رقم المحاضرة: 1
المادة: هندسة معامل الاغذية
مدرس المادة: أ.م.د. ثامر الحاجي
المرحلة: الثانية
القسم: علوم الأغذية

اتزان المادة واتزان الطاقة
Material and Energy Balance

يساعد اتزان المادة واتزان الطاقة كثيرا في حساب كثير من المسائل المتعلقة بهندسة تصنيع الاغذية. يعتمد اتزان المادة واتزان الطاقة اساسا على قوانين حفظ المادة والطاقة. قانون حفظ المادة والطاقة يشير الى ان اي كمية من المادة او الطاقة تدخل في منظومة System ما بحالة منتظمة, يجب ان تخرج نفسها من المنظومة. المنظومة هو اي شيء يمكن ان يعرف بحدود معينة. انتظام الحالة Steady state يشير الى حقيقة انه لا تراكم للمادة او الطاقة في المنظومة بالرغم من ان المنظومة في حالة عمل مستمر.

اتزان المادة

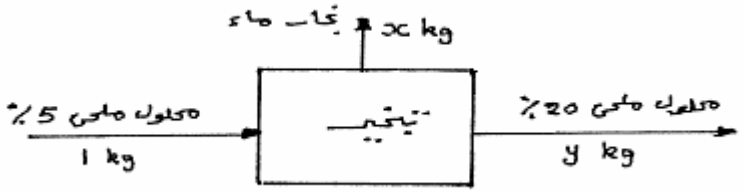
باجراء اتزان للمادة يمكن الحصول على معلومات عن كميات وتراكيز بعض المواد التي يصعب قياسها. كذلك باجراء اتزان للمادة ومعرفة كمية المواد المختلفة يمكن تحديد احجام وحدات التصنيع المختلفة.

قانون حفظ المادة هو:-

كتلة المادة الخارجة من المنظومة ناقصا كتلة المادة الداخلة للمنظومة تساوي كتلة المادة المتراكمة في المنظومة. وعندما تكون المنظومة في حالة اتزان, اي عندما لا يكون هناك تراكم للمادة في المنظومة, فان كتلة المادة الخارجة من المنظومة تساوي كتلة المادة الداخلة للمنظومة.

مثال

كم هي كمية الماء المتبخرة من محلول ملحي تركيزه 5% لتكوين محلول تركيزه % 20 ؟



نفرض ان الاساس 1 kg من محلول الملح تركيزه % 5 يدخل المنظومة.

$1 = x + y$……(1)

باتزان عنصر الملح (المادة الصلبة) حول المنظومة نحصل على :

$0.05\ (1) = 0 + 0.2\ (y)$……(2)

اذن

$y = 0.25$ kg

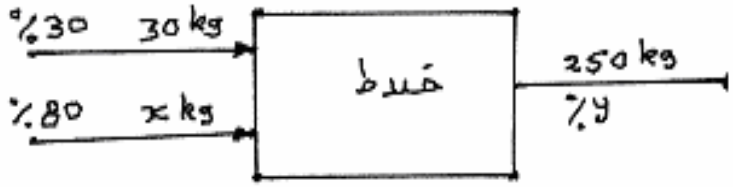
Dr. Thamer Alhajj

x = 0.75 kg

اذن يجب تبخير 0.75 kg من الماء لكل 1 kg من محلول الملح تركيز % 5 .

مثال

عند تطوير منتج غذائي جديد خلطت 30 kg من احدى المواد التي تحتوي على % 30 مواد صلبة مع كمية من مادة اخرى تحتوي على % 80 مواد صلبة للحصول على 250 kg من الناتج. احسب كمية المادة التي تحتوي على % 80 مواد صلبة. وما هو تركيز الناتج الجديد؟



باتزان المادة الكلي

30 + x = 250

x = 220 kg

اذن كمية المادة التي تحتوي على % 80 مواد صلبة تساوي 220 kg

باتزان المواد الصلبة حول المنظومة نجد ان:

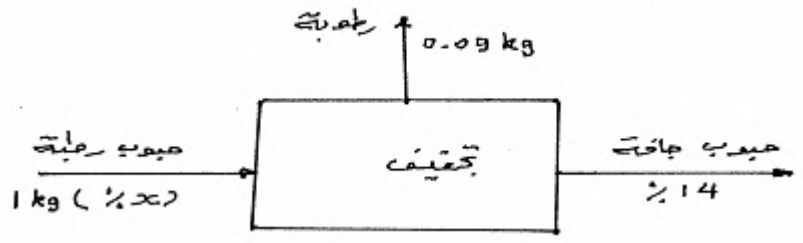
250 (y/100) = 220 (0.8) + 30 (0.3)

اذن تركيز الناتج % 74 مواد صلبة مذابة.

Y = 74%

مثال

حبوب قمح رطبة تم تجفيفها جزئيا وكانت الرطوبة التي تم التخلص منها تساوي % 9 من كتلة الحبوب. تم اختبار الحبوب بعد التجفيف ووجد انها تحتوي على % 14 رطوبة. احسب محتوى الرطوبة كنسبة مئوية من حبوب القمح قبل التجفيف.



الاساس 1 kg من الحبوب الرطبة.

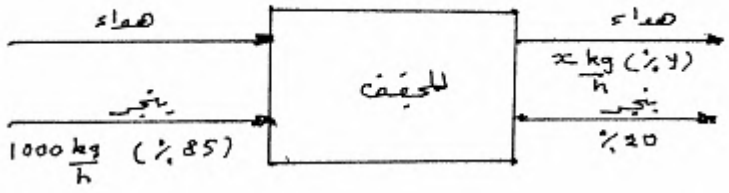
اذن الرطوبة التي تم التخلص منها = 0.09 kg
اذن الحبوب الجافة الناتجة = 0.91 kg
باتزان المادة (الرطوبة) حول المنظومة نجد ان :

$$1\ (x/100) = 0.09 + 0.14\ (0.91)$$

x = محتوى الرطوبة في الحبوب قبل التجفيف = 21.74 %

مثال

تم تجفيف 1000 kg/h من البنجر المقطع في مجفف الهواء الساخن ذي التيار المتوازي من محتوى رطوبة 85 % الى محتوى رطوبة 20 % . يدخل الهواء الى المجفف بمحتوى رطوبة 0.013 kg ماء لكل 1 kg هواء جاف وبمعدل 400 kg هواء جاف لكل 1 kg مادة صلبة جافة. احسب محتوى الماء في الهواء الذي يخرج من المجفف.



الاساس 1000 kg من البنجر المقطع.
اذن كمية المادة الصلبة الجافة التي تدخل الى المجفف = 0.15 (1000) = 150 kg/h
كمية الهواء التي تدخل الى المجفف = 150 (400) = 60000 kg/h
كمية الماء التي تدخل مع الهواء الى المجفف = 60000 (0.013) = 780 kg/h
كمية الهواء الرطب الداخل = 60780 kg/h
كمية الماء في البنجر الخارج = 150 (0.2/0.85) = 35 kg/h
كمية البنجر الخارج = 185 kg/h
باتزان المادة الكلي حول المبخر نجد ان :

$$1000 + 60780 = 185 + x$$

اذن x = كمية الهواء الخارج = 61595kg/h
باتزان الرطوبة حول المبخر نجد ان :

$$0.85\ (1000) + 780 = 35 + 61595\ (y/100)$$

اذن y = محتوى الماء للهواء الذي يخرج من المجفف = 3 %
= 0.03 kg ماء لكل 1 kg هواء جاف.

اتزان الطاقة

الطاقة هي قدرة منظومة ما لاداء شغل على منظومة اخرى. وهي يمكن ان ترتبط بجسم مادي مثل النابض او تكون مستقلة عن المادة كما في حالة الضوء او اي اشعاع كهرومغنطيسي خلال الفراغ.

صور الطاقة:

Dr. Thamer Ajeel

كل انواع الطاقة مرتبطة بالحركة فمثلا الجسم له طاقة حركية kinetic energy (KE) اذا كان متحركا. والجسم الموضوع او النابض المشدود بالرغم من انها ثابتة ولكن لها القدرة على خلق حركة, ولهذا لها طاقة موضع potential energy (PE) نتيجة لوضعها او هيئتها. الطاقة الحرارية thermal energy هي نتيجة لحركة جزيئات المادة. فمثلا حرارة غاز الهيليوم تتناسب طرديا مع سرعة جزيئاته التي تتحرك بصورة عشوائية. الطاقة الكهربائية electrical energy هي نتاج تيار كهربائي ينتج من سريان الالكترونات خلال موصل كهربائي. الطاقة الكيميائية chemical energy والطاقة الذرية atomic energy هي نتيجة لتركيبة ووضع الذرات في جزيئات المادة او وضع بعض مكونات الذرة في النواة. ولهذا تقاس الطاقة بتحديد كمية الشغل المطلوب لخلق الحركة او الوضع او الهيئة.

يمكن ان تتغير صورة الطاقة ولكن كمية الطاقة الكلية بالنسبة لمنظومة معزولة تبقى ثابتة. ولهذا لا يمكن خلق او تدمير الطاقة. فالطاقة الموجودة مثلا في الوقود والهواء الذي يحترق في ماكنة ما لابد ان يتساوى مع الشغل المبذول الذي تقوم به الماكنة. هذا هو مبدأ قانون حفظ الطاقة.

يمكن تحويل الطاقة من صورة الى اخرى بعدة طرق فمثلا يمكن الحصول على طاقة ميكانيكية او كهربائية بواسطة الماكنات الحرارية لحرق الوقود وبواسطة المولدات الكهربائية او البطاريات او الخلايا الكهروضوئية او غيرها.

وبالنسبة لمنظومة مغلقة فان الطاقة الصافية المضافة الى المنظومة تساوي الزيادة في طاقة المنظومة, والتغير في طاقة المنظومة يعادل التغير في الطاقة الدخلية (U) والحركية (KE) والوضعية (PE).

اي:-

$$Q - W = \Delta U + \Delta (KE) + \Delta (PE) \quad \ldots\ldots\ldots 1$$

والشغل W هو حاصل جمع الشغل نتيجة للتغير في الحجم ونتيجة للتغير في السرعة ونتيجة لتغير الموضع حيث :-

$$W = \int PdV - \Delta (KE) - \Delta (PE) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 2$$

وبالتعويض في المعادلة (1) نحصل على :-

$$Q - \int PdV = \Delta U \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3$$

وفي حالة حجم المنظومة ثابتا مثلا في حالة تسخين مادة في وعاء مغلق وصلب فان المعادلة (3) تصبح:-

$$Q = \Delta U \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 4$$

فان المعادلة (3) يمكن كتابتها كالاتي :-

$$Q = \Delta U + \Delta (PV)$$
$$= (U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1)$$

وحاصل الجمع (U+PV) يعرف بالانثالبي (H) , اي :-

$$Q = \Delta H$$

واذا كان التسخين تحت ضغط ثابت فان :-

$$Q = \Delta H$$

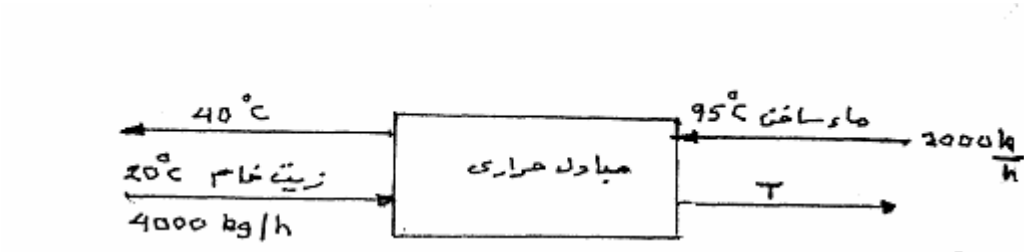
ولكون التسخين تحت ضغط ثابت يحصل في كثير من الحالات, يعرف الانثالبي بالمحتوى الحراري.

<u>مثال</u>

في مصنع لازالة الرائحة من الزيت يسخن الزيت الخام في اتجاه معاكس مع الماء الحار في مبادل حراري. اذا كان معدل تدفق الماء الساخن في المبادل الحراري 2000 kg/h ويدخل

Dr. Thamer Al-Rawi

عند درجة ^oC 95 ويغادر عند درجة ^oC 40 . يتدفق الزيت الخام بمعدل 4000 kg/h . اذا كان الزيت يدخل عند درجة ^oC 20 , كم تكون درجة حرارة خروج الزيت. علما بان الحرارة النوعية للماء 4.19 kJ/kgK وللزيت 2.10 kJ/kgK.



الاساس ساعة واحدة.

الانثالبي الداخلة (المحتوى الحراري) مع الماء

$$m\ Cp\ \Delta T = 2000 \times 4.19 \times (95-40) = 460900\ kJ/h$$

الانثالبي الداخلة مع الزيت

$$m\ Cp\ T = 4000 \times 2.10 \times (20-20) = 0$$

الانثالبي الخارجة مع الماء

$$2000 \times 4.19 \times (40-20) = 167600\ kJ/h$$

الانثالبي الخارجة مع الزيت

$$4000 \times 2.10 \times (T-20)$$

اذن باتزان الانثالبي

$$460900 = 167600 + 4000\ (2.10)\ (T-20)$$

$$T = 55\ ^oC$$

Dr. Thamer Alhaji

اجهزة البسترة والتعقيم

Pasteurization and sterilization equipments

البسترة

هدف عملية البسترة القضاء على كل الكائنات المرضية ومعظم الكائنات المسببة للفساد. وتعتبر البسترة من المعاملات الحرارية الشائعة الاستخدام مع الالبان ومنتجات الالبان. هناك هدفان من عملية البسترة:

1. جعل المادة المبسترة امنة للاستهلاك البشري بتدمير كل الكائنات المسببة للمرض.
2. تحسين جودة حفظ المادة المبسترةوذلك بتدمير بعض الانزيمات غير المرغوبة وكثير من البكتريا المسببة للفساد.

تتفاوت درجة حرارة البسترة وفتراتها المستخدمة في كثير من الدول وهي يمكن ان تكون في حالة الحليب:

1. درجة حرارة 63 ^{5}م لفترة لا تقل عن 30 دقيقة
2. درجة حرارة 72 ^{5}م لفترة لا تقل عن 16 ثانية

وفي حالة منتجات الحليب المجمد (مثل الايس كريم او الحليب الثلجي)

1. درجة حرارة 69 ^{5}م لفترة لا تقل عن 30 دقيقة
2. درجة حرارة 80 ^{5}م لفترة لا تقل عن 25 ثانية
3. درجة حرارة 83 ^{5}م لفترة لا تقل عن 16 ثانية

وفي حالة منتجات اساسها الحليب (القشدة وحليب الشوكلاتة)

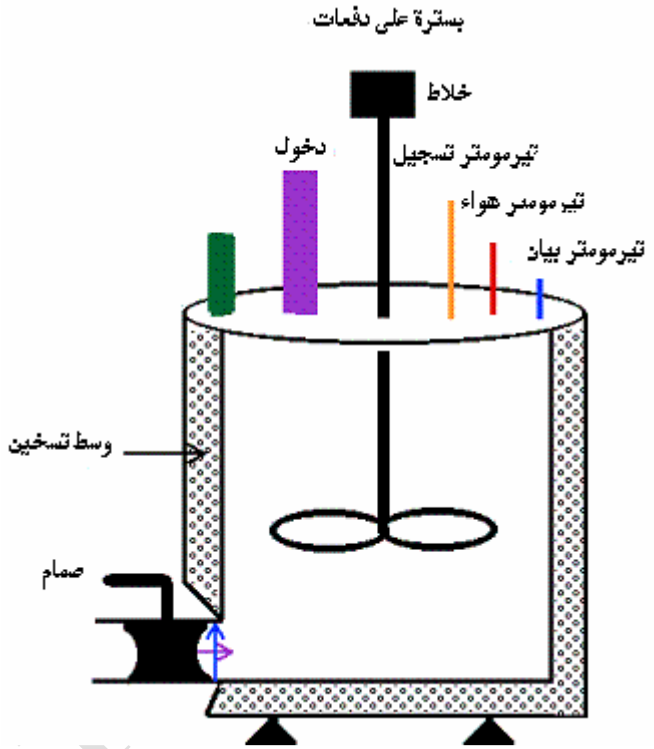
1. درجة حرارة 66 ^{5}م لفترة لا تقل عن 30 دقيقة
2. درجة حرارة 75 ^{5}م لفترة لا تقل عن 16 ثانية

وفي كل الحالات يتم التبريد بسرعة لدرجة حرارة تقريبا 4 ^{5}م.

Dr. Thamer Alhaji

انواع اجهزة البسترة

أ. اجهـزة البسـترة علـى دفعـات Batch pasteurizing equipment وهي عبارة عن وعاء مزدوج الجدار ويحتوي على خلاط . يمر الماء الحار المستخدم في التسخين بين جدارين وتستمر عملية التسخين حتى تحقيق التسخين الكافي ثم يبدأ بتمرير الماء البارد بين الجدارين.

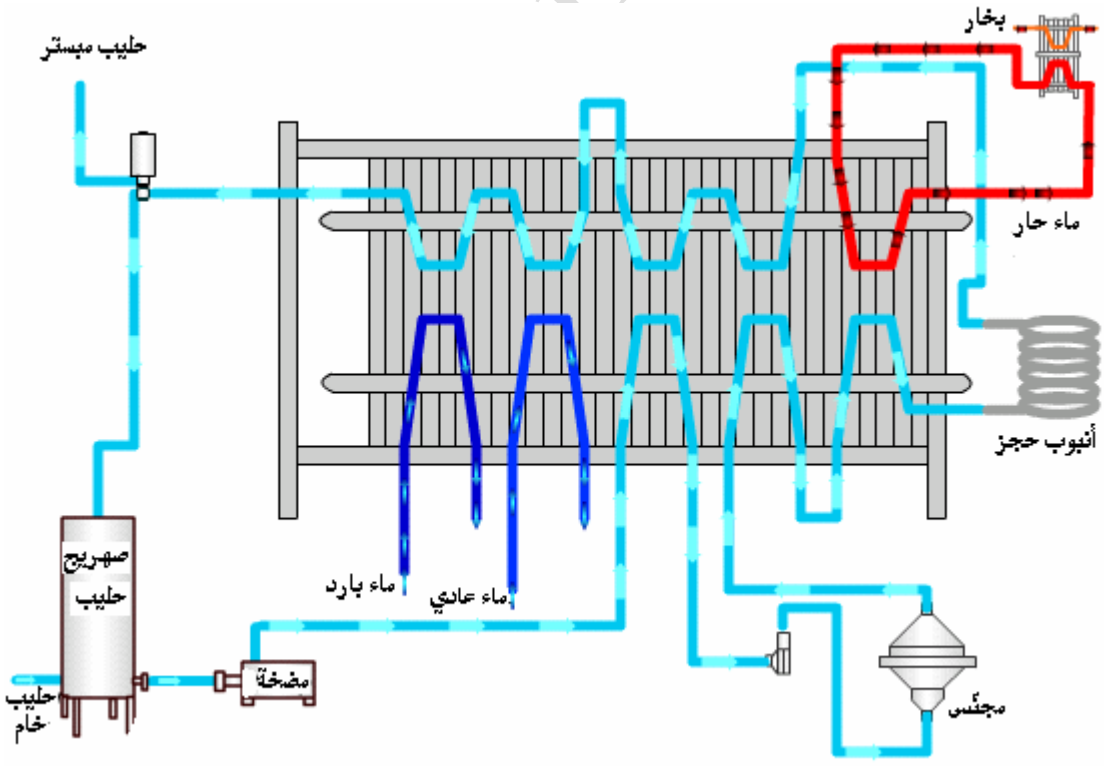


مخطط لجهاز بسترة على دفعات

ب. اجهزة البسترة المستمرة Continuous pasteurizing equipment

المبادل الحراري ذو الصفائح Plate heat exchanger

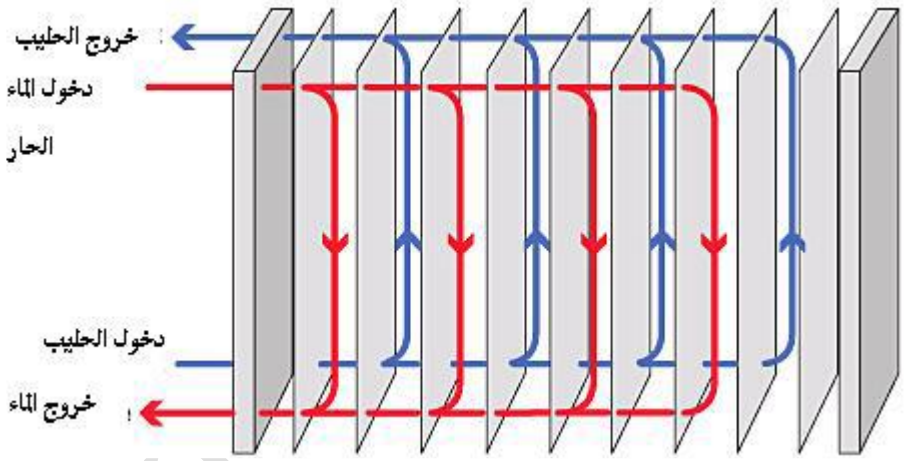
جهاز بسترة ذو الصفائح



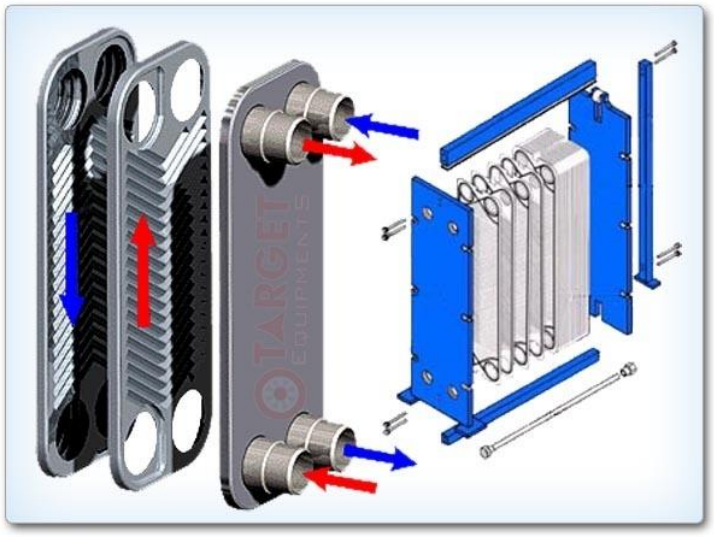
مخطط لجهاز بسترة مستمر

تتكون كل اجزاء جهاز البسترة الملامسة للمادة الغذائية من الصلب الذي لا يصدأ Stainless steel وهي كالاتي:

1. صهريج Tank المادة الخام ذو العوامة: وتضخ اليه المادة المراد بسترتها مثل الحليب الخام من صهريج استقبال ذو العوامة الحليب حيث يحفظ عند درجة حرارة 4 ^{5}م.
2. مضخة الطرد المركزي Centrifugal pump : وهذه المضخة تقوم بضخ الحليب من الصهريج الى التسخين في جهاز المبادل الحراري نوع الالواح ويلاحظ انها مصنوعة من الصلب الذي لا يصدأ بالكامل لانها تلامس المادة الغذائية. يتم التحكم في معدل تدفق الحليب بواسطة صمام تحكم في معدل التدفق للحليب في الانبوب الموصول بين مضخة الطرد المركزي للحليب وجزء التسخين في البادل الحراري.
3. المبادل الحراري نوع الالواح Plate heat exchanger: وهو من الالواح الراسية ويوجد بينها بالتبادل المادة الغذائية ووسط التبادل الحراري كما في الشكل:



مخطط لمبادل حراري نوع الالواح



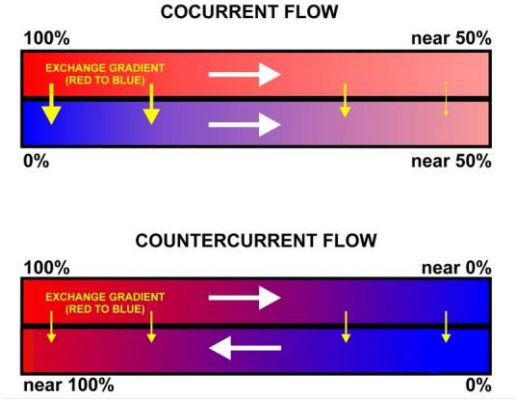
وهو مكون من ثلاثة اقسام هي:

- قسم التسخين Heating section : حيث يسخن الحليب بالتبادل مع الماء الحار الى درجة حرارة البسترة. ويتم تسخين الماء في صهريج الماء الحار بواسطة البخار.
- قسم التبريد الاولي Primary cooling section : وفيه يتم تبريد الحليب الذي تمت البسترة الى درجة حرارة البسترة في قسم التسخين والذي تم حجزه لفترة البسترة في انبوب الحجز بواسطة الماء العادي.
- قسم التبريد الثاني Secondary cooling section : وفيه يتم تبريد الحليب الى درجة حرارة البسترة الثانية وهي 4 ^{5}م بواسطة المحلول الملحي (المحلول الملحي المستخدم هو بروبيلن جيليكول).

4. انبوب الحجز Holding tube: وفيه يتم حجز الحليب عند درجة حرارة البسترة في لحظة خروجه من قسم التسخين في المبادل الحراري الى لحظة دخول قسم التبريد الاولي. ويلعب طول انبوب الحجز وهو ثابت ومعدل تدفق الحليب دور في التحكم في فترة البسترة والتي عادة تكون 16 ثانية عند درجة حرارة بسترة تعادل 72 ^{5}م.
5. لوحة التشغيل.

المبادل الحراري الانبوبي Tubular heat exchanger

لا يستخدم عادة هذا النوع من المبادلات الحرارية في المعامل الغذائية ولكنها شائعة الاستعمال في المحطات الكهربائية والمفاعلات النووية. اما في الصناعات الغذائية كعملية بسترة الحليب والعصائر. لهذا تعتمد فكرة المبادل الحراري الأساسية على مرور وسطين سائل وسائل أو سائل وغاز أو غاز وغاز داخل أنابيب أو ألواح بحيث يكون كل وسط بمعزلٍ عن الآخر، وتتم مبادلة الحرارة من خلال جدار المبادل الحرارى وبما لا يسمح باختلاط الوسطين. وللمبادلات الحرارية طرق مختلفة منها المتوازي والمعكوس ولكل واحدٍ غرضٍ للوصولِ إلى عملية التبادل الحراري.



Dr. Thamer Albaji

التعقيم Sterilization

وهي عادة تتم عند درجة حرارة 100 ^{5}م او اكثر لانتاج منتوج مقبول من الناحية الميكروبولوجية . وهذا لايعني عدم الوجود التام للكائنات الحية الدقيقة. التعبير الافضل هو التعقيم التجاري Commercial sterilization الذي يمكن ان يعرف بانه التصنيع الحراري المصمم لقتل تقريبا كل الكائنات الدقيقة والجراثيم والتي ان وجدت تكون قادرة على النمو في الغذاء تحت ظروف تخزين محددة. اي ان عمليات التعقيم التي يوصى بها غير مصممة لقتل كل الكائنات في الاغذية المعلبة.

انواع اجهزة التعقيم

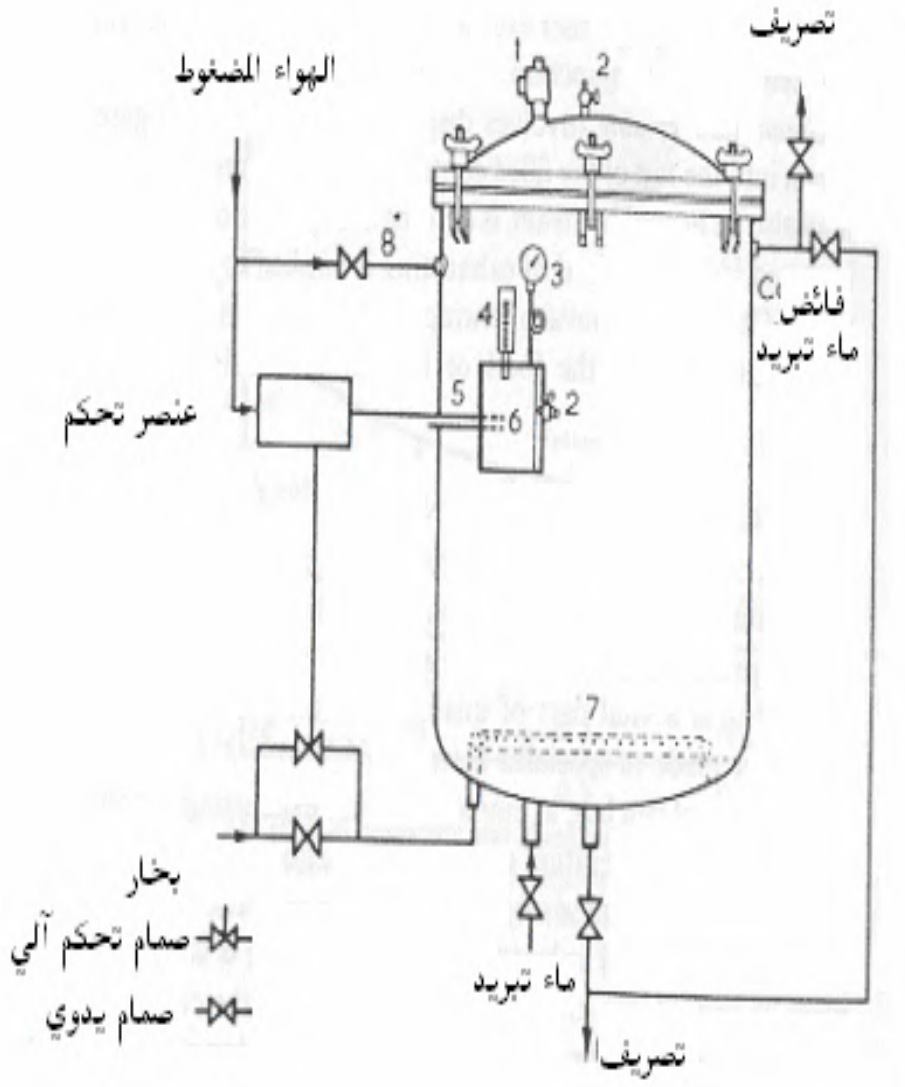
يتم تعقيم المواد الغذائية في انواع مختلفة من المعقمات وهي يمكن ان تكون :

1. المعقم الراسي على دفعات
2. المعقم الافقي على دفعات
3. المعقم الدوار
4. المعقم المستمر

المعقم الراسي على دفعات

الشكل التالي يوضح صورة للمعقم الراسي :

Dr. Tamer Alhaji



مخطط تفصيلي لمعقم راسي ساكن

1. صمام امان 2. اقفال للمحافظة على خروج الهواء من المعقم اثناء التصنيع 3. مقياس الضغط 4. ثيرموميتر 5. عنصر الاحساس لجهاز التحكم 6. الصندوق الحراري 7. موزع البخار 8. مدخل الهواء المضغوط للتبريد.

يدخل البخار الى المعقم من خلال موزع للبخار. يستخدم الهواء المضغوط اثناء التبريد لمعادلة ضغط خارج الاوعية مع الضغط داخلها وخاصة مع الاوعية مثل:

1. العلب الكبيرة 2. الزجاج 3. العبوات المرنة

تقوم صمامات تصريف الهواء بتصريف الهواء اثناء دورة تصريف الهواء وتقفل بعد ذلك. تقوم صمامات تصريف وعاء التعقيم باخراج ماء التبريد والبخار المكثف.

خطوات تشغيل معقم الدفعات

1. يتم تحضير مادة غذائية مثلا بازلاء او فاصوليا في محلول ملحي في علب مناسبة ثم يتم قفل العلب بماكنة القفل المزدوج.
2. توضع العلب في السلات وتدخل السلات الى داخل المعقم.
3. يتم قفل غطاء المعقم باحكام
4. يتم تصريف الهواء من المعقم. اذا وجد الهواء داخل المعقم فان درجة الحرارة داخل المعقم عند ضغط معين ستكون اقل مما يمكن الحصول عليه لو كان البخار غير مخلوط بالهواء (درجة الحرارة التي تناظر الضغط من جداول البخار). ووجود الهواء يسبب مشاكل منها:
   أ- وجود مناطق باردة في المعقم.
   ب- خليط الهواء يكون انتقال الحرارة فيه ضعيف.
   ج- يقلل الهواء نفاذ الحرارة الى العلب ويمكن ان يسارع في التآكل الخارجي.
5. عندما يكمل التصريف يتم قفل صمام التصريف ويبدأ الضغط في الارتفاع. وعند الوصول الى درجة حرارة التعقيم يجب ان تتوافق حرارة مقياس الضغط مع درجة الحرارة.
6. يتم عادة تعقيم الاغذية عالية الحموضة (pH اقل من 4.5) عند ضغوط منخفضة حوالي 34 kPa . اما الاغذية منخفضة الحموضة (pH اكثر من 4.5) فيتم تعقيمها عند ضغوط 73-103 kPa .
7. يعرف الزمن من لحظة فتح البخار وحتى الوصول الى درجة حرارة التعقيم بزمن الوصول. والزمن من لحظة الوصول الى درجة حرارة التعقيم الى لحظة بداية التبريد يعرف بزمن المعاملة ويسمى ايضا زمن المشغّل.
8. عند بداية التبريد يتم فتح صمام الهواء المضغوط لمعادلة انخفاض الضغط نتيجة تكثف البخار داخل المعقم.

المعقم الافقي على دفعات

Dr. Thamer Alhaj

العملية التي تدار بها تشغيل المعقم الافقي هي نفسها للمعقم الراسي ولكن تعبأة المعقم الافقي بالسلات الحاملة للعلب تكون اسهل من مما هو عليه في المعقم الراسي حيث يتم حمل السلات على عربات خاصة وادخالها الى المعقم الافقي بسهولة بعكس مما في المعقم الراسي حيث يجب رفع السلات وادخالها في المعقم.

المعقم الدوار

يستخدم المعقم الدوار الدوران المحوري لتحريك حاويات العلب (السلات) . تحريك السلات داخ المعقم يزيد من فعالية التسخين ويقلل من المدة الزمنية للتعقيم وذلك بزيادة الانتقال الحراري الى المادة الغذائية المراد تعقيمها.

المعقم المستمر

تحتوي المعقمات المستمرة على ثلاث وحدات مكملة الواحدة للاخرى وهي وحدة التسخين الابتدائي ووحدة التعقيم ووحدة التبريد.

Dr Thamer Ahaji

اجهزة التبريد والتجميد
Refrigeration and freezing equipments

عادة يحدث تدهور وفساد المواد الغذائية نتيجة لسلسلة من التغيرات الكيميائية المعقدة والتي تبدأ مباشرة بعد حصاد المادة الغذائية (الزراعية) او ذبح الحيوان او الحليب وتتم هذه التغيرات بواسطة وسائط داخلية وخارجية.

خفض درجة حرارة المادة تثبط نشاط وسائط الفساد (التبريد والتجميد). فعندما يراد حفظ المنتج في حالته الاصلية لفترات طويلة نسبيا يجمد ويحفظ عند درجة – 18 ^{5}م او اقل وعندما يكون المطلوب هو الخزن لفترات قصيرة يخزن عند درجة حرارة اعلى من درجة تجمد المادة الغذائية.

التبريد refrigeration

في اي عملية تبريد يسمى الجسم المستخدم لامتصاص الحرارة بوسيط التبريد (عامل التبريد). يمكن انجاز عملية التبريد بوسائط تبريد صلبة او سائلة. وسائط التبريد الصلبة هي الثلج وثاني اوكسيد الكربون الصلب (الثلج الجاف), حيث ينصهر الثلج عند درجة صفر^{5}م بينما يتسامى CO_2 الصلب مباشرة عند درجة – 78.5 ^{5}م. اما وسائط التبريد السائلة والتي تستخدم في نظام التبريد الميكانيكي الحديث فاهمها ثنائي كلور- ثنائي فلور- الميثيين Dichloro-difloro-methane وهو واحد من مجموعة سوائل التبريد ادخلت في الصناعة تحت الاسم التجاري (الفريون).

يمكن تقسيم طرق التبريد الى طريقتين اساسيتين:

- التبريد الطبيعي (وسيط التبريد الثلج)
- التبريد الميكانيكي (وسيط التبريد هو احد وسائط التبريد السائلة)

التبريد الطبيعي

ان لاستخدام الثلج كوسيط للتبريد عيوب ومنها:

1. عدم امكانية الحصول على درجات حرارة اقل من الصفر المئوي.
2. الحاجة الى الامداد المستمر للثلج.
3. مشكلة التخلص من الماء الناتج من انصهار الثلج.
4. عدم امكانية التحكم بمعدل التبريد حيث يكون من الصعب الاحتفاظ بدرجة حرارة التبريد اللازمة.

وعلى الرغم من العيوب المذكورة اعلاه فانه يمكن استعماله في بعض الحالات مثل في تبريد الخضراوات الطازجة والسمك حتى تحتفظ بمظهرها وتفادي التجفيف الذي يحدث اثناء التبريد الميكانيكي.

التبريد الميكانيكي Mechanical Refrigeration

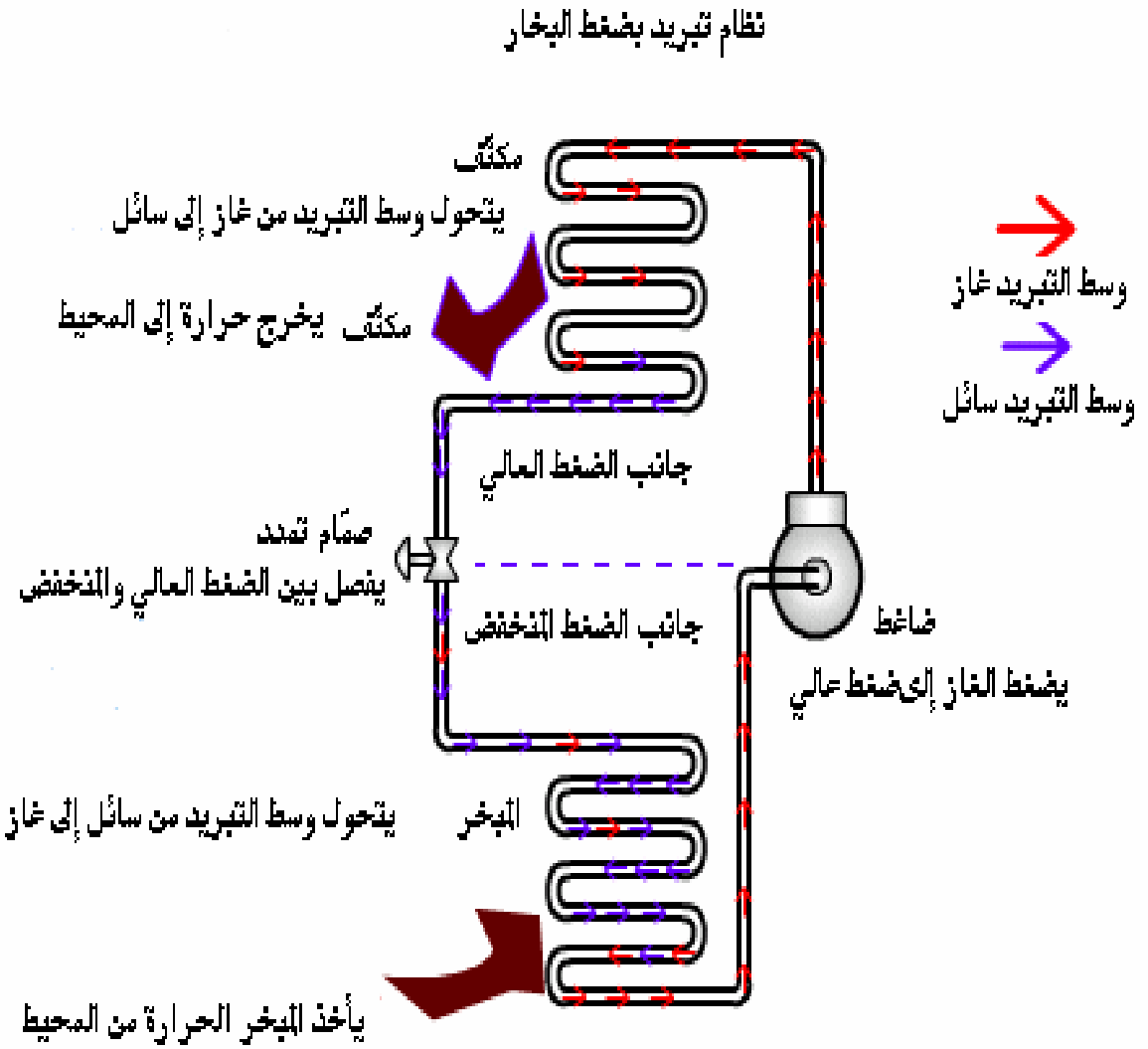
سوائل التبريد تستخدم في نظام التبريد الميكانيكي لامتصاص كميات كبيرة من الطاقة الحرارية اثناء تبخرها مما يجعلها اكثر ملائمة كوسيط تبريد من الثلج. اهم مزايا نظام التبريد الميكانيكي هي:

1. التحكم في عملية تبخير وسيط التبريد.
2. تنظيم درجة حرارة تبخير وسيط التبريد وذلك بالتحكم في ضغطه.
3. التحكم في معدل مرور وسيط التبريد والذي بدوره يمكن التحكم في معدل التبريد.

