



TC
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUARI I

ÇİFT BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİ

2020

DENEYİN AMACI

Bu deneyde; çift borulu ısı değıştirici için sıcaklık dağılımı, ısı aktarım hızı, tüm ısı aktarım katsayısı incelenerek, kuramsal değerlerle karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca akış türü, sıcak su akış hızı ve giriş sıcaklığının ısı değıştiricinin verimine ve tüm ısı aktarım katsayısına etkileri incelenecektir.

KURAMSAL TEMELLER

Isı geçişı (veya ısı), sıcaklık farkından kaynaklanan enerji aktarımıdır. Isı üç farklı yolla aktarılabilir:

- İletim (kondüksiyon): Katı veya durgun bir akışkan ortam içinde bir sıcaklık farkı olması durumunda, ortam içinde gerçekleşen ısı geçişidir.
- Taşınım (konveksiyon): Bir yüzey ile hareket halindeki bir akışkan farklı sıcaklıklarda ise aralarında gerçekleşen ısı geçişidir.
- Işınım (radyasyon): Sonlu sıcaklığa sahip tüm yüzeyler elektromagnetik dalgalar halinde enerji yayarlar. Dolayısıyla, farklı sıcaklıklardaki iki yüzey arasında, birbirini görmeye engel olan bir ortam yoksa, ışınlımla net ısı alışverişı gerçekleşir [1].

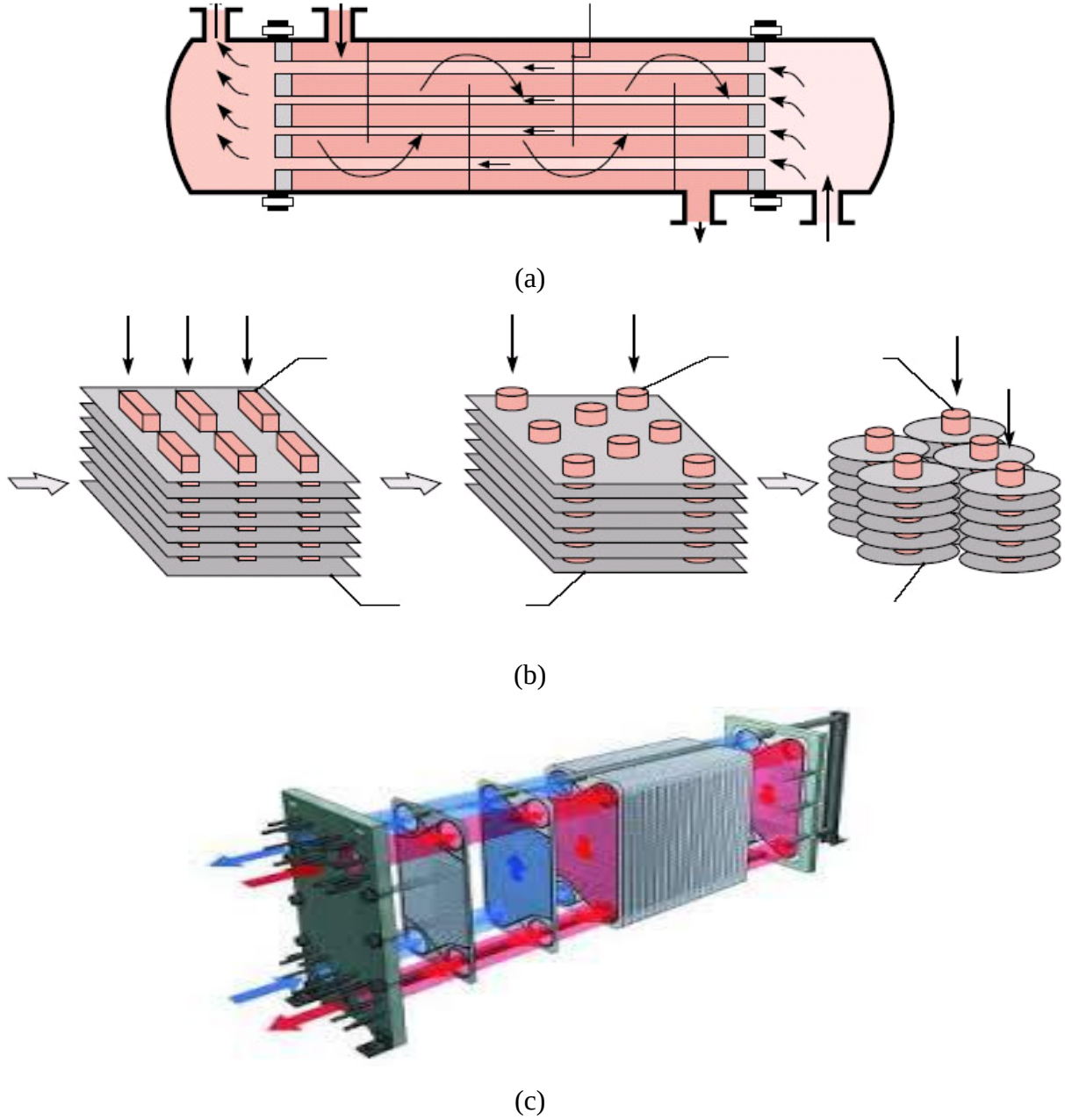
Kimya mühendisliği uygulamalarında sıcak bir akışkandan bir katı duvar boyunca, soğuk bir akışkana ısı akışı ile sıklıkla karşılaşılır. Aktarılan ısı, yoğunlaşma ya da buharlaşma gibi faz değişimi olduğunda gizli ısı; faz değişimi olmaksızın bir akışkanın sıcaklığının artırılması ya da azaltılması durumunda ise duyulan ısıdır [2].

