MAK-LAB010

KAYNAMADA ISI TRANSFERİ DENEYİ

1.GİRİŞ

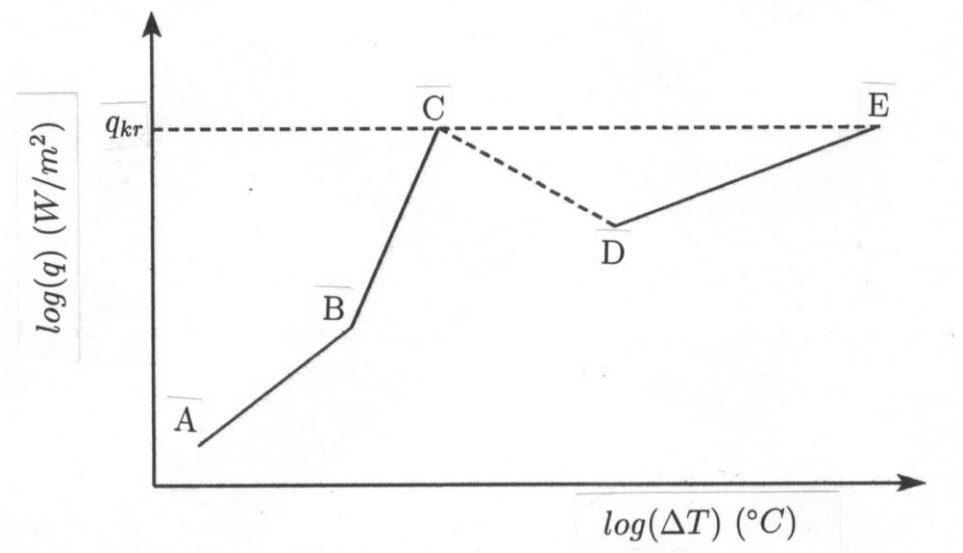
Günümüzde sıvıları bnhara dönüştürme endüstride en çok rastlanan işlemlereden biridir. Buhar kazanları ve buharlaştırıcılar (evaporatörler) sıvıların buhara dönüştüğü sistemlere verebileceğimiz en belirgin örneklerdir.

Bir buhar kazanında yanma ürünü sıcak gazlar borunun bir yüzeyi ile, buhara dönüştürülmek istenen su ise borunun diğer yüzeyi ile temas halindedir. Yanma ürünü sıcak gazlar boru cidarını ısıtmakta, su da sıcak boru cidarından ısı alarak buharlaşmaktadır. Bir buhar kazanında buharlaşan su miktarını artırmak için borunun yüzey sıcaklığı istenildiği kadar yükseltilebilir mi? Bu soruyu kaynamada ısı transferi olayını öğrenmeden cevaplandıramayız.

İlk bakışta cidar sıcaklığı yükseldiğinde ısı transferinin sürekli artacağı düşünülebilir. Fakat gerçekte cidar sıcaklığı ile su sıcaklığı farkı öyle bir kritik değere gelecektir ki, baca gazlarının cidara verdiği ısının çok az bir kısmı cidardan suya geçebilecek, bu ısının büyük bir kısmı cidar sıcaklığını yükseltmeye yarayacaktır. Boru sıcaklığının çok yükselmesi nedeniyle de malzeme mukavemeti düşecek ve boru tahrip olacaktır. İşte bu kritik durumda baca gazlarından boru cidarına geçen ısı akısına kritik ısı akısı (q_{kr}) denir.

2.KAYNAMADA ISI TRANSFERİ

Bir ısıtıcı yüzeyden doymuş durumdaki bir sıvıya ısı verildiğinde, sıvı kaynamaya başlar. Kaynama, sıvıya verilen q ısı akısına, ve dolayısıyla ısıtıcı yüzey sıcaklığı T_e ile sıvının doyma sıcaklığı T_s arasındaki farka bağlı olarak çeşitli şekillerde olur. Isı akısı ve sıcaklık farkına bağlı olarak görülen çeşitli kaynama bölgeleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1. Tipik havuz kaynaması eğrisi.(Havuz kaynaması)