Dr. Thamer Alhaji

4. يمكن جمع بخار وسيط التبريد وتكثيفه لاستعماله في دورات متتالية لوسيط التبريد في منظومة التبريد الميكانيكي.

يوضح الشكل التالي مخطط منظومة التبريد الميكانيكي:



يمتص وسيط التبريد السائل الحرارة في المبخر Evaporator من المادة الغذائية والتي تتجمد نتيجة تبرد نتيجة لذلك. وفي نفس الوقت تؤدي الحرارة التي يمتصها وسيط التبريد الى تبخره ويتم ضخ البخار المتكون من البخر بواسطة الضاغط Compressor والذي يضغط البخار ويرسله الى المكثف Condenser حيث يتم تكثيفه مرة اخرى الى سائل. يتم ضخ السائل حول الدائرة الى صمام التمدد Expansion valve حيث يتمدد السائل من ضغط عالي الى ضغط منخفض ثم يرسل مرة اخرى الى المبخر ليكمل الدورة.

تنقسم دورة التبريد الميكانيكي الى جزئين تبعا لضغط وسيط التبريد وهما:

1. جزء الضغط المنخفض ويقع من صمام التمدد والمبخر وحتى خط سحب الضاغط . الضغط هنا يكون مناسبا لتبخير وسيط التبريد.
2. جزء الضغط المرتفع ويقع من خط التصريف للضاغط والمكثف وحتى صمام التمدد. يكون الضغط في هذا الجانب مناسبا لتكثيف وسيط التبريد.

اي ان خط التقسيم بين جانبي الضغط المرتفع والضغط المنخفض هو بين صمام التمدد والضاغط.

سعة وحدة التبريد Refrigeration capacity

هو معدل امتصاص الطاقة الحرارية من حيز التبريد (كيلو سعرة/ساعة) او ما يكافئها لانصهار الثلج, حيث كان استخدام الثلج شائعا في عملية التبريد قبل استخدام التبريد الميكانيكي.
سعة وحدة التبريد تقاس عادة بالطن التبريدي وهو كمية الطاقة الحرارية اللازمة لصهر طن واحد من الثلج في 24 ساعة (يوم).

1 طن تبريد = وزن الثلج x الحرارة الكامنة لانصهار الثلج
= 1 x 1000 x 80 = 80000 كيلو سعرة

العوامل التي تؤثر على وحدة التبريد الميكانيكي

1. معدل جريان وسيط التبريد.
2. الطاقة الحرارية التي يمتصها واحد كغم وسيط تبريد من حيز التبريد (ويدعى التاثير التبريدي).

حسابات حمل التبريد

حمل التبريد هو ما ينتج من مجموع الطاقة الحرارية التي تنبعث من عدة مصادر مختلفة والتي تزيد الحمل على وحدات التبريد. حمل التبريد يشمل الاتي:

1. الطاقة الحرارية التي تتسرب الى داخل الحيز المبرد من الخارج بواسطة التوصيل عبر الجدران العازلة.
2. الطاقة الحرارية التي تدخل حيز التبريد بواسطة الاشعاع المباشر خلال الزجاج وما شابه ذلك.
3. الطاقة الحرارية التي تدخل مع الهواء الدافيء عن طريق الابواب او النوافذ اثناء فتحها لاي سبب.
4. الطاقة الحرارية التي تسحب من المنتج لتوصيل درجة الحرارة المطلوبة.
5. الطاقة الحرارية التي تاتي من المحركات والمصابيح والمعدات الموجودة داخل حيز التبريد.

(الحمل الكلي يساوي مجموع هذه الاحمال مع زيادة 5 – 10 % كعامل امان).

معامل الاداء Coefficient of performance

انه النسبة بين الطاقة الحرارية الممتصة من حيز التبريد (التاثير التبريدي) الى الطاقة الحرارية المكافئة لطاقة المكبس (حرارة الانضغاط). وهي تساوي:

$$\text{معامل الاداء} = \frac{\text{طن تبريد} \times (60 \times 24/80000) \times 427}{\text{قدرة الضاغط (حصان)} \times \text{كفائته الميكانيكية} \times 60 \times 75}$$

علما ان 1 كيلو سعرة = 427 نيوتن.متر

Dr. Thamer Al Hajj

مثال 1 :
احسب سعة وحدة التبريد بالطن التبريدي اللازمة لتبريد عصير بمعدل 100 كغم / ساعة من 28 ^{5}م الى 8 ^{5}م. ثم احسب قدرة المكبس اللازمة لتشغيل الوحدة اذا كانت كفائته الميكانيكية 75 % ومعامل الاداء يساوي 2. علما ان الحرارة النوعية للعصير 0.8 كيلو سعرة/كغم.^{5}م.

الحل:
كمية الحرارة المراد ازالتها هي فقط اللازم ازالتهت من العصير حتى تبريده.

كمية الحرارة اللازم ازالتها من العصير = الوزن x الحرارة النوعية للعصير x فرق درجات الحرارة
= 100 x 0.8 x (28–8) = 1600 كيلو سعرة /ساعة
الحمل الحراري الكلي = 1.1 x 1600 = 1760 كيلو سعرة / ساعة

$$\text{سعة وحدة التبريد} = \frac{24 \times 1760}{80000} = 0.528 \text{ طـت (T.R)}$$

$$\text{م} = \frac{427 \times (60 \times 24/80000 \times \text{طـت})}{0.75 \times 60 \times 75 \times \text{ق م}}$$

$$2 = \frac{427 \times (60 \times 24/80000 \times 0.528)}{0.75 \times 60 \times 75 \times \text{ق م}}$$

ق م = 7.4 حصان

مثال 2 :
حجرة تبريد معدة لحفظ 10 طن من محصول زراعي عند درجة حرارة 5 ^{5}م, فاذا علم ان درجة حرارتها الابتدائية 27 ^{5}م والحرارة النوعية 0.6 كيلو سعرة /كغم.^{5}م. كمية الحرارة الناتجة من التنفس 1000 كيلو سعرة / طن . يوم والتبريد يتم في 6 ساعات. مجموع الاحمال الحرارية الاخرى تساوي 50 % من الحمل الحراري نتيجة تبريد المادة والكفاءة الميكانيكية للمكبس 80 %. أحسب:

1. سعة وحدة التبريد بالطن التبريدي (طـ . ت)
2. معامل الاداء اذا كانت قدرة المكبس 15 حصان

الحل:

الحمل الحراري نتيجة تبريد المادة = 10 x 1000 x 0.6 x (27–5)
= 132000 كيلو سعرة/6 ساعات
= 528000 كيلو سعرة/24 ساعة
الحمل الحراري نتيجة تنفس المادة = 10 x 1000 = 10000 كيلو سعرة/24 ساعة
مجموع الاحمال الحرارية الاخرى = 50 % الحمل الحراري نتيجة تبريد المادة
= 0.5 x 528000 = 264000 كيلو سعرة/24 ساعة

Dr.Thamer Alhajri

الحمل الحراري الكلي = 1.1 (528000 + 10000 + 264000) = 882200 كيلو سعرة/24 ساعة

$$\text{سعة وحدة التبريد} = \frac{882200}{80000} = \text{تقريبا } 11 \text{ ط . ت}$$

التجميد Freezing

التجميد هو خفض درجة حرارة المادة كما في التبريد ولكن هنا يجب ان تصل درجة الحرارة الى درجة حرارة تجمد المحلول المائي في المادة الغذائية تحت ضغط معين حتى يتحول معظم الماء الموجود بالمادة الى الحالة الصلبة ويتم ذلك بسحب كل الحرارة المحسوسة الموجودة بالمادة وكذلك سحب الحرارة الكامنة حتى يتحول الماء الى ثلج.

انواع اجهزة التجميد

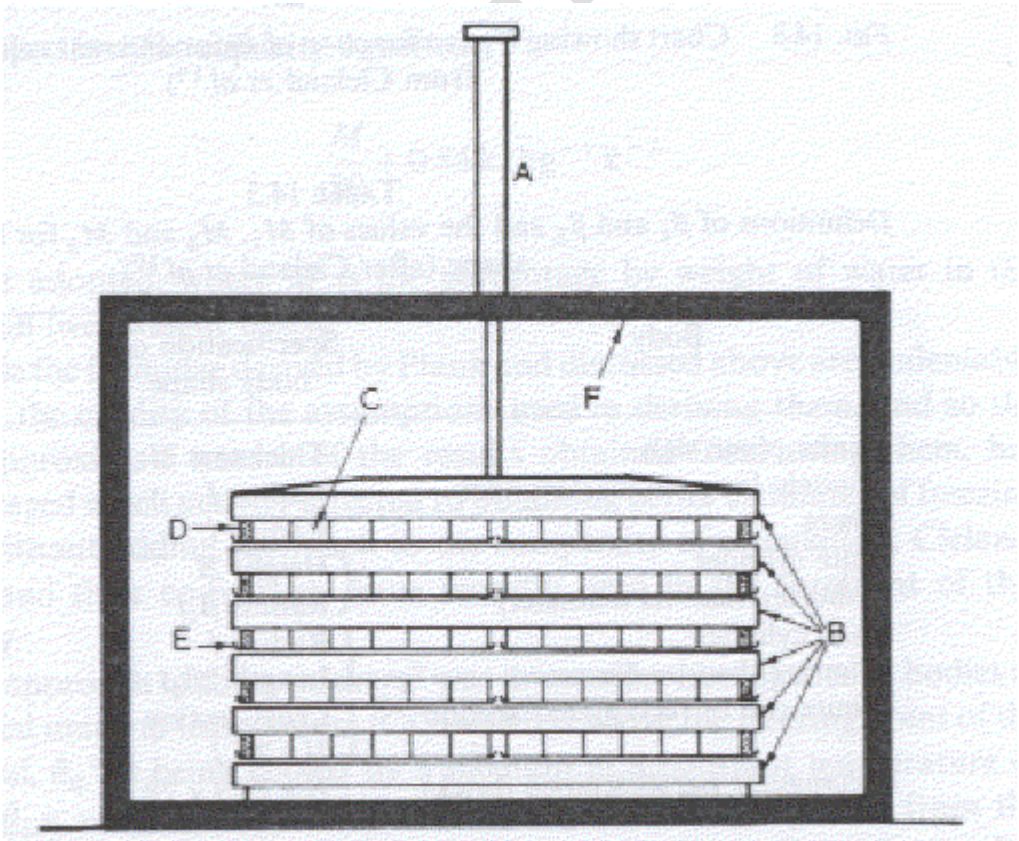
يتم التجميد في انظمة التجميد باستخدام احدى الطريقتين وهما التلامس المباشر مع وسيط التبريد او التلامس غير المباشر مع وسيط التبريد.

1. نظم التلامس غير المباشر Indirect contact systems

تشمل هذه الطريقة تماس الغذاء او العبوة التي تحتوي على الغذاء مع سطح مبرد بواسطة وسيط التبريد او بواسطة مائع (مثلا محلول ملحي) تم تبريده في مبادل حراري بالتماس غير المباشر مع وسيط التبريد. تستخدم هذه الطريقة لتجميد قطع الاغذية الصلبة المسطحة نسبيا او الاغلفة التي تحتوي ام على اغذية صلبة او سائلة.

أ- المجمدات ذات الالواح Plate freezer

تعد المجمدات ذات الالواح ابسط نظم التجميد غير المباشر . يتجمد المنتج عندما يحتجز بين لوحي التجميد. يمكن تعزيز انتقال الحرارة باستخدام ضغط على الالواح للتأكد من التلامس الجيد مع المنتج. تستغرق ازمان التجميد من ساعة الى عدة ساعات.



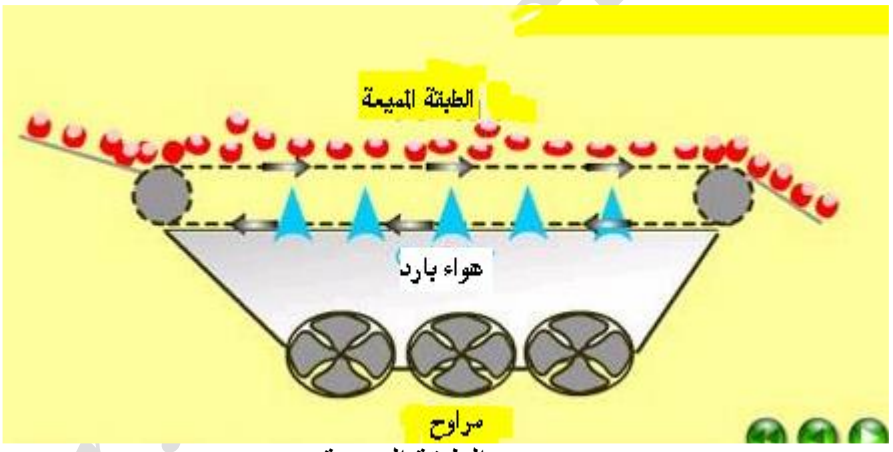
رسم توضيحي لنظام التجميد اللوحي

ب. المجمدات بالدفع الهوائي Air blast freezers

في حالات عديدة يمكن الا يناسب مقاس المنتج او شكله نظام التجميد اللوحي. وفي هذه الحالات تكون مجمدات الدفع الهوائي هي البديل الافضل. يمكن ان تكون مجمدات الدفع الهوائي ذات تصميم بسيط كما هو الحال في الحجرات المبردة. وفي هذه الحالة يوضع المنتج في الغرفة ويسمح للهواء ذي درجة الحرارة المنخفضة بالدوران حول المنتج لمدة التجميد المطلوبة. عيب هذه الطريقة ان زمن التجميد سيكون طويلا لعدم المقدرة على انجاز تلامس قوي بين المنتج والهواء البارد. اغلب مجمدات الدفع الهوائي من النوع المستمر. يحمل المنتج في هذه الاجهزة على جهاز النقل الذي يتحرك خلال تيار هواء ذي سرعة عالية. يتم التحكم في زمن المكوث او زمن التجميد بواسطة طول جهاز النقل وسرعته. تعتمد سرعة التجميد كثيرا على سرعة الهواء الذي يتحرك عبر الغذاء. العيب الاساسي لهذا النوع من الاجهزة هو ان تيار الهواء الذي يتحرك بسرعة لا يسهل فقط انتقال الحرارة ولكنه يعمل على انتقال الكتلة ونتيجة لهذا يزال جزء من الماء من الغذاء وهذا قد يؤدي الى تجفيف غير مطلوب للمنتج ولكن يمكن تفاديه بتجميد الاغذية بعد تغليفها.

جـ . مجمدة الطبقة المميعة (المسالة) Fluidized bed freezer

وهو تعديل لنظام التجميد بتيار الهواء. حيث يمر الهواء خلال فتحات ويعلق جسيمات الغذاء وتتجمد اثناء حملها في تيار الهواء خلال منطقة التجميد. يتميز هذا النوع بالتجميد السريع للمنتج وذلك نتيجة لتعلق القطع المفردة من الغذاء في الهواء البارد مما يضمن انتقال جيد للحرارة وتجميد سريع ومتناسق ويمكن بوسطته تحقيق عملية مستمرة للتجميد دون الحاجة لاجهزة ميكانيكية لتحريك المنتج خلال منطقة التجميد. ولكنه يناسب فقط المواد التي يمكن تمييع جزيئاتها باستخدام سرعات معقولة لتيار الهواء.



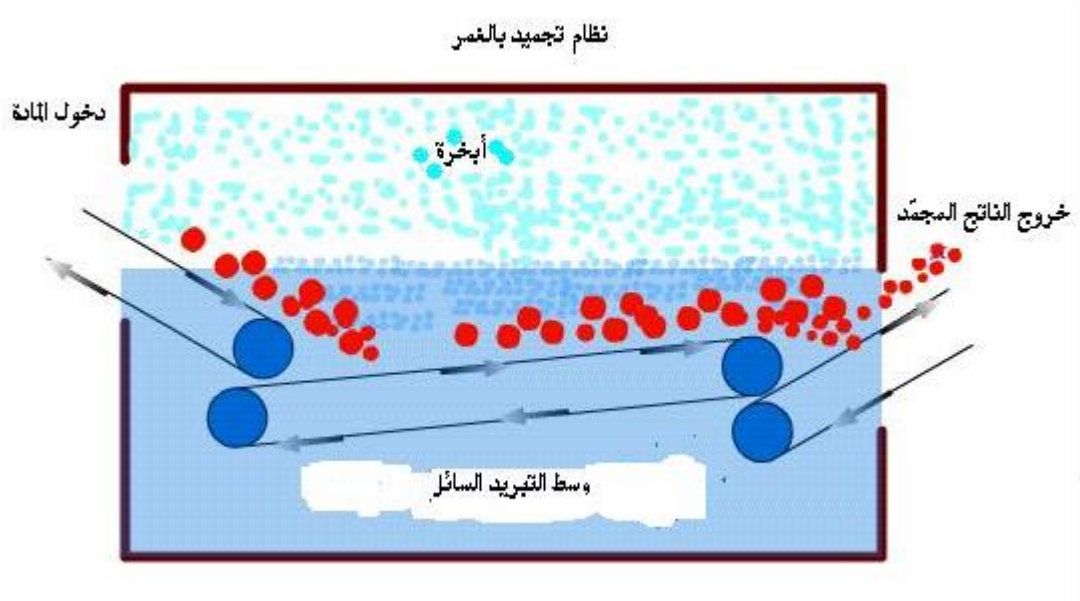
مجمدة الطبقة المميعة

2. نظم التلامس المباشر Direct contact systems

مجمدات الغمر Immersion freezers

يمكن ان يستخدم الغمر المباشر مع المنتج المفكك او للعبوة التي تحتوي على المنتج. وسائط التبريد المستعملة هنا هي النتروجين السائل أو اوكسيد النيتروز.

Dr. Nader Alrajeh



جهاز تجميد بالغمر

مزايا التجميد بالغمر:

1. التماس الجيد ومقاومة منخفضة لانتقال الحرارة
2. هناك ابعاد لاوكسجين الهواء الجوي وبهذا ابعاد لتغيرات الاكسدة اثناء التجميد

احد اهم عيوب نظام التجميد بالغمر هو ارتفاع تكلفة وسيط التجميد وذلك لان وسيط التجميد يتحول من سائل الى بخار اثناء عملية تجميد المنتج ويكون من الصعب تجميع الابخرة التي تغادر غرفة التجميد.

Dr. Thamer Ali

اجهزة القياس
Measuring devices

تعد معرفة اجهزة القياس من الامور المهمه التي تجب معرفتها اثناء تصنيع المنتجات الغذائية. وفي هذه الوحدة سنلقي الضوء على اجهزة قياس الضغط واجهزة قياس درجة الحرارة واجهزة قياس المستوى.

اجهزة قياس الضغط pressure measuring devices

تعريفات الضغط

اذا كان هناك جسم تحت اتزان ساكن وتقع عليه قوة ضغط فان شدة هذه القوة والتي يعبر عنها كقوة F على وحدة المساحة A تعرف بالضغط P. وهو عامودي على السطح الذي يعمل عليه. ويتساوى الضغط على أي نقطة على هذا السطح.

حيث $P = F/A$

ويعرف الضغط الجوي atmospheric pressure بانه ضغط عمود هواء الغلاف الجوي على وحدة المساحة. وهو يتغير من مكان الى اخر حسب ارتفاع المكان وانخفاضه عن سطح البحر. الضغط الجوي القياسي هو الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر ويعادل 101.3 kPa, 1.013 bar, 14.70 psi, 760 mm Hg .

اما ضغط المقياس gauge pressure فهو الضغط البين بواسطة اجهزة قياس الضغط المختلفة حيث تكون قراءة الضغط الجوي في مكان مقياس الضغط تعادل صفرا.

وبهذا يكون الضغط المطلق absolute pressure مساويا لضغط المقياس زائدا الضغط الجوي. اذا كان هناك تفريغ (خلخلة) vacuum فان الضغط المطلق يعادل الضغط الجوي ناقصا التفريغ.

اجهزة قياس الضغط ضرورية ليس من ناحية الامن الصناعي فقط ولكن لمعرفة مقدر الطاقة المستخدمة ومعرفة درجات الغليان او الانصهار.

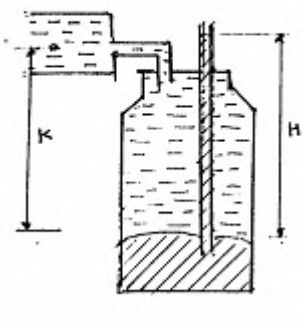
اجهزة قياس الضغط تنقسم الى ثلاثة اقسام:

أ. اجهزة قياس تعتمد على قياس عمود السائل.
ب. اجهزة تعتمد على قياس الانحراف في جسم جزء مرن
ت. اجهزة قياس كهربائية.

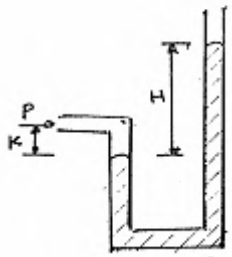
اجهزة قياس تعتمد على قياس عمود السائل (المانومتر)

وهي التي يتم فيها تعادل للضغط المراد قياسه بواسطة ضغط عمود السائل. اذا كانت كثافة عمود السائل معلومة فان ارتفاع عمود السائل هو مقياس لذلك الضغط. ارتفاع عمود السائل يمكن ان يعبر بوحدات طول او يعدل مباشرة بوحدات ضغط. تعرف الاجهزة بالمانومتر manometer. وله عدة اشكال منها ماهو مبين في الاشكال الاتية:

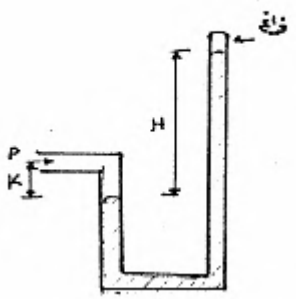
Dr. Thamer Alhaji



المقياس المفتوح
open gauge



مفتوح الطرفين شكل
(open U-tube) U



مانوميتر مقفول على
شكل (closed U-tube) U

حيث ارتفاع السائل في انبوبة عمودية تتصل باي جهاز يحتوي على سائل هي مقياس مباشر للضغط عند نقطة الاتصال هذه. يستخدم هذا النوع كثيرا في قياس مستوى السائل في الصهاريج واوعية التخزين.
السائل المستخدم في هذه الاجهزة يمكن ان يكون أي سائل لا يذوب مع السائل المراد قياس ضغطه. يستخدم في حالت فرق الضغط العالي سائل ذو كثافة عالية مثل الزئبق وفي حالات فرق الضغط المنخفض يستخدم سائل ذو كثافة منخفضة مثل الكحول او الماء او رابع كلوريد الكاربون.
في جميع الاشكال السابقة اذا كان الزئبق هو المستخدم فان:-

$$P_A = (H_{Hg}\,\rho_{Hg} - K\,\rho_A)\,g$$

حيث:-

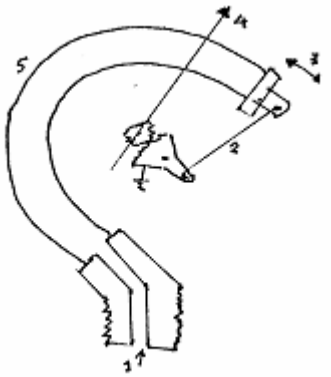
P_A = ضغط السائل المراد قياسه
ρ_{Hg} = كثافة الزئبق
H_{Hg} = ارتفاع عمود الزئبق
ρ_A = كثافة السائل
K = المسافة بين ارتفاع الزئبق وسطح التقاء السائل مع الزئبق
g = الجاذبية الارضية

<u>اجهزة قياس الانحراف في جسم جزء مرن</u>
وهي التي يقوم فيها الضغط المراد قياسه بتحريك الجزء المرن لمادة (عادة معدن) في مداها المرن. يتناسب مدى الانحراف طرديا مع الضغط. وهي تنقم الى ثلاثة اقسام:-

1. انابيب بوردون Bourdon tubes

وهي التي تستخدم كثيرا في الصناعة وخاصة الانابيب المرنه على شكل حرف C :

Dr. Thamer Alhaj

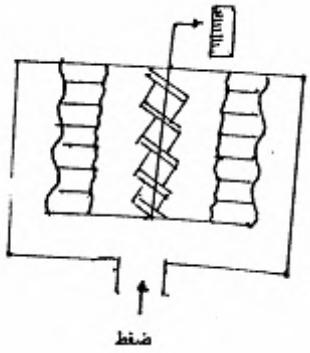


1.ضغط مراد قياسه 2. موصل 3. حركة 4. مؤشر 5. انبوب بوردون

يجب ان لا تتعرض انابيب بوردون لدرجات حرارة عالية اكثر من ^{o}C 65 الا اذا صممت خصيصا لهذا الغرض. واذا استخدمت لقياس ضغط مائع ساخن يجب ان يكون هناك عازل مائي liquid seal لعزل المائع عن انبوب بوردون.

a. الاجهزة ذات الاسطح المرنة

وهي تحتوي على اسطوانة مرنة في اتجاه محورها الرئيس وبها انحناءات عميقة او يحد من حركتها نابض. يمكن ان يضغط الضغط المراد قياسه على الجهاز من الخارج او من الداخل .



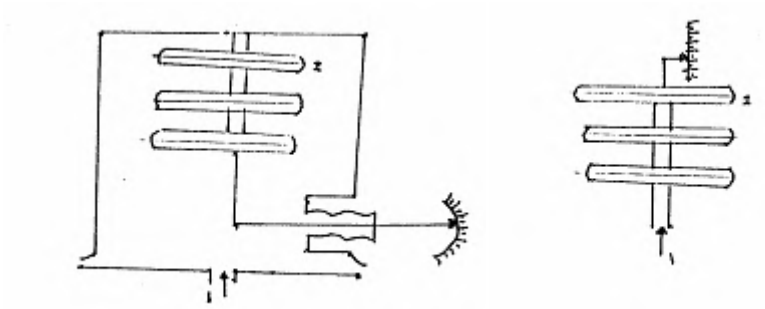
اسطوانة مرنة بها نابض

b. الاجهزة ذات الحجاب المرن

وهي نوعان :-
أ. تلك التي تعتمد على خاصية مرونة الحجاب.
ب. تلك التي يحد من حركتها نابض او أي عنصر اخر.

النوع الاول يحتوي على كبسولة واحدة او عدة كبسولات كل منها يحتوي على حجابين متلاصقين. مدى الانحراف مع الضغط لكبسولة واحدة صغيرة ولهذا توصل عدة كبسولات مع بعضها لزيادة الانحراف لقياس الضغط المطلق او لقياس ضغط المقياس.

Dr. Tr. el Alaji



جهاز قياس الضغط المطلق جهاز قياس ضغط المقياس

1.ضغط 2. حجاب مفرغ

يصنع الحجاب في هذه الحالة من المطاط او الجلد. حركة الحجاب بواسطة نابض يحدد الانحراف لكل ضغط. يستخدم هذا النوع في قياسات الضغط المنخفضة, التفريغ او قياسات فرق الضغط.

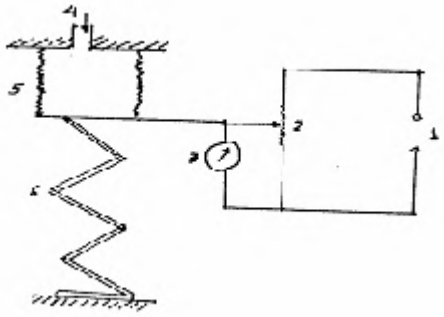
ج . اجهزة قياس كهربائية

1. مقياس ناقل الاجهاد strain gauge pressure transducer

اذا شد سلك مرن او أي موصل كهربائي فان طوله سيزداد وقطره سيقل. تؤدي هذه التغيرات الى زيادة مقاومة الموصل الكهربائي. الاجهزة التي تستخدم هذه الفكرة لقياس الانحرافات الصغيرة نتيجة الشد الناتج من الضغط تعرف بمقياس الاجهاد strain gauge. اجهزة قياس الضغط التي تستخدم مقياس الاجهاد متوفرة في اشكال مختلفة.

2. مقياس ناقل المقاومة resistive pressure transducer

يقاس الضغط الناتج في هذه الاجهزة بواسطة عنصر تتغير مقاومته الكهربائية بتغير الضغط. تستخدم معظم هذه الاجهزة نقطة اتصال متحركة عبر مقاومة متصله. اذا كانت مقطع مساحة هذه المقاومة ثابتة فان التغير في المقاومة يتناسب مع حركة نقطة الاتصال ويؤدي الى تغير في قراءة مقياس الفولت. هذه القراءة هي مقياس جيد للضغط.



مقياس ناقل المقاومة

1. مصدر كهربائي 2. مقاومة 3. مقياس فولت 4. ضغط 5. اسطوانة مرنة 6. نابض

اجهزة قياس درجة الحرارة temperature measuring devices

درجة الحرارة

يعتبر مفهوم درجة الحرارة مفهوما طبيعيا للانسان لانها تمثل احدى حواسه الطبيعية. ولكن الجلد البشري غير دقيق بالقدر الذي يكفي لاستخدامه كمقياس للحرارة في الاغراض العملية. ومن عوائق الجلد البشري انه لابد من انتقال كمية كافية من الطاقة الحرارية اليه قبل ان يتم الاحساس بها. فمثلا لا يمكن

Dr Ghanem Athaj

الاحساس بسخونة الشرارة من الالعاب النارية على الرغم من درجة حرارتها العالية جدا وذلك لان كتلتها الصغيرة تعني انها تحتوي على كمية قليلة من الحرارة. هذا المثال يوضح الفرق بين درجة الحرارة وكمية الحرارة.

اجهزة القياس

يعتبر العالم جاليلو اول من قام بعمل اجهزة لتبيان درجة الحرارة وكان ذلك قبل بداية عام 1600 وبحلول عام 1654 كان كران دوق توسكانب (فرديناند الثاني) قد اخترع الثرموميتر المالوف ذو الانبوبة الزجاجية المحكمة الاغلاق والتي تتصل من اسفل بمستودع يحتوي على سائل يتكون اساسا من خليط من الماء والكحول. ولم ينتشر الثيرموميترات الزئبقية الى بحلول القرن الثامن عشر.

الصفر المطلق هو درجة حرارة الجسم الذي لا يحتوي على أي طاقة حرارية. أي التي تتوقف فيها حركة جزيئات الجسم. ولا يمكن بالفعل الوصول الى الصفر المطلق لدرجة الحرارة وفقا للقانون الثالث للديناميكا الحرارية.

العلاقة بين مقياس السليزي (C) ومقياس فهرنهايت (F) هي:-

$$C= (F- 32)/1.8$$

ودرجة الحرارة المطلقة كلفن (K) هي:-

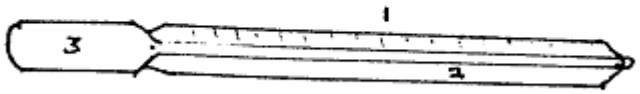
$$K= C + 273$$

وتستعمل درجة الحرارة المطلقة خاصة في حسابات انتقال الحرارة بالاشعاع وفي قياس حجم الغازات المثالية.

طرق قياس درجة الحرارة

أ. القياس بالتمدد measurement by expansion

يستخدم التمدد بالغازات او السوائل كاساس لقياس درجة الحرارة. الثرموميتر ربما يحتوي على كحول او زئبق او سائل اخر يتمدد عند التسخين وينكمش عند التبريد. يمكن ان يكون هذا التغيير في الحجم مقياسا للتغير في درجة الحرارة. ومثال على ذلك الثرموميتر الزجاجي المعبأ بالزئبق.



الثرموميتر الزجاجي
1. تدريج 2. انبوبة شعرية 3. مستودع

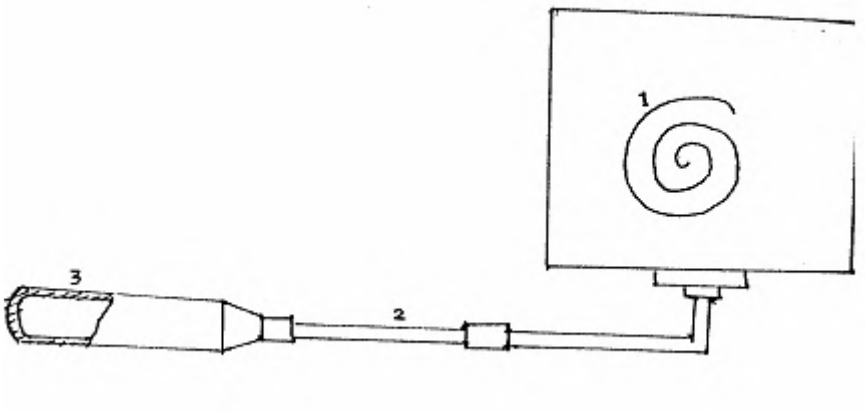
حيث يوجد السائل المستخدم في مستودع زجاجي تخرج منه انبوبة ضيقة هي انبوبة شعرية ذات مقطع منتظم. يفرغ الحيز الموجود فوق السائل في الانبوبة الشعرية من الهواء لمنع تاثير تمدد هذا الهواء على قراءة الثرموميتر. بالرغم من استخدام سائل الزئبق في غالبية الثرموميترات الزجاجية الا انه يفضل احيانا استخدام الكحول بديلا عن الزئبق في بعض اغرض علم الارصاد اذ يمكن بفضل استخدام الكحول قياس درجات حرارة تصل الى ^{o}C 100- (148-) وهي تقل كثيرا عن درجة تجمد الزئبق ^{o}C 37- (-34.6 ^{o}F).

Dr. Hamer Alhaji

على الرغم من ان هذا النوع لايستخدم في اجهزة التحكم اللاإرادي الا انها تستعمل كثيرا في التحكم اليدوي وفي المختبرات.

ب. القياس بالاجهزة المملوءة filled systems

يستخدم في هذه الاجهزة والتي تستخدم عادة في الصناعات الغذائية, انبوبة بوردون والذي يتحرك مع تمدد او انكماش المادة الممتليء بها المستودع والذي يوضع في المادة المراد قياس درجة حرارتها. وقد صممت هذه الاجهزة لتعطي قراءة لدرجة الحرارة بعيدا عن موضع القياس.



انبوبة بوردون لقياس درجة الحرارة
1. انبوبة بوردون 2. انبوبة شعرية 3. مستودع

يحتوي المستودع (عنصر القياس) على غاز او سائل يتغير حجمه, ضغطه او ضغط بخاره بتغير درجة الحرارة. ينقل هذا التغير الى انبوبة بوردون مباشرة او تكبر بواسطة اتصال ميكانيكي (نظام تروس) لتحريك مؤشر على مقياس درجة الحرارة او تحريك قلم على خريطة تسجيل درجة الحرارة.

هذا النوع يستخدم كثيرا في الصناعات الغذائية للاسباب التالية:-

1. بساطة هذه الاجهزة ادت الى سهولة تصنيعها
2. قلة احتمال الكسر حتى مع قليل من العناية
3. بساطتها ادت الى سهولة استعمالها في اجهزة التحكم اللاارادية
4. هذه الاجهزة كاملة لذاتها ولا لاي مصدر للطاقة مثل الهواء المضغوط او الكهرباء.

ج. المزدوجة الحرارية thermocouple

اذا وصل طرفا سلكين لمعدنين مختلفين أ و ب وكانت نقطتا اتصال السلكين في درجة حرارة مختلفة T1 و T2 فان تيارا كهربائيا I ينتج في هذه الدائرة المغلقة في الاتجاه المشار اليه في الشكل التالي اذا كانت T2 اكبر من T1.

توصيل سلكين

Dr. Thamer Alkaji

ويعرف المعدن أ بانه ذو كهربائية موجبة بالنسبة لمعدن ب. قوة الدفع الكهربائي (emf) كما في الشكل هي مقياس لفرق الحرارة بين T2 و T1.

عادة تكون في اجهزة التحكم تكون نقطة الاتصال الباردة في اجهزة القياس. يمكن ان تكون نقطة الاتصال الباردة في حمام ثلج او فرن درجة حرارته ثابتة او عند درجة حرارة الغرفة ولكن يجب تعويضها كهربائيا حتى يمكن اعتبارها ثابتة.

تقاس قوة الدفع الكهربائي بالملي فولت (mV) بواسطة جهاز قياس فرق الجهد (potentiometer) وهي تتناسب مع الفرق بين نقطتي الاتصال في المزدوجة الحرارية.

يمكن قراءة الملي فولت بخرائط او جداول لتحديد درجة الحرارة عند استعمال مواد مختلفة في المزدوجة الحرارية.

تصنع المزدوجات الحرارية بواسطة لحام معدنين مختلفين. توصل المزدوجة الحرارة باسلاك توصيل الى الى جهاز قياس فرق الجهد. اسلاك التوصيل عادة من النحاس. يعتمد استخدام المزدوجة على الاتي:-

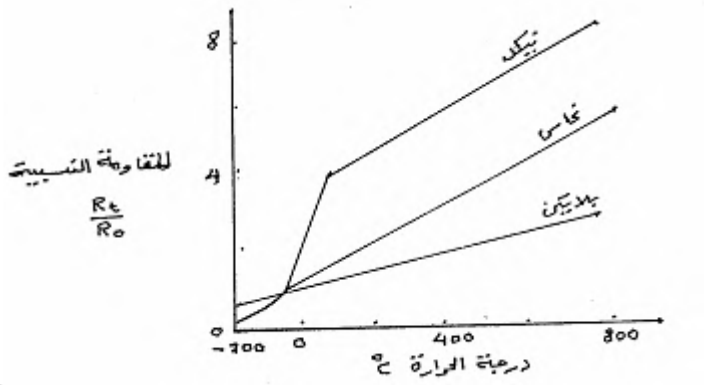
أ. كلما قل قطر السلك كلما ازدادت حساسية المزدوجة لقياس درجة الحرارة

ب. يجب اختيار المعدن على اساس مدى درجة الحرارة التي يراد قياسها. بالنسبة لدراجات الحرارة المنخفضة حتى ^oC 185 (^oF 300-) يستخدم copper-constantan , وبالنسبة لدرجات الحرارة العادية يستخدم iron-constantan, وبالنسبة لدرجات الحرارة حتى ^oC 1260 (^oF 2300) يستخدم Chromel-alumeg , وبالنسبة لدرجات الحرارة حتى ^oC 1482 (^oF 2700) يستخدم Platinum-rhodium.

ث. يجب ان يراعى تآكل المزدوجة الحرارية بتاثير المادة الغذائية.

د. ثيرموميترات المقاومة resistive thermometers

هذا النوع من الاجهزة يعتمد على الخواص الذاتية للمعادن في مقاومتها الكهربائية تتغير مع تغير درجة حرارتها.



