



ISI VE KÜTLE AKTARIMI

Dr. Hülya ÇAKMAK

Gıda Mühendisliği Bölümü

DERSTE YARARLANILABİLECEK KAYNAKLAR

- Transport Processes and Separation Process Principles, C.J. Geankoplis, 2003, 4. Basım (Orjinal)
- Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Incorpera ve DeWitt, 2000, 4. Basım (Türkçe çeviri).
- Isı Transferi, J.P. Holman, 2014, 10. Basım (Türkçe çeviri).
- Fluid Flow, Heat and Mass Transfer in Food Systems, Şahin, S., Şumnu, S.G., Hamamcı, H., İşçi, A., Şakıyan, Ö., 2016, 1. Basım, Nobel.

Momentum, Isı ve Kütle Aktarımı Arasındaki Benzerlikler

"TRANSPORT=AKTARIM" işlemleri

1. Momentum aktarımı;
2. Isı aktarımı;
3. Kütle aktarımı;

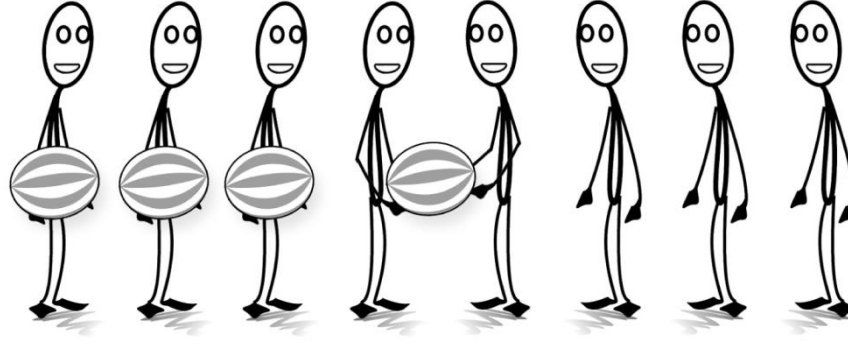
TANIMLAR

- ★ Isı enerjisi (J)
- ★ Isı transfer hızı (J/s ; W)
- ★ Isı kapasitesi (J/kgK)
- ★ Isı akısı (W/m²)
- ★ Hissedilir/Duyulur ısı (sensible heat) (J/kg)
- ★ Gizli/Latent ısı (latent heat of fusion, latent heat of vaporization) (J/kg)
- ★ Reaksiyon ısı (heat of formation, heat of combustion) (J/kgmol)

ISI AKTARIM MEKANİZMALARI

- Bir özelliği aktarmak (transport) için sürükleyici kuvvete (driving force) ihtiyaç vardır.
- Isı aktarımında sürükleyici kuvvet sıcaklık farkıdır (ΔT). Bir sistem içerisinde sıcaklık değişimi (gradyan) varsa, o sistemde yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru enerji aktarımı vardır.

