



Peltier'in ısı akış sensörü olarak kullanıldığı ısıl iletkenlik ölçüm metodu

Thermal conductivity measurement method using Peltier as heat flow sensor

Ahmet Korkmaz¹ , Haydar Bayar² , Yüksel Palacı^{3,*} 

¹ 3P Teknoloji Geliştirme ve Danışmanlık San. Tic. Ltd. Şti., 34896 İstanbul, Türkiye

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İşletme Mühendisliği, 34353, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye

³ Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği, 34353, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye

Özet

İnorganik ısı yalıtım malzemesi geliştirilmesinde, katkıları, oranları, sinterleme sıcaklığı ve süresi gibi birçok parametre çalışıldığından çok sayıda numunenin ısıl iletkenliğini ölçmek gerekmektedir. Ayrıca şekillendirilme sonrası da numuneler küçük fırında sinterlendiğinden, genellikle kalıp ebatları küçük seçilmektedir. ARGE çalışmalarında bu küçük ebatlı numunelerin ısı iletim katsayısını tespit etmeye yönelik uygun maliyette sistem bulmak çok zordur. Bu çalışmada, Peltier'in ısı akış sensörü olarak kullanıldığı ısı iletim katsayısını belirlenmesinde kullanılmak üzere uygun maliyette alternatif cihaz geliştirilmiştir. Ölçüm prensibi, sıcaklıkları farklı iki plaka arasına yerleştirilen numunenin ısı iletim katsayısı ile üzerinden geçen ısı akışı bir başka deyişle Peltier'den ölçülen gerilim arasındaki orantıdan yola çıkarak belirlenmesine dayanmaktadır. Burada, mutlak ısı iletim katsayısı bilinen malzemelerin bu düzenekle ölçümünü yapılmış ve sıcak blok ile numune arasına yerleştirilen Peltier'de okunan gerilim arasında korelasyon kurulmuştur. Bu korelasyon sonrasında ısı iletkenlik katsayısı hesaplanmıştır. Bu düzenekle tespit edilen ısı iletim katsayısı ile bilinen değerler arasında %3 seviyelerinde sapma ile numunelerin ısı iletim katsayısını tespit edilebileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Peltier, Isıl iletkenlik, Isı akış sensörü, Yalıtım

1 Giriş

Termal iletkenlik ölçüm teknikleri, termal iletkenlik aralığı, ölçüm süresi, ölçüm doğruluğu, numune türü ve sıcaklık aralığına bağlı olarak farklılık gösterdiği görülmektedir. Termal iletkenlik ölçümü için iki ana yöntem mevcuttur [1]. Bunlar kararlı hal yöntemleri ve kararlı olmayan hal yöntemleri yöntemleridir. Kararlı hal yöntemlerinde, numunenin her noktasındaki sıcaklık sabit olduğunda ve sıcaklık zamanla değişmediğinde kararlı durum koşuluna ulaşılmış olur. Gerekli dengeye ulaşmanın genellikle uzun zaman alması bir dezavantaj oluşturmaktadır. Ayrıca bu yöntem, iyi tasarlanmış bir deneysel kurulumu gerektirdiğinden yüksek maliyetli aparatları içerir. Ancak, ısıl iletkenlik ölçümünde kullanılan

Abstract

Since many parameters such as additives, ratios, sintering temperature and time are studied in the development of inorganic thermal insulation materials, it is necessary to measure the thermal conductivity of many samples. In addition, since the samples are sintered in a small furnace after shaping, the mold sizes are generally chosen small. In R&D studies, it is very difficult to find a cost-effective system to determine the heat transfer coefficient of these small-sized samples. In this study, an alternative device with an affordable cost has been developed to be used in determining the heat transfer coefficient, in which Peltier is used as a heat flow sensor. The measurement principle is based on the determination of the sample placed between two plates with different temperatures, based on the ratio between the heat transfer coefficient and the heat flow passing over it, in other words, the voltage measured from the Peltier. Here, materials with known absolute heat transmission coefficient were measured with this device and a correlation was established between the voltage read in the Peltier placed between the hot block and the sample. After this correlation, the thermal conductivity coefficient was calculated. It has been seen that the heat transmission coefficient of the samples can be determined with a deviation of 3% between the heat transmission coefficient determined in this arrangement and the known values.