AB Bölgesi: Bu bölgede ısı transferi, ısıtıcı eleman yüzeyinde ısınan sıvının yükselmesiyle oluşan doğal taşınımla gerçekleşir ve geçen ısının miktarı eleman sıcaklığı ile sıvı sıcaklığı arasındaki farkın fonksiyonudur. Buharlaşma sadece sıvı yüzeyinde meydana gelir. Bu bölgede deney elemanından suya geçen ısı akısı Newton soğuma kanunu olarak bildiğimiz

$$q = h \times \Delta T$$

(1)

bağıntısından hesaplanır. Burada $\Delta T(^oC)$,

$$\Delta T = T_e - T_s$$

(2)

olarak verilen sıcaklık farkı ve h (W/m^2K) ısı taşınım katsayısı olup değeri,

$$h = 0.14 \times k_l \left[\frac{\beta g \Delta T \rho_l^2 \, \mathrm{Pr}_l}{\mu_l^2} \right]^{1/3}$$

(3)

ampirik bağıntısından hesaplanabilir. Son eşitlikteki l indisi doyma durumundaki sıvıya ait büyüklükleri göstermektedir.

BC Bölgesi: Bu bölgede ısıtıcı elemanın yüzeyinde oluşan kabarcıklardan dolayı kabarcıklı kaynama meydana gelir. Isıtıcı eleman yüzeyinden yükselen kabarcıklar ilave akımlar oluşturur ve şekilden de görüldüğü gibi bu bölgede ısı transferi şiddetlenir. Bu bölgede ısı akısı, sıcaklık farkına bağlı olarak

$$q = \mu_l h_{fg} \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{1/2} \left[\frac{C_{pl} \Delta T}{0.006 \times h_{fg} \, \mathrm{Pr}_l} \right]^3$$

(4)

bağıntısından hesaplanabilir. Bu eşitlikte de l indisi sıvıya ait, v indisi de buhara ait büyüklükleri göstermek için kullanılmıştır ve h_{fg} buharlaşma gizli ısısını, σ da yüzey gerilmesini göstermektedir.

C Noktası: Bu noktada ısı akısı bir maksimumdan geçer ve bir kritik ΔT sıcaklığı mevcuttur. C noktası geçildiğinde ısıtıcı elemandan sıvıya ısı transferi azalır. Isıtıcının gücü de bu azalmaya paralel olarak düşürülmediği takdirde elemanın sıcaklığı E noktasına karşılık gelen sıcaklığa yükselir. Bu sıcaklık muhtemelen elemanın ergime sıcaklığının üstündedir. Şekilden görüldüğü gibi ısı transferi için en uygun şartlar BC bölgesinde olup C noktasının hemen altındadır.

C noktasına karşılık gelen kritik ısı akısı literatürde,

$$C_{kr} = 0.12 \times (L^*)^{-1/4} \qquad L^* = \frac{L}{L_c} \qquad L_c = \left[\frac{\sigma}{(\rho_l - \rho_v)g}\right]^{1/2}$$

(5)

olmak üzere

$$q_{kr} = C_{kr} h_{fg} \left[\sigma \rho_v^2 (\rho_l - \rho_v) g\right]^{1/4}$$

(6)

eşitliğiyle verilmektedir. Burada *L* silindirik deney elemanı için silindir yarıçapına eşittir.

CD Bölgesi: Bu bölgede kararsız film buharlaşması görülür. Burada hem kabarcık buharlaşması hem de film buharlaşması olmaktadır. Yüzeyi kısmen kaplayan buhar filmi nedeniyle ısı transferinde kötüleşme gözlenmektedir.

DE Bölgesi: Bu bölgede ısıtıcı eleman etrafında buhar filmi kararlı hale gelmiştir. Bu buhar filmi, ısıtıcı yüzeyini sıvıdan izole etmektedir. *DE* bölgesinde eleman sıcaklığı yükseldikçe ısı transferinde ışınım önemli bir rol oynamaya başlar.

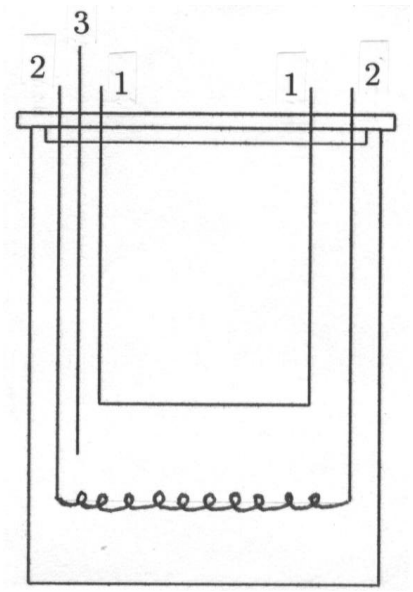
3. DENEY DÜZENEĞİ

3.1. Deneyin Amacı

Deneyin amacı, elektrikle ısıtılan bir ısıtıcı elemandan kaynama noktasındaki suya ısı geçişini incelemek ve transfer edilen ısının ısıtıcı eleman sıcaklığıyla su sıcaklığı arasındaki farkla değişimini belirlemektir.

