

PARALEL AKIŞLI ISI EŞANJÖRÜ DENEYİ

1. Giriş:

Mühendislik uygulamalarında en önemli ve en çok karşılaşılan konulardan birisi, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı transferidir. Sözü edilen akışkanlar genellikle katı bir cidar ile birbirinden ayrılmaktadırlar. Bu cihazlar, genellikle ısı aktarıcısı (eşanjör) olarak adlandırılmaktadır. Isı değiştiricileri endüstrinin en önemli ısı tekniği cihazları olup bunlar; buharlaştırıcı, yoğurturucu, ısıtıcı, soğutucu vb. değişik adlar altında kimya ve petrokimya endüstrilerinin, termik santrallerin, soğutma, ısıtma ve iklimlendirme tesislerinin hemen her kademesinde değişik tip ve kapasitelerde görülebilir.

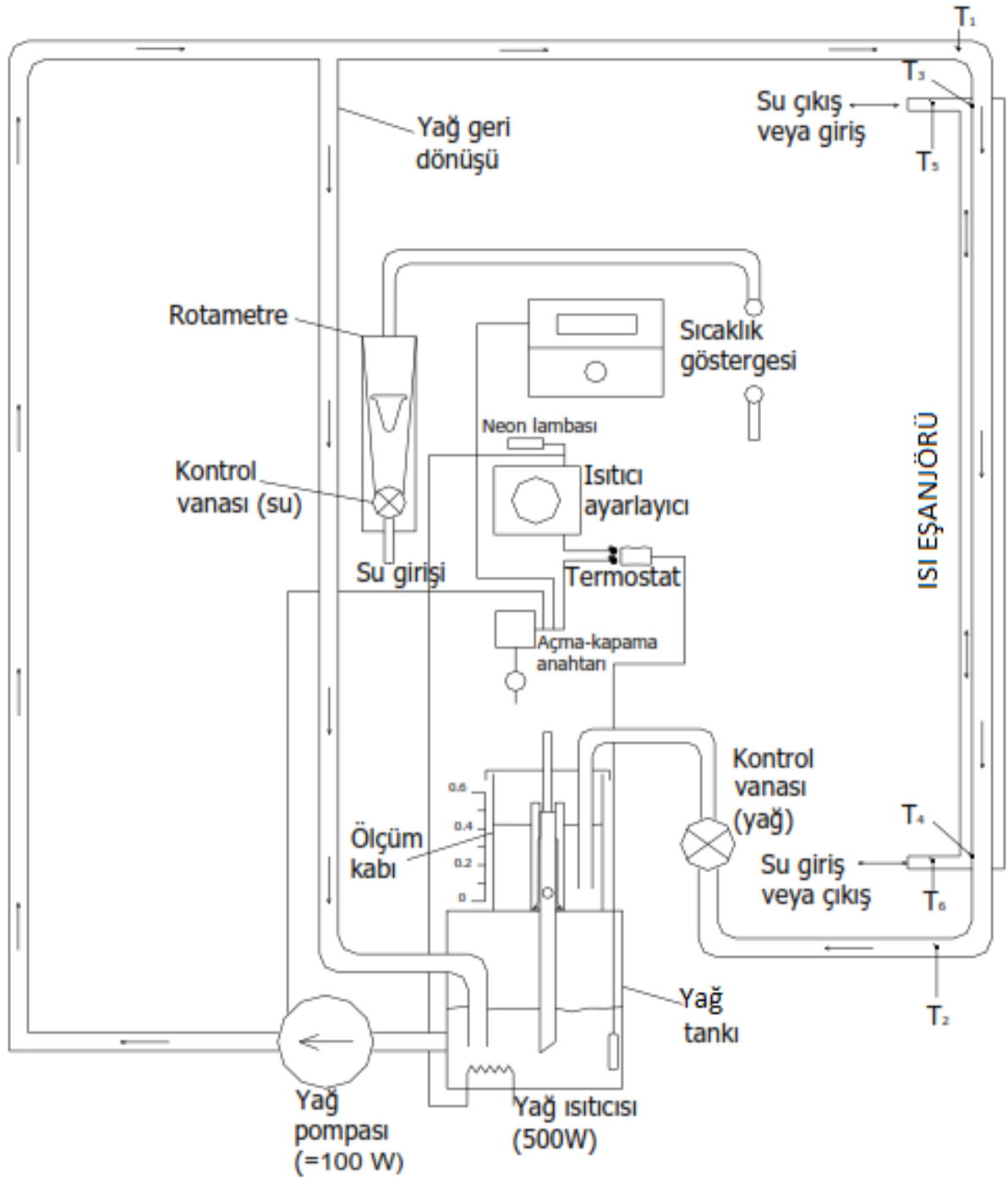
2. Deney Amaçları:

- Eş merkezli bir ısı değiştiricisinde ters ve paralel akışın gösterilmesi,
- Isı değiştiricileri için Termodinamiğin birinci kanununun yazılması,
- Sıcak ve soğuk bölgelerin ısı taşınım katsayılarının belirlenmesi ve toplam ısı geçiş katsayısının hesaplanması,
- Dairesel borularda, laminer akış için Nusselt ve Graetz sayıları için deneysel sonuçlara dayanan ampirik bir bağıntının elde edilmesi.

3. Deney Düzenegi:

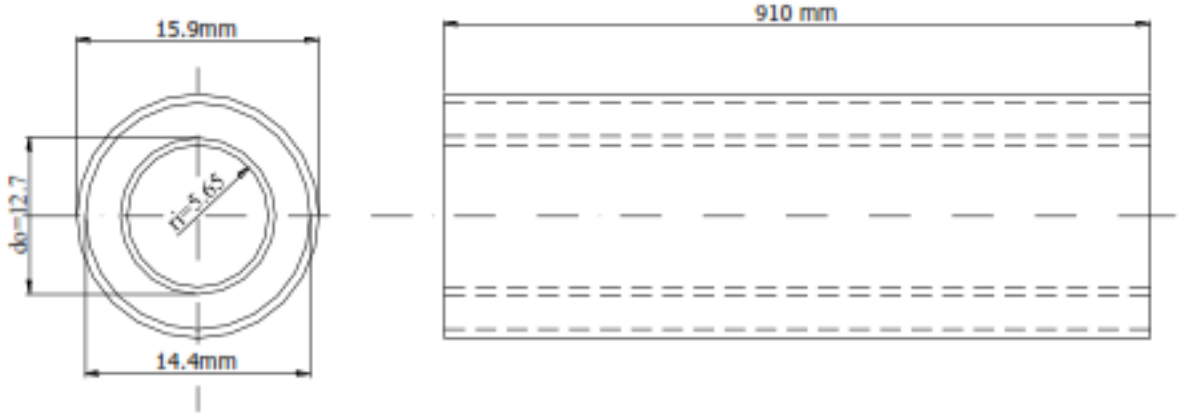
Eş merkezli borular arasındaki ısı transferini incelemek için Şekil 1’de görülen LAMINER/ VISCIOUS FLOW HEAT TRANSFER UNIT H970 adlı deney düzenegi kullanılmaktadır. Test bölgesinin şematik resmi Şekil 2’de verilmektedir.

Deney düzenegi bir ısı eşanjörü olduğuna göre sistemde en az iki akışkan bulunmalıdır. Burada sıcak akışkan olarak ısı transfer yağı, soğuk akışkan olarak şebeke suyu kullanılmaktadır. Bu sistemde yağ tek yönde, su her iki yönde dolaşabilmektedir. Dolayısıyla hem aynı yönlü paralel akış, hem de zıt yönlü paralel akış incelenebilmektedir. Yağın dolaşımını sağlayan küçük bir pompa, deney düzeneginin en alt bölgesine yerleştirilmiştir. Bu pompa üç ayrı hızda çalışabilmektedir. Deney düzeneginin su girişi hortumunu şebeke musluğuna bağlayarak sisteme su girişi sağlanır. Suyun debisi bir rotametre yardımıyla ölçülmektedir. Rotametre çıkış borusu deney amacına göre ya üst tarafa (aynı yönlü akış için) veya alt tarafa (zıt yönlü akış için) bağlanır.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik resmi

