

Isı Değiştiricilerde Termohidrolik Temeller ve Isı Tasarım

EMRAH TAŞPINAR

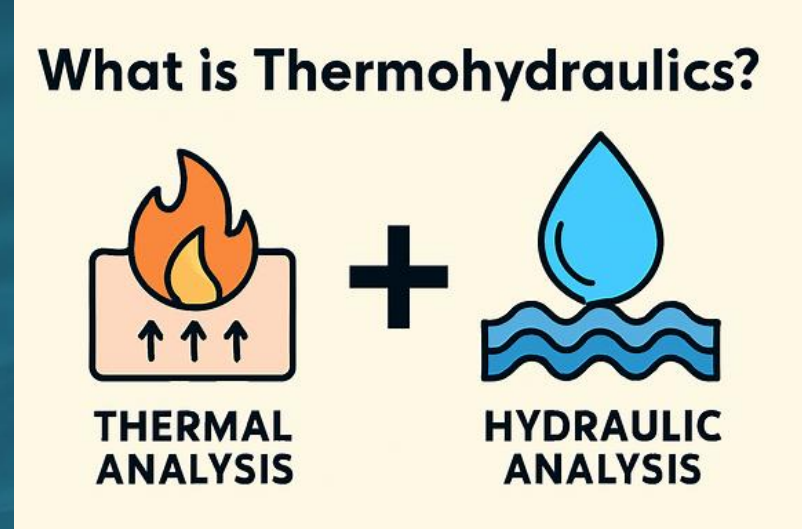
ENERJİ A.B.D. DOKTORA

Termohidrolik Nedir?

- **Termohidrolik**, “termo” (ısı) ve “hidrolik” (akışkan hareketi) kelimelerinin birleşiminden oluşur ve **ısı transferi ile akışkanlar mekaniğinin birlikte incelendiği mühendislik disiplini**dir.
- **Termohidrolik Ne Anlama Gelir?**
- **Isı transferi:** Akışkanlar arasında veya bir yüzeyle akışkan arasında gerçekleşen enerji aktarımıdır.
- **Akışkanlar mekaniği:** Akışkanların (gaz veya sıvı) hareketi, basınç dağılımı ve hız profilleri ile ilgilenir.
- **Termohidrolik analiz:** Bu iki alanın birleşimiyle, bir sistemdeki sıcaklık dağılımı, basınç kayıpları, akış düzeni ve verimlilik gibi parametreler birlikte değerlendirilir.

Termohidrolik Nerelerde Kullanılır?

- Isı değiştirici tasarımı
- Nükleer reaktör soęutma sistemleri
- Otomotiv radyatörleri
- HVAC sistemleri
- Elektronik soęutma çözümleri



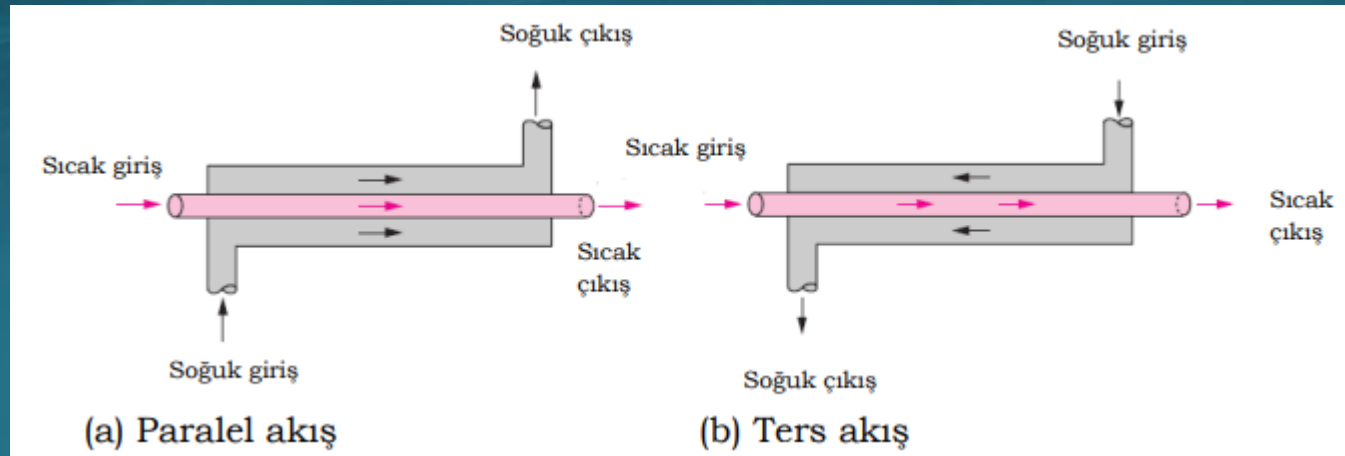
Bir plakalı ısı değiştiricide sıcak su ile soğuk suyun karşı akışta ilerlediği bir sistemde:

- Akışkanların hızları ve basınç düşümleri **hidrolik** analizle,
- Sıcaklık değişimleri ve ısı geçiş miktarı ise **termal** analizle incelenir.
- Bu iki analiz birlikte yapıldığında **termohidrolik çözümlene** elde edilir.

