

23894

YALITIM MALZEMELERİNİN
ISI İLETİM KATSAYILARININ ÖLÇÜLMESİ

HATİCE M. ATMACA

C.O.
FEN BİLİMLERİ ENSTİTUSU

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ADANA

EYLÜL-1992

C.O. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,
Bu çalışma, jürimiz tarafından Makina Mühendisliği
Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan Tuncay Yılmaz
Prof.Dr.Ing. Tuncay YILMAZ

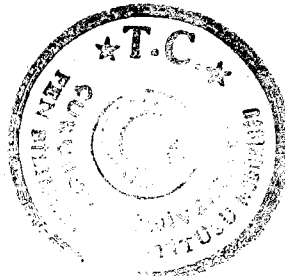
Üye Besir Şahin
Doç.Dr. Besir ŞAHİN

Üye R. Tuğrul Oğulata
Yrd.Doc.Dr. R.Tuğrul OĞULATA

Kod No : 632

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Ural Dinc
Prof.Dr. Ural Dinc
Enstitü Müdürü



İÇİNDEKİLER

Çizelge Listesi.....	111
Şekil Listesi.....	V
Öz.....	V11
Abstract.....	V111
1. Giriş.....	1
2. Isıl iletkenlik.....	2
2.1. Fourier Kanunu.....	3
2.2. Enerjinin Korunumu ve Isıl Yayınlm Katsayısı.....	4
2.3. Isı iletiminin Fiziksel Analizi.....	6
2.3.1. Gazlarda ve Sıvılarda Isı iletim Katsayısı.....	6
2.3.2. Katılarda Isı iletim Katsayısı.....	11
3. Katılarda Isı iletim Katsayısı Ölçme Yöntemleri.....	13
3.1. Isı iletim Katsayısı Ölçümünde	
Statik Yöntemler.....	15
3.1.1. Lineer Akış Metodu.....	16
3.1.1.1. Genel Prensipt.....	16
3.1.1.2. 23 °C'nin Altında iyi iletkenlerin Ölçümü.....	18
3.1.1.3. 23 °C'nin Üstünde iyi iletkenlerin Ölçümü.....	19
3.1.1.4. Koruyuculu Isıtıcı Yöntemi.....	21
3.1.2. Radyal Akım Metodu.....	23
3.1.3. Elektrikli iletken Malzemeler için	
Ölçme Yöntemi.....	25
3.2. Isı iletim Katsayısı Ölçümünde	
Dinamik Yöntemler.....	25
4. Kullanılan Ölçme Yöntemi.....	28
4.1. Plaka Metodu ile Isı iletim Katsayısı	
Ölçümünün Esasları.....	28
4.2. Deney Düzenegi.....	33

4.3. Deney Yöntemi.....	40
4.4. Ölçme Sistemleri.....	43
4.4.1. Bilgisayarlı Kontrol Sistemleri.....	43
4.4.1.1. Bilgisayar.....	45
4.4.1.2. Algılayıcılar.....	48
5. Araştırma Bulguları ve Tartışma.....	51
5.1. Deney Kabininin Isı İletim Katsayısının Ölçümü....	51
5.2. Sunta İçin Isı İletim Katsayısı Ölçme Deneyi.....	57
5.3. Strafor İçin Isı İletim Katsayısı Ölçme Deneyi....	67
5.4. Deney Sonuçlarının Tartışılması.....	86
6. Sonuçlar ve Öneriler.....	90
7. Özet.....	92
8. Summary.....	93
9. Kaynaklar.....	94
10. Teşekkür.....	95
11. Özgeçmiş.....	96

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No	Çizelge Adı	Sayfa
2.1.	Bazı Sıvılar için Isı İletim Katsayıları [3] (W/m°C).....	9
2.2.	Bazı Gazlar için P = 1 atm'de Isı İletim Katsayıları [3] (W/m°C).....	10
2.3.	Metaller için Isı İletim Katsayıları [3].....	12
2.4.	Yapı ve Isıl Yalıtım Malzemeleri için Isı İletim Katsayıları [3].....	12
4.1.	Isı İletkenlik Birimleri.....	31
4.2.	Deney Kabininin Yalıtımı için Kullanılan Poliüretanın Teknik Özellikleri.....	33
4.3.	Analog/Sayısal-Sayısal/Analog Çevirici Kartın Özellikleri.....	46
4.4.	Algılayıcılar için Dönüşüm Denklemleri.....	48
5.1.	Q=10 W için Deney Kabini Isıl Direnci.....	53
5.2.	Q=15 W için Deney Kabini Isıl Direnci.....	54
5.3.	Q=20 W için Deney Kabini Isıl Direnci.....	54
5.4.	Q=30 W için Deney Kabini Isıl Direnci..... Sunta için Isı İletim Katsayısı Ölçme Deney Sonuçları:	55
5.5.	5 W için Isı İletim Katsayısı.....	58
5.6.	10 W için Isı İletim Katsayısı.....	59
5.7.	20 W için Isı İletim Katsayısı.....	60
5.8.	30 W için Isı İletim Katsayısı.....	61
5.9.	40 W için Isı İletim Katsayısı.....	62
5.10.	50 W için Isı İletim Katsayısı.....	63
5.11.	60 W için Isı İletim Katsayısı.....	64
5.12.	80 W için Isı İletim Katsayısı.....	65
5.13.	100 W için Isı İletim Katsayısı.....	66

Cizelge No	Cizelge Adı	Sayfa
---------------	-------------	-------

Strafor İcin Isı İletim Katsayısı Ölçme

Deney Sonuçları:

5.14. 20 W İcin Isı İletim Katsayısı.....	68
5.15. 30 W İcin Isı İletim Katsayısı.....	69
5.16. 40 W İcin Isı İletim Katsayısı.....	70
5.17. 50 W İcin Isı İletim Katsayısı.....	71



SEKİL LİSTESİ

Sekil No	Sekil Adı	Sayfa
3.1.	Kararlı Durumda Lineer Isı Akımında Isı iletim Katsayısı Ölçme Düzenegi.....	17
3.2.	Kararlı Durumda Lineer Isı Akımı ile Isı iletim Katsayısının Ölçümünde Silindirik Koruyuculu Deney Düzenegi.....	20
3.3.	Muhafazalı Isıtıcı Yöntemi Deney Düzenegi a) Oda sıcaklığı ve altındaki sıcaklıklarda, b) Daha yüksek sıcaklıklarda ölçümler için.....	22
3.4.	Radyal Akım Yöntemi Deney Düzenegi.....	24
3.5.	Dinamik Yöntemle Isı iletim Katsayısı Ölçümü.....	27
4.1.	TS 388'de Tanımlanan Bir Numuneli Cihaz.....	30
4.2.	Isı iletim Katsayısı Ölçme Deney Düzenegi.....	34
4.3.	Deney Düzeneginin Şeması.....	35
4.4.	Deney Kabini.....	37
4.5.	a. Isıtıcının Dikey Kesiti b. Soğutucunun Üst Görünüşü.....	38
4.6.	Sistemin Elektrik Şeması.....	39
4.7.	Bilgisayarlı Kontrol Sistemi.....	45
4.8.	Bilgisayar Programı Akış Şeması.....	50
5.1.	Deney Kabininin Isıl Direncini Ölçme Deneyi Isı - Sıcaklık Farkı Değişim Grafiği.....	56
5.2.	Sunta için Isı iletim Katsayısı λ ile Isı Yüğü Oranı Q_k/Q 'nın Değişim Grafiği.....	72
5.3.	Sunta için Isı iletim Katsayısı λ ile Sıcaklık Farkı ΔT 'nin Değişim Grafiği.....	73

Sekil No	Sekil Adı	Sayfa
5.4.	Sunta için Isı iletim Katsayısı λ ile Ortalama Sıcaklık T_m 'nin Değişim Grafiği.....	74
5.5.	Sunta için Isı iletim Katsayısı λ ile Sıcaklık Fonksiyonu $(T_h - T_o)/2$ 'nin Değişim Grafiği.....	75
5.6.	Sunta için Isı iletim Katsayısı λ ile Sıcaklık Fonksiyonu $(T_c - T_o)/2$ 'nin Değişim Grafiği.....	76
5.7.	Sunta için Isı iletim Katsayısı λ ile Sıcaklık Fonksiyonu $(T_h + T_o)/2$ 'nin Değişim Grafiği.....	77
5.8.	Sunta için Isı iletim Katsayısı λ ile Sıcaklık Fonksiyonu $(T_c + T_o)/2$ 'nin Değişim Grafiği.....	78
5.9.	Strafor için Isı iletim Katsayısı λ ile Isı Yüğü Oranı Q_k/Q 'nın Değişim Grafiği.....	79
5.10.	Strafor için Isı iletim Katsayısı λ ile Sıcaklık Farkı ΔT 'nin Değişim Grafiği.....	80
5.11.	Strafor için Isı iletim Katsayısı λ ile Ortalama Sıcaklık T_m 'nin Değişim Grafiği.....	81
5.12.	Strafor için Isı iletim Katsayısı λ ile Sıcaklık Fonksiyonu $(T_h - T_o)/2$ 'nin Değişim Grafiği.....	82
5.13.	Strafor için Isı iletim Katsayısı λ ile Sıcaklık Fonksiyonu $(T_c - T_o)/2$ 'nin Değişim Grafiği.....	83
5.14.	Strafor için Isı iletim Katsayısı λ ile Sıcaklık Fonksiyonu $(T_h + T_o)/2$ 'nin Değişim Grafiği.....	84
5.15.	Strafor için Isı iletim Katsayısı λ ile Sıcaklık Fonksiyonu $(T_c + T_o)/2$ 'nin Değişim Grafiği.....	85

ÖZ

Bu çalışmada, iletkenliği düşük olan katıların ısı iletim katsayısını ölçen bir sistemin tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Tek numuneli plaka metodu ile hazırlanan denev düzenegi, ilgili Türk Standartlarına uygun olarak tasarlanmıştır. Sıcaklık ölçümü için bilgisayarlı kontrol sistemi kullanılmıştır. Sunta ve strafor gibi ısı iletim katsayısı bilinen malzemelerin ölçümü yapılarak düzenegin güvenilirliği belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve deneysel yöntem tartışılmıştır.

ABSTRACT

In this work, a system to measure the thermal conductivity of insulating materials was developed and constructed. The plate method with one sample was used to develop this system according to Turkish Standards. Computerized control system was used to measure temperatures. The test measurements for wood and styropor of which materials thermal conductivity was known were done to obtain the reliability of the system. The result and the measuring method were discussed.

1. GİRİŞ

İnsanoglunun ısı iletiminin önemini anlaması, iyi bilinen bazı doğal olayları farketmesi ile başlar. Örneğin dokunulduğu zaman bir metal parçası soğuk, tahta parçası ise ılık hissi verir. Çünkü metal, ısıyı tahtaya göre daha çabuk uzaklaştırır. Yüzyıllar boyunca insanların dünya yüzeyinin ılıman bölgelerine yerleşmeleri ısı kaybını kontrol edebilme ihtiyacına bağlıdır. Düşük ısı iletkenlikleri sebebi ile ısıyı tutan kürk, deri ve dokuma giysiler, dış ortamın soğuktan korunmak için insanoglu tarafından binlerce yıl boyunca kullanılmıştır. Benzer bir düşünce ilerleyen teknoloji ile bina duvarlarının ısı yalıtımı için kullanılan malzemelerin seçimini yönlendirmiştir. Bunun tersi bir durum, bir uzay gemisinin dünya atmosferine girişi sırasında geminin soğuk tutulması problemi ile insanların karşısına çıkmıştır.

Bazı durumlarda ısı iletkenliğinin düşük, bazen de yüksek olması istenir. Örneğin, değerli bir yarı iletken cihazın aşırı ısınmaya bağlı olarak karşılaşılabileceği zararların önlenmesi amacı ile yarı iletken, bir elmas küvet içerisine yerleştirilmiştir. Çünkü elmas, oda sıcaklığında herhangi bir metalden daha yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Bu olay çok istisnai bir durumdur. Ancak verimin, minimum sıcaklık farkı ile ısı transferine bağlı olduğu birçok durum vardır.

Isı iletkenlik ve benzeri özellikler hakkındaki bilgilerin, teknolojinin ortaya çıkardığı problemleri gidermeye yetmeyeceği açıktır. Gerekli olan şey, yeni malzemelerin ısı iletkenliğini belirlememizi sağlayacak ve yeni ihtiyaçları karşılayacak malzemeler üretme girişimlerimizde bize rehberlik edecek teorik düşünce tarzıdır.

Bu çalışmada özellikle elektriği iletmeyen yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısının ölçümü amaçlanmıştır. Bu amaçla hazırlanan deney düzenegi ile TS 388'e uygun koşullarda çeşitli deneyler yapılarak, düzenegin ve ölçme yönteminin iyileştirilmesine çalışılmıştır.

2. ISIL İLETKENLİK

2.1. Fourier Kanunu

Isı akımı ile sıcaklık gradyanı arasındaki doğrusal orantı, ilk olarak 1822'de Fourier'in " Theorie Analytique de la Chaleur " adlı eserinde açık olarak ifade edilmiştir. Ancak, genellikle bu orantı tam doğrusal değildir; daha karmaşık bir yapıya sahiptir.

Bu kanun, ısı akımının iki ayrı ortamın sıcaklıklarına bağlı olduğu konveksiyon ve radyasyon gibi ısı transferi biçimlerine uygulanamaz. Katılarda ısı akımı ile sıcaklık gradyanı arasındaki orantının bozulması, malzeme içerisinde iletken olmayan parçacıkların var olmasına bağlı olabilir.

Isı akımı ile sıcaklık gradyanı arasında doğrusal orantıdan söz edebilmek için bazı varsayımlar yapılmalıdır. Δx kalınlığında, izotermal yüzeyleri arasında ΔT sıcaklık farkı olan, düz plaka şeklindeki malzemeyi ele alalım. Bu yüzeylerin içine veya dışına doğru olan ısı akımının ölçüldüğünü düşünelim. Eğer plaka kenarlarında ısı yalıtım yapılmışsa ve içerisinde elektrik akımı veya radyoaktivite gibi ısı kaynakları yoksa, kararlı durumda bir yüzeyden giren ısı akımı $\dot{Q}$, diğer yüzeyden çıkan ısı akımına eşittir [1]. Böylece verilen plaka için,

$$\Phi \propto \Delta T$$

olacaktır. Plakanın kalınlığı değişken olursa,

$$\Phi \propto \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

ve plaka alanı A da değişken olursa,

$$\Phi \propto A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

olur. Isı akımı ile sıcaklık gradyanı arasındaki orantı faktörü, cismin fiziksel bir özelliği olan ısı iletim katsayısı λ 'dır.

$$\Phi = -\lambda \cdot A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Buradan ısı akım yoğunluğu vektörünün genel hali elde edilir.

$$\vec{q} = -\lambda \cdot \text{grad } T \quad (2.1)$$

Eksi işareti ısı akımının sıcaklık gradyanı ile ters yönlü olmasından dolayı ortaya çıkmıştır. (2.1) eşitliği Fourier kanunu olarak adlandırılır. Bu kanuna bağlı olarak çeşitli malzemelerin ısı iletim katsayısını belirlemek için deneysel ölçümler yapılabilir.

Isı akım şiddetinin birimi W/m^2 , ısı iletim katsayısının ise $W/m^{\circ}C$ dır.

2.2. Enerjinin Korunumu ve Isıl Yayınım Katsayısı

Isı akımı ile sıcaklık gradyanı arasındaki doğrusal orantıyı gösteren Fourier kanunu, katılardaki kondüksiyonu tam anlamıyla tanımlamaz. Özellikle hiçbir dahili ısı kaynağı olmayan kararlı durumlar için geçerlidir. Daha ileri asamalarda termodinamiğin birinci kanunu olarak da bilinen enerjinin korunumu prensibinin kullanılması gerekir.

Kondüksiyon ortamında küçük bir hacim ele alalım. Bu hacim içerisinde bir enerji kaybı yoksa, iç enerjisindeki değişim, yüzeylerinden karşılıklı transfer edilen ısıya eşit olacaktır. Böylece iç enerjideki değişim, $t=0$ zamanında ΔU_0 ve t zamanında ΔU_t ise enerji değişimi:

$$\Delta U = \Delta U_t - \Delta U_0 = \Delta Q$$

olarak ifade edilir. Burada ΔQ küçük hacimden geçen ısıdır. Bu ifade, iç enerjinin zamanla değişimi ve ısı akımının S yüzeyindeki integrali cinsinden yazılırsa,

$$\frac{d(\Delta U)}{dt} = - \int \dot{q} \cdot n \, dS$$

halini alır. n , yüzeyin dış normalidir. İntegrasyon hacmi keyfi olduğundan,

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -\text{div } \dot{q} \quad (2.2)$$

elde edilir. İc enerjideki değişim özgöl ısı c ve yoğunluk ρ 'nun çarpımı cinsinden ifade edilerek,

$$\frac{\partial U}{\partial t} = c \cdot \rho \frac{\partial T}{\partial t} = -\text{div } \dot{q}$$

ve Fourier kanunu (2.1) ile birleştirilerek

$$c \cdot \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div } (\lambda \cdot \text{grad } T) \quad (2.3)$$

bulunur. Şimdi bu denklemi daha ayrıntılı olarak inceleyelim. İlk bakışta denklemde geçen özgöl ısı, sabit hacimdeki özgöl ısı c_v dir. Çünkü sistemde herhangi bir iş yapılmamakta yani hacim değişimi olmamaktadır. Ancak bu durum olağan deneysel koşullara uygun değildir. Çünkü ısı genleşmeden dolayı hacimde meydana gelecek değişimin önlenmesi için iletkenin çevresinde rijit sınırların bulunması gerekir. Eğer denklemde sabit basınçtaki özgöl ısı c_p kullanılırsa, iç enerji U'nun yerini entalpi H'nin alması gerekir. Gerçekte, içerisinde sıcaklık farkı bulunan bir nesne aynı zamanda iç gerilmelere de sahiptir. Bundan dolayı c_p yi kullanmak da uygun değildir. Fakat basit bir tek boyutlu sıcaklık gradyanı için c_p 'yi kullanmak doğruya oldukça yakın sonuç verecektir.

(2.3) Eşitliği, ısı iletim katsayısının konumla değişimini verir. Buna rağmen çoğu durumda, iletkenin homojen olmasının veya sıcaklık gradyanının etkisi ihmal edilerek bu eşitlik,

$$c_p \cdot \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \cdot \nabla^2 T$$

veya

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \nabla^2 T \quad (2.4)$$

şeklinde yazılır. Burada, $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$ ısı yayılım katsayısıdır. (2.4) Eşitliği homojen malzeme içerisindeki zamana bağlı ısı olayların incelenmesinde esastır. Kararlı sıcaklık dağılımı için (2.4) eşitliği Laplace denklemine indirgenir: $\nabla^2 T = 0$.

2.3. Isı iletiminin Fiziksel Olarak İncelenmesi

Bu çalışmada katıların ısı iletkenliği üzerinde durulacaktır. Burada sıvıların ve gazların ısı iletkenlikleri konusuna da kısaca değinilecektir.

2.3.1. Gazlarda ve Sıvılarda Isı İletim Katsayısı

İdeal gazların ısı iletim katsayısını kinetik gaz teorisine göre hesaplamak mümkündür:

$$\lambda = \frac{R \cdot \sqrt{RT/\mu}}{(1-x) \cdot 8,65 \cdot N_L \cdot d^2} = C_v \cdot \eta \quad (2.5)$$

Burada, C_v sabit hacimde özgül ısı, μ molekül kütlesi, T mutlak sıcaklık, d molekül capı, η dinamik viskozite, R gaz sabiti ve $N_L = 6,023 \cdot 10^{26}$ 1/kmol olarak da Losschmidt sayısıdır.

(2.5) eşitliğinden görüldüğü gibi, λ basınçla değişmez ve mutlak sıcaklığın karekökü ile doğru orantılıdır. Hafif gazların ısı iletim katsayıları diğer gazlara nazaran daha büyüktür [2].

Gazlarda kondüksiyon mekanizması oldukça basittir. Bir molekülün kinetik enerjisi sıcaklığına bağlıdır. Yüksek sıcaklıkta moleküller düşük sıcaklıktaki moleküllerden daha yüksek hıza sahiptirler. Herhangi bir durumda sürekli hareket halinde bulunan moleküller birbirleri ile çarpışarak enerji ve momentum alışverişi yaparlar. Moleküllerin bu rastgele hareketleri gaz içerisinde bir sıcaklık gradyanı olup olmadığına bağlı değildir. Bir molekül yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama hareket ettiğinde, düşük enerjili moleküllerle çarpışarak bu ortama kinetik enerji taşır. Isı iletim katsayısının sayısal değeri, verilen bir malzeme içinde ısı akımının hangi hızda gerçekleşeceğini gösterir. Yukarıda anlatılan molekül modelinde, enerji transferi hangi oranda olacaktır? Açıkça görüleceği gibi, moleküller ne kadar hızlı hareket ederlerse enerjiyi de o kadar hızlı taşırlar. Bu yüzden gazlarda ısı iletim katsayısı sıcaklığa bağlı olmalıdır. Yukarıda da bahsedildiği gibi, gazlarda ısı iletim

katsayısı mutlak sıcaklığın karekökü ile değişmektedir (Bir gaz içerisindeki ses hızı, mutlak sıcaklığın karekökü ile değişmektedir. Bu hız, yaklaşık olarak moleküllerin ortalama hızıdır). Gazların çoğu için, aşırı yüksek olmayan basınçlarda ısı iletim katsayısı sadece sıcaklığın fonksiyonudur. Yani atmosfer basıncı için verilen ısı iletim katsayısı değerleri daha geniş basınç aralığı içinde kullanılabilir.

Sıvılarda kondüksiyon daha karmaşıktır. Çünkü moleküller birbirlerine daha yakın konumdadırlar ve moleküler kuvvet alanları çarpışma işlemi sırasında enerji alış verişine önemli derecede etki ederler [3]. Sıvıların ısı iletim katsayıları gazlarınkinden daha büyüktür , sıcaklıkla daha az değişir ve genellikle sıcaklıkla azalır. Su ve gliserin gibi bazı sıvılarda sıcaklıkla artar [2].

Çizelge 2.1' de bazı sıvıların ve Çizelge 2.2' de bazı gazların ısı iletim katsayıları görülmektedir.

Çizelge 2.1. Bazı Sıvılar İçin Isı İletim Katsayıları [3]

 λ (W/m°C)

Doymuş Sıvılar T °C	Amonyak NH ₃	CO ₂	SO ₂	Freon CCl ₂ F ₂	Gliserin C ₃ H ₅ (OH) ₃	Etilen Glikol C ₂ H ₄ (OH) ₂	Cıva Hg
-50	0.547	0.086	0.242	0.067			
-40	0.547	0.101	0.235	0.069			
-30	0.549	0.112	0.230	0.069			
-20	0.547	0.115	0.225	0.071			
-10	0.543	0.110	0.218	0.073			
0	0.540	0.105	0.211	0.073	0.282	0.242	8.20
10	0.531	0.097	0.204	0.073	0.284		
20	0.521	0.087	0.199	0.073	0.286	0.249	8.69
30	0.507	0.070	0.192	0.071	0.286		
40	0.493		0.185	0.069	0.286	0.256	
50	0.476		0.177	0.067	0.287		9.40
60						0.260	
80						0.261	
100						0.263	10.51
120							
140							
150							11.49
160							
200							12.34
250							13.07
315.5							14.02

Cizelge 2.2. Bazı Gazlar için $P = 1 \text{ atm}$ 'de Isı İletim Katsayıları [3] $\lambda \text{ (W/m}^\circ\text{C)}$

Gazlar T $^\circ\text{C}$	He	H ₂	O ₂	N ₂	CO ₂	NH ₃	Su Buharı	Hava
100								0.0092
144	0.0928							
150		0.0981	0.0137					0.0137
200	0.1177	0.1282	0.0182	0.0182				0.0181
220					0.0108			
250		0.1561	0.0226		0.0129			0.0223
255	0.1357							
273						0.0220		
300		0.182	0.0268	0.0262	0.0166			0.0262
323						0.0270		
350		0.206	0.0307		0.0204			0.0300
366	0.1691							
373						0.0327		
380							0.0246	
400		0.228	0.0346	0.0334	0.0246		0.0261	0.0337
423						0.0391		
450		0.251	0.0383		0.0289		0.0299	0.0371
473						0.0467		
477	0.197							
500		0.272	0.0417	0.0398	0.0335		0.0339	0.0404
550		0.292	0.0451		0.0382		0.0379	0.0436
589	0.225							
600		0.315		0.0458	0.0431		0.0422	0.0466
650							0.0464	0.0495
700	0.251	0.351		0.0512			0.0505	0.0523
750							0.0549	0.0551
800	0.275	0.384		0.0561			0.0592	0.0578
850							0.0637	0.0603
900		0.412		0.0607				0.0628
950								0.0653
1000				0.0648				0.0675
1100				0.0685				0.0732
1200				0.0718				0.0782
1400								0.0891
1600								0.100
1800								0.111
2000								0.124
2200								0.139
2400								0.161

2.3.2. Katılarda Isı İletim Katsayısı

Katılarda kondüksiyonla ısı transferi iki şekilde olur: kafes titreşimleri ve serbest elektron hareketleri. Elektriksel iletkenliği yüksek olan malzemelerde oldukça fazla sayıda elektron, malzemenin kafes yapısı etrafında hareket eder. Bu elektronlar elektrik yükünü aktarmakla birlikte, gazlarda olduğu gibi yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama termal enerji taşıyabilirler. Ayrıca enerji, malzemenin yapısındaki titreşim enerjisi olarak da yayılabilir. Ancak bu şekilde transfer edilen enerji, elektron taşımada olduğu kadar büyük değildir; ve bu sebepten dolayı elektriksel iletkenliği yüksek olan bakır, alüminyum, gümüş gibi malzemelerin ısı iletkenliği de yüksektir ve elektriksel iletkenliği düşük olan malzemelerin ısı iletkenliği de düşüktür.

