

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
KM 380 Kimya Mühendisliği Laboratuvarı I

DENEY: YATIŞKIN OLMAYAN HAL ISI İLETİMİ (5b)

AMAÇ

İki ucu sabit sıcaklıkta tutulan pirinç çubuk boyunca sıcaklık dağılımını ve bu çubuktan olan ısı kaybını incelemek.

TEORİ

İlgili temel bilgilerin özeti ve teorik çözümde yararlanılan bir bilgisayar programı verilmiştir.

DENEY DÜZENEGİ

İki ucu elektrik enerjisiyle ısıtılan ve uzunluğu boyunca değişik konumlarda termometre yerleştirilen silindirik bir çubuktur.

DENEY YÖNTEMİ

Silindirik pirinç çubuğun iki ucu, elektrik dirençleri ile 150 °C'a ısıtılarak bu sıcaklıkta sabit tutulur. Her 10 dakikada bir çubuk boyunca yerleştirilen termometrelerden aynı anda sıcaklıklar okunur. Bu işlem çubuk başındaki termometreler 150 °C'a ulaştıktan 10 dakika sonrasına kadar sürer. Elde edilen veriler tabloya kayıt edilir. Ortam (Çevre) sıcaklığı ayrıca ölçülür.

HESAPLAMALAR

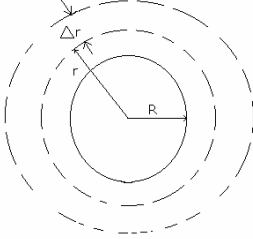
1. Silindirin yüzeyi ile hava arasındaki ortalama ısı iletim katsayısını (h) aşağıdaki şartlarda hesaplayınız.
 - a) Yatışkın hal
 - b) Hava tamamen durgun (Konveksiyon akımları yok)
 - c) Silindirin dış yüzey sıcaklığı (T_w) sabit.
 - d) Silindirin dış yüzeyinden $r=785R$ uzaklığında havanın sıcaklığı ortam sıcaklığına (T_∞) eşittir.
2. Silindir yüzeyi ile hava arasındaki ortalama ısı iletim katsayısını, çubuk için ortalama bir sıcaklık kullanarak tabii konveksiyon hali için hesaplayınız.
3. Simetriden dolayı çubuğun tam ortasında ($dT/dx=0$) olması gerektiği dikkate alınırsa, çubuğun yarısı bir ucu T_s sıcaklığında tutulan ve diğer ucu mükemmel yalıtılmış silindirik fin gibi düşünülebilir. Bu şartlar altında, karalı hal için.
 - a) Çubuk boyunca sıcaklık dağılımını belirleyiniz.
 - b) Çubuktan dış ortama olan ısı kaybını hesaplayınız.
4.
 - a) Size verilen bilgisayar programını kullanarak yatışkın olmayan hal için deneysel verilerinizden de yararlanarak en uygun h değerini seçiniz. Bunu (1) ve (2) de bulduğunuz sonuçlar ile karşılaştırınız.
 - b) Bilgisayar programı sonuçları ile verilerinizi aynı grafik üzerinde karşılaştırınız.
 - c) Bilgisayar programından elde edilen yatışkın hal sonuçlar ile karşılaştırınız.

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
KM 380 Kimya Mühendisliği Laboratuvarı I

SİLİNDİR YÜZEYİNDEN DURGUN AKIŞKAN ORTAMA ISI İLETİMİ

Varsayımlar:

- Silindir dışı yüzey sıcaklığı $T_w = \text{Sabit}$
- Yatışkın hal
- $\partial r = 785R$ pozisyonunda $T = T_\infty$



Kabuk için enerji eşitliği:

$$\left\{ (2\pi L) \left(-k \frac{dT}{dr} \right) \right\}_r - \left\{ (2\pi L) \left(-k \frac{dT}{dr} \right) \right\}_{r+\Delta r} = 0$$