Akış Düzenleri ve Termohidrolik Etkileri

Akış Düzenleri

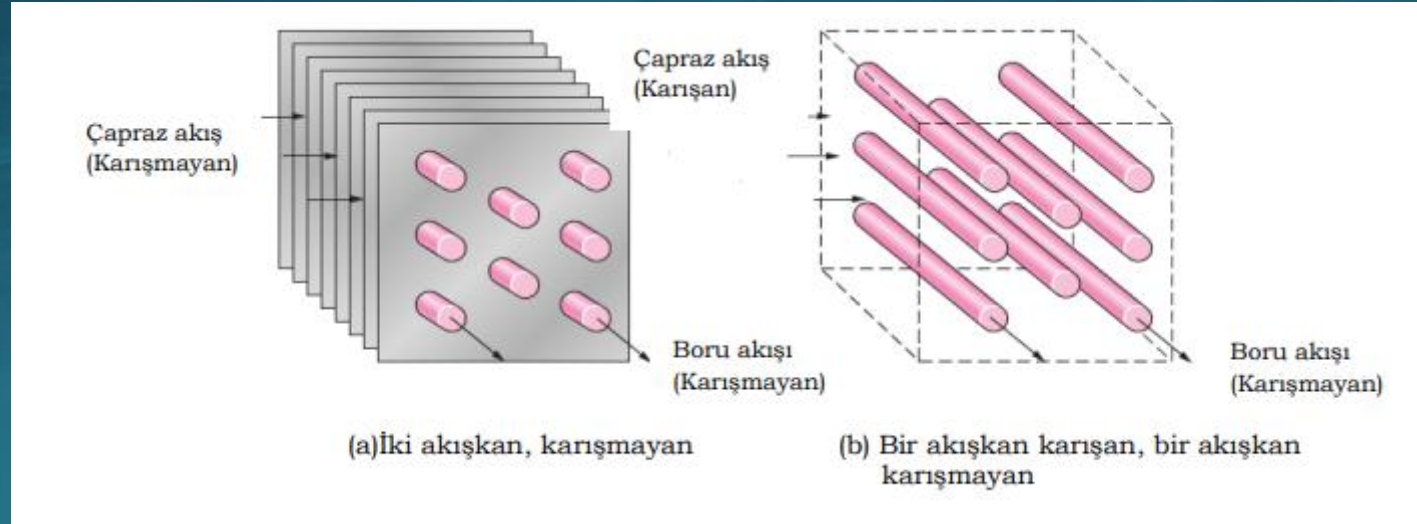
- **Paralel Akış:** Sıcak ve soğuk akışkanlar aynı yönde ilerler. Isı transferi sınırlıdır çünkü sıcaklık farkı hızla azalır.
- **Karşı Akış:** Akışkanlar zıt yönde ilerler. En yüksek ısı transfer verimliliği sağlanır.