ISI AKTARIM MEKANİZMALARI



İLETİM



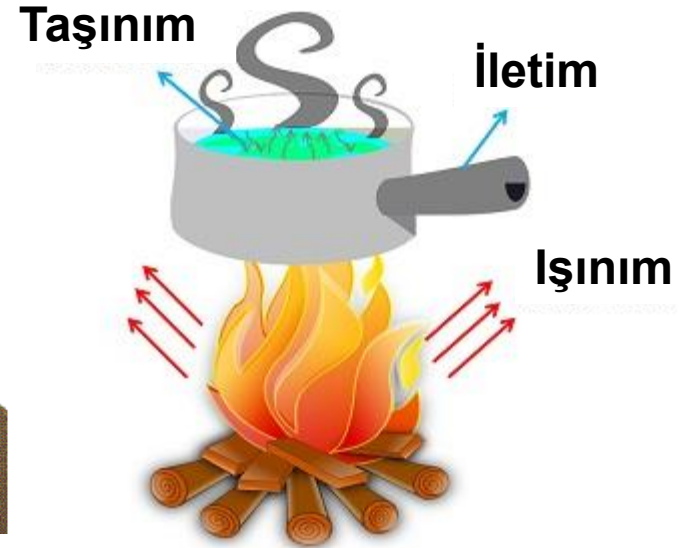
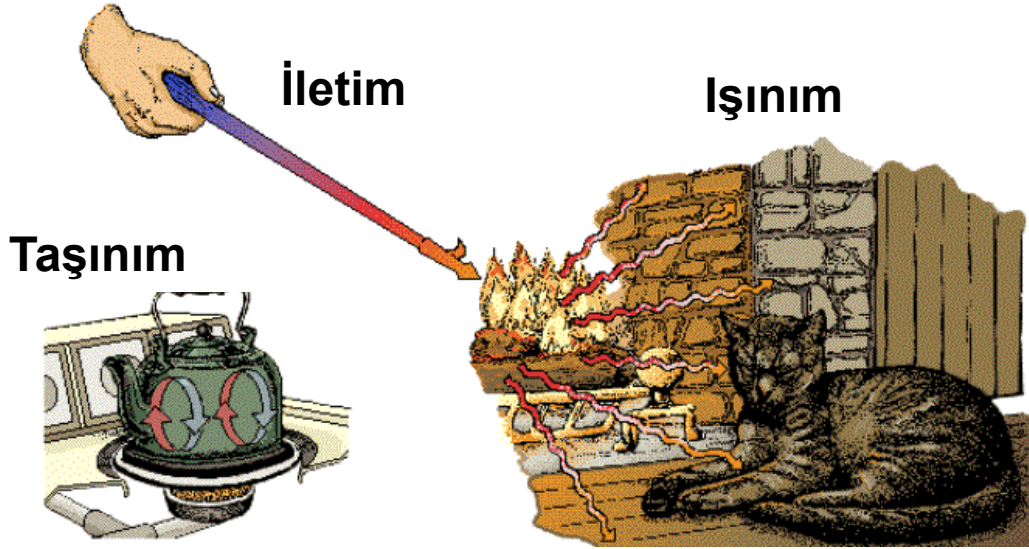
TAŞINIM



IŞINIM

ISI AKTARIM MEKANİZMALARI

- İletim (Fourier kanunu)
- Taşınım (Newton soğuma kanunu)
- Işınım (Stefan-Boltzman kanunu)



ISI AKTARIM MEKANİZMALARI

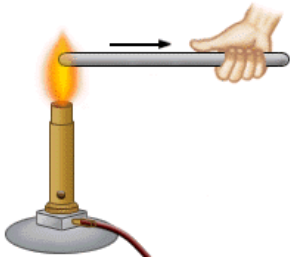
1.İletim: Isının bir cisim içerisindeki komşu moleküller aracılığıyla yüksek enerjili parçacıklardan düşük enerjili parçacıklara aktarılmasıdır. Bu ısı aktarımı türü, içerisinde sıcaklık dağılımı olan tüm katılarda, sıvılarda ve gazlarda gerçekleşir.

Fourier'in ısı iletim kanunu

Bir ısı aktarım prosesinin hızı = $\frac{\text{Sürüklenme kuvveti}}{\text{Direnç}}$

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\text{Isı transferine direnç} = \frac{\Delta x}{kA}$$