Bu eşitliği $(2\pi L \Delta r)$ 'ye bölüp $\Delta r \rightarrow 0$ 'da limiti alınırsa;

$$\lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{\left\{ r \frac{dT}{dr} \right\}_{r+\Delta r} - \left\{ r \frac{dT}{dr} \right\}_r}{\Delta r} = 0 \Rightarrow \frac{d}{dr} \left\{ r \frac{dT}{dr} \right\} = 0$$

$$r \frac{dT}{dr} = C_1 \Rightarrow dT = C_1 \frac{dr}{r} \Rightarrow T = C_1 \ln r + C_2$$

Sınır Şartı 1: $r=R$; $T=T_w \Rightarrow T_w = C_1 \ln R + C_2$

Sınır Şartı 2 : $r=785R$; $T=T_\infty \Rightarrow T_\infty = C_1 \ln(785R) + C_2$

Bu durumda; $(T_w - T_\infty) = C_1 (\ln R - \ln 785R) \Rightarrow C_1 = \frac{T_w - T_\infty}{\ln \frac{R}{785R}}$

$R=1$ için $C_1 = \frac{T_w - T_\infty}{-6,666}$

$q|_{r=R} = ?$

$$q|_{r=R} = (2\pi RL) \left(-k \frac{dT}{dr} \right) \Big|_{r=R} = -2\pi RLk \frac{C_1}{r} \Big|_{r=R} = -2\pi RLk \frac{(T_w - T_\infty)}{(-6,666)R} = \frac{\pi Lk}{3,333} (T_w - T_\infty)$$

Newton'un soğuma kanununu da kullanarak,

$$q|_{r=R} = \frac{\pi Lk}{3,333} (T_w - T_\infty) \equiv h(T_w - T_\infty)(2\pi RL) \Rightarrow \frac{k}{3,333} = hD \Rightarrow \frac{hD}{k} = 0,3 \Rightarrow Nu = 0,3$$

NOT- Yüzeyin dik konveksiyon ile tek silindirden olan ısı iletimi için;

$$Nu = 0,3 + \frac{0,62R^{1/2} Pr^{1/3}}{\left[1 + (0,4/Pr)^{2/3} \right]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5}$$

Akışkanın hızı sıfıra yaklaşırken ($Re \rightarrow 0$); ($Nu \rightarrow 0,3$)

Bu sonuçta yukarıda elde edilenle aynıdır.

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
KM 380 Kimya Mühendisliği Laboratuvarı I

YATAY KONUMLU SİLİNDİRLERDEN DOĞAL KONVEKSİYONLA ISI İLETİMİ

$$Nu = cRa^n$$

Nusselt Sayısı $Nu = \frac{hD}{k}$

Prandtl Sayısı $Pr = \frac{C_p \mu}{k}$

Grashof Sayısı $Gr = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)D^3}{\gamma^2}$

Rayling Sayısı $Ra = Gr.Pr$

Ra	c	n
$10^{-10}-10^{-2}$	0,675	0,058
$10^{-2}-10^2$	1,02	0.148
10^2-10^4	0,85	0,188
10^4-10^7	0,48	0,25
10^7-10^{12}	0,125	0,333

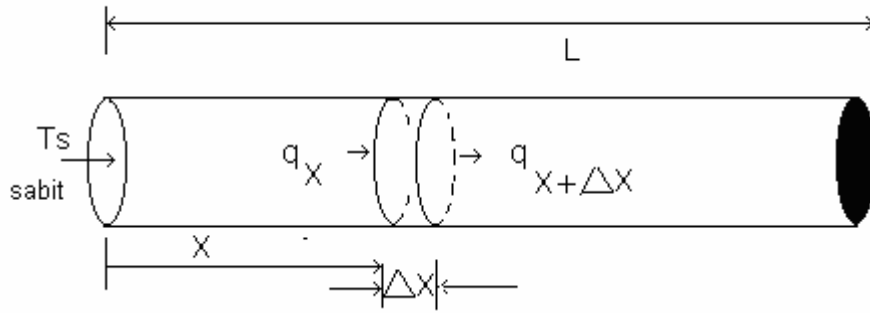
Akışkanların özellikleri, film sıcaklığında $T_f = (T_w + T_\infty)/2$ alınır.

