تركيـــــز الأغذيـــــة

Food Concentration

الأستاذ الدكتور / محمد مدحت موسى

الأستاذة الدكتورة / ملاك أحمد الصحن

قسم علوم وتكنولوجيا الأغذية

كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية

الناشر

مكتبة المعارف الحديثة

٢٣ ش تاج الرؤساء سابا باشا الإسكندرية

ت: ٥٤٤٥٥٥١ - ٥٨٢٦٩٠٢

obeikandl.com

obeikandl.com

18- تركـــيز الأغـــذية

Food Concentration

الأستاذ الدكتور / محمد مدحت موسي

الأستاذة الدكتورة / ملاك أحمد الصحن

قسم علوم وتكنولوجيا الأغذية

كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية - الشاطبى - الإسكندرية

obeikandl.com

obeikandl.com

18- تركيـــز الأغـــذيـة

Food Concentration

الأستاذ الدكتور / محمد مدحت موسي

الأستاذة الدكتورة / ملاك أحمد الصحن

قسم علوم وتكنولوجيا الأغذية

كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية - الشاطبى - الإسكندرية

		رقم الصفحة
18 - 1	مقدمة	1
18 - 2	التركيز بالتبخير	4
18 - 2 - 1	أسس تشغيل المبخر	5
18 - 2 - 2	تقدير نقطة الغليان	8
18 - 2 - 3	تأثير خواص المواد الغذائية على أداء المبخر	8
18 - 2 - 4	أنواع المبخرات	11
18 - 2 - 5	الأجهزة المستخدمة مع المبخرات	30
18 - 2 - 6	إستعادة النكهة الطيارة	35
18 - 2 - 7	التغيرات التى تحدث أثناء عملية التركيز	37
18 - 2 - 8	ميكروبيولوجى الأغذية المركزة بالتبخير	38
18 - 3	التركيز بالتجميد	39
18 - 3 - 1	أساس العملية	40
18 - 3 - 2	إزالة الملوحة بالتجميد	43
18 - 3 - 3	الأجهزة الرئيسية المستخدمة فى التركيز بالتجميد	44
18 - 3 - 4	التجميد العادى	46
18 - 3 - 5	المشاكل الناتجة من ترسيب جوامد أخرى غير الثلج	46
18 - 3 - 6	التركيز بتكوين ايدراتات الغاز	48
18 - 3 - 7	تطبيق التركيز بالتجميد مع الأغذية	49
18 - 3 - 8	ميكروبيولوجى الأغذية المركزة بالتجميد	49

obeikandl.com

رقم الصفحة

18 - 4	التركيز باستخدام الأغشية	50
18 - 4 - 1	القوى الدافعة للفصل الغشائى	50
18 - 4 - 2	أنواع الأغشية	53
18 - 4 - 3	التناضح العكسى	56
18 - 4 - 4	الترشيح الفائق	58
18 - 4 - 5	التناضح الكهربى	60
18- 5	الأغذية متوسطة الرطوبة	61
18 - 5 - 1	ميكروبيولوجى الأغذية متوسطة الرطوبة	65
18 - 6	تصنيع بعض الأغذية المركزة	66
18 - 6 - 1	الأغذية المركزة الرطبة	66
18 - 6 - 2	الأغذية المركزة غير الرطبة	78
18 - 7	المـــراجع	79

obeikandl.com

18 - 1 مقـــدمـة:

تركز الأغذية لأغراض كثيرة، قد تتماثل أو تتكامل مع أغراض تجفيف الأغذية. فالتركيز يمكن إعتباره أحد صور الحفظ لبعض الأغذية فقط، كما أنه يختزل وزن وحجم المواد الغذائية وما يصاحب ذلك من مميزات إقتصادية فى التعبئة والتخزين والنقل. كما تركز الأغذية السائلة كخطوة تحضيرية قبل تجفيفها، بإزالة الماء فى مبخرات ذات كفاءة عالية مثل تجفيف مستخلص الشاى بالرذاذ أو عملية تجفيد مستخلص القهوة. وبالإضافة إلى ذلك فإن رفع لزوجة الأغذية السائلة عن طريق التركيز، يمنع سريانها أو انسكابها من على أسطح المجففات أو يسهل تكوينها للرغوة foaming أو نفشها (إنتفاخها) puffing. وبعض الأغذية المركزة يمكن إستخدامها – فى أى وقت – كمكونات مرغوبة لتحضير بعض الوجبات، فيحضر الجيلى jelly بسهولة بمجرد إضافة السكر إلى عصائر الفاكهة المركزة. وكثير من الأغذية المركزة مثل مركز عصير البرتقال المجمد أو الحساء المعلبcanned soups تحضر بسهولة للاستهلاك بتخفيفها بالماء بينما يستهلك العسل الأسود treacle أو شراب المابل (القيقب) maple على صورته المركزة بدون الحاجة لإضافة الماء . ومن ناحية أخرى فإن بعض الأغذية مثل شراب المابل والزبدة butter تكون أقل وضوحاً كأغذية مركزة، حيث يصاحب عملية إزالة الماء تغيرات أخرى من المرغوب حدوثها. فعلى سبيل المثال تركز مكونات القشدة cream من 40 ٪ إلى 80 ٪ جوامد فى الزبد عن طريق عملية الخض churn لكسر المعلق الدهنى وتصفية مخيض الزبد buttermilk وعادة يصاحب ذلك عدة تغيرات مرغوبة.

وعملية التركيز عبارة عن إزالة جزئية للماء، بهدف إنتاج محاليل مركزة أو منتجات نصف جامدة semisolids بمحتوى رطوبى 20 ٪ أو أعلى قليلاً. وعلى ذلك تشمل الأغذية المركزة الشائعة: الألبان المبخرة والمكثفة المحلاة evaporated and sweetened condensed milks، عصائر juices ونكتارات nectars الفاكهة والخضر، الشراب السكرى والشراب المنكه flavored syrups، المربى jams، الجيلى jellies، عجينة الطماطمtomato paste والعديد من مهروسات purèes الفاكهة التى تستخدم فى صناعات المخبوزات والقند (الحلوى) candy وغيرها من الصناعات الغذائية .

أولاً : التأثير الحافظ لعملية التركيز:

عديد من الأغذية المركزة يكون محتواها المائى مرتفعاً نسبياً بحيث يسمح بنمو بعض الأنواع من الأحياء الدقيقة كما فى مهروسات purées الفاكهة والخضر غير الحامضية وبالتالى تتعرض للفساد الميكروبى ما لم يجرى عليها معاملات حفظ إضافية، بينما تكون بعض المنتجات المركزة الأخرى مثل الشراب السكرى والجيلى jelly والمربى أكثر مقاومة نسبياً للفساد. والفرق بين المجموعتان السابقتان يرجع إلى نوع المواد الذائبة فى الماء المتبقى وإلى تركيزها التناضحى (الأزموزى osmosis) . فيكون للسكر والملح فى المحاليل المركزة ضغوطاً تناضحية عالية ويحدث التأثير الحافظ لهما عندما تكون قادرة على سحب الماء من الخلايا الميكروبية أو تمنع الإنتشار العادى للماء إلى هذه الخلايا، فإضافة السكر أو الملح تؤدى إلى خفض نشاط الماء water activity .

عصير قصب السكر الذى يحتوى على 15 ٪ سكروز يكون قابلاً للتخمر بسرعة لإرتفاع محتواه المائى وبذلك فإن المبخرات تكون جزءاً أساسياً من خط التصنيع لإزالة معظم الماء من عصير قصب السكر وتركيزه قبل خطوات البلورة لإنتاج سكر مبلور جاف.