Çeşitli metallerin ısı iletim katsayıları Çizelge 2.3'te yalıtkanların ısı iletim katsayıları ise Çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Metaller için Isı İletim Katsayıları [3]

Saf Metal	Sıcaklık (°C)									
	-100	0	20	100	200	400	600	800	1000	1200
Alüminyum	215	202	204	206	215	249				
Kurşun	36.9	35.1	35	33.4	31.5					
Demir	87	73	73	67	62	48	40	36	35	36
%0.5 C'lu										
Celik		55	54	52	48	45	35	31	29	31
Bakır	407	386	386	379	374	363	353			
Magnezyum	178	171	171	168	163					
Molibden	138	125	123	118	114	109	106	102	99	92
Nikel	104	93	90	83	73	59				
Gümüş	419	410	407	415	374	360				
Tungsten		166	163	151	142	126	112	76		
Cinko	114	112	112.2	109	106	93				

Çizelge 2.4. Yapı ve Isıl Yalıtım Malzemeleri için Isı İletim Katsayıları [3]

Malzeme	Sıcaklık (°C)	λ (W/m°C)
Asfalt	20-55	0.74-0.76
Tuğla	20	0.69
Beton	23	0.76
Pencere camı	20	0.78
Kireçtaşı	100-300	1.26-1.33
Kumtaşı	40	1.83
Ağaçlar:		
Servi	30	0.097
Kökner	23	0.11
Beyazçam	30	0.112
Levha asbest	51	0.166
Toprak	32	0.043
Kece	30	0.036
Yün	30	0.052
Camyünü	23	0.038
Odun talaşı	23	0.059

3. KATILARDA ISI İLETİM KATSAYISI ÖLÇME YÖNTEMLERİ

Isı iletim katsayısı ölçme yöntemleri, numune içindeki sıcaklık dağılımının zamanla değişimine bağlı olarak statik ve dinamik yöntemler olarak ikiye ayrılır. Statik ölçme yönteminde (2.1) eşitliği kullanılır:

$$\dot{q} = -\lambda \cdot \text{grad } T$$

Bu yöntemde esas olan ısı akım yoğunluğu $\dot{q}$ ve izotermal yüzeylerin normali doğrultusundaki sıcaklık dağılımını belirlemektir. Kararlı durumlarda geçerli olan statik ölçme yönteminin tersine, dinamik ölçme yönteminde diferansiyel ısı akım denklemi (2.2) kullanılır:

$$\frac{\partial E}{\partial t} = - \text{div } \dot{q}$$

Genel olarak her iki yöntemde de sıcaklığın belirli bir mesafeye kadar yayılması için geçen zaman ölçülür ve ısı yayılım katsayısı belirlenir. Bazı dinamik yöntemlerde özgül ısının, ısı yayılım katsayısı gibi belirlenebilmesine rağmen genelde ısı iletim katsayısının belirlenebilmesi için özgül ısı ve yoğunluğun bilinmesi gerekir.

Her iki yöntemde de uygun denklemlerin numunenin geometrisine göre çözülmesi gerekir. Çözümü basitleştirmek için numunenin düzlemsel, silindirik veya küresel yüzeylerinin izotermal olduğu varsayılır. Deney aşamasında, numuneden çevreye olan ısı transferinden dolayı yüzeylerin izotermal olmasını sağlamak genellikle zordur.

Statik (kararlı) durumda ölçme yönteminde, ısı iletim katsayısının düşük olduğu veya deney sıcaklığının yüksek olduğu durumlarda dengeye ulaşmak için geçen toplam zamanın çok uzun olabilmesine rağmen, hassasiyet oldukça yüksektir. Modern deney aletlerinin dinamik yöntemle yapılan ölçümlerin hassasiyetini arttırmasına rağmen, genelde dinamik yöntem statik yöntem kadar yüksek hassasiyet sağlayamaz. Son yıllarda özellikle yüksek sıcaklıklarda verilerin hızlıca elde edilmesi ihtiyacı, çeşitli dinamik tekniklere ilgiyi arttırmıştır.

Ölçme yönteminin seçimi, elde edilecek ısı iletim katsayısının büyüklüğüne, çalışılan sıcaklık aralığına ve numune boyutlarına bağlıdır.

Katılarda ısı iletim katsayısı, oda sıcaklığındaki bakır veya gümüş için $400 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ile plastik köpük gibi mikrogözenekli malzemeler için $10^{-2} \text{ W/m}\cdot\text{K}$ arasında değişir. Metallerin, metal olmayan katılara oranla daha iyi iletken oldukları şeklinde bir genelleme yapmak yanlış olur. Elmas, oda sıcaklığında bilinen en iyi iletkenidir ve elmasın cinsine bağlı olarak ısı iletim katsayısı bakırdan beş kat fazla olabilir.

Sonuç olarak bütün ölçme yöntemlerinin ortak problemi, matematiksel çözümler için gereken ısı akım koşullarını elde etmektir ve bunu sağlamak, sıcaklık arttıkça daha da zorlaşır. Ancak bu koşullar deneysel olarak sağlanamazsa, elde edilen sonuçlar anlamsızlaşır.

Üretilen yeni malzeme sayısının hızla arttığı çağımızda ısı iletim katsayısı, önceden bilinmesi oldukça zor olduğundan deneysel olarak bulunması gereken fiziksel bir özelliktir. Yeni verilerin güvenilirliği için ısı iletim katsayısı ölçümünde kullanılan deney aletlerinin sistematik hatalara

karsı kontrol edilmesi gerekir. Bu kontrol için farklı deney koşullarında, örneğin numune boyutunu veya ısı akım şiddetini değiştirerek, ölçümler tekrarlanır. Sonra da deney aleti, ısı iletim katsayısı bilinen birkaç malzemenin ölçülmesi ile kontrol edilir. Özel bir deney düzenegini kontrol etmek için seçilen standart veya standartlar, bu deney aletinin ölçeceği bütün ısı iletim katsayıları için kullanılacaktır.

Deney verilerini rapor ederken, malzemeyi tanımlamak için mümkün olduğu kadar çok bilgi verilmelidir. Bu bilgiler malzemenin alındığı kaynağı, kimyasal analizini, geçirdiği işlemleri, yoğunluğunu, tane büyüklüğünü, kristal yapısını, şekli ve boyutları ile ilgili ayrıntıları ve ısı akımının doğrultusunu içermelidir.

3.1. Isı İletim Katsayısı Ölçümünde Statik Yöntemler

Statik yöntemle ısı iletim katsayısı, (2.1) denklemindeki sıcaklık gradyanının ve numunenin içine veya dışına doğru akan ısı akım şiddetinin ölçülmesi ile elde edilir.

Bu yöntemin en basit şekli, ısı akımının numune eksenine paralel olduğu silindir durumudur. Eksene dik olan yüzeyler izotermaldir. Bu durum lineer veya eksenel akış metodunun hareket noktasıdır. Kaçınılmaz ısı kayıpları nedeni ile sıcaklık gradyanının kesit alanının normali yönünde kalmasını sağlamak zordur. Dahası, üniform izotermal yüzeyleri elde etmek, deney sıcaklığı arttıkça güçleşir.

Bir alternatif olarak, bir ısı kaynağını çevreleyen numune modeli kullanılabilir. Bu, merkezinde küresel ısıtıcı bulunan oyuk bir küre veya eksen boyunca ısıtıcı bulunan uzun bir silindir olabilir. Bu koşullarda ısı akımı radyaldır ve izotermal yüzeyler küre veya silindir yüzeyleridir. Bu durum, radyal akış metodunun hareket noktasıdır.

3.1.1. Lineer Akış Metodu

3.1.1.1. Genel Prensip

Elektrikli ısıtıcı tarafından sağlanan Q ısı akımının tamamı, üniform kesit alanı A olan çubuk boyunca iletiliyorsa ve termometrelerin arasındaki mesafe L ise (Şekil 3.1) herhangi bir noktada,

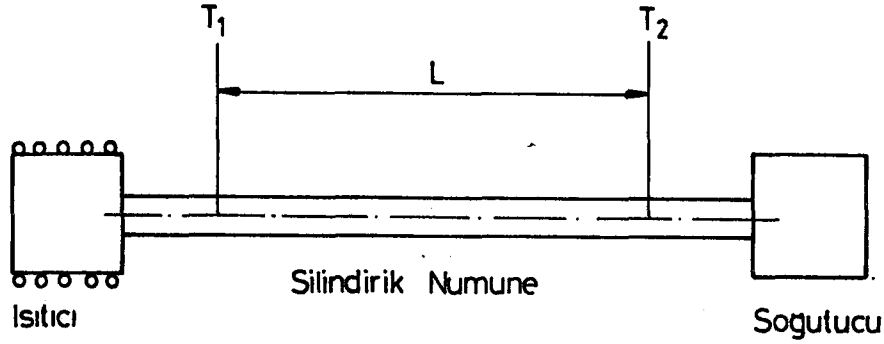
$$\lambda = \frac{Q}{A} \frac{dL}{dT} \quad (3.1)$$

ve T_1 ve T_2 sıcaklıkları arasında ortalama ısı iletim katsayısı ,

$$\lambda = - \frac{Q \cdot L}{A \cdot \Delta T} = \frac{Q \cdot L}{A \cdot (T_1 - T_2)} \quad (3.2)$$

olarak belirlenir.

Burada numune çevresinden ve termometrelerden olan ısı kayıplarının ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu kabul edilmiştir. Isı akımının termometreler arasında lineer olmasını sağlamak için termometrelerin ısıtıcıya veya soğutucuya uzaklığı, numune çapından küçük olmamalıdır.



Şekil 3.1. Kararlı Durumda Lineer Isı Akımında Isı İletim Katsayısı Ölçme Düzenegi.

Genelde, ısı akımı Q ve kesit alanı A 'nın ölçülmesi hiçbir problem yaratmaz. Ancak L uzunluğu boyunca ($T_1 - T_2$) sıcaklık farkının ölçülmesine büyük dikkat gösterilmesi gerekir. Isı iletim katsayısının sıcaklıkla değişmesinden dolayı ölçüm için anlamlı bir ortalama sıcaklık gösterilebilmesi ve bunun için de sıcaklık farkının küçük olması gerekir. Numune içindeki belirli derinlikteki kanallara rahatça yerleştirilen termometreler, mümkün olduğunca küçük kesit alanına sahip olmalıdırlar. Çünkü ideal olarak tek bir noktadaki sıcaklığın ve iki nokta arasındaki mesafenin hassas olarak ölçülmesi istenir. Deney hassasiyetinin sadece birkaç derecelik sıcaklık farkının ölçülmesine bağlı olduğu gözönüne alınırsa, sıcaklık ölçümünde doğruluğun yüksek olması gerektiği açıktır. Alternatif olarak, eğer sıcaklık farkının doğrudan ölçülmesi mümkünse, ortalama sıcaklığı belirleyecek T_1 veya T_2 mutlak sıcaklığı daha az hassasiyetle belirlenebilir. Bu ölçümü yapacak ideal sıcaklık ölçerler, termokupllardır. İki termokuplu ardarda bağlayarak sıcaklık farkı ölçülebilir.

Numune şeklinin seçimi, ölçülmek istenen ısı iletim katsayısı değerine, termometrelerin hassasiyetine ve ısı akım şiddeti Φ değerine bağlıdır. Yan yüzeylerden ısı kayıplarını minimuma indirebilmek için geniş yüzey alanlı, kısa bir numune gerekir. Ancak, numune kalınlığının az olması da, termometrelerin yerleşiminin ısı akım şeklini önemli ölçüde değiştirmesine bağlı olarak, sıcaklık farkının ölçülmesini zorlaştırır. ΔT yeterince yüksek olmalıdır ki ısı akım şiddetini asırı arttırmaya gerek kalmadan ölçülebilsin. L/A oranının da ΔT nin yeterince yüksek olmasını sağlayacak kadar yüksek olması gerekir. Pratikte uzun bir çubuk iyi, ince bir disk ise kötü bir iletkenidir.

3.1.1.2. 23°C'nin Altında İyi İletkenlerin Ölçümü

Metaller ve diğer iyi iletken katıların 23 °C'nin altındaki sıcaklıklarda ısı iletim katsayılarının ölçümü için Şekil 3.1'dekine benzer bir düzenek kullanılabilir. Genellikle numune dikey konumdadır; altta ısıtıcı ve üstte soğutucu (ısı dağıtıcı) bulunmaktadır. Deney düzenegi, çevreye ısı kaybını önlemek için havası alınmış bir hücreye yerleştirilmiştir. Böylece numuneden dışarıya sadece radyasyonla transfer edilen ısı kalır. Isıtıcı ve termometreler için uygun kurşun tellerin seçilmesi ile, deney düzeneginden kondüksiyon yoluyla olan ısı kaybı, numune bünyesinde kondüksiyonla transfer edilen ısıya oranla düşük hale getirilir.

-173 °C'nin altındaki sıcaklıklarda radyasyonla olan ısı kayıpları genellikle ihmal edilebilir. Ancak, -273~23 °C sıcaklıkları arasında radyasyonla ısı kayıpları için düzeltme faktörü kullanılması gerekir. Bu faktör, genellikle numunenin L/A oranının değiştirilmesi ile deneysel olarak bulunur.

Sıcaklık ölçümü için, çeşitli tiplerde termometreler kullanılabilir. Önceleri özellikle çok düşük sıcaklıklarda gaz termometreleri kullanılırdı. Günümüzde bunların yerini direnç termometreleri ve termokupllar almıştır. Oda sıcaklığından 1400 °C' ye kadar olan sıcaklıklarda termokupllar kullanılır. Çünkü bu aralıkta direnç termometreleri kararsız olmaya eğilimlidirler.

Bu yöntem, 10 W/mK 'in üzerindeki ısı iletim katsayısı ölçümleri için uygundur. Bu nedenle, düşük sıcaklıklarda iletkenliği yüksek olan bütün kristal yapıları katılar için kullanılabilir. Aşırı düşük sıcaklıklarda, bu yöntemin hassasiyeti sıcaklık farkının ölçümü ile sınırlandırılmıştır. Isı girişi ve numune alanının ölçülmesi kolaydır. Buna rağmen eğer numune çok kısa ise termometreler arası mesafenin ölçülmesi güçtür. Bu da yöntemi sınırlandıran bir faktördür.

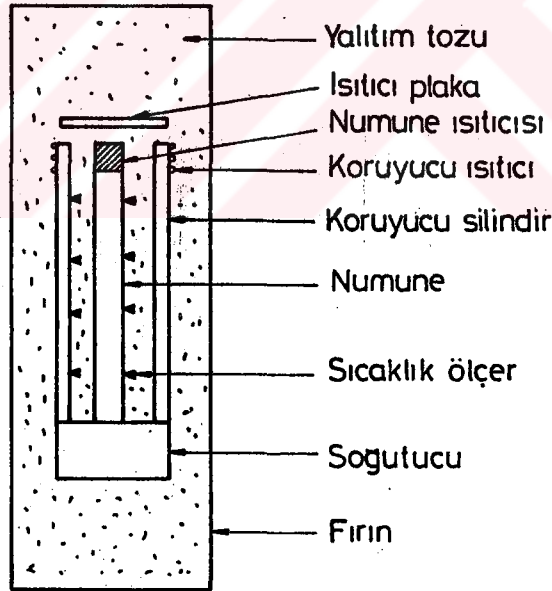
3.1.1.3. 23 °C'nin Üzerinde İyi İletkenlerin Ölçümü

Sıcaklık 23 °C'nin üzerine çıktığı zaman radyasyonla ısı transferinin artmasıyla, numuneden çevreye olan ısı kayıpları hızla yükselir; hatta iyi iletkenlerde ısı kayıpları numune üzerinden iletilen ısıyla karşılaştırılabilecek seviyeye gelir. Bu yüzden numuneyi ısı iletim katsayısı düşük, genellikle toz halindeki bir katıyla çevreleyerek radyasyonu minimuma indirmek gerekir.

Sıcaklık gradyanının istenilen yönde olmasını sağlamak yani lineer sıcaklık gradyanında sapmaları önlemek amacı ile numunenin belirli yönlerine koruyucular yerleştirilir. Şekil 3.2' de numune ortalama sıcaklığına eşit sıcaklıktaki izotermal fırının içerisinde. Numune ile fırın arasında,

numuneden bağımsız olarak ısıtılan koruyucu bir silindir bulunmaktadır. İdeal olarak koruyucu boyunca her noktanın sıcaklığı numune üzerinde karşılık gelen noktanın sıcaklığına eşit olmalıdır. Baska bir ısıtılmış koruyucu da numunenin üst tarafına yerleştirilerek bütün ısının numune içinden aşağıya doğru akması sağlanır.

Doğrusal ısı akışı elde etmek için numunenin korunması kolay bir yol gibi görünse de, pratikte uygulanması oldukça zordur. Duruma basitçe bakacak olursak, numuneden dışarıya radyal ısı akımının, koruyucudan içeriye doğru yönelmiş radyal akış tarafından dengelendiği görülür. Buna rağmen



Şekil 3.2. Kararlı Durumda Lineer Isı Akımı ile Isı İletim Katsayısının Ölçümünde Silindirik Koruyuculu Deney Düzenegi.

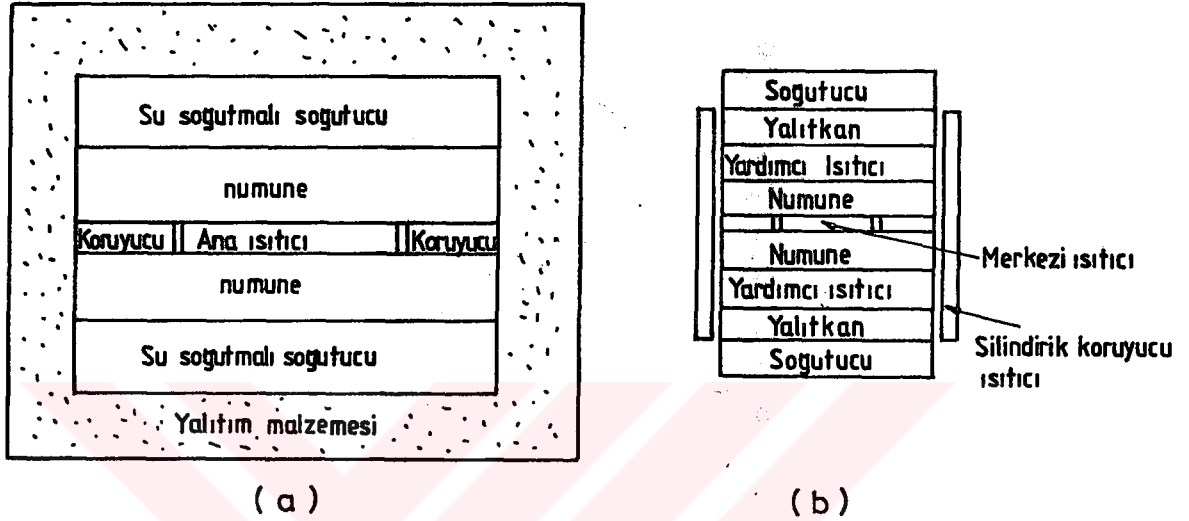
koruyucu numuneye yakın konumda ise, ısıtıcıdan gelen ısı akımının bozulmasına sebep olacaktır. Eğer koruyucu çapı çok büyükse, numuneden yalıtım malzemesine doğru lineer ısı akımı şeklinde ısı kaybı olacak ve tam olarak eşit ve zıt yönlü ısı akımı sağlanamayacaktır. Bunu önlemek için, numune uzunluğunun çapına oranı yaklaşık 10 ve koruyucunun dış çapı numune çapının yaklaşık iki katı olmalıdır.

Koruyuculu numune ile ısı iletim katsayısının ölçülmesinde sınırlandırıcı olan temel faktör, numune ile koruyucuyu çevreleyen yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısıdır. Numune ile yalıtkanın ısı iletim katsayıları oranı ideal olarak 10^{-3} 'ün üzerinde olmalıdır. Sıcaklığın artması ile ısı iletkenlik azalacağından 10^{-2} 'lik bir oran daha gerçekçidir. Bu da, bu teknikle ölçülebilecek ısı iletim katsayısının alt limit değerini 10 W/mK olarak belirler.

Lineer ısı akımına ulaşılmasını engelleyen dizayn hatalarına ek olarak, numune içerisinden akan ısının ve sıcaklık farkının ölçümünde de hatalar doğar. Elektriksel güç girişi çok hassas olarak ölçülebilse bile, bu gücün bir kısmının ısıtıcının üst yüzeyinden veya termometreler üzerinden kaybolmadığına emin olmak imkansızdır.

3.1.1.4. Koruyuculu Isıtıcı Yöntemi

Isı iletim katsayısı düşük olan malzemelerin ölçümü için en uygun metot, koruyuculu (muhafazalı) ısıtıcı yöntemidir. Bu metotta küçük sıcaklık farkları elde edebilmek için boyunun çapına oranı 1'den küçük olan ince numuneler kullanılır.



Şekil 3.3. Muhafazalı Isıtıcı Yöntemi Deney Düzenegi
a) Oda sıcaklığı ve altındaki sıcaklıklarda,
b) Daha yüksek sıcaklıklarda ölçümler için.

Şekil 3.3.a'da görüldüğü gibi, deney düzenegi temel olarak soğutucuların arasına yerleştirilmiş ve ısıtıcıyla ayrılmış, benzer özellikteki iki numuneden oluşur. Isıtıcı, küçük bir kanalla ayrılmış merkezi bölüm ve koruyucudan meydana gelmiştir. Tüm düzenek, ısı iletim katsayısı düşük bir malzeme ile sarılmıştır. Isıtıcının iki ayrı bölümü, birbirinden bağımsız sabit güç kaynakları ile beslenir. Merkezi ısıtıcıdan radyal yöndeki ısı kayıplarını dengelemek için koruyucu ve merkezi bölümün sıcaklıkları eşitlenene kadar güç kaynakları ayarlanır. Böylece 3.2 eşitliğinden ısı iletim katsayısı bulunur.

$$\lambda = \frac{Q L}{A \cdot (T_1 - T_2)}$$

Burada, Q merkezi ısıtıcı tarafından çekilen güç, A merkezi ısıtıcının alanı ile kanal alanının yarısının toplamı, L iki numunenin toplam kalınlığı, ve $(T_1 - T_2)$ her bir numune yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıdır.

Oda sıcaklığı ve altındaki sıcaklıklarda yapılacak ölçümlerde, uygun sıcaklıktaki sıvılar, soğutucular içerisinde dolaştırılır. Daha yüksek sıcaklıklarda ise soğutucularla numuneler arasında yardımcı ısıtıcılar bulunur. Numuneler için deneksel ısı akışı elde edilmesi için, yardımcı ısıtıcılar çok kalın olmamalı ve koruyucu yeterince geniş olmalıdır. Oda sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda yapılan ölçümler için, ısıtıcının merkez ve koruyucu kısımları arasındaki kanal, ısı iletkenliği düşük bir malzeme ile doldurulmalı ve kenar sıcaklıklarının kontrolü için ek bir silindirik koruyucu ısıtıcı sağlanmalıdır.

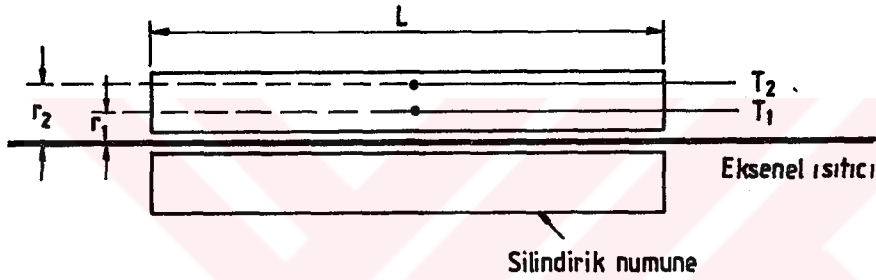
İletkenliği yüksek malzemelerde ısı iletim katsayısının, deney düzeneği içindeki sıcaklık şartlarına bağlı olduğu kadar gözeneklerin, tanelerin ve liflerin şekil ve yapısına, ortamın gazlı veya nemli oluşuna da bağlı olduğu aşıkardır.

3.1.2. Radyal Akım Metodu

Bu yöntemde ısı akımı radyaldır ve (2.1) eşitliğinde grad T izotermal yüzeylere normal yöndeki sıcaklık gradyanını gösterir. Kullanılan en yaygın deney şeklinde, yatay silindirik numune ve içerisinde eksen boyunda ısı kaynağı bulunur (Şekil 3.4). Eger numune boyu sonsuz ise Fourier denkleminin çözümü:

$$\frac{Q}{L} = \frac{2\pi \cdot \lambda (T_1 - T_2)}{\ln (r_2/r_1)} \quad (3.3)$$

olur. Burada Q/L birim numune uzunluğunda ısı akımı, T_1 ve T_2 ise sırasıyla r_1 ve r_2 yarıçaplarındaki sıcaklıklardır.



Şekil 3.4. Radyal Akım Yöntemi Deney Düzenegi

Bu yöntemin dezavantajı numunenin imalat ve montajının zor oluşudur. Ayrıca numune çapı çok küçük olursa radyal sıcaklık farkının ölçümü zorlaşır. Bu problemleri ortadan kaldırmak için, diskler dizisinden oluşan bir numune kullanılabilir ve tek bir hareketli termokuplun numune üzerine açılan kanala yerleştirilmesi ile eksenel sıcaklık farkı ölçülebilir.

Radyal akım metodu için bir başka deney yöntemi ise küresel numune ve ısı kaynağı modelidir. İlk bakışta, merkezinde küresel bir ısıtıcıya sahip küresel bir numune kullanmak, üretilen ısıнын tamamının numuneden geçmesi açısından çok avantajlı gibi görünür. Ancak pratikte, özellikle üniform ısı kaynağının imalatı zordur. Ayrıca, izoterm yüzeylerin eğrisel oluşunun ve termokupl telleri üzerinden ısı kaçağı olmasının sonucu olarak sıcaklık farkının ölçümü hassas olmaz.

3.1.3. Elektrigi ileten Malzemeler için Ölçme Yöntemleri

Elektrigi ileten malzemeler için ısı iletim katsayısı ölçümlerinde elektrik akımının kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu yöntemde, numune boyunca sıcaklık değişimi ile numuneye verilen ısı yükü ölçülerek ısı iletim katsayısı değeri elde edilir.

3.2. Isı İletim Katsayısı Ölçümünde Dinamik Yöntemler

Dinamik veya kararlı olmayan durum yöntemi ile ölçmede, numune boyunca sıcaklık dağılımı zamanla değişir ve sonucta ısı akımının tam diferansiyel denklemi (2.2 eşitliği) kullanılarak ısı iletim katsayısı ölçülür.

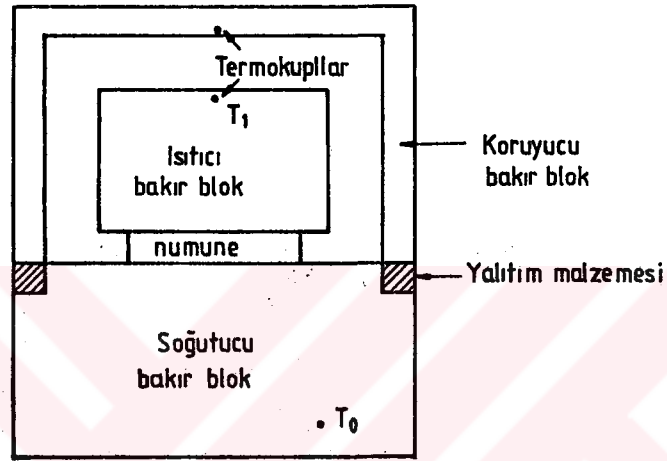
Ölçme süresi kısa olduğundan ısı kayıplarının ölçüme etkisi, kararlı durum yöntemine göre daha azdır. Yine de ısı kayıpları diferansiyel ısı akış denkleminde veya sınır şartlarına dahil edilmelidir. Sonuç olarak denklemin çözümünde ısı kayıp katsayısı vardır ve farklı deneysel koşullarda yapılan ilave ölçümlerle elimine edilebilir. Isı kayıplarının statik yöntemle ölçümü zorlaştırdığı oda sıcaklığı ve üzerindeki sıcaklıklarda, dinamik ölçme metodu en kullanışlı yöntemdir. Bu ve ölçüm için gereken toplam zamanın kısa olması son yıllarda çok sayıda dinamik yöntemin geliştirilmesine neden olmuştur.