تغير المقاومة الكهربائية مع درجة الحرارة لبعض المعادن

R_t= مقاومة المعدن عند درجة حرارة t

R_o= مقاومة المعدن عند درجة حرارة 0 ^oC

بالرغم من ان ثيرموميترات المقاومة تصنع عادة من البلاتين او النحاس او النيكل الا ان بعض المواد شبه الموصلة مثل الثيرموسترات (thermisters) يمكن ان تستخدم.

ثيرموميتر المقاومة هو اساس جهاز لقياس المقاومة بوحدات درجة الحرارة بدلا من وحدات المقاومة. تستخدم عدد من الدوائر الكهربائية لهذا الغرض ولكن اكثرها شيوعا هي Wheatston bridge. يستخدم الثيرموميتر البلاتيني بدقة بالغة لقياس درجة الحرارة في نطاق 260- وحتى 600 ^{0}م وذلك لان زيادة مقاومة البلاتين تفوق في انتظامها نظيراتها من المعادن مجتمعة بازدياد درجة الحرارة. كما ان للبلاتين مقاومة عالية للتاكل. وثمة ميزة اخرى يتفوق بها البلاتين اذ ينفرد بدرجة انصهار عالية. ويتكون هذا النوع من الثيرموميترات من سلك رقيق من البلاتين وقد لف حول هيكل من المايكا (مادة عازلة).

Dr Ameer Atiah

وعند سريان تيار كهربائي خلاله تنشا على الفور مقاومة يمكن قياسها مباشرة او بقياس فرق الجهد الناشيء. وبوساطة صيغة رياضية محددة يمكن الحصول على درجة الحرارة المناظرة المقاومه الناشئة.

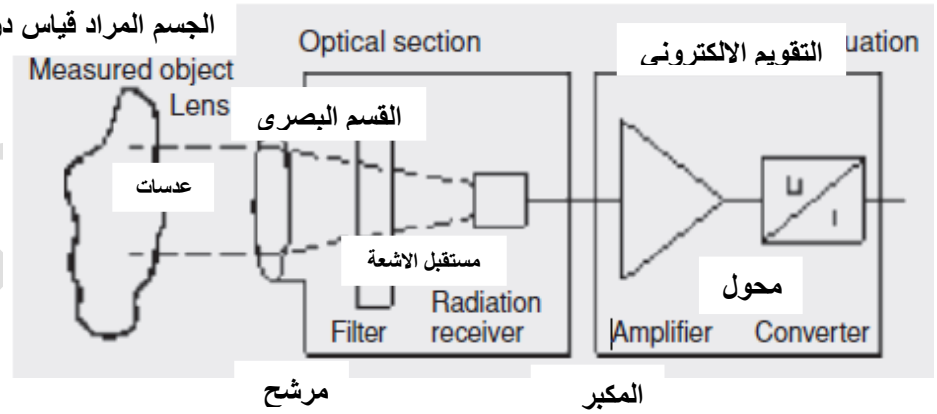
هـ . البيروميترات pyrometer

تستخدم البيروميترات لقياس درجات الحرارة اكثر من 1300 ^{o}C. ويتم قياس درجة حرارة الجسم بواسطة كمية ونوعية الطاقة المشعة من الجسم وهذا ما يعرف بالبيروميتر الاشعاعي radiation pyrometer وهو نوعان:-

1. البيروميترات الضوئية optical pyrometers

وهي الاجهزة التي تقيس لمعان الجسم الساخن مقارنة مع مصدر ذي لمعان قياسي. ويتالف البيروميتر الضوئي من انبوبة طويلة قابلة للانضغاط تشمل على سلك ساخن في البؤرة لكي يتواءم مع صورة الجسم الساخن الذي عادة ما يكون باطن الفرن. وبالتحكم في شدة التيار بحيث لا يبدو اكثر اعتاما من الفرن نفسه ولا اكثر نصوعا منه. وغالبا ما تتم معايرة البيروميترات بطريقة تتيح لجهاز قياس شدة التيار ان يعطي درجة الحرارة المناظرة مباشرة.
2. بيروميترات الاشعاع radiation pyrometers

وهي الاجهزة التي تقيس معدل انبعاث الطاقة على مدى كبير من طول الموجات او التي تقارن بين الاشعاع على موجتين طوليتين مختلفتين.
يجب ان يختار العنصر في هذه الاجهزة والذي يكون باتصال بالاغذية بعناية ويستعمل عادة الصلب الذي لا يصدأ stainless steel والزجاج.
اساس عمل الباروميتر بان الاشعاع الحراري (بمعدل اشعة تحت الحمراء الى الاشعة المرئية) الصادر من الجسم المراد قياس درجة حرارته يتم ترشيحه ضوئيا optically filtered وتركيزه من خلال مستقبل الاشعة radiation receiver. تتولد القوة الكهربائية من التغير في المقاومة او الجهد او التيار الكهربائي الناجم من مستقبل الاشعة بشل مباشر او غير مباشر من خلال زيادة درجة الحرارة, حيث يتم تضخيم هذه الفعالية الكهربائية وتسجيلها.



الابعاد والوحدات
Units and Dimensions

من الضروري فهم الاسس الهندسية للابعاد والوحدات نظرا لكثرة مصطلحات الابعاد وانظمة الوحدات حيث في النهاية يكون هناك المقدرة على التحويل بين الوحدات المختلفة اثناء التشغيل ومرقبة اجهزة التصنيع.

تعريف بعض الوحدات

القوة Force

القوة (F) التي تعمل على جسم م كتلته m (kg) لتجعله يتحرك بعجلة a (m/s^2) هي:

$F = m\ a$

$= m\ (kg)\ a\ (m/s^2)$

$= m\ a\ (N)$

الضغط Pressure

الضغط (P) هو القوة (F) على وحدة المساحة (A):

$P = F/A$

الطاقة Energy

الطاقة (E) هي الشغل الحراري يتم بوسطة قوة (F) لمسافة (L):

$E = F\ L$

$= F\ (N)\ L\ (m)$

$= F\ L\ (Nm)$

$= F\ L\ (J)$

القدرة Power

القدرة (Pw) هي معدل استهلاك الطاقة :

$Pw = E\ (J) / T\ (s) = E/T\ (W)$

وحدات النظام العالمي SI Units

الوحدات الاساسية: وهي الوحدات التي يمكن اشتقاق كل الوحدات الاخرى منها, وهي تشمل:

البعد	الرمز	اسم وحدة القياس	رمز وحدة القياس
الطول	L	متر	m
الكتلة	M	كيلوغرام	kg
الزمن	T	ثانية	s

وحدات مشتقة من الوحدات الاساسية:

البعد	الرمز	اسم وحدة القياس	رمز وحدة القياس
القوة	F	نيوتن	N
الضغط	P	باسكال	Pa
الطاقة	E	جول	J
القدرة	Pw	وات	W

Dr. hamer Alhaji

وحدات قياس اخرى مستعملة:

البعد	الرمز	اسم وحدة القياس	رمز وحدة القياس
الحجم	V	لتر	l
الكتلة	m	طن	ton
الضغط	P	بار	bar

التحويل من وحدات اخرى شائعة الى وحدات النظام العالمي

الطول	1 in = 0.025 m 1 ft = 0.305 m 1 yd = 0.914 m
المساحة	1 in^2 = 6.542 cm^2 1 ft^2 = 0.093 m^2 1 yd^2 = 0.836 m^2
السرعة	1 km/h = 0.277 m/s 1 mile/h = 0.44694 m/s
الكتلة	1 1b = 453.6 g = 0.454 kg
الضغط	1 atm = 101325 Pa = 1.01325 bar 1 torr = 1 atm/760 = 133.322 kPa = 1.33322 bar 1 mmHg = 133.322 Pa = 0.133322 bar 1 lb_f / ft^2 = 47.881 Pa 1 lb_f / in^2 = 1 psi = 6894.8 Pa
اللزوجة	1 Pa s = 1 Ns/m^2 = 1 kg/ms = 10 Poise (P) 1 Poise = 0.1 Pa s = 100 centipoise (cP) 1 cP = 0.001 Pa s = 1 mPas 1 1b/fts = 1.49 kg/ms
الطاقة	1 J = 2.7 x 10^{-7} kWh 1 kcal = 4.1868 kJ 1 Btu = 0.252 kcal = 1.055 kJ
القدرة	1 kW = 1.34 hp = 0.953 Btu/s 1 hp = 0.746 kW 1 Btu/s = 1.05 kW = 0.178 kcal/s
معامل التوصيل الحراري	1 Btu/ft^2h^0F = 5.681 W/m^2 K
الحرارة النوعية	1 J/kg K = 3.844 x 10^{-4} kcal/kg K 1 Btu/lb = 4.19 kJ/kg K

Dr Hamer Alhaji

تحويل الوحدات
Conversion of Units

اي ناتج لآي تجربة ما يجب ان يعبر عنه في النهاية باعداد. هذه الاعداد لا معنى لها ان لم تذكر وحدات قياسية لها. لذلك يجب ان يكون هناك المام تام بتحويل الوحدات من اي نظام اخر الى النظام العالمي.

امثلة لتحويل الوحدات

في عملية تحويل الوحدات يضرب الجانب المراد تحويل وحداته بواسطة ما قيمته واحد صحيح بحيث تتغير وحداته الى الوحدات المطلوبة.

مثال

لتحويل 2ft الى m

2ft = 2ft x 0.305m/1 ft = 0.610 m

مثال

اذا كان مقياس ضغط البخار تعادل 14.7 psi حول هذا الضغط الى bar.

14.7 psi = (14.7 psi x 6894.8)/ 10^5 = 1.013536 bar

مثال

اذا كان الفقد في الحرارة من خلال جدران فرن كهربائي 6500 Btu/h. فاذا شغل هذا الفرن لمدة ساعتين, كم تكون كمية الكهرباء بـ kWh التي يحتاج اليها الفرن للمحافظة على درجة حرارته؟

الطاقة الحرارية المفقودة في ساعتين = 13000 Btu
اذن الطاقة الكهربائية المطلوبة يجب ان تساوي الطاقة الحرارية المفقودة حتى لا يحدث انخفاض في درجة حرارة الفرن.
13000 Btu = 13000 Btu (1054.85 J/1 Btu) (1 Ws/1 J)(1 kW/1000W) (1h/3600s) = (13000 x 1054.85) / (1000 x 3600) = 3.81 kWh

مثال

اذا كان لزوجة سائل تعادل 40 lb/fts احسب لزوجة هذا السائل بـ cP.
40 lb/fts = 40 lb/fts x 0.454 kg/1 lb x 1ft/(0.3048 m) x (1 cP)/(0.001 kg/ms) =
(40 x 0.454)/(0.3048 x 0.001) = 59580 cP

Dr. Hamer Alhaji

تمرين

اوجد تحويل الوحدات التالية الى النظام العالمي:

1. كثافة قدرها $60\ lb/ft^3$ الى kg/m^3
2. طاقة قدرها $1.7 \times 10^3\ Btu$ الى kJ ثم الى kW/h
3. ضغط قدره $14.69\ lb_f/in^2$ الى kPa
4. لزوجة قدرها 20 cP الى Pa s
5. $Btu/lb.\ ^0F$ الى J/gm. K

علما بان:

1 lb = 0.454 kg

1 ft = 0.3048 m

1 Btu = 1.055 kJ

1 in = 0.0254 m

$1\ cP = 10^{-3}\ Pa\ s$

$1\ Ib_f = 4.4483\ N$

Dr. hamer Alhaji

التبخير
Evaporation

التبخير هو الوحدة الحرارية المتكاملة التي يتم فيها خفض محتوى الماء من السوائل الغذائية للحصول على منتجات مركزة. يؤدي خفض محتوى الماء في الاغذية الى الثبات الميكروبي ويساعد على تقليل تكاليف النقل والتخزين ويعتبر تصنيع معجون الطماطم مثال لعملية التبخير حيث يتم عادة الحصول على ناتج محتوى المواد الصلبة في حدود 35-37 % عن طريق تبخير الماء من عصير الطماطة الذي يحتوي على مواد صلبة في حدود 5-6 % . يختلف التبخير عن التجفيف في ان المنتج النهائي من عملية التبخير في حالة سائلة.

يتكون المبخر اساسا من:

1. مبادل حراري لامداد الحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة لتبخير المادة الغذائية.
2. حيز لفصل بخار الماء الناتج من السائل المركز.
3. مكثف لتكثيف بخار الماء وازالته من جهاز التبخير.

هناك خطر الضرر الحراري عند تركيز المواد الغذائية بالتبخير تحت الضغط الجوي ولهذا عادة ما يتم التبخير تحت ضغط منخفض (تفريغ). بسبب وجود التفريغ يغلي المنتج عند درجة حرارة منخفضة نسبيا وتقل بالتالي الخسائر الحرارية. يتكثف البخار داخل المبادل الحراري ومن ثم يطرد كناتج تكثيف.

اجهزة التبخير

تستخدم العديد من انواع المبخرات في الصناعات الغذائية نذكر منها:

1. مبخرات الدوران الطبيعي Natural circulation evaporators

أ. مبخر الوعاء المفتوح Open pan evaporator

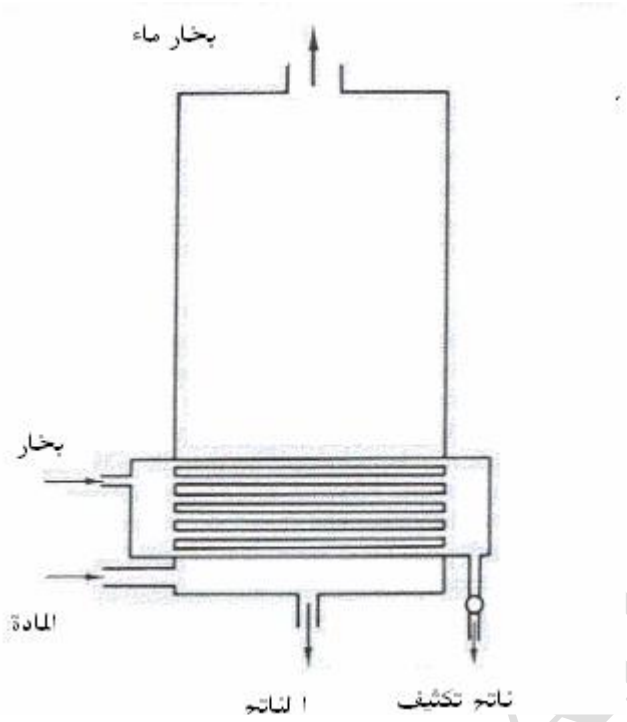
يعد من ابسط انواع المبخرات المستخدمة في الصناعات الغذائية وربما اقدمها. يسخن المنتج داخل وعاء نصف كروي مزدوج الجدار ويمر البخار بين الجدارين. ويكون وعاء التبخير مفتوحا للهواء الجوي او متصلا بمكثف وتفريغ. يسمح التفريغ بغليان السائل على درجة حرارة اقل من درجة غليانه عند الضغط الجوي وبالتالي لا يؤثر على المنتجات الحساسة للحرارة. تكون مساحة سطح انتقال الحرارة لوحدة حجم في هذا النوع من البخرات صغيرة وبالتالي يكون زمن مكوث المنتج عادة طويلة جدا. ويحدث تسخين المنتج نتيجة للحمل الطبيعي, مما يؤدي الى الحصول على قيمة منخفضة لمعامل انتقال الحرارة بالحمل.

يستخدم هذا النوع من البخرات في تركيز الطماطة والشوربات وفي تصنيع المربى والحلويات.

ب. مبخر الانابيب الافقية القصيرة Horizontal short tube evaporator

يوجد داخل المبخر عدد من الانابيب الافقية التي تسخن من الداخل بالبخار. من عيوب هذا الجهاز هو ان الانابيب الافقية تعيق دوران المادة الغذائية داخل المبخر ولهذا فان المعامل الكلي لانتقال الحرارة ضعيف.

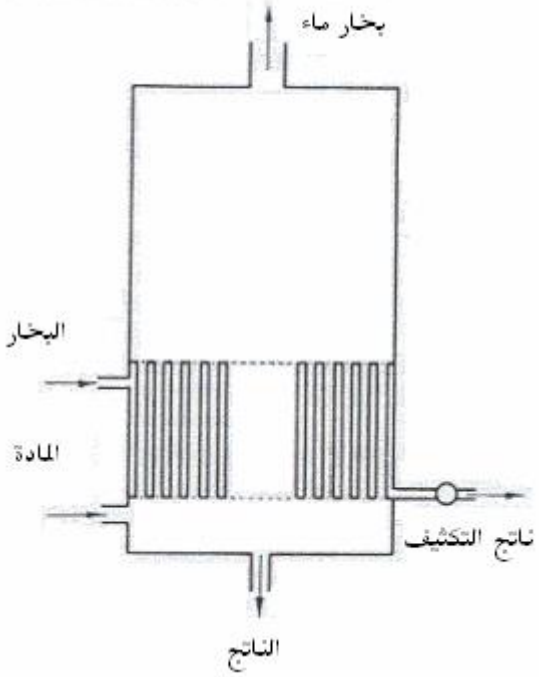
Dr.Thamer Alhaji



مبخر الانابيب الافقية القصيرة

جـ. مبخر الانابيب الراسية القصيرة Vertical short tube evaporator

يرتفع المنتج عند تسخينه خلال الانابيب الراسية عن طريق الدوران الطبيعي بينما يتكثف البخار خارج الانابيب. طول الانابيب حوالي 0.5-2 م وقطرها 25-75 ملم. يجب ان تكون الانابيب مغطاة بالمادة الغذائية لتفادي تكون ترسبات صلبة عليها.

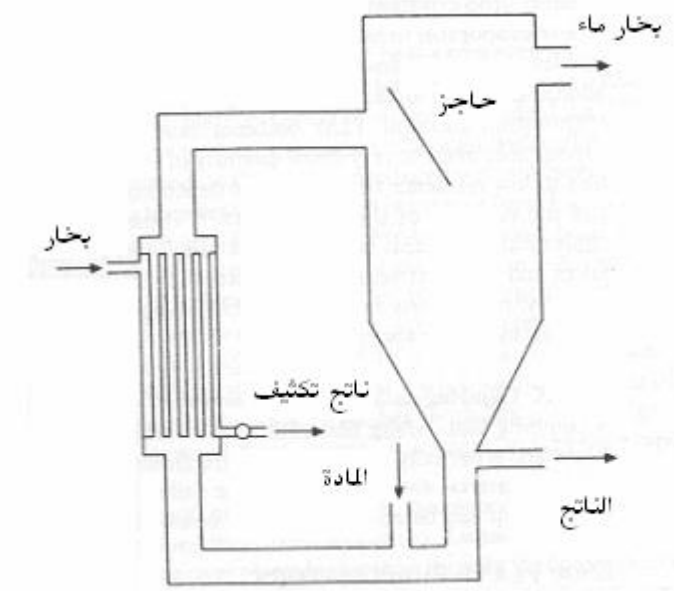


مبخر الانابيب الراسية القصيرة

Dr. Amer Annaji

د. مبخر الدوران الطبيعي ذو الانابيب الخارجية
Natural circulation evaporator with external calandria

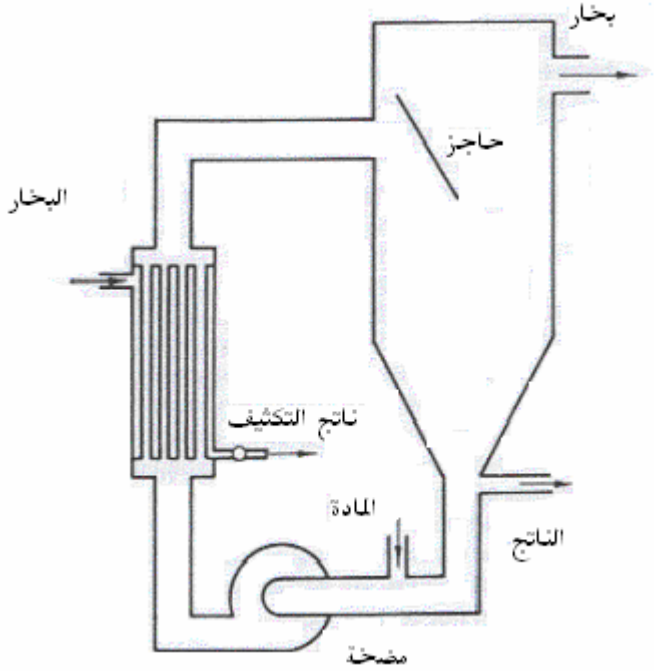
توجد الانابيب في هذا المبخر خارج جسم المبخر. يستخدم في تبخير الاغذية الحساسة للحرارة مثل الحليب ومستخلصات اللحوم وعصائر الفاكهة.



مبخر الدوران الطبيعي

2. مبخرات الدوران القسري Forced circulation evaporators

يتم عادة تشغيل المبخرات ذات الانابيب الخارجية بالدوران القسري. يمكن لهذه المبخرات تركيز السوائل اللزجة. تستخدم مضخات الطرد المركزي مع السوائل ذات اللزوجة المنخفضة ويمكن استخدام مضخات الازاحة الايجابية ومضخات الترس مع المواد ذات اللزوجة العالية.

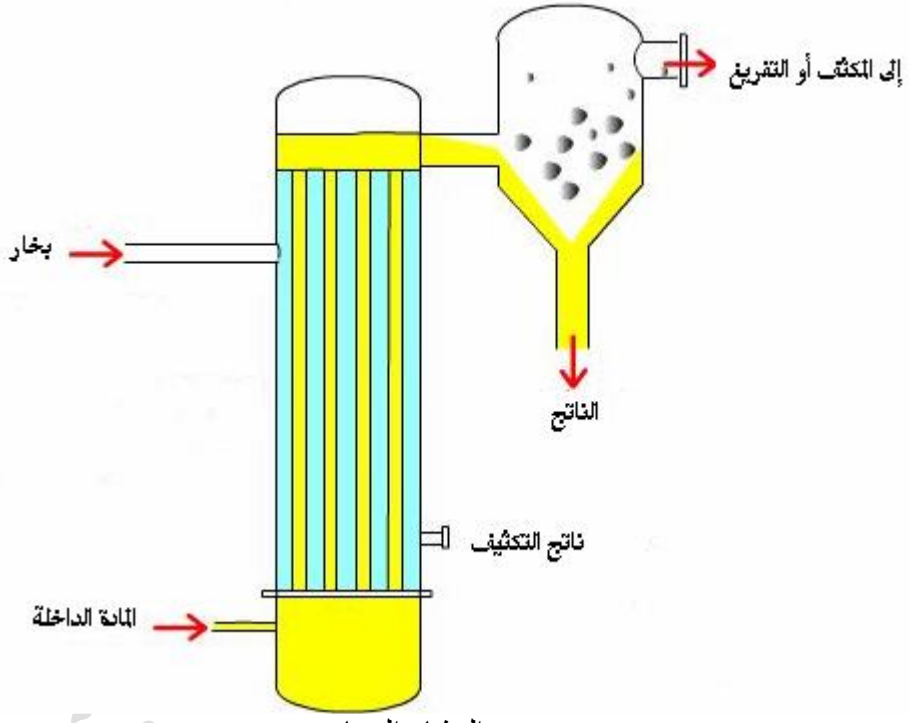


3. المبخرات طويلة الانابيب Long tube evaporators

يمكن اعتبار هذه المبخرات مبادلات حرارية ذات انابيب راسية.

أ. مبخر الغشاء الصاعد Climbing film evaporator

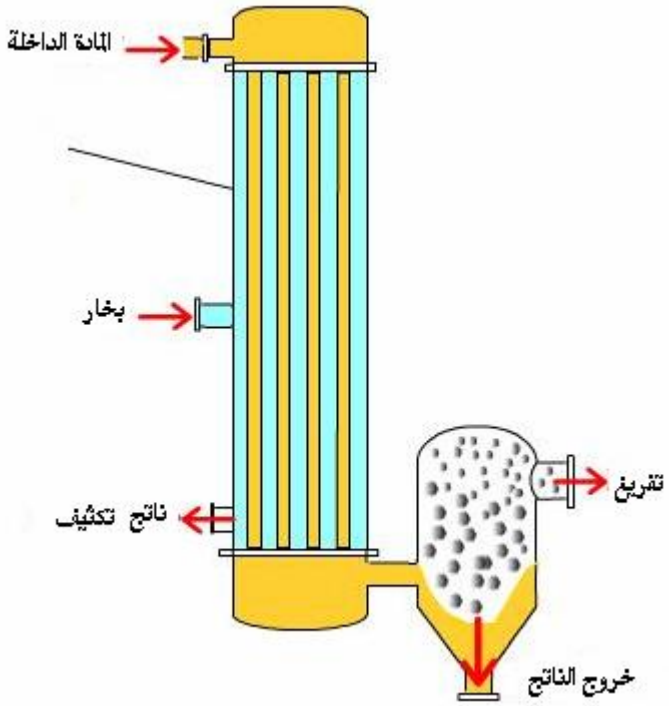
المبخرات من هذا النوع لها انابيب طولها 3-12 م وقطرها 25-50 ملم . يسخن السائل الى قرب نقطة الغليان ثم يدخل الى اسفل المبخر ويبدأ الغليان بعد مسافة قصيرة اثناء ارتفاعه الى الاعلى. يؤدي تمدد السائل اثناء الغليان الى ارتفاع فقاعات بخار الماء اعلى الانابيب. ويقوم بخار الماء بحمل غشاء رقيق من المادة الغذائية التي يزداد تركيزها اثناء ارتفاعها على جدران الانابيب. يمر الخليط الى جهاز يفصل بخار الماء. فترة بقاء المادة الغذائية قصيؤة في منطقة التسخين وهناك قيم عالية للمعامل الكلي لانتقال الحرارة مما يجعل هذا النوع من المبخرات مناسب للمواد الحساسة للحرارة.



مبخر الغشاء الصاعد

ب. مبخر الغشاء الهابط Falling film evaporator

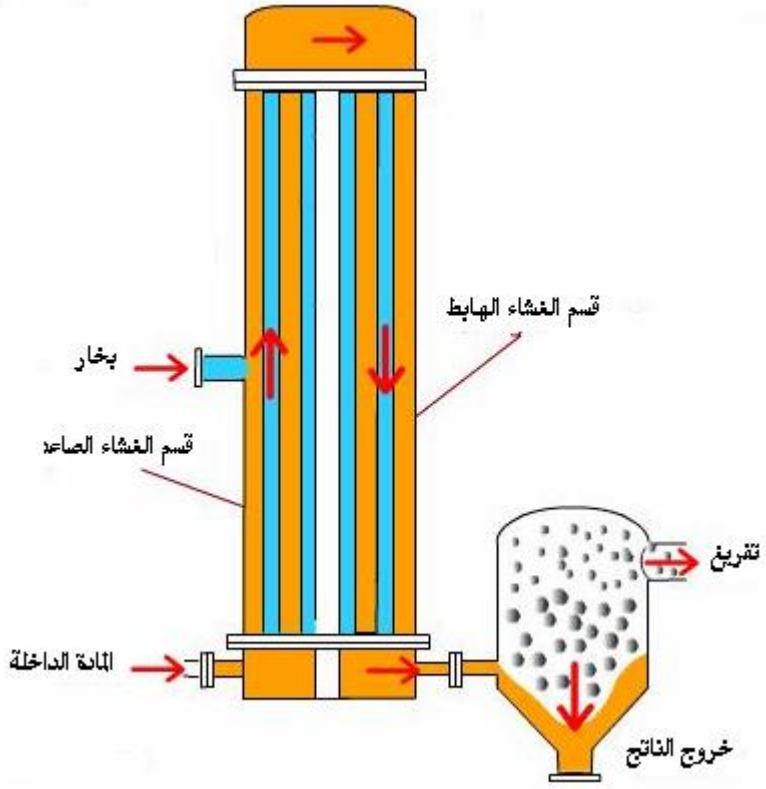
هذا النوع مشابه لمبخر الغشاء الصاعد ولكن في هذه الحالة يضخ الغذاء السائل المسخن الى اعلى الانابيب التي قد يصل طولها الى 15 م . يوزع السائل على الانابيب بحيث يتدفق الى اسفل على السطح الداخلي للاسطح الساخنة في صورة غشاء رقيق يغلي. يمكن ان يتم التبخير عند درجات غليان منخفضة وفترة بقاء المادة الغذائية قصيرة (10-30 ثانية) اعتمادا على طول الانابيب ولزوجة المادة المركزة. هذه الاجهزة ممتازة لتركيز المواد الحساسة وتستخدم مع عصائر الفواكه وفي مجال تركيز الالبان.



مبخر الغشاء الهابط

جـ. مبخر الغشاء الصاعد/الهابط Climbing-falling film evaporator

يركز المنتج في هذا النوع من المبخرات بواسطة دورانه خلال جانب الغشاء الصاعد ثم يتبعه دورانه خلال جانب الغشاء الهابط من المبخر. اي يسخن المنتج اولا عندا يرتفع خلال انابيب الرفع ثم يتبع ذلك تبخير المنتج خلال جانب الغشاء الهابط وبالتالي يصل تركيزه النهائي.



مبخر الغشاء الصاعد/الهابط

حسابات الحرارة اللازمة للتكثيف

مثال:

اوجد كمية البخار اللازم لتكثيف 12000 كغم من الحليب في قدر مفتوح بنسبة 3 : 1 على فرض ان درجة حرارة الحليب الداخل هو 10 ^{5}م وان درجة حرارة المبخر 100 ^{5}م وان كل كغم بخار يعطي 554.4 كيلوسعرة وان الحرارة النوعية للحليب هي 0.93 كيلوسعرة/كغم.^{5}م.

الحل:

الحرارة اللازمة = الحرارة المحسوسة + الحرارة الكامنة للتبخر
الحرارة المحسوسة = 12000 x 0.93 (100 – 10) = 1004400
الحرارة الكامنة للتبخر:-

كمية الماء المتبخر = 12000/4 x 3 = 9000 كغم ماء

الحرارة الكامنة للتبخر = 9000 x 538 = 4842000
الحرارة اللازمة = 1004400+ 4842000= 5846400
الحرارة المتوفرة في كغم واحد من البخار = 554.4 كيلوسعرة

مقدار البخار اللازم = 5846400/ 554.4 = 10545.5كغم.

Dr. Thamer A haji

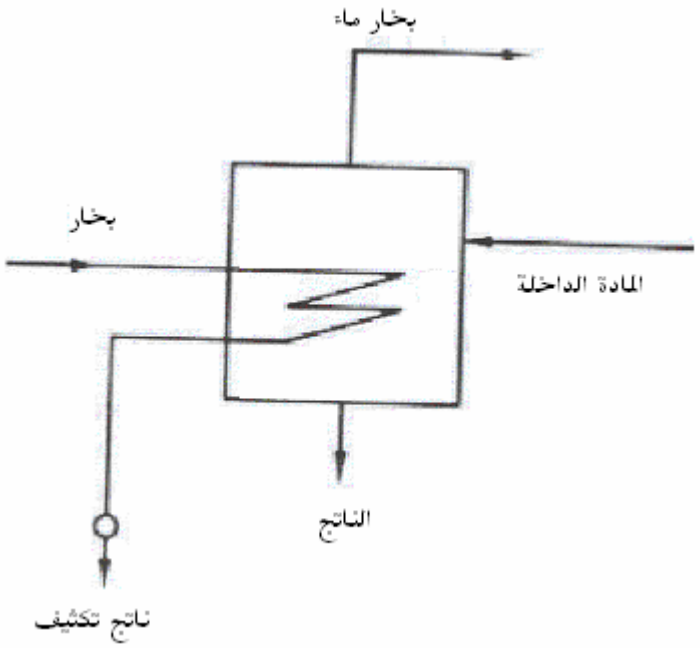
التبخير

Evaporation

التبخير هو الوحدة الحرارية المتكاملة التي يتم فيها خفض محتوى الماء من السوائل الغذائية للحصول على منتجات مركزة. يؤدي خفض محتوى الماء في الاغذية الى الثبات الميكروبي ويساعد على تقليل تكاليف النقل والتخزين ويعتبر تصنيع معجون الطماطة مثال لعملية التبخير حيث يتم عادة الحصول على ناتج محتوى المواد الصلبة في حدود 35-37% عن طريق تبخير الماء من عصير طماطة يحتوي على مواد صلبة كلية في حدود 5-6%. يختلف التبخير عن التجفيف في ان المنتج النهائي من عملية التبخير يظل في حالة سائلة.

يتكون المبخر اساسا من :

1. مبادل حراري لامداد الحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة لتبخير المادة الغذائية. ويستخدم عادة البخار الجاف المشبع لهذا الغرض في التصنيع الغذائي.
2. حيز لفصل بخار الماء الناتج من السائل المركز.
3. مكثف لتكثيف بخار الماء من جهاز التبخير.



هناك خطر الضرر الحراري عند تركيز المواد الغذائية بالتبخير تحت الضغط الجوي ولهذا عادة يتم التبخير تحت ضغط منخفض (تفريغ). يسبب وجود التفريغ زيادة في اختلاف درجة الحرارة بين البخار المستخدم في التبخير والمنتج ويغلي المنتج عند درجة حرارة منخفضة نسبيا وتقل

Dr. Samer Alhaji

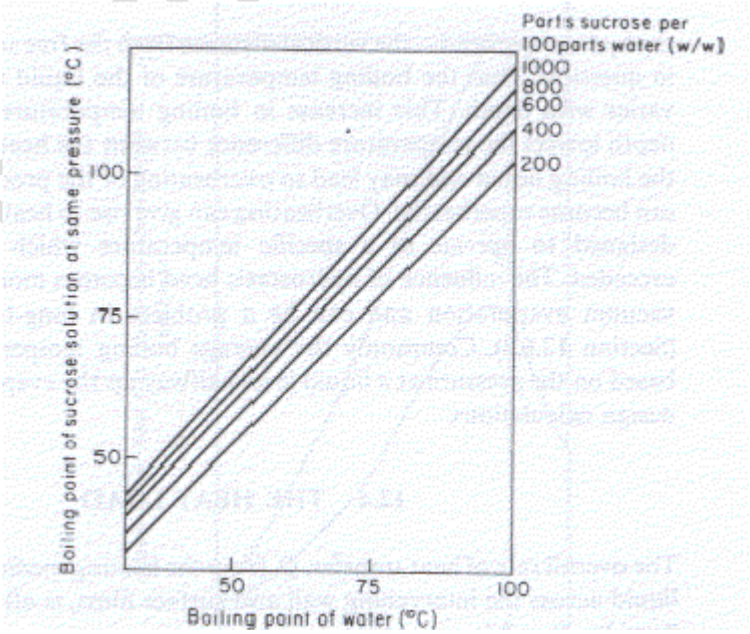
بالتالي الخسائر الحرارية. ينقل بخار الماء الناتج الى نظام تفريغ. يتكثف البخار داخل المبادل الحراري ومن ثم يطرد كناتج تكثيف.

رفع نقطة الغليان Elevation of boiling point

القوة الدافعة لانتقال الحرارة في المبادل الحراري للمبخر هي الفرق في درجة الحرارة بين وسط التسخين (البخار) والسائل الذي يتم تسخينه (المادة الغذائية). وتتاثر درجة الحرارة التي تغلي عندها المادة الغذائية بعدد من العوامل منها:

1. الضغط الخارجي: وذلك لان المادة الغذائية تغلي عندما يساوي ضغط بخارها الضغط اعلاه.
2. محتوى المواد الصلبة للمادة الغذائية: فمن المعلوم ان نقطة غليان المحلول اعلى من نقطة غليان المذيب عند نفس الضغط. ولهذا كلما زاد تركيز المحلول اثناء التبخير كلما ارتفعت نقطة الغليان.

يمكن الحصول على القيم الحقيقية لارتفاع نقطة الغليان عند تركيز محدد للمحلول باستخدام قاعدة دورنج Duhring's rule . توضح قاعدة دورنج ان هناك علاقة خطية بين نقطة غليان المحلول ونقطة غليان الماء عند نفس الضغط. يوضح الشكل التالي خطوط دورنج للسكروز مع الماء.



Dr. Hamer Alhaji

يعتبر رفع نقطة الغليان مهم نظرا لانخفاض الفرق في درجات الحرارة بين البخار والمنتج عندما تزداد نقطة غليان السائل نتيجة تركيزه. يؤدي قلة الفرق في درجات الحرارة الى تقليل معدل انتقال الحرارة بين البخار والمنتج.

يسمح اتزان المادة والطاقة التي تجري على نظام المبخر (في الشكل اعلاه) بايجاد متغيرات التصميم والتشغيل المختلفة. تشمل امثلة هذه المتغيرات معدل جريان الكتلة والتركيز النهائي للمنتج ومساحة سطح المبادل الحراري.

يمكن الحصول على المعدلات التالية بعمل اتزان كتلي على تيارات الجريان واتزان المواد الصلبة للمنتج على الترتيب:

$$F = V + P$$

حيث ان :

F = معدل جريان الكتلة للسائل الداخل للمبخر (kg/s)

V = معدل جريان الكتلة لبخار الماء الخارج (kg/s)

P = معدل جريان الكتلة للمنتج المركز (kg/s)

وتكون معادلة توازن المواد الصلبة كما يلي:

$$F\ X_f = P\ X_p$$

حيث ان:

X_f = كمية المواد الصلبة في المادة المراد تبخيرها.

X_p = كمية المواد الصلبة في المنتج النهائي.

اما توازن الطاقة الحرارية فيمكن وضعها في المعادلة التالية:

$$q_{feed} + q_{steam} = q_{water\ vapour} + q_{product} + q_{condensate}$$

$$F\ Cp_f\ T_f + m_s\ \lambda s = V\ \lambda v + P\ Cp_p\ T_p + m_c\ \lambda c$$

Dr. Thamer Alhaj

حيث ان:

F = وزن المادة الداخلة (kg).

V = وزن البخار (kg).

P = وزن المادة الغذائية الناتجة (kg).

Cp_f = الحرارة النوعية للمادة الغذائية الداخلة (kJ/kg ^oC).

Cp_p = الحرارة النوعية للمنتج (kJ/kg ^oC) .

m_s = مقدار البخار المستعمل في عملية التبخير (kg).

λs = الحرارة الكامنة في البخار الداخل (kJ/kg).

λv = الحرارة الكامنة في البخار الخارج (kJ/kg).

λc = الحرارة الكامنة للتكثيف (kJ/kg).

m_c = مقدار الماء المكثف (kg).

اي ان كمية الحرارة المفقودة من البخار = كمية الحرارة المكتسبة بواسطة المادة الغذائية + كمية الحرارة المكتسبة بواسطة بخار الماء.

الحرارة المنتقلة عبر جدران المبادل الحراري داخل المبخر هي:

$$Q = UA\Delta T$$

$$\Delta T = T_s - T_v$$

حيث ان:

T_s = درجة حرارة البخار steam.

T_v = درجة حرارة بخار الماء water vapour.

<u>مثال</u>

في مبخر احادي التاثير ان المساحة السطحية للتسخين تعطي حرارة بمعدل 105,506 kJ/hr . عند استعمال البخار في تركيز عصير التفاح من 10 % الى 45 % مواد صلبة تحت التفريغ عند درجة حرارة 95 ^oC , احسب معدل عصير التفاح (kg/hr) الداخل الى المبخر. علما ان الحرارة النوعية للعصير الداخل 4 kJ/kg.K وللعصير المركز 3.2 kJ/kg.K .

Dr. Thamer Alhaji

وان درجة حرارة العصير الداخل ^oC 95 ودرجة حرارة العصير المركز الخارج ^oC 95.

وان الحرارة الكامنة للتبخر (λ_v) 2270 kJ/kg.

