



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MAKİNE VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**MÜHENDİSLİKTE DENEYSEL METOTLAR II**  
**ZAMANA BAĞLI ISI İLETİMİ**

**1. Deneyin Adı:** Zamana bağılı ısı iletimi.

**2. Deneyin Amacı:** Kararsız rejim sıcaklık/ısı akısı grafikleri kullanılarak bir silindirin ısı iletkenliğini hesaplamak ve bu işlemi yaparken kullanılacak verileri farklı malzemenen üretilmiş aynı ölçülerdeki bir silindirden elde etmek.

**3. Teori:** Cisimlerin sıcaklıkları genellikle zamana ve konuma göre değişir. Bu değişim Kartezyen koordinatlarda  $T(x,y,z,t)$  olarak yazılır; burada,  $(x,y,z)$  ifadesi  $x,y$  ve  $z$  doğrultularındaki değişimleri,  $t$  ise zamana göre değişimi gösterir.

Isı transfer çözümlemesinde, bütün ısı transfer işlemi süresince bazı cisimlerin – aslında iç sıcaklığı üniform kalan- bir yığın gibi kaldığı gözlenir. Bu tür cisimlerin sıcaklığının yalnız zamanın bir fonksiyonu olarak değiştiği  $T(t)$  olduğu kabul edilebilir. Bu idealleştirmeyi kullanan ısı transfer çözümlemesi yığık sistem çözümlemesi olarak adlandırılır; bu çözümleme, belli türde ısı transfer problemlerini – duyarlılığa fazlaca zarar vermeksizin- büyük ölçüde basitleştirir.

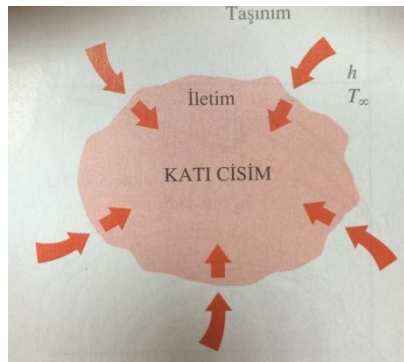
Yığık sistem çözümlemesi zamana bağılı problemleri çözmek için kullanılacak en uygun ve basit yöntemdir. Ancak bu yöntem uygulanırken cismin her tarafında üniform bir sıcaklık dağılımı olduğu kabul edilir ve bu kabul uygulamada bazı sınırlandırmalar getirir. Yığık sistem çözümlemesinin uygulanabilirliği için bir kriter oluşturmadaki ilk adım,

$$L_c = \frac{V}{A_s}$$

gibi bir *karakteristik uzunluk* ve

$$Bi = \frac{hL_c}{k}$$

şeklinde *Biot sayısı* tanımlanmaktadır. Bir katı cisim çevresindeki daha sıcak bir akışkan tarafından ısıtıldığında (fırında pişirilen patates gibi), ısı önce cisme *taşınır* ve daha sonra cisim içerisinde *iletilir* (Şekil 1).



Şekil 1. Daha sıcak bir akışkan tarafından ısıtılan bir cisimde ısı transferi

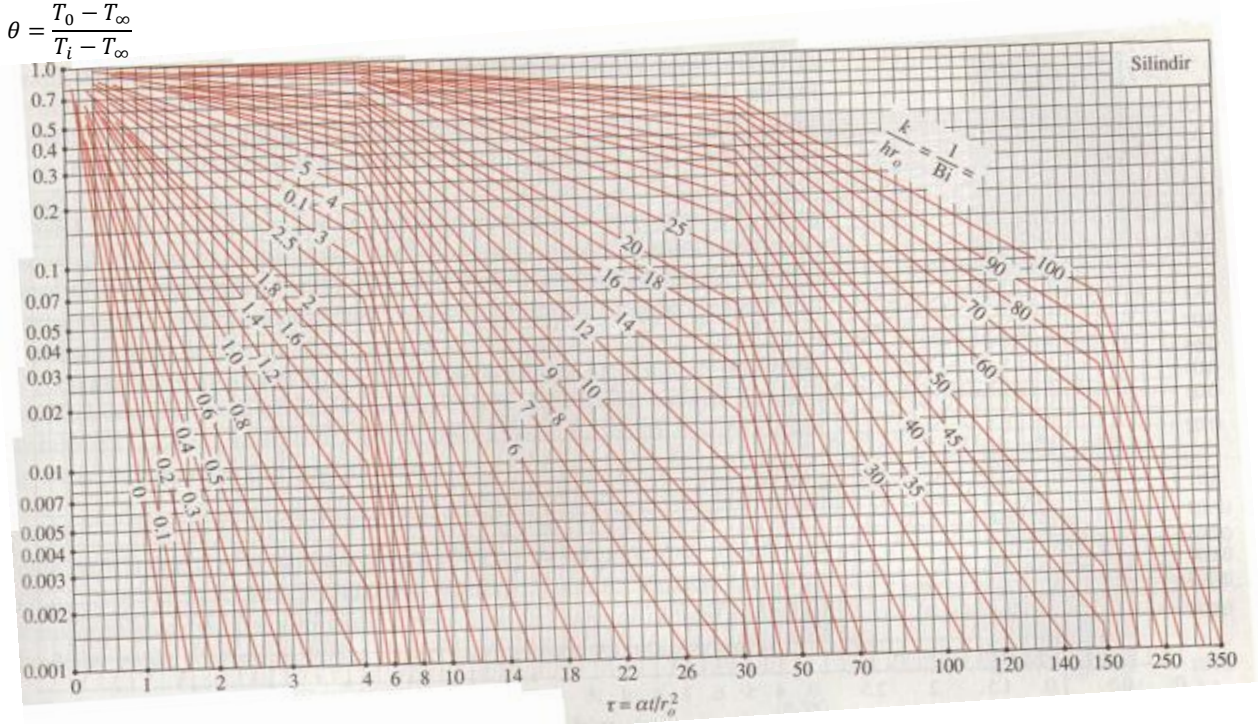
Biot sayısı, bir cismin ısı iletimine karşı gösterdiği iç direncin, ısı taşınımına karşı gösterdiği dış dirence oranıdır. O halde küçük Biot sayısı ısı iletimine karşı küçük direnci ve dolayısıyla cisim içerisinde küçük sıcaklık gradyanını gösterir.

