

T.C.  
YALOVA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

**ESM 413 ENERJİ SİSTEMLERİ LABORATUVARI-2**

**DENEY-6 KAYNAMA VE YOĞUŞMADA ISI TRANSFERİ**

| Deneye Katılan Öğrencilerin Adı-Soyadı | Numarası | Grubu | Notu |
|----------------------------------------|----------|-------|------|
|                                        |          |       |      |
|                                        |          |       |      |

**Deney ile ilgili gerekli bilgiler**

- Deney 01 Nisan tarihinde saat **16:00'da** yapılacaktır.
- Notlandırma **%60** rapor, **%40** deneye aktif katılım & deneye zamanında başlama ve bitirme & deneye hazırlıklı olma değerlendirmesi üzerinden yapılacaktır.
- Deney raporu deneyden en geç bir hafta sonra **Pazartesi günü 17:00'ye** kadar teslim edilmelidir. Geç teslim edilen ya da kopya çekilerek hazırlanan raporlar **(her iki nüsha da)** değerlendirmeye alınmadan başarısız olarak değerlendirilecektir.
- Deneye hastalık gerekçesi ile katılamayan öğrenciler sağlık raporu sunmak zorundadır, bu öğrenciler deneyi, deney sorumlusu araştırma görevlisi tarafından belirlenen başka bir gün tekrarlamak zorundadır, bu gerekçe dışında deneye katılmayan öğrenciler değerlendirmeye alınamayacaktır.
- Ön rapor **istenmemektedir**, deney sırasında sorulan sorular ile katılım ve deneye hazırlık ölçülecektir.
- Rapor kapağı olarak lütfen bu sayfayı kullanınız.
- Bir rapor **en fazla 2 öğrenci** tarafından hazırlanabilir.
- Deneye katılacak öğrenciler bu föydeki **bilgilerden ve kavramlardan** sorumludurlar.

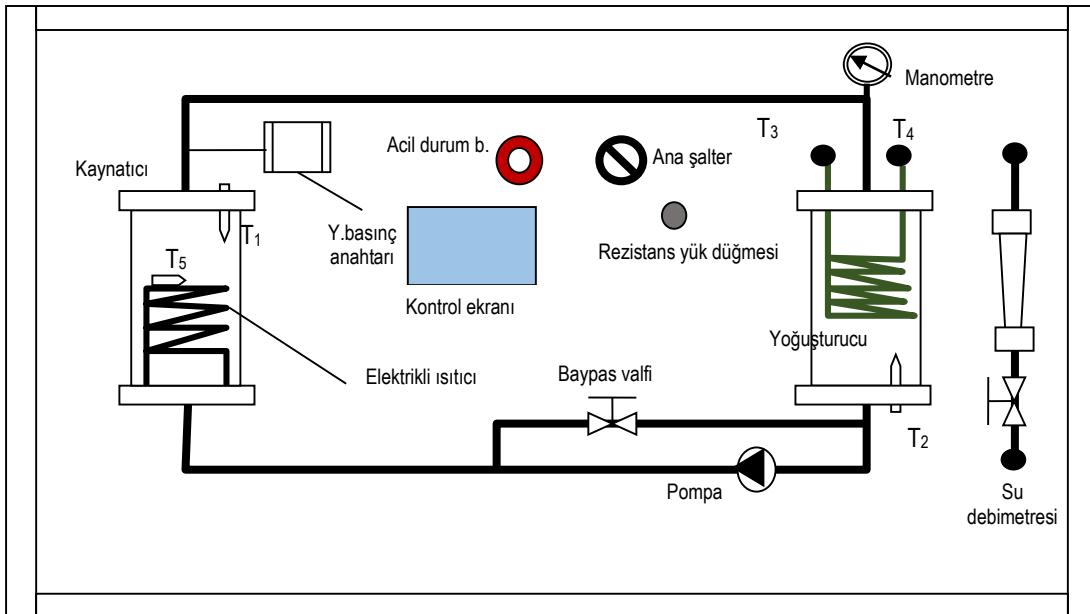
## DENEY-6

### KAYNAMA VE YOĞUŞMADA ISI TRANSFERİ



Şekil 1 Deney Düzenegi

#### A) KAYNAMA VE YOĞUŞMA EĞİTİM SETİ ŞEMASI



Şekil 2 Kaynama ve Yoğuşma Seti Şeması

## B) MALZEME LİSTESİ VE ÖLÇÜLER

| MALZEMENİN ADI         | ADEDİ | ÖZELLİĞİ                                    |
|------------------------|-------|---------------------------------------------|
| Cam tüp                | 2     | V=3 [L]                                     |
| Isıtıcı rezistans      | 1     | 1511 W (Maksimum) A=0.087 [m <sup>2</sup> ] |
| Sulu ısı değıştirici   | 1     | 3/8"-R12 cm, A= 0.08 [m <sup>2</sup> ]      |
| Debimetre              | 1     | Rotametre tipi (100-1000 L/h)               |
| PLC Kontrol ekranı     | 1     | Delta 185mm x145 mm                         |
| Manometre              | 1     | 0-20 bar                                    |
| Dişli pompa            | 1     | Winman                                      |
| Baypas vanası          | 1     | ½" küresel musluk                           |
| Sıcaklık hissedicileri | 4     | PT100 dişli                                 |

