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

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 = 0.00133322 bar 1 mmHg = 133.322 Pa = 0.00133322 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

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

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:

$1\ lb = 0.454\ kg$

$1\ ft = 0.3048\ m$

$1\ Btu = 1.055\ kJ$

$1\ in = 0.0254\ m$

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

$1\ Ib_f = 4.4483\ N$

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.

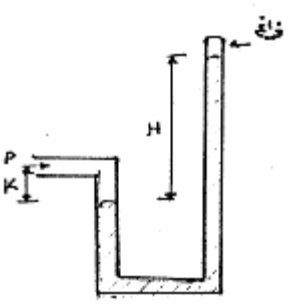
اجهزة قياس الضغط ضرورية ليس من ناحية الامن الصناعي فقط ولكن لمعرفة مقدر الطاقة المستخدمة ومعرفة درجات الغليان او الانصهار.

اجهزة قياس الضغط تنقسم الى ثلاثة اقسام:

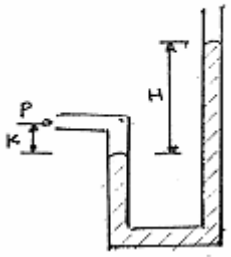
أ. اجهزة قياس تعتمد على قياس عمود السائل.
ب. اجهزة تعتمد على قياس الانحراف في جسم جزء مرن
ت. اجهزة قياس كهربائية.

اجهزة قياس تعتمد على قياس عمود السائل (المانومتر)

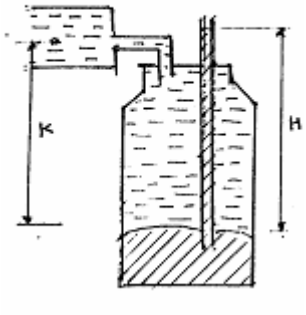
وهي التي يتم فيها تعادل للضغط المراد قياسه بواسطة ضغط عمود السائل. اذا كانت كثافة عمود السائل معلومة فان ارتفاع عمود السائل هو مقياس لذلك الضغط. ارتفاع عمود السائل يمكن ان يعبر بوحدات طول او يعدل مباشرة بوحدات ضغط. تعرف الاجهزة بالمانومتر manometer. وله عدة اشكال منها ماهو مبين في الاشكال الاتية:



مانوميتر مقفول على شكل U (closed U-tube)



مفتوح الطرفين شكل U (open U-tube)



المقياس المفتوح open gauge

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:-

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

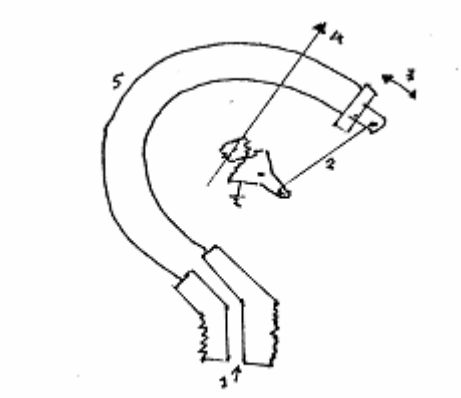
حيث:-

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 :

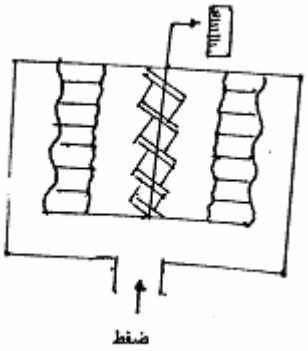


1.ضغط مراد قياسه 2. موصل 3. حركة 4. مؤشر 5. انبوب بوردون

يجب ان لا تتعرض انابيب بوردون لدرجات حرارة عالية اكثر من $65\ ^oC$ 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 .

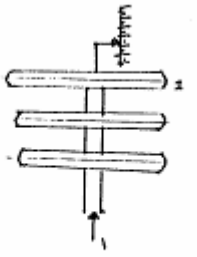


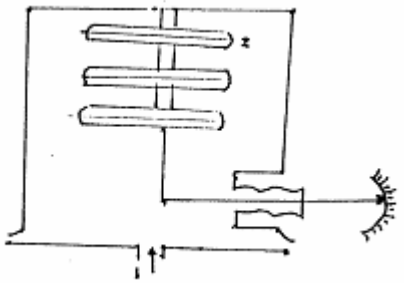
اسطوانة مرنة بها نابض

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.





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.

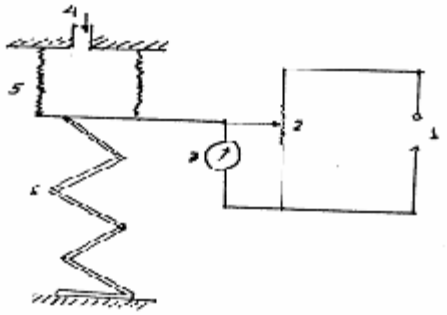
ج . اجهزة قياس كهربائية

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

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:-

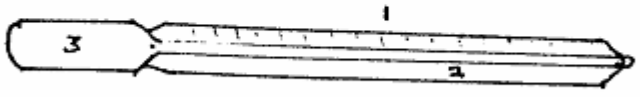
$$K= C + 273$$

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.



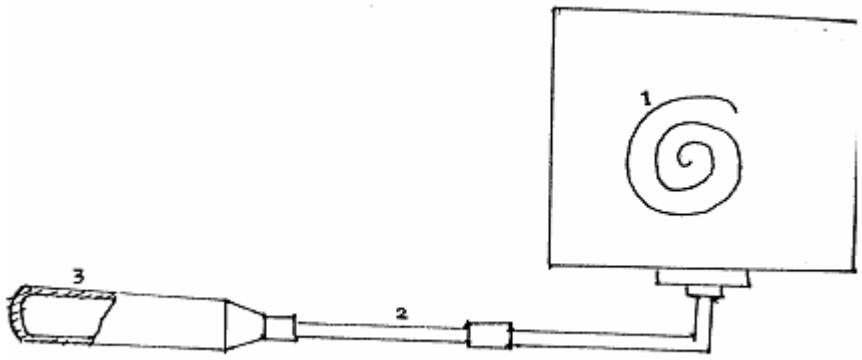
الثرموميتر الزجاجي
1. تدريج 2. انبوبة شعرية 3. مستودع

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).

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

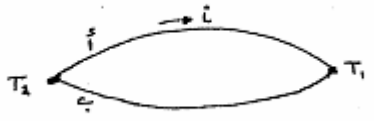
يحتوي المستودع (عنصر القياس) على غاز او سائل يتغير حجمه، ضغطه او ضغط بخاره بتغير درجة الحرارة. ينقل هذا التغير الى انبوبة بوردون مباشرة او تكبر بواسطة اتصال ميكانيكي (نظام تروس) لتحريك مؤشر على مقياس درجة الحرارة او تحريك قلم على خريطة تسجيل درجة الحرارة.

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

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:-

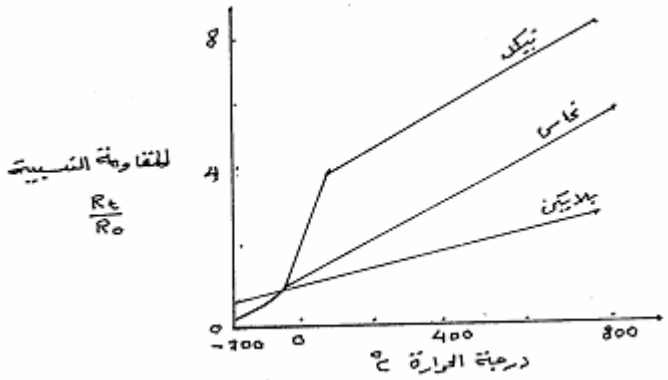
أ. كلما قل قطر السلك كلما ازدادت حساسية المزدوجة لقياس درجة الحرارة

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).

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.

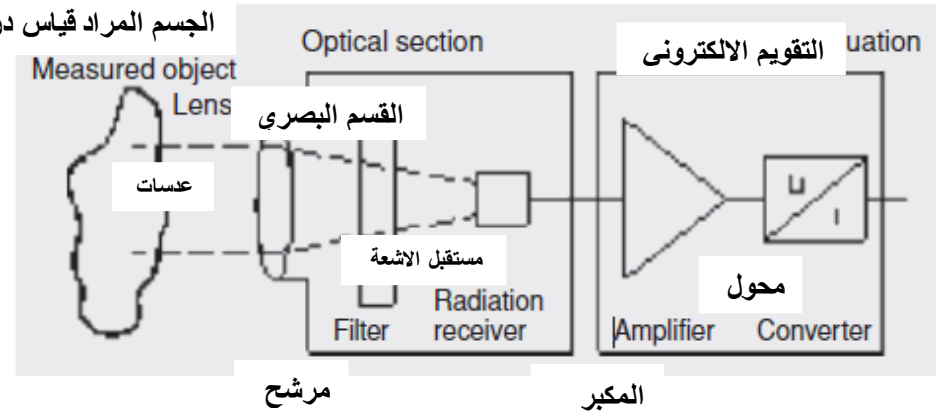
هـ . البيروميترات pyrometer

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.



المراجل البخارية

ان الهدف الاساسى لمولد البخار(المراجل البخارية) هو انتاج بخار عند ضغط و درجة حرارة محددان و ذلك عن طريق انتقال الحرارة الناتجة من حرق الوقود الى مياة التغذية لتتحول الى بخار.

ويطلق على مولد البخار اسم(مرجل بخار) او (وحدة توليد البخار).

و فقا لمواصفات الجمعية الامريكية للهندسة الميكانيكية (ASME)يعرف المرجل البخارى كما يلى:

هو تركيبة من الاجهزة لانتاج و تجهيز او استرجاع الحرارة و امكانية نقل هذه الحرارة الى مياه التغذية لستخينها و تبخيرها و تحويلها الى بخار .

ويستخدم البخار في مجالات عدة منها
1-توليد القدرة الميكانيكية (تستخدم فى توليد الكهرباء)
2-توليد بخار للاستخدام فى اغراض صناعية متعددة مثل الصناعات الغذائية-صناعة الغزل والنسيج-صناعة السكر...الخ
3-فى منظومات التدفئة المنزلية و مد المساكن و الفنادق بالمياه الساخنة
4-عمليات التطهير و التعقيم فى المستشفيات و السجون

ويتطلب انتاج البخار ان تنقل الحرارة الناتجة من احتراق الوقود(مصدر الطاقة) الى وسط التشغيل (الماء).

يحتوى مولد البخار على عدد من المعدات و الاجهزة منة على سبيل المثال:مصدر الطاقة الحرارية- الخزان- أنابيب التسخين، باللاضافة الى عدد من المتممات و الملحقات و مضخات المياه.
تتم عملية توليد البخار داخل مولد البخار بثبوت الضغط حيث يتم تحويل الطور السائل الى الطور الغازي (البخاري).

المتطلبات الأساسية للمرجل البخارية
يجب ان يحقق التصميم الجيد و التشغيل المستمر للمرجل البخاري المتطلبات الاتية:
1-ان يشغل المرجل حيزا صغيرا و ان يكون خفيف الوزن
2-القدرة على بدأ تشغيل سريع(لا يستغرق وقتا طويلا)
3-التلاؤم السريع مع متطلبا تغير الحمل
4-ان تكون الوصلات قليلة و يسهل التفتيش عليها.
5-الحفاظ على ان يكون الفقد فى الضغط اقل ما يمكن
6-عدم تراكم الرواسب على الانابيب وان تكون ذات مقاومة معقولة للتآكل و الصدأ
7-ان ينتج البخار بالمعدلات المطلوبة باقل استهلاك للوقود و بتكاليف تشغيل منخفضة

العوامل التى تؤخذ فى الاعتبار عند اختيار المرجل:

عند اختيار نوع و حجم المرجل المطلوب لغرض ما يجب اخذ العوامل الاتية فى الاعتبار
1-القدرة المطلوب توليدها
2-ضغط و درجة حرارة و معدل تدفق البخار المطلوب
3-تكاليف الانشاء و نظم و قوانين انشاء المحطات و تشغيل المراجل
4-الموقع و المساحة التى سيقام عليها المرجل و كذلك موقع المحطة
5-تكاليف التشغيل و الصيانة
6-نوع الوقود ومياه التغذية المتاحان
7-العمر الافتراضى للمحطة ككل

انواع المراجل البخارية Boiler types

لا يوجد ارتباط مباشر بين أنواع المراجل وانبعاث الملوثات في ظروف التشغيل العادية، ومع ذلك فإن الإلمام بكيفية تشغيل كل نوع منها يلقي الضوء على عمليات التحكم في التشغيل لتجنب الأعطال من خلال الصيانة الوقائية .

و يمكن تصنيف المراجل المستخدمة في الصناعة إلى:

1-مرجل انابيب اللهب أو مرجل الغلاف الجداري (Fire tube or shell)

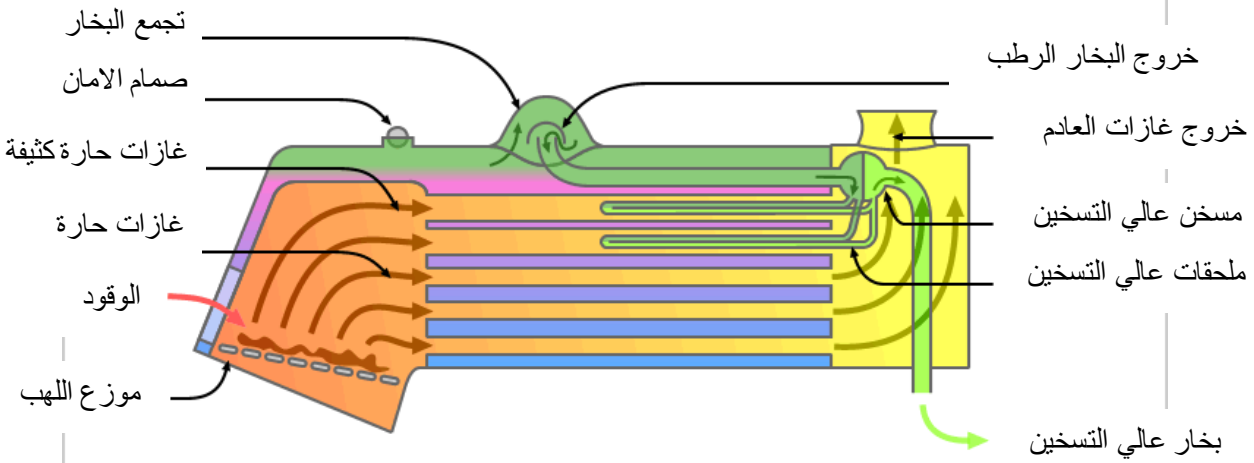
2-مرجل انابيب الماء.