Herhangi bir kimya endüstrisinde en yaygın kullanılan donanımlar olan ısı değıştiriciler; birbirine karışmasına izin verilmeksizin iki akışkan arasında ısı değışimini sağlayan aygıtlardır.

Isı değıştiricilerin kullanım amaçları:

- Proses verimliliğini artırmak
- Bakım masraflarını düşürmek
- Enerji tasarrufu sağlamak
- Güvenli çalışma ortamı sağlamak [3].

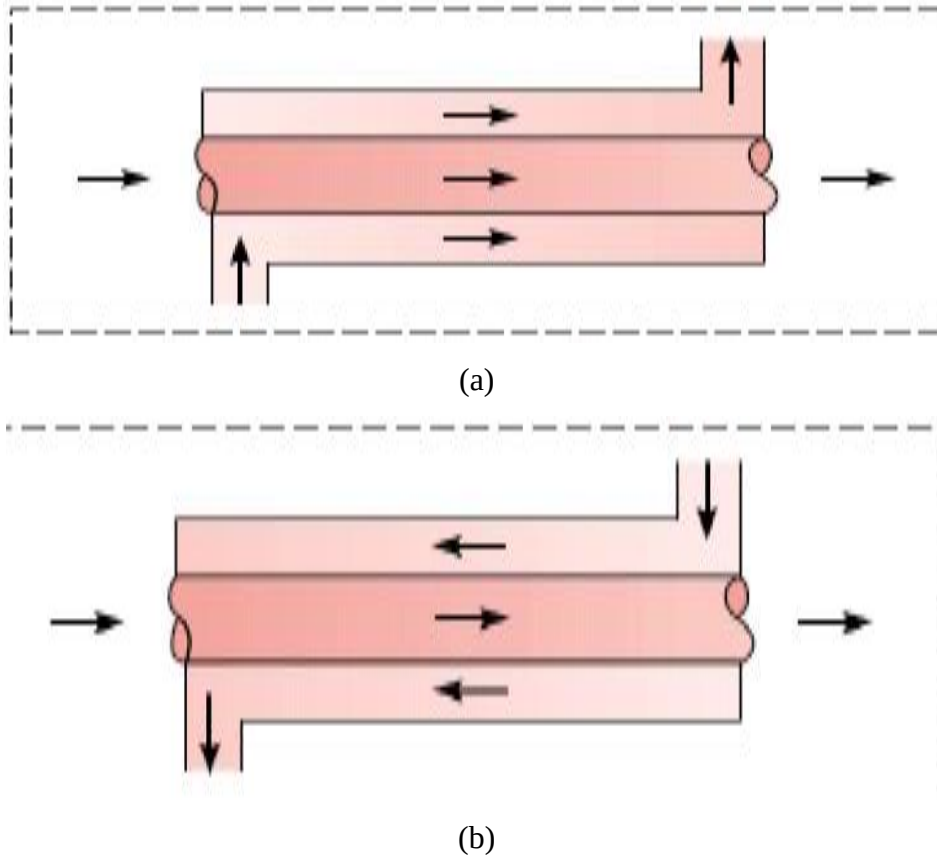
Endüstride kullanılan ısı değıştircilerin çift borulu, gövde borulu, kompakt ve plakalı ısı değıştirciler olmak üzere pek çok farklı çeşidi vardır (Şekil 1).



Şekil 1. Gövde borulu (a), kompakt (b), plakalı (c) ısı değıştirciler [3].

