

Sıvıların ve Gazların Isıl İletkenlik Katsayısını Belirleyebilmek için Laboratuvar Tipi Bir Deneysel Cihazının Tasarımı, İmalatı ve Test Edilmesi

Halil İbrahim VARIYENLİ^{1,*}, Cihangir ARSLAN²

¹Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 06500, Teknikokullar, Ankara, TURKEY

²DSİ Genel Müdürlüğü

(Geliş/Received : 29.06.2016 ; Kabul/Accepted : 26.08.2016)

ÖZ

Bu çalışmada sıvı ve gazların ısıyı iletme kabiliyetini belirlemek amacıyla kullanılan "Isı İletim Katsayısının Belirlenmesi İçin Silindirik Metoda Göre Ölçüm Yapan Laboratuvar Tipi Cihaz Tasarımı Yapılmış, İmalatı Gerçekleştirilmiş ve Deneysel Olarak Test Edilmiştir. Cihazın doğru çalışıp çalışmadığının kontrolü için deney malzemesi olarak kullanılan saf su ile deneyler yapılmış ve sonuçları saf suyun literatür değerleri ile karşılaştırılmıştır. Saf su ile yapılan deneyler sonucunda literatür değerine en yakın sonuçların 30 g/s debide 50 – 60 – 70 ve 80 volt değerlerinde olduğu saptanmıştır. Buna göre saf suyla yapılan deneyler sonucunda ölçülen deney sonuçları ile fiziksel özellik tablosundan alınan değerler arasındaki ortalama bağıl hata % 2,16 olarak bulunmuştur. Saf su ile yapılan deney şartlarında ısı iletkenlik katsayısı hakkında bilgi edinmek istediğimiz Alümina nano akışkanının ısı iletimi hakkında bilgi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı iletim katsayısı, nano akışkan, tasarım, imalat.

Design, Manufacture And Experimental Investigation Of A Thermal Conductivity Measurement Apparatus For Liquids And Gases

ABSTRACT

In this study, in order to find out the thermal conductivity coefficients which is used for determining the thermal conductivity capabilities of the liquids and gases, a laboratory type device, making measurements based on cylindrical methods was designed, produced and experimentally tested. Verifying the proper operation of the device, experiments were conducted with the values available in the literature. The closest results obtained from the experiments conducted with pure water, were found to be 50-60-70 and 80 voltage at 30 g/s flow rate. As a result of the experiments 2,16 % relative error was observed between three results obtained from the experiments conducted with pure water and tables related to physical properties. With the help of the experiment conducted with pure water, information about the heat conduction of the materials, whose thermal conductivity coefficient is sought for, such as Alümina nanofluids was gathered.

Keywords: Heat transmission coefficient, nano-fluid, design, manufacturing.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Termodinamikte bir sistemin konumunu belirlemek için kullanılan enerji, yoktan var edilemez var iken yok edilemez fakat bir formdan diğer bir forma geçiş yapabilir. Termodinamik bilimi ısı ve enerjinin formları ile ilgilenirken, ısı transferi bilimi ise sistem içinde yer alan ısı geçişi ile ilgilenir. Isı akışı ile olan enerji transferi doğrudan ölçülmez fakat ölçülebilen bir büyüklük olan sıcaklık ile ilişkilendirildiğinde anlam kazanır. Bir sistemde sıcaklık farkı olduğunda, ısı yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru akar. Sistem içinde bir sıcaklık farkı olduğunda bir ısı akışı söz konusu olduğundan, sistemin sıcaklık dağılımının bilinmesi önem kazanır.

Sıcaklık dağılımı bilindiğinde, birim zamanda birim alana düşen ısı akışı hesaplanabilir. Isı geçişinin üç ana formu vardır; iletim, taşınım ve ışımadır. Isı iletimi; bir katı malzeme veya durgun akışkan içerisindeki sıcak bir bölgeden daha soğuk bir bölgeye doğru ısının geçmesidir. Bir katı cisim içinde sıcaklık farkları varsa yüksek sıcaklık bölgesinden düşük sıcaklık bölgesine ısı, iletim yolu ile geçer. İletimle ısı geçişi deneysel gözlemlere dayanan Fourier kanunu ile belirlenir.

Isı iletim katsayısı büyük olan maddeler ısıyı çabuk iletir, küçük olanlar daha geç iletir. Gümüş, bakır, altın ve alüminyum gibi elektrik akımını iyi ileten maddeler aynı zamanda ısıyı da iyi ilettilerinden bu metallerin ısı iletim katsayıları büyüktür. Lastik, tahta, cam ve yün gibi maddeler ısıyı iyi iletmedikleri için ısı iletim katsayıları küçüktür. Ayrıca maddenin fiziksel bir özelliği olan ısı iletim katsayısı genel olarak maddenin cinsine,

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: halily@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) :

sıcaklığına, kalınlığına ve basınca bağlıdır. Gazların ısı iletim katsayıları; sıcaklık arttıkça artar, çok yüksek ve düşük basınçlar dışında pratik olarak basınca bağlı değildir. Sıvıların ısı iletim katsayıları; su ve gliserin dışında artan sıcaklıkla azalır ve değeri 0,07-0,7 W/mK arasında değişir. Katıların (inşaat ve ısı yalıtım malzemelerinin) ısı iletim katsayıları artan sıcaklıkla artar. Genellikle yoğunluğu fazla olan malzemelerin ısı iletim katsayıları büyüktür. Isı iletim katsayısı malzemenin yapısına, gözenekliliğine ve nemliliğine de bağlıdır. Nemli bir malzemenin ısı iletim katsayısı, kuru malzemenin ve suyun ısı iletim katsayılarından daha büyük olabilir.