Yağın debisi iki şekilde değiştirilebilir. Pompanın çalışma hızı değiştirilerek veya ısı eşanjöründe yer alan yağ kontrol vanası yardımıyla debi değiştirilebilir. Şekil 1’de görüldüğü gibi yağ debisini ölçmek için bir ölçü kabı kullanılmaktadır. Bu kabın altında içinde ısıtıcı bulunan yağ tankı bulunmaktadır



Şekil 2. Test bölgesinin boyutları

Tankın içinde bulunan ısıtıcı yardımıyla sistemde dolaşacak olan yağ ısıtılır. Deney düzeneğinin ortasında bulunan reosta yardımıyla ısıtıcı elemanın gücü değiştirilebilmektedir. Neon lambanın yanıp sönme hızı da ısıtıcının çalışma etkinliğini göstermektedir. Ayrıca, sistemin güvenliğini sağlamak amacıyla termostat kullanılmıştır. Yağ sıcaklığı 80°C'nin üzerine çıktığında otomatik olarak ısıtıcı devre dışı kalarak yağ ısıtma işlemi durdurulmaktadır.

Sistemde bulunan altı adet thermocouple yardımıyla altı yerel noktada sıcaklık değerleri doğrudan sıcaklık göstergesinden okunabilir.

Her numaranın gösterdiği sıcaklık aşağıdaki gibidir:

1. Yağ giriş sıcaklığı
2. Yağ çıkış sıcaklığı
3. Yağ girişindeki boru cidar sıcaklığı
4. Yağ çıkışındaki boru cidar sıcaklığı
5. Su giriş veya çıkış sıcaklığı
6. Su çıkış veya giriş sıcaklığı

4. Deneyin yapılışı:

- Şebeke suyu açılır ve suyun debisi rotametre yardımıyla 10 gram / s olarak ayarlanır.
- Yağ kontrol vanası tamamen açılır.
- Ölçüm kabının içindeki silindirik eleman yukarıya çekildikten sonra aynı konumda (açık konumda) durması için 90° çevrilir.
- Isıtıcı tankındaki yağ miktarı kontrol edilir. Eğer yağ miktarı yeterli değilse yağ

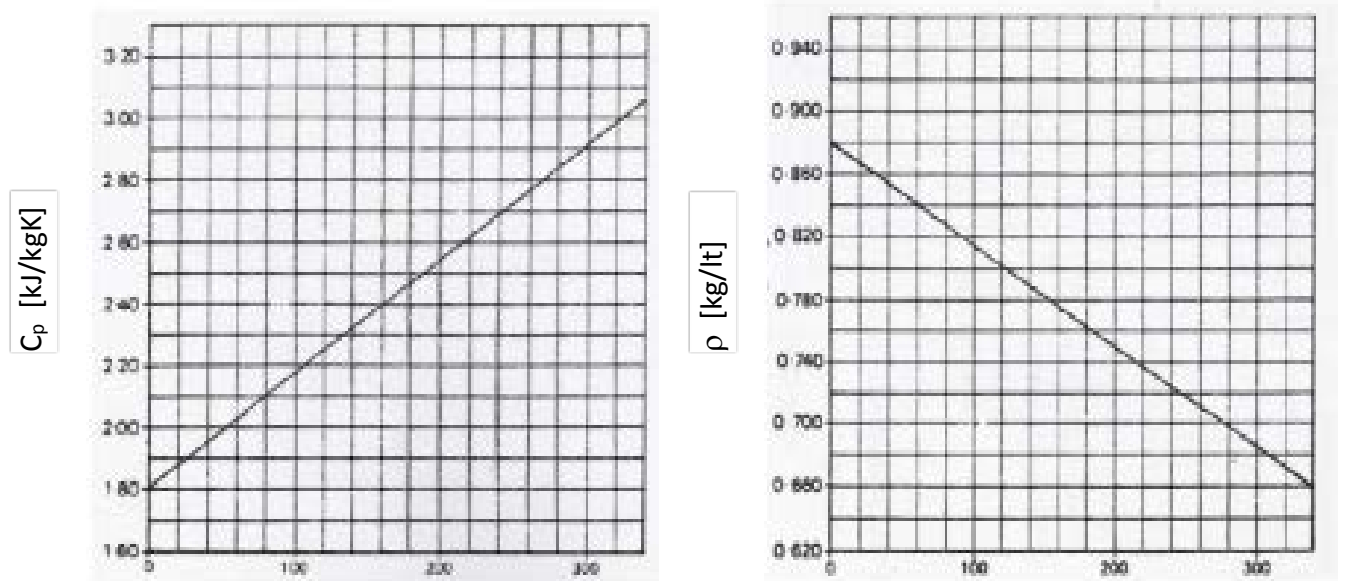
debisinin ölçümünde hata meydana geleceğinden deney sonuçları da doğru ve gerçekçi olmayabilir. Isıtıcı tankın içerisindeki yağ miktarı en az 2.5 lt olmalıdır.

