المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تخصص تقنية التصنيع الغذائي

الوحدات الحرارية المتكاملة

112 صنع

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي؛ لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **الوحدات الحرارية المتكاملة** " لمتدربي قسم" تقنية التصنيع الغذائي " في الكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه، إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

يحتوي مصنع تصنيع الأغذية على سلسلة من الوحدات المتتالية التي تقوم كل منها بأداء عملية معينة على المادة الغذائية وصولاً إلى الناتج النهائي.

وقد تعتمد بعض هذه الوحدات على آلية ميكانيكية ويستخدم البعض الآخر الحرارة بصورة أو أخرى وبدرجة أساسية في أداء عملها.

تعتبر كل الوحدات التي تستخدم الحرارة بدرجة أساسية لإنجاز مهمتها وأداء دورها في أي مرحلة من مراحل تحويل المادة الغذائية وحدات حرارية متكاملة. وبما أن كل الوحدات الحرارية تحتاج لمصدر يمدها بالطاقة الحرارية فان الوحدة الأولى في هذا المقرر ستناقش أنظمة التسخين المختلفة ومن ثم سيتم التطرق لأهم الوحدات الحرارية المتكاملة المستخدمة في التصنيع الغذائي مثل وحدات التجفيف , التبخير, السلق والإفراغ, التجميد, البسترة والتعقيم, والتشعيع والتحميص. وفي كل وحدة من هذه الوحدات سنبدأ بتعريف الوحدة وأهميتها في التصنيع الغذائي ثم التعرض لمختلف التصاميم والأجهزة الشائعة الاستخدام من خلال رسومات توضيحية وعن طريق شرح ميكانيكية عملها وكيفية أدائها لعملها. نرجو من الله أن نكون قد وفقنا في تقديم المادة العلمية المناسبة وأن ينفع بها أبنائنا المتدربين.

الوحدات الحرارية المتكاملة

أنظمة التسخين

مقدمة الوحدة

اسم الوحدة: أنظمة التسخين.

الجدارة: التعرف أنظمة التسخين المختلفة وعلى كيفية عمل كل منها.

الأهداف:

01 التعرف على المصادر الرئيسية للطاقة ومزايا كل منها.

2. التعرف على أنواع الوقود المستخدمة في التصنيع الغذائي.

3. التعرف على طرق التسخين المباشر للأغذية.

4. التعرف على طرق التسخين الغير مباشر للأغذية.

5. تحديد كيفية استخدام البخار كعامل تسخين.

.

مستوى الأداء المطلوب: ن يصل الطالب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 4 ساعات.

الوسائل المساعدة: قاعه دراسية مهيئه لتوزيع المتدربين على شكل مجموعات لتحليل الجداول والأشكال البيانية واستخداماتها.

متطلبات الجدارة: أن يكون لدى الطالب المقدرة على التفاعل مع المواضيع الموجودة في هذه الوحدة.

أنظمة التسخين في مصانع الأغذية
Heating systems

مصادر الحرارة: تتولد الحرارة من أربعة مصادر رئيسية للطاقة :

أ. الوقود الصلب مثل الفحم ، الكوك والخشب

ب. الوقود السائل مثل الزيوت المشتقة من البترول

ج. الوقود الغاز مثل الغاز الطبيعي ، غازات البترول وغيرها

د. الطاقة الكهربائية المتولدة من الوقود الصلب ، السائل ، الغاز أو الوقود النووي أو المتولدة بطاقة المياه.

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

1. تكلفة الوقود لوحدة الطاقة المستفاد منها
2. تكلفة رأس المال والصيانة لأجهزة الاحتراق والنقل الحراري
3. تكلفة العمالة المباشرة لوحدة الطاقة المستفاد منها
4. خطر الحريق والانفجار في ظروف الغبار
5. خطر تلوث الناتج بالوقود ونواتجه الثانوية
6. مرونة التشغيل والتحكم
7. ضمان استمرارية الإمداد

الاحتراق : (combustion)

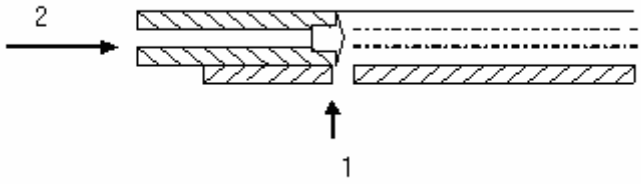
الكربون والهيدروجين والكبريت هي عناصر الوقود التي يمكن احتراقها لتوفير الحرارة . وتعطي عند الأكسدة الكلية ، في وجود أكسجين كافئ ، ثاني أكسيد الكربون وبخار ماء وثاني أكسيد الكبريت حيث يشير وجود أول أكسيد الكربون إلى عدم اكتمال الاحتراق .

يعبر عن الطاقة الحرارية من الوقود بالقيمة الحرارية العالية (الإجمالية) gross heating value وهي تشمل كذلك الحرارة الناتجة من الرطوبة الموجودة مع نواتج الاحتراق ويتم الحصول عليها إذا تم تكثيف نواتج الاحتراق . ولكن صافي القيمة الحرارية net heating value هي أكثر فائدة في الاستعمال لأنه عادة لا تبرد نواتج الاحتراق إلى درجة الحرارة التي يمكن أن تتكثف فيها الرطوبة .

القيمة الحرارية الإجمالية الناتجة من احتراق الوقود تساوي الحرارة الناتجة من احتراق عناصر الوقود منقوصاً منها الجزء للهيدروجين الذي يتحد مع الأكسجين ليكون الماء .

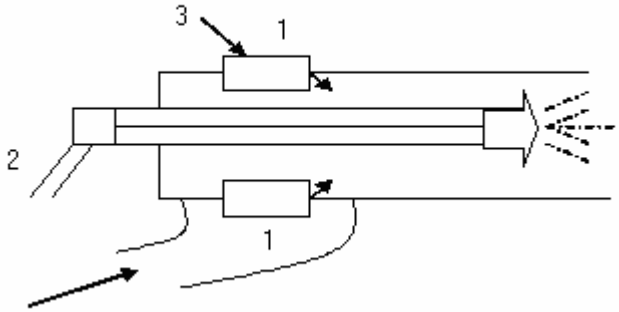
من العادة توفير 10٪ إلى 50٪ هواء زائد عن اللازم للتأكد من الاحتراق الكامل ولكن ربما يؤدي هذا إلى تبريد اللهب وانخفاض الكفاءة . ولهذا يجب إضافة أقل ما يمكن لضمان الاحتراق الكامل.

لاحتراق الوقود السائل يبخر الوقود أو ينفث في شكل رذاذ في هواء الاحتراق . يحترق وقود الزيت بلهب أزرق إذا بخر كلياً وانتشر بانتظام في الهواء قبل عملية الاحتراق . يشير اللهب الأصفر إلى الكربون المتوهج في مناطق اللهب التي تقل فيها كمية الأكسجين . الشكل 1.1 يشير إلى منفث للزيت وذلك بضغط الهواء والشكل 2.1 يشير لمنفث للزيت وذلك بضغط الزيت .



شكل 1.1 منفث زيت بضغط الهواء

1. تيار هواء 2. زيت



شكل 2.1 منفث زيت بضغط الزيت

1. جهاز لتحكم دخول الهواء 2. زيت تحت ضغط 3. هواء

أنواع الوقود:

أ) الوقود الصلب: solid fuel يمثل الفحم بأنواعه المختلفة أكثر مصدر للطاقة الابتدائية توفراً في المناطق الصناعية في العالم . يوضح الجدول 1.1 مقارنة لبعض خصائص الوقود الصلب مع الوقود السائل والغاز .

الوقود	القيمة الحرارية الإجمالية MJ/kg	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	0.2	-	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 والكوك وغيرها	18.6 لكل متر مكعب	بسيط جدل	بسيط جدا	بسيط جدا
غاز طبيعي	31. لكل متر مكعب	بسيط جدا	بسيط جدا	بسيط جدا

يلاحظ أن الوقود الصلب يحتوي علي نسبة عالية من الكبريت والرماد بجانب ذلك فإن فحم الانثراسيت anthracite يحتوي علي كميات بسيطة من المواد السامة الطيارة مثل مركبات الرصاص والزرنيخ ويصعب تداول أغبرتها ولهذا لا يوصي باستعمال هذا الوقود في تصنيع الأغذية ويمكن استعماله فقط في حالات توليد البخار أو أجهزة الاحتراق غير المباشر .

ب) الوقود السائل: liquid fuel

كما في الجدول 1.1 فإن زيوت الوقود المستخلصة من البترول هي الأكثر استخداماً في التسخين الصناعي . والقيمة الحرارية لهذا النوع من الوقود ثابتة تقريبا عند 41 MJ/l و تقل قيمة زيت الوقود كلما زادت اللزوجة . ويجب تسخين زيوت الوقود ذات اللزوجة العالية إلى الدرجة التي تسمح بضخها من صهاريج التسخين إلى أفران الاحتراق ولهذا فإن سعرها المنخفض يزداد بتزايد تكاليف رأس المال والصيانة للأجهزة الإضافية المستخدمة عند استعمالها في الصناعات الغذائية وعلي الرغم من أن غازات الاحتراق الناتجة غير سامة إلا أنه يجب حصر استعمالها في أجهزة الاحتراق غير المباشر وذلك لأن محتواها العالي من ثاني أكسيد الكبريت قد يؤدي إلى تلوث المواد الغذائية هذا بالإضافة إلى أن لذلك هناك خطر التلوث بالروائح ورماد الفحم الناتجة من الاحتراق غير الكامل . وأخيراً فإن زيوت الوقود لها رائحة لاذعة ولهذا يجب التأكد من عدم تسربها خلال الصمامات وأنابيب التوصيل ويجب عزل منطقة التخزين من منطقة الإنتاج .

ج) الوقود الغاز : gaseous fuel

يوضح الجدول السابق بعض خصائص وقودي احتراق غازيين أساسيين هما غاز المدينة والغاز الطبيعي.

غاز المدينة (town gas) عبارة عن خليط من عدة غازات وذو قيمة حرارية 18.6 MJ/m^3 . ويختلف الغاز الطبيعي عن غاز المدينة في عدة أشياء أهمها أنه يحتوي علي معدل منخفض لانتشار اللهب وهذا يستدعي تصميم خاص لجهاز الاحتراق للتأكد من ثبات اللهب .

تعتبر خصائص الغاز بجانب مرونته وسهولة التحكم فيه من العوامل التي تجعله وقوداً جذاباً في أجهزة الاحتراق المباشر وغير المباشر في الصناعات الغذائية.

د) الكهرباء: electricity

علي الرغم من أن الكهرباء ليست مصدر ابتدائي للطاقة الحرارية فإنها شائعة الاستعمال في التسخين الصناعي . نسبة لانخفاض كفاءة تحويل الطاقة الابتدائية عند توليد الكهرباء (حوالي 40٪) فإن الكهرباء مصدر مكلف للحرارة و هذا يعوضه إلى حد معين الكفاءة الحرارية العالية لأجهزة التسخين الكهربائية . تعطي الكهرباء في الصناعات الغذائية مرونة وتحكم ممتازين وخطر حريق وانفجار منخفض وخصائص صحية ونظافة ممتازة. تعطي الطاقة الكهربائية 3600 kJ لكل kWh ويمكن بهذا حساب تكلفتها .

نظم استخدام الحرارة لتسخين الغذاء

تسخن المواد الغذائية إما بطرق مباشرة أو غير مباشرة حيث تضاف الحرارة المتولدة إلى المواد الغذائية في التسخين غير المباشر بواسطة مبادلات حرارية وبذلك تكون نواتج الاحتراق معزولة عن المادة الغذائية. أما في أنظمة 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. الأبخرة أو الغازات مثل البخار أو الهواء
2. السوائل مثل الماء أو سوائل التبادل الحراري العضوية
3. الكهرباء في أجهزة تسخين المقاومات

أما التسخين المباشر فيكون بواسطة :

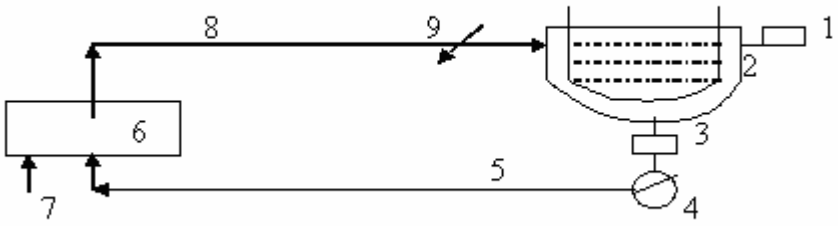
1. استخدام الغاز ، الزيت ، والوقود الصلب
2. استخدام الطاقة تحت الحمراء
3. استخدام الكهرباء بواسطة العازل الكهربائي أو الموجات الدقيقة

أ) نظم التسخين غير المباشر: indirect heating methods

تحتوي هذه الأنظمة أساساً علي أربعة عناصر :

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

الشكل 3.1 يوضح نظام للتسخين غير المباشر .



شكل 3.1 نظام للتسخين غير المباشر

1. تصريف هواء 2. دثار تسخين 3. مصفاة 4. مصيدة بخار 5. ناتج تكثيف 6. غلاية بخار 7. وقود 8. بخار 9. صمام تحكم

1) التسخين غير المباشر بواسطة الأبخرة أو الغازات:

يستخدم البخار المشبع والهواء عادة كوسائط تبادل حراري حيث يمكن أن يستخدم البخار للتسخين إما في صورته المشبعة saturated أو أن يكون محميّاً superheated . ويمكن أن يستخدم لتشغيل المولدات الكهربائية ونافثات التفريغ وكمحرك للماكينات و ليس هناك مادة لها هذه الخصائص الفريدة ولهذا وجود مصدر للبخار شيء أساسي في مصانع الأغذية .

من الناحية الديناميكية الحرارية فإن البخار المشبع أيضا شيء فريد . فعندما يستخدم كوسيط انتقال للحرارة فإن له حرارة كامنة عالية وله توصيل حراري عالي وكلاهما ميزات جيدة ولكن في الجانب الآخر له ضغط بخار عالي . خصائص البخار الأخرى التي تجعله مرغوب في مصانع الأغذية هي أنه غير سام وغير قابل للاحتراق أو الانفجار وليس له رائحة ويمكن الحصول عليه من مادة رخيصة ومتوفرة . يستخدم البخار المشبع عادة حتى درجة حرارة في حدود 200 C . تكون تكاليف أجهزة الضغط العالي مكلفة جدا عند درجات حرارة أعلي من هذه و يجد البخار المحمي استخداماً قليلاً في عمليات التسخين في الصناعات الغذائية علي الرغم من أن طريقة دول Dole process للتعليب المعقم تستخدم البخار المحمي لتعقيم العلب والأغطية .

الهواء مائع رديء لانتقال الحرارة لأن حرارته النوعية منخفضة وكذلك توصيله الحراري . ولكن هناك استخدامات كثيرة يكون فيها الهواء أنسب عامل تسخين فهو يستخدم لتسخين الأغذية في أفران الخبز وفي مجفف الصواني ومجفف الطبقة المميعة . في كل هذه الحالات يتم انتقال الحرارة بالحمل القسري . الهواء كما هو معروف غير سام وغير ملوث ولكنه قد يؤدي إلى تدهور المواد الغذائية التي تكون حساسة للأكسدة .

إذا كان الهواء يدخل في المادة الغذائية فيجب أن يكون نظيفاً ومرشحاً وإذا أريد استعماله في عملية تعقيم فيجب أن يكون معقماً وعادة يسخن إلى 148 C أو يرش بمادة قاتلة للجراثيم . وتحاج كل أنظمة الهواء إلى مرشحات ومصائد لطرد ماء التكثيف الذي يتكوّن في الأنابيب الطويلة .

أحد أكثر استعمالات الهواء هو لتجفيف الأغذية . وفي هذه الحالة يكون جهاز الهواء عادة ذو طبيعة خاصة ولكنه جزء متكامل مع جهاز التجفيف كما في حالة مجفف الرش أو مجفف النفق . كذلك يستخدم الهواء في أجهزة النقل الهوائية التي تستخدم في الصناعة لنقل المساحيق والقطع الصغيرة من المواد الغذائية . كما تستعمل المراوح الهوائية لإحداث ضغط موجب في صالات التصنيع لمنع الهواء الملوث أو الروائح الغير مرغوب فيها أو الحشرات من دخول صالات التصنيع .

2) التسخين غير المباشر بواسطة السوائل:

تستخدم السوائل مثل الماء ، الزيوت المعدنية والهيدروكربونات المهلجنة بالكلور والأملاح المنصهرة للتسخين العام و إذا استثنينا الماء فإن هذه السوائل تجد استخداما في عملية التصنيع علي درجات حرارة عالية لأنها تمتاز بانخفاض ضغط أبخرتها . بعض الخصائص المهمة لبعض سوائل التسخين مبينة في الجدول 2.1 .

جدول 2.1 خصائص بعض سوائل التسخين

سائل التسخين	درجة الانصهار C	درجة الغليانC	الحرارة النوعية kJ/kgC *	الانثالبي * kJ/kg	التوصيل الحراري J/msC	ضغط البخار عند kN/m**2 (C)	مدي التشغيل C
1.الماء	0	100	4.3	625	0.68	(200)1540	200-0
2.البخار	-	-	2.0	2140	0.11	-	200-100
3.الهواء	-	-	1.0	150	0.03	-	-
4.o-dichloro benzene	22-	180	1.6	490	0.11	(200)600	260-11-
5.زيت معدني	-	-	2.3	350	0.12	(316)10	320-10
6. chlorinated diphenols	-	أكبر من 320	1.3	180	0.09	(315)30	320-10
1.oragnosilicate	-	أكبر من 320	2.0	300	0.13	(316)13	320-10
8./Diphenyl Diphenyloxide	12	250	2.2	580	0.13	(400)1500	400-15

* قيست عند درجة حرارة 150 C

يعتبر الماء الساخن ذو الحرارة النوعية العالية أفضل وسيط للتسخين حتى 200 C حيث له ميزة الحرارة النوعية والتوصيل الحراري العاليين هذا بالإضافة إلى أنه في حالة غياب الأكسجين يؤدي إلى تآكل

بسيط ويكوّن ترسبات قليلة علي السطح . كل السوائل الأخرى لها روائح ولهذا يجب الحذر من تسربها إذا كان تفادي التلوث مرغوباً .

ب) الطرق المباشرة للتسخين : direct heating methods

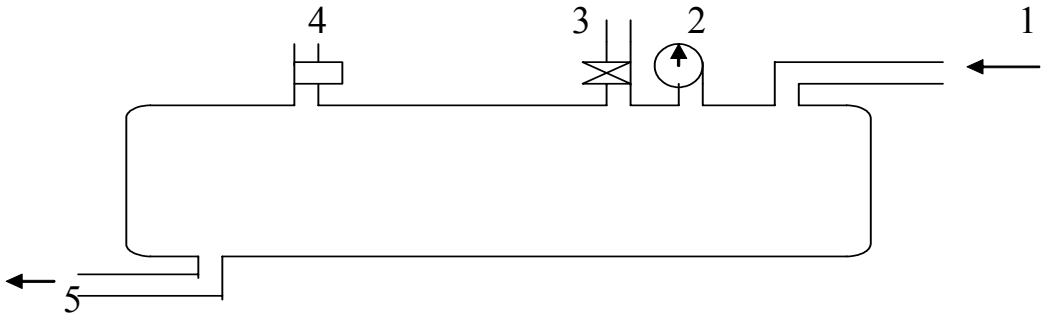
هناك عدة طرق للتسخين المباشر نذكر منها أفران الخبز بالاحتراق المباشر والتسخين المباشر بطاقة الأشعة تحت الحمراء. وهناك طريقتين أخريين للتسخين الكهربائي المباشر وهما التسخين بالعازل الكهربائي والتسخين بالموجات الدقيقة. وهاتان الطريقتان كانتا مجال أبحاث مركّزة بواسطة صناعة الأغذية وهما الآن طريقتان مهمتان في بعض مجالات التصنيع الحراري .هذا بالإضافة إلى أن لهما مستقبلاً كبيراً في تطبيقات أخري جديدة . تستخدم الطريقتان طاقة ذات ذبذبة عالية ولتفادي تشويش الرادار أو الإرسال الإذاعي فإن الذبذبات المسموح بها للاستخدام الصناعي والعلمي والطبي حددت باتفاقية عالمية.

البخار كعامل تسخين

steam as a heating medium

البخار هو أحد أفضل عوامل التسخين نسبة لأنه يحتوي علي كمية كبيرة من الطاقة الحرارية لوحدة كتلة من البخار. وهو عبارة عن ماء قد تبخر نتيجة لإضافة كمية كافية من الحرارة لإحداث تغيير في طبيعة الماء وذلك بخروج جزيئاته من السطح عندما يزداد ضغط بخار الماء عن الضغط أعلي الماء .

تم استخدام البخار بطرق مختلفة وأنظمة مختلفة و أبسط هذه الأنظمة هو وضع الناتج المراد تسخينه في غرفة مغلقة وتمرير البخار إلى الفراغ داخلها (الشكل 5.1) .

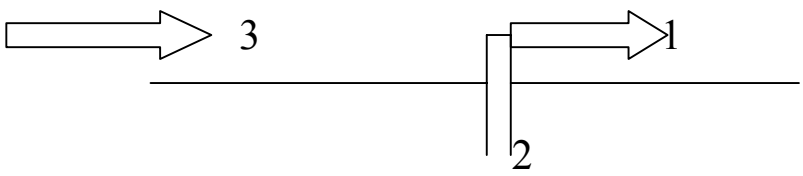


شكل 5.1 غرفة التسخين بالبخار

1. دخول البخار 2. مقياس ضغط 3. تنفيس الضغط 4. نزح الهواء 5. إلى مصيدة البخار

من المهم في مثل هذه الأجهزة إزالة ناتج التكثيف وإلا امتلأت الغرفة بناتج التكثيف . أيضاً من المهم إزالة الهواء من داخل الغرفة .

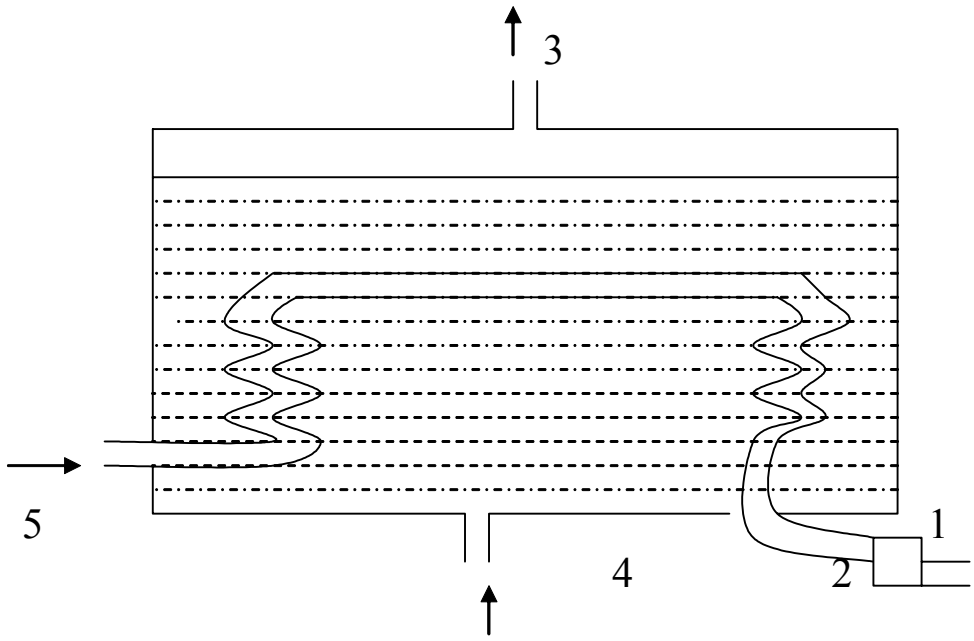
الشكل 6.1 تبسيط لنظام يستخدم بكثرة لتسخين المنتجات الغذائية . حيث ينفث البخار مباشرة في المادة المراد تسخينها وكفاءة التسخين في هذه الحالة عالية جداً .



شكل 6.1 منفث البخار steam injector

1. بخار 2. منفث 3. الناتج

عندما يراد نفث البخار مباشرة في المادة الغذائية فانه يجب قانوناً عدم استخدام البخار مباشرة من غلاية البخار لأنه ربما يحتوي علي شوائب غير مرغوب فيها. ولهذا السبب يستخدم بخار الطبخ culinary steam الذي يمكن الحصول عليه من غلاية بخار الطبخ الثانوية (الشكل 7.1) وذلك بتسخين الماء الصالح للشرب بواسطة بخار من غلاية البخار الأولية .



شكل 7.1 غلاية بخار الطبخ الثانوية

1.ناتج تكثيف 2. مصيدة بخار 3. بخار الطبخ 4. ماء صالح للشرب 5. بخار من غلاية البخار الأولية

صور البخار: forms of steam

هناك ثلاث صور للبخار :

1. بخار جاف مشبع dry saturated steam
2. بخار رطب wet steam
3. بخار محمّي 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 إذا أريد الحصول علي درجة حرارة أعلي وجب استعمال ضغط أكبر . البخار الجاف المشبع لا يوجد حقيقة ولكن يجب جعل البخار جافا بقدر الإمكان بالاستعمال الصحيح لأجهزة الفصل ومصايد البخار .

البخار الرطب: هو البخار الذي يحتوي علي بعض قطرات الماء التي لم تبخر حيث يحتوي علي كمية حرارة أقل ولهذا له عامل جودة . نسبة الماء الذي لم يبخر منقوصة من 100 تعرف بجودة البخار ولهذا إذا استخدم واحد كيلوجرام من البخار الرطب الذي جودته 95٪ عند الضغط الجوي فانه يعطي 0.95 × 2251.0 كيلو جول عند تكثيفه .

البخار المحمّي (المحمص): هو البخار الذي يحتوي علي حرارة أكبر من التي تكفي لتبخير كل الماء الذي فيه ودرجة حرارته أعلي من درجة حرارة البخار الجاف المشبع لنفس الضغط . عملياً يتم الحصول علي البخار المحمّى بتمرير البخار الجاف المشبع علي أنابيب تحميه وهي عادة توجد أعلي منطقة الاحتراق في غلايات البخار. ويمكن الحصول أيضا علي البخار المحمي بتمرير بخار ذو ضغط عالي علي صمام تخفيض ضغط . .و تحمية البخار مهمة بالنسبة للبخار الذي ينقل عبر أنابيب طويلة لأنها تقلل من كمية الماء المكثف وبذا تحافظ علي جودة البخار .

الوحدات الحرارية المتكاملة

تجفيف الأغذية

مقدمة الوحدة

اسم الوحدة: تجفيف الأغذية

الجدارة: التعرف على كيفية تجفيف الأغذية.

الأهداف:

التعرف على مراحل تجفيف المواد الغذائية و ميكانيكية التجفيف. **1.**

2. التعرف على طرق تجفيف المواد الغذائية.

3. التعرف على أجهزة التجفيف المختلفة ومكوناتها.

4. التعرف على تأثير التجفيف على الاسترجاع.

5. التعرف على كيفية ضبط ظروف التجفيف.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل الطالب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 4 ساعات.

الوسائل المساعدة: قاعه دراسية مهيئة لتوزيع المتدربين على شكل مجموعات لتحليل الرسومات و المنحنيات البيانية الخاصة بأجهزة التجفيف المختلفة .

متطلبات الجدارة: أن يكون لدى الطالب المقدرة على استيعاب الرسومات و المنحنيات البيانية الموجودة في هذه الوحدة.

نظم تجفيف الأغذية
Food Dehydration system

الماء في الأغذية :

يعتبر الماء عامل أساسي من العوامل التي تؤثر على الجودة الحسية للأغذية . فقد يؤدي فقدان الماء من الأغذية عالية الرطوبة أو اكتساب الماء بواسطة الأغذية منخفضة الرطوبة إلى انخفاض الجودة الحسية لهذه الأغذية وعدم قبولها لدى المستهلك. وفي الجانب الآخر فإن وجود الماء بمستويات معينة في الأغذية يؤدي إلى حدوث الفساد بالكائنات الحية الدقيقة والإنزيمات أو نتيجة للتغيرات الكيميائية غير الإنزيمية. ونتيجة لهذا فإن إزالة الرطوبة من الأغذية يؤدي إلى إطالة فترة تخزين هذه الأغذية.

محتوى الماء:

يمكن التعبير عن محتوى الماء (الرطوبة) للمادة إما على الأساس الرطب وهو كتلة الماء في المادة لوحدة كتلة من المادة الرطبة أو على الأساس الجاف وهو كتلة الماء في المادة لوحدة كتلة من المواد الصلبة الجافة.

نشاط الماء:

عندما نتحدث عن تأثير محتوى الماء على ثبات الأغذية فليس المهم هو محتوى الماء الكلي للمادة فقط وإنما أيضاً الماء المتوفر لنمو الكائنات ونشاط التفاعلات الكيميائية. من المعلوم أن نسبة من محتوى الماء الكلي في الغذاء يرتبط بشدة بالمكونات الصلبة للمادة الغذائية وهناك كمية إضافية أخرى ترتبط بدرجة أقل ولكنها مع ذلك غير متوفرة لتذويب كثير من مكونات الغذاء القابلة للذوبان. ولهذا عند دراسة توفر الماء في الأغذية يجب التحدث دائماً عن نشاط الماء water activity.

مقدمة عن التجفيف:

تجفيف الأغذية يعني إزالة الرطوبة من المادة الغذائية. وهناك العديد من الأهداف لتجفيف المواد الغذائية منها :

1. حفظ المنتج أثناء فترة التخزين وذلك بخفض المحتوى المائي للمنتج إلى المستوى الملائم الذي يحد من النمو الميكروبي والتفاعلات الكيميائية. كما يؤدي تخفيض محتوى الماء إلى المحافظة على خصائص جودة المنتج مثل النكهة والقيمة الغذائية.
2. تخفيض حجم المنتج مما يزيد في كفاءة عمليتي النقل والتخزين.
3. تزويد أو تشكيل منتج سهل الاستعمال.

