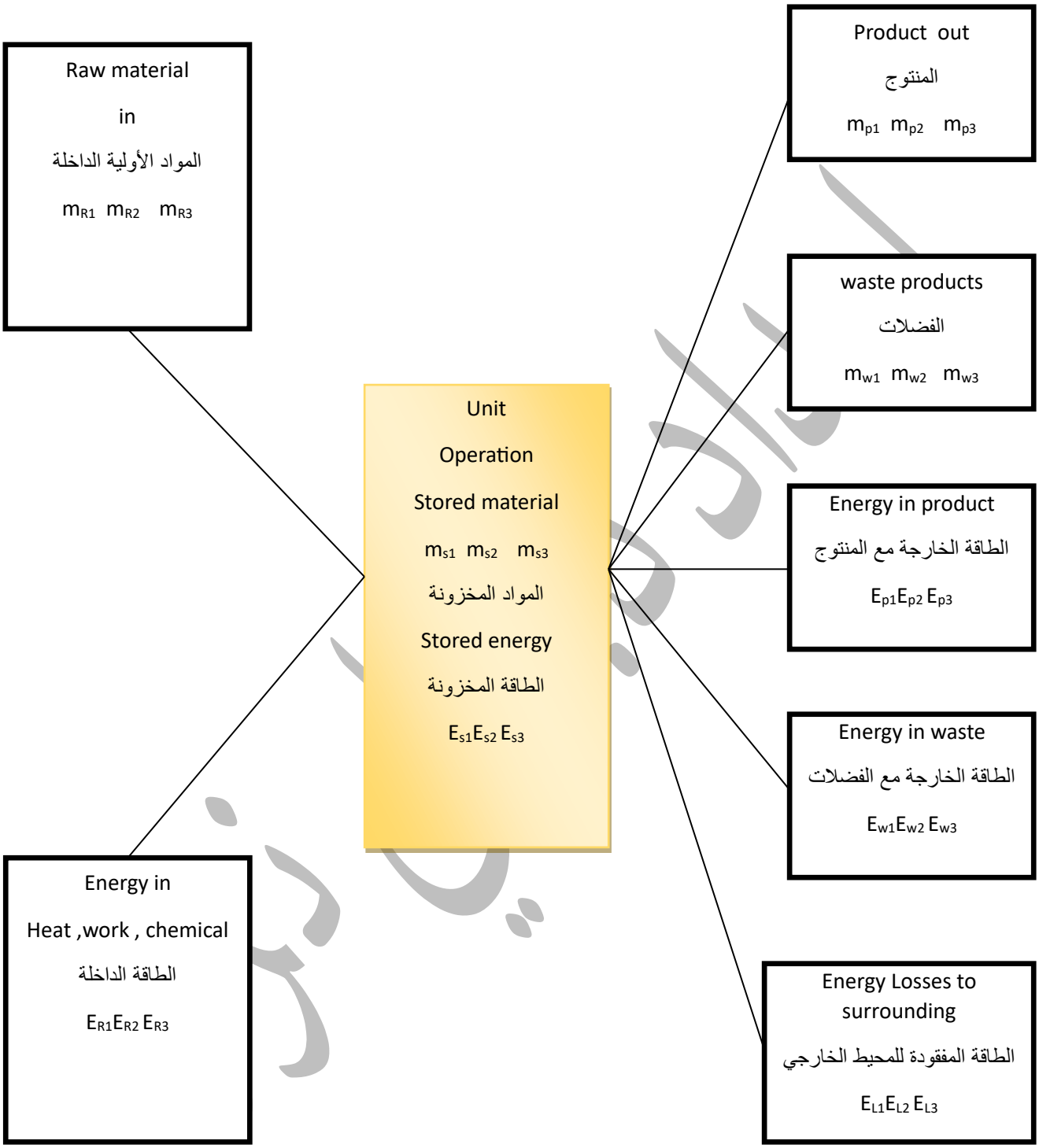
المحاضرة الثالثة – توازن الكتلة والطاقة

مخطط يبين توازن الكتلة والطاقة

يُعتبر **توازن الكتلة والطاقة** من المبادئ الأساسية في **هندسة معامل الأغذية** وهو أساسي في تصميم وتشغيل معامل الإنتاج الغذائي ، اذ يتم تطبيق هذا المبدأ لضمان التحسين الأمثل في كفاءة العمليات وتقليل الفاقد في الموارد ، وضمان أن المنتجات تلبي المعايير المطلوبة من حيث الجودة والأمان.