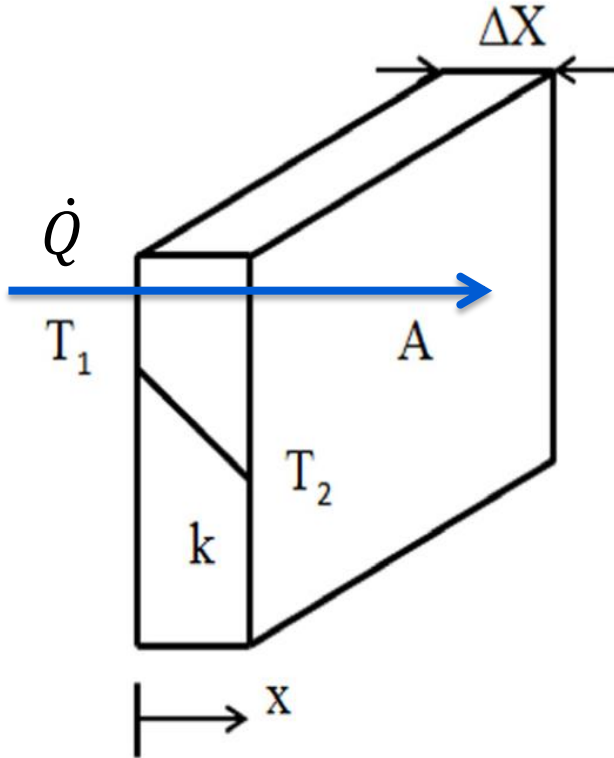
İLETİM

Fourier'in ısı iletim kanunu

Bir ısı aktarım prosesinin hızı = $\frac{\text{Sürüklenme kuvveti}}{\text{Direnç}}$

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

Isı transferine
direnç = $\frac{\Delta x}{kA}$



Isıl iletkenlik (thermal conductivity), k (W/mK)

Isıl iletkenlik katsayısı 'k' bir materyalin ısı iletebilme özelliği gösteren fiziksel bir özelliktir. Bu değer yüksekse madde iyi bir iletken, düşükse iyi bir yalıtıcıdır.

*Karakteristiktir.

*Maddenin bileşimine, sıcaklığa, fazına bağlı olarak değişir.

$$k_{\text{kati}} > k_{\text{sivi}} > k_{\text{gaz}}$$

Gıda bileşimine göre ısı iletkenlik katsayısı hesabı;

$$k_{\text{gıda}} = \sum (k_i X_i) \quad \text{Choi ve Okos denkliği (1986)}$$

(-40°C ≤ T ≤ 150°C) iken geçerli !!!

$$k_{\text{protein}} = 1.7881 \times 10^{-1} + 1.1958 \times 10^{-3} T - 2.7178 \times 10^{-6} T^2$$

$$k_{\text{yağ}} = 1.8071 \times 10^{-1} - 2.7604 \times 10^{-3} T - 1.7749 \times 10^{-7} T^2$$

$$k_{\text{karbonhidrat}} = 2.0141 \times 10^{-1} + 1.3874 \times 10^{-3} T - 4.3312 \times 10^{-6} T^2$$

$$k_{\text{kül}} = 3.2962 \times 10^{-1} + 1.4011 \times 10^{-3} T - 2.9069 \times 10^{-6} T^2$$

$$k_{\text{su}} = 5.7109 \times 10^{-1} + 1.7625 \times 10^{-3} T - 6.7036 \times 10^{-6} T^2$$

İLETİM

Fourier'in ısı iletim kanunu

$$\dot{Q} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Isı geçişi
sıcaklığın
azaldığı
yönde

A; ısı akışına dik olan alan (m²),
ΔT; sıcaklık farkı (K), Δx ise duvar
kalınlığını (m) gösterir.

Materyalin cinsi	k, W/mK
Altın	317
Alüminyum	237
Demir	90
Civa	8.54
Cam	0.78
Su	0.61
Ahşap	0.17
Plastik	0.13
Cam yünü	0.043
Hava	0.026

İLETİM

Örnek soru: Soğuk bir havada bir kulübede olduğumuzu düşünelim. Kulübenin hacmi 2mx2mx2m'dir. Kulübenin duvarları 2 cm kalınlığında tahtadan ($k=0.16\text{W/m.K}$) yapılmıştır. Duvarın iç sıcaklığı 18°C ve dış sıcaklığı 5°C olarak ölçülmüştür.

- Duvardan kaybedilen ısı aktarım hızını bulunuz.
- Kulübeden 10 saat boyunca ne kadar enerjinin kaybedildiğini bulunuz.

Çözüm:

- Kulübenin 4 tane 2 cm kalınlığında dikey duvarı var, her birinin yüzey alanı $2 \times 2 = 4 \text{ m}^2$

$$\dot{Q} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} = -0.16 \text{ W/mK} * 4 * 4 \text{ m}^2 * (18-5) / 0.02 \text{ m} = -1664 \text{ W}$$

- $Q = \dot{Q} * \Delta t = 1664 \text{ W} * 10 \text{ h} = 16.64 \text{ kWh}$

ISI AKTARIM MEKANİZMALARI

2.Taşınım: Bir gaz veya sıvının makroskobik boyutta sıcak kısımlarının soğuk kısımlarıyla karışarak ısının aktarılmasıdır. Ayrıca bir katı yüzeyi ile ona bitişik olarak hareket eden akışkanın farklı sıcaklıklarda olmasıyla da taşınım gerçekleşmektedir.

