

# SIVILAR İÇİN ISI İLETİM KATSAYISI ÖLÇÜM CİHAZININ TASARIMI, İMALİ VE TEST EDİLMESİ

**Muhammet KAYFECİ ve Hüseyin KURT**

Fen Bilimleri Enstitüsü, S. Demirel Üniversitesi, Isparta  
Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Z. Karaelmas Üniversitesi, 78050, Karabük  
[m\\_kayfeci@hotmail.com](mailto:m_kayfeci@hotmail.com), [huseyin\\_kurt@hotmail.com](mailto:huseyin_kurt@hotmail.com)

(Geliş/Received: 28.01.2007; Kabul/Excepted:07.05.2007)

## ÖZET

Bu çalışmada, sıvıların ısı iletim katsayısını ölçebilmek amacıyla silindirik metoda göre ölçüm yapan laboratuvar tipi cihaz tasarımı yapılmış ve deneysel olarak test edilmiştir. Cihazın doğruluğu, ısı iletim katsayısı bilinen saf su ile 10-40 °C sıcaklık aralığında yapılan deneylerle test edilmiştir. Saf su ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre, ölçülen sıcaklık değerlerinden hesaplanan ısı iletim katsayısı ile fiziksel özellik tablosundan alınan değerler arasındaki maksimum hata % 13.4, ortalama bağıl hata ise % 7.6 olmuştur. Saf su ile yapılan test deneyleri şartlarında, farklı oranlarda saf su-antifriz karışımı, antifriz ve tuzlu su çözeltisinin ısı iletim katsayılarını belirleyebilmek amacıyla deneyler yapılmış, saf suda olduğu gibi deney sonuçlarına göre ısı iletim katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin regresyon analizi yapılarak, ısı iletim katsayıları sıcaklığın ve saf su içerisindeki madde miktarının fonksiyonu olarak ifade edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Isı iletim katsayısı, sıvı, silindirik metot, regresyon analizi.

## DESIGN, MANUFACTURE AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF A THERMAL CONDUCTIVITY MEASUREMENT APARATUS FOR LIQUIDS

### ABSTRACT

In this study, a laboratory type device was designed and tested experimentally to measure the thermal conductivity of liquids according to the cylindrical method. The accuracy of the device are tested with pure water experiments at temperatures between 10 and 40 °C. According to obtained results from the pure water experiments, the maximum relative error and mean relative error between the calculated results and the thermo physical table values was about 13.4 % and 7.6 %, respectively. After the accuracy of the device is tested, experiments are repeated using various mixtures of pure water and anti-freeze, anti-freeze only, and salty water solution at the same conditions as pure water experiments. According to the experimental results the thermal conductivity were calculated as pure water. Regression analysis of calculated thermal conductivity values were made and expressed as a function of temperature and substance content in the pure water.

**Keywords:** Thermal conductivity, liquid, cylindrical method, regression analysis.

### 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

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. Paralel plaka, eş eksenli silindir, eş eksenli küre metotları ve diferansiyel kalorimetre kullanımı kararlı rejim metotları olarak, ısıtma veya soğutma eğrileri, ısıl iletkenlik probu, 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 [1].

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. Romero ve ark. [2] 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.

Özkal ve Tülek [3], silindirik metoda göre ölçüm yapan P.A Hilton Limitet 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. 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 çalışmada, silindirik metoda göre sıvıların ısı iletim katsayısı ölçümünün yapılabildiği laboratuvar tipi bir deney cihazı tasarımı ve imali yapılarak, deneysel olarak incelenmiştir. Cihazın doğruluğu, ısı iletim katsayısı bilinen saf su ile yapılan deneylerle test edilmiştir. Ölçülen sıcaklık değerlerine göre hesaplanan ısı iletim katsayısı ile fiziksel özellik tablosundan alınan değerler karşılaştırılarak cihazın doğruluğu test edilmiştir. Saf su ile yapılan deney şartlarında, farklı oranlarda saf su-antifriz karışımı, antifriz, tuzlu su kullanılarak deneyler tekrarlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Deney Cihazı (Experimental Apparatus)