Tablo 1 Malzeme Listesi

## C) KAYNAMA VE YOĞUŞMA

Günümüzde birçok mühendislik uygulamasında oldukça yüksek ısı akılarıyla karakterize edilen kaynama ve yoğuşma işlemleriyle karşılaşmaktadır. Örneğin kapalı devre bir güç çevriminde, basınçlı su önce bir buhar kazanında buhara dönüştürülür. Daha sonra, bir türbinde genişletilip yoğuşturucuda tekrar sıvı hale dönüştürülür ve bu halden de çevrime devam etmek üzere buhar kazanına pompalanır. Buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimlerinin ana elemanlarından olan buharlaştırıcılar ve yoğuşturucular, içerisinde kaynama ve yoğuşmada ısı transferinin gerçekleştiği diğer örneklerdendir. Bu tür sistemlerin akılcı bir şekilde tasarlanabilmesi için faz değışimi işlemlerinin iyi anlaşılması gerekmektedir.

Kaynama ve yoğuşma faz değışimi 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 *taşıyım yoluyla ısı transferi* kapsamında değerlendirilir. Ancak, bu işlemler sırasındaki faz değışimi nedeniyle katı yüzeyle akışkan arasındaki ısı alış verişinin akışkan sıcaklığını etkilemeden gerçekleşmesi ısı taşıyımının 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. Kaynamada olsun yoğuşmada olsun faz değışimi işlemini karakterize etmede gizli ısı  $h_{sg}$ 'nin (sıvı-gaz entalpi farkı) yanı sıra, sıvı-buhar ara yüzünde oluşan yüzey gerilmesi  $\sigma$  ve iki faz arasındaki yoğunluk farkı da önemli rol oynamaktadır. Akışkanın sıvı fazındaki yoğunluğu ile buhar fazındaki yoğunluğu arasındaki fark nedeniyle faz değışimi işlemi sırasında,  $g(\rho_s - \rho_b)$  ile orantılı bir kaldırma kuvveti oluşur ve bu kuvvet de bir doğal taşıyımın ortaya çıkmasına yol açar. Böylece, gizli ısı ve doğal taşıyımın birleşik etkisiyle, kaynama ve yoğuşma işlemleri sırasındaki ısı taşıyım katsayıları, faz değışiminin olmadığı durumlardaki ısı taşıyım katsayılarına göre çok daha büyük değerler almaktadır.

## D) KAYNAMADA ISI TRANSFERİ

Bir sıvının buharlaşması eğer bir katı-sıvı ara yüzünde gerçekleşiyorsa faz değişimi işlemi kaynama olarak adlandırılır. Kaynama işlemi, sıvının temas ettiği katı yüzeyin sıcaklığı  $T_s$ , sıvının bulunduğu basınçtaki doyma sıcaklığı  $T_{sat}$  değerini aştığında meydana gelir ve bu sırada katı yüzeyden akışkana, Newton soğuma yasasına göre