Akış Düzenleri ve Termohidrolik Etkileri

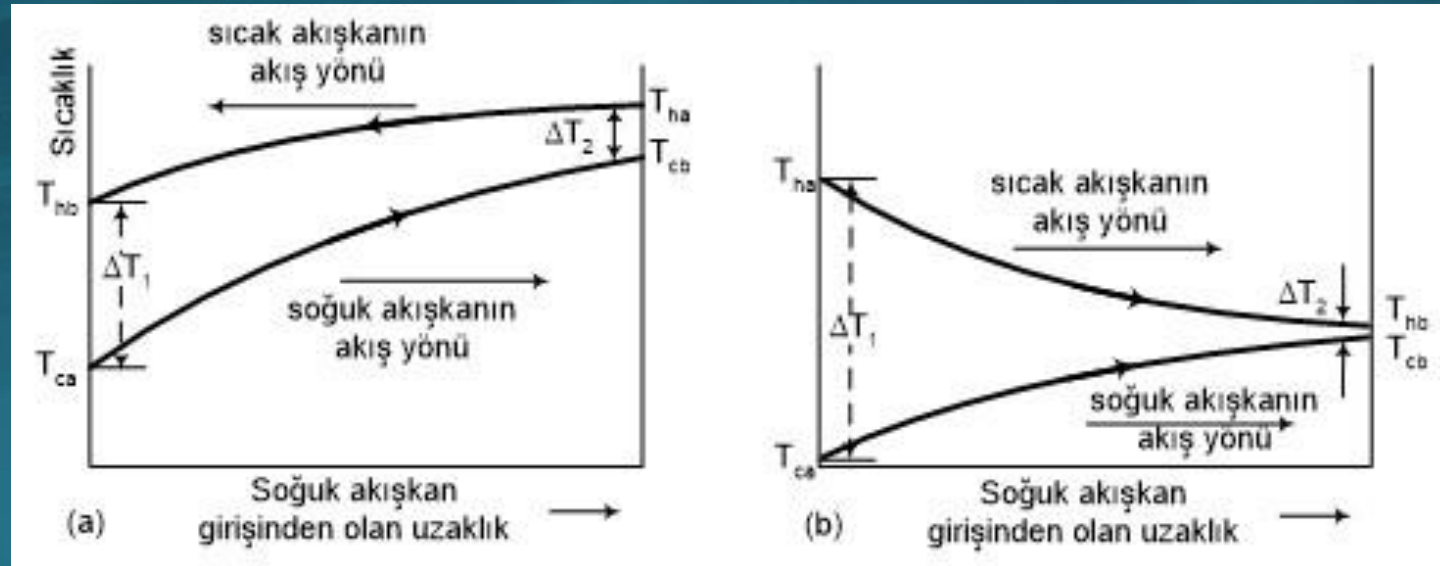
Akış Düzenleri

Çapraz Akış: Akışkanlar birbirine dik yönlerde hareket eder. Kompakt sistemlerde tercih edilir.



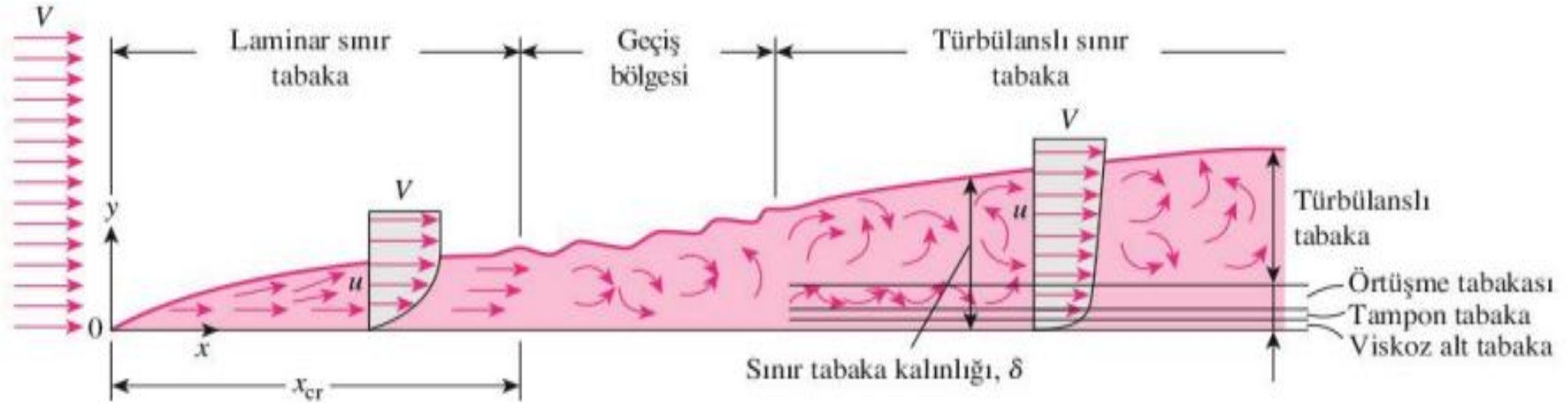
Akış Düzenlerinin Isı Transferine Etkisi

- Karşı akışta sıcaklık farkı daha uzun süre korunur → **daha yüksek ısı geçişi.**
- Paralel akışta sıcaklık yaklaşımı erken gerçekleşir → **verim düşer.**
- Çapraz akışta yüzey alanı ve akış yönü tasarıma göre optimize edilir.