Şekil 1'de şematik olarak görülen cihaz, sıvıların ısı iletim katsayısının ölçümü için tasarlanmış olup, sıcaklık ve verilen ısının ölçüm ve kontrol edilmesini

sağlayan iç içe geçmiş eksenel iki silindirik tüpten oluşmaktadır. İçteki tüpte, istenilen çalışma sıcaklıklarını sağlamak için, direnci ölçülebilen ısıtıcı bir eleman ve bu tüpün dış yüzeyine yakın olacak şekilde yerleştirilmiş demir-konstantan bir termokupl bulunmaktadır. Bu tüp ısı gerilmeleri ve sıcaklık değişimlerini azaltabilmek amacıyla bakırdan imal edilmiş olup, iç çapı 26, dış çapı 28 mm ve uzunluğu 145 mm'dir. Isı iletim katsayısı ölçülecek sıvının doldurulacağı iki tüp arasındaki radyal boşluk başlangıçta 4 mm olarak seçilmiştir. Bu şekilde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, fiziksel özellik tablosundan alınan hatanın büyük çıkması nedeniyle taşınım hareketinin önlenmesi için radyal boşluğun oldukça küçük seçilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak iki tüp arasındaki 4 mm'lik radyal boşluk, 1.5 mm olacak şekilde cihazın tasarımı değiştirilmiştir. İçteki silindirik tüp radyal boşluğu kapatan flanşlar vasıtasıyla su ceketı adı verilen, ikinci silindirik tüpün ortasına yerleştirilmiştir. Su ceketı 42 mm iç, 48 mm dış çapında ve 145 mm uzunluğunda galvanizli borudan imal edilmiş ve yandan flanşlarla sızdırmazlık sağlanacak şekilde kapatılmıştır. Su ceketı içerisinde iç yüzey sıcaklığının ölçülebilmesi için ikinci bir demir-konstantan termokupl yerleştirilmiştir. Isıtıcı eleman 160  $\Omega$  dirence sahip olup, maksimum gücü 302 W ve uygulanabilecek maksimum voltaj 220 V'dur. Cihazda, istenilen ısı enerjisini elde edebilmek amacıyla elektrik akımını istenilen değere ayarlayabilen dimmer devresi kullanılmıştır. Devreden geçen akım ve gerilim değerleri bir multimetre yardımıyla ölçülerek ısıtıcının gücü istenilen değerlerde tutulabilmektedir.

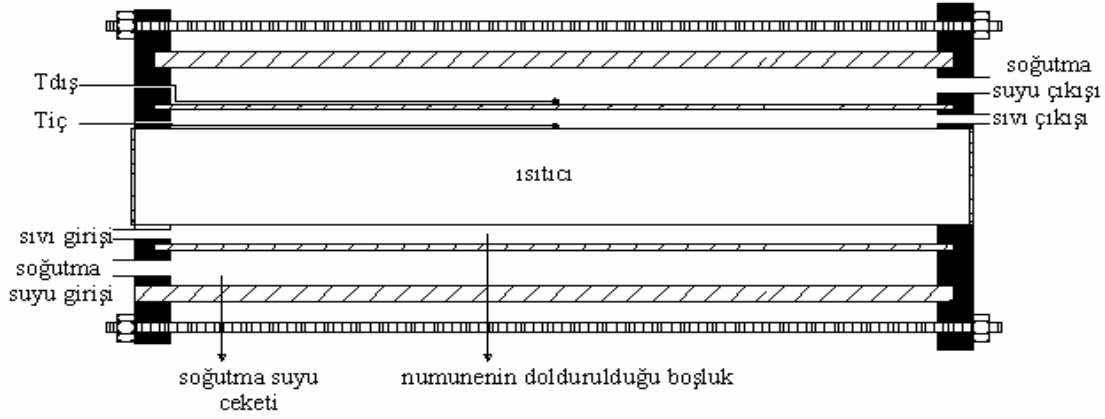
### 2.2. Deneyler (Experiments)