ويحفظ الشراب السكرى المركز (الثقيل) والمنتجات المشابهة لمدد طويلة بدون الحاجة إلى التبريد ما لم تخفف بالماء أو تمتص رطوبة لأعلى من التركيز الحرج. وعادة فإن رفع تركيز السكروز إلى 70 ٪ يؤدى إلى وقف نمو الأحياء الدقيقة، أما فى التركيزات الأقل فإنه يلزم التبريد أو توفير الوسط الحامضى لزيادة القدرة الحفظية.

وعادة ما تنقل محاليل السكر المركزة والتى تحتوى على 70 ٪ سكر – تشبه فى قوامها عسل النحل – بضخها من الصهاريج المثبتة على العربات tank cars إلى صهاريج التخزين فى مصانع المخبوزات والحلوى candy حيث يسهل ضخها بعد ذلك بالطلمبات مباشرة وسرعة خلطها فى العديد من عمليات التصنيع. وعادة فإن مقدرة هذه المحاليل السكرية المركزة للحفظ تكون كافية بشرط تجنب تكثف رطوبة الهواء على الأسطح الداخلية للصهاريج. ويعتبر إستخدام هذه المحاليل السكرية المركزة، أكفأ إقتصادياً عن إستخدام السكر المبلور الذى يحتاج لفترة طويلة لإذابته.

ورفع تركيز الملح إلى 18-25٪ يؤدى إلى زيادة فعله الحافظ بخفض نشاط الماء مما يقلل أو يمنع نمو الميكروبات. وعادة لا يتواجد هذا التركيز المرتفع للملح فى الأغذية باستثناء المحاليل الملحية للمتبلات condiments .

ثانياً : التأثير على وزن وحجم الأغذية:

الهدف الأساسى لعملية تركيز الأغذية هو إختزال كل من وزنها وحجمها السائب (الصب bulk) . فعلى سبيل المثال فإن لب الطماطم الطازجة يحتوى على حوالى 6٪ جوامد أى يحتوى اللتر الواحد منها على 61 جرام جوامد طماطم وبتركيزها إلى 32٪ جوامد فيحتوى اللتر (نفس الحجم) المركز على 364 جرام جوامد طماطم أى حوالى ستة أمثال المادة الخام الأصلية كما فى جدول رقم 18-1 الذى يوضح العلاقة بين الوزن النوعى وبين جوامد الطماطم ومركزاتها التجارية. وبالتالى يمثل تركيز جوامد لب الطماطم ميزة هامة لمصنعى الأغذية الذين يحتاجون إلى جوامد الطماطم مثل منتجى الحساء والاسباجتى المعلبة والبتزا المجمدة frozen pizzas حيث تنخفض تكاليف كل من التعبئة ، التداول، النقل والتخزين أثناء عمليات التصنيع. ومن ناحية أخرى، فإن تركيز الطماطم يكون مفيداً وهاماً لنقلها من مناطق إنتاجها البعيدة حيث تشحن سائبة bulk فى تنكات معقمة aseptic إلى مناطق التصنيع مما يخفض التكلفة. وبنفس الطريقة تنقل ملايين الأطنان من مركزات عصائر الفاكهة ومنتجات الخضروات ومنتجات الألبان وغيرها من السلع لإستخدامها فى التصنيع أو للمستشفيات، للتجمعات، للمطاعم والمنازل. كما تنقل كميات كبيرة من مركزات مخيض الزبد buttermilk، الشرش whey، الدم، الخميرة وغيرها من مخلفات الأغذية لإستخدامها كأعلاف لتغذية الدواجن والماشية.

وهناك عدة طرق أساسية لتركيز الأغذية السائلة، تعتمد على التبخير evaporation، التجميد freezing أو الفصل الغشائى membrane separation ، والتى سنوضح كل منها بشئ من التفصيل.

