

PAPER DETAILS

TITLE: Fourier Kanunuyla Çalışan Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı Tasarımı ve Üretimi

AUTHORS: Umut Melikoglu,Bahri Damar,Mustafa Mutlubas,Osman Yeler

PAGES: 716-725

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3469773>

Fourier Kanunuyla Çalışan Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı Tasarımı ve Üretimi

***Makale Bilgisi / Article Info**

Alındı/Received: 12.10.2023

Kabul/Accepted: 06.05.2024

Yayımlandı/Published: 27.06.2024

Design and Fabrication of Thermal Conductivity Coefficient Measurement Device Working with Fourier's Law

Umut MELİKOĞLU , Bahri DAMAR , Mustafa MUTLUBAŞ , Osman YELER* 

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Öz

Geçmişten günümüze insanlar, gıdalarını dondurmaktan kışın ısınmaya kadar her türlü günlük ihtiyaçlarında iletimle olan ısı transferi yöntemini kullanmışlardır. İletimle olan ısı transferinin en önemli parametresi, malzemelerin ısı iletim katsayısının belirlenmesidir. Bu çalışmada, yığın malzemelerin ısı iletim katsayısını kararlı rejim koşulları altında Fourier yasası yardımıyla laboratuvar ortamında mutlak teknik yöntemiyle ölçülebilen düşük bütçeli bir ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı geliştirilmiştir ve üretilmiştir. Bu kapsamda, geliştirilen tek boyutlu bir ısı akışı düzeneği ile; bakır, pirinç ve alüminyum malzemelerinin ısı iletim katsayısı değerleri deneysel olarak belirlenmiştir ve hesaplanan değerler, literatürdeki mevcut değerlerle karşılaştırılmıştır. Üretilen cihazın ölçüm değerlerindeki belirsizlik analizi %2,87 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre, üretilen cihazdan hesaplanan değerler ile literatür değerler arasında genel olarak uyum içinde olduğu (bakır ve pirinç numune de tam olarak uyum sağlanmış olup, alüminyum numunede %12'lik bir fark söz konusudur) tespit edilmiştir. Bununla birlikte laboratuvarlarda kullanılan profesyonel ısı iletim katsayısı ölçüm cihazlarının doğruluğu genellikle %5 civarında iken, geliştirilen düşük bütçeli cihazın doğruluğu %0,1-12 arasında olduğu belirlenmiştir. Buradan geliştirilen cihazın performansı, yüksek bütçeye sahip profesyonel cihazlara göre kabul edilebilir seviyede olduğu ifade edilebilmektedir. Ayrıca bu çalışmada, geliştirilmek istenen düşük bütçeli cihazın ön araştırma sonuçları paylaşılmış olup, tasarlanan cihazın performansının artırılması ve eksik yönlerinin geliştirilmesi için tasarlanan cihazda yapılması gereken ilave iyileştirmeler maddeler halinde de sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Isı transferi; Isı iletim katsayısı ölçüm cihazı; Fourier kanunu; Mutlak teknik.

Abstract

From past to present, humanity has used thermal conductive heat transfer method in all their daily needs, ranging from freezing food to heating during winter. The most important parameter of the heat transfer by conduction is determination of the thermal conductivity coefficient of materials. In this study, a low-budget thermal conductivity coefficient measurement device that can measure the thermal conductivity coefficient of bulk materials by means of Fourier's Law under steady-state conditions using absolute technical method in laboratory environment has been improved and fabricated. With a one-dimensional heat flow mechanism, heat conduction coefficient values of copper, brass and aluminum materials were determined experimentally, and calculated values were compared with existing values in the literature. The uncertainty analysis in measurement values of the fabricated device was calculated as 2.87%. According to the experimental results, it was determined that values calculated from fabricated device are in good agreement with literature values (copper and brass samples are in full compliance, but there is a 12% difference in aluminum sample). On the other hand, while accuracy professional thermal conductivity coefficient measurement devices used in laboratories is generally around 5%, accuracy of the developed low-budget device has been determined to be between 0.1-12%. It can be stated here that performance of the device developed is acceptable level compared to professional devices with high budgets. Also, in this study, preliminary research results of the low-budget device are shared, and additional improvements that need to be made in the fabricated device to increase the performance and to improve its shortcomings are also presented.

Keywords: Heat transfer; Thermal conductivity coefficient measuring device; Fourier's law; Absolute technique.

1. Giriş

Isı, sıcaklıkları farklı iki madde arasında transfer edilen enerjidir. Normal koşullarda yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru transfer edilir. Aksi isteniyorsa belirli bir enerji harcamak gerekir. Isı transferi; iletim, taşınım ve ışıyım olmak üzere 3 yol ile gerçekleşir. Bu ısı transferlerinden iletim, malzemenin bir tarafından diğer tarafına atomların etkileşimleri ve titreşimleri aracılığıyla

olan ısı transferidir. Her malzemenin ısıyı iletme hızı birbirinden farklıdır (Çengel 2012). Örneğin; altın, alüminyum, bakır, gümüş, demir ve çelik gibi malzemeler ısıyı hızlı iletirken; plastik, tahta, pamuk, poliüretan köpük gibi malzemeler ısıyı yavaş iletirler. Bu hız durumu iletimle ısı transferinde, ısı iletim katsayısı (k) olarak ifade edilmektedir ve maddeleri birbirinden ayıran karakteristik bir özelliktir. Aynı zamanda ısı iletim katsayısı,

malzemelerin iç yapısal özelliklerine ve sıcaklıklarına bağlı olarak da değişmektedir.

