

GİRİŞ:

Isı değiştiriciler; Farklı sıcaklıklara sahip iki akışkan arasında, birbiri içerisinde karışmalarına müsaade etmeden, ısı transferinin gerçekleştirildiği cihazlardır. Yaygın olarak; Isıtma sistemlerinde, klima sistemlerinde, kimyasal proseslerde, güç santrallerinde kullanılır.

Isı Değiştiricilerin Sınıflandırılması;

Akışkanların Temas Şekline Göre Sınıflandırılması

- Direkt Temaslı Isı Değiştiriciler
- İndirekt Temaslı Isı Değiştiriciler

Akış Şekillerine Göre Sınıflandırılması

- Paralel Akım
- Zıt Akım
- Çapraz Akım

Direkt Temaslı Isı Değiştiriciler;

- İki farklı fiziksel durumdaki akışkan (sıvı-gaz, katı- gaz, katı-sıvı gibi) doğrudan temas ettirilir
- Akışkan akışı genelde pompa, fan veya kompresörle hızlandırılır ve zorlanmış tip ısı iletimi hakimdir.
- Isı iletimi çok hızlıdır.
- Korozyon, erozyon, yosunlaşma gibi problemlerin kontrolü daha kolaydır
- Soğutma kuleleri (gaz-sıvı teması), Direkt temaslı kondenserler (gaz-sıvı teması), Pnömatik kurutucular (katı-gaz teması)

İndirekt Temaslı Isı Değiştiriciler;

Akışkanların ısı alışverişi sırasında karışması ara bir yüzey ile önlenir (Boru-kabuk tipi ısı değiştiriciler).

Isı Değiştirici Çeşitleri

Farklı ısı transferi uygulamaları, farklı özelliklerde malzemelerin ve farklı geometrilere sahip ısı değiştiricilerin kullanımını gerektirmektedir.

- Çift borulu ısı değiştiriciler
- Kompakt ısı değiştiriciler
- Kabuk ve boru ısı değiştiriciler

Çift Borulu Isı Değişiriciler :

En basit ısı değışirici tipidir. Farklı çaplardaki eş merkezli iki boruludan oluşmaktadır.

Paralel Akış; Sıcak ve soğuk akışkan aynı yönde girmekte ve çıkmaktadır.

Zıt (ters) Akış; Sıcak ve soğuk akışkan zıt yönlerde girmekte ve çıkmaktadır.

Kompakt Isı Değişiriciler;

Birim hacim başına çok daha geniş ısı transfer alanları elde edebilmek için özel olarak dizayn edilmişlerdir. Küçük bir hacim içerisinde yüksek ısı transfer hızı sağlar. Sık aralıklı yerleştirilen Oluklu veya ince plakalı kanat kullanımıyla alan artırılır. Örnekler: Araç radyatörü ($\beta \approx 1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$); İnsan Akciğeri ($\beta \approx 20\,000 \text{ m}^2/\text{m}^3$)

Alan yoğunluğu (β) :

$$\beta = \frac{\text{Isı transferi yüzey alanı}}{\text{Isı değışirici hacmi}}$$

Eğer $\beta > 700 \text{ m}^2/\text{m}^3 \Rightarrow$ Kompakt ısı değışiricidir.

Genellikle iki akışkan birbirlerine dik yönde hareket etmektedirler. Bu akış konfigürasyonu çapraz akış olarak tanımlanır.

Kompakt ısı değışiriciler genellikle gazdan gaza; gazdan sıvıya veya sıvıdan gaza ısı değışiricilerinde kullanılırlar (Araba radyatörü).

Karışmayan; Akışkan, kanatlar arasındaki boşluklar boyunca akışa zorlanır, farklı yönlerdeki akışa izin verilmez.

Karışan; Akışkanın farklı yöndeki akışına herhangi bir sınırlandırma getirilmez.

Klasik bir ısı değışirici, katı bir duvar ile ayrılmış iki akışkanın akımını içermektedir.

Isı transfer mekanizmaları ;

- Sıcak akışkandan duvara : konveksiyon ile
- Duvar boyunca : kondüksiyon ile
- Duvardan soğuk akışkana : konveksiyon ile

Konveksiyon ısı transfer katsayılarının radyasyon etkilerini de içerdığı kabul edilmektedir. Isıl Direnç Ağı, iki konveksiyon ve bir kondüksiyon direcinden oluşmaktadır.