$$Bi = \frac{L_c/k}{1/h} = \frac{\text{Cisim içerisindeki iletim direnci}}{\text{cismin yüzeyindeki taşınım direnci}}$$

Genellikle

$$Bi \leq 0.1$$

ise yığık sistem çözümlemesinin uygulanabilir olduğu kabul edilir. Ancak yukarıda da bahsettiğimiz gibi bir cisim içerisinde sıcaklık, genellikle hem bir noktadan diğerine hem de zamana bağlı değişir. Bir düzlem duvarda, bir silindirde veya bir kürede, tek boyutlu zamana bağlı sıcaklık dağılımının bulunması amacıyla yapılan ısı iletim problemlerinin formülasyonu, - kullanımı zahmetli, çözümleri tipik olarak sonlu seri ve transendental denklemler içeren- bir kısmi diferansiyel denklemlerle sonuçlanır. Fakat analitik çözüm, fiziksel probleme değerli bir algılama katar ve dolayısıyla ilgili adımları incelemek için önemlidir. Analitik çözümleri basitleştirmek ve basit bağıntılar kullanmak için genellikle tablolar ve grafikler kullanılır. Deneyde kullanılacak silindir numuna için hazırlanmış grafikler aşağıda verilmiştir.

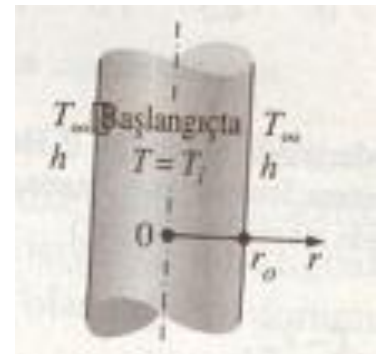


Şekil 2. Silindir ekseninde zamana bağlı sıcaklık değişimi grafiği

Aşağıdaki boyutsuz sayıların hesaplanması için grafiklerin kullanımı önemlidir.

Boyutsuz sıcaklık:

$$\theta = \frac{T(r, t) - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$



Biot sayısı:

$$Bi = \frac{hb}{k}$$

Boyutsuz Fourier sayısı:

$$\tau = \frac{\alpha t}{b^2}$$

$\alpha$ = silindirin ısı yayılım katsayısı m<sup>2</sup>/s

$h$ = ısı taşınım katsayısı W/m<sup>2</sup>°C

$k$ = silindirin ısı iletkenliği W/m°C

$t$ = süre (dakika)

$T(0,t)$ = t dakikasında silindirin merkezindeki sıcaklık (t dakikasında T3 sıcaklığı °C)

$T_i$ = silindirin başlangıç sıcaklığı (t=0 da T3 sıcaklığı °C)

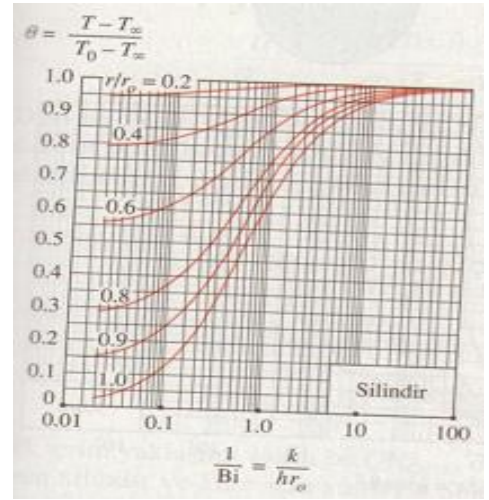
$T_\infty$ = su havuzunun sıcaklığı (T1 °C)