أهمية توازن الكتلة والطاقة

تعمل مصانع الأغذية على تحويل المواد الخام إلى منتجات نهائية من خلال مجموعة من العمليات الفيزيائية والكيميائية ، مما يتطلب فهمًا دقيقًا لتدفق كل من **المواد والطاقة** عبر الأنظمة من خلال تطبيق قوانين حفظ الكتلة والطاقة ، اذ يمكن للمهندسين تقدير كمية المواد والطاقة المطلوبة لكل مرحلة إنتاجية ، وتحقيق الكفاءة والاستدامة.

توازن الكتلة

وفقًا لقانون **حفظ الكتلة** : (إن الكتلة لا تفنى ولا تستحدث) لكنها تتحول من شكل إلى آخر ، ففي عمليات التصنيع الغذائية ينص هذا القانون على أن مجموع كتل المواد الداخلة في أي عملية يعادل مجموع كتل المواد الخارجة منها ، مع الأخذ بعين الاعتبار الفاقد أو النفايات. يمكن التعبير عن توازن الكتلة بالمعادلة التالية:

الكتلة الداخلة = الكتلة الخارجة + الفقد

مثال مبسط على تطبيق توازن الكتلة

في عملية **البسترة** يتم تسخين الحليب للتخلص من الكائنات الدقيقة الضارة ، يمكن حساب توازن الكتلة باستخدام بيانات المواد الداخلة (كمية الحليب الخام والماء والطاقة) والمواد الخارجة (الحليب المبستر ، البخار المتبخر ، والمنتجات الثانوية).

حساب تدفق الكتلة في عملية البسترة:

- **المواد الداخلة :** حليب خام (1000 كغم) ، ماء إضافي (50 كغم)
- **المواد الخارجة :** حليب مبستر (950 كغم) ، بخار (100 كغم)

وبذلك تكون المواد (الكتلة) الداخلة = المواد (الكتلة) الخارجة بالحالة المثالية ، اما في عمليات التصنيع الواقعية يجب الاخذ بعين الاعتبار الفقد الحاصل والفضلات.

الكتلة الجافة والرطبة

غالبًا ما تكون المواد الغذائية مزيجًا من الماء والمواد الصلبة ، لذلك يُستخدم مفهوم **توازن الكتلة الجافة** الذي يفصل بين مكوني **الماء** و**الكتلة الجافة** ، على سبيل المثال : إذا كانت المادة الخام تحتوي على نسبة رطوبة 80% فإن 20% فقط هي مواد صلبة.

تطبيقات توازن الكتلة في هندسة معامل الأغذية

1. عمليات الخلط : في الصناعات الغذائية يتم غالبًا خلط عدة مكونات لتحقيق منتج نهائي بخصائص محددة ، مثلا العصائر أو منتجات الألبان ، يُستخدم توازن الكتلة لضمان أن النسب الصحيحة من المكونات مختلطة بدقة ، مع مراعاة نسبة المياه والمواد الصلبة والمكونات الأخرى.

توضيح مبسط : تحضير العصائر الممزوجة

في حالة تحضير عصير معين يحتوي على تركيبة من الفاكهة والماء والمحليات:

- **المواد الداخلة :** فاكهة (100 كغم) ، ماء (50 كغم) ، سكر (10 كغم).
- **المواد الخارجة :** عصير جاهز للشرب (155 كغم) ، **هناك فاقد بسيط في العملية**.

يمكن تطبيق معادلة توازن الكتلة:

الكتلة الداخلة (160كغم) = الكتلة الخارجة (155كغم) + الفقد (5كغم)

2. عمليات التركيز

في عمليات تصنيع المنتجات الغذائية مثل **مركزات عصائر الفواكه** أو الحليب المكثف يتم إزالة جزء من الماء لزيادة نسبة المواد الصلبة حيث يتم استخدام توازن الكتلة لتحديد الكمية اللازمة من الماء المراد إزالته لتحقيق النسبة المطلوبة.

توضيح مبسط : إنتاج الحليب المكثف

في هذه العملية يتم تقليل محتوى الماء في الحليب من 87% إلى 40% تقريبًا.