Deneylerde ısı iletim katsayısı ölçülecek sıvı, enjektör yardımıyla soğutma suyu ceketı ile ısıtıcı arasındaki küçük radyal boşluğa enjekte edilmektedir. Radyal boşluğun tamamen sıvı ile doldurulduğundan emin olabilmek için sıvı çıkış ağzından sıvı çıkışı başlayınca kadar doldurma işlemi devam etmektedir. Radyal boşluk içerisinde oluşacak hava boşlukları deney sonucunu etkileyeceğinden dolayı boşluğun tamamen sıvı ile doldurulması gerekmektedir. Isı iletim katsayısı ölçülecek sıvı doldurulduktan sonra soğutma suyu cihaz bağlantıları yapıp, ısıtıcı eleman devreye sokularak deneylere başlanmıştır. Isıtıcı istenilen ısı değerinde çalıştırılabilmesi için ısıtıcıya seri olarak bir dimmer devresi bağlanmıştır. Dimmerin bağlı olduğu devreden geçen akım ve gerilim değerleri multimetre yardımıyla ölçülerek, ısıtıcı gücü istenilen değere ayarlanabilmektedir. Cihaz içerisinde, ısıtıcı elemanın dış yüzeyine sabitlenen termokupl ( $T_{iç}$ ), ve soğutma suyu ceketinin iç yüzeyine sabitlenen ikinci bir termokupl ( $T_{dış}$ ) ile iki farklı noktadan sıcaklık ölçülerek radyal boşluğun iç ve dış yüzeyi arasındaki

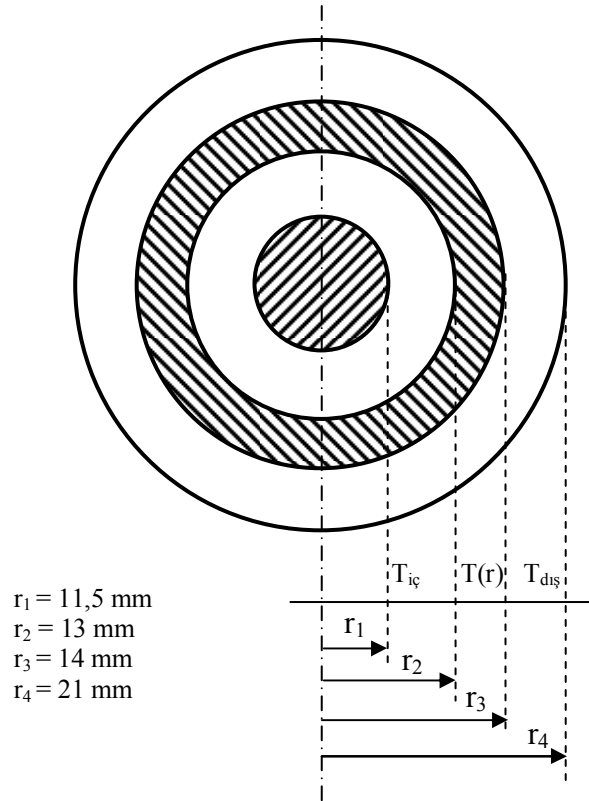
sıcaklık farkı belirlenmiştir. Sıcaklık ölçümü, kalibrasyonu buz banyosunda kontrol edilen demir-konstantan termokupllar ile hassasiyeti 0.1 °C olan on iki kanallı dijital okuma özelliğine sahip cihazla yapılmıştır.

Deneylerde, soğutma suyu açılıp, ısıtıcı devreye sokulduktan sonra sistemin rejime gelmesi için sıcaklık sabit kalıncaya kadar beklenmiştir. Sistem, termokupllarda ölçülen sıcaklıkların zamanla

değişmediği, sabit kalmaya başladığı anda sürekli rejime ulaşılmaktadır. Sistem sürekli rejime ulaştığı anda sıcaklıklar kaydedilerek deneyler bitirilmiştir. Bu süre 15-20 dakika arasında değişirken, deneyler 60 ve 120 dk.'da bir tekrarlanmıştır. Test amaçlı saf su ile farklı debilerde yapılan deneylerden soğutma suyu debisinin en az 2 lt/dk olması gerektiği bulunmuştur. Bu nedenle bütün deneylerde soğutma suyu debisi, 2 lt/dk olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Deney cihazının kesit görünüşü (Cross-section of experimental apparatus)



Şekil 2. Deney cihazının ısı direnç devresi (Thermal resistances related to experimental apparatus)