Isı değışirici analizlerinde, sıcak akışkandan soğuk akışkana doğru gerçekleşen ısı akışındaki ısıl dirençlerin birleştirilerek tek bir direnç şeklinde (R) verilmesi tercih edilmektedir.

Sonuç olarak, iki akışkan arasındaki ısı transfer hızı; $\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = UA\Delta T = U_i A_i \Delta T = U_o A_o \Delta T$

U = Toplam ısı transfer katsayısı ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) (konveksiyon ısı transfer katsayısı ile aynı birime sahip)

Denklemlerden ΔT ' nin giderilmesi sonucu : $\frac{1}{UA_s} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + R_{duvar} + \frac{1}{h_o A_o}$

A_i ve A_o ; özellikle borunun bir yüzeyinin kanatlarla donatılmış, diğer yüzeyinin ise kanatsız olduğu durumda birbirine eşit değildir. Çünkü kanatlı kısmın alanı birkaç kat daha fazladır.

$U_i A_i = U_o A_o$, ancak $U_i \neq U_o$, ($A_i = A_o$ olması haricinde)

Sonuç olarak U , A 'ya bağlı olarak ifade edilmelidir. Duvar kalınlığı çok az ve k_{boru} çok yüksek ise;

$$\left. \begin{array}{l} R_{duvar} \approx 0, \\ A_i \approx A_o \approx A_s \end{array} \right\} \boxed{U \approx \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}}} \Rightarrow U \approx U_i \approx U_o$$

Borunun içi ve dışı için bireysel h değerleri (h_i and h_o) önceki bölümlerde anlatılan konveksiyon bağıntıları kullanılarak belirlenir. Eğer konveksiyon katsayılarından herhangi birisi diğerine kıyasla oldukça küçük ise; U üzerine küçük konveksiyon katsayısının etkisi daha baskındır.

$$\boxed{h_i \ll h_o \Rightarrow 1/h_i \gg 1/h_o \Rightarrow U \approx h_i}$$

Sonuç olarak: küçük h , bir darboğaz gibi davranmakta ve ısı transferini önemli oranda sınırlandıracak şekilde rol oynamaktadır.

Örnek: gazdan sıvıya ısı transferi (Kanatlar, $U.A_s$ çarpımını ve dolayısıyla ısı transfer hızını artırmak için yaygın biçimde gaz tarafında kullanılır)

Isı transferini artırmak için borunun bir yüzeyi kanatlarla donatıldığında, kanatlı yüzeydeki toplam ısı transfer alanı :

$$A_s = A_{toplam} = A_{kanat} + A_{kanatolmayan}$$

$A_{kanat\ olmayan} = \text{Kanatlandırılmamış kısmın yüzey alanı}$

$A_{kanat} = \text{Kanatların yüzey alanı}$

Yüksek k değerine sahip kısa kanatlar için : kanatlar hemen hemen izotermaldir ve

$$R_{konv} = 1/hA_s$$

Aksi takdirde efektif yüzey alanı belirlenmelidir;

$$A_s = A_{toplam} = A_{kanatolmayan} + \eta_{kanat} A_{kanat}$$

Kabuk Faktörü (Fouling Factor)

Isı transferinin gerçekleştiği yüzeylere totuların çökerek birikmesi, Isı transferine ek bir direnç oluşturur. Isı transferi üzerine bu birikmelerin net etkisi kabuk faktörü (fouling factor) ile gösterilir.

Kabuk faktörü (R_f) = kabuktan dolayı oluşan ısı direncin ölçülmesi

Temiz olmayan yüzeyler için (kanatsız kabuk-boru ısı değiştirici) ;

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{f,i}}{A_i} + \frac{\ln(D_o / D_i)}{2\pi k L} + \frac{R_{f,o}}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o}$$

$R_{f,i}$ & $R_{f,o}$ = iç ve dış yüzeyler için kabuk faktörleri

Oldukça kompleks bir olaydır ve kontrolü zordur. Daha çok, aşağıda verilen sebeplerden ortaya çıkmaktadır;

- Çökelme nedeniyle
- Katı partiküller nedeniyle
- Kimyasal korozyon sonucu
- Biyolojik

Kabuk oluşumunun yol açtığı sorunlar;

- Isı değiştiriciler olması gerekenden daha büyük yapılıdır. Bu nedenle yatırım maliyeti artar.
- Enerji kayıpları artar.
- Isı değiştiricilerin periyodik temizlenmesi gerekir.
- Üretimde düşüklüğe yol açar.