- **المواد الداخلة :** 1000 كغم من الحليب الخام.
- **المواد الخارجة:** 500 كغم من الحليب المكثف (الماء المزال او الفقد = 500 كغم).

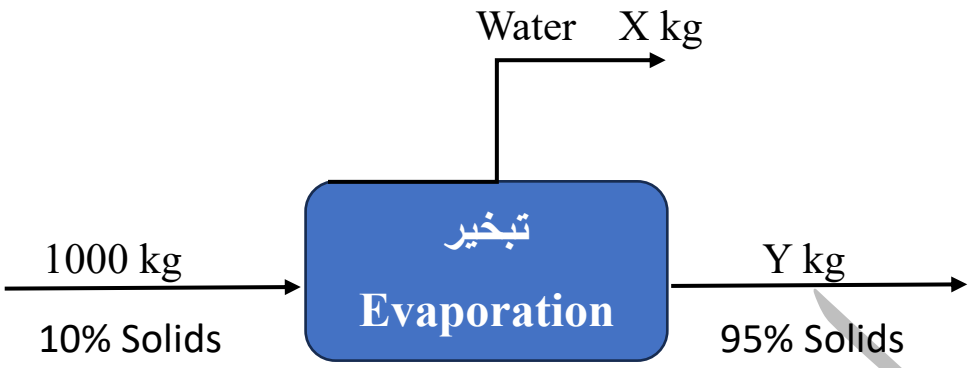
الكتلة الداخلة (1000كغم) = الكتلة الخارجة (500كغم) + الفقد (500كغم)

3. عمليات التجفيف

تُستخدم عملية **التجفيف** لإزالة الماء من الأغذية لزيادة مدة صلاحيتها كما هو الحال في **مساحيق الحليب** أو **الفواكه المجففة** يُستخدم توازن الكتلة لتقدير كمية المياه المراد إزالتها والناتج النهائي.

مثال/ لديك (1000) كغم من الحليب السائل نسبة المواد الصلبة فيه (10%) وبعد تجفيفه في مبخر كانت نسبة المواد الصلبة في الناتج (95%) ما وزن مسحوق الحليب الناتج ؟ وما كمية بخار الماء المفقود ؟

الجواب / الخطوة الأولى رسم مخطط



الخطوة الثانية الفرضيات

1. كمية سائل الحليب الداخل (1000 kg) الذي تركيز المواد الصلبة فيه (10%).
2. نفترض ان كمية الماء المتبخر (X kg).
3. نفترض ان كمية مسحوق الحليب الناتج (Y kg).

الخطوة الثالثة كتابة توازن الكتلة الكلي وتوازن الكتلة على أحد المكونات

1- Total marital balance توازن الكتلة الكلي

Marital in = Marital out

10% Solids = 95% Solids + Water

1000 = Y + X ..... (1)

2- Solids balance توازن الكتلة على المواد الصلبة لأحد المكونات

Solids in = Solids out

$$1000 * \frac{10}{100} = Y * \frac{95}{100} + X * \frac{0}{100}$$

100 = Y 0.95 ..... (2)

بحل المعادلة (2) نحصل على :

$$Y = \frac{100}{0.95} \cong 105 \text{ kg Powdered milk}$$

بالتعويض في المعادلة (1) نحصل على :

1000 = 105 + X

X = 1000 – 105 = 895 kg Water vapor

4. التخمير

تتطلب عمليات التخمير مثل إنتاج **الزبادي (اللبن)** أو **المخللات** التحكم الدقيق في تدفق المواد اثناء عمليات التصنيع بما في ذلك المكونات الخام مثل الحليب أو الخضراوات والبيئة البكتيرية والملح يتم استخدام توازن الكتلة لحساب كمية المواد الداخلة والخارجة خلال فترة التخمير بالإضافة إلى كمية المواد المنتجة كالحوامض أو الكحول.

توضيح مبسط : إنتاج الزبادي (اللبن)

في هذه العملية يتم إضافة بكتيريا حمض اللاكتيك إلى الحليب وتحويل جزء من مكونات الحليب إلى حمض لاكتيك ولبن يمكن حساب توازن الكتلة لحساب مقدار المواد الصلبة الناتجة.

5. عمليات الطهي

خلال **عمليات الطهي** تحدث تغيرات كبيرة في مكونات الأغذية مثل فقدان الماء نتيجة التبخر وتغير مكونات الغذاء هنا يُستخدم توازن الكتلة لتقدير فقد الماء والكتلة النهائية للمنتج المطبوخ.