Deneylere ilk olarak ısı iletim katsayısı bilinen saf su ile başlanarak cihazın doğruluğu kontrol edilmiştir. Saf su ile yapılan test deneyi sonuçlarına göre hesaplanan ısı iletim katsayısı değerleri ile fiziksel özellik tablo değerleri karşılaştırılarak, iki değer arasındaki fark belirlenmiştir. Karşılaştırma sonucunda deney sonuçları ile tablo değerleri arasındaki bağıl hatanın % 28 gibi çok büyük bir değer olduğu görülmüştür. Bu hata oranının ısıtıcı ile soğutma suyu ceketleri arasındaki, ısı iletim katsayısı ölçülecek numunenin doldurulduğu radyal boşluk et kalınlığının çok büyük olmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Radyal boşluk et kalınlığının büyük olması nedeniyle taşınım hareketleri engellenemediğinden dolayı, iletimle ısı transferine ilaveten taşınım ile ısı transferi gerçekleşmektedir. Dolayısıyla numunenin doldurulduğu radyal boşluğun et kalınlığı 4 mm'den 1.5 mm'ye indirilmiş ve saf su ile yapılan deneyler aynı şartlarda tekrarlanmıştır. Elde edilen yeni deney sonuçlarından hesaplanan ısı iletim katsayısı ile fiziksel özellik tablo değerleri tekrar karşılaştırıldığında bağıl hatanın % 4.7 –13.4 arasında olduğu görülmüştür. Bu konuda yapılmış benzer çalışmalara, Romero ve ark. [2], Özkal ve Tülek [3], bakıldığında bu değerlerin kabul edilebilir sınırlar arasında olduğu görülmüş ve deneylere devam edilmiştir. Saf su ile yapılan test deneylerinden sonra test deneyleri şartları korunarak antifriz, saf su-antifriz karışımı, tuzlu su çözeltisi olmak üzere 3 farklı deney yapılmıştır.

### 2.3. Hesaplama Yöntemi (Calculation Method)

Deneylerde, sistemin sürekli rejime ulaştığı anda kaydedilen sıcaklıklar yardımıyla aşağıda verilmiş olan hesaplama yöntemine göre ısı iletim katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplamalarda numunenin doldurulduğu radyal boşluğun et kalınlığı 1,5 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 Şekil 2'ye göre 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 girişi, 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.

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

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

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

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

Yukarıdaki eşitlik (5)'den 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.

### 2.4. İstatistiksel Analizler (Statistical Analysis)

Deney sonuçlarına göre hesaplanan ısı iletim katsayısının istatistiksel analizleri Microsoft Excel 2003 programı kullanılarak yapılmıştır. Bağıl hata ve ortalama bağıl hata,

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

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

eşitliklerinden hesaplanmıştır. Tek değişkenli regresyon analizi Excel programı yardımıyla yapılırken, iki değişkenli regresyon analizi ise aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla yapılmıştır [8,9].

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

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

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

Yukarıdaki eşitliklerden  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  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,

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (14)$$

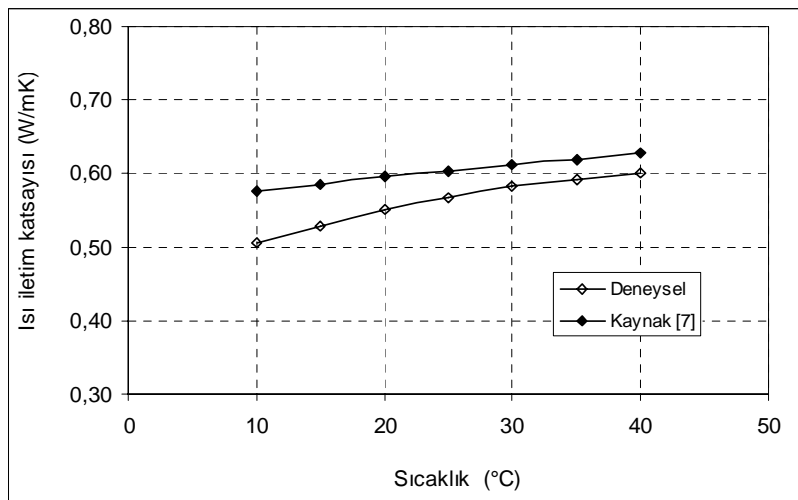
eşitliğinden hesaplanabilir. Eşitlikteki hata karelerinin toplamı (SSE) ve kareler toplamı (SST) aşağıda verilen eşitlik (15) ve (16)'ya göre hesaplandı [8].

