



TC
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUARI II

PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİ

2021

DENEYİN AMACI

Sıcak akışkandan soğuk akışkana geçen ısı aktarım hızı, tüm ısı aktarım katsayısı hesaplanarak plakalı ısı değiştiricideki toplam enerji denkliğinin çıkarılmasıdır. Ayrıca akış türü, sıcak su akış hızı ve sıcak su giriş sıcaklığının ısı değiştiricinin verimine ve tüm ısı aktarım katsayısına etkileri incelenecektir.

KURAMSAL TEMELLER

Isı geçişi (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 geçiştir.
- Taşınım (konveksiyon): Bir yüzey ile hareket halindeki bir akışkan farklı sıcaklıklarda ise aralarında gerçekleşen ısı geçiştir.
- 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, ışınlama net ısı alışverişi gerçekleşir [1].

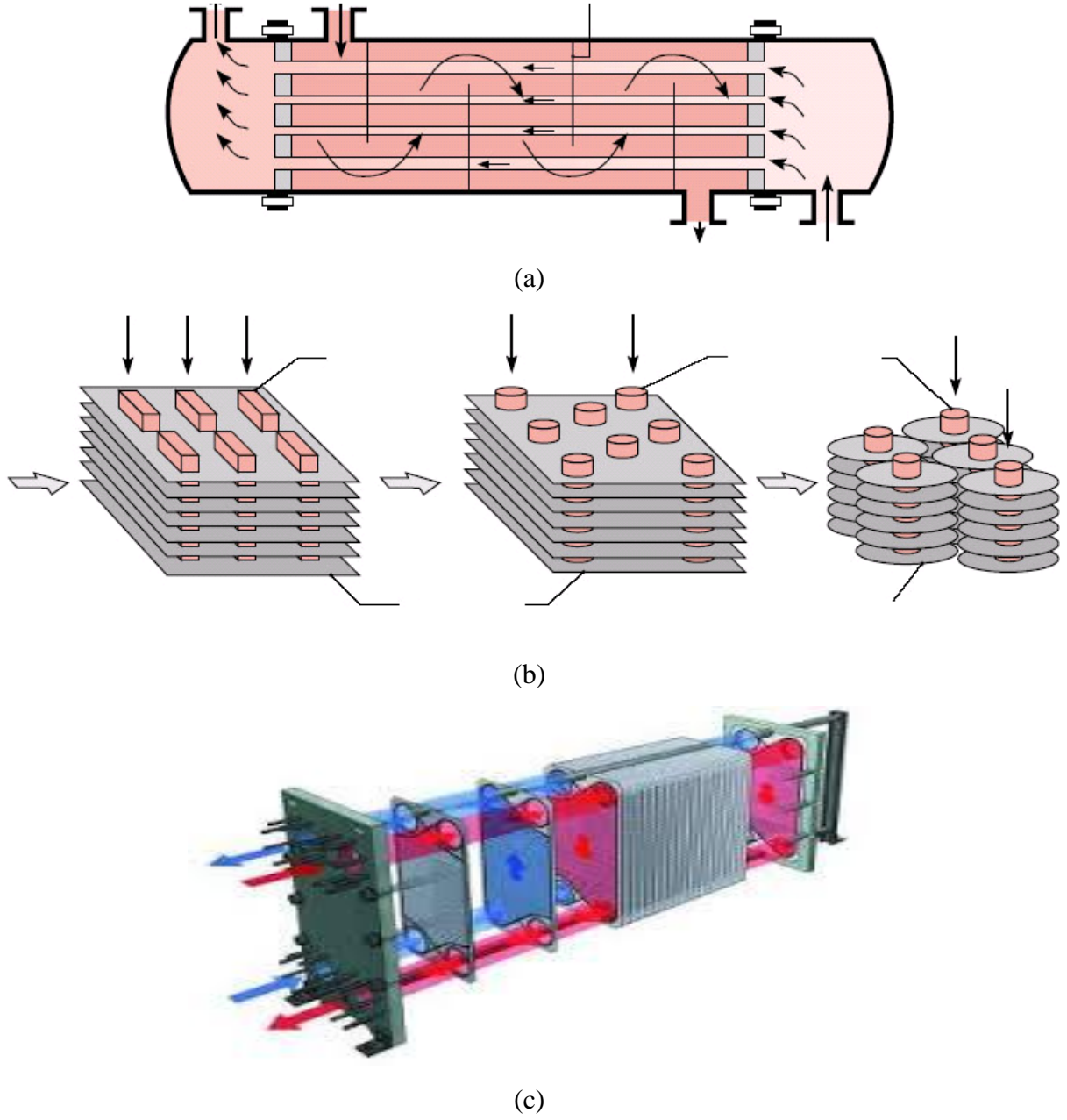
Kimya mühendisliği uygulamalarında sıcak bir akışkandan bir katı duvar boyunca, soğuk bir akışkana ısı akışı ile sıklıkla karşılaşılır. Aktarılan ısı, yoğuşma ya da buharlaşma gibi faz değişimi olduğunda gizli ısı; faz değişimi olmaksızın bir akışkanın sıcaklığının artırılması ya da azaltılması durumunda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