جدول رقم 18-1 : العلاقة بين الوزن النوعى وجوامد لب الطماطم ومركزاتها التجارية

الوزن النوعى عند 68° فهرنهيت (20° مئوية)	الجوامد الكلية (٪)	جوامد الطماطم الجافة جرام / لتر (عند 20° مئوية)
1.025	6.0	61
1.045	10.8	113
1.070	16.5	177
1.107	25.0	277
1.120	28.0	314
1.138	32.0	364

المصدر : باختصار من Potter & Hotchkiss (1995) .

18 - 2 التركيز بالتبخير Evaporative concentration :

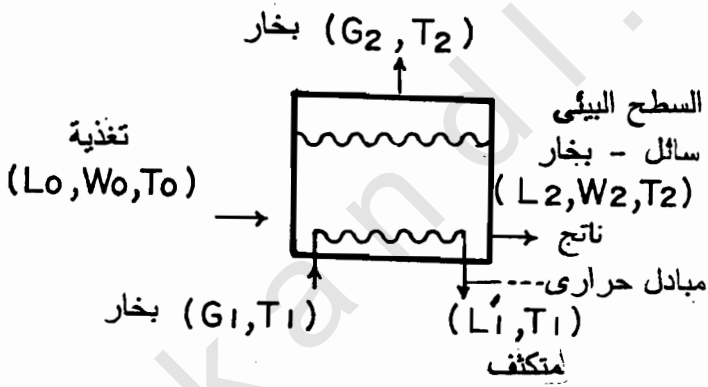
يحدث التركيز بإزالة لجزء من المذيب بالتبخر vaporization من محلول أو معلق لمواد ذائبة غير طيارة، ويكون الناتج عبارة عن محلول أو معلق مركز وفى ذلك تختلف عملية التركيز عن عملية البلورة أو التجفيف والتى يكون الناتج النهائى فيهما عبارة عن جوامد مرسبة precipitated solids . وعمليا يتم التبخير بغليان المذيب لخارج boiling off المحلول عند نقطة غليان المحلول أو المعلق والتى يمكن خفضها باختزال الضغط الذى يحدث عنده التبخير لمنع تأثير درجات الحرارة المرتفعة على الأغذية. وتشمل عملية التبخير على نقل حرارى ونقل كتلة حيث أنه يعتمد على التسخين لتبخير المذيب مع نقل كتلة البخار فى نفس الوقت simultaneous من قرب السطح الذى يتم عنده التبخير.

وتجدر الإشارة إلى أن حرارة التبخر heat of vaporization تبلغ 972 وحدة حرارة بريطانية Btu لكل رطل من الماء. كما تقدر الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة العصير إلى درجة الغليان والتى تسمى بالحرارة المحسوسة sensible heat بحوالى 0.8 - 0.9 Btu لكل

رطل من الماء لكل درجة حرارة واحدة فهرنهيت. أما بخار الماء المتصاعد من العصير أثناء تركيزه والذى يحتفظ بكل الحرارة الممتصة فيمكن الإستفادة به ولو جزئيا فى عملية تسخين العصير.

18 - 2 - 1 أسس تشغيل المبخـر Principles of evaporator operation :

يتكون أى مبخر من مبادل حرارى heat exchanger له المقدرة على حفظ السائل عند درجة غليانه وجهاز لفصل الوجه البخارى vapor phase عن السائل، ويوضح الشكل رقم 18-1 تشغيل المبخر عند الحالة الثابتة steady - state والذى يتضمن توازن بين الكتلة والطاقة ، مع استخدام الرموز الآتية:



شكل رقم 18-1 : يمثل تشغيل مبخر عند الحالة الثابتة steady - state

المصدر : Karel (1975).

حيث:

L: مسار السائل (رطل / ساعة).

G: مسار البخار (رطل / ساعة).

W: تركيز الجوامد (رطل جوامد / رطل كلى).

T: درجة الحرارة (درجة فهرنهيت فـ).

أما الأرقام تحت الحروف فتدل على :

0: مسار التغذية.

1: متكثف البخار فى المبادل الحرارى.