Akış Rejimlerinin Isı Transferine Etkisi

- Türbülans ve Laminer Akış ve Hız Sınır Tabakası



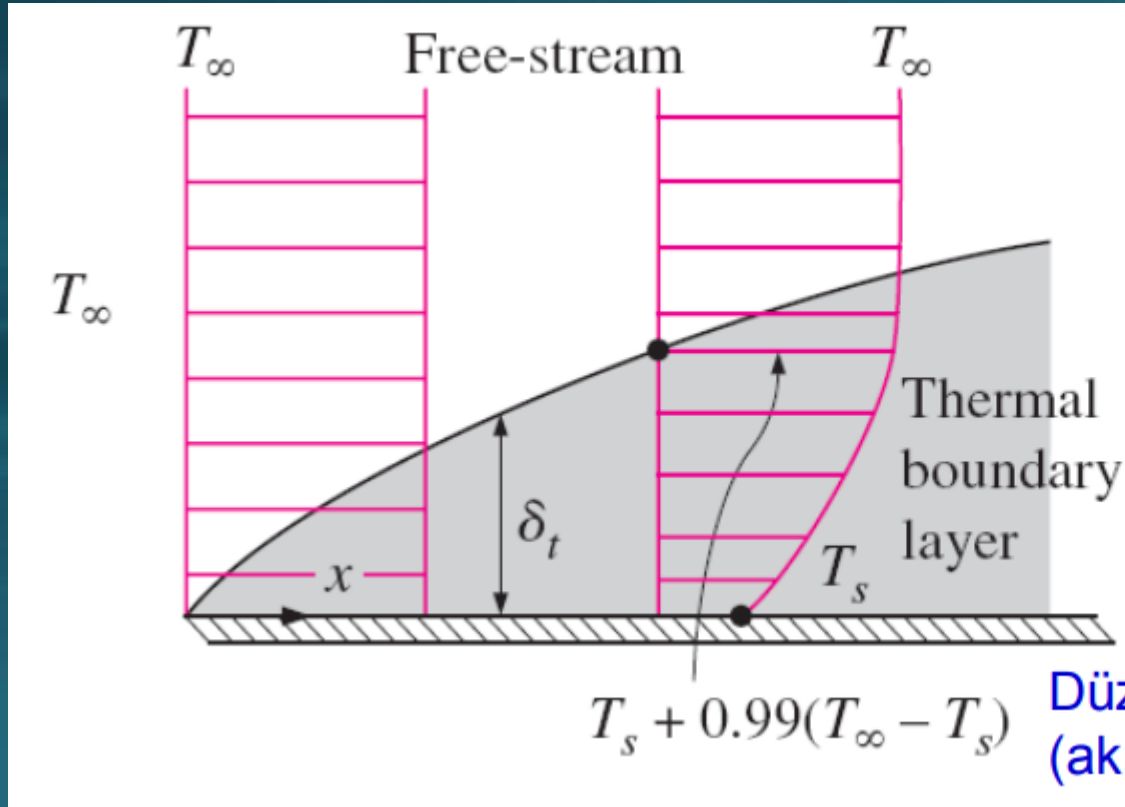
ŞEKİL 6-14

Düz bir plaka üzerindeki akış için sınır tabakanın gelişmesi ve farklı akış rejimleri.

University of Delaware izniyle.

Akış Rejimlerinin Isı Transferine Etkisi

Isıl Sınır Tabaka



Akış yönünde ilerledikçe, ısı transferinin etkileri yüzeyin daha uzağında duyulduğu için, ısıl sınır tabaka kalınlığı akış yönünde artar.

Katı yüzeyle onun üzerinde akan akışkan arasındaki taşınım ısı transferini, ısıl sınır tabakadaki sıcaklık profilinin biçimi belirler.

Düz bir plakadaki termal sınır tabakası (akışkan plaka yüzeyinden daha sıcaktır).