Isı iletim katsayısı, bir maddenin ölçülmesi zor olan özelliklerinden birisidir. Özellikle, ölçüm esnasında taşınım hareketinin oluşturduğu ısı transferinin hesaplanması veya ihmal edilmesinin gerekliliğinden dolayı sıvıların ısı iletim katsayısının ölçülmesi daha da zordur. Sıvıların ısı iletim katsayısının belirlenmesinde kullanılan metotlar, kararlı ve kararsız rejim veya geçici rejim metotları olarak iki ana grupta sınıflandırılabilir.

1. Paralel plaka, eş eksenli silindir, eş eksenli küre metotları ve diferansiyel kalorimetre kullanımı kararlı rejim metotları olarak,
2. Isıtma veya soğutma eğrileri, ısıl iletkenlik prob'u, sıcak tel, sıcaklık karşılaştırma metodu, dondurarak kurutma, grafiksel ve nümerik metotlar ise kararsız rejim metotları olarak gruplandırılmaktadır.

Kararlı rejimde, numune içerisinde herhangi bir noktanın ölçülen sıcaklığı zamandan bağımsız, kararsız rejimde ise belirlenmiş zaman aralıklarında ölçülen sıcaklıklara bağlı olarak ısı iletim katsayısı hesaplanmaktadır.

Literatürde, genellikle gıda endüstrisinde ham maddelerin işlenmesi ve ürünlerin depolanması sırasında gıda maddelerinin özelliklerinin sıcaklıkla değişiminin bilinmesi zorunluluğu nedeniyle ham maddelerin ve ürünlerin sıcaklıkla fiziksel özelliklerindeki değişim üzerine çalışmalar yapılmıştır [1].

Romero ve ark. portakal suyunun termofiziksel özelliklerine, sıcaklığın ve su miktarının etkisini incelemişlerdir. Isı iletim katsayısının ölçümü için silindirik metoda göre ölçüm yapan deney cihazı tasarlamışlardır. Cihaz, 180 mm uzunluğunda, 20 mm ve 24 mm çapında eş eksenli iç içe geçmiş bakır iki tüpten oluşmaktadır. Numune iki tüp arasında kalan 2 mm'lik radyal boşluğa doldurulmuştur. İçteki tüpün eksenine 15 W gücünde bir ısıtıcı yerleştirilerek, radyal yönde bir ısı akışı sağlanarak ısı iletim katsayısı belirlenmiştir. Portakal suyu içerisindeki su oranının artmasıyla ısı iletim katsayısının ve özgül ısı kapasitesinin doğrusal olarak arttığını, yoğunluğun ise azaldığını gözlemişlerdir [2].

Özkal ve Tülek, silindirik metoda göre ölçüm yapan P.A Hilton Limited H470 deney setinde yapmış oldukları deneysel çalışmada, tam yağlı ve yağsız süt, işlenmemiş taze süt, ayçiçeği, mısırözü ve zeytinyağı gibi gıda maddelerinin ısı iletim katsayısını belirlemişlerdir.

Ölçülen ısı iletim katsayısı değerleri, literatürde verilen değerler ile karşılaştırıldığında, ölçülen değerlerin literatür değerlerinden % 16 dolayında daha düşük olduğu görülmüştür [3].

Azoubel ve ark. [4] elma suyunun, Shamsudin ve ark. [5] guava suyunun, Tansakul ve Chaisawang [6] hindistan cevizi sütünün termofiziksel özelliklerine sıcaklığın ve konsantrasyonun etkisi konulu bir çalışma yapmışlardır. Meyve sularının fiziksel özelliklerinin sıcaklık ve konsantrasyonla bağlı olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, silindirik metoda göre sıvıların ve gazların ısı iletim katsayısını belirleyebilmek amacıyla bir cihaz tasarlamak ve imal etmektir. Ayrıca imal edilen cihazın doğruluğunu belirleyebilmek için literatürde ısı iletim katsayısı bilinen saf su ile deneyler yaparak elde edilen verileri literatür değerleri ile karşılaştırmaktır. Daha sonra sıvıların ısı iletim katsayısını yükseltmek için kullanılan alümina nano akışkanının ısı iletim katsayısını belirlemektir.