Çift borulu ısı değıştirciler en basit ısı değıştirci türü olup iç içe geçmiş eş eksenli iki borudan oluşur (Şekil 2). İçteki boru boyunca akışkanlardan biri akarken iki boru arasında kalan halkasal boşluktan ikinci akışkan akar. Isı değıştircisinin işlevi, soğutucu akışkan sıcaklığını arttırmak ve

ısıtıcı akışkanın sıcaklığını düşürmektir. Isı aktarımı akışkanlar ve boru yüzeyleri arasında ulaşım, boru duvarı boyunca ise iletimle gerçekleşir [2].



Şekil 2. Paralel (a) ve zıt (b) akışlı çift borulu ısı değıştirciler [3].

Çift borulu ısı değıştirciye enerji denkliği uygulandığında, sıcak ve soğuk akışkanlar için ısı aktarım hızları aşağıdaki eşitliklerle verilebilir:

$$q_H = m_H C_{p,H} (T_{H,b} - T_{H,a}) \quad (1)$$

$$q_C = m_C C_{p,C} (T_{C,b} - T_{C,a}) \quad (2)$$

İyi yalıtılmış bir ısı değıştircide çevreye ısı aktarımı olmadığı yani sıcak akışkandan verilen ısının tamamının soğuk akışkan tarafından alındığı kabul edilir ve bu durumda aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$q = q_C = -q_H \quad (3)$$

Burada q_H ve q_C sıcak ve soğuk akışkanlar için ısı aktarım hızları (W), m_H ve m_C sıcak ve soğuk akışkanlar için kütleli akış hızları (kg/s), $C_{p,H}$ ve $C_{p,C}$ ise sıcak ve soğuk akışkanlar için özgül ısılarıdır ($J/kg.K$).

Çift borulu ısı değiştiricinin analizinde akışkanlar arasında borudan ulaşım ile ısı aktarımı söz konusu olduğundan aktarım katsayısının tanımı biraz karışıktır. Bu yüzden borulardaki tüm ısı aktarımını daha iyi tanımlayacak yeni bir aktarım katsayısı tanımlamak gereklidir. Bu katsayı tüm ısı aktarım katsayısı, U , olarak adlandırılır.

$$U = \frac{1}{(1/h_i) + (1/h_o)} \quad (4)$$

burada i ve o alt indisleri sırasıyla borunun iç ve dış yüzeyini ifade eder. Eşitlikteki h_i ve h_o ise sırasıyla iç ve dış taraftaki akışkanın bireysel ısı aktarım katsayılarını ifade eder.

Çift borulu ısı değiştiricide toplam ısı aktarım hızını belirlemek için gerekli olan sıcaklık farkını da tanımlamak zordur. Çünkü sistem boyunca farklı sıcaklık değerleri mevcuttur. Bu yüzden bu tip ısı değiştiricilerde tüm ısı aktarım sayısını bulmak için logaritmik ortalama sıcaklık farkı kullanılır ve toplam ısı aktarım hızı aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$q = U A \Delta T_L \quad (5)$$

Eşitlik 1 ya da 2 yardımıyla ısı aktarım hızı hesaplanarak Eşitlik 5'te yerine konduğunda tüm ısı aktarım katsayısı da kolayca hesaplanabilir. Tekdüze kesit alanına sahip silindirik borular boyunca tam gelişmiş ve yatışkın haldeki akışkan akışı için ısı aktarım katsayısı; boru çapının ve uzunluğunun, akışkan yoğunluğunun, akma hızının, ısı kapasitesinin, ısıl iletkenliğinin ve ortalama hızının fonksiyonudur.

İçteki borunun dış çapını esas alan hesaplamalar için Eşitlik 5 aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$q_o = U_o A_o \Delta T_L = \frac{\Delta T_L}{\Sigma R} \quad (6)$$

Burada A_o içteki borunun dış yüzey alanı ve ΣR ise toplam ısı direncidir ve içteki borunun iç yüzeyindeki akışkan filminin direnci, boru duvarının direnci ve içteki borunun dış yüzeyindeki akışkan filminin direncinin toplamına eşittir.

$$\Sigma R = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{D_o}{2 k A_o} \ln \frac{D_o}{D_i} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (7)$$