توازن الطاقة Energy balance

$$q_{feed} + q_{steam} = q_{water\ vapour} + q_{product} + q_{condensate}$$

$$q_{feed} = F\ Cp_f\ T_f = F\ (4)\ 95 = 380\ F$$

$$q_{product} = P\ Cp_p\ T_p = P\ (3.2)\ 95 = 304\ P$$

$$q_{steam} - q_{condensate} = q_{product} - q_{feed} + q_{water\ vapour} = 105{,}506\ kJ/hr \quad \ldots(1)$$

$$q_{water\ vapour} = V\ \lambda_v = V \times 2270$$

توازن المادة Material balance

$$m_{feed} = m_{water\ vapour} + m_{product}$$

$$F\ (0.1) = P\ (0.45)$$

$$F = 4.5\ P$$

$$V = 3.5\ P$$

بالتعويض في المعادلة (1)

$$304\ P - 380\ F + 2270\ V = 105\ 506\ kJ$$

$$304\ P - 380\ (4.5)\ P + 2270\ (3.5)\ P = 105\ 506$$

$$P = 16.13\ kg/hr$$

$F = 72.6$ kg/hr apple juice can be processed.

Dr. Thamer Alhaji

وكم تكون كمية الحرارة المنتقلة عبر جدران المبادل الحراري داخل المبخر اذا كانت درجة حرارة البخار steam 110 م° ودرجة حرارة بخار الماء water vapour 95 م° وان المساحة السطحية للمبادل الحراري 5 م^2 ومعامل انتقال الحراري الكلي 159 W/m^2.°C.

$Q = U\ A\ (T_s - T_v)$

$Q = 159 \times 5 \times (110 - 95)$

$Q = 11925\ W$

Dr. Thamer Alhaji

الحرارة وطرق انتقالها والسيطرة عليه

Heat and its transfer and control

طرق انتقال الحرارة:

1. انتقال الحرارة بالتوصيل Conduction heat transfer :- ويتواجد هذا النوع من انتقال الحرارة خلال التبادل الحراري بين المواد الصلبة.
2. انتقال الحرارة بالحمل Convection heat transfer :- ويتواجد هذا النوع في حالة التعامل مع المواد السائلة او الغازية عند وجودها في حالة حركة مع وجود فروقات حرارية بينها او بين مادة سائلة او غازية مع سطح صلب.
3. انتقال الحرارة بالاشعاع Radiation heat transfer: وهو يختلف عن النوعين السابقين في انه لا يحتاج الى وسط مادي لحدوثه فهو يحدث في الفراغ ويكون نقل الحرارة فيه على شكل امواج كهرومغناطيسية.

انتقال الحرارة بالتوصيل Conduction heat transfer:

وهو انتقال الحرارة داخل جسم ما او من جسم لاخر عن طريق تبادل الطاقة الحركية بين الجزيئات دون ازاحة فعلية للجزيئات حيث ان الحرارة تنتقل عن طريق الجزيئات بحيث تنتقل الحرارة في المواد الصلبة نتيجة لانتقال طاقة التذبذب من جزيء الى اخر. وتنتقل في حالة المعادن نتيجة لانتقال الجزيئات الحرة وهذا هو السبب توصيلها الحراري العالي.

ويعتمد مفهوم التوصيل على الخواص الاساسية للمواد الصلبة وعلى الشكل الهندسي لجسم المادة. وعند زيادة الفرق في درجات الحرارة بين طرفي جسم فان الحرارة سوف تنتقل من الجانب ذي درجة الحرارة الاعلى الى الجانب ذي درجة الحرارة الاقل. ويتناسب معدل تدفق الحرارة بالتوصيل مع معدل اختلاف درجة الحرارة خلال الجسم ومع مساحة الجسم.

قانون فورير للتوصيل الحراري Fourier's low of heat transfer:

لقد وجد علميا ان معدل انتقال الحرارة بالتوصيل يتناسب طرديا مع الفرق في درجة الحرارة بين جانبي جسم معين ومع مساحة ذلك الجسم وعكسيا مع سمك ذلك الجسم. ولقد تمكن الفيزيائي فورير من استنتاج معادلة فيزيائية تحكم عملية انتقال الحرارة بالتوصيل والتي تنص على ما يلي:

Dr. Rainer Alhaji

$$q_K = - KA\ dT/dx$$

حيث T تمثل درجة حرارة الجسم و x تمثل سمك الجسم Thickness و A تمثل مساحة الجسم Area . وثابت التناسب K يسمى بمعامل التوصيل الحراري للجسم او الموصلية الحرارية Thermal conductivity . معامل التوصيل الحراري هو خاصية فيزيائية للجسم وتشير الى مقدار او كمية الحرارة التي يمكن ان تمر خلال وحدة الزمن عبر وحدة المساحة عندما يكون الفرق في درجات الحرارة درجة حرارية واحدة. والمواد الموصلة للكهرباء موصلة جيدة للحرارة وعلى العكس من العوازل (باستثناء الماس الذي هو عازل كهربائي وموصل كبير جدا للحرارة). والاشارة السالبة في المعادلة هي للاشارة الى اتجاه انسياب الحرارة من درجة الحرارة الاعلى الى درجة الحرارة الادنى.

يمكن تطبيق المعادلة السابقة على جدار مستوي وذي سمك محدد في حالة الاستقرار للوصول الى المعادلة التالية:

$$q_K = (KA/L)\ (T_1 - T_2)$$

q_K = معدل انتقال الحرارة بالتوصيل باتجاه x (W).

K = معامل الانتقال الحراري بالتوصيل (W/m.K) او (W/m ^oC).

A = المساحة التي تنقل الحرارة من خلالها (m^2).

L = سمك الجسم الذي تنتقل الحرارة من خلاله (m).

T = درجة الحرارة (K).

<u>مثال</u>

جدار مخزن تبريد طوله 3.5 m وعرضه 1m ودرجة حرارة احد اوجهه 25 ^oC والوجه الاخر 3 ^oC وكان سمكه 7 cm وان معامل التوصيل الحراري للجدار هو 0.9 W/m K أحسب كمية الحرارة المفقودة عبر الجدار.

نحسب مساحة الجدار

$$A= 3.5 \times 1 = 3.5\ m^2$$

$$q_K = (KA/L)\ (T_1 - T_2)$$

$$q_K = (0.9 \times 3.5/0.07)\ (25 - 3) = 990\ W$$

Dr. hamer Alhaji

مثال

لوح زجاجي طوله 2 m وعرضه 65 cm وسمكه 2 ملم يستخدم كغطاء في عرض بعض المنتجات الغذائية فاذا كان معامل التوصيل الحراري للزجاج تساوي 0.78 W/m K ودرجة حرارته من الداخل تساوي 2 ^oC ومن الخارج تساوي 18 ^oC , أحسب معدل الحرارة المفقودة من الزجاج.

$A = 2 \times 0.65 = 1.3\ m^2$

$q_K = (KA/L)\ (T_1 - T_2)$

$q_K = (0.78 \times 1.3) / 0.002\ (18 - 2) = 8112\ W$

في المثال السابق أحسب درجة الحرارة في منتصف اللوح الزجاجي.

$q_K = (KA/L)\ (T_1 - T_2)$

$8112 = (0.78 \times 1.3/0.001)\ (18 - T_2)$

$18 - T_2 = (8112 \times 0.001)/(0.78 \times 1.3)$

$18 - T_2 = 8$

$T_2 = 18 - 8 = 10\ ^oC$

المقاومة الحرارية Thermal resistance

وتعرف بانها المقاومة التي يبديها الوسط لانتقال الحرارة وتعطى بوحدة (كلفن\واط) (K/W). زيادة المقاومة الحرارية تؤدي الى خفض الحرارة المنتقلة. وتحسب بالمعادلة الاتية:

$R_t = L/KA$

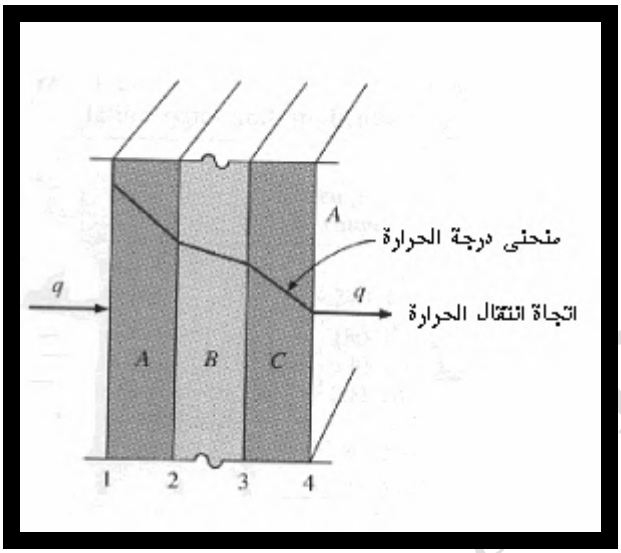
زيادة المقاومة الحرارية ستنشأ فقط نتيجة لزيادة سمك الجدار للمادة او نتيجة انخفاض في معامل التوصيل الحراري لها. لذلك فان المواد ذات معامل توصيل حراري منخفض مفيدة كعوازل لحفضها الحرارة.

انتقال الحرارة بالتوصيل عبر الجدران المركبة Conduction heat transfer through composite

في حالة توفر جدار مكون من اكثر من مادة, مثلا يتكون الجدار من ثلاث طبقات فان معدل انتقال الحرارة بالتوصيل عبر الجدار يعطي بدلالة مجموع المقاومات الحرارية والفرق في

Dr. hamer Alhaji

درجة الحرارة بين طرفي الجدار. وتعطي المقاومة الحرارية لكل طبقة من الطبقات بالمعادلات الاتية:



$R_A = L_A/K_A A_A \qquad R_B = L_B/K_B A_B \qquad R_C = L_C/K_C A_C$

ويكون معدل الفقد الحراري عبر كل طبقة من الطبقات على حدةٍ معطى بالمعادلات الاتية:

$$q_{KA} = (K_A A_A/L_A)(T_1-T_2) = (1/R_A)\,(T_1-T_2)$$
$$q_{KB} = (K_B A_B/L_B)\,(T_2-T_3) = (1/R_B)\,(T_2-T_3)$$
$$q_{KC} = (K_C A_C/L_C)\,(T_3-T_4) = (1/R_C)\,(T_3-T_4)$$

وحيث ان معدل الفقد الحراري ثابت عبر جميع الطبقات لان النظام مستقر فان جميع هذه المعادلات تعطي نفس القيمة من الفقد الحراري.

$$q_{KA} = q_{KB} = q_{KC}$$

اما عبر الجدار فيكون معدل الفقد الحراري الكلي :

Dr Ihamer Alhaji

$$q_K = \Delta T/\sum R_t = \Delta T/(R_A + R_B + R_C) = (T_1 - T_4)/[(L_A/K_A A_A) + (L_B/K_B A_B) + (L_C/K_C A_C)]$$

مثال

فرن تجفيف مصنوع من صلب مطاوع سمكه 5cm ومعزول بطبقة مغنسيا سمكها 25mm أحسب معدل انتقال الحرارة عبر الجدران لكل وحدة مساحة. اذا كانت درجة حرارة الفرن 60 ^oC ودرجة حرارة الغرفة 20 ^oC علما ان معامل التوصيل الحراري للصلب المطاوع 45 W/m K ومعامل التوصيل الحراري للمغنسيا 0.06 W/m K ومن ثم أحسب درجة الحرارة بين الطبقتين.

نلاحظ ان الجدار مكون من طبقتين وبالتالي يكون قانون فورير كما يلي:

$$q_K/A = \Delta T/\sum R_t = \Delta T/(R_A + R_B) = (T_1 - T_3)/[(L_A/K_A) + (L_B/K_B)]$$

$$q_K/A = (60\text{-}20)/[(0.05/45) + (0.025/0.06)]$$
$$= 40/(0.0011 + 0.417) = 95.75 \text{ W/m}^2$$

ولحساب درجة الحرارة بين الطبقتين نستخدم قانون فورير عبر الجدار الوسيط

$$q_K/A = (K/L)(T_1 - T_2)$$
$$95.75 = (45/0.05)(60 - T_2)$$
$$0.11 = (95.75 \times 0.05)/45 = (60 - T_2)$$
$$T_2 = 60 - 0.11 = 59.89 \ ^oC$$

انتقال الحرارة بالتوصيل عبر الانابيب Heat transfer through pipes

في كثير من الاحيان يكون هناك فرق في درجة حرارة الانابيب بين داخل الانبوب وخارجه. وهذا الفرق في درجة الحرارة يؤدي الى حدوث نقل للطاقة الحرارية من المنطقة ذات الحرارة العالية الى المنخفضة. بما ان جسم الانبوب مصنوع من مادة صلبة او معدن او حتى من الاسمنت فان الية ذلك الفقد الحراري تكون بالتوصيل الحراري. ويكون الفقد الحراري في

Dr. hamer Alhaj

الانابيب باتجاه عمودي على مساحة سطح الانبوبة. بتطبيق معادلة فورير وباجراء تكامل باتجاه نصف قطر الانبوبة فاننا سنصل الى المعادلة التالية والتي تمثل معدل الفقد الحراري من الانبوبة:

$$q_k = \Delta T \,/\, [\ln(r_o/r_i) \,/\, 2\pi LK]$$

$$q_k = (T_i - T_0)\ [\ (2\pi LK) \,/\, \ln(r_0/r_i)\ ]$$

حيث ان :

T_i درجة حرارة سطح الانبوب من الداخل.

T_0 درجة حرارة سطح الانبوب من الخارج.

K معامل التوصيل الحراري لمادة الانبوب.

L طول الانبوب.

r_o نصف قطر الانبوب من الخارج.

r_i نصف قطر الانبوب من الداخل.

مع اعادة ترتيب المعادلة السابقة نستنتج ان المقاومة الحرارية في حالة انتقال الحرارة بالتوصيل عبر الانابيب تعطى بالمعادلة التالية:

$$q_k = \Delta T/R_t = \Delta T/[(\ln r_0/r_i)/(2\pi KL)]$$

$$R_t = \Delta T/q_k = [(\ln r_0/r_i)/(2\pi KL)]$$

<u>مثال</u>

انبوب من الالمنيوم قطره الخارجي 10cm وقطره الداخلي 7cm وطوله 20m ومعامل التوصيل الحراري له $200 W/m^2K$. اذا كانت درجة حرارة سطح الانبوب من الداخل $43\ ^oC$ ومن الخارج $29\ ^oC$. أحسب معدل الفقد الحراري عبر الانبوب.

اولا نجد نصف القطر الداخلي

$$r_i = D_i/2 = 7/2 = 3.5cm$$

ونصف القطر الخارجي

$$r_0 = D_0/2 = 10/2 = 5cm$$

Dr. hamer Alhaji

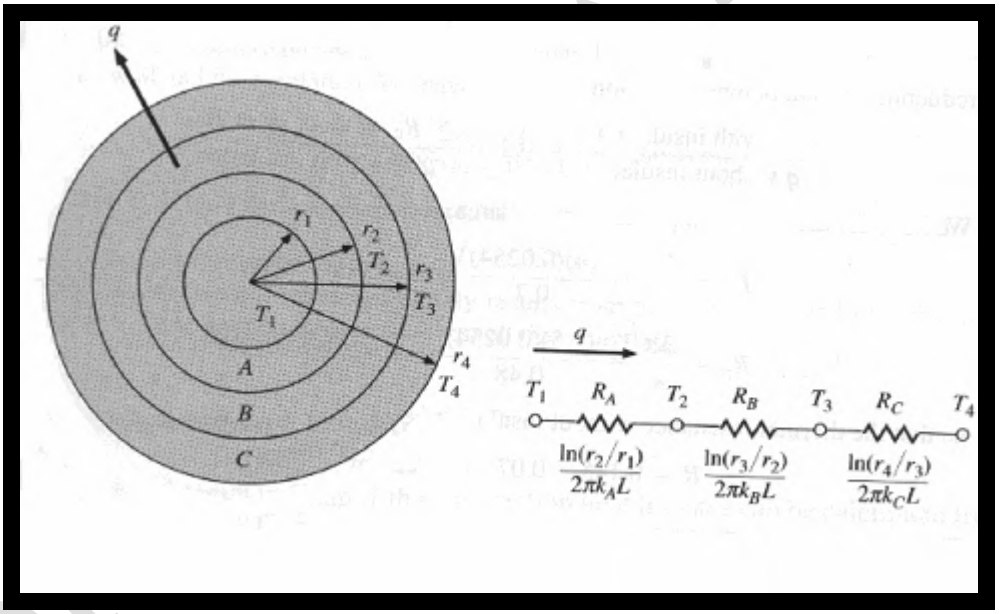
$q_k = [2\pi KL/(\ln r_0/r_i)]\ (T_i - T_0)$

$q_k = [(2\pi \times 200 \times 20)/(\ln 5/3.5)]\ (43 - 29) = 98599.58\ W$

انتقال الحرارة بالتوصيل عبر الانابيب المركبة من عدة طبقات

Conduction heat transfer through composite cylinders

في بعض الاحيان يكون الانبوب مصنوع من اكثر من مادة او قد يتم استخدام مادة عازلة. وبمعلومية المقاومة الحرارية للتوصيل الحراري عبر الانبوب يمكن تطوير المعادلة السابقة للانابيب المركبة كما يلي:



$$q_k = \Delta T/\sum R_t = \Delta T/(R_1 + R_2 + R_3) = (T_1 - T_4)/[(\ln r_2/r_1)/(2\pi K_1 L_1) + (\ln r_3/r_2)/(2\pi K_2 L_2) + (\ln r_4/r_3)/(2\pi K_3 L_3)$$

وحيث ان طول الانبوب متساو فان المعادلة السابقة تصبح كم يلي:

$$q_k = \Delta T/\sum R_t = \Delta T/(R_1 + R_2 + R_3) = (T_1 - T_4)/[(\ln r_2/r_{r1})/(2\pi K_1 L) + (\ln r_3/r_2)/(2\pi K_2 L) + (\ln r_4/r_3)/(2\pi K_3 L)$$

ويمكن ايضا حساب معدل انتقال الحرارة عبر الانبوب المركب لكل وحدة طول كما يلي:

$$q_k/\ L = \Delta T/\sum R_t = \Delta T/(R_1 + R_2 + R_3) = \Delta T/[(\ln r_2/r_{r1})/(2\pi K_1) + (\ln r_3/r_2)/(2\pi K_2) + (\ln r_4/r_3)/(2\pi K_3)$$

مثال

انبوب من استنلس استيل stainless steel قطره الداخلي 10cm وسمكه 2.5cm ومعامل التوصيل الحراري له 65W/mK مغطى بطبقة من العازل سمكه 5cm ومعامل توصيله الحراري $0.1W/m^2K$. فاذا كانت درجة حرارة سطح الانبوب من الداخل ^oC 39 ومن الخارج ^oC 30 . أحسب معدل الفقد الحراري عبر الانبوب لكل وحدة طول.

$$q_k/L = \Delta T/\sum R_t = \Delta T/(R_1 + R_2) = \Delta T/[(\ln r_2/r_{r1})/(2\pi K_1) + (\ln r_3/r_2)/(2\pi K_2)$$

$$q_k/L = \Delta T/\sum R_t = \Delta T/(R_1 + R_2) = (39 - 30)/[(\ln 7.5/5)/(2\pi \times 65) + (\ln 12.5/7.5)/(2\pi \times 0.1)$$

$$q_k/L = 11.05W/m$$

انتقال الحرارة بالحمل Convection heat transfer

وعادة ما يحدث هذا النوع من انتقال الحرارة في الموائع ولذلك فان معدل انتقال الحرارة من سطح ما الى المائع يعتمد على خواص سريان المائع بالاضافة الى الخواص الحرارية له. فكلما كانت حركة المائع سريعة فان معدل حدوث التبادل الحراري بالحمل يكون اعلى وسرعة حدوث التبادل اقل. وتتم عملية انتقال الحرارة بحيث انه عندما يكون تماس بين مائع وجسم صلب مع توفر فرق في درجة الحرارة بينهما فان جزيئات المائع القريبة من السطح تاخذ جزءا من حرارة السطح بالتوصيل وبزيادة درجة حرارة المائع فان كثافته تقل فيحل مكان ذلك الجزء جزء اخر من المائع بصورة تلقائية محدثا حركة لجزيئات المائع وهكذا تستمر العملية الى ان يتم التبادل الحراري نهائيا.

انتقال الحرارة بالحمل الحر Free convection heat transfer

وفي هذا النوع من انواع الانتقال الحراري فان القوة المسيرة لحركة المائع هي قوة تيارات الحمل.

Dr.hamer Alhaji

انتقال الحرارة بالحمل القسري Forced convection heat transfer

وفي هذا النوع تكون هناك قوة خارجية مؤثرة لزيادة سرعة المائع كمروحة او مجرى مائي. وانتقال الحرارة بالحمل القسري اكثر كفاءة ويتم بزمن اقل كما انه يمكننا من خلاله التحكم بالسرعة للمائع وبالتالي الحصول على المعدلات المرغوبة من التبادل الحراري.

والمعادلة الاساسية التي تصف انتقال الحرارة بواسطة الحمل هي قانون نيوتن للتبريد والتي تعطى كما يلي:

$$q_c = h_c A (T_s - T_f)$$

حيث ان :

q_c : معدل انتقال الحرارة بالحمل (W)

A : المساحة التي يتم انتقال الحرارة بالحمل بين المائع والسطح

h_c : معامل الانتقال الحراري بالحمل (W/m K)

T_s : درجة حرارة السطح (^oC)

T_f : درجة حرارة المائع بعيدا عن السطح

ويمكن اعادة كتابة معادلة نيوتن للتبريد بصورة اخرى كما يلي:

$$q_c = \Delta T/(1/h_cA)$$

ومن ذلك يتبين لنا ان المقاومة الحرارية في حالة انتقال الحرارة بالحمل تعطى بالمعادلة التالية:

$$R_c = 1/h_cA$$

مثال

سطح افقي طوله 2m وعرضه 1m ودرجة حرارة سطحه ^oC 29 يتحرك عليه ماء درجة حرارته 79^oC . اذا علمت ان متوسط معامل انتقال الحرارة بالحمل بين الماء واللوح 120W/m K. أحسب معدل الفقد الحراري بالحمل من الماء.

Dr. hamer Alhaji

$q_c = h_c A (T_s - T_f) = 120 \times 2 \times (29\text{-}79) = -12000W$

الاشارة سالبة وذلك لان الفقد الحراري تم من الماء الى اللوح.

مثال

انبوب من الالمنيوم قطره الداخلي 10cm وطوله 2.5m ودرجة حرارة سطحه 30 ^oC يستخدم لنقل حليب درجة حرارته 62 ^oC . اذا علمت ان معدل الحرارة المفقودة من الحليب الى الانبوب 4500W , أحسب متوسط معامل انتقال الحرارة بالحمل بين الحليب والانبوب.

$A = 2\pi rL = 2\pi \times 0.05 \times 2.5 = 0.785\ m^2$

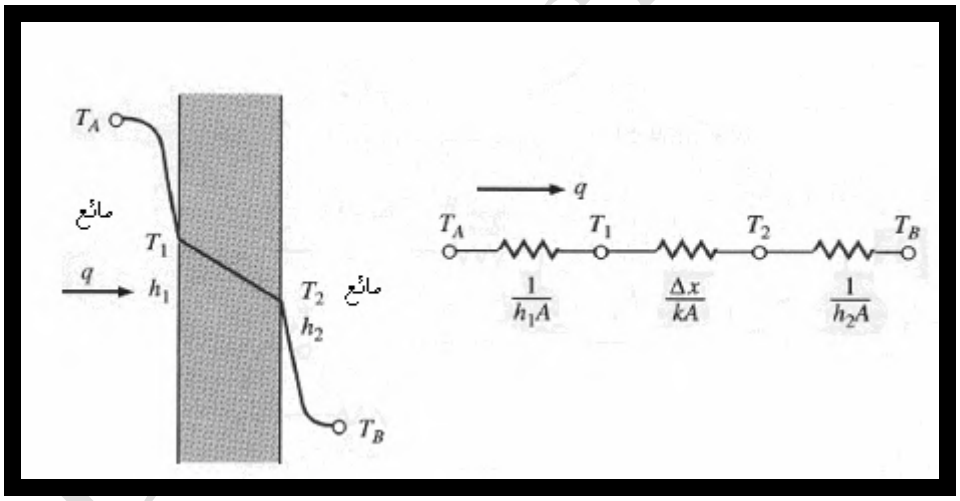
$4500 = h_c \times 0.785 \times (62 - 30)$

$h_c = 4500/(0.785 \times 32) = 179.2\ W/m\,K$

انتقال الحرارة عبر الجدار Heat transfer through the wall

ان معدل انتقال الحرارة عبر الجدار المكون من اكثر من طبقة والمحتوي على اكثر من الية من اليات النقل الحراري يعطى بالمعادلة التالية:

$q = (T_1 - T_4)/[(1/h_1A) + (L_1/K_1A) + (1/h_2A)]$



مثال

براد يتكون جداره من طبقة من البلاستك سماكتها 0.5cm ومعدل التوصيل الحراري لها 12W/mK وطبقة اخرى من العازل سماكتها 2.3cm ومعدل التوصيل الحراري لها 0.24W/mK يحيط به هواء من الخارج درجة حرارته 49.5 oC وبداخله سائل درجة حرارته -10.3^oC أذا علمت ان معامل انتقال الحرارة بالحمل بين السائل والسطح الداخلي للبراد 100.2 W/m K وبين الهواء والسطح الخارجي للبراد يساوي 73.5 W/m K أحسب الفقد الحراري عبر جدار البراد بالنسبة الى وحدة المساحة.

نلاحظ ان هناك مقاومتين حراريتين للتوصيل مقدار كل منها:

$R_t = L/KA$

ومقاومتين بالحمل وهما:

$R_c = 1/h_cA$

وبالتالي تصبح معادلة انتقال الحرارة كما يلي:

$q = (T_1 - T_5)/[(1/h_1A) + (L_1/K_1A_1) + (L_2/K_2A_2) + (1/h_2A)]$

$q/A = (T_1 - T_5)/ [(1/h_1) + (L_1/K_1) + (L_2/K_2) + (1/h_2)]$

$q/A = (49.5 - (-10.3)/ [1/100.2) + (0.005/12) + (0.023/0.24) + (1/73.5)]$

$= 13.94\ W/m^2$

انتقال الحرارة بالاشعاع Heat transfer by Radiation

الاشعاع الحراري هو ذلك الانبعاث الكهرومغناطيسي الذي ينبعث من الجسم دون الحاجة الى وسيط لحدوث ذلك الانتقال. وتتساوى جميع الاجسام التي تزيد درجة حرارتها عن الصفر المطلق في خاصية القدرة على الاشعاع. وهناك الكثير من الاشعاعات الكهرومغناطيسية كاشعة اكس والاشعة السينية والاشعة تحت الحمراء والاشعة فوق البنفسجية. والاشعاع الحراري واحد منها وما يميز الاشعاعات بغض النظر عن مصدرها انها تسير بخطوط مستقيمة وبسرعة مساوية الى سرعة الضوء $C = 300000\ Km/sec$ وهذه السرعة تساوي حاصل ضرب الطول الموجي بالتردد:

$$C = \lambda\ v$$

حيث ان :

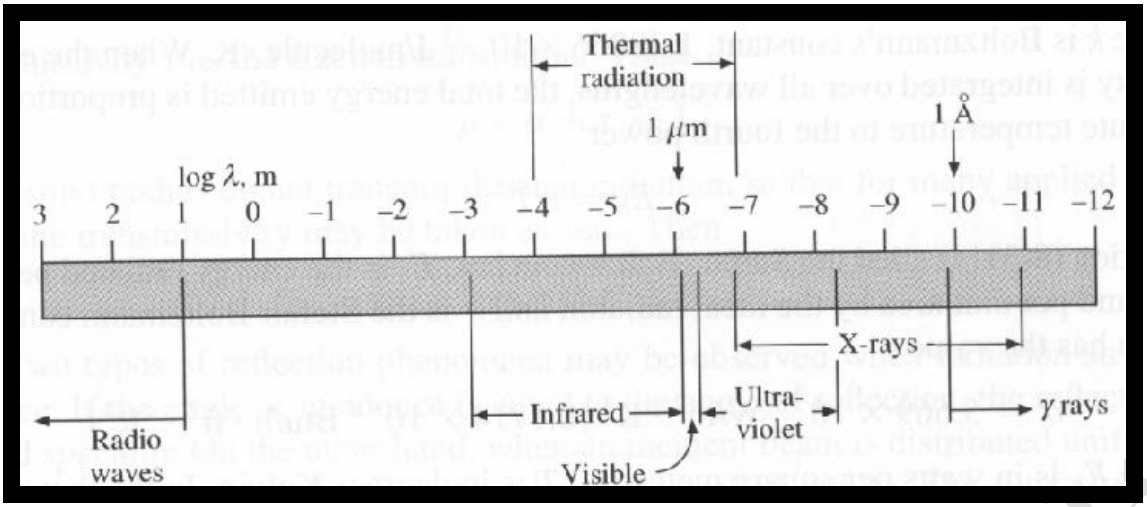
C = سرعة الضوء.

λ = الطول الموجي ووحدتها μm او انجستروم A^0

v = التردد ويقاس بالهيرتز.

والاشعاع الحراري لا يحتاج الى وسيط مادي لنقله وحدوثه بل يحدث في الفراغ. ويبين الشكل التالي الطيف الكهرومغناطيسي. والجزء المتعلق بالاشعاع الحراري يقع بين المدى الموجي 0.1 - 100μm بينما الجزء المرئي من الضوء فيقع بين 0.35 – 0.75μm.

Dr. hamer Alhaji



يحتاج الانتقال الصافي للحرارة الاشعاعية فرقا في درجة حرارة السطح لاي جسمين يحدث بينهما تبادل حراري. وتعطي قدرة الجسم المثالي (الاسود) على الاشعاع الحراري حسب معادلة ستيفان وبولتزمان التالية:

$$E_b = q_r = \sigma A T^4$$

حيث ان:

E_b = كمية الطاقة التي يبعثها او يمتصها الجسم الاسود

q_r = معدل الفقد او الامتصاص الحراري بالاشعاع (W)

σ = ثابت ستيفان وبولتزمان ويساوي $5.67x10^{-8}$

A = مساحة السطح المشع m^2

T^4 = القوة الرابعة لدرجة الحرارة المطلقة للجسم.

وتبين المعادلة ان اي جسم اسود يبعث كمية من الحرارة بمعدل يتناسب مع القوة الرابعة لدرجة حرارة ذلك الجسم المطلقة. اما اذا كان الجسم المشع ليس اسود فانه يبعث كمية من الطاقة الحرارية اقل من تلك التي يبعثها الجسم الاسود وتعطى بالمعادلة التالية:

$$E_r = q_r = \varepsilon\sigma A T^4$$

E_r = كمية الطاقة التي يبعثها او يمتصها الجسم الحقيقي

ε = الانبعاثية emissivity (وهي تساوي 1 للجسم المثالي وهو الاسود) وهي النسبة بين ما يبعثه الجسم الحقيقي والجسم المثالي (الاسود)

$$\varepsilon = E_r/E_b$$

اذا كان الجسم المشع اسود والمحيط الذي يحيط به كذلك فان كمية الطاقة المشعة تكون:

Dr. hamer Alnajar

$$q_r = \sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)$$

حيث ان:

T_1 درجة حرارة الجسم

T_2 درجة حرارة المحيط

اذا كان الجسم المشع رمادي والمحيط اسود فانه سيمتص جميع الطاقة الاشعاعية الواقعة عليه وتكون كمية الطاقة الحرارية المشعة:

$$q_r = \varepsilon\sigma A_1(T_1^4 - T_2^4)$$

لا بد من تطوير مفهوم المقاومة الحرارية في حالة انتقال الحرارة بالاشعاع تماما كما في حالتي التوصيل والحمل. ولذلك يمكن كتابة المعادلة السابقة كما يلي:

$$q_r = \Delta T/R$$

$$q_r = \varepsilon\sigma A(T_1^4 - T_2^4) = \varepsilon\sigma A\ (T_1 - T_2)\ (T_1 + T_2)\ (T_1^2 + T_2^2)$$

$$q_r = (T_1 - T_2)/[1/\ \varepsilon\sigma A\ (T_1 + T_2)\ (T_1^2 + T_2^2)]$$

وبالتالي فان قيمة المقاومة الحرارية بالاشعاع تساوي:

$$R = 1/[1/\ \varepsilon\sigma A\ (T_1 + T_2)\ (T_1^2 + T_2^2)]$$

يكون معامل انتقال الحرارة الاشعاعي:

$$h_r = 1/R_r\ A_1$$

$$h_r = \varepsilon\sigma\ (T_1 + T_2)\ (T_1^2 + T_2^2)$$

مثال

احسب معدل الفقد الحرارية من قطعة لحم ابعادها 30x30cm ودرجة حرارة سطحها 350K اذا كانت الانبعاثية منها تساوي 0.5 .

نحسب الماحة اولا

$$A = 0.3 \times 0.3 = 0.09m^2$$

$$q_r = 0.5 \times 5.67x10^{-8} \times 0.09 \times 350^4 = 191.43W$$

Dr. haner Alhaji

مثال

قطعة من العجين درجة حرارتها $40\ ^oC$ ومساحتها $50\ cm^2$ موضوعة في فرن درجة حرارته $180\ ^oC$ فاذا فرضنا ان قطعة العجين لها انبعاثية مقدارها 0.3 احسب معدل الحرارة التي تكسبها قطعة العجين بالاشعاع.

نحول درجتي الحرارة الى كلفن

$T_2 = 40 + 273 = 313K$

$T_1 = 180 + 273 = 453K$

$q_r = \varepsilon\sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)$

$q_r = 0.3 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 50 \times 10^{-4} (453^4 - 313^4) = 0.41W$

Dr. hamer Alhaji

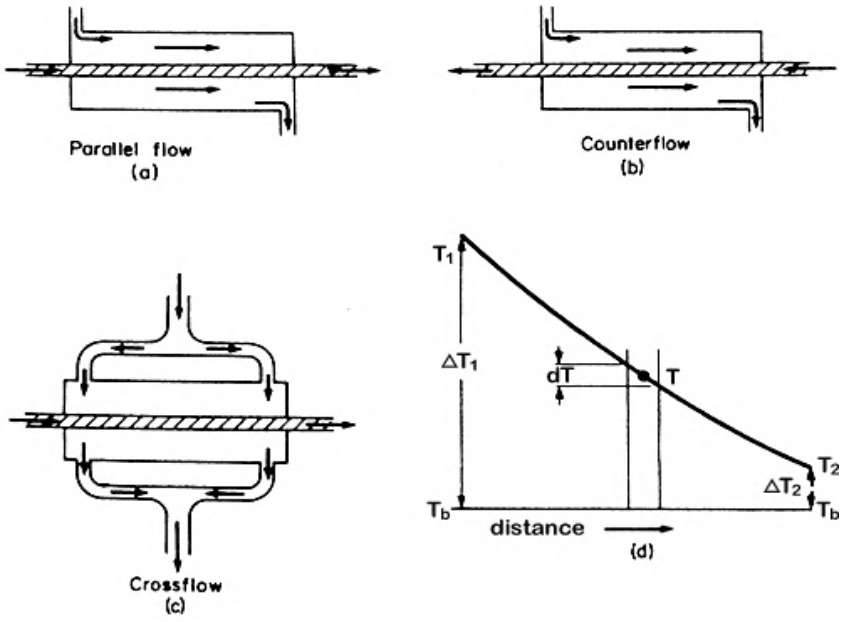
المبادلات الحرارية
Heat exchangers

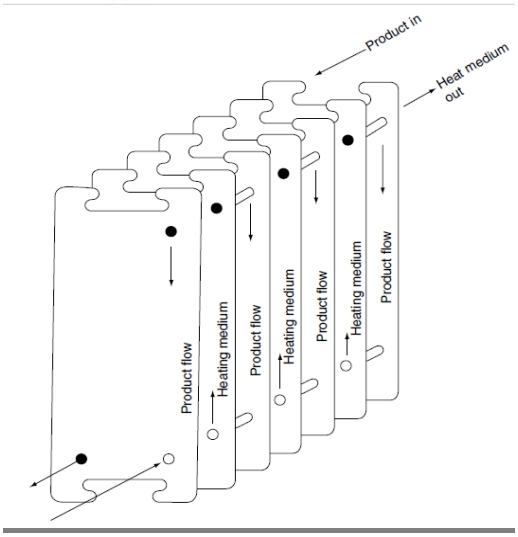
المبادل الحراري هو اداة لنقل الطاقة الحرارية من مائع درجة حرارته مرتفعة الى مائع درجة حرارته منخفضة وذلك من خلال حركة المائعين خلاله. ومن الامثلة على المبادلات الحرارية المدفأة المنزلية وراديتر السيارة وسخان المياه المنزلي. وللمبادلات الحرارية استخدامات واسعة في محطات توليد الطاقة الكهربائية والصناعات الكيميائية وفي كثير من منشأة التصنيع الغذائي حيث يتم تسخين الاطعمة وتبريدها.

هناك نوعان من المبادلات الحرارية تبعا لحركة المائعان وهما:

1. المبادل الحراري من النوع المتوازي Parallel flow heat exchanger
2. المبادل الحراري من النوع المعكوس Counter flow heat exchanger

وهناك نوع اخر من المبادلات الحرارية يسمى المبادل الحراري من النوع المتعامد Cross-flow heat exchanger.





وتعتبر مساحة السطح الفاصل بين المائعين والتي تنتقل عبرها الحرارة من اهم العوامل التي تحكم صافي الحرارة المنتقلة من المائع الساخن الى المائع البارد.

واول واهم خطوة في المبادل الحراري الانبوبي هو تقييم وحساب معامل انتقال الحرارة الكلي (U) بين المائعين. معامل انتقال الحرارة الكلي بين مائع ساخن عند درجة حرارة T_h واخر بارد عند T_c مفصولين بجدار صلب يحسب من خلال المعادلة:

$$Q = UA\ (T_h - T_c)$$

حيث ان:

Q = معدل انتقال الحرارة

U = معامل انتقال الحرارة

T_h = درجة حرارة المائع الساخن

Tc = درجة حرارة المائع البارد

قانون فوريور لانتقال الحرارة عبر الانابيب:

$$Q = - KA\ dT/dr$$

وبالتعويض عن المساحة السطحية للأنبوب

$$Q = - K\ (2\pi rL)\ dT/dr$$

وفي تفاضل المعادلة واعادة ترتيبها تكون

$$Q/2\pi L \int_{ri}^{r0} dr = -K \int_{Ti}^{To} dT$$

وبتكامل المعادلة تصبح

$$Q = [(2\pi LK\ (T_i - T_o)] / (\ln r_o/r_i)$$

وبإعادة ترتيب المعادلة

$$Q = (T_o - T_i) / [(\ln r_o/r_i) / (2\pi LK)]$$

ولحساب المقاومة الحرارية في الانابيب

$$R = (\ln r_o/r_i) / (2\pi LK)$$

ويمكن كتابة المعادلة السابقة لانتقال الحرارة الكلي عبر الانابيب بالصيغة التالية:

$$UA = 1/[(1/h_1A_1) + (\ln r_o/r_i)/2\pi kL) + (1/h_2A_2)]$$

وحيث انه مبادل حراري انبوبي فان المساحة الداخلية تكون $A_i = 2\pi r_iL$ والمساحة الخارجية $A_o = 2\pi r_oL$ وبالتالي يكون معامل انتقال الحرارة الكلي بالنسبة للمساحة الخارجة كما يلي:

$$K_0 = 1/[(A_o/h_iA_i) + (A_o \ln r_o/r_i)/ 2\pi kL + (1/h_o)]$$

او بالنسبة الى المساحة الداخلية:

Dr. Thamer Alhaj

$$K_i = 1/[(A_i/h_oA_o) + (A_i \ln r_o/r_i)/ 2\pi kL + (1/h_i)]$$

معامل فاولنك Fouling factor

في بعض الاحيان ونتيجة للاستخدامات الكثيرة للمبادلات الحرارية فانه يحدث ترسب على سطح الانابيب والصفائح نتيجة للرواسب الموجودة في الموائع وهذا يؤدي الى زيادة المقاومة الحرارية للمبادل الحراري. ولذلك فان التنبؤ بالحسابات الدقيقة للمبادل الحراري لا تكون الا اذا كان المبادل بصورة مثالية, اما المقاومة الحرارية للرواسب فإنها تحسب عمليا وذلك عن طريق الطرح بين معامل انتقال الحرارة الكلي بعد الاستخدام وقيمته قبل الاستخدام وتكون المقاومة الحرارية كالاتي:

$$R_d = 1/U_d - 1/U$$

حيث ان:

U = معامل انتقال الحرارة الكلي للمبادل الحراري قبل الاستخدام.