2. TEORİK ANALİZ (THEORETICAL ANALYSIS)

Hesaplarda kullanılacak deney düzeneğine ait veriler; ısıtıcı eleman direnç değeri (R) : 55,5 Ω , ölçüm haznesi radyal boşluk mesafesi (Δr) : 0,345 mm ve ölçüm haznesi silindirik yüzey alanı (A) : 0,0133 m²'dir.

Deneylerde, sistemin sürekli rejime ulaştığı anda kaydedilen sıcaklıklar yardımıyla aşağıda verilmiş olan hesaplama yöntemine göre ısı iletim katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplamalarda numunenin doldurulduğu radyal boşluk 0,345 mm gibi çok ince bir tabaka olduğundan dolayı taşınım ile ısı transferi ihmal edilebilecek sınırlar arasında olduğu kabul edilmiştir. Buna göre, cihaz içerisinde sadece iletimle ısı transferi gerçekleştiği dikkate alınarak Fourier ısı iletim kanunu yardımıyla ısı iletim katsayısı her bir deney için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Isıtıcının elektriksel ısı gücü, ısıtıcı devresinde ölçülen akım (I) ve gerilim (V) değerinden aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_e = IV \quad (1)$$

Sisteme ısı girdisi, ısıtıcının gücüne (\dot{Q}_e) eşit olup, sistemden meydana gelen ısı transferine (\dot{Q}_i) eşit olarak alınmıştır. Fourier ısı iletim kanunundan ise sistemde meydana gelen ısı transferi aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_i = UA\Delta T = UA(T_{iç} - T_{dış}) \quad (2)$$

$$UA = \frac{\dot{Q}_i}{\Delta T} = \frac{1}{R_{top}} \quad (3)$$

$$R_{top} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi Lk_s} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi Lk_b} \quad (4)$$

$$\frac{\dot{Q}_i}{\Delta T} = \frac{1}{R_{top}} \quad (5)$$

Yukarıdaki Eşitlik 5'ten radyal boşluğa doldurulan sıvının ısı iletim katsayısı,

$$k_s = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L \left[\frac{\Delta T}{\dot{Q}_i} - \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi L k_b} \right]} \quad (6)$$

şeklinde bulunur. Eşitlik 6'ya göre her bir deneyde ölçülen sıcaklık farkına ve iletimle meydana gelen ısı transferine bağlı olarak ısı iletim katsayısı hesaplanmıştır.

2.1. İstatistik Analizler (Statistical Analysis)

Deney sonuçlarına göre hesaplanan ısı iletim katsayısının istatistik analizleri Microsoft Excel 2010 programı kullanılarak yapılmıştır. Bağlı hata ve ortalama bağlı hata,

$$RE (\%) = 100x \left(\frac{k_{literatür} - k_{deney}}{k_{deney}} \right) \quad (7)$$

$$MRE (\%) = \frac{RE (\%)}{n} \quad (8)$$

esitliklerinden hesaplanmıştır. Tek değişkenli regresyon analizi Excel programı yardımıyla yapılırken, iki değişkenli regresyon analizi ise aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla yapılmıştır [7,8].

$$n\beta_0 + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_{i,1} + \sum_{i=1}^n x_{i,2} = \sum_{i=1}^n y_i \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & \beta_0 \sum_{i=1}^n x_{i,1} \\ & + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_{i,1}^2 \\ & + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_{i,1}x_{i,2} \\ & = \sum_{i=1}^n x_{i,1}y_i \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & \beta_0 \sum_{i=1}^n x_{i,2} \\ & + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_{i,1}x_{i,2} + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_{i,2}^2 \\ & = \sum_{i=1}^n x_{i,2}y_i \end{aligned} \quad (11)$$

Yukarıdaki eşitliklerden β_0 , β_1 , β_2 katsayıları, X_1 ve X_2 değişkenine bağlı olarak hesaplanarak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + e \quad (12)$$

Eşitlik 12'deki e parametresi, deneylerden elde edilen değer (y_{deney}) ile regresyon analizi sonucunda elde edilen değer ($y_{regresyon}$) arasındaki farkı, hata değerini göstermektedir.

$$e = y_{deney} - y_{regresyon} \quad (13)$$

Korelasyon katsayısı (R^2) ise,

$$R^2 = \frac{1 - \frac{SSE}{SST}}{1 - \frac{SSE}{SST}}$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Eşitlikteki hata karelerinin toplamı (SSE) ve kareler toplamı (SST) aşağıda verilen Eşitlik 15 ve 16'ya göre hesaplanmıştır [7].