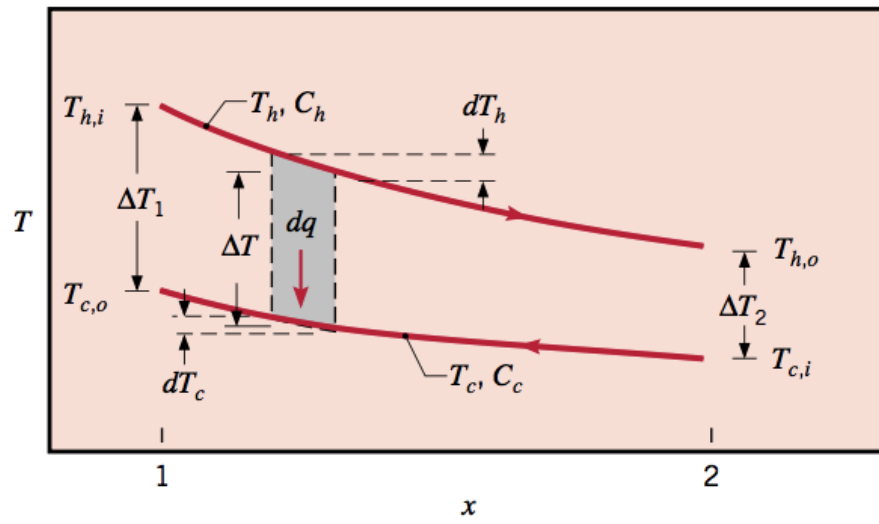
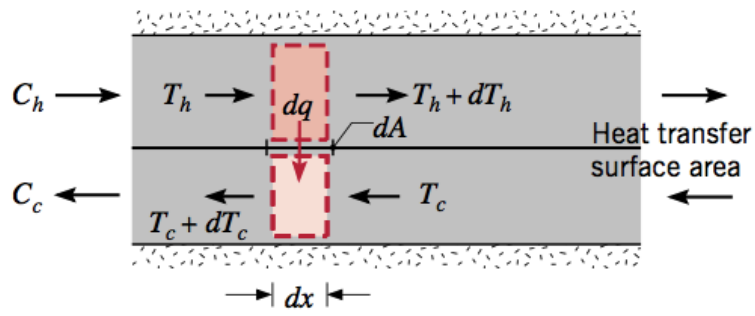
Bu eşitlikte yer alan bireysel ısı aktarım katsayıları (h_i ve h_o); akışkan özellikleri ve akışkan akışının doğasına (katmanlı ya da kargaşalı akış) bağlıdır ve farklı deneysel bağıntılar kullanılarak hesaplanabilir. Borularda bir akışkanın zorlanmış ulaşım ile akışı için en iyi bilinen ifade aşağıdaki gibidir:

$$Nu = 0,023 (Re)^{0,8} (Pr)^{0,33} \quad (8)$$

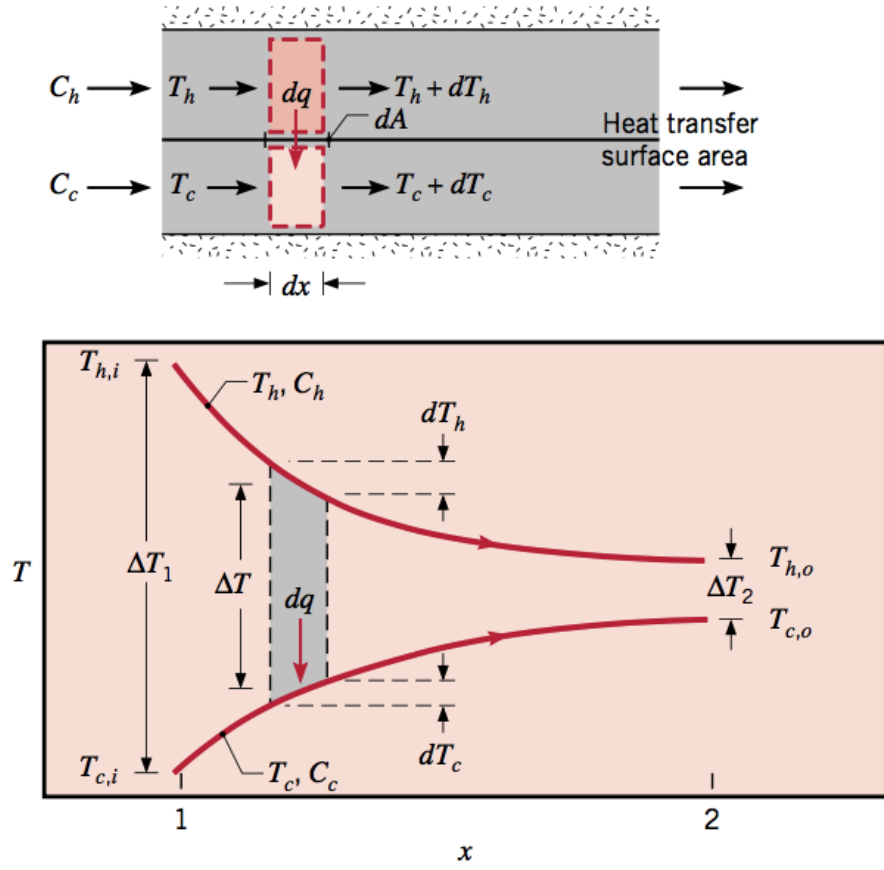
Burada Nusselt sayısı, ($Nu = h D / k$), bireysel ısı aktarım katsayısı ve akışkanın ısı iletkenliği ile ilişkili boyutsuz bir sayıdır. Reynolds sayısı, ($Re = D V \rho / \mu$), akışkana ait iç ve dış kuvvetlerle ilgilidir ve aynı zamanda akış türünü belirler. Prandtl sayısı, ($Pr = C_p \mu / k$), ise akışkanın özellikleri kullanılarak hesaplanabilen boyutsuz bir akışkan özelliğidir. Bu tür deneye dayalı eşitliklerde kullanılan özelliklerin çoğu sıcaklığa bağlıdır ve akışkanın ortama yığın sıcaklığında ya da giriş ve çıkış akımlarının ortalama sıcaklığındaki özellikler kullanılır.