Keywords: Peltier, Thermal conductivity, Heat flow sensor, Insulation

birincil ve en doğru yöntemdir. Geçici ısı transferi yöntemleri, ısıtma işlemi sırasında doğrudan termal yayılımı belirleme yeteneğine sahiptir. Bu ölçümler nispeten hızlı bir şekilde yapılabilir, bu da diğerlerine göre bir avantaj sağlar.

Kararlı hal yöntemlerinde, ısı akış ölçerlerin kullanımı, diğer ölçüm teknikleriyle büyük ölçüde aynı ilkelere dayanmaktadır, ancak bunlarla aynı değildir. Isı akış ölçerler doğru ve hızlı cihazlardır ve bu cihazların çalışması düşük iletkenli malzemelerin ısıl iletkenliğini ölçmek için uygundur. Isı akış ölçer yöntemi için maksimum sıcaklık limiti, yaklaşık 200°C ve pratik uygulamalarda yaklaşık 100°C dir [1]. Isı akış ölçer yöntemi karşılaştırmalı ve dolayısıyla göreceli bir yöntem olarak kabul edilebilir. Yalıtım malzemeleri ve polimerler ($k < 0.3 \text{ W/(m K)}$)

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: y_palaci@yahoo.com (Y. Palacı)

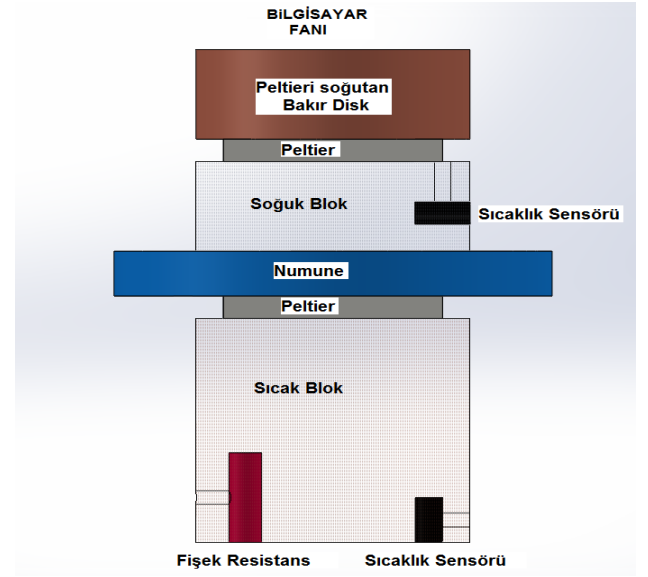
Geliş / Received: 23.09.2021 Kabul / Accepted: 04.10.2021 Yayınlanma / Published: 14.01.2022

doi: 10.28948/ngumuh.998293

genellikle ısı akış ölçer yöntemiyle test edilir. Bunun yanında camlar, seramikler ve ısıl iletkenlikleri yaklaşık 5 W/(mK)'den düşük olan diğer malzemeler için kullanılır. Yaklaşık oda sıcaklığındaki yalıtım malzemeleri için ölçüm belirsizlikleri yaklaşık %3 tür ve yüksek sıcaklıklarda belirsizlikler %10 ile %20 arasındadır [1]. Jonnot vd. [2] düşük örnek boyutlu numuneler için küçük sıcak blok metodunu geliştirmiştir. Bu metod il 3 ila 9 mm arasında değişen kalınlıklara ve 15 mm'ye kadar düşük çaplar sahip numunelerde 0.014–0.2 W/(m K) aralığındaki iletkenlikleri %10 yanılmayla ölçebilmiştir. Rizzo vd. [3] yaptığı çalışmada ise, temaslı ısı akış sensörlerinin kalibrasyonu ve belirsizliği iyileştirmek önlemler önermiştir. Ölçüm belirsizliğinin bilinen değerden sadece %2.7 farklı olduklarını belirtmişlerdir.

