

**ERCIYES ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**  
**ISI TRANSFERİ LABORATUARI**



**DENEY FÖYÜ**

**DENEY ADI**

**KAYNAMALI ISI TRANSFERİ DENEYİ**

**DERSİN ÖĞRETİM ÜYESİ**

**DENEYİ YAPTIRAN ÖĞRETİM ELEMAN**

DENEY GRUBU:

DENEY TARİHİ :

TESLİM TARİHİ :

## **Deneyin Amacı:**

Kaynamadaki üç durumun (taşınım ile kaynama, çekirdekli kaynama, film kaynaması) deneysel olarak gözlemlenmesi, yüzey ısı transfer katsayısının ve ısı akısının hesaplanması

## **Deney Tesisatı:**

Şekil 1’de Hilton H653 kaynamalı ısı transfer ünitesi gösterilmektedir. Üniteye ait bilgiler ve teknik özellikler aşağıda verilmiştir.

## **Faydalı Bilgiler:**

- Isıtıcı Yüzeyin Boyutları : Etkin uzunluk: 29,5 mm  
Çap : 12,7 mm  
Yüzey alanı : 0,0013 m<sup>2</sup>
- Kondanser Yüzey Alanı : 0,032 m<sup>2</sup>
- Max. İzin Verilen Yüzey Sıcaklığı : 270 °C
- Isıtıcı Kesici Sıcaklığı : 220 °C
- Akışkan : Metilen Klorür CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>(R30)
- Akışkan Miktarı : Sıvı seviyesi ısıtıcının üzerinde 50 mm’den daha az olmamalıdır. Yaklaşık olarak 0.55 lt.
- Odadan Çevreye Olan Isı Transferi : 0.8 W/K
- Cam Odanın Boyutları : Nominal iç çap: 80 mm  
Uzunluk : 300 mm  
Hacim : 0,0012 m<sup>3</sup>
- Özgül Isı Transferi (Su için) : C<sub>pW</sub>= 4,18 kJ/kgK
- 1 bar= 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>= 100 kN/m<sup>2</sup>

## **Teknik Özellikler:**

- Panel: G.R.P kaplama ile yüksek kaliteye sahiptir ve monte edilmiştir.
- Oda: Nikel kaplı pirinç uç plakalarıyla yaklaşık 80 mm çap x 300 mm uzunluğunda ince cidarlı cam bir silindirdir. İçerisinde ısıtıcı ve kondenser bulunur.
- Isıtıcı Element: 300 W yüksek güç değerine sahip ince ısıtıcı uniform bir yüzey sıcaklığı vermek için, ince cidarlı bakır bir manşon şeklinde kalıpta dövülür. Etkin ısıtıcı yüzey alanı yaklaşık olarak 13 cm<sup>2</sup>’dir.

- Kondenser: 9 adet nikel kaplı bakır tüplerden oluşmuş bobinlerdir. Ana yüzey alanı yaklaşık olarak  $0,032 \text{ m}^2$ 'dir.
- Değişken Transformatör: Isıtıcı elemente istenilen ısı değerini verebilmek için kullanılır.
- Doldurma ve Boşaltma Musluğu: Silindirin alt kısmında bir uç noktasına bağlanmıştır. Sıvıyı doldurmak ve boşaltmak için kullanılır.
- Voltmetre ve Ampermetre: Isıtıcı elemente elektrik girişini ölçmek için kullanılır. Voltmetrenin ölçüm aralığı 0-250 V, amperin ölçüm aralığı 0-3 A'dir.
- Sıcaklık Göstergesi: Isıtıcı elementin yüzey sıcaklığını için  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  artışlarla sıcaklığı tek bir değer olarak dijital olarak gösterir.

Cam Termometreler:  $0-50 \text{ }^\circ\text{C}$  arası ölçüm yapan 150 mm uzunluğunda 4 tane termometre bulunur. Bunların ölçtüğü sıcaklıklar;

- i. Suyun giriş ve çıkış sıcaklığı,
- ii. Sıvı sıcaklığı,
- iii. Buhar sıcaklığı,

- Manometre (Basınç Ölçer):  $-100-250 \text{ kN/m}^2$  ölçüm aralığında odadaki basıncı gösterir.