يمكن تقسيم الطرق المستخدمة في تجفيف الأغذية كالتالي :

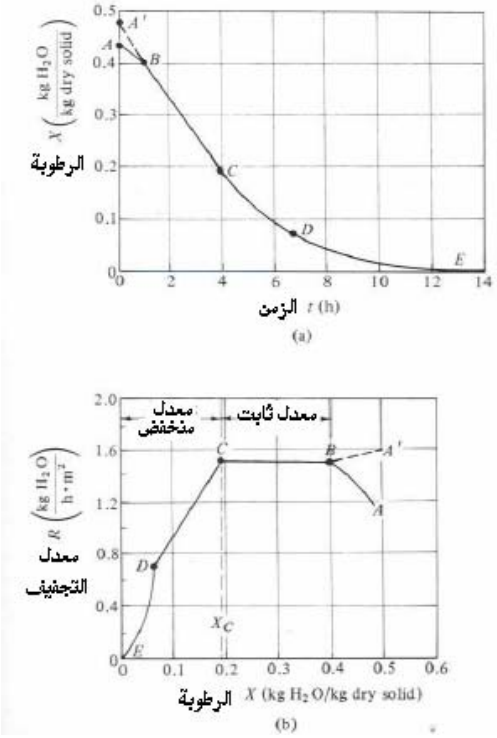
1. التجفيف بالهواء الساخن : وفيه يتم تلامس الغذاء بتيار هواء ساخن وتنقل الحرارة إلى الغذاء بالحمل.
2. التجفيف بالتلامس المباشر مع سطح ساخن وتنقل الحرارة إلى الغذاء بالتوصيل
3. التجفيف باستخدام طاقة مثل التشعيع أو الموجات الدقيقة
4. التجفيد حيث يتم تجميد الرطوبة ثم تساميها باستخدام الحرارة عند ضغط منخفض جداً

التجفيف بالهواء الساخن:

تتم عملية إزالة الرطوبة لإنتاج معظم الأغذية المجففة بواسطة التجفيف الحراري بالهواء الساخن ، وهي عملية تستخدم الطاقة الحرارية لإزالة الرطوبة المحجوزة في المنتج. حيث تنتقل الحرارة من وسط التسخين إلى النقطة التي يحدث عندها التبخير. وحالما تبدأ عملية التبخير يتم حمل الأبخرة الناتجة عبر المنتج إلى الوسط المحيط. وقد تشمل هذه العملية أيضاً تدفق المائع من خلال المنتج أثناء عملية التجفيف.

منحنيات التجفيف :

تمر عملية التجفيف لمعظم المواد الغذائية بعدة مراحل. يمكن رسم البيانات التجريبية كمنحنيات لمحتوى W الماء مع الزمن t كما في الشكل 1.4.



شكل 1.4 منحنيات التجفيف النموذجية أثناء عملية تجفيف مادة غذائية

ويمكن من المنحنى الأول رسم معدل التجفيف (ميل هذا المنحنى) dW/dt مع محتوى الرطوبة W كما في المنحنى 2 .

ونسبة لأن معدل التجفيف يرتبط بمحتوى الماء أكثر من الزمن فإن الشكل 3 هو الطريقة المناسبة لتمثيل أداء معدل التجفيف.

يمكن تقسيم هذه المنحنيات النموذجية إلى عدة مراحل ويجب التأكيد على أن كل هذه المراحل لا تظهر دائماً وقد لا تكون هناك فواصل حادة بين هذه المراحل. ويجب الإشارة أيضاً إلى أن محتوى الرطوبة عند هذه المراحل ليست ثوابت ثابتة للمادة ولكنها تعتمد على ظروف التجفيف خاصة سرعة ودرجة حرارة هواء التجفيف.

المرحلة الأولية: initial period

وهي مرحلة قصيرة جداً تبدأ فيها المادة الصلبة الاتزان مع ظروف التجفيف . ترتفع عادة درجة حرارة المادة الصلبة أثناء هذه المرحلة ويرتفع بذلك معدل التجفيف. هذه المرحلة نادراً ما يكون لها أهمية عملية ويمكن تجاهل تأثيراتها.

مرحلة المعدل الثابت: constant rate period

قد يكون هناك فائض للماء غير المرتبط في البداية عند سطح المادة الغذائية الصلبة الرطبة وقد يكون انتقال الماء إلى السطح بالقوى الشعرية كما في لتعويض الفقد نتيجة التبخر لفترة من الزمن ب جـ ويكون معدل التجفيف في هذه الفترة ثابتاً.

يمكن حساب زمن التجفيف في مرحلة المعدل الثابت من المعادلة التالية :

$$t_c = \frac{(W_o - W_c)}{\left(\frac{-dW}{dt}\right)_c}$$

حيث Wo = محتوى الرطوبة الابتدائي(جم ماء/جم مادة صلبة جافة)

Wc = محتوى الرطوبة الحرج(جم ماء/جم مادة صلبة جافة)

(-dW/dt)c = معدل التجفيف في مرحلة المعدل الثابت(جم ماء/جم مادة صلبة جافة.ساعة)

لا توجد مرحلة معدل ثابت في معظم تطبيقات تجفيف الأغذية. فمثلاً في تجفيف الحبوب أو الفواكه غير المقطعة لا يكون السطح مشبعاً بالماء أبداً. وحتى مع الخضراوات المقطعة ذات محتوى الماء العالي قد لا تكون لمرحلة المعدل الثابت أهمية كبيرة.

مرحلة المعدل المنخفض: falling rate period

عند نقطة معينة أثناء التجفيف لا يمكن نقل الماء من الداخل بسرعة كافية تجعل السطح مشبعاً ويبدأ ظهور نقاط جافة على السطح. يبدأ من هذا الزمن انخفاض المعدل باستمرار CDE . يبقي في الجزء الأول من هذه المرحلة جزءاً من السطح مشبعاً ويتناقص هذا الجزء باستمرار. ومن المحتمل أن يتم كل التجفيف من هذه المنطقة المشبعة ويتناقص معدل التجفيف مع الجزء الذي يبقى مشبعاً من المساحة الكلية. قد تكون النقطة D موجودة أو قد لا تكون موجودة. إذا كان هناك قدر معتبر من الماء المرتبط ، كما هو الحال في المنتجات الغذائية فإن معدل التجفيف يتجه تدريجياً نحو الصفر عندما يقارب محتوى الماء قيمة الاتزان.

يسمى محتوى الماء عند النقطة C وهي الفاصل بين مرحلة المعدل الثابت والمعدل المنخفض بمحتوى الماء الحرج. يجب الإشارة إلى أن محتوى الماء الحرج ليس خاصية للمادة ولكنه يعتمد على طريقة تجهيز المادة للتجفيف وعلى ظروف مرحلة المعدل الثابت. فكلما كان عمق الطبقة كبيراً وكان معدل التجفيف الثابت عالياً كلما كان محتوى الماء الحرج عالياً.

يمكن اعتبار المنحنى CDE خطاً مستقيماً يقطع معدل التجفيف صفر عند محتوى الماء المتزن.

معادلة هذا المستقيم هي :

$$\frac{-dW}{dt} = K(W - W_e)$$

حيث :

dW/dt = معدل التجفيف

W = محتوى الماء النهائي

W_e = محتوى الماء المتزن

يمكن تكامل هذه المعادلة لتعطي زمن التجفيف في مرحلة المعدل المنخفض كما يلي :

$$t_f = \frac{\rho_s L d(W_c - W_e)}{h_c(T_a - T_s)} \ln \frac{W_c - W_e}{W - W_e}$$

حيث :

P_s = كثافة المادة الصلبة

L = الحرارة الكامنة للتبخر

h_c = معامل انتقال الحرارة بالحمل

Ta = درجة الحرارة الجافة للهواء

T_s = درجة حرارة المادة الصلبة

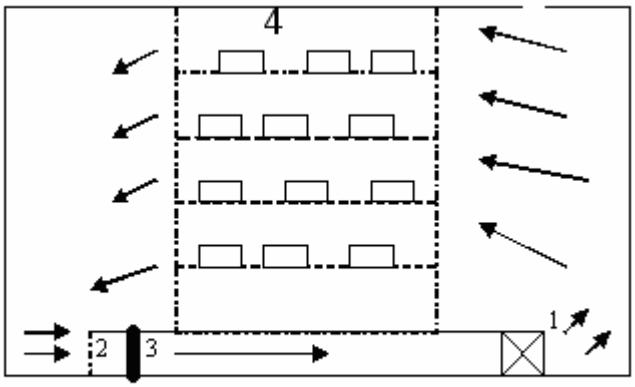
طرق وأجهزة التجفيف:

1) التجفيف باستخدام الصواني Tray dryer

تستخدم هذه الطريقة في تجفيف المواد الغذائية ذات التركيب الصلب بحيث تحمل هذه المواد على صواني يمكن تعريضها للهواء الساخن بأساليب مختلفة . وفي معظم الحالات يعتبر زمن التجفيف هو عامل التصميم الرئيسي اللازم حسابه ، على الرغم من أن هناك عوامل أخرى مهمة مثل حجم الهواء اللازم للتجفيف وتوزيع الحرارة داخل المادة الغذائية والتي يتعين أخذها بعين الاعتبار.

ا) التجفيف باستخدام غرف التجفيف Cabinet dryer

تحمل المواد الغذائية في غرف التجفيف على صواني تحمل بدورها على عربات تتحرك داخل حجرة التجفيف حيث تتعرض المادة الغذائية فيها لهواء التجفيف كما يبن ذلك الشكل 2،4.



1. مروحة 2. مرشح هواء 3. سخان 4. الغذاء على صواني

شكل 2.4 رسم تخطيطي لمجفف غرف

يتضح من الشكل 2.4أنه بعد تسخين الهواء يتم تمريره على المادة الغذائية من خلال مجموعة من الصواني قبل أن يعود مرة أخرى إلى وحدة التسخين. ويظهر من الرسم أيضاً أن الهواء الساخن يمر على المادة الغذائية في اتجاه مواز لحركة الصواني ولكن في تصميمات أخرى قد يمر الهواء رأسياً بين صواني المادة الغذائية .

من أهم المشكلات التي تواجه عملية التجفيف في هذا النظام هي :

1)الحصول على تجفيف غير متماثل للمادة الغذائية في مواقع مختلفة على صواني التجفيف، ويعود السبب في ذلك إلى الافتقار لتماثل الهواء المدفوع عبر المادة الغذائية، وكذلك الافتقار لتماثل درجات الحرارة والرطوبة المطلقة للهواء الداخل إلى منطقة التجفيف. يمكن استخدام سرعات هواء في حدود 2.5 - 5 م /ث في هذا النوع من المجففات ولا توجد أي ميزة محددة وواضحة من جراء استخدام سرعات عالية.

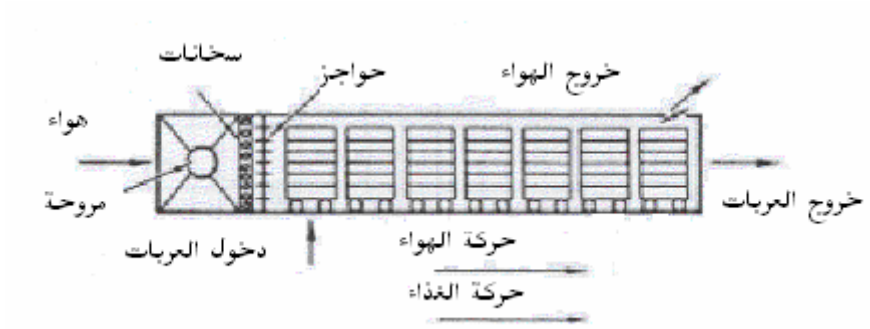
2) التجفيف السريع للمنتج القريب من نقطة دخول الهواء إلى منطقة التجفيف المشكلة الثانية في هذا النظام، وذلك نظراً لتعرض المنتج قبل نهاية الحجرة لهواء رطوبته النسبية عالية ومن ثم تكون سرعة تجفيفه أقل. وتتضمن الحلول لمثل هذه المشكلة دوران الصواني أو عكس اتجاه الهواء المدفوع، وهذا يعني أن صواني مختلفة من المنتج تتعرض للهواء الساخن عند بداية كل زمن مختلف أثناء فترة التجفيف. ويمكن عمل الحسابات اللازمة لتقدير زمن التجفيف في مجففات الغرف باستخدام المعادلات السابقة.

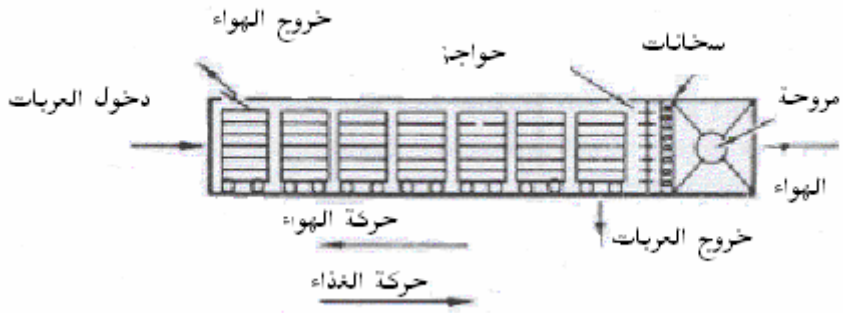
ب) التجفيف باستخدام الأنفاق Tunnel dryer

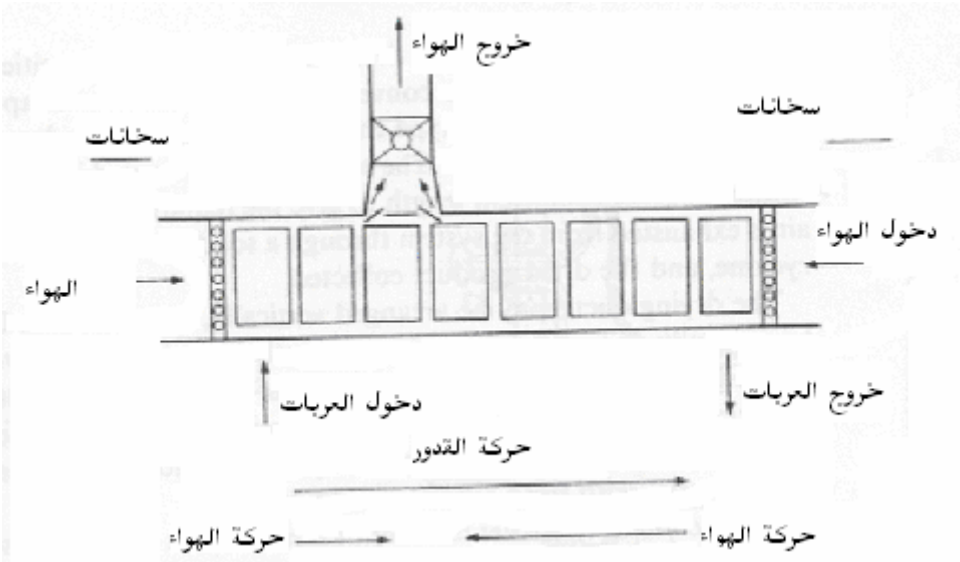
تعد مجففات الأنفاق والمبينة تخطيطياً في الشكل 3،4 النوع الثاني من مجففات الصواني المثبتة. وفي هذا النوع من المجففات يحمل المنتج الغذائي على صورة قطع على صواني والتي بدورها توضع في رفوف على عربات ثم يوضع عدد من هذه العربات في نفق هوائي. وكما هو واضح من الشكل فإن دخول المنتج إلى النفق وخروجه منه يتم بعدة أساليب.

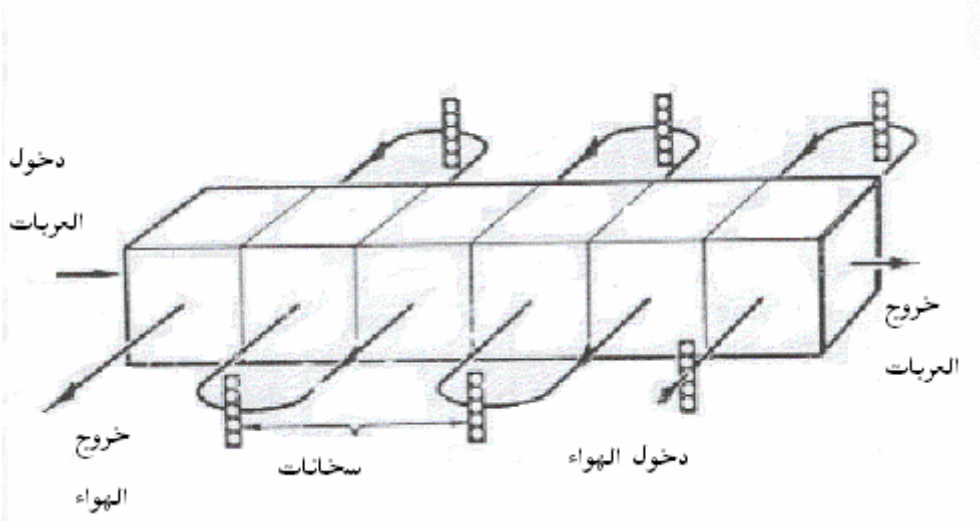
من هذه الأساليب دفع الهواء في اتجاه معاكس بالنسبة لحركة المنتج الغذائي ، أو دفع الهواء في اتجاه مواز مع المنتج الغذائي على طول النفق ، أو دفع الهواء في اتجاه معاكس ، والمنتج يتحرك مباشرة على طول النفق بحيث يعاد تمرير أجزاء من الهواء إلى داخل النفق.

وهناك العديد من المميزات والعيوب لكل أسلوب من هذه الأساليب. ويعد تماثل تجفيف المنتج الغذائي عند مواقع مختلفة في النفق هي إحدى أهم المشكلات التي تواجه عملية التجفيف في مجففات النفق ، كما هو الحال في مجففات غرف التجفيف ويمكن التغلب على هذه المشكلة عن طريق التوزيع المنتظم لسرعات الهواء على طول النفق.


سخانات
حواجز
خروج الهواء
هواء
مروحة
خروج العربات
دخول العربات
حركة الهواء
حركة الغذاء


خروج الهواء
حواجز
سخانات
دخول العربات
مروحة
الهواء
حركة الهواء
خروج العربات
حركة الغذاء


خروج الهواء
سخانات
سخانات
دخول الهواء
الهواء
دخول العربات
خروج العربات
حركة القدور
حركة الهواء
حركة الهواء

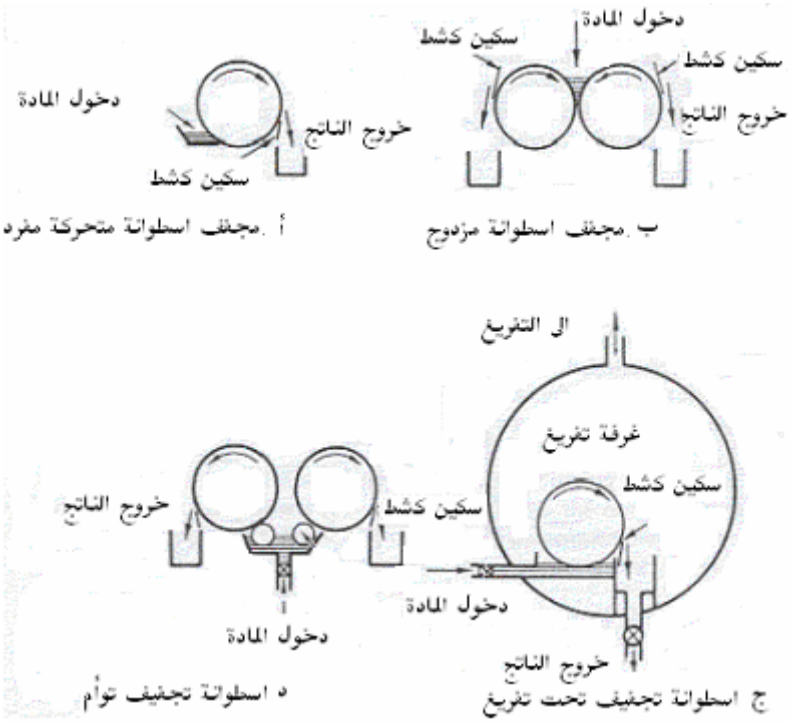


شكل 3.4 رسم توضيحي للمجففات ذات الأنفاق

2) **التجفيف بواسطة الأسطوانات الدوّارة** Rotary drums dehydration

يمكن استخدام أسطوانة دوّارة مسخنة تدور حول محورها الأفقي في تجفيف المواد الغذائية السائلة ذات العوالق الصلبة أو المحاليل. وهنا يتم تجفيف المادة الغذائية وهي على سطح الأسطوانة ثم تكشط المادة الغذائية المجففة بواسطة سكين. يتم في هذه العملية تجفيف غشاء المادة الغذائية نتيجة لانتقال الحرارة بالتوصيل من سطح الأسطوانة إلى المادة الغذائية. وينتج عن ذلك معدلات انتقال حرارة عالية إلى حد ما مما قد يؤثر على جودة المنتج وبخاصة عند تجفيف المواد الغذائية الحساسة للحرارة. يمكن الحد من الانخفاض في الجودة إذا تأكدنا من انتظام سمك غشاء المادة الغذائية على سطح الأسطوانة وأن عملية كشط الغشاء المجفف تتم بالكامل.

هناك عدد من الأنواع لمجففات الأسطوانة الدوّارة مبينة في الشكل 4.4



شكل 4.4 رسم توضيحي لأشكال مختلفة من المجففات الدوّارة

ا) المجففات ذات الأسطوانة الواحدة single drum dryers

يتكون غشاء المادة الغذائية في المجفف ذي الأسطوانة الواحدة بغمر الأسطوانة الساخنة في عالق أو محلول المادة الغذائية ويثبت في أنواع أخرى لمجفف الأسطوانة الواحدة دحراج أسطواني لتغطية الأسطوانة الدوّارة الساخنة بغشاء من المنتج الغذائي المراد تجفيفه.

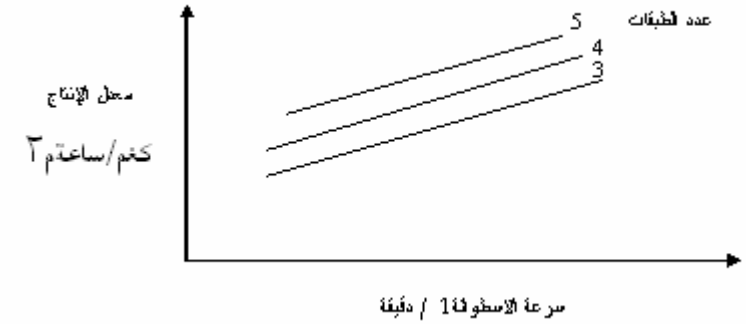
ب) المجففات ذات الأسطوانتين Double drum dryers

تصمم المجففات ذات الأسطوانتين المسخنتين بطريقة تسمح بانسياب المادة الغذائية في المنطقة بين وعلى الأسطوانتين ، وتدور كل من الأسطوانتين في اتجاه معاكس للأخرى. ويمكن التحكم في سمك غشاء المادة الغذائية بالتحكم في حيز الخلوص بين الأسطوانتين. وفي العادة تجهز المادة الغذائية بغمر المجفف في عالق المادة الغذائية مباشرة.

ويؤثر كل من محتوى المواد الصلبة في العالق الذي يتم تجفيفه وسرعة دوران الأسطوانات في معدل التجفيف كما يوضح ذلك الشكل 5،4 . كما أشارت نتائج لتجفيف مهروس البطاطس للحصول على رقائق البطاطس إلى ازدياد معدل الإنتاج كلما ازدادت سرعة دوران الأسطوانات ومحتوى المواد الصلبة في المنتج المراد تجفيفه. وتم اقتراح محتوى ابتدائي للمواد الصلبة في المهروس يتراوح بين 20 -22٪ حتى

نحصل على قوة التصاق جيدة ومحتوى رطوبة منخفض في الناتج النهائي دون حدوث حرق للسطح الخارجي. كما أمكن الحصول على نفس الزيادة في معدل التجفيف كنتيجة لزيادة سرعة دوران الأسطوانات كما مبين في الشكل 6،4 .

شكل 5.4 تأثير سرعة ومحتوى المواد الصلبة على معدل إنتاج رقائق البطاطس



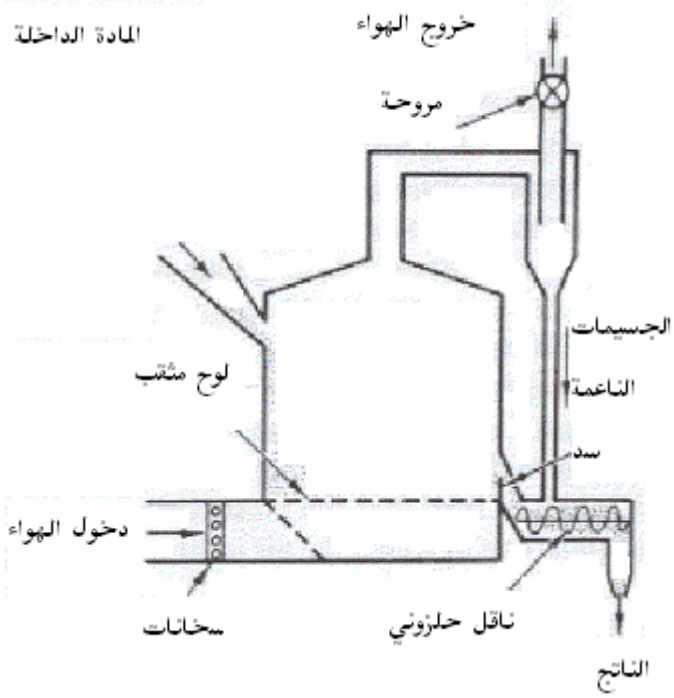
شكل 6.4 تأثير سرعة الأسطوانة الدوارة وعدد طبقات المنتج على معدل إنتاج مسحوق الفاصوليا من المعجون الكامل للفاصوليا

وعلى أي حال لقد تم الحصول على النتائج دون الحاجة إلى إضافة ماء للحصول على مسحوق الفاصوليا بالإضافة إلى تأثير عدد طبقات المنتج المتجمعة على سطح الأسطوانات على معدل الإنتاج . هذا وقد أدى رفع السكين الكاشط إلى أعلى إلى تجميع طبقات المنتج فوق بعضها البعض حيث يزال المنتج بعد عدد من الدورات التي يتم اختيارها ، وعليه يتضح بداهة من الشكل 6،4 أن زيادة عدد الطبقات يؤدي إلى زيادة معدل الإنتاج. وتجدر الإشارة هنا إلى أنه لا يمكن المغالاة في التأكيد بمدى تأثير حيز الخلوص بين الأسطوانات وخصوصاً في هذا النوع من مجففات الأسطوانات وأن حيز الخلوص الأمثل هو الذي تتراوح قيمته بين 25 -30 ملم.

3) التجفيف بواسطة الطبقة المميعة Fluidized bed dehydration

يحدث في هذا المجفف أيضاً نفس التلامس الوثيق بين المادة الغذائية وهواء التجفيف. ويتم أثناء عملية التجفيف دفع الهواء خلال جزيئات المادة الغذائية بسرعة عالية كافية للتغلب على قوى الجاذبية المؤثرة على المادة الغذائية وللمحافظة على الجزيئات في حالة مميعة. وعلى الرغم من أن المادة الغذائية تبقى معلقة طوال عملية التجفيف إلا أنها تتحرك أفقياً كلما استمرت عملية التجفيف.

و يتم الحصول في معظم التطبيقات على محتوى رطوبة منتظم (متوازن) في الناتج المجفف. وتتوقف سرعة الهواء اللازمة للمحافظة على الجزيئات في حالة مميعة على نوع المنتج، وبمعنى آخر على حجم وكثافة الجزيئات. وفي العادة تتراوح سرعات الهواء في الحدود بن 0.05 – 0.75 م/ث. أما بالنسبة للمنتجات الغذائية التي لا يمكن إسالتها بسهولة فإن التغيرات على التصميم العادي تشمل الناقلة الاهتزازية والتي تساعد على تعليق الجزيئات في الهواء ونتيجة لذلك تسمح باستخدام سرعات منخفضة . وفيه تدفع جزيئات المنتج إلى أعلى بواسطة نافورة هوائية لتصبح معلقة داخل الحجرة. وتبقى الجزيئات معلقة في وسط النافورة الهوائية إلى حين الوصول إلى درجة التجفيف المرغوبة. وبما أن زمن التلامس يعتبر قصيراً إلى حد ما فإنه يتضح أن هذه الطريقة أقل فاعلية من تصميمات مجففات الطبقة المميعة الأخرى.

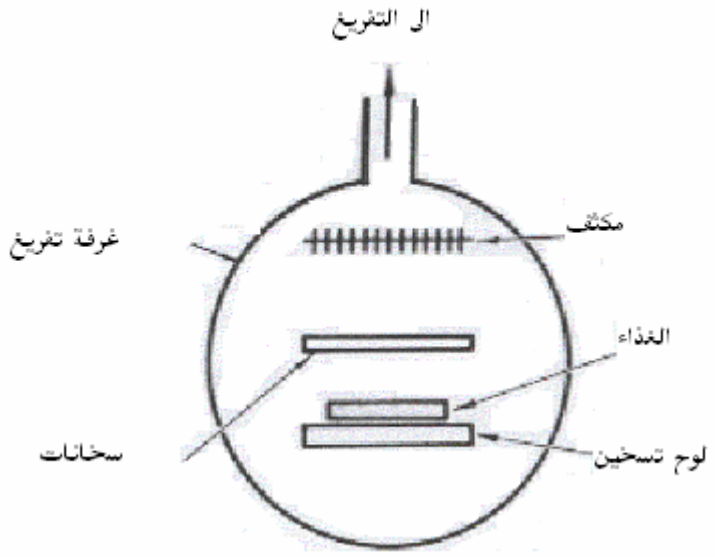


شكل 7.4 مجفف الطبقة المميعة

4) التجفيف بالتجميد (التجفيد) Freeze drying

يمكن إزالة الرطوبة من منتجات الأغذية بالتجفيد والذي يتضمن تحويل الماء من حالته المجمدة إلى الحالة الغازية مباشرة دون أن يمر بالحالة السائلة (عملية التسامي sublimation) . والفائدة البديهية لعملية التجفيد هي أن إزالة الرطوبة يتم دون تعريض المنتج لدرجات حرارة عالية . إضافة لذلك يكون من الممكن عادة الحفاظ على التركيب النسيجي للمنتج في حالة أكثر قبولاً ، وينتج عن ذلك الحصول على منتج ذي جودة عالية. وبصفة عامة فإن العملية تشمل التجميد الابتدائي للمنتجات ثم **تعريض أسطحها** للحرارة ، حيث يؤدي ذلك إلى تسامي البلورات الثلجية. ويحدث هذا التسامي كنتيجة لتعرض أسطح المنتجات للحرارة مباشرة حيث يتبع ذلك في الحال إزالة بخار الماء. وتعمل كل من ظاهرتي التسامي وإزالة بخار الماء على انحسار الجبهة الثلجية ، حيث أنه كلما انحسرت الجبهة الثلجية من على سطح المنتج ، تساعد ظاهرتا الانتقال الحراري أو انتشار بخار الماء في تحديد معدل التجفيد للمنتج.

وتشمل مكونات المجفد الأساسية مبخراً لتوليد الحرارة لاستخدامها كمصدر للطاقة في عملية التجفيف ، ومكثفاً لتكثيف الأبخرة الناتجة من المنتج . ويوجد كل من المكثف والمبخر في حجرة تفريغ يحافظ على التفريغ الهوائي بها إما بواسطة مضخة تفريغ أو قاذف للبخار(شكل8.4).