3-المرجل المركب (انابيب لهب و انابيب ماء).

أ-مراجل انابيب اللهب (Fire-tube boiler) :

في هذا النوع من المراجل تتدفق الغازات الساخنة الناتجة عن الاحتراق عبر مسارات (غالباً ما تكون على شكل انابيب) تمر داخل وعاء للماء . كما يحتوي هذا الوعاء أيضاً انبوبة كبيرة (انبوبة اللهب flame tube) يتم بداخلها حرق الوقود . غالباً ما يستخدم مرجل انابيب اللهب لأغراض التسخين و الأغراض التجارية و الاستخدامات الصناعية . و تؤثر متطلبات انتقال الحرارة على شكل المرجل وتركيبها بحيث يسمح تصميمها باستخلاص و نقل أكبر قدر من الطاقة الحرارية الناتجة عن الاحتراق إلى المياه.

يراعى في تصميم انبوب اللهب أن يسمح حجمه بإتمام احتراق مزيج الهواء و الوقود قبل وصول غازات العادم إلى ممرات الانابيب.



مرجل أنابيب الماء

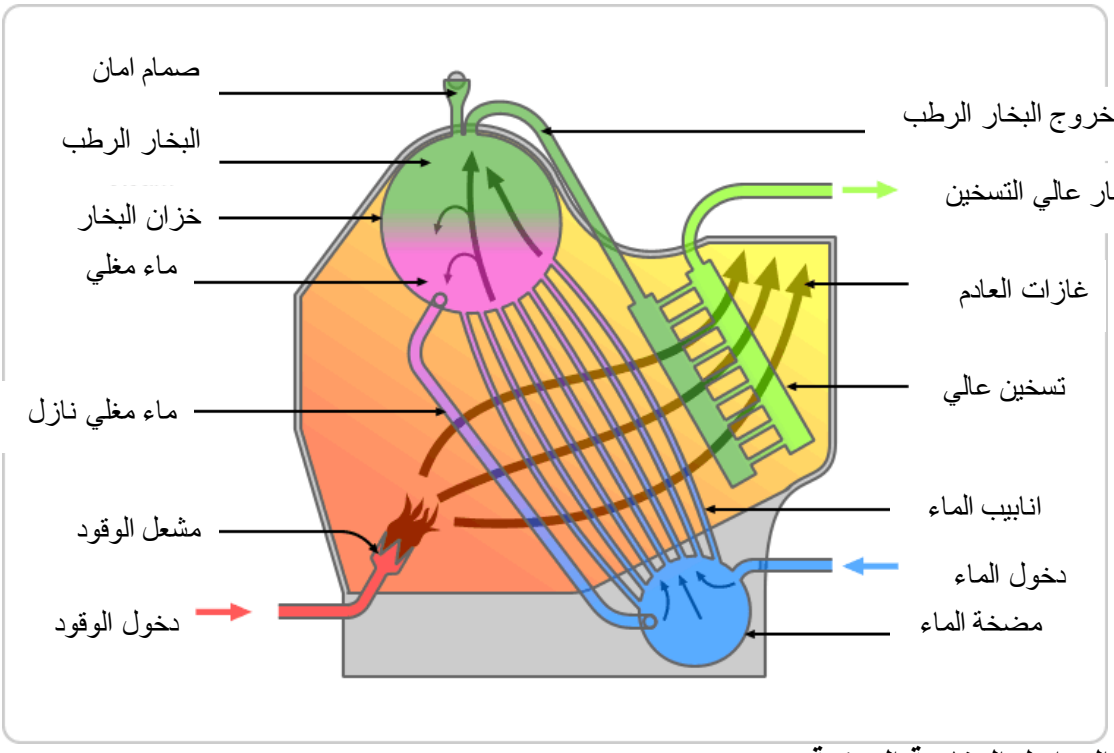
أدى تطور الصناعة خلال القرنين الماضين إلى زيادة استخدامات المرجل لتوليد البخار.
وقد ارتبط التوسع في استخدام المراجل بحدوث انفجارات ضخمة في بعض الحالات لأسباب مختلفة، حيث كانت المراجل البخارية في تلك الفترة تتكون من وعاء ضغط يتعرض لمستويات ضغط داخلي مرتفعة تؤدي إلى وقوع إجهاد شد على الجدران الداخلية للمرجل (tensile stress) معروف باسم الإجهاد الحلقي (loop stress) ويتم تقديره بواسطة المعادلة التالية:

$$S = \frac{P \times D}{2T}$$

حيث:

S = الإجهاد الحلقي
P = ضغط التشغيل الداخلي
D = قطر الوعاء
T = سمك المادة المعدنية

ويتضح من المعادلة أنه: لأي قيمة لـ (S) فإن زيادة قطر المرجل مع زيادة مخرجاتها ينبغي أن تصاحبه زيادة في سمك المعدن (T) . فإذا زادت قيمة ضغط التشغيل (P) فإن الوسيلة الوحيدة للحفاظ على ثبات قيمة (S) تنحصر إما في تصغير قطر المرجل (D) أو زيادة سمك المعدن (T) . و الحل الأخير يؤدي إلى ارتفاع تكاليف صناعة المرجل و زيادة حجمه. أما الحل الآخر وهو تصغير قطر المرجل فيمثل حلا عملياً. و يمثل هذا التصور التصميم الأساسي لمراجل انابيب المياه حيث تتواجد المياه داخل انابيب تتدفق من حولها نواتج الاحتراق (الغازات الساخنة) كما في الشكل الاتي:



المراجل البخارية المركبة (Composite Boiler)

تقوم فكرة تصميم هذا النوع الحديث من المراجل على دمج طريقة تشغيل مرجل أنابيب اللهب وأنابيب المياه معاً. و يجمع هذا التصميم مميزات نوعي مرجل انابيب اللهب والمياه.

	انابيب اللهب	انابيب المياه
الضغط	محدد بمقدار 20-30 بار (20 بار للمراجل ذات الحجم الأكبر)	غير محدد
مخرجات الوحدة	محددة بحوالي 20 ميجاوات	غير محددة
أنواع الوقود المستخدمة	كافة أنواع الوقود التجاري	غير محددة حيث أنه يمكن تصميم الفرن ليناسب نوعاً معيناً من الوقود نظراً لاتساعه
التكلفة	منخفضة مقارنة بانابيب المياه	مرتفعة مقارنة بانابيب اللهب
التركيب	صفقة شاملة جاهزة للتشغيل بعد توصيلها بالخدمات اللازمة في الموقع	يمكن تجميعها بمحل البيع أو تركيبها في الموقع
الكفاءة	80-85% (القيمة الحرارية الإجمالية) تبعاً لنوع الوقود و يمكن زيادة النسبة بتزويد المرجل بالموفر (economizer)	85-90% (القيمة الحرارية الإجمالية) تبعاً لنوع الوقود. المرجل مزود بالموفر أو بمسخن هواء متقدم (preheater) و يمكن استخدام الاثنين لزيادة الكفاءة إلى الحد الأقصى
الغرض من مياه التغذية	تسخين مياه توليد بخار للعمليات الصناعية	– توليد بخار للعمليات الصناعية – توليد بخار لتوليد الطاقة الكهربائية

انواع البخار

1. البخار الرطب Wet steam
وهو البخار الذي يحتوي على قطرات من الماء وهو الاكثر استعمالا في معامل الصناعات الغذائية والالبان. ويعبر عن مقدار الماء الموجود بدرجة التشبع، فاذا كانت درجة التشبع 95 % يعني 5 % من البخار عبارة عن قطرات من الماء. في حسابات الطاقة الحرارية المتوفرة في ذا النوع من البخار، يجب طرح كمية الطاقة الحرارة اللازمة لتحويل 0.05 كغم/كغم ماء والتي لم تتحول الى بخار.
كل 1 كغم بخار يحتوي طاقة حرارية مقدارها 538 كيلو سعرة (Btu 970.4)، فان البخار الذي درجة تشبعه 95 % يحتوي على طاقة حرارية
538 –(538 x 0.05) = 511.1 كيلو سعرة عند درجة حرارة 100 ^{0}م والضغط الجوي الاعتيادي.

2- البخار الجاف Dry steam
هو البخار الخالي من أي قطرات للماء

3- البخار عالي التسخين Superheated
هو البخار الناتج من امرار البخار على مسخنات لرفع درجة حرارته اكثر من 100 ^{0}م. ان استعمال النوعين الاخيرين من البخار محدود في معامل الاغذية.

<u>طاقة المراجل البخارية</u>
تقدر قدرة المراجل البخارية بالحصان مرجل Boiler horsepower. حصان مرجل واحد يعادل تبخر 15.68 كغم من الماء في الساعة عند درجة حرارة 100 ^{0}م (يعادل 34.5 باوند ماء/ساعة عند درجة حرارة 212 ^{0}ف). فان حصان مرجل واحد يحتوي على طاقة حرارية :

538 x 15.68 كغم = 8435.8 كيلو سعرة
او
970.4 x 34.5 باوند = 33479 Btu

يمكن تحديد قدرة المرجل البخاري تبعا لمساحة سطح التسخين في المرجل Heating surface الذي يتم بواسطته تسخين الماء. ففي مراجل انابيب اللهب Fire tube boiler، فان مساحة 1.07-1.39 م^2 (11.95-15 قدم^2) يعطي قدرة مقدارها 1 حصان مرجل. لكن في مراجل انابيب الماء، فان مساحة 0.93 م^2 (10 قدم^2 تعطي 1 حصان مرجل.

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 %
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 .

تظم استخدام الحرارة لتسخين الغذاء

تسخن المواد الغذائية اما بطرق مباشرة او غير مباشرة حيث تضاف الحرارة المتولدة الى المواد الغذائية في التسخين غير المياشر 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

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.

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

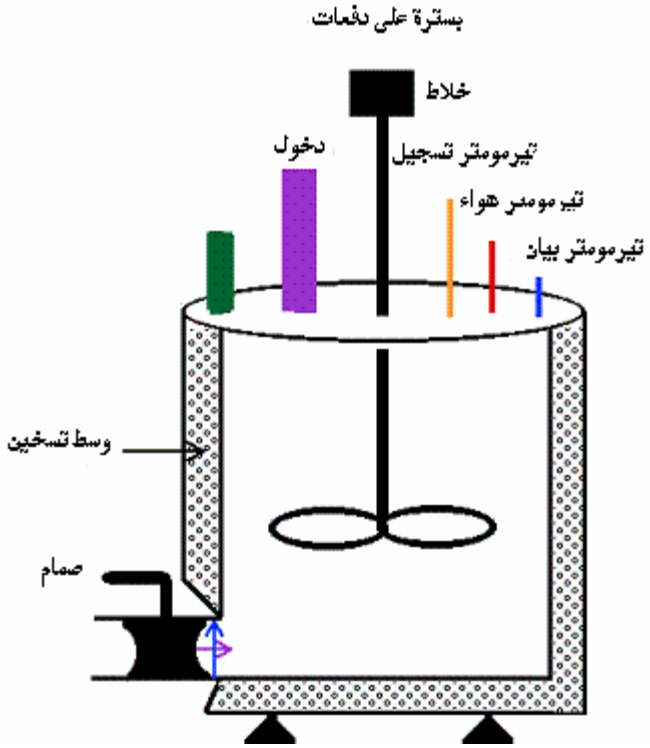
وفي حالة منتجات اساسها الحليب (القشدة وحليب الشوكلاتة)

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.

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.