**\*Mutlak basınç= manometrik basınç + atmosferik basınç**

- Su Akış Saati (Sayacı):  $0-50 \text{ g/s}$  aralığına sahiptir. Paslanmaz çelik şamandıra ve kontrol vanası bulunan konik camlı tüp şeklindedir.

## **KAYNAMA**

Pek çok uygulama alanında sıcak bir ortamdan soğuk bir ortama ısı transferi gerçekleştiğinde kaynama ve yoğunlaşma olayları gözlemlenir. Örneğin, buhar tesislerinde termal ve nükleer güç üretiminde, soğutmada, arıtmada ve ısı geçişinin olduğu yerlerde karşılaşılır.

Doyma sıcaklığındaki bir sıvı daha yüksek sıcaklıktaki bir katı yüzeyle temas ettiği zaman sıvıya ısı transfer edilir ve sıvı halden buharlaşmaya doğru hal değişimi olur.

Bu ısı transferinin yapısı ve oranı metal yüzeyinin sıcaklığı ile artan sıvı sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının da artmasıyla önemli oranda değişir.

Kaynamanın herkes tarafından bilinmesine rağmen, buhar kabarcıklarının oluşumu oldukça ilgi çekici ve karmaşık bir süreçtir.

Yüzey geriliminden dolayı kabarcık içerisindeki buharın basıncı çevredeki sıvının basıncından daha yüksek olur. Buhar kabarcıklarının çapı küçüldüğü zaman basınç farkı artar ve kabarcık çok genişlediği zamanda basınç farkı önemsiz bir değer alır.

Bununla birlikte, kabarcık küçük bir şekle geldiğinde fark edilebilir bir basınç farkı oluşur.

Kabarcığın içindeki basınç çevredeki sıvının sıcaklığına uygun bir buhar basıncı değerindedir. Bundan dolayı kabarcıklar oluşmadığı zaman (ya da çok küçük olduğunda) ısı transferi yüzeyinin bulunduğu bölgedeki sıvı sıcaklığı için sıvının büyük kısmının sıcaklığının üzerinde daha iyi olması mümkündür. (Serbest sıvı-buhar ara yüzeyinde basınçla uygun doyma sıcaklığında bu olayın olması daha yakındır.)

Kabarcıkların oluşması normal olarak yukarıda sözü edilen kısmındaki kaynamayla ortaktır.

### **Taşınım ile Kaynama**

Isıtılan metal yüzeyin sıcaklığı sıvının doyma sıcaklığından biraz daha fazla sıcaklıkta olduğunda buhar kabarcıklarının oluşumu için yeterli buhar basıncı mevcut değildir. Yerel olarak ısınan sıvı genişler ve genişleyen sıvı buharlaşmanın başladığı ve ısı dengenin yeniden elde edildiği sıvı-buhar ara yüzeyine konveksiyon akımları ile taşınır.

Bundan dolayı, bu şekilde buharlaşma küçük sıcaklık farklarında meydana gelir ve kabarcık oluşumu olmaz.

### **Kabarcıklı Kaynama (Çekirdekli Kaynama)**

Metal yüzey daha fazla sıcaklıklara sahip oldukça buhar basıncı aşırı olarak yerel sıvı basıncının üzerine yükselir ve sonuçta kabarcıklar oluşur. Bir kabarcık oluşur oluşmaz hızlıca genişler. Kaldırma kuvveti yüzeyden kabarcıkları kaldırır ve başka kabarcıklar oluşmaya başlar.

Kabarcıklı (çekirdekli) kaynama güçlü kabarcık oluşumu ve türbülans ile tanımlanır. Pratik uygulamalarda kaynama hemen hemen daima bu şekilde gerçekleşir.