U_d = معامل انتقال الحرارة الكلي للمبادل الحراري بعد الاستخدام.

R_d = المقامة الحرارية للرواسب.

وبالتالي يكون معامل انتقال الحرارة الكلي للمبادل الحراري كالاتي:

$$1/K = 1/h_1 + 1/h_{d1} + x_w/K_w + 1/h_{d2} + 1/h_2$$

الفرق اللوغاريثمي لمتوسط درجة الحرارة The logarithmic mean temperature difference

يسري المائع اما بشكل متوازي لو بشكل متعاكس مع سريان المائع الاخر. وبمعرفة ان الحرارة المنتقلة في هذا المبادل الحراري تعطى:

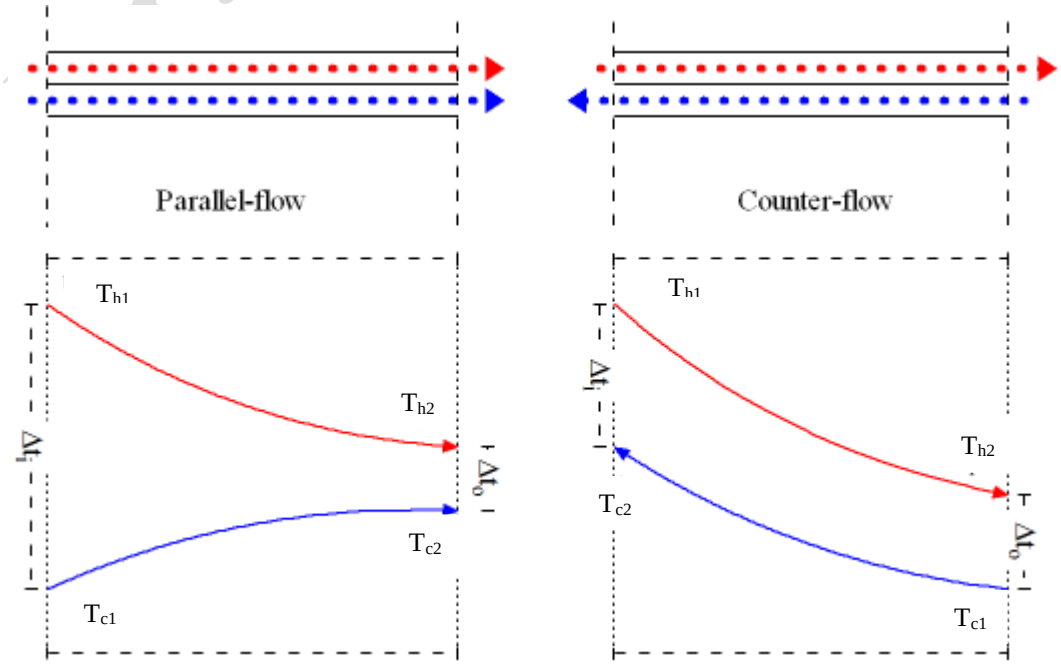
$$q = UA\Delta T_m$$

حيث ان:

U = معامل انتقال الحرارة الكلي للمبادل الحراري.

A = المساحة السطحية للمبادل الحراري.

ΔT_m = الفرق في متوسط الحرارة من خلال المبادل الحراري.



Dr. Thamer Alhaji

للتعبير عن كمية الحرارة المنقولة من المائع الساخن الى المائع البارد بدلالة المعامل الكلي لانتقال الحرارة U ومساحة سطح المبادل الحراري A ودرجات حرارة الدخول والخروج للموائع الساخنة والباردة. ويعطى معدل الفقد الحراري من المائع الساخن بالمعادلة التالية:

$$q_h = m_h\, Cp_h\, (T_{hi} - T_{ho})$$

ومعدل الكسب الحراري للمائع البارد بالمعادلة التالية:

$$q_c = m_c\, Cp_c\, (T_{co} - T_{ci})$$

وحين تكون الكميتان متساويتان يعني ان الحرارة التي يفقدها المائع الساخن يكسبها جميعا المائع البارد.

حيث ان:

m_h = معدل تدفق المائع الساخن.

m_c = معدل تدفق المائع البارد.

Cp_h = الحرارة النوعية للمائع الساخن.

Cp_c = الحرارة النوعية للمائع البارد.

T_{ho}, T_{hi} = درجة حرارة المائع الساخن الداخلة والخارجة.

T_{co}, T_{ci} = درجة حرارة المائع البارد الداخلة والخارجة.

يتم حساب كمية الطاقة الحرارية الكلية المتبادلة في المبادل الحراري من خلال المعادلة التالية:

$q = KA(LMTD)$

LMTD: Logarithmic Mean Temperature Difference

وهذا الفرق الحراري ΔT_m يسمى الفرق اللوغاريثمي لمتوسط درجة الحرارة (LMTD) والذي يعني ان الفرق لمتوسط درجة الحرارة عند احدى نهايتي المبادل الحراري ناقص الفرق عند النهاية الاخرى مقسوما على اللوغاريثم الطبيعي لنسبة هذا الفرق. وهذا ينطبق على المبادل الحراري في حالتي السريان المتوازي والمتعاكس.

وبإجراء التحليل على المبادل الحراري نتوصل الى ما يلي:

$$\Delta T_m = [(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})]/\ln[(T_{h2} - T_{c2})/T_{h1} - T_{c1})]$$

<u>فعالية المبادل الحراري</u> Heat exchanger effectiveness

الغرض من المبادل الحراري هو تسخين المائع البارد الداخل الى اقصى درجة حرارة ممكنة او ازالة الطاقة الحرارية من المائع الساخن الى اقل درجة حرارية ممكنة حيث عندها تتساوى درجة حرارة المائع البارد الداخلة ودرجة حرارة المائع الساخن الخارجة فيكون:

Dr. Thamer Alhaji

$T_{ho} = T_{ci}$

ويتوقف تحقيق هذا الغرض على السعة الحرارية للمائعين الساخن والبارد (m Cp) بحيث تكون المساحة A كبيرة جدا مع المحافظة على فكرة التوازن الحراري (كمية الحرارة التي يفقدها المائع الساخن تساوي كمية الحرارة التي يكسبها المائع البارد).

مثال

يمرر محلول سكري من خلال مبادل حراري أنبوبي بمعدل (0.25 kg/s). قطر الأنبوب الداخلي (0.025 m) الحرارة الابتدائية للمحلول هي(67ºC) يبرد الى (36 °C) باستخدام ماء بارد بمعدل (0.50 kg/s) وبحرارة (20 °C) يمر في الأنبوب الخارجي احسب طول المبادل الحراري في حالة الجريان الموازي والمعاكس علماً ان معامل الانتقال الحراري الإجمالي (U) هو (908.5 $W/m^2.°C$) والحرارة النوعية للمحلول السكري (C_{ph} = 3893.4 J/kg.°C) وللماء (C_{pc} = 4187 J/kg.°C).

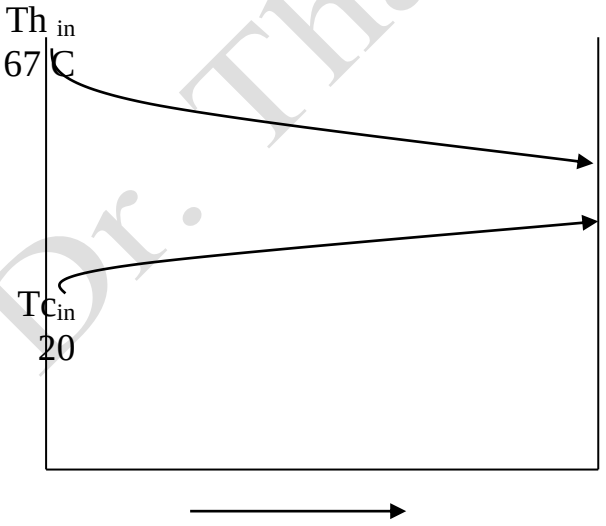
$q = m_h C_{ph} (Th_{in} - Th_{out}) = m_c C_{pc} (Tc_{out} - Tc_{in})$

$$q = (0.25kg/s)(3893.4J/kg.^{\circ}C)(67^{\circ}C - 36^{\circ}C) = (0.50kg/s)(4187J/kg.^{\circ}C)(T_{Cout} - 20.^{\circ}C)$$

$$q = 3017385\ J/s = 2093\ J/s \times Tc.out - 41870\ J/s$$

$$T_{Cout} = \frac{3017385\ J/s + 41870 J/s}{2093.5\ J/s} = 34.413\ ^{\circ}C$$

أ- للجريان الموازي



$\Delta Ta = 67-20 = 47\ ^{o}C$

$\Delta Tb = 36-34.4 = 1.6\ ^{o}C$

$$\Delta T_m = \frac{47 - 1.6}{\ln \frac{47}{1.6}} = 13.43\ ^{\circ}C$$

$Q = U\ A\ \Delta T_m$

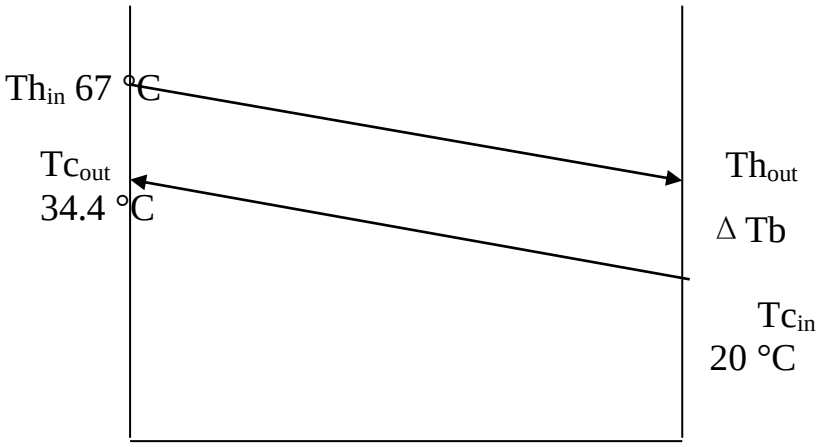
Dr. Thamer Alhajri

30173.85 = 908.5 x A x 13.43

A = 2.47 m^2

L = A/πD = 2.47/π 0.025 = 31.4 m طول المبادل الحراري

ب- في النظام المعاكس



Δ Ta= 67-34.4= 32.6 ºC

Δ Tb = 36-20=16 ºC

$$\Delta Tm = \frac{32.6 - 16}{\ln \frac{32.6}{16}} = 23.3\ ^{\circ}C$$

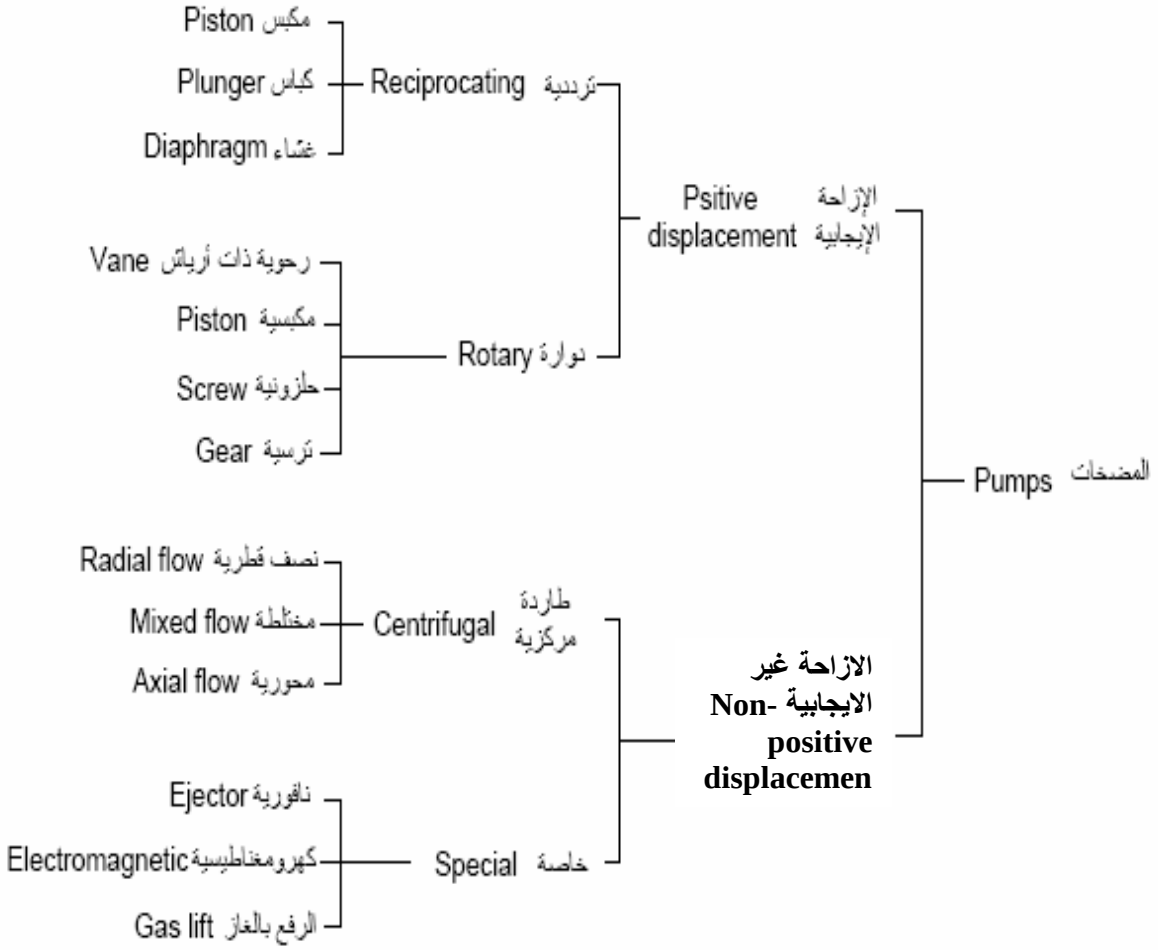
A = 30173.85 /(908.5 x 23.31) = 1.42 m^2

L = 1.42 / (π x 0.025) = 18.08 m طول المبادل الحراري

Dr. Thamer Alhaji

Pumps المضخات

هناك طرق مختلفة لتحريك الموائع مثل قاذفات البخار والماء وكذلك نتيجة لتاثير الجاذبية الارضية والحمل الطبيعي. ومن الاجهزة الميكانيكية التي تهتم كثيرا بنقل الموائع والغازات هي المضخات حيث تستخدم في رفع ودفع السوائل من مستوى الى اخر. وتعمل كما هو الحال في المراوح والضواغط والتي تستخدم لدفع الموائع، إلا مضخات التفريغ. وتنقسم المضخات كما في المخطط التالي:



مضخات الازاحة الايجابية Positive displacement pumps

وهذه المضخات تؤثر بشكل مباشر على حجم محدد من المائع لدفعه الى ضغط اعلى وبالتالي لا يمكن التحكم بمعدل السريان عن طريق صمام على خط السحب. ويتم توليد ضغوط عالية جدا في هذا النوع من المضخات كما انها تتعامل مع موائع ذات لزوجة عالية جدا. وتنقل المضخة المائع على دفعات متقطعة الى تجويف المضخة ويجبر على الخروج من خط الطرد. ويحسب معدل التصريف الحجمي بعدد الدفعات المنقولة في وحدة الزمن وبالتالي فان معدل التصريف يعتمد اعتمادا كليا على السرعة الدورانية او الترددية للمضخة. ومن المشاكل التي تعاني منها هذه المضخات الاهتزازات العالية والضوضاء.

- **المضخات الترددية Reciprocating pumps**

1. **المضخات المكبسية piston pump** ومنها احادية الدفع وثنائية الدفع. وتتكون المضخة المكبسية من اسطوانة يتحرك بداخلها مكبس يتحرك الى الاعلى والاسفل. هناك صمامان وهما صمام السحب وصمام الدفع. عندما يفتح صمام السحب يتسرب السائل الى داخل الاسطوانة ويكون صمام الدفع مغلق, وعند تحرك المكبس الى الامام يغلق صمام السحب ويفتح صمام الدفع الموجود في جهة خروج السائل Discharge فتدفع المادة السائلة الى الخارج وتستمر العملية. مقدار ما يضخه هذا النوع من المضخات يعتمد على حجم الاسطوانة وطول الضربة وعدد حركات المكبس في الدقيقة وكفاءة المضخة الحجمية. وتتميز هذه المضخات بضخ كميات متجانسة من المائع ولكن بشكل متقطع ولكن يمكن تقليل من الجريان المتقطع وذلك باستعمال اكثر من مكبس. ومن مميزاتها ايضا هو انها لا تحتاج الى ملء بالسائل عند تشغيلها.
يتم حساب كمية الضخ في المضخات المكبسية باستعمال العلاقة الاتية:

$$\text{مقدار الضخ (لتر/دقيقة) (Q)} = \frac{A \cdot L \cdot N \cdot E}{1000 \cdot 100}$$

A= مساحة المكبس ($سم^2$)
L= طول الضربة (سم)
N= عدد الضربات في الدقيقة
E= الكفاءة الحجمية (%)

مثال:
اوجد مقدار الضخ (لتر في الدقيقة) لمضخة مكبسية تحوي مكبس واحد وتعمل بمعدل 110 ضربة في الدقيقة ولها كفاءة حجمية مقدارها 90% وان قطر اسطوانة المكبس يبلغ 5 سم وان طول الضربة 10 سم.

الحل:
باستعمال المعادلة السابقة:
مساحة المكبس (A) = $(5)^2$ x 0.7854 $سم^2$
طول الضربة (L) = 10 سم
عدد الضربات (N) = 110
الكفاءة الحجمية (E) = 90 %

$$Q = \frac{90 \text{ x } 110\text{x } 10 \text{ x } [\ 0.7854 \text{ x } (5)^2\ ]}{1000 \text{ x } 100}$$

= 19.44 لتر/دقيقة

- **القدرة الحصانية المائية Water horsepower**

مقدار القدرة المستعملة لتحريك الماء ولا تتضمن اي فقدان في قدرة المحرك والمضخة ويمكن حسابها كالاتي:

Dr. Thamer Alhaji

$$\text{Water Hp} = \frac{W \cdot H}{4573.2}$$

Water Hp = القدرة الحصانية المائية
W = معدل جريان السائل (كغم/دقيقة)

- **القدرة الحصانية المكبحية (للبدء) Brake horsepower**

القدرة التي تسلط على المضخة من المحرك وهذه تشمل الفقدان المسبب عن كفاءة المضخة الحجمية (Ep) وهي القدرة المستعملة في تحريك الماء داخل المضخة (water Hp) مقسوما على كفاءة المضخة وتحسب كالاتي:

$$\text{Brake Hp} = \frac{W \cdot H}{4573.2 \times Ep} = \frac{\text{القدرة الحصانية المائية}}{\text{كفاءة المضخة}}$$

- **القدرة الحصانية للمحرك Motor horsepower**

وتحسب كما في العلاقة التالية :

$$\text{القدرة الحصانية للمحرك} = \frac{\text{القدرة الحصانية المكبحية}}{\text{كفاءة المحرك (Em)}}$$

الفقدان في الانابيب والملحقات Losses in pipelines and fittings

نتيجة لحركة السائل داخل الانابيب يحصل فقدان في الضغط نتيجة لعوامل عديدة منها: طول الانبوب (L) وقطره (D) وسرعة جريان السائل (v) وحالة سطح الانبوب (الخشونة Roughness) ومقدار اللزوجة (μ) وكمية الماء داخل المضخة ورقم رينولد Reynolds No. (Re) ولحساب مقدار هذا الفقد تستعمل جداول خاصة لتحديد مقدار الفقد بالاجزاء المختلفة من نظام الضخ. يمكن حساب مقدار الفقد بسبب الاحتكاك باستعمال المعادلة الاتية:

$$h_l = \frac{f.(L + L_e)}{D} \left(\frac{v^2}{2g}\right)$$

h_1 = الفقد نتيجة الاحتكاك (m)
f = معامل الاحتكاك
g = التعجيل الارضي
L_e = الطول المكافيء لنوع الوصلات fittings
v = سرعة المائع

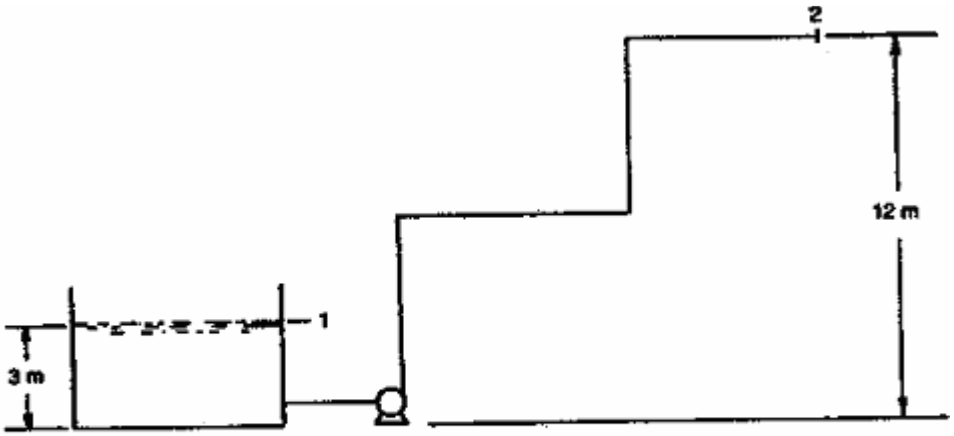
قيم L_e المكافئة لوصلات الانابيب

عكس 90^5	32 متر
عكس 45^5	15 متر
حرف T (من الرئيسي الى الفرع)	20 متر
حرف T (من الفرع الى الرئيسي)	75 متر

Dr. Ihamer Alhajri

مثال:

في مصنع اغذية, محلول السكروز كثافته النسبية 1.081 ولزوجته 1.9 cp عند درجة حرارة 20^5 يضخ من خزان كبير مفتوح بمعدل 60 لتر/دقيقة خلال انبوب من الحديد المغلون الى مستوى اعلى. الانبوبة طولها 30 متر وقطرها 26.65 ملم وتحتوي على 3 عكوس (نوع 90^5). اذا كان منسوب الماء الخارج 12 متر فوق سطح الارض احسب قدرة المضخة على اعتبار ان كفاءة المضخة هي 50 % ومعامل الاحتكاك بين المحلول والانبوب 0.0088 .



الحل:

كثافة المحلول السكري = $\rho = s.g. \times \rho_w = 1.081 \times 1000 = 1081\ kg/m^3$

لزوجة المحلول الديناميكية = $\mu = \frac{1.9}{1000} = 0.0019\ Pa.s$

مساحة الانبوب = $A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} \times 0.02665^2 = 0.000558\ m^2$

السرعة تساوي = $v = \frac{Q}{A} = \frac{\left(\frac{60}{1000 \times 60}\right)}{0.000558} = 1.79\ m/s$

$$h_l = \frac{f.(L + L_e)}{D}\left(\frac{v^2}{2g}\right)$$

الفقد نتيجة الاحتكاك بوجود العكوس تعادل بطول مكافيء وحسب ما موجود في الجدول اعلاه فان الطول الكافيء للعكس 90^5 هو 32 متر لكل عكس.

Dr. Thaer

$$h_l = \frac{f.(L + L_e)}{D}\left(\frac{v^2}{2g}\right) = 0.0088 \times \frac{30 + (3x32)}{0.02665}\left(\frac{1.79^2}{2 \times 9.81}\right) = 6.794\ m$$

Total tube length (h_p) = 12 + 6.79 = 18.79 m

وبالتالي فان قدرة المضخة تساوي :

$$P_{theoretical} = \rho\ g\ Q\ h_p$$

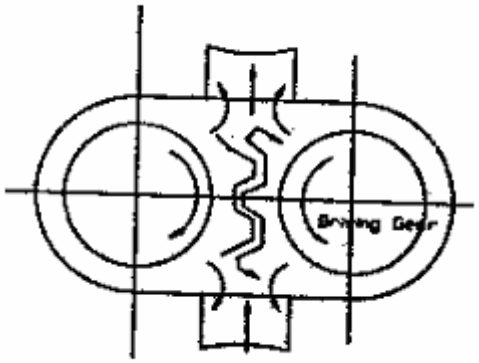
$$P_{theoretical} = 1081 \times 9.81 \times \frac{60}{1000 \times 60} \times 18.79 = 199.3\ w$$

لان كفاءة المضخة 50 % فان القدرة الفعلية للمضخة :

$$P_{actual} = \frac{199.3}{0.5} = 398.5\ w$$

2. المضخات الدوارة Rotary pump

تتألف المضخة من اجزاء مكونة من عدة اجزاء تدور كل واحدة عكس الاخرى ومحصورة في مجال ضيق هو جدار المضخة وتكون فجوات بين جدار المضخة والجسم الدوار فينتقل السائل بواسطة هذه الفجوات من جهة الدخول الى الخارج. تدور عادة هذه المضخات بسرعة كبيرة وقد تكون هذه الاجزاء على شكل ترسين يدوران باتجاه معاكس ويطلق على هذه المضخات اسم المضخات الترسية Gear pumps.



مضخات الازاحة غير الايجابية Non-positive displacement pumps

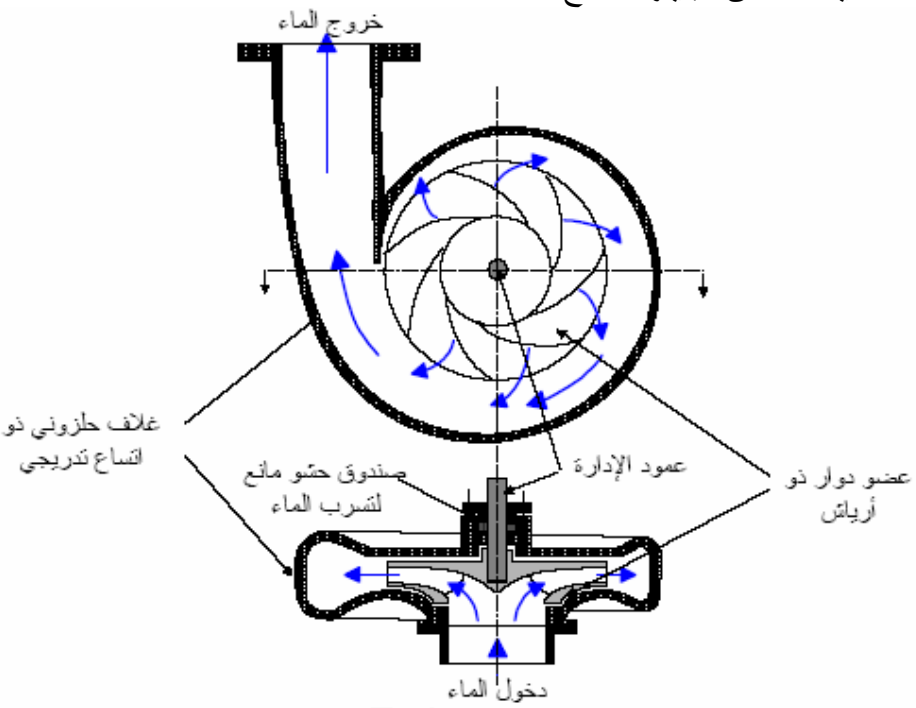
تعطي هذه المضخات ضغط متجانس ومستمر وهي سهلة التكوين وذات كفاءة عالية ومن هذه المضخات هي مضخات الطاردة المركزية.

- **المضخة الطاردة المركزية Centrifugal pump**

تعتمد في عملها على القوة الطاردة عن المركز حيث تدور المروحة داخل المضخة بسرعة كبيرة فيؤدي دورانها الى رمي الاجزاء الى خارج دائرة الدورة. وتعد من المضخات الشائعة الاستعمال

Dr. Munther Alhaji

تتكون من قاعدة للمضخة Casing في داخلها تتحرك المروحة Impeller تتكون من عدة ريش Blades وتكون هذه المضخة من نوع المغلق. يتم تحريك المروحة بواسطة محرك كهربائي مناسب تعتمد قابلية الضخ على حجم المروحة المستعملة, كما ان مقدار الضخ يعتمد على سرعة حركتها. تتميز هذه المضخة ببساطة التركيب ورخص الثمن وحاجتها الى مساحة ارض صغيرة وانها تعطي ضخ منتظم ولكنها تسبب في خض السوائل اثناء عملية ضخها ولا تولد ضغط عالي وتحتاج الى ملء المضخة بالمادة الغذائية قبل تشغيلها بتاثر فاعليتها بحدوث تسرب هواء كما ان الحرارة العالية تقلل من قابليتها للضخ.



مضخة طرد مركزية

المضخات الصحية Sanitary pumps

يطلق هذا الاسم على جميع الانواع التي تكون المروحة والتروس والمكابس مصنوعة بشكل يسهل ازالتها وتنظيفها ومن معدن صحي مناسب هو الحديد غير قابل للصدأ stainless steel. وتعتبر المضخات الطاردة المركزية اكثر المضخات شيوعا في معامل الاغذية لما تمتاز به من صفات عديدة كالتي سبق ذكرها.

انتخاب المضخات

عند إجراء انتخاب للمضخات لاجراء عملية ضخ معينة يجب ملاحظة النقاط الاتية:

1. يجب ان تكون المضخة مصنوعة من مادة لها قابلية على مقاومة الضغط العالي ومقاومة التآكل.
2. مصنوعة من معدن لا يتفاعل وليس له قابلية الذوبان في المادة الغذائية.
3. تكون ذات تصميم يتناسب مع العمل المراد اجراءه.
4. الضغط المراد وصوله.

Dr.Tha

انظمة التسخين في مصانع الاغذية
Heating system

مصادر الحرارة: تتولد الحرارة من اربعة مصادر رئيسية للطاقة:

أ. الوقود الصلب مثل الفحم والخشب
ب. الوقود السائل مثل الزيوت المشتقة من البترول
ت. الوقود الغاز مثل الغاز الطبيعي
د. الطاقة الكهربائية
ه . الوقود النووي

يعتمد اختيار مصدر الطاقة لتسخين المواد الغذائية بجانب الخصائص الاقتصادية على الوقود ونواتجه الثانوية على المادة الغذائية وعادة يجب التوفيق بين هذه المتطلبات عن طريق اخذ العوامل التالية بالاعتبار:

1. تكلفة الوقود لوحدة الطاقة المستفاد منها
2. تكلفة راس المال والصيانة لاجهزة الاحتراق والنقل الحراري
3. تكلفة العمالة المباشرة لوحدة الطاقة المستفاد منها
4. خطر الحريق وانفجار في ظروف الغبار
5. خطر تلوث الناتج بالوقود ونواتجه الثانوية
6. ضمان استرارية الامداد

الاحتراق: combustion

الكربون والهيدروجين والكبريت هي عناصر الوقود التي يمكن احتراقها لتوفير الحرارة. وتعطي الاكسدة الكلية, في وجود الاوكسجين, ثاني اكيد الكربون وبخار ماء وثاني اكسيد الكبريت حيث يشير وجود اول اكسيد الكربون الى عدم اكتمال الاحتراق.
يعبر عن الطاقة الحرارية من الوقود بالقيمة الاجمالية gross heating value.
القيمة الحرارية الاجمالية الناتجة من احتراق الوقود تساوي الحرارة الناتجة من احتراق عناصر الوقود منقوصا منها الجزء للهيدروجين الذي يتحد مع الاوكسجين ليكون الماء.
من الضروري توفير 10-50 % هواء زائد عن اللازم للتاكد من الاحتراق الكامل ولكن ربما يؤدي هذا الى تبريد اللهب وانخفاض الكفاءة. لهذا يجب اضافة اقل ما يمكن لضمان الاحتراق الكامل.

انواع الوقود

أ. الوقود الصلب: solid fuel يمثل الفحم بانواعه المختلفة اكثر مصدر للطاقة الابتدائية توفرا في المناطق الصناعية في العالم. يوضح الجدول التالي مقارنة لبعض خصائص الوقود الصلب مع الوقود السائل والغازز

الوقود	القيمة الحرارية الاجمالية	نسبة الكبريت %	نسبة الرماد %	نسبة الرطوبة %

Dr. Thamer Alfari

صلب:				
فحم الانثراسيت	32.5	1	8	8
فحم الخشب	29	2	8	10-5
فحم الكوك	28	1	5-1	5-0.5
خشب جاف	14	-	5-4	12
سائل:				
كيروسين	46.5	0.5	-	بسيط جدا
زيت الغاز	45.5	0.15	0.01	0.05
زيت الوقود	43.5-42.5	3.5-3.2	0.1-0.05	1.0-0.5
غاز:				
خليط غازات من الفحم الكوك وغيرها (غاز المدينة)	18.6 م^3	بسيط جدا	بسيط جدا	بسيط جدا
غاز طبيعي	31 م^3	بسيط جدا	بسيط جدا	بسيط جدا

يلاحظ ان الوقود الصلب يحتوي على نسبة عالية من الكبريت والرماد بجانب ذلك فان فحم الانثراسيت anthracite يحتوي على كميات بسيطة من المواد السامة الطيارة مثل مركبات الرصاص والزرنيخ ويصعب تداول اغبرتها ولهذا لا يوصي باستعمال هذا الوقود في تصنيع الاغذية ويمكن استعماله فقط في حالات توليد البخار او اجهزة الاحتراق غير المباشر.

ب. **الوقود السائل** liquid fuel

كما موضحة بالجدول السابق فان زيو ت الوقود المستخلصة من البترول هي الاكثر استخداما في التسخين الصناعي. والقيمة الحرارية لهذا النوع من الوقود ثابتة تقريبا عند 41 MJ/l وتقل قيمة زيت الوقود كلما زادت اللزوجة. على الرغم ان غازات الاحتراق الناتجة غير سامة الانه يجب حصر استعمالها في اجهزة الاحتراق غير المباشر وذلك لان احتوائها العالي من ثاني اكسيد الكبريت قد يؤدي الى تلوث المواد الغذائية بالاضافة لذلك هناك خطر التلوث بالروائح ورماد الفحم الناتجة من الاحتراق غير الكامل.

جـ . وقود الغاز Gaseous fuel

يوضح الجدول السابق بعض خصائص وقود احتراق غازيين اساسيين هما غاز المدينة والغاز الطبيعي. غاز المدينة town gas عبارة عن خليط من عدة غازات وذو قيمة حرارية 18.6 MJ/m^3 . ويختلف غاز المدينة عن الغاز الطبيعي في عدة اشياء اهمها انه يحتوي على معدل منخفض لانتشار اللهب وهذا يستدعي تصميم خاص لجهاز الاحتراق للتاكد من ثبات اللهب.
تعتبر خصائص الغاز بجانب مرونته وسهولة التحكم فيه من العوامل التي تجعله وقودا جذابا في اجهزة الاحتراق المباشر في الصناعات الغذائية.

د. الكهرباء electricity

تعطي الكهرباء في الصناعات الغذائية مرونة وتحكم ممتاز وخطر حريق وانفجار منخفض وخصائص صحية ونظافة ممتازة. تعطي الطاقة الكهربائية 3600 kJ لكل kWh .

Dr. Hamed Alhaji

تظم استخدام الحرارة لتسخين الغذاء

تسخن المواد الغذائية اما بطرق مباشرة او غير مباشرة حيث تضاف الحرارة المتولدة الى المواد الغذائية في التسخين غير المباشر بواسطة مبادلات حرارية وبذلك تكون نواتج الاحتراق معزولة عن المادة الغذائية. اما في انظمة التسخين المباشر فيتم تمرير الطاقة الحرارية مباشرة في المادة الغذائية وتكون نواتج الاحتراق في اتصال مباشر مع المادة الغذائية.
يتم التسخين غير المباشر بواسطة:

1. الابخرة او الغازات مثل البخار او الهواء
2. السوائل مثل الماء او سوائل التبادل الحراري
3. الكهرباء في اجهزة تسخين المقاومات

اما التسخين المباشر فيكون بواسطة:

1. استخدام الغاز والزيت والوقود الصلب
2. استخدام الطاقة تحت الحمراء
3. استخدام الكهرباء بواسطة العازل الكهربائي او الموجات الدقيقة microwave

أ. نظم التسخين غير المباشر indirect heating methods

تحتوي هذه الانظمة اساسا على اربعة عناصر:

1. غرفة احتراق حيث يحرق الوقود وتطرد نواتج الاحتراق
2. مبادل حراري حيث تنتقل حرارة الاحتراق الى مائع التبادل الحراري
3. نظام انتقال وفيه يمر مائع التبادل الحراري الى المستهلك للطاقة
4. مبادل حراري يبادل مائع انتقال الحرارة حرارته مع المادة الغذائية

ب. الطرق المباشرة للتسخين direct heating methods

هناك عدة طرق للتسخين المباشر نذر منها افران الخبز بالاحتراق المباشر والتسخين المباشر بطاقة الاشعة تحت الحمراء. وهناك طريقتين اخريين للتسخين الكهربائي المباشر وهما التسخين بالعازل الكهربائي والتسخين بالموجات الدقيقة. وهاتان الطريقتان كانتا مجال ابحاث مركزة بواسطة صناعة الاغذية وهما الان طريقتان مهمتان في بعض مجالات التصنيع الحراري. هذا بالاضافة الى ان لهما مستقبلا كبيرا في تطبيقات اخرى جديدة.

البخار كعامل تسخين steam as a heating medium

البخار هو كاحد افضل عوامل التسخين نسبة لانه يحتوي على كمية كبيرة من الطاقة الحرارية لوحدة كتلة من البخار. وهو عبارة عن ماء قد تبخر نتيجة لاضافة كمية من الحرارة لاحداث تغيير في طبيعة الماء وذلك بخروج جزيئاته من السطح عندما يزداد ضغط بخار الماء عن الضغط فوق سطح الماء.

صور البخار

هناك ثلاث صور للبخار:

1. بخار جاف مشبع dry saturated steam
2. بخار رطب wet steam
3. بخار عالي الحرارة superheated steam

Dr. Thamer Alraji

البخار الجاف المشبع: هو البخار الذي يكون كل الماء الذي فيه قد تبخر. هناك ضغط مناظر لكل درجة حرارة للبخار الجاف المشبع ولهذا اذا اريد الحصول على درجة حرارة اعلى وجب استعمال ضغط اكبر.

البخار الرطب: هو البخار الذي يحتوي على بعض قطرات الماء التي لم تتبخر وحيث يحتوي على كمية حرارة اقل ولهذا له عامل جودة. نسبة الماء الذي لم يبخر منقوصة من 100 ترف بجودة البخار ولهذا اذا استخدم واحد كيلو غرام من البخار الرطب الذي جودته 95 % عند الضغط الجوي فانه يعطي 0.95 x 2251 كيلو جول عند تكثيفه.

البخار عالي الحرارة: هو البخار الذي يحتوي على حرارة اكبر من التي تكفي لتبخر كل الماء الذي فيه ودرجة حرارته اعلى من درجة حارة البخار الجاف المشبع لنفس الضغط.