Mühendislik hesaplamalarında, kullanılan malzemelerin ısı özelliklerini belirlemek çok önemlidir. Çünkü birçok mühendislik uygulamasında çeşitli faktörlerden dolayı ısı enerjisi ile bir şekilde karşı karşıya kalınmaktadır. Bununla birlikte her geçen gün farklı özelliklere sahip yeni birçok farklı malzemeler geliştirilmektedir ve bu malzemelerin, mühendislik hesaplarında en çok kullanıldığı değerlerden biri olan ısı iletim katsayısı değerlerinin bir şekilde ölçülmesi ve belirlenmesi gerekmektedir. Işiker ve Yeşilata (2017) çalışmasında, yapı malzemelerinin ısı iletim katsayısının ölçülmesinde sıcaklığın homojen olarak dağılması ve yayılması için yeni bir metot araştırmışlardır. Isıl performansları belirlenecek parçayı, çalışma kapsamında geliştirilen adyabatik bir kutuya yerleştirmişler ve sıcaklığın homojen yayılımını gözlemlemek için termal kamera kullanmışlardır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre, en yüksek ısı iletim katsayısının katkısız betonda ve en düşüğünün ise %2 palmiye lifi katkılı betonda olduğunu tespit etmişlerdir. Bir başka çalışmada Yüksel (2010), gözenekli yapıların ısı iletim katsayısına olan etkisini incelemiştir. Çalışmasında, koruyucu ısıtıcı özelliğine sahip sıcak levha cihazını kullanmıştır. Isı iletim katsayısı belirlenecek malzemeler sıcak ve soğuk plakalar arasına konulmuştur. Güç kaynağından belirli bir güç verilerek yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Bu değerler excel dosyasına aktararak Fourier kanunu ile malzemelerin ısı iletim katsayıları belirlenmiştir. Kayfeci ve Kurt (2007) silindirik metot yöntemiyle çalışan, sıvıların ısı iletim katsayısını ölçen bir düzenek hazırlamışlardır. Bu düzende sıcaklık ölçümü, kalibrasyonu buz banyosunda kontrol edilen demir-konstantan termokupllar ile hassasiyeti 0,1 °C olan on iki kanallı dijital okuma özelliğine sahip cihazla yapılmıştır. Soğutma sıvısı ve ısıtıcı çalıştırıldıktan sonra sistem sürekli rejime geldikten sonra ölçümleri yapmışlardır. Bir başka çalışmada Atmaca (1992) elektriği iletmeyen yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısını belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Deneyde, ısı iletim katsayısı ölçülecek olan parçaların 0,25 m² yüzey alanı, 10-125 mm arasında kalınlığı vardır. Parçaların üzerine açılmış olan 3 mm uzunluğundaki kanallara 8 tane sıcaklık algılayıcı sensör konulmuştur. Isıtıcı, boşluk kalmayacak şekilde parçalara sıkıştırılmış ve sistem, poliüretan ve cam yünü ile yalıtılmıştır. Isıtıcıya verilecek olan güç ayarlandıktan sonra, soğutucu ve sirkülasyon pompası çalıştırılıp deneyler yapılmıştır. Turgut vd. (2009) çalışmalarında ayçiçek yağı, mısır yağı ve zeytinyağının ısı iletim katsayılarını deneysel olarak bulmuşlardır. Deneylerinde sıcak tel metodunu kullanmışlardır. Isı kaynağı için kullanılan prob, paslanmaz çelikten imal

edilmiş, 0,7 mm çapa sahip ve uzunluğu 36-51 mm arasında değişmektedir. Termokupllar, 0,05 mm çaplı krom-konstantan yapılmıştır. Sıcaklık ölçümü, 30 saniye boyunca her 0,5 saniyede bir okuyarak yapmışlardır. Güç kaynağına bağlı prob, uniform ve sürekli rejimde numunelerin içine atılmış ve numunelerin sıcaklıkları kaydedilerek bir bilgisayara aktarılmıştır. Deneysel sonuçlar, ısı iletim katsayısındaki düşüşün diğer yağlardan ziyade mısır yağının daha fazla etkilediğini göstermiştir. Franco (2007) çalışmasında, metal olmayan ısı iletim katsayısı düşük malzemelerin (0,2-4 W/m.K) ısı iletim katsayılarının belirlenmesinde sıcak tel metodunu kullanmıştır. Düzenek; termal prob nikel alaşımlı ısıtıcı kablo (Stablohm 800B®) içermekte olup, 150 mm uzunluğundadır ve dış çapı 0,508 mm'dir. Deneylerde kullanılan Stablohm 800B probun, 60 °C'den 140 °C'ye kadar geniş bir aralıkta ölçüm yapabildiği belirtilmiştir. Sıcaklık, iki termokupl yardımıyla ölçülmüştür. Güç kaynağı olarak HP E3632A DC kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, 1,5 W/m.K'nin üzerindeki ısı iletim katsayısı değerlerini ölçmenin zor olduğunu göstermiştir. Bunun için verilen ısıl gücün daha da artırılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Çalışmadaki ısı iletim katsayısı çalışma aralığının 0,04-0,2 W/m.K arasında olduğu bildirilmiştir. Ancak teknik düzeltmelerle bu aralığı 1,5-4,0 W/m.K arasına çıkartılabileceği ifade edilmiştir. Ayrıca ısı iletim katsayısı ölçüm hatasının %5'ten daha düşük bir doğruluk oranını sahip olduğu ve ölçümlerin tekrar edilebilirliğini %2-3 arasında olduğu belirtilmiştir. Cahill (1990) çalışmasında, 3ω metodu ile α-SiO₂ malzemenin ısı iletim katsayısını ölçmüştür. 3ω metodu mikron kalınlığında amorf filmleri ölçebilecek kadar hassas bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Yapılan deneylerde, oda sıcaklığının üzerindeki deney malzemesi bakır blok üzerine konulup, nikel alaşımı olan kromel-alumel ile yapılmış termokupl ile numunenin aynı sıcaklığa sahip olması için bakır bloğun etrafına ısı yalıtım kalkanları yerleştirilmiştir. Malzemelerin ısı iletim katsayısını belirlemek için 3ω voltajı frekansın bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Çalışmanın sonucunda; geleneksel yöntemlerin 600 K üzerinde ısı yalıtım hatalarından fazlaca etkilendikleri, 3ω yönteminin geleneksel yöntemlerin aksine çok fazla etkilenmediği ortaya konulmuştur.

Yukarıdaki bahsedilen çalışmalarda da görüldüğü gibi mühendislik uygulamalarında kullanılmak için geliştirilen malzemelerin özelliklerine bağlı olarak ısı iletim katsayısı ölçüm yöntemi farklılık göstermektedir ve bu konularda birçok bilimsel çalışma yapılmaktadır. Mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan yığın (bulk) malzemeler ve ince film malzemeler için ısı iletim katsayısı ölçüm metotları Çizelge 1'de gösterilmiştir. Bu çalışmada,

yığın malzemeler için kararlı durum koşullarında mutlak teknik yöntemi kullanılarak Fourier kanunuyla çalışan düşük bütçeli bir ölçüm cihazı, laboratuvar koşullarında malzemelerin ısı iletim katsayısını belirleyebilmek için geliştirilmiş ve üretimi yapılmıştır. Aynı zamanda geliştirilen cihazın olumlu gelişimini sağlayacak deneysel

sonuçların elde edilmesi hedeflenmiştir. Isı iletim katsayısı, malzemelerin önemli bir termofiziksel özelliği olduğu için düşük bütçeli olarak geliştirilen bu cihazdan elde edilecek deneysel sonuçlar, uygulama ve literatüre önemli katkılar sağlayacaktır.