- Açma-kapama anahtarı kullanılarak deney düzeneği çalıştırılır. Isıtıcı gücü %75 olarak ayarlanır.
- Yağın giriş sıcaklığı 70°C ile 80°C arasına gelene kadar ısıtıcı tam güçte çalıştırılır. İstenilen giriş sıcaklığına erişildiği zaman su debisi ve ısıtıcı gücünü değiştirerek yağ giriş sıcaklığının sabit kalması sağlanır. Sistem sürekli rejim haline geldiğinde bütün sıcaklık değerleri not edilir.
- Yağ debisini ölçebilmek için ölçü tankı içerisindeki silindirik eleman 90 ° çevrilip aşağıya indirilir. Böylece yağın ısıtıcı tankına girmesi engellenir ve ölçü kabının içinde yağ birikmeye başlar. Bir kronometre yardımıyla yağın ölçü kabına dolma süresi belirlenir.
- Bütün ölçümler yapıldıktan sonra su debisi maksimuma ayarlanır. Böylece yağın soğuması sağlanır. Yağın sıcaklığı 40°C’ın altına düştüğünde sistem kapatılır.

Deney düzeneğinde kullanılan yağ, SHELL THERMIA OIL B olup, özellikleri aşağıda verilmiştir:

$$k=0.1287 \text{ W/mK} \quad \mu =6.64 \times 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s} \quad (70^\circ\text{C} \text{ ortalama sıcaklık için})$$

Verilen bu değerler ortalama sıcaklık için geçerli olup, yoğunluk ve özgül ısının sıcaklıkla değişimi Şekil 3’de verilmektedir.



Şekil 3. Akışkana ait özellik değişim grafikleri

5. Hesaplamalar:

5.1. Enerji dengesi

Bir ısı eşanjörünün performansı hakkında bilgi sahibi olabilmek için, ısı eşanjöründeki toplam ısı geçiş miktarı ile akışkanların giriş ve çıkış sıcaklıkları, toplam ısı geçiş katsayısı ve ısı geçişi toplam yüzey alanı arasında bir bağıntı bulunması gerekir.

Çevreye olan ısı kaybı, potansiyel ve kinetik enerjilerdeki değişimler ihmal edilmiştir. Ayrıca faz değişiminin olmadığı ve özgül ısıların sabit kaldığı kabul edilmiştir. Bu şartlara sahip bir ısı değiştiricisi için:

Sıcak akışkandan olan ısı geçiş miktarı,

$$q_h = \dot{m}_h C_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (1)$$

soğuk akışkana olan ısı geçiş miktarı,

$$q_c = \dot{m}_c C_{p,c} (T_{c,i} - T_{c,o}) \quad (2)$$

ifadeleri kullanılır. Enerji dengesinden, yağın (sıcak akışkanın) verdiği ısı suyun (soğuk akışkanın) aldığı ısıya eşit olacağından,

$$q = \dot{m}_h C_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) = \dot{m}_c C_{p,c} (T_{c,i} - T_{c,o})$$