$$qs''=h(T_s-T_{sat})=h\Delta T_e \quad (1)$$

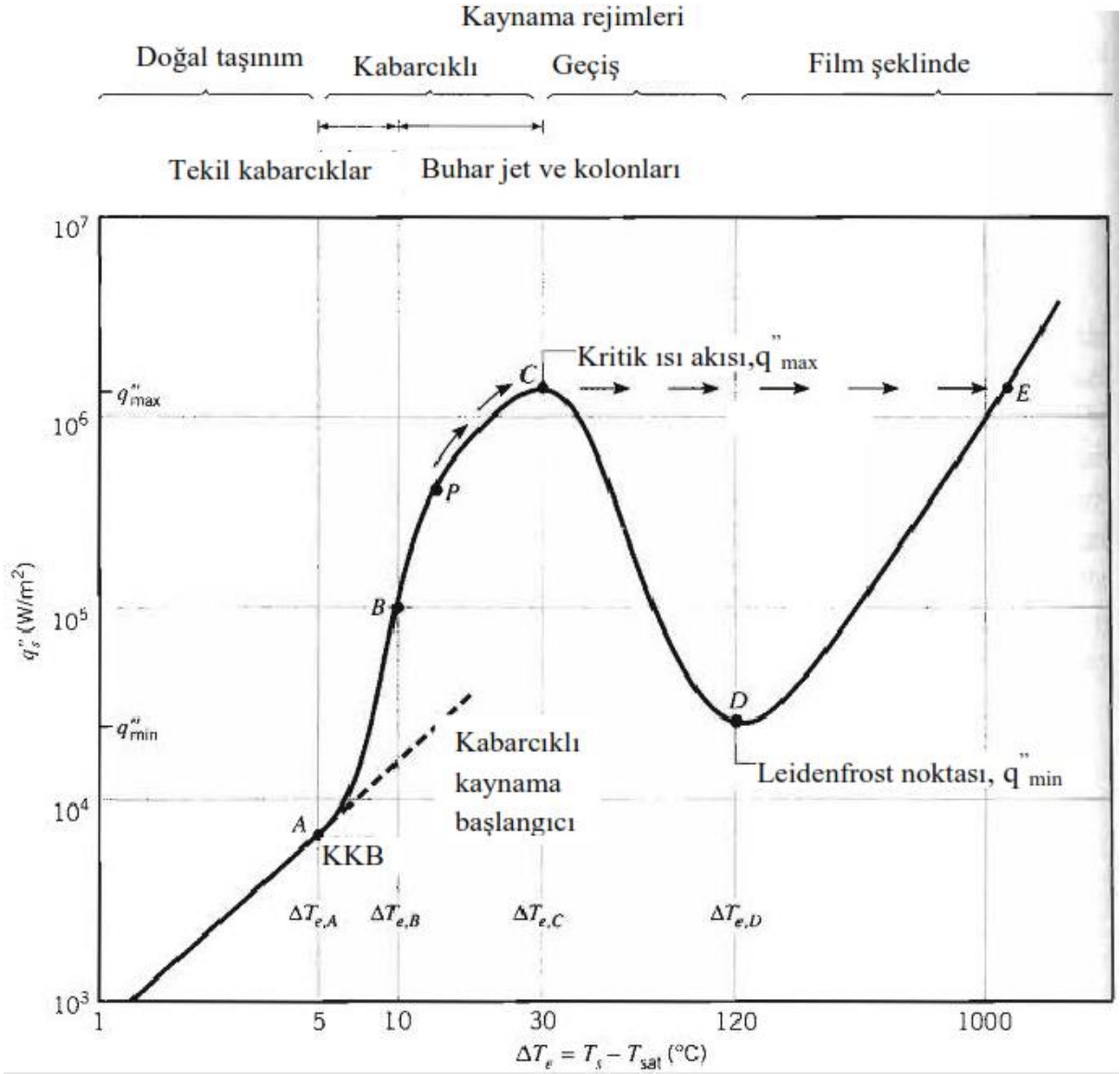
bağıntısı ile verilen bir ısı geçişi (ısı akısı-  $W/m^2$ )gerçekleşir. Burada  $h$  ( $W/m^2K$ ) ısı taşınım katsayısı ve  $\Delta T_e=T_s-T_{sat}$  da aşkın sıcaklık (yüzey sıcaklığı  $T_s$ 'nin doyma sıcaklığı  $T_{sat}$ 'i ne kadar aştığının bir ölçüsü olarak) diye adlandırabileceğimiz sıcaklık farkıdır.

Kaynama mekanizması yüzeyde önce kabarcıkların oluşması ve daha sonra bu kabarcıkların yüzeyden ayrılması şeklindeki hareketlerle karakterize edilir. Yüzeyde kabarcıkların oluşması, büyümesi ve dinamiği ise aşkın sıcaklık, katı yüzeyin yapısı ve akışkanın yüzey gerilmesi gibi termofiziksel özelliklerine karmaşık bir biçimde bağlılık gösterir.

Kaynama, gerçekleştiği koşullara göre *havuz kaynaması* ve *zorlanmış taşınımlı kaynama* olarak sınıflandırılırken, sıvının bulunduğu sıcaklığa göre de *aşırı soğutulmuş kaynama* ve *doymuş kaynama* şeklinde de sınıflandırılabilir. Havuz kaynamasında, ana sıvı kitlesi durgun haldeyken ısıtıcı yüzey yakınındaki akışkan hareketi, doğal taşınım ile birlikte kabarcık oluşumu ve ısıtıcı yüzeyinden ayrılıp sıvının serbest yüzeyine doğru hareket eden kabarcıkların oluşturduğu karışım nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Buna karşılık, zorlanmış taşınımlı kaynamada akışkan hareketi, doğal taşınım ve kabarcık kaynaklı karışım hareketlerine ek olarak bir dış kuvvetin de kullanılmasıyla sağlanmaktadır. Aşırı soğutulmuş kaynamada sıvı sıcaklığı doyma sıcaklığından düşüktür ve bu tür bir kaynama sırasında ısıtıcı yüzey üzerinde oluşup yeterli büyüklüğe eriştikten sonra yüzeyden ayrılan kabarcıklar sıvı içerisinde tekrar yoğuşabilirler. Buna karşılık, doymuş kaynamada sıvı sıcaklığı doyma sıcaklığının biraz üzerindedir ve bu koşullarda ısıtıcı yüzeyinde oluşan kabarcıklar kaldırma kuvvetinin etkisiyle sıvının serbest yüzeyine doğru itilirler ve buradan da dışarıya çıkarlar.