شكل 8.4 مجفف التجفيد

5) التجفيف بالرش (الرذاذ) Spray drying

عملية التجفيف التي طوعت بأفضل السبل لتلاءم المنتجات الغذائية السائلة ذات المحتوى الرطوبي المرتفع هي عملية التجفيف بالرش. وقد كانت بداية استعمال هذه العملية لتجفيف الحليب بعد فترة قصيرة من

العام 1900م ، ثم استخدمت لتجفيف البيض والقهوة. كما تم مواءمتها لتجفيف عدد آخر من المنتجات الغذائية السائلة الحساسة للحرارة. ومن مميزات التجفيف بالرش أن دورة التجفيف سريعة وفترة بقاء المنتج في غرفة التجفيف قصيرة ، وأخيراً فإن الناتج النهائي يكون جاهزاً للتعبئة حال خروجه من المجفف. وفي الواقع يقدر زمن بقاء المنتج في المجفف بحوالي 3 -10 ثواني في حين لا تزيد درجة حرارته على درجة الحرارة الرطبة للهواء المستخدم في التجفيف ، ويمثل ذلك تأثيراً إيجابياً ملموساً. ويساعد ذلك بطبيعة الحال في السماح باستخدام درجات حرارة عالية عند مدخل غرفة التجفيف دون حدوث أي تلف للمنتج الغذائي.

وتصنّف مجففات الرش تحت أربعة أنواع عامة ، على الرغم من وجود مجففات متعددة مختلفة في تصميماتها وهي :

أ. المجفف ذو تيار الهواء المعاكس لحركة المنتج الغذائي: وفيه يتم ترذيذ السائل بالقرب من قمة غرفة التجفيف ليسقط باتجاه قاع الغرفة ، بينما يدفع الهواء من فتحة بالقرب من قاع الغرفة متجهاً إلى أعلى ليتخلل قطرات السائل الصغيرة . وتخرج جزيئات المنتج المجففة من قاع الغرفة في حين يزال الهواء من فتحة بالقرب من قمة غرفة التجفيف.

وتتم عملية تجفيف المنتج نتيجة للتلامس المباشر بينه وبين الهواء الداخل ذي الحرارة المرتفعة نسبياً إلا أن ذلك يعد عيباً أساسياً في حالة المجفف ذي تيار الهواء المعاكس لحركة المنتج ، لما قد يسببه من انخفاض في نوعية المنتج ، نظراً لتأثير الحرارة العالية على الجزيئات المجففة. هذا ومن الواجب خفض معدل دفع الهواء حتى لا تسحب كميات كبيرة من المنتج عند إزالة الهواء (الرطب) من المجفف.

ب. مجفف الرش ذي تيار الهواء الموازي لحركة المنتج: وفيه يخلط الهواء الداخل إلى المجفف مع القطرات الصغيرة المتكونة بواسطة المرذاذ atomizer . وبعد عملية الخلط الأولية يتحرك المنتج والهواء في نفس الاتجاه فيما تستمر عملية التجفيف ، وفي النهاية يخرج المنتج المجفف ومعظم الهواء من الفتحة السفلية ثم إلى جهاز للفصل، كما موضح في الشكل 9،4. وربما يعد هذا النظام أكثر ملاءمة لتجفيف المنتجات الغذائية الحساسة للحرارة نظراً لملامسة المنتج في حالته السائلة للهواء الساخن عند الدخول ، وأيضاً لملامسة المنتج المجفف للهواء بعد انخفاض سخونته بدرجة ملحوظة.

وقد يأخذ الدفق المتوازي بالإضافة إلى نمط الدفق الدوراني النازل ثلاث أنماط أخرى هي :

1. الدفق الموازي النازل
2. الدفق الصاعد بحيث يدفع الهواء من فتحة في قاع حجرة التجفيف بالقرب من نقطة الترذيذ atomization.
3. الدفق الأفقي حيث يتحرك كلا من هواء التجفيف وقطرات المنتج الصغيرة أفقياً على طول غرفة التجفيف.

ج. مجفف الرش مختلط الدفق: وفيه يتم دفع المنتج بواسطة مرذاذ موجود عند موقع بالقرب من مركز حجرة التجفيف ، بينما يدفع الهواء من أعلى في اتجاه قاع الغرفة ليلامس المنتج قبل عودة صعوده مرة أخرى إلى أعلى ليخرج من فتحة في أعلى المجفف في حين يخرج المنتج من فتحة بالقرب من الجزء السفلي من غرفة التجفيف. وقد تؤدي درجات الحرارة المرتفعة للهواء الداخل في هذا النظام إلى انخفاض جودة المنتج المجفف إلا أنه يمتاز بالسعة التبخيرية العالية لكل وحدة من حجم المنتج.

د. مجفف الرش ذو الدفق المتوازي: وفيه يتدفق المنتج والهواء في خطوط منتظمة إلى حد ما من قمة غرفة التجفيف الضيقة وحتى قاعها ، ومنها يخرجان إلى وحدة أخرى مستقلة من النظام لكي تتم عملية الفصل بينهما. إن أهم ما يميز هذا المجفف عن السابق هو استخدام سرعات هواء عالية تمكن من الحصول على درجات حرارة عالية للهواء الداخل للمجفف وفي العادة تتراوح سرعة الهواء ما بين 2 و 3 م /ث. وبصفة عامة يجب اعتبار التجفيف بالرش عملية ذات مرحلتين :

المرحلة الأولى وهي الترذيذ أو تكوين ذرات السائل الصغيرة ، بينما المرحلة الثانية هي التجفيف الفعلي أو تبخير الرطوبة للحصول على جزيئات المنتج الصلبة.

من أهم الوظائف الرئيسية لعملية الترذيذ هي تكوين قطرات صغيرة ، وبذلك تتكون مساحة سطحية كبيرة لتبخير الرطوبة بالإضافة إلى عمل المرذاذ كجهاز معايرة للتحكم في معدل تدفق المنتج إلى داخل غرفة التجفيف. ويقوم المرذاذ بتوزيع السائل في تيار الهواء بطريقة منتظمة نسبياً. ويجب أن ينتج المرذاذ قطرات بمقاسات مناسبة لكي نحصل في نهاية عملية التجفيف على جزيئات المنتج المجففة وبالمقاسات المطلوبة. هناك أنواع عديدة من المرذاذات ومنها ما يلي :

1. مرذاذ الطرد المركزي centrifugal atomizer
2. منفث الضغط pressure nozzle

شكل 9.4 صورة لمجفف الرش

استرجاع الأغذية المجففة : Reconstitution of dried foods

قابلية الاسترجاع تعني سرعة ومدى امتصاص الغذاء المجفف للرطوبة عند إضافة كمية وافرة من الماء وعودته لحالته قبل التجفيف.

العوامل التي تؤثر على الاسترجاع :

يعتمد الاسترجاع في حالة الأغذية المجففة في صورة شرائح أو مكعبات مثل الخضراوات واللحوم أساساً على تركيب القطع المجففة ومدى تأثر المكونات التي تحبس الماء (البروتينات والنشا) بعملية التجفيف.

أما في حالة المساحيق المجففة فهناك عدد من الخصائص التي تؤثر على قابلية الاسترجاع. هذه الخصائص تشمل :

أ. قابلية البلل: wet ability

وهي قابلية جسيمات المسحوق لامتصاص الماء على سطحها . تعتمد هذه الخاصية بدرجة كبيرة على حجم الجسيمات. فقد تتجمع الجسيمات الصغيرة ولا تتبلل بسرعة ولا ينفذ الماء إلى داخلها . يمكن تفادي ذلك بزيادة حجم الجسيمات. هذا بالإضافة إلى أن طبيعة سطح الجسيمات يمكن أن تؤثر على قابلية البلل مثل وجود الدهن الحر. وفي هذه الحالة يمكن استخدام عوامل فعالية السطح (مثل الليسيثين) لتحسين قابلية البلل في المساحيق المجففة المحتوية على الدهن.

ب. قابلية الغطس: sink ability

وهي مقدرة جسيمات المسحوق على الغطس بسرعة في الماء. وهي تعتمد على حجم وكثافة الجسيمات حيث تغطس الجسيمات الكبيرة ذات الكثافة العالية بسرعة أكثر من الجسيمات الصغيرة الخفيفة. كما أن جسيمات المساحيق المحتوية على نسبة كبيرة من الهواء قد تبدو كبيرة ولكن قابليتها للغطس ضعيفة لانخفاض كثافتها

ج. قابلية الانتشار: dispersability

وهي مقدرة الجسيمات على الانتشار بسرعة على سطح وخلال الماء. يتحسن الانتشار عندما تكون قابلية الغطس عالية ويقل عندما تتكتل الجسيمات.

د. قابلية الذوبان: solubility

وهي مدى وسرعة ذوبان مكونات جسيمات المسحوق في الماء. وتعتمد أساساً على التركيب الكيميائي للمسحوق وحالته الفيزيائية مثل مدى ونوع البلورات.

لكي تكون خصائص استرجاع جيدة في المادة ، أي تكون "فورية instant" يجب أن يكون هناك اتزان بين الخصائص المذكورة أعلاه.

طرق تحسين قابلية الاسترجاع :

أ. ضبط ظروف التجفيف:

يمكن أن يؤدي التغير في ظروف المادة المراد تجفيفها (محتوى المواد الصلبة ، اللزوجة ، درجة الحرارة) ونوع المرذاذ وسرعته أو ضغطه بالإضافة إلى درجة حرارة الهواء المستخدم في التجفيف (الداخل والخارج

من المجفف) إلى تغيرات في حجم وكثافة الناتج. ولهذا فإن ضبط هذه المتغيرات قد يؤدي في بعض الحالات إلى تحسين قابلية الاسترجاع.

ب. إعادة دوران الجسيمات الناعمة: recycling of fines

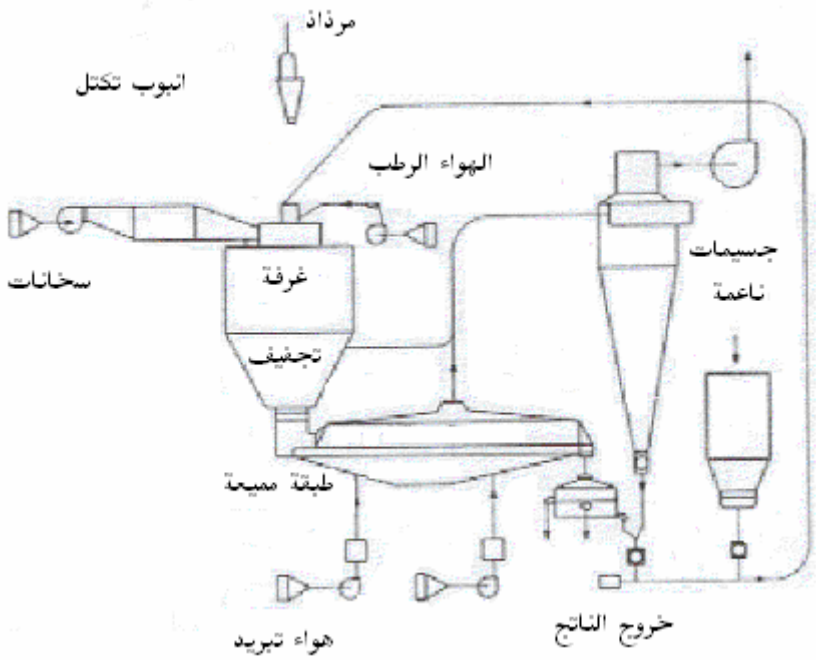
يمكن إعادة دوران الجسيمات الناعمة الناتجة من التجفيف في مجفف الرش إلى المنطقة الرطبة في غرفة التجفيف قرب المرذاذ. يتم أولاً تبريد الجسيمات الجافة بواسطة جهاز تبريد مميعة الطبقة هزاز . يتم إعادة دوران الجسيمات الناعمة من هذا المبرد مع تلك الخارجة مع الهواء الخارج من غرفة التجفيف وتكوّن كتل مع الرذاذ . وبهذه الطريقة يتم التخلص من الجسيمات الناعمة الموجودة في الناتج ويتم تحسين قابلية الاسترجاع.

جـ. جهاز الفورية المباشر: STRAIGHT-THROUGH INSTANTISER

يغادر المنتج غرفة التجفيف عند محتوى رطوبة عالية نسبياً (6 -8٪ على الأساس الرطب). وتحت هذه الظروف تكون الجسيمات لدنة ولزجة عند السطح ويمكن تكتلها بسهولة . وعند مغادرتها غرفة التجفيف يتم تجفيف هذه الكتل (قطرها 300 -400 ميكرون) وتبريدها في مرحلتين في وحدة طبقة مميعة هزازة. يتم أيضاً إعادة دوران الجسيمات الناعمة مرة أخرى إلى غرفة التجفيف.

د. إعادة البلل: rewetting

ربما تعتبر هذه الطريقة أكفأ طريقة وأكثر الطرق شيوعاً في الاستخدام لتحسن قابلية استرجاع مساحيق المواد المجففة . يتم معاملة المسحوق المجفف في مجفف رش عادي بالبخار أو هواء رطب دافئ بحيث يحدث تكثف على سطح الجسيمات. وبذلك يتم تشجيع التلامس بين الجسيمات وحدوث التكتل. يتم تجفيف الكتل في غرفة ثم يتم تبريدها في طبقة مميعة هزازة . يتم إعادة دوران الجسيمات الناعمة من الطبقة المميعة وغرفة التجفيف إلى منطقة التكتل (شكل10.4).



شكل 10.4 جهاز الفورية بإعادة البلل

الوحدات الحرارية المتكاملة

التبخير

مقدمة الوحدة

اسم الوحدة: التبخير

الجدارة: التعرف على كيفية أجراء عملية التبخير بواسطة الأجهزة المختلفة للتبخير.

الأهداف:

1 - التعرف على كيفية تحديد مكونات جهاز التبخير.
2 - التعرف على التبخير عديد التأثير واقتصاديات البخار.
3 - التعرف علي اتزان المادة والطاقة حول المبخر .
4 - التعرف علي أنواع المبخرات.
5 - شرح كيفية انتقال الحرارة وإحداث التفريغ في المبخرات.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل الطالب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 4 ساعات.

الوسائل المساعدة: قاعه دراسية مهيئه لتوزيع المتدربين على شكل مجموعات لتحليل الرسومات الخاصة بأجهزة التبخير والأجهزة المساعدة لها.

متطلبات الجدارة: أن يكون لدى الطالب المقدرة على الربط بين المعلومات الموجودة في هذه الوحدة.

نظرية 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 الأغذية إلى الثبات الميكروبي ويساعد على تقليل تكاليف النقل والتخزين و يعتبر تصنيع صلصة الطماطم مثال لعملية التبخير حيث يتم عادة الحصول على ناتج محتوى المواد الصلبة الكلية فيه في حدود 35 -37٪ عن طريق تبخير الماء من عصير طماطم يحتوي على مواد صلبة كلية في حدود 5 -6٪. يختلف التبخير عن التجفيف في أن المنتج النهائي من عملية التبخير يظل في حالة سائلة.

يتكون المبخر أساساً من :

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

هناك خطر الضرر الحراري عند تركيز المواد الغذائية بالتبخير تحت الضغط الجوي ولهذا عادة ما 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 نسبياً وتقل بالتالي الخسائر الحرارية. ينقل بخار الماء الناتج خلال مكثف إلى نظام تفريغ. يتكثف البخار داخل المبادل الحراري ومن ثم يطرد كناتج تكثيف.

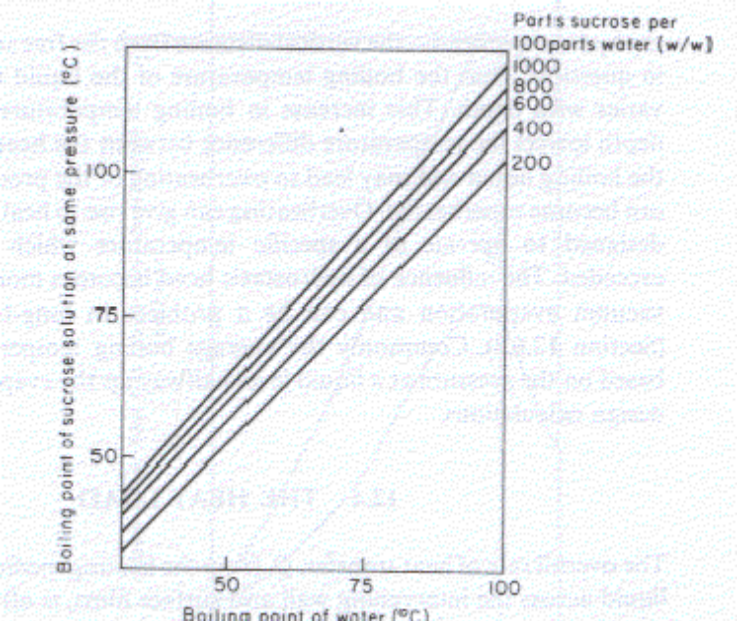
رفع نقطة الغليان Elevation of boiling point

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

1 - **الضغط الخارجي**: وذلك لأن المادة الغذائية تغلي عندما يساوي ضغط بخارها الضغط أعلاها.

2 - **محتوى المواد الصلبة للمادة الغذائية:** فمن المعلوم أن نقطة غليان المحلول أعلى من نقطة غليان المذيب عند نفس الضغط. ولهذا كلما زاد تركيز المحلول أثناء 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 أن هناك علاقة خطية بين نقطة غليان المحلول ونقطة غليان الماء عند نفس الضغط. الشكل 1.5 يوضح خطوط دورنج للسكروز مع الماء.

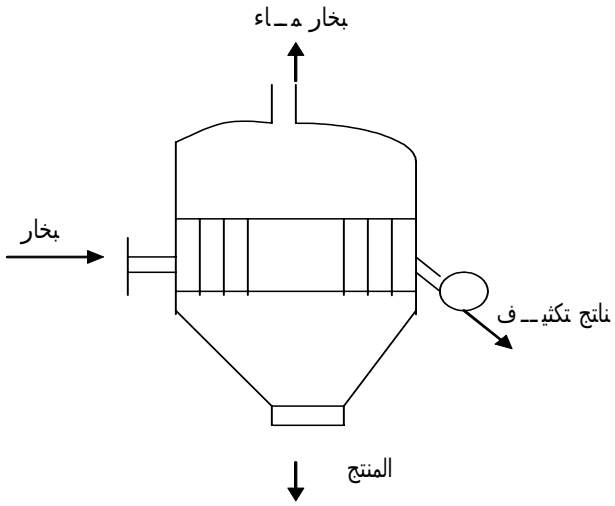


شكل 1.5 خطوط دورنج للسكروز مع الماء

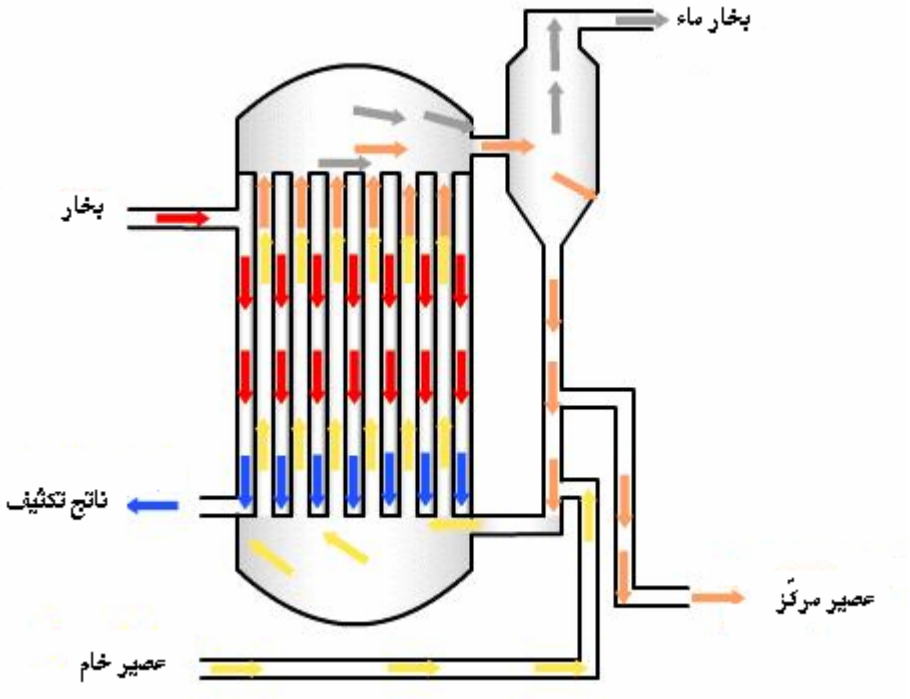
يعتبر رفع نقطة الغليان مهم نظراً لانخفاض درجات الحرارة بين البخار والمنتج عندما تزداد نقطة غليان السائل نتيجة تركيزه. يؤدي قلة الفرق في درجات الحرارة إلى تقليل معدل انتقال الحرارة بين البخار والمنتج .

3 - **العلو الهيدروستاتي:** hydrostatic head ونتيجة لهذا العلو تزداد نقطة غليان المادة الغذائية في المبخر مع علوها في المبخر وقد يؤدي ذلك إلى الإفراط في تسخينها. تصبح هذه المسألة أكثر خطورة في المبخرات طويلة الأنابيب.

المبخرات عديدة التأثير Multiple effect evaporators



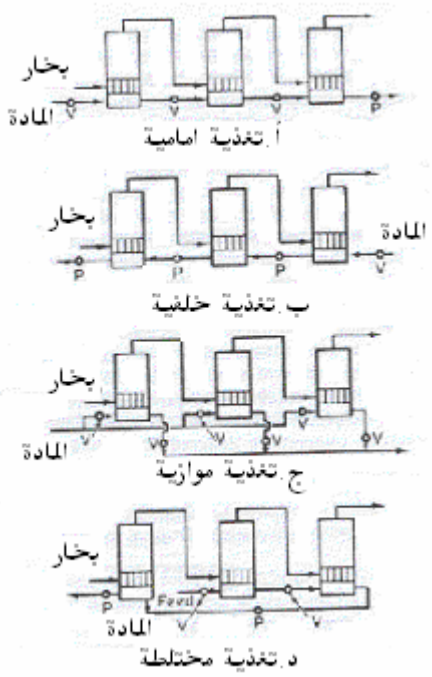
شكل 2.5 المبخر أحادي التأثير



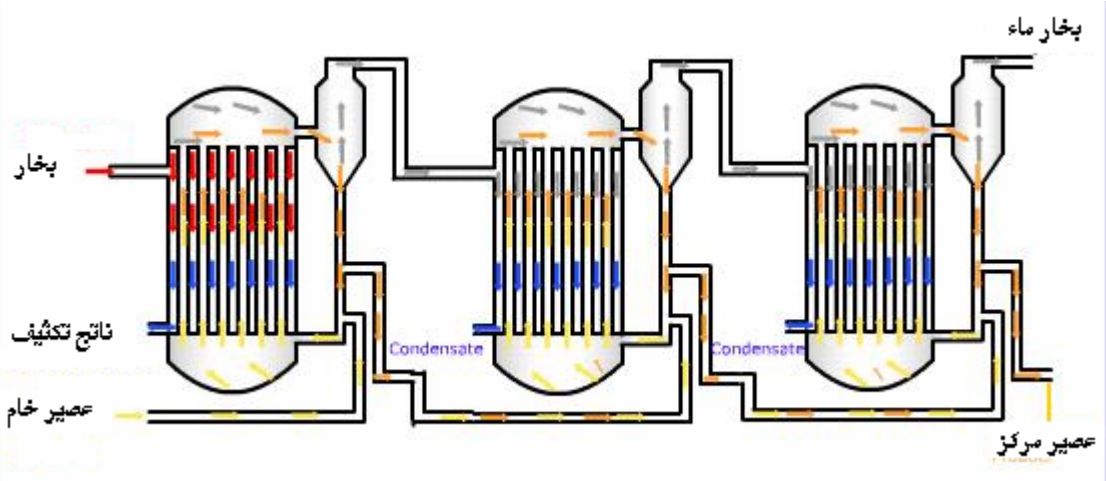
شكل 2.5 تفاصيل أكثر للمبخر أحادي التأثير

في المبخر الموضح في الشكل 2.5 يطرد بخار الماء المنتج من المادة الغذائية بدون استغلال الحرارة الموجودة فيه . يسمى هذا النوع من المبخرات المبخر أحادي التأثير Single effect evaporator . إذا أعيد استخدام ذلك البخار كوسط تسخين في مبادل حراري لمبخر آخر كما هو موضح في شكل 3.5 يسمى نظام التبخير بالتبخير عديد التأثير(في هذه الحالة ثلاثي التأثير). لاحظ أن البخار المنتج في غلاية البخار في المبخرات عديدة التأثير يستخدم فقط في التأثير الأول وهذا يؤدي إلى أن كفاءة استخدام البخار تكون عالية. فمثلاً يحتاج المبخر أحادي التأثير إلى 1.1 -1.3 كجم بخار لتبخير 1 كجم ماء بينما يحتاج المبخر ثنائي التأثير إلى 0.55 -0.70 كجم ويحتاج المبخر ثلاثي التأثير إلى 0.37 -0.45 كجم فقط لتبخير 1 كجم ماء.

قد يكون نظام تغذية المنتج في المبخرات عديدة التأثير أمامياً أو خلفياً أو متوازياً أو مختلطاً كما موضح في الشكل3,5.



شكل 3.5 نظم التغذية في مبخرات ثلاثية التأثير



شكل 3.5 تفاصيل أكثر لنظام التبخير عديد التأثير

هناك تأثير قوي لخصائص المادة الغذائية على أداء عملية التبخير. عندما يتبخر الماء (المذيب) من المادة الغذائية يزداد تركيزها وتزداد نقطة الغليان مع زيادة تركيز المواد الصلبة (الذائب) مما ينتج عنه انخفاض في معدل انتقال الحرارة نتيجة لتقلص الفرق في درجة الحرارة بين وسط التسخين والمنتج .

عادة ما تكون المكونات التغذية والحسية لبعض المنتجات الغذائية حساسة للحرارة ولهذا عند التبخير يجب أن يوضع في الاعتبار تقليل درجة حرارة الغليان وكذلك زمن التسخين وذلك لتفادي انخفاض جودة المنتج بدرجة كبيرة.

بالإضافة لذلك فإن الترسبات على سطح المبادل الحراري تقلل بوضوح معدل انتقال الحرارة . يتطلب التنظيف الدوري لسطح المبادل الحراري إيقاف تشغيل الجهاز وبالتالي تقليل سعة العملية . كما تسبب السوائل الغذائية التي تعطي رغوة عند تبخيرها فقد في المنتج نتيجة تسرب المنتج من مخرج بخار الماء.

أنواع المبخرات

تستخدم العديد من أنواع المبخرات في الصناعات الغذائية نذكر منها :

1. مبخرات الدوران الطبيعي Natural circulation evaporators :

أ. مبخر الوعاء المفتوح open pan evaporator :

يعد من أبسط أنواع المبخرات المستخدمة في الصناعات الغذائية وربما أقدمها. يسخن المنتج داخل وعاء نصف كروي مزدوج الحائط ويمر البخار بين الجدارين. ويكون وعاء التبخير مفتوحاً للهواء الجوي أو متصلاً بمكثف وتفريغ. يسمح التفريغ بغليان السائل على درجة حرارة أقل من درجة غليانه عند الضغط الجوي وبالتالي لا يؤثر على المنتجات الحساسة للحرارة.

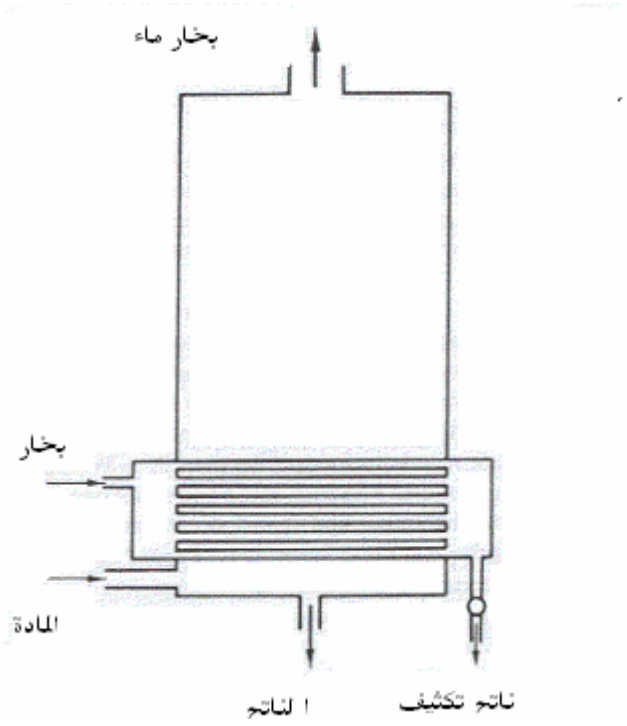
تكون مساحة سطح انتقال الحرارة لوحدة حجم في هذا النوع من المبخرات صغيرة وبالتالي يكون زمن مكوث المنتج عادة طويلاً جداً، يصل إلى عدة ساعات. ويحدث تسخين المنتج أساساً نتيجة للحمل الطبيعي، مما يؤدي إلى الحصول على قيمة منخفضة لمعامل انتقال الحرارة بالحمل . تقلل خواص انتقال الحرارة الضعيفة من سعة التصنيع لهذا المبخر تقليلاً جوهرياً.

يستخدم هذا النوع من المبخرات في تركيز الطماطم والشوربات والمرقات وفي تصنيع المربى والحلويات.

ب. مبخر الأنابيب الأفقية القصيرة Horizontal short tube evaporator

يوجد داخل المبخر عدد من الأنابيب الأفقية التي تسخّن من الداخل بالبخار(شكل4.5). الغرض من الفراغ أعلى الأنابيب هو السماح بفصل قطرات السائل التي يحملها بخار الماء بواسطة الجاذبية الأرضية . ولتقليل فقدان السائل مع بخار الماء الخارج توجد حواجز أعلى الجهاز قرب منطقة خروج بخار الماء.

من عيوب هذا الجهاز هو أن الأنابيب الأفقية تعيق دوران المادة الغذائية داخل المبخر ولهذا فإن المعامل الكلي لانتقال الحرارة ضعيف.