Özetle taşınım;

1. rastgele moleküler hareket,
2. akışkanın kitle halinde (makroskobik) hareketiyle gerçekleşir.

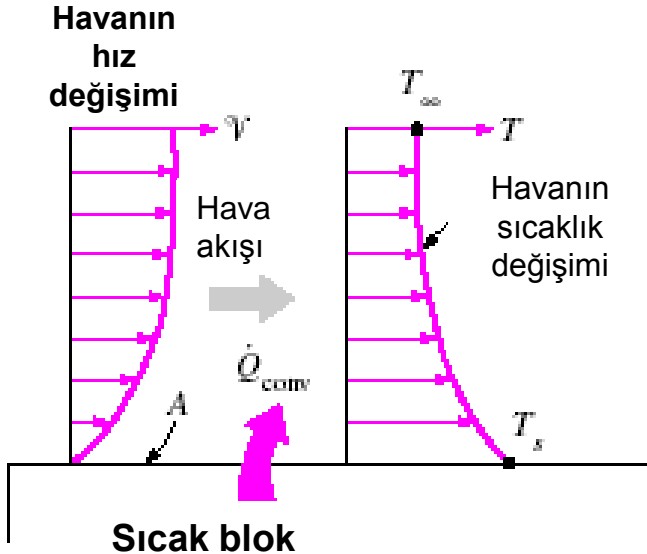
TAŞINIM

Bir katı yüzey ile tamamen hareketsiz bir akışkan arasındaki ısı aktarımı iletimdir. Ancak katı bir yüzeye akışkanın hareketiyle ısı aktarımı 'taşınım'dır!

Newton'un soğuma kanunu

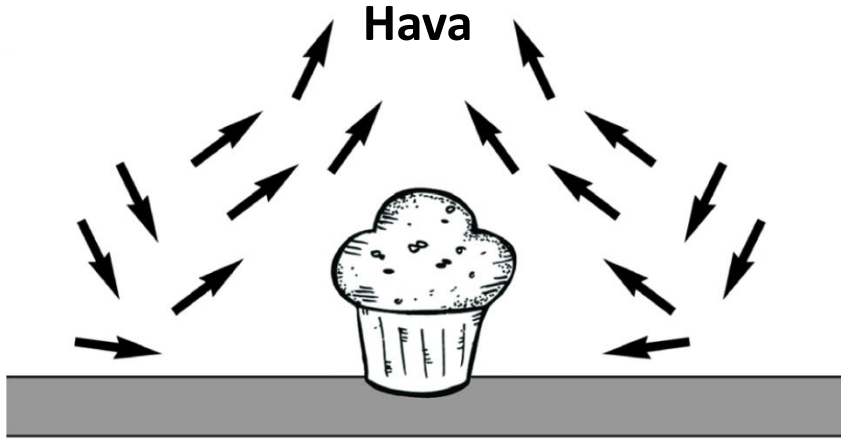
$$\dot{Q} = hA\Delta T$$

burada h konvektif ısı transfer katsayısını (W/m^2K) göstermektedir.

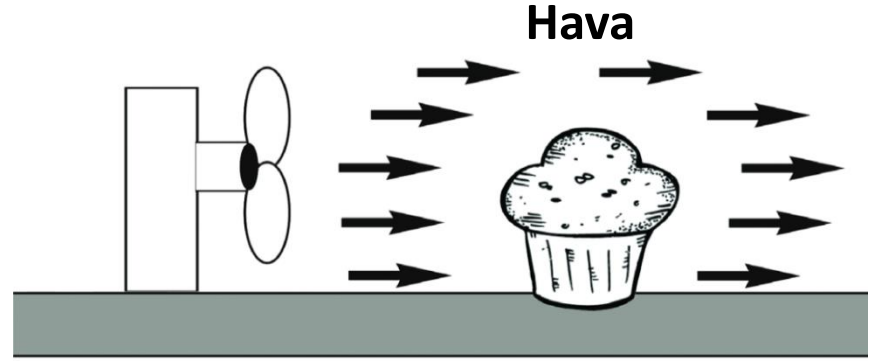


Akışkanın hareketi; doğal yollarla ya da pompa ve fan gibi mekanik cihazlar kullanılarak zorlamalı olarak gerçekleşir.