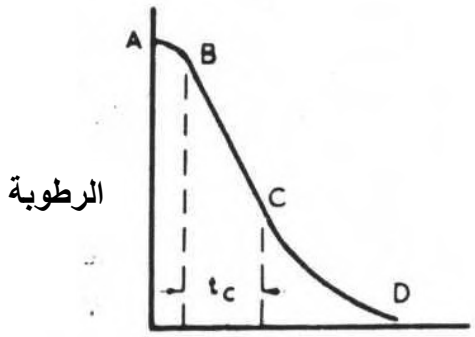
Dr. Thamer Alhaji

تجفيف الاغذية

Food dehydration

التجفيف هو عبارة عن استخدام الحرارة تحت ظروف متحكم بها لنزع اكبر كميمة من الماء الموجود طبيعيا في الغذاء بالتبخير او التسامي (كما يحدث في التجفيد). هذا التعريف يستثنى بعض العمليات الاخرى التي فيها ازالة للماء مثل التركيز بالتبخير او التركيز عن طريق الاغشية او الخبز, حيث انه في هذه العمليات كمية الماء المنزوعة اقل بكثير مما يحدث في التجفيف. الغرض الرئيسي من التجفيف هو اطالة فترة الصلاحية للغذاء وذلك بانقاص النشاط المائي (a_w) له وهذا يعمل على تثبيط النمو الميكروبي ويحد من النشاط الانزيمي. كذلك فان هناك فوائد اخرى للتجفيف منها على سبيل المثال تقليل الوزن للاغذية يجعلها في المتناول طول العام هو في الغالب ارخص من طرق الحفظ المستديم الاخرى مثل التجميد.

معدل التجفيف يمكن توضيحه بالرسم البياني التالي:



- تمثل مرحلة AB مرحلة الاقلمة حيث ان سطح الجسم الصلب سيصل الى مرحلة اتزان مع الهواء الساخن. هذه المرحلة تمثل جزءا قليلا جدا من دورة التجفيف وغالبا ما تهمل.
- تمثل مرحلة BC ما يعرف بمرحلة المعدل الثابت للتجفيف (Constant rate period). وخلال هذه المرحلة سطح الجسم الصلب يبقى مشبعا بالماء وذلك يرجع الى ان حركة (او خروج) الماء خلال الجسم الصلب الى السطح تحدث بنفس المعدل الذي يتم فيه خروج الماء من السطح.
- تمثل مرحلة CD ما يعرف بمرحلة المعدل الناقص (Falling rate period) حيث انه باستمرار التجفيف تصل الى نقطة يكون فيها معدل حركة خروج الماء خلال هذا الجسم الصلب الى السطح اقل بكثير من خروجة من السطح للخارج. ويبدأ في هذا الوقت ظهور الجفاف على اجزاء مختلفة من السطح. فالمحتوى الرطوبي عند النقطة (C) يعرف بالمحتوى الرطوبي الحرج.

انواع المجففات المستخدمة في تجفيف الاغذية

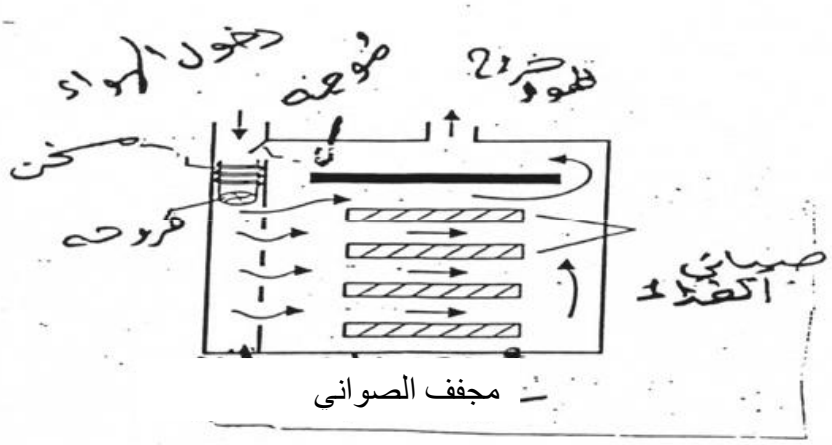
1. مجففات الصندوق Bin driers

هذا النظام بسيط يتكون من صندوق مزود بقاعدة مثقبة بها مروحة ومسخن لتحريك الهواء ولتسخينه. هذه القاعدة تكون ثابتة وقابلة لان يركب عليها قاعدة متحركة تحمل الاغذية المراد تجفيفها. وعند الانتهاء من عملية التجفيف يتم سحب القاعدة المتحركة بما تحتويه من اغذية جافة وبركب محلها قاعدة متحركة تحمل اغذية يراد تجفيفها وهكذا. يستخدم هذا المجفف غالبا لتجفيف الخضراوات وبعض الفواكه.

2- مجففات الصواني Cabinet (tray) driers

هذه المجففات عبارة عن صندوق معزول مزود بمروحة لسحب الهواء عبر مسخن ومن ثم عبر موجهات لتحريك هذا الهواء اما افقيا بين هذه الصواني او عموديا. ومسخنات الهواء المستعملة ربما تسخن بانابيب بخار او بمسخنات كهربائية عادية. هذه المجففات رخيصة نسبيا وكذلك فهي متعددة الاستخدامات وهي غالبا تستعمل في تجفيف الفواكه والخضراوات.

Dr. Thamer Alhaji



مجفف الصوانى

3. مجففات الانفاق Tunnel driers

هذا المجفف عبارة عن نفق قد يصل طوله الى 24 م مع مقطع عرضي (2 x 2 م) توزع المادة الغذائية الرطبة على صوان خشبيه او معدنية مع ترك فراغات بينها للسماح لدخول الهواء فيها وتحمل هذه الصواني على عربات. تدخل هذه العربات نفق التجفيف واحدة تلو الاخرى وتضبط سرعة سيرها بحيث اي عربة تدخل نفق التجفيف يقابلها عربة اخرى تخرج من النفق من الطرف الاخر.

هذه المجففات غالبا ما تقسم الى عدة اقسام حسب اتجاه الهواء المستعمل الى:

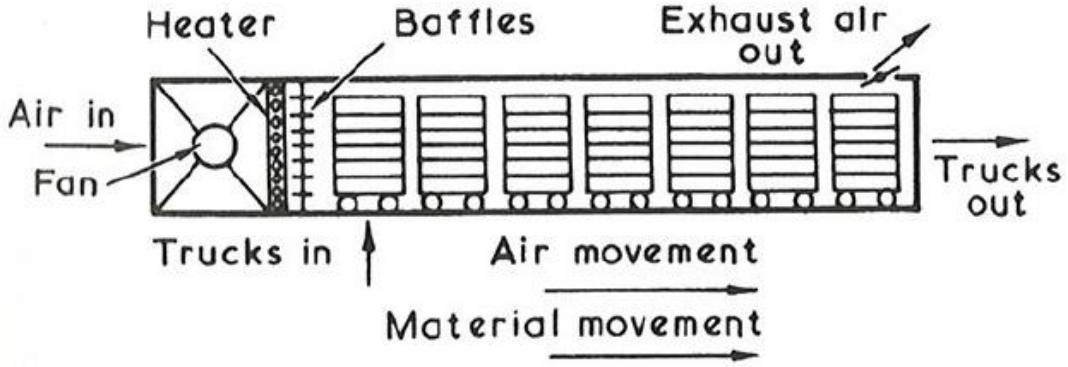
أ. النظام الموازي : وفيه يكون اتجاه الهواء واتجاه سير العربات اتجاه واحد.

ب. النظام المعاكس : وفيه يكون اتجاه الهواء عكس اتجاه سير العربات.

ج. النظام المدمج : وهذا النظام يجمع بين النظامين السابقين بحيث يستخدم النظام الموازي اولا ثم المعاكس ثانيا.

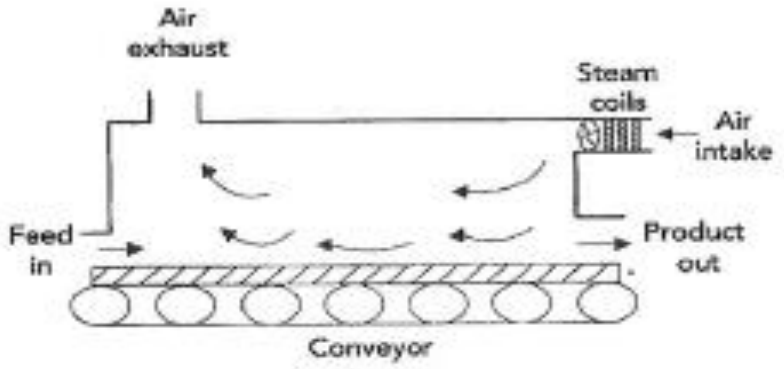
مزايا وعيوب كل نظام من مجففات الانفاق		
النظام	المزايا	العيوب
الموازي	1. تجفيف ابتدائي سريع. 2. اقل ضرر يمكن حدوثه للغذاء. 3. الانكماش قليل.	الحصول على مستويات رطوبة منخفضة امر في غاية الصعوبة (لان الهواء الرطب يمر فوق الغذاء الجاف)
المعاكس	1. بالامكان الوصول الى مستويات منخفضة من الرطوبة في الاغذية الجافة (لان الهواء الحار الجاف يمر فوق الاغذية الجافة). 2. استخدام اقتصادي للطاقة.	1. الضرر للغذاء والانكماش يحدث بصورة اكبر من النظام الموازي. 2. قد يحدث فساد للاغذية (قبل تجفيفها) حيث ان الهواء الدافيء الرطب يقابل اغذية رطبة).
المدمج	يجمع ما بين مزايا النظامين السابقين.	اكثر تعقيدا واكثر تكلفة من نظام اتجاه واحد.

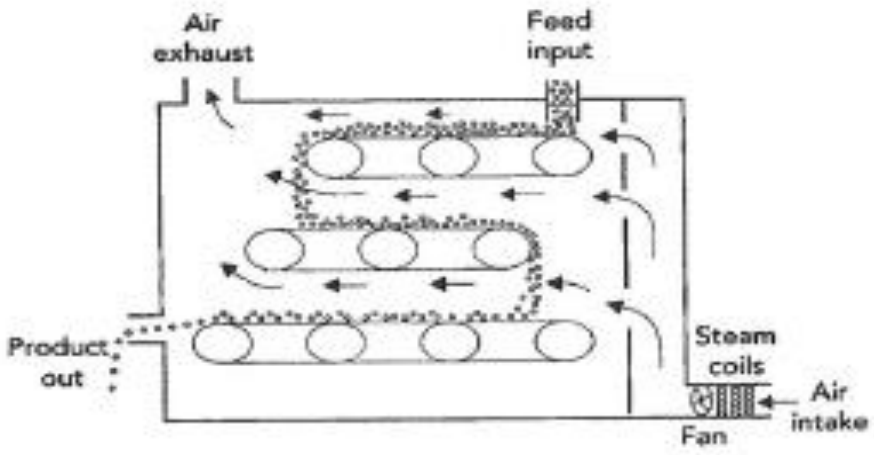
Dr. Thamer Al



3. مجففات السيور Belt driers

تشابه هذه المجففات تقريبا مجففات الانفاق في المبدأ ما عدا ان المادة الغذائية توضع على سيور متحركة وليس على عربات. يضخ الهواء في البداية من الاسفل وفي نهاية التجفيف من الاعلى, وذلك حتى لا تتطاير المادة المجففة (لانها منخفضة الكثافة وخفيفة الوزن).

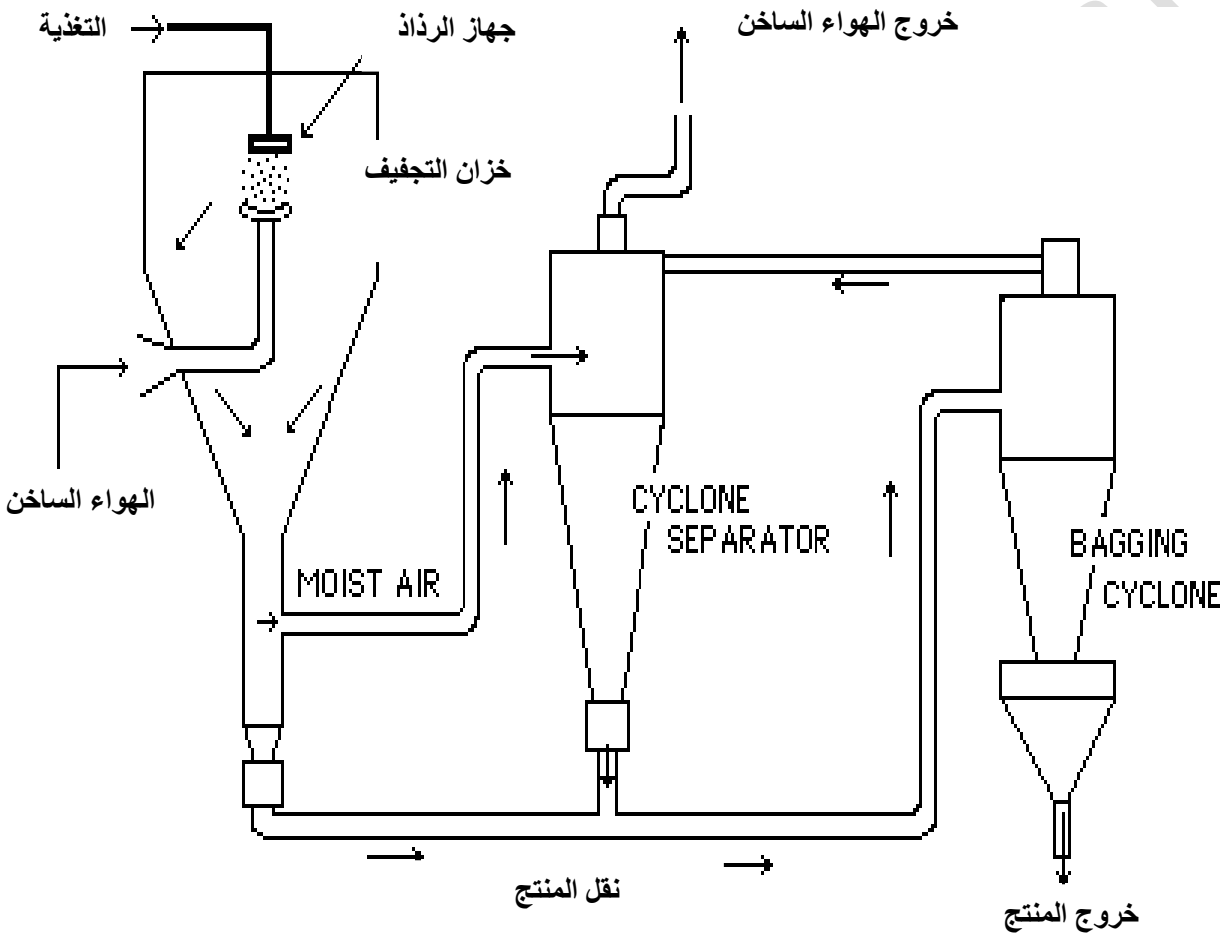




4. التجفيف بالرذاذ Spray driers

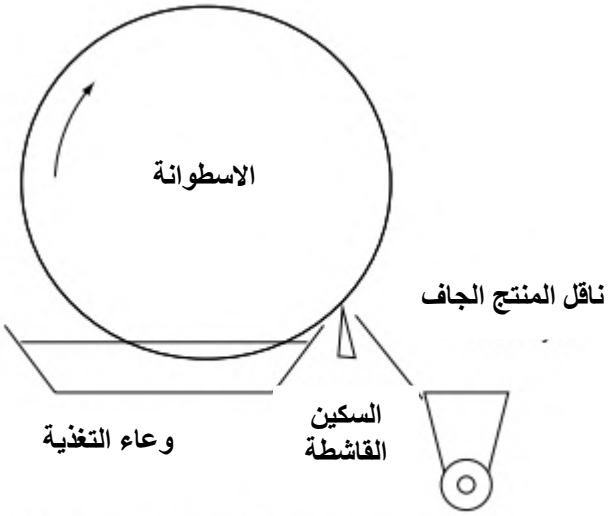
تستخدم هذه الطريقة اساسا في تجفيف الحليب السائل والقهوة حيث ترش (بعد تركيزها الى حدود 40 % رطوبة) على شكل رذاذ وتدفع جنبا الى جنب او باتجاه معاكس لهواء ذي سرعة عالية ودرجة حرارة في حدود 150-300 ^{5}م داخل حيز كبير على شكل برج يصل طوله

الى 20-30 م وقطره حوالي 7 م . وتستغرق عملية التجفيف ثواني قليلة (10 ث) وذلك راجع الى للمساحة السطحية الكبيرة لقطرات الرذاذ . المتعرضة للهواء الساخن والمندفع بقوة. وتجمع البودرة الجافة والمتساقطة الى الاسفل بطريقة خاصة. ومن اهم مزايا هذه الطريقة انها تستخدم للانتاج الكبير وصيانتها وتشغيلها ليست معقدة, بالاضافة الى ان تكلفة العمالة فيها قليلة والفقد في القيمة الغذائية محدود نظرا لسرعة عملية التجفيف.



5. المجففات الدوارة Drum driers

هذه المجففات عبارة عن اسطوانات تسخن داخليا بالبخار المضغوط (120 – 170 ^{5}م) وتدور بسرعة قليلة. ويمر الغذاء المراد تجفيفه (غالبا معجون الطماطة او الاغذية التي من الصعب استخدامها في مجفف الرذاذ) على شكل طبقة رقيقة على هذه الاسطوانات. ويجف الغذاء قبل ان تكمل هذه الاسطوانات دورتها والتي تستغرق حوالي 30 – 180 ثانية وبعد جفاف المنتج يكشط من اعلى الاسطوانة باستخدام سكالكين خاصة.



مجفف الدوار باسطوانة واحدة

Dr. Tham

تجفيف الاغذية

Food dehydration

ان انخفاض المحتوى المائي لاي مادة غذائية يؤدي الى ارتفاع المواد الصلبة الذائبة بها وبالتالي تتكون بيئة اقل ملائمة لنشاط الكائنات الحية الدقيقة والحشرات والانزيمات. فمثلا تؤدي زيادة تركيز المواد الصلبة الى 70 % او اكثر في المادة الغذائية الى امكانية حفظها معلبة بعد معاملتها معاملة حرارية بسيطة ويتم تركيز العصائر والحليب بالتبخير كذلك اعتبار التبخير لبعض المواد الغذائية الاخرى مرحلة ابتدائية لاتمام عملية التجفيف وذلك عن طريق خفض المحتوى الرطوبي للمادة الى ادنى حد ممكن.

المحتوى الرطوبي Moisture Content

يعبر عادة عن المحتوى الرطوبي للمادة على اساس الوزن الجاف ويعرف بانه نسبة وزن الماء بالمادة (W_m) الى الوزن الجاف للمادة (W_d) ويمكن حساب المحتوى الرطوبي على اساس الوزن الجاف (M_d) من المعادلة الاتية:

$$M_d = 100\ (W_m/W_d)$$

وتستخدم هذه المعادلة وهذا التعريف في الغالب مع الحبوب او المواد التي تكون فيها نسبة المواد الصلبة كبيرة كذلك يمكن حساب المحتوى الرطوبي على اساس الوزن الرطب (M_w) باستخدام المعادلة الاتية:

$$M_w = 100\ (W_m/W_t)$$

$$W_t = W_m + W_d$$

W_t = الوزن الكلي للمادة

$$M_w = 100 \times W_m/(W_m + W_d)$$

وتستخدم هذه المعادلة غالبا مع السوائل والخضر والفواكه واللحم.

مثال

اوجد كمية الرطوبة الواجب ازالتها في تجفيف واحد طن من الحبوب من 25 % رطوبة الى 14 % رطوبة على اساس الوزن الرطب.

$M_w = 25\ \%$

$W_t = 1000\ kg$

$M_{m1} = W_{m1}/W_t$

$25/100 = W_{m1}/1000$

$W_{m1} = 250\ kg$

$W_d = W_t - W_{m1} = 1000 - 250 = 750\ kg$

Dr. Thamer Alhajj

$M_{m2} = W_{m2}/W_{t2}$

$W_{t2} = W_{m2} + W_d$

$14/100 = W_{m2}/(W_{m2} + W_d)$

$14/100 = W_{m2}/(W_{m2} + 750)$

$W_{m2} = 122$ kg

وزن الرطوبة المزالة (M_r) هي:

$M_r = 250 – 122 = 128$ kg

خواص الهواء Air properties

للهواء بعض الخصائص التي تستخدم كدليل وكمقياس لمقدرته على حمل الرطوبة وبالتالي تحديد كمية الهواء اللازمة لتجفيف وزن معين من المنتج الزراعي وحساب زمن التجفيف, ومن هذه الخصائص ما يلي:

1. درجة الحرارة الجافة (T_d) Dry Bulb temperature والرطبة (T_w) Wet bulb Temperature.

درجة الحرارة الرطبة هي درجة حرارة الهواء عند تشبعه بالرطوبة. ودرجة الحرارة الجافة هي درجة حرارة الهواء العادية.

2. الرطوبة المطلقة Absolute Humidity

وهي وزن الرطوبة الموجودة في وحدة الاوزان من الهواء الجاف وهي تبقى ثابتة مع عملية تسخين او تبريد الهواء.

3. ضغط بخار الهواء (P_v) Water vapour pressure

وهو الضغط الجزئي للبخار في الهواء ويصل الى ضغط التشبع عندما يتشبع الهواء كله بالرطوبة وعند ارتفاع درجة حرارة الهواء يزداد الضغط المشبع له.

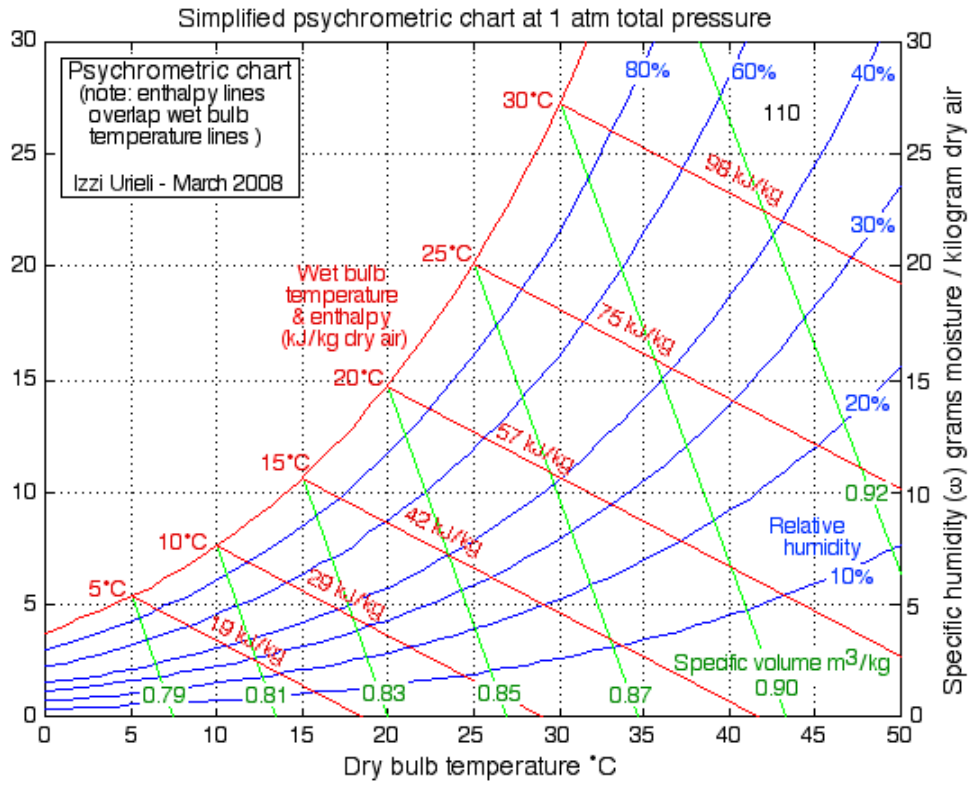
4. الرطوبة النسبية (H_r) Relative humidity

وهي عبارة عن النسبة المؤية لضغط بخار الهواء (P_v) الى الضغط المشبع (P_s) عند نفس درجة الحرارة, اي ان:

$H_r = P_v/P_s \times 100$

وعند تسخين الهواء تنخفض رطوبته النسبية وتبقى رطوبته المطلقة ثابتة. هذا وقد تم تجميع خصائص الهواء هذه في شكل منحنيات مجموعة هذه المنحنيات تسمى بالمنحنيات السيكرومترية.

Dr. Thamer Alhaji



التجفيف الادياباتيكي Adiabatic drying

وهي ان كمية الحرارة التي يحملها الهواء عند دخوله على المادة الرطبة تعادل كمية الحرارة التي يحملها الهواء عند خروجه.

مثال

يستخدم هواء جوي درجة حرارته 22 ^{o}C ورطوبته النسبية 60 % بعد تسخينه الى 70 ^{o}C لتجفيف 5 طن برسيم من محتوى رطوبي 80 % (على اساس الوزن الرطب) الى 12 % (على اساس الوزن الجاف) بحيث يخرج هواء التجفيف برطوبة نسبية 90 % , على افتراض ان التجفيف اديباتيكي فاحسب حجم الهواء اللازم لاتمام عملية التجفيف واذا كانت سعة المروحة (fan capacity) المستخدمة 700 m^3/min واحسب الزمن اللازم لعملية التجفيف.

الحل

اولا :تحسب كمية الماء اللازمة ازالتها من البرسيم كما يلي:

1. قبل التجفيف (الوزن الرطب) (W_{m1})

Dr. Thame

$W_t = W_{m1} + W_d = 5000$ kg

$M_w = (W_{m1}/W_t) \times 100$

$80 = (W_{m1}/5000) \times 100$

$W_{m1} = 4000$ kg water

الوزن الجاف قبل التجفيف (W_d)

$W_t = W_{m1} + W_d = 5000$

$W_d = 5000 - 4000 = 1000$ kg

2. بعد التجفيف فان الوزن الرطب للمادة الجافة (W_{m2})

$M_d = (W_{m2}/W_d) \times 100$

$12 = (W_{m2}/1000) \times 100$

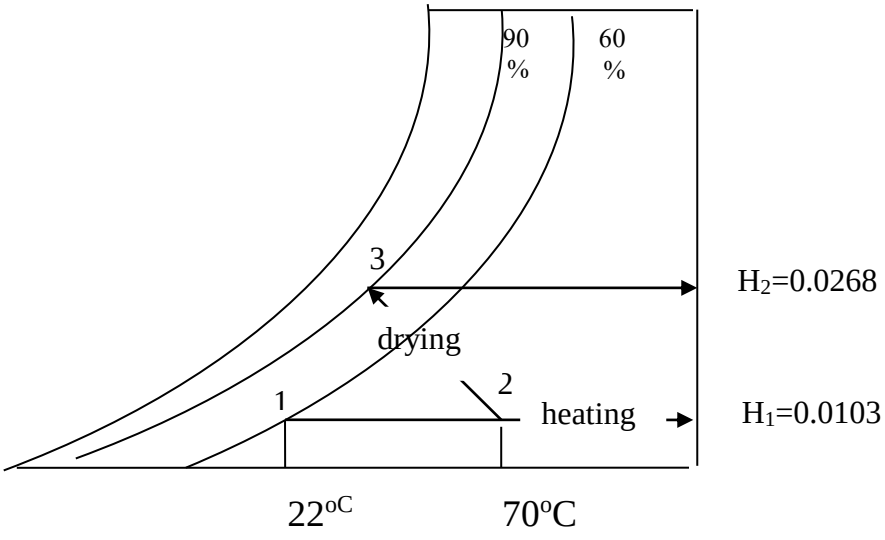
$W_{m2} = 120$ kg water

وزن الماء اللازم ازالته (W_w)

$4000 - 120 = 3880$ kg

ثانيا: تحسب كمية الماء التي يحملها واحد كغم هواء اثناء التجفيف وذلك باستخدام الخريطة السايكرومترية كما يلي:

1. تحدد نقطة دخول الهواء الى المروحة على الخريطة باستخدام خواص الهواء (درجة الحرارة والرطوبة النسبية) ولتكن النقطة 1 كما في الشكل التالي, ويتم تعيين هذه النقطة (1) بتقاطع الخط الراسي لدرجة حرارة دخول الهواء (22 ^oC) مع منحني الرطوبة النسبية للهواء الداخل (60 %)



Dr. Thamer Alhaji

2. عند تسخين الهواء تبقى رطوبته المطلقة ثابتة وترتفع درجة حرارته الى 70 ^oC عند النقطة (2) ويمكن تحديد هذه النقطة برسم خط افقي من نقطة 1 وحتى يتقاطع مع الخط الراسي الممثل لدرجة الحرارة 70 ^oC
3. على فرض ان التجفيف اديباتيكي فان التغيير في خواص الهواء خلال التجفيف يتبع خط التجفيف الاديباتيكي مبتدأ من النقطة 2 وحتى النقطة 3 والتي تحدد بتقاطع خط التجفيف الاديباتيكي مع منحني الرطوبة النسبية 90 %.
4. بتحدد النقط الثلاث (3, 2, 1) يمكن قراءة الرطوبة المطلقة للهواء الداخل الى المجفف H_1 كما يمكن قراءة الرطوبة المطلقة للهوا الخارج من المجفف H_2 وذلك عند خط افقي خلال النقطة 3 ليقطع المحور الراسي في H_2 ومن الخريطة يتضح أن:

$H_1 = 0.0103$ kg water/kg air

$H_2 = 0.0268$ kg water/kg air

اذن وزن الرطوبة التي يحملها واحد كغم هواء خلال المجفف (W_c)

$W_c = H_2 - H_1 = 0.0268 - 0.0103 = 0.0165$ kg water/ kg air

ثالثا: يحسب الزمن اللازم لانجاز عملية التجفيف كما يلي:

1. يحسب وزن الهواء اللازم لعملية التجفيف (W_a)

$W_a = W_w/W_c = 3880/0.0165 = 235151.52$ kg air

2. يحسب حجم الهواء اللازم لعملية التجفيف (V_a)

يقرأ الحجم الرطب للهواء (V_w) مباشرة من الخريطة السيكروترية عند النقطة 1 وهو يساوي 0.849 m^3/kg وعلى ذلك يكون حجم الهواء الذي يلزم لعملية التجفيف (V_a)

$V_a = W_a \times V_w = 235151 \times 0.849 = 199643.64\ m^3$

3. الزمن اللازم لعملية التجفيف t

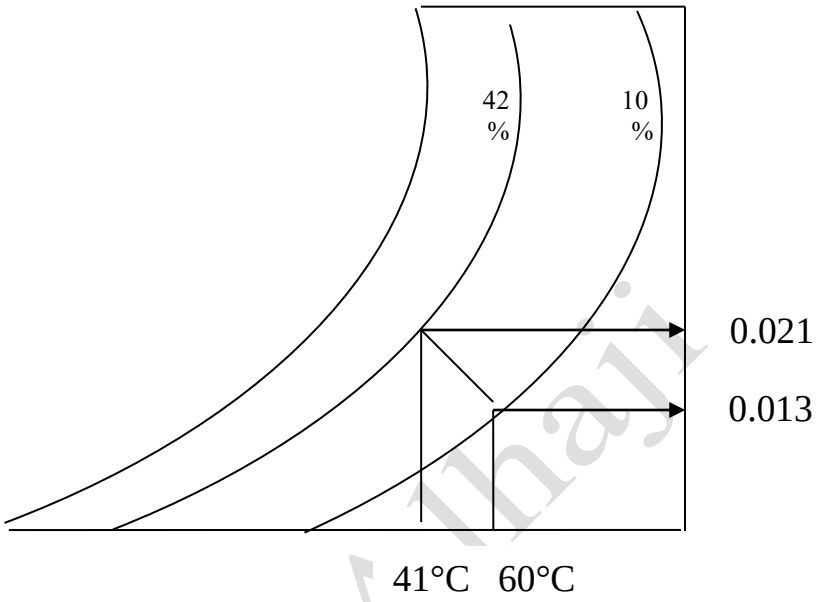
$t = V_a/\text{fan capacity} = 199643.64/700 = 285.2$ min $= 4.75$ hr.

<u>مثال</u>

هواء عند درجة حرارة 60 ^{0}م ورطوبة نسبية 10 % استعمل في تجفيف شرائح الجزر بمعدل 20 كغم هواء جاف/ثانية. اذا كان معدل تبخر الرطوبة من الجزر 0.16 كغم/ثانية احسب درجة الحرارة والرطوبة النسبية لهواء التجفيف الخارج باستعمال الخريطة السايكومترية.

Dr. Thamer Alhaji

من الخريطة السايكومترية عند درجة حرارة ورطوبة نسبية 10 % فان الرطوبة المطلقة = 0.013



الرطوبة المضافة الى هواء التجفيف = 0.16 كغم رطوبة / 20 كغم هواء جاف
= 0.008 كغم رطوبة/كغم هواء جاف
اذن الرطوبة المطلقة لهواء التجفيف الخارج = 0.013 + 0.008 = 0.021 كغم/كغم

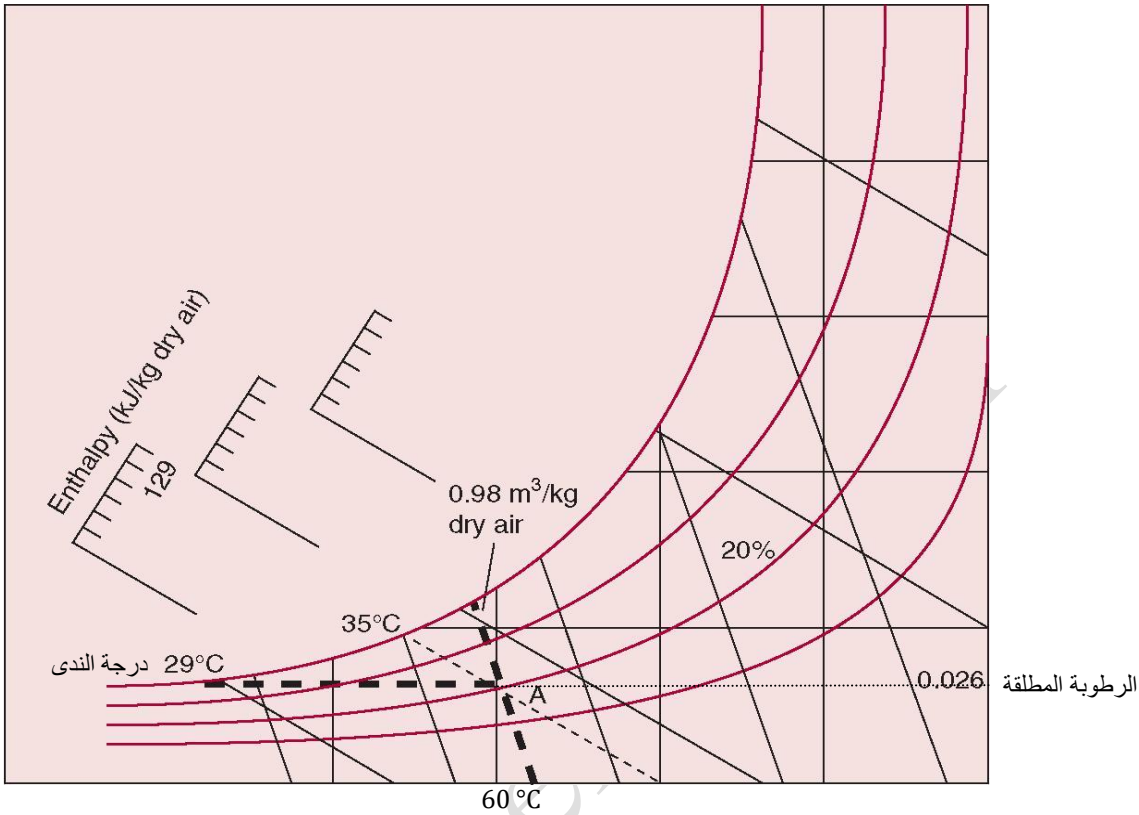
وباستعمال الخريطة السايكومترية فان خط الرطوبة المطلقة 0.021 سوف سيتقاطع مع خط درجة الحرارة الرطبة عند الرطوبة النسبية 42 % ودرجة الحرارة 41 ^{0}م.

مثال: خليط من الهواء والبخار عند درجة حرارة جافة 60 ^{o}C ودرجة حرارة رطبة 35 ^{o}C . استخدم الخريطة السايكروميترية وقدر الرطوبة النسبية والرطوبة المطلقة والحجم النوعي للهواء الجاف والانثالبي ودرجة حرارة نقطة الندى.

Solution

1. From the two given independent property values, identify a point on the psychrometric chart. As shown in the skeleton chart (Fig. E9.2), the following steps illustrate the procedure.
2. Location of point A: Move up on the 60°C dry bulb line until it intersects with the 35°C wet bulb temperature line.
3. Relative humidity: Read the relative humidity curve passing through A; <f> = 20%.
4. Specific humidity: Move horizontally to the right of the ordinate to read W = 0.026 kg water/kg dry air.
5. Enthalpy: Move left on the oblique line for constant enthalpy (same as constant wet bulb temperature) to read H_w = 129kJ/kg dry air.
6. Specific volume: By interpolation between specific volume lines, read V'_m = 0.98 m^3/kg dry air.

Dr.Thamer Alhaji


Enthalpy (kJ/kg dry air)
129
0.98 m³/kg
dry air
20%
35°C
درجة الندى 29°C
0.026
الرطوبة المطلقة
A
60 °C

Dr. Thame

تخفيض حجم وغربلة المواد الصلبة
size reduction and sieving the solid materials

يعتبر تخفيض حجم المواد الصلبة بتكسيرها باستخدام قوى ميكانيكية متطلبا اساسيا في عدد من عمليات تصنيع الاغذية. وتختلف اسباب تخفيض الحجم لتشمل:

1. يساعد في استخلاص مكون مرغوب من مادة غذائية مثل الدقيق من حبوب القمح او العصير من قصب السكر.
2. قد يكون التخفيض الى حجم معين من متطلبات مواصفات المنتج الغذائي كما في تصنيع السكر الثلجي (السكر المطحون) icing sugar وفي تحضير البهارات وتنعيم الشوكلاته.
3. يؤدي تخفيض حجم المادة الى زيادة مساحة سطحها وهذا يساعد في عدد من عمليات التصنيع الغذائي مثل:
   أ . يقلل زمن تجفيف المواد الرطبة بزيادة مساحة سطحها.
   ب. يزيد معدل استخلاص الذائب المرغوب بزيادة مساحة التلامس بين المذيب والذائب.
   ج. يقلل زمن التصنيع في عدد من العمليات مثل الطبخ والسلق وذلك بقطع وتفتيت مادة التصنيع.
4. يكون الخلط والمزج سهلا في حالة الجسيمات الصغيرة وهو اعتبار اساسي في انتاج الشوربات وخلط الكيك وغيرها.

طبيعة القوى المستخدمة في تخفيض الحجم:

بصورة عامة هناك ثلاث انواع من القوى المستخدمة في تخفيض حجم المواد الصلبة وقد يكون هناك اشتراك لاكثر من قوة واحدة.

والجدول التالي يوضح انواع القوى السائدة في بعض اجهزة تخفيض الحجم الشائعة الاستخدام في صناعة الاغذية:

القوة	الجهاز
ضغط COMPRESSION	بكرات الطحن CRUSHING ROLLS
صدمة SHOCK	طاحونة المطرقة HAMMER MILL
قص (احتكاك)ATTRITION	طاحونة قرص الاحتكاك DISC ATTRITION MILL

نسبة التخفيض

وتساوي نسبة التخفيض متوسط حجم المادة الخام مقسوما على متوسط حجم الناتج. ويمكن ان تستخدم هذه النسبة للتنبؤ باداء ماكنة تخفيض حجم معين. فمثلا ماكنات التخفيض لحجم خشن لها نسبة تخفيض اقل من 1:8 ولكن لماكنات التخفيض لحجم ناعم ترتفع النسبة حتى تصل الى 1:100.

الاعتبارات التي تحكم اختيار اجهزة تخفيض الحجم

الهدف من العملية الاقتصادية لتخفيض الحجم هو تحقيق التخفيض المطلوب باقل تكلفة. وتدخل كل من تكلفة راس المال وتكاليف التشغيل والصيانة في تحديد ربحية عملية تخفيض الحجم ويجب اخذ هذه العوامل في الاعتبار قبل اختيار خط تخفيض الحجم. كما ان معرفة خصائص

Dr. Thamer Alhaji

المادة المراد تخفيض حجمها وخصائص الماكنات المختلفة وخصائص الناتج النهائي ضرورية. وفيما يلي بعض الخصائص الضرورية للمادة المراد تخفيض حجمها:

1. صلابة وقوة احتكاك المادة:

بصورة عامة فان المواد الصلبة اكثر صعوبة في تخفيض حجمها وتحتاج الى طاقة عالية لتخفيض الحجم وتبقى لفترة اطول داخل جهاز تخفيض الحجم. كما ان المواد الصلبة تؤدي الى تآكل الاسطح الملامسة ولذا يجب تصنيعها من مواد خاصة مثل صلب المنغنيز وتكون سهلة الاستبدال.

