

KURUTMADA KÜTLE TRANSFERİNİN ISI TRANSFERİNİ ETKİLEMESİ

Eyüp AKARYILDIZ

Yaş bir malzemenin sıcak hava ile kurutulmasında havadan malzemeye ısı enerjisi, karşıt yönde malzemenin havaya su buharı transfer olmaktadır. Bu iki transfer olayı birbiriyle bağıntılı olduğundan Kütle ve Isı Transferlerinin birbirlerini etkilemeleri söz konusudur.

Buğulaşmayla kurutma prosesi esnasında, kurutucu hava sıcaklığı T_h , kurutulan malzemenin yüzey sıcaklığı T_o 'dan büyük olduğundan, T_o sıcaklığında buharlaşarak, termik sınır tabakadan transfer olan su buharı havadan Q_b ısısını alarak, sıcaklığı havanın T_h sıcaklığına yaklaşacaktır. (Şekil 1)

Termik sınır tabakası içindeki enerji korunumu

Termik sınır tabakası içindeki enerji korunumu

$$Q = Q_a + Q_b \quad (1)$$

şeklinde yazabiliriz. Burada, toplam enerji akısı

$$Q = \alpha \cdot A \cdot (T_h - T_o) \quad (2)$$

kondüksiyonla transfer olan ısı miktarı

$$Q_x = -\lambda \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad (3)$$

su buharının aldığı ısı miktarı

$$Q_b = \dot{m}_b \cdot C_{pb} \cdot (T - T_o) \quad (4)$$

dır.

Bu tanımlar enerji denkleminde yerlerine yazılırsa,

$$Q = -\lambda \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + \dot{m}_b \cdot C_{pb} \cdot (T - T_o) \quad (5)$$

ifadesi bulunur.

Sürekli rejim halinde sınır tabaka içindeki toplam enerji acısının sabit kalacağı gözönüne alınarak korunum denkleminin diferansiyeli alınırsa,

$$\frac{dQ}{dx} = Q = -\lambda \cdot A \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \dot{m}_b \cdot C_{pb} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad (6)$$

elde edilir. Bu diferansiyel denklem,

$$\begin{aligned} x=0 & \rightarrow T=T_o \\ x=S_1 & \rightarrow T=T_h \end{aligned}$$

sınır koşullarına göre çözümlerse, sınır tabaka içerisindeki sıcaklık dağılım denklemi elde edilir:

$$\frac{T-T_0}{T_1-T_0} = \frac{\exp\left(\dot{m}_b=C_{pb} \frac{x}{\lambda \cdot A}\right) - 1}{\exp\left(\dot{m}_b=C_{pb} \frac{S_1}{\lambda \cdot A}\right) - 1} \quad (7)$$

Yüzey üzerindeki ısı akışı için yüzey üzerindeki buharın da T_0 sıcaklığında olduğu gözönüne alınarak,

$$Q = -\lambda A \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha^* \cdot A (T_1 - T_0) \quad (8)$$

ifadesi yazılabilir. Buradaki konveksiyon ısı transfer katsayısı α birim yüzeyden, hava ile yüzey arasındaki birim sıcaklık farkında, birim zamanda yüzeye transfer olan gerçek ısı miktarıdır. Denklem 7 'deki sıcaklığın $x=0$ 'daki gradyenin değeri

Denklem 7 'deki sıcaklığın $x=0$ 'daki gradyenin değeri,

$$\frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\dot{m}_b=C_{pb}}{\lambda \cdot A} \frac{\frac{\lambda \cdot A}{\dot{m}_b=C_{pb}}}{\exp\left(\frac{\dot{m}_b=C_{pb}}{\lambda \cdot A} \cdot S_1\right) - 1} \quad (9)$$

ifadesi bulunur. Bu ifade denklem 8'de yerine yazılarak,

$$\alpha^* = \frac{\frac{\dot{m}_b=C_{pb}}{\lambda \cdot A}}{\exp\left(\frac{\dot{m}_b=C_{pb}}{\lambda \cdot A} \cdot S_1\right) - 1} \quad (10)$$

eşitliği elde edilir. Sınır tabakada hava ile yüzey arasındaki birim sıcaklık farkında birim zamanda birim yüzey başına havanın verdiği ısı miktarı α için,

$$\alpha = \frac{\lambda}{S_i} \quad (11)$$

olduğu düşünülürse, (10) ifadesi

$$\frac{\alpha^*}{\alpha} = \frac{\frac{\dot{m}_b \cdot C_{pb}}{\alpha \cdot A}}{\exp\left(\frac{\dot{m}_b \cdot C_{pb}}{\alpha \cdot A}\right) - 1} \quad (12)$$

şeklini alır.