6. إنتاج الزيوت والدهون

في عملية استخلاص الزيوت يُستخدم توازن الكتلة لتحديد كميات الزيت الخام المستخرج والمواد الصلبة المتبقية وكذلك تقدير الفاقد في عملية الاستخلاص .

توضيح مبسط : استخلاص زيت الزيتون

- **المواد الداخلة :** 1000 كغم من الزيتون.
- **المواد الخارجة :** 200 كغم من زيت الزيتون و800 كغم من المواد الصلبة المتبقية (الجفت)

7. تصنيع اللحوم

في صناعة اللحوم تُستخدم عمليات مثل **التدخين** و**التمليح والطهي** حيث تتغير مكونات اللحم بشكل كبير ، يساهم توازن الكتلة في تحديد كمية المواد المضافة مثل التوابل والماء والفقد أثناء الطهي أو اثناء عملية التدخين.

توضيح مبسط : تصنيع النقانق

- **المواد الداخلة :** لحم (500 كغم)، ماء (100 كغم)، توابل وملح (10 كغم).
- **المواد الخارجة :** نقانق جاهزة (580 كغم).
- **الكتلة المفقودة :** ماء متبخر ودهون مفقودة أثناء العملية.

توازن الطاقة

ينص قانون حفظ الطاقة (**إن الطاقة لا تُفنى ولا تُستحدث من العدم**) يُستخدم **قانون حفظ الطاقة** في **هندسة الأغذية** لتحليل تدفق الطاقة في العمليات المختلفة ، يتمثل هذا في استخدام الطاقة الحرارية ، الميكانيكية والكيميائية ، معادلة توازن الطاقة تُعبّر عن الفرق بين الطاقة الداخلة والخارجة :

الطاقة الداخلة = الطاقة الخارجة + الطاقة المفقودة

مصادر الطاقة في معالجة الأغذية

تعتمد عمليات معالجة الأغذية على عدة مصادر للطاقة بما في ذلك الطاقة الحرارية الناتجة عن التسخين والتبريد والطاقة الميكانيكية المستخدمة في النقل والمزج والطاقة الكهربائية المستخدمة لتشغيل الآلات والمعدات.

تطبيقات توازن الطاقة

توازن الطاقة هو عنصر أساسي في **هندسة معامل الأغذية** ويُستخدم لتحسين الكفاءة التشغيلية وتقليل استهلاك الطاقة خلال مراحل التصنيع المختلفة ، أدناه قانون كمية الطاقة المطلوبة :

$$\text{كمية الطاقة المطلوبة} = \Delta T * Cp * m$$

حيث: m كتلة المادة (كغم) ، Cp السعة الحرارية النوعية للمادة (kJ/kg°C)

- ΔT فرق درجة الحرارة (°C)

وفيما يلي بعض التطبيقات العملية لمفهوم توازن الطاقة في عمليات التصنيع الغذائي :

1. التسخين والتبريد

عمليات التسخين والتبريد هي من العمليات الأكثر استخدامًا في صناعة الأغذية سواء لتبريد المواد الغذائية مثل اللحوم أو تسخين المنتجات مثل الحليب ، تعتمد هذه العمليات بشكل كبير على توازن الطاقة لحساب كمية الطاقة المطلوبة أو المفقودة لضبط درجة الحرارة بدقة.

مثلا في عملية **البسترة** يتم تسخين الحليب عند درجة حرارة معينة لفترة محددة ثم تبريده بسرعة لضمان قتل البكتيريا الضارة دون التأثير على جودة الحليب.

- **الطاقة الداخلة :**الطاقة الحرارية من المصدر الحراري (مثل البخار أو الماء الساخن).
- **الطاقة الخارجة :**الطاقة المفقودة بالتبريد أو الطاقة المستعادة في نظام استرجاع الحرارة.