Isı akış ölçerin temel fikri, bir termal direnç boyunca sıcaklıktaki bir düşüşün ölçümüne dayalı olarak ısı akışının çıkarılmasıdır. Isı akışı ölçümünün yolu, sertifikalı veya iyi bilinen bir referans numunesi ya da bir ısı akışı sensörü kullanılarak gerçekleştirilir. Isı akışı sensörleri çoğunlukla bir termal direnci kapsayan bir dizi termokupl bağlantısından oluşur. Isı akış sensörlü ısı iletkenlik ölçüm düzeneği Şekil 1'de gösterildiği gibi, numune, biri ısıtılan diğeri soğutulan, farklı sıcaklıklarda sabit tutulan iki plaka (sıcak ve soğuk blok) arasına yerleştirilir [4]. Kararlı sıcaklıklara ulaşıldığında, sensör kararlı bir elektrik çıkış sinyali sağlar. Ölçülen sinyal ve termovoltajdaki değişiklik, plaka boyunca meydana gelen sıcaklık düşüşündeki düşüşle orantılıdır. Kararlı hal koşulları, katmanlı sistemin her noktasındaki ısı akışı miktarı eşit olduğunda ortaya çıkar. Termal denge kurulduktan sonra, termal iletkenliği hesaplamak için kararlı hal sıcaklıkları, numunenin kalınlığı, numunenin ölçülen alanı ve sıcak plakaya ısı akışı girdisi kullanılır. Isı akışı çıkışı genellikle çeşitli referans standartlarıyla, örneğin korumalı bir sıcak plaka aparatında kalibre edilir. Işker ve Yeşilata [5] araştırmalarında, üç farklı kompozit beton numunesinin birbirine yakın ısı iletim katsayısının farkını ölçebilen hassas bir sistem geliştirmişlerdir. Benzer bir çalışma yapan Sadati ve ark. termoelektrik teknolojisi yani Peltier kullanılarak düşük ısıl iletkenliğe sahip malzemelerin ısıl iletkenlik ölçümü için basit, ucuz ve yeni bir yöntem geliştirmiştir [6]. Bu yöntemde kullanılan sistem bir termoelektrik soğutucu, bir termoelektrik jeneratör ve iki fan ile soğutulan iki soğutucudan oluşmaktadır. Termal iletkenliği ölçmek için, bir termoelektrik soğutucu ile bir termoelektrik jeneratör arasına bir numune yerleştirilmiştir. Termoelektrik soğutucunun sıcak tarafında oluşan ısı numuneden geçerek termoelektrik jeneratöre girer ve iki tarafı arasında sıcaklık farkı oluşturur.

Sıcaklık farkı, termal iletkenliğin, numunenin kalınlığının ve termoelektrik soğutucunun güç tüketiminin bir fonksiyonu olan bir elektrik voltajı üretir. Sonuç olarak, üretilen elektrik voltajının, numunenin kalınlığının, elektrik voltajının ve termoelektrik soğutucunun elektrik akımının bir fonksiyonu olarak termal iletkenliğin tahmini için doğrusal olmayan bir fonksiyon elde etmek için matematiksel bir modelleme kullanılmıştır. Bunun yanında, Austin vd. [7], Peltierin yüzeyel ısı akışı ölçümü için Captec® ısı akışı sensörleri ile karşılaştırmıştır.



Şekil 1. Test düzeneğinin 2 boyutlu gösterimi

Captec ve Peltier ölçümleri karşılaştırıldığında ışımsal kısmın aynı olduğunu bulunmuştur. Bununla birlikte, Peltier ölçümleri kullanıldığında konvektif kısmın, Captec ölçümü kullanıldığından yaklaşık iki kat daha büyük olduğunu tespit etmişlerdir.

Yalıtım malzemesi geliştiren araştırmacılar, malzemeleri ve koşulları değiştirerek çok sayıda deney yapmaktadır. Genellikle seramik inorganik yalıtım malzeme geliştirilmesinde, doğadan temin edilen ucuz ham maddeler yani madenler öğütme veya ayrıştırma işleminden sonra katkılarla karıştırılmakta ve disk şeklinde preslenmektedir. Bu işlemi takip eden sinterleme ile gerekli mukavemet ve özellikler ısıtılan disklerde oluşturulmaktadır. Disklerin, ısı iletkenliklerini ölçerek optimum malzeme ve üretim koşullarını tespit edilmektedir. Ancak, ısı iletkenlik ölçüm sistemleri ya çok pahalı ya da büyük ebatlı test numunelerinin üretimini zorunlu kılmaktadır. Bu zorluğu ortadan kaldırmak için laboratuvarında inorganik yalıtım malzemeleri geliştiren bilim adamlarının kullanabileceği düşük maliyeti, kolaylıkla kendilerinin oluşturabileceği ve Peltierin ısı akış sensörü olarak kullanıldığı bir düzenek önerilmektedir.