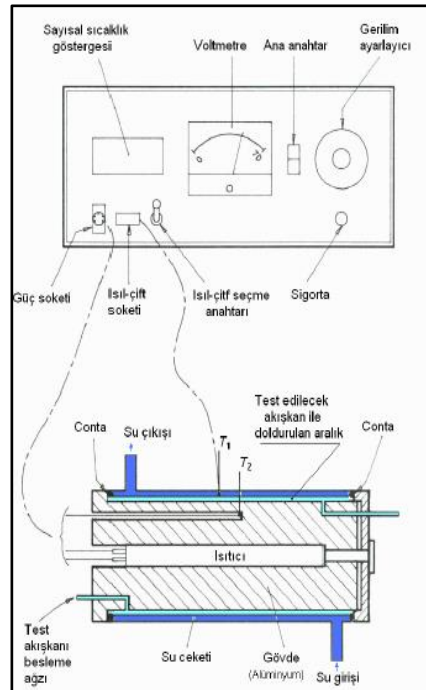
$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_{deney} - y_{regresyon})_i^2 \quad (15)$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_{deney})^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n (y_{deney}))^2}{n} \quad (16)$$

3. MATERİYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

3.1. Deney Seti (Test Set)

Şekil 1'de şematik olarak görülen deney seti, sıvıların ısı iletim katsayısının ölçümü için tasarlanmış olup, sıcaklık ve verilen ısının ölçüm ve kontrol edilmesini sağlayan iç içe geçmiş eksensel iki silindirik tüpten oluşmaktadır.



Şekil 1. Tasarımı ve imalatı yapılan deney seti (Experiment set which is designed and manufactured)

İçteki tüpte, istenilen çalışma sıcaklıklarını sağlamak için, direnci ölçülebilen ısıtıcı bir eleman ve bu tüpün dış yüzeyine yakın olacak şekilde yerleştirilmiş K tipi ısı çift bulunmaktadır. Bu tüp ısı gerilmeleri ve sıcaklık değişimlerini azaltabilmek amacıyla pirinç ve alüminyumdan imal edilmiştir. Isı iletim katsayısı ölçülecek sıvının doldurulacağı iki tüp arasındaki radyal boşluk 0,345 mm olacak şekilde imal edilmiştir. İçteki silindirik tüp radyal boşluğu kapatan flanşlar vasıtasıyla su ceketini adı verilen, ikinci silindirik tüpün ortasına yerleştirilmiştir. Silindir çapı 49 mm ve 110 mm uzunluğunda pirinçten imal edilmiş ve yanlardan sıcaklık ve basınca dayanıklı oring contalarla sızdırmazlık sağlanacak şekilde kapatılmıştır. Su ceketinin içerisinde iç yüzey sıcaklığının ölçülebilmesi için ikinci bir K tipi ısı çift yerleştirilmiştir. Isıtıcı eleman 55,5 Ω dirence sahip olup, maksimum gücü 100 W ve uygulanabilecek maksimum voltaj 80 V'dur. Cihazda, istenilen ısı enerjisini elde edebilmek amacıyla elektrik akımını istenilen değere ayarlayabilen dimmer devresi kullanılmıştır. Devreden geçen akım ve gerilim değerleri bir multimedre yardımıyla ölçülerek ısıtıcının gücü istenilen değerlerde tutulabilmektedir.

4. DENEYLER (EXPERIMENTS)

Deney cihazını tasarlamadan ve deneylere başlamadan önce bilgi ve tecrübe kazanabilmek amacıyla ZKÜ Mühendislik Fakültesi ısı laboratuvarında PH Hilton firmasının eğitim amaçlı tasarlamış olduğu sıvıların ve gazların ısı iletim katsayısı ölçüm deney cihazı incelenmiştir. Daha sonra bu deney düzeneği örnek alınarak Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde Bilimsel Araştırmalar Projeler Birimi imkânları ile bir deney cihazı tasarlanmış ve imal edilerek deneylere başlanmıştır.

Deney cihazında, ısı iletim katsayısı ölçülecek sıvı enjektör yardımıyla soğutma suyu ceketini ile ısıtıcı arasındaki küçük radyal boşluğa enjekte edilmiştir. Radyal boşluğun tamamen sıvı ile dolduğunun anlaşılabilmesi için akışkan çıkış ağzından sıvının çıkması gözlemlenmiştir. Radyal boşluk içerisinde oluşan hava boşlukları deney sonucunu etkileyeceğinden dolayı boşluğun tamamen sıvı ile dolduğundan emin olunmuştur. Daha sonra soğutma suyu bağlantıları yapılarak, soğutma suyu açılmıştır.

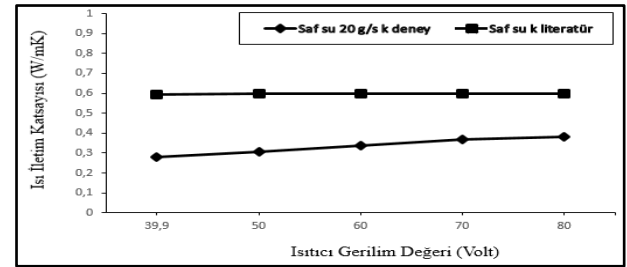
Deneylere başlayabilmek için deney cihazındaki ısıtıcı eleman devreye sokulmuş ve ısıtıcıda istenilen ısı gücünü ayarlayabilmek için ısıtıcıya seri olarak bağlanan dimmer devresi kullanılmıştır. Dimmer cihazı devrenin akımını değiştirerek ısıtıcı gücünün istenilen değerlere ayarlanabilmesini sağlamaktadır. Dimmerin bağlı olduğu devreden geçen akım ve gerilim değerleri multimedre yardımıyla ölçülerek, ısıtıcı gücü ayarlanmıştır. Sıvıların ve gazların ısı iletim katsayısı ölçüm cihazında genellikle gazların ısı iletim katsayısının ölçümünde ısıtıcının gücünü 40 W civarında, sıvılarda ise 65 W civarında ayarlamak gerekir. Ancak burada sıcaklığın ısı iletim