veya

$$q = \dot{m}_h C_h (T_2 - T_1) = \dot{m}_c C_c (T_6 - T_5) \quad (3)$$

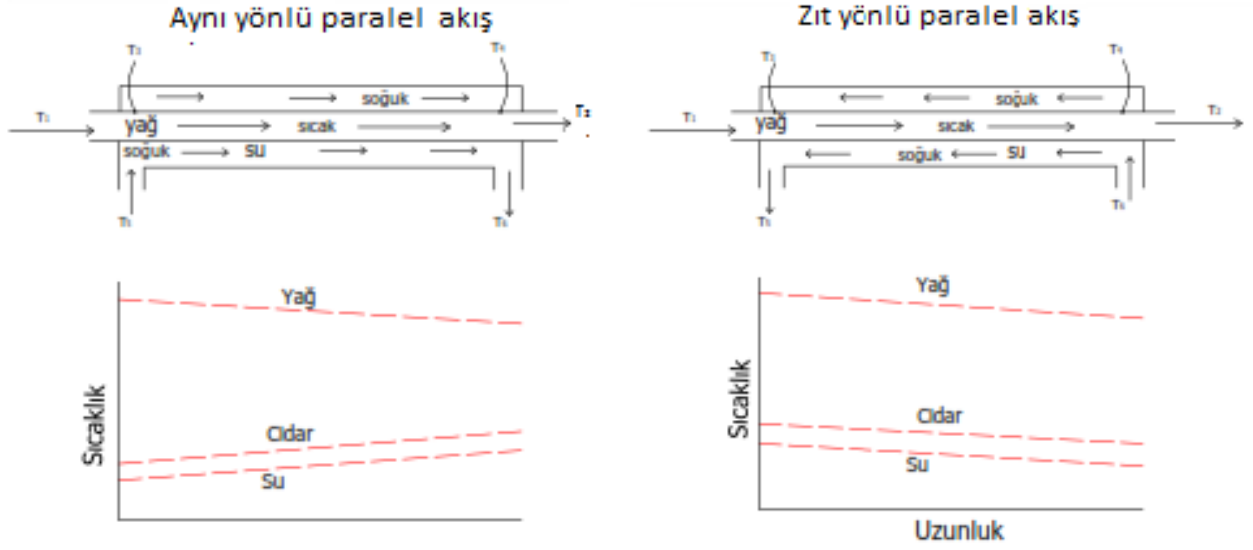
5.2. Isı taşınım katsayısı ve toplam ısı geçiş katsayısı

İç ve dış taraftaki ısı taşınım katsayısı belirlenirken Newton soğuma kanunundan yararlanılmaktadır. Eşanjör içinde transfer edilen ısı miktarı,

$$q = U \cdot A \cdot (\Delta T) \quad (4)$$

bağıntısı ile de belirlenebilir. Burada: U (W/m^2K), toplam ısı geçiş katsayısı; ΔT ($^{\circ}C$) ortalama sıcaklık farkı ve A , eşanjörün ısı transfer yüzey alanıdır.

Şekil 4'ten görüldüğü gibi sıcaklık ısı değiştiricisi boyunca paralel ve zıt akış durumları için akış doğrultusunda değişmektedir. Dolayısıyla uygun bir sıcaklık farkı elde etmek için logaritmik ortalama sıcaklık farkı kullanılmalıdır.



Şekil 4. Aynı yönlü ve zıt yönlü paralel akışlar için sıcaklıkların ısı eşanjörü boyunca değişimi

Logaritmik ortalama sıcaklık farkı,

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad (6)$$

olarak tanımlanır. Aynı yönlü paralel akış için,

$$\Delta T_1 = T_1 - T_5 = T_{h,i} - T_{c,i} \quad \Delta T_2 = T_2 - T_6 = T_{h,o} - T_{c,o}$$

Zıt yönlü paralel akış için,

$$\Delta T_1 = T_1 - T_5 = T_{h,i} - T_{c,o} \quad \Delta T_2 = T_2 - T_6 = T_{h,o} - T_{c,i}$$

alınır. Laminer akışlar için sıcaklık aritmetik ortalaması hesaplamalarda kullanılabilir.