2 Materyal ve metod

Bu çalışmada Peltierin ısı akış sensörü olarak kullanıldığı bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemin çalıştığı ortamın sıcaklığı ölçüm sonuçlarını etkilememesi için 22°C'de sabit tutulmuştur. Numune yüzeylerindeki sıcaklık farkı 10 derece olarak ayarlandığı için, soğuk tarafa doğru ısı akışı olmaktadır. Bu ısı akışı numunenin sıcak tarafında bulunan Peltierde gerilim oluşturmaktadır. Bu gerilim değerinden ısıl iletkenlik katsayısı tahmin edilmektedir. Pazarda mevcut Peltierlerin genel ebatları 40mmx40mm olduğundan ısıl iletkenlik ölçümü yapılacak numune ebatları bundan büyük olmalıdır. Soğuk tarafın sıcaklığını belli bir seviyede tutmak için diğeri bir Peltier soğutucu olarak kullanılmaktadır. Sıcak bloğun ısıtılması için ise alt bloğun içerisine 3D yazıcı ısıtıcısı olarak kullanılan bir adet fişek

rezistans yerleştirilmiştir. Soğuk ve sıcak taraflardaki sıcaklık kontrolü ve ölçümü için her birine bir adet LM35 analog sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. Isı akışı blokları ise bakır disklerden meydana gelmektedir.

2.1 Sistem tasarımı

Çalışmada düzeneğe 22°C'de sıcaklığı sabit tutulan 50 mm kalınlığında, iç ölçüleri (300 mm X 300 mm X 150 mm) bir yoğunluğu 30 kg/m³ strafor kutu içerisinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan kapalı düzeneğin içinde sıcak blok tarafı gömülü halde ve sabitlenmiştir. Sıcak bloğun üzerine sensör olarak kullanılacak Peltier yerleştirilmiştir. Ölçülecek numune Peltierin üzerine yerleştirilmektedir. Daha sonra numunenin üzerine diğer bir Peltier tarafından soğutulan blok yerleştirilmektedir. Bu blok içerisinde de sıcaklık sensörü bulunmaktadır. Her iki bloğun da sıcaklıkları PID denetleyici ile sabit tutulmaktadır.

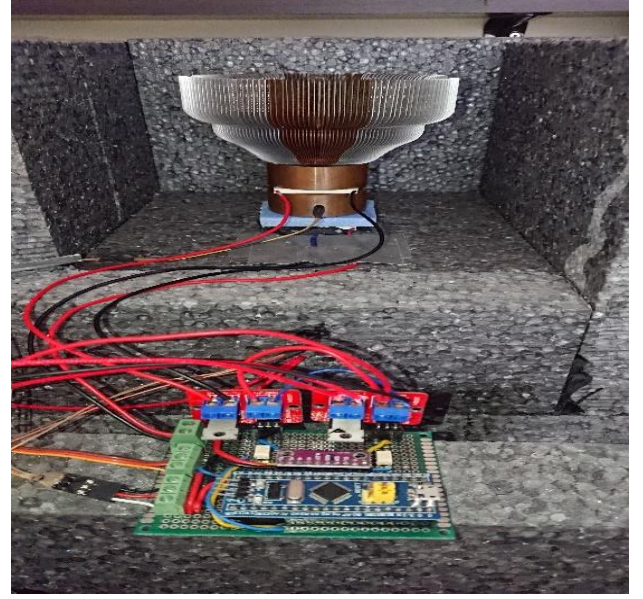
Tasarlanan test düzeneğinin çalışma prensibini şöyle ifade edebiliriz. EPS malzemedeki yapılan küp şeklinde üst yüzeyi açık malzemenin alt tarafında bulunan parça sıcak tarafı temsil etmektedir. Alt sıcak blok basit bir ısıtıcı yardımıyla sıcaklığı sabit kalacak şekilde PID kontrolü ile ısıtılmaktadır. Ölçüm sırasında test ortamının sıcaklığı 22°C derece olduğundan, sıcak bloğun sıcaklığı 5 derece daha yüksek olarak 27°C dereceye ayarlanmıştır. Soğuk blok ise ortam sıcaklığının 5 derece altı olan 17°C'ye ayarlanmıştır. Böylece toplam sıcaklık farkı 10 derece olacak şekilde, sıcak taraf 27°C ve soğuk taraf 17°C derece olarak ayarlanmıştır. Set edilen sıcaklıklara ulaşılması ve sıcaklık farkının 10°C'de sabit kalması ile Peltierin üzerindeki gerilim ölçümü için geçen süre yaklaşık olarak 7-8 dakika olarak tespit edilmiştir. Ayrıca soğuk tarafın sıcaklığını sabitlemek için bu bölgede Peltierin üstünde oluşan ısı bilgisayar fan sistemi kullanılarak uzaklaştırılmaktadır. Sistem dengeye ulaştığında ölçüm için kullanılan Peltierin üzerinden akan ısı sabit olacaktır. Bunun sonucunda Peltierin uçlarından bir gerilim oluşmaktadır ve bu gerilim akan ısının miktarıyla orantılıdır. Bu akan ısının miktarı ve dolayısı ile Peltier gerilimi numunenin termal iletkenliği ile ilişkilidir. Sistemdeki parçaların konumunu ve test düzeneğinin son hali Şekil 2'de görülmektedir.