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

Isı değiştiricilerin kullanım amaçları:

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

Endüstride kullanılan ısı değiştiricilerin çift borulu, gövde borulu, kompakt ve plakalı ısı değiştiriciler olmak üzere pek çok farklı çeşidi vardır (şekil 1).



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

Isı değiştiricilere 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 değiştiricide 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 ısılardır (J/kg.K).

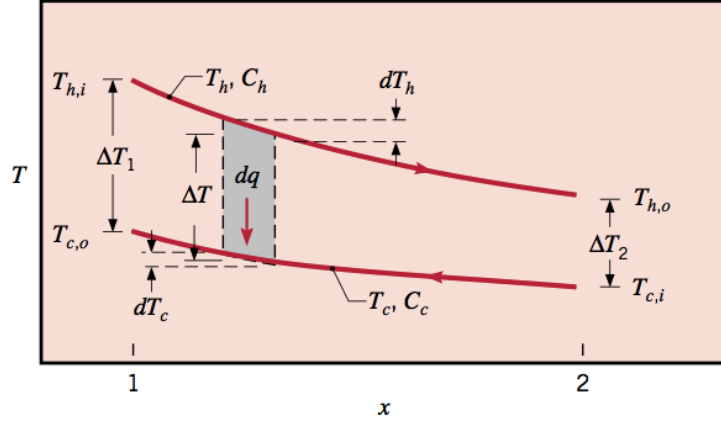
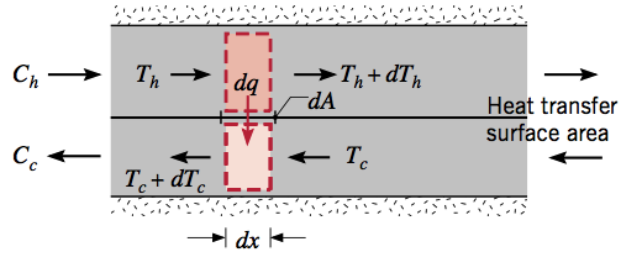
Isı değiştiricide toplam ısı aktarım hızını belirlemek için gerekli olan sıcaklık farkını da tanımlamak zordur. Çünkü sistem boyunca farklı sıcaklık değerleri mevcuttur. Bu yüzden ısı değiştiricilerde tüm ısı aktarım sayısını bulmak için logaritmik ortalama sıcaklık farkı kullanılır ve toplam ısı aktarım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

$$q = U A \Delta T_L \quad (4)$$

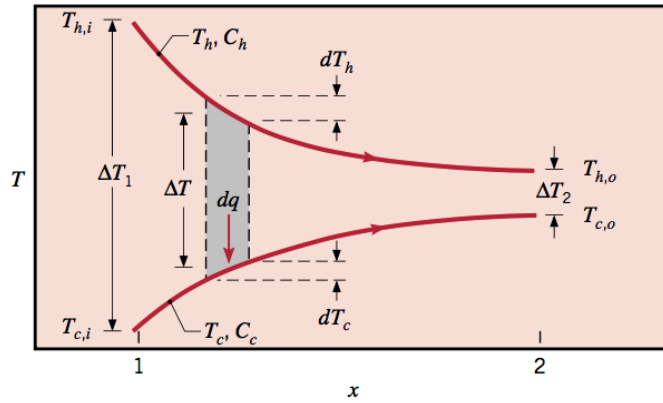
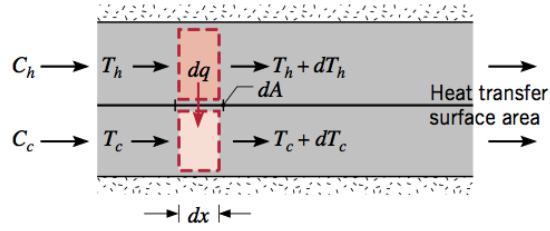
Eşitlik 1 ya da 2 yardımıyla ısı aktarım hızı hesaplanarak Eşitlik 4'te yerine konduğunda tüm ısı aktarım katsayısı da kolayca hesaplanabilir.