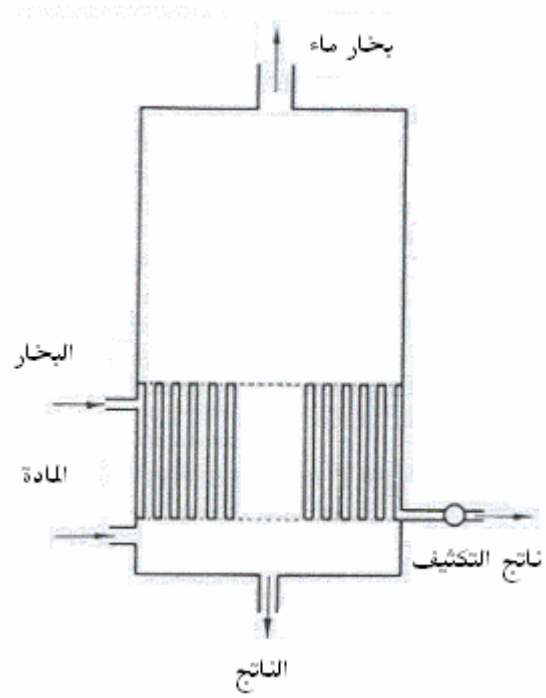


شكل 4.5 مبخر الأنابيب الأفقية القصيرة

جـ . مبخر الأنابيب الرأسية القصيرة vertical short tube evaporator **(شكل5.5)**

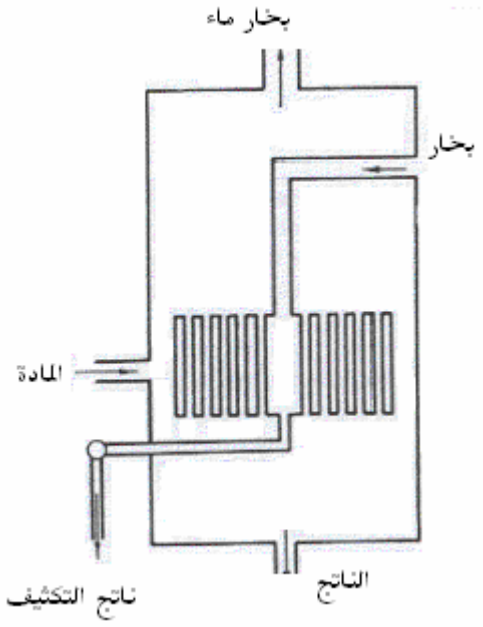
لا زال هذا النوع من المبخرات يستخدم في التصنيع الغذائي ويعرف بالمبخر القياسي . وفي هذا المبخر يرتفع المنتج عند تسخينه خلال الأنابيب عن طريق الدوران الطبيعي بينما يتكثف البخار خارج الأنابيب. يحدث التبخير داخل الأنابيب ويتركز المنتج. يسقط السائل المركّز مرة أخرى في قاع الوعاء خلال الأنبوب المركزي الذي يحتل حوالي 40٪ من مساحة الأنابيب الرأسية لأن الغذاء في هذا الأنبوب أبرد من الغذاء في الأنابيب الأخرى. طول الأنابيب حوالي 0.5 -2 متر وقطرها 25 -75 ملم (شكل 5.5).

يجب أن تكون الأنابيب مغطاة بالمادة الغذائية لتفادي تكوّن ترسبات صلبة عليها . يمكن أن تزوّد مثل هذه المبخرات بأنابيب يمكن إخراجها بسهولة للصيانة شكل(6.5.)



شكل 5.5 مبخر الأنابيب الرأسية القصيرة (المبخر القياسي)

يستخدم هذا المبخر في تركيز عصير القصب والبنجر ، الجلوكوز وعصائر الفاكهة.



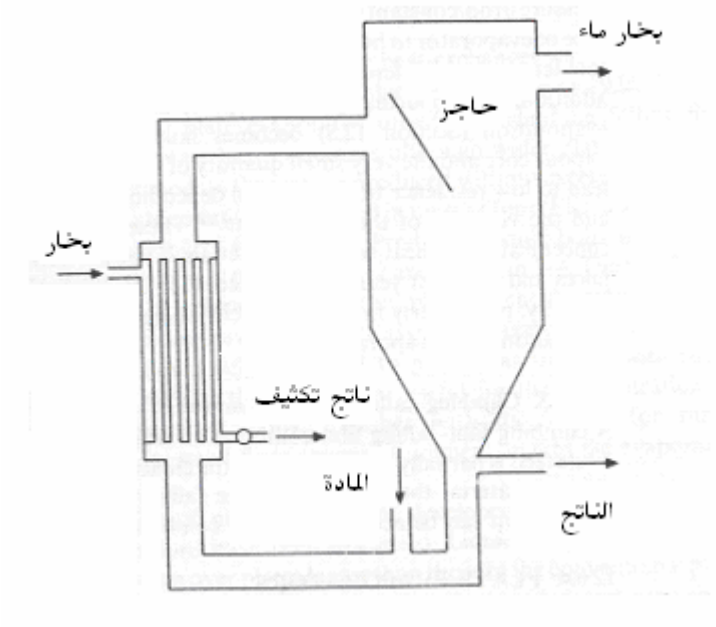
شكل 6.5 مبخر الأنابيب الرأسية القصيرة (نوع السلة)

د. مبخر الدوران الطبيعي ذو الأنابيب الخارجية

natural circulation evaporator with external calandria

توجد الأنابيب في هذا المبخر خارج جسم المبخر. تصميم هذا النوع مبسط ويمكن الوصول بسهولة للأنابيب(شكل7.5) .

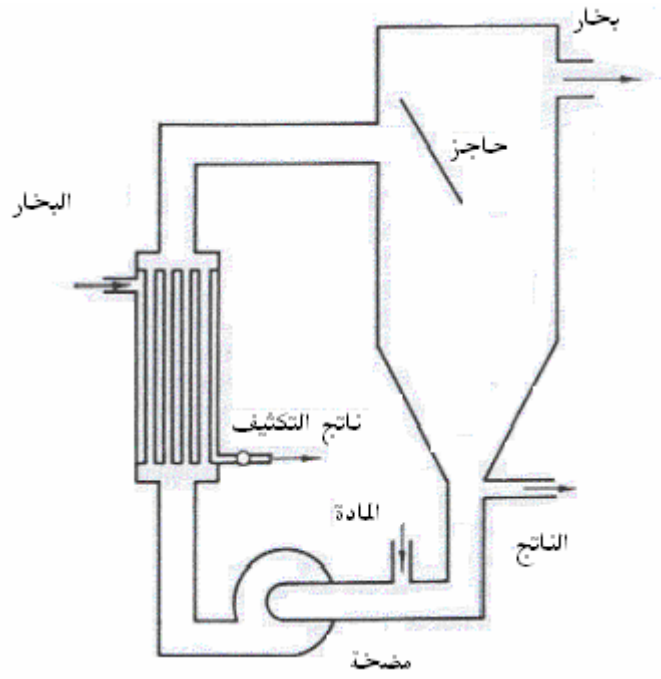
يستخدم في تبخير الأغذية الحساسة للحرارة مثل الحليب ومستخلصات اللحوم وعصائر الفاكهة.



شكل 7.5 مبخر الدوران الطبيعي

2. **مبخرات الدوران القسري** Forced circulation evaporators

يتم عادة تشغيل المبخرات ذات الأنابيب الخارجية بالدوران القسري (شكل 8.5) . يمكن لهذه المبخرات تركيز السوائل اللزجة . تستخدم مضخات الطرد المركزي مع السوائل ذات اللزوجة المنخفضة ويمكن استخدام مضخات الإزاحة الموجبة ومضخات الترس مع المواد ذات اللزوجة العالية.



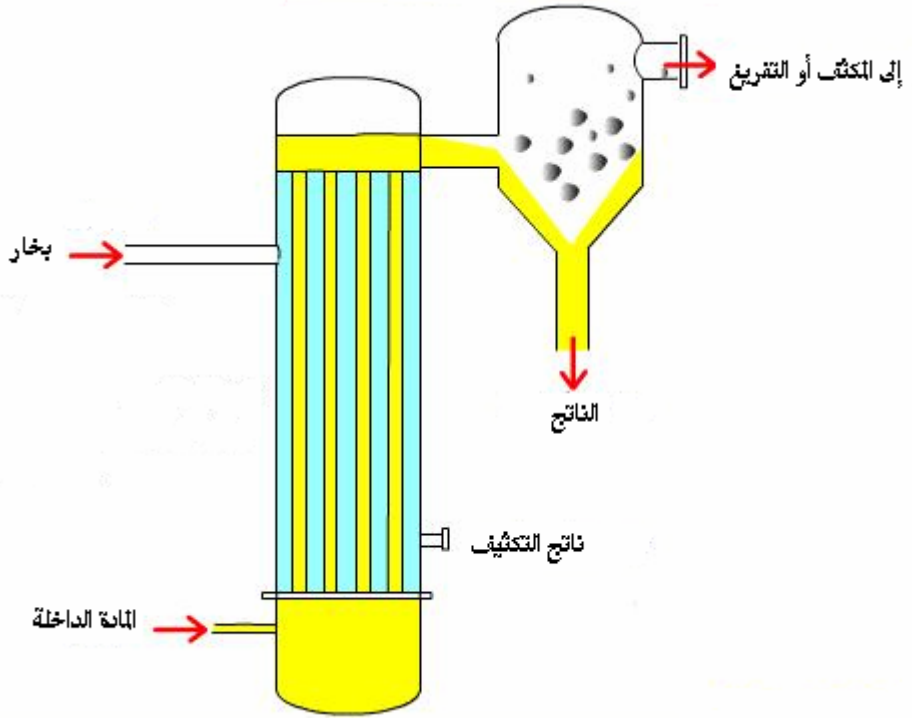
شكل 8.5 مبخر الدوران القسري

3. **المبخرات طويلة الأنابيب** Long tube evaporators

يمكن اعتبار هذه المبخرات مبادلات حرارية ذات أنابيب رأسية.

أ. **مبخر الغشاء الصاعد** climbing film evaporator:

المبخرات من هذا النوع لها أنابيب طولها 3 -12 متر وقطرها 25 -50 ملم (شكل 9.5). يسخّن السائل إلى قرب نقطة الغليان ثم يدخل إلى أسفل المبخر ويبدأ الغليان بعد مسافة قصيرة أثناء ارتفاعه إلى أعلى . يؤدي تمدد السائل أثناء الغليان إلى ارتفاع فقاعات بخار الماء أعلى الأنابيب . ويقوم بخار الماء بحمل غشاء رقيق من المادة الغذائية التي يزداد تركيزها أثناء ارتفاعها على جدران الأنابيب . يمر الخليط إلى 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.

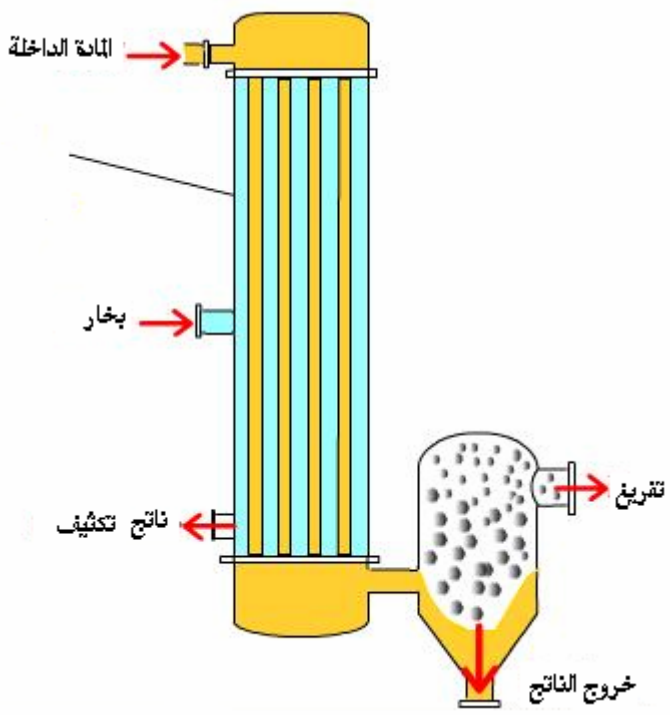


شكل 9.5 مبخر الغشاء الصاعد

ب. مبخر الغشاء الهابط Falling- film evaporator

هذا النوع مشابه لمبخر الغشاء الصاعد ولكن في هذه الحالة يضخ الغذاء السائل المسخّن إلى أعلى الأنابيب التي قد يصل طولها إلى 15 متر (شكل 10.5). يوزع السائل على الأنابيب بحيث يتدفق إلى أسفل على السطح الداخلي للأسطح الساخنة في صورة غشاء رقيق يغلي. يمكن أن يتم التبخير عند درجات غليان منخفضة وفترة بقاء المادة الغذائية قصيرة (10 -30 ثانية) اعتماداً على طول الأنابيب ولزوجة المادة المركزة .

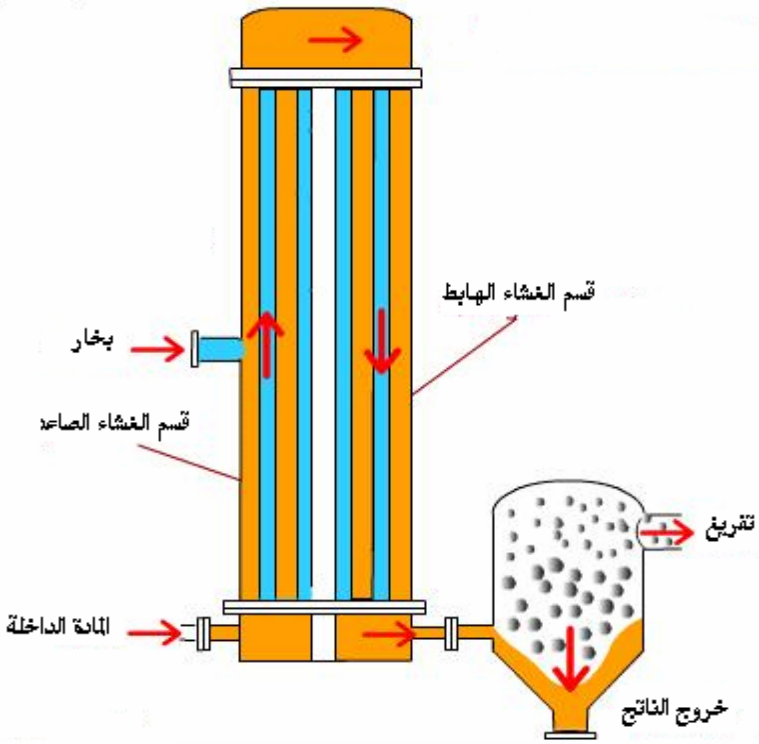
هذه الأجهزة ممتازة لتركيز المواد الحساسة للحرارة وتستخدم مع عصائر الفواكه واستخدمت حديثاً في مجال تركيز الألبان.



شكل 10.5 مبخر الغشاء الهابط

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

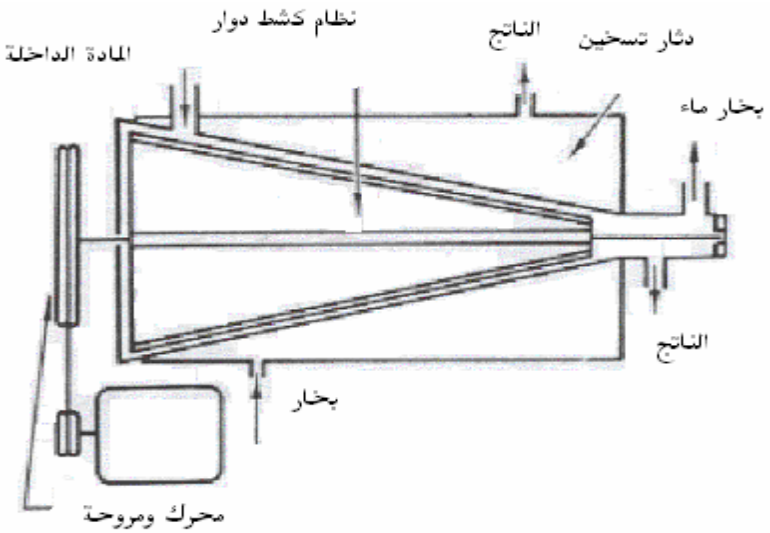
يركّز المنتج في هذا النوع من المبخرات بواسطة دورانه خلال جانب الغشاء الصاعد ثم يتبعه دورانه خلال جانب الغشاء الهابط من المبخر. أي يسحن المنتج أولاً عندما يرتفع خلال أنابيب الرفع ثم يتبع ذلك تبخير المنتج خلال جانب الغشاء الهابط وبالتالي يصل إلى تركيزه النهائي (شكل 11.5).



شكل 11.5 مبخر الغشاء الصاعد/الهابط

4. المبخرات الميكانيكية رقيقة الغشاء Mechanical thin film evaporators:

يتكون هذا النوع من المبخرات عادة من اسطوانة تدور بداخلها ريش عديدة ويحيط بها دثار يحتوي على البخار وقد تكون الأسطوانة رأسية أو أفقية . تتناقص مساحة الجزء الدوّار في التصميمات الأفقية في اتجاه التدفق(شكل12.5).

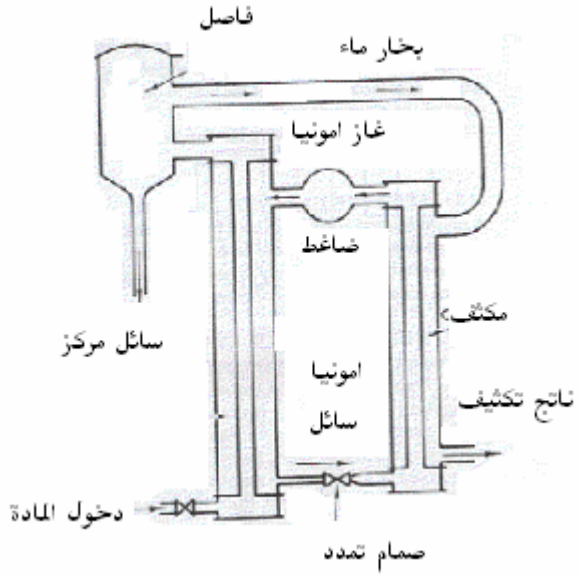


شكل 12.5 مبخر الغشاء الرفيع الميكانيكي

5. المبخرات منخفضة درجة الحرارة (مبخرات دورة التبريد)

Low temperature evaporator (refrigeration cycle evaporator)

يستخدم هذا النوع من المبخرات لتركيز المواد الغذائية ذات الحساسية العالية للحرارة عند ضغط منخفض (شكل 13.5) . يتكثف غاز التبريد على الأنابيب لتوفير الحرارة الكامنة للتبخر اللازمة للغليان ويتبخر الغاز في المكثف لتكثيف بخار الماء الناتج من الغليان. يمكن أن يتم التبخير في هذا النوع من المبخرات عند درجة حرارة منخفضة تصل إلى 20م لتفادي الضرر الحراري للمنتج.



شكل 13.5 مبخر دورة التبريد

قل استخدام المبخرات التي تعمل عند درجات حرارة منخفضة بعد الأبحاث التي دلت على أن الأغذية الحساسة للحرارة يمكن أن تتحمل درجات حرارة عالية إذا كانت فترة التسخين قصيرة.

أجهزة التبخير المساعدة

نظراً لأن معظم أنظمة تبخير المواد الغذائية تعمل عند ضغط أقل من الضغط الجوي ، تستخدم عادة مكثفات لبخار الماء ومضخات تفريغ لهذا الغرض .

يتكون الهواء داخل المبخر من بخار ماء قابل للتكثيف وغازات أخرى غير قابلة للتكثيف. يتم عادة تقليل ضغط بخار الماء بتكثيفه بينما تتم إزالة الغازات غير قابلة التكثيف بواسطة المضخات أو النافث ejector.

أ. **المكثفات** condensers:

تستخدم مكثفات الأنابيب والجدار shell and tube عندما لا يمكن خلط بخار الماء المتكثف مع ماء التبريد . هذا النوع مكلّف من ناحية الأجهزة ومتطلبات ماء التبريد مقارنة بمكثفات المنافث jet condensers الشائعة الاستخدام مع مبخرات الأغذية.

يتم في النوع الأخير خلط بخار الماء مباشرة مع رذاذ من ماء التبريد . وهي صغيرة ومبسطة وأرخص مقارنة مع النوع الأول. يتم إزالة ناتج التكثيف وماء التبريد من مكثفات المنافث بواسطة مضخة أو بواسطة أنبوب بارومتري . وهذا الأنبوب عبارة عن أنبوب رأسي طوله حوالي 11 متر يتصل في أعلاه مع مخرج المكثف ويغمر أسفله في حوض ماء صغير .

ب. **مضخات التفريغ** vacuum pumps:

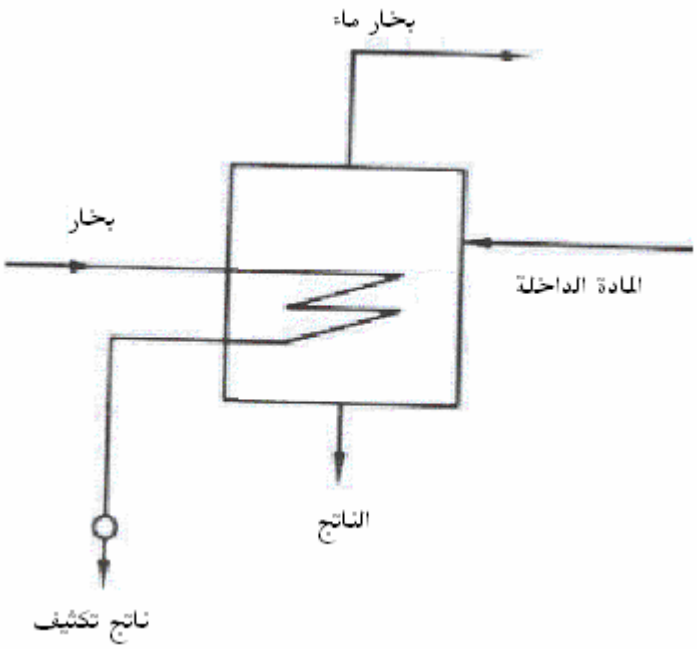
تستخدم عادة مضخات الإزاحة الموجبة ومنافث البخار . يدخل بخار عند ضغط عالي في منفث البخار ويزيل بذلك الغازات الغير قابلة للتكثيف.

تصميم المبخر أحادي التأثير Design of a single-effect evaporator

يضخ السائل الغذائي في هذا المبخر داخل غرفة تسخين ، حيث يسخن بطريقة غير مباشرة بواسطة البخار. يدفع البخار داخل المبادل الحراري ، ثم يتكثف ليعطي الحرارة الكامنة لتبخيره للسائل الموجود في المبخر ويخرج البخار من المبادل الحراري في صورة ناتج تكثيف.

يمكن التحكم في درجة حرارة التبخير بواسطة المحافظة على التفريغ داخل غرفة التسخين. ينقل بخار الماء الذي يترك المنتج خلال مكثف إلى نظام التفريغ. يكون النظام عادة قاذف بخار أو مضخة سحب . يسخّن المنتج داخل المبخر حتى يصل إلى التركيز المطلوب. يضخ المنتج المركز بعد ذلك خارج المبخر.

يسمح اتزان المادة والطاقة التي تجرى على نظام المبخر(شكل14.5) بإيجاد متغيرات التصميم والتشغيل المختلفة. تشمل أمثلة هذه المتغيرات معدل تدفق الكتلة والتركيز النهائي للمنتج ومساحة سطح المبادل الحراري.



شكل 14.5 رسم توضيحي لمبخر أحادي التأثير

يمكن الحصول على المعادلات التالية بعمل اتزان كتلي على تيارات التدفق واتزان المواد الصلبة للمنتج على الترتيب:

$$F = V + P$$

حيث أن :

F = معدل تدفق الكتلة للسائل الداخل للمبخر (كجم/ث)

V = معدل تدفق الكتلة لبخار الماء الخارج(كجم/ث)

P = معدل تدفق الكتلة للمنتج المركز (كجم/ث)

$$F\ xf = P\ xp$$

حيث أن :

xf = نسبة المواد الصلبة في تيار السائل الداخل للمبخر

xp = نسبة المواد الصلبة في تيار المنتج

يعطي اتزان المحتوى الحراري الذي يتم على نظام المبخر المعادلة التالية:

$$Fcp_f + m_{st} hg_{Ts} = vhv_{Tv} + m_c hc_{Tc} + Pcp_p$$
$$= Vhv_{Tv} + m_c hc_{Tc} + (F - V)cp_p T_p$$
$$= Vhv_{Tv} + m_c hc_{Tc} + Fcp_p T_p - Vcp_p T_p$$
$$m_{st} hg_{Ts} = Fcp_m (Tp - Tf) + Vhfg_{Tv} + m_c hc_{Tc}$$
$$m_{st} (hg_{Ts} - hc_{Tc}) = Fcp_m (T_p - T_f) + Vhfg_{Tv}$$
$$m_{st} hfg_{Ts} = Fcp_m (T_p - T_f) + Vhfg_{Tv}$$

أي أن كمية الحرارة المفقودة من البخار تساوي كمية الحرارة المكتسبة بواسطة المادة الغذائية + كمية الحرارة المكتسبة بواسطة بخار الماء

الحرارة المنتقلة عبر جدران المبادل الحراري داخل المبخر هي :

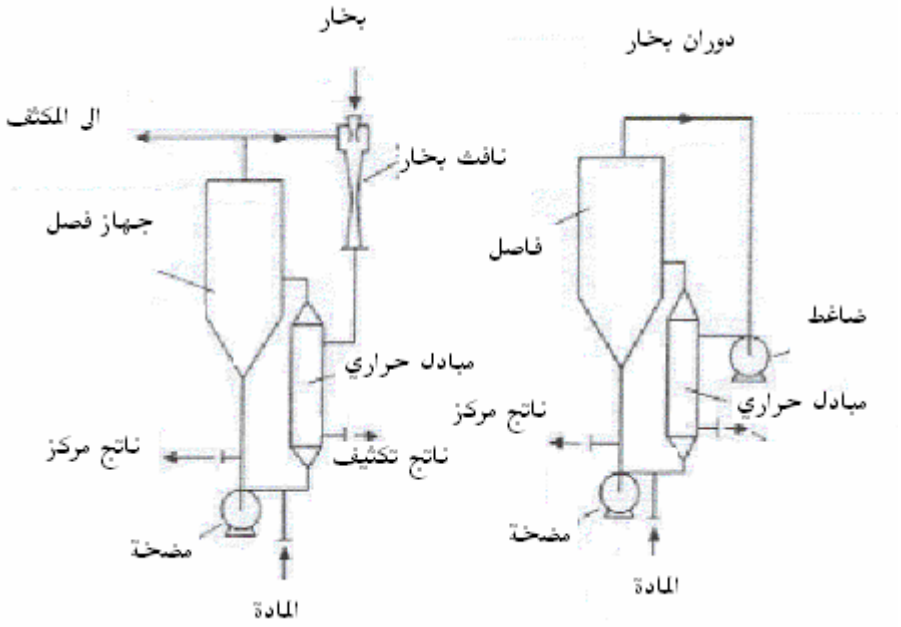
$$Q = UA\Delta T$$
$$\Delta T = T_s - T_v$$

نظم إعادة ضغط البخار Steam vapour recompression

توضح المناقشات السابقة المشروحة على المبخرات متعددة التأثير كيف أن الطاقة المطلوبة للنظام بأكمله تقل باستخدام بخار الماء الخارج من المادة الغذائية كوسط تسخين في التأثير التالي. يقوم نظامان إضافيان بتوظيف إعادة ضغط البخار للمساعدة في تقليل الطاقة اللازمة. هذان النظامان هما إعادة الضغط الحراري وإعادة الضغط الميكانيكي.

إعادة ضغط البخار Thermal recompression

تتضمن إعادة الضغط الحراري استخدام قذف البخار لإعادة ضغط جزء من بخار الماء الخارج كما موضح في شكل 15.5 . يزداد الضغط ودرجة الحرارة لبخار الماء الخارج. تستخدم هذه الأنظمة ، عادة ، مع المبخرات أحادية التأثير أو في التأثير الأول للمبخرات متعددة التأثير. تتطلب تطبيقات هذا النظام أن يكون البخار على ضغط عال.



شكل 15.5 توضيحي لنظام إعادة الضغط الحراري وإعادة الضغط الميكانيكي

إعادة الضغط الميكانيكي Mechanical vapour recompression

تتضمن إعادة ضغط البخار الميكانيكي إعادة ضغط كل بخار الماء الخارج من المبخر كما موضح في الشكل 15.5. تتم عملية ضغط البخار ميكانيكياً باستخدام ضاغط يعمل بمحرك كهربائي أو توربين بخار. تعد نظم إعادة الضغط الميكانيكي ذات كفاءة في تقليل متطلبات الطاقة .

الوحدات الحرارية المتكاملة

السلق والإفراغ

مقدمة الوحدة

اسم الوحدة: السلق والإفراغ

الجدارة: التعرف على كيفية إجراء عمليتي السلق والإفراغ في المواد الغذائية

الأهداف:

التعرف على مزايا سلق المواد الغذائية. **1.**

2. التعرف على طرق سلق المواد الغذائية المختلفة.

3. التعرف على أجهزة سلق المواد الغذائية المختلفة ومكوناتها.

4. التعرف على نظرية إفراغ الأوعية.

5. التعرف على طرق الإفراغ.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل الطالب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 4 ساعات.

الوسائل المساعدة: قاعه دراسية مهيئة لتوزيع المتدربين على شكل مجموعات لتحليل الرسومات و المنحنيات البيانية الخاصة بأجهزة السلق و التفريغ المختلفة .

متطلبات الجدارة: أن يكون لدى الطالب المقدرة على استيعاب الرسومات و المنحنيات البيانية الموجودة في هذه الوحدة.

السلق (blanching)

تسخن معظم الخضراوات في الماء أو البخار الحي قبل التعليب وتسمى هذه العملية بالسلق . يشتمل السلق على معاملة حرارية قصيرة وتتغير طبيعته والغرض منه على حسب المادة المستخدمة وطريقة حفظها . قد تم من قبل معرفة استخدام السلق لتليين الجلد قبل التقشير ، بجانب هذا الاستخدام الخاص يمكن تلخيص أسباب السلق المختلفة كالآتي : -

1. يساعد في تنظيف المادة وبصفة خاصة يقلل العبء الميكروبي الموجود على سطح المادة فيساهم بذلك في زيادة كفاءة عملية التعقيم .
2. يزيل الغازات الموجودة بين الخلايا وبهذا يمنع ارتفاع الضغط في العلبة أثناء التصنيع الحراري وفي بعض الحالات يحسن منظر المنتج .
3. يلين الأنسجة ويؤدى إلى بعض الانكماش وبهذا يسمح في وضع حجم أكبر في العبوة كما في حالة الخضراوات الورقية (سبانخ ، ورق عنب ، ملوخية).
4. يوقف نشاط الإنزيمات التي تؤدى إلى تدهور الجودة وأكثرها أهمية هي الإنزيمات المؤكسدة المقاومة للحرارة مثل الأكسيديز والبيروكسيديز والكتاليز وكذلك الإنزيمات التي تؤثر على لون وطعم وقوام الخضر كما في حالة التفاح والبطاطس والتي تحتوى على إنزيمات الفينول أكسيديز النشطة .
5. قد يساعد في تثبيت لون المادة . فمثلا تصبح صبغات الكاروتينويد في الجذر ذائبة في قطرات زيت داخل الخلايا أثناء السلق وبهذه الطريقة يمكن حمايتها من التكسر الأكسيدى . يقل أيضا تحول الكلوروفيل إلى فايوفايتين أثناء تعقيم المواد التي تم سلقها بإيقاف نشاط إنزيم الكلورفيليز الذي يحول الكلوروفيل إلى مركب آخر ذو لون أخضر بني كما في البازلاء والسبانخ
6. السلق ضروري للحفاظ على مقدرة استعادة القوام المناسبة للخضراوات المراد تجفيفها وله تأثير مفيد على القوام في كثير من الحالات الأخرى .
7. يوفر طريقة للتحكم في pH المادة والتي لها تأثير مهم على اللون وللأداء العام للخضراوات أثناء معاملات الحفظ المختلفة .
8. يمكن إضافة كثير من المعاملات الكيميائية الأخرى أثناء السلق مثل إضافة ثاني أكسيد الكبريت وإضافة أملاح الكالسيوم والتي قد تستخدم في بعض الأحيان لتقليل تعرض المادة لتكسر الأنسجة أثناء التعقيم .
9. يساعد في التخلص من بعض المواد التي قد تكسب الخضر المعلبة طعماً غضاً وغير مقبولاً وكذلك التخلص من المواد المخاطية كما في حالة الباميا .