Akış Rejimlerinin Isı Transferine Etkisi

Özellik

Akış düzeni

Isı transferi

Basınç düşümü

Reynolds sayısı

Laminer Akış

Düzgün, katmanlı

Düşük

Az

< 2300

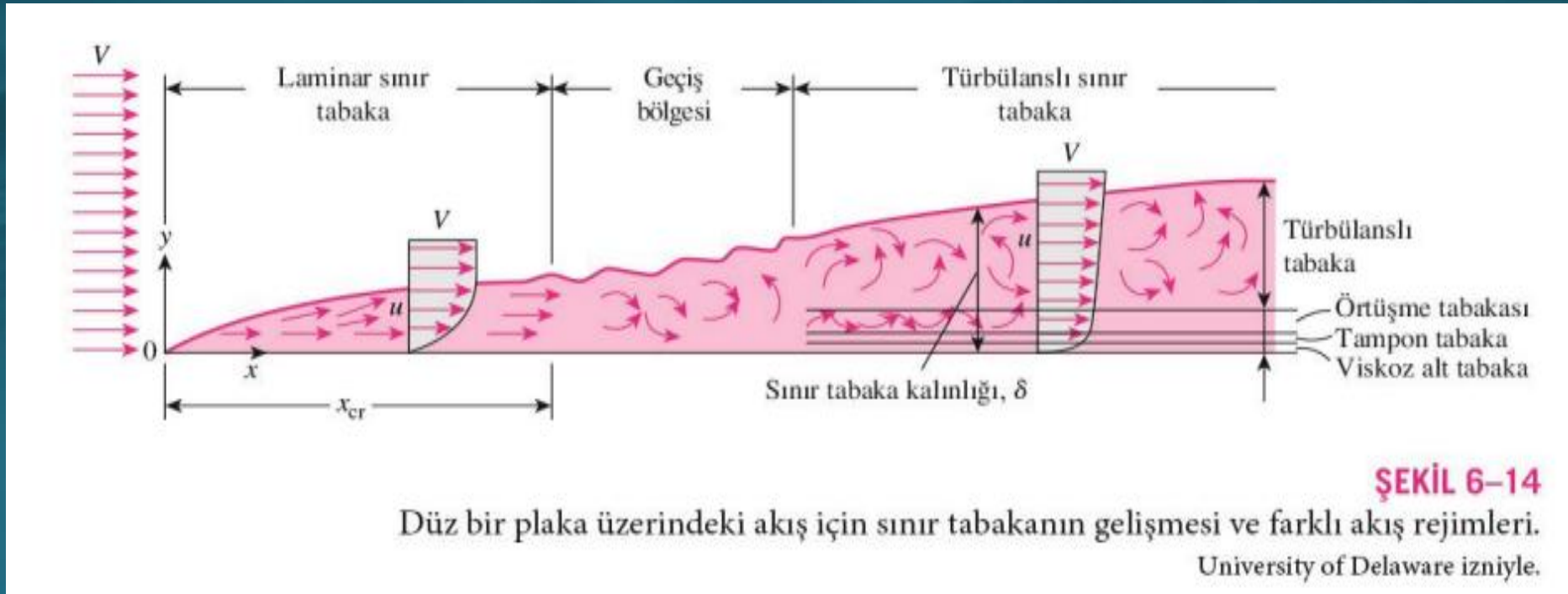
Türbülanslı Akış

Karışık, düzensiz

Yüksek

Fazla

> 4000



Akış Rejimlerinin Isı Transferine Etkisi

Prandtl Sayısı

- Hız ve ısıl tabakaların birbirine göre kalınlıklarını, en iyi olarak tanımlanan boyutsuz parametre Prandtl sayısı anlatır.

$$Pr = \frac{\text{Molecular diffusivity of momentum}}{\text{Molecular diffusivity of heat}} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu c_p}{k}$$

TABLO 6-2

Genel akışkanlar için özgün
Prandtl sayısı aralıkları

Akışkan	Pr
Sıvı metaller	0.004–0.030
Gazlar	0.7–1.0
Su	1.7–13.7
Hafif organik akışkanlar	5–50
Yağlar	50–100,000
Gliserin	2000–100,000

Gazların Prandtl sayıları 1 civarındadır ki bu, akışkan içinde momentum ve ısı yayılımının aynı hızda olduğunu gösterir.

Isı, momentuma göre sıvı metallerde ($Pr \ll 1$) çok hızlı, ağır yağlarda ($Pr \gg 1$) çok yavaş yayılır.

Sonuç olarak ısıl sınır tabaka hız sınır tabakasına göre sıvı metallerde çok daha kalın, yağlarda çok daha incedir.

Akış Rejimlerinin Isı Transferine Etkisi

Nusselt Sayısı (Nu)

- Nusselt sayısı, **konvektif ısı transferinin iletimle olan ısı transferine oranını** gösteren boyutsuz bir sayıdır. Eşanjör tasarımında, özellikle **ısı transfer katsayısı (h)** hesaplamasında temel bir parametredir.

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L}$$

- h: Konvektif ısı transfer katsayısı (W/m²·K)
- Nu: Nusselt sayısı
- k: Akışkanın ısı iletkenliği
- L: Karakteristik uzunluk (örneğin boru çapı)

Isıl etkinlik (ε) nedir?

Isıl etkinlik (ε), bir ısı değiştiricinin gerçek ısı transferi ile teorik maksimum ısı transferi arasındaki oranıdır.

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{gerçek}}}{Q_{\text{maksimum}}}$$

- ε değeri 0 ile 1 arasında değişir.
- Yüksek $\varepsilon \rightarrow$ yüksek verimlilik
- Akış düzeni ve yüzey alanı ε üzerinde doğrudan etkilidir.

NTU Yöntemi – Hesaplama

NTU (Number of Transfer Units), bir ısı değiştiricinin boyutlandırılması ve performans analizinde kullanılan yöntemdir. Özellikle **ısıl etkinlik (ϵ)** üzerinden tasarım yapılacaksa tercih edilir.

$$NTU = \frac{UA}{C_{\min}}$$

- U: Isı geçiş katsayısı ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)
- A: Isı transfer yüzey alanı (m^2)
- $C_{\min}$: Minimum ısı kapasitesi oranı ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

NTU Yöntemi – Yorumlama

- NTU değeri arttıkça ısı **etkinlik** (ϵ) artar.
- NTU $\rightarrow 0$: düşük verimlilik
- NTU $\rightarrow \infty$: teorik maksimum verimlilik

Akış düzenine göre ϵ –NTU ilişkisi değişir:

- **Karşı akış**: en yüksek etkinlik eğrisi
- **Paralel akış**: daha düşük etkinlik
- **Çapraz akış**: ara seviyede

$$NTU = \frac{UA}{C_{\min}}$$

LMTD Yöntemi

LMTD (Log Mean Temperature Difference), ısı değiştiricilerde sıcaklık farklarının logaritmik ortalamasını kullanarak ısı transferini hesaplamaya yarayan yöntemdir.

