المحاضرة السادسة – انتقال الكتلة

يُعرّف انتقال الكتلة بأنه حركة المواد من منطقة ذات تركيز أعلى إلى منطقة ذات تركيز أقل ويتم ذلك عبر عمليات مختلفة تتضمن نقل الرطوبة أو الحرارة أو المواد الصلبة أوالغازات هذه العمليات ضرورية لتحقيق التوازن المطلوب في تصنيع الأغذية وتحسين جودتها فهي تلعب دورًا هامًا في العمليات مثل التجفيف والتجميد والتبخير والتخمير وامتصاص النكهات وغيرها من العمليات التي تؤثر على الجودة والسلامة الغذائية.

آليات انتقال الكتلة

هناك ثلاث آليات أساسية لانتقال الكتلة في معامل الأغذية:

1. **الانتشار (Diffusion)**

يعتمد الانتشار على حركة الجزيئات من منطقة ذات تركيز عالي إلى منطقة بتركيز منخفض بسبب الفرق بين التركيزين **ويعتبر عنه بقانون فيك الأول للانتشار** والذي يصف هذه الظاهرة على مبدأ انتشار المواد عند غشاء نافذ اذ يحسب تدفق الكتلة الجزيئي عبر الغشاء كما يلي :

$$J = -D\frac{\Delta C}{\Delta X}$$

حيث : J التدفق الجزيئي ، D معامل الانتشار ، ΔC فرق التركيز ، ΔX المسافة

مثال / إذا كان لديك منتج غذائي يحتوي على نسبة رطوبة عالية ويراد تجفيفه ، حيث كان معامل الانتشار للرطوبة هو ($D = 2\times10^{-9}\ m^2/s$) وفرق التركيز ($\Delta C = 0.02\ kg/m^3$) والمسافة ($\Delta x = 0.01\ m$) ، احسب التدفق الجزيئي ؟

الجواب /

$$J = -(2\times10^{-9})\ \frac{0.02}{0.01}$$

$$J = -4\times10^{-9}\ kg/m^2.s$$

2. **الحمل (Convection)**

انتقال الكتلة عن طريق الحمل يحدث عندما يحمل وسط متحرك (مثل الهواء أو السائل) الجزيئات من منطقة إلى أخرى ، اذ يكون تدفق المواد الناتج عن الحمل نتيجة لحركة الوسط المحيط ، ويُعبّر عنه بالعلاقة :

$$J = h_m\ .\ (C_s - C_\infty)$$

حيث :

J التدفق الجزيئي ، h_m معامل انتقال الكتلة

C_s التركيز عند السطح ، C_∞ التركيز في الوسط المحيط

مثال / لدينا سطح منتج غذائي يتم تجفيفه في تيار هوائي تركيز الرطوبة عند سطح المنتج ($C_s = 0.015\ kg/m^3$) بينما تركيز الرطوبة في الهواء المحيط ($C_\infty = 0.005\ kg/m^3$) وكان معامل انتقال الكتلة ($h_m = 0.01\ m/s$) احسب معدل انتقال الكتلة (التدفق الجزيئي) للرطوبة من سطح المنتج إلى الهواء المحيط ؟

الجواب /

$$J = h_m . (C_s - C_\infty)$$

$$J = 0.01 \times (0.015 - 0.005)$$

$$J = 0.0001\ kg/m^2.s$$

3. **الانتشار المزدوج (Coupled Diffusion)**

يحدث الانتشار المزدوج في بعض العمليات مثل التجفيف ، حيث يتم نقل كل من الكتلة والحرارة في الوقت نفسه ، مما يتطلب نماذج معقدة لتحليلها .

تطبيقات انتقال الكتلة

1. التجفيف : عملية أساسية في صناعة الأغذية تهدف إلى إزالة الماء من المنتج لمنع نمو الكائنات الحية الدقيقة وزيادة فترة الصلاحية ، يعتمد التجفيف على عملية انتقال الكتلة حيث يتم إزالة بخار الماء من سطح المنتج ، ثم يتم نقله من الداخل إلى السطح بواسطة الانتشار ، هناك عدة طرق للتجفيف منها الشمسي او المجففات الصناعية الدوارة او بالرذاذ .

مثال / إذا كانت كتلة الماء على سطح منتج غذائي هي ($C_s = 0.01\ kg/m^3$) بينما تركيز الرطوبة في الهواء المحيط ($C_\infty = 0.002\ kg/m^3$) ومعامل انتقال الكتلة ($h_m = 5 \times 10^{-3}\ m/s$) احسب التدفق الجزيئي ؟

الجواب /

$$J = 5 \times 10^{-3} \times (0.01 - 0.002)$$

$$J = 4 \times 10^{-5}\ kg/m^2.s$$

2. التبخير : هو عملية تركيز السوائل الغذائية عبر إزالة جزء من الماء يتم الاعتماد على اختلاف ضغط البخار لنقل الماء من المادة الغذائية إلى البخار ويتم ذلك عبر التسخين.

3. الامتزاز : ان عملية الامتزاز مهمة لنقل النكهات إلى المنتجات مثل نقل نكهة الأعشاب إلى الأجبان يعتمد الانتقال على مدى الامتصاص والتفاعل بين النكهة وسطح المنتج.