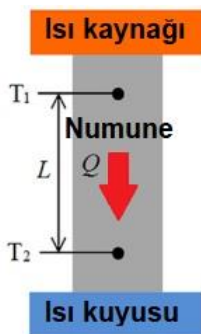
Çizelge 1. Yaygın olarak kullanılan termal karakterizasyon teknikleri (Zhao et al. 2016)

	Yığın Malzeme	İnce Film
Kararlı Durum	- Mutlak teknik - Karşılaştırmalı teknik - Radyal ısı akışı metodu - Paralel iletkenlik yöntemi	Kararlı durum elektrik ısıtım metotları
Transit (Frekansa bağlı)	Kesintili (pulsed) güç tekniği	3ω metodu - FDTR teknik
Transit (Zamana bağlı)	- Sıcak tel metodu - Lazer flaş yöntemi - TPS metodu	TDTR teknik

2. Materyal ve Metot

Mutlak teknik yöntemi genellikle dikdörtgen veya silindirik şekle sahip yığın numuneler için kullanılır. Bu ölçümü gerçekleştirirken, test bloğu, Şekil 1’de gösterildiği gibi bir ısı kaynağı ile bir ısı kuyusu arasına yerleştirilir. Tek boyutlu kabul edilebilen bir numune için, bilinen sabit durum güç girişi ile ısı kaynağı tarafından ısıtılır ve numunenin belirli bir kesit alanı (A) ve uzunluğu (L) boyunca ortaya çıkan sıcaklık düşüşü (ΔT), kararlı durum sıcaklık dağılımı oluşturulduktan sonra sıcaklık sensörleri tarafından ölçülür. Numunenin ısı iletim katsayısı (k), Fourier ısı iletimi yasası kullanılarak hesaplanır (Denklem 1).

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \frac{dT}{dL} \quad (1)$$



Şekil 1. Tek boyutlu kabul edilebilen bir numunenin mutlak teknik yöntemiyle ısı iletim katsayısı ölçümü

Kullanılan bu yöntemin en önemli ve en zorlayıcı bölümleri ise, verilen ısıyı doğru belirleyebilmek ve sıcaklık farklarını doğru ve hassas olarak ölçebilmektir. Bu doğrultuda ısıyı doğru olarak hesaplayabilmek için numuneye giden ısıda bulunan parazit ısı kayıpları, çıkartılarak gerçek ısı miktarı belirlenmeye çalışılmıştır

(Denklem 2). Bununla birlikte seramik ısıtıcı ile oluşturulan ısı, hem ısıtıcıdan hem de numuneden çevre ortamına ısı transferi yöntemleriyle gitmemesi için etrafları, PLA (polilaktik asit) gövde malzemesi içerisine ısı iletim katsayısı çok düşük olan taş yünü ile kaplanarak yalıtılmıştır. Bu şekilde seramik ısıtıcı ve numunenin etrafı, sızdırmaz bir şekilde PLA ve taş yünü ile kaplandığı için taşınım ve ışıınım ile olan ısı transferleri de engellenmiştir.

Taş yününün yalıtım kalınlığı, sistemin maksimum koşullarda çalıştığı ve tek boyutlu bir ısı akışının söz konusu olduğu durum için düzlemsel levha termal direnç yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır (Denklem 3 ve 4). Sıcaklıkları doğru ölçmek için numunelerin belirlenen noktalarına matkap ile küçük delikler açılmış ve termokupllar bu deliklere yerleştirilerek sıcaklık ölçümleri doğru bir şekilde alınmaya çalışılmıştır.

$$\dot{Q}_{gercek} = \dot{Q}_{ısıtıcı} - \dot{Q}_{kayıp} \quad (2)$$

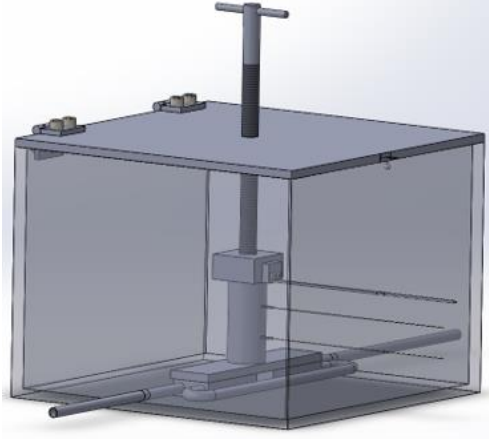
$$R_{taş yünü} = \frac{L_{taş yünü}}{k_{taş yünü} \cdot A} \quad (3)$$

$$R_{PLA} = \frac{L_{PLA}}{k_{PLA} \cdot A} \quad (4)$$

2.1 Tasarlanan deney düzeneği

Tasarlanan deney düzeneği; ısıtıcı (metal seramik ısıtıcı), soğutucu (bakır ısı kuyusu ve su soğutma sistemi), voltaj regülatörü, yalıtım malzemeleri (ısıtıcı ve numune için taş yünü ve PLA), termokupl ünitelerinden oluşmaktadır (Şekil 2). Numunenin boyutları, tek boyutta ısı transferi sağlanabilmesi için 20x20x100 mm boyutlarında tercih edilmiştir. Isıtıcı kaynağı olarak 20x20x1,7 mm olan kare

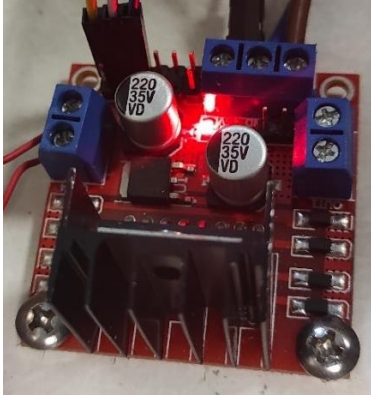
metal ısıtıcı kullanılmıştır. Isı kuyusu 235x55x10 mm boyutlarında bakır levha ve içerisinde 15 L/min. hacimsel debide su sirküle ettirebilen alüminyum sıvı soğutma bloğundan oluşmaktadır. Yalıtım malzemesi olarak ısı iletim katsayısı 0,035 W/m.K olan ve -50 °C/ +1000 °C aralığında çalışabilen taş yünü tercih edilmiştir ve standart K tipi termokupllar ile sıcaklıkların ölçülmesi planlanmıştır.