Isı 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 2.a). Eğer iki akışkan ısı değiştiricinin aynı ucundan giriyorsa ve diğer uçtan aynı yönde çıkıyorsa, bu aynı yönde akış olarak adlandırılır (şekil 2.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)

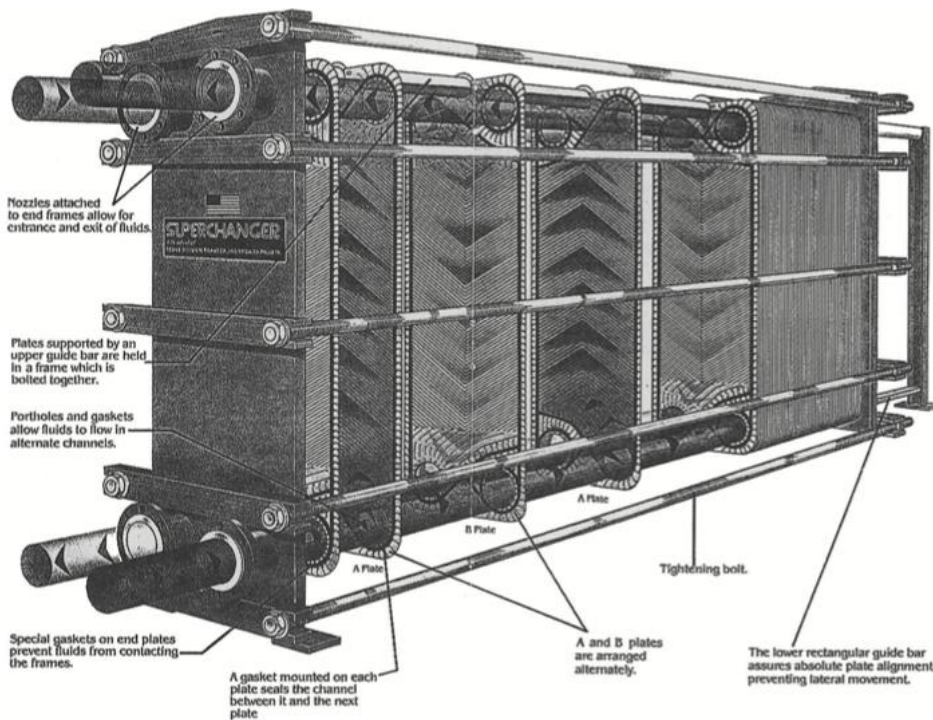


(b)

Şekil 2. Zıt yönde (a) ve aynı yönde (b) akış şartlarında çalışan çift borulu ısı değiştirici için sıcaklık dağılımları [3].

Plakalı Isı Değiştiriciler

Geniş bir kullanım alanı bulan gelişmiş bir ısı değiştirici modeli, bir dizi oluklu akış kanalından oluşan plakalı ve çerçeveseli (veya sadece plakalı) ısı değiştiricilerdir (şekil 3). Sıcak ve soğuk akışkanlar değişik aralıklarda akar ve böylelikle her soğuk akışkan akımı, iki sıcak akışkan akımı tarafından kuşatılarak çok etkili bir ısı transferi meydana gelir. Ayrıca plakalı ısı değiştiriciler ısı transferi ihtiyacının artmasıyla, fazladan plaka takılarak büyütebilirler. Bu ısı değiştiriciler, sıcak ve soğuk akışkan akımlarının yaklaşık olarak aynı basınçta olması kaydıyla, sıvı-sıvı ısı değiştirici uygulamaları için çok uygundur [3].