T_w : Silindir dış yüzey alanı

T_∞ : Ortam sıcaklığı

SİLİNDİRİK FİNDEN ISI KAYIBI (YATIŞKIN HAL)

Bir ucu çok iyi yalıtılmış, diğer uçta sabit (T_s) sıcaklığında. Yalıtılmış uçta $(dT/dx)_{x=L}=0$ 'dır.



$$\text{Çevre} = P = \pi D \quad ; \quad \text{Alan} = A = \pi D^2/4$$

$$q|_x - q|_{x+\Delta x} - h(T - T_\infty)P\Delta x = 0$$

$$\left[-kA \frac{dT}{dx} \right]_x - \left[-kA \frac{dT}{dx} \right]_{x+\Delta x} - h(T - T_\infty)P\Delta x = 0$$

$$\left[-kA \frac{dT}{dx} \right]_x - \left[-kA \frac{dT}{dx} \right]_x + \frac{d^2T}{dx^2} \Delta x - h(T - T_\infty)P\Delta x = 0$$

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
KM 380 Kimya Mühendisliği Laboratuvarı I

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = \frac{h\rho}{kA} (T - T_\infty)$$

Tanım $\theta = (T - T_\infty)$; $m^2 = \frac{hP}{kA} \Rightarrow \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = m^2 \theta$

Bu diferansiyel denklemin genel çözümü: $\theta = C_1 e^{-mx} + C_2 e^{+mx}$

Sınır Şartı 1: $x=0$; $T=T_s$ $\theta = \theta_s \equiv T_s - T_\infty$

Sınır Şartı 2 : $x=L$; $\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=L} = 0$; $\left. \frac{d\theta}{dx} \right|_L = 0$

Genel çözümünden ; $\left. \frac{d\theta}{dx} \right| = -C_1 m e^{-mx} + C_2 m e^{+mx}$

S.Ş.2 $\Rightarrow 0 = -C_1 m e^{-mL} + C_2 m e^{+mL}$

S.Ş.1 $\Rightarrow \theta = C_1 + C_2$

Bu iki denklemin ortak çözümünden :

$$C_1 = \theta_s \frac{e^{mL}}{(e^{mL} + e^{-mL})} ; C_2 = \theta_s \frac{e^{-mL}}{(e^{mL} + e^{-mL})}$$

Çözüm: $\frac{\theta}{\theta_s} = \frac{e^{m(L-x)} + e^{-m(L-x)}}{e^{mL} + e^{-mL}}$

$\cosh(y) = \frac{e^y + e^{-y}}{2}$ tanımından;

$\frac{\theta}{\theta_s} = \frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL}$ Sıcaklık Dağılımı

Çevreye olan ısı kaybı:

$$q = -kA \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = \int_0^L h(T - T_\infty) \pi D dx$$

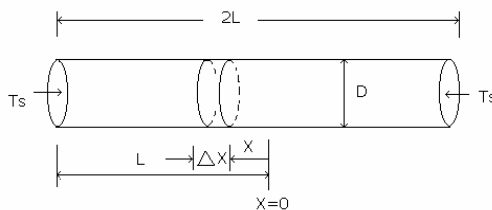
Sıcaklık dağılımı ifadesinden; $\frac{dT}{dx} = \theta_s \frac{\sinh m(L-x)}{\cosh mL} (-m)$

$$\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = -m \theta_s \tanh mL \Rightarrow q = kAm(T_s - T_\infty) \tanh mL$$

NOT: $mL = \sqrt{Bi}$; $Bi = \frac{hl}{k}$, Biot Sayısı

$l = \frac{PL^2}{A}$, Sistemin karakteristik boyutu

İKİ UCU SABİT SICAKLIKTAKI TUTULAN YATAY ÇUBUKTAN YATIŞKIN OLMAYAN HAL ISI İLETİMİ



Çevre = $P = \pi D$; Alan = $A = \pi D^2/4$

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
KM 380 Kimya Mühendisliği Laboratuvarı I