### **Film Kaynaması**

Isıtıcı yüzeyinde çok hızlı bir şekilde buhar kabarcığı üretildiğinden, ısıtıcı yüzeyinin büyük bölümü buharla temas etmeye başlar. Sıcaklık artarken kritik yüzey-sıvı sıcaklığı değerine erişildiğinde ısı akışı maksimum değerine erişir ki bu noktaya kritik nokta, bu noktadaki ısı

akısı değerine de kritik ısı akısı denir. Bu kritik noktadan sonra, ısıtıcı yüzeyinde kabarcıklar o kadar hızlı üretilmektedir ki ısıtıcı yüzeyinin önemli bir kısmı adeta bir buhar örtüsü ile kaplanmış gibi gözükür. Bunun sonucu olarak da buharın ısı iletim katsayısının, sıvının ısı iletim katsayısından çok daha küçük olması nedeniyle, bu bölgede sıcaklık artarken hem ısı taşınım katsayısı hem de ısı akısı azalır. Buhar örtüsünü oluşturan film zaman zaman yırtılıp serbest yüzeye doğru hareket ettiğinden buradaki film yapısı bir bakıma kararsız bir yapıdır. Belirli bir noktada yüzeydeki buhar örtüsü kararlı bir hal alır ve bu noktada ısı akısı en küçük değerini alır. Çünkü Leidenfrost noktası olarak adlandırılan bu noktada ısı, ısıtıcıyı kaplamış gibi gözükürken buhardan sıvıya büyük ölçüde iletim yoluyla geçer. Bu noktadan itibaren, ısı geçişinde ışınım mekanizmasının önem kazanması nedeniyle, artan sıcaklık ile ısı akısı tekrar artmaya başlar. Isıtıcı yüzeyinde çok hızlı bir şekilde buhar kabarcığı üretildiğinden yüzey adeta kararlı bir buhar örtüsü tarafından kaplanmış gibi gözükür ve bu bölge aynı zamanda kararlı film kaynaması bölgesi olarak da isimlendirilir.

### **Kaynamadaki 3 Durumun Deneysel Olarak Gösterimi**

Elektrik ve su girişı açılır ve her ikiside düşük değerlerde olacak şekilde ayarlanır. Dijital termometrenin dengesi sağlanır. Sık aralıklarla sıvının sıcaklığı gözlemlenir.

Isıtıcının çevresindeki sıvının durumu dikkatlice izlenir. Bu sırada konveksiyon akımları gözlemlenecek ve aynı zamanda düşük hızda olmasına rağmen buharlaşmanın oluştuğunu gösteren kondenser sargılarında sıvının biriktiğı ve damlamanın olduğu görülecektir. Soğutma suyunun debisi ayarlanarak buhar basıncı istenilen her sabit değerde tutulur ve güç artırılır.,

Kabarcıklı (çekirdekli) kaynama daha sonra başlayacak ve kaynama tam olarak görülene kadar artacak ve sıvı ile metal arasındaki ortalama sıcaklık farkı  $<20$  K olacaktır.

Güç girişinin değeri artırılır ve 200-300 watt arasında kaynamanın yapısı görülecek ve aynı zamanda metal-sıvı sıcaklık farkı hızlı bir şekilde yükselecek. Buharlaşma oranı daha düşük bir seviyeye düşer ve su akış oranı daimi (kararlı) bir basınç değerine ulaşmak için tekrar azaltılır. Elektrik girişı yaklaşık 60 watt'a düşürülmelidir. Isıtıcı yüzeyin dikkatli bir şekilde gözlemlenmesi ile hemen hemen bozulmayan bir buhar yüzeyin kapladığı görülecektir ve bu ısı transfer oranının azalmasının sonucudur.

Giriş elektrik gücü sıfıra düşürülür. Metal-sıvı sıcaklık farkı yaklaşık 40 K'e düştüğünde birdenbire kaynamanın güçlü bir şekilde film kaynamasından kabarcıklı kaynamaya tekrar dönüşür.