Deney düzeneğimiz esas olarak tipik bir havuz kaynamasının gerçekleştiği bir sistemden ibarettir. Bu nedenle burada tipik bir havuz kaynaması sırasında karşılaşılan karakteristik kaynama bölgeleri ve bu bölgelere ilişkin ısı geçiş mekanizmaları, kaynama eğrisi olarak bilinen ve Şekil 3' de gösterilen ısı akısı – sıcaklık farkı ( $qs''-\Delta T_e$ ) diyagramı üzerinden ele alınacaktır. Şekildeki eğri her ne kadar 1 atm basınçtaki suya ait ise de diğer akışkanların da benzer karakterde bir kaynama eğrisine sahip oldukları bilinmektedir. Eşitlik 1'i de göz önüne alarak farklı bölgelerdeki ısı geçiş rejimlerini daha ayrıntılı bir biçimde ele alabiliriz. Söz konusu eşitliğe baktığımızda ısı akısı  $qs''$  nin, aşkın sıcaklık  $\Delta T_e$ ' nin yanı sıra ısı taşınım katsayısı  $h$ ' ya da bağlı olduğunu görüyoruz.

**Doğal Taşınımlı Kaynama:** Şekildeki eğrinin A noktasına kadar olan kısmını kapsayan bu bölgede ısı geçişi büyük ölçüde ısıtıcı yüzeyde ısınıp genişleyen sıvının yükselmesiyle oluşan doğal taşınım ile gerçekleşir. Aşkın sıcaklık biraz yükseltilip A noktası civarına gelindiğinde, ısıtıcı yüzeyi üzerinde buhar kabarcıkları oluşmaya başlar ki bu noktaya kabarcıklı kaynama başlangıcı, KKB adı verilir. Bu bölgede, deney elemanından akışkana geçen ısı ampirik olarak hesaplanmak istenirse, Eşitlik 1' de ısı taşınım katsayısı  $h$  için



Şekil 3 Su için havuz kaynama eğrisi ( $P=1 \text{ atm}$ )

$$h = 0.14k_l \left[ \frac{g\beta\Delta T_e \rho_l^2 Pr_l}{\mu_l^2} \right]^{1/3} \quad (2)$$

bağıntısından hesaplanan değer kullanılabilir. Burada  $k_l$  sıvının termal iletkenliği,  $\beta$  hacimsel ısı genleşme katsayısını,  $\mu$  viskoziteyi  $l$  indisli büyüklükler doyma durumundaki sıvıya ait büyüklükleri göstermekte olup  $Pr_l$  de

$$Pr_l = \frac{v_l}{\alpha_l} \quad (3)$$

bağıntısıyla verilen Prandtl sayısını temsil etmektedir.  $V_l$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ve  $\alpha_l$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) sırasıyla termal ve momentum yayılımını ifade etmektedir.

**Kabarcıklı (Çekirdek) Havuz Kaynaması:** Şekil 3' de A-B-P-C eğrisine karşılık gelen bu bölgede birisi ayrık kabarcıklı kaynama bölgesi ve diğeri de buhar jetli veya buhar kolonlu kaynama bölgesi olmak üzere iki farklı akış rejimi gözlenmekte olup bunlar Şekil 3' de sırasıyla A-B ve B-C eğrilerine karşılık gelmektedir. A-B bölgesinde ısıtıcı yüzeyinde oluşan tekil buhar kabarcıkları yüzeyden ayrılırken akışkan içerisinde hatırı sayılır derecede bir karıştırma etkisi yaratır ve ısı taşınım katsayısı ve ısı akısının önemli derecelerde artmasına neden olur. Bu bölgede ısı geçişinin önemli bir bölümü ısıtıcı yüzeyinden doğrudan hareket halindeki sıvıya ısı verilmesi şeklinde gerçekleşir. Aşkın sıcaklık değerinin  $\Delta T_{e,B}$ ' nin üzerine çıkarılmasıyla B-C bölgesine geçilmiş olunur ki bu bölgede, ısıtıcı yüzey üzerinde daha fazla buhar kabarcığı oluşur ve bu kabarcıklar birleşerek kolonlar halinde sıvı yüzeyine çıkmaya başlarlar. Bu bölgede ise ısının önemli bir bölümünü ısıtıcı yüzeyinden sıvı yüzeyine hızla çıkan buhar kolonları taşır. B noktasından itibaren  $\Delta T_e$  artırılmaya devam edildiğinde önce hem  $h$  hem de  $q_s''$  artarken P noktasına gelindiğinde  $h$  en büyük değerine erişir ve bu özel noktadan itibaren  $\Delta T_e$  artışıyla  $q_s'''$  nin de artmaya devam etmesine karşılık  $h$  düşmeye başlar.