Bu yöntemde numune, sabit sıcaklıktaki ısı kaynağı ile ısı kapasitesi bilinen bir soğutucu arasına yerleştirilir. Soğutucu sıcaklığının değişmesi ile ısı numune üzerinden akar. Eğer ısı kayıpları yoksa numune içinden geçen ısı, soğutucu tarafından çekilen ısıya eşittir. Böylece ısıtıcının sıcaklığı ve soğutucudaki sıcaklık değişimi bilinen bir zaman

aralığında ölçülerek ısı iletim katsayısı bulunabilir. Statik durum yöntemlerinde olduğu gibi numune duvarlarından ve soğutucudan ısı kayıpları en önemli problemlerden biridir. Numune içinden akan ısı, soğutucu sıcaklığı ile ölçüldüğü için soğutucudan olan kayıplar oldukça önemlidir. Isı kayıplarını azaltmak için çeşitli yöntemler vardır. Şekil 3.5'te görülen düzenekte, numune ince bir disk şeklindedir. Isıtıcı, soğutucudan daha küçük ve her ikisi de ısı kapasitesi bilinen bakır bloklar şeklindedir. Bakırdan yapılmış bir ucu kapalı silindir şeklindeki koruyucu, ısıtıcı ve numunenin dış yüzeylerini tamamen saracak şekilde yerleştirilmiştir. Koruyucu sıcaklığı ısıtıcı sıcaklığına eşittir. Başlangıçta sistem dengededir. Soğutucu içerisine buzlu su veya sıvı nitrojen gibi soğuk bir sıvı doldurulur. Isıtıcı tarafından verilen ısı, numune içerisinden soğuk sıvı karışımına doğru akar. Soğutucunun sıcaklığı ısıtıcının sıcaklığına yaklaştıkça, soğutucu sıcaklığı zamana bağlı olarak ölçülür. Ölçümlerin yapılabileceği ve makul bir doğruluğun elde edilebileceği sınırlı bir zaman aralığı vardır. Ölçümler, soğutma sıvısı soğutucuya yerleştirildikten çok sonra yapılmamalı ve ısıtıcı ile soğutucu sıcaklıkları tam eşitleninceye kadar ölçümlere devam edilmemelidir. Bu şartlar altında ısı iletim katsayısı,

$$\lambda = \frac{L \cdot (C_1 + 1/3 \cdot C_2) \cdot dT}{A \cdot (T_1 - T_0) \cdot dt} \quad (3.4)$$

ifadesi ile verilir. L numune kalınlığı, A numunenin kesit alanı, C_1 ve C_2 sırasıyla ısıtıcı ve soğutucunun ısı kapasiteleri, T_1 ısıtıcı sıcaklığı, T_0 ortalama soğutucu sıcaklığıdır.



Şekil 3.5. Dinamik Yöntemle Isı İletim Katsayısı Ölçümü

Bu yöntem, 1 ve 10 W/mK arasında ısı iletim katsayısına sahip katıların oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda yapılan ölçümleri için oldukça hassastır. Deney düzeneginin kurulması ve çalıştırılması basittir. Bu yöntemle, özellikle küçük numuneler için çok hızlı bir şekilde ısı iletim katsayısı ölçülebilir.

4. KULLANILAN ÖLÇME YÖNTEMİ

Isı iletimi problemlerinin çözümünde, özellikle endüstride, ısıtma, havalandırma ve soğutma tekniğinde pratik hesaplar için çeşitli malzemelerin, özellikle ısı yalıtkanların ısı iletim katsayılarının bilinmesi, birinci derecede önem taşır. Ülkemizde çeşitli inşaat ve ısı yalıtım malzemeleri geliştirilmektedir. Isıl hesaplarda bu malzemelerin benzerleri için yabancı literatürlerde verilmiş olan ısı iletim katsayısı değerlerinin kullanılması, hatalı sonuçlar doğurabilir. Bu bakımdan, her yeni malzemenin, yoğunluk, viskozite, özgül ısı, ısı iletim katsayısı gibi fiziksel özelliklerinin belirlenmesi gerekir.

Isı iletim katsayısının ölçülmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle ısı iletim katsayısının mutlak değeri veya ısı iletim katsayısı bilinen bir cisimle karşılaştırılarak göreceli değeri ölçülmektedir. Ölçme yöntemlerinden hangisinin kullanılacağına, denenecek malzemenin cinsine ve beklenen hassasiyet derecesine göre karar verilir.

İnşaat malzemeleri gibi yalıtkan malzemelerin ısı iletim katsayılarını ölçmek için kullanılan ve aynı temele dayanan birkaç yöntemden en yaygını, plaka metodu ile ısı iletim katsayısının belirlenmesi yöntemidir.

4.1. Plaka Metodu ile Isı İletim Katsayısı Ölçümü

Plaka metodu ile ısı iletkenliğinin tayini, TS 388 ile tarif edilmiştir. Hazırlanan deney düzeneginin Türk Standartlarına uygunluğunun belirlenmesi ve kullanılan yöntemin en açık şekilde anlatılması için öncelikle, TS 388'de belirtilen koşullara değinilecektir.

TS 388'de bir numuneli plaka metodu ile ısı iletkenliği- nin tayininde numune hazırlama, deney cihazı ve denevin yapılması konularında uyulması gereken kurallar şu şekilde belirtilmiştir: Bu standard, plakalı deney cihazı ile düz levha halindeki homojen ve homojene yakın gözenekli, lifli, taneli, bir veya çok tabakalı numunelerde ısı iletkenlik ve ısı geçirgenlik direncinin tayinini kapsar.

Isıl iletkenliği $2 \text{ kcal/m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$ ($2,3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) den büyük malzemeler bu standardın kapsamı dışındadır.

Plakalı deney cihazının kenar boyu 500 mm olan kare şeklinde ısıtıcı bir plakası vardır (Şekil 4.1). Yeterli derecede homojen malzemelerde, daha küçük ısıtıcı plakalar da kullanılabilir.

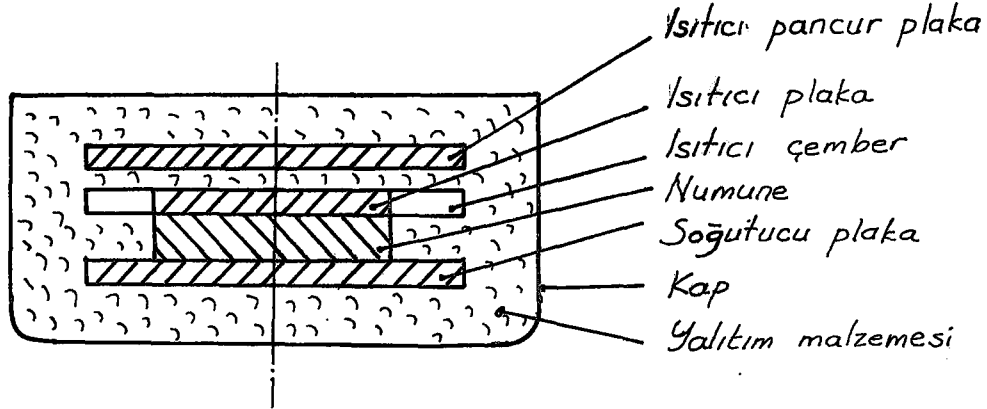
Yan yüzeylerden ısı kaybını önlemek için ısıtıcı, ana ısıtıcı ve ısıtıcı çember olarak iki bölüm halinde imal edilmiştir. Soğutucu levha, ısıtıcı levha ve ısıtıcı çemberi örtecek ölçüde olmalıdır. Isıtıcı plaka olarak ısı iletkenliği yüksek malzemeler kullanılmalıdır (Örneğin bakır, hafif metaller gibi).

Isıtıcı plaka ve ısıtıcı çember elektrik enerjisi ile ısıtılmalıdır. Sıcaklık ölçümü termoelemanlar ve direnç termometreleri ile yapılmalıdır. Sayıları ve yüzeye dağılımları numunenin büyüklüğüne ve homojenliğine göre değişir.

Plaka halindeki numunelerin ısı iletkenliğinin saptanması, numunelerde kararlı durumdaki ısı akımının ve sıcaklık farklarının ölçülmesi ile yapılır.

Isıtıcı plaka, numuneyi tamamen kaplamalıdır. Isıtıcı yüzeyi daha geniş olabilir. Genellikle ısıtıcı ile numune eşit boyutlardadır ve kenar uzunlukları 500 mm dir. Bu durumda numuneler 125 mm den kalın ve 10 mm den daha ince olmamalıdır.

Levha halindeki numunenin yüzeyleri, pürüzsüz ve düzgün olmalıdır.



Şekil 4.1. TS 388'de Tanımlanan Bir Numuneli Cihaz

Numune aynı kalınlıkta ayrı ayrı parçaların birleşmesinden oluşuyorsa, parçaların yan yüzlerinde hava kalmayacak şekilde birleştirilmelidirler.

Dökme ve kolay sıkışabilen numunelerde ısıtıcı plaka ile soğutucu plaka arasındaki gerekli uzaklık olabildiği kadar düşük ısı iletkenliği olan uzaklık ayarlayıcılar tarafından sağlanmalıdır.

Isıtıcı ve soğutucu plakalar ile numuneler arasında hava tabakası kalmasından mutlaka kaçınılmalıdır.

Cihazın içinde ısıtıcı ve soğutucu plakalarla numuneden arta kalan bütün boşluklar olabildiği kadar en düşük ısı iletkenliğindeki yalıtkan ve gevsek durumda bir malzeme ile doldurulmalıdır.

Sıcaklık ölçerler ısıtıcı plaka veya soğutucu levhalara değmeyecek şekilde numunelerin yüzeylerine yerleştirilmelidir. Bu, sıcaklık ölçer ve kabloların numune yüzeylerine açılacak yuvalara yerleştirilmesi ile sağlanır. Bu amaçla 0,2 mm kalınlığa kadar tel termoelemanlar kullanılmalıdır.

Numunelerin yüzey sıcaklıkları farkı yaklaşık olarak 10°C den az olmamalıdır.

Deney en az 3 ayrı kademedeki ortalama sıcaklıkta yapılmalı ve kademeler arasındaki sıcaklık farkı, en az 8°C olmalıdır.

Deney ortalama sıcaklığının daima malzemenin uygulamada karşılaştığı sıcaklık bölgesi içinde olmasına dikkat edilmelidir. Yapı malzemeleri için bu genellikle + 10°C ile + 40°C arasındadır.

Bütün ölçüm kurallarına uyulduğunda ısı iletkenliğinin saptanmasında tekrarlanan ölçme sonuçlarında farklılık en çok $\pm \% 5$ olmalıdır.

Cizelge 4.1. Isı iletkenlik Birimleri

	$\frac{\text{kcal}}{\text{mh}^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{cal}}{\text{cm}\cdot\text{s}^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{W}}{\text{cm K}}$	$\frac{\text{W}}{\text{m K}}$
$1 \frac{\text{kcal}}{\text{mh}^\circ\text{C}}$	1	0,002778	0,01163	1,163
$1 \frac{\text{cal}}{\text{cm}\cdot\text{s}^\circ\text{C}}$	360	1	4,1868	418,68
$1 \frac{\text{W}}{\text{cm K}}$	65,98	0,2368	1	100
$1 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$	0,8598	0,002388	0,01	1

Deney raporunda aşağıdaki bilgiler bulunmalıdır:

- 1- Numune almanın açıklanması,
- 2- Numunenin tanımı,
- 3- Deney cihazı,
 - Deney cihazının çeşidi (bir numuneli, iki numuneli)
 - Isıtıcı plaka şekil ve boyutları
 - Gerekli ise numune yerleştirilmiş durumda cihazın krokisi
- 4- Numune üzerine açıklayıcı bilgiler,
 - Ölçüleri
 - Kuru birim hacim ağırlığı
 - Birim alan ağırlığı
 - Kurutma sıcaklığı ve şekli
 - Deney sırasında ortalama nem miktarı
- 5- Ölçüm değerleri
 - Her ölçümde:
 - Ortalama deney sıcaklıkları, ortalama sıcaklık farkları ile ısı iletkenlik ve ısı geçirgenlik direnci değerleri virgülden sonraki ikinci basamağa kadar verilmelidir.

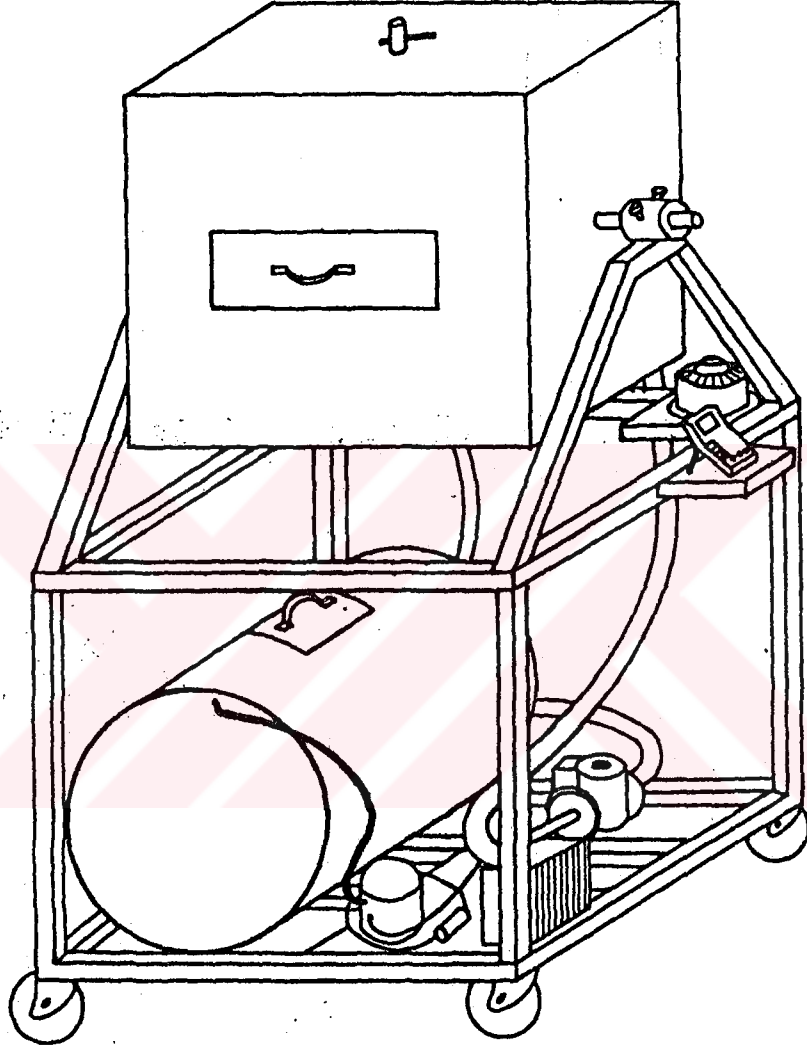
4.2. Deney Düzenegi

Isı iletim katsayısının ölçülmesinde, Şekil 4.2'de genel ve Şekil 4.3'te şematik olarak görünen düzenek kullanılmıştır. Düzeneğe yatay konumda yerleştirilen numunenin alt yanında soğutucu, üst yanında ısıtıcı bulunmaktadır. Isıtıcıdan verilen ısıнын tamamının numuneden geçmesi istendiği için, numune, ısıtıcı ve soğutucudan oluşan sistem tüm yüzeylerinden yalıtılmıştır. Yalıtım için 10 cm kalınlığında levha poliüretan ve 2 cm kalınlığında sunta kullanılmıştır. Kullanılan poliüretanın teknik özellikleri Çizelge 4.2'te verilmiştir.

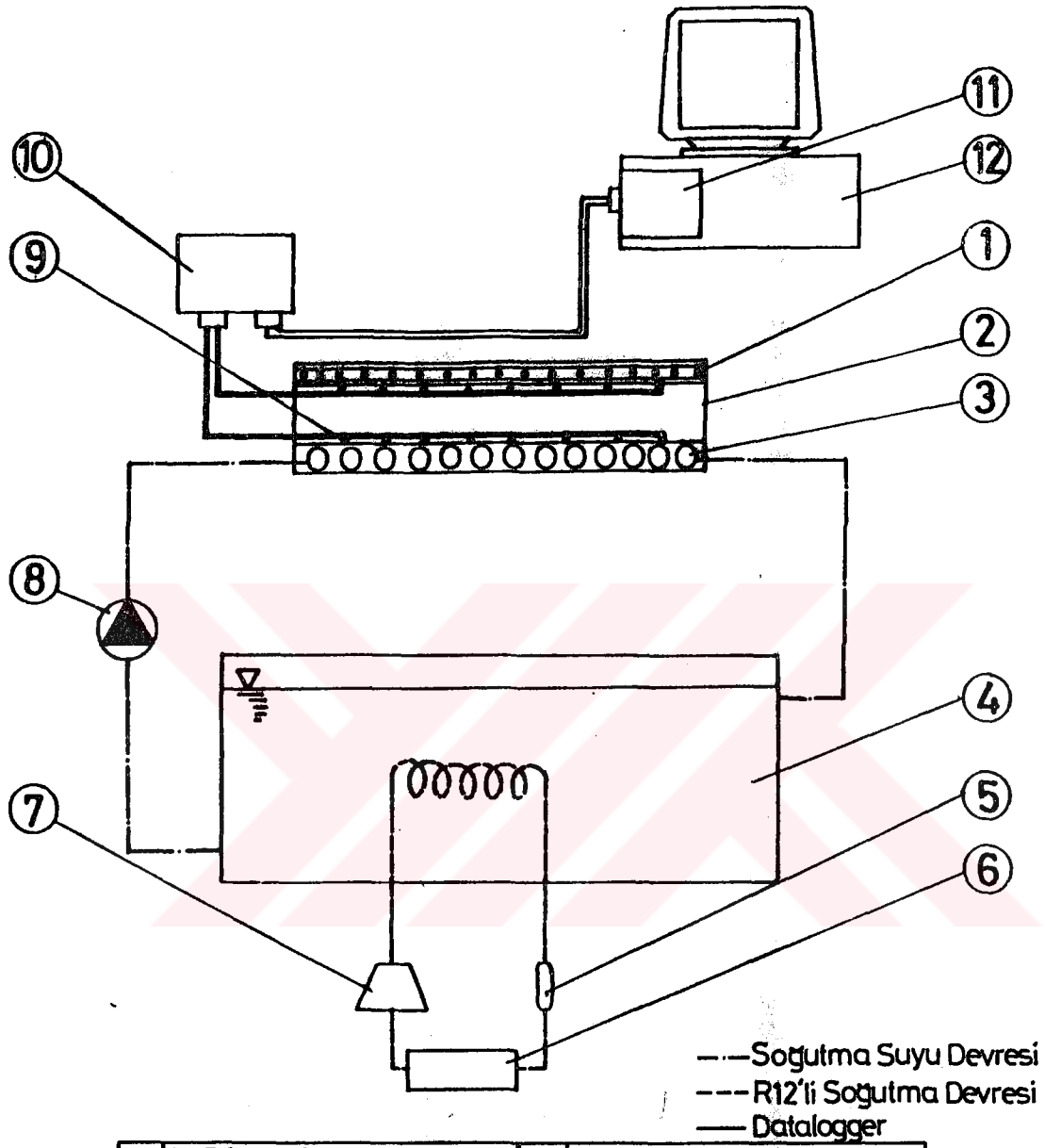
Çizelge 4.2. Deney Kabininin Yalıtımı İçin Kullanılan Poliüretanın Teknik Özellikleri.

Özellik	Birimi	Değeri
Yogunluk	kg/m ³	30-35
Basıncı Dayanımı	kg/cm ²	2.0-2.5
genişlemeye paralel yönde		1.1-1.6
genişlemeye dik yönde		2.0-3.0
Gerilme Dayanımı	kg/cm ²	0.023-0.026
Isı İletim Katsayısı	W/m °C	0.016
Su Emme Kapasitesi	gr/cm ²	20-30
Su Buharı Difüzyonu	gr/m ² .24h	-160 130
Çalışma Sıcaklığı	°C	

Deney kabininin ön yüzünde deney numunesini yerleştirmek için kapak bulunmaktadır. Arka yüzünden de soğutucunun giriş -çıkış su boruları ile ısıtıcının elektrik kablosu dışarıya çıkarılmıştır. Deney kabini iki yan yüzeyinden, öne ve arkaya doğru dönmesine müsaade edecek şekilde yataklanmıştır.



Sekil 4.2. Isı İletim Katsayısı Ölçme Deney Düzenegi



No	PARÇA ADI	No	PARÇA ADI
1	Isıtıcı	7	Kompresör
2	Numune	8	Pompa
3	Soğutucu	9	Sıcaklık Algılayıcı
4	Su Deposu	10	Dağıtıcı
5	Genişleme Valfi	11	A/D Kart
6	Kondenser	12	PC Kişisel Bilgisayar

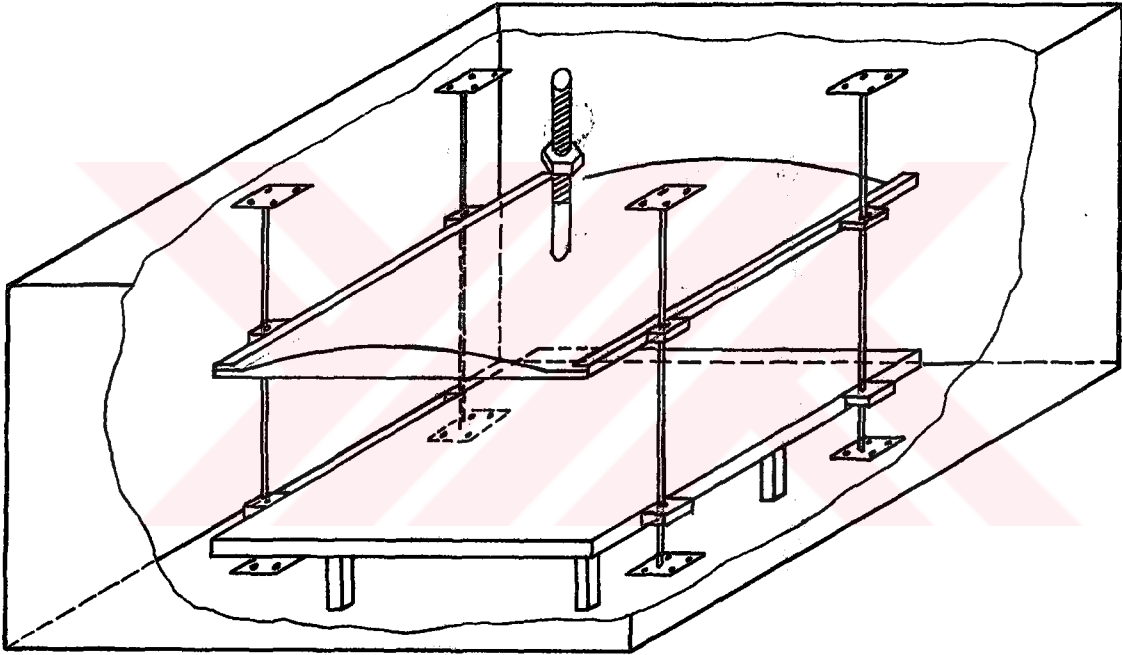
Şekil 4.3. Deney Düzeneginin Seması

Burada ısı iletim katsayısı ölçümünde numunenin değişik konumlara getirilebilmesi amaçlanmıştır. Kabinin istenilen konumda sabitlenmesi için sıkıştırma civataları kullanılmıştır.

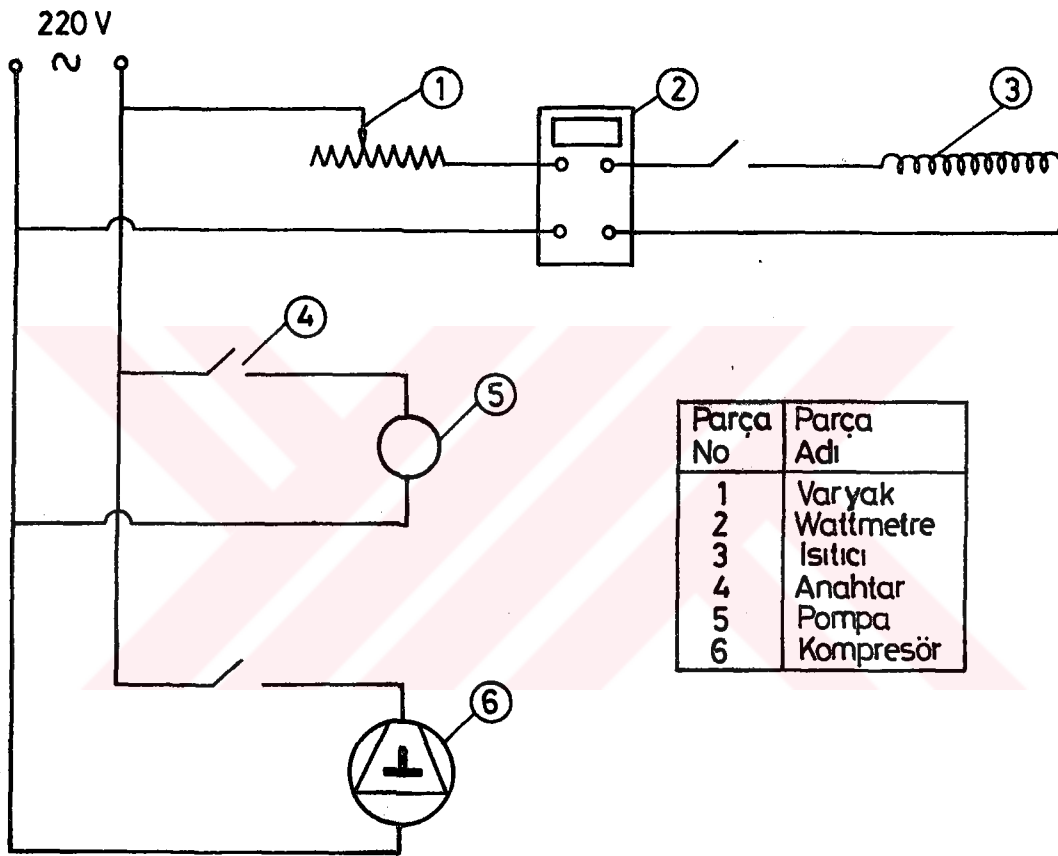
Komple deney kabininin ısııl direnci, yapılan deney sonucunda $1/0,63$ °C/W olarak bulunmuştur. Bu deneyden ileride bahsedilecektir.