## Denevin Yapılışı

Bu deneyin yapılması sırasında ilk olarak elektrik ve su girişı açılarak cihaz çalıştırılır. Başlangıçta cihaza verilen elektrik ve su girişı düşük ayarlarda olacak şekilde ayarlanır. Daha sonra kaynama aşamalarının elde edilmesi için düşük güçlerden daha yüksek güçlere doğru kademe kademe cihaza verilen güç değerleri arttırılır. İçerideki sıcaklığın ve basıncın iyi bir şekilde değişimini gözlemleyebilmek için su debisi sabit oranda tutulur. Ayarlanan her yeni güç değerinde silindir içerisindeki sıvının durumu ve sıcaklıklar gözlemlenir ve not edilir.

## Yapılan Deneysel Gözlemler ve Alınan Değerler

<b>Deney No</b>							
<b>Veriler</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Su Debisi (g/s)	10	10	10	10	10	10	10
Manometrik Basıncı (kN/m <sup>2</sup> )	1	7	30	32	38	30	28
Mutlak Basıncı (kN/m <sup>2</sup> )	101	107	130	132	138	130	128
Gerilim (Volt)	42	55	85	105	128	150	40
Akım (Amper)	0,45	0,8	1,2	1,5	1,3	2,12	0,56
Su Giriş Sıcaklığı (°C)	18	17	17	17	17	17	17
Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	18,5	17,5	19	21	23	19	18
Metal Yüzey Sıcaklığı (°C)	51	50	56	58	60	232	50
Sıvı Sıcaklığı (°C)	20	35	42	43	44	42	42
Buhar Sıcaklığı (°C)	19	19	19	19	20	20	19

30 watt güç girişı ve 10 g/s su debisi cihaza uygulanır. Sistem dengeye gelene kadar beklenir. Sistemin dengeye gelmesi dijital termometreden okunan sıcaklığın belirli bir değerde kalmasıdır. Yapılan deney sonucu konveksiyon akımlarının oluştuğu ve bu akımların düşük hızda olmasına rağmen odanın camlarından bir buharlaşmanın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Buharlaşmanın gerçekleşmesiyle kondenser sargılarında yoğuşmanın

gerçekleştiğini gösteren damlacıkların oluştuğu gözlemlenmiştir. Fakat henüz yoğunlaşma miktarı düşüktür. Sıvı ısındıkça genişliyor ve ısınan sıvı konveksiyon akımları ile sıvı-buhar ara yüzeyine taşınır. Yani 1 nolu deney kaynamanın doğal taşınım olan şeklidir. Güç arttıkça metal yüzey sıcaklığı ve sıvının sıcaklığı da artmıştır. Aradaki sıcaklık farkının artmasıyla ısı transferi oranı da değişir. Artan güç değerleri ile yüzey sıcaklığının artması buhar basıncını da arttırmaktadır. Buhar basıncının artması kızma farkını artırır ve kabarcık oluşmaya başlar. 2 nolu deneyde bu şekilde kabarcık oluşumları başlamıştır. Daha sonraki 3 ve 4 nolu deneylerde ise kabarcık oluşumu gittikçe artmıştır. Burada oluşan kabarcıklar sıcaklığın artmasıyla genişliyor ve kaldırma kuvveti ile kabarcıklar yüzeyden ayrılıyor ve yüzeyde yeni kabarcıkların oluşumu gerçekleşiyor. Kabarcıklardaki artış kabarcıkların etkileşmesi ve birleşmesine neden olmaktadır. 5 ve 6 nolu deneylerde sıcaklık artmıştır ve 6 nolu deneyde kritik yüzey sıcaklığının üzerine çıkmıştır. Bu şekilde sıcaklığın artması kabarcık oluşumunu çok fazla hızlandırmıştır ve yüzeyi ıslatmayan buhar örtüsü oluşmuştur. 7 nolu deneyde olduğu gibi elektrik gücünün azaltılması ile film kaynaması gerçekleşir. Gücün azalması ısı akısının değerinin azalmasına yol açtığı için yüzey tamamen bir buhar örtüsü ile kaplanmıştır. Buhar filminin taşıdığı sıvı damlacıkları, yüzey etrafında hareket ederken yavaşça buharlaşır. Elektrik gücü sıfıra düşürüldüğünde ise sıcaklık farkı 40 K'lere düştüğünde birdenbire kaynama çok güçlü bir şekilde gerçekleşir ve bu şekilde film kaynamasından kabarcıklı kaynamaya dönüşüm olur.