10. يساعد في إزالة المواد النشوية السائبة والموجودة على سطح قطع الغذاء المعلب والتي تعطي محلول التعبئة عكارة غير مستحبة بعد المعاملة الحرارية .

ولهذا فان السلق يعتبر مرحلة مهمة في عدد من عمليات الحفظ . فهو يعتبر معاملة أولية ضرورية في تجميد وتجفيف الخضراوات (ماعدا البصل) . عادة تسلق الفواكه المعرضة للاسمرار الأنزيمي قبل تعليبها أو تجميدها وإلا فان سلق الفواكه غير ضروري على الرغم من أن استخدامه قد يسهل العمليات الأخرى مثل التقشير والقطع والملأ .

يتم عادة سلق السبانخ في ماء عند درجة حرارة 76.5 C . يؤدى سلق السبانخ عند نقطة الغليان إلى فقدان اللون الأخضر أي إلى تحلل الكلوروفيل إلى فايوفايتين ذو اللون الأخضر المصفر . يحافظ السلق عند درجة حرارة 76.5C على اللون الأخضر الطبيعي إلى مدى كبير حتى عندما يسخن المنتج إلى 121 C أثناء عمليات التعقيم . أحد الافتراضات في سبب محافظة درجة الحرارة المنخفضة على اللون هي أن الأكسجين الموجود في الأوراق يؤكسد الكلوروفيل عند نقطة الغليان ولا يؤدى إلى ذلك عند 76.5 C .و أيضا هناك فرصة للغاز عند درجة الحرارة المنخفضة للهروب من الأنسجة ولهذا لا تحدث أكسدة عند عمليات التعقيم التي تلي ذلك . افتراض آخر هو أن السلق عند درجة حرارة منخفضة يؤدى إلى نضح كميات كبيرة من الحامض من الخضراوات ولهذا يكون هناك تحلل مائي أقل للكلوروفيل إلى فايوفايتين أثناء التعقيم . حقيقة أن أوراق السبانخ أو أي خضراوات أخرى خضراء معاملة ببيكربونات صوديوم مخففة إلى التعادل تحافظ على لونها الأخضر ، نقطة في صالح نظرية الفايوفايتين .

النظرية الأخرى هي أن إنزيم الكلوروفليز يبقى نشطاً لدقائق قليلة عند درجة الحرارة المنخفضة ويحول الكلوروفيل إلى فايلين يحافظ على اللون الأخضر .

يتم عادة سلق البسلة والفاصوليا خلال ما يغلى . تتغير درجة حرارة الماء وفترة السلق حسب نضوج وصلابة المادة الغذائية . يؤدى الماء العسر الذي يحتوى على نسب عالية من أملاح الكالسيوم والماغنزيوم إلى قوة وصلابة البسلة وهذا ربما نسبة للتفاعل مع المواد البكتينية .

لسلق الخضراوات الخضراء المراد حفظها بالتجميد من الضروري التسخين لدرجة تكفي لتـ دمير إنزيم الكتاليز بحيث لا ينتج نكهة ورائحة أثناء التخزين . وقد وجد أيضاً أنه من الضروري ليس تدمير الكتاليز فقط وإنما أيضاً البيروكسيديز أي السلق يكون أكثر قسوة . ينتج في الخضراوات الخضراء التي لم يتم سلقها أو التي تم سلقها لدرجة غير كافية فيها لون أخضر رمادي بجانب نكهة ورائحة غير مقبولة أثناء التخزين .

يقطع القرع إلى قطع كبيرة ويطبخ حتى يلين والهدف هو السماح بفصل اللب من القشرة بطرق ميكانيكية قبل التعليب .

يتم سلق الطماطم في البخار أو ماء يغلى لفترة قصيرة لكسر وفك الجلد . يسخن عادة البطاطس الحلو والبنجر في البخار أو بخار تحت ضغط لتسهيل التقشير .

تسلق الكمثرى عادة بعد التقشير بالقلوي لإزالة بقايا القلوي ولإيقاف نشاط الأكسيديز المسئول عن الاسمرار . يفضل السلق بالبخار على الماء الذي يغلى كعامل سلق نسبة لأنه يستخلص كمية أقل من المواد القيمة في الغذاء في حين وجد بعض الباحثين أن الفقدان باستخدام البخار أيضا كبير .

يؤدى السلق بالماء إلى فقدان بعض المكونات الذائبة التي تساهم في النكهة والفايتمينات القابلة للذوبان في الماء خاصة حمض الاسكوربيك . هذا قد يؤدى أيضاً إلى فقدان كبير في الناتج من المواد المجففة على الرغم من أن السكريات التي تفقد من البطاطس المراد تجفيفه يؤدى إلى ناتج أقل تعرضاً لتفاعلات الاسمرار غير الإنزيمية أثناء التخزين في صورة جافة .يؤدى السلق بالبخار في الجانب الآخر ، إلى فقدان أقل ولكن يحتاج إلى فترة أطول لإيقاف نشاط الإنزيمات بفعالية وتنشأ مشاكل إضافية بالنسبة لاستخدام المعاملات الكيميائية . بصورة عامة ، فان السلق بالماء يستخدم أكثر في المملكة المتحدة بينما يستخدم السلق بالبخار لمعظم المنتجات (ماعدا البسلة) في الولايات المتحدة .

تتكون معظم أجهزة السلق بالماء من صهريج أسطواني أفقي يوضع فيه السائل الساخن والذي تمرر فيه المادة بواسطة لولب معدني مفتوح ويتحرك على خلوص صغير من السطح الداخلي للصهريج ، أو محاط بواسطة أسطوانة مثقبة . يسخن المحلول بواسطة نفث البخار ، عادة بين 88 و 99 C . يمكن تغيير طول فترة السلق بتغيير معدل حركة اللولب . عادة تستخدم واحد ونصف إلى خمسة دقائق للسلق ويعتمد الزمن على نوع المادة والغرض من السلق . يجب صنع الأجزاء من جهاز السلق التي تلامس المحلول من الصلب الذي لا يصدأ ويجب أن يكون الماء المستخدم نظيف وغير عسر . الماء العسر غير مرغوب خاصة مع البسلة لأن أملاح الكالسيوم قد تؤدى إلى صلابة القوام بتفاعلها مع المواد البكتينية للأنسجة . عند سلق الخضراوات قبل تجفيفها تضاف كميات محددة من الكبريتيت إلى المحلول و مع الخضراوات الخضراء تضاف كميات من كربونات الصوديوم لإعطاء pH تكون قاعدية قليلا وبهذا تمنع تكون الفايوفيتين . يمكن إضافة الفوسفات لبعض المنتجات مثل الجزر لتقليل تغير اللون والذي يحدث في وجود كميات قليلة من الحديد في سائل جهاز السلق . تم استخدام المبادل الحراري نوع الناقل الحلزوني بنجاح للسلق .هذا الجهاز يتكون من حلزون دوار مغمور في حوض طويل ذو قاع منخفض .

يحرك الحلزون المنتج خلال الماء الساخن . التسخين في هذه الوحدة قد يكون غير مباشر أو بواسطة نفث بخار مباشر .

نسبة لأن المنتج يكون في اتصال مع ماء غلاية البخار فيجب أن يكون الماء من نوع ماء الطبخ .يجب أن تكون مركبات معاملة الغلاية مختارة إذا أستخدم بخار الغلاية في السلق .

يجب اختيار حجم جهاز السلق الذي يكون قادراً على مداولة سعة خط التصنيع دون أن يزدحم . يحدث الازدحام خاصة عند استخدام البخار الحي للسلق لطبقة سميكة على السير . نسبة لأنه يحتاج إلى زمن نفاذ معين ليتم التسخين خلال المنتج فان هذا يكون أكثر حرجاً في حالة البخار الحي من حالة الماء الساخن لأن في الحالة الأخيرة يحدث للمنتج قدر من التحريك أثناء مروره خلال الماء . يبرد المنتج بسرعة مباشرة بعد السلق عادة في ماء بارد والذي كثيراً ما يستخدم كمجرى مائي لحمل المنتج إلى العملية التالية . يستخدم اختبار الكتاليز أو البيروكسيديز لتحديد كفاءة السلق . الآن يستخدم اختبار البيروكسيديز في الصناعة . الاختبار السالب للبيروكسيديز ضروري لمنع تطور الخصائص غير المرغوبة في المنتج.

في السلق بالبخار تمرر المادة خلال غرفة بخار ، إما على سير متحرك أو بواسطة ناقل حلزوني . أيضا تتفاوت فترات السلق على حسب المادة في مدى يشابه السلق بالماء . إذا أريد المعاملة الكيميائية ، يجب رش المحاليل الضرورية على المادة إما قبل أو أثناء أو بعد التمرير خلال غرفة البخار .

استخدمت طرق أخرى عديدة للسلق وهذه تشمل السلق في العلب قبل التعليب ، السلق بالماء الساخن الهيدروليكي في أنابيب مسخنة بالبخار والسلق بالعازل الكهربائي أو بالأشعة تحت الحمراء . لم تكن لأي من هذه الطرق مزايا كافية تجعلها صالحة للاستخدام العام كبديل للطرق التقليدية للسلق بالماء أو بالبخار . .

أستخدم السلق بالغاز الساخن كوسيلة لتقليل حجم نفايات الماء من جهاز السلق إلى أقل من 1٪ من ذلك الناتج من السلق بالبخار أو الماء الساخن . ووجد أن هذه الطريقة يمكن تطبيقها لعدد من الخضراوات الهامة . في حالة السلق بالغاز الساخن تسخن الخضراوات بواسطة الغازات الساخنة الناتجة من محرقة غاز . يعاد دوران الغازات الساخنة الناتجة إلى أعلى خلال الخضراوات والتي تنقل خلال جهاز السلق بين سيور ناقلة من شبكة سلكية . يضاف البخار إلى الغازات الساخنة لزيادة الرطوبة النسبية وتقليل التجفيف الجزئي والذي قد يؤدى إلى فقدان في الوزن . يعتقد أيضا أن البخار يسهل انتقال الحرارة .

تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن الخضراوات التي تم سلقها بالغازات الساخنة لها جودة ضمن حدود القبول التجاري . وقد وجد أن السبانخ والبسلة التي تم سلقها بالغاز الساخن لها إبقاء أعلى من حمض الأسكوربيك مقارنة بالسلق بالبخار أو الماء الساخن . الفقدان في وزن المنتج كان أعلى في حالة السلق بالغاز الساخن لعديد من الخضراوات .

الإفراغ exhausting

نظرية إفراغ الأوعية (exhausting of containers):

عندما يسخن وعاء مغلق (مثلا علبة غذاء) يتولد ضغط داخلي نتيجة للتأثيرات التالية : -

1. تتمدد محتويات العلبة .
2. يزداد ضغط بخار الماء .
3. يتمدد الهواء والغازات الأخرى في الفراغ العلوي وفي الغذاء .

يتم توازن هذا الضغط الداخلي جزئياً بواسطة تمدد العلبة وبحركة أطراف العلبة إلى الخارج والتي تزود بحلقات تمدد لهذا الغرض . ولكن تتعرض العلبة المليئة تماماً إلى توتر زائد عند تعقيمها . ولتفادى هذا يجب تكوين فراغ حر (فراغ علوي) أعلى الغذاء في العلبة . هذا الفراغ العلوي ، بجانب أنه يستوعب تمدد السائل والغاز ، فهو يساعد على انتقال الحرارة أثناء التصنيع المحرك . يوصى بالنسبة للأوعية الزجاجية المعاملة عند 115 -121 C ألا يحتل الفراغ العلوي أقل من 6٪ من حجم الوعاء مقاساً عند درجة حرارة القفل العادية (55 C) . هذه التوصية تبدو أيضاً كحد أدنى مناسب للتعقيم في الأوعية الصلبة الأخرى . كقاعدة عامة ، يجب ألا يتعدى الفراغ العلوي 10٪ من حجم الوعاء .

يتم تحديد ضغط البخار داخل الوعاء بواسطة درجة حرارة التصنيع ، ولكن يمكن تقليل الضغط الجزئي للهواء في العلبة أثناء التصنيع :

1. بالتأكد من تحرر الغذاء من الغازات المحتجزة (بواسطة السلق أو التفريغ المسبق) .
2. بواسطة إحداث تفريغ في الفراغ العلوي (الإفراغ) قبل القفل .

بالإضافة إلى تقليل توتر الضغط فان إزالة الغازات والإفراغ يقللان توتر الأكسجين داخل العلبة ، وبهذا يقللان تآكل العلبة ، ويحدان من أكسدة الغذاء ويمنعان نمو الكائنات الهوائية .

طرق الإفراغ:

هناك أربعة طرق للإفراغ تستخدم عامة : الإفراغ الميكانيكي ، الملأ الساخن ، الإفراغ الساخن والقفل أثناء تدفق البخار .

1. الإفراغ الميكانيكي mechanical exhausting

يستخدم هذا مع الأغذية الحساسة للحرارة أو الجافة وتشمل قفل الوعاء ، الذي يملأ على البارد ، تحت تفريغ ميكانيكي (مثلا باستخدام مضخة) . في القفل الميكانيكي تحت التفريغ بواسطة ماكينات القفل تحت التفريغ ذات السرعة العالية تمرر العلب وهي مازالت باردة أو عند درجة حرارة

منخفضة نسبياً إلى قفل أولى للغطاء دون إحداث القفل المزدوج . ثم تنقل العلب بعد ذلك خلال صمام مناسب إلى غرفة تحت التفريغ وتعرض للتفريغ للحظة ثم تقفل وتخرج خلال صمام آخر . التفريغ الذي يتم بينما العلب في غرفة التفريغ يمكن أن يتفاوت اعتماداً على التفريغ النهائي المطلوب وأيضا على درجة حرارة المحتويات السائلة . تعرض هذه الطريقة لإفراغ الهواء من الأغذية المعلبة ، المحتويات للتفريغ لفترة قصيرة نسبياً قبل القفل . إذن يسحب الهواء أساساً من الفراغ العلوي وفقط جزئياً من المنتج نفسه .
هناك مشكلة واحدة مع ماكينات القفل تحت التفريغ عالية السرعة ، عند قفل بعض الأغذية المعبأة في محلول سكري أو ملحي . بما أن التفريغ يتم في فترة قصيرة جداً يحدث وميض للمحتويات السائلة من العلبة عندما تكون هناك كمية معقولة من الهواء المذاب أو المحتبس في المنتج أو بين فراغات المنتج . هذا يحدث لأن الهواء الذي يهرب بسرعة من محتويات العلبة عادة يحمل معه السائل في نفس الوقت . هذا صحيح خاصة مع الفواكه المعبأة في محلول سكري ويؤدى إلى فقدان بعض المحلول السكري . تم التغلب على هذه المشكلة باستخدام خطوة تفريغ أولى قبل القفل تحت التفريغ . يتم هذا بالنسبة للفواكه المعلبة ، بصورة خاصة ، كالآتي : - تملأ الفواكه المجهزة في العلب وتمرر إلى غرفة التفريغ التي تحدث تفريغ في المدى 0.7 -0.9 بار على العلبة المليئة مما يؤدى إلى إفراغ معظم الهواء المحيط بالمنتج وجزء من المنتج نفسه . بينما لا تزال العلب تحت التفريغ يضاف المحلول السكري إلى العلب إلى ارتفاع محدد ثم تنقل العلب المليئة إلى الضغط الجوى . بهذه الخطوة الأولية لإفراغ الهواء يمكن قفل العلب المليئة في ماكينة قفل تحت التفريغ مع تغير طفيف في التفريغ النهائي من علبة لأخرى ومع فقدان بسيط أو لا فقدان للمحتوى السائل .

تستخدم كلا من أجهزة القفل تحت التفريغ المستمر أو على دفعات وللتأكد من إزالة الغازات من الأغذية السائلة ، يجب أن يسبق الملأ بالتفريغ الإفراغ الميكانيكي كلما كان ذلك عملياً . هذه الطريقة غير مناسبة مع الأغذية اللزجة التي تميل إلى تكوين رغوة عند تفريغها ، ويجب ألا تستخدم مع الأغذية التي تطلق غازات عند تسخينها (مثل الفراولة في العصير المركز).

2 الملأ الساخن hot filling

يولد الغذاء السائل الذي يملأ ساخناً قرب درجة غليان الماء حوالي ضغط جوى واحد من ضغط بخار الماء في الفراغ أعلى العلبة بحيث ، عند القفل دون تأخير والتبريد ، يتولد تفريغ داخل العلبة. تزيل هذه الطريقة الغازات ، في الفراغ العلوي ، والمحتجزة في الغذاء ، بكفاءة وتوفر تسخين أولى مفيد يقلل من زمن التصنيع . من عيوبها ، إذا لم تسخن العلبة وغطاءها قبل الملأ ، ينتج تبريد محلى وفقدان في التفريغ

. يؤدى أي تأخير بين الملأ والقفل أيضاً إلى فقدان في التفريغ . تلائم هذه الطريقة بصورة أفضل الأغذية المعلبة التي يمكن أن تسخن بسهولة مثل الفواكه والخضراوات المعبأة في محلول ملحي أو سكري.

3 الإفراغ الساخن hot exhausting

في الإفراغ الساخن تنقل العلب المليئة ، إما مفتوحة أو مثبتة عليها الأغطية ، خلال حمام مائي أو غرفة بخار يتم الحكم فيها ثيرموستاتياً حيث تسخن إلى 80 -95 C . تقفل العلب المفرغة قفلاً مزدوجاً بعد مغادرتها جهاز الإفراغ مباشرة . تعطى هذه الطريقة نتائج يمكن استعادتها بنتائج متطابقة نسبة لأنه لا يوجد تكثيف محلى ، كما يحدث في الملأ الساخن . قد تكون أزمان الإفراغ عالية مع الأغذية التي تسخن بالتوصيل ، وهناك خطر كبير من التلوث خلال الجزء المفتوح أو ، إلى مدى أقل ، خلال الغطاء المثبت . كثيراً ما يستخدم الإفراغ الساخن بالاشتراك مع الملأ الساخن .

4 . القفل أثناء تدفق البخار steam-flow closing

بالنسبة للأغذية التي تسخن ببطء (مثلا عجائن اللحوم والأسماك المعلبة) ، يمكن إزاحة غازات الفراغ العلوي بواسطة منافث بخار توجه إلى أعلى العلبة المليئة . عند انقضاء زمن معين يوضع الغطاء ، الذي يسخن أيضاً بالبخار ، آلياً وتقفل العلبة (القفل أثناء تدفق البخار) . من الواضح ، أنه لا توجد إزالة للغازات المحتسبة بهذه الطريقة ولهذا يجب أن يسبق التفريغ الأولى أو الملأ الساخن القفل أثناء تدفق البخار .

تأثير درجة الحرارة أو حجم الفراغ العلوي ذو أهمية ثانوية عندما يتم الإفراغ بالطريقة الميكانيكية ولكن حجم الفراغ العلوي مهم جداً في كل من الملأ الساخن والقفل أثناء تدفق البخار . تزيد زيادة درجة حرارة القفل وتقليل حجم الفراغ العلوي من التفريغ الناتج بواسطة الملأ الساخن . وقد وجد أن الإفراغ بالقفل أثناء تدفق البخار غير حساس بدرجة حرارة القفل ولكن زيادة حجم الفراغ العلوي يزيد من التفريغ .

الوحدات الحرارية المتكاملة

التجميد

مقدمة الوحدة

اسم الوحدة: التجميد

الجدارة: التعرف على كيفية إجراء عملية التجميد في المواد الغذائية وميكانيكية عمل أجهزة التجميد المختلفة.

الأهداف:

التعرف على مزايا الأغذية المجمدة. **1**.

2. التعرف على أنظمة التجميد المباشر وغير المباشر.

3. التعرف على حساب الزمن اللازم للتجميد والعوامل التي تؤثر عليه.

4. التعرف على التغيرات في الأغذية المجمدة.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل الطالب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 4 ساعات.

الوسائل المساعدة: قاعه دراسية مهيئة لتوزيع المتدربين على شكل مجموعات لتحليل الرسومات و المنحنيات البيانية الخاصة بأجهزة التجميد المختلفة .

متطلبات الجدارة: أن يكون لدى الطالب المقدرة على استيعاب الرسومات و المنحنيات البيانية الموجودة في هذه الوحدة.

التجميد Freezing

يتم تجميد الأغذية بخفض درجة حرارة المادة الغذائية إلى أقل من درجة حرارة تجمد هذه المادة مما يؤدي إلى تثبيط نشاط الكائنات الحية الدقيقة وتأخير التفاعلات الكيميائية والإنزيمية وبالتالي منع تدهور المنتجات الغذائية وفسادها.

نمت صناعة تجميد الأغذية ببطء بالنسبة للأغذية مثل الأسماك والدواجن والبيض والفواكه وذلك لأن هذه الصناعة أخذت سمعة سيئة في البداية وذلك لبضع الممارسات الخاطئة مثل :

1. تجميد الأغذية التي فسدت أو قاربت على الفساد
2. تسييح المنتجات المجمدة وبيعها على أساس أنها طازجة.

يلي ذلك التجميد السريع للأغذية وتغليفها جيداً ثم تخزينها عند درجات حرارة منخفضة بعد التجميد . ثم تم معرفة الإنزيمات التي يجب تثبيطها لمنع تطور النكهات الغريبة في الخضراوات أثناء التخزين المجمد.

على الرغم من أن التجميد يعطي منتجاً ذا نوعية عالية إلا أن الجودة تتأثر بعملية التجميد وظروف مخزن التجميد. ويؤثر معدل التجميد أو زمن التجميد على جودة المنتج. ففي حالة التجميد السريع يقل تلف أنسجة المنتج وقوامه ولكن قد لا يوجد مبرر ، مع بعض المنتجات ، لإضافة تكاليف زائدة باستعمال عملية التبريد السريع كما أن بعض المنتجات الأخرى لها أشكال ومقاسات هندسية لا تسمح بالتجميد السريع . وتؤثر ظروف درجة حرارة المخزن على جودة الغذاء المجمد تأثيراً معنوياً وأي رفع في درجة حرارة المخزن يؤدي إلى تقليل جودة الحفظ كما أن التغير في درجة حرارة التخزين يؤدي إلى ضرر أكبر على جودة المنتج.

ولهذا يوجد العديد من نظم التجميد التي صممت لتخدم تجميد المنتج بكفاءة عالية وللحصول على أعلى جودة للمنتج كما يجب أخذ زمن المكوث في جهاز التجميد في الاعتبار وذلك بتقدير زمن التجميد الصحيح.

نظم التجميد Freezing systems

لكي تتم علية تجميد منتج غذائي يجب أن يعرّض هذا المنتج لوسط تبريد ذي درجة حرارة منخفضة لزمن كافٍ لإزالة الحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة للانصهار من المنتج.

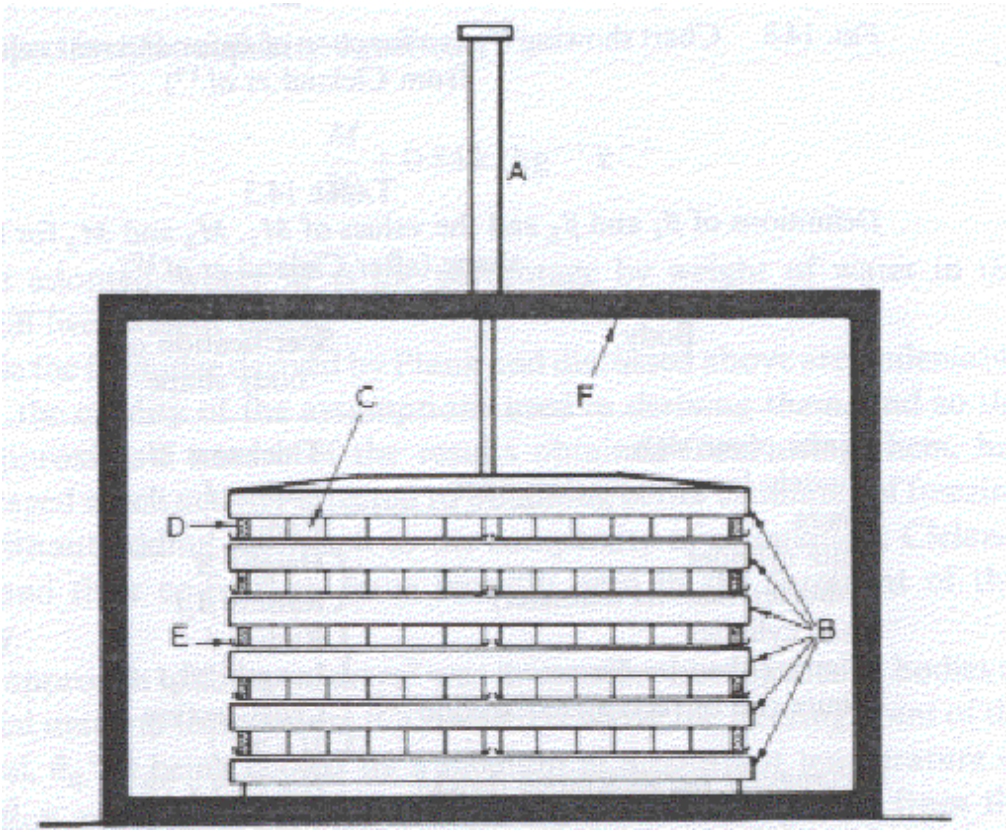
يتم التجميد في أنظمة التجميد باستخدام إحدى الطريقتين وهما التلامس المباشر مع وسط التبريد أو التلامس غير المباشر مع وسط التبريد.

1. نظم التلامس غير المباشر Indirect contact systems

تشمل هذه الطريقة التماس الغذاء أو العبوة التي تحتوي على الغذاء مع سطح مبرد بواسطة وسط تبريد أو بواسطة مائع تم تبريده في مبادل حراري بالتماس غير مباشر مع وسط التبريد. تستخدم هذه الطريقة لتجميد قطع الأغذية الصلبة المسطحة نسبياً أو الأغلفة التي تحتوي إما على أغذية صلبة أو سائلة.

أ. المجمدات ذات اللوح Plate freezer

تعدّ المجمدات ذات اللوح أبسط نظم التجميد غير المباشر كما هي موضحة في الشكل 1.5 . يتجمد المنتج عندما يحتجز بين لوحي التجميد. يمكن تعزيز انتقال الحرارة باستخدام ضغط على الألواح للتأكد من الالتماس الجيد مع المنتج . يمنع الضغط الزائد على المنتج بواسطة قطع خشبية ذات ارتفاع معين بين الألواح. تستغرق أزمان التجميد من ساعة إلى عدة ساعات.



شكل 1.5 رسم توضيحي لنظام التجميد اللوحي

ب. المجمدات بالدفع الهوائي Air blast freezers

في حالات عديدة يمكن ألا يناسب مقاس المنتج و/ أو شكله نظام التجميد اللوحي. وفي هذه الحالات تكون مجمدات الدفع الهوائي هي البديل الأفضل. يمكن أن 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 أن زمن التجميد سيكون طويلاً لعدم المقدرة على إنجاز تلامس قوي بين المنتج والهواء البارد.

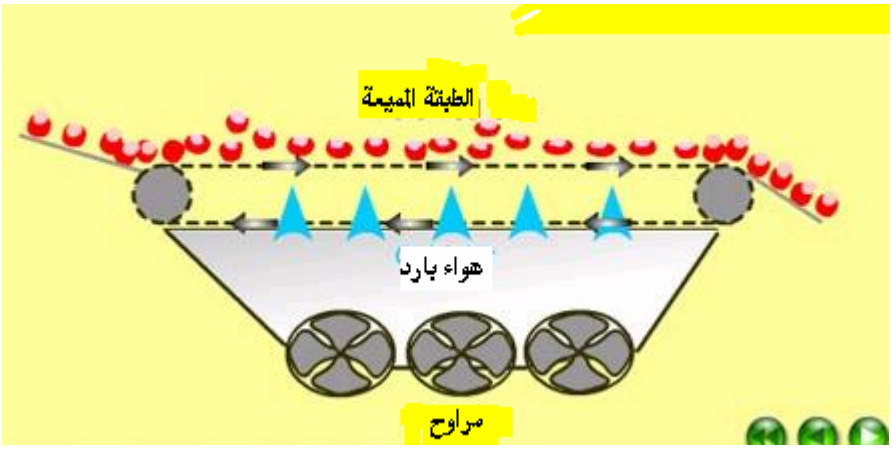
أغلب مجمدات الدفع الهوائي من النوع المستمر. يحمل المنتج في هذه الأجهزة على جهاز النقل الذي يتحرك خلال تيار هواء ذي سرعة عالية . يتم التحكم في زمن المكوث أو زمن التجميد بواسطة طول جهاز النقل وسرعته. تعتمد سرعة التجميد كثيراً على سرعة الهواء الذي يتحرك عبر الغذاء وذلك لأن

المقاومة لانتقال الحرارة تعتمد على سرعة الهواء. يزيل الهواء الذي يتحرك بسرعة حرارة أكثر بعشر مرات لوحدة زمن ومساحة مقارنة بالهواء الذي ينقل الحرارة بالحمل الطبيعي.

العيب الأساسي لهذا النوع من الأجهزة هو أن تيار الهواء الذي يتحرك بسرعة لا يسهل فقط انتقال الحرارة ولكنه يحسّن أيضاً انتقال الكتلة ونتيجة لهذا يزال جزء من الماء من الغذاء وهذا قد يؤدي إلى تجفيف غير مطلوب للمنتج ولكن يمكن تفاديه بتجميد الأغذية بعد تغليفها.