$b$ = silindirin yarı çapı (m)

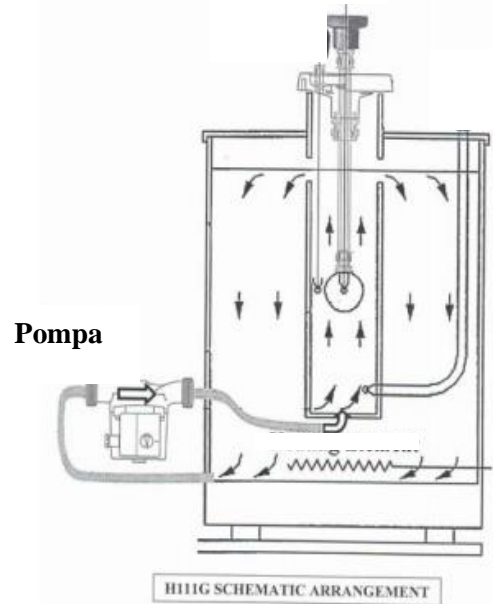
$r$ = silindir içindeki radyal pozisyon (eksende r=0 m)

**4. Metot:** Zamana bağlı ısı transferi deney cihazı basit olarak tabanında elektrikli bir ısıtıcı eleman bulunduran 30 litre kapasiteli bir kazan, farklı şekil ve malzemelerden imal edilmiş numune, numune tutucu bölüm ve numune ile ısıtıcı arasında sıcak su sirkülasyonunu sağlayan bir pompadan oluşmaktadır. Deney düzeneği Şekil 4'de şematik olarak gösterilmiştir.

Deneyde, aynı ölçülerde farklı malzemeden (Pirinç ve Paslanmaz Çelik) yapılmış silindir numuneler oda sıcaklığında stabil bir hal alıncaya kadar bekleneyecek ve daha sonra sıcak su havuzuna daldırılacaktır. Bir silindirin merkezindeki sıcaklık değişimi kullanılarak iki silindir içinde ısı iletkenlik hesaplanacaktır.



Şekil 3. Silindir de çap boyunca zamana bağlı sıcaklık değişimi grafiği



Şekil 4. Zamana bağlı ısı iletimi deney düzeneği

## 6. Deney Verileri

Zamana bağlı numune sıcaklığı tablolar halinde deney dzeneneği kullanılarak elde edilecektir.

## 7. Hesaplamalar:

Pirinç ve paslanmaz çelik numunler için zamana bağlı sıcaklık değişimini grafik çizerek gösteriniz.

Pirinç silindir için çizdirdiğiniz sıcaklık zaman grafiği üzerinde bir nokta seçiniz ve bu noktaya karşılık gelen zaman ve sıcaklığı okuyun. Bu nokta final sıcaklığına yakın olmalı.(örneğin 2-3 derece final sıcaklığından düşük)

$$\theta = \frac{T(r, t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}}$$

Denkleminde bu nokta için  $\theta$  deęerini hesaplayın.

Pirinç için  $\alpha = 3,7 \times 10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  deęerini kullanarak  $\tau$  deęerini hesaplayın.

Hesaplanan  $\theta$  ve  $\tau$  deęerleri için verilen grafiklerden  $1/Bi$  deęerini okuyun.

$Bi$  bilindiğine göre  $h$  ı hesaplayın. (pirin için  $k=121 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ )

Bulunan bu  $h$  değeri boyutu, şekli, yüzey kalitesi ve su hızı sabit olan pirinç numune ve paslanmaz çelik numune için aynıdır.

Paslanmaz çelik içinde pirinç numunedeki gibi sıcaklık zaman grafiği çizdirin ve yine bu grafikten final sıcaklığına yakın bir nokta seçin

Denkleminde bu nokta için  $\theta$  deęerini hesaplayın.

Paslanmaz çelik için  $\alpha = 0,6 \times 10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  deęerini kullanarak  $\tau$  deęerini hesaplayın.

Hesaplanan  $\theta$  ve  $\tau$  deęerleri için verilen grafiklerden  $1/Bi$  deęerini okuyun.

$Bi$  ve  $h$  bilindiğine göre  $k$  yı hesaplayın.

## 8. Kaynaklar

ÇENGEL Y. A., Isı ve Kütle Transferi Pratik Bir Yaklaşım., Güven Kitabevi, 3. Baskı, İzmir, 2011.