2.2 Ölçülen numuneler

Çeşitli karışımlar sonucu elde edilen seramik, dairesel geometriye sahip 60-100 mm çap aralığında ve 6-12 mm aralığında kalınlığa sahip numunelerin (Şekil 3) flaş lazer ölçüm tekniği kullanılarak elde edilmiş ısı iletkenlik katsayılarının (k (W/m.K)) peltierin sensör olarak kullanıldığı ölçme sisteminde tekrar ölçümü yapılmış ve bu ölçümler karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.

2.3 Elektronik kart ve program

Test sisteminde STM32F103C6T6 micro denetleyici geliştirme kartı kullanılmıştır. Peltier ve sıcaklık sensörlerinden gelen analog veriler ADS1115 analog dijital dönüştürücü modülüyle mikro denetleyiciye aktarılmıştır.



Şekil 2. Isı iletkenliği ölçüm test düzeneği

Bu modül 15 bit çözünürlüğünde olup 0.015 mV hassasiyetle çalışmaktadır. Fişek ısıtıcıyı ve soğutma amaçlı kullanılan Peltier sürmek için IRF520N mosfetleri kullanılmıştır.

2.4 Kalibrasyon için kullanılan test malzemeleri

2.4.1 Farklı kalınlıkta hazırlanan malzemeler

Çalışmada ısı iletkenlik katsayısı ölçümü yapılacak malzemelerin kalınlığı değiştiğinden dolayı, kalınlık ile okunan Peltier gerilimi arasında bir bağıntı çıkarılması gerekmektedir. Test sistemi yaklaşık 10mm kalınlığındaki numuneleri ölçmek amacıyla tasarlandığından dolayı, 8mm, 9mm, 10mm, 11mm ve 12mm kalınlığında kağıt bloklar kalibrasyon ölçümü için hazırlanmıştır.

2.4.2 Farklı ısı iletkenliğe sahip malzemeler

Isıl iletkenliğin ölçümünde, Peltier ısı akış sensörü gerili ile ısı iletkenlik ilişkisinin tespit edilmesi ve buna göre kalibre katsayısı bulunması için ısı iletkenliği belirli olan ve farklı ısı iletkenlik katsayısına sahip, farklı kalınlıklarda malzemeler kullanılmıştır. Kullanılan malzemeler Tablo 1'de listelenmiştir. 3 adet farklı k değerlerine sahip numune (2 seramik, 1 EPS) bilinen değerlerinden yola çıkarak Peltier gerilimi ile termal iletkenlik arasında korelasyon kurulmuştur. Böylece ölçüm yapıp Peltier üzerindeki gerilimine etkisi kalibre edilmiştir. Sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Farklı ısı iletkenlik ve kalınlığa sahip malzemeler

Malzeme	Isıl iletkenliği (W/mK)	Kalınlığı(mm)
1	0.032	10.00
2	0.153	10.90
3	0.272	11.43

2.4.3 Maliyet dağılımı

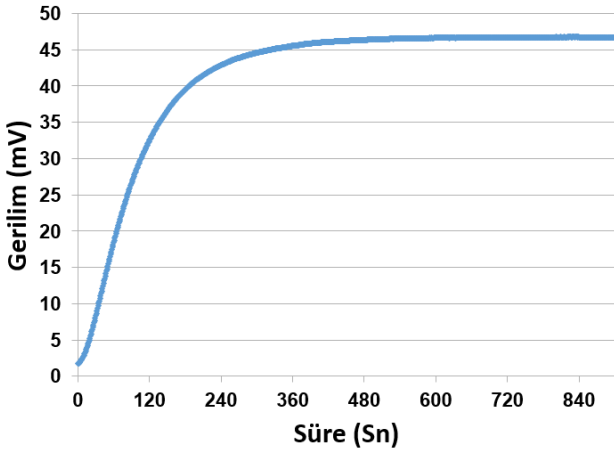
Kullanılan malzemelerin maliyet dağılımları **Tablo 2**'de verilmektedir. Burada maliyet dağılımında elektronik kısmın maliyeti aşağı yukarı bakır maliyetine yakındır. Toplamda ise 850 TL (\$100) karşılık yapılabileceği görülmektedir.