Kabuk oluşumu, işlem sıcaklığına, akışkanın hızına ve işlem süresine oldukça bağlıdır. Kabuk oluşumu, işlem sıcaklığının artışı ve akışkan hızının azalması ile birlikte artar. Kabuklaşma tasarım aşamasında göz önüne alınmalıdır. Bu aşamada bir öngörü yapılmalı ve deneyimlerden yararlanılmalıdır.

Akışkan tipi	Su sıcaklığı $\leq 52^{\circ}\text{C}$	
	Su hızı (U)	
	$U \leq 1 \text{ m/s}$	$U > 1 \text{ m/s}$
Deniz suyu	0,00088	0,00088
Distile su	0,00088	0,00088
İşlenmiş kazan suyu	0,00018	0,00088
Nehir suyu (minimum)	0,00036	0,00018
Nehir suyu (ortalama)	0,00053	0,00035
Çamurlu su	0,00053	0,00035
Sert su	0,00053	0,00053
Sirküle edilen temiz yağ	0,00018	
Fuel oil	0,00088	
Organik buharlar	0,00088	
Buhar (su buharı)	0,00088	
Alkol buharları	0,00088	
Atık su buharı	0,00018	
Hava	0,00035	
Organik sıvılar	0,00018	
Tuzlu su (soğutmada)	0,00018	

TEMA (Tubular Exchanger Manufacturer Association) tarafından tavsiye edilen değerler kullanılır. Tabloda verilen değerlerin pek çoğu, $10^{-4} \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{W}$ mertebesindedir. Bu değer, 0,2 mm kalınlığındaki kireç taşı tabakasının ($k=2,9 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$) ısı direncine eşittir (birim yüzey alanı için). Bu değer, elimizde spesifik bir değer olmadığı durumda, kabuk faktörü hesabı için başlangıç değeri olarak alınabilir.

Isı Değiştiricilerin Analizi

- En uygun ısı değiştirici seçimi; Belirli bir kütleli akış hızına sahip akışkan için talep edilen sıcaklık değişiminin sağlanması
- Çıkış sıcaklıklarının tahmin edilmesi; belirli bir ısı değiştirici için sıcak ve soğuk akışkanların çıkış sıcaklıklarının belirlenmesi

Isı değiştirici analizleri için iki yöntem vardır:

1. Logaritmik ortalama sıcaklık farkı (Log mean temperature difference method, LMTD) Isı değiştirici seçiminde çok iyi sonuç verir.
2. ϵ -NTU method, Isı transfer ünite sayısı (Effectiveness-Number of transfer unit) Çıkış sıcaklıklarının tahmininde çok iyi sonuç verir.

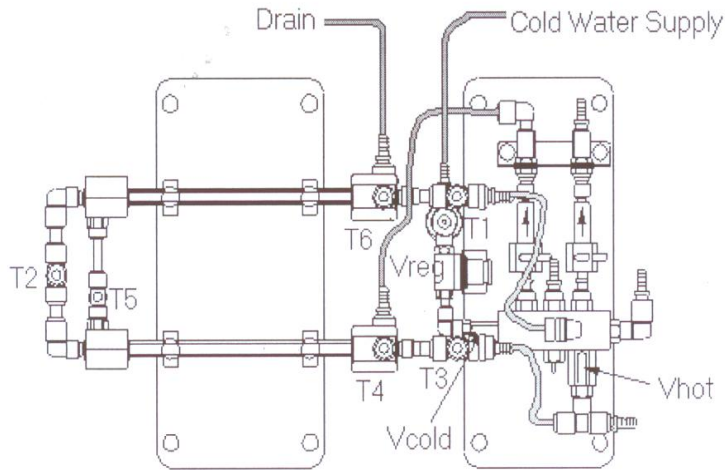
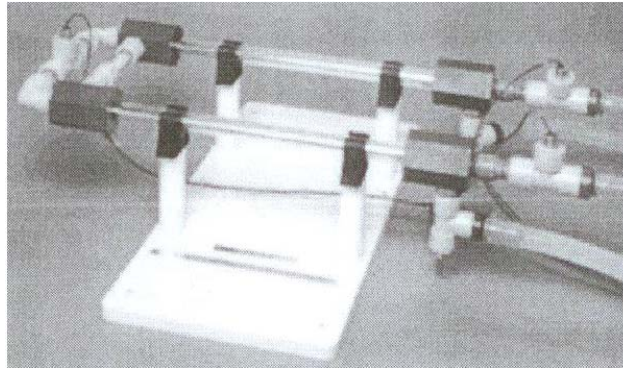
Kabuller:

- Kararlı akış
- Her bir akışkanın kütleli akış hızı sabit
- Akışkan özellikleri (giriş ve çıkış için değişmemekte)
- Her bir akışkanın C_p değeri sabit (belirli bir sıcaklık aralığı için)
- Kinetik and potansiyel enerji değişimleri ihmal
- Boru boyunca aksel yönde ısı iletimi ihmal
- Isı değiştiricinin dış yüzeyi mükemmel izolasyona sahip (ortama ısı kaybı yok)
- Tüm ısı transferi yalnızca iki sıvı arasında gerçekleşmektedir.

DENEY DÜZENEĞİ

Borusal ısı değiştirici en basit ısı değiştirici tipi olup; sıcak ve soğuk akışkanları taşıyan farklı çaplardaki eş merkezli iki borudan oluşmaktadır. Isı; iteki borudan akan akışkandan/*akışkana*, dış boru boyunca akan akışkanal/*akışkandan* transfer edilir.

Bu deney setinde çift borulu ısı değiştirici; toplam boru uzunluğunu azaltmak ve her iki akışkandaki sıcaklık değişimlerini rahat gözlemleyebilmek için U formunda seçilmiştir. Borusal ısı değiştirici PVC taban üzerine monte edilmiştir. Normal alışma koşullarında; sıcak akışkanı temsil eden sıcak su, iteki elik boru içerinde akarken, soğuk akışkanı temsil eden soğuk su, dış taraftaki akrilik boru ile elik boru arasındaki boşluk boyunca akmaktadır. Isı değiştirici üzerinde farklı altı noktaya yerleştirilmiş olan ısı çiftleri yardımıyla sürekli olarak sıcaklık ölçümü yapılmaktadır(T1...T6). Elde edilen sıcaklık değerleri ana deney seti üzerinden bilgisayara aktarılmaktadır(şekil.1).



şekil .1 çift borulu ısı değiştirici deney düzeneği

Zıt akıs için;

T1: Sıcak akıskanın girişi

T2: Sıcak akıskanın aktığı boru uzunlugunun orta noktası

T3: Sıcak akıskanın çıkışı

T4: Soguk akıskanın girişi

T5: Soguk akıskanın aktığı boru uzunlugunun orta noktası

T6: Soguk akıskanın çıkışı

Kullanılan deney seti; 9,5 mm dış çapına ve 0,6 mm et kalınlığına sahip paslanmaz çelikten yapılmış iç kısımdaki boru ile onu çevreleyen 12 mm dış çapına ve 3,0 mm et kalınlığına sahip akrilikten imal edilmiş bir dış borudan oluşmaktadır. Çift borulu ısı değıştirici deney düzeneğinde yürütülecek olan deney için aşağıdaki prosedür takip edilmektedir.

HT 31 borulu ısı degistiricisi düzeneği ana konsol üzerindeki yerine yerlestirilir ve vidalarla sabitlenir. Cihazın hortum bağlantıları, sıcak ve soğuk akıskanın arzu edilen giriş ve çıkış şartlarına bağlı olarak, yapılır.

T1-T6 olmak üzere 6 adet ısı çift soketi, kontrol konsolu üzerinde belirlenen yerlere bağlanır.

Cihazın fişi takılır ve güç düğmesine basılarak sistem çalıştırılır. Sistem ilk çalıştırılırken acil durum butonunun basılı vaziyette olmamasına dikkat edilir. Aynı zamanda bilgisayar üzerinde cihaza ait yazılım da açılır. USB bağlantısının doğru çalışıp çalışmadığı arayüzey bağlantı aparatı üzerindeki yeşil ve kırmızı lambalar yardımıyla kontrol edilir.