Kondüksiyon ile ısı taransferinin (-x) yönünde olduğuna dikkat ederek, kabuk için enerji denklığı yazılırsa;

$$-\xi|_{x+\Delta x} - \left[-\xi|_x \right] - h(T - T_{\infty})\rho\Delta x = A\Delta x\rho C_p \frac{dT}{dt}$$

$$- \left(-kA \frac{dT}{dx} \right)_{x+\Delta x} - \left[- \left(-kA \frac{dT}{dx} \right)_x \right] - h(T - T_{\infty})\rho\Delta x = A\Delta x\rho C_p \frac{dT}{dt}$$

Δx ile bölüp, $\Delta x \rightarrow 0$ iken limitini alırsak;

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{h\rho}{kA}(T - T_{\infty}) = \frac{\rho C_p}{k} \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho C_p} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{h\rho}{kA}(T - T_{\infty})$$

Boyutsuz gruplar aşağıdaki gibi ifade edilirse ve yukardaki eşitlik düzenlenirse

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}, \quad \beta = \frac{h\rho}{A\rho C_p}, \quad \theta = (T - T_{\infty})$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial T}{\partial t}, \quad \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} - \beta \theta$$

Yeni bir değişken tanımlarsak ve $\theta = (u)e^{-\beta t}$ olacak şekilde tanımlanır ve yukarıdaki eşitliği yeniden düzenlenirse,

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

Başlangıç Şartı	$t = 0$;	$u = (T_i - T_{\infty}) = \theta_i$
Sınır Şartı 1	$x = +L$;	$u = (T_s - T_{\infty}) e^{\beta t} = \theta_s e^{\beta t}$
Sınır Şartı 2	$x = -L$;	$u = (T_s - T_{\infty}) e^{\beta t} = \theta_s e^{\beta t}$

Bu başlangıç ve sınır şartlarından yararlanarak yukarıdaki kısmi diferansiyel denklemin çözümünden sıcaklık dağılımı elde edilebilir.

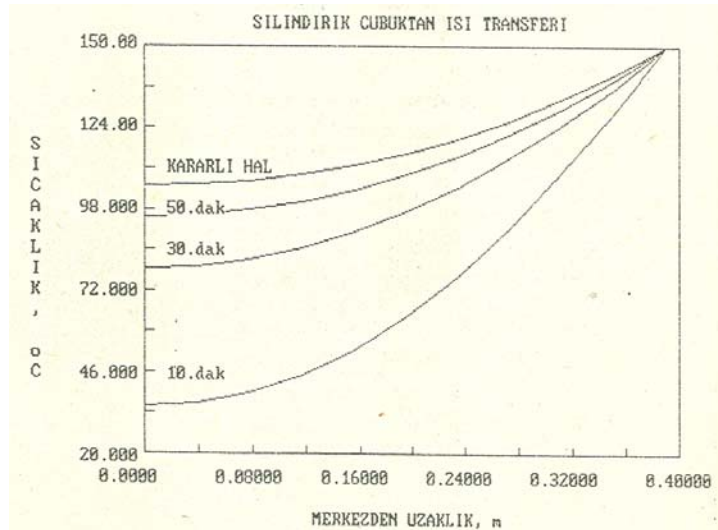
$$\theta = \theta_s \frac{\cosh x (\beta/\alpha)^{1/2}}{\cosh L (\beta/\alpha)^{1/2}} - \frac{4\theta_s}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n e^{-\beta t - \left[\frac{\alpha(2n+1)^2 \pi^2 t}{4L^2} \right]}}{(2n+1) \left[1 + \frac{4\beta L^2}{(2n+1)^2 \pi^2 \alpha} \right]} \cos \left[\frac{(2n+1)\pi x}{2L} \right]$$

Bu denklemin sağ tarafındaki ilk terim “yatışkın hal “ için olan çözümdür. (-x yönündeki farklılığı ve $(\beta/\alpha)^{0,5} = m$ olduğunu dikkate alınarak bu terimin bir önceki kısımda ”bir ucu yalıtılmış silindirik finden yatışkın halde ısı kaybını” incelerken elde edilen sıcaklık dağılımı ifadesi ile aynı olduğu görülür.