TAŞINIM



Doğal taşınım

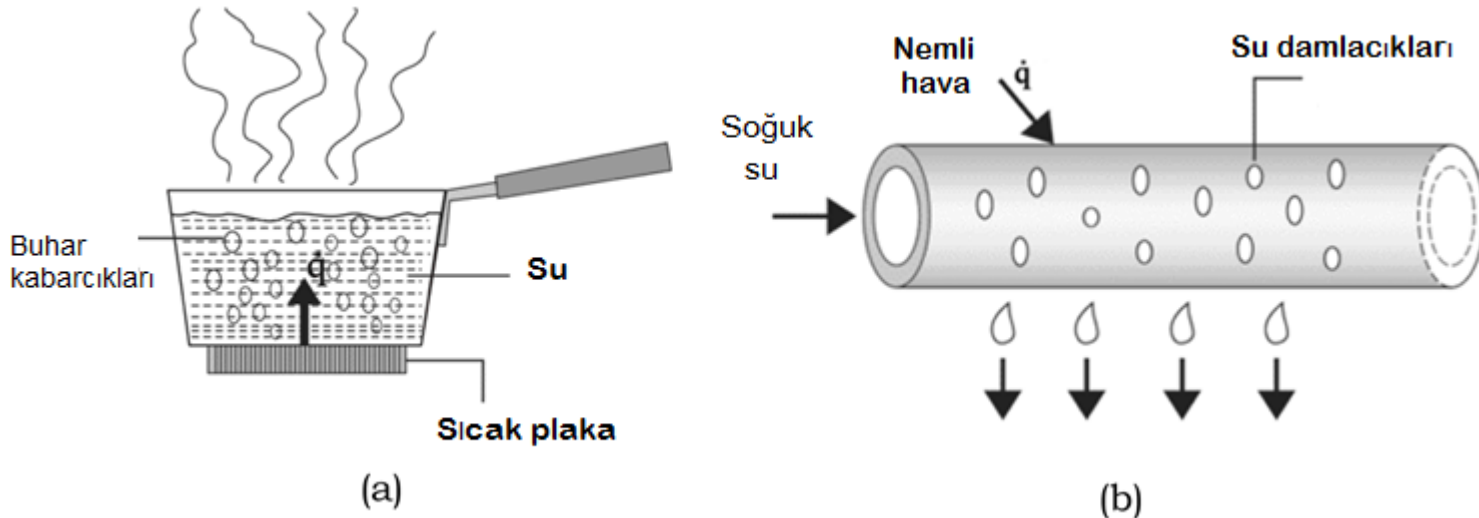


Zorlamalı taşınım

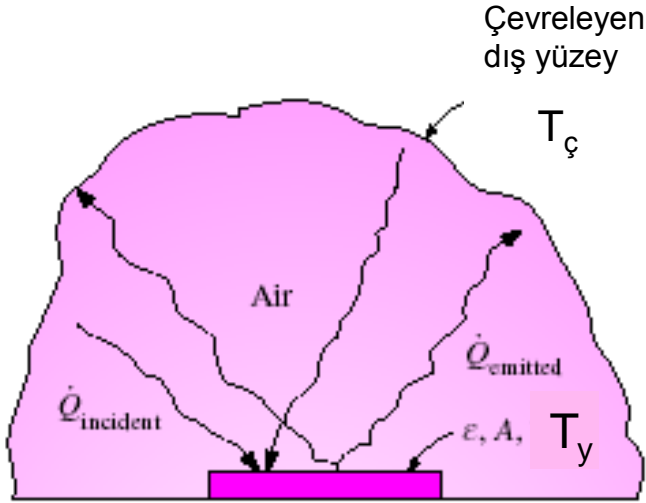
Doğal taşınımında, katı yüzeye komşu olan sıcak ya da soğuk akışkan akışkanın yoğunluğuna bağlı olarak hareket etmektedir. Örneğin sıcak fırından çıkartılan kek mutfak tezgahına koyulduğunda kek ile temas eden hava moleküllerinin sıcaklığı yükselir ve yoğunluğu düşen hava molekülleri yükselerek hareket eder. Zorlamalı taşınımında ise katı üzerindeki akışkan hareketi mekanik olarak sağlanır.