Bunun sebebi olarak, ısıtıcı yüzeyinin büyük bölümünün buharla temas etmesidir. Aşkın sıcaklık  $\Delta T_e$  daha da artırılarak C noktasına gelindiğinde ise ısı akısı  $q_s''$  maksimum değerine erişir ki bu noktaya *kritik nokta* bu noktadaki ısı akısı değerine de *kritik ısı akısı* denir ve  $q_{s,kr}'' = q_{max}''$  sembolüyle gösterilir. Atmosferik şartlardaki su için kritik ısı akısının  $1MW/m^2$  değerinin biraz üzerinde olduğu bilinmektedir.

Küçük aşkın sıcaklık değerlerinde yüksek ısı taşınım katsayıları ( $h \approx 104$  mertebesinde) ve dolayısıyla yüksek ısı akıları elde edilebildiğinden çoğu mühendislik cihazının kabarcıklı kaynama bölgesinde bulunacak şekilde tasarlanıp çalıştırılması istenir. Hatta mümkünse çalışma noktasının P noktası civarında olmasında yarar vardır. Kabarcıklı kaynama bölgesindeki ısı akısı yaklaşık olarak;

$$q_s'' = \mu_l h_{fg} \left[ \frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{1/2} \left[ \frac{C_{pl} \Delta T_e}{0.006 h_{fg} Pr_l} \right]^3 \quad (4)$$

ampirik bağıntısından hesaplanabilir. Bu eşitlikte  $\sigma$  akışkana ait yüzey gerilmesini  $C_{pl}$  sıvının ısıl kapasitesini göstermektedir. Şekil 3' deki C noktasına karşılık gelen kritik ısı akısının değeri ise literatürde

$$q_{kr}'' = q_{max}'' = C h_{fg} \rho_v \left[ \frac{\sigma g(\rho_l - \rho_v)}{\rho_v^2} \right]^{1/4} \quad (5)$$

bağıntısıyla verilmektedir. Eşitlikte yer alan C bir sabit olup değeri ısıtıcı geometrisine bağlıdır, çoğu geniş yüzeyli ısıtıcı için  $C=0,15$  civarında olduğu belirtilmektedir. Küçük ısıtıcı yüzeyler içinse bir düzeltme çarpanının kullanılması önerilmektedir. Yüzey gerilmesi  $\sigma$  etil alkol için; 10 ile 70 °C arasında (0,0241-0,000083T) bağıntısı ile bulunur. Burada T, °C olarak sıcaklıktır.

**Geçiş Kaynaması:** Şekil 3' de C-D eğrisine karşılık gelen bu bölge, aynı zamanda kararsız film kaynaması bölgesi veya kısmi film kaynaması bölgesi olarak da isimlendirilmektedir. Bu bölgede, ısıtıcı yüzeyinde kabarcıklar o kadar hızlı üretilmektedir ki ısıtıcı yüzeyinin önemli bir kısmı adeta bir buhar örtüsü (battaniyesi) ile kaplanmış gibi gözükmemektedir. Bunun sonucu olarak da, buharın ısı iletim katsayısının sıvının ısı iletim katsayısından çok daha küçük olması

nedeniyle, bu bölgede  $\Delta T_e$  artarken hem  $h$  hem de  $qs''$  azalır. Buhar örtüsünü oluşturan film zaman zaman yırtılıp serbest yüzeye doğru hareket ettiğinden buradaki film yapısı bir bakıma kararsız bir yapıdır. Bu bölgenin sonundaki D noktasına gelindiğinde, 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 gözüken buhardan sıvıya büyük ölçüde **iletim** yoluyla geçer. Isı akısının bu noktada eriştiği en küçük değerin yaklaşık olarak hesaplanabilmesi için literatürde;

$$q''_{s,D} = q''_{min} = 0.09 \rho_v h_{fg} \left[ \frac{g \sigma (\rho_l - \rho_v)}{(\rho_l + \rho_v)^2} \right]^{1/4} \quad (6)$$

bağıntısı önerilmiştir.

**Film Kaynaması:** Şekil 3' de gösterilen kaynama eğrisi üzerindeki D noktasından itibaren ısı geçişinde **ışınım** mekanizmasının önem kazanması nedeniyle, artan  $\Delta T_e$  ile ısı akısı  $qs''$  tekrar artmaya başlar. Isıtıcı yüzeyinde çok hızlı bir şekilde buhar kabarcığı üretildiğinden yüzey adeta kararlı bir buhar örtüsü tarafından kaplanmış gibi gözüken bu bölge aynı zamanda kararlı film kaynaması bölgesi olarak da isimlendirilir. Bu bölgedeki ısı geçişini hesaplamak üzere literatürde verilen ampirik bağıntılar diğer bölgeler için verilen bağıntılara göre biraz daha karmaşıktır.  $\Delta T_e$ 'nin yüksek olması nedeni ile endüstride çok tercih edilmeyen bir bölgedir.