- ΔT_1 : Giriş sıcaklık farkı
- ΔT_2 : Çıkış sıcaklık farkı

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

LMTD Yöntemi – Avantajları

Avantajları

- **Basit ve doğrudan hesaplama:** Giriş ve çıkış sıcaklıkları biliniyorsa kolayca uygulanabilir.
- **Gerçek sıcaklık verileriyle çalışır:** Ölçüm tabanlı analizlerde tercih edilir.
- **Tasarım doğrulama için idealdir:** Mevcut sistemlerin performansını değerlendirmede kullanılır.
- **Endüstride yaygın kullanılır:** Özellikle shell & tube ve plakalı tiplerde standarttır.

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

LMTD Yöntemi –Sınırlamaları

Sınırlamaları

- **Akış düzenine duyarlıdır:** Paralel, karşı ve çapraz akış için düzeltme faktörleri gerekir.
- **Tasarım aşamasında sınırlı kullanılır:** Giriş/çıkış sıcaklıkları bilinmiyorsa uygulanamaz.
- **Karmaşık sistemlerde yetersiz kalabilir:** Çoklu akışkanlı veya değişken debili sistemlerde NTU yöntemi daha uygundur.
- **Düşük sıcaklık farklarında hata riski:** $\Delta T_1 \approx \Delta T_2$ olduğunda logaritmik hesaplama hassaslaşır.

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

Sıcaklık Yaklaşımı

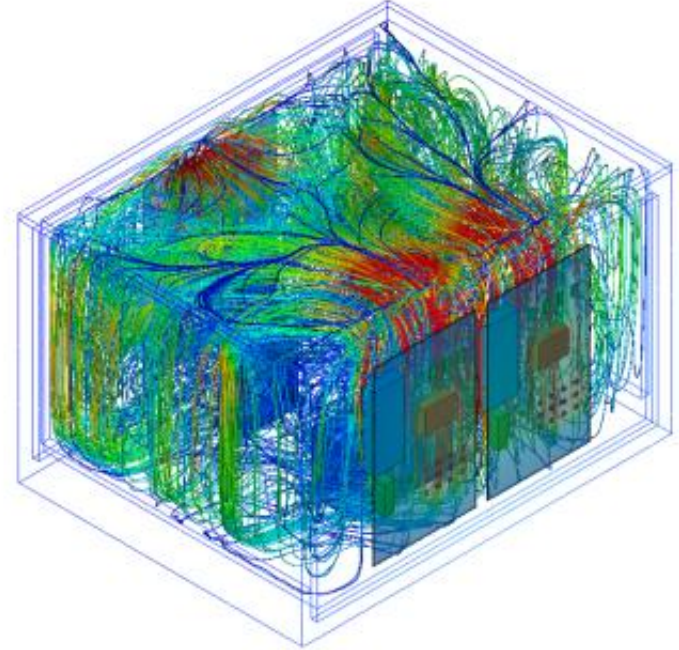
- Sıcaklık yaklaşımı, sıcak ve soğuk akışkanların çıkış sıcaklıkları arasındaki farktır.

$$\Delta T_{\text{yaklaşım}} = |T_{\text{çıkış, sıcak}} - T_{\text{çıkış, soğuk}}|$$

- Küçük sıcaklık yaklaşımı $\rightarrow$ yüksek verimlilik
- Büyük sıcaklık yaklaşımı $\rightarrow$ düşük ısı transferi
- Özellikle karşı akış düzeninde daha düşük yaklaşım elde edilir