Kütle akısı için Stefan'ın buhar difüzyon kanunu

$$\dot{m}_b = A \cdot \frac{\beta}{R_b \cdot T} \cdot P \cdot \ln \frac{P - P_{b0}}{P - P_{bh}} \quad (13)$$

Isı transferi katsayısının kütle transfer katsayısına oranı için ise,

$$\frac{\alpha}{\beta} = \rho \cdot \bar{C}_p \left(\frac{a}{D}\right)^{2/3} \quad (14)$$

bağıntıları (1) ile sınır tabakadaki ortalama moleküler kütle için \bar{M} ve ortalama özgül ısı için \bar{C}_p tanımları kullanılarak, boyutsuz kütle akısı için aşağıdaki bağıntı bulunur.

$$\frac{\dot{m}_b \cdot C_{pb}}{\alpha \cdot A} = \left(\frac{a}{D}\right)^{2/3} \cdot \frac{C_{pb}}{\bar{C}_p \cdot \rho} \cdot \frac{P}{R_b \cdot T} \cdot \ln \frac{P - P_{bh}}{P - P_{b0}} \quad (15)$$

Burada,

$$\frac{P - P_{bh}}{P - P_{b0}} = 1 + \frac{P_{bh} - P_{b0}}{P - P_{b0}} \quad (16)$$

$$\frac{P_{bh} - P_{b0}}{P - P_{b0}} = B \quad (17)$$

$$\frac{C_{pb}}{\bar{C}_p} \cdot \frac{M_b}{\bar{M}} \cdot \left(\frac{a}{D}\right)^{2/3} = \xi \quad (18)$$

tanımları yapılırsa, Denklem (12) aşağıdaki şekli alır:

$$\frac{\alpha^*}{\alpha} = \frac{\ln(B+1)^{\xi}}{(B+1)^{\alpha-1}} \quad (19)$$

Bu bağıntı irdelenirse kurutma hızının artmasıyla düzeltilmiş konveksiyon ısı transfer katsayısı α^* 'nın değerinin azaldığı görülür. Yani kütle transfer hızının artması malzemeye olan ısı transferinin azalmasına neden olmaktadır.

SEMBOLLER

a	: Isıl difüzyivite (m^2/s)
A	: Yüzey (m^2)
C_p	: Havanın sabit basınçtaki özgül ısısı ($J/kg^{\circ}K$)
C_{ps}	: Buharın sabit basınçtaki özgül ısısı ($J/kg^{\circ}K$)
D_{ms}	: Difüzyon katsayısı (m^2/s)
\dot{m}_b	: Kütle akışı (kg/s)
\bar{M}	: Sınır tabakadaki ortalama moleküler kütle ($kg/kmol$)
M_b	: Buharın moleküler kütlesi ($kg/kmol$)
P	: Basınç (N/m^2)
P_{bs}	: Yüzeydeki buhar basıncı (N/m^2)
P_{bs}	: Havadaki buhar basıncı (N/m^2)
Q	: Birim zamandaki transfer olan ısı miktarı (J/s)
R_s	: Buharın ideal gaz sabiti ($J/kg^{\circ}K$)
T	: Sıcaklık ($^{\circ}K$)
α	: Konveksiyon ısı transfer katsayısı ($w/m^2^{\circ}K$)
α^*	: Düzeltilmiş konveksiyon ısı transfer katsayısı ($w/m^2^{\circ}K$)
β	: Kütle transfer katsayısı ($m^3/m^2.s$)
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)
λ	: Kondüksiyon ısı transfer katsayısı ($w/m^{\circ}K$)

KAYNAKÇA

(1) KRİSCHER O. Die Wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik, Berlin, Göttingen/Heidelberg 1963