## E) YOĞUŞMADA ISI TRANSFERİ

Bir buharın sıcaklığı doyma sıcaklığının altına düşürüldüğü zaman yoğuşma meydana gelir. Endüstriyel cihazlarda yoğuşma işlemi, buharın soğuk bir katı yüzeye 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.

Yüzey yoğuşması *film şeklinde yoğuşma ve damlacık şeklinde yoğuşma* olmak üzere iki farklı şekilde oluşabilir. Film şeklinde yoğuşma genellikle temiz ve düzgün yüzeylerde meydana gelirken, damlacık şeklinde yoğuşma 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.

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, içerisinden bir soğutucu akışkan akan yatay boru demetleri şeklinde yapılır ve boruların dış tarafından da yoğuşturulacak buhar geçirilir. **Isı transferi açısından damlacık yoğuşmasının 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) laminar film yoğuşması ve yüzey yeterince uzun ise ilerleyen kısımlarında türbülanslı film yoğuşması şeklinde olabilirken, bir küre veya yatay bir silindirin dış yüzeyinde laminar film yoğuşması şeklinde olmaktadır. Tek bir yatay borunun dış yüzeyindeki film yoğuşması durumundaki ısı taşınım katsayısı için literatürde;

$$h_D = 0.729 \left[ \frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) k_l^3 h'_{fg}}{\mu_l (T_{sat} - T_s) D} \right]^{1/4} \quad (10)$$

bağıntısı kullanılır, formüldeki D boru çapını ifade etmektedir. N tane borudan oluşan bir boru demeti için de

$$h_D = 0.729 \left[ \frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) k_l^3 h'_{fg}}{N \mu_l (T_{sat} - T_s) D} \right]^{1/4} \quad (11)$$

bağıntısı kullanılmaktadır.

## F) DENEYLER

### DENEY 1- Sabit kaynama sıcaklığında sistem enerji dengesinin bulunması

**DENEYİN AMACI:** Sabit sıcaklıkta gerçekleşen bir kaynama olayında termodinamiğin 1. Kanununa göre enerji dengesinin nasıl hesaplandığını kavramak.

#### DENEYİN YAPILIŞI:

- 1) Ana şalteri açın.
- 2) Kontrol paneli üzerinden pompayı çalıştırın.
- 3) Su debisini ayar vanası yardımıyla 300 L/h değerine ayarlayın.
- 4) Etil alkol seviyesi ısıtıcı yüzeyini kapladığında ısıtıcıyı devreye sokun.
- 5) Rezistans yük düğmesinden giriş gücünü 1500 W civarına ayarlayın ve  $T_1$  sıcaklık ayarını  $100^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlayın.
- 6) Şartların kararlı hale gelmesini bekleyin.
- 7) Şartlarda kararlılık sağlanınca ölçüm değerlerini de tabloya kaydedin.
- 8) Tablo değerlerine bağlı olarak örnekte gösterilen gerekli hesaplamaları yapın.
- 9) Pompa ve ısıtıcıyı devre durdurun, ana şalteri kapatın.

**RAPORDA İSTENENLER:** Tablo değerleri ve hesaplamalar, deneyin yorumlanması.

| Ölçüm sayısı                                                    | 1 | 2 | 3 |
|-----------------------------------------------------------------|---|---|---|
| Sistem basıncı, $P$ [bar]                                       |   |   |   |
| Buharlaştırıcıda ki sıvı sıcaklığı $t_1$ [ $^{\circ}\text{C}$ ] |   |   |   |
| Yoğuşturucuda ki sıvı sıcaklığı, $t_2$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]   |   |   |   |
| Su giriş sıcaklığı, $t_3$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]                |   |   |   |
| Su dönüş sıcaklığı, $t_4$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]                |   |   |   |
| Isıtıcı yüzey sıcaklığı, $t_5$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]           |   |   |   |
| Kaynama sıcaklık farkı, $t_5-t_1$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]        |   |   |   |
| Sıvı (etil alkol) debisi, $\dot{m}_a$ , [g/s]                   |   |   |   |
| Soğutma suyu debisi, $\dot{m}_{su}$ [L/h]                       |   |   |   |
| Isıtıcı rezistans gücü, $P_e$ [W]                               |   |   |   |

## HESAPLAMALAR

### Buharlaştırıcı İçin Toplam Isı Akısı (Isıl kapasite):

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_a h_{fg} \text{ [W]}$$

$\dot{m}_a$ : Etil alkol debisi

$h_{fg}$ : Etil alkol buhar entalpisi ( $T_2$  sıcaklığında)