TS 388'e göre numune kalınlığı 10 mm ile 125 mm arasında değişebilmeli, ısıtıcı ve soğutucu yüzeyler ile numune yüzeyleri arasında boşluk kalmamalıdır. Bunu sağlayabilmek için altta bulunan soğutucu sabit tutulmuş, ısıtıcı ise dört adet ayak üzerine kızaklanarak hareketli hale getirilmiştir. Şekil 4.4'te deney kabini görülmektedir.

Isıtıcı, 50x50 cm boyutlarında elektrikli ısıtıcıdır. 18 m uzunluğunda 0,5 mm çapında Cr-Ni tel, eşit aralıklı sıralar halinde tüm yüzeye sarılarak imal edilmiştir. Elektrik yalıtımı için ısıtıcı, alt ve üstten 1 mm kalınlığındaki yanmaz amyant levha ile örtülmüş, daha sonra 1,5 mm kalınlığında sac levhalar arasına sıkıştırılmıştır (Şekil 4.5.a). Isıtıcı iki yan kenarında ikişer adet olmak üzere 4 mm çapında miller üzerine kızaklanmıştır. Aşağı-yukarı yönde hareketi bir adet M16 mil-somun bağlantısı ile sağlanmaktadır. Toplam hareket mesafesi 135 mm dir. Vidalı mil, bombeli sac levhanın ortasına monte edilerek baskının, ısıtıcıya zarar vermeyecek şekilde yan kenarlar üzerine gelmesi sağlanmıştır. Isıtıcının toplam elektrik direnci 87Ω dur. Isıtıcı uçları arasına verilen gerilim, bir varyak yardımı ile 0 ile 220 volt arasında değiştirilerek güç, 500 W'a kadar çıkarılabilmektedir. Şekil 4.6'da sistemin elektrik şeması görülmektedir.



Sekil 4.4. Deney Kabini



Sekil 4.6. Sistemin Elektrik Şeması

Sogutucu, 1,5 mm kalınlıgındaki Cr-Ni sacıa kaplanmıştır ve boyutları 50x50x3 cm'dir. İcerisinde dış capı 25 mm olan gırış-çıkış ana boruları ve bunlara dik yönde dış capı 12,5 mm olan ara borular bulunmaktadır (şekil 4.5.b.). Sogutucu, indirekt sogutma ile çalışmaktadır. 1/5 BG gücünde kompresörle alışan R12'li sogutma devresi ile 0,066 m³ hacimli su deposu sogutulmakta, daha sonra depodaki su, bir devridaim pompası ile sogutucu icerisinde doladıştırmaktadır. Pompanın gücü 30 W, düşüşü 2,35 mşş' dur. Deponun icerisinde 35 kg su ve buzlanmaya karşı 1 lt antifriz bulunmaktadır. Depo, 350 mm capında ve 690 mm boyunda, 2 mm kalınlıgındaki galvanizli sacdan, yatay silindir şeklinde imal edilmifitir. Tüm yüzeyle-rinden 60 mm kalınlıgında cam yünü ile izole edildikten sonra, dışı 1 mm kalınlıgında galvanizli sacıa kaplanmıştır. Deponun üzerinde bir kapak, arka yüzünde ise gırış- çıkış su boruları bulunmaktadır.

4.3. Deney Yöntemi

Deney numunesi 0,25 m² yüzey alanına sahip ve 10 ile 125 mm arasında bir kalınlıkta olacak şekilde hazırlanır. Numunenin ısıtıcı ve sogutucu tarafındaki yüzeyle-rine sekizer adet sıcaklık algılayıcı yerleştirilir. Numune yüzeyle-ri ile ısıtıcı ve sogutucu arasında boşluk kalmaması gereklidir. Bunun için sıcaklık algılayıcılar, numune üzerine açılan 3 mm kalınlıgındaki kanallar icerisine yerleştirilir. Numune ve algılayıcılar, sogutucu üzerine yerleştirildikten sonra ısı-tıcı aşağı doğru hareket ettirilerek arada boşluk kalmayacak şekilde sıkıştırılır. Isıtıcının üzerinde kalan boşluk, poli-üretan ve cam yünü ile doldurulduktan sonra deney kabininin kapağı kapatılır. Böylece numune, ısıtıcı ve sogutucu, ortamdan yalıtılmış olur.

Isıtıcıya verilen güç varyak aracılığı ile ayarlanır ve büyüklüğü wattmetreden okunur. İstenilen güç değerine ulaşıldıktan sonra, soğutucu ve sirkülasyon pompası çalıştırılarak deneye başlanır.

Deney yönteminin esası, ısıtıcıya verilen gücü ve numunenin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkını ölçmektir. Statik ölçme yönteminin temel şartı, sistem kararlı hale geldikten sonra ölçüm yapmaktır. Sistemin kararlı hale gelmesi, sıcaklık farkının ve dolayısıyla ısı iletim katsayısı değerinin zamanla değişmemesi anlamına gelir. Bu şartın sağlanabilmesi için gereken süre, özellikle ısı iletim katsayısı düşük ve kalınlığı fazla olan numunelerde, oldukça uzundur. Bu süre zarfında ısıtıcıya verilen güç sabit tutularak belirli zaman aralıklarında numune yüzeylerindeki 16 adet sıcaklık değeri ve ortam sıcaklığı ölçülerek kaydedilmektedir. Bilgisayar aracılığı ile yapılan bu işlemlerden ileride ayrıntılı olarak bahsedilecektir.

Numunenin ısıtıcı ve soğutucu tarafındaki sekizer adet sıcaklık değerinin ortalaması alınır ve Fourier kanununa göre ısı iletim katsayısı,

$$Q = \frac{\lambda}{s} \cdot F \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

esitliğinden,

$$\lambda = \frac{Q \cdot s}{F \cdot \Delta T} \quad (4.2)$$

olarak hesaplanır.

Burada,

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (4.3)$$

oldugundan, ısı iletim katsayısı,

$$\lambda = \frac{Q_T \cdot s}{F \cdot (T_h - T_c)} \quad (4.4)$$

olarak bulunur. Buradaki simgelerin adı ve birimi aşağıda açıklanmıştır:

λ : Isı iletim katsayısı (W/m.°C)

Q_T : Kararlı durumda numune yüzeyine dik yönde, numuneden geçen toplam ısı miktarı (W)

s : Numune kalınlığı (m)

F : Isıtıcı plakanın yüzey alanı ($F=0,025 \text{ m}^2$)

ΔT : Numunenin sıcak ve soğuk yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı

T_h : Numunenin sıcak yüzeyinin ortalama sıcaklığı (°C),

T_c : Numunenin soğuk yüzeyinin ortalama sıcaklığı (°C),

Q_T değeri, ısıtıcının numuneye verdiği güç değerine eşit değildir. Çünkü ısıtıcının dış yüzeylerinden çevreye ısı kaybı olmaktadır. Kaybolan ısı miktarını Q_k ve ısıtıcıya verilen ısı miktarını Q simgeleriyle gösterirsek,

$$Q_T = Q - Q_k \quad (4.5)$$

olacaktır. Deney kabininin ısı direnci $1/0,63 \text{ °C/W}$ olarak bilindiği için deney kabinden çevreye kaybolan ısı Q_k ,

$$Q_k = 0,63 \cdot (T_m - T_o) \quad (4.6)$$

Burada T_m numune yüzeyleri arasındaki ortalama sıcaklığı ve T_o ise dış ortam sıcaklığını göstermektedir.

$$T_m = (T_h + T_c) / 2 \quad (4.7)$$

olduğu açıktır. (4.6) ve (4.7) eşitliği (4.4) eşitliğinde yerine konularak ısı iletim katsayısı,

$$\lambda = \frac{(Q - 0,63 \cdot (T_m - T_o)) \cdot s}{F \cdot (T_h - T_c)} \quad (4.8)$$

olarak bulunur.

4.4. Ölçme Sistemleri

Deneyde ölçülmesi gereken büyüklükler, ısıtıcıya verilen güç ile numunenin yüzey sıcaklıklarıdır. Isıtıcı gücü digital wattmetre ile ölçülmektedir. Kullanılan wattmetrenin hata aralığı, $\pm (\% 1,5 + 1d)$ dir. Wattmetrenin devreye bağlanması Şekil 4.6'da görülmektedir.

Yüzey sıcaklıkları ise, datalogger (veri kaydedici) adı verilen bilgisayarlı kontrol sistemi ile ölçülmektedir.

4.4.1. Bilgisayarlı Kontrol Sistemleri

Günümüzde bilgisayarlar; mühendislik, fen, ziraat, tıp ve diğer tüm bilim dallarında, laboratuvarlarda ve uygulama alanlarında pek çok fiziksel büyüklüğün ölçülmesi ve kontrol edilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Bilgisayarlı kontrol sistemleri " data logger" (veri kaydedici) olarak da adlandırılır. Aslında bu terim bilgisayarlı kontrol sistemlerinin işlevlerini anlatmakta yetersiz kalır. Genel olarak, bu sistemler kullanılarak dış ortamdaki herhangi bir fiziksel büyüklük, algılayıcının uçları arasındaki akımın değişmesi ile ölçülerek kullanıcının anlayacağı sayısal ifadelere çevrilebilir ve bu bilgiler çeşitli şekillerde saklanabilir. Ayrıca dış ortama herhangi bir zamanda, bir elektrik akımı iletilebilir; örneğin bir motor devresi veya herhangi bir devre açılıp kapatılabilir. Üstelik bütün bu işlemler, istenilen herhangi bir koşul sağlandığında, örneğin zamana bağlı olarak veya bir fiziksel büyüklük belirli bir aralığın dışına çıktığı zaman yapılabilir.

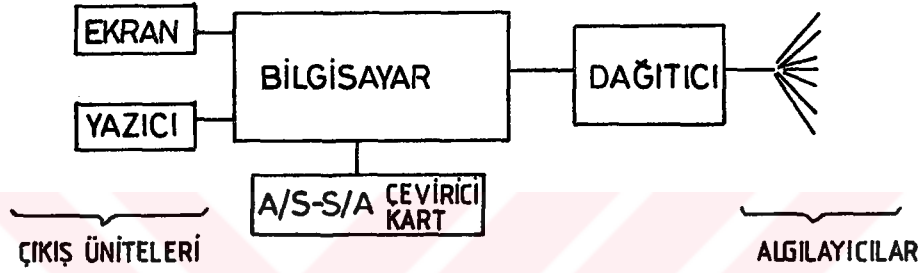
Bu sistemlerin tercih edilmesinin sebebi, ölçüm ve kontrolde insan faktörünün olumsuz etkilerini en aza indirmektir. Bilgisayarlı kontrol sistemlerinin kullanılması ile, ölçüm ve kontroller, verilerin saklanması, veriler ile her türlü mantıksal ve sayısal işlemlerin yapılması en kısa sürede ve en az hata ile gerçekleştirilebilir. Kontrol parametrelerinin istendiği anda gözlenip değiştirilebilmesi, farklı sistemlere bilgisayar programında yapılacak düzenlemeler ile uyum sağlanabilmesi bilgisayarlı kontrol sisteminin en önemli üstünlükleridir. Karşılaştırma gibi mantıksal işlemlerin sayısal olarak yapılması analog devre elemanlarından kaynaklanan hataları azaltır, gerekli elektronik eleman sayısını en aza indirir.

Özet olarak bilgisayarlı kontrol sistemleri, çalışma prensibi ve temel elemanları yönünden üç ana bölüme ayrılabilir.

a) Algılayıcı elemanlar tarafından üretilen analog işaretler, analog/sayısal çevirici (A/D convertor) kart ile sayısal hale getirilerek bilgisayara iletilir.

b) Bilgisayar, sağlanan bu bilgi üzerinde kullanıcının istediği hesaplama ve mantıksal işlemleri yaparak sonuçları istenilen şekilde kullanıcıya verir.

c) Elde edilen sonuçlara göre bilgisayar, gerekli sayısal işaretleri kontrol noktasında bulunan sürücü ve güç katlarına gönderir [4].



Şekil 4.7. Bilgisayarlı Kontrol Sistemi

Bu çalışmada kullanılan sistemde sadece dış ortamdan veri (16 adet sıcaklık değeri) alınmakta ve saklanmaktadır. Kullanılan sistemi temel olarak bilgisayar ve algılayıcılar olarak iki bölüme ayırabiliriz.

4.4.1.1. Bilgisayar

Bilgisayar, yukarıda anlatılan işlemleri kullanıcının hazırladığı program aracılığı ve bilgisayar içerisinde bulunan analog/sayısal çevirici kart ile gerçekleştirir. Bu kart, aslında kullanıcı ile algılayıcılar arasında bağlantı kuran bir ara ünedir. Analog/sayısal çevirici kart sayısal ve analog bilgi giriş-çıkışını sağlayan elektronik elemanlar topluluğudur. Analog/sayısal çevirici kartın sistem içindeki konumu hafıza elemanları gibidir. Veri giriş-çıkışı (input/ output I/O) işlemleri için kart adresine IN ve OUT komutları

ile ulaşılır. Analog/sayısal çevirici, paralel giriş-çıkış denetleyicisi (PIO), kart üzerinde yer alan elemanların adreslenmesi için kodçözücü (decoder), kontrol noktaları arasından program gereği seçilen herhangi birinin analog/sayısal çevirici ile bağlantısını sağlayan analog çoklayıcı (multiplexer), analog/sayısal çevirici kartın temel elemanlarıdır.

Bu çalışmada kullanılan kartın özellikleri Çizelge 4.3'te görülmektedir.

Çizelge 4.3. Analog/Sayısal-Sayısal/Analog Çevirici Kartın Özellikleri

Hassasiyet	14 bit
Çıkış kanalı	2 adet (biri standart, diğeri isteğe bağlı)
Çıkış Gerilimi	Tek veya çift kutuplu olarak seçilebilir (Tek kutuplu 0-10 V'luk çıkış seçilmiştir)
Dönüşüm süresi	2 mikrosaniyeden kısa
Doğruluk	1/2 LSB
En yüksek giriş gerilimi	+12 V
Ek özellikleri	Giriş/çıkış adresi seçilebilir Led'in yanması, çalışma halini gösterir

Çizelge 4.3'te de görüldüğü gibi çevirici kartın hassasiyeti 14 bit'tir. Yani analog veya sayısal veriyi iki tabanlı sayı sisteminde 14 basamaklı bir sayı şeklinde ifade etmektedir. Bu da $2^{14}=16384$ adet farklı sayı demektir. O halde kullandığımız kart, ölçmek istediğimiz sıcaklık aralığının 16384'te birini algılayabilecek kadar hassastır. 0-200°C lik sıcaklık aralığında ölçüm yaptığımızı varsayarsak, $200/16384 = 0,012$ °C hassasiyetindedir. Ancak uygulamada bu hassasiyeti elde etmek mümkün olmamaktadır. Bunun en önemli sebebi algılayıcıların yeterince hassas olmayışı ve iletmesi

gereken analog işaretleri gerçek değerinde çevirici karta ulaştırılamamasıdır.

Kart, sekiz uçlu olarak üretilmiş ve ikinci çıkış kanalı da kullanılarak bu sayının iki katına çıkarılmasına izin verilmiştir. Bu çalışmada her iki çıkış da kullanılarak onaltı adet veri girişi sağlanmıştır.

Kartın analog işareti sayısal veriye veya sayısal veriyi analog işarete çevirme süresi 2 mikrosaniyeden kısadır.

Kartın doğruluğu en düşük değerlikli bit'in (Least Significant Bit-LSB) değerinin yarısı kadardır. Yani 14 adet bit'ten en düşük değerde olanın değerinin yarısından düşük bir artış, 14 bitle ifade edilen değeri değiştirmez.

Çıkış voltajı 10 V olarak seçilmiştir. Program aracılığı ile karta önce OUT ve sonra da INPUT komutu gelir. Kart, out komutunu aldığı zaman, algılayıcıya 10 V'luk doğru akım gerilimi gönderir. Algılayıcının yapısı gereği bu gerilim algılayıcının sıcaklığına bağlı olarak düşer. Daha sonra input komutu ile algılayıcının uçları arasındaki gerilimi okur ve sayısal bir değere çevirerek kullanıcıya gönderir.

Program, bu işlemlerin gereken zamanda ve sırayla tüm algılayıcılar için yapılmasını sağlayarak istenen şekilde bilgisayarın herhangi bir çevre birimine (ekrana veya yazıcıya) ulaştırır ve/veya bu verileri istenen şekilde saklar. Ancak program aracılığı ile çevirici kartın elde ettiği sayı, algılayıcının gerçek sıcaklık değeri değildir. Bir dizi deney yapılmış ve her bir algılayıcı için ayrı ayrı, okunan değeri gerçek sıcaklık değerine çevirecek ikinci dereceden denklemler elde edilmiştir. Elde edilen denklemlerin katsayıları, Çizelge 4.4'te verilmiştir. Ayrıca, ölçüm hatalarını en aza indirebilmek için, onaltı adet sıcaklık değerinin okunması işlemi, programın çalıştırılması sırasında kullanıcı tarafın-

dan verilen döngü sayısı kadar tekrarlanarak daha sonra bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Bu çalışmada yapılan tüm deneylerde döngü sayısı 20'dir. Kullanılan programın akış şeması Şekil 4.8'de görülmektedir. Program, Basic programlama dilinde yazılmıştır.

4.4.1.2. Algılayıcılar

Bu çalışmada, sıcaklık algılayıcı olarak KTY 81-C1 tipi termistörler kullanılmıştır. Termistör, direnci sıcaklığa duyarlı olan bir tür yarıiletkenlerdir. Sıcaklık ayarlanmasında ve ölçülmesinde tercih edilmelerinin sebebi, dirençlerinin küçük sıcaklık farklılıklarında dahi görülür derecede değişmesidir. KTY 81-C1 tipi termistörlerin sıcaklık katsayısı 0,75 %/°C dir. Yani sıcaklığı 1 °C arttığı zaman, direncinde de % 0,75 lik bir artış olmaktadır. İletkenlerde bu katsayı 0,04 %/°C dir.

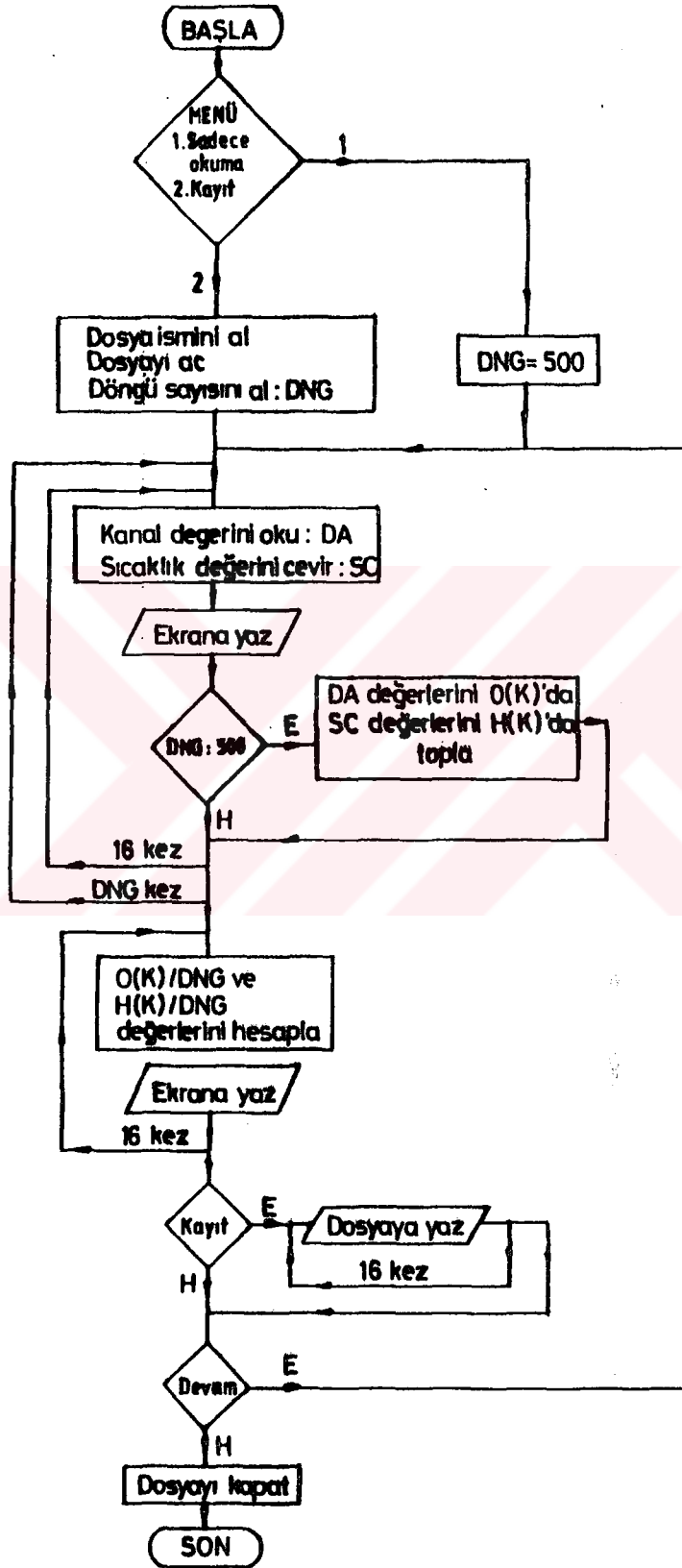
Cizelge 4.4. Algılayıcılar için Dönüşüm Denklemleri

X : Okunan değer Y : Gerçek sıcaklık değeri $Y = A + B \cdot (X/100) + C \cdot (X/100)^2$							
Alg. No	Katsayılar			Alg. No	Katsayılar		
	A	B	C		A	B	C
1	-14.240	-4.232	0.243	9	-69.637	-0.365	0.180
2	-3.959	-5.201	0.271	10	-147.077	6.238	0.056
3	23.708	-7.439	0.321	11	47.804	-10.655	0.422
4	56.245	-9.932	0.359	12	-78.183	1.842	0.149
5	161.245	-19.056	0.554	13	88.444	-12.579	0.398
6	779.879	-62.294	1.251	14	15.447	-7.009	0.313
7	-4.045	-4.899	0.253	15	139.644	-17.317	0.516
8	-12.928	-4.422	0.255	16	165.838	-19.353	0.555

KTY 81-C1 tipi termistörün direnci 1020 Ω ve verimli olarak çalışabileceği sıcaklık aralığı -55 ile +150 °C arasındadır. Bu aralıkta hassasiyeti $\pm$ % 1 ve kullanacağı maksimum akım 10 mA'dir.

Termistörler genellikle kobalt-nikel ve manganez oksitlerinin karışımlarından imal edilirler.





Sekil 4.8. Bilgisayar Programının Akış Seması

5. ARASTIRMA BULGULARI VE TARTISMA

5.1. Deney Kabininin Isıl Direncini Olcme Deneyi

Deney sırasında ısıtıcıya verilen enerjinin tamamının numune içerisinden geçmediği, bir kısım ısıнын çevreye yayılarak kaybolduğu yukarıda belirtilmişti. İşte bu kayıp ısı ve dolayısıyla numune içerisinden geçen ısı miktarının hesaplanabilmesi için, deney kabininin ısı direncinin belirlenmesi gerekir.

Deney kabininin ısı direncinin bulunması için bir dizi deney yapılmıştır. Deneyde, kabin içerisine numune yerleştirilmeden ve ısıtıcıya verilen güç sabit tutularak kabin iç sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı kaydedilmiştir. Sistem kararlı hale geldikten sonra kabinin ısı direnci, iç ve dış ortam sıcaklıkları farkının ısıtıcıya verilen güce oranı olarak hesaplanmıştır.

$$Q = kF \cdot \Delta T \quad (5.1)$$

Burada ΔT sıcaklık farkı, deney kabininin iç sıcaklığı T_i ile dış ortam sıcaklığı T_o 'ın farkına eşittir:

$$\Delta T = T_i - T_o \quad (5.2)$$

Buradan ısı direnci,

$$\frac{1}{kF} = \frac{T_i - T_o}{Q} \quad (5.3)$$

olarak elde edilir.