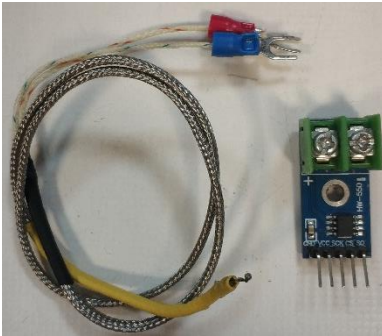
Şekil 2. Tasarlanan düzeneğin SolidWorks çizimi



(a)



(b)



(c)

Şekil 3. (a) Thorlabs-Ht24s seramik ısıtıcı (b) L298n motor sürücü (c) MAX6675 K tipi termokupl&sürücü

2.2 Üretilen deney düzeneği

Tasarlanan deney düzeneğinin dış gövdesi ve gerekli diğer parçaları, Pamukkale Üniversite Makine Mühendisliği bölümünün alt yapısında bulunan Rigid Zero-2 3-D printerlar kullanılarak PLA malzemesinden üretilmiştir. 20x20x2 mm boyutlarındaki seramik ısıtıcı Almanya'da bulunan Thorlabs firmasının 24 W gücünde ve maksimum yüzey sıcaklığı 400 °C'ye çıkabilen HT24S modelidir. Tasarlanan cihazın yazılımı Arduino Uno vasıtasıyla geliştirilmiştir. Ayrıca sıcaklık ölçümleri için 2 adet MAX6675 K tipi termokupl&sürücüsü ve ısıtıcının gücünün kontrol edilmesi için ise L298n motor sürücüsü kullanılmıştır (Şekil 3). Isıtıcının güç kaynağı olarak Meanwell 24V 6,5A'lık DC güç kaynağı tercih edilmiştir. Sistemin soğutma ünitesi için bakır levha ve 2 adet 40x80x10 mm boyutlarında alüminyum sıvı soğutma bloğu kullanılmış olup, sistem içerisinde su sirkülasyonu sağlamak için de Kemos Kızılırmak marka 12 V ile çalışan mazot ve sıvı aktarma pompası (PMP-0016) kullanılmıştır (Şekil 4). Pompayı beslemek için ise 12V 5A'lık ikinci bir DC güç kaynağından faydalanılmıştır.



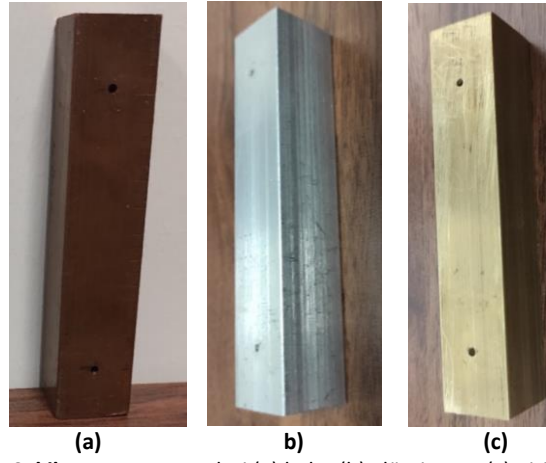
(a)



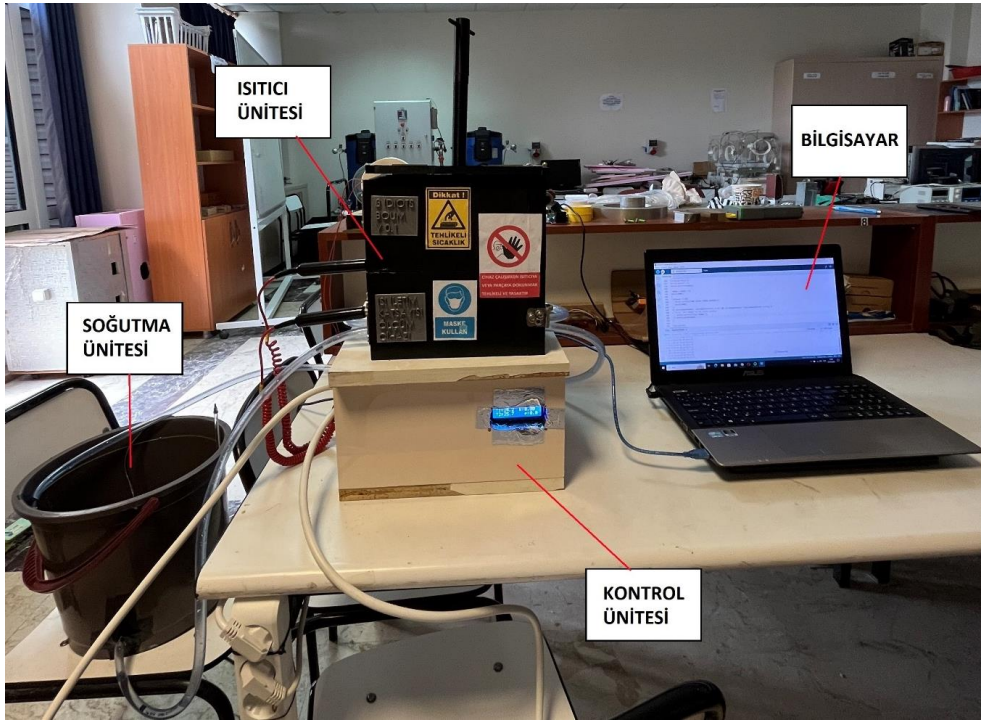
(b)

Şekil 4. Soğutma sistemi (a) bakır ve alüminyum sıvı soğutma bloğu (b) PMP-0016 sıvı aktarma pompası

Geliştirilen ısı iletim katsayısı ölçüm cihazını test etmek için 20x20x100 mm boyutlarında bakır, alüminyum ve pirinç malzemelerden oluşan numuneler temin edilmiştir. Numunelerin belirlenen noktalarına termokuplların yerleştirilebilmesi için matkap ile küçük delikler delinmiştir (Şekil 5). Geliştirilen ürünün ölçtüğü sıcaklıklar, RealTerm ücretsiz yazılımı kullanılarak deney süresi boyunca anlık olarak bilgisayara kaydedilmiştir (Şekil 6).