Toplam ısı geçiş katsayısı,

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\bar{h}_i} + \frac{1}{\bar{h}_o} \quad (7)$$

bağıntısıyla hesaplanır. \bar{h}_i ve \bar{h}_o , eşanjör girişinde çıkışında ortalama ısı taşınım katsayılarını göstermektedir. İç borunun sıcaklığa karşı direnci ihmal edilebilir olduğundan, toplam ısı geçiş katsayısı hesaplanırken göz önüne alınmamıştır. Sıcak akışkan tarafındaki ısı taşınım katsayısını hesaplamak için, akışkan sıcaklığı ve cidar sıcaklığı kullanılacaktır. Buna göre soğuk akışkan tarafındaki ısı taşınım katsayısı hesabında, soğuk akışkan sıcaklığı ve cidar sıcaklığı kullanılacaktır. Bunun için aritmetik ortalama sıcaklık farkı kullanılır:

$$\text{Sıcak akışkan ve cidar için: } T_{m1} = \frac{(T_1 - T_3) + (T_2 - T_4)}{2}$$

$$\text{Cidar ve soğuk akışkan için: } T_{m2} = \frac{(T_1 - T_5) + (T_4 - T_6)}{2}$$

Isı taşınım katsayılarının belirlenebilmesi için önce ısı transfer miktarı belirlenmelidir. Bunun içinde sıcak ve soğuk akışkanların debilerinin bulunması gerekir. Soğuk akışkanın debisi doğrudan rotametreden okunabilir. Sıcak akışkan için,

$$\dot{m}_h = \rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot \frac{\text{toplanan miktar (m}^3\text{)}}{\text{toplama zamanı (s)}} \quad (8)$$

bağıntısı kullanılır.

$$\bar{h}_i = \frac{q_h}{A_i T_{m1}} \quad (9)$$

$$\bar{h}_o = \frac{q_h}{A_o T_{m2}} \quad (10)$$

A_i ve A_o , ısı transferinin gerçekleştiği yüzey alanlarıdır.

Isı taşınım ve toplam ısı geçiş katsayısının, sıcak akışkanın hızıyla değişimi grafik halinde gösterilir. Isı eşanjörlerinde sıcak akışkan tarafındaki ısı taşınım katsayısı önemli olduğundan, soğuk akışkanın debisi sabit tutularak iç borudaki ısı taşınım katsayısı ve toplam ısı geçiş katsayısının sıcak akışkanın hızıyla nasıl değiştiğinin incelenmesi gerekir. Sıcak akışkanın hızını belirlemek için,

$$V = \frac{\dot{m}_h}{\rho A_i} \quad [\text{m/s}] \quad (11)$$

bağıntısı kullanılır.

5.3. Dairesel boruda, laminar akış için Nusselt - Greatedz bağıntısı

Deney sonuçlarına bağlı olarak Nusselt ve Greatedz sayıları arasında ampirik bir bağıntı geliştirilir. Burada sadece iç akış söz konusu olduğundan sıcak akışkan tarafındaki ısı taşınım katsayısı dikkate alınmalıdır.

Sistemdeki akışın tipi Reynolds sayısı ve ısı transferinin iyiliği Nusselt sayısı ile belirlenir:

$$\text{Reynolds sayısı: } Re = \frac{\dot{m} d_i}{\mu A} = \frac{\dot{m} d_i}{\nu \rho A} \quad (12)$$

Nusselt sayısı:
$$Nu = \frac{\bar{h}_i d_i}{k} \quad (13)$$

İç akışın hidrodinamik ve ısıl olarak gelişmesini incelemek için Graetz sayısı hesaplanmalıdır. Daha sonra değişik debilerde (yağın değişik hızlarında) Nusselt ve Graetz sayıları arasındaki bağıntı incelenecektir.

Graetz sayısı:
$$GZ = \frac{\pi RePr}{4 L/d} = \frac{\dot{m}_h C_p}{kL} \quad (14)$$

Nusselt ve Graetz sayılarının değişimini görebilmek için, $Nu = a \cdot Gr^b$ şeklinde bir denklemin bulunması gerekir. a ve b katsayıları güç denklemini kullanarak elde edilir.