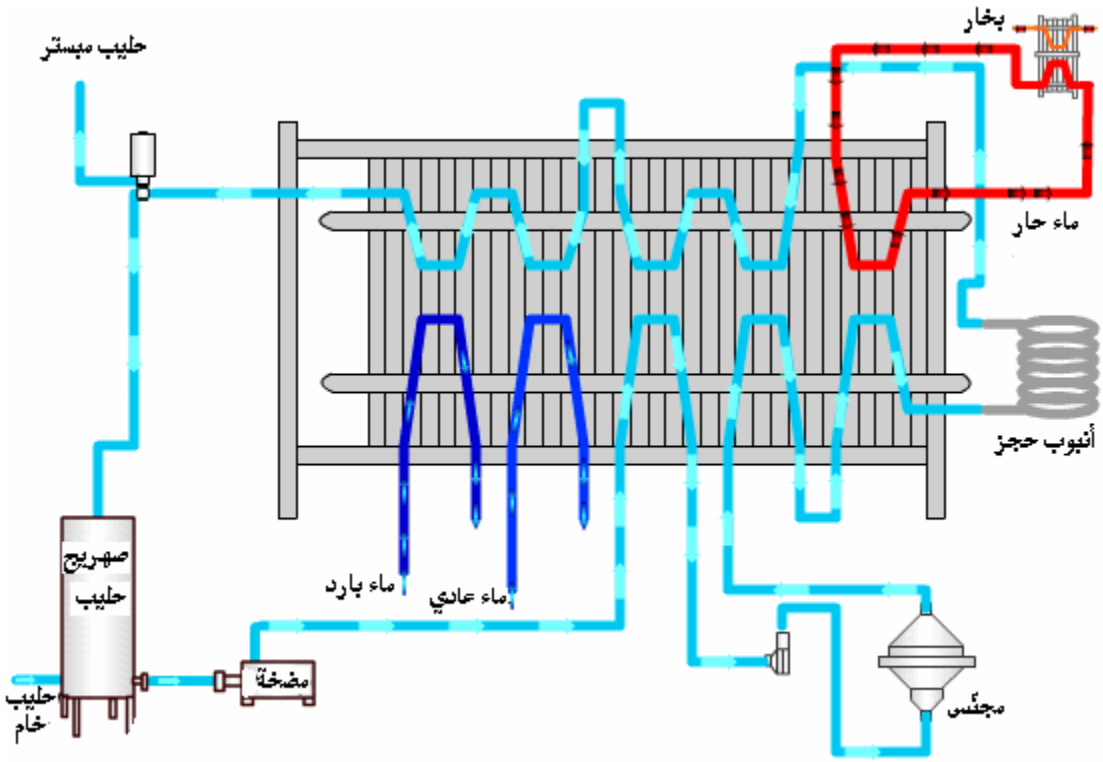


مخطط لجهاز بسترة على دفعات

ب. اجهزة البسترة المستمرة Continuous pasteurizing equipment

المبادل الحراري ذو الصفائح Plate heat exchanger

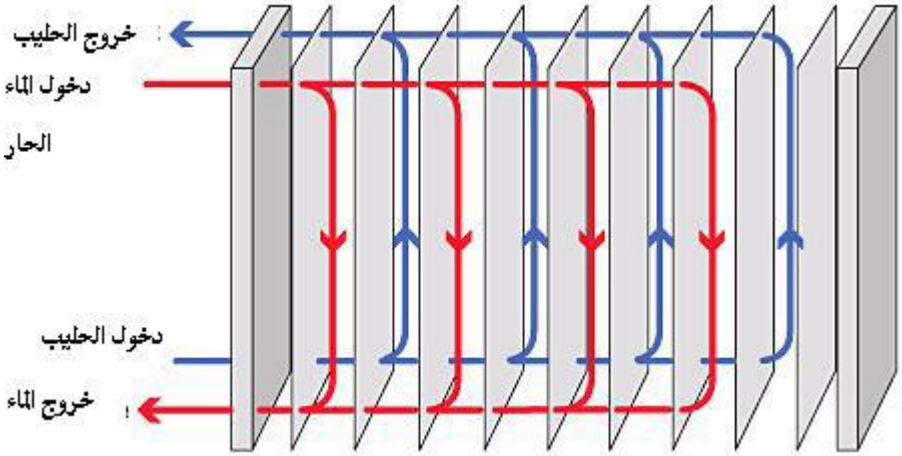
جهاز بسترة ذو الصفائح



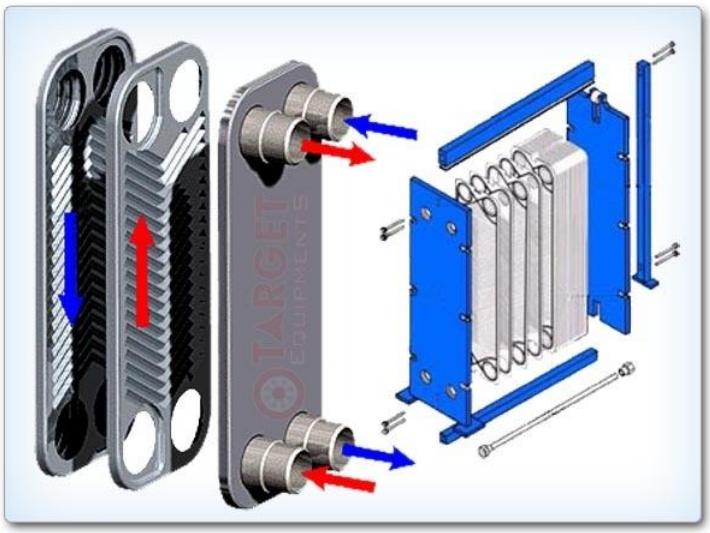
مخطط لجهاز بسترة مستمر

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



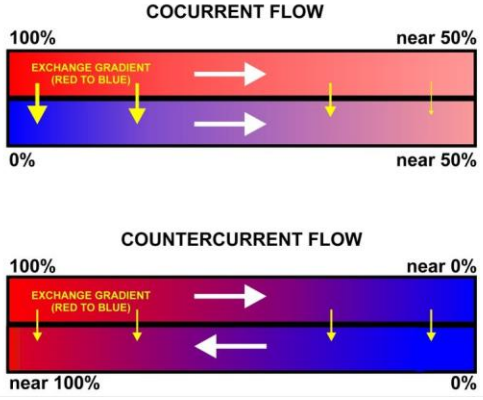
وهو مكون من ثلاثة اقسام هي:

- 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.



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.

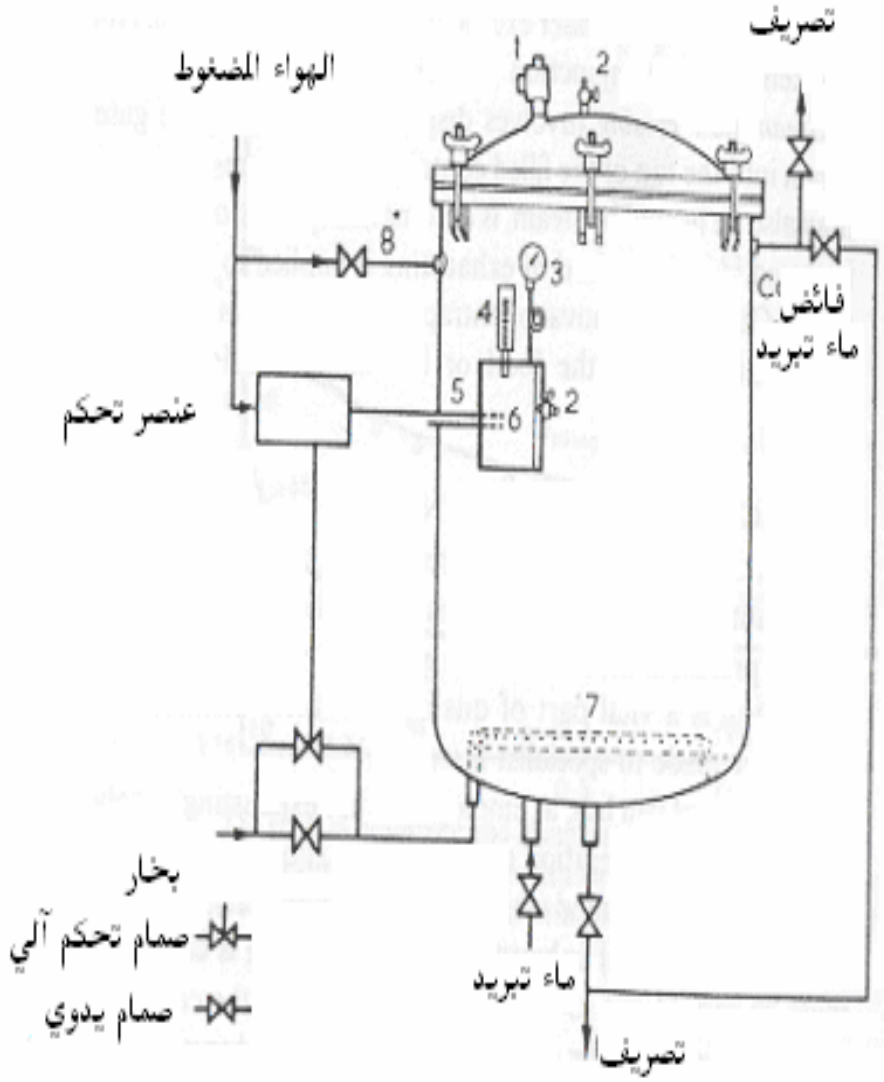
انواع اجهزة التعقيم

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 :



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

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.

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

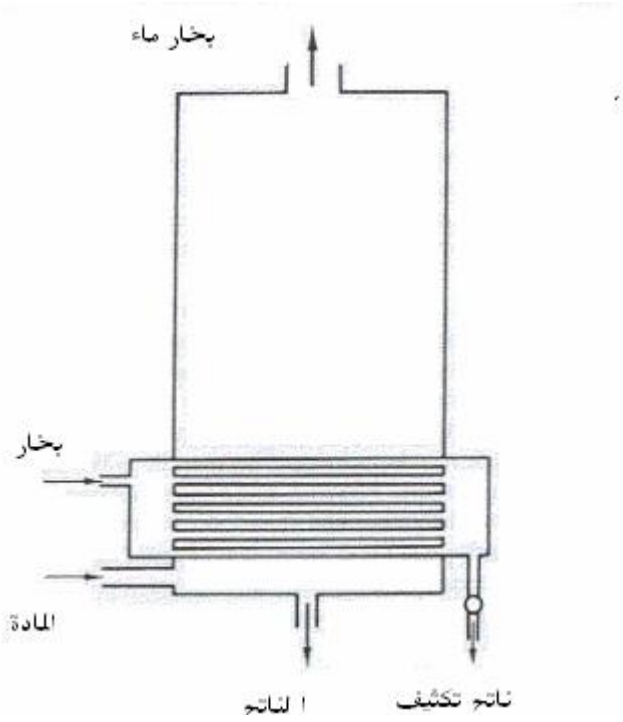
أ. مبخر الوعاء المفتوح Open pan evaporator

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

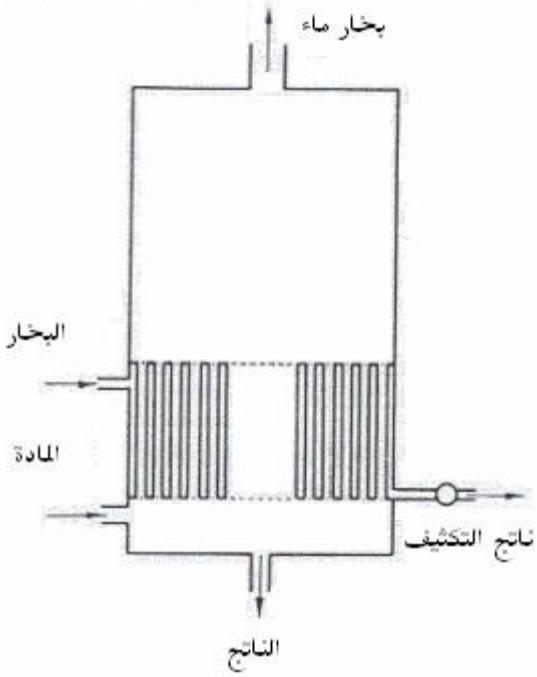
يوجد داخل المبخر عدد من الانابيب الافقية التي تسخن من الداخل بالبخار. من عيوب هذا الجهاز هو ان الانابيب الافقية تعيق دوران المادة الغذائية داخل المبخر ولهذا فان المعامل الكلي لانتقال الحرارة ضعيف.



مبخر الانابيب الافقية القصيرة

جـ. مبخر الانابيب الراسية القصيرة Vertical short tube evaporator

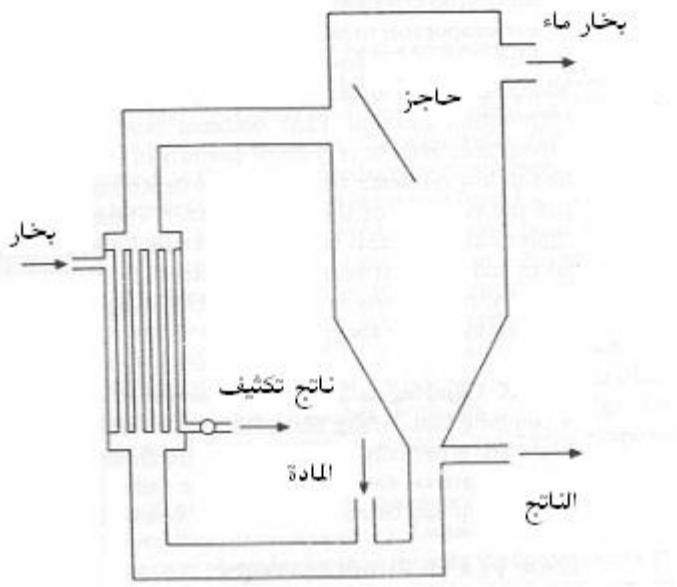
يرتفع المنتج عند تسخينه خلال الانابيب الراسية عن طريق الدوران الطبيعي بينما يتكثف البخار خارج الانابيب. طول الانابيب حوالي 0.5-2 م وقطرها 25-75 ملم. يجب ان تكون الانابيب مغطاة بالمادة الغذائية لتفادي تكون ترسبات صلبة عليها.



مبخر الانابيب الراسية القصيرة

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

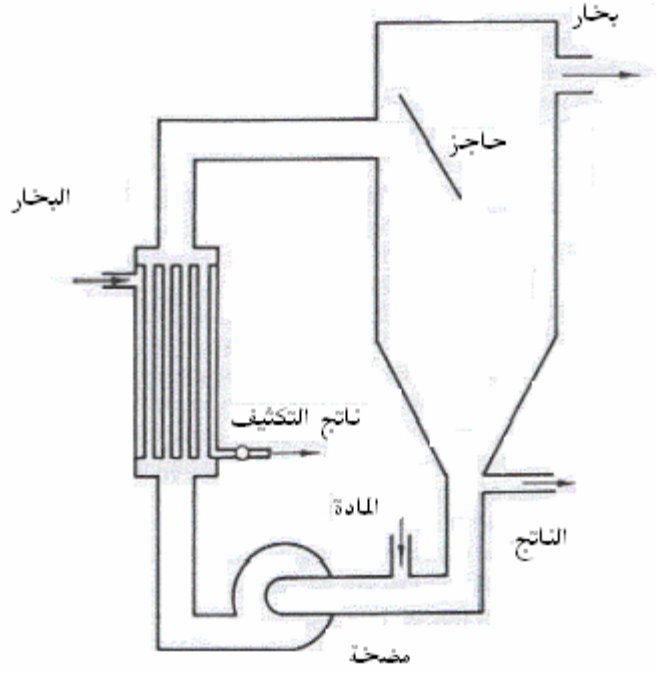
توجد الانابيب في هذا المبخر خارج جسم المبخر. يستخدم في تبخير الاغذية الحساسة للحرارة مثل الحليب ومستخلصات اللحوم وعصائر الفاكهة.



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.

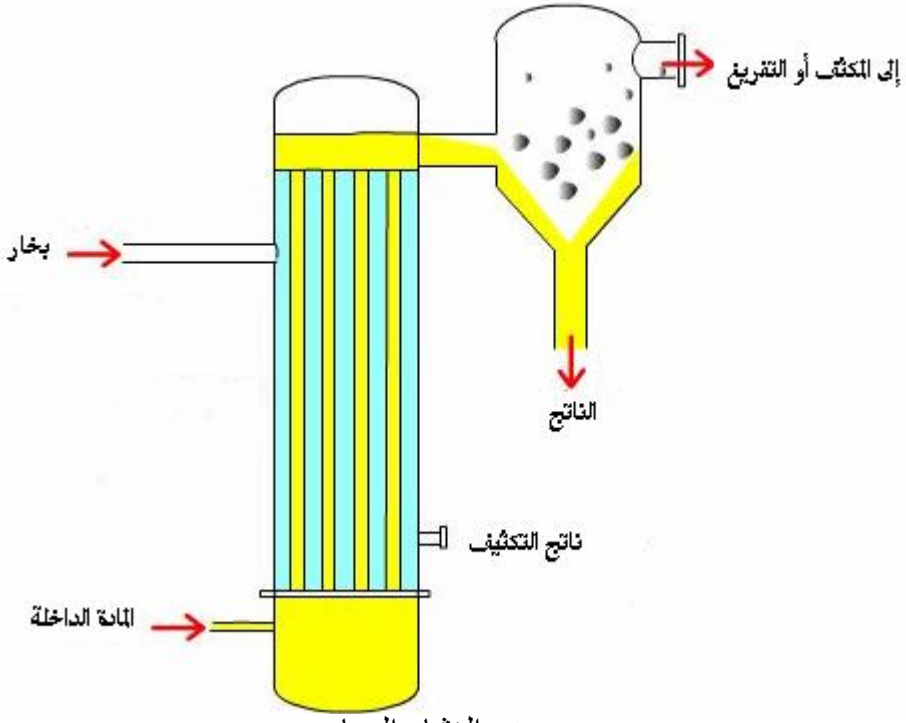


3. المبخرات طويلة الانابيب Long tube evaporators

يمكن اعتبار هذه المبخرات مبادلات حرارية ذات انابيب راسية.