مثال/ لديك (5000) كغم من الحليب تم تسخينه في مبادل حراري من (30 °C) الى (72 °C) باستخدام الماء ، فاذا كانت درجة حرارة الماء عند دخوله المبادل (95 °C) وعند تركه المبادل (75 °C) احسب كمية الجريان على فرض :

ان فقدان الحرارة heat loss الى المحيط الخارجي هو (1 KW)

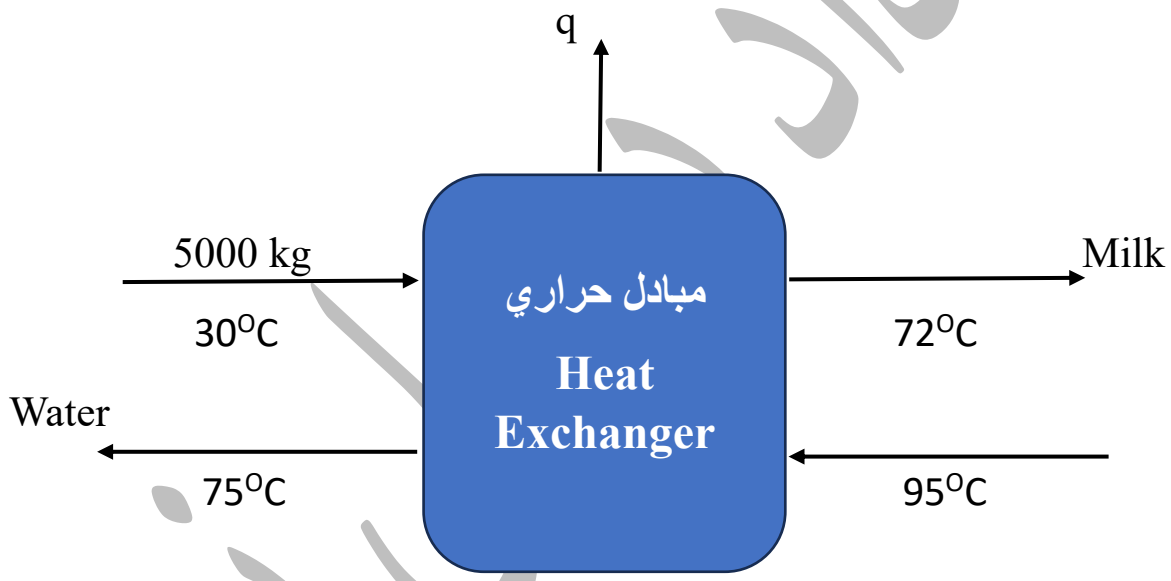
السعة الحرارية للماء heat capacity of water هي (4.2 KJ/Kgc°)

السعة الحرارية للحليب heat capacity of milk هي (3.9 KJ/Kgc°)

اهمال الطاقة الحركية والكامنة في معادلة توازن الطاقة ،، عدم وجود مضخة في النظام

الجواب /

الخطوة الأولى رسم مخطط العملية



الخطوة الثانية الفرضيات

1 – Kinetic and potential energy in the energy balance equation are negligible
الطاقة الحركية والطاقة الكامنة في معادلة توازن الطاقة غير محسوبة وتهمل .

2 – pump is not included in the system (Ws=0)
لا يوجد مضخة في النظام .

3 – Heat capacity of liquid does not change significantly with temperature .
السعة الحرارية لا تتغير مع درجة الحرارة .

4 – the system is at steady state .النظام في حالة ثابتة

الخطوة الثالثة كتابة توازن الطاقة

Energy balance

Rate of energy input = $m_{w\ in} \times H_{w\ in} + m_{m\ in} \times H_{m\ in}$

الطاقة الداخلة

Rate of energy output = $m_{w\ out} \times H_{w\ out} + m_{m\ out} \times H_{m\ out} + \zeta$

الطاقة الخارجة

توضيح معنى الحروف (Milk) للحليب m و (Water) للماء w

حيث :-

H = Enthalpy J/kg انثالبي

m = mass flow rate Kg/s كمية المادة المنتقلة

ζ = heat transferred to or from the system الحرارة المنتقلة من النظام او اليه

Rate of energy input = rate of energy output

معدل الطاقة الداخلة معدل الطاقة الخارجة

$$\mathbf{M_{w\ in} \times H_{w\ in} + m_{m\ in} \times H_{m\ in} = m_{w\ out} \times H_{w\ out} + m_{m\ out} \times H_{m\ out} + \zeta \ldots.(1)}$$