Deney kabininin iç sıcaklığı ısıtıcı ile soğutucu arasına yerleştirilmiş oniki adet 0,3 mm kalınlığında Cu-Co termoelemanlarla ölçülmüştür. Dış ortam sıcaklığı ise, $Q=30$ W dışındaki deneylerde civalı termometre ile, $Q=30$ W için onikinci termoelemanla ölçülmüştür. Ölçüm noktaları Elimko 6000 isimli tarayıcı ile taranmış ve Elimko 9000 isimli çeviriciden sıcaklık değerleri Volt Amper cinsinden okunmuştur. Bu cihaza ait aşağıda verilen sıcaklık dönüşüm formülü kullanılarak gerçek sıcaklık değerleri elde edilmiştir.

$$T_{\text{gerçek}} = VA_{\text{okunan}} \cdot 18,86 + 0,1872 \quad (5.4)$$

Aşağıdaki çizelgelerde okunan sıcaklıklar ve hesaplanan ısıl direnc değerleri görülmektedir. Bu çizelgelerde belirtilen simgelerin anlamları ve birimleri şu şekildedir:

1,2,...,12	: Termoelemanların numaraları
T_o	: Dış ortam sıcaklığı (°C)
T_i	: Deney Kabininin iç sıcaklığı (°C)
ΔT	: Sıcaklık farkı $\Delta T = T_i - T_o$
1/kF	: Deney kabininin ısıl direnci (°C/W)

Cizelge 5.1. Q=10 W için Deney Kabini Isıl Direnci

saat	Termoelemanlardan Okunan Sıcaklık Değerleri (°C)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11:30	42.62	43.75	39.98	45.45	38.66	43.00	38.66	44.32	42.06	41.68	43.94	41.11
11:43	39.98	39.98	39.42	41.30	38.66	41.11	37.72	39.79	39.42	39.79	39.98	39.60
12:20	39.42	39.98	39.60	40.74	39.04	40.74	37.53	38.85	39.04	39.60	39.60	39.60
13:25	39.79	40.55	40.17	41.11	39.60	41.30	38.10	39.42	39.60	40.36	40.36	40.17
13:50	40.92	41.49	41.11	42.24	40.36	42.24	39.04	40.55	40.55	41.30	41.30	41.11
14:35	42.43	43.19	42.62	43.94	41.87	43.94	40.74	42.24	42.43	43.00	43.00	43.00
14:55	42.43	43.19	42.81	43.94	42.06	43.94	40.92	42.24	42.43	43.19	43.19	43.00
15:05	42.43	43.38	42.81	43.94	42.06	44.13	40.92	42.43	42.43	43.19	43.19	43.19
15:20	42.43	43.19	43.00	43.94	42.24	44.13	40.92	42.43	42.62	43.38	43.38	43.38
15:30	42.24	43.00	42.81	44.13	42.24	44.13	41.11	42.43	42.62	43.57	43.38	43.38

To [°C]	Ti [°C]	ΔT [°C]	1/kF [°C/W]
25.0	42.10	17.10	1.72
25.5	39.73	14.23	1.43
26.0	39.48	13.48	1.35
27.0	40.04	13.04	1.30
25.0	41.02	16.02	1.61
27.0	42.70	15.70	1.56
27.0	42.78	15.78	1.59
27.0	42.84	15.84	1.59
27.0	42.92	15.92	1.59
27.0	42.92	15.92	1.59

Cizelge 5.2. Q=15 W için Deney Kabini Isıl Direnci

saat	Termoelemanlardan Okunan Sıcaklık Değerleri (°C)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9:15	48.47	48.47	48.47	48.47	47.90	47.90	47.71	49.60	48.09	48.28	48.28	48.66
10:15	47.34	47.90	43.19	50.54	41.30	48.66	43.94	49.22	49.03	46.02	49.03	43.94
11:15	41.87	42.43	42.43	43.57	40.36	43.00	39.98	42.62	42.24	42.06	42.43	41.87
12:00	50.17	51.67	47.71	53.56	45.83	50.54	46.39	51.30	50.35	49.41	51.67	49.22
13:40	48.28	49.60	49.03	50.35	47.53	50.35	47.71	49.03	49.22	49.60	49.41	49.03
14:07	47.71	48.85	48.47	49.98	47.34	49.98	46.77	48.28	48.66	49.22	49.03	48.85
14:50	47.71	48.85	48.28	49.60	46.96	49.79	46.39	47.90	48.47	49.22	48.85	48.85

To [°C]	Ti [°C]	ΔT [°C]	1/kF [°C/W]
24.5	48.36	23.81	1.59
22.5	46.68	24.19	1.61
23.0	47.07	24.07	1.61
25.5	49.82	24.20	1.61
25.0	49.10	24.10	1.61
24.5	48.59	24.09	1.61
24.0	48.41	24.41	1.64

Cizelge 5.3. Q=20 W için Deney Kabini Isıl Direnci

saat	Termoelemanlardan Okunan Sıcaklık Değerleri (°C)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13:00	55.26	56.77	55.82	57.33	54.13	57.52	53.56	55.26	55.64	56.58	56.01	55.82
13:20	55.45	56.77	56.20	57.71	54.50	57.90	53.94	55.82	56.01	56.96	56.77	56.39
13:45	55.82	57.14	56.39	58.09	54.88	58.09	54.32	56.01	56.39	57.33	56.96	56.58
14:15	58.84	60.16	59.22	60.92	57.14	60.92	57.14	59.03	59.41	60.16	59.78	59.22
15:00	58.28	59.78	59.03	60.73	57.33	60.92	57.14	59.03	59.41	60.35	59.97	59.41
15:20	58.84	60.16	59.41	61.10	57.52	61.29	57.52	59.41	59.78	60.73	60.16	59.78

To [°C]	Ti [°C]	ΔT [°C]	1/kF [°C/W]
28.0	55.81	27.81	1.39
28.0	56.20	28.20	1.41
28.0	56.50	28.50	1.43
28.0	59.33	31.33	1.56
27.7	59.28	31.58	1.59
27.7	59.64	31.94	1.59

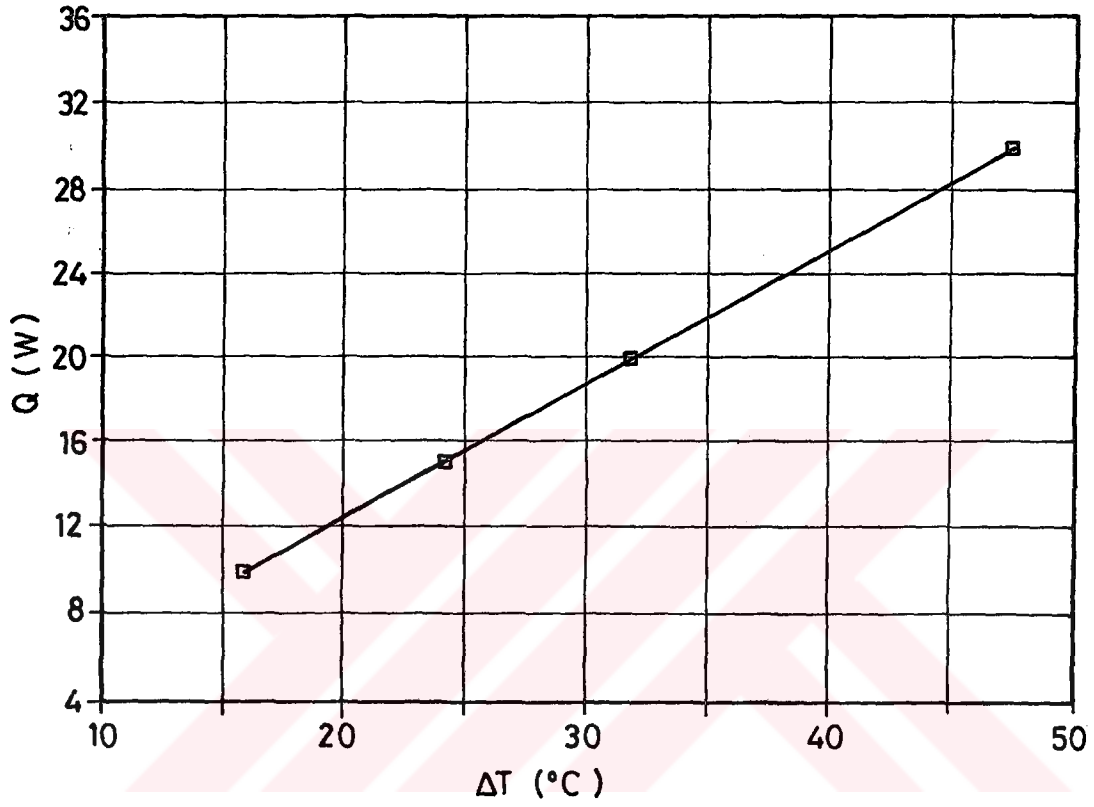
Çizelge 5.4. Q=30 W için Deney Kabini Isıl Direnci

saat	Termoelemanlardan Okunan Sıcaklık Değerleri (°C)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10:25	76.57	76.57	73.36	81.85	70.16	82.42	75.06	79.59	80.53	78.64	80.91
11:10	71.67	73.74	72.23	74.68	68.84	74.87	70.16	72.80	73.55	74.31	73.36
11:40	71.10	73.36	72.04	74.50	68.84	74.68	69.97	72.42	73.18	74.31	73.36
13:40	70.91	72.99	71.86	74.31	69.03	74.68	69.97	72.42	72.99	74.31	73.55

To [°C]	Ti [°C]	ΔT [°C]	1/kF [°C/W]
24.71	77.79	53.08	1.75
24.89	72.75	47.85	1.59
25.27	72.52	47.25	1.59
25.08	72.46	47.37	1.59

Sonuçlar Şekil 5.1'de birleştirilerek Q- ΔT değişim grafiği çizilmiştir. Her bir deney için sistemin kararlı hale geldiği son hali esas alınmıştır. Şekil 5.1'de de görüldüğü gibi Q ile ΔT doğru orantılıdır ve bu doğrunun eğimi kF değerini verir. Sonuç olarak,

kF = 0,63 W/°C ve 1/kF = 1,59 °C/W elde edilmiştir.



Şekil 5.1. Deney Kabininin Isıl Direncini Ölçme Deneyi
Isı - Sıcaklık Farkı Değişim Grafiği

5.2. Sunta için Isı İletim Katsayısı Ölçme Deneyi

Malzeme : Sunta
Kalınlık : 0,02 m
Yüzey Alanı : 0,25 m²

Literatürde belirtilen

ısı iletim katsayısı : 0,1 - 0,26 W/m°C

Sıcaklık Dayanımı : 300°C'ye kadar

Bölüm 4.3'de deney yöntemi anlatılmış ve deney sonuçlarının değerlendirilmesinde temel faktörlerin neler olduğu ve nasıl hesaplanacağı anlatılmıştır. Bu çalışmada kullanılan sistemin özelliklerine göre ısı iletim katsayısı (4.8) eşitliğinde,

$$\lambda = \frac{(Q - 0,63 \cdot (T_m - T_o)) \cdot s}{F \cdot (T_h - T_c)}$$

olarak verilmiştir. Numunenin yukarıda verilen boyutları bu eşitlikte yerine konulursa,

$$\lambda = 0,08 \cdot \frac{Q - 0,63 \cdot (T_m - T_o)}{T_h - T_c} \quad (5.5)$$

olarak bulunur. Sunta için ısı iletim katsayısı ölçme deneyi, ısı yükü Q, 5,10,20,30,40,50,60,80 ve 100 W seçilerek dokuz ayrı bölüm halinde yapılmıştır. Buna göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Bu çizelgelerde görülen simgelerin anlamları ve birimleri şu şekildedir:

- Δt : İki ölçüm arasında geçen süre (dk)
 T_h : Numunenin sıcak yüzeyinin ortalama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$),
 T_c : Numunenin soğuk yüzeyinin ortalama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$),
 ΔT : Numune yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı
 $\Delta T = T_h - T_c$ (eşitlik 4.3)
 T_m : Numune yüzeyleri arasındaki ortalama sıcaklık
 $T_m = (T_h + T_c) / 2$ (eşitlik 4.7)
 T_o : Dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
 Q_k / Q : Kayıp ısının ısıtıcıya verilen ısıya oranı (%)
 λ : Hesaplanan ısı iletim katsayısı ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)

Cizelge 5.5. 5 W için Isı İletim Katsayısı

27-07-1992 Q = 5 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	42.0	36.1	6.0	39.0	27.0	151.7	-34.7
24	41.3	34.7	6.6	38.0	27.0	138.9	-23.7
15	40.9	34.2	6.7	37.6	27.0	133.0	-19.8
17	40.5	33.6	6.9	37.1	26.0	139.6	-23.0
17	40.2	33.0	7.2	36.6	28.0	108.4	-4.6
10	39.7	32.4	7.3	36.0	29.0	88.2	6.4
18	38.9	31.6	7.3	35.3	29.0	79.1	11.5
13	38.2	31.2	7.0	34.7	29.0	71.9	15.9
20	37.2	30.4	6.8	33.8	29.0	60.9	23.0
13	36.7	29.8	6.9	33.2	29.0	53.5	26.8
18	36.5	29.2	7.3	32.9	29.0	48.9	28.1
16	36.0	28.6	7.4	32.3	29.0	41.7	31.6
8	35.9	28.5	7.5	32.2	30.0	27.9	38.6
14	35.8	28.3	7.5	32.0	31.0	13.0	46.4
14	35.6	28.1	7.5	31.9	31.0	10.8	47.5
15	35.3	28.0	7.3	31.7	29.0	33.4	36.3
17	35.1	27.9	7.2	31.5	29.0	31.8	37.8
14	35.0	27.8	7.3	31.4	29.0	30.1	38.5
19	35.0	27.6	7.3	31.3	29.0	28.9	38.9
13	34.8	27.6	7.2	31.2	29.0	28.0	39.9
12	34.7	27.4	7.3	31.0	28.0	38.0	34.0
3	34.8	27.4	7.4	31.1	27.0	51.8	26.1
15	34.7	27.2	7.6	31.0	29.0	24.8	39.8
12	34.7	27.1	7.6	30.9	29.0	23.9	40.2
17	34.7	27.0	7.7	30.8	28.0	35.5	33.5

Çizelge 5.6. 10 W için Isı İletim Katsayısı

16-07-1992 Q = 10 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	60.3	39.4	20.9	49.8	26.0	150.2	-19.3
12	62.9	42.3	20.6	52.6	27.0	161.3	-23.8
13	60.7	43.7	17.1	52.2	28.0	152.5	-24.6
12	59.0	43.0	16.0	51.0	29.0	138.8	-19.4
19	57.3	41.6	15.7	49.4	29.0	128.7	-14.7
26	54.6	39.6	14.9	47.1	29.0	114.1	-7.5
38	51.8	37.2	14.6	44.5	29.0	97.5	1.4
19	50.3	35.9	14.5	43.1	29.0	88.9	6.1
21	49.4	34.6	14.8	42.0	28.0	88.2	6.4
37	47.7	33.5	14.3	40.6	28.0	79.4	11.5
18	46.8	32.4	14.4	39.6	29.0	66.6	18.6
27	46.1	31.7	14.4	38.9	28.0	68.6	17.5
23	45.1	30.9	14.2	38.0	28.0	63.1	20.7
37	43.7	29.5	14.2	36.6	28.0	54.0	25.9
29-07-1992 Q = 10 W							
0	51.1	37.9	13.2	44.5	28.0	103.8	-2.3
38	49.6	37.7	11.9	43.7	29.0	92.4	5.1
22	48.0	36.5	11.4	42.3	29.0	83.5	11.6
15	47.5	35.5	12.0	41.5	29.0	78.9	14.0
13	46.5	35.1	11.4	40.8	30.0	68.0	22.4
16	45.6	34.5	11.1	40.1	31.0	57.0	31.0
14	45.2	34.0	11.1	39.6	31.0	54.3	32.8
42	48.6	34.4	14.2	41.5	30.0	72.6	15.4
2	46.9	34.0	13.0	40.4	30.0	65.8	21.1
30	44.9	32.7	12.3	38.8	32.0	42.9	37.3
15	44.1	31.9	12.2	38.0	31.0	44.3	36.5
32	42.8	30.8	12.0	36.8	33.0	23.7	50.9
14	41.4	30.5	11.0	35.9	34.0	12.3	64.0
17	40.9	30.4	10.5	35.7	35.0	4.2	73.0
13	40.9	30.1	10.8	35.5	34.0	9.3	67.3
42	40.5	29.8	10.6	35.1	32.0	19.8	60.3
1	40.5	29.9	10.7	35.2	32.0	20.2	59.9
16	40.5	29.8	10.7	35.1	32.0	19.6	60.2
21	40.4	29.8	10.6	35.1	31.0	25.8	55.8
12	40.5	29.8	10.7	35.1	31.0	25.9	55.3
13	40.3	29.7	10.6	35.0	31.0	25.2	56.3
16	40.3	29.7	10.6	35.0	30.0	31.4	52.0
10	40.2	29.5	10.6	34.8	29.0	36.8	47.5

Çizelge 5.7. 20 W için Isı İletim Katsayısı

28-07-1992 Q = 20 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_a [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	56.8	39.4	17.4	48.1	28.0	63.3	33.8
15	55.5	39.7	15.9	47.6	28.0	61.8	38.5
14	54.6	39.2	15.4	46.9	28.0	59.5	42.2
31	53.8	38.6	15.2	46.2	25.0	66.7	35.1
2	53.1	37.7	15.4	45.4	25.0	64.4	37.0
26	52.8	37.2	15.6	45.0	28.0	53.4	47.7
2	53.5	36.3	17.2	44.9	29.0	50.2	46.2
2	51.9	36.3	15.6	44.1	29.0	47.6	53.9
11	51.4	35.8	15.6	43.6	31.0	39.7	62.1
15	50.8	35.3	15.5	43.1	31.0	38.0	63.9
18	50.1	34.9	15.2	42.5	32.0	33.2	70.3
15	49.5	34.5	15.0	42.0	33.0	28.4	76.6
42	48.9	33.9	15.0	41.4	32.0	29.5	75.4
1	48.5	33.6	14.9	41.1	32.0	28.6	76.7
22	47.7	32.8	14.9	40.3	33.0	22.9	82.7
9	48.2	33.0	15.2	40.6	33.0	24.0	79.9
14	47.8	32.6	15.2	40.2	32.0	25.9	78.1
14	47.6	32.4	15.2	40.0	32.0	25.1	78.9
15	47.3	32.2	15.1	39.7	31.0	27.6	76.9
19	46.9	31.9	15.0	39.4	31.0	26.5	78.2
12	46.8	31.8	15.0	39.3	31.0	26.1	79.0

Çizelge 5.8. 30 W için Isı İletim Katsayısı

4-08-1992 Q = 30 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	64.1	45.2	18.9	54.7	28.0	56.0	56.0
20	62.8	44.2	18.7	53.5	29.0	51.5	62.4
13	61.8	43.3	18.5	52.5	29.0	49.4	65.6
28	61.3	42.6	18.7	52.0	30.0	46.1	69.1
2	60.7	41.8	18.9	51.2	30.0	44.5	70.5
28	59.3	40.5	18.8	49.9	31.0	39.7	76.8
31	58.3	39.4	18.9	48.8	30.0	39.6	76.6
47	57.0	37.7	19.3	47.3	31.0	34.3	81.7
28	56.3	36.6	19.7	46.4	31.0	32.4	82.4
17	55.8	36.0	19.8	45.9	32.0	29.2	85.8
29	55.1	35.4	19.7	45.3	32.0	27.8	88.0
25	54.7	35.1	19.6	44.9	32.0	27.1	89.2
19	54.6	35.0	19.6	44.8	33.0	24.8	92.2
33	54.2	34.9	19.3	44.5	33.0	24.2	94.4
6	54.1	34.9	19.3	44.5	32.0	26.3	91.7
2	54.1	34.8	19.2	44.4	32.0	26.1	92.1
26	53.9	34.7	19.2	44.3	32.0	25.8	92.6
1	53.5	34.4	19.1	43.9	32.0	25.1	94.4
24	53.6	34.4	19.2	44.0	32.0	25.2	93.5
10	54.1	34.7	19.4	44.4	32.0	26.0	91.6

Çizelge 5.9. 40 W için Isı İletim Katsayısı

20-07-1992 Q = 40 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	66.0	44.0	22.1	55.0	26.0	45.7	78.8
15	66.9	45.3	21.6	56.1	26.0	47.4	77.8
49	67.5	44.4	23.0	55.9	26.0	47.2	73.4
17	67.3	43.8	23.5	55.5	27.0	44.9	75.1
90	67.2	43.5	23.8	55.3	28.0	43.1	76.7
21	67.2	42.6	24.5	54.9	28.0	42.4	75.2
13	67.0	42.0	25.0	54.5	28.0	41.7	74.5
19	66.8	41.4	25.4	54.1	29.0	39.6	76.1
15	66.7	40.9	25.8	53.8	29.0	39.0	75.7
26	66.4	40.1	26.2	53.3	28.0	39.8	73.5
37	65.9	39.1	26.8	52.5	30.0	35.4	77.0
16	65.7	38.6	27.1	52.1	30.0	34.8	76.9
32	65.1	37.7	27.5	51.4	29.0	35.3	75.3
19	64.4	37.1	27.3	50.7	29.0	34.2	77.2
26	63.5	36.3	27.2	49.9	29.0	32.9	78.9
20	63.1	36.0	27.1	49.5	28.0	33.9	78.0
19	62.9	35.7	27.2	49.3	29.0	32.0	79.9
63	62.3	34.7	27.6	48.5	27.0	33.9	76.7
15	62.2	34.5	27.7	48.4	27.0	33.7	76.7
26	62.1	34.1	28.1	48.1	26.0	34.8	74.3
21-07-1992 Q = 40 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	62.2	37.1	25.1	49.6	24.0	40.4	75.9
29	61.4	36.2	25.2	48.8	24.0	39.1	77.3
16	61.1	35.9	25.2	48.5	24.0	38.6	78.0
31	60.6	35.3	25.3	47.9	24.0	37.7	78.9
19	60.3	35.0	25.4	47.7	24.0	37.2	79.2
21	60.1	34.7	25.4	47.4	25.0	35.2	81.6
18	59.7	34.4	25.4	47.1	25.0	34.7	82.3

Çizelge 5.10. 50 W için Isı İletim Katsayısı

7-22-1992 Q = 50 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	76.6	41.2	35.4	58.9	25.0	42.7	64.7
28	74.9	44.8	30.2	59.8	23.0	46.4	71.0
19	73.8	43.9	29.9	58.9	22.0	46.5	71.7
32	71.0	41.1	29.9	56.1	27.0	36.6	84.7
2	70.6	40.5	30.1	55.5	27.0	35.9	85.1
37	70.1	40.1	30.0	55.1	26.0	36.7	84.4
10-08-1992 Q = 50 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	84.1	50.9	33.2	67.5	32.0	44.7	66.6
43	80.0	52.3	27.7	66.1	34.0	40.5	85.8
16	78.3	50.6	27.7	64.5	33.0	39.6	87.1
5	77.6	50.2	27.4	63.9	34.0	37.6	91.1
49	75.5	48.2	27.3	61.8	34.0	35.1	95.1
72	73.8	45.5	28.3	59.6	36.0	29.8	99.3
26	73.1	44.6	28.5	58.9	36.0	28.8	100.0
27	72.6	43.7	28.8	58.2	36.0	27.9	100.1
33	71.5	42.9	28.6	57.2	36.0	26.7	102.6
1	71.2	42.5	28.7	56.8	37.0	25.0	104.7
47	70.4	41.8	28.6	56.1	38.0	22.8	107.9
23	70.2	41.6	28.7	55.9	37.0	23.8	106.2
22	70.0	41.4	28.6	55.7	36.0	24.8	105.3

Çizelge 5.11. 60 W için Isı İletim Katsayısı

2-08-1992 Q = 60 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	83.1	50.2	32.9	66.7	32.0	36.4	92.9
42	81.4	52.2	29.1	66.8	33.0	35.5	106.4
19	80.4	50.8	29.6	65.6	33.0	34.2	106.5
15	79.4	49.8	29.5	64.6	34.0	32.1	110.2
2	79.6	49.9	29.7	64.8	34.0	32.3	109.6
16	78.7	49.2	29.6	64.0	33.0	32.5	109.6
12	78.1	48.7	29.4	63.4	35.0	29.8	114.7
15	78.1	48.3	29.8	63.2	36.0	28.6	115.0
120	75.9	44.7	31.2	60.3	37.0	24.5	116.3
16	75.4	44.4	31.0	59.9	38.0	23.0	119.2
13	75.4	44.1	31.3	59.8	37.0	23.9	116.8
15	75.3	44.0	31.3	59.7	38.0	22.7	118.3
15	75.3	44.0	31.3	59.7	38.0	22.7	118.5
31	75.6	44.0	31.7	59.8	39.0	21.8	118.4
16	75.6	43.8	31.7	59.7	38.0	22.8	116.9
19	75.5	43.9	31.6	59.7	38.0	22.8	117.5
21	75.9	43.9	32.0	59.9	38.0	23.0	115.5
19	76.0	43.9	32.1	59.9	37.0	24.1	113.6
10	76.0	43.8	32.2	59.9	38.0	23.0	114.7
6	76.2	43.9	32.3	60.0	38.0	23.1	114.1
26	76.0	43.7	32.3	59.8	38.0	22.9	114.5

Çizelge 5.12. 80 W için Isı İletim Katsayısı

26-08-1992 Q = 80 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	84.8	48.8	36.1	66.8	28.0	30.5	123.3
19	85.3	52.5	32.8	68.9	29.0	31.4	133.9
2	85.3	52.7	32.6	69.0	29.0	31.5	134.5
20	84.9	52.4	32.5	68.6	29.0	31.2	135.4
22	84.7	51.4	33.3	68.0	28.0	31.5	131.7
18	84.5	50.5	33.9	67.5	29.0	30.3	131.4
20	84.6	49.8	34.7	67.2	30.0	29.3	130.2
31	85.2	49.3	35.9	67.3	31.0	28.6	127.4
27	85.7	49.1	36.6	67.4	29.0	30.2	122.0
23	85.7	48.8	36.8	67.3	30.0	29.3	122.7
20	85.3	48.5	36.8	66.9	32.0	27.5	125.9
33	85.2	47.9	37.2	66.6	32.0	27.2	125.1
43	84.6	46.6	37.9	65.6	30.0	28.0	121.4
2	84.5	46.6	37.9	65.6	30.0	28.0	121.5
25	84.2	46.2	38.0	65.2	33.0	25.4	125.8
32	84.2	45.7	38.5	64.9	34.0	24.3	125.8
3	84.3	45.5	38.8	64.9	34.0	24.3	124.9
25	84.0	45.1	38.9	64.6	34.0	24.1	124.8
29	84.2	44.9	39.3	64.6	34.0	24.1	123.5
27-08-1992 Q = 80 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	90.3	50.4	40.0	70.4	30.1	31.7	109.4
27	87.4	48.9	38.5	68.1	30.2	29.9	116.5
31	85.9	47.8	38.0	66.9	30.7	28.5	120.3
49	85.7	46.7	39.0	66.2	31.8	27.1	119.8
26	85.7	46.2	39.5	66.0	31.8	26.9	118.4
29	85.3	45.8	39.5	65.6	32.3	26.2	119.5
31	85.1	45.4	39.7	65.3	32.6	25.7	119.7
33	84.8	45.2	39.6	65.0	33.1	25.1	121.2
27	83.9	44.8	39.1	64.3	33.2	24.5	123.5
31	84.4	45.0	39.4	64.7	33.2	24.8	122.1
46	84.2	44.6	39.5	64.4	32.5	25.1	121.2

Çizelge 5.13. 100 W için Isı İletim Katsayısı

1-28-1992 Q = 100 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	97.8	49.3	48.5	73.5	27.9	28.7	117.6
42	93.9	51.6	42.3	72.7	28.7	27.7	136.6
29	92.3	50.3	42.0	71.3	29.5	26.3	140.5
32	91.6	49.8	41.8	70.7	30.2	25.5	142.5
28	91.6	49.5	42.2	70.5	30.9	25.0	142.3
29	91.3	48.9	42.5	70.1	31.4	24.4	142.4
30	91.2	48.4	42.9	69.8	31.8	23.9	142.0
39	90.9	47.5	43.3	69.2	32.1	23.4	141.4
24	90.2	47.2	43.1	68.7	32.6	22.7	143.5
36	89.7	46.9	42.8	68.3	32.6	22.5	144.8
28	89.3	46.6	42.6	68.0	32.6	22.3	145.9
32	88.9	46.5	42.5	67.7	33.5	21.5	147.8
22	89.0	46.6	42.4	67.8	33.5	21.6	147.8
33	89.5	46.8	42.7	68.1	33.0	22.1	145.8
50	90.4	46.8	43.7	68.6	32.4	22.8	141.4
31-08-1992 Q = 100 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	99.9	54.8	45.1	77.3	27.8	31.2	122.0
33	96.6	55.6	41.0	76.1	28.5	30.0	136.5
47	94.7	53.8	40.9	74.3	28.9	28.6	139.6
25	95.1	53.4	41.7	74.2	30.2	27.7	138.7
26	94.7	52.8	41.9	73.8	30.3	27.4	138.6
32	94.5	52.4	42.1	73.4	31.9	26.1	140.3
26	94.3	51.9	42.4	73.1	31.5	26.2	139.2
30	94.4	51.7	42.7	73.0	31.9	25.9	138.8
31	94.5	51.1	43.4	72.8	32.5	25.4	137.6
32	94.2	50.7	43.5	72.4	32.5	25.2	137.7
35	94.1	49.9	44.2	72.0	33.2	24.4	136.7
29	93.9	49.5	44.4	71.7	33.2	24.3	136.6
24	94.1	49.4	44.7	71.7	33.1	24.3	135.5
42	94.0	49.2	44.7	71.6	38.0	21.2	141.0
40	94.0	49.1	44.9	71.6	33.5	24.0	135.4
29	94.1	48.7	45.3	71.4	32.5	24.5	133.3
40	94.2	48.6	45.6	71.4	32.2	24.7	132.1