TABLE 1
Specific Heat Capacity of Water (C_p kJ/kg $^\circ$ K)

$^\circ\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4.1274	4.2138	4.2104	4.2074	4.2045	4.2019	4.1996	4.1974	4.1954	4.1936
10	4.1919	4.1904	4.1890	4.1877	4.1866	4.1855	4.1846	4.1837	4.1829	4.1822
20	4.1816	4.1810	4.1805	4.1801	4.1797	4.1793	4.1790	4.1787	4.1785	4.1783
30	4.1782	4.1781	4.1780	4.1780	4.1779	4.1779	4.1780	4.1780	4.1781	4.1782
40	4.1783	4.1784	4.1786	4.1788	4.1789	4.1792	4.1794	4.1796	4.1799	4.1801
50	4.1804	4.1807	4.1811	4.1814	4.1817	4.1821	4.1825	4.1829	4.1833	4.1837
60	4.1841	4.1846	4.1850	4.1855	4.1860	4.1865	4.1871	4.1876	4.1882	4.1887
70	4.1893	4.1899	4.1905	4.1912	4.1918	4.1925	4.1932	4.1939	4.1946	4.1954

TABLE 2
Density of Water (ρ kg/m 3)

$^\circ\text{C}$	0	2	4	6	8
0	999.8	999.9	999.9	999.9	999.9
10	999.7	999.5	999.2	998.9	998.6
20	998.2	997.8	997.3	996.8	996.2
30	995.7	995.0	994.4	993.7	993.0
40	992.2	991.4	990.6	989.8	988.9
50	988.0	987.1	986.2	985.2	984.2
60	983.2	982.2	981.1	980.0	978.9
70	977.8	976.6	975.4	974.2	973.0

HT31 için Terminoloji

<u>İsim</u>	<u>sembol</u>	<u>SI birim</u>
Boru iç çapı	d_i	m
Boru dış çapı	d_o	m
Borunun aritmetik ortalama çapı	d_m	m
Boru sayısı	n	-
Her bir borunun ısı iletim uzunluğu	l	m
Toplam ısı iletim uzunluğu	L	m
Isı transfer alanı	A	m^2
Spesifik ısı kapasitesi(sıcak akışkan için)	$C_{p_{hot}}$	$kJ/kg^{\circ}K$
Spesifik ısı kapasitesi(soğuk akışkan için)	$C_{p_{cold}}$	$kJ/kg^{\circ}K$
Sıcak akışkanın giriş sıcaklığı	T_1	$^{\circ}C$
Sıcak akışkanın orta noktadaki sıcaklığı	T_2	$^{\circ}C$
Sıcak akışkanın çıkış sıcaklığı	T_3	$^{\circ}C$
Soğuk akışkanın giriş sıcaklığı	T_4	$^{\circ}C$
Soğuk akışkanın orta noktadaki sıcaklığı	T_5	$^{\circ}C$
Soğuk akışkanın çıkış sıcaklığı	T_6	$^{\circ}C$
Sıcak akışkan sıcaklığındaki azalma	Δt_{hot}	$^{\circ}C$
Soğuk akışkan sıcaklığındaki artış	Δt_{cold}	$^{\circ}C$
Sıcak akışkan girişi, itici güç	Δt_1	$^{\circ}C$
Sıcak akışkan çıkışı, itici güç	Δt_2	$^{\circ}C$
Logaritmik ortalama Sıcaklık Farkı	Δt_{1m}	$^{\circ}C$
Hacimsel debi(sıcak akışkan)	$q_{v_{hot}}$	m^3/s
Hacimsel debi(soğuk akışkan)	$q_{v_{cold}}$	m^3/s
Sıcak akışkanın yoğunluğu	ρ_{hot}	kg/m^3
Soğuk akışkanın yoğunluğu	ρ_{cold}	kg/m^3
Kütlesel akış hızı(sıcak akışkan)	$q_{m_{hot}}$	kg/s
Kütlesel akış hızı(soğuk akışkan)	$q_{m_{cold}}$	kg/s
Sıcak akışkan tarafından yayılan ısının transfer hızı	Q_e	W
Soğuk akışkan tarafından alınan ısının transfer hızı	Q_a	W
Kaybedilen veya kazanılan ısının transfer hızı	Q_f	W
Toplam etkinlik	η	%
Sıcaklık etkinliği (sıcak akışkan)	η_{hot}	%
Sıcaklık etkinliği (soğuk akışkan)	η_{cold}	%
Ortlama Sıcaklık etkinliği	η_{ort}	%
Genel ısı transfer katsayısı	U	W/m^2C