3.2. Deney Düzeneğinin Tanıtılması

Deneyde, saf su dolu bir cam kap içerisine yerleştirilmiş ince bir ısıtıcı tel ile kaynama durumundaki su arasındaki ısı alış verişinin mekanizması incelenmektedir. Isıtıcı tel saf nikelden yapılmıştır. Nikel elemanın çapı *d = 0.26 mm* ve uzunluğu *l = 45 mm*'dir. Isıtıcı telde harcanan elektrik enerjisi, diğer bir deyişle transfer edilen ısı, ampermetre ve voltmetre yardımıyla ölçülmektedir. Isıtıcı elemanın gücü ayarlanabilmektedir. Kap içerisinde, suyu ısıtıp kaynama noktasında tutmak için ek bir ısıtıcı vardır. Kap içerisindeki su sıcaklığı hassas bir termometre ile ölçülmektedir.

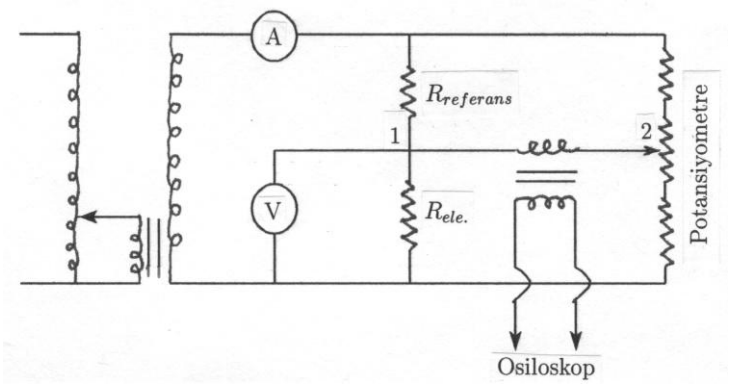


1-1 Nikel eleman **2-2** Ek ısıtıcı **3-3** Termometre

Şekil 2. Eleman kabı ve ısıtıcılar

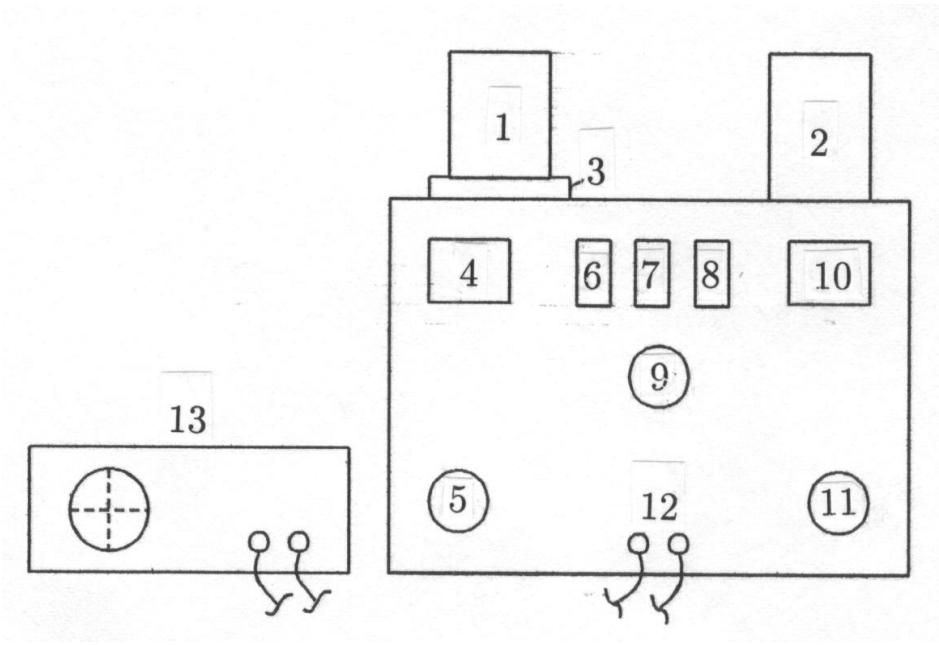
Isıtıcı elemanın sıcaklığı direnç termometresiyle ölçülmektedir. Direnç termometresinin çalışma prensibi elektriksel direncin sıcaklıkla değişmesi esasına dayanır. Şekil 3'te eleman sıcaklığının ölçülmesinde kullanılan alternatif akım köprü devresi gösterilmiştir.