أ. مبخر الغشاء الصاعد Climbing film evaporator

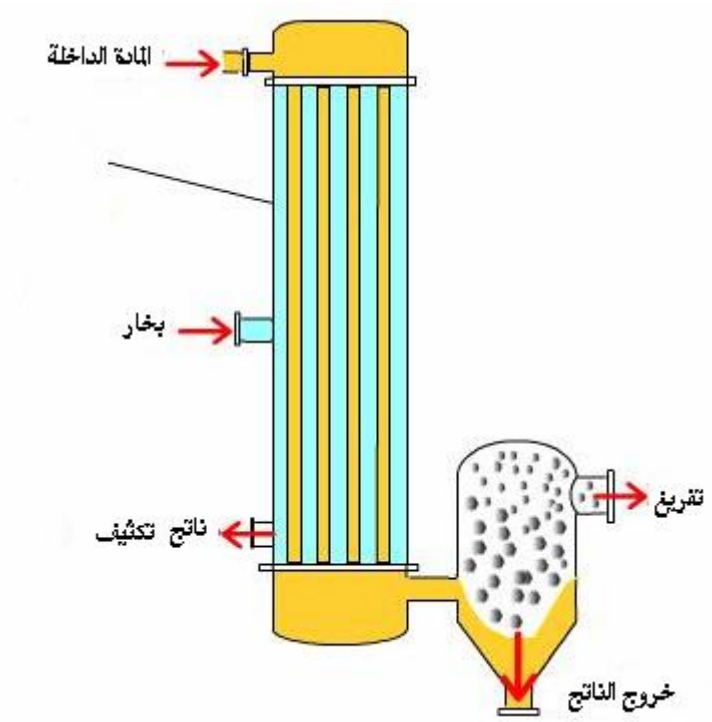
المبخرات من هذا النوع لها انابيب طولها 3-12 م وقطرها 25-50 ملم . يسخن السائل الى قرب نقطة الغليان ثم يدخل الى اسفل المبخر ويبدأ الغليان بعد مسافة قصيرة اثناء ارتفاعه الى الاعلى. يؤدي تمدد السائل اثناء الغليان الى ارتفاع فقاعات بخار الماء اعلى الانابيب. ويقوم بخار الماء بحمل غشاء رقيق من المادة الغذائية التي يزداد تركيزها اثناء ارتفاعها على جدران الانابيب. يمر الخليط الى جهاز يفصل بخار الماء. فترة بقاء المادة الغذائية قصيرة 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

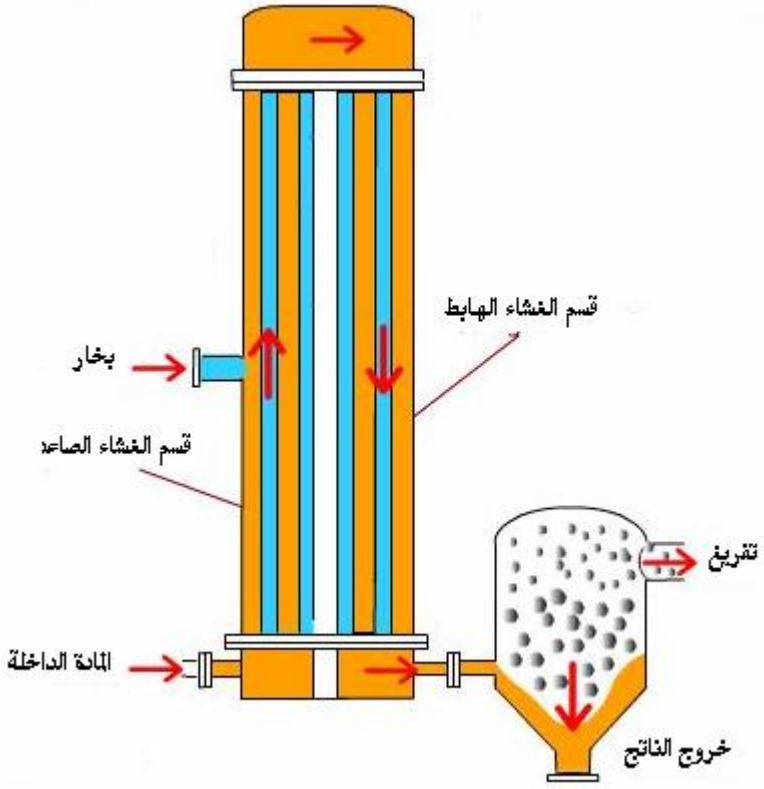
هذا النوع مشابه لمبخر الغشاء الصاعد ولكن في هذه الحالة يضخ الغذاء السائل المسخن الى اعلى الانابيب التي قد يصل طولها الى 15 م . يوزع السائل على الانابيب بحيث يتدفق الى اسفل على السطح الداخلي للاسطح الساخنة في صورة غشاء رقيق يغلي. يمكن ان يتم التبخير عند درجات غليان منخفضة وفترة بقاء المادة الغذائية قصيرة (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 = 4/12000 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

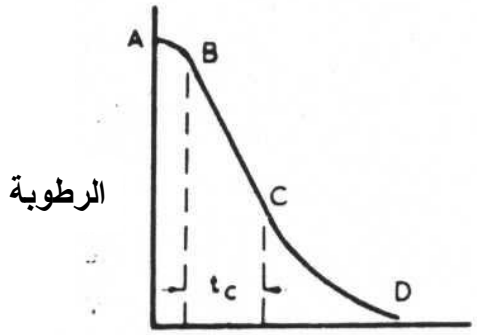
مقدار البخار اللازم = 5846400/ 554.4 = 10545.5كغم.

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.

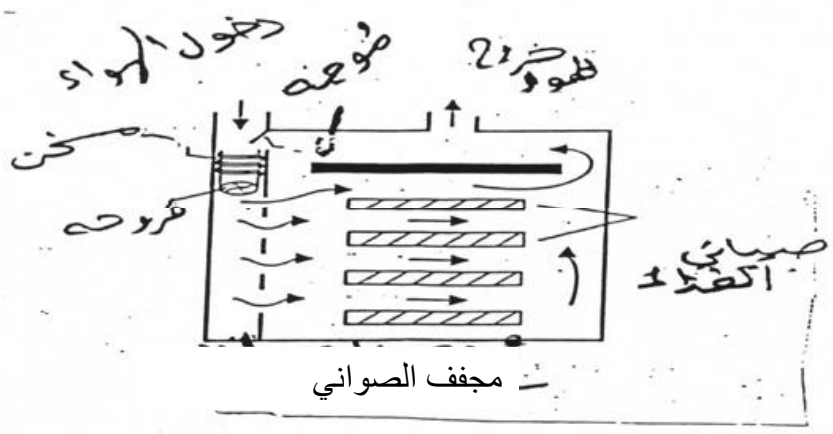
انواع المجففات المستخدمة في تجفيف الاغذية

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.



مجفف الصواني

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.

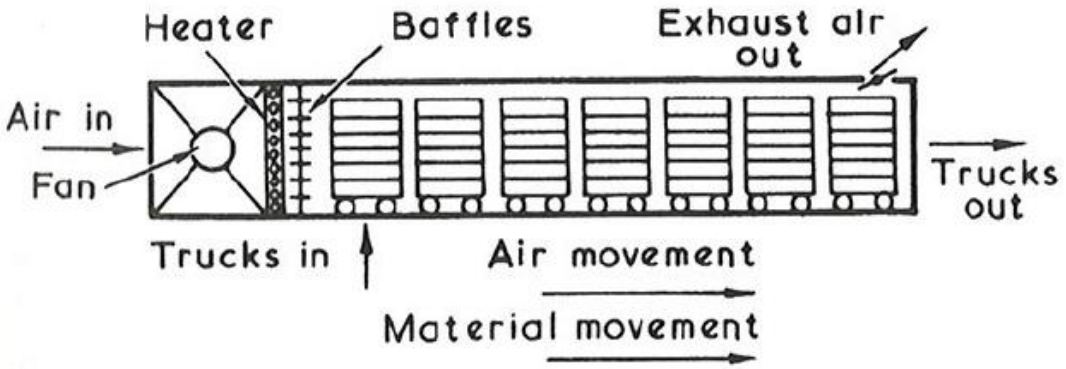
هذه المجففات غالبا ما تقسم الى عدة اقسام حسب اتجاه الهواء المستعمل الى:

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

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

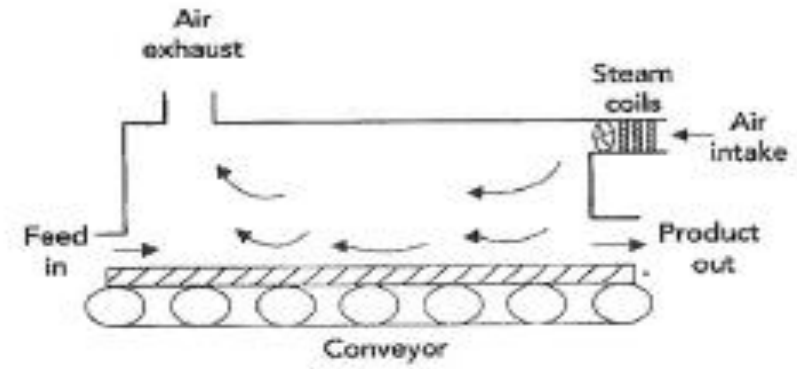
ج. النظام المدمج : وهذا النظام يجمع بين النظامين السابقين بحيث يستخدم النظام الموازي اولا ثم المعاكس ثانيا.

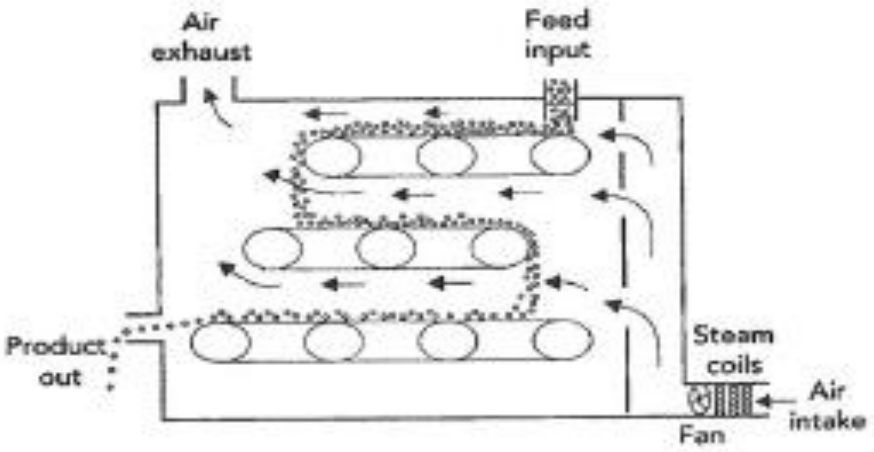
مزايا وعيوب كل نظام من مجففات الانفاق		
النظام	المزايا	العيوب
الموازي	1. تجفيف ابتدائي سريع. 2. اقل ضرر يمكن حدوثه للغذاء. 3. الانكماش قليل.	الحصول على مستويات رطوبة منخفضة امر في غاية الصعوبة (لان الهواء الرطب يمر فوق الغذاء الجاف)
المعاكس	1. بالامكان الوصول الى مستويات منخفضة من الرطوبة في الاغذية 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.



4.مجففات السيور Belt driers

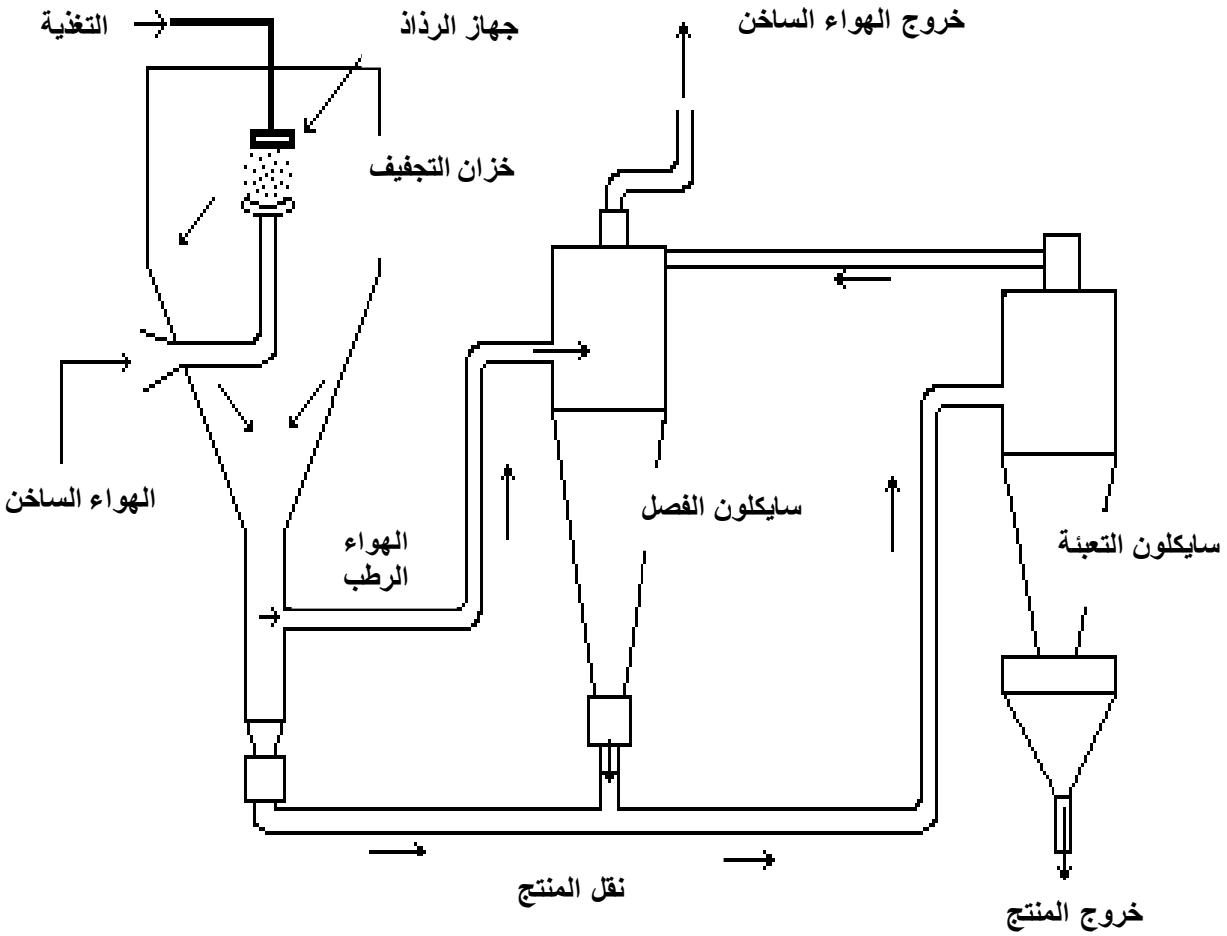
تشابه هذه المجففات تقريبا مجففات الانفاق في المبدأ ما عدا ان المادة الغذائية توضع على سيور متحركة وليس على عربات. يضخ الهواء في البداية من الاسفل وفي نهاية التجفيف من الاعلى، وذلك حتى لا تتطاير المادة المجففة (لانها منخفضة الكثافة وخفيفة الوزن).