Tablo 2. Isı iletkenlik ölçüm sistemi maliyetleri

Ürün	Adet	Fiyat TL	Toplam TL	Toplam \$
Peltier	2	42	84	10
Bakır malzeme	3	80	240	30
Bakır işçiliği	1	240	240	30
Fişek rezistans	1	8	8	1
Sıcaklık sensörü	2	8	16	2
Bilgisayar fanı	1	40	40	5
Mikro denetleyici	1	40	40	5
Mosfet	2	20	40	5
Analog-dijital dönüştürücü	1	25	25	3
Diğer masraflar	1	85	85	10
TOPLAM				100

3 Bulgular ve tartışma

Numune sonuçlarının değerlendirilmesi için öncelikle sistemde Peltier geriliminin süreye bağlı değişimi incelenmiş ve sistemin kararlı hale gelmesi için gereken süreye bakılmıştır. Peltier geril değeri kullanılırken gerilimin kararlı hale geçtiğinde okunan gerilim değeri alınmıştır. Kararlı hale gelmesinin gösterildiği grafik **Şekil 3**'de gösterilmiştir. Ortalama 8 dakikada okunan gerilim değeri değişimi minimize olup kararlı hale gelmektedir.



Şekil 3. Okunan gerilimin kararlı hale gelme süresi

3.1 Kalınlık kalibrasyonu

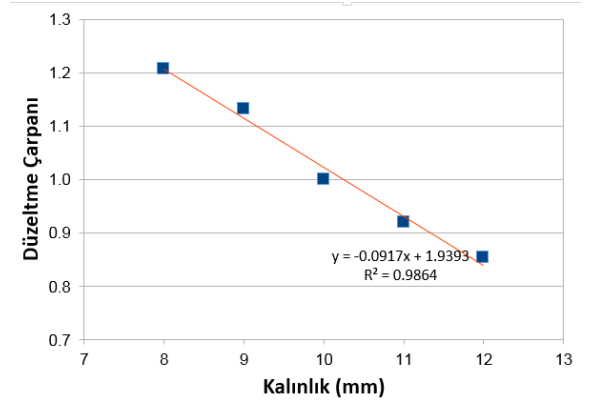
Ölçülecek numunelerin kalınlığı sabit olmadığından, Peltierden ölçülen gerilim de kalınlığa göre değişecektir. Bu kalınlık etkisini minimize etmek için 8 mm, 9 mm, 10 mm, 11 mm ve 12 mm kalınlığındaki kâğıt blokları ile ölçümler alınmış ve kalınlık ile Peltier gerilim arasındaki ilişki çıkarılmıştır. **Tablo 3**'de bu kalınlık ve gerilim değerleri verilmeyle beraber, referans alınan 10 mm kalınlığa göre gerilim değişiminin oranı da gösterilmiştir. Ayrıca **Şekil 4**'te

kalınlığa karşı okunan sensör gerilim değerlerinin (Gs) dağılımının verildiği grafik görülmektedir. Kalınlık attıkça ölçülen gerilimde lineer bir ilişki ile azalması beklendiğinden ölçüm değerleri Excel programı kullanılarak, lineer bir ilişki fonksiyona dönüştürülmüştür. Fonksiyon **Denklem 1**'de verilmiştir. **Denklem 1**'de hesaplanan Ç1 değeri kalınlığa göre düzeltme katsayısı çarpanı olarak hesaplanmaktadır. Sensör gerilim değerleri (Gs) ise Peltier ısı akış sensöründen okunan değerdir.

$$\text{Ç1} = -0.917(\text{Gs}) + 1.9393 \quad (1)$$

Tablo 3. Farklı kâğıt kalınlıkları için Peltier gerilim değerleri ve düzeltme katsayıları

Numune	Kalınlık (mm)	Peltier sensör gerilim Değeri(Gs) (mV)	Düzeltilme Çarpanı(Ç1)
1	8	30.6	1.207
2	9	28.7	1.132
3	10	25.36	1.000
4	11	23.33	0.920
5	12	21.66	0.854