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

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

**Tablo 1.** Saf su deney sonuçları ve bağıl hata değerleri  
(Experimental results and relative error values for pure water)

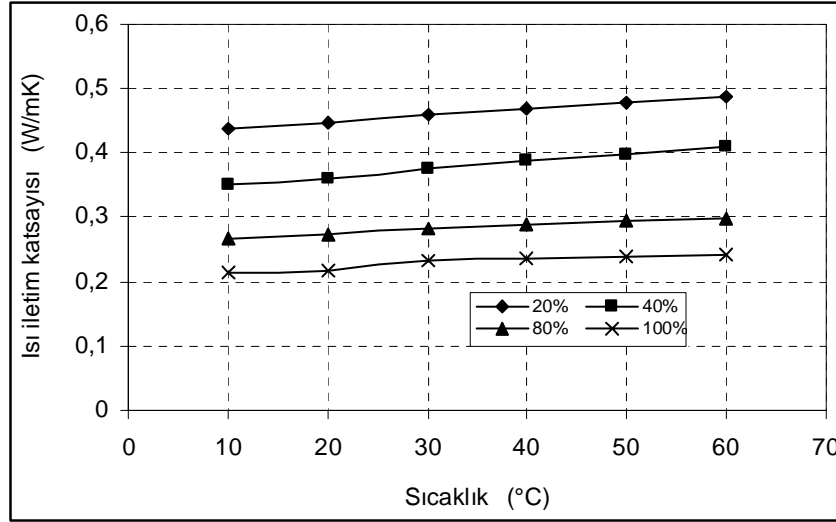
Deney No	$\Delta T$ (°C)	k (W/mK) Hesaplanan	k (W/mK) Kaynak [7]	RE (%)
1	10	0.507	0.575	13.412
2	15	0.528	0.586	10.985
3	20	0.552	0.597	8.152
4	25	0.568	0.604	6.338
5	30	0.582	0.612	5.155
6	35	0.591	0.62	4.907
7	40	0.600	0.628	4.667
$\Sigma RE$				53.616
$MRE = \Sigma RE / 7$				7.7



**Şekil 3.** Saf su ısı iletim katsayısının sıcaklık ile değişimi  
(Thermal conductivity of pure water versus temperature)

**Tablo 2.** Deneylerde kullanılan antifrizin fiziksel özellikleri  
(Physical properties of anti-freeze used in experiments)

Yoğunluk (20 °C'de)	1.127 kg/m <sup>3</sup>
Saklı alkalinite	> 20 ml
pH (% 33 sulu çözelti)	8
Kaynama noktası	170 °C
Su ile karışım oranına göre tipik donma noktası	% 33      % 50 -17 °C    -35 °C

**Şekil 4.** Antifriz ve saf su-antifriz karışımı ısı iletim katsayılarının sıcaklık ile değişimi  
(Thermal conductivity of anti-freeze and pure water- anti-freeze mixture versus temperature)

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, silindirik metoda göre ölçüm yapan cihazda antifriz, saf su-antifriz karışımı, tuzlu su olmak üzere üç farklı sıvının, 10 ile 60 °C sıcaklık aralığında ısı iletim katsayıları belirlenmiştir. İlk olarak ısı iletim katsayısı bilinen saf su ile deneyler yapılarak cihazın doğruluğu kontrol edilmiştir. Tablo 1 ve Şekil 3'de eşitlik (6) kullanılarak hesaplanan ısı iletim katsayısı ile fiziksel özellik tablosundan alınan ısı iletim katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi, hesaplanan ısı iletim katsayısının fiziksel özellik tablo değerlerinden daha küçük olduğu görülmektedir. Eşitlik (7) ve (8) kullanılarak iki değer arasındaki bağıl hata (RE) ve ortalama bağıl hata değerleri (MRE) hesaplanmıştır. Tablodan da görülebileceği gibi maksimum bağıl hata % 13.4 olurken ortalama bağıl hata % 7.7 olarak bulunmuştur. Özkal ve Tülek'in [3] yapmış oldukları çalışmada bağıl hata değerini % 16, Romero ve ark.[2] ise % 13.9 olarak bulmuşlardır. Bu değerler dikkate alındığında, yapılan bu çalışmadaki bağıl hata değeri kabul edilebilir sınırlar içerisinde olmaktadır. Saf su için yapılan hesaplamalara göre yapılan regresyon analizi sonucunda, eşitlik (17)'de verilen