katsayısına etkisini belirlemek amacıyla deneylerde ısıtıcı gerilim değeri 40 V, 50 V, 60 V, 70 V ve 80 V değerlerine ayarlanarak deneyler yapılmıştır. Cihaz içerisinde iki farklı noktadan sıcaklık ölçülmektedir. Birinci termokupl (T_1) ısıtıcı elemanın hemen dışında, ikinci termokupl (T_2) soğutucu cebinin iç kısmına sabitlenmiştir. Deneylerde sıcaklık ölçümü için demir-konstantan (K tipi) termokupl ile ölçüm yapan, hassasiyeti 0,1 $^{\circ}\text{C}$ olan sıcaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Deneylere başlamadan önce buzlu suda sıcaklık ölçüm cihazının kalibrasyonu yapılmıştır.

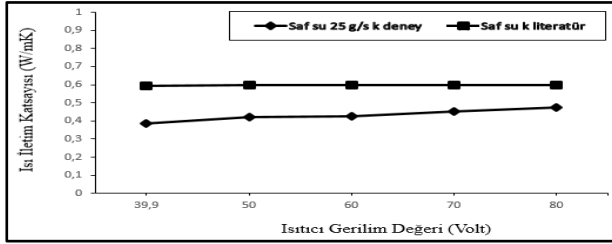
Soğutma suyu açılıp, ısıtıcı devreye sokulduktan sonra sistemin rejime gelmesi beklenmiştir. Sistem, cihaz içerisinde sabitlenmiş olan termokupllarda ölçülen sıcaklıkların zamanla değişmediği, sabit kalmaya başladığı anda rejime gelmiş demektir. Sistem rejime geldiği andaki sıcaklıklar kaydedilerek deney bitirilmiştir. Isı iletim katsayısı ölçüm cihazında sıcaklık genellikle 15–20 dakikada rejime gelmektedir. Ancak burada deney süresinin ısı iletim katsayısına etkisinin olmaması için 60 dakikada bir deneyler tekrarlanmıştır. Saf su ile yapılan deney sonuçları Çizelge 1'de ve Alümina nano akışkanı ile yapılan deney sonuçları ise Çizelge 3'te verilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

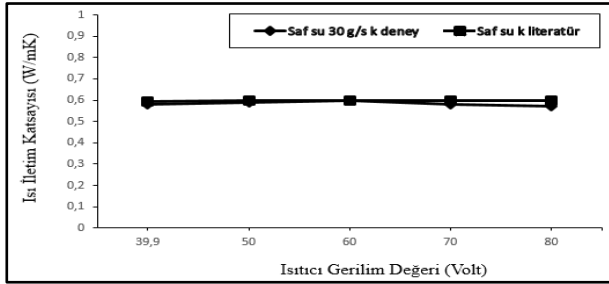
Saf su ile 40 V, 50 V, 60 V, 70 V ve 80 V ısıtıcı gerilim değerinde ve akışkan debisi ise 20 – 25 – 30 g/s olarak deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre hesaplanan ısı iletim katsayısı ile literatür tablo değerlerinin karşılaştırılması sonucunda, hesaplanan ısı iletim katsayısının literatür tablo değerlerinden daha düşük olduğu bulunmuştur. İki değer arasında bağlı hata hesaplanmış, saf su ile yapılan deneylerin bağlı hatası % 4,27 ile % 0,08 arasında değişmektedir. Bulunan bağlı hata değerleri bilimsel olarak kabul edilebilir sınırlar içinde olmaktadır. Buna göre tasarlanan ısı iletim katsayısı Ölçüm cihazının bu amaç için kullanılabilmesi mümkün gözükmektedir.



Şekil 2. Saf su ile 20g/s'de elde edilen ısıtıcı gerilim değeri – ısı iletim katsayısı grafiği (The heating voltage value obtained with pure water at 20 g/sec - heat transfer coefficient graph)



Şekil 3. Saf su ile 25g/s'de elde edilen ısıtıcı gerilim değeri – ısı iletim katsayısı grafiği (The heating voltage value obtained with pure water at 25 g/sec - heat transfer coefficient graph)



Şekil 4. Saf su ile 30g/s'de elde edilen ısıtıcı gerilim değeri – ısı iletim katsayısı grafiği (The heating voltage value obtained with pure water at 30 g/sec - heat transfer coefficient graph)

Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'ten de anlaşıldığı üzere debi 20 – 25 – 30 g/s alınmış ve voltaj değerleri artırılarak sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Cihazda meydana gelen kaçak ısı da hesaba katılarak bir q değeri hesaplanmış ve buna göre 39,9, 50, 60, 70 ve 80 Volt için saf suyun ısı iletim katsayıları belirlenmiştir. Çizelge 1'de saf suyun literatürde yer alan ısı iletim katsayılarına göre hata oranlarına bakarsak;

Çizelge 1. 30 g/s debideki saf su deney sonuçları ve bağıl hata değerleri (30 g/sec pure water test results and relative error values)

Deney No	ΔT (°C)	k Hesaplanan (W/mK)	k Kaynak [7] (W/mK)	RE (%)
1	0,9	0,5810	0,5957	2,53
2	1,4	0,5906	0,5966	1,02
3	2	0,5977	0,5972	-0,08
4	2,8	0,5805	0,5982	3,04
5	3,7	0,5738	0,5983	4,27
ΣRE				10,78
$MRE = \Sigma RE / 7$				2,156

Yapılan hesaplamalar çerçevesinde bağıl hata % 10,78 ve ortalama bağıl hata % 2,156 olarak tespit edilmiştir.

Cihazın doğru çalışıp çalışmadığının kontrolü için deney malzemesi olarak öncelikle saf su kullanılmış olup, saf su ile deneyler yapılmış ve sonuçları literatür değerleri ile karşılaştırılmıştır. Saf su ile yapılan deneyler sonucunda literatür değerine en yakın sonuçların 30 g/s debide 60 – 70 volt değerlerinde olduğu saptanmıştır. Buna göre saf suyla yapılan deneyler sonucunda ölçülen deney sonuçları ile fiziksel özellik tablosundan alınan değerler arasındaki ortalama bağıl hata % 2 olarak bulunmuştur. Saf su ile yapılan deney şartlarında ısı iletim katsayısı (k) hakkında bilgi edinmek istediğimiz Alümina nano akışkanının ısı iletimi hakkında bilgiler elde edilmiş ve ısı iletkenlik katsayıları belirlenmiştir.

Yapılan inceleme sonucunda 30 g/s debideki soğutucu akışkan için literatürdeki k değerine en yakın sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir. Farklı debilerde yapılan deneylerden debinin en az 30 g/s olması gerektiği bulunmuştur. Saf su ile üç farklı debide yapılan deney sonuçları Çizelge 1'de gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalarda 30 g/s' den daha düşük debilerde ısı iletim katsayısının gerçek değerinden daha küçük çıktığı görülmüştür.

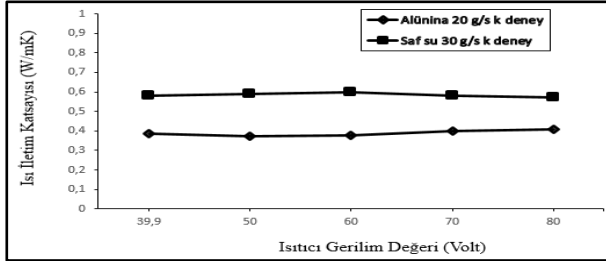
Nano teknolojideki son gelişmeler ile nanometre boyutlarda parçacıkların üretimi geçmişe nispeten kolaylıkla elde edilebilir duruma gelmiştir. Milimetre veya mikrometre boyuttaki katı partiküllerin süspansiyon şeklinde iş akışkanına eklenmesiyle uygulanan pasif ısı transferi iyileştirme yönteminin sahip olduğu çökme, tortulaşma, aşınma gibi dezavantajlar sonucunda yapılan çalışmalarda, partiküllerin daha homojen yapıda ve daha küçük boyutlarda üretilmeleri mümkün hale gelmiştir. Bunun bir sonucu olarak, ısı iletkenliğini artırmak için bir taban sıvısı içinde ısı iletkenlikleri yüksek olan bakır, alüminyum, altın, gümüş vb. nano taneciklerin süspansiyonu fikri önerilmiştir.

5.1. Alüminyum Oksit (Al_2O_3) (Alümina)

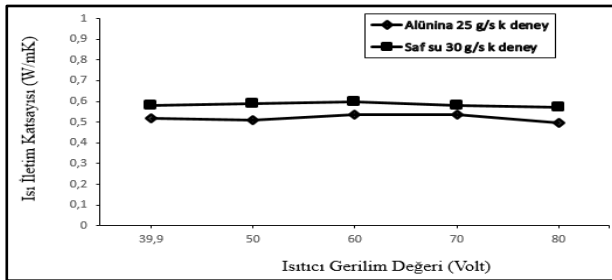
Mikron boyutunda ve nano boyutunda alümina parçacıkları karşılaştırıldığında nano alüminanın birçok avantajı söz konusudur. Daha küçük boyutlu parçacıklar moleküler çarpışmalar için daha büyük bir yüzey alanı sağlar bu nedenle de reaksiyon oranı artar, daha iyi bir katalizör ve reaktant yapılıdır. İnce aşındırıcı taneleri ince parlatmaya olanak sağlayacak ve bu da nano işleme ve nanoprobler gibi yeni uygulama alanlarının ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Kaplamalar açısından nano ölçekli alümina parçacıklarının kullanılması önemli ölçüde bu kaplamaların kalitesini ve tekrarlanabilirliğini arttıracaktır.