Su ile soğutulan bir sabit direnç referans olarak kullanılmakta ve alternatif akım köprü devresinin dengeye getirilmesi hassas bir potansiyometre ile sağlanmaktadır. Köprünün denge durumu bir osiloskop yardımıyla tespit edilmektedir. Şekildeki *1* ve *2* noktalarındaki gerilimlerin eşit olması halinde osiloskoptaki sinüzoidal dalga düz bir çizgi haline gelmektedir. Bu da değişken direncin yani potansiyometrenin gerilimleri eşitleyecek bir değere ayarlanmasıyla olmaktadır.



Şekil 3. Sıcaklık ölçümünde kullanılan elektrik devresi

Kaynama esnasında ek ısıtıcı ve eleman üzerinde biriken kabarcıkların ayrılmasını ve kap içerisindeki sıcaklık dağılımının mümkün olduğunca üniform olmasını sağlamak için manyetik bir karıştırıcı kullanılmaktadır. Şekil 4'te deney düzeneğinin şematik görünüşü verilmiştir.



1 Elemen kabı
2 Sabit direnç kabı
3 Karıştırıcı
4 Ampermetre
5 Akım kontrolü
6 Ana anahtar
7 Karıştırıcı anahtarı
8 Ek ısıtıcı anahtarı
9 Potansiyometre
10 Voltmetre
11 Ek ısıtıcı kontrolü
12 Osiloslop çıkışı
13 Osiloskop

Şekil 4. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

3.3. Deneyin Yapılışı

Deney iki aşamada yapılmaktadır. Birinci aşamada potansiyometrede okunan skala değeri eleman sıcaklığına göre kalibre edilmekte, ikinci aşamada ise kaynamada ısı transferi incelenmektedir.

3.3.1. Potansiyometrenin Kalibre Edilmesi

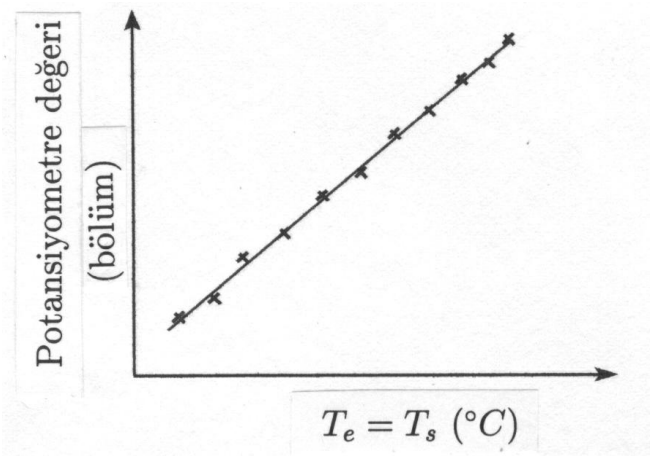
Potansiyometre, eleman sıcaklığının belirlenebilmesi için *°C/bölüm* şeklinde kalibre edilmelidir. Kalibrasyon deneyinde aşağıdaki sıra izlenmelidir:

* Eleman kabının *2/3'ü* saf su ile doldurulup karıştırıcının üzerine konur. Sabit direnç kabına su giriş ve çıkış hortumları bağlanır ve bu kaba yaklaşık *1 litre/dak* debisinde bir su akışı sağlanır. Deney başlangıcında bütün kontrol edilebilir değişkenlerin sıfırda olmasına dikkat edilmelidir. Deney düzeneği şebekeye bağlanır ve ana anahtar açılır.
* Başlangıçta *0.5 V/cm'ye* ayarlanan osiloskop, *INTENSITY* düğmesinin saat ibresi yönünde döndürülmesiyle çalıştırılır. Bu arada sinyal lambasının yanması beklenmelidir.

* Elemandan geçen akımın şiddeti *1 Amper'e* ayarlanır ve alternatif akım köprü devresi potansiyometre ile dengeye getirilir. Denge yaklaştıkça osiloskopun duyarlılığı artırılır. Denge halinde osiloskoptaki dalga şekli düz çizgiye yaklaşacaktır.