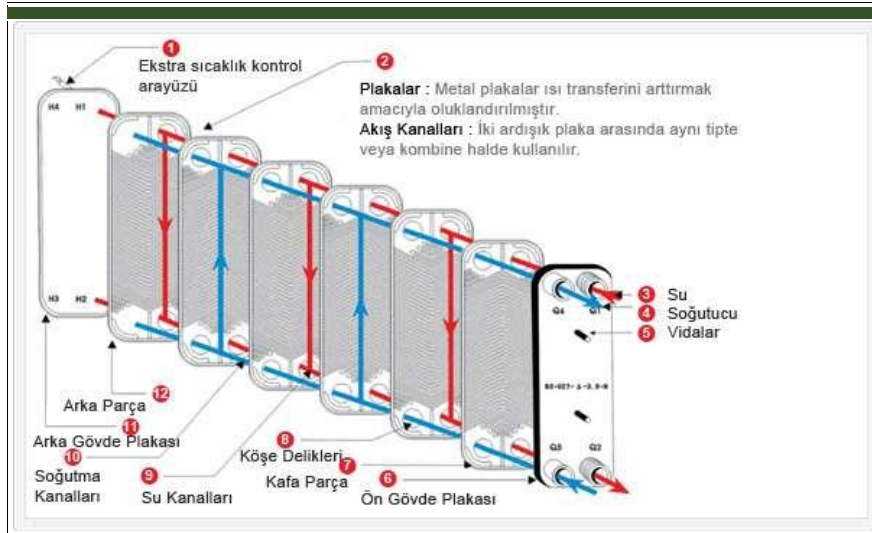


şekil 3. Bir plaka ve çerçeveseli sıvı-sıvı ısı değiştirici [3].

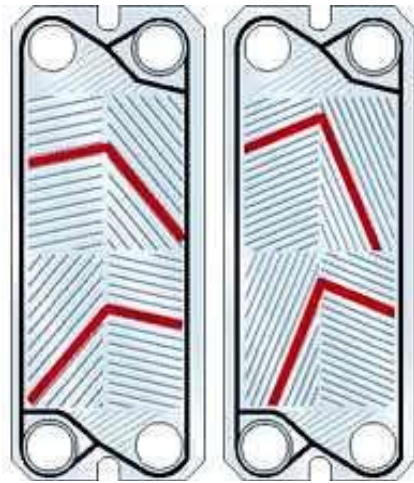
Maliyet ve verimlilik konusunda sürekli devam etmekte olan çalışmalar geleneksel borulu ısı değiştiricilerinin yanı sıra pek çok değişik tipte ısı değiştiricisinin de geliştirilmesine yol açmıştır. Ancak bu farklı ısı değiştirici tiplerinin arasında en çok yaygınlık kazananı ve en başarılı olanı plakalı ısı değiştiriciler olmuştur. Günümüzde plakalı ısı değiştiriciler, süt ve gıda sanayinden kimyasal sanayiye kadar hemen her sanayi kolunda ısıtma ve soğutma bölümlerinde kullanılmaktadır [4].

Plakalı ısı değiştiriciler, farklı sıcaklıklara sahip türdeş veya farklı akışkan cinslerinin plakalar arasında birbirine karışmadan dolaşarak ısı alışverişi yapabilen ekipmanlardır (şekil 4). Plakalar üzerindeki özel balıksırtı tasarımı sayesinde akış esnasında akışkanın hızı, sürekli olarak değişir (şekil 5). Bu nedenle elde edilen çalkantı ve yüksek türbülans sayesinde daha küçük hacim ile gereken ısıyı transfer eder.

Plakalı ısı değiştiricilerde esas ısı geçişinin olduğu yüzeyler, genelde ince metal plakalardan (levhalardan) yapılır. Bu metal yüzeyler düz veya dalgalı biçimde olabilir. Borulu tip ısı değiştiricilerde olduğu gibi yüksek basınç ve sıcaklıklara dayanımları azdır. Plakalar alüminyum, zirkonyum, titanyum, nikel veya paslanmaz çelikten yapılabilir [4].



şekil 4. Plakalı ısı değiştiricisinin şematik yapısı [4].



şekil 5. Plakalar üzerindeki balıksırtı tasarımı [4].

Plakalı Isı Değiştirici eşitleri

Plakalı ısı değiştiriciler, kaynaklı (lehimli) ve contalı olmak üzere iki grupta incelenir.

Kaynaklı (Lehimli) Tip Plakalı Isı Değiştiriciler

Klasik tip contalı plakalı ısı değiştiricilerin daha düşük maliyetli bir alternatifi de lehimli plakalı ısı değiştiricilerdir. Bu tip ünitelerin getirdiği bir başka avantaj da daha yüksek sıcaklıklar ve çalışma basınçlarında görev yapabilme kabiliyetleridir. Çalışma prensipleri genel olarak contalı plakalı ısı değiştiriciler ile aynıdır. Ancak burada contaların yerini bakır lehim malzemesi almıştır. Paslanmaz elik plakalar, lehimleme amacı ile kullanılan bakır film ile birlikte vakum altında yüksek sıcaklıkta fırınlanır. Elde edilen sonuç contasız ve son derece kompakt yapıda bir ısı değiştirici olur (şekil 6).



şekil 6. Kaynaklı ısı değiştirici (eşanjör) paketleri [4].