جـ. **مجمد الطبقة المميعة (المسالة) Fluidized bed freezer**

وهو تعديل لنظام التجميد بتيار الهواء ، حيث يمر هواء خلال فتحات ويعلق جسيمات الغذاء وتتجمد أثناء حملها في تيار الهواء خلال منطقة التجميد (شكل 2.5). يتميز هذا النوع من التجميد بالتجميد السريع للمنتج وذلك نتيجة لتعلق القطع المفردة من الغذاء في الهواء البارد مما يضمن انتقال جيد للحرارة وتجميد سريع ومتناسق ويمكن بواسطته تحقيق عملية مستمرة للتجميد دون الحاجة لأجهزة ميكانيكية لتحريك المنتج خلال منطقة التجميد ولكنه يناسب فقط المواد التي يمكن تمييع جزيئاتها باستخدام سرعات معقولة لتيار الهواء .

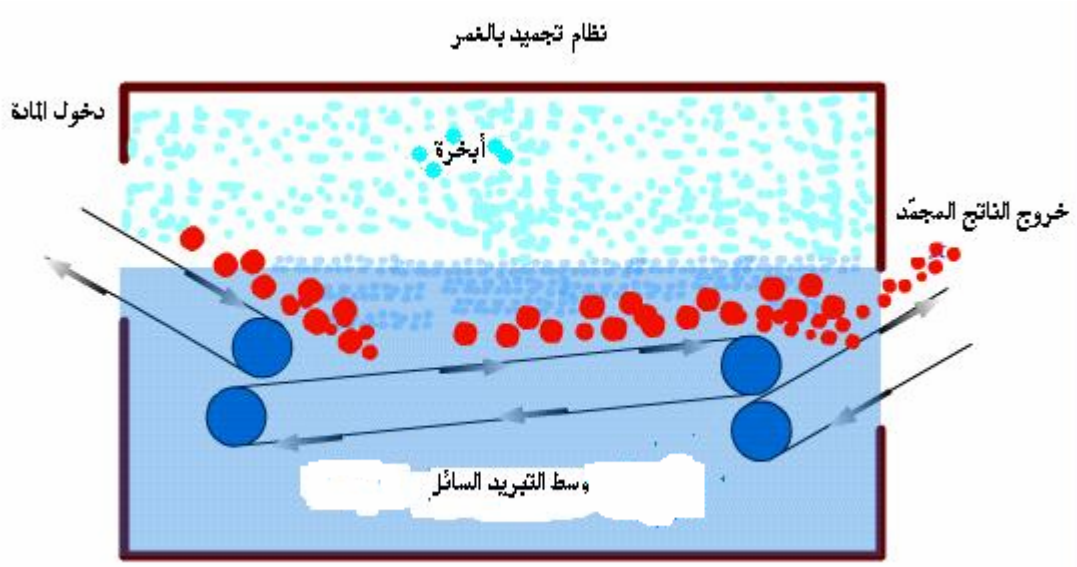


شكل 2.5 مجمد الطبقة المميعة

2. نظم التلامس المباشر Direct contact systems

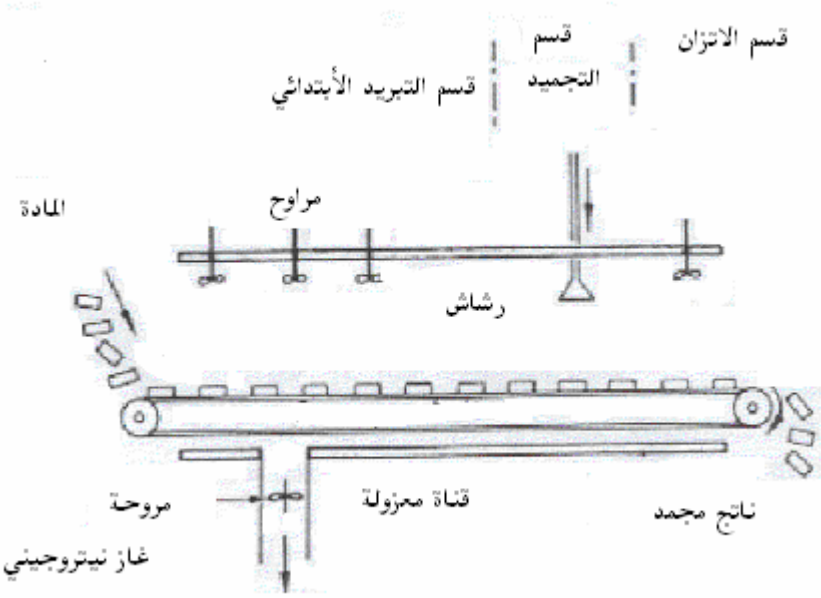
مجمدات الغمر Immersion freezers

يمكن أن يستخدم الغمر المباشر مع المنتج المفكك أو للعبوة التي تحتوي على المنتج. ويمكن أن يكون مائع يبرد بالالتماس غير المباشر مع وسط التبريد أو يمكن أن يكون غاز مضغوط مثل النيتروجين السائل أو أكسيد النيتروز وفي هذه الحالة يتحقق التبريد بالتبخير لسائل الغمر (شكل 3.5).



شكل 3.5 جهاز تجميد بالغمر

ويمكن أن يكون التجميد بالرش كما موضح في شكل 4.5



شكل 4.5 نظام التجميد برش النيتروجين

مزايا التجميد بالغمر :

1. الالتماس جيد ومقاومة منخفضة لانتقال الحرارة
2. هناك إبعاد لأكسجين الهواء الجوي وبهذا إبعاد لتغيرات الأكسدة أثناء التجميد

أحد أهم عيوب نظام التجميد بالغمر هو ارتفاع تكلفة وسط التجميد وذلك نظراً لأن وسط التجميد يتحول من السائل إلى البخار أثناء عملية تجميد المنتج ويكون من الصعب تجميع الأبخرة التي تغادر غرفة التجميد. هذه الوسائط مكلفة والكفاءة الكلية لنظم التجميد بالغمر دالة لقابلية تجميع وإعادة استخدام هذه الأبخرة.

الآن تزايد الاهتمام باستخدام غاز النيتروجين وأكسيد النيتروز المضغوط المسيل لتجميد الأغذية وذلك للمزايا التالية :

1. بما إن نقطة غليان هذه الغازات منخفضة جداً فإن قوة الدفع لانتقال الحرارة عالية
2. الالتماس الجيد مع الغذاء يجعل المقاومة لانتقال الحرارة منخفضة
3. بما أن التبريد يتم الحصول علية بتبخير الوسط فليس هناك حاجة لسائل تبريد لتبريد هذا الوسط وهذا يقلل من احتمال تلوث الغذاء
4. يمكن الحصول على درجات حرارة منخفضة جداً وبسرعة.
5. جودة الغذاء أعلى من جودة الغذاء المجمد بالطرق الأخرى
6. سرعة التجميد تجعل من الممكن تضمين وحدة التجميد في سلسلة وحدات مستمرة أو شبه مستمرة
7. لا تحتاج لتشييدات مكلفة

عيوب عملية التجميد بالغمر:

غير اقتصادية فهي مكلفة أكثر من الطرق الأخرى ولكن يمكن تقليل التكلفة باسترداد وإعادة ضغط الغاز المبخر ولكن هذا يحتاج أيضاً لأجهزة إضافية.

تجميد المنتجات الغذائية Freezing of food products

عملية التجميد الفعلية للمنتجات الغذائية أكثر تعقيداً مقارنة بتجميد الماء النقي. يلاحظ في حالة الماء النقي أنه كلما أزيلت كمية من الحرارة تنخفض درجة حرارة الماء حتى الوصول إلى نقطة التجمد وإذا ما استمرت عملية إزالة الحرارة من النظام فإن ذلك يؤثر على تحول الطور من ماء إلى ثلج وذلك بامتصاص الحرارة الكامنة للانصهار وإذا ما تم الوصول إلى الطور الصلب فإن درجة الحرارة تنخفض

أما في حالة المحلول الذي يحتوي على مذاب واحد فإن إزالة الحرارة يؤدي إلى انخفاض في درجة الحرارة حتى الوصول إلى نقطة التجمد الابتدائية للمحلول ويلاحظ أنها اقل من درجة التجمد الابتدائية للماء النقي. وإذا استمرت عملية إزالة الحرارة من المحلول تنخفض درجة الحرارة حتى الوصول إلى نقطة التصلب Eutectic point . ويجب ملاحظة أنه في حالة المنتجات الغذائية يمكن الوصول إلى أكثر من نقطة تصلب واحدة أثناء عملية التجميد وذلك لتواجد أكثر من مذاب.

زمن التجميد Freezing time

إن من أهم اقتصاديات عملية تجميد الأغذية هي معرفة معدل تجميد الغذاء وهو الذي يتحدد به زمن التجميد الذي يؤثر مباشرة على جودة المنتج النهائي. وهناك أكثر من تعريف لزمن التجميد وأكثرها ملائمة في تشغيل وتصميم نظام التجميد هو الزمن اللازم للوصول إلى درجة حرارة تجميد معينة عند أبطأ نقطة في المنتج الغذائي. وأكثر العلاقات الرياضية المباشرة تم اشتقاقها بواسطة العالم بلانك لحساب زمن التجميد لعديد من الأشكال الهندسية والتي تتمثل في شكل لوح رقيق slab أو أسطوانة cylinder أو كرة sphere وهي كما يلي :

$$\theta_F = \frac{\rho L}{T_F - T_\infty}\left[\frac{P_a}{h} + \frac{R_a^2}{k}\right]$$

حيث :

θ_F = الزمن اللازم للتجميد h

ρ = كثافة المادة الغذائية المراد تجميدها kg/m^3

L = الحرارة الكامنة للتجميد kJ/kg

T_F = درجة حرارة التجميد K

T_∞ = درجة حرارة الجو المحيط بالمادة الغذائية K

h = معامل انتقال الحرارة بالحمل للجو المحيط W/m^2K

k = معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للمادة المجمدة W/m^2K

a = سمك اللوح أو قطر الأسطوانة أو الكرة

P = ثابت

= ½ للوح اللانهائي = ¼ للأسطوانة اللانهائية = 6/1 للكرة

R = ثابت آخر

= 8/1 للوح اللانهائي = 16/1 للأسطوانة اللانهائية = 24/1 للكرة

مثال

جمّد منتج غذائي على شكل كروي في مجرى يمر خلاله هواء سريع. وكانت درجة حرارة المنتج الأولية 10 ْس ودرجة حرارة الهواء البارد 15 ْس . قطر المنتج 7 سم وكثافته 1000 كجم/م^3 . إذا كان معامل انتقال الحرارة للهواء المار 50 وات / م^3ْس ومعامل التوصيل الحراري للمادة المجمدة 1.2 وات / م ْس ودرجة التجميد الأولية – 1.25 ْس والحرارة الكامنة للانصهار 250 كجول /كجم . أحسب مدة التجميد.

الحل:

$$\frac{1000kg/m^3\,250kJ/kg}{-1.25C-(-15C)}\frac{0.07m}{6(50W/m2K)}+\frac{(0.07m)^2}{24(1.2W/mK)}$$

$$= 7.335 \text{ kJ/W}$$

$$= 7335 \text{ s}$$

$$= 2.04 \text{ h}$$

العوامل التي تؤثر على زمن التجميد:

تؤثر العديد من المتغيرات على زمن التجميد وكذلك على تصميم الجهاز المستخدم لتجميد الأغذية . درجة حرارة وسط التجميد هي أحد هذه العوامل حيث أن القيم المنخفضة منها تقلل زمن التجميد بدرجة معنوية. كما أن حجم المنتج يؤثر مباشرة على زمن التجميد. ويعد معامل انتقال الحرارة بالحمل أكثر المؤثرات معنوياً على زمن التجميد ويمكن استخدام هذا العامل للتأثير على زمن التجميد من خلال تصميم الجهاز.

التغيرات في الأغذية المجمدة Changes in frozen foods

عادة ما تحدث تغيرات في الأغذية المجمدة أثناء التخزين وقد يحدث أيضاً بعض الفساد أثناء عملية التجميد أو التسييح . ويعتبر معدل التجميد والتسييح من العوامل المهمة جداً في حالة المنتجات التي تجمّد بكميات كبيرة وذلك لأن التغيرات التي تشمل نمو الكائنات الحية الدقيقة والتغيرات الكيميائية قد تحدث عندما تجمّد كميات كبيرة من المادة أو يتم تسييحها.

أنواع التغيرات التي تحدث في الأغذية المجمدة :

تحدث أنواع مختلفة من التغيرات في الأغذية المجمدة وهي بصورة عامة إما فيزيائية أو فيزيوكميائية أو كيميائية أو إنزيمية أو نتيجة لنمو الكائنات الحية الدقيقة .

يعتبر جفاف السطح desiccation الذي يحدث أثناء تخزين الأغذية المجمدة نوع من التغير الفيزيائي وخاصة عندما لا يكون التغليف مانع للبخار not vapour proof بدرجة كبيرة . ويزداد هذا الجفاف عند الظروف التي يكون فيها الفرق في درجة الحرارة بين وسط التبريد وهواء التجفيف كبيراً . في مثل هذه الحالة تميل الرطوبة للتراكم من الهواء على أسطح التبريد كثلج وتقلل الرطوبة النسبية للهواء في غرف التبريد وتشجع تبخير الرطوبة من الأغذية المجمدة المخزنة.

يسارع تجفيف الأغذية المجمدة في بعض أنواع التغيرات الكيميائية والفيزيوكيميائية فهو يزيد بسرعة التغيرات غير المطلوبة في البروتينات وأيضاً أكسدة الدهون .

وقد تكون الحماية ضد فقدان الرطوبة مع بعض أغلفة الأغذية وظروف التخزين أو كلاهما ، غير جيدة للدرجة التي يحدث فيها فقدان كبير في الوزن قبل الاستهلاك مما يؤدي إلى أن يزن المنتج أقل من وزنه المعلن على البطاقة .

وتعتبر البلورة أيضاً من التغيرات الفيزيائية التي تحدث في بعض الأغذية المجمدة وتؤدي إلى قوام وتركيب عير مرغوب وقد يتطور ما يعرف بالترمل sandiness مع بعض منتجات الألبان خاصة الآيس كريم أو القشدة أو اللبن ، أثناء التخزين المجمد. وفي هذه الحالة ينفصل اللاكتوز كبلورات لا تذوب مرة أخرى عند درجة الحرارة التي يؤكل فيها المنتج. ويمكن تفادي هذا بمعاملة هذه المنتجات باللاكتيز . كما قد تنتج بعض بلورات السكر في بعض الحمضيات المسكرة أثناء التخزين الطويل والبلورات التي تتكون في هذه الحالة لا تذوب مرة أخرى بسرعة بعد التسييح.

يعتبر انفصال المستحلبات و syneresis of gels أثناء التسييح بعد التجميد والتخزين ذو أهمية كبيرة كمصدر لفقدان الجودة في الأغذية المجمدة . وهذه الظاهرة تحدث عندما تجمد بعض الفواكه والخضراوات ذات محتوى البكتين العالي فينهار تركيبها وتنفصل موائع الخلايا عند التسييح. كما تعتبر هذه الظاهرة مشكلة في الأغذية المصنوعة كالصلصات البيضاء white sauces أو الأغذية المحتوية على مرقات غليظة thickened gravies وقد وجد أن بعض النشويات أقل تعرضاً لهذا النوع من التغيرات عندما تستخدم كمغلظات للقوام.

يعتبر تغير طبيعة البروتين protein denaturation وهو الذي يؤدي إلى تكتل أقرب لجزيئات البروتين وتقليل في سعة حبس الماء تغيراً أساسياً يحدث في بعض الأغذية وبعض اللحوم وخاصة بعض الأسماك معرضة لتغيرات البروتين من هذا النوع أثناء التجميد والتخزين مما يؤدي إلى فصل موائع الخلايا أثناء التسييح وإلى صلابة الأنسجة. وسبب تغيرات البروتين من هذا النوع أثناء التخزين المجمد قد يكون نتيجة للتركيز المحلي للأملاح في القشرة مما يؤدي إلى سحب salting out البروتينات

وكما هو متوقع فإن أكسدة المكونات الكيميائية هي أحد التغيرات الأساسية التي تحدث أثناء التجميد والتخزين مما يؤدي إلى تدهور اللون وفقدان النكهة وفي بعض الأحيان نشوء روائح غير مرغوبة. واستخدم أكسدة حمض الأسكوربيك لتحديد التدهور في جودة الأغذية المجمدة لأن هذا التفاعل سهل القياس.

ومن المعروف جيداً أن أكسدة الدهون في الأغذية المجمدة قد يحدث أثناء التخزين والأسماك بصورة خاصة معرضة لهذا النوع من التغيير وقد تتأكسد دهون اللحم وخاصة تلك التي تم طبخها أثناء التخزين المجمد ويتأكسد دهن اللحم الذي تم تمليحه بسرعة عند هذه الظروف. وتؤدي أكسدة الدهن إذا استمرت كثيراً إلى التزنخ. والمكونات التي تؤدي إلى الرائحة في الدهون المتزنخة هي خليط من الكيتونات والدهيدات المشبعة وغير المشبعة.

قد تؤدي أكسدة الدهون إلى تغير اللون في الأغذية خاصة في الأغذية التي تحتوي على صبغات الكاروتينويد carotenoid التي يؤكسد فيها البرروكسيدات peroxides المتكونة في الدهن إلى كاروتينويدات carotenoids مما يؤدي إلى تحرك في قمة الامتصاص نحو الطرف تحت البنفسجي في الطيف. ويؤدي هذا عادة إلى تقليل في اللون الأحمر أو الوردي وتعميق اللون الأصفر وفي بعض الحالات إلى التدمير الكامل للصبغة ويؤدي إلى زوال اللون. وقد تكون هناك بعض الأكسدة للأنسوسينيات anthocyanins وهي المكونات الملونة للفراولة واللبيات وبعض الفواكه الأخرى أثناء

التجميد والتخزين المجمد مما يؤدي إلى تقليل شدة اللون . وقد يحدث غسيل لهذه الصبغات في الشراب الذي تعبأ فيه.

قد يتحول كلوروفيل ا وهو مكون اللون الأساسي في الخضراوات الخضراء إلى فايوفايتين أ pheophytin أثناء التخزين المجمد مما يؤدي إلى تكون لون أخضر مصفر.

قد تؤدي الإنزيمات إلى تغيرات مختلفة في الأغذية أثناء التخزين المجمد ولهذا تعطي الخضراوات التي لم تسلق أو التي سلقت بدرجة غير كافية روائح أثناء التخزين المجمد نتيجة الليبوكسيديز lipoxidase الذي يعمل كعامل مساعد في أكسدة الكميات القليلة من الدهن الموجود.

يكوّن البولي فينول أكسيديز polyphenol oxidase ، في وجود الأكسجين ، الكوينينات quinones من الفينولات. تتبلمر هذه الكوينينات لتكون مركبات داكنة اللون مما يؤدي إلى تغير لون بعض الفواكه والخضراوات. وتؤدي كل من الفينوليزات phenolases والفينولات phenols الموجودة في معظم أنواع التفاح والكمثرى وإذا لم يتم تثبيط هذه الإنزيمات بإضافة ثاني أكسيد الكبريت أو بالتسخين إلى تغير اللون أثناء التخزين المجمد.

يعتمد نمو الكائنات الحية الدقيقة عند درجات حرارة أقل من نقطة تجمد الماء على نشاط الماء للمنتج عند درجة الحرارة المعينة. ويكون نمو الكائنات الحية عند درجات الحرارة التي تتجمد فيها كميات كبيرة من الماء كثلج بطيئاً جداً . ولكن الأغذية بعد التجميد والتخزين ليست خالية من البكتيريا الحية ولهذا فهي معرضة للتلف السريع عند التسييح وعندما تحجز عند درجات حرارة مناسبة لنمو هذه الكائنات.

لا تنمو البكتيريا التي تؤدي إلى تسمم الغذاء تحت ظروف التجميد. وقد وجد أن enterotoxic staphylococci لا تنمو عند درجات حرارة أقل من 10˚ س ولا تنمو السالمونيلا عند درجات حرارة اقل من 4.5˚ س بينما لا تنمو كلورستروديم بوتولينوم نوع أ و ب أو تنتج سم عند درجات حرارة أقل من 10˚ س بينما ينمو النوع هـ E وينتج سم حتى عند 3.3˚ س.

الوحدات الحرارية المتكاملة

التقيم والبسترة

مقدمة الوحدة

اسم الوحدة: التعقيم والبسترة

الجدارة: التعرف على كيفية إجراء عمليتي التعقيم والبسترة على المواد الغذائية والتعرف على الأجهزة المستخدمة لذلك وإدراك ميكانيكية عملها.

الأهداف:

التعرف على أجهزة التعقيم المختلفة وميكانيكية عملها من خلال الرسومات التوضيحية. **1.**

2. التعرف على أجهزة البسترة على دفعات وعلى أجهزة البسترة المستمرة.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل الطالب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 4 ساعات.

الوسائل المساعدة: قاعه دراسية مهيئة لتوزيع المتدربين على شكل مجموعات لتحليل الرسومات الخاصة بأجهزة تعقيم وبسترة المواد الغذائية.

متطلبات الجدارة: أن يكون لدى الطالب المقدرة على استيعاب الرسومات و طرق تعقيم وبسترة المواد الغذائية وفهم الأجهزة المستخدمة لذلك.

أجهزة التعقيم

يمكن أن يتم التصنيع الحراري للغذاء داخل الأوعية بالتسخين غير المباشر بواسطة البخار المشبع أو بالهواء الساخن أو بالالتماس المباشر باللهب . تعقم الأغذية المنخفضة الحموضة عند درجات حرارة أعلى من 100 C عادة (115 -127) هذا يستدعى استخدام معقمات الضغط

يستخدم لتصريف الهواء مصرّف الهواء vent وهو عبارة عن فتحات كبيرة تستخدم للتخلص من الهواء أثناء فترة التصريف . يجب أن تكون الفتحة في الطرف القصوى لنقطة دخول البخار إلى المعقم وألا يبدأ في تسجيل زمن المعاملة إلا إذا تم تصريف المعقم وتم الوصول إلى درجة حرارة المعاملة . كذلك تستخدم النازفات bleeders وهي صنابير صغيرة تستخدم لإزالة أي هواء يدخل إلى المعقم مع البخار وتوفر دوران البخار في المعقم . ويجب أن تكون مفتوحة وتصرف البخار باستمرار أثناء كل فترة المعاملة حتى عند فترة الوصول إلى درجة حرارة التعقيم .

يجب أن يتم التعقيم في البخار ، تحت ضغط ، لتقليل الصدمة الحرارية على الغذاء وللحد من توتر الضغط على الأوعية . يتم جزئياً اتزان الضغط الداخلي في العلب عند التسخين ، عندما يقارب الغذاء درجة حرارة المعقم ، بضغط البخار الذي يحيط بالأوعية . ولكن أثناء مرحلة التسخين يكون الغذاء عند ضغط أقل من ضغط المعقم وتكون الأوعية تحت ضغط ، بينما أثناء التعقيم والتبريد يكون الغذاء عند ضغط أعلى من ضغط المعقم وتكون الأوعية تحد شد . يقل توتر الضغط هذا بالتحكم في معدلات التسخين والتبريد وباستخدام ضغط هواء في المعقم أثناء مرحلة التبريد وهو ما يعرف بتبريد الضغط pressure cooling.

يتم التحكم في الصدمة الحرارية على الأوعية الزجاجية بالتعقيم في الماء . يستخدم ضغط الهواء أثناء التسخين والتبريد لمواجهة توتر الضغط . تستخدم هذه الطريقة أيضاً مع العلب التي لها مساحات كبيرة من السطح المستوى (مثلاً علب اللحم البقري الملح المستطيلة) ومع الأغذية المعبأة في أكياس مرنة .

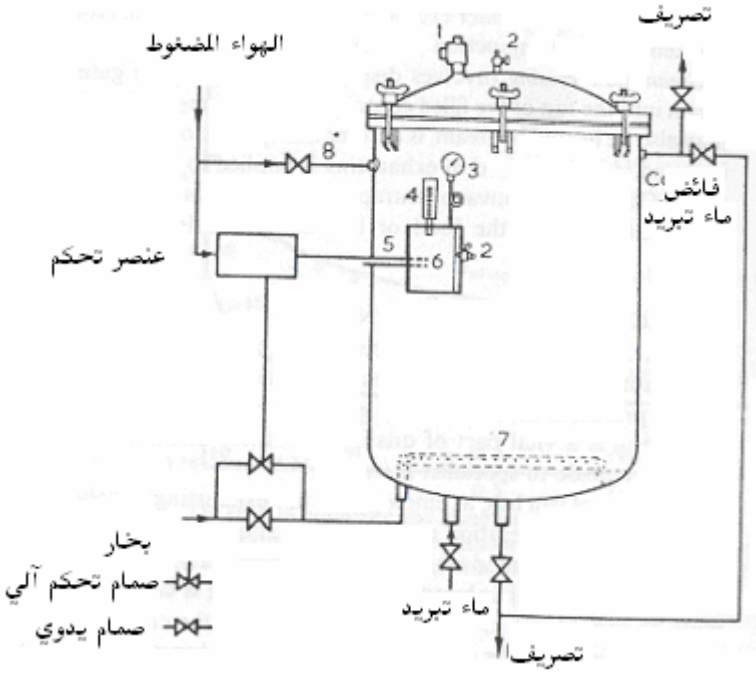
في كثير من العبوات التي تسخن بالتوصيل ، يتم تحريك العبوات لإحداث حركة للغذاء وبهذا يسارع معدل انتقال الحرارة . يمكن إحداث التحريك بأي من الطرق التالية : -

1. دوران العلب حول محاورها الطويلة بدحرجتها عبر مسارات .
2. دوران الطرف - فوق الطرف end over end ، حيث تدار العلب ومحاورها الطويلة مصفوفة كدولاب عجلة .
3. إحداث حركة ترددية أو اهتزازية على الأوعية .

1) أجهزة التعقيم على دفعات:

أ) معقم الدفعات batch retort :

تستخدم معقمات الدفعات غير المحركة بكثرة على الرغم من احتياجاتها العالية للعمالة . يمكنها استيعاب أوعية ذات أحجام مختلفة ومناسبة لأنواع مختلفة من العمليات ولكن استهلاكها من البخار والماء عالي بالمقارنة مع المعقمات المستمرة الحديثة . تحتاج الأنواع الرأسية وذات التعبئة الفوقية (شكل 1.6) إلى مساحة أرضية أقل من المعقمات الأفقية (ذات التعبئة الجانبية) ، ولكن الأخيرة أسهل من ناحية شحنها وتفريغها .



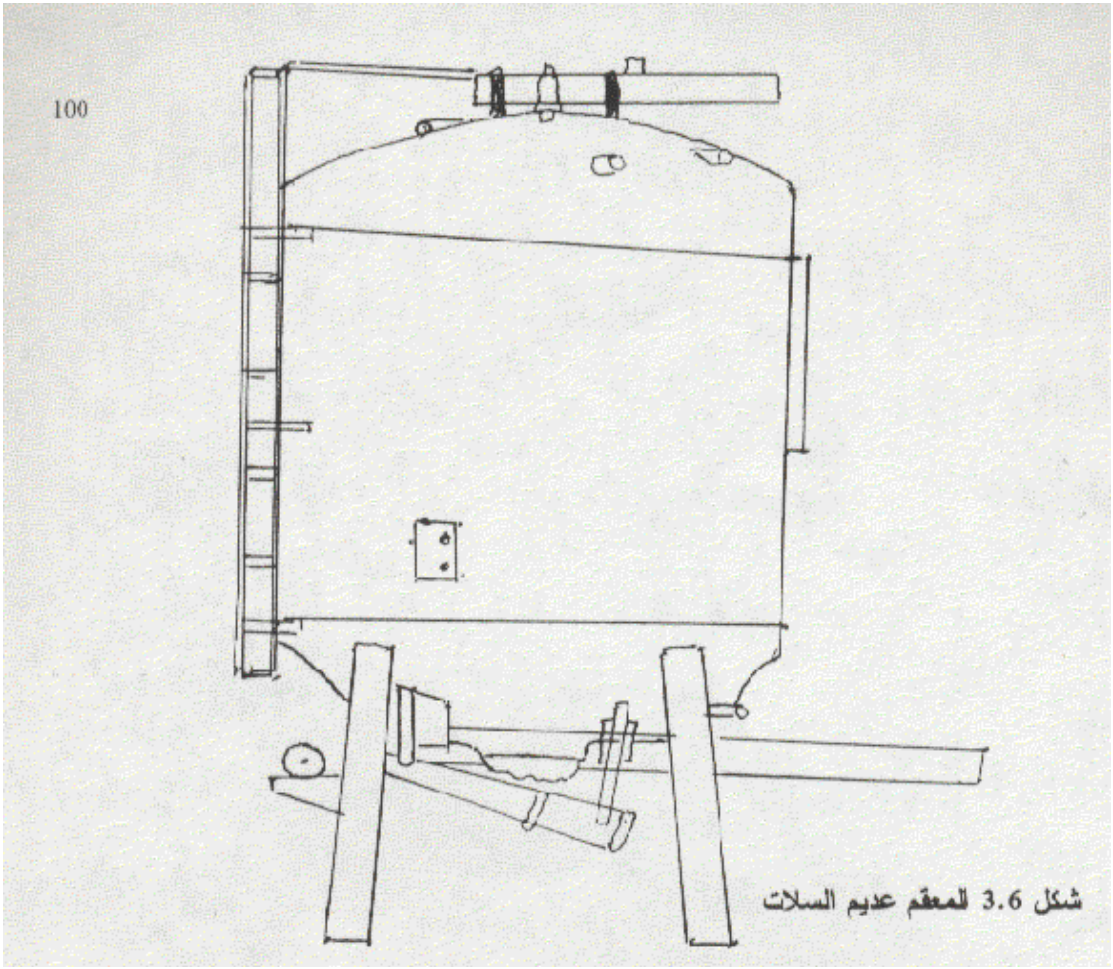
شكل 1.6 المعقم الرأسي الساكن

1. صمام أمان 2. صنابير للمحافظة على نزف الهواء من المعقم أثناء التصنيع 3. مقياس ضغط 4. تيرموميتر 5 . عنصر الإحساس لجهاز التحكم 6. الصندوق الحراري 7. موزع البخار 8. مدخل الهواء المضغوط للتبريد .

ب) المعقم عديم السلات crateless retort

هذه معقمات رأسية آلية أكبر حجماً من معقمات الدفعات ولا تستخدم فيها سلات (شكل 2.6). ارتفاعها حوالي 2.4 متر وقطرها حوالي 1.8 متر وسعتها 4 إلى 5 مرات أكبر من المعقم الرأسي التقليدي . يعبأ المعقم بواسطة ناقل آلي من أعلى بالعدد المحدد من الأوعية ثم يقفل باب الناقل . قبل بداية الملأ يعبأ المعقم إلى القمة بالماء عند درجة الحرارة الابتدائية المطلوبة . يعمل هذا الماء كوسادة للعلب التي تسقط من الفتحة (50 سم) الموجودة في القمة .