* Denge esnasında potansiyometreden okunan değer ve su sıcaklığı belirlenir. Genellikle elemandan geçen akım *1 A* iken nikel elemanın sıcaklığı su sıcaklığına yaklaşık olarak eşittir.

* Bundan sonra ek ısıtıcı çalıştırılır ve su sıcaklığı *10°C* arttığında ek ısıtıcı kapatılır. Bu durumda da elemandan geçen akımın *1 A* olduğu kontrol edilir ve alternatif akım köprü devresi tekrar dengeye getirilerek potansiyometre değeri ve su sıcaklığı belirlenir.



Şekil 5. Potansiyometre kalibrasyon eğrisi

Bu işleme suyun sıcaklığı *100°C* oluncaya kadar devam edilir. Elde edilen sonuçlar bir grafikte gösterildiğinde kalibrasyon eğrisi *°C/bölüm* şeklinde belirlenmiş olur. Elde edilen bu kalibrasyon eğrisi *130°C'ye* kadar ihmal edilebilir bir hata ile ekstrapole edilebilir.

3.3.2. Kaynamada Isı Transferi Deneyi

* Su sıcaklığı kaynama noktasına yükseltildikten sonra ek ısıtıcı gücü minimum kabarcık verecek şekilde düşürülür.

* *1 A'lik* akım durumunda gerilim, potansiyometrenin denge değeri ve su sıcaklığı belirlenir. Deney esnasında su sıcaklığı daima *100°C'de* tutulmalıdır. Aksi halde deneye ara verilerek su sıcaklığının *100°C'ye* çıkması sağlanmalıdır. Köprü devresinin dengelenmesi sırasında ek ısıtıcı kapatılmalıdır.

* Bu işleme nikel eleman ergiyinceye kadar elemandan geçen akım *1'er Amper* aralıklarla artırılarak devam edilir.

* Deney esnasında nikel elemandan birim zamanda transfer edilen ısı (ısıtıcının gücü) $\dot{Q}$ *(W)*;

$$\dot{Q} = I \times V \tag{7}$$

eşitliğinden hesaplanır. *I(Amper)* deney elemanından geçen elektrik akımı, *V(Volt)* elemanın uçları arasındaki gerilim olmak üzere

Deney elemanının birim yüzeyinden transfer edilen ısı (ısı akısı) $q(W/m^2)$ ise

$$q = \frac{\dot{Q}}{F}$$

(8)

bağıntısından bulunur. Burada $F(m^2)$ elemanın yüzey alanı olup, elemanın çapı *0.26 mm* ve uzunluğu da *45 mm* olarak verilmiştir. Bu durumda yüzey alanı

$F = \pi dL = 3.14 * 0.26 * 10^{-3} m * 45 * 10^{-3} m = 3.67566 * 10^{-5} m^2$ olur

* Nikel deney elemanının sıcaklığı, ölçülen potansiyometre değerine göre potansiyometre kalibrasyon eğrisinden yararlanılarak belirlenir.

4.DENEY RAPORUNDA İSTENENLER

Bir deney raporunun kabul edilebilir olması için aşağıda belirtilen kısımları kısa, öz ve eksiksiz bir biçimde kapsaması gerekir:

1. Deneyin amacının belirtilmesi.
2. Deneyde hangi büyüklüklerin nasıl ölçüldüğünün belirtilmesi.
3. Ölçülen ve hesaplanan değerlerin tablo halinde verilmesi.
4. Potansiyometre kalibrasyon eğrisinin *bölüm—*T_e*(°C)* koordinatlarında çizilmesi.
5. Kaynama eğrisinin *log(q) — log(*ΔT*)* koordinatlarında çizilmesi.
6. Deney sonuçlarının ampirik bağıntılardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması.
7. Sonuçların yorumlanması.

Tablo 1. Potansiyometre kalibrasyonu ölçüm değerleri

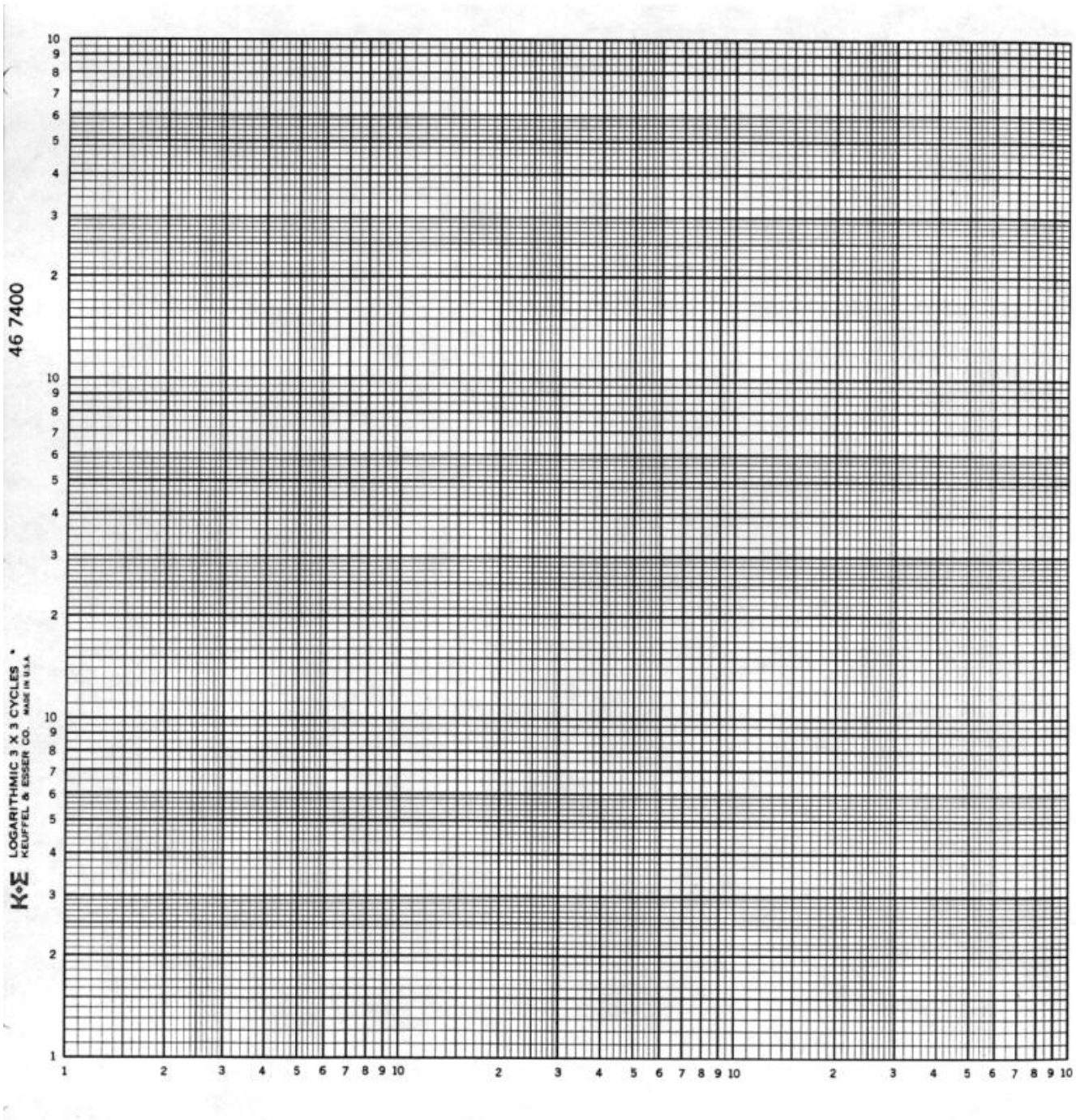
Ölçüm No	$T_e \cong T_s\,(^oC)$	Potansiyometre değeri *(bölüm)*
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Tablo 2. Kaynamada ısı transferi deneyi (ölçülen ve hesaplanan değerler için)

Ölçüm No	I (A)	V (V)	P (bölüm)	$\dot{Q} = I \times V$ (W)	$q = \dot{Q} / F$ (W/m^2)	T_e (^{o}C)	$\Delta T = T_e - T_s$ (^{o}C)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

Tablo 3. Kaynamada ısı transferi deneyi için hesaplanan değerler

Ölçüm No	$\dot{Q} = I.V$ (W)	$q = \dot{Q}/F$ (W/m^2)	T_e $(°C)$	$\Delta T = T_e - T_s$ $(°C)$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				



Şekil 6. Logaritmik ölçekli milimetrik kağıt