Lehimli tip plakalı ısı değiştiricilerin avantajları; düşük maliyet, yüksek sıcaklık ve basınçlarda çalışabilme, hafiflik ve yüksek ısı transfer verimidir.

Düşük maliyet: Standart boyutlarda seri olarak üreilmeleri ve yüksek ısı transfer katsayıları sebebi ile düşük maliyetli bir alternatif oluşturur.

Yüksek sıcaklık ve basınçlarda çalışabilme: Contaların mevcut olmaması sebebi ile bu tür ısı eşanjörleri -180 / +200 °C aralığındaki sıcaklıklarda ve 30 bar'a kadar çalışma basınçlarında kullanılabilir.

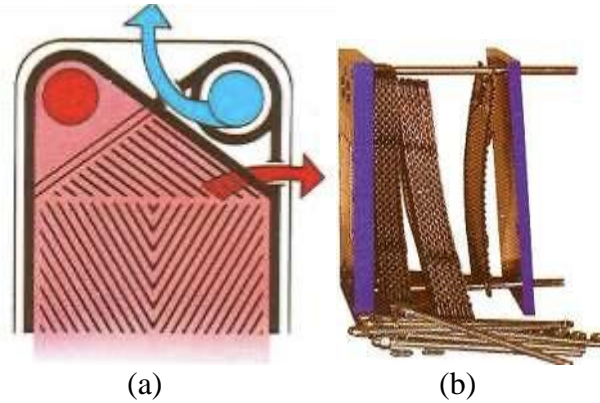
Hafiflik: Ağırlığı çok düşük olduğu için çoğu zaman hiçbir ilave desteğe ihtiyaç duymadan hat üzerine monte edilebilir.

Yüksek ısı transfer verimi: Plakalar içerisinde elde edilen yüksek türbülans nedeni ile çok kısa sürelerde rejime girebilir ve çalıştığı sistemin verimini artırır.

Contalı Tip Plakalı Isı Değişiriciler

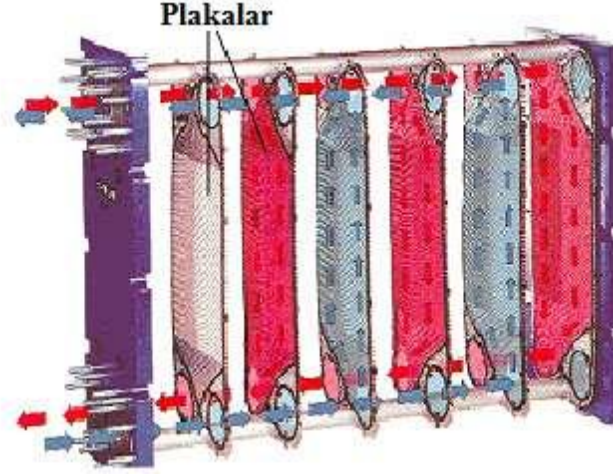
Contalı tip plakalı ısı değiştiriciler de kendi arasında gruplara ayrılır: contalı plakalı, spiral plakalı ve lamelli.

Plakalı ısı değiştiricide conta sistemi sayesinde iki akışkanın karışması mümkün değildir. Kapasite artırmak gerekirse contalı tiplerde plaka eklenerek artırılabilir (Şekil 7).



Şekil 7. Plakalı eşanjörde conta sistemi (a) ve kapasite arttırımı (b) [4].

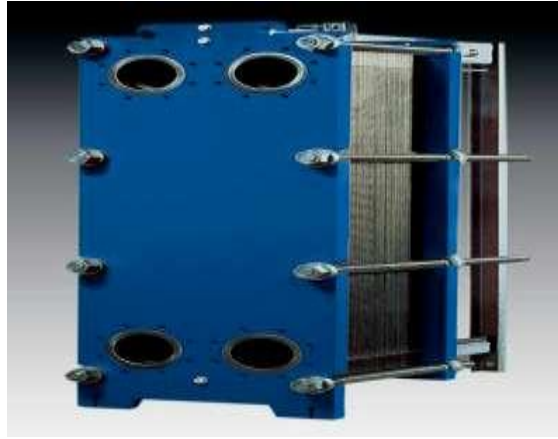
Contalı tip plakalı ısı değiştiricilerin ana elemanı dalgalı bir yüzeye sahip metal plakalardır (Şekil 8). Her bir plakanın üzerinde akışkan giriş/çıkış nozulları ve ayrıca sızdırmazlığı sağlayan bir conta bulunmaktadır. Kullanılan conta sistemi nedeni ile her iki akışkan da birbirleri ile karışmadan farklı kanallar arasından akar. Bu sırada arzu edilen ısı transferi elde edilir. Conta yardımı ile akışkanların birbirine karışması önlenmiştir. Sızdırmazlık ise gövde üzerinde bulunan ve plaka paketini sıkıştıran saplamalar vasıtası ile sağlanır. Bu sebeple bu saplamaların sökülmesi sureti ile tüm ısı transfer yüzeylerine bakım ve temizlik amacı ile kolayca ulaşmak mümkündür [4].