### **Sabit Basıncıdaki Yüzey Isı Transfer Katsayısının ve Isı Akısının Hesaplanması**

Sabit bir basıncın etkisi altında gerçekleşen kaynama olayında yüzey ısı transfer katsayısının ve ısı akısının hesaplanması ve basıncın ve gücün bunlar üzerindeki etkisi incelenir.

### **Denevin Yapılışı:**

Elektrik gücü öncelikle düşük bir değerde ayarlanır. Daha sonra su akış hızının ayarlanması ile içeride belirli bir basınç oluşturulur. İlk başlangıç için bu değerlerde belirli bir şart yoktur. Önemli olan ilk ayarladığımız debi ve sıcaklığın etkisiyle içeride herhangi bir değerde basınç oluşmaktadır. Verilen ilk güç değeri ve debi ayarıyla silindirik cam odanın içinde oluşan buhar basıncı basınç göstergesinden okunur ve not alınır. Sonra sistemin gücü artırılır. Bu sırada önemli olan basıncı ilk okunan değerde sabit tutacak debinin ayarlanmasıdır. Gücün artırılması sonucu içerideki sıvının sıcaklığı artar ve buna bağlı olarak basınçta artar. Bu basıncın artmasını engelleyip sabit bir değerde tutmak için de su akış hızının artırılması ve içerinin daha fazla soğutulması gerekir. Kısacası basıncın sabit değerde kalması için kondenser sargılarında dolaştırılan suyun debisi artırılır. Bu ayarlamaların sonucunda akış daimi olduğunda 5 dk beklenir ve sistem dengeye gelince gözlem sonuçları not alınır ve başka deneyler yapılarak aynı işlemler tekrarlanır.

## Hesaplamalar

Isı transferinin gerçekleştiği kaynama olayında yüzey ısı transferi katsayısının ve ısı akısının hesaplanmasında aşağıdaki formüller kullanılır;

▪ Isı Transfer Oranı :  $Q = E \cdot I$  [Watt]

▪ Isı Akısı :  $\Phi = \frac{Q}{A}$  [kWatt/m<sup>2</sup>]

$A = \text{Isı transfer yüzey alanı} = 1.3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

▪ Yüzey Isı Transfer Katsayısı:  $U = \frac{\Phi}{\Delta t}$  [kWatt/m<sup>2</sup>K]

▪ Sıcaklık Farkı :  $\Delta t = t_m - t_L$

Sıcaklık Farkı= Metal yüzey sıcaklığı – Sıvı sıcaklığı

## DeneySEL Ölçümler ve Hesaplamalar

Yapılan deneyde okunan manometrik basınç= 5 kN/m<sup>2</sup> dir.

Mutlak basınç= manometrik basınç+atmosferik basınç

Atmosferik basınç=1 bar = 100 kN/m<sup>2</sup>

Mutlak Basınç = 100+5 = kN/m<sup>2</sup> basınç değeri tüm deneylerde sabit tutulmuştur.