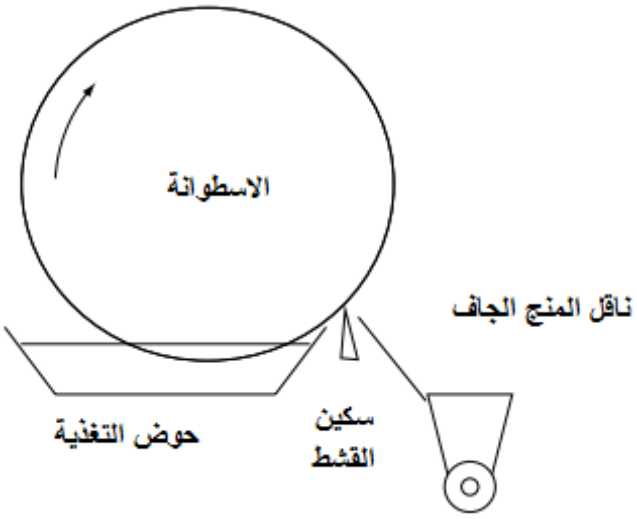
5. التجفيف بالرذاذ Spray driers

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.



6.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

التجفيف الشمسي

Solar drying

المقدمة

يصل الفقدان الحاصل في الفاكهة والخضراوات في الدول النامية الى 50% تقريبا ونسبة فقد تصل الى 25% في المحاصيل الحبوبية. يساعد طرق حفظ الاغذية في انخفاض نسبة الفقد او الضائعات في المحاصيل الزراعية وتساعد في تقليل مساحات خزن الاغذية وفي بعض الحالات وقد تشجع في تصديرها الى الاسواق العالمية. يعتبر تجفيف الاغذية من الطرق الاقدم في حفظ الاغذية، حيث يساعد التجفيف في انتاج اغذية خفيفة الوزن وصغيرة في الحجم واقل عرضة للفساد. وفي هذه الدورة سنتعرف على خلفية وامكانيات التجفيف الشمسي، والتركيز على الاحتياجات التقنية لصغار المزارعين في الدول النامية.

من الامور الاساسية في مجال تجفيف الاغذية هو معرفة المحتوى الرطوبي للاغذية وكيف يمكن ازالتها والطاقة اللازمة لعمليات التجفيف. وسوف يتم التركيز على التجفيف الشمسي والتعرف على الاجزاء التي يتكون منها المجفف الشمسي وطريقة ادارتها والقدرات او الكفاءة التي يمكن ان التي تعطيها هذا النوع من المجففات. بالاضافة الى دراسة الانواع المختلفة من المجففات الشمسية ومعرفة المعايير اللازمة لاختيار المجفف الشمسي.

عمليات تجفيف الفواكه والخضراوات واللحوم مورست في اجزاء مختلفة بالعالم منذ الاف السنين. تشمل طرق الحفظ التعليب والتجميد والتخليل والتدخين والتمليح والتجفيف. يتسبب فساد الاغذية نتيجة نمو الخمائر والاعفان والبكتريا والانزيمات. يؤدي تجفيف الاغذية الى ازالة رطوبة كافية من الغذاء الى الحد الذي يؤدي الى انخفاض اسباب فساد الاغذية.

المحتوى الرطوبي: يتراوح معدل نسبة الرطوبة للاغذية الطازجة ما بين 20-90 %. وتختلف الاغذية في درجة تجفيفها للحصول على كفاءة خزنية عالية (جدول 1).

المادة الغذائية	المحتوى الرطوبي (على اساس الرطب)	
	الرطوبة الابتدائية	الرطوبة النهائية
الرز	%24	%14
الذرة الصفراء	%35	%15
البطاطا	%75	%13
الخوخ	%85	%18
حبوب القهوة	%50	%11
التفاح	%80	%20
المشمش	%85	%20
الموز	%75	%11
حبوب الشعير	%20	%14
العنب	%80	%20
المنجا	%80	%12
الشاي	%70	%25
اوراق التبغ	%75	%17
الطماطة	%75	%35
حبوب الحنطة	%20	%14
الفاصوليا	75%	%5
بذور الباقلاء	%80	%10
البصل	%80	%4
فستق الحقل	%40	%9
بذور البزاليا	%80	%5

ومثال على ذلك فانه يجب تخفيض المحتوى الرطوبي للرز من 24 % الى 14%، لذلك فان تجفيف 1000 كغم من الرز تحتاج الى ازالة 100 كغم من الرطوبة. بشكل عام فان صلاحية الخزن تتطلب خفض المحتوى

الرطوبي الى دون 20 % للفاكهة و 10 % للخضراوات و 10-15 % للحبوب. وعندما تجرى عملية التجفيف بشكل صحيح، يجب ان لا توجد رطوبة ظاهرة عند تقطيع المادة الغذائية المجففة.

يمكن استخدام المعادلة التالية في حساب كمية الرطوبة المراد ازالتها من المواد الغذائية (كغم) المراد تجفيفها:

كمية الرطوبة المراد ازالتها من المواد الغذائية (%) =

كمية المادة الغذائية المراد تجفيفها (نسبة الرطوبة الابتدائية % - نسبة الرطوبة النهائية %)

ازالة الرطوبة من المواد الغذائية: يعتمد الوقت اللازم لعملية تجفيف الاغذية على سرعة هواء التجفيف على امتصاص الرطوبة من المادة الغذائية. العوامل التي تؤثر على سرعة التجفيف هي:

1. درجة حرارة هواء التجفيف.
2. درجة جفاف الهواء المستخدم في التجفيف.
3. سرعة هواء التجفيف.

<u>التجفيف الشمسي والتجفيف باستخدام طاقة الاشعاع الشمسية</u>

بالرغم من استخدا التجفيف الشمسي التقليدي على نطاق واسع لكنها تعاني من عدة سلبيات ومنها مثلا تعرض المواد الغذائية للتلوث وتستغرق وقت طويل بالاضافة الى التلف الحاصل من تقلبات الجو (وجود امطار مثلا). وعلى الضد من ذلك نلاحظ هناك مميزات عديدة باستخدام طاقة الاشعاع الشمسي ومنها:

1. زيادة في سرعة التجفيف بسبب ارتفاع درجة الحرارة وانخفاض رطوبة هواء التجفيف.
2. الاغذية المراد تجفيفها داخل المجفف وبذلك تكون محمية من الاتربة والحشرات والطيور والحيوانات.
3. ارتفاع درجة حرارة التجفيف تعمل على ابتعاد الحشرات عنها وايضا زيادة سرعة التجفيف تقلل من خطر فساد الاغذية بالاحياء المجهرية.
4. زيادة سرعة التجفيف يؤدي الى زيادة المواد الغذائية المجففة وبذلك يقلل من المساحة اللازمة للتجفيف.
5. لكون هذه المجففات محمية فانه لا تتاثر بالتقلبات الجوية ووجود الامطار.
6. يمكن تصنيع هذه المجففات من مواد مواد متوفرة محليا وذات تكلفة نسبيا واطئة.

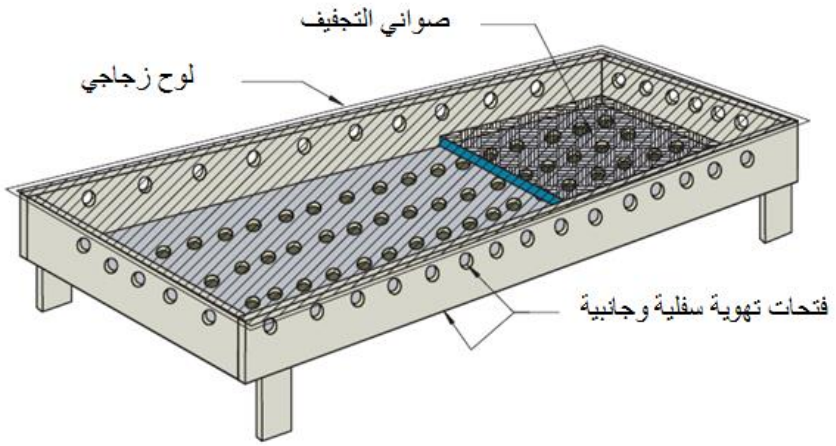
العوامل التكنولوجية المؤثرة في اختيار المجففات الشمسية

1. كمية المواد المراد تجفيفها علي طول الموسم.
2. الكمية المراد تجفيفها في كل مرة (أقصي حمولة للمجفف).
3. مدة التجفيف تحت الظروف العملية من درجات الحرارة المستعملة - معدل تصرف الهواء الساخن والقدرة المستهلكة في الدفع – الرطوبة النسبية.
4. كمية الرطوبة في المواد المراد تجفيفها والمحتوي الرطوبي المطلوب في المواد الجافة.
5. درجة الحرارة العظمي التي يمكن استعمالها في تجفيف المواد المجففة ومدي تأثرها بالضوء المباشر
6. الظروف المناخية خلال موسم التجفيف . وتشمل شدة الاشعاع الشمسي ومدته ودرجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية وسرعة الرياح.
7. مدي توافر الكهرباء في مواقع التطبيق.
8. مدي توافر المواد التي تستخدم في تصنيع المجفف وأسعارها.
9. مدي توافر المياه النقية واستعمالها في غسيل وتحضير المواد المراد تجفيفها.

انواع المجففات الشمسية

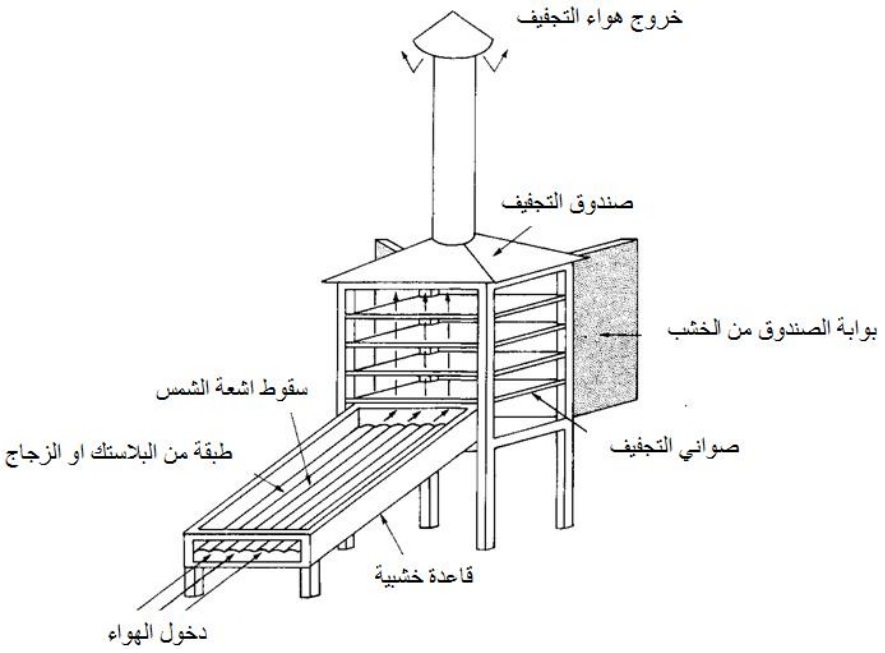
هناك انواع مختلفة من المجففات الشمسية وهي:

1. المجففات الشمسية المباشرة وعادة تكون على شكل صندوق حيث ان المادة الغذائية تجفف بشكل مباشر باشعة الشمس.



الغاية الرئيسية من هذه المجففات هو للحصول على منتج غذائي مجفف ذو نوعية جيدة ولم يتعرض الى التلوث بالاتربة والحشرات ومخلفات الحيوانات وغيرها. تتكون من صندوق مغطى من الاعلى بلوح زجاجي واسفله مطلي باللون الاسود. يوجد فتحات للتهوية في القاعدة وعلى جوانب الصندوق لتحافظ على حركة تيارات الحمل الطبيعية للهواء الساخن.

2. المجففات الشمسية غير المباشرة حيث تتعرض



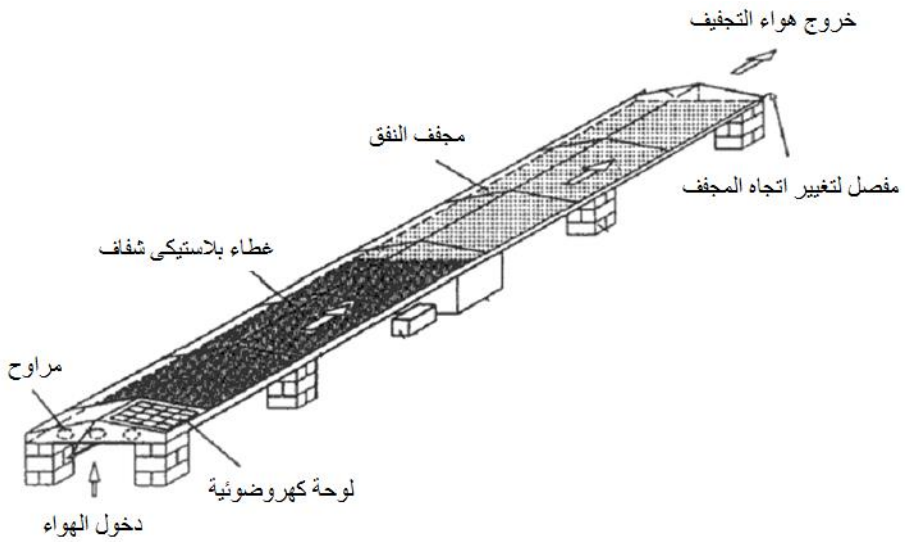
المادة الغذائية الى

تيارات الهواء الساخنة بفعل اشعة الشمس.