Şekil 5. Test numuneleri (a) bakır (b) alüminyum (c) pirinç



Şekil 6. Geliştirilen ısı iletim katsayısı ölçüm deney düzeneği

3. Bulgular

Geliştirilen ısı iletim katsayısı ölçüm düzeneğinin gerekli bağlantıları yapılmıştır ve her bir numunenin 45 dakika boyunca ölçülen sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Yapılan ön denemelerde her bir numunenin yaklaşık olarak 15 dakikada sürekli rejime ulaştığı görülmüştür. Ayrıca, 30 dakika boyunca sıcaklıklar anlık olarak sürekli ölçülüp yazılımda anlık olarak ısı iletim katsayısı değerleri hem cihazın üzerinde bulunan LCD ekrana yazdırılmış hem de excel dosyasına kaydedilmiştir. Verilerin doğru alınabilmesi için her bir numunenin ölçümü 2 kez tekrarlanmıştır. Bununla birlikte numuneye verilen ısının doğru olarak belirlenebilmesi için L298n motor sürücüsünde yaşanan gerilim kaybı göz önünde bulundurulmuş ve sürücüdenden çıkan gerilim, Fluke 15B+ dijital multimetre ile 22 V olarak ölçülmüştür. Çalışmada

kullanılan seramik ısıtıcının direnci, ürün kataloğunda 23,5 Ω olarak verilmiştir. Buradan da sistemden geçen akım 0,936 A olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte hem voltaj hem de akım değerleri devreye bağlanan bir dijital voltmetre-ampmetre ile belirlenmiştir.

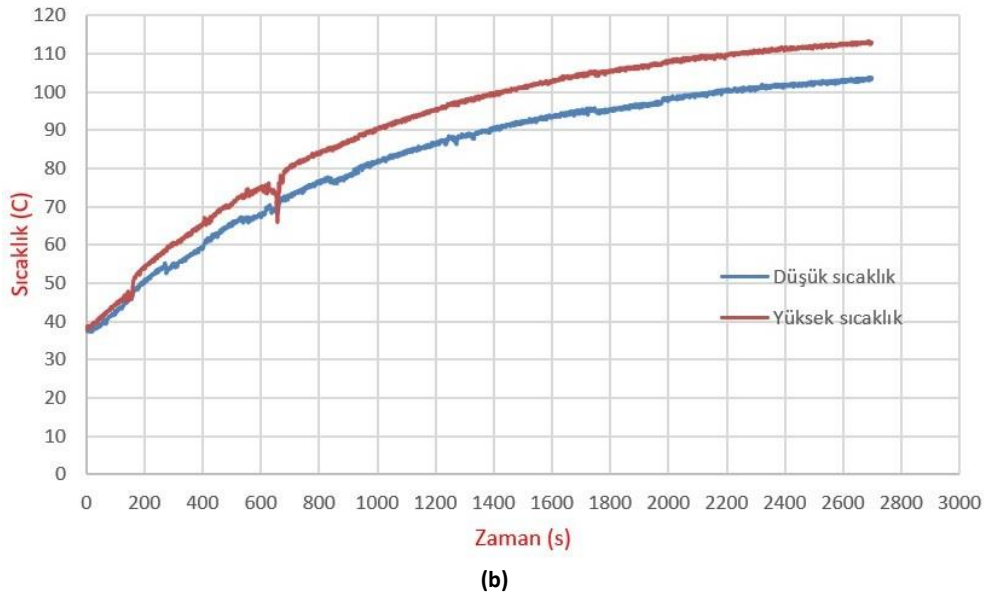
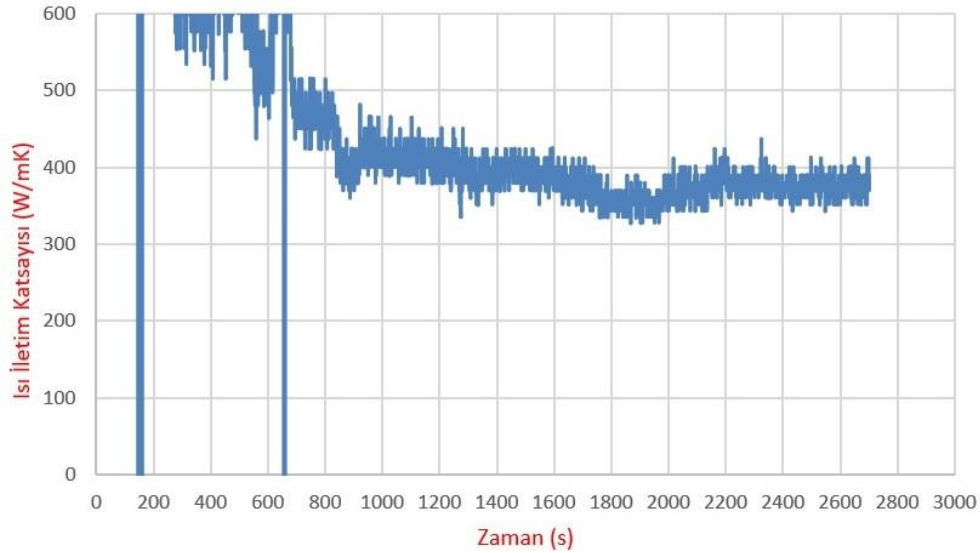
Geliştirilen cihazda numunelerin ısı iletim katsayılarının deneysel ölçümünde kullanılan ölçüm aletlerinin ölçüm hatalarının tespiti için belirsizlik analizi yapılmıştır. Çizelge 2'deki veriler kullanılarak, geliştirilen cihazın hesapladığı ısı iletim katsayısı verilerindeki belirsizlik %2,87 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Belirsiz analizi tespitinde kullanılan veriler

Ölçüm verileri	Doğruluk
Volt	%0,5
Akım	%1,5
Uzunluk	%0,5
Sıcaklık	$\pm 1,5$ °C

Çalışmada kullanılan bakır, pirinç ve alüminyum numunelerin zamana bağlı olarak ölçülen ısı iletim katsayıları değişimleri ve sıcaklık farkı değişimleri sırasıyla Şekil 7, 8 ve 9'da verilmiştir. Yapılan deneylerde sistem kararlı rejime ulaştıktan sonra bakır numunenin ısı iletim katsayısı, ortalama 385,01 W/m.K olarak hesaplanmıştır. Halıcı ve Gündüz (2013) ısı transferi kitabında bakırın ısı iletim katsayısı, 120 °C'de yaklaşık olarak 392 W/m.K olduğu görülmüştür. Literatürde oda sıcaklığında (25 °C) verilen tablolarda bakırın ısı iletim