Faz Deęiřimiyle Isı Aktarımı

Faz deęiřimi sırasında olan latent (gizli) ısı deęiřiminden kaynaklanan ısı transferi de tařınım olarak dūřünülmelidir, çūnkū buhar kabarcıklarının yükselmesi veya yoęuřan sıvı damlacıklarının dūřmesiyle de akıřkan hareketi oluřmaktadır.



ISI AKTARIM MEKANİZMALARI



Stefan-Boltzman kanunu

$$\dot{Q}_{\text{ışınım}} = \epsilon \sigma A (T_y^4 - T_{\ç}^4) \quad (\text{W})$$

Sıcaklıklar KELVIN (K) alınır!

Stefan-Boltzman sabiti $\sigma=5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

3. Işınım; atom ve moleküllerin elektronik konfigürasyonunun değişimi sonucu enerjinin elektromanyetik dalgalar veya fotonlarla aktarımıdır.

Işınım için fiziksel bir ortam gerekmez, ışınım **vakum altında bile** gözlenebilir.

IŞINIM (RADYASYON)

Stefan-Boltzman kanunu

$$\dot{Q}_{ışınım} = \varepsilon \sigma A (T_y^4 - T_ç^4) \quad (W)$$

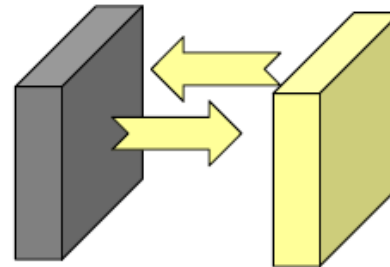
ε (emissivity) yayma oranıdır ve radyasyonu en iyi yayan ideal yüzeylere ($\varepsilon = 1$) siyah cisim (black body) adı verilir.

$$\dot{Q}_{ışınım,maks} = \sigma A (T_y^4 - T_ç^4)$$

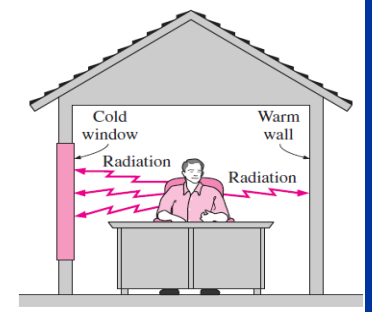
Yayma oranı $0 \leq \varepsilon \leq 1$ arasında değişir.

$T_ç$ yerine T_∞ ve T_y yerine T_s kullanımı da doğrudur!!!

Materyalin cinsi	ε
Alüminyum folyo	0.07
Parlatılmış çelik	0.17
Siyah boya	0.98
Beyaz boya	0.90
Beyaz kağıt	0.92-0.97
Kiremit	0.93-0.96
Cilt	0.95
Ahşap	0.82-0.92
Toprak	0.93-0.96
Su	0.96



IŞINIM (RADYASYON)