بالاضافة الى المزايا التي يتحلى بها المجففات الشمسية المباشرة، فهذه المجففات تزيد من سرعة التجفيف والتحكم بدرجة حرارة التجفيف من خلال التحكم في كمية تيار الهواء الداخل الى المجفف عن طريق فتحة خروج هواء التجفيف من المجفف الشمسي. وفي بعض المجففات يوضع مروحة كهربائية في نهاية فتحة خروج هواء التجفيف لزيادة سرعة حركة تيار الهواء المار من خلال المجفف.

3. مجففات النفق الشمسية

تتكون هذا النوع من المجففات على نفق يغطى بغطاء من البلاستك الشفاف الذي يتحمل درجة الحرارة **المرتفعة** ويدفع الهواء الساخن بحركة مستمرة من نفق تجميع الحرارة إلى نفق التجفيف بواسطة مروحة كهربائية صغيرة.



4. مجففات تجمع بين اساس عمل كلا المجففات الشمسية المباشرة والغير مباشرة حيث ان المادة الغذائية تتعرض الى اشعة الشمس المباشرة والغير المباشرة (بفعل تيارات الهواء الساخن) بانٍ واحد.

في هذا النوع من المجففات الشمسية، تسقط الطاقة المشعة من الشمس بشكل مباشر على المادة الغذائية المراد تجفيفها اضافة الى تيارات الحمل للهواء الساخن. يساعد هذا التصميم في زيادة معدل التجفيف مؤديا الى زيادة فقد الرطوبة من المادة الغذائية.

يتكون المجفف الشمسى من جزئيين أساسيين وهما:

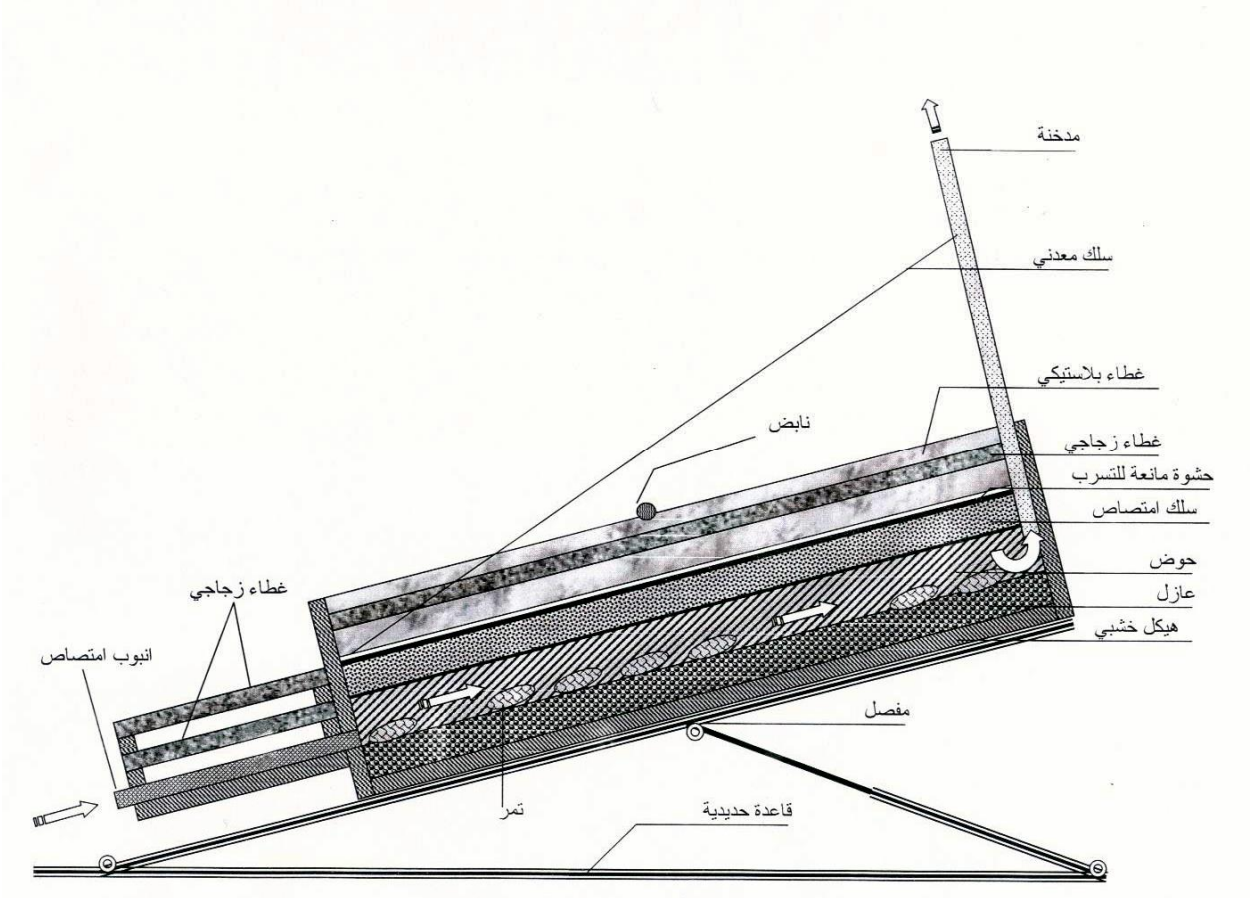
أولا : المجمع الحراري

وهو عبارة عن جزء مغطى بزجاج أبيض عادى سمك ٣ مم يسمح بمرور الأشعة الشمسية إلى غرفة التجفيف وهى مستطيلة الشكل مدهونة من الداخل باللون الأسود الغير لامع وبها فتحات تسمح بمرور الهوا ء وتصل درجة حرارة الهواء داخل المجفف حتى ٦٥ مْ وهى كافية لتجفيف كافة المنتجات المطلوبة مع

ملاحظة إمكانية تخفيضها لبعض المنتجات الورقية للحفاظ على النكهة والقيمة الغذائية. التحكم في درجة حرارة الهواء عن طريق سريان الهواء من خلال المدخنة أثناء النهار.

ثانيا: غرفة التجفيف

وهى غرفة مصنعة من صاج سمك ٢ مم ومبطنة بمادة عازلة ومن الداخل حوائط من الخشب مغطى باللون الأسود الغير لامع ويربط بين المجمع الشمسي وغرفة التجفيف فتحة لدخول الهواء الساخن وبداخلها أرفف مثقبة بقطر ١٠ مم ترص عليها صواني التجفيف والتي تسمح بسريان الهواء الساخن من خلالها.



مقطع رأسي للمجفف الشمسي الشبه مختلط

<u>تحضير الفاكهة للتجفيف الشمسي</u>

لضمان الحصول علي منتج مجفف جيد يجب ضبط كافة المعاملات اللازمة قبل البدء في عملية التجفيف وأثنائها وبعد الانتهاء منها.. فعلي سبيل المثال قد يستلزم الأمر قبل إجراء عملية التجفيف إجراء عمليات الفرز والتنظيف والتقشير والتقطيع وربما يستلزم أيضا إجراء عملية نقع في مادة كيميائية مثلما يحدث عند تجفيف العنب لإنتاج الزبيب أو البرقوق لإنتاج بالطرق الشمسية وقد تجري عملية تبييض لبعض الفواكه كالمشمش أو قد تجري عملية كبرته للبعض الآخر بغرض المحافظة علي اللون كما في حالة المشمش والزبيب... أما العمليات اللازم إجراؤها بعد انتهاء عملية التجفيف فهي تختلف من مادة إلي أخري ومن هذه العمليات الترطيب والتغليف والبسترة وكلها عمليات الغرض منها تجانس توزيع الرطوبة وحماية المادة المجففة من التلوث وإطالة مدة حفظها.

الفاكهة التي يتم تقطيعها علي صورة قطع مثل المشمش والخوخ والكمثري عادة ما يتم تجفيفها شمسيا حيث كان يتم تجفيف التفاح تجاريا بهذه الطريقة ، وقطع الفاكهة عادة ما يكون لونها فاتح وتتطلب عملية كبرته أو الغمر في محلول كبريت قبل التجفيف لمنع الاسوداد اللون البني أثناء التجفيف والتخزين كذلك وجد أن تأثير ثاني أكسيد الكبريت يعمل كمادة ضد الحشرات. تجفيف الفاكهة سواء كلي أو أنصاف أو شرائح تتعرض لأبخرة الكبريت في حجرات مقفلة وكمية الكبريت المستخدمة وقت المعاملة أي نسبة ثاني أكسيد الكبريت المطلوبة تتوقف علي نوع الفاكهة ومحتواها من الرطوبة المعاملة الأولية بالقلوي ونسبة ثاني أكسيد الكبريت المطلوب في المنتج النهائي حيث تضع بعض الدول مثل ألمانيا واليابان وغيرها قوانين تنص علي حدود معينة من ثاني أكسيد الكبريت في الفاكهة المجففة .
وبالنسبة للغمر في محلول كبريتي سواء بالنسبة للثمار الكاملة أو الأنصاف أو الشرائح سواء بعد التقشير أو بدون تقشير تغمر في محلول من الصوديوم باي سلفيت تركيزه 1-2 %.

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.

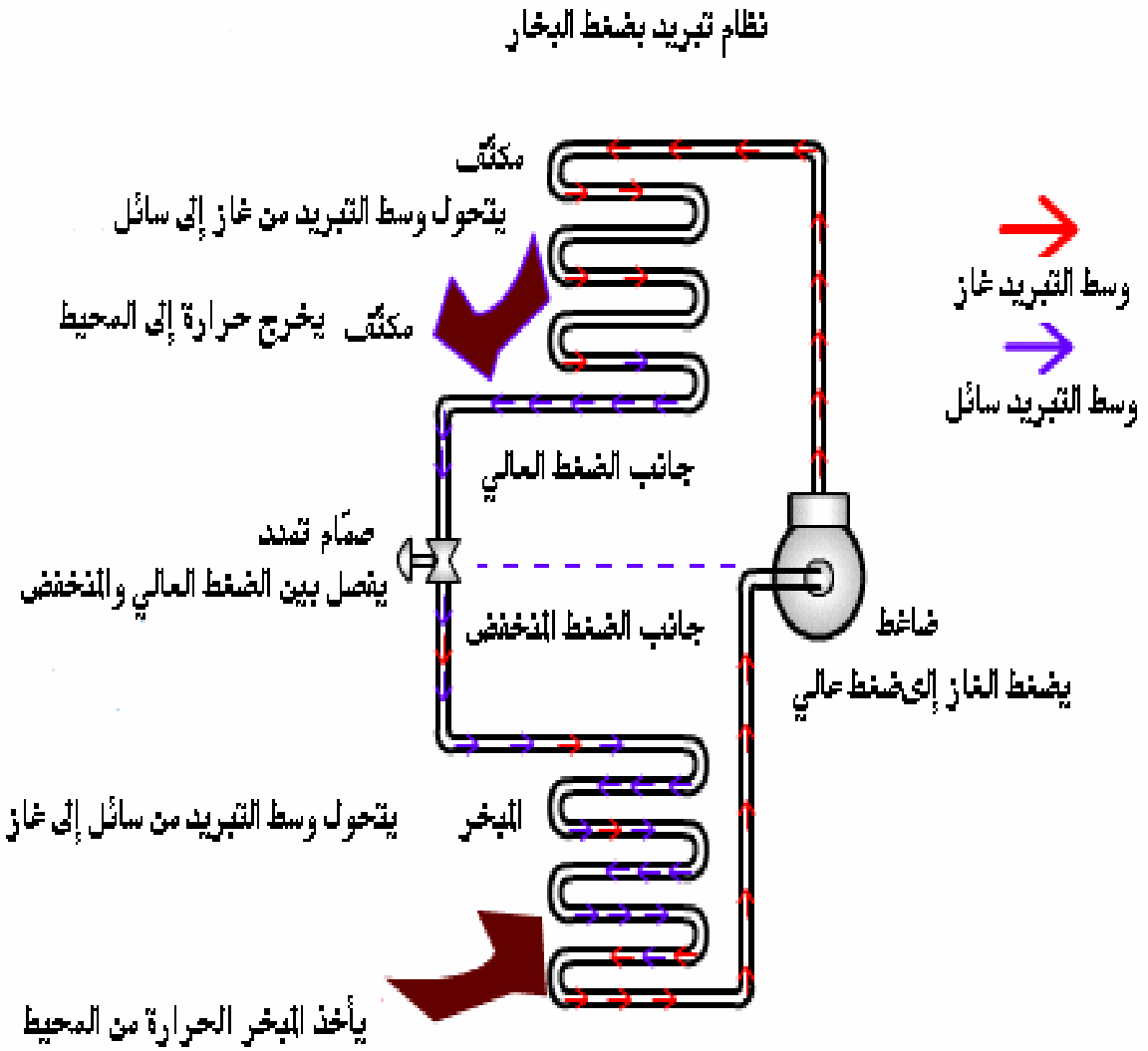
التبريد الميكانيكي Mechanical Refrigeration

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.