korelasyon katsayısı 0.9987 olan denklemde, ısı iletim katsayısı ile sıcaklıkla arasında ikinci dereceden bir ilişki olduğu görülmektedir.

$$k = 0.4487 + 0.0064 * T - 0.00007 * T^2$$

$$(R^2 = 0.9987)$$
(17)

Saf su ile yapılan deneylerden sonra, hacimce % 20 antifriz – % 80 saf su, % 40 antifriz – % 60 saf su, % 80 antifriz – % 20 saf su karışımı ve % 100 antifriz ile dört farklı deney yapılmıştır. Deneylerde kullanılan antifrizin fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Şekil 4'de antifriz ve farklı oranlarda saf su-antifriz karışımıyla yapılan deney sonuçlarına göre hesaplanmış ısı iletim katsayısının sıcaklıkla değişimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere, sıcaklık arttıkça ısı iletim katsayısı bu artışa bağlı olarak artmıştır. Ayrıca saf su içerisindeki antifriz oranı arttıkça ısı iletim katsayısı, antifriz oranına bağlı olarak azalmıştır. Buna göre saf su içerisine antifriz ilave edildiğinde, ilave miktarına bağlı olarak ısı iletim katsayısı azalmaktadır.

Fiziksel özellik tablolarında deneyde kullanılan antifrizin özelliklerine benzer değerler bulunamadım-

dan, deney sonuçlarına göre hesaplanan ısı iletim katsayısı ile fiziksel özellik tablo değerleri saf su deneyinde olduğu gibi nicelik olarak karşılaştırılmamıştır. Hesaplanan ısı iletim katsayısı, fiziksel özellik tablo değerleri ile nitelik bakımından karşılaştırıldığında ise uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Saf su antifriz karışımlarının ısı iletim katsayısı, yapılan regresyon analizi sonucunda sıcaklığın ve saf su içerisinde bulunan hacimce antifriz oranının bir fonksiyonu olarak eşitlik (18)'de ifade edilmiştir. Saf su antifriz karışımının ısı iletim katsayısı, sıcaklıkla doğru, antifriz oranı ile ters orantılı olarak artıp azalmakta olduğu görülmüştür.

$$k = 0.478 + 0.000859 * T - 0.281 * X \quad (18)$$

$$(R^2 = 0.9861)$$

Deney sonuçlarına göre hesaplanan ısı iletim katsayısı ile regresyon analizi sonucunda elde edilen eşitlik (18)'e göre hesaplanmış ısı iletim katsayısı arasındaki bağıl hata (RE) ve ortalama bağıl hata değerleri (MRE) Tablo 3'de gösterilmiştir. İki değer arasındaki maksimum bağıl hata % 6.2 olurken, ortalama bağıl hata % 2.6 olmuştur. İki farklı yoğunlukta hazırlanan tuzlu su çözeltisi ile 10- 40 °C sıcaklık aralığında

yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 5'de verilmiştir. Su içerisindeki tuz miktarı arttıkça veya tuzlu su çözeltisinin yoğunluğu arttıkça iletkenlik özelliği artar. Şekilden de görülebileceği gibi tuzlu su çözeltisinin yoğunluğu ve sıcaklığı arttıkça karışımın ısı iletim katsayısı artmaktadır. Tuzlu su çözeltisi ısı iletim katsayısı için yapılan regresyon analizine göre ısı iletim katsayısı, sıcaklığın ve yoğunluğun fonksiyonu olarak eşitlik (19)'da verilmiştir. Elde edilen denklemin korelasyon katsayısı 0.9909 olmuştur.