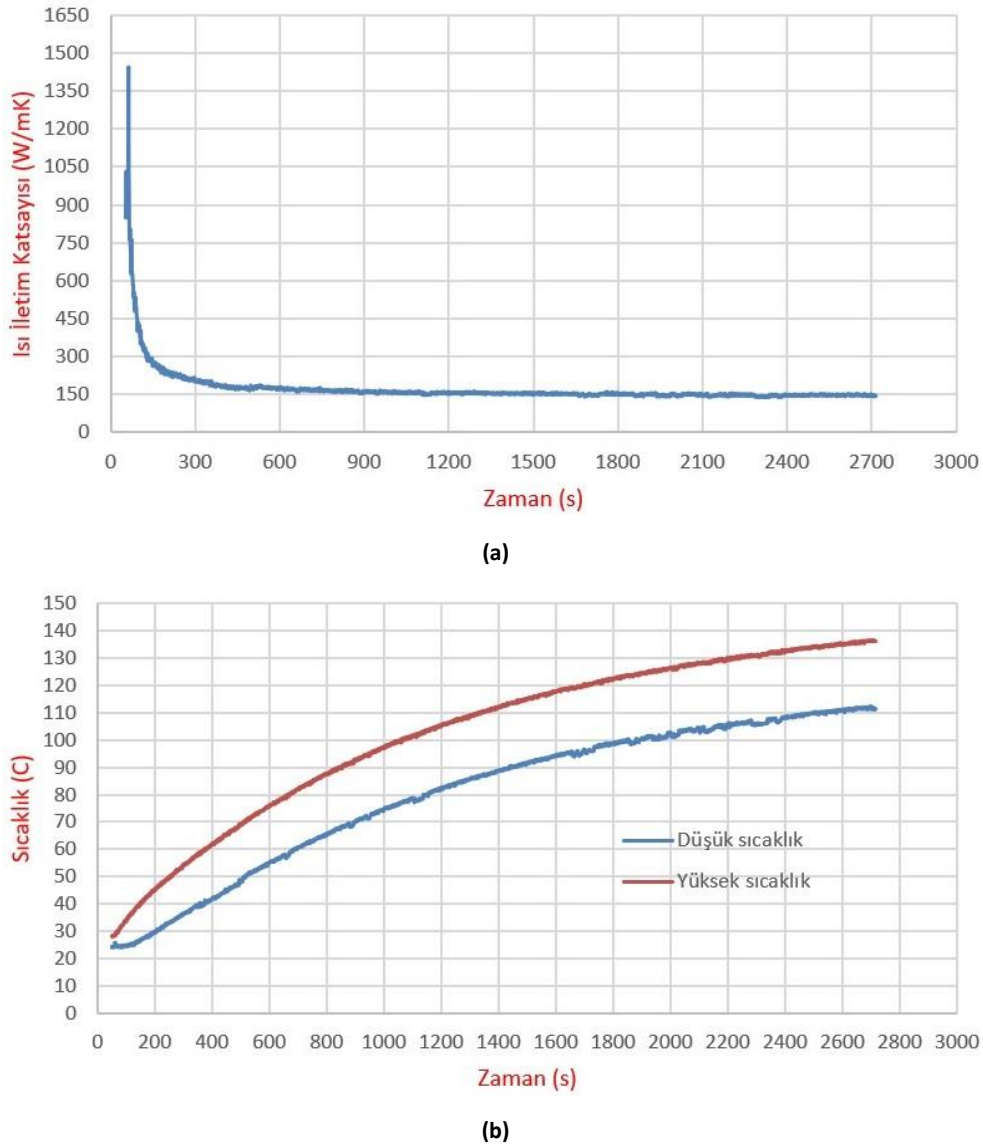
katsayısının 388-401 W/m.K olarak görülmektedir (Chung 2001, Muhammad and Umar 2013, Deneysan 2015). Buradan geliştirilen cihazla hesaplanan değer ile literatür değerleri arasında iyi bir uyum olduğu rahatlıkla söylenebilmektedir. Bununla birlikte Şekil 7'de de görüldüğü gibi, bakır numunenin deneysel olarak elde edilen ısı iletim katsayısı değerlerinin 600-800 s zaman aralığındaki ani düşüşünün, deney sırasında termokupl bağlantılarındaki geçici temassızlıktan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 7. Bakır numunenin 20,61 W ısıtıcı gücü için (a) ısı iletim katsayısının (b) sıcaklık farkının zamanla değişimi

Pirinç numunenin kararlı rejim koşullarında ısı iletim katsayısı ortalama 151.215 W/m.K deneysel olarak hesaplanmıştır. Halıcı ve Gündüz (2013) ısı transferi kitabında pirinç malzemenin ısı iletim katsayısı, 110 °C'de yaklaşık olarak 128 W/m.K olduğu tespit edilmiştir. Literatürde oda sıcaklığında (25 °C) verilen

tablolarda pirinç malzemenin ısı iletim katsayısının 125-150 W/m.K olarak görülmektedir (Chung 2001, Muhammad and Umar 2013, Deneysan 2015). Buradan da geliştirilen cihazla hesaplanan değer ile literatür değerleri arasında uyum olduğu rahatlıkla söylenebilmektedir.



Şekil 8. Pirinç numunenin 20,61 W ısıtıcı gücü için (a) ısı iletim katsayısının (b) sıcaklık farkının zamanla değişimi