Şekil 8. Contalı tip plakalı ısı değiştiriciler [4].

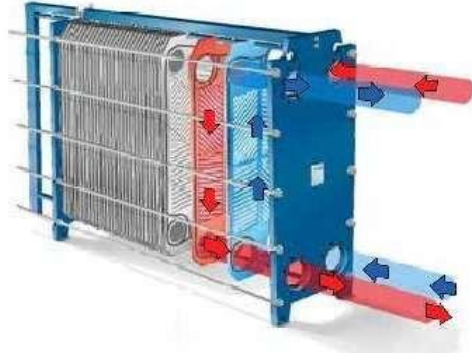
Contalı tip plakalı ısı değiştiricilerin avantajları;

- Akışkanların birbirine karışma riskini önleyen conta
- Yüksek verim, düşük maliyet
- Düşük ağırlık ve montaj hacmi
- Bakım kolaylığı ve kapasite artırımına olanak sağlanabilmesi



Şekil 9. Plakalı contalı eşanjör [4].

Contalı tip plakalı ısı değiştiriciler (Şekil 9); paslanmaz çelik plakalar ile ömürleri 20–30 sene gibi uzun olmaktadır. Açmak ve temizlemek gerektiğindeyse kolayca sökülebilir. Kireçlenmeyi önlemek için sisteme su yumuşatma cihazlarının bağlanması mümkündür. Değişik tipte akışkan kanal tasarımı, istenilen basınç düşümünü ve ısı transfer kapasitesini olumlu yönde etkileyecektir (Şekil 10).



Şekil 10. Plakalı eşanjörde akışkan kanalları [4].

Özel Tip Plakalı Isı Değiştiriciler

Geniş aralıklı plakalı, yarı kaynaklı plakalı ve çift cidarlı plakalı ısı değiştiriciler özel tip plakalı ısı değiştiricilerdir.

Geniş Aralıklı Plakalı Isı Değiştirici

Geniş aralıklı plakalı içerisinde elyaf veya yüksek yoğunlukla katı madde içeren akışkanlar için geliştirilmiştir. Normal plakalı ısı eşanjörlerinin tıkanma problemi yaşayabilecekleri uygulamalarda sorunsuz çalışabilirler. Bu tür plakalarda kanal genişliği artırılmış ve plakaların birbirleri ile temas ettikleri nokta sıfıra indirilmiştir.

Tekstil endüstrisi boyahane atık suyundan ısı geri kazanımında, kâğıt/selüloz endüstrinde proses akışkanlarının ısıtılması ve soğutulmasında, şeker endüstrisinde proses akışkanlarının ısıtılmasında ve gıda sanayisinde viskoz sıvıların ısıtılması ve soğutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [4].

Yarı Kaynaklı Plakalı Isı Değiştirici

Lazer kaynağı ile birleştirilen iki ısı değiştirici plakasından meydana gelen kasetlerden oluşur. Bu sayede akışkanların birinin dolaştığı kanallarda contalar ortadan kaldırılırken diğer taraf ise normal bir plakalı ısı değiştirici plakası gibi contalıdır ve sökölüp bakımı yapılabilir. Kaynaklı olan tarafta akışkanın temas ettiği tek conta giriş ve çıkış portlarında bulunan ve genellikle uygulamaya göre özel malzemededen imal edilmiş o-ringlerdir.

NH_3 (amonyak) evaporatörü ve kondenseri olarak, conta malzemelerine karşı agresif akışkanların ısıtılması ve soğutulmasında ve sülfürik asit üretiminde asidin soğutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [4].

Çift Cidarlı Plakalı Isı Değiştirici

Her bir ısı değiştirici üst üste yerleştirilmiş iki plakadan oluşmaktadır. Bu sayede herhangi bir sebep ile plakalardan birinin delinmesi veya çatlama durumunda diğer akışkanla bir karışma olmamakta, sızıntı eşanjörün dışına doğru olmaktadır. Ayrıca herhangi bir sızıntı olup olmadığı, oluyor ise sızıntının hangi plakadan kaynaklandığı eşanjörün dışından bakılarak tespit edilebilmektedir.