Şekil 4. Kalınlığa karşı okunan gerilim değerleri dağılımı ve bu ilişkiyi en iyi tanımlayan lineer fonksiyon

3.2 Isı iletim katsayısı Kalibrasyonu

Isı iletim katsayısına bağlı olarak Peltier ısı akış sensörünün kalibrasyonu için ısı iletim katsayısı bilinen 3 farklı numune için öncelikle kalınlıklarının çarpanı bulunmuş ve buna göre değerleri düzeltilmiştir. Daha sonra Excel programı yardımı ile bilinen ısı iletkenlik değerleri(k) (W/mK) okunan kalınlık çarpanı ile düzeltilmiş gerilim değerleri(Gk) **Denklem 2**'de görüldüğü gibi hesaplanmıştır. Isı iletim katsayısı kalibrasyonu için kullanılan numunelerin bilinen ısı iletim katsayısı ve kalınlığa göre düzeltilmiş gerilim değerleri **Tablo 4**'de dağılımı ise **Şekil 5**'deki grafikte verilmiştir. Excel programı ile hesaplanan dağılıma en iyi tarifleyen ikinci derece polinom **Denklem 3**'de verilmiştir. Burada K gerilimden yola çıkarak hesaplanan ısı iletim katsayısını vermektedir.

$$\text{Gk} = \text{Gs} / \text{Ç1} \quad (2)$$

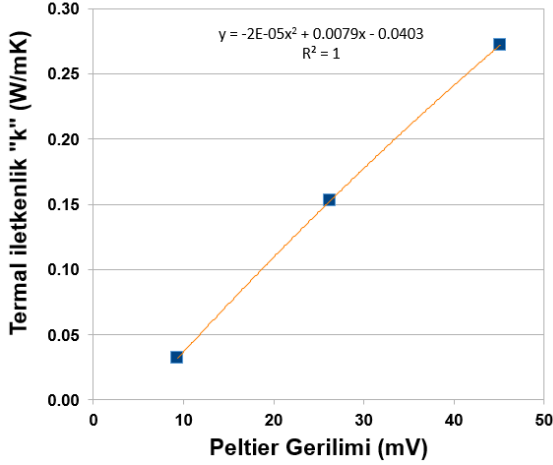
$$\text{K} = -2\text{E-}05(\text{Gk})^2 + 0,0079(\text{Gk}) - 0,0403 \quad (3)$$

Tablo 4. Numunelerin bilinen ısı iletkenlik katsayısı ile kalınlık düzeltmesi yapılmış gerilim değerleri

Numune	Gerçek "k" Değeri	Ölçülen Peltier Gerilim (Gs) (mV)	Numune Kalınlığı (mm)	Kalınlık Düzeltme Çarpanı (Ç1)	Düzeltilmiş Peltier Gerilimi (Gk)
1	0.032	9.57	10.00	1.022	9.360
2	0.153	24.75	10.90	0.940	26.331
3	0.272	40.24	11.43	0.891	45.144

3.3 Isı iletim katsayısı ölçümü ve karşılaştırma

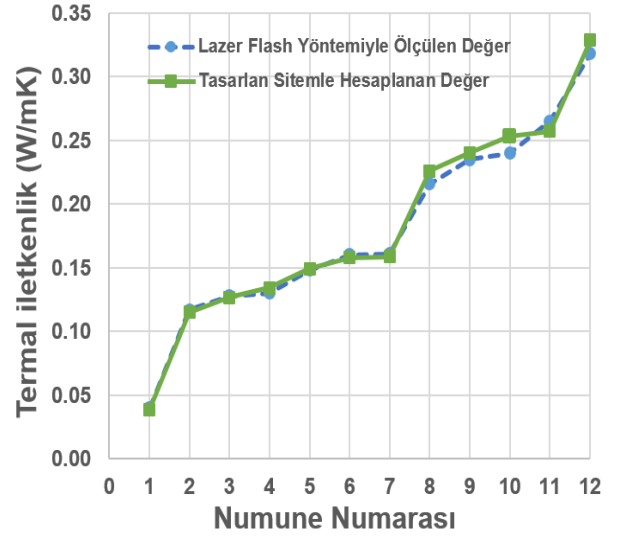
Daha önce lazer flash yöntemiyle ısı iletkenliği ölçülmüş 11 seramik ve 1 adet XPS yalıtım malzemesinin ölçümleri tasarlanan sistem ile yapılmıştır. Tablo 5’de, sensör gerilim değerleri (Gs), kalınlık düzeltme çarpanı (Ç1), düzeltilmiş gerilim (Gk) ve hesaplanan termal iletkenlik (K) değerleri verilmiştir. Hesaplanan ısı iletim katsayısı ile lazer flash yöntemiyle ölçülen değerlerin dağılımı Şekil 6’ verilmiştir. Görüleceği üzere hesaplanan değerlerle bilinen değerler arasında en fazla %5.62 gibi bir farklılık olabilmektedir.