DENEY NO	1	2	3	4	5
VERİLER					
Manometrik Basınç (kN/m <sup>2</sup> )	5	5	5	5	5
Mutlak Basınç (kN/m <sup>2</sup> )	105	105	105	105	105
Gerilim (Volt)	60	70	90	100	110
Akım (Amper)	0,85	1	1,3	1,4	1,55
Metal Yüzey Sıcaklığı t <sub>m</sub> (°C)	51	52	53	53	54
Sıvı Sıcaklığı t <sub>L</sub> (°C)	39	39	39	39	39
Su Giriş Sıcaklığı t <sub>i</sub> (°C)	17	16,5	17	16,5	16,5
Su Çıkış Sıcaklığı t <sub>o</sub> (°C)	18	18	18,5	18	18
Buhar Sıcaklığı t <sub>b</sub> (°C)	18	18	18	18	18
Su Debisi (g/s)	4	12,5	20	30	50



1 nolu deney için hesaplama yapılırsa:

Gerilim : E = 60 Volt

Akım : I = 0,85 Amper

Sıvı Sıcaklığı :  $t_L = 39 \text{ }^\circ\text{C}$

Metal sıcaklığı:  $t_m = 51 \text{ }^\circ\text{C}$

- Isı transfer oranı;

$$Q = E \cdot I$$

$$Q = 60 \cdot 0,85 = 51 \text{ Watt}$$

- Isı Akısı;

$$\Phi = \frac{Q}{A}$$

$$\Phi = \frac{51}{1,3 \cdot 10^{-3}} = 39,2 \text{ kW/m}^2$$

A= Isı transferinin yüzey alanı =  $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

- Sıcaklık Farkı;

$$\Delta t = t_m - t_L$$

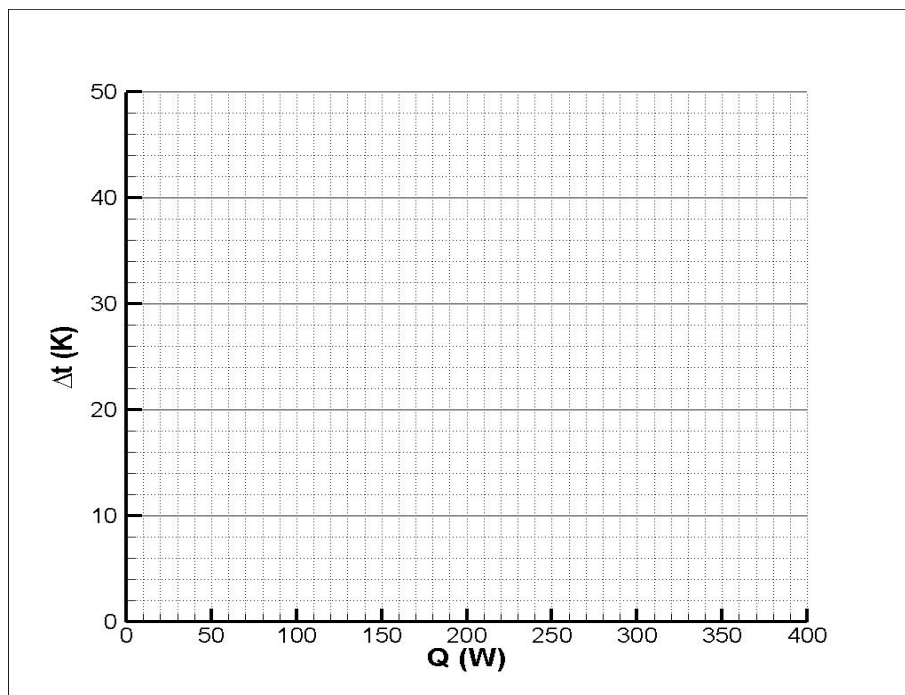
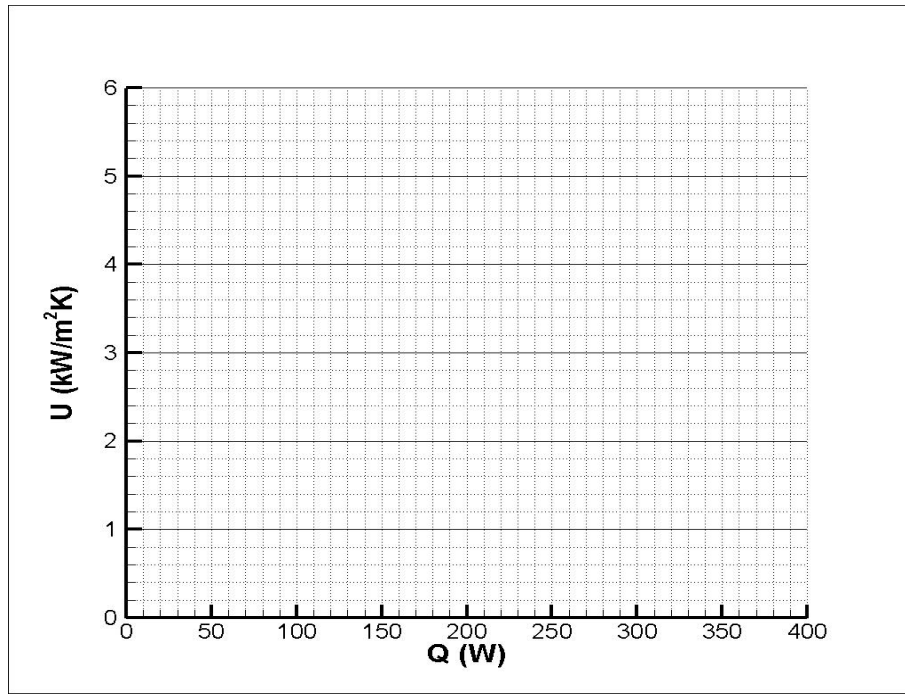
$$\Delta t = 51 - 39 = 12 \text{ K}$$