İlaç sanayisinde distile su ısıtılması ve soğutulmasında, trafo yağı soğutulmasında, su ile karşılaştığında patlama veya diğer riskleri içeren akışkanların ısıtılması ve soğutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [4].

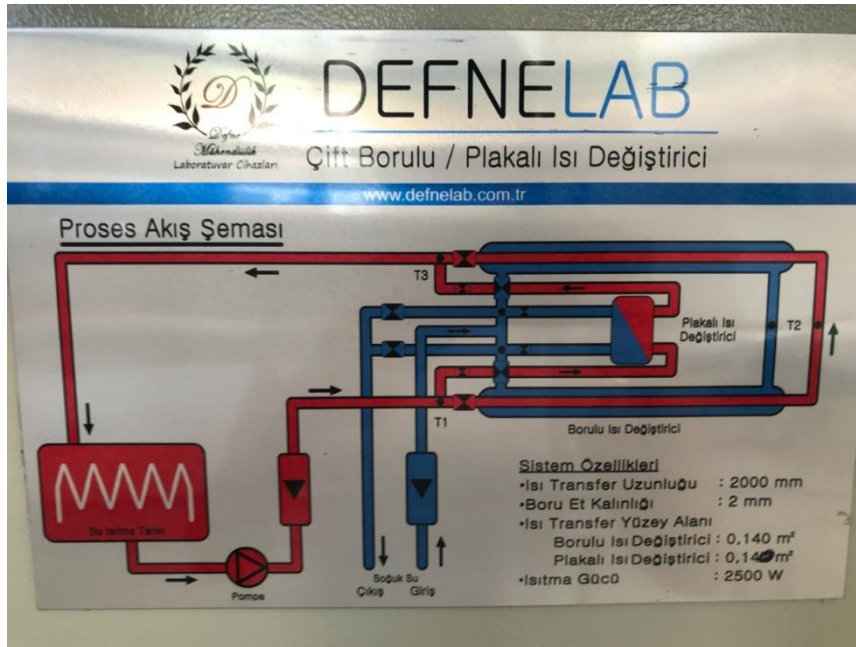
DENEY DÜZENEGİ VE YÖNTEMİ

Deney Düzenegi

Şekil 11'de plakalı ve çift borulu ısı değiştirici deney düzenegi görülmektedir. Hem çift borulu hem de plakalı ısı değiştirici aynı düzenek üzerinde bulunmaktadır. Deneye başlamadan önce, Kimya Mühendisliği Laboratuvarı I kapsamında gerçekleştirilen çift borulu ısı değiştirici vanalar yardımıyla devre dışı bırakılmakta ve plakalı ısı değiştirici deney düzenegi çalışacak şekilde düzenlenmektedir (Şekil 12). Bu deneyde kullanılan plakalı ısı değiştirici toplam ısı transfer alanı 0.14 m^2 olup 14 plakadan oluşmaktadır. Sistem için gereken sıcak su düzenegin arka tarafında bulunan bir sıcak su deposundan pompa yardımıyla sisteme basılır (Şekil 13). Soğuk su kaynağı olarak ise şebeke suyu kullanılmaktadır.



Şekil 11. Plakalı ve çift borulu ısı değıştirci düzeneği.