5.3. Strafor için Isı İletim Katsayısı Ölçme Deneyi

Malzeme	: Strafor
Kalınlık	: 0,048 m
Yüzey Alanı	: 0,25 m ²
Literatürde belirtilen	
ısı iletim katsayısı	: 0,030-0,039 W/m°C
Sıcaklık Dayanımı	: 100°C'ye kadar

Bu çalışmada kullanılan sistemin özelliklerine göre ısı iletim katsayısı (4.8) eşitliğinde,

$$\lambda = \frac{(Q - 0,63 \cdot (T_m - T_o)) \cdot s}{F \cdot (T_h - T_c)}$$

olarak verilmişti. Numunenin yukarıda verilen boyutları bu eşitlikte yerine konulursa,

$$\lambda = 0,192 \cdot \frac{Q - 0,63 \cdot (T_m - T_o)}{T_h - T_c} \quad (5.6)$$

olarak bulunur. Strafor için ısı iletim katsayısı ölçme deneyi ısı yükü Q, 20, 30, 40 ve 50 W seçilerek dört ayrı bölüm halinde yapılmıştır. 50 W için numunenin sıcak yüzeyinde 100 °C'ye ulaşılmıştır. Malzeme 100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklara dayanamayacağı için 50 W'ın üzerine çıkılmamıştır. Buna göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Çizelgelerde belirtilen, ısı iletim katsayısı dışındaki değerler Bölüm 5.2'de belirtildiği gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 5.14. 20 W için Isı İletim Katsayısı

9-12-1992 Q = 20 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	81.1	34.2	46.9	57.7	29.2	89.7	8.5
15	73.6	32.5	41.1	53.0	29.8	73.2	25.0
2	73.6	32.4	41.2	53.0	30.2	71.9	26.2
15	72.6	31.5	41.1	52.1	30.8	67.0	30.9
15	71.8	30.7	41.0	51.3	31.3	62.9	34.8
15	71.1	29.8	41.2	50.5	31.2	60.6	36.6
14	70.6	29.3	41.3	50.0	31.2	59.1	38.0
15	70.2	28.7	41.5	49.4	31.2	57.5	39.3
15	70.1	28.2	41.9	49.1	32.3	53.1	43.1
16	69.7	27.6	42.1	48.6	32.0	52.3	43.5
15	69.7	27.4	42.3	48.5	32.2	51.5	44.1
15	69.2	27.2	42.0	48.2	32.3	50.0	45.7
14	68.9	27.0	41.9	47.9	32.2	49.6	46.2
15	68.7	27.0	41.7	47.9	32.2	49.4	46.6
15	68.7	26.7	42.0	47.7	32.3	48.5	47.1
16	68.6	26.8	41.9	47.7	32.8	47.0	48.6
15	68.3	26.6	41.7	47.4	33.2	44.8	50.9
15	68.2	26.5	41.6	47.4	33.0	45.2	50.5
14	68.2	26.5	41.7	47.4	32.7	46.2	49.6
15	68.1	26.4	41.7	47.2	32.8	45.5	50.1
15	68.0	26.5	41.5	47.2	33.0	44.8	51.0
16	68.0	26.3	41.6	47.2	33.0	44.6	51.1
15	67.9	26.3	41.6	47.1	33.0	44.5	51.3
15	68.0	26.3	41.6	47.2	33.2	43.9	51.7
14	67.8	26.3	41.4	47.0	32.4	46.1	49.9
15	67.8	26.3	41.5	47.1	32.5	45.9	50.1
15	68.2	26.4	41.7	47.3	33.0	45.0	50.6
16	67.7	26.3	41.4	47.0	33.0	44.1	51.8
15	67.8	26.3	41.4	47.1	33.0	44.3	51.6

Çizelge 5.15. 30 W için Isı İletim Katsayısı

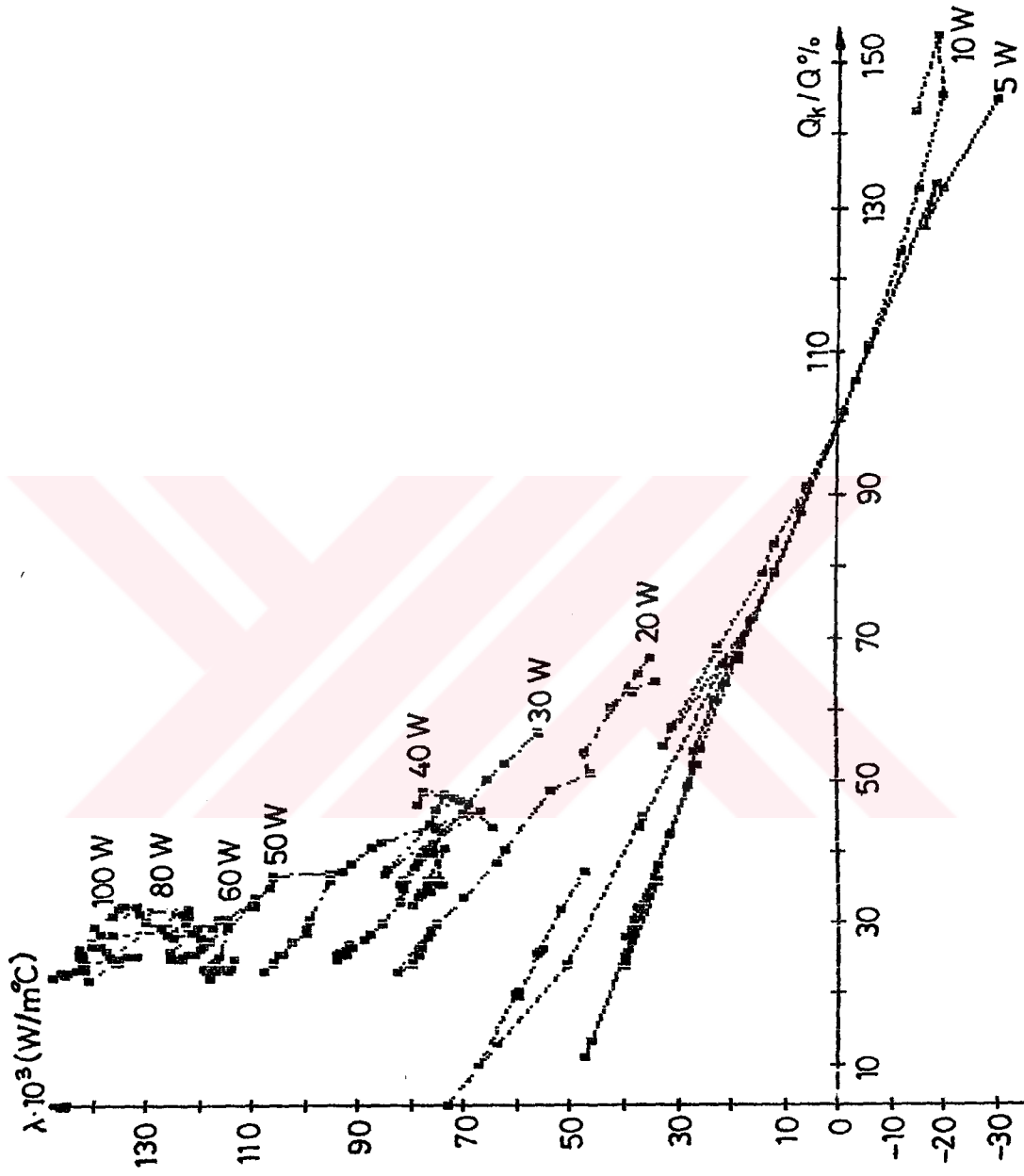
9-11-1992 Q = 30 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	97.3	34.9	62.4	66.1	29.0	77.9	20.4
29	90.6	33.3	57.2	61.9	29.8	67.5	32.7
20	88.1	32.2	55.9	60.1	30.2	62.9	38.2
22	87.0	31.3	55.8	59.1	30.8	59.5	41.8
12	86.6	30.8	55.9	58.7	31.3	57.6	43.8
11	86.4	30.3	56.1	58.4	31.2	57.0	44.1
15	85.8	30.1	55.7	57.9	31.2	56.1	45.4
15	85.4	29.7	55.7	57.6	31.2	55.4	46.2
16	84.6	29.4	55.2	57.0	32.3	51.9	50.2
14	84.7	29.3	55.3	57.0	32.0	52.5	49.4
16	84.3	29.2	55.1	56.7	32.2	51.5	50.7
14	84.1	29.1	54.9	56.6	32.3	51.0	51.4
15	83.8	28.8	55.0	56.3	32.2	50.5	51.8
16	83.6	29.0	54.6	56.3	32.2	50.6	52.0
15	83.2	28.9	54.3	56.0	32.3	49.8	53.2
15	83.2	28.9	54.4	56.1	32.8	48.8	54.2
14	83.0	28.8	54.2	55.9	33.2	47.7	55.6
15	82.8	28.8	53.9	55.8	33.0	47.9	55.7
15	82.9	28.7	54.1	55.8	32.7	48.5	54.8
6	82.9	28.8	54.1	55.9	32.8	48.4	54.9
9	82.9	28.8	54.1	55.8	33.0	47.9	55.4
16	82.4	28.7	53.7	55.6	33.0	47.4	56.4
14	82.7	28.9	53.7	55.8	33.0	47.9	55.9
29	82.5	28.9	53.7	55.7	33.2	47.3	56.6
26	82.8	29.0	53.8	55.9	32.4	49.4	54.2
33	82.8	29.0	53.8	55.9	32.5	49.2	54.5

Cizelge 5.16. 40 W için Isı İletim Katsayısı

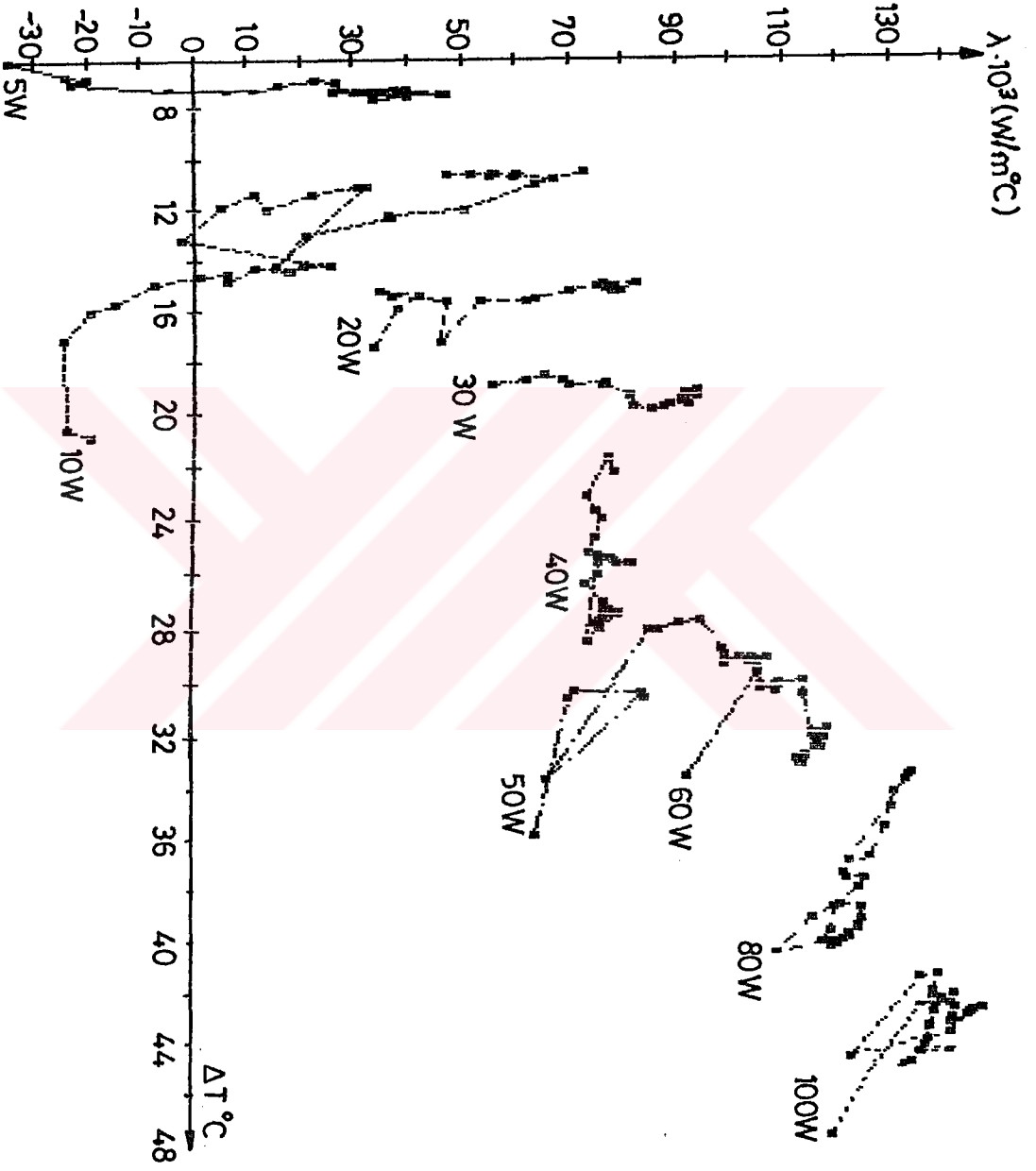
9-10-1992 Q = 40 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	98.4	37.3	61.1	67.9	29.4	60.6	49.6
22	95.5	36.2	59.3	65.9	30.6	55.6	57.6
17	94.9	35.4	59.5	65.1	30.2	55.0	58.1
17	94.5	34.5	60.0	64.5	30.2	54.1	58.8
12	94.5	34.2	60.3	64.3	30.4	53.4	59.3
28	94.7	33.0	61.6	63.8	30.7	52.2	59.6
20	94.6	32.4	62.2	63.5	30.8	51.5	59.9
17	94.6	31.9	62.7	63.2	30.5	51.6	59.3
26	94.3	31.1	63.2	62.7	30.7	50.4	60.3
61	94.3	30.5	63.9	62.4	31.3	49.0	61.3
11	94.6	30.4	64.2	62.5	31.5	48.9	61.1
16	94.5	30.3	64.3	62.4	32.4	47.2	63.0
17	94.1	30.3	63.8	62.2	32.1	47.4	63.4
37	94.0	30.4	63.6	62.2	32.0	47.5	63.3
15	94.0	30.3	63.7	62.2	32.2	47.2	63.7
16	94.1	30.4	63.7	62.3	31.8	48.0	62.7
16	94.1	30.5	63.6	62.3	31.6	48.4	62.3
19	94.1	30.6	63.5	62.3	31.5	48.6	62.2

Çizelge 5.17. 50 W için Isı İletim Katsayısı

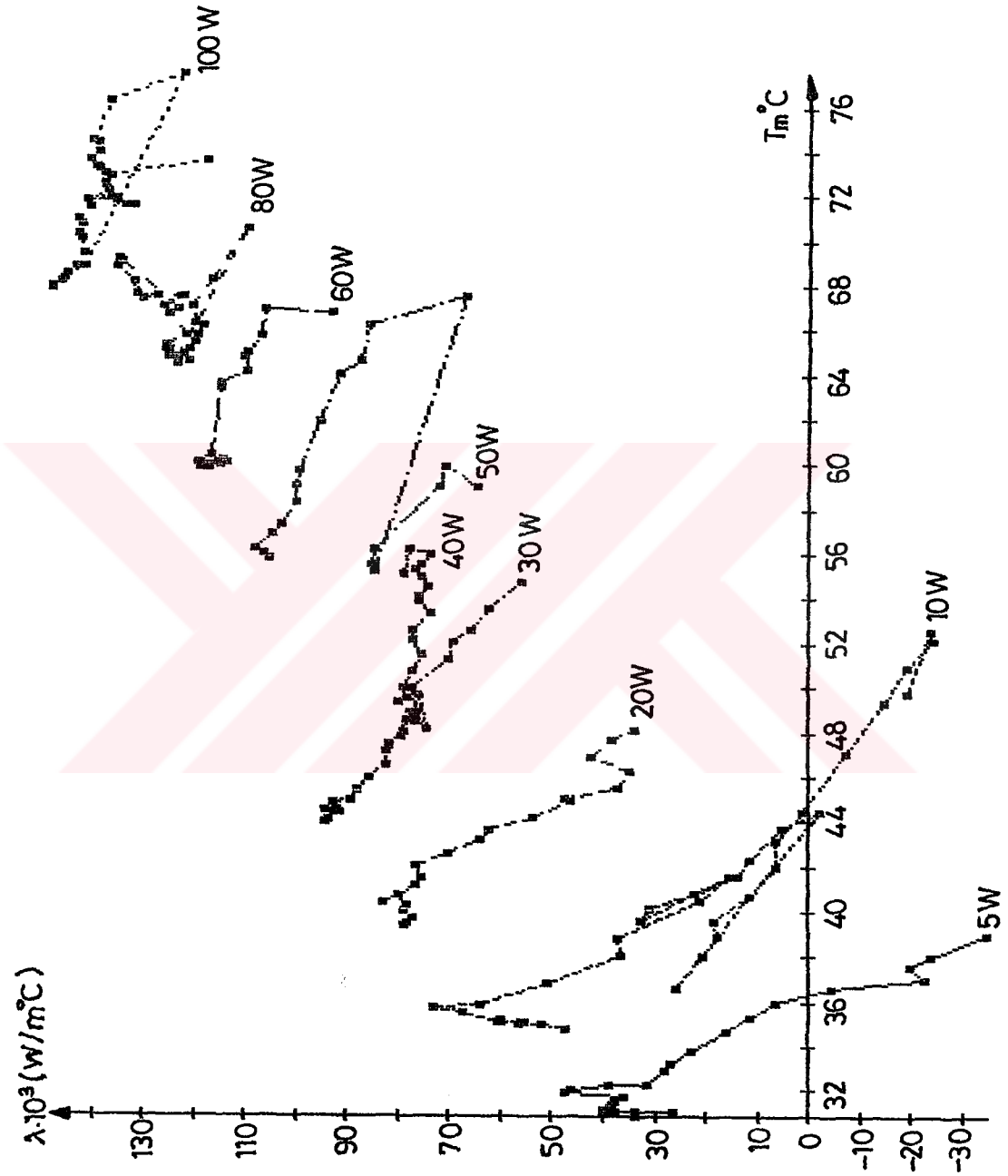
9-07-1992 Q = 50 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	113.3	46.6	66.7	79.9	28.2	65.2	50.1
17	107.9	44.9	63.0	76.4	28.6	60.2	60.6
26	104.5	42.5	61.9	73.5	29.0	56.1	68.1
17	104.1	41.9	62.3	73.0	29.5	54.8	69.7
19	103.9	41.1	62.8	72.5	29.8	53.8	70.6
15	103.7	40.5	63.2	72.1	30.6	52.3	72.6
16	103.0	39.3	63.7	71.2	30.6	51.1	73.6
11	102.8	39.1	63.7	70.9	30.2	51.3	73.4
23	103.1	38.3	64.8	70.7	30.5	50.7	73.1
17	103.4	37.9	65.5	70.6	30.8	50.2	73.1
24	103.1	37.0	66.1	70.1	31.3	48.9	74.3
26	102.9	36.1	66.8	69.5	31.2	48.3	74.3
23	102.6	35.6	67.0	69.1	31.6	47.2	75.7
30	102.2	34.9	67.4	68.6	31.5	46.7	76.0
35	102.6	34.4	68.2	68.5	31.4	46.7	75.0
20	102.5	33.9	68.7	68.2	31.2	46.6	74.7
41	102.2	33.8	68.4	68.0	31.0	46.7	74.8
2	102.3	33.7	68.7	68.0	31.0	46.6	74.6
25	103.0	33.9	69.0	68.5	30.4	48.0	72.4
9-08-1992 Q = 50 W							
Δt [dk]	T_h [°C]	T_c [°C]	ΔT [°C]	T_m [°C]	T_o [°C]	Q_k/Q %	λ *1000 [W/m°C]
0	113.3	40.1	73.2	76.7	27.3	62.2	49.5
19	108.9	39.5	69.5	74.2	27.5	58.8	56.9
22	105.7	37.8	67.9	71.7	28.5	54.5	64.4
21	104.2	36.6	67.6	70.4	29.0	52.2	67.9
47	102.9	34.9	68.1	68.9	29.5	49.6	71.0
31	102.9	34.1	68.9	68.5	30.0	48.5	71.8
56	103.5	33.0	70.5	68.2	30.5	47.5	71.5
32	103.1	32.8	70.3	68.0	31.0	46.6	73.0
36	103.1	32.8	70.4	68.0	30.8	46.8	72.6
43	103.8	32.8	71.0	68.3	30.7	47.4	71.2
12	103.9	32.8	71.0	68.4	30.4	47.8	70.5
22	103.6	32.8	70.8	68.2	30.2	47.9	70.6
36	104.0	32.8	71.3	68.4	30.0	48.4	69.5
18	104.4	32.8	71.6	68.6	29.7	49.0	68.4



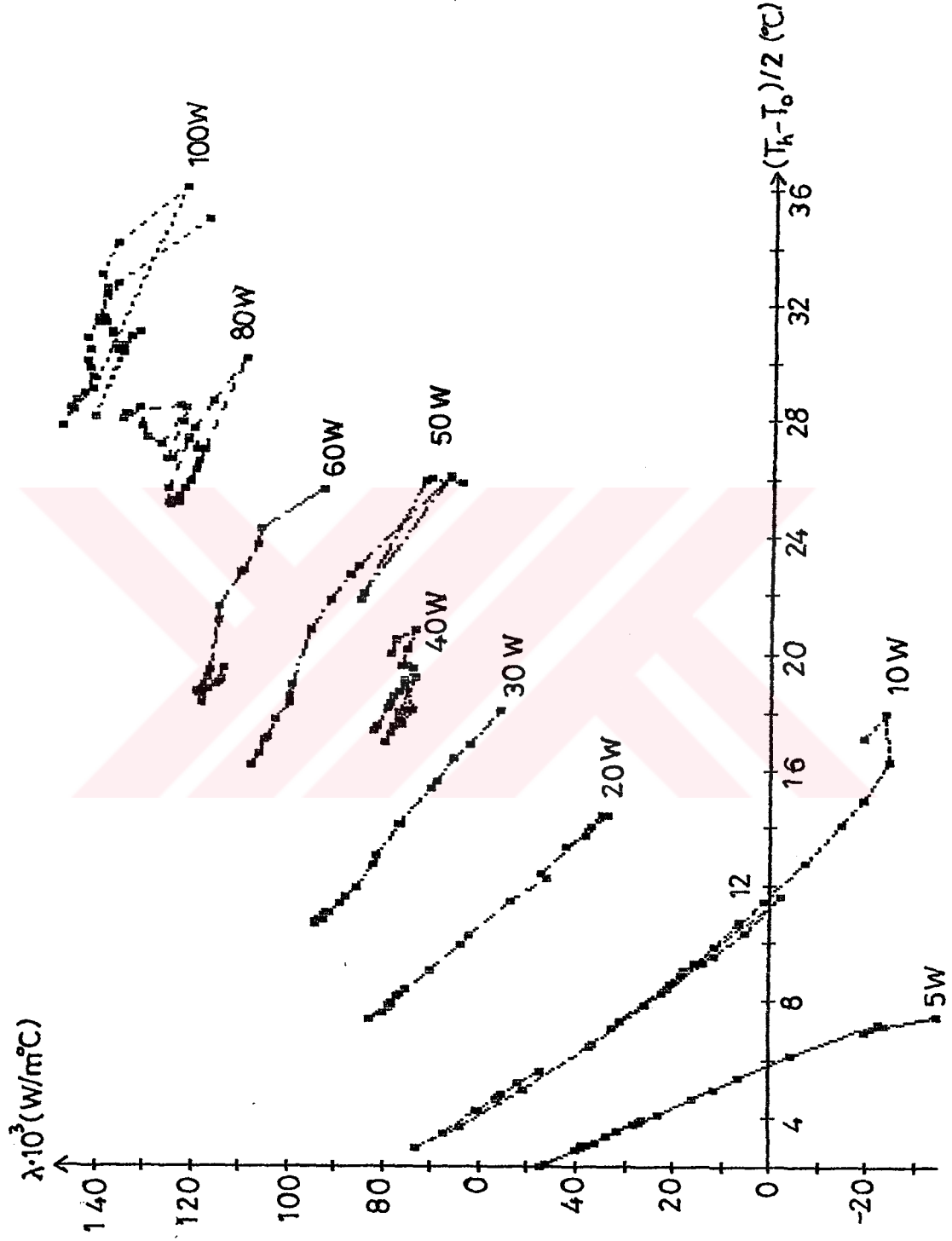
Sekil 5.2. Sunta için ısı iletim katsayısı λ ile ısı yükü oranı Q_k/Q 'nın değişim grafiği