2. التركيب الميكانيكي للمادة:

قد تساعد معرفة التركيب الميكانيكي للمادة المراد تخفيض حجمها في معرفة نوع القوة التي يمكن ان تساعد على تفككها. فاذا كانت المادة هشة او لها تركيب بلوري فيمكن ان يحدث التكسير بسهولة على طول اسطح التكسير وتتكسر الجسيمات الكبيرة بسهولة اكثر من الجسيمات الصغيرة. وفي هذه الحالة تستخدم اجهزة التكسير بقوى الضغط. اما اذا كانت اسطح التكسير قليلة فيفضل استخدام اجهزة الصدم والقص. ومعظم المواد الغذائية تتركب من الياف ولا يمكن تفكيكها بسهولة بواسطة قوى الضغط والصدم ولهذا تتطلب اجهزة للتفتيت او القطع.

3. الرطوبة:

قد يساعد وجود الرطوبة عملية تخفيض الحجم وقد يعيقها. فقد تؤدي الرطوبة اكثر من 20 % الى اختناق الطاحونة وقد تتاثر سعة وكفاءة الطحن سلبا. وقد ينتج تكتل للمادة في وجود الرطوبة وهذا غير مرغوب اذا كان المطلوب مسحوقا ناعما سهل التدفق. كما ان الرطوبة المنخفضة تؤدي الى تكون الغبار اثناء الطحن والى بعض المشاكل مثل:

أ. قد يؤدي استنشاق الغبار الناعم لفترات طويلة الى امراض تنفسية خطيرة للعاملين.

ب. قد تصبح عديد من المواد الغذائية الصلبة عند تفتيتها لدرجة ناعمة قابلة للاشتعال وهناك عديد من حالات انفجار الغبار في الصناعات الغذائية.

4. حساسية المادة لدرجة الحرارة:

يحدث احتكاك بين الجسيمات في منطقة الطحن ويحدث نتيجة ذلك ارتفاع في درجة الحرارة وقد يحدث تدهور للمادة نتيجة لذلك. ولهذا فان معرفة الثبات الكيميائي للمواد الحساسة للحرارة ودرجات حرارة تلينها او انصهارها مهمة. فاذا كانت الحرارة تؤدي الى لزوجة في المادة فقد يحدث اختناق في الماكينة وتقل كفاءتها وفي هذه الحالة قد يتطلب استخدام وسائل للتبريد حول منطقة الطحن.

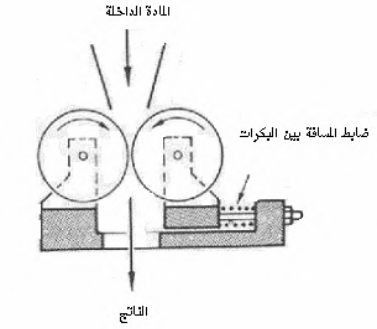
<u>اجهزة تخفيض الحجم</u>:

تتوفر انواع عديدة من اجهزة تخفيض حجم المواد الغذائية وباحجام مختلفة. وفيما يلي اكثر الانواع ماكينات تخفيض الحجم شيوعا في الاستخدام:

1. اجهزة الطحن الاسطوانية CRUSHING ROLLS

تدور في هذه الماكنة اسطوانات ثقيلة من الصلب في اتجاه معاكس. ويتم سحب جسيمات المادة المراد تخفيض حجمها بين البكرات التي تضغط عليها وتكسرها. يتم التحكم في سعة هذه الماكينات عن طريق طول وقطر الاسطوانات والمسافة بينها وسرعة دورانها. نسبة التخفيض لهذا الجهاز عادة منخفضة (اقل من 5) . يقوم نابض بحماية سطح الاسطوانات ولكن يجب ازالة الاجسام الصلبة الغريبة قبل الطحن.

Dr. Ehamed A Ibrahim



يتم حساب حجم المادة التي يتم طحنها في وحدة زمن والتي تعرف بمعدل التدفق الحجمي Q لهذه الماكينة ومن هذه المعادلة:

$$Q = \pi D_r N D_p L$$

حيث ان:

D_r = قطر الاسطوانة بالمتر

D_p = المسافة بين الاسطوانتين بالمتر

N = سرعة دوران الاسطوانة في الدقيقة

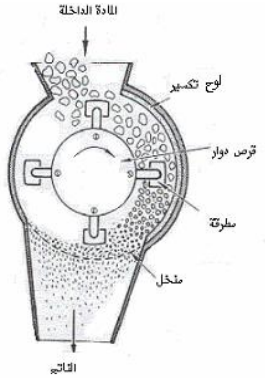
L = طول الاسطوانة

وبمعرفة كثافة الناتج يمكن حساب معدل تدفق الكتلة له. وعمليا تكون السعة الحقيقية تعادل 0.1-0.3 من السعة النظرية. ويستخدم هذا النوع من الماكينات في طحن القمح وفي تنعيم الشكولاته.

2. **طاحونة المطرقة** Hammer mill

تستخدم في هذا النوع من الماكينات قوة الصدم لتخفيض الحجم وهي شائعة الاستخدام في التصنيع الغذائي. ويقوم الجزء الدوار والذي يدور بسرعة عالية بحمل عدد من المطارق في محيطه. وعندما يدور الجزء الدوار تدور المطارق في مسار دائري داخل اطار يحتوي على لوح تكسير. تمر المادة المراد طحنها خلال منطقة الطحن حيث تقوم المطارق بطرقها على لوح التكسير. وتتم عملية تخفيض الحجم في هذا الجهاز عن طريق قوى الصدم ويمكن ان تلعب قوى الاحتكاك دورا ايضا.

ويمكن اعتبار طاحونة المطارق طاحونة متعددة الاغراض تقوم بتخفيض حجم المواد الصلبة والالياف والخضراوات والمواد اللزجة. وتستخدم في الصناعة بكثرة في طحن البهارات والسكر. وبسبب التآكل الذي يحدث فلا ينصح باستخدام مطاحن المطرقة لطحن المواد الصلبة جدا.



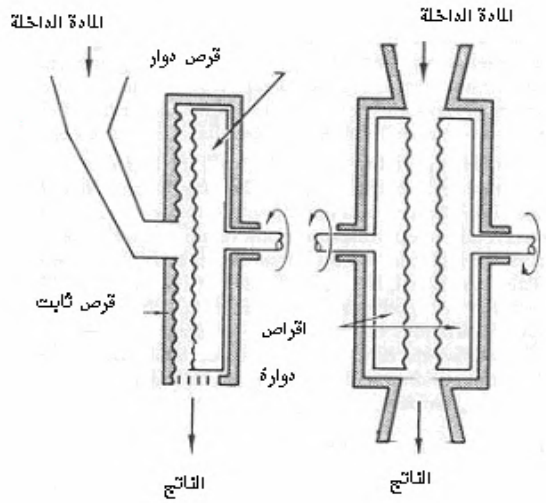
Dr. Hamer Alhaji

3. **طاحونة قرص الاحتكاك** disk attrition mill

تستخدم طاحونة قرص الاحتطاك للطحن الناعم للمواد الغذائية عن طريق قوى القص. وان معظم عملية الطحن للمواد الغذائية تهدف لانتاج جسيمات ناعمة جدا فان هذا النوع من المطاحن يستخدم بكثرة في التصنيع الغذائي. وهناك نوعان من طواحين قرص الاحتكاك هما:

أ. الطاحونة احادي القرص single disc mill

وفي هذه الماكينة تمر المادة المراد طحنها خلال فتحة ضيقة بين قرص(يدور بسرعة عالية) وجدار الطاحونة الثابت. يتم ضبط الفتحة اعتمادا على حجم المادة المراد طحنها ومتطلبات المنتج النهائي.

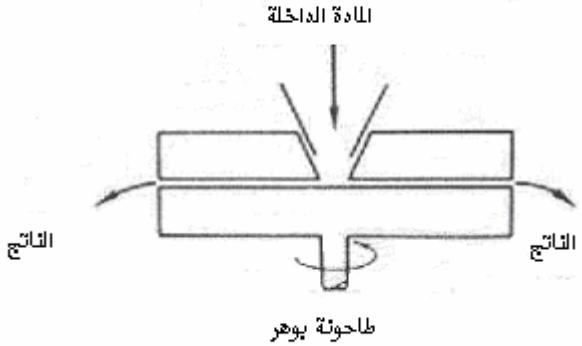


ب. طاحونة مزدوجة القرص double disc mill

في هذه الماكينة يدور قرصان داخل اطار الماكينة في اتجاه متعاكس مما يعطي درجة كبيرة من القص مقارنة بالطاحونة مفردة القرص. ويستخدم هذا النوع من المطاحن بكثرة في طحن الذرة والارز.

4. **طاحونة بوهر** buhr mill:

وهي اقدم انواع طاحونة قرص الاحتكاك وتستخدم في طحن الحبوب لانتاج الدقيق, حيث يدور حجران دائريان مثبتان على محور راسي. يوجد في القرص العلوي المثبت فتحة لادخال المادة المراد طحنها بينما يدور الحجر السفلي.



طاحونة بوهر

Dr.Thamer Alnaji

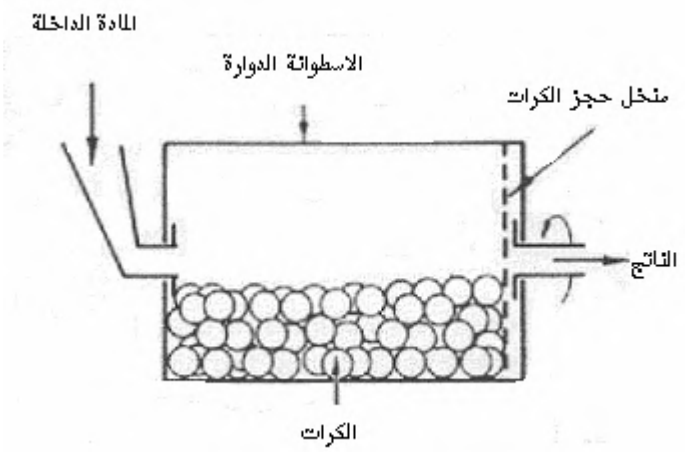
وتمر المادة الى الفتحة بين الحجر العلوي والحجر السفلي. وبعد تتعرض المادة لقوى القص بين الحجرين تخرج من على طرف الحجر السفلي. وفي بعض التصميمات يدور كل من الحجرين في اتجاه متعاكس. وتم في الاجهزة الحديثة استبدال الاحجار بواسطة صلب مصلد. ولا زالت هذه الماكينة مستخدمة في الطحن الرطب للذرة لفصل النشا والكلوتين من البذرة.

5. **الطواحين الدحراجة** tumbling mills

وهي تستخدم بكثرة في عدد من الصناعات الغذائية للطحن الناعم. ويتوفر منها نوعان هما طاحونة الكرات وطاحونة القضبان.

أ. طاحونة الكرات balls mill

يستخدم في طاحونة الكرات كل من قوى القص والصدم في تخفيض الحجم. وتتكون الوحدة من اسطوانة افقية تدور ببطء وتحتوي على كرات من الصلب او من الحجر. عندما تدور الاسطوانة ترتفع الكرات على جدار الاسطوانة وتسقط على المادة وتطحنها. وايضا تتدحرج الكرات على بعضها وتقوم بعملية قص على المادة. وتقوم عملية القص والصدم بتخفيض فعال للحجم. يتفاوت حجم الكرات من 15-25 ملم .



عند السرعات المنخفضة للاسطوانة فان الكرات لا ترتفع كثيرا وتتدحرج على بعضها وتسيطر قوى القص على عملية الطحن اما في السرعات العالية مترتفع الكرات الى اعلى وتزداد قوى الصدم. وفي السرعات العالية جدا تلامس الكرات اثناء دورانها الجدار بفعل قوة الطرد المركزي ولا تسقط وتتوقف عملية الطحن. ولهذا يجب الا تزيد سرعة الدوران عن السرعة الحرجة. والسرعة الحرجة يمكن حسابها من المعادلة :

$$N_c = 42.3/D^{0.5}$$

حيث ان :

N_c = السرعة الحرجة وتقاس بوحدة الدوران لكل دقيقة.

D = قطر الاسطوانة بالمتر.

وتكون السرعة المثلى عمليا حوالي 76 % من السرعة الحرجة.

ب .طاحونة القضبان rods mill

وفي هذا النوع من الطواحين استبدلت الكرات بقضبان من الصلب عالي نسبة الكاربون. وتلعب كل من قوى الصدم والقص دورا في عملية تخفيض الحجم ولكن تاثير قوى الصدم اقل. تمتد القضبان على طول الطاحونة وتحتل حوالي 50 % من حجم الطاحونة.

الطاقة اللازمة لتخفيض حجم المواد الصلبة

Energy requirements for comminuting of solids

تقاس الطاقة اللازمة لاحداث التصدع في الاغذية بدرجة صلابة المادة الغذائية, حيث انها تعتمد على التركيب البنائي للمادة الغذائية. وتزداد الطاقة المطلوبة لتخفيض حجم المادة او تحطيمها كلما زادت صلابتها. كلما زاد في تصغير حجم حبيبات المادة تحتاج الى طاقة اكبر, وبذلك فان الطاقة الحرارية المتولدة في الغذاء تعتمد على كلا حجم وصلابة المادة وتعتمد ايضا على الفترة الزمنية لتعرض المادة الى القوة المسلطة عليها. ومن العوامل الاخرى التي تؤثر على مقدار الطاقة اللازمة لتخفيض الحجم هو محتوى المادة من الرطوبة وحساسيتها للحرارة. يؤثر المحتوى الرطوبي للمادة على معدل وميكانيكية خفظ حجم المادة الغذائية.

قانون ككس Kick's Law

تعتمد الطاقة المطلوبة في تصغير حجم المادة على درجة تصغير البعد الابتدائي الى البعد النهائي للمادة.

ينطبق قانون كيك على الطحن الخشن حيث تستخدم معظم الطاقة للتكسير عبر مناطق التصدع الموجود في المادة.

$$E = K_K \ln (d_1/d_2)$$

E = الطاقة اللازمة لتصغير الحجم (J)

K_K = ثابت كيكس

d_1 = الحجم الابتدائي للمادة (m)

d_2 = الحجم النهائي للمادة (m)

d_1/d_2 = نسبة تخفيض حجم المادة

تكون نسبة تخفيض الحجم 8:1 للطحن الخشن اما للطحن الناعم قد تصل نيبة التخفيض الى 100:1.

قانون ريتنجر Rittenger's Law

تتناسب الطاقة اللازمة لتصغير الحجم بشكل طردي مع المساحة السطحية لجزيئات المادة الغذائية وبعكس ما جاء في قانون ككس.

$$E = K_R (1/d_2 – 1/d_1)$$

K_R = ثابت ريتنجر

قانون بوند Bond's Law

تحسب الطاقة اللازمة لتخفيض الحجم بالمعادلة التالية:

$$E/W = \sqrt{} (100/d_2 - \sqrt{} (100/d_1)$$

Dr. Thamer Alhaji

W = مؤشر عامل بوند (J/kg) (يكون قيمته 40000 – 80000 للمواد الصلبة مثل بلورات السكر والحبوب).

d_1 = قطر فتحة المنخل (m) التي تسمح لمرور 80 % من المادة المراد طحنها.

d_2 = قطر فتحة المنخل (m) التي تسمح لمرور 80 % من المادة المطحونة

من خلال التجارب العملية في تصغير حجم المواد الغذائية وجد ان قانون ككس ملائم للطحن الخشن coarse grinding وان قانون رينتجر ملائم للطحن الناعم fine grinding اما قانون بوند فهو وسط بين الاثنين.

مثال

تم طحن مادة غذائية من طول ابتدائي 6 ملم الى 0.0012 ملم باستخدام محرك قدرته 10 حصان. هل يستطيع هذا المحرك في تصغير ابعاد المادة الى 0.0008 ملم باستخدام قانون رينتجر. علما ان قدرة حصان واحد يساوي 745.7 واط (W).

$$745.7 \times 10 = K_R (1/0.0012 \times 10^{-3}) - (1/6 \times 10^{-3})$$

$$K_R = 0.0089$$

الطاقة المطلوبة للحصول على تصغير بعد المادة الى 0.0008 هي:

$$E = 0.0089 (1/0.0008 \times 10^{-3}) - (1/6 \times 10^{-3}) = 15 \text{ hp}$$

لذلك لا يستطيع هذا المحرك في تصغير بعد المادة الى 0.0008 ملم.

Dr. Thamer Alhaji

تداول ونقل المواد
Material handling

يتأثر تصنيع المنتجات الزراعية سواء من الجانب التكنلوجي او الجانب الاقتصادي الى حد كبير بنقل المواد الزراعية المختلفة بعد حصادها واعدادها للتصنيع ثم بين وحدات التصنيع المختلفة حتى تجهيزها وتوزيعها. وحيث ان المواد الزراعية يمكن وجودها في صورة صلبة او سائلة فسوف تتعرض لوسائل نقل المواد الصلبة مثل الحبوب ومنجاتها والخضراوات والفواكه ووسائل نقل المواد السائلة مثل الحليب ومنتجاته والزيوت والعصائر.

نقل المواد الصلبة

يمكن تصنيف وسائل نقل المواد الصلبة الى:

1. النقل بواسطة السيور Belt conveyors
2. النقل بوسطة الاوعية Bucket Elevators
3. النقل بواسطة البريمة Screw conveyors
4. النقل بواسطة السلاسل Chain conveyors
5. النقل بواسطة الجاذبية Gravity conveyors
6. النقل بواسطة الهواء Pneumatic conveyors

عادة تستخدم وسائل النقل بواسطة الاوعية ومعدات النقل بالهواء والجاذبية للنقل الرأسي كما تستخدم اجهزة النقل بواسطة البريمة والسيور ووحدات النقل بالهواء للنقل الافقي.

وسائل النقل بواسطة السيور

تتميز وسائل النفل بالسيور بالكفاءة الميكانيكية العالية ومعدل النقل الكبير حيث يسمح بزيادة سرعة السير. كما يتميز هذا النوع من وسائل النقل بانعدام نسبة الكسر الناتجة من عملية النقل تقريبا حيث لا توجد حركة نسبية بين السير والمادة المنقولة والعمر الافترضي له كبير على الرغم من ارتفاع تكاليفه الابتدائية.

Dr. Thamer Alhaji

حسابات القدرة اللازمة للنقل بواسطة السيور

السير المسطح Flat conveyor

لحساب القدرة اللازمة لعملية النقل يلزمنا معرفة معدل النقل (كغم/ساعة) ولحساب معدل النقل يجب معرفة مساحة مقطع التحميل وسرعة السير. وهنا يجب تحديد نوع السير (مسطح-مقعر) حيث تختلف مساحة مقطع التحميل في كل منهما.

مثلا في السير المسطح تكون مساحة مقطع التحميل مساحة مثلث تقريبا

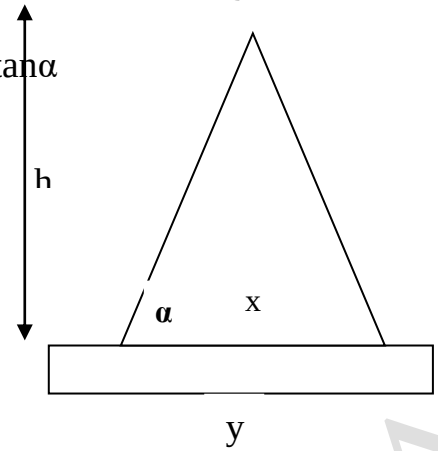
$A = 1/2\ x\ .\ h$

$A = 1/2\ x\ .\ 1/2\ x\ .\ \tan\alpha$

$= x^2/4\ .\ \tan\alpha$

$= x^2/4\ .\ C$

$= 0.16y^2\ .\ C$



حيث ان:

x = عرض مقطع التحميل ويساوي 0.8y

y = عرض السير الفعلي.

h = ارتفاع مقطع التحميل ويتوقف على الزاوية α والتي تسمى زاوية الراحة (المكوث) وتعرف بانها الزاوية المحصورة بين الخط الجانبي لكومة الحبوب وسطح السير وهي تعتبر من خصائص المادة المنقولة وتتوقف على (نوع الحبوب, نسبة الشوائب, المحتوى الرطوبي, نوع المادة المصنوع منها السير).

C = معامل الاحتكاك ويساوي ظل زاوية الراحة.

معدل النقل الوزني (kg/h) = مساحة المقطع x السرعة x الكثافة

$W = AV\rho$

$= 0.16y^2\ CV\rho$

ρ = الكثافة (kg/m^3)

ولكون ان كومة الحبوب تمثل مثلث ناقص فتكون المعادلة بالشكل التالي:

$W = 0.9\ (0.16y^2\ CV\rho)$

0.9 = معامل التصحيح لشكل الكومة الذي يمثل مثلث غير مكتمل.

ويمكن النقل بالسير بميل بحيث زاوية ميل السير على الافقي لا تزيد عن زاوية الراحة وفي هذه الحالة:

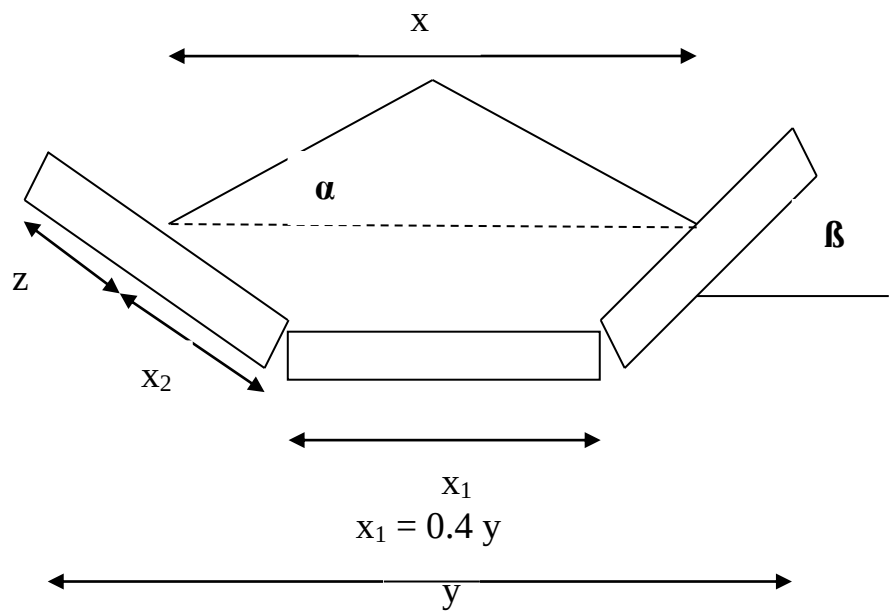
$W = 0.144y^2\ CV\rho m$

m = معامل يتوقف على زاوية ميل السير على الافق ويمكن تسميته معامل تصحيح السعة.

Dr. Thamer Alhaji

زاوية ميل السير	صفر - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 30
m	1	0.95	0.9	0.85

السير المقعر Concave conveyor



مساحة شبه المنحرف تحسب على اساس متوسط القاعدتين x و x_1 وارتفاع شبه المنحرف بدلالة x_2 والزاوية ß وعادة زاوية ß تساوي 20° والقاعدة الصغيرة لشبه المنحرف تساوي 0.4 من العرض الفعلي للسير y ويكون عرض السير الفعلي

$$y = x_1 + 2(x_2 + z)$$

حيث ان:

z = الجزء المتروك من كلا الجانبين

بالتعويض ينتج ان المساحة

$$A = 0.16\ y^2Cm + 0.0435\ y^2$$
$$= 0.144\ y^2C + 0.0435\ y^2$$
$$= y^2\ (0.144\ C + 0.0435)$$

ثم يحسب معدل النقل بنفس الطريقة السابقة في السير المسطح

القدرة اللازمة لعملية النقل

تحسب القدرة اللازمة لعملية النقل على انها مجموع عدة قدرات كالاتي:

1. القدرة اللازمة لتحريك السير وهو غير محمل

= (معامل الاحتكاك بين الاجزاء المتحركة x وزن وحدة الاطوال من السيرx مسافة النقل x السرعة) / ثابت

$$Power_1 = (C_1WLV)/constant$$

Dr.Thare

2. القدرة اللازمة لنقل الحبوب

= (معمامل الاحتكاك للحبوب x معدل نقل الحبوب x مسافة النقل)/ثابت

$Power_2 = (CWL)/constant$

3. القدرة اللازمة للتغلب على الجاذبية الارضية (في حالة الرفع على المائل فقط)

$Power_3 = (WH)/constant$

حيث ان:

L = المسافة بين مركزي البكرتين

H = المسافة الراسية بين مركزي البكرتين

- القدرة الكلية في حالة النقل الافقي = مجموع القدرتين الاوليتين
- والقدرة الكلية في حالة النقل على المائل = مجموع الثلاث قدرات

وهي اقل قدرة لازمة لعملية النقل وحيث ان هناك كفاءة ميكانيكية لتوصيل الحركة فان :

$Power_m = Power_t/\mu_m$

طول السير الحقيقي L_a = المسافة بين مركزي البكرتين x 2 x 1.25

<u>مثال</u>

جهاز نقل بواسطة السير يستعمل في نقل حبوب كثافتها $0.7gm/cm^3$ وزاوية الراحة لها 30^o مسافة راسية مقدارها 5m فاذا كان السير من النوع المسطح وسرعته 1.3m/sec وزاوية ميل السير 30^o وعرض كومة الحبوب 50cm اوجد:

1. الطول الحقيقي للسير
2. اقصى معدل نقل بالطن/ساعة

$\sin 30 = 5/L$

$L = 10m$

$L_a = 10 \times 2 \times 1.25 = 25m$

$W = AV\rho m = 0.144\ y^2CV\rho m$

Or

$W = 0.9\ (x^2/4)\ CV\rho m$

$W = (0.9/4)\ (1/2)^2 \times 0.5774 \times 0.85 \times 1.3 \times 60 \times 60 \times (0.7 \times 10^6 / 1000x1000)$

$= 90.44$ Ton/h

<u>مثال</u>

جهاز نقل بواسطة السيور يستعمل في نقل حبوب كثافتها $1gm/cm^3$ بمعدل 20 Ton/h الى ارتفاع 15m وبزاوية 20^o فاذا كان السير من النوع المقعر وسرعته 20m/min وزاوية المكوث 30^o ووزن وحدة الاطوال 3kg/m احسب:

Dr. Thamer Alhaji

1. الطول الفعلي للسير
2. العرض الفعلي للسير
3. قدرة المحرك اللازم للتشغيل اذا كانت الكفاءة الميكانيكية 85%

Sin 20 = 15/L
L= 15/0.342 = 43.86m
L_a = 43.86 x 2 x 1.25 = 109.7m
W = AVρ
20 x 1000 = (A x 20 x 60 x 1 x 10^6)/1000
A = 0.0167 m^2
0.0167 = y^2 (0.144 Cm + 0.0435)
y = 0.3757 m = 37.57cm

القدرة اللازمة لتحريك السير وهو غير محمل

$Power_1$ = C_1 WLV/constant
= 0.5 x 3 x 43,86 x 20/(60x75) = 0.3 Hp

القدرة اللازمة لنقل الحبوب

$Power_2$ = CWL/constant = 0.5773 x 20 x 1000 x 43.86/60 x 60 x 75
= 1.9 Hp

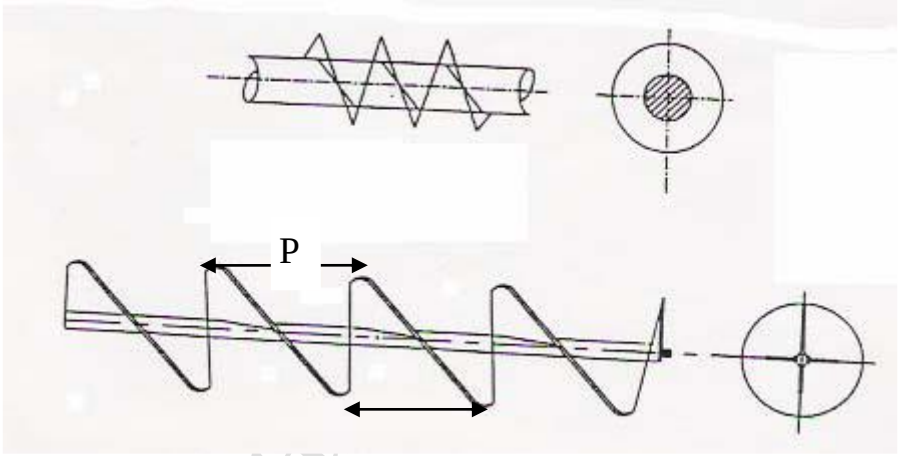
القدرة اللازمة للتغلب على الجاذبية

$Power_3$ = WH/constant = 20 x 1000 x 15/60 x 60 x 75 = 1.1 Hp
$Power_t$ = 0.3 + 1.9 + 1.1 = 3.3 Hp
$Power_m$ = 3.3/0.85 = 3.9 Hp~ 4 Hp

<u>النقل بواسطة البريمة</u>

يستخدم النقل بواسطة البريمة لنقل الحبوب ونواتج الطحن وكثير من المواد الاخرى غير المتماسكة. وتمتاز البريمة ببساطة تصميمها كما يمكن تغذيتها من اكثر من مكان. يمكن تركيب المحرك على احد طرفي البريمة. تستعمل البريمة في النقل الافقي وقد تستعمل في النقل بميل ويجب ان لا يزيد هذا الميل عن 20^o الا انه توجد بعض التصميمات الخاصة التي تستعمل في النقل راسيا الى اعلى.

Dr.Thamer Alhaji



تتكون البريمة من عامود محوري وقد يكون مجوفا حيث يتميز بخفة وزنه ومثبت عليه لولب (حلزونه) تدور في مجرى (حوض) وتستمد البريمة الحركة اللازمة لادارتها من محرك عن طريق احد وسائل نقل الحركة.

جهاز التغذية يشبه التغذية في السيور ولكن هنا يمكن التغذية من اكثر من مكان لاسباب خاصة مثل خلط بعض المواد ببعضها اثناء النقل. جهاز التفريغ مبسط جدا وهو عبارة عن فتحة اسفل حوض البريمة في نهايتها او قد يكون اكثر من فتحة بطول الحوض حسب الحاجة.

<u>الحسابات الرئيسية للبريمة</u>

تتلخص الحسابات الرئيسية للبريمة في حساب القدرة اللازمة لعملية النقل او ابعاد البريمة (قطر العامود, قطر اللولب, طول الخطوة) وعادة هناك علاقة نسبية بين هذه الابعاد مثلا 1:2:3 او 1:4:3 على التوالي.

لحساب القدرة اللازمة لعملية النقل

$$W = PN\,(\pi/4)\,(D_1^2 - D_2^2)\,\rho$$

حيث:

P : طول الخطوة (وهي المسافة بين اي جزئيين متشابهين متتاليين على اللولب- مثلا قمتين او قاعدتين متتاليتين)

N : السرعة الدورانية للبريمة

D_1 : قطر اللولب
D_2 : قطر العامود
ρ : كثافة المواد المنقولة

وفي عمليات النقل الحقيقية تكون المعادلة السابقة بالشكل التالي:

$$W = PN (\pi/4) (D_1^2 - D_2^2) \rho Km$$

حيث:
K : معامل التحميل ويتراوح بين 0.3-0.5 ويرجع انخفاض قيمته لمواجهة مقاومة الكراسي الوسطى المحمل عليها البريمة.
m : معامل يتوقف على زاوية ميل البريمة عن الافق وكما موضح بالجدول:

زاوية البريمة بالدرجات	صفر	5	10	15	20
المعامل (m)	1	0.9	0.8	0.7	0.65

القدرة اللازمة لعملية النقل

تحسب القدرة اللازمة لعملية النقل على انها مجموع عدة قدرات كالاتي:

1. القدرة اللازمة للتغلب على الاحتكاك بين اجزاء البريمة $power_1$ وتؤخذ عادة في حدود من 0.5-1 حصان
2. القدرة اللازمة لعملية النقل $power_2$

$$Power_2 = CWL/constant$$

حيث:
C : معامل المقاومة ويؤخذ عادة بين 1-1.5
W: معدل النقل
L : طول البريمة (مسافة النقل)

3. في حالة النقل بميل يلزم اضافة قدرة للتغلب على الجاذبية $power_3$

$$Power_3 = WH/constant$$

H: الارتفاع الرأسي عن مستوى التحميل
اذا كان النقل لاعلى تضاف هذه القدرة وتصبح القدرة الكلية:

$$Power_t = p_1 + p_2 + p_3$$

في حالة النقل لاسفل فان القدرة p_3 تطرح لتصبح المعادلة:

$$Power_t = p_1 + p_2 - p_3$$

مثال

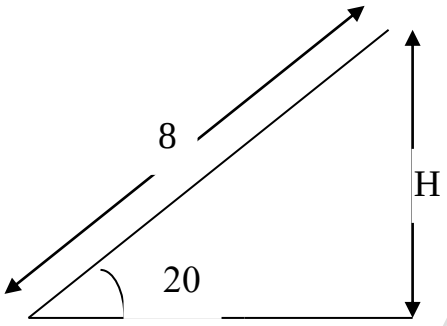
جهاز نقل بواسطة البريمة يستعمل في نقل نواتج الطحن مسافة افقية 8 امتار فاذا كان طول الخطوة للبريمة 36 سم وقطر اللولب 24 سم وقطر العمود 6 سم وتدور بسرعة 200 دورة/دقيقة – احسب:

1. معدل النقل الحقيقي بالطن/ساعة
2. قدرة المحرك اللازم لتشغيل هذه البريمة اذا كان الكفاءة الميكانيكية 80 %

Dr.Thamer Alhaji

3. قدرة المحرك لتشغيل بريمة اخرى لها نفس المواصفات وتتم عملية النقل بزاوية 20 درجة (جا 20 = 0.364)
4. اذا تساوى معدل النقل الحقيقي للبريمتين السابقتين ما هي سرعة البريمة الثانية. معمل الاحتكاك بين البريمة والمادة المنقولة 0.4 – كثافة نواتج الطحن 2 جم/سم^3 .

$W = PN (\pi/4) (D_1^2 – D_2^2) \rho km$
$= 36 \times 200 \times (\pi/4) (24^2 – 6^2) \times 2 \times 0.4 \times 1$
$= 2441664$ gm/min
$= 146.5$ ton/hr
$P_1 = 0.75$ Hp
$P_2 = (0.4 \times 2441.664 \times 8)/ (60 \times 75) = 1.75$ Hp
$P_m = 2.5/0.8 = 3.125$ Hp
في حالة البريمة على المائل تظهر قدرة اخرى للتغلب على الجاذبية اثناء الرفع وكذلك معدل النقل سوف يتغير نتيجة للميل.



$Power_3 = WH/constant$
$H = 8 \text{ Sin } 20 = 8 \times 0.364 = 2.912$ m.
$W = 36 \times 200 \times (\pi/4) (24^2 – 6^2) (2/1000) \times 0.4 \times 0.65 = 1587.1$ kg/min.
$Power_1 = 0.75$ Hp
$Power_2 = (0.4 \times 1587 \times 8)/(60/75) = 1.129$ Hp
$Power_3 = (1587.1 \times 2.912)/(60 \times 75) = 1.027$ Hp
$Power_t = 0.75 + 1.129 + 1.027 = 2.907$ Hp
$Power_m = 2.907/0.8 = 3.63$ Hp

في حالة تساوي المعدل الحقيقي للنقل لكلا البريمتين

$P_1 N_1 (\pi/4) (D_1^2 – D_2^2) \rho_1 k_1 m_1 = P_2 N_2 (\pi/4) (D_1'^2 – D_2'^2) \rho_2 k_2 m_2$

وحيث ان جميع الابعاد للبريمتين واحدة والمادة المنقولة واحدة (الكثافة واحدة) والبريمتين من نوع واحد.

$P_1 = P_2, D_1 = D_1', D_2 = D_2', \rho_1 = \rho_2, k_1 = k_2$

احد البريمتين تنقل افقي والاخرى تنقل على المائل

$m_1 \neq m_2$
$N_1 m_1 = N_2 m_2$ or $N_1/N_2 = m_2/m_1$
$200/N_2 = 0.65/1$
$N_2 = 200 \times 1/0.65 = 304$ rpm

Dr. Hamer Allaji

تنظيف وتدريج الحبوب
Grain cleaning and sorting

تنظيف الحبوب هو استبعاد او فصل اي مكونات اخرى قد تكون مختلطة بها اما التدريج فهو تقسيم او تصنيف الحبوب الى اقسام مختلفة عن بعضها البعض في الصفات بالحجم مثلا او الشكل او الابعاد او اللون وغيرها. وكلا العمليتين تجرى باجهزة تعتمد في نظرية تشغيلها على الاختلاف في الخواص الطبيعية والميكانيكية للحبوب والمكونات الاخرى المختلطة بها ومن اهم هذه الخواص الشكل-الابعاد-حالة السطح-الكثافة-الوزن النوعي-اللون-المرونة-الخواص المغناطيسية-الخواص الهوائية الديناميكية وتعتبر الخواص الهوائية الديناميكية والابعاد اكثر الخواص او اهم هذه الخواص التي بنى عليها تشغيل اجهزة الفصل والتدريج.

الفصل بواسطة تيار من الهواء

تتعرض الحبوب والشوائب اثناء مرورها لتيار من الهواء يحدد سرعته وقوة دفعه خواص الحبوب والشوائب وتعرف خاصية مقاومة المواد لتيار من الهواء اثناء سقوطها به بالخاصية الايروداينمك Aerodynamic والتي يمكن عن طريقها فصل الشوائب الخفيفة فكلما زادت مقاومة المادة تكون حركتها بالنسبة لتيار الهواء اصغر من مادة اخرى اقل منها مقاومة وتتوقف هذه المقاومة على:

1. الوزن
2. الابعاد
3. حالة السطح
4. وضع المادة

القوى المؤثرة على المواد اثناء الفصل بتيار من الهواء واقعة تحت تاثير قوتين:

- مقاومة تيار الهواء الى اعلى (R)

$$R = K\gamma AV^2/g$$

حيث

R = قوة تاثير الهواء KN

K = معامل مقاومة الهواء

γ = الوزن النوعي للمادة KN/m^3

A = مساحة السطح المتوسطة m^2

V = سرعة المادة m/s

g = الجاذبية الارضية (التعجيل) m/s^2

- والقوة الاخرى هي وزن الجسم (قوة جذب الارض) G ,ونتيجة للقوة R يكتسب الجسم سرعة يمكن حساب التعجيل المصاحب لهذه القوة من المعادلة الاتية:

$$g = R/m = K\gamma AV^2/mg = K\gamma AV^2/ G$$

حيث

g = التعجيل

m = الكتلة

G = الوزن

$$R/m = N/kg= (kg\ .m/s^2)/kg = g$$

ويلاحظ ان حركة الجسم تكون تبعا لمحصلة هاتين القوتين وكما يلي:

Dr. Thamer Alrubi

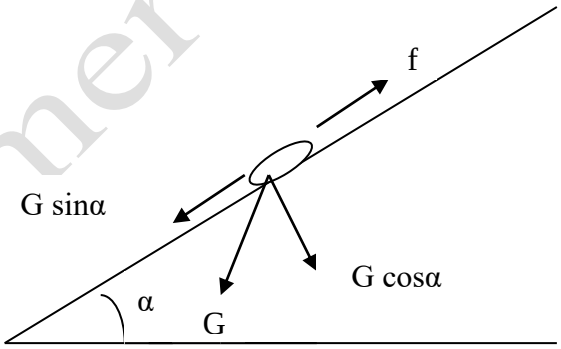
$R < G$ يتحرك الجسم الى الاسفل
$R > G$ يتحرك الجسم الى الاعلى
$R = G$ يظل الجسم معلقا وفي هذه الحالة تكون سرعة الجسم مساوية الى سرعة الهواء ويطلق على هذه السرعة سرعة اتزان الجسم او السرعة الحرجة critical velocity.