### Yoğuşturucu İçin Toplam Isı Akısı (Isıl kapasite):

$$\dot{Q} = \dot{m}_{su} C_{psu} (t_4 - t_3)$$

### Kaybolan Isıl Güç:

Termodinamiğin 1. Kanununa göre sistem için şu bağıntı yazılabilir:

$$\dot{Q}_{kayıp} = P_{el} - \dot{Q}_{su}$$

$\dot{Q}_{su}$ : Yoğuşturucuda suya verilen ısı [W]

$P_{el}$ : Buharlaştırıcıda elektriksel olarak verilen ısı gücü [W]

$\dot{Q}_{kayıp}$ : Sistemden ışıınım ve taşınım yoluyla ortama kaçan ısı [W]

**DENEY 2-** Sabit kaynama sıcaklığında ısı akısı ve yüzeysel ısı taşınım katsayısının bulunması

**DENEYİN AMACI:** Sabit sıcaklıkta ısıl kapasite ve yüzeysel ısı taşınım katsayısının nasıl hesaplandığını kavramak

**DENEYİN YAPILIŞI:**

1) Deney-1'i tekrarlayın.

**RAPORDA İSTENENLER:** Tablo değerleri ve hesaplamalar, deneyin yorumlanması.

| Ölçüm sayısı                                                | 1 | 2 | 3 |
|-------------------------------------------------------------|---|---|---|
| Sistem basıncı, P [bar]                                     |   |   |   |
| Buharlaştırıcıda ki sıvı sıcaklığı t <sub>1</sub> [°C]      |   |   |   |
| Yoğuşturucuda ki sıvı sıcaklığı, t <sub>2</sub> [°C]        |   |   |   |
| Su giriş sıcaklığı, t <sub>3</sub> [°C]                     |   |   |   |
| Su dönüş sıcaklığı, t <sub>4</sub> [°C]                     |   |   |   |
| Isıtıcı yüzey sıcaklığı, t <sub>5</sub> [°C]                |   |   |   |
| Kaynama sıcaklık farkı, t <sub>5</sub> -t <sub>1</sub> [°C] |   |   |   |
| Sıvı (etil alkol) debisi, $\dot{m}_a$ , [g/s]               |   |   |   |
| Soğutma suyu debisi, $\dot{m}_{su}$ [L/h]                   |   |   |   |
| Isıtıcı rezistans gücü, P <sub>e</sub> [W]                  |   |   |   |

## HESAPLAMALAR

**Buharlaştırıcı İçin Toplam Isı Akısı (Isıl kapasite):**

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_a h_{fg} \text{ [W]}$$

**Yüzeysel Isı Taşınım Katsayısının Bulunması:**

$$\dot{P}_{el} = \bar{h}_{D,N} A_R \Delta T_m$$

$$A_R: \text{Isıtıcı yüzeyi} = 0.087 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\Delta t = t_5 - t_1: \text{Isıtıcı ile sıvı arasındaki sıcaklık farkı}$$

### DENEY 3- Yoğuşturma kapasitesi, yüzeysel taşınım katsayısı

**DENEYİN AMACI:** Yoğuşturucuda ısı kapasite ve yüzeysel ısı taşınım katsayısının nasıl hesaplandığını kavramak

#### DENEYİN YAPILIŞI:

1) Deney-1'i tekrarlayın.

**RAPORDA İSTENENLER:** Tablo değerleri ve hesaplamalar, deneyin yorumlanması.

| Ölçüm sayısı                                  | 1 | 2 | 3 |
|-----------------------------------------------|---|---|---|
| Sistem basıncı, P [bar]                       |   |   |   |
| Buharlaştırıcıda ki sıvı sıcaklığı $t_1$ [°C] |   |   |   |
| Yoğuşturucuda ki sıvı sıcaklığı, $t_2$ [°C]   |   |   |   |
| Su giriş sıcaklığı, $t_3$ [°C]                |   |   |   |
| Su dönüş sıcaklığı, $t_4$ [°C]                |   |   |   |
| Isıtıcı yüzey sıcaklığı, $t_5$ [°C]           |   |   |   |
| Kaynama sıcaklık farkı, $t_5-t_1$ [°C]        |   |   |   |
| Sıvı (etil alkol) debisi, $\dot{m}_a$ , [g/s] |   |   |   |
| Soğutma suyu debisi, $\dot{m}_{su}$ [L/h]     |   |   |   |
| Isıtıcı rezistans gücü, $P_e$ [W]             |   |   |   |

#### HESAPLAMALAR

**Yoğuşturucu İçin Toplam Isı Akısı (Isıl kapasite):**

$$\dot{Q}_{su} = \dot{m}_{su} C_{psu} (t_4 - t_3)$$

**Ortalama Yüzeysel Isı Taşınım Katsayısı**

$$\bar{h}_{d,N} = \frac{\dot{Q}_{su}}{A \Delta T}$$

$$A=0.08 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\Delta T=(t_2-t_{ort}) \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$t_{ort} = \frac{t_3 + t_4}{2}$$