Çift borulu ısı değiştiricilerde aynı yönde ve zıt yönde akış olmak üzere iki farklı akış düzenlemesi kullanılır. Isı değiştiriciye iki akışkan girişi farklı uçlarda ise ve sistem boyunca geçiş zıt yönde doğrultuda ise, bu tip akış zıt yönde akış olarak adlandırılır ve yaygın olarak kullanılır (Şekil 3.a). Eğer iki akışkan ısı değiştiricinin aynı ucundan giriyorsa ve diğer uçtan aynı yönde çıkıyorsa, bu aynı yönde akış olarak adlandırılır (Şekil 3.b).

Aynı yönde akış, soğuk akışkan çıkış sıcaklığında bir maksimum sınır olduğu ya da akışkanlardan en az birinin sıcaklığını çabuk değiştirmek gerektiği özel durumlar dışında pek uygulanmaz. Çünkü bu tür akışta aynı ısı değiştiricide zıt yönde akışla aktarılabilecek olandan daha az ısı aktarılabilir [2].



(a)



(b)

Şekil 3. Zıt yönde (a) ve aynı yönde (b) akış şartlarında çalışan çift borulu ısı değiştirici için sıcaklık dağılımları [3].

DENEY DÜZENEGİ VE YÖNTEMİ

Deney Düzenegi

Bu deneyde kullanılan çift borulu ısı değiştirici toplam 1,5 m uzunluğunda iç içe geçmiş iki borudan oluşmaktadır (Şekil 4). Sistem için gereken sıcak su düzenegin arka tarafında bulunan bir sıcak su deposundan pompa yardımıyla sisteme basılır (Şekil 5).

Soğuk su kaynağı olarak ise şebeke suyu kullanılmaktadır. Düzenekte sıcak su içteki borudan, soğuk su ise iki boru arasındaki halkasal boşluktan akmaktadır.