1) The enthalpy of water stream = الانثالبي للماء

Input = $H_{w\ in}$ = CPT = 4.2 × 95 = 399 KJ/Kg الداخلة

Output = $H_{w\ out}$ = CPT =4.2 × 75 = 315 KJ/Kg الخارجة

2) The enthalpy of milk stream = الانثالبي للحليب

Input = $H_{m\ in}$ = CPT = 3.9 × 30 = 117 KJ/Kg الداخلة

Output = $H_{m\ out}$ = CPT = 3.9 × 72 = 280.8 KJ/Kg الخارجة

بالتعويض في معادلة (1) مع الاخذ بالاعتبار حالة التوازن

$M_{w\ in} = m_{w\ out} = m_w$

And

$M_{m\ in} = m_{m\ out}$

$M_w \times 399 + 5000 \times 117 = m_w \times 315 + 5000 \times 280.8 + 1$

$M_w \times 399 + 585000 = m_w \times 315 + 1404001$

$M_w = 1404316 - 585399$

$M_w = 818917$ Kg/h

2. التجميد

التجميد هو تقنية شائعة لحفظ الأغذية على المدى الطويل ويستخدم توازن الطاقة لحساب **كمية الحرارة** التي يجب إزالتها للوصول إلى درجة حرارة التجميد وتحويل الماء داخل الغذاء إلى ثلج.

التبريد مقابل التجميد يتطلب التجميد كميات أكبر من الطاقة مقارنة بالتبريد حيث يحتاج الماء إلى تغيير حالته من السائل إلى الصلب مما يتطلب حرارة كامنة إضافية للتجميد.

3. التجفيف

تُستخدم عمليات **التجفيف** على نطاق واسع في صناعة الأغذية مثل تجفيف الفواكه، الأعشاب، ومسحوق الحليب. يستخدم توازن الطاقة في حساب **كمية الحرارة** المطلوبة لإزالة الماء من المنتج مع مراعاة الظروف البيئية مثل درجة الحرارة والرطوبة.

4. معالجة النفايات

توازن الطاقة مهم في **معالجة النفايات** في مصانع الأغذية حيث يتم استخدام العمليات الحرارية لتحويل المخلفات إلى منتجات قابلة لإعادة الاستخدام مثل تحويل بقايا الطعام إلى طاقة حيوية أو أسمدة او كحول او حوامض او تحويل النفايات الى غاز حيوي **(Biogas)** .

5. تحسين استهلاك الطاقة واسترجاعها

من بين التطبيقات المهمة لتوازن الطاقة هو **استرجاع الطاقة** لتحسين كفاءة النظام يتم ذلك عن طريق إعادة استخدام الطاقة الحرارية المتولدة في مرحلة ما في مراحل كالمبادلات الحرارية .

أهمية توازن الكتلة والطاقة في هندسة الأغذية

1. تحسين كفاءة العمليات

من خلال الجمع بين **توازن الكتلة والطاقة** يمكن لمهندسي الأغذية تحسين الكفاءة التشغيلية للمعامل بتقليل استهلاك الطاقة عبر استعادة الحرارة المتولدة في مراحل معينة وإعادة استخدامها في مراحل أخرى كما في عمليات التسخين والتبريد **كالبسترة** حيث يتم تمرير الحليب الساخن إلى جانب الحليب البارد مما يسمح بنقل الحرارة بينهما وبالتالي تقليل كمية الطاقة اللازمة للتسخين.

2. الاعتبارات البيئية والاستدامة

تلعب **الاستدامة** دورًا مهمًا في تصميم وتشغيل معامل الأغذية اذ يسهم استخدام توازن الكتلة والطاقة في تقليل الفاقد وتقليل استهلاك الموارد الطبيعية مما يدعم المبادرات العالمية للحفاظ على البيئة.

3. تقليل الفاقد الغذائي

من خلال تحسين التوازن في العمليات الإنتاجية يمكن تقليل الفاقد في المواد الخام وبالتالي تقليل كمية المخلفات الناتجة.

التقنيات الحديثة المستخدمة في المصانع الغذائية

مع تطور التكنولوجيا أصبح توازن الكتلة والطاقة في صناعة الأغذية أكثر دقة وكفاءة مما يساعد على تحسين العمليات وتقليل الفاقد في الموارد. فيما يلي بعض التقنيات الحديثة التي تساهم في تعزيز كفاءة استخدام الكتلة والطاقة في هندسة معامل الأغذية:

1. الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات :

الذكاء الاصطناعي يمكن أن يُحدث ثورة في عمليات الإنتاج الغذائي من خلال تحسين الكفاءة وتقليل الهدر باستخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي والتحليل التنبؤي يمكن لمهندسي الأغذية تحليل كميات هائلة من البيانات الناتجة عن مختلف مراحل التصنيع.

