölçüm sonuçlarına göre ortam sıcaklığı, sıcaklık farkına göre değişen güç grafiğinde sıcaklık farkı ve ortam sıcaklığı arttıkça gerilim, akım ve güç değerleri de orantılı olarak artmaktadır.

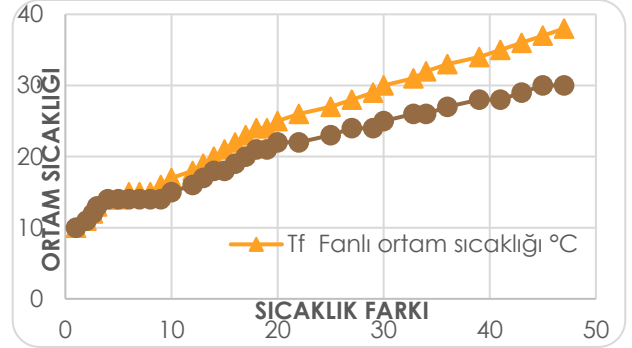
Çizelge 4.3'de Aynı şartlara ve ortam sıcaklığına sahip iki oda da gerçekleştirilen bu deneyde, fanlı radyatörün bulunduğu oda sıcaklığını ölçen  $T_f$ , fansız oda sıcaklığını ölçen  $T_o$  sensörleri kullanılarak farklı günlerde aynı zaman diliminde iki odadan sıcaklık verileri alınarak kaydedilmiştir. Üretilen enerjiyi faydalı kullanmak adına TEJ'lerden üretilen elektrik enerjisinin fanları beslemesi ile fanların radyatör kanallarındaki ısıyı odaya yayması sonucu ortam sıcaklığındaki değişimler gözlemlenmiş ve fansız ortam

sıcaklığıyla karşılaştırılmıştır. Ocak, şubat ve mart aylarında hergün toplanan verilerin ortalama değerleri hesaplanarak çizelge 4.3 oluşturulmuştur

Çizelge 4.3 incelendiğinde TEJ yüzeyler arası sıcaklık farkı  $\Delta T = 7^{\circ}\text{C}$  olduğunda, TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 2,74\text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 32\text{ mA}$ , TEJ gücü  $P = 87,68\text{ mW}$  ve fanlı ortam sıcaklığı  $T_f=15^{\circ}\text{C}$  olmuştur. Fansız ortam sıcaklığı  $T_o=14^{\circ}\text{C}$  ve ısı konfor katkısı  $T_k=1^{\circ}\text{C}$  olmuştur.

TEJ yüzeyler arası sıcaklık farkı  $\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$  olduğunda, TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 10\text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 100\text{ mA}$ , TEJ gücü  $P = 1\text{ W}$  ve fanlı ortam sıcaklığı  $T_f=30^{\circ}\text{C}$  olmuştur. Fansız ortam sıcaklığı  $T_o=25^{\circ}\text{C}$  Isıl konfor katkısı  $T_k=5^{\circ}\text{C}$  olmuştur.

TEJ yüzeyler arası sıcaklık farkı  $\Delta T = 47^{\circ}\text{C}$  olduğunda, TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 18\text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 180\text{ mA}$ , TEJ gücü  $P = 3,24\text{ W}$  ve fanlı ortam sıcaklığı  $T_f=38^{\circ}\text{C}$  olmuştur. Fansız ortam sıcaklığı  $T_o=30^{\circ}\text{C}$  Isıl konfor katkısı  $T_k=8^{\circ}\text{C}$  olmuştur.



**Şekil 8.** Sıcaklık farkına göre değişen fanlı ortam sıcaklığı ve fansız ortam sıcaklığı



**Şekil 9.** Isıl Konfor

**Tablo 2.** Değişen oda sıcaklığında duvar ve radyatör yüzey sıcaklık farkına göre üretilen elektriksel değerler

I Akım mA	V Gerilim V	P Güç mW	$\Delta T$ Sıcaklık Farkı °C	Tf Fanlı Ortam sıcaklığı °C	To Fansız ortam sıcaklığı °C	Tk Isıl konfor sıcaklığı °C
0,2	0,05	0,01	1	10	10	0
3,6	0,32	1,152	2	11	11	0
4,2	0,43	1,806	2,6	12	12	0
19	1,5	28,5	3	13	13	0
24	2	48	4	14	14	0
25	2,5	62,5	5	14	14	0
30	3	90	6	15	14	1
32	2,74	87,68	7	15	14	1
32,4	3,25	105,3	8	15	14	1
35,4	3,5	123,9	9	16	14	2
36,2	3,59	129,958	10	17	15	2
38,5	3,78	145,53	12	18	16	2
38,5	3,8	146,3	13	19	17	2
39	3,9	152,1	14	20	18	2
40	4	160	15	21	18	3
42	4,2	176,4	16	22	19	3
43	4,26	183,18	17	23	20	3
45	4,45	200,25	18	24	21	3
48	4,6	220,8	19	24	21	3
50	5	250	20	25	22	3
60	6	360	22	26	22	4
75	7	525	25	27	23	4
80	8	640	27	28	24	4
90	9	810	29	29	24	5
100	10	1000	30	30	25	5
110	11	1210	32,8	31	26	5
121	12	1452	34	32	26	6
130	13	1690	36	33	27	6
140	14	1960	39	34	28	6
150	15	2250	41	35	28	7
159	16	2544	43	36	29	7
169	17	2873	45	37	30	7
180	18	3240	47	38	30	8