2: مسار الخروج.

obeikandl.com

ويفترض أن التغذية الداخلة تصل إلى درجة الغليان T_2 لحظياً وأن الأبخرة G_2 والمنتج L_2 تترك المبخر عند درجة الغليان. ويفترض أيضاً أن البخار يدخل المبادل الحرارى كبخار مشبع G_1 عند درجة حرارة T_1 ويخرج كسائل متكثف L_1 عند نفس درجة الحرارة. وينتج توازن الكتلة فى المعادلات الآتية:

ويكون توازن المادة الكلى overall material balance:

$$L_o = L_2 + G_2 \qquad (-1-18)$$

ويكون توازن المذاب solute balance:

$$w_o L_o = w_2 L_2 = w_2(L_o - G_2) \qquad (-2-18)$$

وعلى ذلك:

$$G_2 = L_o\,(1 - w_o / w_2) \qquad (-3-18)$$

ويتم توازن الطاقة بافتراض أن فقد الحرارة إلى الجو المحيط يمكن إهماله: أى أن الحرارة الناتجة من البخار المتكثف = الحرارة اللازمة للتسخين وللتبخير.

$$G_1 \lambda_1 = (L_o)\,(c_{po})\,(T_2 - T_1) + G_2 \lambda_2 \qquad (-4-18)$$

حيث:

λ_1 : الحرارة الكامنة latent heat لتبخر الماء عند T_1 (وحدة حرارة بريطانية Btu / رطل)

λ_2 : الحرارة الكامنة لتبخر الماء عند T_2 (Btu / رطل)

c_{po} : الحرارة النوعية specific heat للمحلول المغذى (Btu / رطل ف°)

وبدمج معادلتى 18-3- , 18-4- فإنه يمكن حساب كمية البخار اللازم لإزالة رطل واحد من الماء عند درجة تركيز (w_2/w_o) وعند درجة حرارة تغذية (T_o) . ويدخل فى الإعتبار أيضاً حجم المبادل الحرارى الذى يعطى معدل الإنتقال الحرارى الكلى اللازم، كما يلى:

$$q = U A (T_1 - T_2) \qquad (-5-18)$$

obeikandl.com

حيث:

q: معدل الإنتقال الحرارى الكلى (Btu/ ساعة)

U: معامل الإنتقال الحرارى الكلى (Btu/ساعة / قدم^2 / فْ)

A: مساحة الإنتقال الحرارى (قدم^2)

ويكون المعامل coefficient U مرتبطاً بمجموع المقاومات لإنتقال الحرارة، كما يلى:

$$U = 1 / r_\theta \qquad (-6-18)$$

حيث :

r_θ: المقاومة الكلية، كما فى المعادلة التالية:

$$r_\theta = (1 / h_1) + r_{wall} + (1 / h_2) \qquad (-7-18)$$

حيث :

$1 / h_1$: المقاومة فى البخار .

h_1 : معامل الإنتقال الحرارى فى الوجه البخارى (Btu/ ساعة/ قدم^2 / فْ)

r_{wall}: (Xwall / Kwall)وهو عبارة عن مقاومة جدار المبادل الحرارى

x_{wall}: سمك الجدار (قدم)

k_{wall}: التوصيل الحرارى thermal conductivity (Btu/ ساعة / قدم^2 / فْ)

$1 / h_2$: المقاومة فى الوجه السائل

h_2 : معامل إنتقال الحرارة فى الوجه السائل (Btu/ساعة/قدم^2 /فْ)

وفى المبخرات الجيدة التصميم والتشغيل فإن المقاومة الكلية r_θ تكون محكومة بالمقاومة فى السائل الذى يغلى وغالباً تقرب U لتساوى h_2 التى تعتمد بشدة على كل من خاصية لزوجة السائل، درجة الحرارة ونوع ومدى الإنتقال الحرارى بالحمل convection. وتزداد المقاومة الكلية كثيراً بتكوين طبقة جامدة أو نصف جامدة على أسطح المبادل

الحرارى (تكوين المواد الممزلقة fouling) .