Şekil 5. Kalınlığa göre düzeltilmiş gerilim değerlerine karşı ısı iletken katsayıları grafiği

Tablo 5. Farklı kalınlıklarda ve farklı ısı iletim katsayısına sahip numunelerin hesaplanan değerleri

Numune Sıra no	Ölçülen Peltier Gerilimi	Numune Kalınlığı (mm)	Kalınlık Düzeltme Oranı	Düzeltilmiş Peltier Gerilimi	Ölçülen "k" Değeri	Gerçek "k" Değeri	Sapma %
1	11.400	9.0	1.114	10.232	0.039	0.040	3.66
2	24.870	8.1	1.197	20.783	0.115	0.117	1.82
3	21.740	10.6	0.967	22.492	0.127	0.128	0.96
4	27.620	8.4	1.173	23.550	0.134	0.130	3.12
5	29.200	8.8	1.132	25.784	0.149	0.148	0.88
6	28.000	9.9	1.034	27.069	0.158	0.160	1.27
7	27.100	10.3	0.997	27.187	0.159	0.161	1.39
8	34.260	11.2	0.912	37.547	0.226	0.216	4.57
9	46.750	8.4	1.172	39.892	0.240	0.235	2.29
10	56.100	6.6	1.334	42.048	0.254	0.240	5.63
11	36.220	11.9	0.849	42.652	0.257	0.265	2.96
12	76.400	6.0	1.386	55.105	0.329	0.318	3.32



Şekil 6. Numunelerin kalınlıklarına göre hesaplanan ve bilinen ısı iletkenlik katsayısı dağılımı grafiği

4 Sonuçlar

Yalıtım uygulamalarında kullanılan materyal ya da malzemelerin ısı iletkenlik ölçümüne yönelik bu yöntem oldukça ekonomik ve diğer yöntemin çıktıklarına yakın sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada incelenen Peltierin ısı akış sensörü olarak kullanıldığı ölçüm yöntemi; ölçüm hassasiyeti, küçük boyutlu numune kullanımı ve deney süresinin kısalığı nedeniyle tercih edilebilir. Ayrıca çoklu sistem tasarımına uygun bir düzeneştir.

Not

Bu makale birinci yazar Ahmet Korkmaz'ın yüksek lisans çalışmasından üretilmiştir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %13

Kaynaklar

- [1] N. Yüksel, The review of some commonly used methods and techniques to measure the thermal conductivity of insulation materials, *Insulation Materials in Context of Sustainability*, IntechOpen 2016. <https://doi.org/10.5772/64157>
- [2] Y. Jannot,1, S. Schaefer, A. Degiovanni, J. Bianchin, V. Fierro, and A. Celzard, A new method for measuring the thermal conductivity of small insulating samples, *Review of Scientific Instruments*, 90, 054901-9, 2019. <https://doi.org/10.1063/1.5065562>
- [3] G. Rizzo, R. Christen, and M. Stöck, Calibration methodology for contact heat flux sensors with enhanced accuracy, *Measurement Science and Technology*, 32(4), 045003, 2021. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6501/abcf62>
- [4] 2019ASTM C518-17, Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. <https://doi.org/10.1520/C0518-17>
- [5] Y. Işiker, ve B. Yeşilata, Yapı malzemelerinin ısı iletim katsayılarının tespitine yönelik yeni bir yöntem geliştirilmesi, *Harran Univ. Muh. Der.*, 01, 14-21, 2017. <https://dergipark.org.tr/pub/humder/issue/30491/341142>
- [6] S. Sadati, N. Rahbar H. Kargarsharifabad, and K. Doost, Low thermal conductivity measurement using thermoelectric technology - Mathematical modeling and experimental analysis, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 127, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105534>
- [7] M. Austin, T. Vogt, W. A. Sempey, A. Sommer, ve J. Dumoulin, Investigation into the use of thermoelectric modules as an alternative to conventional flux meters: application to convective and radiative heat flux in buildings. *International Journal of Thermal Sciences*, 160, 1-13, 2021.