Şekil 4. Çift borulu ısı değıştirici

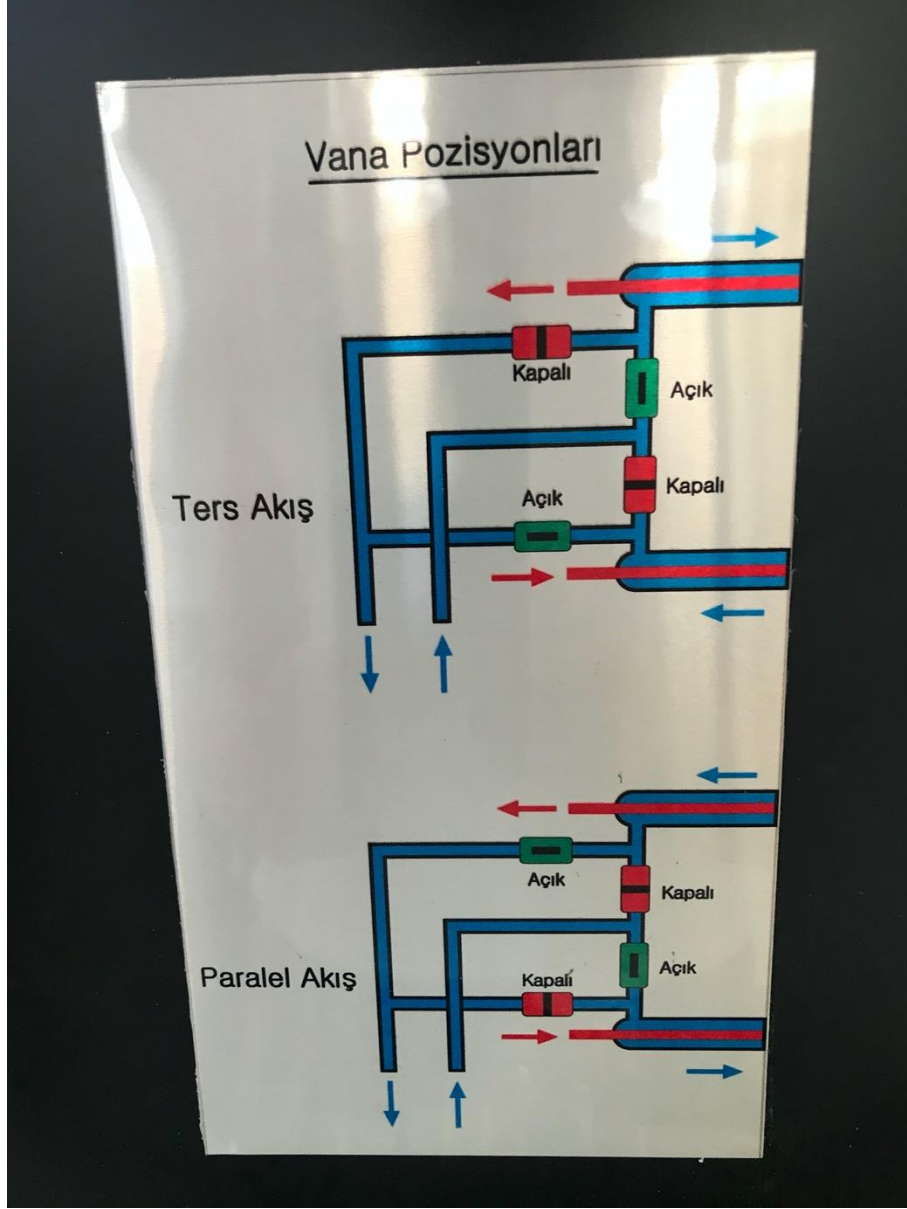


Şekil 5. Çift borulu ısı değıştirci sıcak su deposu

Deneyin Yapılışı

1. Deneye başlamadan önce vanalar yardımıyla akış düzenlemesi (aynı yönde ya da zıt yönde) yapılır.
2. Sıcak su tankına bağlı kontrol düğmesi ile çalışılacak sıcaklık ayarlanır.
3. Sistem çalıştırılır ve soğuk su musluğu açılır.
4. Akış kontrol vanaları ile sıcak ve soğuk su akış hızları ayarlanır (Şekil 6).
5. Sistem yatışkın hale geldikten sonra soğuk ve sıcak suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları ısı değıştircinin giriş ve çıkışına yerleştirilmiş termometreler yardımıyla okunur.

6. Düzeneğin üst kısmına yerleştirilmiş termometrelerden ise dolaşımın orta noktasındaki sıcak ve soğuk su sıcaklıkları okunur.
7. Farklı koşullar için 1-6. basamaklar tekrarlanır.



Şekil 6. Ters ve paralel akış için vana pozisyonları

DENEY VERİLERİNİN SUNUMU

Elde edilen tüm deney verileri aşağıda gösterilen çizelgelerde toplanır:

Deney A:

Kullanılacak başlangıç değerleri: Sıcak su akış hızı $Q_H = 2 \text{ L/dk}$

Soğuk su akış hızı $Q_c = 2 \text{ L/dk}$

Sıcaklık ayarı : 50°C

Çizelge 1. Deney A için deney verileri

Okumalar	$T_{Ha} (^\circ\text{C})$	$T_{Hort.} (^\circ\text{C})$	$T_{Hb} (^\circ\text{C})$	$T_{Ca} (^\circ\text{C})$	$T_{Cort} (^\circ\text{C})$	$T_{Cb} (^\circ\text{C})$
Aynı yönde						
Zıt yönde						

Deney B:

Kullanılacak başlangıç değerleri: Sıcak su akış hızı $Q_H = 2 \text{ L/dk}$

Soğuk su akış hızı $Q_c = 2 \text{ L/dk}$

Akış düzenlemesi : Zıt yönde

Çizelge 2. Deney B için deney verileri

Ayarlanan sıcak su giriş sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)	$T_{Ha} (^\circ\text{C})$	$T_{Hort.} (^\circ\text{C})$	$T_{Hb} (^\circ\text{C})$	$T_{Ca} (^\circ\text{C})$	$T_{Cort} (^\circ\text{C})$	$T_{Cb} (^\circ\text{C})$
50						
55						
60						
65						

Deney C:

Kullanılacak başlangıç değerleri: Sıcaklık ayarı : 50°C

Soğuk su akış hızı $Q_c = 2 \text{ L/dk}$

Çizelge 3. Deney C için deney verileri

$Q_H (\text{L/dk})$	$T_{Ha} (^\circ\text{C})$	$T_{Hort.} (^\circ\text{C})$	$T_{Hb} (^\circ\text{C})$	$T_{Ca} (^\circ\text{C})$	$T_{Cort} (^\circ\text{C})$	$T_{Cb} (^\circ\text{C})$
1						
2						
3						
4						

HESAPLAMALAR

Elde edilen deneysel verilerden yararlanarak sırasıyla aşağıdaki hesaplamalar yapılacaktır.