- Gıdanın konvansiyonel fırında pişirilmesi sırasında öncelikle fırın içerisindeki hava istenen sıcaklığa ısıtılmaktadır. Isınan hava gıda yüzeyine **taşınım**la aktarılmaktadır. Daha sonra yüzeyden gıdanın iç kısımlarına doğru **iletimle** ısı aktarımı olmaktadır. Ayrıca fırın iç yüzeyi ile gıda arasındaki sıcaklık farkından dolayı ısı **işinim** olduğu da ihmal edilmemelidir.
- Mikrodalga fırında ise elektromanyetik dalgalar gıda tarafından absorbe edilmektedir. Gıdanın iç kısımlarından dış kısımlarına doğru da **iletimle** ısı aktarımı olmaktadır. Fırın içindeki gıda ile etrafındaki hava arasındaki sıcaklık farkından dolayı ısının bir kısmı **taşınım ile kaybolabilir**. Ancak mikrodalgada magnetron tarafından yayılan radyasyon, sıcaklık farkından oluşmadığı için ısı **işinim olarak adlandırılmaz!**

IŞINIM (RADYASYON)

Örnek soru: Bir fırın duvarının kalınlığı 0.05 m ve ısı iletkenliği 0.5 W/mK olup bu fırın hava sıcaklığının 27°C olduğu geniş bir odada bulunmaktadır. Fırının dış yüzey sıcaklığı 127°C, yayılma oranı 0.8'dir ve fırının dış yüzeyi ile fırının bulunduğu ortamdaki hava arasındaki konvektif ısı transfer katsayısı 20 W/m²K olarak verildiyse kararlı hal koşulunda fırının iç yüzey sıcaklığı nedir?

Çözüm

Fırın duvarından taşınım ve ışınım ile kaybedilen ısı;

$$\dot{Q} = hA(T_s - T_\infty) + \varepsilon\sigma A(T_s^4 - T_\infty^4)$$

veya $\dot{q} = h(T_s - T_\infty) + \varepsilon\sigma(T_s^4 - T_\infty^4)$, $T_s=400$ K, $T_\infty=300$ K

$$\dot{q} = 20*(400-300)+(0.8)*(5.67*10^{-8})(400^4-300^4)=2793.8 \text{ W/m}^2$$

$$\dot{q} = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} = k \frac{T_i - T_o}{\Delta x} \rightarrow \frac{2793.8 * 0.05}{0.5(T_i - 400)} = 679.38 \text{ K}$$

Bu haftaki uygulama soruları

1. Aşağıdaki verileri kullanarak, $x=2$ 'den $x=6$ 'a kadar y 'nin aritmetik, geometrik ve grafiksel ortalama değerlerini bulunuz. (**Aritmetik ortalama = 0.29, Geometrik ortalama = 0.268, Grafiksel ortalama = 0.275**)

x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
y	1	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17	0.14	0.13	0.11	0.10

2. 10 kg şeker çözeltisi (%2), başka bir 2 kg şeker çözeltisi (%0.5) ile karıştırılmaktadır. Karışımın son konsantrasyonunu kütle denkliği kurarak ve kaldıraç prensibini uygulayarak bulunuz. (**%1.75**)

3. 10 kg %1 tuz konsantrasyonuna sahip bir çözeltiden su buharlaşmış ve çözeltinin ağırlığı 8 kg'a düşmüştür. Çözeltinin son konsantrasyonunu kütle denkliği kurarak ve kaldıraç prensibini uygulayarak bulunuz. (**%1.25**)

2. Bileşimi kütleli fraksiyon cinsinden %79.4 su, %2 protein, %0.1 yağ, %17.6 karbonhidrat, %0.9 kül olan bir gıda maddesinin 20°C'deki ortalama ısıl iletkenlik değerlerini (W/mK) hesaplayınız. (**0.4479 W/mK**)

$$k_{protein} = 1.7881 \times 10^{-1} + 1.1958 \times 10^{-3}T - 2.7178 \times 10^{-6}T^2$$

$$k_{yağ} = 1.8071 \times 10^{-1} - 2.7604 \times 10^{-3}T - 1.7749 \times 10^{-7}T^2$$

$$k_{karbonhidrat} = 2.0141 \times 10^{-1} + 1.3874 \times 10^{-3}T - 4.3312 \times 10^{-6}T^2$$

$$k_{kül} = 3.2962 \times 10^{-1} + 1.4011 \times 10^{-3}T - 2.9069 \times 10^{-6}T^2$$

$$k_{su} = 5.7109 \times 10^{-1} + 1.7625 \times 10^{-3}T - 6.7036 \times 10^{-6}T^2$$