Isıl Tasarım

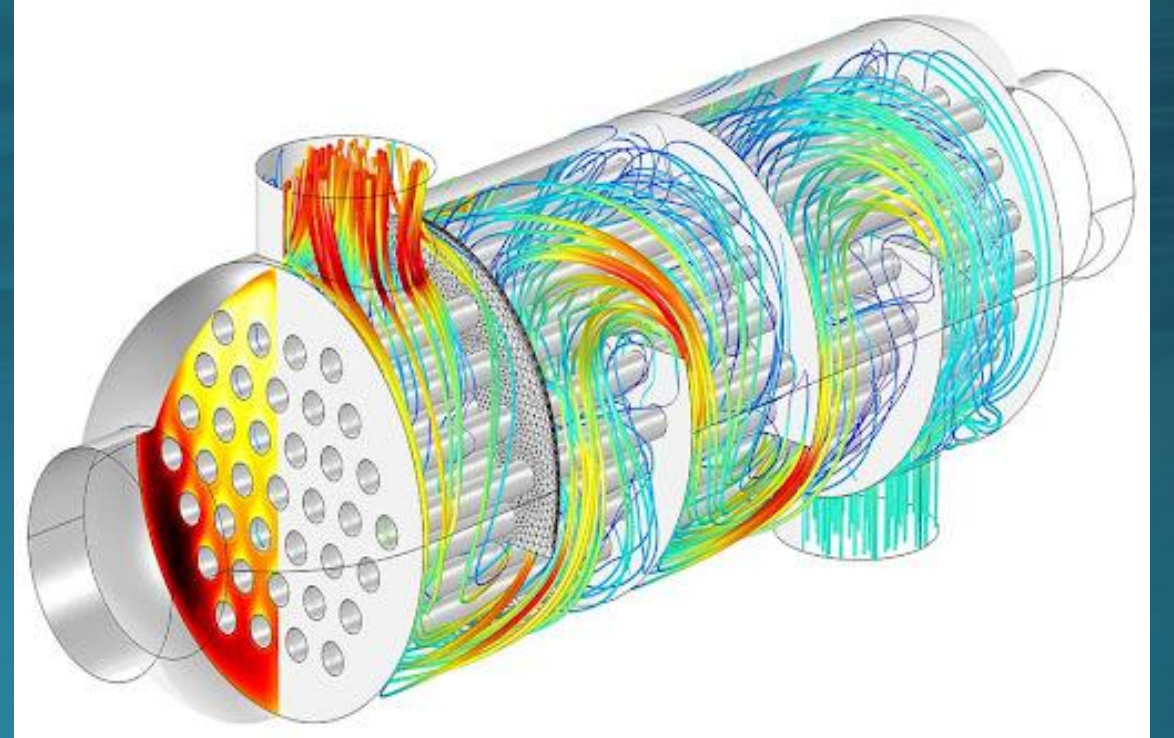
Isıl tasarım, ısı bir sistemin optimum şekilde ve tüm ekonomik ve mühendislik kavramlarını en iyi kullanarak nasıl dizayn edileceğini öğretir.



Isıl Tasarım

Isıl sistem dizaynı maliyet analizi gibi çeşitli ekonomik kavramların yanı sıra ısı biliminin;

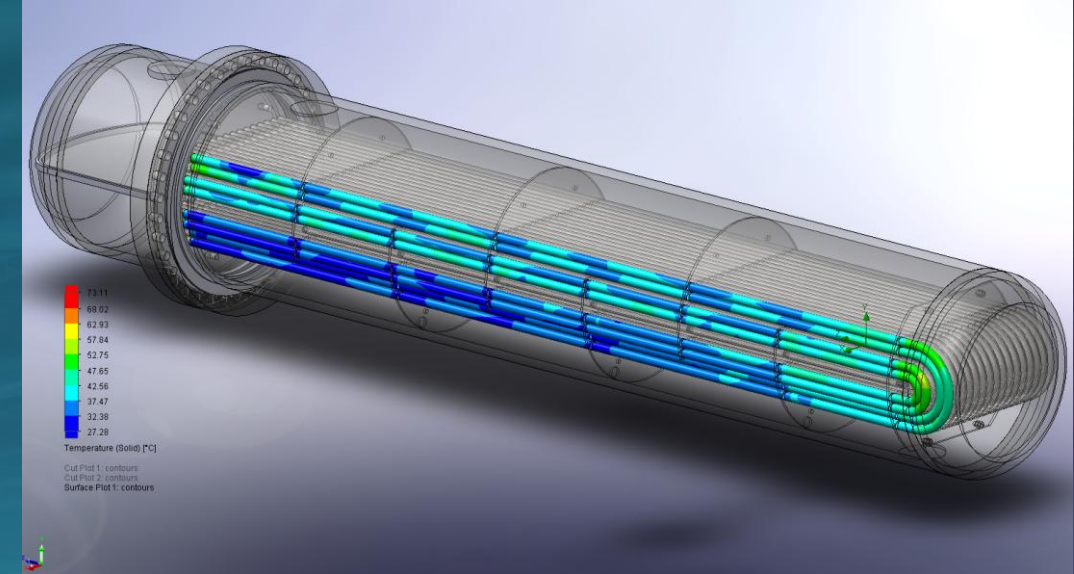
- Termodinamik
 - Isı transferi
 - Akışkanlar dinamiği
 - Mekanik
 - Mukavemet
 - Makine elemanları
 - Sayısal matematik
- gibi alanlarını kapsar.