عندما يعبأ المعقم بالأوعية يقفل صمام تدفق الماء الزائد (35 سم) . يدخل البخار خلال موزع عند القمة ويجبر الماء إلى الخارج عند القاعدة . يمكن تجميع الماء ، إعادة تسخينه واستخدامه في معقم آخر . ثم يبدأ تصريف المعقم من الهواء والتعقيم .



شكل 2.6 المعقم عديم السلات

عند نهاية المعاملة هناك طريقتين لتفريغ العلب من المعقم . الطريقة الأولى تتطلب أن يكون مستوى الماء أقل قليلاً من الباب السفلي للمعقم . يفتح الباب السفلي ويتم تفريغ العلب في القناة الوسادة

cushion canal . هناك ناقل عند قاعدة القناة يحرك العلب إلى قناة التبريد حيث تبرد إلى درجة الحرارة المطلوبة . عندما يتم تصريف كل العلب من المعقم يقفل الباب السفلي ويملأ المعقم بماء قناة الوسادة الدافئ وتكون الوحدة جاهزة لبدء دورة جديدة .

الطريقة الثانية وهي التي يوصي بها بشدة عند تعقيم علب ذات حجم كبير وهي نظام الغمر أو التفريغ لإخراج العلب . هذه الطريقة تتطلب أن يكون مستوى الماء في قناة الوسادة أعلى من الباب السفلي للمعقم عندما تتم عملية التعقيم يملأ المعقم بماء الوسادة الدافئ . يبقى الباب العلوي مغلقا . عندما يفتح الباب السفلي تطفو العلب برفق إلى قناة الوسادة بينما تسحب كمية مناظرة من الماء الدافئ إلى داخل المعقم من قناة الوسادة نسبة لتأثير التفريغ الناتج . عندما يتم تصريف كل العلب يقفل الباب السفلي وتكون الوحدة جاهزة لدورة جديدة .

يمتاز هذا المعقم بقلة العمالة واقتصاد في البخار لأنه يوجد معدن أقل (لا توجد سلات تحتاج لتسخين) ويمتاز بمرونة المعاملة واستيعاب أحجام مختلفة من العلب .

ج) المعقم الدوار orbitort

وهو معقم نوع الدفعات يعمل عند ضغط بخار 3.50 - 4.15 بار. تشحن العلب وتكون محاورها الطويلة في وضع أفقي بمعدل 45 علبة في الدقيقة عن طريق صمام بابي يعمل بالهواء ، إلى الفراغ البيني بين بكرتين ذات مركز واحد مزودة بمسارات حلزونية . توضع البكرات في أسطوانة ضغط قطرها حوالي 1.5 متر وطولها 8 متر . عندما يكتمل الشحن (حوالي 600 علبة اعتماداً على الحجم) يقفل المعقم آليا وتشبك البكرات مع بعضها البعض لامساك العلب وتدار المجموعة داخل الأسطوانة بسرعة يتم التحكم فيها بحيث تمر فقاعة الفراغ العلوي خلال محتويات العلبة مرة واحدة كل دورة محدثة التحريك . يتم التحكم في الطبخ والتبريد مع الضغط بجهاز برمجة ، بحيث يتم تصريف العلب المبردة خلال صمام بابي يعمل بالهواء عند طرف الخروج أثناء دخول شحنة جديدة عند صمام الدخول . الدورة الكاملة (الشحن والتفريغ) آلية .

هذا الجهاز مصمم لتعقيم منتجات الأغذية اللزجة المعبأة في أحجام علب مؤسسية أي 603 × 600 و 603 × 700 . وهو يصلح لتعقيم مرقة اللحم مع الخضار ، الفاصوليا مع عجينة الطماطم ، المكرونة والجبن ، الشوربات وغيرها .

مزايا هذا الجهاز هو تكاليف تشغيل أقل نتيجة للتداول الجيد للعلب والذي يقلل ضرر العلب ، استخدام أفضل للفراغ وتقليل لزمن التعقيم يصل إلى 80٪ من زمن المعقم الساكن . يؤدى التحريك إلى

تعقيم متناسق خلال العلب . ولهذا يمكن تفادى كرملة واحتراق المنتجات القشدية الذي يحدث في المعقمات الساكنة . أيضاً هناك تقليل في تكاليف العمالة لأنه يتوفر تحكم آلي للعملية .

2)أجهزة التعقيم تحت ضغط المستمرة: continuous pressure sterilizers

يمكن أن يتم التعقيم المستمر تحت ضغط (باستخدام البخار) أو عند الضغط الجوى (باستخدام الهواء الساخن أو بالتسخين المباشر باللهب) . تستخدم هذه الطريقة الأخيرة فقط مع العلب الصغيرة التي تتحمل الضغط العالي الناتج .

الأنواع الرئيسية لمعقمات الضغط المستمرة هي : -

1.طباخ - مبرد الضغط المستمر

2.المعقم الدوار المستمر .

3.المعقم الهيدروستاتي .

4.طباخ - مبرد hydrolock

أ) طباخ مبرد الضغط المستمر the continuous pressure cooker-cooler

وهو معقم لا يحتوى على تحريك . تحمل الأوعية على مسار بكرات أو ناقل سيور خلال أقسام التسخين ، التعقيم والتبريد . يتم الانتقال بين هذه الأقسام وهي عند ضغوط مختلفة بواسطة محابس ضغط .

ب) المعقم الدوار المستمر continuous rotary sterilizer

تنقل العبوات في مسار لولبي مثبت في الجدران الداخلية لكل من ثلاث أسطوانات . تقوم حافات ناتئة ، مثبتة على محيط برميل فارغ يدور ببطء ، بنقل الأوعية حول وعبر كل أسطوانة . تقوم محابس الضغط بالنقل إلى داخل وخارج الماكينة وبين الأقسام الثلاثة . يتم التحريك باشتراك فعل الدحرجة والتزحلق عندما تنتقل الأوعية حول اللولب .

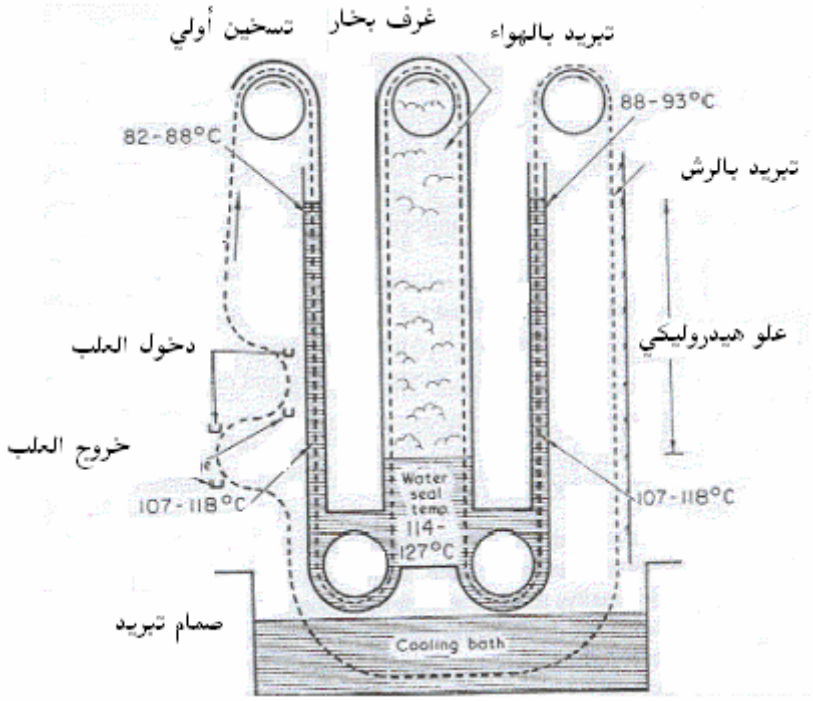
المعقمات المستمرة من هذا النوع لها سعة جيدة (حتى 500 علبة في الدقيقة) وتعطي تناسق ممتاز في المعاملة ، إذا تم التحكم في لزوجة الناتج والفراغ أعلى العلبة . من العيوب أن هناك عدد كبير من العلب تكون داخل الجهاز في أي لحظة ولهذا فان أي توقف ، مثل ذلك الذي يحدث عند محابس الانتقال ، يكون خطيراً . أيضاً توتر الضغط والصدمة الحرارية ، خاصة عند محاولة الانتقال ، قد يكون كبيراً في هذه المعقمات .

ج) المعقم الهيدروستاتي hydrostatic sterilizer

تعرف طريقة التعقيم هذه بالتعقيم الهيدروستاتي لأن ضغط البخار في هذه الوحدات يتم المحافظة عليه بواسطة ضغط الماء . يتكون الجهاز أساساً من أربعة غرف وهي طرف هيدروستاتي لرفع درجة الحرارة ، غرفة تعقيم ، طرف هيدروستاتي لخفض درجة الحرارة ونظام تبريد (شكل 3.6). تنقل الأوعية في المعقم الهيدروستاتي خلال برج البخار الذي يتم إحداث الضغط فيه بواسطة أعمدة ماء . يتكون الناقل من زوجي سيور يتحركان ببطء (حوالي مترين في الدقيقة) مثبته عليه ناقلات عرضية ذات أنواع مختلفة . تنتقل الأوعية عادة ومحورها الطويلة أفقياً وبهذا تساعد في انتقال الحرارة بالحمل داخل العلب . على الرغم من أن المعقم الهيدروستاتى أساساً ، غير محرك ، فيمكن إحداث درجة من التحريك كالآتي : -

1. تنقل العلب في حاملات مزودة بتروس تتشابك مع سير منفصل يجرى موازياً لسيور النقل الرئيسية. هذا يجعل الحاملات تدور وتحدث حركة طرف - فوق - الطرف أو حركة محورية للعلب اعتماداً على وضع العلب في الحاملات .
2. اهتزاز ميكانيكي للسيور التي تحمل العلب .
3. مغنطيسات دائمة موضوعة على طول مسارات الأنبوب الناقل ، تجعل الأنابيب تدور عندما تلتصق بالمسارات لأناء النقل .

تشمل الإضافات الأخرى مجففات العلب وتوفير ضغط هواء عالي للحصول على تصنيع فعال للأغذية المعبأة في أكياس بلاستيكية وأوعية زجاجية .



شكل 3.6 المعقم الهايدروستاتي

يعزى الاستخدام المتزايد لهذا النوع من المعقمات ، منذ إدخالها إلى أوربا في عام 1936 إلى مزاياه العديدة وهى كالآتي : -

1. تقليله للصدمة الحرارية ولصدمة الضغط على الغذاء والوعاء
2. ملاءمته لكل أنواع الأوعية القابلة للتعقيم
3. سهولة التحكم فيه آلياً بدرجة كبيرة
4. استخدامه الكفء للبخار والماء .يصل التخفيض إلى 50٪بخار و70٪ماء مقارنة مع أجهزة التعقيم على دفعات .
5. مقدرته على التناسق والتحكم الممتازين في التصنيع .
6. يمكن الاعتماد عليه ميكانيكياً .
7. استخدامه الاقتصادي لمساحة الأرض (حوالي 40 متر مربع لحوالي 1000 علبة في الدقيقة) .

على الرغم من أن ارتفاع 20 متر ضروري إلا أن القسم السفلى فقط ، حيث يتم الشحن والتفريغ ، يحتاج إلى حماية .

8. مرونته النسبية لأحجام العلب المختلفة .
9. توفره في مدى سعات واسع (في المدى 60 -1000 علبة في الدقيقة) .

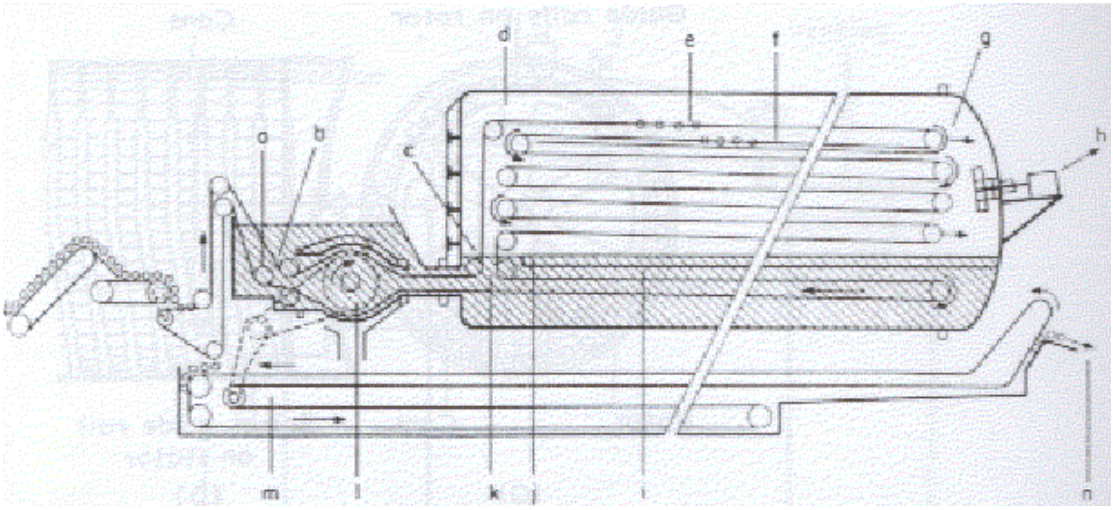
رأس المال المستثمر في هذه المعقمات ، بجانب الأجهزة المساعدة لها مثل أجهزة التلقيم ، وترس التحكم ، كبيراً جداً . هذا بالإضافة إلى أنه توجد كمية كبيرة داخل الجهاز في أي وقت . لهذه الأسباب فإن المعقم الهيدروستاتي له تطبيق خاص في المصانع الكبيرة التي تصنع لفترات تشغيل طويلة مواد تحتاج لمعاملات حرارية متشابهة .

د) معقم hydrolock المستمر :

وهو معقم مستمر يستخدم للتعقيم السريع ولفترة قصيرة لمدى كبير من أحجام وأشكال الأوعية . هذا الجهاز قادر على معاملة العلب ، الأوعية الزجاجية والمواد البلاستيكية شبه الصلبة والأكياس . وهو أيضاً قادر على معاملة الأوعية المعدنية والبلاستيكية ذات الأغطية المغلقة بالحرارة .

يتكون هذا الجهاز من وعاء ضغط أسطواني أفقي تنقل داخله مجموعات من العلب أو مرطمانات الزجاج ، الموضوعة في حاملات تحركها السيور ، خلال صمام دوران . هذا الصمام مسدود جزئياً ميكانيكياً وجزئياً بالماء الذي يغطس داخله (شكل 4.6). تسخن الأوعية أولياً أثناء مرورها خلال الصمام ثم ترتقى أعلى أسطوانة الضغط حيث يتم نقلها أفقياً ، إلى الأمام وإلى الخلف ، تحت ضغط في بخار مشبع لفترة التعقيم المطلوبة . تبرد العلب بعد ذلك أولاً أثناء مرورها خلال فتحة في الفاصل العازل الأجوف إلى طبقة ماء في قاع المعقم . يتم إفراغ العلب بعد التبريد الأولي بواسطة الصمام الدوار إلى التبريد الجوى النهائي ثم تخرج . يتم الدوران المحوري للعلب بدحرجتها على طول مسارات موضوعة أسفل الناقلات . أو يمكن فك هذه المسارات لاعطاء تعقيم بدون تحريك . يمكن استخدام درجات تعقيم تصل حتى 143 C (تسمح بزمن تصنيع قصير) ويمكن استخدام المعقم مع ضغط عالي للهواء لمعاملة الزجاج أو الأوعية البلاستيكية . في هذه الحالة تستخدم مروحة ، مركبة في أسطوانة الضغط ، لتشجيع الخلط التام للبخار والهواء لمعادلة ، جزئياً ، الخصائص الحرارية الفقيرة للهواء .

مزايا هذا الجهاز هي الاستخدام الاقتصادي للبخار ، الماء ، العمالة ، والمساحة . عيوبه ، أن توتر الضغط عند الصمام الدوار أثناء الشحن والتفريغ يكون عالياً .



شكل 4.6 معقم Hydrolock المستمر

أ) سداد الماء ب) السير الناقل ج) مستوى ماء التعقيم .د) فراغ البخار هـ) العلب في الحاملات و) مسار العلب . ز) مغير الاتجاه ك) مروحة ضغط البخار والهواء ل) الفاصل العازل الذي يفصل بين فراغ البخار وفراغ الماء م) ماء قبل التبريد ن) فتحة الانتقال س) الصمام الدوار المسدود الماء .ع) تبريد الهواء ف) تصريف .

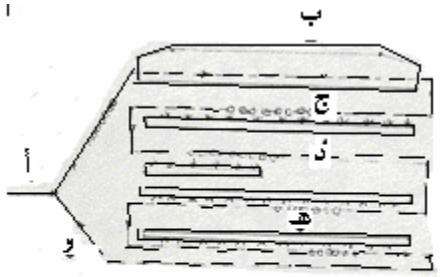
3) معقمات الضغط الجوى المستمرة: continuous atmospheric-pressure sterilizers

أ) معقم الهواء الساخن Ekelund

أستخدم هذا المعقم بنجاح في السويد لتعقيم الحليب المعلب . يسخن الحليب أولاً ثم يملأ في علب معقمة . تقفل العلب ثم تنقل إلى أعلى غرفة هواء ساخن حيث تتدحرج إلى أسفل على مسارات (9 مسارات عند 10 متر لكل) . تسخن الغرفة بالحمل الإجباري بواسطة الهواء عند 145 C وعند معدل تدفق 10 متر في الثانية . زمن التعقيم حوالي 15 دقيقة تبرد بعدها العلب بالماء . سعة المعقم 3200 علبة في الساعة . توتر الضغط كبير ويبدو أن العملية محدودة للعلب الصغيرة لهذا السبب . تم تسجيل تجارب ناجحة على تعليب الفواكه والخضراوات باستخدام هذه الطريقة .

ب) التعقيم باللهب steriflame process

وهي معاملة عالية درجة الحرارة وقصيرة الزمن حيث تسخن العلب الغذائية أولاً في البخار بعد قفلها تحت تفريغ عالي ثم تسخن أكثر بواسطة الالتماس المباشر مع اللهب أثناء دورانها بسرعة. تبرد العلب بواسطة رشاشات ماء بعد حجزها للفترة اللازمة لتحقيق التعقيم . التفريغ العالي عامل هام لمنع تشوه قفل العلب . تناسب هذه العملية الأغذية التي تسخن بالحمل مثل البسلة ، الفاصولياء الخضراء ، الجزر ، الفواكه ، والطماطم وغيرها . يتكون الجهاز أساساً من ثلاثة قطاعات (شكل 5.6) . الأول سخان بخار ابتدائي حيث تسخن العلب إلى حوالي 100 C في القطاع الثاني تتدحرج العلب خلال سلسلة من لهب عند حوالي 1100 C ينتج من مواقد غاز مصممة خصيصاً . تزيد حركة دوران العلب من معدل انتقال الحرارة إلى الغذاء . ثم تمر العلب خلال قطاع حجز مسخن على فترات متقطعة بموقد لفترة 4.5 دقيقة. يلي ذلك تبريد بالرش .



أ دخول العلب ب سخان بخار ج لهب غاز د قطاع حجز
هـ رشاش ماء و خروج العلب

شكل 5.6 معقم اللهب

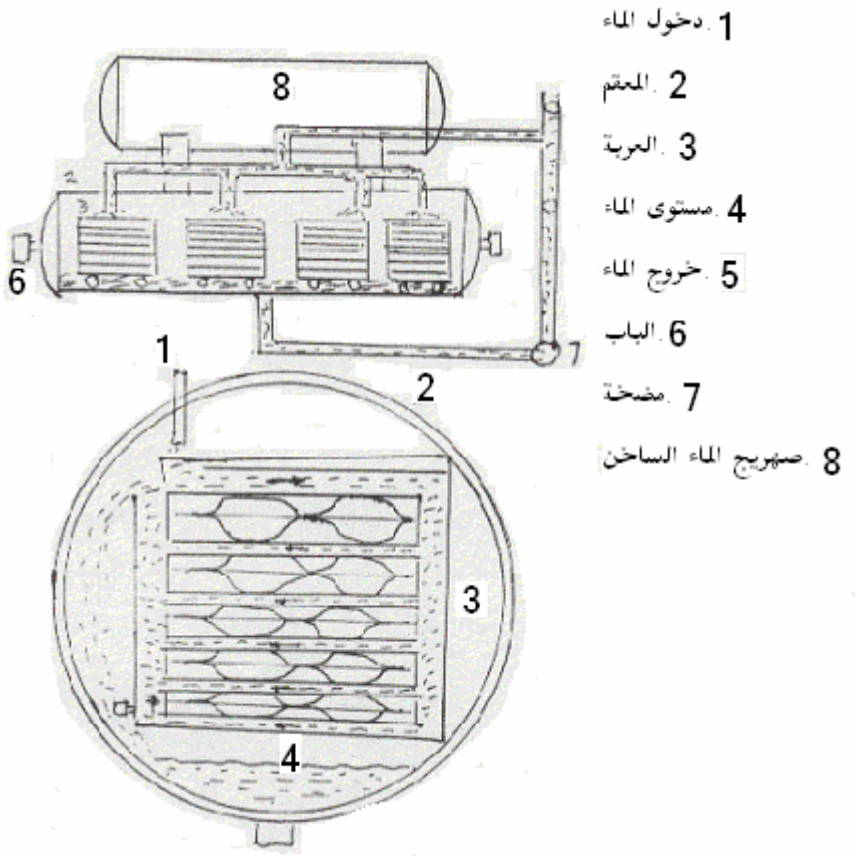
الزمن الكلي خلال الجهاز أقل من ذلك في التعقيم على دفعات . يحتاج عادة لحوالي دقيقتين لرفع درجة حرارة العلب ومحتوياتها إلى درجة حرارة تعقيم حوالي 215 C . نسبة للمعدل العالي لانتقال الحرارة من الضروري إعطاء عناية خاصة إلى درجة الحرارة الابتدائية لأن فرق درجة حرارة 1 C في درجة الحرارة الابتدائية سينعكس في إعطاء تعقيم مختلف كثيراً .

ظاهرة مهمة في هذه العملية وهي أنه نسبة للمعدل العالي لنفاذ الحرارة فإن منحنى معدل انتقال الحرارة إلى المنتج يكون خطاً مستقيماً على ورقة رسم بياني عادية ولهذا يمكن تأسيس طريقة بيانية لتحديد قيمة القتل لطور المعاملة الذي يحدث عند اللهب المفتوح حالاً. أحد العوامل التي تحد من استعمالها هو الضغط العالي داخل العلب الذي لا يوازن أثناء التعقيم بحيث يمكن أن يضعف قفل العلب مما قد يؤدى إلى خطر إعادة التلوث . تشمل التعديلات في الأجهزة الحديثة تحريك محسن باستخدام حركة "القضيب المكوك" للعلب وتذبذب دورة التسخين للسماح باتزان درجة الحرارة داخل العلبة .

فكرة تشغيل المعقم غير معقدة والمعاملة السريعة ذات درجة الحرارة العالية تعطي نواتج ذات جودة عالية وتوجد مشاكل في قياس درجة حرارة العلب وفي غياب اتزان الضغط ، هذا يحد استخدام هذه الطريقة للعلب الصغيرة .

4) **التعقيم الحراري لأكياس التعقيم sterilization of retort pouch** يمكن تعقيم الأكياس في معقمات مستمرة أو على دفعات . يمكن أن يكون وسط التسخين بخاراً مشبعاً أو خليط بخار وهواء أو ماء مع تبريد بضغط الهواء . تستخدم أجهزة عديدة لتعقيم الأكياس مثل معقم ال hydrolock المستمر والمعقم الهيدروستاتي ومعقم الأغذية الجاهزة convenience foods sterilizer . هذه الأجهزة تم شرحها من قبل والأخير (شكل 6.6) يتم شرحه فيما يلي : -

يتدفق الماء بين طبقات الأوعية إلى الجانب الآخر من العربة ثم ينتقل رأسياً خارج العربة عبر السد . 90٪ من الماء المتدفق يكون في قناة الماء و 10 ٪ في المساحة التي تحتلها الأوعية . وهي بهذا تشبه المبادل الحراري نوع اللوح . نسبة لمعدل تدفق الماء العالي يكون تدفق الماء اضطرابي وهو أحد الأسباب لمعدلات النفاذ الحراري العالية . ميزة أخرى لهذا الجهاز هو أن العربة فقط تملأ بالماء وليس كل المعقم . تحصر الأكياس بين لوحين بحيث يكون سمكها الأقصى ثابت . يجب تأسيس المعاملة الحرارية على أساس سمك الكيس . تم اختيار خليط الماء مع الهواء المضغوط عند التبريد كوسط تصنيع لأن له معامل انتقال حرارة عالي وسهل التحكم من خليط البخار والهواء . عند نهاية المعاملة يدخل الماء البارد ويرجع الماء الساخن إلى صهريج تخزين الماء الساخن .



شكل 6.6 معقم الأكياس المرنة

نسبة لسمك الأكياس الصغير فهي تنقل الحرارة أسرع إلى أبطأ نقطة تسخين . يسمح هذا الجهاز لأن تصل الكمية اللازمة من الحرارة للتعقيم إلى أبطأ نقطة تسخين مع أقل إفراط في طبخ المنتج قرب جدار الوعاء . إذن بالنسبة للمنتجات الغذائية التي تتعرض لفقدان الجودة نتيجة لإفراط التسخين أثناء الحفظ تعطي الأكياس جودة عالية مع حفظ أفضل للمكونات الغذائية الحساسة للحرارة .

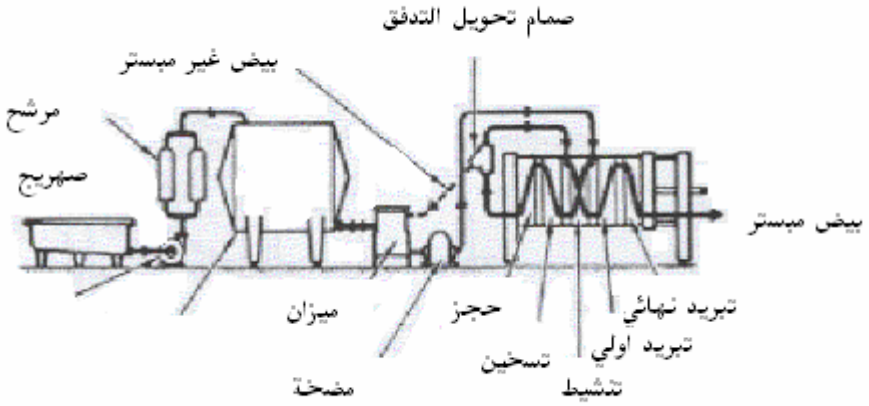
البسترة

1) البسترة على دفعات :

يمكن بسترة الأغذية السائلة مثل اللبن وعصائر الفاكهة في عبوات مفردة في أوعية مدثرة وبها خلاطات ومصنوعة من الصلب الذي لا يصدأ . يمكن أن يستخدم الدثار لكل من التسخين (باستخدام البخار أو الماء الساخن) والتبريد (باستخدام الماء أو المحلول الملحي المبردان) . كثيراً ما يمرر الغذاء المبستر خلال مبرد منفرد نسبة لأنه يوصي بالتبريد السريع للحد من نمو الكائنات المحبة للحرارة . يمكن بسترة الأغذية المقفولة في أوعية في حمام ماء أو بخار يتبعها تبريد بنفث الماء .

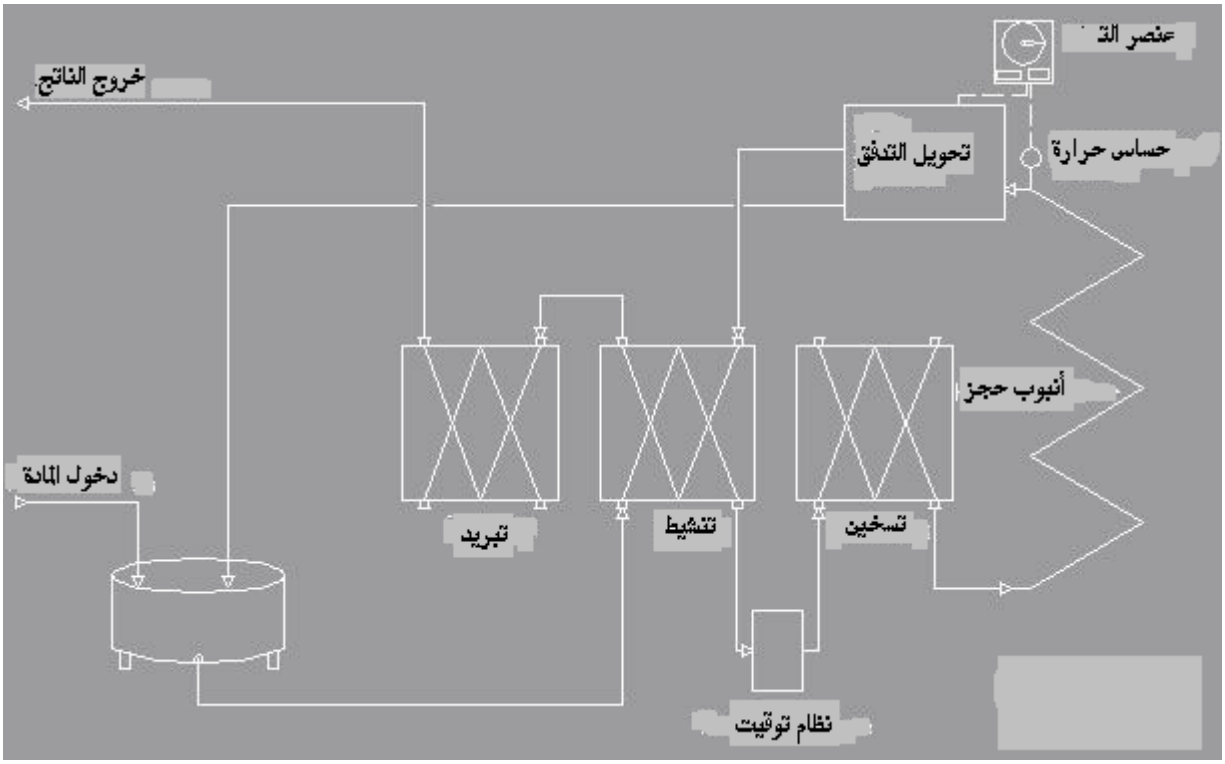
2) البسترة المستمرة :

يمكن بسترة الأغذية السائلة بتمريرها خلال مبادلات اللوح الحرارية والتي تتكون عادة من أربعة مراحل : التسخين الأولي أو التنشيط regeneration ، التسخين ، الحجز ثم التبريد (الشكل 7.6) . تتوفر أجهزة البسترة من هذا النوع بسعات تصل حتى 35000 لتر في الساعة . قد تشمل الأجهزة المساعدة مزيلات الرائحة نوع الوميض - التفريغ للقشدة ومزيلات الهواء لعصائر الفاكهة.