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:

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

علما ان 1 كيلو سعرة = 427 نيوتن.متر

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

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

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

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

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 (ط . 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 = 1000 x 10 = 10000 كيلو سعرة/24 ساعة
مجموع الاحمال الحرارية الاخرى = 50 % الحمل الحراري نتيجة تبريد المادة
= 0.5 x 528000 = 264000 كيلو سعرة/24 ساعة

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

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

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

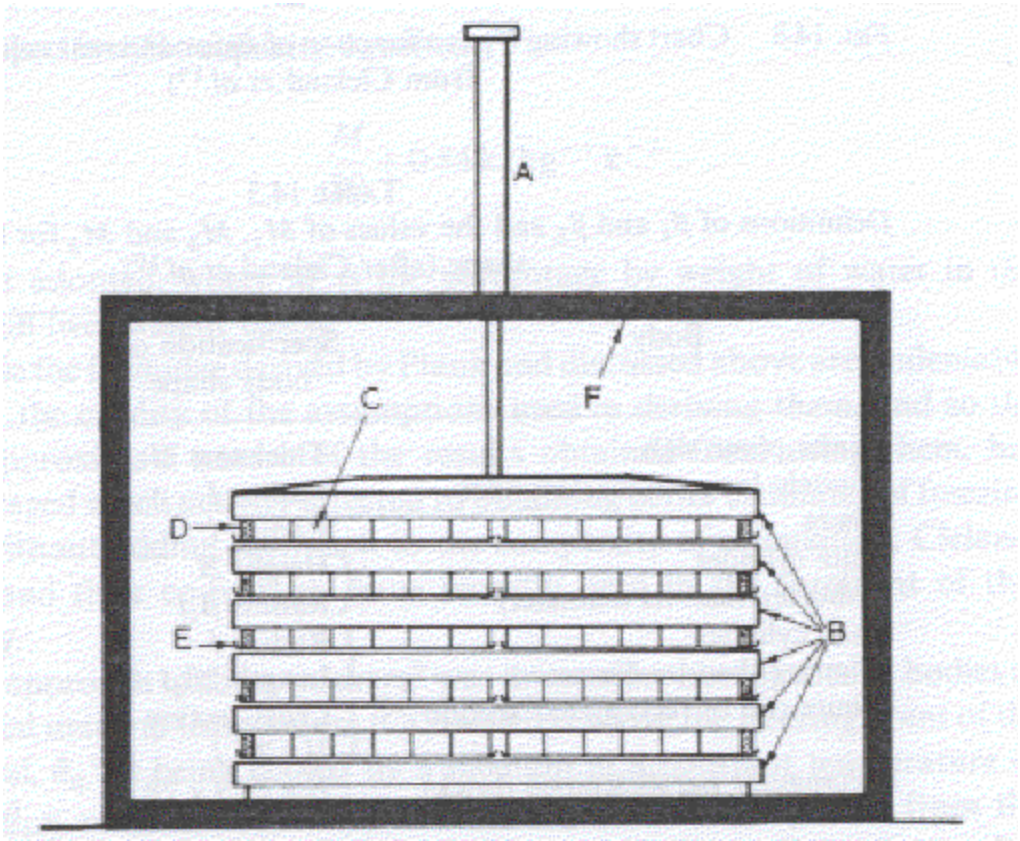
يتم التجميد في انظمة التجميد باستخدام احدى الطريقتين و هما التلامس المباشر مع وسيط التبريد او التلامس غير المباشر مع وسيط التبريد.

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.



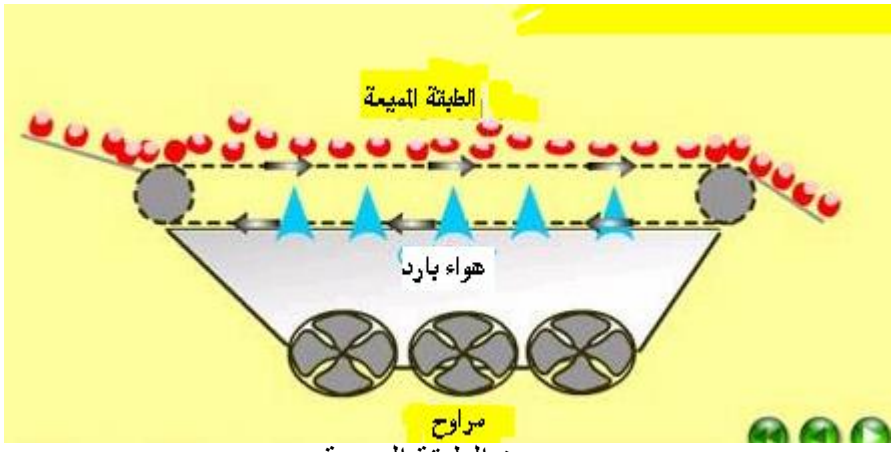
رسم توضيحي لنظام التجميد اللوحي

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.

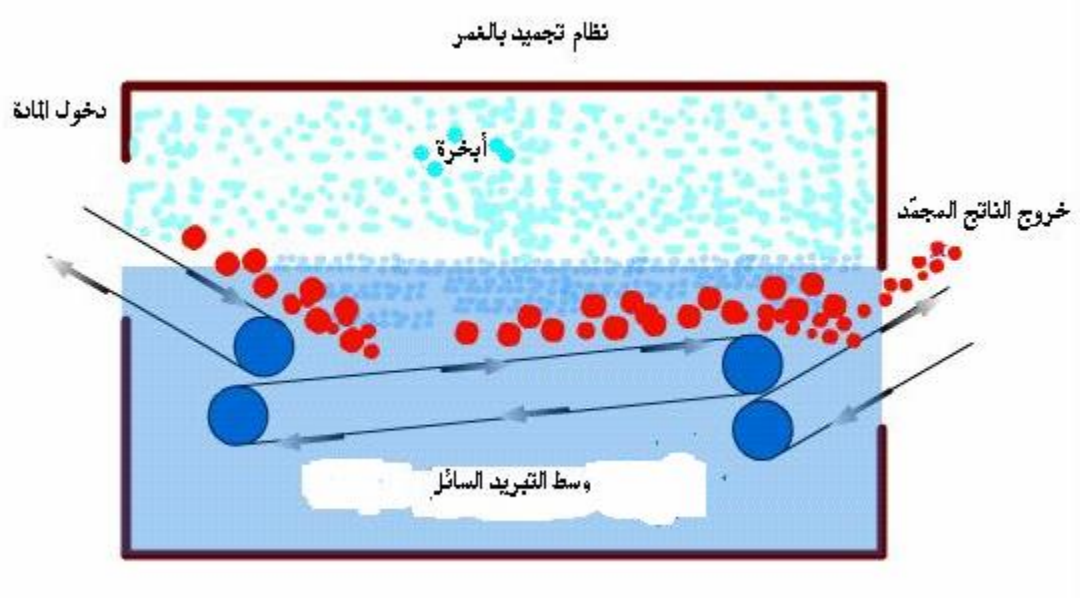


مجمدة الطبقة المميعة

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.



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.

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.

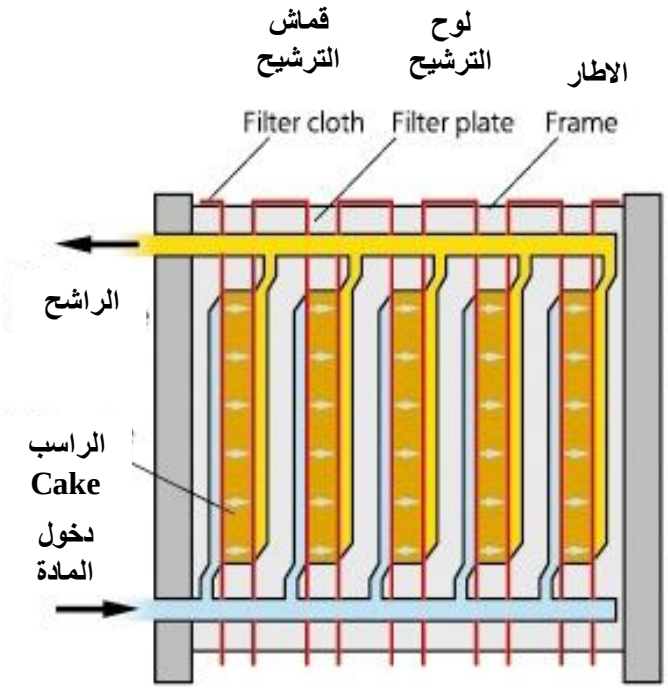
اجهزة الترشيح

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:

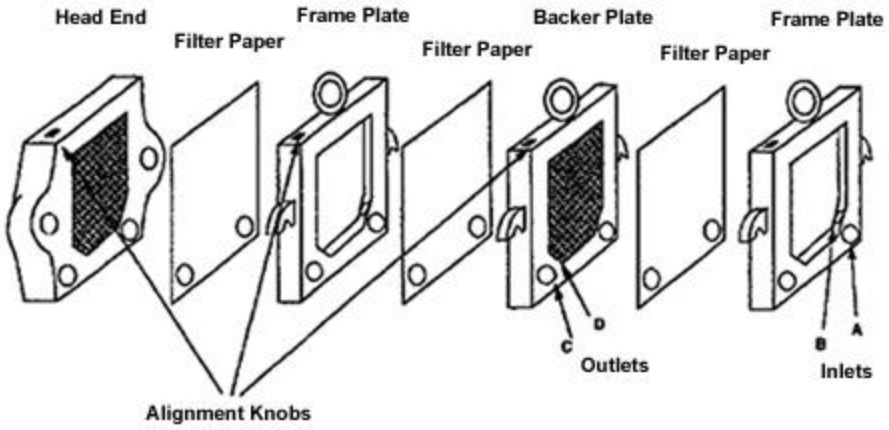
- مرشح اللوح والاطار Plate and frame filter

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.



مرشح اللوح والاطار

وتزود كل من الالواح والاطارات بفتحات في احد الاركان.

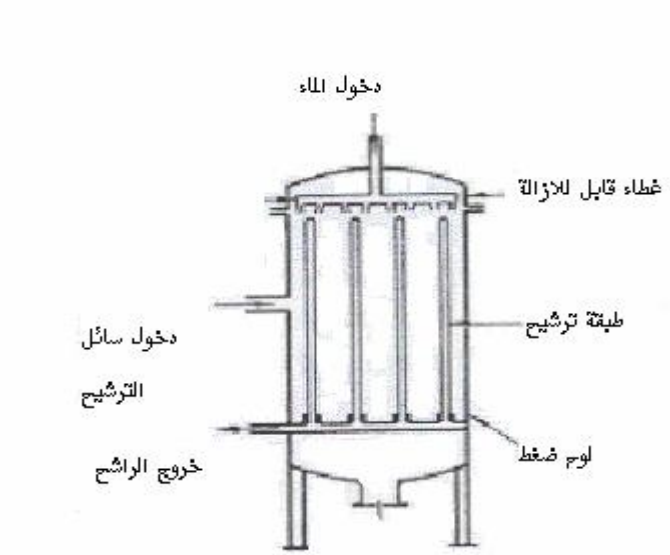


Expanded Assembly Diagram

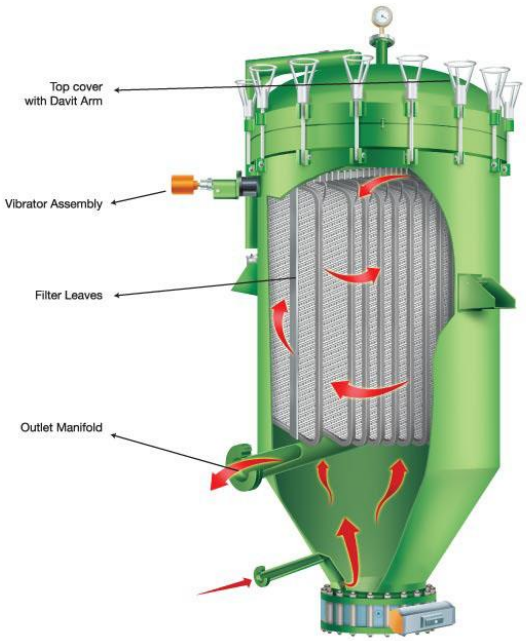
تزال الكعكة يدويا بعد فتح الجهاز. ولمرشح اللوح والاطار استخدامات واسعة في الصناعة. وهي مبسطة التصميم والتشغيل ومرنة ويمكن استخدامها لتداول انواع مختلفة من العوالق. وهي نسبيا رخيصة في البداية ولكن في الجانب الاخر تكاليف العمالة واستهلاك قماش الترشيح عال.

- 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.

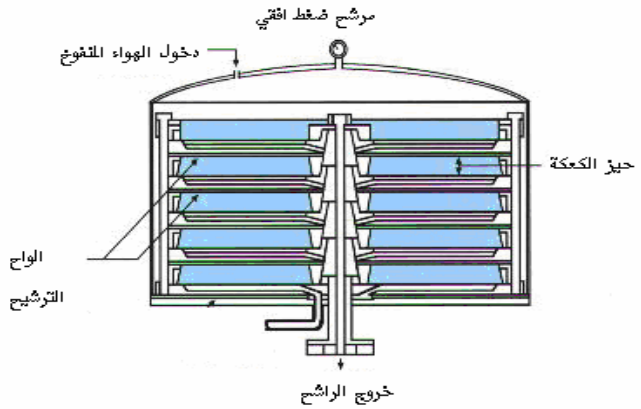


Vertical Pressure Leaf Filter



مرشح الضغط نوع الاسطوانة الراسي والصفائح (الرقائق) راسية

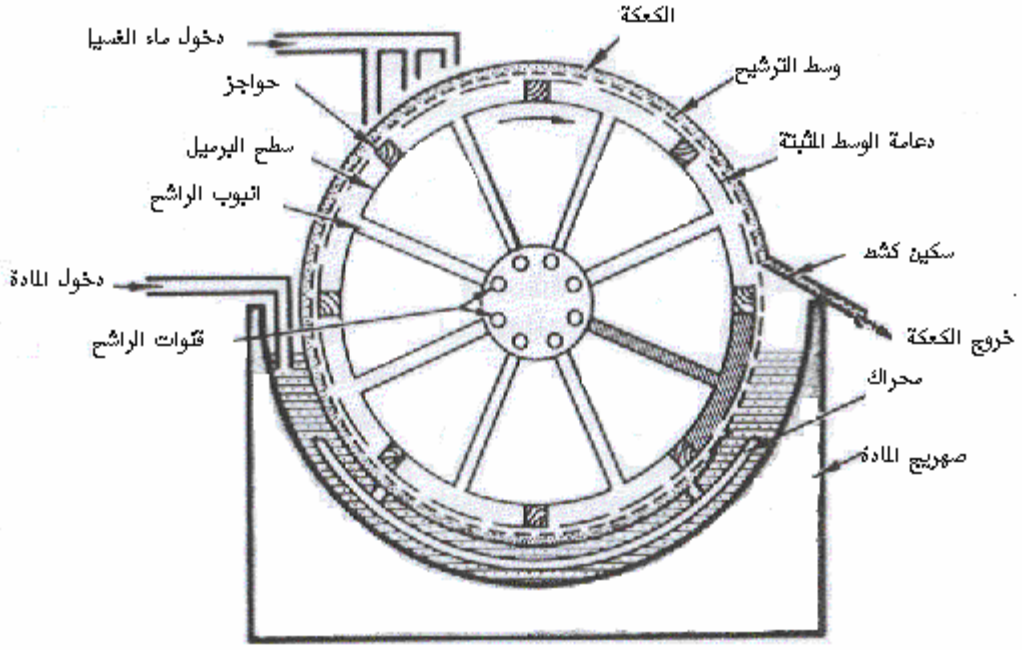
او يمكن ان تكون الصفائح (الرقائق) افقية في اسطوانة راسية