Isıl Tasarım

Isıl Analiz Avantajları

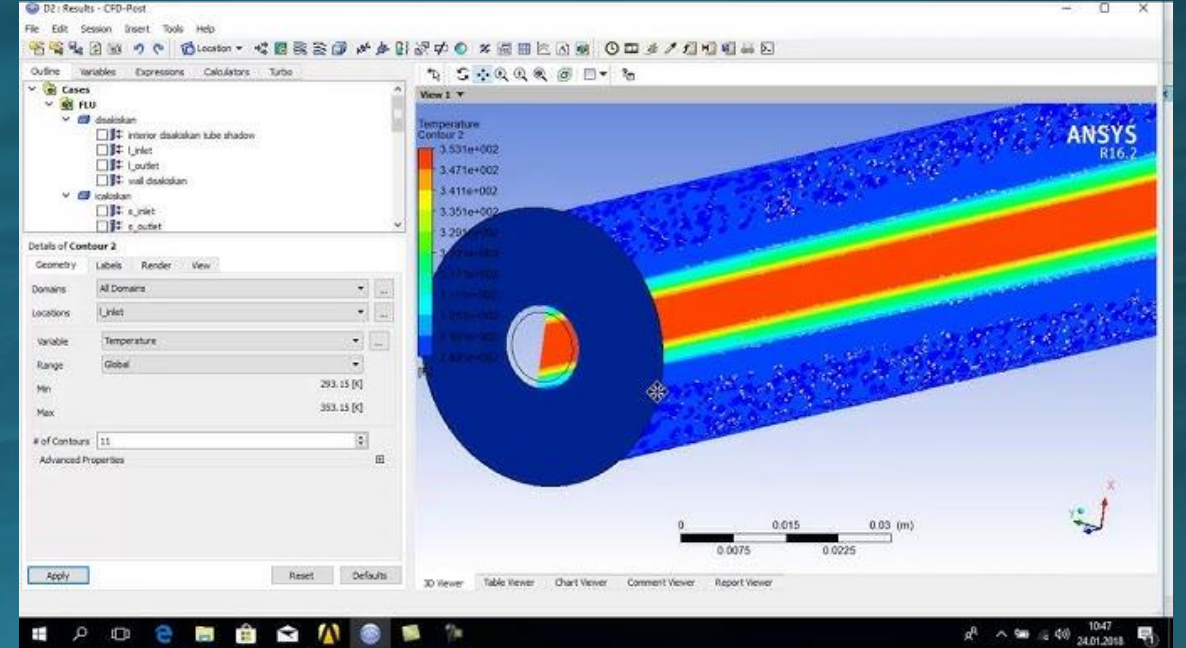
- En temelinde dijital bir test yöntemidir. Parçaları fiziksek olarak üretmeden önce bilgisayar ortamında sanal olarak incelenebilir.
- Olası sorunlar bilgisayar ortamında görüntülendiği için düzenlemeler tasarımda revize edilip sorunsuz tasarım yapma yolunda önemli adımlar atılmış olunur.
- Çeşitli yükleme koşullarında yapısal davranış ve arızanın iyi görselleştirilmesi yapılır.
- Kritik tasarım parametrelerine ilişkin ön görüş bilgisi (Ağırlık, Güç, Maliyet) edinilir.
- Daha hızlı ve daha ucuz tasarım döngüsü sağlanır.
- Ağırlık azaltma, topoloji optimizasyonu, metal ikame malzeme değişim çalışmaları sonlu elemanlar yöntemi ile daha hızlı, efektif ve ekonomik yöntemler ile yapılabilir.



Isıl Tasarım

Isıl Tasarım Süreci

- Boyutlandırma (sizing) ve derecelendirme (rating)
- Giriş verileri: debi, sıcaklık, malzeme
- Tasarımda optimizasyon: verimlilik vs. maliyet
- Basınç düşümü analizi ve sınır değerler



Isıl Tasarım

- Eşanjör tasarımının sağlanabilmesi için eşanjörün primer ve sekonder devre akışkanlarının cinsleri, giriş sıcaklıklarını, istenilen çıkış sıcaklıklarını, akışkanların debilerinin bilinmesi gerekmektedir.
- Bu verilerin belirlenmesi sonrasında eşanjörün termal tasarım süreci başlatılır. Termal tasarım süreci tamamlandıktan sonra mekanik tasarım sürecine geçilir ki eşanjörün basınç altında çalışan bir basınçlı kap niteliğinde bir ürün olduğu düşünüldüğünde bu sürecin çok önemli olduğu unutulmamalıdır.



KAYNAKLAR

- Incropera, F.P. ve DeWitt, D.P., Isı ve Kütle Geçişinin
- Temelleri Çengel, Y. A., Isı ve Kütle Transferi
- <https://www.btu.edu.tr>
- <https://www.megart.com.tr>
- <https://hvacglobal.org>

Teşekkürler...