6. Tablolar:

Tablo 1. Ölçülen değerler

Deney no	1	2	3	4	5
Yağ giriş sıcaklığı (°C)					
Yağ çıkış sıcaklığı (°C)					
Girişte duvar sıcaklığı (°C)					
Çıkışta duvar sıcaklığı (°C)					
Su giriş sıcaklığı (°C)					
Su çıkış sıcaklığı (°C)					
Toplanan yağ miktarı (lt)					
Toplanma zamanı (s)					
Su debisi (gr/s)					

Tablo 2b. Hesaplanacak büyüklükler (enerji dengesi)

Deney no	1	2	3	4	5
Yağ debisi (kg/s)					
Yağın kaybettiği ısı (W)					
Suyun aldığı ısı (W)					

Tablo 2b. Hesaplanacak büyüklükler (ısı taşınım ve toplam ısı geçiş katsayısı)

Deney no	1	2	3	4	5
Su ve cidar arasındaki aritmetik ortalama sıcaklık farkı (°C)					
Yağ ve cidar arasındaki aritmetik ortalama sıcaklık farkı (°C)					
Isı transfer miktarı (W)					
Yağ ile cidar arasındaki ısı taşınım katsayısı (W/m ² K)					
Su ile cidar arasındaki ısı taşınım katsayısı (W/m ² K)					
Toplam ısı geçiş katsayısı (W/m ² K)					
Yağ hızı (m/s)					

Tablo 2c. Hesaplanacak büyüklükler (Nusselt – Graetz bağıntısı)

Deney no	1	2	3	4	5
Nusselt sayısı					
Graetz sayısı					
Reynolds sayısı					

Deney Raporunun İçeriği:

1. Deneyin amacı
2. Yalnız bir ölçümün aşamalarının adım adım yazılması
3. Deney düzeneğinin şematik resmi
4. Ölçülen değerler tablosu (Tablo 1)
5. Hesaplanan değerler tabloları (Tablo 2a, 2b, 2c) (Not: Bu kısımda sadece bir ölçüm için hesaplama ayrıntılarının verilmesi gerekmektedir.)
6. Isı eşanjörü boyunca akışkanlar ve cidarın sıcaklık dağılımını gösteren grafik ($T [^{\circ}\text{C}] - L[\text{mm}]$)
7. Isı taşınım ve toplam ısı geçiş katsayılarının yağ hızı ile değişimini gösteren grafikler
8. Nu ile Gz değişiminin grafikte gösterilmesi ve bu grafiğe $\text{Nu}=\text{a}\cdot\text{Gz}^{\text{b}}$ şeklinde bir eğri uydurulması
9. Sıcaklık ölçümünde $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ ve zaman ölçümünde ± 0.1 s değerindeki belirsizlikler için Nusselt sayısındaki belirsizliğin bulunması
10. Deneyin size katkısını kısaca açıklayınız.

Semboller	Açıklama	Birim (SI)
$A_{i,o}$	ısı transfer alanı	m^2
A	kesit alanı	m^2
d_o	iç borunun dış çapı	m
d_i	iç borunun iç çapı	m
L	etkin uzunluk	m
D_o	dış borunun dış çapı	m
D_i	dış borunun iç çapı	m
C	özgül ısı	$\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$
\dot{m}	kütleli debi	kg s^{-1}
T	sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$
ρ	yoğunluk	kg m^{-3}
ν	kinematik viskozite	N s m^{-2}
k	ısı iletim katsayısı	$\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$
Nu	Nusselt sayısı	-
Re	Reynolds sayısı	-
Gz	Greatz sayısı	-
Pr	Prandtl sayısı	-
\bar{h}	ortalama ısı taşınım katsayısı	$\text{W m}^{-2}\text{K}^{-1}$
U	toplam ısı geçiş katsayısı	$\text{W m}^{-2}\text{K}^{-1}$
q	ısı geçiş miktarı	W
V	akışkan hızı	m/s