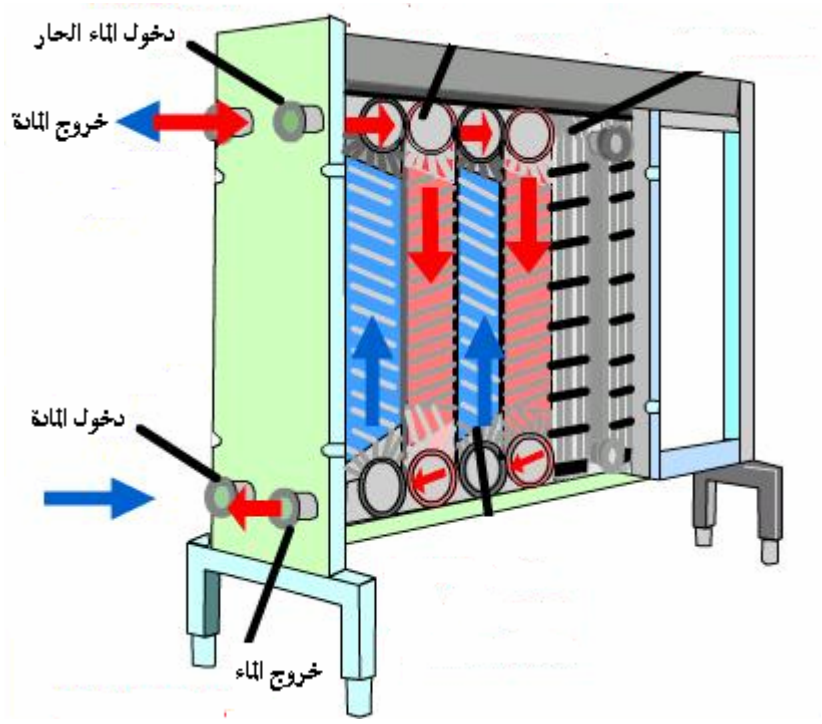
شكل 7.6 جهاز للبسترة المستمرة

يوفر جهاز البسترة المستمر للحليب عند درجة حرارة عالية ولفترة قصيرة (HTST) معاملة عند درجة حرارة ليس أقل من 72 C لخمسة عشر ثانية دون أن يضعف جودة المنتج . الأجهزة المستخدمة على الترتيب العادي هي صهريج بعوامة ، تسخين أولى للحليب البارد الداخل ، تنشيط للحليب الدافئ الخارج ، مضخة توقيت ، جهاز مجانسة ، سخان ، جهاز حجز (holder) ، صمام تحويل التدفق (FDV) ، تنشيط (جانب الحليب المبستر) ومبرد . هناك طرق عديدة لتجميع هذه الوحدات(شكل 8.6). .



شكل 8.6 دائرة لمنظوم HTST

يستخدم عادة المبادل الحراري نوع الألواح plate heat exchanger لوحدات HTST خاصة لدرجات الحرارة الأقل من نقطة الغليان . وهو صغير ومبسط ويسهل تنظيفه وفحصه . يمكن أن تستخدم الألواح للتسخين ، التبريد ، التنشيط والحجز (شكل 9.6) . الألواح مرقمة ويجب تجميعها بصورة صحيحة .



شكل 9.6 المبادل الحراري نوع الألواح

بالنسبة للتسخين تكون درجة حرارة الماء الساخن الداخل حوالي 1 - 1.5 C أعلى من درجة الحرارة التي يسخن اليها المنتج لتفادى احتراق المنتج . يجب أن يكون هناك تصريف للهواء عند بدء التشغيل .

تعرف إعادة استخدام الحرارة المضافة للتسخين بالتنشيط الحراري . وهو اقتصادي بصورة خاصة لأجهزة البسترة . في بعض أجهزة التسخين الحراري يسخن المنتج البارد الداخل جزئياً بالمنتج الخارج الساخن وبهذا يحتاج المنتج الداخل حرارة إضافية أقل لرفع درجة حرارته ويحتاج المنتج الخارج لتبريد أقل لخفض درجة حرارته . كلما زاد إعادة استخدام الحرارة كلما زادت كفاءة التسخين والتبريد . يجب التأكد في هذه الوحدات من عدم إمكانية تلوث المنتج . هذا يتم بواسطة : -

1. أن يكون المنتج المبستر عند ضغط أعلى من المنتج الخام حتى لا يحدث تلوث في حالة التسرب .
2. أن يحمى المنتج المبستر من التلوث بالمصادر الأخرى .

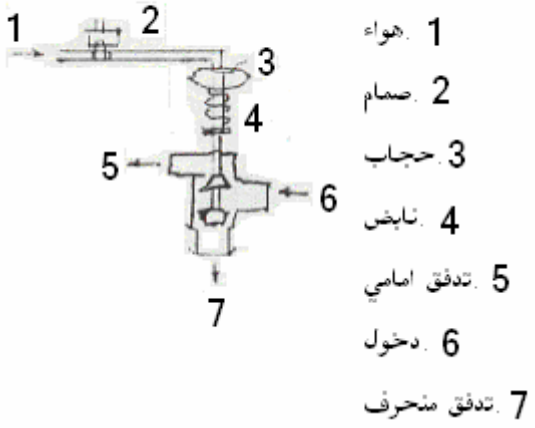
عند استخدام حليب عند 4.5 C المراد بسترته عند 73.9 C ثم تبريده إلى 4.5 C يتم الحصول على درجات الحرارة التالية بالنسبة لتنشيط 80٪ : -

درجة الحرارة عند التنشيط = 4.5 +(73.9 -4.5)0.8= 60 C . في قسم التسخين يتم رفع درجة الحرارة من 60 C إلى 73.9 C . في الجانب الآخر للمبادل الحراري (قسم التبريد) يبرد الحليب من 73.9 Cإلى 65 C و يتم التبريد الباقي بواسطة التنشيط .

هذا النوع من التنشيط الحراري هو من نوع milk-to-milk و يمكن استخدام نوع آخر من التنشيط الحراري وهو milk-to-water-to-milk وهو غير شائع .

يجب أن يحجز المنتج في جهاز الحجز لزمن محدود ليس أقل من 15 ثانية إذا سخن إلى 71.7 C أو أكثر . يحسب هذا الزمن بواسطة معدل التدفق في مضخة توقيت . تحدد درجة الحرارة عند نقطة الخروج من قسم الحجز . يتحرك المنتج إلى صمام تغيير التدفق فإذا وصل إلى درجة الحرارة المطلوبة يمر إلى قسم التنشيط . يجب أن يكون ميل الأنبوب أو الماسورة المكونة لقسم التدفق إلى أعلى في اتجاه الحليب حتى لا يحتبس الهواء .

عادة تستخدم مضخة موجبة كجهاز توقيت وهي توضع بحيث يسخن الحليب في قسم التنشيط أولا ثم يمر إلى المضخة ثم إلى قسم التسخين في حالة نظام milk-to-milk .قد تستخدم مضخة موجبة دوارة أو جهاز التجنيس كمضخة توقيت . تستخدم بعض أنظمة الحرارة العالية مضخة الطرد المركزي لتحريك المنتج خلال المبادل الحراري نوع اللوح . وعادة تستخدم مضخة طرد مركزي (booster) لتقليل الشفط (زيادة الضغط) في جانب الدخول إلى مضخة التوقيت إذا كانت مضخة موجبة أو جهاز تجينس . يقوم صمام تحويل التدفق (شكل 10.6) بتوجيه المنتج خلال الوحدة إذا تمت بسترته أو يغير اتجاه التدفق حيث يمر خلال المنظوم مرة أخرى إذا لم تتم بسترته . ويتم التحكم فيه بواسطة مسجل الحد الحراري الآمن safety-thermal-limit-recorder .



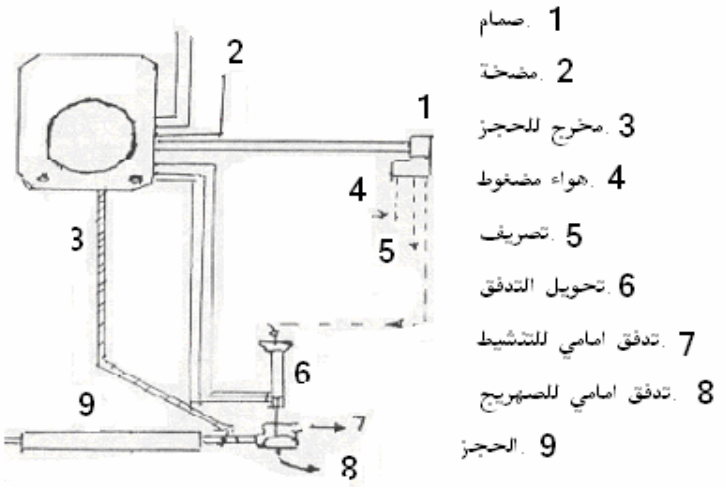
شكل 10.6 صمام تحول التدفق FDV

إذا كان هناك انقطاع في الإمداد الكهربائي ، الهواء أو التحكم يتم تحويل التدفق مرة أخرى إلى صهريج العوامة .

جهاز التحكم والتسجيل للحد الحراري الآمن :

safety-thermal-limit recorder-controller

وهو الجهاز المسئول على التحكم في أنظمة الحرارة العالية ولزمن قصير . وهو يتكون من عنصر نوع أنبوب بوردون لنقل ضغط البخار أو السائل في الأنبوب الشعري المتصل بعنصر الإحساس بدرجة الحرارة (شكل 11.6) . يقوم قلم بتسجيل درجة الحرارة على الخريطة . وهو يقوم بالتحكم في صمام تحويل التدفق على حسب درجة الحرارة التي يحسها عند الخروج من قسم الحجز . تنتقل إشارة كهربائية إلى صمام لولبي يتحكم في إمداد الهواء المضغوط إلى محرك الحجاب الذي يتحكم في تدفق الحليب . هذا الجهاز يشير بلون أخضر إلى تدفق أمامي للحليب وإلى التحول بواسطة صمام تحويل التدفق بلون أحمر .



شكل 11.6 جهاز التحكم والتسجيل للحد الحراري الآمن

.

تتم البسترة المستمرة ، دون تحريك الأغذية في الأوعية بنقلها خلال معقم - مبرد يعمل عند الضغط الجوى . يمكن أن تسخن الأوعية بغمرها في الماء الساخن أو برشها بالماء الساخن، أو بتعريضها للبخار عند الضغط الجوى . يستخدم المعقم الهيدروستاتي للبسترة المستمرة للأغذية في الأوعية ويستخدم المعقم الدوار الذي يعمل عند الضغط الجوى للبسترة المستمرة للأغذية المعلبة مع التحريك . وهو له تصميم مشابه لمعقم الضغط ولكن ذو تركيب مبسط وذلك لأن الضغط غير ضروري .

يجد التسخين بالموجات الدقيقة بعض الاستخدام كطريقة بسترة مستمرة للأغذية المغلفة مثل الخبز والكعك .

الوحدات الحرارية المتكاملة

تشعيع وتحميص الأغذية

مقدمة الوحدة

اسم الوحدة: تشعيع وتحميص الأغذية.

الجدارة: التعرف على كيفية إجراء عمليتي تشعيع وتحميص الأغذية.

الأهداف:

التعرف على جرعات تشعيع الأغذية المصرح بها. **1.**

2. التعرف على مصادر التشعيع المختلفة.

3. التعرف على إجراءات السلامة ضد الإشعاع.

4. التعرف على ميكانيكية التحميص والأجهزة المستخدمة.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل الطالب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 4 ساعات.

الوسائل المساعدة: قاعه دراسية مهيأة لتوزيع المتدربين على شكل مجموعات لتحليل الرسومات الخاصة بأجهزة التشعيع والتحميص .

متطلبات الجدارة: أن يكون لدى الطالب المقدرة على تحديد المجموعات المصرح بها للأغذية المختلفة وعلى مصادر التشعيع التي يمكن استخدامها وكذلك على ميكانيكية التحميص والأجهزة المستخدمة.

أولاً : تشعيع الأغذية
Food irradiation

تاريخ تشعيع الأغذية :

في عام 1895م اكتشف رونتجن Roentgen أشعة أكس (X) وفي عام 1896م اكتشف بكوريل Becquerel النشاط الإشعاعي Radioactivity . وفي نفس العام تم نشر ورقة بحثية حول تأثير أشعة رونتجن على البكتيريا واحتمالية استخدامها لهذا الغرض.

في عام 1916م تم البحث حول استخدام التشعيع في الفراولة.

في عام 1930م سجلت براءة اختراع حول حفظ الأغذية بالتشعيع في فرنسا.

في الأربعينات من القرن العشرين تم تطوير مصادر تشعيع ذات طاقة وكثافة عالية مما جعل حفظ الأغذية بالتشعيع ممكناً من الناحية الصناعية.

إن عملية الموافقة على عملية حفظ جديدة أصبحت من الصعوبة بمكان اليوم مقارنة بالماضي وذلك للتشريعات التي تحكم صناعة الغذاء في عصرنا الحاضر. وتطالب الحكومات والوكالات والهيئات التشريعية باختبارات واسعة قبل الموافقة على تشعيع أي منتج غذائي. ولهذا كانت بداية التشعيع التجاري للأغذية بطيئة مقارنة مع تشعيع الأدوات الطبية (اللفافات الطبية ، القفازات ، إبر الحقن وغيرها) . وقد وجد في عام 1987م أن 85٪ من التشعيع المستخدم عالمياً يستخدم مع الأدوات الطبية و5٪ فقط مع الغذاء . ومن بين 150 مصنع أشعة جاما التي تعمل في ذلك التاريخ يوجد 24 مصنع في 11 دولة تقوم بتشعيع الغذاء.

الآن يتطلب التشعيع التجاري لأي مادة غذائية الموافقة الدولية والقبول العام بواسطة المستهلك. وبالنسبة للنقطة الأولى حدث بعض التقدم . ففي عام 1979م بعد دراسات موسعة بواسطة لجنة الخبراء المشتركة لكل من FAO/IAEA/Who أوصت لجنة دستور الأغذية التابعة لـ FAO/WHO بمواصفات دولية عامة للأغذية المشعة وصادقت على عدد من عمليات التشعيع وبعدها اعتبرت هذه اللجنة أن تشعيع الأغذية بواسطة الإلكترونات حتى MeV10 أو أشعة أكس أو جاما حتى MeV5 بمتوسط جرعة يعادل kGy10 في الحالتين ليس له أي خطر سام أو أي مشكلة ميكروبية أو تغذوية.

وبالنسبة للنقطة الثانية (قبول المستهلك) فقد أثبتت دراسات تمت في أواخر الثمانينات من القرن العشرين مستوى منخفض من تفهم المستهلك ومستوى عالي من تخوفه حيال تشعيع الأغذية ولهذا تم اقتراح وضع بطاقات تشير إلى الأغذية المشعة.

تعطي كل الأغذية قدراً من الإشعاع ناتج أساساً من وجود أيونات طبيعية مشعة مثل K^{40} , C^{14} , H^3 .ويعتمد مدى الإشعاع الموجود في أي نبات أو أي غذاء مشتق من النبات على الأيونات الطبيعية المشعة الموجودة في التربة التي ينمو فيها النبات. ولكن زادت نواتج الاختبارات على الأسلحة النووية ونواتج حوادث المحطات النووية من الوجود الطبيعي للإشعاع.

تسمى وحدة قياس الإشعاع بكوريل Bq (وهي طبيعياً في اللحم تعادل 100 Bq/kg) والحد الأقصى الذي حددته السوق الأوربية المشتركة لكل الأغذية ما عدا الحليب هو 600 Bq/kg وفي أغذية الأطفال يعادل 370 Bq/kg.

طاقة التشعيع:

لتقليل حدوث الإشعاع تم حصر عمليات تشعيع الأغذية في تلك العمليات التي تستخدم الموجات الكهرومغنطيسية (أشعة أكس وأشعة جاما) ذات ذبذبة محدودة وتيارات الإلكترونات (أشعة الكاثود وأشعة بيتا) ذات طاقة محددة. تصبح الموجات الكهرومغنطيسية ذات الذبذبة العالية والإلكترونات ذات الطاقة العالية والأشعة ذات الجسيمات الذرية الثقيلة (مثل النيترونات) قادرة على إحداث تحولات نووية في ذرات الأغذية التي تتعرض لها مما يجعلها مشعة.

تقاس طاقة الإلكترونات بالإلكترون فولت .

$$1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$$

تأثير التشعيع :

نسبة لأن معظم الأغذية لها محتوى عالي من الماء فإن تفاعل الإشعاع مع الماء هو الذي يؤدي إلى نشاط كيميائي له تأثيرات هامة في تقنية الغذاء . قد تكون بعض هذه التأثيرات مفيدة لحفظ الأغذية (مثل منع بعض التأثرات التي تؤدي لتدهور الغذاء أو تدمير الكائنات والحشرات أو تعطيل نظام التكاثر فيها .

وفي نفس الوقت قد تحدث تغيرات غير مرغوبة مثل تدمير الفيتامينات أو تطوير روائح كريهة.

الجرعة Dosimetry :

تعتمد التأثيرات البيولوجية للإشعاع ليس فقط على طاقة الإشعاع ولكن أيضاً على الكمية التي تتفاعل مع وحدة حجم أو وحدة كتلة من الغذاء . الوحدة المستخدمة حالياً هي القراي Gy وهي تعادل 1 J/kg .

الجدول التالي يوضح بعض الجرعات لعدد من العمليات :

العلمية	الجرعة
التعقيم التجاري	kGy100 - 10
قتل الكائنات الممرضة غير المتجرثمة	kGy 8- 2
قتل الحشرات	kGy1- 0.3
التحكم في النضج	kGy1- 0.1
منع التبرعم	Gy150- 20

يمكن مقارنة هذه الجرعات مع جرعة Gy 5 الكافية لقتل الإنسان.

أجهزة التشعيع :

عند تصميم جهاز لتشعيع الغذاء من الضروري ضمان أن :

1. يتم إنتاج إشعاع مناسب بأقل تكلفة
2. يتم الاستخدام الاقتصادي لهذا الإشعاع في معاملة الغذاء بحيث يتم توزيع الجرعة بطريقة مناسبة وتعطي كل وحدة غذاء الجرعة الكاملة .
3. لا يتعرض المشغلون لأي إشعاع ضار في حالة التشغيل العادي للجهاز أو في حالات الحوادث.

أولاً : مصادر الإشعاع:

تتكون مصادر الإشعاع المناسب لتشعيع الأغذية إما من مواد مشعة تعطي إشعاع مناسب أو تأخذ صورة ماكينة مسارعة للإلكترونات . يمكن استخدام الإلكترونات المسارعة مباشرة أو يمكن أن تتفاعل مع هدف مناسب لإعطاء إشعاع من فوتونات عالية الطاقة. تسمى هذه الفوتونات عادة أشعة أكس لتمييزها من الفوتونات الناتجة من المواد المشعة والتي تسمى أشعة جاما.

الفرق الأساسي بين ماكينات التشعيع والمواد المشعة هو أن الماكينة يمكن إيقافها وتشغيلها عند الحاجة لذلك . ولهذا يوصى باستخدام المواد المشعة إذا كان التشغيل المستمر لها غير مكلف. وفي الجانب الآخر فإن رأس المال المستثمر في ماكينات التشعيع يجعلها غير اقتصادية إذا توقف تشغيلها لأي فترة زمنية. هذا بجانب أن المصدر المشع يتهالك تدريجياً (نصف العمر) ، مثلاً الكوبلت له نصف عمر يعادل 5.3 سنة. ولهذا يجب استبدال الجهاز بعدد من الوحدات المتبادلة إذا أردنا المحافظة على نشاطه عند معدل ثابت وذلك بتقسيم الجهاز إلى عدد من الوحدات المتبادلة.

يوفر الكوبلت –60 مصدر للإشعاع لكل مصانع التشعيع الكبيرة تقريباً . المادة الأخرى التي تستخدم في بعض الأحيان هي سيزيوم -137 (نصف عمر 30 سنة) . والأشعة السامة الصادرة من سيزيوم -137 تحتاج إلى أجهزة تحكم أدق ولكن المادة حالياً أرخص من الكوبلت -60.

ثانياً : مصادر الماكينات Machine sources

يمكن استخدام ماكينات مسارعة الإلكترونات كمصادر للإشعاع . تتكون مثل هذه الماكينات من مكونين أساسين : وهما أنبوب مسارعة مفرّغ ومصدر مناسب للطاقة الكهربائية. وهناك نوعين أساسيين من الماكينات . في إحداهما يقوم مجال عالي الفولت في أنبوب المسارعة بمسارعة الإلكترونات ذات الطاقة المنخفضة من كاثود مسخّن إلى إلكترونات ذات طاقة عالية . وفي النوع الثاني يمر إشعاع كهرومغنطيسي بذبذبة الراديو (مثلاً طول موجة 10 سم) في أنبوب مسارعة وبذلك يمكن من مسارعة الإلكترونات من الكاثود.

يمكن استخدام الإلكترونات مباشرة للتشعيع أو تحويلها إلى أشعة أكس الأكثر نفاذية وذلك بتفاعلها مع هدف مناسب.

استخدام الإشعاع :

لأن الإلكترونات قادرة على النفاذ في الغذاء بقدر محدود لا بد أن يكون سمك الغذاء قليل إذا أريد معاملة كامل الغذاء أو تعرض كل أسطح الغذاء للتشعيع إذا كانت معاملة السطح فقط هي المطلوبة .

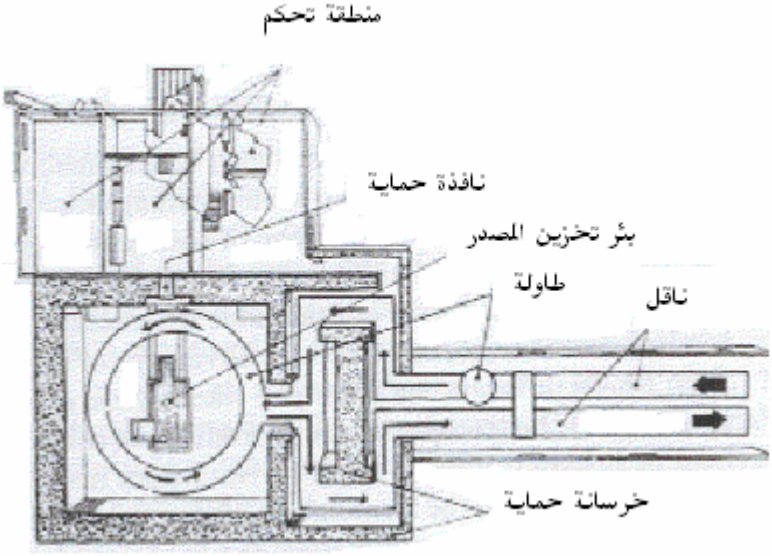
نظراً لطبيعة أشعة أكس وجاما الأكثر نفاذية فيجب عرض الغذاء بأوضاع مختلفة حتى يتم الحصول على توزيع مناسب للجرعة على كامل الغذاء وأن تحصل كل المناطق على أقل جرعة لازمة لإحداث التأثير المطلوب .

في الحالات التي لا يملأ الجهاز بالكامل فإن توزيع الإشعاع وبذلك الجرعة يختلف من الحالات العادية كما أن كثافة الإشعاع الساقط على الجدران يزداد مما يزيد من خطورة التسرب ولهذا يجب عادة ملأ الجهاز بمادة لها نفس خصائص الامتصاص للغذاء في البداية ويحل محلها الغذاء وتدخل مرة أخرى إلى الجهاز بعد اكتمال تشعيع الغذاء.

السلامة Safety:

من الواضح من مقارنة الجرعة القاتلة للإنسان والجرعات اللازمة لعمليات التصنيع المختلفة أنه يجب حماية العاملين من الإشعاع المتولد في المصنع.

يستخدم درع حماية لهذا الغرض يقوم بامتصاص الإشعاع ويحيط بالمصنع . وتستخدم لذلك مواد من الرصاص والخرسانة والماء النقي . ويجب أن يكون سمك هذا الدرع كافٍ لتقليل معدل الجرعة خارج المصنع إلى مستوى مقبول. وهذا السمك يتناسب عكسياً مع كثافة مادة الدرع . تستخدم الخرسانة عالية الكثافة مع المصانع الثابتة ويستخدم الرصاص مع حماية مصادر الإشعاع المتنقلة . ويمكن استخدام بئر من الماء النقي عمق 5.5 متر لغمر المصدر المشع في حالة الصيانة الداخلية . تمرر المادة الغذائية إلى داخل الجهاز من خلال ناقلات ويجب ألا يكون هناك تسرب في مناطق الدخول (شكل 1.7).



شكل 1.7 خريطة لمصنع تشعيع للبطاطس

وفي حالة استخدام مصادر الماكينات فإن من الضروري تهوية المصنع جيداً لأن الأوزون المتولد نتيجة لمرور الإلكترونات خلال الهواء يجب تخفيفه إلى تركيز مقبول وآمن .

ثانياً : التحميص Roasting

يعتبر التحميص عملية كيميائية يتم فيها تطوير النكهات أو اتزانها أو تغييرها بهدف تحسين النكهة.
عند تحميص حبوب القهوة تمتص الحبوب في المرحلة الأولي الحرارة وتجف الحبوب تدريجياً ويتغير لونها إلى اللون الأصفر.
تحدث المرحلة الثانية من التحميص عند درجة حرارة حوالي 205 C وتعرف عادة بالكسر الأول للحبوب first crack وفيها يتضاعف حجم الحبوب ويتغير لونها إلى البني الخفيف وتفقد الحبوب حوالي 5٪ من وزنها.

ترتفع درجة حرارة الحبوب في المرحلة الثانية من C°205 إلى حوالي C220 ويتغير اللون من البني الخفيف إلى البني المتوسط وتفقد الحبوب حوالي 13٪ من وزنها وتحدث تغيرات كيميائية في الحبوب ويخرج منها ثاني أكسيد الكربون.

شكل 2.7 جهاز تحميص حبوب الفاكهة

تلي هذه المرحلة مرحلة قصيرة تمتص الحبوب فيها الحرارة تليها مرحلة أخرى تطلق فيها الحبوب حرارة وتعرف عادة بالكسر الثاني second crack . وهي تحدث عادةً بين C 230 – 225 وفيها يتغير اللون إلى بني داكن وسط ويكون سطح الحبوب زيتي لامع . هذه المرحلة الأخيرة غير مفضلة نسبةً لفقد بعض مركبات النكهة الطيّارة ويمكن أن تتأكسد الزيوت على السطح الخارجي للحبوب بسهولة.

الاتجاه السائد في أمريكا هو التحميص حتى درجة حرارة C 240 يفضّل هذا الاتجاه لأنه يخفي الجودة السيئة لخلطة الحبوب ويخفي تأثير الماكينات المتسخة.

حتى يتم التوصل إلى طريقة علمية لتحديد درجة التحميص المناسبة ، من الضروري إجراء عدد من التجارب حتى يمكن الوصول إلى النكهات المطلوبة. الشكل 2.7 يوضح جهاز لتحميص حبوب القهوة.

1- Brennan, J.G., Butters, J.R., Cowell, N.D. and Lilley, A.E.V., 1990, Food engineering operations, 3rd ed., Appl. Sc. Publ., London

2- Joslyn, M.A. and Heid, J.L., 1963, Food processing operations, vol.2, AVI Publ. Co., Westport, Connecticut

3- Himmelblaw, D.M., 1967, Basic principles and calculations in chemical engineering, 2nd ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey

المحتويات

المحتويات	رقم الصفحة
مقدمة	
الوحدة الأولى (أنظمة التسخين)	1
▪ مصادر الحرارة	2
▪ الاحتراق	2
▪ أنواع الوقود	4
▪ نظم استخدام الحرارة لتسخين الغذاء	6
▪ البخار كعامل تسخين	9
▪ صور البخار	11
الوحدة الثانية(تجفيف الأغذية)	12
-نظم تجفيف الأغذية	14
▪ الماء في الأغذية	14
▪ مقدمة عن التجفيف	14
▪ التجفيف بالهواء الساخن	15
طرق وأجهزة التجفيف	18
▪ التجفيف باستخدام الصواني	18
▪ التجفيف باستخدام الأنفاق	19
▪ التجفيف بواسطة الأسطوانات الدّوارة	21
▪ التجفيف بواسطة الطبقة المميعة	24
▪ التجفيف بالتجميد(التجفيد)	25
- التجفيف بالرش (الرذاذ)	25
▪ استرجاع الأغذية المجففة	28
▪ العوامل التي تؤثر على الاسترجاع	28
▪ طرق تحسين قابلية الاسترجاع	29
الوحدة الثالثة(التبخير)	32
▪ مقدمة الوحدة	33
▪ رفع نقطة الغليان	33
▪ المبخرات عديدة التأثير	35

- أنواع المبخرات 38
- مبخرات الدوران الطبيعي 38
- مبخرات الدوران ألقسري 41
- المبخرات طويلة الأنابيب 42
- المبخرات الميكانيكية رقيقة الغشاء 45
- المبخرات منخفضة درجة الحرارة(مبخرات دورة التبريد) 64

• **أجهزة التبخير المساعد** 47

المكثفات 47

مضخات التفريغ 48

• **تصميم المبخر أحادي التأثير** 48

• **نظم إعادة ضغط البخار** 50

الوحدة الرابعة(السلق والإفراغ) 52

• **السلق** 53

• **الإفراغ** 57

- نظريات إفراغ الأوعية 57
- طرق الإفراغ 58

الوحدة الخامسة (التجميد) 61

• **نظم التجميد** 63

- نظم التلامس غير المباشر 63
- نظم التلامس المباشر 65

• **تجميد المنتجات الغذائية** 67

• **زمن التجميد** 68

• **التغيرات في الأغذية المجمدة** 70

الوحدة السادسة(التعقيم والبسترة) 73

- أجهزة التعقيم 74
- أجهزة التعقيم على دفعات 75
- أجهزة التعقيم تحت الضغط المستمرة 78
- معقمات الضغط الجوي المستمرة 82
- التعقيم الحراري لأكياس التعقيم 84

- **البسترة** 86
  - البسترة على دفعات 86
  - البسترة المستمرة 86
- **جهاز التحكم والتسجيل للحد الحراري الآمن** 90

الوحدة السابعة(تشعيع وتحميص الأغذية) 92

- **تاريخ تشعيع الأغذية** 93
- **طاقة التشعيع** 94
- **تأثير التشعيع** 94
- **الجرعة** 94
- **أجهزة التشعيع** 95
  - مصادر الإشعاع 95
  - مصادر الماكينات 96
  - استخدام الإشعاع 96
- **السلامة** 96
- **التحميص** 97