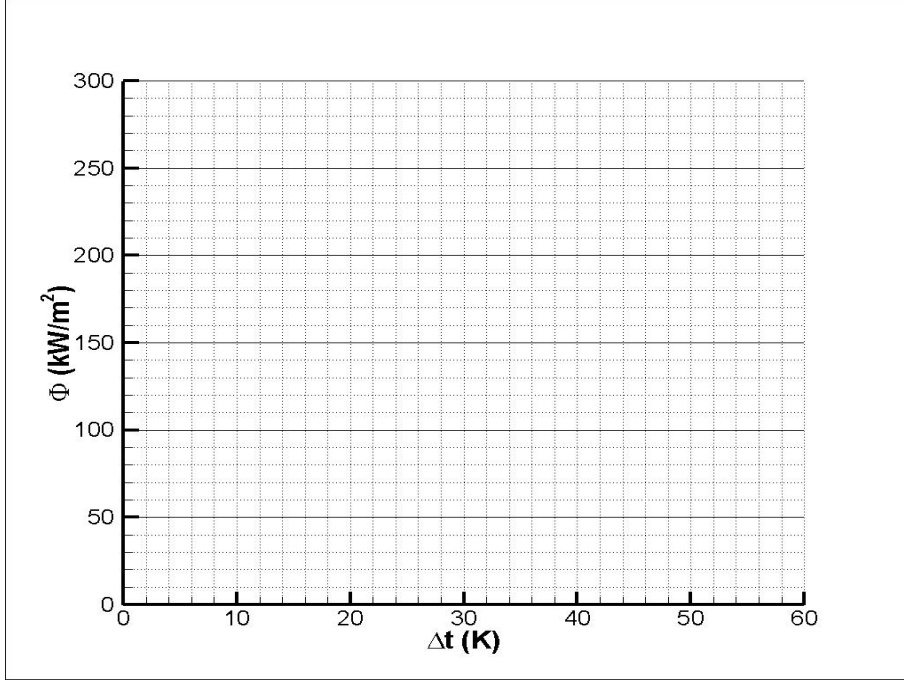
- Yüzey Isı Transfer Katsayısı;

$$U = \frac{\Phi}{\Delta t}$$

$$U = \frac{\Phi}{\Delta t} = 3,3 \text{ kW/ m}^2\text{K}$$

## Grafikler





**Deney Sonuçlarının Yorumlanması**

.....

.....

.....

.....

.....