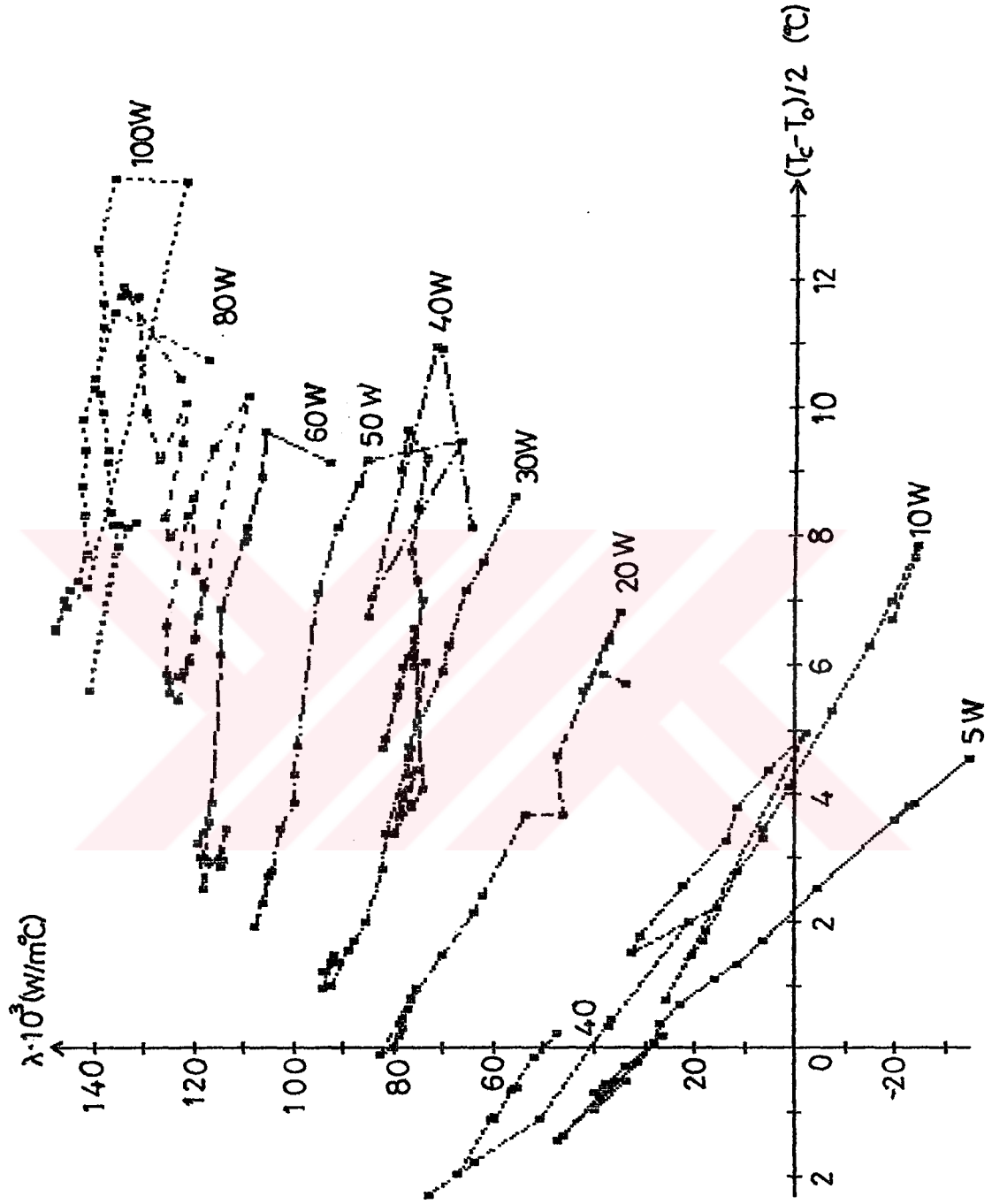
Sekil 5.3. Sunta için ısı iletim katsayısı λ ile Sıcaklık Farkı ΔT 'nin Değişim Grafiği



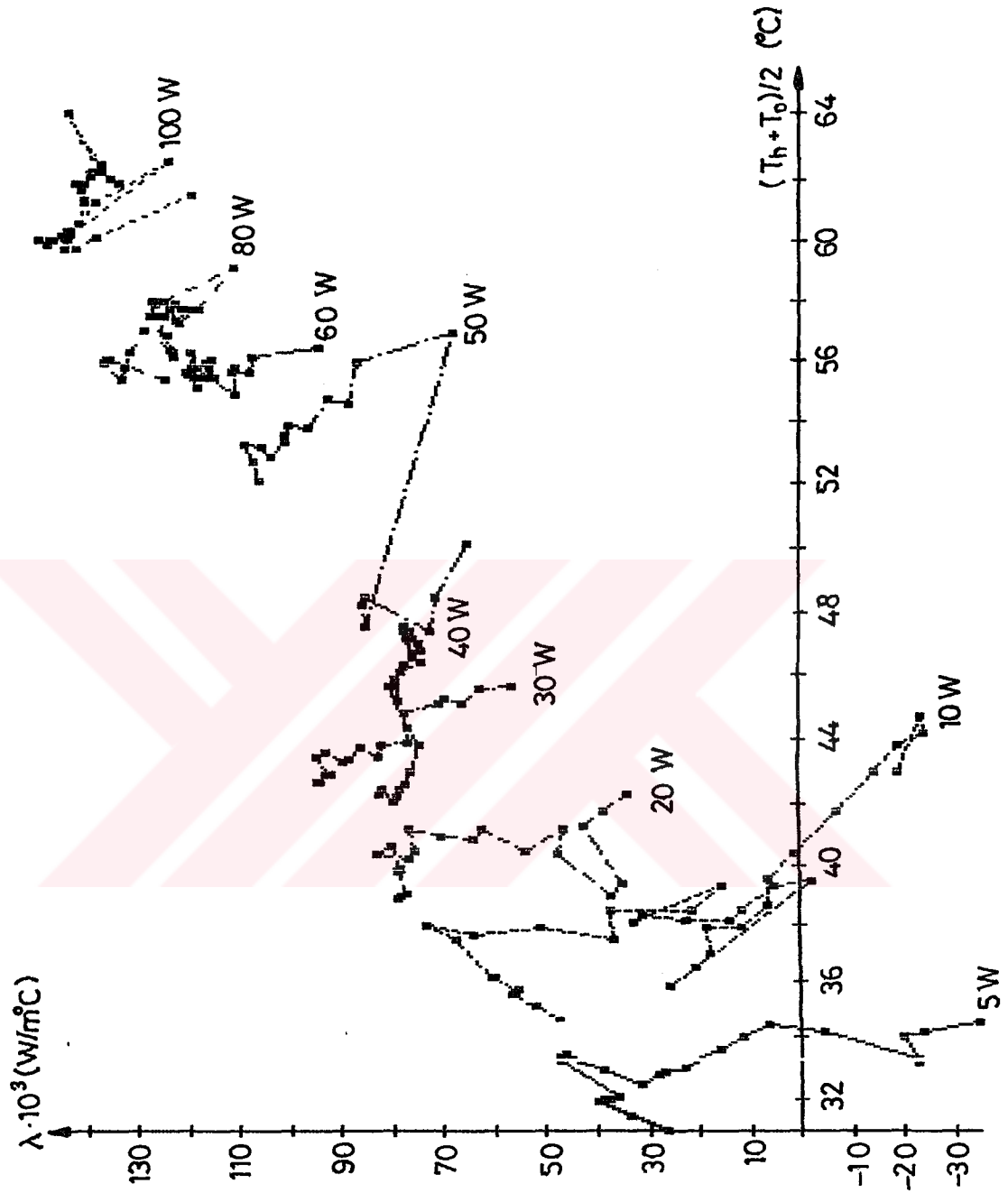
Sekil 5.4. Sunta için ısı iletim katsayısı λ ile Ortalama Sıcaklık T_m 'nin Değişim Grafiği



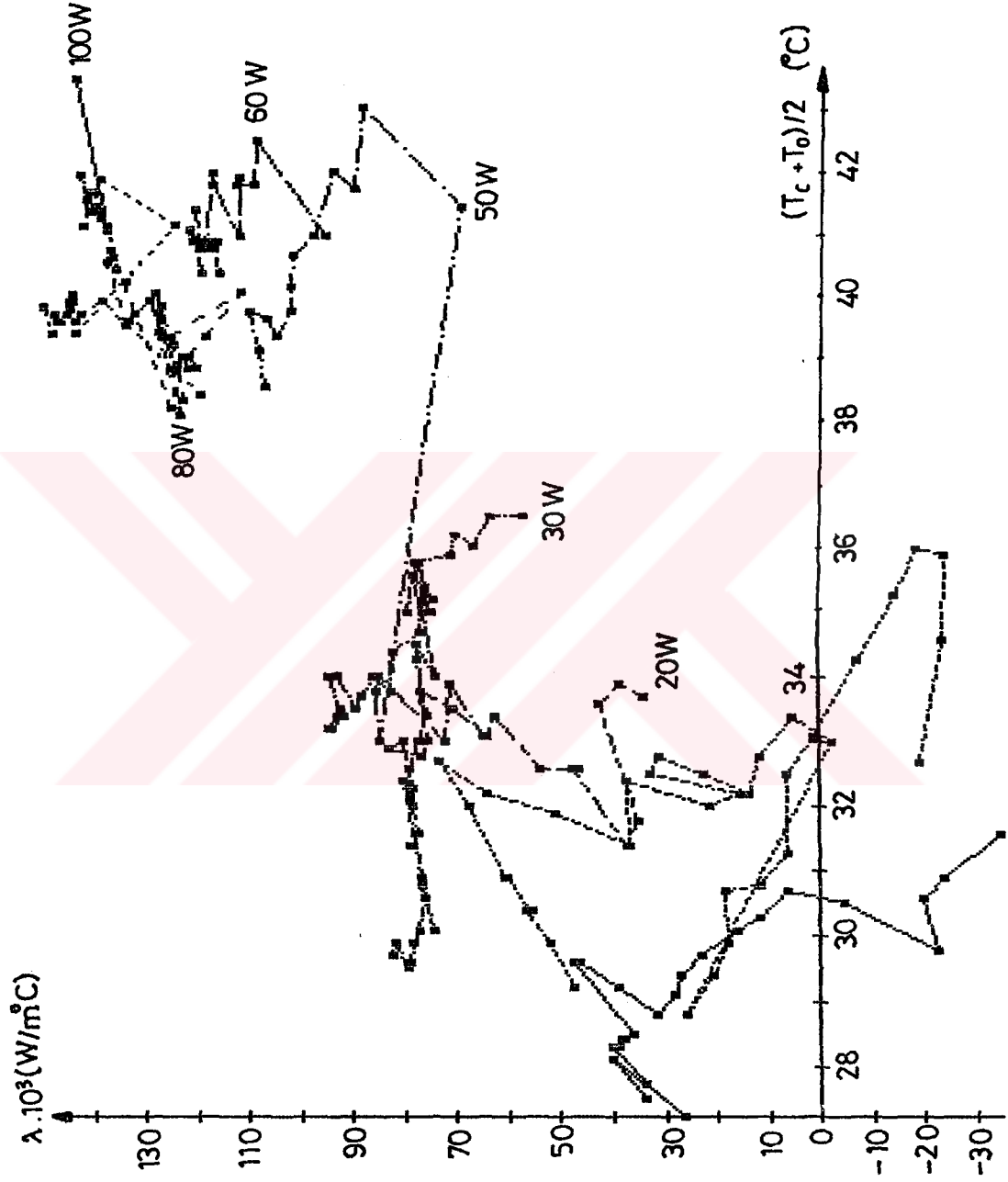
Şekil 5.5. Sunta için ısı iletim katsayısı λ ile sıcaklık fonksiyonu $(T_h - T_c)/2$ 'nin değişim grafiği



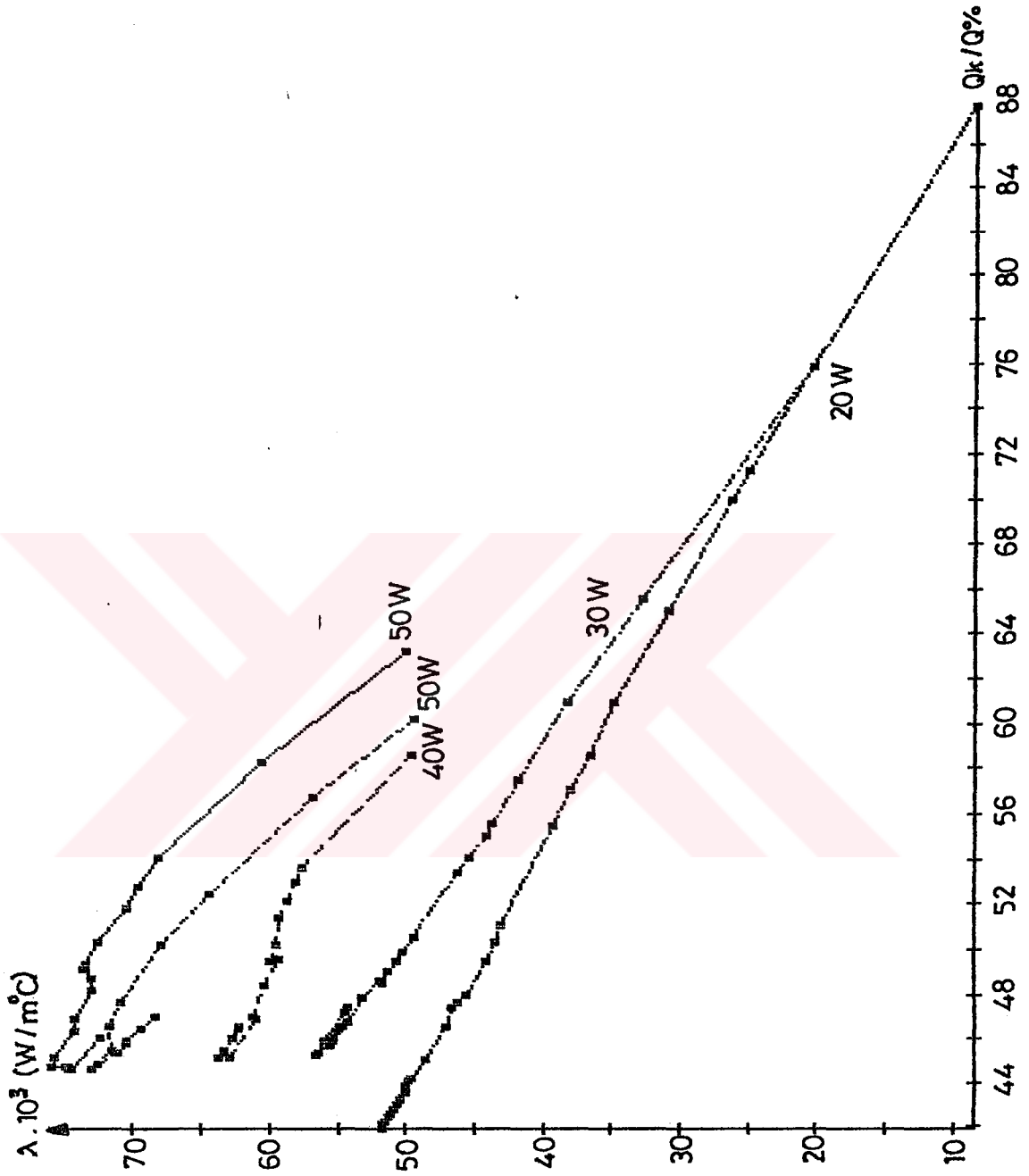
Sekil 5.6. Sunta için ısı iletim katsayısı λ ile sıcaklık fonksiyonu $(T_c - T_0)/2$ 'nin değişim grafiği



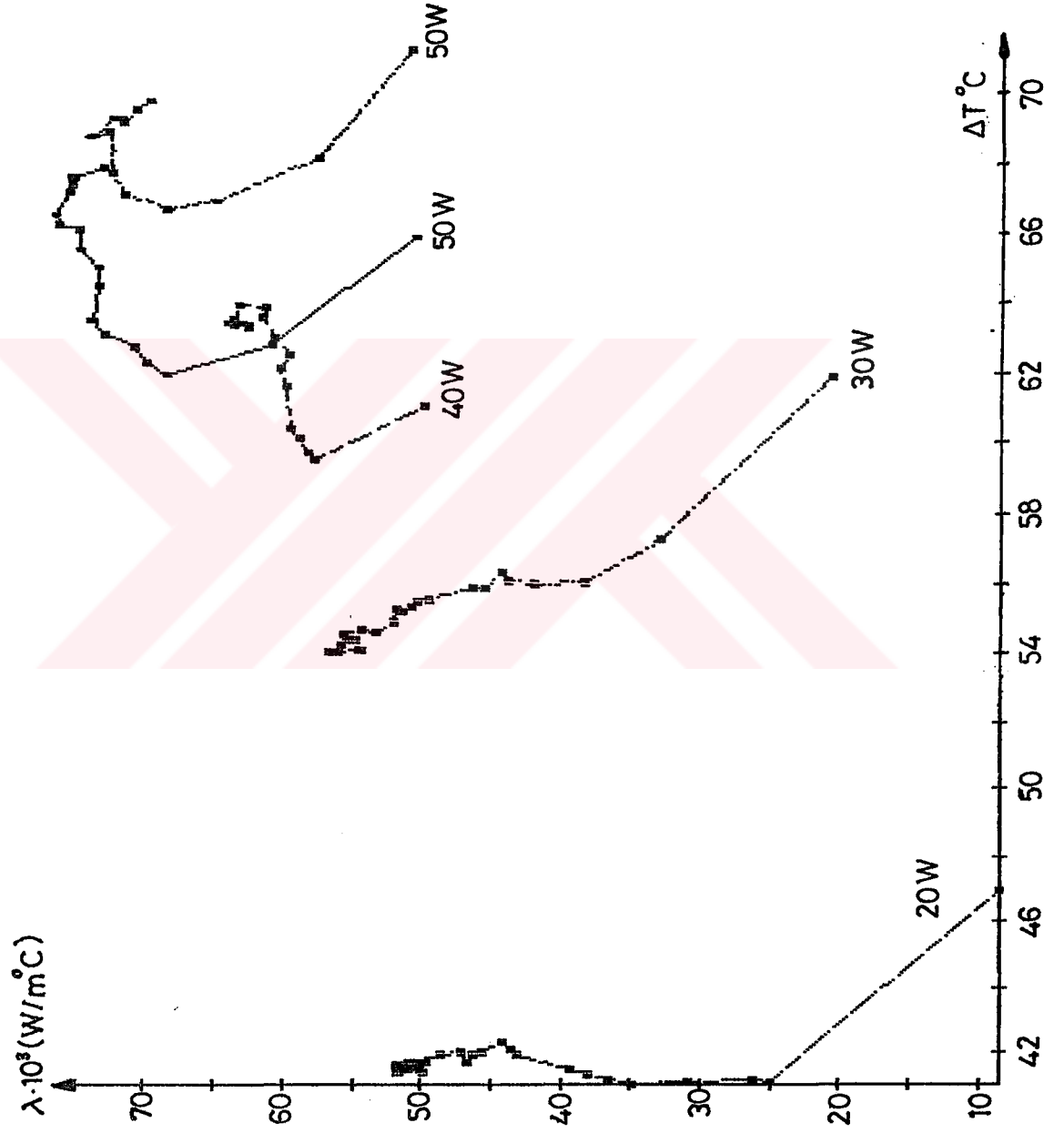
Sekil 5.7. Sunta için Isı iletim Katsayısı λ ile Sıcaklık Fonksiyonu: $(T_h + T_0)/2$ 'nin Denetim Grafiki



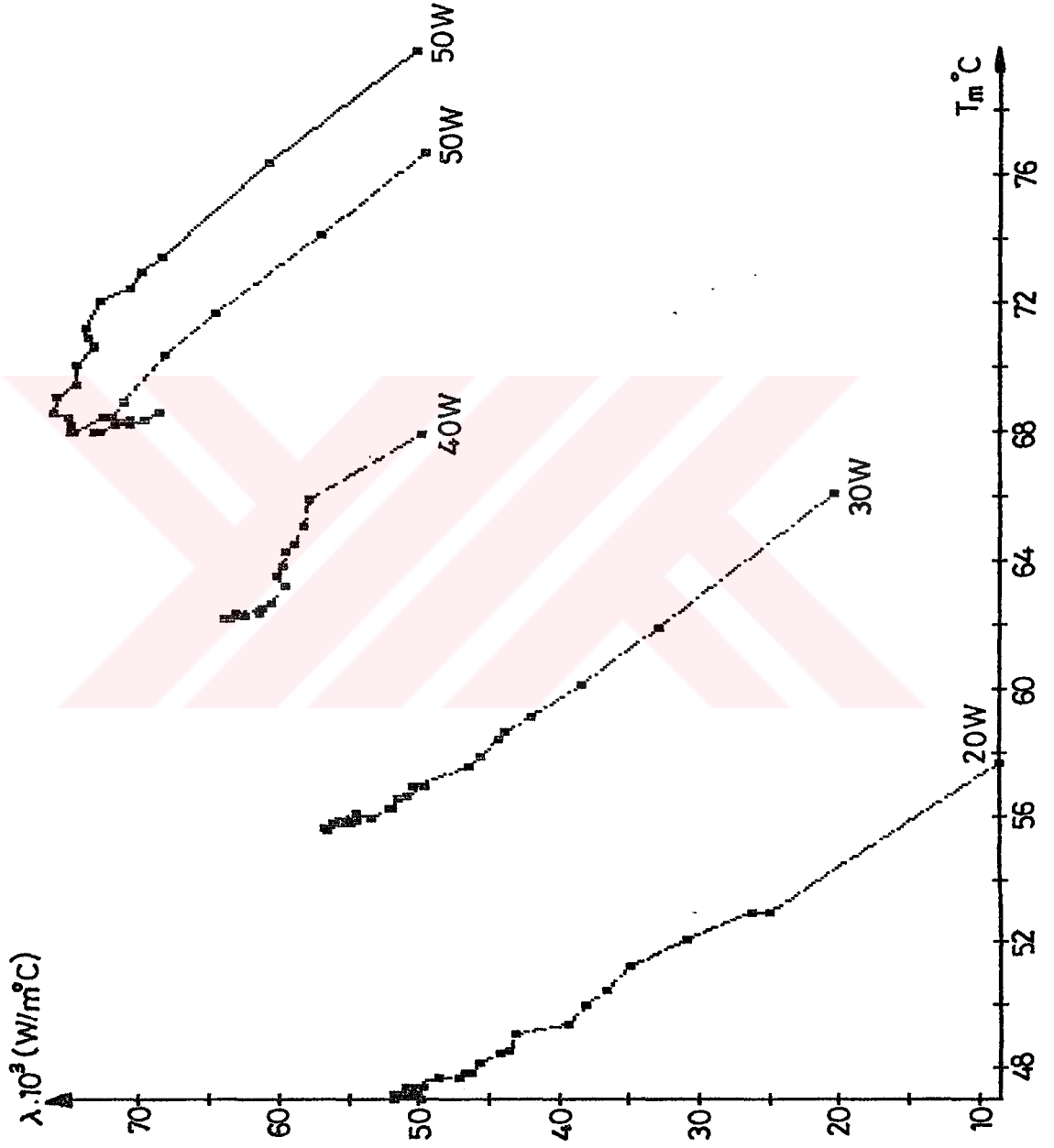
Sekil 5.8. Sunta için ısı iletim katsayısı λ ile sıcaklık farkının $(T_c + T_0)/2$ 'nin değişim grafiği



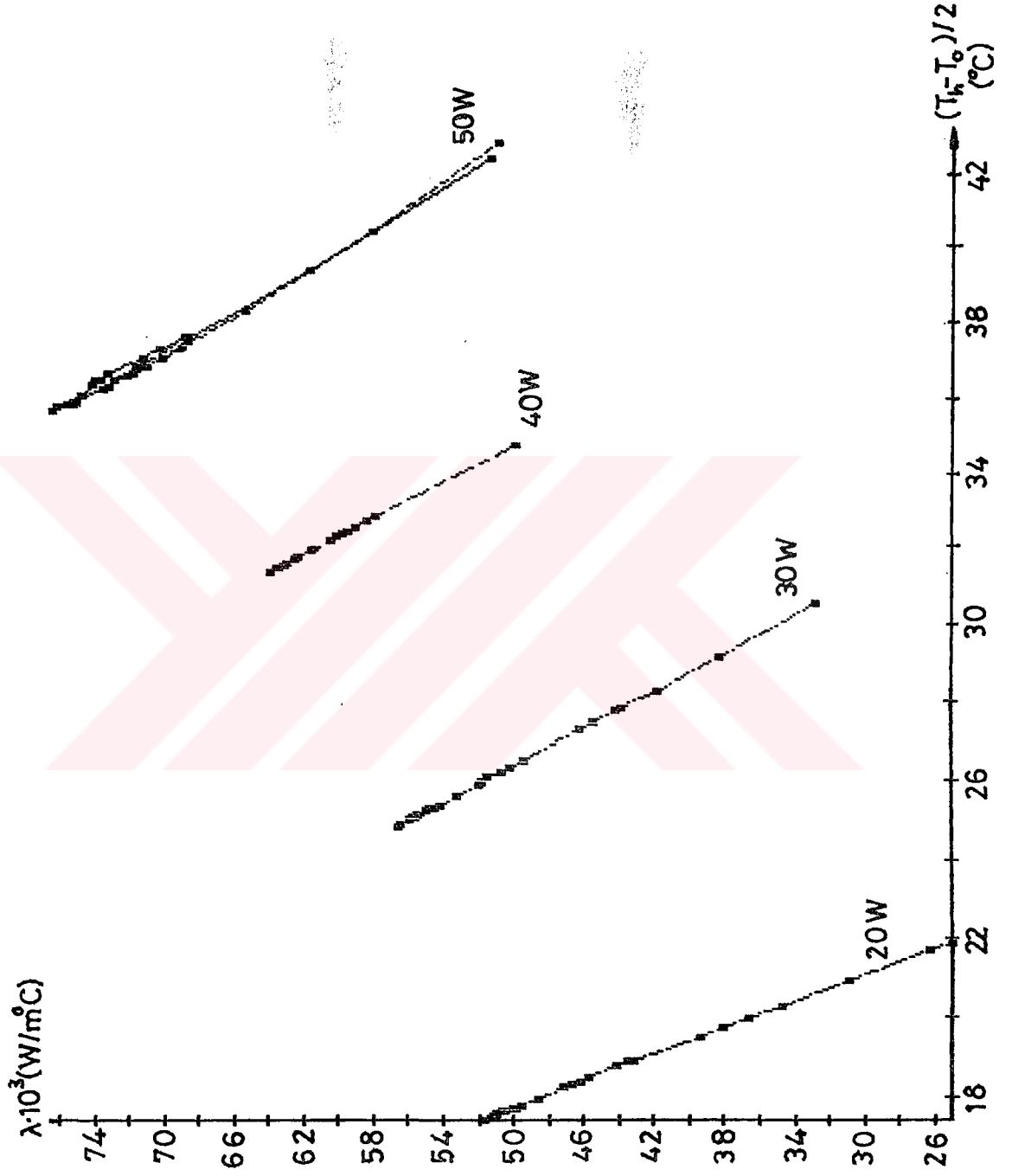
Sekil 5.9. Strafor için ısı iletim katsayısı λ ile ısı yükü oranı Q_k/Q 'nın değişim grafiği



