

Taşınımınla Kütle Transferi

Taşınımınla kütle transferi hareketli bir akışkan ile bir yüzey arasında, hem kütle yayılımı hem de yığın akışkan hareketi içeren bir kütle transfer mekanizmasıdır. Akışkan hareketi, yüzey yakınındaki yüksek derişimli akışkanı uzaklaştırıp yerine daha uzaktaki düşük derişimli akışkanı getirerek kütle transferini de önemli ölçüde iyileştirir. Konvektif kütle transferi sıvılar ve gazlar ile poroz yapıdaki (gözenekli) katılarda meydana gelmektedir. Konvektif kütle transferi için aşağıdaki eşitlik verilmektedir.

$$\dot{m}_A = k_m \cdot A \cdot (C_{A_s} - C_{A_\infty})$$

Burada \dot{m}_A : A bileşeninin kütle akışı (kg/s), k_m : konvektif kütle transfer katsayısı (m/s), A : alan (m^2), C_{A_s} : A bileşeninin doyunluk şartlarındaki konsantrasyonu (kg/m^3) ve C_{A_∞} : A bileşeninin başlangıçtaki konsantrasyonu (kg/m^3) olarak tanımlanmaktadır.

Konvektif kütle transfer katsayısı (k_m), birim konsantrasyon farkı başına birim alandaki kütle transferinin hızı olarak tanımlanmaktadır. k_m konvektif ısı transfer katsayısına benzer şekilde bazı boyutsuz sayılar ve korelasyonlar kullanılarak belirlenebilmektedir. Bu boyutsuz sayılar ve korelasyonlar aşağıda verilmiştir.

Boyutsuz sayılar:

$$\text{Sherwood Sayısı} \Rightarrow N_{Sh} = \frac{k_m d}{D_{AB}}$$

$$\text{Schmidt Sayısı} \Rightarrow N_{Sc} = \frac{\mu}{\rho D_{AB}}$$

$$\text{Reynolds Sayısı} \Rightarrow N_{Re} = \frac{\rho \bar{U} d}{\mu}$$

Korelasyonlar:

✓ Düz bir plaka üzerinde laminar akış ($N_{Re} < 5 \times 10^5$):

$$N_{Sh} = 0,664(N_{Re})^{1/2}(N_{Sc})^{1/3} \Leftarrow N_{Sc} \geq 0,6 \text{ ve } d = \text{uzunluk}, L$$

✓ Düz bir plaka üzerinde türbilanslı akış ($N_{Re} > 5 \times 10^5$):

$$N_{Sh} = 0,036(N_{Re})^{0,8}(N_{Sc})^{0,33} \Leftarrow N_{Sc} \geq 0,6 \text{ ve } d = \text{uzunluk}, L$$

✓ Bir boruda laminar akış ($N_{Re} < 10000$):

$$N_{Sh} = 1,86 \left[\frac{N_{Re} N_{Sc}}{L/d} \right]^{1/3} (N_{Sc})^{0,33} \Leftarrow d = \text{boru çapı}$$

✓ Bir boruda türbilanslı akış ($N_{Re} > 10000$):

$$N_{Sh} = 0,023(N_{Re})^{0,8}(N_{Sc})^{1/3} \Leftarrow d = \text{boru çapı}$$

✓ Küresel objeler üzerinden akış:

$$N_{Sh} = 2 + 0,6(N_{Re})^{1/2}(N_{Sc})^{1/3}$$

Örnek: İçi su dolu bir tepside evapore olan suyun hızını bulunuz. Hava tepsi üzerinden 2 m/s ile akmaktadır. Havanın ve suyun sıcaklıkları 25°C 'dir. Tepsinin genişliği 45cm ve hava akış yönündeki uzunluğu 20cm 'dir. Su buharının havadaki difüzyon katsayısı $0,26 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ve havanın bağıl nemi $\%50$ 'dir. Doygunluk şartlarında havadaki su buharının konsantrasyonu $0,02298 \text{ kg/m}^3$ olarak alınacaktır.

Havanın 25°C 'deki özellikleri: $\rho = 1,1455 \text{ kg/m}^3$ ve $\mu = 18,461 \times 10^{-6} \text{ kg/ms}$ (Tablo).

$$N_{Re} = \frac{\rho \bar{U} d}{\mu} = \frac{(1,1455 \text{ kg/m}^3)(2 \text{ m/s})(0,2\text{m})}{(18,461 \times 10^{-6} \text{ kg/ms})} \cong 24820$$

$$N_{Re} < 5 \times 10^5 \Rightarrow \text{Akış Laminar}$$

$$N_{Sc} = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} = \frac{(18,461 \times 10^{-6} \text{ kg/ms})}{(1,1455 \text{ kg/m}^3)(0,26 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s})} \cong 0,62$$

$$N_{Sc} \geq 0,6$$

$$N_{Sh} = 0,664(N_{Re})^{1/2}(N_{Sc})^{1/3} = 0,664(24820)^{1/2}(0,62)^{1/3} \cong 89,2$$

$$N_{Sh} = \frac{k_m d}{D_{AB}} \Rightarrow 89,2 = \frac{k_m(0,2\text{m})}{(0,26 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s})} \Rightarrow k_m = 1,16 \times 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$\dot{m}_A = k_m \cdot A \cdot (C_{A_s} - C_{A_\infty})$$

$$\text{Havanın bağıl nemi } \%50 \Rightarrow C_{A_\infty} = (0,5)(0,02298) = 0,1149 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}_A = (1,16 \times 10^{-2} \text{ m/s}) \cdot (0,45\text{m} \times 0,20\text{m}) \cdot (0,02298 - 0,1149) \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}_A = 1,2 \times 10^{-5} \text{ kg/s} = 0,043 \text{ kg/h}$$

Örnek: 0,3175cm çapındaki küresel glikoz, 0,15 m/s akış hızındaki bir su akımına yerleştirilmiştir. Suyun sıcaklığı 25°C'dir. Glikozun sudaki difüzivitesi $0,69 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ olduğuna göre kütle transfer katsayısını belirleyiniz.

Suyun 25°C'deki özellikleri: $\rho = 997,1 \text{ kg/m}^3$ ve $\mu = 880,637 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (Tablo).

$$N_{Re} = \frac{\rho \bar{U} d}{\mu} = \frac{(997,1 \text{ kg/m}^3)(0,15 \text{ m/s})(0,003175 \text{ m})}{(880,637 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s})} \cong 539$$

$$N_{Sc} = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} = \frac{(880,637 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s})(10000 \text{ cm}^2/\text{m}^2)}{(997,1 \text{ kg/m}^3)(0,69 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s})} \cong 1279$$

$$N_{Sh} = 2 + 0,6(N_{Re})^{1/2}(N_{Sc})^{1/3} = 2 + 0,6(539)^{1/2}(1279)^{1/3} = 153$$

$$N_{Sh} = \frac{k_m d}{D_{AB}} \Rightarrow 153 = \frac{k_m(0,003175 \text{ m})(10000 \text{ cm}^2/\text{m}^2)}{(0,69 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s})}$$

$$\Rightarrow k_m = 3,32 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$