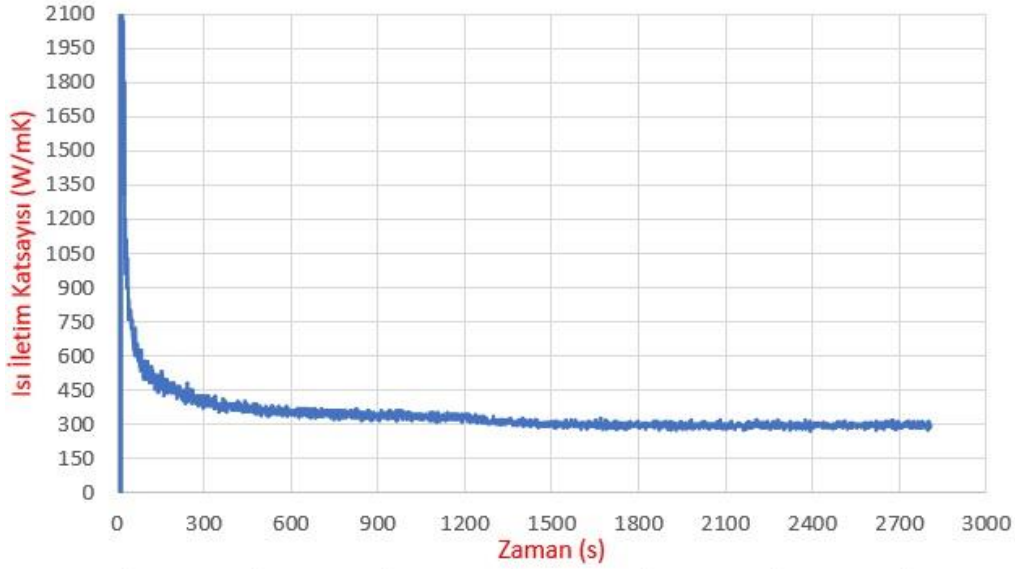
Alüminyum numune için kararlı durumdaki ısı iletim katsayısı ortalama 277 W/m.K deneysel olarak hesaplanmıştır. Halıcı ve Gündüz (2013) ısı transferi kitabında alüminyum malzemenin ısı iletim katsayısı, 90 °C'de yaklaşık olarak 215 W/m.K olduğu tespit edilmiştir. Literatürde oda sıcaklığında (25 °C) verilen tablolarda alüminyum malzemenin ısı iletim katsayısının 205-247 W/m.K olarak görülmektedir (Chung 2001, Muhammad and Umar 2013, Deneysan 2015). Buradan da geliştirilen cihazla hesaplanan değer ile literatür değerleri arasında yaklaşık bir uyum olduğu söylenebilir. Literatürdeki değerlere göre alüminyumun ısı iletim katsayısı 247 W/m.K kabul edilirse, hesaplanan 277 W/m.K değeri ile aralarında yaklaşık % 12'lik bir fark söz konusudur.

Bakır, pirinç ve alüminyum numunelerinde gerçekleştirilen deneysel sonuçlara göre, geliştirilen ısı

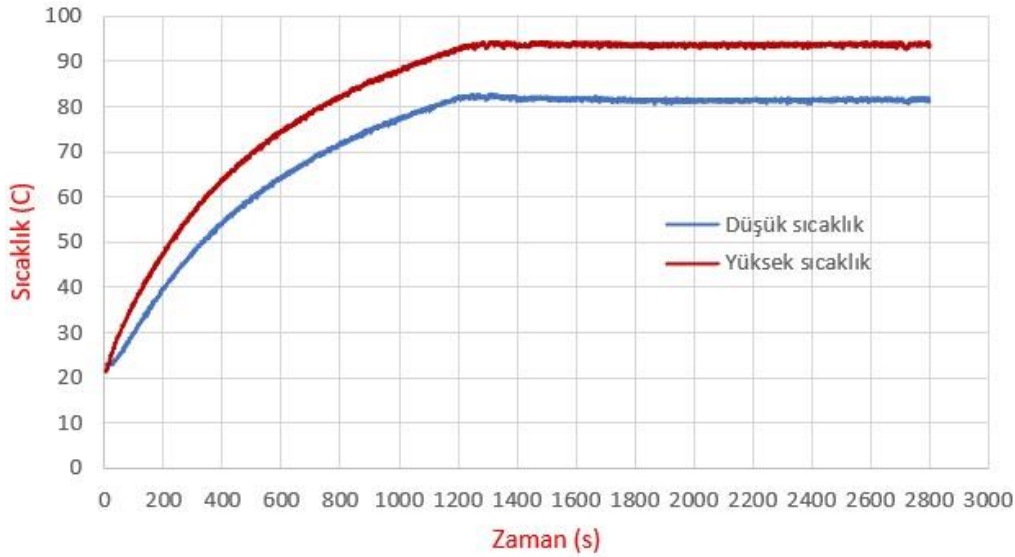
iletim katsayısı ölçüm cihazının değerleri, literatür değerlerine göre bakır ve pirinç malzeme ile tam uyum sağlamıştır, alüminyum numunede ise bir miktar (yaklaşık %12) bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Alüminyum numunede oluşan bu farkın, geliştirilen ölçüm cihazında kullanılan yeterince kaliteli olmayan sıcaklık sensörleri ve sürücülerinden, kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan deneyler sırasında sıcaklık sensörü ve sürücülerin düşük hassasiyetlerinden dolayı sıcaklık ölçümlerinde dalgalanmalar olduğu belirlenmiş ve bu durum ise ısı iletim katsayısı değerlerinin ve sıcaklıkların zamanla değişimi grafiklerinde gösterilmiştir (Şekil 7, 8 ve 9). Bununla birlikte yapılan literatür araştırması sonucu, laboratuvarlarda kullanılan profesyonel ısı iletim katsayısı ölçüm cihazlarının doğruluğu genellikle %5 civarında iken, geliştirilen düşük bütçeli cihazın doğruluğu %0,1-12 arasında olduğu belirlenmiştir (C-Therm TCi 2024 ve

Kyoto QTM710 2024). Sonuç olarak hassasiyeti yüksek sıcaklık sürücüler ve termokupların kullanımı ile bu durumların giderilebileceği ve literatür ile uyumlu sonuçların elde edilebileceği tahmin edilmektedir. Çünkü alüminyum dışındaki diğer numunelerin sonuçları yaklaşık olarak literatür ile uyum içindedir. Yani geliştirilen düşük bütçeli ısı iletim katsayısı ölçüm

cihazından elde edilen bu deneysel sonuçlar, cihazın tatmin edici ölçümler sağladığını göstermiştir. Söz konusu cihaz için yapılan bu çalışma, cihazın olumlu gelişimi için neler yapılması gerektiği hususunda önemli bilgiler vermiştir. Bu nedenle çalışma bu haliyle uygulama ve literatür için önemli sonuçlar göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 9. Alüminyum numunenin 20,61 W ısıtıcı gücü için (a) ısı iletim katsayısının (b) sıcaklık farkının zamanla değişimi

4. Sonuçlar ve Tartışma

Isı iletim katsayısı, malzemeler için ayırt edici önemli bir termofiziksel özellik olup, günümüzde her geçen gün keşfedilen yeni malzemelerin mühendislik hesaplamalarında kullanılabilmesi için bu katsayının ölçülerek belirlenmesi gerekmektedir. Ancak ısı iletim katsayısını ölçen profesyonel cihazların satın alınması,

ülkemizde yaşanan ekonomik gelişmeler nedeniyle çok zorlaşmıştır. Bu yüzden bu çalışmada yığın malzemelerin ısı iletim katsayısını mutlak teknik yöntemi kullanarak Fourier kanunuyla çalışan düşük bütçeli bir ölçüm cihazı geliştirilmiştir. Geliştirilen cihazın yaklaşık maliyeti 3000 TL civarındadır ve ön araştırma çalışması için yaygın olarak bulunabilmesinden dolayı tercih edilen bakır, pirinç ve

alüminyum numunelerinin ölçüm değerleri literatürde bulunan değerlerle uyum içinde olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte bu çalışmada planlanan düşük bütçeli ısı iletim katsayısı ölçüm cihazının ön araştırma sonuçları paylaşılmış olup, tasarlanan cihazın geliştirilmesinde elde edilen lehte ve aleyhte tecrübeler ve bilgiler aşağıda özetlenmiştir. Ayrıca bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile cihazın olumlu yönde gelişimi için bundan sonra neler yapılması gerektiği hakkında önemli bilgilerde sunulmuştur.