# EK-1 Etil Alkol (etanol) Termofiziksel Özellikleri

| Etanol, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH, Moleküler ağırlık: 46.0 |                                                         |                      |                                                                          |                                                           |                                                                              |                                                                               |                                                     |                                                      |                                                    |                                                 |                                                  |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| T<br>Sıcaklık.<br>(°C)                                            | p <sub>v</sub> doyma<br>basıncı<br>(10 <sup>5</sup> Pa) | Gizli Isı<br>(kJ/kg) | ρ <sub>l</sub><br>Sıvı yoğunluğu<br>(10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> ) | ρ <sub>v</sub><br>Buhar yoğunluğu<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | μ <sub>l</sub><br>Sıvı viskozitesi<br>(10 <sup>-3</sup> N-s/m <sup>2</sup> ) | μ <sub>v</sub><br>Buhar viskozitesi<br>(10 <sup>-5</sup> N-s/m <sup>2</sup> ) | k <sub>l</sub> sıvı termal<br>iletkenlik<br>(W/m-K) | k <sub>v</sub> buhar termal<br>iletkenlik<br>(W/m-K) | σ<br>sıvı yüzey gerilimi<br>(10 <sup>-3</sup> N/m) | c <sub>p,l</sub><br>Sıvı özgül ısı<br>(kJ/kg-K) | c <sub>p,v</sub><br>buhar özgül ısı<br>(kJ/kg-K) |
| 0                                                                 | 0.012                                                   | 1048.4               | 0.901                                                                    | 0.036                                                     | 1.7990                                                                       | 0.774                                                                         | 0.183                                               | 0.0117                                               | 24.4                                               | 2.27                                            | 1.34                                             |
| 20                                                                | 0.058                                                   | 1030.0               | 0.800                                                                    | 0.085                                                     | 1.1980                                                                       | 0.835                                                                         | 0.179                                               | 0.0139                                               | 22.8                                               | 2.40                                            | 1.40                                             |
| 40                                                                | 0.180                                                   | 1011.9               | 0.789                                                                    | 0.316                                                     | 0.8190                                                                       | 0.900                                                                         | 0.175                                               | 0.0160                                               | 21.0                                               | 2.57                                            | 1.48                                             |
| 60                                                                | 0.472                                                   | 988.9                | 0.770                                                                    | 0.748                                                     | 0.5880                                                                       | 0.959                                                                         | 0.171                                               | 0.0179                                               | 19.2                                               | 2.78                                            | 1.54                                             |
| 80                                                                | 1.086                                                   | 960.0                | 0.757                                                                    | 1.430                                                     | 0.4320                                                                       | 1.030                                                                         | 0.169                                               | 0.0199                                               | 17.3                                               | 3.03                                            | 1.61                                             |
| 100                                                               | 2.260                                                   | 927.0                | 0.730                                                                    | 3.410                                                     | 0.3180                                                                       | 1.092                                                                         | 0.167                                               | 0.0219                                               | 15.5                                               | 3.30                                            | 1.68                                             |
| 120                                                               | 4.290                                                   | 885.5                | 0.710                                                                    | 6.010                                                     | 0.2430                                                                       | 1.157                                                                         | 0.165                                               | 0.0238                                               | 13.4                                               | 3.61                                            | 1.75                                             |
| 140                                                               | 7.530                                                   | 834.0                | 0.680                                                                    | 10.670                                                    | 0.1900                                                                       | 1.219                                                                         | 0.163                                               | 0.0256                                               | 11.2                                               | 3.96                                            |                                                  |
| 160                                                               | 12.756                                                  | 772.9                | 0.650                                                                    | 17.450                                                    | 0.1500                                                                       | 1.293                                                                         | 0.161                                               | 0.0272                                               | 9.0                                                |                                                 |                                                  |
| 180                                                               | 19.600                                                  | 698.8                | 0.610                                                                    | 27.650                                                    | 0.1200                                                                       | 1.369                                                                         | 0.159                                               | 0.0288                                               | 6.7                                                |                                                 |                                                  |
| 200                                                               | 29.400                                                  | 598.3                | 0.564                                                                    | 44.480                                                    | 0.0950                                                                       | 1.464                                                                         | 0.157                                               | 0.0395                                               | 4.3                                                |                                                 |                                                  |
| 220                                                               | 42.800                                                  | 468.5                | 0.510                                                                    | 74.350                                                    | 0.0725                                                                       | 1.618                                                                         | 0.155                                               | 0.0321                                               | 2.2                                                |                                                 |                                                  |
| 240                                                               | 60.200                                                  | 280.5                | 0.415                                                                    | 135.500                                                   | 0.0488                                                                       | 1.948                                                                         | 0.153                                               |                                                      | 0.1                                                |                                                 |                                                  |