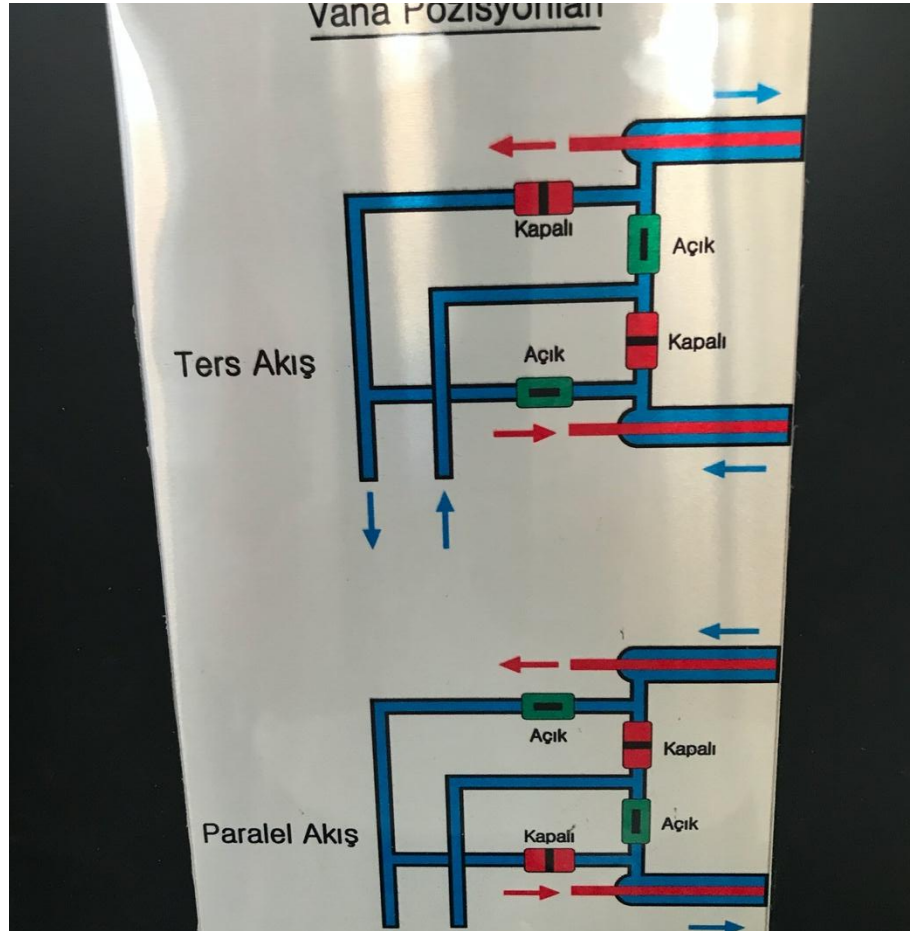
Şekil 12. Plakalı ve çift borulu ısı değıştirci proses akış Őeması.



Şekil 13. Plakalı ısı değiştirici sıcak su deposu.

Deneyin Yapılışı

1. Deneye başlamadan önce vanalar yardımıyla akış dzenlemesi (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 14).
5. Sistem yatışkın hale geldikten sonra soğuk ve sıcak suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları ısı değiştiricinin giriş ve çıkışına yerleştirilmiş termometreler yardımıyla okunur.
6. Farklı koşullar için 1-6. basamaklar tekrarlanır.



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

HESAPLAMALAR

Elde edilen deneysel verilerden yararlanarak sırasıyla aşağıdaki hesaplamalar yapılacaktır.

- 1) Sıcak su için ısı aktarım hızı (ısıtma suyundaki ısı kaybı hızı), q_H (W):

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

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

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

Hem soğutma suyundaki ısı kazanç hızını hem de ısıtma suyundaki ısı kaybı hızını bulduktan sonra karşılaştırıp, karşılaştırma sonucunu yorumlayınız (fark var mı? varsa % kaç ve sebebi ne olabilir?).

$$\text{Isı kaybı} = |q_H| - |q_C|$$

Isı değiştirici verimi, η (%) :

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

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

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

Toplam ısı transfer katsayısı “U” yukarıdaki formülden yararlanılarak bulunur. Bu formüle kullanılacak olan yüzey alanı Plakalı ısı değiştirici ısı transferi yüzey alanıdır. Logaritmik sıcaklık değerini bulurken ısı değiştiricisinin tipine ve akışın yönüne göre işlem yapmakta dikkatli olunuz. Toplam ısı transfer katsayısını hem paralel akış için hem de karşıt akış için ayrı ayrı bulunuz. Isı transfer hızı için ısıtma suyundaki ısı kaybı hızını dikkate alın.

Yardımcı eşitlikler ve sabitler:

- ΔT_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.

- Q (m^3/s) : Akışkanın hacimsel akış hızı
- ρ (kg/m^3) : Akışkanın yoğunluğu
- C_p ($J/kg K$) : Akışkanın sabit basınçta ısı kapasitesi

NOT : Hesaplamalarda kullanılan ρ ve C_p 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 (%)	$U_{(deneysel)} (W/m^2K)$
Aynı yönde					
Zıt yönde					

Çizelge 5. Deney B için hesaplama sonuçları

Sıcak akım giriş sıcaklığı (°C)		$q_H (W)$	$q_c (W)$	Isı kaybı (W)	Verim (%)	$U_{(deneysel)} (W/m^2K)$
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 (%)	$U_{(deneysel)} (W/m^2K)$
1					
2					
3					
4					

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

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., Karabacakoğlu, 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).
- [4] Milli Eğitim Bakanlığı, Kimya Teknolojisi, Isı Değiştiriciler, Ankara (2013).