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

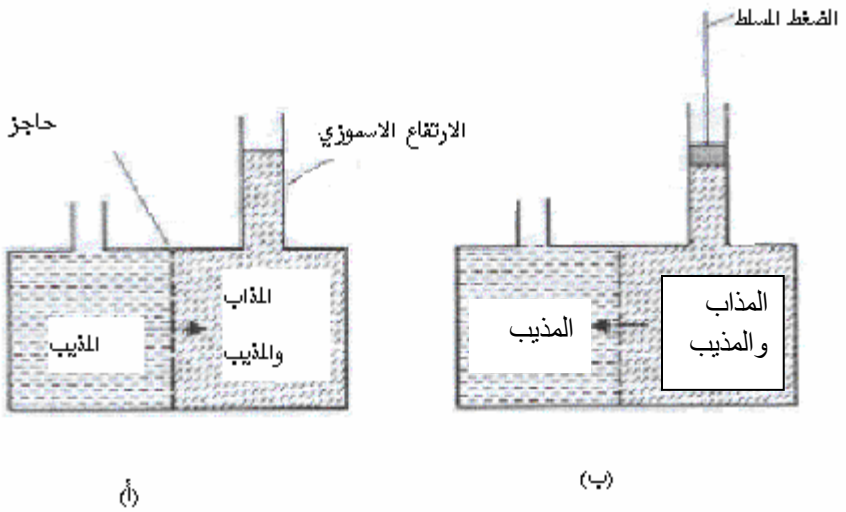
ومنها الترشيح الغشائي فائق الدقة والانتشار الغشائي المعاكس Ulrafiltration and reverse osmosis. وهذه تقنيات فصل غشائي تنشط بالضغط وفيها يتم فصل مواد ذات اوزان جزئية مختلفة من المحلول. والفرق الاساسي بين الترشيح الغشائي فائق الدقة والانتشار الغشائي المعاكس يكمن في الضغط المطلوب لاحداث الفصل ونتيجة لهذا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



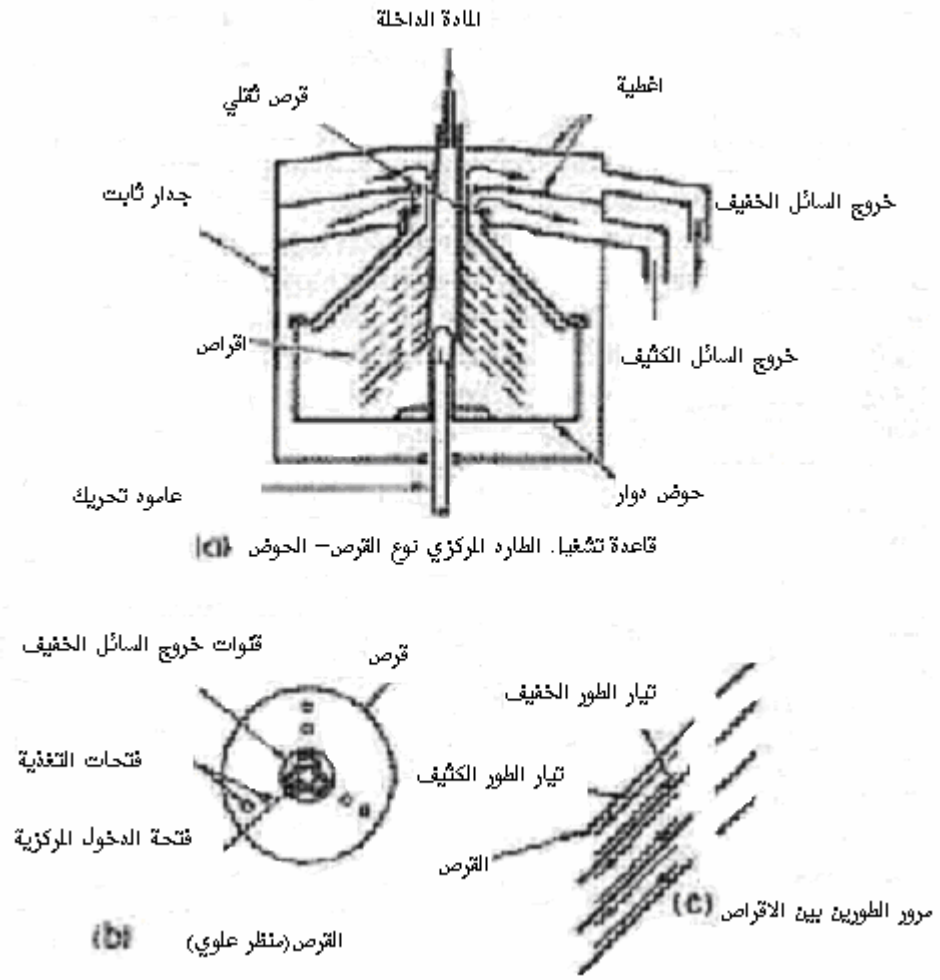
أ. انتشار غشائي طبيعي ب. لنتشار غشائي معاكس

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.



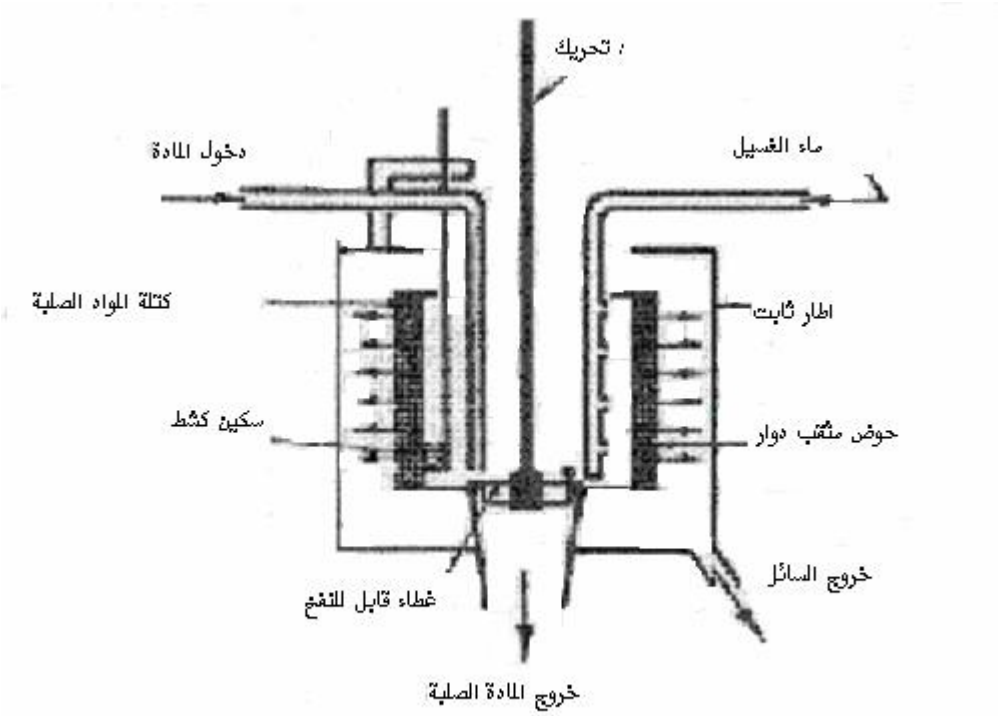
الطرد المركزي نوع القرص-الحوض

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

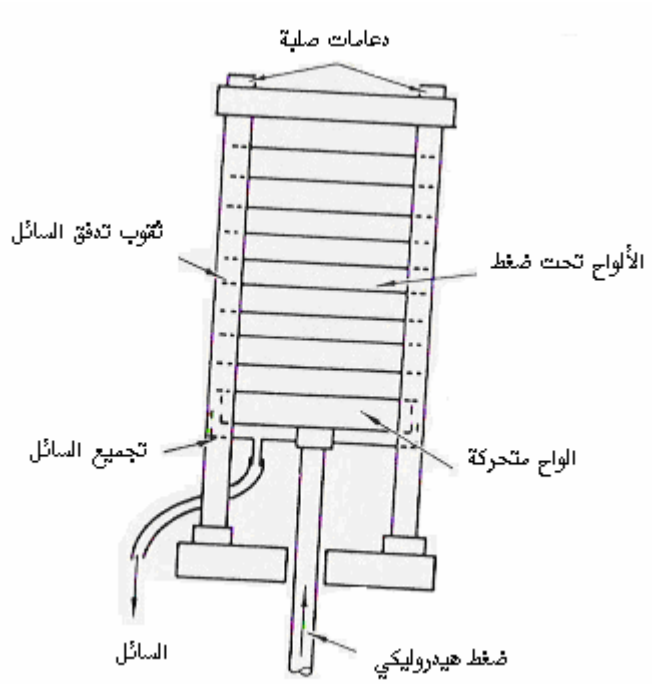
يستعمل الضغط في العديد من الحالات لاجراء عملية فصل بعض السوائل التي تحويها الفواكه والخضراوات او البذور ويطلق على هذه العملية عملية العصر الميكانيكي.

1. العصر بواسطة الضغط الهيدروليكي Hydraulic pressing

هناك ثلاث انواع من اجهزة الضغط الهيدروليكي :

أ. جهاز الضغط بالالواح Plate press

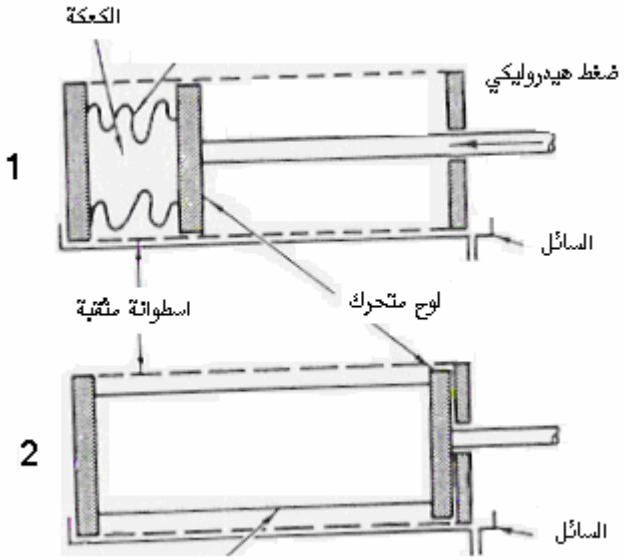
ويتم وضع اللب المراد عصره في قماش ترشيح قطني ثم يوضع بين الواح ضغط بها مجار ومرصوصة على اعمدة راسية. يتم الضغط الهيدروليكي على الالواح بضغوط تعادل 310-620 بار. من عيوب هذا النوع انه يتم على دفعات وهذا يتطلب استخدام عمالة عالية للملء والضغط والفتح والتنظيف.



جهاز الضغط بالالواح

ب. جهاز ضغط بالقفص Cage press

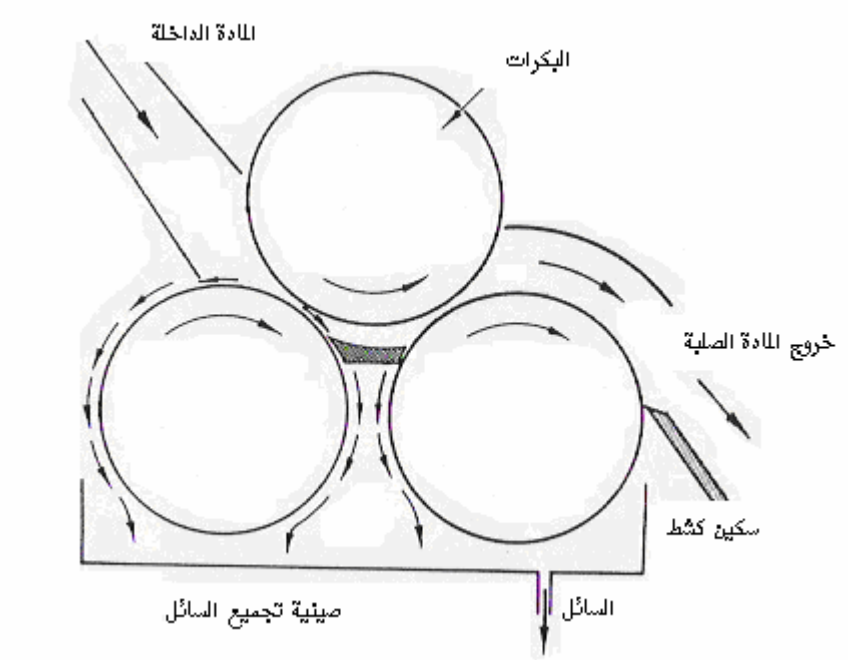
يوجد بداخل اسطوانة ذات ثقوب دقيقة لوح للضغط الداخلي يمكن تحريكه للامام وللخلف هيدروليكيا. يمر السائل المستخلص من خلال الثقوب.



جهاز الضغط بالقفص

ج. جهاز الضغط بالبكرات Roller press

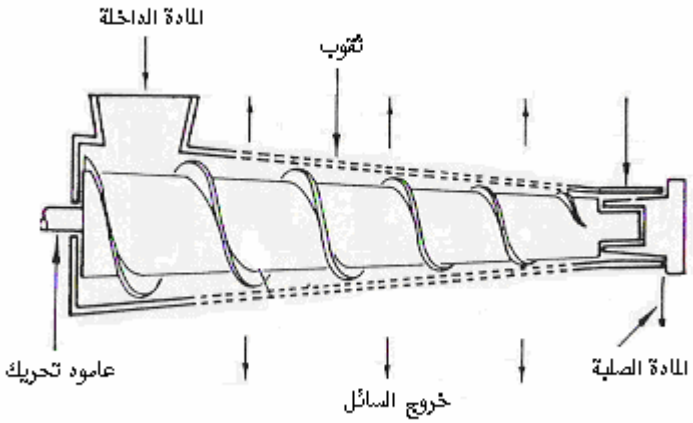
وتستخدم في هذه الاجهزة قوة الضغط وذلك بضغط اللب بين بكرات ثقيلة وتوجد مجار على سطح هذه البكرات لتسمح بخروج السائل وتوجيه مروره.



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