Lehte olan tecrübeler ve bilgiler;

- 1- Cihazın toplam maliyeti çok düşük olup, ölçüm verileri literatürle genel olarak uyumludur.
- 2- Numune ve seramik ısıtıcının etraflarına saran taş yünü ve PLA'dan oluşan gövde malzemesi iletim, taşınım ve ışınlama ile çevreye olabilecek ısı transferlerini engellemiştir. Dolayısıyla ışınlama kalkanı vs. gerek duyulmadan sistem başarılı bir şekilde çalışmıştır.

Aleyhte olan tecrübeler ve bilgiler;

- 1- Yaşanan en büyük problem sıcaklık sensörü sürücülerinde yaşanmıştır. Çünkü bu çalışmada kullanılan sıcaklık sensörü sürücülerin hassasiyeti çok düşüktür. Termokupl ürettiği mV seviyesindeki verileri yüksek doğrulukta zaman zaman aktaramadığı belirlenmiştir.

Gelecekte yapılacak olan iyileştirmeler;

- 1- Tasarlanan cihazın bütün parçaların tek bir gövde içerisinde kompakt olması ve düşük bütçeli bu cihazın ticari olarak satılabilecek bir cihaz haline getirilmesi hedeflenmektedir.
- 2- Cihazın, yığın malzemelerde hangi ısı iletim katsayı değerleri arasında çalışabileceğinin yani ısı iletim katsayısı skalasının belirlenmesi için daha fazla numuneler ile araştırmaların yapılması planlanmaktadır.
- 3- Geliştirilecek cihazın şu an profesyonel olarak kullanılan diğer ısı iletim katsayısı ölçüm cihazları ile karşılaştırılması, doğruluğunun ve tekrar edilebilirliğinin araştırılması hedeflenmektedir.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Kaynaklar, Araştırma, Deney tasarımı, Deneyleme, Doğrulama, Görselleştirme.

Yazar 2: Kaynaklar, Araştırma, Deney tasarımı, Deneyleme, Doğrulama, Görselleştirme.

Yazar 3: Kaynaklar, Araştırma, Deney tasarımı, Deneyleme, Doğrulama, Görselleştirme.

Yazar 4: Araştırma, Fikir sahibi, Metodoloji, Çalışma yöneticisi, Biçimsel analiz, Görselleştirme, Yazma.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

5. Kaynaklar

Atmaca H. M., 1992. Yalıtım Malzemelerinin Isı İletim Katsayılarının Ölçülmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 106.

Cahill G. D., 1990. Thermal Conductivity Measurement From 30 to 750 K: the 3omega Method. *Rev. Sci. Instrum.*, **61**, 2, 802-808.
<https://doi.org/10.1063/1.1141498>

Chung D. L., 2001. Applied Materials Science Applications of Engineering Materials in Structural, Electronics, Thermal, and Other Industries. CRC Press, Boca Raton London New York Washington, D.C.
<https://doi.org/10.1201/9781420040975>

Çengel Y. A., 2012. Isı ve Kütle Transferi-Pratik Bir yaklaşım. Vedat Tanyıldızı-İhsan Dağtekin (çeviri editörü), İzmir Güven Kitabevi, 1-39.

Franco A., 2007. An Apparatus For the Routine Measurement of Thermal Conductivity of Materials for Building Application Based on a Transient Hot-wire Method. *Applied Thermal Engineering*, **27**, 2495- 2504.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.02.08>

Halıcı, F. ve Gündüz, M., 2013. Örneklerle Isı Geçişi-Isı Transferi. Birsan yayınevi, 546-559.

Isıker Y. ve Yeşilata B., 2017. Yapı Malzemelerinin Isı İletim Katsayılarının Tespitine Yönelik Yeni Bir Yöntem Geliştirilmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, **2(1)**, 14-21.

Kayfeci M. ve Kurt H., 2007. Sıvılar İçin Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazının Tasarımı, İmali ve Test Edilmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, **22(4)**, 907-915.

Muhammad U. K. and Umar. S., 2013. Experimental Performance Investigations and Evaluation of Base Metals Thermocouples. *International Journal of Modern Applied Physics*, **3(1)**, 26-37.

Turgut A., Tavman İ. ve Tavman S., 2009. Measurement of Thermal Conductivity of Edible Oils Using Transient Hot Wire Method. *International Journal of Food Properties*, **12:4**, 741-747.
<https://doi.org/10.1080/10942910802023242>

Yüksel N., 2010. Gözenekli Yapılarda Yapı ve İşletme Parametrelerinin Isı İletim Katsayısına Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 257.

Zhao D., Qian X., Gu X., Jajja S. A. and Yang R., 2016. Measurement Techniques for Thermal Conductivity and Interfacial Thermal Conductance of Bulk and Thin Film Materials. *Department of Mechanical Engineering, University of Colorado, Boulder, CO 80309-0427*, 1-64.
<https://doi.org/10.1115/1.4034605>

İnternet Kaynakları

- 1- C-Therm TCi, Simplifying Thermal Conductivity (k),
https://www.prager-elektronik.at/wp-content/uploads/2017/01/katalog_kategorie_thermische-analyse_analyse_waermeleitfaehigkeit-c-therm-tci.pdf, (04.02.2024).
- 2- Deneysan, 2015, Ht-350 Termal İletkenlik Eğitim Seti Deney Föyleri,
<https://static.ohu.edu.tr/uniweb/media/portallar/makinemuhendisligi/duyurular/11718/0qx2eq3y.pdf>, (04.02.2024).
- 3- Kyoto QTM710,
<https://www.kutaygroup.com/tr/kyoto-kem-qtm-710-isol-iletkenlik-olcum-cihazi>, (04.02.2024).