الفصل باستخدام الوزن النوعي

عادة ما يختلف الوزن النوعي لمكونات خليط من الحبوب المختلفة او للحبوب والشوائب وتعتمد بعض الماكنات في تشغيلها على هذا الفرق الكبير في الوزن النوعي بين الحبوب والشوائب. مثلا جسم له وزن نوعي γ_m ووضع في مائع له وزن نوعي γ_f فان هذا الجسم وعلى حسب الفرق بين الوزن النوعي للجسم والمائع اما ان يتحرك الى الاسفل اذا كان $\gamma_f < \gamma_m$ او يطفو على السطح اذا كان $\gamma_m < \gamma_f$ او يكون معلقا بالمائع اذا كان $\gamma_m = \gamma_f$.

الفصل على اساس الاختلاف في صفات السطح والشكل

المكونات المختلفة والمكونات المكونة لخليط ما تختلف عن بعضها البعض في صفات السطح الخارجي لها فقد يكون السطح املس – خشن – مجعد – دائري – اسطواني وبذلك عند تحريك مكونات الخليط على مستوى مائل فان كلا منها يظهر مقاومة معينة للحركة تختلف عن الاخر طبقا لاختلاف السطح. القوى المؤثرة على جسم على سطح مائل هي القوة G (الوزن) ومقاومة الاحتكاك P.



مقاومة الاحتكاك تتوقف على المركبة العامودية $G \cos\alpha$ وعلى معامل الاحتكاك f

$$P = G \cos\alpha . f$$

حيث α هي زاوية ميل المستوى على الافقي

ويمكن القول ان هناك ثلاث حالات يمكن ان يقع الجسم تحت تاثيرها
الحالة الاولى : حركة الجسم الى الاعلى
الحالة الثانية : حركة الجسم الى الاسفل
الحالة الثالثة : ثبات الجسم دون اي حركة

وكما هو واضح فان الجسم يتحرك الى الاسفل اذا كانت القوة $G \sin\alpha$ اكبر من قوة الاحتكاك.

$$f\ G \cos\alpha < G \sin\alpha$$
$$f < G \sin\alpha / G \cos\alpha < G \tan\alpha$$

Dr. Thamer Alani

وبذلك يمكن للجسم ان يتحرك الى اسفل اذا كان معامل الاحتكاك اصغر من ظل زاوية الميل ويتضح ان معامل الاحتكاك ليس له علاقة بالوزن وبالتالي فان الفصل في هذه الحالة سيكون على اساس الاختلاف في حالة السطح (سطح المكون وسطح المستوى المائل) او يمكن القول بمعنى اخر – الاختلاف في سرعة مكونات الخليط يكون على اساس الاختلاف في معامل الاحتكاك.

الفصل على اساس الاختلاف في الابعاد

يستخدم في هذه الطريقة الغرابيل الهزازة التي تعتمد على الاختلاف في العرض والسمك وذلك باستخدام غرابيل ذات الثقوب المستديرة او المستطيلة.

ويتم تحديد صفات الغرابيل بالعوامل الاتية:

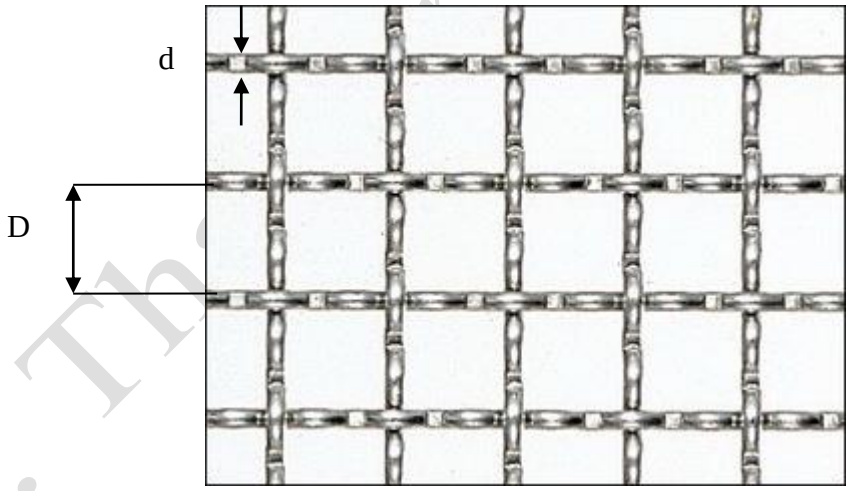
1. ابعاد الثقوب (القطر- العرض)
2. معامل المساحة الفعالة وهو النسبة بين المساحة الكلية للثقوب الى المساحة الكلية للشريحة.

$$C = (A_o/A) \times 100$$

A_o = المساحة الكلية للثقوب

A = المساحة الكلية للشريحة

وعادة يساوي هذا المعامل 70 % .



وفي حالة الرسم اعلاه فيحسب معامل المساحة الفعالة كالاتي:

$$C = [D^2 / (D + d)^2] \times 100$$

طرق حساب كفاءة عملية الفصل

1. الحساب على اساس كمية الشوائب المفصولة بالنسبة لكمية الشوائب الكلية

$$\mu = (M_1 - M_2/M_1) \times 100$$

حيث

M_1 = كمية الشوائب قبل الفصل

Dr. Thaer Alhaji

M_2 = كمية الشوائب بعد الفصل

2. الحساب على اساس نسبة اجزاء الخليط بعد الفصل ودرجة نقاوة كل منها

$$\mu = X_1 [(y_1 - z_1)/ (1 - z_1)] + X_2 [(y_2 - z_2)/ (1 - z_2)]$$

حيث

1 و 2 عدد مكونات الخليط

X = النسبة المؤية للاجزاء الناتجة بعد مرور الخليط بجهاز الفصل

y = النسبة المؤية لدرجة نقاوة الاجزاء الناتجة

z = النسبة المؤية للاجزاء في الخليط الاصلي

3. الحساب على اساس نسبة الشوائب المفصولة من جهازين متماثلين متواليين

$$\mu = (M_1 - M_2)/M_1$$

حيث

M_1 = كمية الشوائب التي تفصل بالجهاز الاول

M_2 = كمية الشوائب التي تفصل بالجهاز الثاني

Dr. Thamer Alhaji

فصل المواد الغذائية
Food separation

معامل الاغذية تحتوي على وحدات تقوم بفصل بعض اجزاء من مواد غذائية معينة فقد تشمل ازالة مادة غذائية سائلة من اجزاء اخرى صلبة كما يتم في معاملات تصنيع السكر او ازالة مواد عالقة كما يجري في ازالة الرواسب من الحليب قبل تعقيمه او فصل الشرش من كتل الجبن المتخثرة او فصل بعض الاجزاء الذي يتكون منها مادة غذائية كما في فرز الحليب لانتاج الكريم.

تشمل عمليات الفصل في مختلف الصناعات الغذائية:

1. الترسيب Sedimentation
2. الترشيح Filtration
3. الطرد المركزي Centrifugation
4. العصر الميكانيكي Mechanical expression
5. الترشيح العالي Ultra filtration

الترشيح Filtration

يمكن تعريف الترشيح Filtration بانه وحدة التصنيع التي يتم فيها فصل مادة صلبة من المادة السائلة وذلك بتمرير الاخير خلال غشاء مسامي يحبس الجسيمات الصلبة. حيث تسمى المادة التي تمر خلال الغشاء الراشح Filtrate والغشاء نفسه يشار اليه بوسط الترشيح Filter medium والمواد الصلبة المفصولة تعرف بكعكة المرشح Filter cake.

ويمكن احداث تدفق الراشح بواسطة الجاذبية فقط او باستعمال ضغط اعلى من الضغط الجوي (ترشيح الضغط) او باستعمال تفريغ (ترشيح التفريغ) او بقوة الطرد المركزي (ترشيح الطرد المركزي). الترشيح تحت تاثير الجاذبية محدود الاستعمال على العوالق التي تحتوي مواد صلبة حرة التصريف ولهذا النوع من الترشيح استخدام محدود جدا في صناعة الاغذية ولكن يستخدم في معاملة المياه وتصريف النفايات.

اجهزة الترشيح

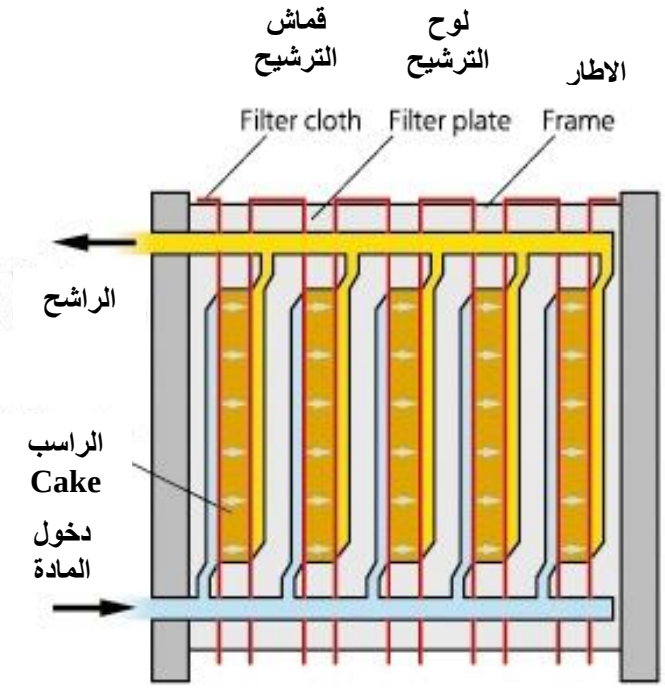
أ. مرشحات الضغط Pressure filters

قيمة الضغط القصوى المستخدم في مرشحات الضغط هي في حدود 3-6 بار ولكن بعض المرشحات تعمل تحت ضغط اعلى بكثير. ومنها:

- مرشح اللوح والاطار Plate and frame filter

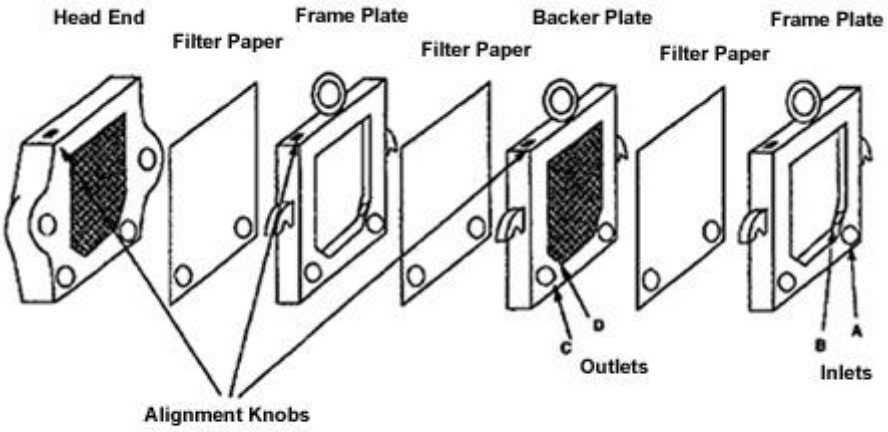
في هذا النوع من المرشحات تتبادل الواح بها مجار مغطاة على جانبيها ورق او قماش الترشيح مع اطارات في حامل. يمكن ضغط مجموعة الالواح والاطارات مع بعضها بواسطة لولب.

Dr. Thaer Al-Haj



مرشح اللوح والاطار

وتزود كل من الالواح والاطارات بفتحات في احد الاركان.

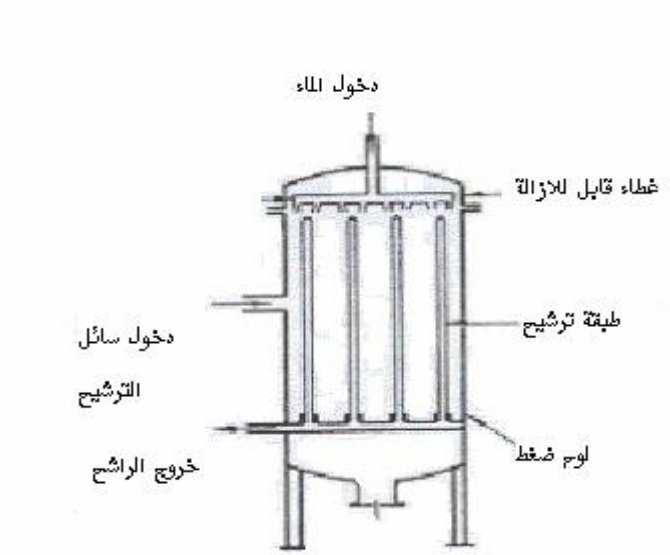


Expanded Assembly Diagram

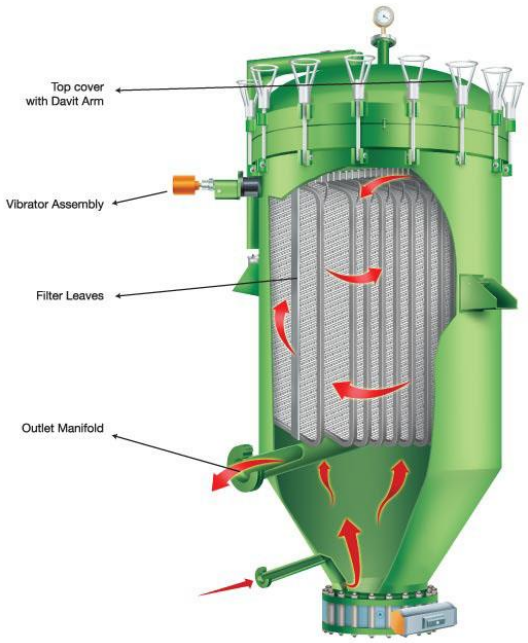
تزال الكعكة يدويا بعد فتح الجهاز. ولمرشح اللوح والاطار استخدامات واسعة في الصناعة. وهي مبسطة التصميم والتشغيل ومرنة ويمكن استخدامها لتداول انواع مختلفة من العوالق. وهي نسبيا رخيصة في البداية ولكن في الجانب الاخر تكاليف العمالة واستهلاك قماش الترشيح عال.

- مرشح الضغط نوع الاسطوانة والصفيحة الرقيقة Shell and leaf pressure filter

ولهذه المرشحات صفيحة ترشيح كعنصر الترشيح الاساسي. يمكن تعليق الصفيحة من اعلى او من اسفل او من المركز. تدخل المادة المراد ترشيحها تحت ضغط في الاسطوانة وتتراكم الكعكة على الاسطح الخارجية للصفائح. يمر الراشح خلال وسط الترشيح ويتم تصريفه في قناة الخروج. قد تكون الصفائح مستطيلة او دائرية الشكل. ويمكن ان تكون ثابتة او تدور ببطء حول محور افقي.

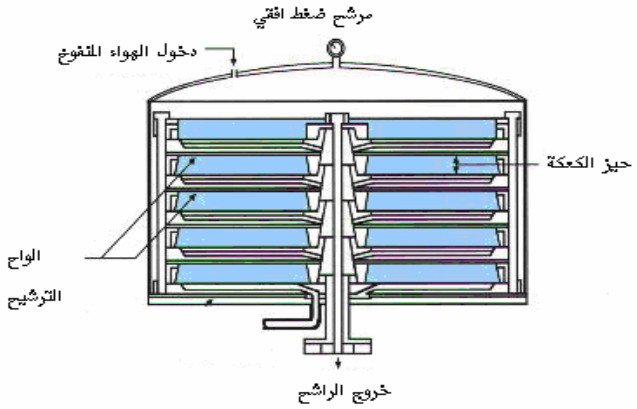


Vertical Pressure Leaf Filter



مرشح الضغط نوع الاسطوانة الراسي والصفائح (الرقائق) راسية

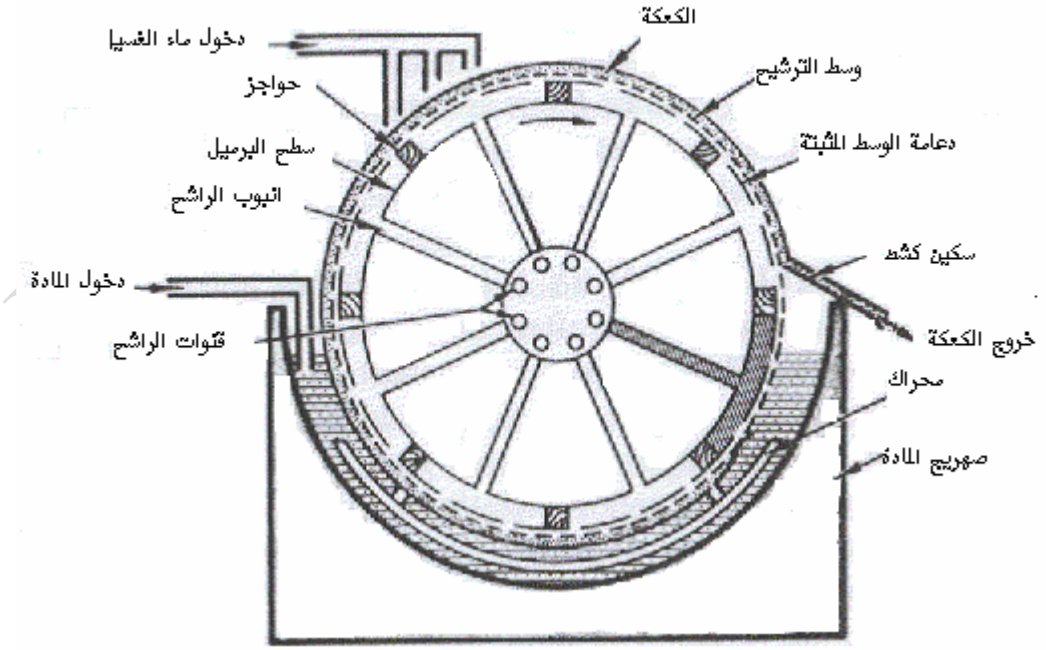
او يمكن ان تكون الصفائح (الرقائق) افقية في اسطوانة راسية



وهذه المرشحات مرنة واقتصادية في استخدام العمالة خاصة عندما يكون ممكنا تصريف الكعكة من الاسطوانة المغلقة. ومن الجانب الاخر فان الكعكة المتكونة ليست جافة بمستوى المرشحات الاخرى ويمكن ان يحدث تراكم غير متناسق للكعكة وتكاليف راس المال لها اعلى من مرشحات اللوح والاطار. ولا تتعدى الضغوط المستخدمة مع هذه المرشحات 5 بار.

2. مرشحات التفريغ Vacuum filters

وفي مرشحات التفريغ تتم المحافظة على ضغط اقل من الضغط الجوي في جانب الراشح وضغط جوي في الجانب المادة المراد ترشيحها. ومن مرشحات التفريغ هي مرشحات التفريغ المستمرة نوع البرميل الدوار Continuous rotary drum vacuum filter. وهذا يتكون من برميل اسطواني يدور حول محور افقي.



مرشح التفريغ نوع البرميل الدوار

يغمر البرميل جزئيا في صهريج المادة المراد ترشيحها المفتوح. يغطي وسط الترشيح السطح الكلي للبرميل ويسند بواسطة الواح مثقبة او شبكات معدنية. يدور البرميل عند سرعات في حدود 0.1-2 دورة في الدقيقة. يتدفق الراشح خلال الوسط ثم يخرج خلال انبوب التصريف الى مستقبل الراشح بواسطة صمام. تزال الكعكة بواسطة سكين الكشط.
ومن مزايا مرشحات التفريغ نوع البرميل الدوار هي انخفاض تكلفة العمالة. والسعة الكبيرة بالنسبة للمساحة التي تحتلها ومرونتها من ناحية سمك الكعكة. ومن ناحية اخرى فان راس المال المستثمر في الاجهزة واجهزة التفريغ عال نسبيا وهي لا تناسب ترشيح المواد الساخنة او المواد الطيارة.

3. الفصل الغشائي Membrane separation

ومنها الترشيح الغشائي فائق الدقة والانتشار الغشائي المعاكس Ulrafiltration and reverse osmosis. وهذه تقنيات فصل غشائي تنشط بالضغط وفيها يتم فصل مواد ذات اوزان جزئية مختلفة من المحلول. والفرق الاساسي بين الترشيح الغشائي فائق الدقة والانتشار الغشائي المعاكس يكمن في الضغط المطلوب لاحداث الفصل ونتيجة لهذا في اختلاف تكاليف الاجهزة.

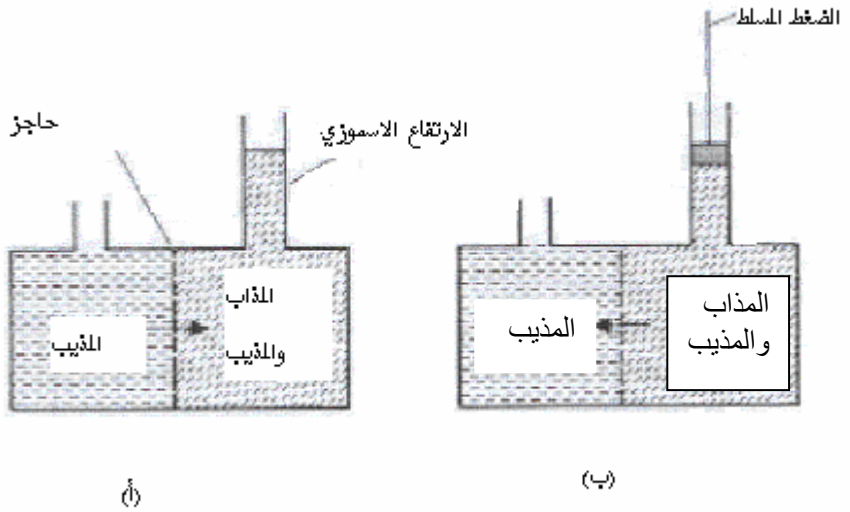
- الترشيح الغشائي فائق الدقة Ulrafiltration

يعتد حجم المسامات المطلوب للترشيح فائق الدقة على حجم الجسيمات المفصولة وتتوفر انواع من الاغشية في حدود 0.1 ميكروميتر ويطلق عليها المرشحات الدقيقة Microfilters. ويهتم الترشيح الغشائي فائق الدقة بفصل الجزيئات الكبيرة ذات الوزن الجزيئي العالي من الجزيئات الصغيرة ذات الوزن الجزيئي المنخفض.

- الانتشار الغشائي المعاكس Reverse osmosis (RO)

عندما تكون جزيئات او ايونات الذائب في محلول ذات حجم مقارب لجزيئات المذيب واذا كانت ميكانيكية الفصل هي ببساطة ترشيح في الثغور الدقيقة, فانه يتوقع انتقال العينات ذات الحجم المتشابه عبر الغشاء دون ان تفصل. ولكن هذه ليست الحالة مع بعض الاغشية. وفي محاولة لايجاد طرق جديدة لتحلية مياه البحر وجد بعض العلماء ان ايونات الذائب لا تتدفق عبر بعض الاغشية المتناسقة الرقيقة المصنوعة من خلات السليلوز التجاري ذات درجات متفاوتة من الاستلة وعندما تكون تحت ضغوط 50-100 بار تسمح بنفاذ جزيئات الماء وتمنع بدرجة كبيرة مرور ايونات الصوديوم وايونات الكلوريد. وتم بذلك التخلص من حوالي 99 % من الملح. بما ان معدل نفاذية الماء بطيئة بدرجة لا تسمح بالاستغلال التجاري لتلية مياه البحر. وبذلك تم تطوير اغشية مناسبة تسمح بمعدلات نفاذية عالية. وفي عمليات الفصل الغشائي يقوم الانتشار الغشائي المعاكس بفصل الجزيئات المختلفة ذات الوزن الجزيئي المنخفض وذات حجم مقارن مع حجم جزيئات الماء.
من مزايا الفصل الغشائي هو دون حدوث تغير في الطور وبهذا تكون احتياجات الطاقة اقل من تلك في عمليات التركيز التقليدية. فمثلا احتياجات الطاقة لتبخير الماء حوالي 25 كيلو واط/م^3 بينما احتياجات الانتشار الغشائي المعاكس هي فقط حوالي عشر هذه الكمية. تشمل المزايا الاخرى لهذه التقنية عدم وجود ضرر حراري نظرا لانه لا يحتاج لتسخين وليس هناك خطر لفقدان النكهة.

Dr. Thamer Al Rai



أ. انتشار غشائي طبيعي ب. لنتشار غشائي معاكس

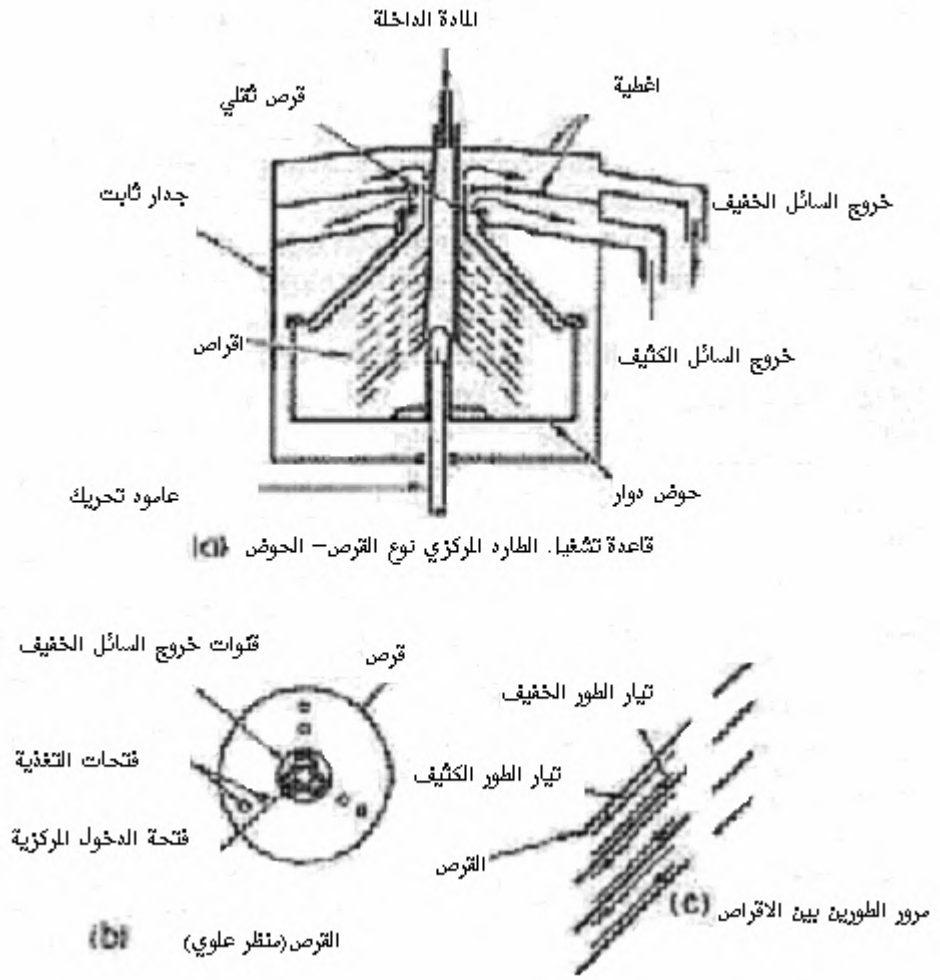
الفصل بالطرد المركزي Centrifugation separation

- اجهزة فصل السائل-السائل بالطرد المركزي

1. الطارد المركزي نوع القرص-الحوض Disk-bowl centrifuge

يحتوي هذا النوع من اجهزة الطرد المركزي على حوض اسطواني واسع يدور نسبيا بسرعة معتدلة في اطار ثابت. يحرك الحوض عادة من اسفل. وتدخل عادة المادة المراد فصلها من اعلى الى اسفل الحوض خلال انبوب موضوع مركزيا. يحتوي الحوض على عدد من المخاريط المعدنية المتقاربة تسمى اقراص تدور مع الحوض وموضوعة الواحدة فوق الاخر وبخلوص مناسب بينها.

Dr. Thamer A.



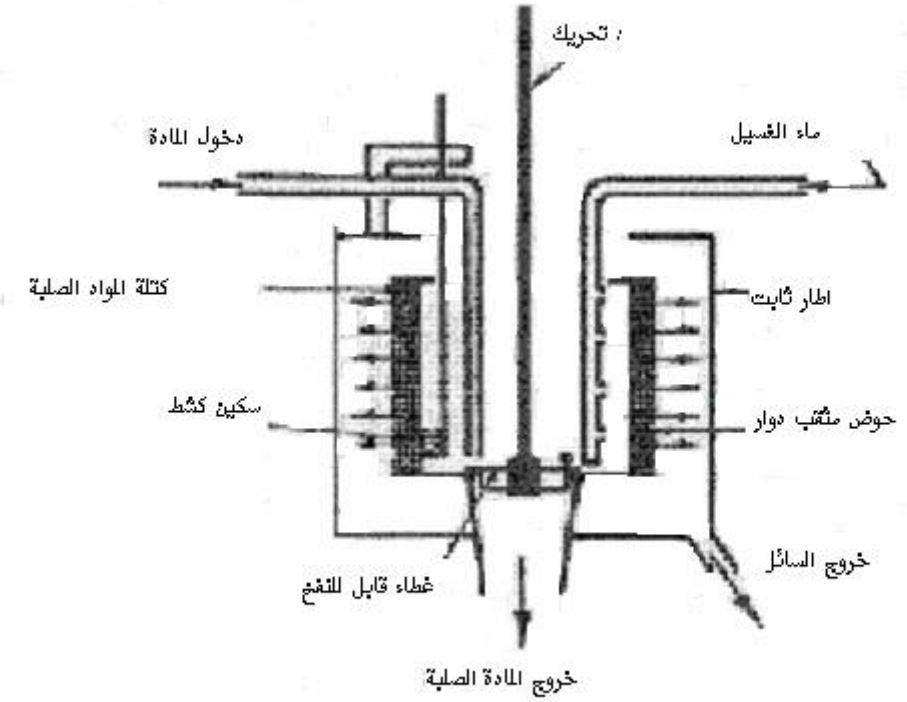
الطرد المركزي نوع القرص-الحوض

وللاقراص فتحة واحدة او اكثر من الفتحات المتطابقة والتي تكون قنوات تتدفق خلالها المادة. وتحت تاثير قوة الطرد المركزي يتدفق الطور الكثيف الذي يتحرك نحو الحائط اسفل السطح السفلي للاقراص بينما يتدفق الطور الخفيف والذي يزاح نحو المركز اعلى الاسطح العلوية للاقراص. وتتراوح اقطار الحوض من 20-100 سم والمسافة بين الاقراص من 0.5-1.3 ملم. ينتج حوض نموذجي قطره 30 سم ويدور بسرعة 6400 دورة في الدقيقة وبقوة تكافيء 7000 قوة الجاذبية الارضية.

وجدت اجهزة الفصل نوع القرص-الحوض تطبيقا واسعا في صناعة الالبان لفصل القشدة من الحليب وفي تكرير الدهون النباتية وعصائر الخضراوات وزيوت الاسماك وزيوت الحمضيات.

2. مرشح الطرد المركزي على دفعات Batch filtering centrifugals

تعلق السلة المعدنية الاسطوانية ذات الحائط المثقب من نهاية عمود راسي. ويبطن وسط ترشيح (ورق او قماش) الحائط الداخلي للسلة. في دورة السلة تدخل المادة اثناء دوران السلة بسرعة معتدلة ثم تسارع السلة ويتم الترشيح خلال كعكة المواد الصلبة التي تتكون على حائط الحوض. وتقطع الكعكة بواسطة سكين وتزال خلال فتحة في ارضية السلة. يغسل وسط الترشيح وتعاد الدورة. يتراوح قطر الحوض عادة من 75-120 سم وعمقها من 45-75 سم وتدور بسرعة حتى حوالي 2000 دورة في الدقيقة. زمن الدوران يتراوح من 3-30 دقيقة.



مرشح الطرد المركزي على دفعات

يستخدم الطارد المركزي المرشح بكثرة في تكرير السكر لاسترداد وغسيل وتجفيف بلورات السكر واستخدام ايضا لاستخلاص عصائر الفاكهة والخضراوات ولاسترداد بروتينات الخضراوات ولفصل النشأ من عالق البطاطا وفي عمليات التركيز.

العصر الميكانيكي Mechanical expression

يستعمل الضغط في العديد من الحالات لاجراء عملية فصل بعض السوائل التي تحويها الفواكه والخضراوات او البذور ويطلق على هذه العملية عملية العصر الميكانيكي.

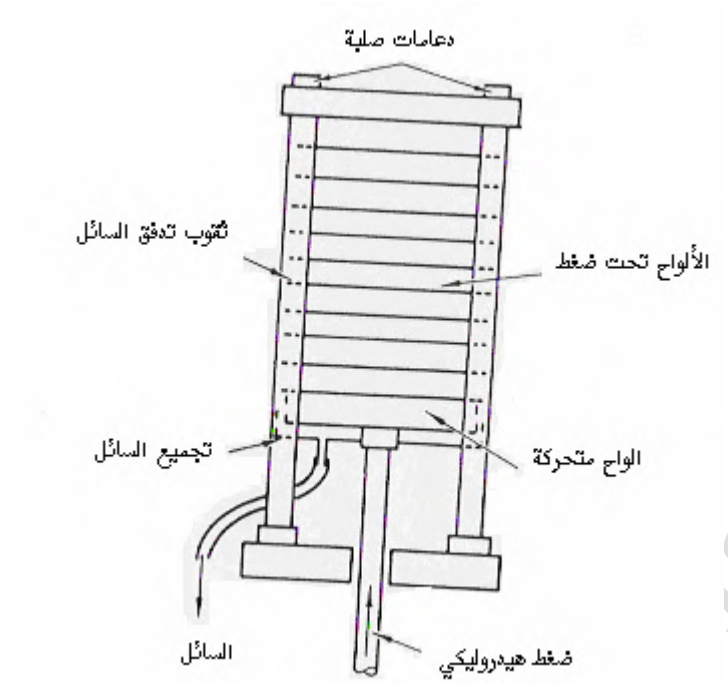
1. العصر بواسطة الضغط الهيدروليكي Hydraulic pressing

هناك ثلاث انواع من اجهزة الضغط الهيدروليكي :

أ. جهاز الضغط بالالواح Plate press

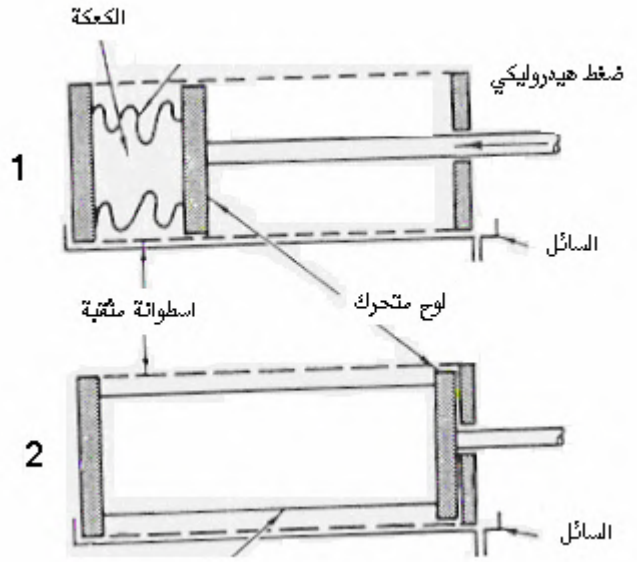
ويتم وضع اللب المراد عصره في قماش ترشيح قطني ثم يوضع بين الواح ضغط بها مجار ومرصوصة على اعمدة راسية. يتم الضغط الهيدروليكي على الالواح بضغوط تعادل 310-620 بار. من عيوب هذا النوع انه يتم على دفعات وهذا يتطلب استخدام عمالة عالية للملء والضغط والفتح والتنظيف.

Dr. Thamer



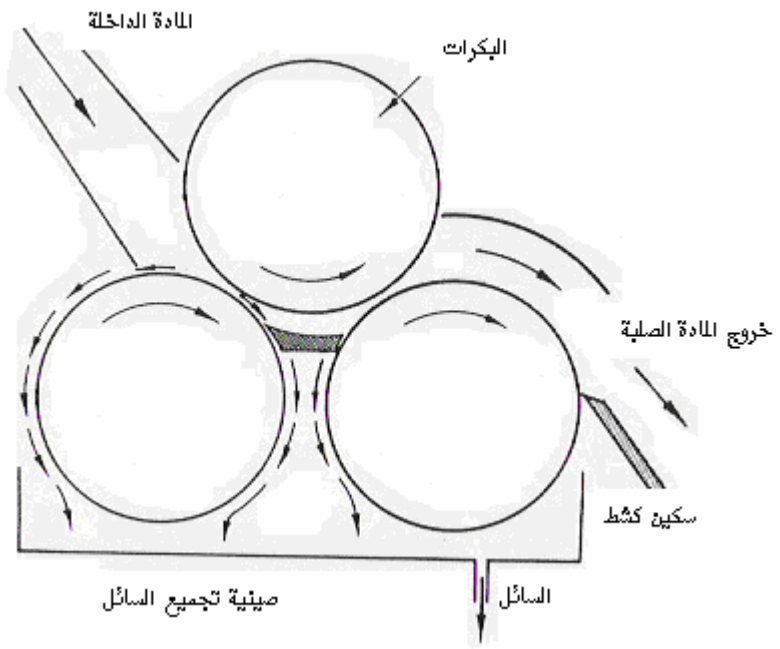
جهاز الضغط بالالواح

ب. جهاز ضغط بالقفص Cage press
يوجد بداخل اسطوانة ذات ثقوب دقيقة لوح للضغط الداخلي يمكن تحريكه للامام وللخلف هيدروليكيا. يمر السائل المستخلص من خلال الثقوب.



جهاز الضغط بالقفص

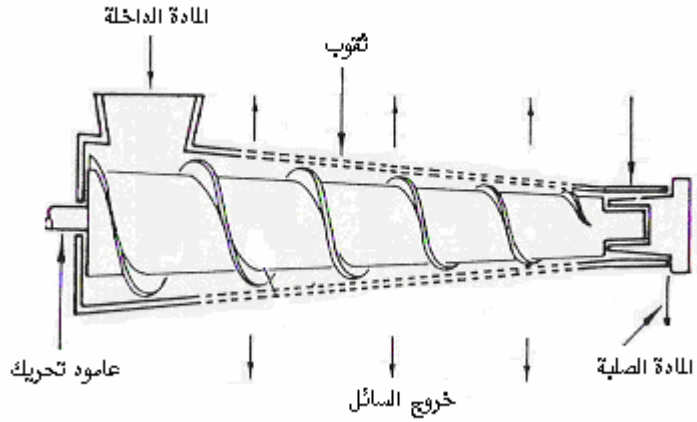
ج. جهاز الضغط بالبكرات Roller press
وتستخدم في هذه الاجهزة قوة الضغط وذلك بضغط اللب بين بكرات ثقيلة وتوجد مجار على سطح هذه البكرات لتسمح بخروج السائل وتوجيه مروره.



جهاز الضغط بالبكرات المستمر

د. جهاز الضغط باللولب Screw press

هذه الوحدة مشهورة في استخلاص الزيوت وهي عبارة عن اسطوانة يدور بداخلها لولب يتناقص قطرها تدريجيا.



جهاز الضغط باللولب المستمر

تمر المادة الغذائية في المساحة المتناقصة ايضا بينهما ويزداد بذلك الضغط عليها. ويمر السائل الذي يتم عصره من خلال ثقوب على جدار الاسطوانة.

د. ثامر