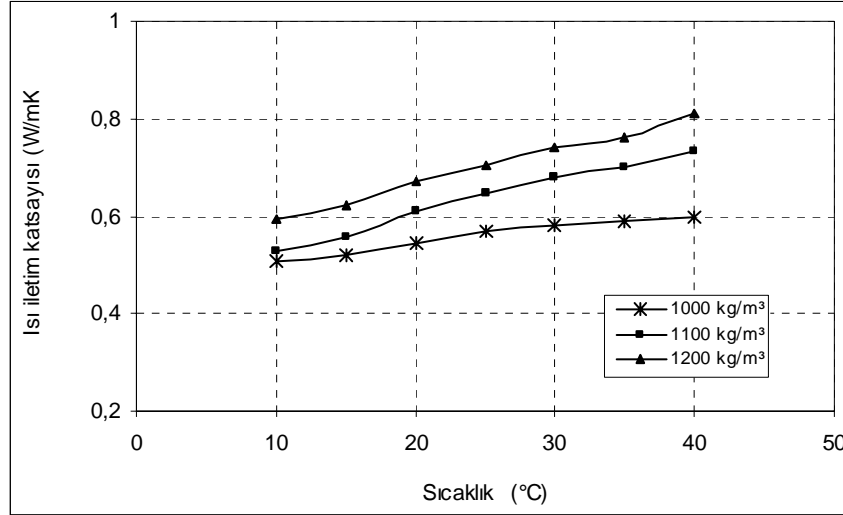
$$k = -0.24241 + 0.007068 * T - 0.000639 * \rho \quad (19)$$

$$(R^2 = 0.9909)$$

Deney sonuçlarına göre hesaplanan ısı iletim katsayısı ile regresyon analizi sonucunda elde edilen eşitlik (19)'a göre hesaplanmış ısı iletim katsayısı arasındaki bağıl hata (RE) ve ortalama bağıl hata değerleri (MRE) Tablo 4'de gösterilmiştir. İki değer arasındaki maksimum bağıl hata % 1.7 olurken, ortalama bağıl hata % 1.02 olmuştur. Tablo 3'den görülebileceği gibi saf su antifriz karışımının ısı iletim katsayısı için elde edilen hata değerlerinden daha küçük olmuştur.

**Tablo 3.** Saf su-antifriz karışımı deney sonuçları ve bağıl hata değerleri  
(Experimental results and relative error values for pure water- anti-freeze mixture)

Deney No	$\Delta T$ (°C)	X	k (W/mK) Hesaplanan	k (W/mK) Eşitlik (19)	e (W/mK)	RE (%)
1	10	0.2	0.437	0.43039	0.006610	1.536
2	20	0.2	0.448	0.43898	0.009020	2.055
3	30	0.2	0.459	0.44757	0.011430	2.554
4	40	0.2	0.469	0.45616	0.012840	2.815
5	50	0.2	0.478	0.46475	0.013250	2.851
6	60	0.2	0.489	0.47334	0.015660	3.308
7	10	0.4	0.351	0.37419	-0.023190	6.197
8	20	0.4	0.362	0.38278	-0.020780	5.429
9	30	0.4	0.375	0.39137	-0.016370	4.183
10	40	0.4	0.388	0.39996	-0.011960	2.990
11	50	0.4	0.399	0.40855	-0.009550	2.338
12	60	0.4	0.409	0.41714	-0.008140	1.951
13	10	0.8	0.268	0.26179	0.006210	2.372
14	20	0.8	0.274	0.27038	0.003620	1.339
15	30	0.8	0.282	0.27897	0.003030	1.086
16	40	0.8	0.288	0.28756	0.000440	0.153
17	50	0.8	0.294	0.29615	-0.002150	0.726
18	60	0.8	0.298	0.30474	-0.006740	2.211
19	10	1	0.214	0.20559	0.008410	4.091
20	20	1	0.219	0.21418	0.004820	2.250
21	30	1	0.232	0.22277	0.009230	4.143
22	40	1	0.237	0.23136	0.005640	2.438
23	50	1	0.240	0.23995	0.000050	0.021
24	60	1	0.243	0.24854	-0.005540	2.229
$\sum RE$						61.266
MRE= $\sum RE/24$						2.6



**Şekil 5.** Farklı yoğunluktaki tuzlu su ısı iletim katsayısının sıcaklık ile değişimi (Thermal conductivity of salty water solution versus temperature)