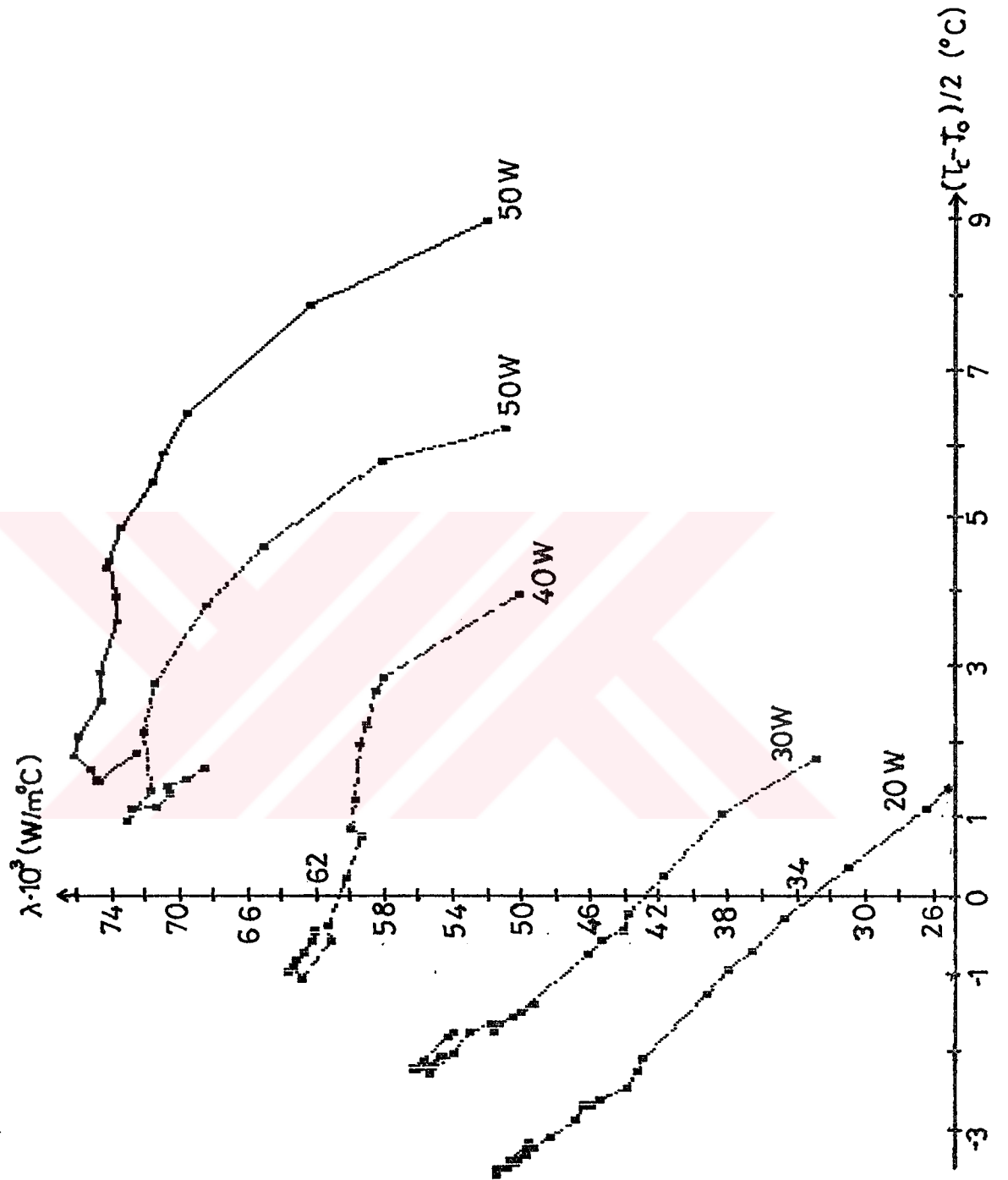
Sekil 5.10. Strafor için Isı İletim Katsayısı λ ile



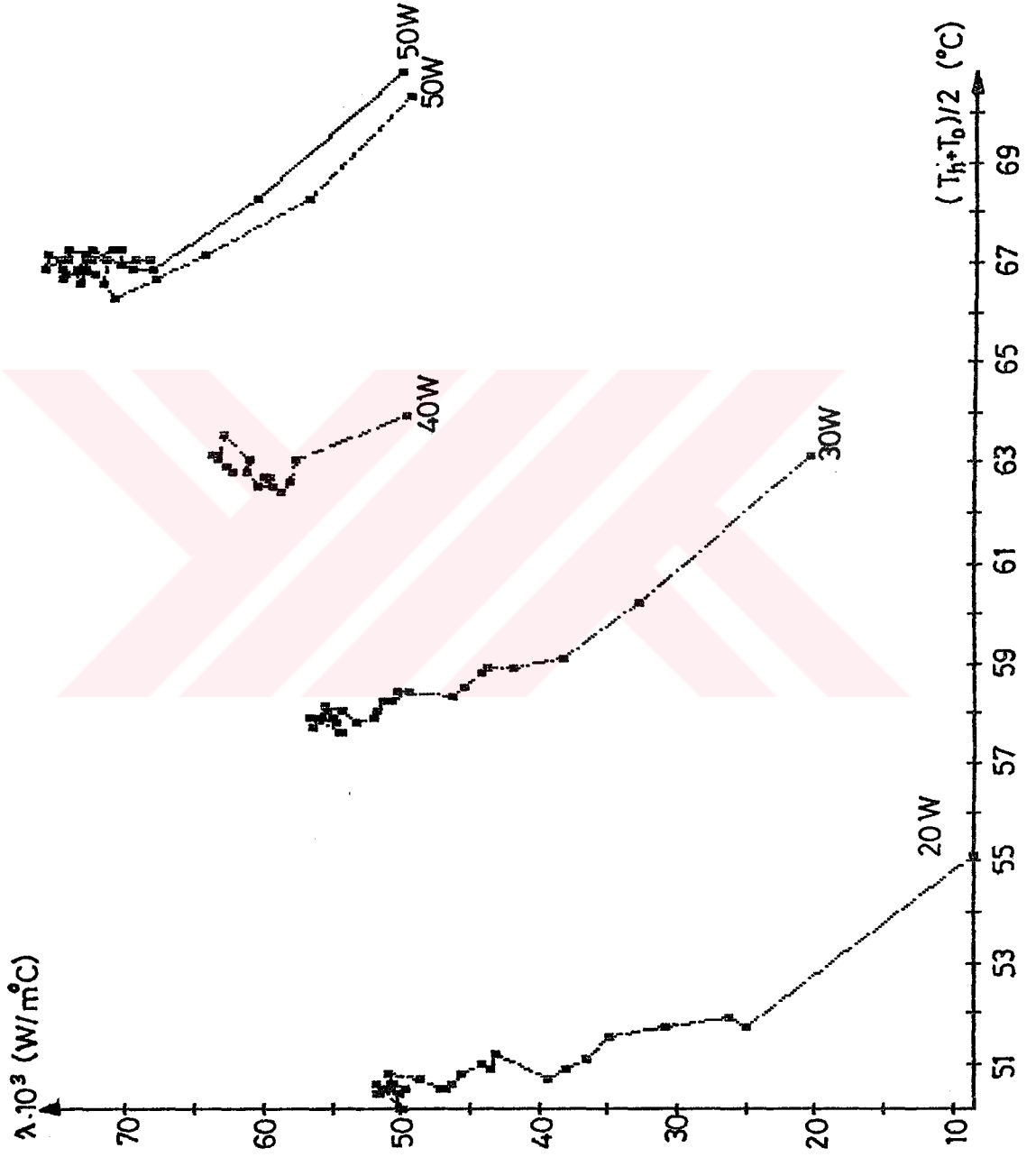
Sekil 5.11. Strafor için ısı iletim katsayısı λ ile Ortalama Sıcaklık T_m 'nin Değişim Grafiği



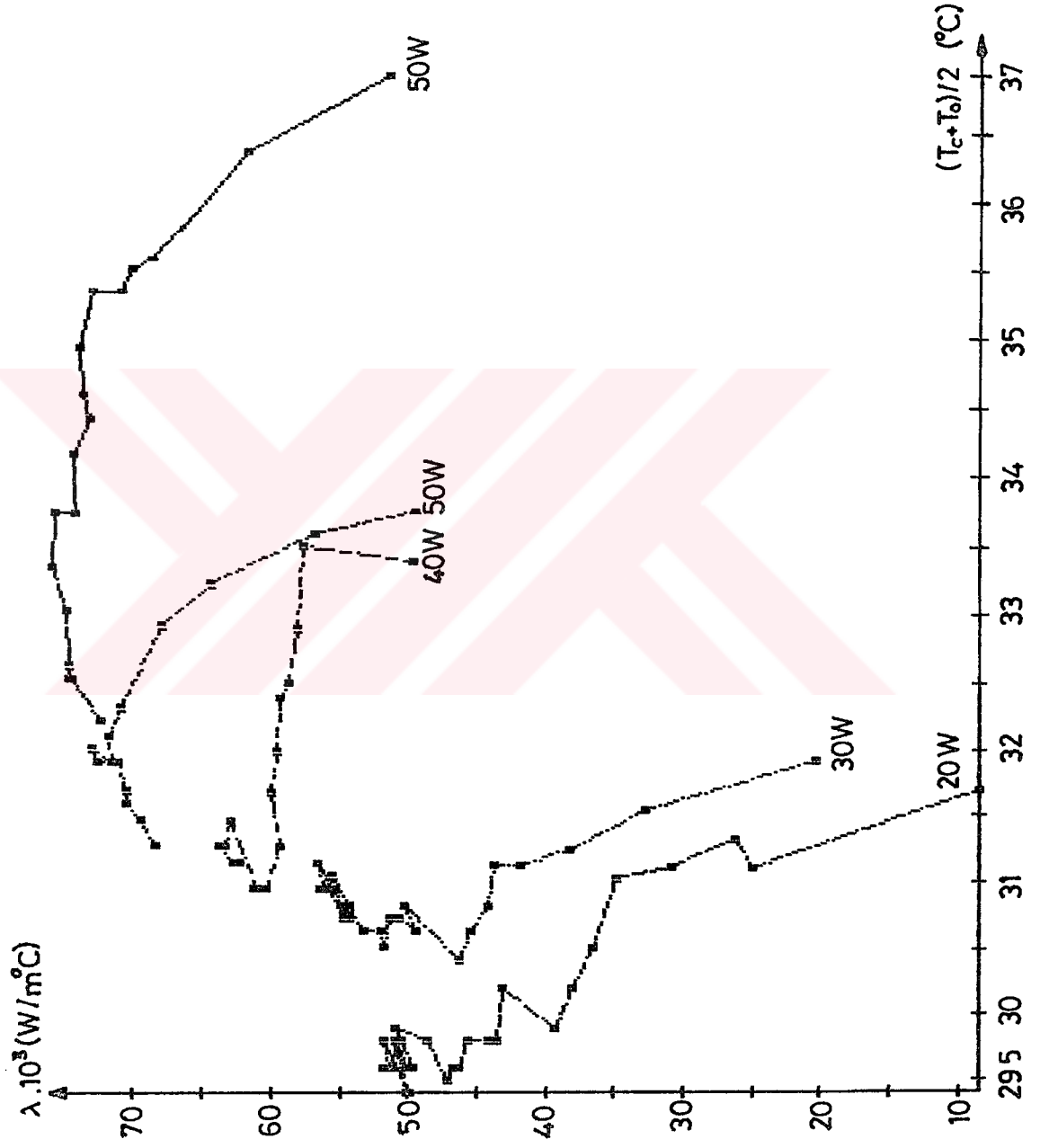
Şekil 5.12. Strafor için ısı iletim katsayısı λ ile sıcaklık



Şekil 5.13. Stirofor için ısı iletim katsayısı λ ile sıcaklık



Sekil 5.14. Strafor için ısı iletim katsayısı λ ile sıcaklık



Şekil 5.15. Strafor için ısı iletim katsayısı λ ile sıcaklık fonksiyonu $(T_c + T_d)/2$ 'nin değişim grafiği

5.4. Deney Sonuçlarının Tartışılması

Bölüm 5.2 ve 5.3'te verilen çizelgelerden de görüldüğü gibi, deney sonunda sistem kararlı hale gelip sıcaklık farkı ΔT zamanla değişmediği halde, değerinde değişimler olduğu görülmüş, sabit bir değere ulaşılamamıştır. Ayrıca ısı yükü Q değiştikçe sistemin kararlı durumundaki ortalama değerlerinin de birbiri ile uyumlu olmadığı görülmektedir. Yapılan deneylerde numunelerin gerçek ısı iletim katsayısı değerleri tam olarak elde edilememiş, ancak bu değere yaklaşılabilmektedir. Fakat burada, literatürlerde verilen ısı iletim katsayısı değerlerinin oda sıcaklığı için geçerli olduğu ve ortalama sıcaklık yükseldikçe, numunenin ısı iletim katsayısının da yükseldiği düşünülürse sabit bir değer elde edilememesinin doğal olduğu anlaşılar.

Sunta için literatürde belirtilen ısı iletim katsayısının $0,14 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ olduğu gözönüne alınarak çizelgeler incelendiğinde, hesaplanan ısı iletim katsayısı değerinin gerçek ısı iletim katsayısı değerine en yakın olduğu zaman, Q_k/Q değerinin de en düşük seviyede olduğu görülmektedir. Strafor için ise, literatürde belirtilen ısı iletim katsayısı $0,04 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ değerine hiçbir deneyde yaklaşılamamıştır. Bu deneylerde Q_k/Q değerini her zaman büyük olduğu görülmektedir. Bu durumda Q_k/Q 'nun hesaplanan ısı iletim katsayısı değerinin doğruluğuna etki eden en önemli faktör olduğu ortaya çıkar. Dolayısıyla Q_k/Q değerininin hesaplanmasında kullanılan diğer faktörler de ısı iletim katsayısı λ 'nın doğruluğuna etki ederler. Numunenin gerçek ısı iletim katsayısı λ_g ile gösterilirse, numuneden geçen toplam ısı,

$$Q_T = \frac{\lambda_g \cdot F \cdot \Delta T}{s} \quad (6.1)$$

ile ifade edilebilir. (6.1) eşitliği, (4.5) eşitliği [$Q_T = Q - Q_k$] ile birleştirilirse,

$$Q = \frac{\lambda_g \cdot F \cdot \Delta T}{s} + Q_k \quad (6.2)$$

elde edilir. Buradan Q_k/Q oranı,

$$\frac{Q_k}{Q} = \frac{Q_k}{\frac{\lambda_g \cdot F \cdot \Delta T}{s} + Q_k} \quad (6.3)$$

olarak yazılabilir. ΔT ve Q_k ifadeleri acılırsa bu eşitlik,

$$\frac{Q_k}{Q} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_g \cdot F \cdot (T_h - T_c)}{s \cdot 0,63 \cdot \left(\frac{T_h - T_o}{2} + \frac{T_c - T_o}{2} \right)}} \quad (6.4)$$

haline gelir. Buradan görüldüğü gibi, numunenin gerçek ısı ısı iletim katsayısı λ_g küçüldükçe, ve/veya sıcaklık farkı ΔT büyüdükçe, dolayısıyla ortalama sıcaklık T_m büyüdükçe Q_k/Q değeri de büyümektedir. Ortalama sıcaklık T_m 'nin büyümesi, $(T_h - T_o)/2$ ve $(T_c - T_o)/2$ değerlerinin de büyümesi demektir. Tüm bu faktörler Q_k/Q değerini arttırırken, hatalar da artmakta ve hesaplanan ısı iletim katsayısı değeri gerçek değerinden uzaklaşmaktadır.

Sekil 5.2'de sunta için, 5.9'da strafor için Q_k/Q değerinin λ ile değişimi görülmektedir. Isı yükü Q değeri arttırıldıkça Q_k/Q değeri azalarak sunta için % 20'ye, strafor için % 44'e yaklaşmaktadır. Strafor için bu değer oldukça yüksektir ve bu nedenle gerçek λ değerine yaklaşılamamıştır. Sunta için ise Q_k/Q değeri yeterince düşüktür ve gerçek λ değerine yaklaşılmıştır. Isı yükü Q arttıkça ortalama sıcaklık artmakta ve bu da λ değerinin yükselmesine sebep olmaktadır. Dolayısı ile sunta için elde edilen sonuçlar makuldur. Strafor için makul bir sonuç elde edilememesinin en önemli sebebi ise straforun gerçek ısı iletim katsayısının (0,04) suntanın ısı iletim katsayısından (0,14) çok küçük olmasıdır.

Sekil 5.3'te sunta için ve 5.10'da strafor için $\lambda - \Delta T$ değişim grafikleri görülmektedir. ΔT sıcaklık farkı çeşitli değişimler göstererek deney sonunda belirli bir değerde kalmakta yani sistem kararlı hale gelmektedir. Sistem kararlı hale geldikten sonra λ değerinde sunta için 0,006 ve strafor için 0,003 W/m°C'ye varan değişimler olmaktadır. Bunun sebebi ise Q_k/Q 'da görülen % 3'e varan değişimlerdir. Isı yükü Q arttıkça ortalama ΔT değeri de yükselmektedir.

Sekil 5.4'te sunta için, 5.11'de strafor için $\lambda - T_m$ değişim grafikleri görülmektedir. Her deney için ortalama sıcaklık T_m giderek azalmakta ve sistemin kararlı hale gelmesi ile belirli bir değer civarında kalmaktadır. Strafor için bu değerdeki değişim $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altındadır. Sunta için ise $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye varan değişimler görülmektedir. Isı iletim katsayısı ise giderek artmakta ve sistem kararlı hale geldikten sonra değişimi yukarıda belirtilen aralık içerisinde kalmaktadır. Bu grafiklerden λ ile T_m 'nin ters orantılı olduğu görülmektedir.

Strafor için verilen grafiklerden λ 'nın $(T_h + T_o)/2$, $(T_c + T_o)/2$, $(T_h - T_o)/2$ ve $(T_c - T_o)/2$ ile de ters orantılı olduğu görülmektedir. Sunta için verilen grafiklerden λ 'nın $(T_h - T_o)/2$ ve $(T_c - T_o)/2$ ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Ancak $(T_h + T_o)/2$ ve $(T_c + T_o)/2$ grafikleri için aynı şeyi söylemek mümkün değildir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ısı iletkenliği düşük malzemelerin ısı iletim katsayılarının ölçülmesi amaçlanmıştır. Hazırlanan düzenek ile iki ayrı numune kullanılarak deneyler yapılmıştır.

Numune olarak literatürde belirtilen ısı iletim katsayısı $0,14 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ olan sunta ile $0,04 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ olan strofor seçilmiştir. Tek bir numune kullanılarak ve ısı yükü Q değiştirilerek yapılan deneylerde suntanın gerçek ısı iletim katsayısına yakın değerler elde edilmesine rağmen strofor için gerçek ısı iletim katsayısına ulaşamamıştır. Deney sonuçları incelendiğinde ölçümün doğruluğunu etkileyen en önemli faktörün kayıp ısının sisteme verilen ısıya oranı Q_k/Q olduğu anlaşılmaktadır. En az hata için bu oranın % 20'yi geçmemesi gerekmektedir. Zira sunta için bu koşul sağlanarak istenilen sonuç elde edilmiş fakat strofor için bu oran % 40'ın altına düşmemiştir.

Q_k/Q oranı matematiksel olarak incelendiğinde numunenin gerçek ısı iletim katsayısına, numunenin sıcak yüzeyinin ortalama sıcaklığı T_h , soğuk yüzeyinin ortalama sıcaklığı T_c ve ortam sıcaklığı T_o 'a bağlı olduğu görülmektedir. Numunenin gerçek (literatürde belirtilen) ısı iletim katsayısı azaldıkça Q_k/Q oranının artması, strofor için yapılan deneylerde hataların neden fazla olduğunu açıklamaktadır. Sistemde, numunenin yüzey sıcaklıkları kontrol edilebildiği için sistemin güvenilirliğini sınırlayan en önemli faktörün seçilen numunenin ısı iletim katsayısı olduğu anlaşılmaktadır. Sonuç olarak bu sistemin, ısı iletim katsayısı $0,15 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ 'den büyük olan malzemeler için kullanılabileceği görülmektedir.

Yapılan deneylerde ortaya çıkan hataların diğer bir kaynağı ise sıcaklık ölçümünde kullanılan sistemdir. Sıcaklık algılayıcı olarak kullanılan termistörlerden alınan analog sinyalin sayısal karşılığının sıcaklık değerine çevrilmesi için yapılan deneylerde termistörlerin yeterince hassas olmadıkları görülmüştür. Termistörlerin gürültü, nem gibi çevre koşullarından etkilenmesi, bağlantı kablolarının uzun oluşu gibi pek çok faktör, hataların artmasına sebep olmaktadır. Sonuç olarak termistörlerden okunan sıcaklık değeri ile termistörün gerçek sıcaklığı arasında istenmeyen bir fark ortaya çıkmakta ve sistemin verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu çalışmada hazırlanan deney düzeneginin $0,15 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ 'den daha düşük ısı iletim katsayısına sahip malzemelerin ölçümünde de kullanılabilmesi için bazı değişiklikler önerilebilir. Öncelikle sıcaklık algılayıcılar değiştirilmeli, örneğin termoelemanlar kullanılarak daha hassas sıcaklık ölçümü sağlanmalıdır. Ayrıca sistemden çevreye kaybolan ısı miktarının azaltılabilmesi için numune çevresinde daha iyi bir yalıtım yapılması gerekmektedir. Deney kabininin hacmini fazla arttırmadan bu yalıtımın sağlanabilmesi için, hava aralıkları ve radyasyonla ısı kaybını azaltmak için yansıtıcı levhalar kullanılabilir.

7. ÖZET

İnsanoğlu malzemelerdeki ısı iletiminin farkına vardık-
tan sonra ısı iletkenliği düşük malzemeleri çevre koşulla-
rından korunmak için kullanmaya başladı. Teknolojinin etkisi
ile, yeni malzemeler geliştirildi ve ısı iletim katsayısının
belirlenmesi ihtiyacının doğması pek çok ölçme yönteminin
geliştirilmesine sebep oldu.

Bu çalışmada, yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayı-
larının ölçülmesi için basit bir imalat ve ölçme yöntemine
sahip bir deney düzeneği tasarlandı ve Türk Standartlarına
uygun olarak geliştirildi. Ölçme yöntemi olarak kararlı halde
tek numuneli plaka metodu seçilmiştir. Sıcaklık ölçümü için
bilgisayarlı kontrol sistemi kullanılmıştır. Deney düzeneği-
nin ve yönteminin yeterliliğini ve güvenilirliğini belirleye-
bilmek için ısı iletim katsayısı bilinen malzemelerle deney-
ler yapılmıştır. İlk numune olarak literatürde belirtilen ısı
iletim katsayısı $0,14 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ olarak verilen sunta kullanılmış
ve bu değer deneysel olarak elde edilmiştir. İkinci numune
ısı iletim katsayısı $0,04 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ olan strofordur. Fakat
stroforla yapılan deneyler istenilen sonuçları vermemiştir.
Bundan dolayı, bu deney düzeneği ısı iletim katsayısı
 $0,15 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ 'den büyük olan malzemelerin ölçülmesi için kulla-
nılabilmektedir. Daha düşük ısı iletim katsayısına sahip
malzemelerin ölçülebilmesi için bazı değişiklikler önerilmiş-
tir.

8. SUMMARY

People have been using the materials with low conductivity for protection from environmental conditions, after the human's appreciation of the heat conduction phenomena in materials. With the impact of technology, new materials have been discovered. Due to the necessity of the thermal conductivity, many of measuring methods have been developed.

In this work, an apparatus which has a simple construction and measuring method of the thermal conductivity of insulating materials was developed and constructed according to Turkish Standards. The measuring method was selected as the plate method with one sample in steady state conditions. Computerized control system was used to measure temperatures. The experiments using the materials with known thermal conductivity were done to obtain the sufficiency and reliability of the apparatus and measuring method. The first sample was wood of which thermal conductivity was given as $0,14 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ in the literatures and this is nearly obtained experimentally. The second sample was styrophor of which thermal conductivity was given as $0,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. But the experiments with styrophor couldn't present good results. Because of that, it was pointed out that this apparatus could be safely used with the materials of which thermal conductivity was greater than $0,15 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. It was suggested that this apparatus could be improved to measure the materials with lower thermal conductivity by making some changes on system.

9. KAYNAKLAR

- [1] Parrott J. E., Stuckes A. D., (1975), Thermal Conductivity of Solids. Pion Ltd. London. (160 s)
- [2] Yılmaz T., (1991), Isı İletiminde Teori ve Uygulama. Adana. (179 s)
- [3] Holman J. P., (1976), Heat Transfer. McGraw-Hill Ltd. Tokyo.
- [4] Yıldız A., (1987), Mikroişlemcili Denetleyici Santrali. Dokuz Eylül Üniv. Araştırma Raporu. No : FBE/ELK-87-40
- [5] TS 388, Plaka Metodu ile Isı İletkenliğinin Tayini. Nisan 1977.
- [6] Altun Z. G., (1990), Mikrobilgisayara dayalı veri toplama sistemi ve değişik deneylere uygulanması. Çukurova Üniv. Fen Bilimleri Enst. Fizik Anabilim Dalı Doktora Tezi. Adana. (s 4-25)
- [7] Cigdemoglu M., (1980), Isı İletimi Prensipleri. Ankara. 3. Baskı. (528 s)
- [8] Kakac S., (1987), Isı Transferine Giriş I -Isı İletimi. İ.T.Ü. İstanbul. (315 s)
- [9] Dagsöz A.K., (1974), Isı Geçişi Cilt I - Isı İletimi. İ.T.Ü. İstanbul. (534 s)
- [10] ASHRAE 1977 Fundamentals Handbook. Chap. 22. Design Heat Transmission Coefficients. (s 22.1-22.28)
- [11] Touloukian Y.S., (1970), Thermophysical Properties of Matter. The Thermophysical Properties Research Centre Data Series. Vol. 1,2. IFI/Plenum Press. New York.
- [12] Candwell F.R., (1962), Temperature- Its Measurement and Control in Science and Industry. Vol. 3. P.2. Reinhold. New York. (s 81-134)
- [13] Flynn D. R., (1969), Thermal Conductivity. Vol. 1. Academic Press. New York. (s 241-300)

10. TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sırasında tez çalışmalarımın yürütülmesini üstlenerek ve değerli zamanlarını bana ayırarak derin bilgi ve tecrübeleri ile çalışmalarımı yönlendiren saygıdeğer öğretmenim Prof.Dr.-Ing. Tuncay YILMAZ'a teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarıma destek olan Makina Mühendisliği Bölümü'nün değerli elemanlarına ve sevgili aileme teşekkür ederim.



11. DZGEÇMİŞ

1967, Ankara doğumluyum. İlk, orta ve lise öğrenimimi İskenderun Demir Çelik'te tamamladım. 1988-1989 öğretim yılı güz yarıyılı sonunda Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden, Makina Mühendisi Ünvanı ile mezun oldum. 1989-1990 öğretim yılı güz yarıyılı başında Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nün açmış olduğu yüksek lisans sınavını kazanarak Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans çalışmalarına başladım. Halen Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktayım.