



T.C.

**BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**YOĞUŞMA**  
**DENEY FÖYÜ**

## 1. DENEYİN AMACI

- i. Farklı yüzeylerin ısı transfer hızına etkisini göstermek
- ii. Yoğuşma boyunca sıcaklık ile Nusselt sayısının değişimini göstermek

## 2. DENEYİN ÖĞRENME ÇIKTILARI

Bu deneyde, bir pompa, soğutma suyunu iki silindir numunenin (istenilen) herhangi birinde dolaştırır. Numune, manuel olarak çalıştırılan bir valf tarafından seçilir. Isıtıcı batarya kaptaki suyu kaynatır ve buhar silindir numunelerinde yoğunlaşır. Termokupllar tarafından ölçülen su giriş ve çıkış sıcaklık değerleri, ısı transferini belirlemek için kullanılır. Böylece iki farklı numune üzerinde film şeklinde ve damlacık şeklinde yoğuşma gözlemlenerek öğrencilerin her ikisi için de ısı transfer oranlarını karşılaştırarak yorum ve ön tasarımlar yapmasını sağlar.

## 3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

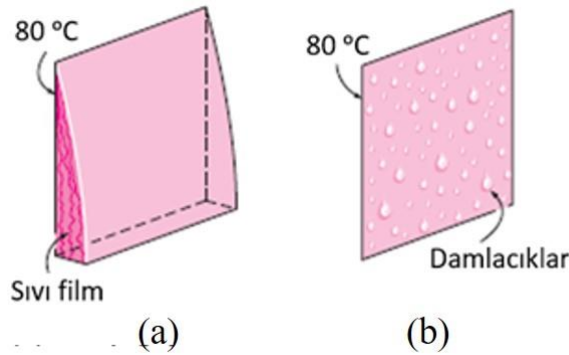
Kaynama katı-sıvı ara yüzünde ve yoğuşma da katı-buhar ara yüzünde gerçekleşen faz değişimi işlemleri olup her iki işlem sırasında da gizli ısı etkisi önemli rol oynamaktadır. Kaynama yoluyla sıvının buhara dönüştürülmesi katı yüzeyden sıvıya ısı verilerek sağlanırken, yoğuşma yoluyla buharın sıvıya dönüştürülmesi buhardan katı yüzeye ısı verilmesi suretiyle gerçekleşir.

Kaynama ve yoğuşma işlemlerinin her ikisinde de akışkan hareketi söz konusu olduğundan, bu işlemler sırasında gerçekleşen ısı alış verişleri taşınım yoluyla ısı transferi kapsamında değerlendirilir. Ancak, bu işlemler sırasındaki faz değişimi nedeniyle katı yüzeyle akışkan arasındaki ısı alış verişinin akışkan sıcaklığını etkilemeden gerçekleşmesi ısı taşınımının diğer türlerine göre farklılık arz etmektedir. Kaynama ve yoğuşmayı gerçekte önemli ve özel kılan şey aslında çok küçük sıcaklık farkları altında yüksek mertebelerde ısı transferinin gerçekleşebiliyor olmasıdır. Gizli ısı ve doğal taşınımın birleşik etkisiyle, kaynama ve yoğuşma işlemleri sırasındaki ısı taşınım katsayıları, faz değişiminin olmadığı durumlardaki ısı taşınım katsayılarına göre çok daha büyük değerler almaktadır.

Bir buharın sıcaklığı doyma sıcaklığının altına düşürüldüğü zaman yoğuşma meydana gelir. Endüstriyel cihazlarda yoğuşma işlemi, buharın soğuk bir katı yüzeyle temas etmesi sonucu gerçekleşir ki bu tür bir yoğuşma yüzey yoğuşması olarak isimlendirilir. Yoğuşma işlemi sırasında

açığa çıkan buharın gizli enerjisi (ısısı) yüzeye geçer ve yüzeyde yoğuşuk oluşur. Bilinen diğer yoğuşma şekilleri homojen yoğuşma ve doğrudan temas yoğuşmasıdır. Bunlardan birincisinde, buharın başka bir gaz içerisinde damlacıklar halinde yoğuşup asılı kalarak sis oluşturması söz konusu iken; ikincisinde, buharın soğuk bir sıvının serbest yüzeyi ile temas etmesi sonucu yoğuşması söz konusudur.

Yukarıda belirtildiği gibi, endüstriyel cihazlarda çoğunlukla karşılaşılan yoğuşma yüzey yoğuşması şeklindedir ve yüzey yoğuşması da film yoğuşması ve damlacık yoğuşması olmak üzere iki farklı şekilde oluşabilir (Şekil 1.)



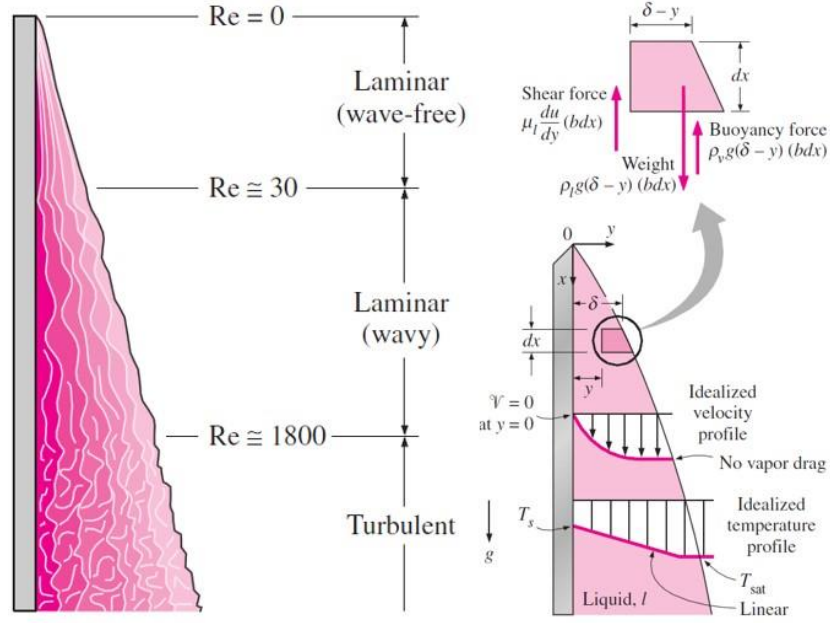
Şekil 1. Yüzey Yoğuşması (a) Film Tipi Yoğuşma (b) Damlacık Tipi Yoğuşma

Film yoğuşması genellikle temiz ve düzgün yüzeylerde meydana gelir ve yoğuşma sıvısı yüzeyi ıslatır. Ardından yerçekiminin de etkisiyle aşağı doğru kayan bir sıvı film oluşturur. Bu film üzerinde yoğunlaşan buhar miktarı arttıkça akış yönünde sıvı filmin kalınlığı artar. Yüzeydeki bu sıvı film kalınlığı katı yüzeyle buhar arasında bir “ sıvı duvar” görevi görerek ısı direnci oluşturur. Bu durumda buhar yoğuşurken salınan “ $h_{fg}$  buharlaşma ısısı” , katı yüzeye ulaşmadan (yani yoğuşmanın gerçekleşeceği soğuk yüzeye) ve öte taraftaki ortama aktarılmadan önce bu direnci geçmek zorunda kalacaktır. Damlacık yoğuşması ise daha çok kirli veya kolay ıslanabilme özelliği taşıyan malzemelerle (silikon, teflon, çeşitli vakslar ve yağ asitleri gibi) kaplanmış özel yüzeylerde meydana gelir. Damlacık oluşumu yüzeydeki çatlak, oyuk ve çukurlarda başlayıp yer çekimi etkisiyle aşağıya doğru kümelenip akma şeklinde devam eder. Böylece boşalttıkları yüzeyin buharla temasını sağlarlar. Bu durumda ısı transferine karşı direnci gösterecek bir sıvı film meydana gelmemiş olur. Sonuç olarak damlacık yoğuşmasında ısı transferi hızları, film yoğuşmasında elde edilenin 10 katından fazladır. Bu nedenle ısı transferi uygulamalarında tercih

edilen yoğuşma tarzı damlacık yoğuşmasıdır. Damlacık yoğuşmasının elde edilmesinden çok uzun süre sürdürülmesi sıkıntılıdır. Buhara katkı kimyasalları katılarak, yüzeylere katkı kimyasalları uygulanarak veya yüzeyler teflon gibi bir polimerle veya altın, gümüş, rodyum, paladyum veya platin gibi bir soy metalle kaplanarak damlacık yoğuşması gerçekleştirilebilir. Ancak kullanılan katkı kimyasalları yüzeyden uçmaya başladıkça bir süre sonra etkinliğini kaybederler.

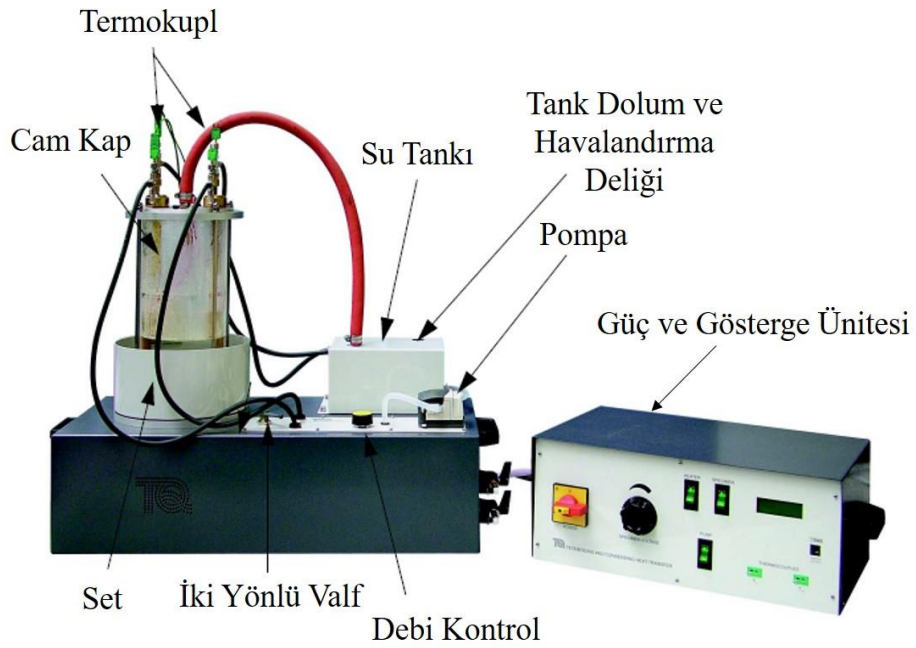
Yoğuşma ister film şeklinde isterse damlacık şeklinde olsun; yoğuşuk, buharla soğutucu yüzey arasında, yoğuşuk kalınlığıyla orantılı bir ısıl direnç oluşturur. Yoğuşuk kalınlığı da, film yoğuşması halinde, akış doğrultusunda ilerledikçe büyüdüğünden endüstriyel uygulamalarda ya kısa düşey yüzeyler, ya da yatay silindir şeklinde yüzeyler tercih edilir. Bu yüzden çoğu yoğuşturucu, içerisinde bir soğutucu akışkan akan yatay boru demetleri şeklinde yapılır ve boruların dış tarafından da yoğuşturulacak buhar geçirilir. Isı transferi açısından damlacık yoğuşması daha etkin olmasına karşılık, yüzeyin sürekli olarak damlacık yoğuşması rejiminde tutulması güç olduğundan, yoğuşturucu tasarım hesaplamaları çoğu zaman film yoğuşması esas alınarak yapılır.

Film yoğuşması, düşey konumlu düzlemsel yüzeylerde, yüzeyin giriş bölgesinde (üst kısımlarda) laminer film yoğuşması ve yüzey yeterince uzun ise ilerleyen kısımlarında türbülanslı film yoğuşması şeklinde olabilirken, bir küre veya yatay bir silindirin dış yüzeyinde laminer film yoğuşması şeklinde olmaktadır.



Şekil 2. Film Tipi Yoğuşma Detayları

#### 4. DENEYİN YAPILIŞI



Şekil 3. Kaynama-Yoğuşma Deney Düzenegi

Şekil 3'te deney düzeneği verilmiştir. Bu deneyde her iki tür yoğuşma da gözlemlenecektir. Bakır yüzeye sahip silindirik düşey numune ile film yoğuşmayı, altın kaplamalı silindirik düşey numune ile damlalı yoğuşmayı gözlemlemek amaçlanmaktadır.

- 1) Kaptaki suyu 10 dakika kadar kaynatın ve suyu boşaltın. Vidaları çözün ve kapağı dikkatlice çıkarın. Yüzeylerde biriken suyu silin.
- 2) Silindir specimen yüzeylerini güzelce temizleyin. Yüzeylerdeki kir veya tortular sonuçları etkileyecektir.
- 3) Kabı, saf su ile cam kabın yan tarafındaki seviye sensörünün seviye işaretinin hemen üstüne kadar doldurun. Aşırı doldurmayın, aksi takdirde su kaynamaya başladığında, su numune yüzeylerine sıçrayacak ve ısı aktarım sonuçlarını etkileyecektir.
- 4) Kapak vidaları ile yerine sıkarak kapağı yeniden takın.
- 5) Su haznesinin yarısını saf suyla doldurun. Tüm boruların doğru şekilde bağlandığından emin olun.
- 6) İki yönlü vanayı, su seçilen test numunesi boyunca yeniden dolaşacak şekilde ayarlayın. Spesifik voltaj kontrolünü çevirin (saat yönünün tam tersine). Termokupl kablolarını bağlayın.
- 7) Kontrol ünitesini ve su ısıtıcısını açın. Suyun en az iki dakika kuvvetli bir şekilde kaynamasına izin verin, böylece buhar havayı kaptan dışarı iter. Su seviyesinin sensörün altına düşmemesine dikkat edin.
- 8) Sirkülasyon pompasını açın. Akış hızı kontrolünü, 250 ml/dak akış hızı verecek şekilde ayarlayın.
- 9) Soğutma suyu ısıtırken 5 °C aralıklarla kaydedin:
- 10)  $T_{in}$  : Specimen su giriş sıcaklığı
- 11)  $T_{out}$  : Specimen su çıkış sıcaklığı
- 12) Specimen giriş sıcaklığı 60 °C'ye ulaştığında deneyi durdurun. Taze soğuk saf su kullanarak ve iki yönlü valfi diğer specimen a geçirerek diğer specimen için deneyi tekrarlayın.

#### **4.1. Hesaplamalarda Kullanılacak Bilgiler**

##### **4.1.1. Hacimsel ve Kütleli Debi**

Ekranında soğutma suyu akışı mililitre/dakika (hacimsel debi) olarak verilir. Ancak hesaplamalarda kilogram/saniye (kütlesel debi) olarak kullanmak gerekir. (*Lütfen gerekli birim dönüşümlerine dikkat ediniz!*)

Kütlesel Debi = Hacimsel Debi  $\times$  Su Yoğunluğu

$$\dot{m} = \dot{V} \times \rho$$

$$\dot{m} = \text{Kütlesel Debi} \quad \text{kg s}^{-1}$$

$$\dot{V} = \text{Hacimsel Debi} \quad \text{m}^3 \text{s}^{-1}$$

$$\rho = \text{Yoğunluk} \quad \text{kg m}^{-3}$$

#### 4.1.2. Isı Transfer Hızı

Yoğuşan buhardan soğutma suyuna aktarılan birim zaman başına enerjidir (Watt). Soğutma suyunun özgül ısı kapasitesinin, sıcaklık değişiminin ve kütle debisinin bir ürünüdür.

Isı Transferi = Kütlesel debi  $\times$  Özgül ısı kapasitesi  $\times$  Soğutma suyu sıcaklık farkı

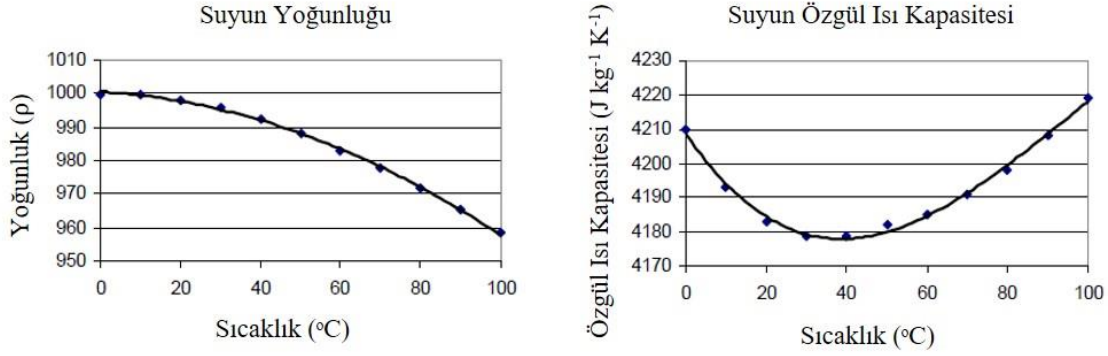
$$\dot{Q} = \dot{m} \times c_p \times \Delta T$$

$$\dot{Q} = \text{Kütlesel Debi} \quad \text{W}$$

$$\dot{m} = \text{Kütlesel Debi} \quad \text{kg s}^{-1}$$

$$c_p = \text{Özgül Isı Kapasitesi} \quad \text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$$

$$\Delta T = \text{Sıcaklık Farkı} \quad \text{°C}$$



**Şekil 4.** Sıcaklığa Bağlı Özgül Isı Kapasitesi ve Yoğunluk Değişimi

Suyun, yoğunluğu ve özgül ısı kapasitesinin sıcaklıkla değişimi de Şekil 4’te verilmiştir.

#### 4.1.3. Isı Transferi Katsayısı

Isı transferi katsayısı silindirik numunelerin yüzey alanıyla ve yüzey üzerindeki sıcaklık değişimiyle ilişkilidir.

$$\text{Isı transfer katsayısı} = \frac{\text{Isı transfer hızı (W)}}{\text{Specimen yüzey alanı (m}^2\text{)} \times \text{Sıcaklık düşüşü (}^\circ\text{C)}}$$

Burada → Sıcaklık Düşüşü = Buhar sıcaklığı – Silindirik Numune Yüzey Sıcaklığı

#### 4.1.4. Nusselt Sayısı

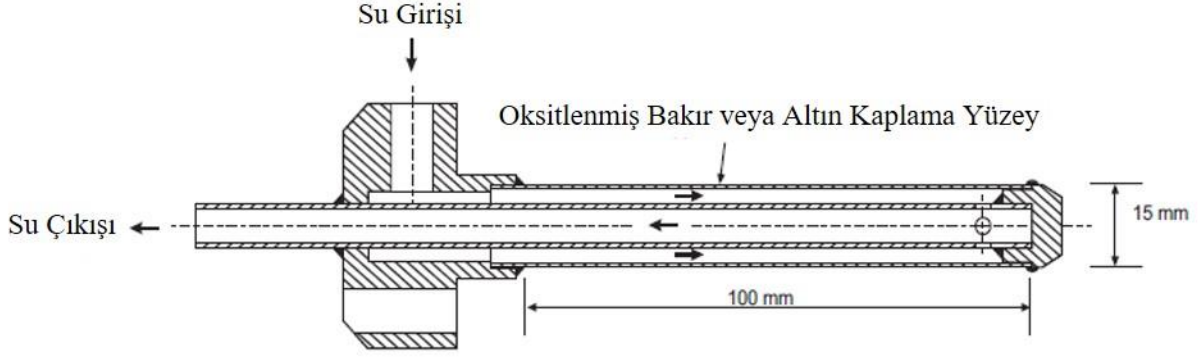
Bu boyutsuz sayı, ısı transfer katsayısı, kullanılan nesnenin boyu veya çapı ve ısıl iletkenlik ifadelerinin kullanımıyla elde edilir. İki testteki sonuçları kıyaslamak için oldukça önemli bir parametredir. (Tıpkı akış rejiminin türbülanslı, geçiş ve laminar akış olup olmadığını belirleyip ona göre tasarımlar yaptığımız boyutsuz sayı olan Reynold Sayısı “Re” gibi)

$$Nu_d = \frac{\text{Isı transfer katsayısı} \times \text{Specimen çapı}}{\text{Suyun ısıl iletkenliği}}$$

$$\frac{h \times D}{k_l}$$

## 4.2. Sistemin Teknik Özellikleri





**Şekil 4.** Specimen boyutları

**Tablo 1.** Specimen teknik özellikleri

Silindirik Numuneler	1 Altın Kaplama – 3 mikron kalınlık	
	1 Oksitlenmiş Bakır	
	Dış Çap	15 mm
	Efektif Uzunluk	100 mm

Sistemde iki silindirik (numune) specimen bulunur. Biri, film tipi yoğuşmaya örnek olması açısından oksitlenmiş bakır yüzeye sahiptir. Diğeri, damla damla tipi yoğuşmaya örnek olması açısından yüzey gerilimini düşüren altın kaplamalı yüzeye sahiptir. Her bir specimen ın su giriş ve çıkışına bağlanan termokupllar ile dolaşan suyun sıcaklık değeri görülebilmektedir.

## 5. RAPOR İÇİN İSTENENLER

- Tabloyu hesaplamalarda kullanılacak bilgiler bölümde anlatılan formül ve tablolar kullanılarak doldurunuz.
  - Sıcaklık Farkı = Çıkış sıcaklığı – Giriş sıcaklığı
  - Ortalama sıcaklık = (giriş sıcaklığı + çıkış sıcaklığı) / 2
  - Sıcaklık düşüşü = 100 °C – Ortalama sıcaklık
  - Cp, ρ, k değerleri ortalama sıcaklık (specimen yüzey sıcaklığı) değerine göre alınır.
- Sonuçları elde ettikten sonra, ortalama sıcaklığa (yatay eksen) karşılık bir Nusselt sayısı (dikey eksen) grafiği oluşturun. Grafiği ve tablo değerlerini yorumlayınız.

- Tabloyu doldururken yapılacak matematiksel işlemleri sadece 1 değer için (seçtiğiniz herhangi bir değer olabilir) her bir matematiksel işlem adımını aşama aşama göstererek yazınız.
- Film ve damlalı yoğuşma arasındaki farklar ve ısı transferine etkileri nelerdir? Yorumlayınız.
- Buharın içerisinde yoğuşmayan gazların varlığı yoğuşma ısı transferini nasıl etkiler? Yorumlayınız. (**Mutlaka kaynakça ekleyiniz!**)

## 6. KAYNAKLAR

- [1] **Çengel Y. A.** (2011). Isı ve Kütle Transferi: Pratik Bir Yaklaşım. Üçüncü Basım. Güven Kitapevi. İzmir.
- [1] **TQ Education and Training Ltd.** 2013. TE78 Boiling and Condensing Heat Transfer Apparatus User Guide.

TABLO A-9

Doymuş suyun özellikleri

Sıcaklık $T, ^\circ\text{C}$	Doyma Basıncı $P_{\text{doym}}, \text{kPa}$	Özgül Kütle $\rho, \text{kg/m}^3$		Buharlaştırma Entalpisi $h_{\text{fg}}, \text{kJ/kg}$	Özgül Isı $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$		Isıl İletkenlik $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$		Dinamik Viskozite $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$		Prandtl Sayısı Pr		Hacimsel Genleşme Katsayısı $\beta, 1/\text{K}$
		Sıvı	Buhar		Sıvı	Buhar	Sıvı	Buhar	Sıvı	Buhar	Sıvı	Buhar	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	$1.792 \times 10^{-3}$	$0.922 \times 10^{-5}$	13.5	1.00	$-0.068 \times 10^{-3}$
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	$1.519 \times 10^{-3}$	$0.934 \times 10^{-5}$	11.2	1.00	$0.015 \times 10^{-3}$
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	$1.307 \times 10^{-3}$	$0.946 \times 10^{-5}$	9.45	1.00	$0.733 \times 10^{-3}$
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4185	1863	0.589	0.0179	$1.138 \times 10^{-3}$	$0.959 \times 10^{-5}$	8.09	1.00	$0.138 \times 10^{-3}$
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	$1.002 \times 10^{-3}$	$0.973 \times 10^{-5}$	7.01	1.00	$0.195 \times 10^{-3}$
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	$0.891 \times 10^{-3}$	$0.987 \times 10^{-5}$	6.14	1.00	$0.247 \times 10^{-3}$
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	$0.798 \times 10^{-3}$	$1.001 \times 10^{-5}$	5.42	1.00	$0.294 \times 10^{-3}$
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	$0.720 \times 10^{-3}$	$1.016 \times 10^{-5}$	4.83	1.00	$0.337 \times 10^{-3}$
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	$0.653 \times 10^{-3}$	$1.031 \times 10^{-5}$	4.32	1.00	$0.377 \times 10^{-3}$
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	$0.596 \times 10^{-3}$	$1.046 \times 10^{-5}$	3.91	1.00	$0.415 \times 10^{-3}$
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	$0.547 \times 10^{-3}$	$1.062 \times 10^{-5}$	3.55	1.00	$0.451 \times 10^{-3}$
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	$0.504 \times 10^{-3}$	$1.077 \times 10^{-5}$	3.25	1.00	$0.484 \times 10^{-3}$
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	$0.467 \times 10^{-3}$	$1.093 \times 10^{-5}$	2.99	1.00	$0.517 \times 10^{-3}$
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	$0.433 \times 10^{-3}$	$1.110 \times 10^{-5}$	2.75	1.00	$0.548 \times 10^{-3}$
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	$0.404 \times 10^{-3}$	$1.126 \times 10^{-5}$	2.55	1.00	$0.578 \times 10^{-3}$
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	$0.378 \times 10^{-3}$	$1.142 \times 10^{-5}$	2.38	1.00	$0.607 \times 10^{-3}$
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	$0.355 \times 10^{-3}$	$1.159 \times 10^{-5}$	2.22	1.00	$0.653 \times 10^{-3}$
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	$0.333 \times 10^{-3}$	$1.176 \times 10^{-5}$	2.08	1.00	$0.670 \times 10^{-3}$
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	$0.315 \times 10^{-3}$	$1.193 \times 10^{-5}$	1.96	1.00	$0.702 \times 10^{-3}$
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	$0.297 \times 10^{-3}$	$1.210 \times 10^{-5}$	1.85	1.00	$0.716 \times 10^{-3}$
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	$0.282 \times 10^{-3}$	$1.227 \times 10^{-5}$	1.75	1.00	$0.750 \times 10^{-3}$
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	$0.255 \times 10^{-3}$	$1.261 \times 10^{-5}$	1.58	1.00	$0.798 \times 10^{-3}$
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	$0.232 \times 10^{-3}$	$1.296 \times 10^{-5}$	1.44	1.00	$0.858 \times 10^{-3}$
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	$0.213 \times 10^{-3}$	$1.330 \times 10^{-5}$	1.33	1.01	$0.913 \times 10^{-3}$
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	$0.197 \times 10^{-3}$	$1.365 \times 10^{-5}$	1.24	1.02	$0.970 \times 10^{-3}$
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	$0.183 \times 10^{-3}$	$1.399 \times 10^{-5}$	1.16	1.02	$1.025 \times 10^{-3}$
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	$0.170 \times 10^{-3}$	$1.434 \times 10^{-5}$	1.09	1.05	$1.145 \times 10^{-3}$
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	$0.160 \times 10^{-3}$	$1.468 \times 10^{-5}$	1.03	1.05	$1.178 \times 10^{-3}$
180	1,002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	$0.150 \times 10^{-3}$	$1.502 \times 10^{-5}$	0.983	1.07	$1.210 \times 10^{-3}$
190	1,254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	$0.142 \times 10^{-3}$	$1.537 \times 10^{-5}$	0.947	1.09	$1.280 \times 10^{-3}$
200	1,553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	$0.134 \times 10^{-3}$	$1.571 \times 10^{-5}$	0.910	1.11	$1.350 \times 10^{-3}$
220	2,318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	$0.122 \times 10^{-3}$	$1.641 \times 10^{-5}$	0.865	1.15	$1.520 \times 10^{-3}$
240	3,344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	$0.111 \times 10^{-3}$	$1.712 \times 10^{-5}$	0.836	1.24	$1.720 \times 10^{-3}$
260	4,688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	$0.102 \times 10^{-3}$	$1.788 \times 10^{-5}$	0.832	1.35	$2.000 \times 10^{-3}$
280	6,412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	$0.094 \times 10^{-3}$	$1.870 \times 10^{-5}$	0.854	1.49	$2.380 \times 10^{-3}$
300	8,581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	$0.086 \times 10^{-3}$	$1.965 \times 10^{-5}$	0.902	1.69	$2.950 \times 10^{-3}$
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	$0.078 \times 10^{-3}$	$2.084 \times 10^{-5}$	1.00	1.97	
340	14,586	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	$0.070 \times 10^{-3}$	$2.255 \times 10^{-5}$	1.23	2.43	
360	18,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	$0.060 \times 10^{-3}$	$2.571 \times 10^{-5}$	2.06	3.73	
374.14	22,090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	$0.043 \times 10^{-3}$	$4.313 \times 10^{-5}$			

Not 1: Kinematik viskozite  $\nu$  ve ısı yayılım katsayısı  $\alpha$  tanımları olan  $\nu = \mu/\rho$  ve  $\alpha = k/\rho c_p = \nu/\text{Pr}$  'dan bulunabilir. 0.01°C, 100°C ve 374.14°C sıcaklıklar, suyun sırasıyla üçlü, kaynama ve kritik nokta sıcaklıklarıdır. Yukarıda -buhar yoğunluğu dışındaki- listelenen özellikler, -kritik nokta değerine yakın sıcaklıklar dışında- bütün basınçlarda -ihmal edilebilir hatayla- kullanılabilir.

Not 2: Özgül ısı için kJ/kg · °C birimi, kJ/kg · K 'ye ve ısı iletkenlik için W/m · °C birimi W/m · K 'e eşdeğerdir.

Kaynak: Viskozite ve ısı iletkenlik verileri, J. V. Sengers ve J. T. R. Watson, Journal of Physical and Chemical Reference Data 15 (1986), pp. 1291-1322 'den alınmıştır. Diğer veriler ise çeşitli kaynaklardan derlenmiş veya hesaplanmıştır.

**Tablo 3.** Bakır specimen için sonuçlar

Su akışı mL/dak	Giriş Sıcaklığı °C	Çıkış Sıcaklığı °C	Sıcaklık Farkı °C	Ortalama Sıcaklık °C	Özgül Isı Kapasitesi ( $c_p$ ) J/kg °C	Yoğunluk ( $\rho$ ) kg/m <sup>3</sup>	Isı iletim katsayısı (k) W/mK	Sıcaklık Düşüşü °C	Isı Transfer Hızı W	Isı transfer Katsayısı W/m <sup>2</sup>	Nusselt Sayısı Nu
260											
260											
260											
260											
260											
260											
260											

**Tablo 4.** Altın specimen için sonuçlar

Su akışı mL/dak	Giriş Sıcaklığı °C	Çıkış Sıcaklığı °C	Sıcaklık Farkı °C	Ortalama Sıcaklık °C	Özgül Isı Kapasitesi ( $c_p$ ) J/kg °C	Yoğunluk ( $\rho$ ) kg/m <sup>3</sup>	Isı iletim katsayısı (k) W/mK	Sıcaklık Düşüşü °C	Isı Transfer Hızı W	Isı transfer Katsayısı W/m <sup>2</sup>	Nusselt Sayısı Nu
260											
260											
260											
260											
260											
260											
260											