

KÜTLE TRANSFERİ

Kütle transferi ile yığın halindeki bir akışkan hareketi birbirinden farklı olaylardır. Kütle transferi bir akışkanın herhangi bir bileşeninin transferi ile sınırlıdır. Konsantrasyon farkı nedeniyle sistemin fiziksel dengesindeki değişimler sonucu kütle transferi meydana gelmektedir. Böyle bir aktarım tek bir fazın içinde veya bir fazdan diğerine doğru gerçekleşebilir. Kütle transferinde bileşenlerin yüksek derişimli bölgeden düşük derişimli bölgeye hareketi söz konusudur ve bu durumun meydana gelmesinde başlıca itici güç konsantrasyon farkıdır.

Örneğin durgun haldeki bir su havuzuna bir mürekkep damlası damlatıldığında, mürekkebin ilk damlatıldığı bölgeden farklı yönlere doğru su içerisinde dağılmaya başladığı görülecektir. Başlangıçta damladaki mürekkep konsantrasyonu oldukça yüksek, sudaki mürekkep konsantrasyonu ise sıfırdır ve böylece bir konsantrasyon gradienti söz konusudur. Mürekkebin dağılması devam ettikçe konsantrasyon gradienti azalacaktır. Mürekkep suda tamamen dağıldığında ise konsantrasyon gradienti sıfırlanacak ve kütle transferi olayı son bulacaktır.

Benzer şekilde, uçucu bir bileşen içeren bir çözeltinin bulunduğu bir şişenin kapağı açıldığında, uçucu bileşenin şişenin bulunduğu ortamın farklı bölgelerine doğru yayıldığı gözlenecektir. Bu durum yine uçucu bileşenin konsantrasyon farkından kaynaklanır. Şayet ortamın havası durgunsa kütle transferi moleküllerin rastgele hareketi sonucu gerçekleşecektir. Şayet bir fan veya benzeri bir ekipman kullanılıyorsa, oluşan hava akımı moleküllerin daha uzak bölgelere doğru aktarımını artıracaktır.

İletimle (Yayınım) Kütle Transferi

Isının iletim, taşınım ve ışınım yoluyla transfer olduğu hatırlanacaktır. Halbuki kütle, sadece iletim (yayınım) ve taşınım yoluyla transfer olmaktadır. Bir difüzyon prosesi matematiksel olarak Fick difüzyon yasası kullanılarak tanımlanabilmektedir. Bu yasaya göre bir bileşenin birim alan başına kütle akışı, onun konsantrasyon gradienti ile orantılıdır. Böylece bir B bileşeni için aşağıdaki eşitlik yazılabilecektir.

$$\frac{\dot{m}_B}{A} = -D \frac{\delta C}{\delta x} \quad (\text{Fick yasası})$$

Burada \dot{m}_B : B bileşeninin kütle akışı (kg/s), C : B bileşeninin konsantrasyonu (kg/m^3), D : kütle difüzyon katsayısı (m^2/s), A : alan (m^2) ve x : uzunluk (m) olarak tanımlanmaktadır. Fick

yasasının kondüksiyonla ısı transferini tanımlayan Fourier yasasıyla $\left(\frac{\dot{q}}{A} = -k \frac{\delta T}{\delta x}\right)$ benzeştiği görülmektedir.

Sıvı ve gazların katılardaki kütleli difüzyon hızları, gazların sıvılardaki kütleli difüzyon hızlarından daha düşüktür. Bu farklılıklar moleküllerin hareketliliğinden dolayıdır. Kütleli difüzyon hızı katılarda $10^{-10} - 10^{-20} m^2/s$ arasında, sıvılarda $10^{-9} - 10^{-10} m^2/s$ arasında ve gazlarda $10^{-5} - 10^{-6} m^2/s$ arasında değişmektedir. Kütleli difüzyon hızının büyüklüğü sıcaklık ve konsantrasyonun bir fonksiyonudur, gazlar için kütleli difüzyon hızı basınçtan etkilenmektedir.

Başlangıçta bir ara bölme ile birbirinden ayrı bulunan bir tank içerisindeki B ve E gazlarını dikkate alalım. Aradaki bölme kaldırılırsa B ve E azlarının konsantrasyon gradientinden dolayı zıt yönlerde difüze oldukları görülecektir. Konsantrasyonlar birim hacim başına molekül sayısı olarak tanımlanır ve burada B gazının başlangıç konsantrasyonu daha yüksek olarak dikkate alınır, B moleküllerinin E gazının bulunduğu tarafa doğru geçişi daha yüksek olacaktır. İdeal gaz yasası kullanılarak aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$P_B = \rho_B \cdot R_B \cdot T$$

Burada P_B : B gazının kısmi basıncı (Pa), ρ_B : B gazının kütleli konsantrasyonu (kg/m^3), R_B : B gazı için gaz sabiti ($m^3 \cdot Pa/kgmol \cdot K$), T : ortam sıcaklığı (K) olarak verilmiştir. B gazı için gaz sabiti olan R_B üniversal gaz sabiti olan R_u ile yer değiştirilirse aşağıdaki eşitlik yazılabilecektir.

$$R_B = \frac{R_u}{M_B} \Rightarrow \rho_B = \frac{P_B M_B}{R_u T}$$

Burada R_u : üniversal gaz sabiti ($8314,41 m^3 \cdot Pa/kgmol \cdot K$) ve M_B : B gazının molekül ağırlığı ($kgmol$) olarak tanımlanır. Burada ρ_B 'nin kütleli konsantrasyon (kg/m^3) olduğu dikkate alınarak $\frac{\dot{m}_B}{A} = -D \frac{\delta C}{\delta x}$ ve $\rho_B = \frac{P_B M_B}{R_u T}$ denklemleri birlikte yazılırsa aşağıdaki eşitlik elde edilecektir.

$$\frac{\dot{m}_B}{A} = -\frac{D_{BE} M_B}{R_u T} \cdot \frac{dP_B}{dx}$$

Yukarıdaki eşitlik B gazının E gazı içindeki difüzyonunu tanımlar. Benzer şekilde E gazının B gazı içindeki difüzyonu ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{\dot{m}_E}{A} = -\frac{D_{EB} M_E}{R_u T} \cdot \frac{dP_E}{dx}$$

Diğer yandan bir B katısı boyunca bir A gazı veya bir A sıvısının iletimle (yayınımla) kütle transferi için, D_{AB} : A gazı veya A sıvısının B katısındaki kütleli difüzyon katsayısı olmak üzere, aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$\frac{\dot{m}_A}{A} = -D_{AB} \frac{dC_A}{dx}$$

$$\frac{\dot{m}_A}{A} \int_{x_1}^{x_2} dx = -D_{AB} \int_{C_{A_1}}^{C_{A_2}} dC_A$$

$$\frac{\dot{m}_A}{A} = -D_{AB} \frac{(C_{A_2} - C_{A_1})}{(x_2 - x_1)}$$

Elde edilen son eşitlik, konsantrasyon gradienti $(C_{A_2} - C_{A_1})$ olduğunda ve x_2 ile x_1 konumlarında zamana göre sabit olduğunda, tek boyutlu difüzyon için dikdörtgen koordinatlarında geçerlidir. Silindirik bir şekil için ise radyal koordinatlar kullanılır ve aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\dot{m}_A = -2\pi L D_{AB} \frac{(C_{A_2} - C_{A_1})}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

Bu eşitlik, difüzyon prosesi bir silindirin radyal yönünde meydana geldiğinde kullanılır. Burada yüzey ile merkezdeki konsantrasyonların zamanla sabit olduğu kabul edilmektedir.