Nano alümina sentezlemek için çeşitli yöntemler söz konusudur; bu yöntemler fiziksel ve kimyasal yöntemler olarak kategorize edilmektedir. Fiziksel yöntemler mekanik freze, lazer ablasyonu, alev spreyleme ve plazma termal ayrışma olarak sınıflandırılabilir. Kimyasal yöntemler arasında solgel işlem, çözelti, yanma ayrışması ve buhar birikimi bulunmaktadır. Kimyasal yöntemlerin çoğu son derece düşük verim oranları ile sonuçlanmıştır ve bu nedenle kitle üretime adapte edilememektedir. Mekanik öğütme gibi fiziksel

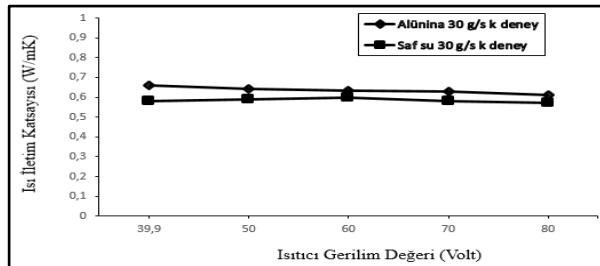
yöntemler, nanopartiküllerin büyüklüğünü kolaylıkla kontrol edemediği için etkili değildir ve bu metotlar belirli malzemeler ile sınırlıdır. Lazer ablasyonu, bunar biriktirme ve solgel gibi diğer yöntemler vakum sistemleri, yüksek güçlü lazerler, pahalı öncü kimyasallar gibi özel donanım gerektirdiğinden dolayı çok pahalıdır. Sonuç olarak birçok sistem belirli malzeme aralıkları için uygundur.



Şekil 5. Alümina ile 20g/s'de elde edilen ısıtıcı gerilim değeri – ısı iletim katsayısı grafiği (The heating voltage value obtained at 20 g/sec with alumina - heat transfer coefficient graph)



Şekil 6. Alümina ile 25g/s'de elde edilen ısıtıcı gerilim değeri – ısı iletim katsayısı grafiği (The heating voltage value obtained at 25 g/sec with alumina - heat transfer coefficient graph)



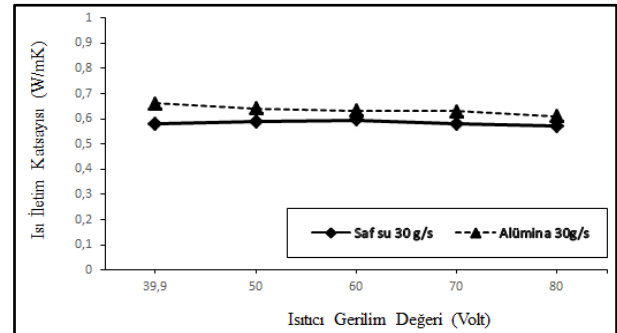
Şekil 7. Alümina ile 30g/s'de elde edilen ısıtıcı gerilim değeri – ısı iletim katsayısı grafiği (The heating voltage value obtained at 30 g/sec with alumina - heat transfer coefficient graph)

Alümina nano akışkanı ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerden oluşturulan grafikler Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de görülmektedir. Söz konusu grafikler incelendiğinde 20 ve 25 g/s'de 39,9, 50, 60, 70 ve 80 Volt değerleri için saf suyun ısı iletim katsayısının alümina akışkanından daha iyi olduğu fakat 30 g/s debide ise 39,9, 50, 60, 70 ve 80 Volt değerleri için ısı iletim katsayısının saf suya oranla daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION)

Bu çalışmada; sıvıların ısı iletim katsayısını ölçmek amacıyla PH Hilton firmasının eğitim amaçlı ürettiği sıvıların ve gazların ısı iletim katsayısı ölçüm deney setinden faydalanılarak silindirik metoda dayanan bir cihaz tasarlanmış, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü imkânları ve Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeler Birimi desteği ile imal edilmiş ve deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde, saf su ve alümina akışkanları kullanılarak cihazın sürekli rejime ulaştığı anda ölçülen sıcaklıklara göre ısı iletim katsayısı Fourier ısı iletim denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca saf suyun deney sonuçlarına göre hesaplanan ısı iletim katsayısı değerlerinin hata analizi yapılarak deney düzeneğinin hatası oranında bir tahmin yapılmıştır.