1) Sıcak su için ısı aktarım hızı, q_H (W):

$$q_H = Q_H \rho_H C_{pH} (T_{Ha} - T_{Hb})$$

Soğuk su için ısı aktarım hızı, q_c (W) :

$$q_c = Q_C \rho_C C_{pC} (T_{Ca} - T_{Cb})$$

$$\text{Isı kaybı} = |q_c| - |q_H|$$

Isı değiştirici verimi, η (%) :

$$\eta = \frac{q_c}{q_H} 100$$

2) Tüm ısı aktarım katsayısı (deneysel), $U_{deneysel}$ (W/m².K)

(i) İçteki borunun iç yüzey alanı esas alınır;

$$U_{i(deneysel)} = \frac{q_H}{A_i \Delta T_L}$$

(ii) İçteki borunun dış yüzey alanı esas alınır;

$$U_{o(deneysel)} = \frac{q_c}{A_o \Delta T_L}$$

3) Tüm ısı aktarım katsayısı (kuramsal), $U_{kuramsal}$ (W/m².K)

(i) İçteki borudan akan akışkan için ısı aktarım katsayısı, h_i (W/m²K)

$$h_i = 0,023 (Re)^{0,8} (Pr)^{0,33} (k/d_i)$$

$$Re = d_i V_i \rho / \mu$$

(ii) İki boru arasından akan akışkan için ısı aktarım katsayısı, h_o (W/m² K)

$$h_o = 0,023 (Re)^{0,8} (Pr)^{0,33} (k/D_e)$$

$$Re = D_e V_o \rho / \mu$$

$$U_{i(kuramsal)} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x_w}{k_m} \frac{d_i}{d_L} + \frac{d_i}{d_o} \frac{1}{h_o}}$$

$$U_{o(kuramsal)} = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{x_w}{k_m} \frac{d_o}{d_L} + \frac{d_o}{d_i} \frac{1}{h_i}}$$

Yardımcı eşitlikler ve sabitler:

- $\Delta T_L (^\circ C)$: Logaritmik ortalama sıcaklık farkı

$$\Delta T_L = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

ΔT_1 ve ΔT_2 akışın aynı yönde ya da zıt yönde olması durumu dikkate alınarak hesaplanır.

- $A_i (m^2)$: İçteki borunun iç yüzey alanı $A_i = \pi d_i L$
- $A_o (m^2)$: İçteki borunun dış yüzey alanı $A_o = \pi d_o L$
- $D_e (m)$: Eşdeğer çap $= 4 r_H$ $D_e = \frac{D_i^2 - d_o^2}{d_o + D_i}$
- r_H : Hidrolik yarıçap
- $d_L (m)$: Logaritmik ortalama çap $d_L = \frac{(d_o - d_i)}{\ln(d_o/d_i)}$
- Pr : Prandtl sayısı $Pr = C_p \mu / k$
- $V_i (m/s)$: İçteki borudan akan akışkanın çizgisel hızı $V_i = 4 Q_i / \pi d_i^2$
- $V_o (m/s)$: İki boru arasından akan akışkanın çizgisel hızı $V_o = 4 Q_o / \pi D_e^2$
- $Q (m^3/s)$: Akışkanın hacimsel akış hızı
- $\rho (kg/m^3)$: Akışkanın yoğunluğu
- $\mu (kg/m.s)$: Akışkanın akma viskozitesi

Isı değiştiricinin boyutlarını gösteren simgeler yandaki şekilde görülmektedir.

- d_i : İçteki borunun iç çapı $= 15,7 \text{ mm}$
- d_o : İçteki borunun dış çapı $= 21,3 \text{ mm}$
- D_i : Dıştaki borunun iç çapı $= 26,9 \text{ mm}$
- D_o : Dıştaki borunun dış çapı $= 33,7 \text{ mm}$
- L : Isı değiştiricinin uzunluğu $= 1500 \text{ mm}$
- x_w : İçteki borunun et kalınlığı $= 2 \text{ mm}$
- $k_m (W/m K)$: İç taraftaki boru malzemesinin ısıl iletkenliği (çelik boru)
- $k (W/m K)$: Akışkanın ısıl iletkenliği
- $C_p (J/kg K)$: Akışkanın sabit basınçta ısı kapasitesi

NOT : Hesaplamalarda kullanılan k , μ , ρ , C_p ve μ değerleri için standart çizelgelere bakılmalıdır. Bunun için verilen kaynaklardan yararlanılabilir. Bu nicelikler sıcaklığa bağlı oldukları için değerlerinin akışkanın ortalama sıcaklığında alınması gereklidir.