#### 4. Tartışma ve Sonuçlar

Değişen oda sıcaklığında duvar ve radyatörden oluşturduğumuz sıcaklık farkını kullanarak TEJ'lerden ürettiğimiz elektriksel parametrelerin izlenmesi ve analizi yapılmıştır. 1°C ile 47°C arasında elde edilen sıcaklık farkına göre akım gerilim ve güç değerlerini incelediğimizde sıcaklık farkı ile elektriksel parametrelerin doğru orantılı olduğu görülmüştür. Harici bir kaynak kullanmadan duvar ve radyatör yüzey sıcaklık farkından faydalanarak ürettiğimiz elektrik enerjisi ısı konfora çevrilmiştir. Üretilen elektrik enerjisi ile beslediğimiz fanların radyatör kanallarındaki sıcaklığı odaya yayması sonucu ısı konforu  $T_k=8\text{ }^\circ\text{C}$ ' ye kadar ulaşmıştır. Gözlemlediğimiz maksimum sıcaklık farkı  $\Delta T = 47\text{ }^\circ\text{C}$  olduğunda yani TEJ'den elde edilen gerilim  $V = 18\text{ V}$ , TEJ akımı  $I = 180\text{ mA}$  ve TEJ gücü  $P = 3,24\text{ W}$  lık değerlere sahip elektrik enerji üretilmiş ve bu enerji ile çalışan fanlar tam üfleme yaparak ısı konforu  $T_k=8\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye taşımıştır.

TEJ'lerden üretilen enerji fanları döndürme gücüne erişinceye kadar üretilen enerji harici bir aküye depolanarak faydalı kullanılabilir veya fanlar akü tarafından beslenerek sistemin verimliliği artırılabilir. TEJ'lerin sıcak yüzeyinin ısı kaybının düşürülmesi ve soğuk yüzeyin daha iyi soğutulması gibi iyileştirmelerle verimleri daha da artırılabilir. Çalışmalarda sıcaklık farkının artırılmasına yönelik çalışmalar. Baş (2014), çalışmasında termoelektrik jeneratörün soğuk yüzeyine farklı su debileri uygulayarak daha iyi soğutma sağlamış ve sıcaklık farkını artırmıştır. Fettah (2010), Soğutucu akışkan olarak kullanılan havanın yüksek hava akış hızında verildiğinde üretilen elektrik enerjisinin su soğutmalı sisteme göre daha fazla olduğu görülmüştür (Fettah, 2010).

#### Teşekkür

1130-YL-05 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

#### Kaynaklar

Atmaca, Y., Yiğit, A., 2009. Isıl Konfor İle İlgili Mevcut Standartlar Ve Konfor Parametrelerinin Çeşitli Modeller İle İncelenmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 6-9 Mayıs, İzmir, 543-555.

- Baş, Ş., 2014. Atık Baca Gazı Kullanımı İle Termoelektrik Jeneratörlerde Elektrik Üretiminin Faydalı kullanımının Deneysel İncelenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, Karabük.
- Chavez, R., Angst, S., Hall, J., Stoetzel, J., Kessler, V., Bitzer, L., Schiering, G., 2014. High temperature thermoelectric device concept using large area pn junctions. Journal of Electronic Materials, 43(6), 2376-2383.
- Dikmen, E., 2002. Fixing of Factors What Affects Thermoelectric Coolers' working criteria and fields of use in industry. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 158s, Isparta.
- Doğdu, M.F., 2013. Termoelektrik Soğutucuların Performansına Doğrudan Temaslı Isı Değiştiricilerin Etkilerinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87s, İstanbul.
- Fettah, S., 2010. Katı Oksit Yakıt Pilinin Isısından Elektrik Enerjisi Üretim Sisteminin Deneysel Analizi. Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105s, Ankara.
- Li, M., Xu, S., Chen, Q., Zheng, L. R. 2011. Thermoelectric-Generator-Based DC-DC Conversion Networks for Automotive Applications. Journal of electronic materials, 40(5), 1136-1143.
- Mamur, H., 2013. Termoelektrik Jeneratörün Elektriksel, Termoelektriksel ve Isıl Parametrelerinin İncelenmesi İçin Bilgisayarlı Bir Veri Edinim Ve Test Sisteminin Gerçekleştirilmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 145s, Ankara.
- Oplustil, M. and Zalesak, M., 2013. The power options for transmitting systems using thermal energy generator, International Conference on Environment, Energy, Ecosystems and Development, Czech Republic, 212-215.
- Özgün, H., 2009. Termoelektrik Jeneratörlerin Çok Düşük Sıcaklıklarda Teorik ve Deneysel Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 158s, İstanbul.
- Rowe D.M., Bhandari C. M., 1983. Modern Thermoelectrics. Holt-Technology, 168s, London.