- تحليل البيانات الضخمة : البيانات الضخمة (Big Data) تُستخدم لتحليل عمليات التصنيع الحالية ومراقبتها في الوقت الفعلي اذ يمكن جمع بيانات من عدة مستشعرات في المصنع لتحليل تدفق المواد والطاقة بشكل دقيق وبالتالي تحسين التوازن بينهما.
- تطبيقات التعلم الآلي : يمكن لتطبيقات التعلم الآلي توقع الفاقد المحتمل للطاقة أو الكتلة وتقديم اقتراحات فورية لتحسين عمليات التصنيع.

مثال : مراقبة الطاقة في خطوط الإنتاج : باستخدام الذكاء الاصطناعي يمكن مراقبة استهلاك الطاقة في كل مرحلة من مراحل الإنتاج في مصانع الأغذية حيث يتم تحليل أنماط استخدام الطاقة وتنبيه المهندسين عند وجود انحرافات عن القيم المثلى مما يسمح بتعديل العمليات لتحسين الكفاءة.

2. الاسترداد الحراري :

- مبادلات الحرارة عالية الكفاءة

تُستخدم مبادلات الحرارة المتقدمة على نطاق واسع لاسترداد الحرارة المتولدة في مراحل معينة من عمليات التصنيع هذه المبادلات تُستخدم لتقليل استهلاك الطاقة من خلال نقل الحرارة من مرحلة ساخنة إلى أخرى تحتاج إلى حرارة.

- أنظمة التكثيف والاسترجاع

تطورت تقنيات استرجاع الحرارة لتشمل أنظمة التكثيف التي يمكنها استرداد كميات أكبر من الحرارة من خلال تكثيف الأبخرة الناتجة عن عمليات التبخير والتجفيف ، تُستخدم هذه الأنظمة لتقليل كمية الطاقة المهدرة وزيادة كفاءة استهلاك الوقود.

مثال: أنظمة استرداد الحرارة في التجفيف : في عمليات التجفيف الصناعي يتم فقد كميات كبيرة من الحرارة ولكن باستخدام تقنيات استرداد الحرارة المتقدمة يمكن استعادة ما يصل إلى 60-70% من الطاقة الحرارية المهدرة وإعادة استخدامها لتسخين الهواء الداخل مما يقلل من احتياجات الطاقة بنسبة كبيرة.

3. الطاقة المتجددة :

- الطاقة الشمسية في صناعة الأغذية : تلعب الطاقة الشمسية دورًا متزايدًا في تزويد معامل الأغذية بالطاقة ، حيث يتم استخدام الألواح الشمسية لتوليد الكهرباء وتوفير طاقة نظيفة ومستدامة مما يقلل من الاعتماد على الوقود.
- طاقة الرياح والكتلة الحيوية : يتم أيضًا دمج طاقة الرياح والكتلة الحيوية كمصادر طاقة بديلة لتشغيل معدات الإنتاج في المصانع الغذائية ، كذلك الكتلة الحيوية تُستخدم لتحويل المخلفات الغذائية إلى طاقة مما يساهم في تقليل الفاقد والاستفادة من المخلفات بشكل فعال.

4. الطباعة ثلاثية الأبعاد في الأغذية :

تُعد الطباعة ثلاثية الأبعاد (3D Printing) واحدة من التقنيات الحديثة التي بدأت تظهر في تصنيع الأغذية هذه التقنية تتيح تصنيع مكونات غذائية مخصصة باستخدام توازن دقيق للكتلة والطاقة ، حيث يتم التحكم في كميات المواد الخام المستهلكة والطاقة اللازمة لتصنيع المنتجات.

مثال: الطباعة ثلاثية الأبعاد للحلويات : في مصانع الحلويات تُستخدم الطباعة ثلاثية الأبعاد لصنع تصميمات معقدة باستخدام كميات محددة ودقيقة من المواد الخام والطاقة مما يقلل الفاقد في المواد الأولية ويعزز الكفاءة.