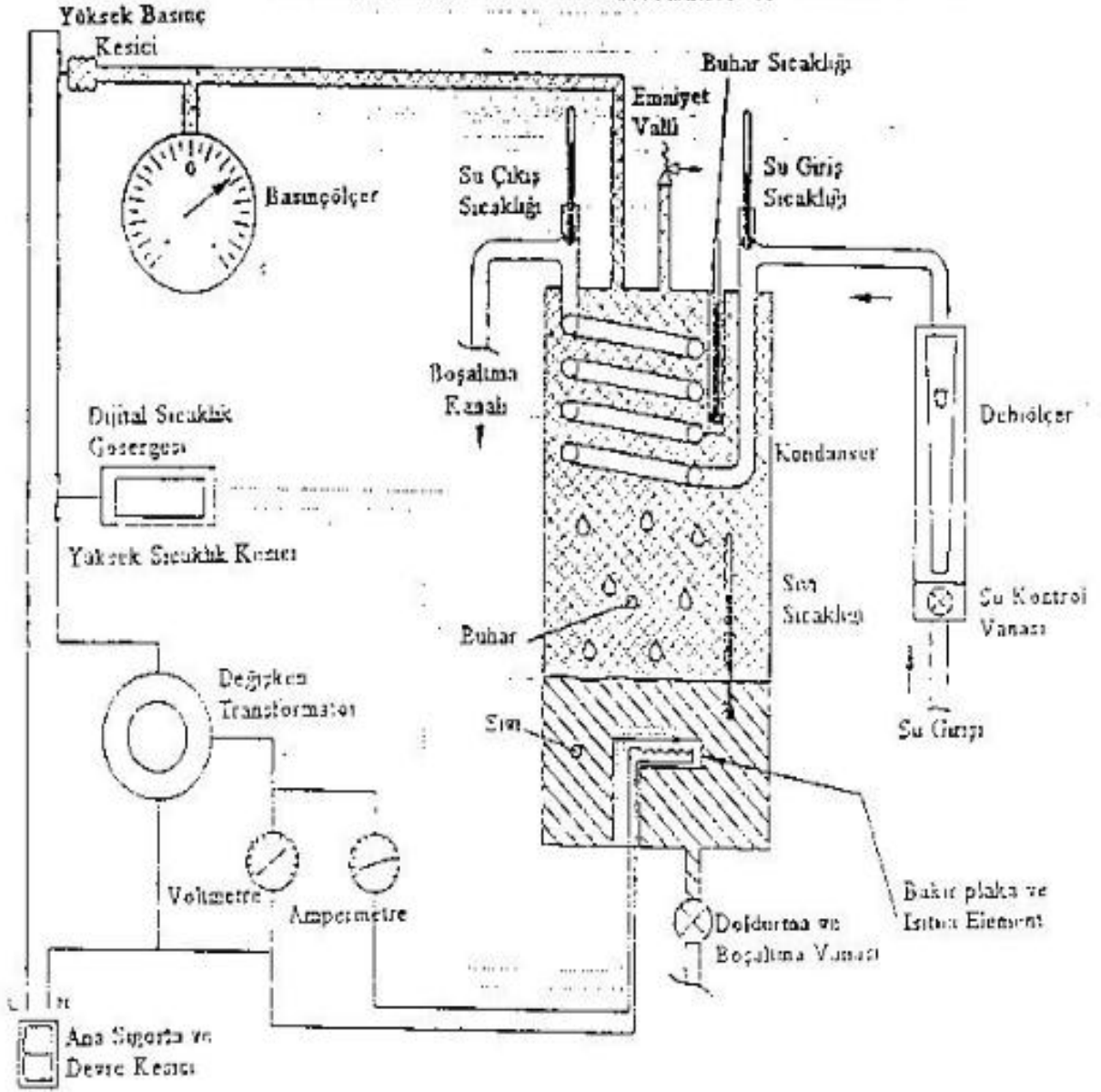
.....

.....

.....

.....

## KAYNAMALI ISI TRANSFER CİHAZI



Şekil 1. Kaynamalı ısı transfer cihazının şematik diagramı