18 - 2 - 2 تقدير نقطة الغليان:

القوة المحركة للإنتقال الحرارى هى فرق درجات الحرارة ($T_2 - T_1$) الذى يعتمد بدوره على كل من ضغط البخار فى المبادل الحرارى ودرجة غليان السائل T_2 . كما تعتمد درجة الغليان على كل من الضغط عند سطح التبخير وتركيز المواد المذابة . وتحت الظروف المثلى، فإن درجة الغليان تعتمد فقط على العدد الكلى للحبيبات والجزيئات والأيونات الموجودة فى وحدة وزن المذيب . وعملياً، فإن المواد الغذائية تبتعد عن المثالية وتقدر درجة الغليان تجريبيا ويساعد على هذا التقدير استخدام المنحنى البيانى لدوهرينج Dühring (شكل رقم 18-2) الذى يوضح العلاقة الخطية بين درجتى غليان المحلول والمذيب (كالماء مثلاً) . ويسمح هذا المنحنى بتقريب درجات غليان المحلول على أساس قياسها عند ضغطين فقط.

شكل رقم 18-2 : الرسم البيانى لدوهرينج Dühring plot

المصدر : Karel (1975) .

18 - 2 - 3 تأثير خواص المواد الغذائية على أداء performance المبخر:

من أكثر الإعتبارات التى يجب مراعاتها فى هندسة المبخرات وعملية التبخير هو

تعظيم اقتصاديات البخار، والتى تتأثر بخواص المواد الغذائية. وفيما يلى توضيح لبعض الخواص الهامة:

أولاً: اللـــزوجة Viscosity والقـــوام Consistency :

معظم المنتجات الغذائية تصبح لزجة عند تركيزها بالتبخير. وفى بعض الحالات يلاحظ سلوك غير نيوتينى non - Newtonian يعتمد على درجة الحرارة وبعض تأثيراتها مثل دنترة البروتينات. ولا تؤثر اللزوجة على معدل إنتقال الحرارة فقط ولكنها تؤثر أيضاً على عملية الضخ بالطلمبات pumping وعلى عمليات التداول المختلفة. فعصائر الفاكهة عالية اللزوجة تحتاج عند تصنيعها لمعاملات خاصة لخفض لزوجتها، فعلى سبيل المثال إستخدمت المعاملة بالموجات فوق الصوتية ultrasonic process لخفض لزوجة عصير البرتقال أثناء تركيزه.

ثانياً : تكوين المواد الممزلقة أو المخاطية Fouling :

فهذا النوع من المواد الممزلقة أو المخاطية يعتبر حرجاً عند تركيز الأغذية. فالبروتينات والسكريات العديدة الموجودة فى الأغذية السائلة تكون رواسب يصعب إزالتها وتؤثر على كفاءة الإنتقال الحرارى، فوجود البروتينات والألياف والبكتين فى عصير الطماطم أثناء تركيزه يؤدى إلى تكوين وترسيب المواد الممزلقة (المخاطية fouling) وإزالة أى من هذه المكونات يعمل على زيادة كفاءة التبخير. وللتغلب على هذه المشكلة فإنه يراعى عند تصميم المبخرات أن تقلل تكوين وبقاء الطبقات الراكدة stagnant layers على أسطح السخانات.

ثالثاً : تكوين الرغوة Foaming :

نظراً لاحتواء الأغذية السائلة على مختلف المكونات الطبيعية النشطة سطحياً surface active بما فيها البروتينات، فإنه تتكون الرغاوى بشدة والتى تؤدى إلى خفض كفاءة الإنتقال الحرارى، كما تؤدى لمشاكل عند إزالة النواتج المركزة والبخار من المبخر. ووجد أن إضافة العوامل المضادة للرغوة antifoam agents له قيمة محدودة من ناحية قبوله كمواد مضافة للأغذية.