Verilen eşitliklere göre deney için hesaplanacak değerler aşağıdaki çizelgelerde gösterilmelidir. Hesaplamalar yapıldığı zaman birimleri uyumlu hale getirmek için uygun dönüşüm faktörlerinin kullanılması gerekmektedir.

Çizelge 4. Deney A için hesaplama sonuçları

Akış türü	q_H (W)	q_c (W)	Isı kaybı (W)	Verim (%)	U_i (deneysel) (W/m ² K)	U_o (deneysel) (W/m ² K)	U_i (kuramsal) (W/m ² K)	U_o (kuramsal) (W/m ² K)
Aynı yönde								
Zıt yönde								

Her iki akış türü için de sıcaklık dağılımı grafikleri çizilir (bkz Şekil 1).

Çizelge 5. Deney B için hesaplama sonuçları

Sıcak akım girişi sıcaklığı (°C)	q_H (W)	q_c (W)	Isı kaybı (W)	Verim (%)	U_i (deneysel) (W/m ² K)	U_o (deneysel) (W/m ² K)	U_i (kuramsal) (W/m ² K)	U_o (kuramsal) (W/m ² K)
Ayarlanan	Ölçülen							
50								
55								
60								
65								

Sıcaklığa karşı verim ve tüm ısı aktarım katsayıları (deneysel ve kuramsal) grafiğe geçirilir ve karşılaştırılır.

Çizelge 6. Deney C için hesaplama sonuçları

Sıcak su akış hızı (L/dk)	q_H (W)	q_c (W)	Isı kaybı (W)	Verim (%)	U_i (deneysel) (W/m ² K)	U_o (deneysel) (W/m ² K)	U_i (kuramsal) (W/m ² K)	U_o (kuramsal) (W/m ² K)
1								
2								
3								
4								

Akış hızına karşı verim ve tüm ısı aktarım katsayıları (deneysel ve kuramsal) grafiğe geçirilir ve karşılaştırılır.

SORULAR

1. Çift borulu ısı değiştirici nerelerde kullanılır? Yararları ve sakıncaları nelerdir?
2. İncelenen değişkenlerden hangisi çift borulu ısı değiştiricinin verimi üzerinde daha etkilidir? Neden? Çizdiğiniz grafikleri dikkate alarak açıklayınız.
3. Reynolds sayısı hangi değerler arasında değişmektedir?
4. Bireysel ısı aktarım katsayılarının (h_i ve h_o) fiziksel anlamı nedir?
5. Deneysel ve kuramsal tüm ısı aktarım katsayıları arasında farklılık var mıdır? Varsa neden kaynaklanıyor olabilir?
6. Küçük bir alana bir çift borulu ısı değiştirici sığdırmamız gerekirse nasıl bir sistem tasarlırsınız?
7. Isı değiştiricilerin tasarımında hangi parametreler etkilidir?
8. Isı değiştiriciler endüstride en fazla hangi alanlarda kullanılır?
9. Isı aktarımının işlgelerini eşitlikler ile birlikte araştırınız.
10. Ulaşımla ısı aktarımı kaç yolla gerçekleşir? Örnek vererek açıklayınız.
11. Genel enerji denkliğinden yola çıkarak çift borulu ısı değiştirici için Eş. 3'ü türetiniz.

KAYNAKLAR

- [1] Incropera, F.P., DeWitt, D.P., *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*, İstanbul: Literatür Yayıncılık, (2000).
- [2] Yıldırım, E., Erşahan, H., Kabasakal, O.S., Şensöz, S., Güvenç, A., Özdemir, M., Öztürk, N., Aşkın, A., Özdemir, Y., Yorgun, S., Nurbaş, M., Tümsek, F., İzci, A., Demiral, H., Karabacakoglu, B., Bilgiç, C., Kavak, D., Demiral, İ., Köse, T.E., Hoşgün, H.L., Şölener, M., Aşçı, Y., Topaloğlu Yazıcı, D., Kıpçak, İ., Selengil, U., Doğru, M., *Kimya Mühendisliği Laboratuvarı I-II-III*, Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Yayınları, (2009).
- [3] Çengel, Y.A., *Isı ve Kütle Transferi Pratik Bir Yaklaşım*, Çeviri V. Tanyıldızı, İ. Dağtekin, İzmir: İzmir Güven Kitabevi, (2011).