5. الصيانة التنبؤية وتحليل الأداء :

تعتمد الصيانة التنبؤية على مراقبة أداء المعدات واستخدام البيانات المستخرجة للتنبؤ بمواعيد الأعطال المحتملة وإجراء الصيانة الوقائية قبل حدوث أي مشاكل كبيرة هذه التقنية تعتمد بشكل كبير على تحليل البيانات في الوقت الفعلي.

مثال : في مصانع معالجة الحبوب يمكن لأنظمة الصيانة التنبؤية تحليل اهتزازات الآلات وأصوات المحركات للكشف عن التآكل أو الأعطال الميكانيكية المحتملة هذا يقلل من فترات التوقف غير المخطط لها ويزيد من استمرارية الإنتاج.

6. التحكم في المخزون :

تلعب أنظمة التحكم في المخزون دورًا رئيسيًا في تحسين استخدام الموارد وضمان عدم حدوث نقص أو زيادة في المواد الخام. تعتمد هذه الأنظمة على تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحليل الطلبات المستقبلية وإدارة المخزون بكفاءة.

7. التحسين الذكي لاستهلاك المياه

يُمكن استخدام أنظمة تحكم ذكية لمراقبة استهلاك المياه في جميع مراحل الإنتاج وضبط الكميات المستخدمة بناءً على الاحتياجات الفعلية لتجنب الإسراف.

توجهات مستقبلية في صناعة الأغذية

صناعة الأغذية تتطور بسرعة مع تبني تقنيات متقدمة لتعزيز الإنتاجية والكفاءة وضمان الاستدامة والجودة العالية مع وجود التحديات المتزايدة مثل زيادة الطلب على الغذاء والتغيرات المناخية والضغط على الموارد الطبيعية دفعت هذه العوامل إلى تطوير تقنيات مستقبلية مبتكرة تهدف إلى تحسين الإنتاج الغذائي وجعله أكثر كفاءة واستدامة ، هنا نظرة على أهم تقنيات المستقبل التي ستؤثر على صناعة الأغذية :

1. الزراعة الرأسية (Vertical Farming)

الزراعة الرأسية هي تقنية تتيح زراعة المحاصيل في طبقات متعددة داخل بيئات خاضعة للرقابة غالبًا في مبانٍ أو مساحات صغيرة ضمن المناطق الحضرية هذه التقنية تعزز إنتاج الغذاء محليًا وتقلل من الحاجة إلى استخدام الأراضي الزراعية الكبيرة وتستهلك كميات أقل من المياه باستخدام تقنيات الري الدقيق وإمكانية التحكم بالظروف المناخية وتقليل التلف بالحشرات .

2. الأغذية المزروعة في المختبر (Lab-Grown Food)

تُعد اللحوم المزروعة في المختبر أو اللحوم المُنتجة من الخلايا الحيوانية في بيئات اصطناعية من أبرز الابتكارات الحديثة التي تهدف إلى تقليل الاعتماد على تربية الحيوانات اذ تتم العملية عن طريق زراعة خلايا حيوانية في مفاعلات حيوية لتحفيز نموها وتكوين نسيج لحمي صالح للاستهلاك البشري من فوائدها تقليل التأثير البيئي لصناعة اللحوم والتحكم بالمنتج مستقبلا.

مثال: إنتاج البرغر النباتي المزروع في المختبر و الذي يحتوي على بروتينات نباتية مشابهة للقوام والنكهة للحوم التقليدية.

3. تكنولوجيا النانو (Nanotechnology)

تكنولوجيا النانو تُستخدم لتحسين خصائص الأغذية وإطالة عمرها الافتراضي حيث يتم استخدام جزيئات النانو لتحسين الخصائص الغذائية أو لتحسين التغليف الذكي الذي يمكنه مراقبة جودة الطعام وإطلاق مواد حافظة عند الحاجة ومن فوائدها تعزيز النكهات والمحافظة على المادة الغذائية.

4. الزراعة الدقيقة (Precision Agriculture)

الزراعة الدقيقة تعتمد على استخدام التقنيات الحديثة مثل المستشعرات الذكية والأقمار الصناعية والذكاء الاصطناعي لتحليل التربة مراقبة حالة النباتات وتقديم توصيات دقيقة للمزارعين حول كمية المياه والأسمدة المطلوبة في الوقت والمكان المناسبين.

مثال : التطبيقات المستقبلية هو الاعتماد المتزايد على الروبوتات الزراعية والطائرات بدون طيار لمراقبة المحاصيل وجمع البيانات بشكل آلي.