4. التجميد : هو عملية تتضمن انتقال الحرارة لكنه يعتمد على انتقال الكتلة أيضًا اذ يتم تجميد الماء الموجود بالأغذية فيؤدي التجميد السريع لتكوين بلورات ثلجية صغيرة ويحافظ على نسيج الغذاء.

5. التخمير : هو عملية بيولوجية تتضمن نقل المواد الغذائية مثل السكر إلى الخلايا الميكروبية ويتم ذلك عن طريق انتقال الكتلة عبر غشاء الخلايا.

انتقال الكتلة في الأنابيب

يُعد انتقال الكتلة في الأنابيب أمرًا مهمًا في معامل الأغذية حيث يتم ضخ السوائل أو الغازات ويُعبر عن التدفق داخل الأنابيب بالعلاقة التالية :

$$N = k \cdot A \cdot (C_{IN} - C_{OUT})$$

حيث :

N معدل تدفق الكتلة (kg/s) ، k معامل انتقال الكتلة (m/s) ، A مساحة مقطع الانبوب (m^2)

C_{IN} تركيز المادة الداخل للأنبوب (kg/m^3) ، C_{OUT} تركيز المادة الخارج من الانبوب (kg/m^3)

مثال / يتم ضخ سائل يحتوي على مادة مطهرة في أنبوب بطول (L = 10 m) وقطر الخارجي هو (R = 0.06 m) وقطره الداخلي (r = 0.05 m) وكان تركيز المادة عند مدخل الانبوب ($C_{IN} = 0.8\ kg/m^3$) بينما تركيزها عند مخرج الانبوب ($C_{OUT} = 0.3\ kg/m^3$) علما ان معامل انتقال الكتلة ($k = 0.015$ m/s) احسب معدل انتقال الكتلة للمادة في الانبوب.

الجواب /

1. نحسب مساحة الأنبوب المجوف :

$$A = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot (R + r) + 2 \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2)$$

$$A = 2 \times 3.14 \times 10 \times (0.06 + 0.05) + 2 \times 3.14 \times (0.06^{\,2} - 0.05^{\,2})$$

$$A = 6.91\ m^2$$

2. نحسب معدل انتقال او تدفق الكتلة :

$$N = k \cdot A \cdot (C_{IN} - C_{OUT})$$

$$N = 0.015 \times 6.91 \times (0.8 - 0.3)$$

$$N = 0.052\ kg/s$$

مثال/ يتم ضخ مغذيات الى حليب عبر أنبوب طوله ($L = 8m$) وقطر الخارجي هو ($R = 0.04\ m$) وقطره الداخلي ($r = 0.03\ m$) تركيز المغذيات عند مدخل الانبوب ($C_{IN} = 1.2\ kg/m^3$) بينما تركيزها عند مخرج الانبوب ($C_{OUT} = 0.5\ kg/m^3$) علما ان معامل انتقال الكتلة ($k = 0.02\ m/s$) احسب معدل انتقال الكتلة للمغذيات الى الحليب في الانبوب.

الجواب /

1. نحسب مساحة الأنبوب المجوف :

$$A = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot (R + r) + 2 \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2)$$

$$A = 2 \times 3.14 \times 8 \times (0.04 + 0.03) + 2 \times 3.14 \times (0.04^{\,2} - 0.03^{\,2})$$

$$A = 3.52\ m^2$$

2. نحسب معدل انتقال او تدفق الكتلة :

$$N = k \cdot A \cdot (C_{IN} - C_{OUT})$$

$$N = 0.02 \times 3.52 \times (1.2 - 0.5)$$

$$N = 0.05\ kg/s$$

العوامل المؤثرة على انتقال الكتلة في الأغذية

1. درجة الحرارة : ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة سرعة انتقال الكتلة مما يؤثر على كفاءة العمليات الحرارية مثل التجفيف والتبخير.
2. الرطوبة : تؤثر نسبة الرطوبة على عمليات التجفيف والتجميد حيث تتطلب الأغذية ذات المحتوى المائي العالي وقتًا أطول لإزالة الرطوبة.
3. خصائص المادة : تختلف سرعة انتقال الكتلة بناءً على خصائص المادة كنفاذية وكثافة المنتج.
4. التصميم الهندسي للمعدات : يلعب تصميم المعدات دورًا هامًا في تحسين عمليات انتقال الكتلة مثل تصميم مجففات ذات كفاءة عالية لتوزيع الهواء وتحقيق تجفيف متجانس.

وسائل قياس انتقال الكتلة

1. أجهزة قياس الكثافة والرطوبة : تستخدم لتحديد نسبة الرطوبة في الأغذية وهي أساسية للتحكم في عمليات التجفيف والتجميد.
2. أجهزة قياس النفاذية : تستخدم لتحديد نفاذية الأغذية للغازات والبخار وتستخدم في عمليات تعبئة الأغذية للحفاظ على جودة المنتج.
3. أجهزة تحليل التدفق : من خلال تحليل تدفق المواد داخل المصنع وتحليل تدفق الهواء والبخار يتم تحسين كفاءة عمليات نقل الكتلة.