Saf su ile yapılan deney sonucuna göre hesaplanan ısı iletim katsayısı ile fiziksel özellik tablo değeri arasındaki ortalama bağıl hata % 2,156 olarak bulunmuştur. Bu değerlerin literatürde yapılan çalışmalarla kıyaslandığında kabul edilebilir değerler olduğu gösterilmiştir. Tasarlanan cihazda ısı iletim katsayısı ölçülecek sıvının doldurulduğu radyal boşluktaki sıvı tabakasının et kalınlığı taşınımıyla ısı transferini ihmal edilebilecek seviyeye indirecek kalınlıkta ve soğutma suyu debisi uygun bir şekilde ayarlanabildiği takdirde, tasarlanmış olan cihazdan fiziksel özellik tablo değerleri ile daha uyumlu sonuçlar alınabilmektedir. Ayrıca cihazda kullanılan soğutma suyunun debisi de doğru sonuçlar elde edebilmemiz için önemli bir etkidir.



Şekil 8. Çalışılan akışkanlara ait ısıtıcı gerilim değeri-ısı iletim katsayısı grafiği (Graph of heater voltage-heat transfer coefficient for working fluids)

Saf su ve Alümina ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen en iyi sonuç iki akışkanda da 30 g/s soğutucu akışkan debisinde elde edilmiştir. Deneyleri yapılan akışkanlara ait ısıtıcı gerilim değeri ile ısı iletim katsayısı grafiği Şekil 8'de görülmektedir. Söz konusu grafik incelendiğinde Yapılan iki akışkan için ısı iletim katsayısını karşılaştırdığımızda alümina nano akışkanının yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Bu deney cihazı için ölçüm yapılmadan önce kalibrasyonun yapılması, ısı kaçak miktarının belirlenmesi ve soğutucu akışkanın debisinin istenilen miktara getirilmesi şiddetle önerilmektedir. Aksi halde bahsedilen bu parametreler deney sonuçlarını önemli ölçüde etkilemektedir.

Ayrıca bu çalışmada tasarlanan cihazın maliyeti, bazı fakültelerin ve meslek yüksekokullarının laboratuvarlarına eğitim amaçlı ithal etmiş oldukları cihazların maliyeti ile karşılaştırıldığında önemsenmeyecek kadar küçüktür. Dolayısıyla yapılan bu çalışma, çok yüksek maliyetle alınan deney setlerini kendi imkânlarımızla çok daha düşük maliyetle imal edebileceğimiz gerçeğini ortaya koymuştur.

SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

A :	Isı geçiş yüzey alanı (m)
e :	Hata miktarı
I :	Akım (A)
k :	Isı iletim katsayısı (W/mK)
kb :	Bakırın ısı iletim katsayısı (W/mK)
ks :	Sıvının ısı iletim katsayısı (W/mK)
$k_{literatür}$:	Isı iletim katsayısının fiziksel özellik tablo değeri (W/mK)
k_{deney} :	Deney sonuçlarına göre hesaplanmış ısı iletim katsayısı (W/mK)
L :	Bakır boru uzunluğu (m)
n :	Deney sayısı
\dot{Q}_e :	Isıtıcının elektriksel gücü (W)
\dot{Q}_i :	İletim ile meydana gelen ısı transferi (W)
r :	Yarıçap (m)
R_{top} :	Toplam ısı direnci (K/W)
s :	Sıvı
T :	Sıcaklık (°C)
U :	Toplam ısı transfer katsayısı (W/m ² K)
V :	Gerilim (V)

TEŞEKKÜR (THANKS)

Bu çalışma 07/2013-07 kodlu Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi Birimi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kayfeci, M., Kurt, H., “Sıvılar İçin Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı Tasarımı ve Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans tezi, Z. Karaelmas Üniversitesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü*, 22: 907-915, (2007).
2. Romero, J.T., Telis, V.R.N., Gabas, A.L. ve Yamashita, F., “Thermophysical Properties of Brazilian Orange uice as Affected by Temperature and Water Content”, *Journal of Food Engineering*, 38: 27-40, (1998).
3. Özkal, S.G. ve Tülek, Y., “Değişik Süt ve Bitkisel Yağ Örneklerinin Isıl İletkenlik Değerlerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi”, *Turkish J. Engineering Environmental Science*, 25: 51-60, (2001).
4. Azoubel, P.M., Cipriani, D.C., El-Aouar, A.A., Antonio, G.C. and Murr, F.E.X., “Effect of Concentration on the Physical Properties of Cashew Juice”, *Journal of Food Engineering*, 66: 413-417, (2005).
5. Shamsudin, R., Mohamed, I.O. ve Yaman N.K.M., “Thermophysical Properties of Thai Seedless Guava Juice as Affected by Temperature and Concentration”, *Journal of Food Engineering*, 66: 395-399, (2005).
6. Tansakul, A. ve Chaisawang, P., “Thermophysical Properties of Coconut Milk”, *Journal of Food Engineering*, 73: 276-280, (2006).
7. Montgomery, D.C., Runger, G.C., “*Applied Statistics and Probability for Engineers*”, John Wiley & Sons, U.S.A., (2002).
8. Dizdar, E.N., “*Uygulamalı Olasılık ve İstatistik*”, ABP Yayınevi, (2004).
9. Özışık, M.N., “*Heat Transfer*”, McGraw-Hill, Singapore, (1985).