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
KM 380 Kimya Mühendisliği Laboratuvarı I

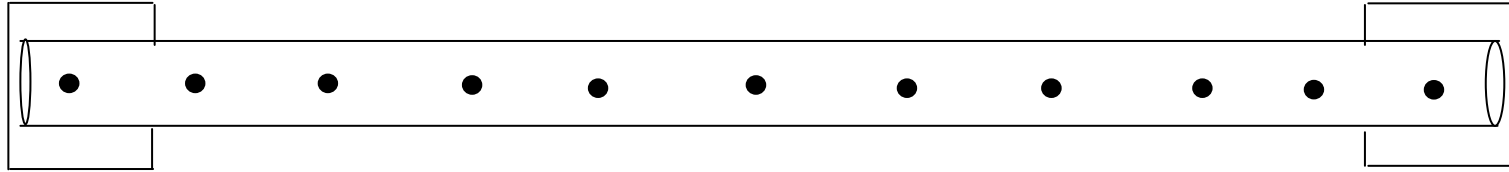
Program ve Çıktısı

```
-LIST
10 REM BU PROGRAM İKİ UÇU T0 SICAKLIĞINDA TUTULAN BİR CUBUK BOYUNCA SICAKLIK D
AGILIMINI HESAPLAMAKTADIR. SI BİRİM SİSTEMİ KULLANILMISTIR.
20 REM TINF=ORTAM SICAKLIĞI
30 REM TI=CUBUK İLK SICAKLIĞI (=TINF)
40 REM L=CUBUK BOYUNUN YARISI
50 REM X=CUBUK MERKEZİNDEN OLAN UZAKLIK, m
60 REM TSS=KARARLI HAL SICAKLIK DEĞERİ, °C
70 REM TUS=KARARSIZ HAL SICAKLIK DEĞERİ, °C
80 REM D,K,RO,CP:CUBUGUN ÇAPİ, ISI İLETKENLİĞİ, YÖĞUNLÜĞÜ, ISI KAPASİTESİ
90 REM H=CUBUK YÜZEYİ İLE ORTAM ARASINDAKİ ISI TRANSFER KATSAYISI
100 PI=22!/7!
110 READ D,K,RO,CP,H
120 DATA 0.042,120.,8522.,380.,8.
130 READ T0,TINF,L
140 DATA 150.,20.,0.39
150 NINT=10
160 FOR DAKIKA=10 TO 60 STEP 10
170 TIME=60!*DAKIKA
180 P=PI*D
190 A=PI*D^2!/4!
200 ALPHA=K/(RO*CP)
210 BETA=H*P/(RO*CP*A)
220 M=SQR(BETA/ALPHA)
230 DEF FNSINH(X)=(EXP(X)-EXP(-X))/2!
240 DEF FNCOSH(X)=(EXP(X)+EXP(-X))/2!
250 XINT=L/NINT
260 X=0
270 TETA0=T0-TINF
280 PRINT "ZAMAN=" DAKIKA "DAKİKA"
290 PRINT
300 PRINT "X","S-S TEMP","U-S TEMP"
310 PRINT
320 FOR J=0 TO (NINT-1)
330 MX=M*X
340 ML=M*L
350 TETA0=TETA0+FNCOSH(MX)/FNCOSH(PL)
360 SUM=0
370 FOR N=0 TO 10
380 NUM=(-1!)^N*EXP((-BETA*TIME)-(ALPHA*((2!*N)+1!)^2!*PI^2!*TIME/(4!*L^2!)))*CO
S(((2!*N)+1!)*PI*X/(2!*L))
390 DENUM=((2!*N)+1!)*(1!+(4!*BETA*L^2!/(((2!*N)+1!)^2!*PI^2!*ALPHA)))
400 SUM=SUM+NUM/DENUM
410 NEXT N
420 TETAUS=TETA0-(4!*TETA0/PI)*SUM
430 TSS=TETAUS+TINF
440 TUS=TETAUS+TINF
450 PRINT X,TSS,TUS
460 X=X+XINT
470 NEXT J
480 PRINT L,T0
490 PRINT
500 NEXT DAKİKA
510 END
C
```



KM 380 Kimya Mühendisliği Laboratuvarı I

VERİ TABLOSU

Ortam Sıcaklığı($T_{\text{ç}}$) :[illegible]