**Tablo 4.** Tuzlu su çözeltisi deney sonuçları ve bağıl hata değerleri (Experimental results and relative error values for salty water solution)

Deney No	$\Delta T$ (°C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	k (W/mK) Hesaplanan	k (W/mK) Eşitlik (20)	e (W/mK)	RE (%)
1	10	1100	0.528	0.53117	-0.00317	0.597
2	15	1100	0.558	0.56651	-0.00851	1.502
3	20	1100	0.612	0.60185	0.01015	1.686
4	25	1100	0.648	0.63719	0.01081	1.697
5	30	1100	0.678	0.67253	0.00547	0.813
6	35	1100	0.701	0.70787	-0.00687	0.971
7	40	1100	0.732	0.74321	-0.01121	1.508
8	10	1200	0.592	0.59507	-0.00307	0.516
9	15	1200	0.621	0.63041	-0.00941	1.493
10	20	1200	0.671	0.66575	0.00525	0.789
11	25	1200	0.703	0.70109	0.00191	0.272
12	30	1200	0.742	0.73643	0.00557	0.756
13	35	1200	0.763	0.77177	-0.00877	1.136
14	40	1200	0.812	0.80711	0.00489	0.606
$\sum RE$						14.342
$MRE = \sum RE / 14$						1.024

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION)

Bu çalışmada; sıvıların ısı iletim katsayısını ölçmek amacıyla PH Hilton firmasının eğitim amaçlı ürettiği tuzlu su ve gazların ısı iletim katsayısı ölçüm deney setinden faydalanılarak silindirik metoda dayanan bir cihaz tasarlanmış, imal edilmiş ve deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde, saf su, antifriz, farklı oranlarda saf su antifriz karışımı, tuzlu su kullanılarak, cihazın sürekli rejime ulaştığı anda ölçülen sıcaklıklara göre ısı iletim katsayısı Fourier ısı iletim denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca deney sonuçlarına göre hesaplanan ısı iletim katsayısı değerlerinin regresyon analizi yapılarak her bir deney sonucu için iki değişkenli denklemler elde edilmiştir.

Saf su ile yapılan deney sonucuna göre hesaplanan ısı iletim katsayısı ile fiziksel özellik tablo değeri arasındaki maksimum bağıl hata % 13.4 olurken, ortalama bağıl hata ise % 7.7 olmuştur. 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 taşıyıcı ile 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 alınabilecektir.



**SEMBOLLER (NOMENCLATURE)**

A	:Isı geçiş yüzey alanı (m)
e	:Hata miktarı
I	:Akım (A)
k	:Isı iletim katsayısı (W/mK)
$k_b$	:Bakırın ısı iletim katsayısı (W/mK)
$k_s$	:Sıvının ısı iletim katsayısı (W/mK)
$k_{\text{tablo}}$	:Isı iletim katsayısının fiziksel özellik tablo değeri (W/mK)
$k_{\text{deney}}$	: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)
$R_{\text{top}}$	:Toplam ısı direnç (K/W)
s	:Sıvı
T	:Sıcaklık (°C)
U	:Toplam ısı transfer katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
V	:Gerilim (V)

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

1. Kayfeci, M., **Sıvılar İçin Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazı Tasarımı ve Deneysel Olarak İncelenmesi**, Yüksek Lisans tezi, Z. Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
2. Romero, J.T., Telis, V.R.N., Gabas, A.L. ve

3. Yamashita, F., “Thermophysical Properties of Brazilian Orange Juice as Affected by Temperature and Water Content”, **Journal of Food Engineering**, Cilt 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**, Cilt 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**, Cilt 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**, Cilt 66, 395–399, 2005.
6. Tansakul, A. ve Chaisawang, P., “Thermophysical Properties of Coconut Milk”, **Journal of Food Engineering**, Cilt 73, 276–280, 2006.
7. Özışık, M.N., **Heat Transfer**, McGraw-Hill, Singapore, 1985.
8. Montgomery, D.C.ve Runger, G.C., **Applied Statistics and Probability for Engineers**, John Wiley & Sons, U.S.A., 2002.
9. Dizdar, E.N., **Uygulamalı Olasılık ve İstatistik**, ABP Yayınevi, 2004.