رابعاً : التآكل والصدأ Corrosion :

بعض الأغذية خاصة عصائر الفاكهة تحتوى على مركبات طبيعية تعمل على تآكل أسطح المبادلات الحرارية مسببة تلف هذه الأجهزة وما يصاحبه من إنتقال معدنى transfer of metals غير مرغوب فيه إلى الناتج المبخر.

خامساً : السائل المحمول Entrained liquid :

رغم صعوبة إزالة السائل المحمول من منفذ البخار فإنه لإعتبارات إقتصادية يجب العمل على إزالته بكفاءة لتجنب الفقد الشديد فى جوامد النواتج المركزة.

سادساً : النكهـــة Flavor :

قبول الغذاء يعتمد على إحتوائه على مختلف مكونات النكهة الطيارةvolatile flavor components والتى غالباً تفقد خلال بخر الماء. ويجب أن يراعى فى تصميم عملية التبخير خفض مثل هذا الفقد أو إستعادة مكونات النكهة الطيارة من الوجه البخارى.

سابعاً : الحساسية الحرارية Heat sensitivity :

تؤثر ظروف تشغيل المبخر ودرجة الحرارة والزمن على مدى التلف والضرر الذى تحدثه الحرارة، وأقترح Carter & Kraybill (1966) معادلة لحساب معامل الضرر الحرارى heat hazard index (Dh) كالتالى :

$$Dh = \log_{10} [(P)(t)] \qquad (-8\text{ -}18)$$

حيث :

Dh : معامل الضرر الحرارى

P : الضغط المطلق بالميكرون microns

t : زمن التعرض بالثانية

وعادة فإن المبخرات تعمل عند مدى من معامل الضرر الحرارى (Dh) يتراوح بين 1 فى وحدات التقطير الجزيئى molecular stills تحت التفريغ، إلى 12 أو أكثر فى المبخرات

التى تعمل عند الضغط الجوى. ويحتاج المحافظة على فيتامين D- الذى يتخذ دليلاً على إنخفاض التلف الحرارى للأغذية المركزة – إلى معامل ضرر حرارى Dh أقل من واحد (بينما يصل إلى12 أو أعلى فى الزيوت البترولية) . وللأسف فإن الحساسية الحرارية للأغذية معقدة للغاية ويصعب توقعها من مجرد قيمة معامل بسيط مثل Dh ، فمثلاً تبقى السوائل فى المبخر لزمن أطول من القيمة المتوسطة لزمن التعرض المحدد من المعادلة . ووجد Casimir & Kefford (1968) عند تركيز العصائر أن متوسط زمن التعرض يبلغ 0.11 دقيقة فى مبخرات الطرد المركزى بينما يصل إلى 54 دقيقة فى مبخرات إعادة التدوير ذات الأنبوبة والغلاف recirculating tube - and - shell evaporator. ووجد أن الزمن اللازم لاستبدال 97٪ من العصير أكبر 3-4 مرات عن متوسط زمن التعرض residence time. وكذلك فإن درجة حرارة الجزء من السائل الملاصق لأسطح المبادلات الحرارية تكون أعلى من متوسط درجة غليان السائل، وبالتالى يكون التلف الحرارى عند جدار المصدر الحرارى مرتفعاً، خاصة عندما ينخفض معامل الإنتقال الحرارى للسائل والذى يحدث عند إرتفاع لزوجة السائل وتكون حركة السائل غير مناسبة . وفى بعض الأحيان فإنه من الممكن توقع متوسط الفقد لبعض المكونات التغذوية nutrient losses أو متوسط الزيادة فى الكثافة الضوئية نتيجة التلون البنى browning وذلك من معامل يعتمد على متوسط ظروف تشغيل المبخرات. وفى بعض الأحيان، قد يصعب توقع حدوث بعض التغيرات مثل فقد النكهةoff flavors أو تكون السموم toxins .

18 - 2 - 4 أنواع المبخرات Types of evaporators :

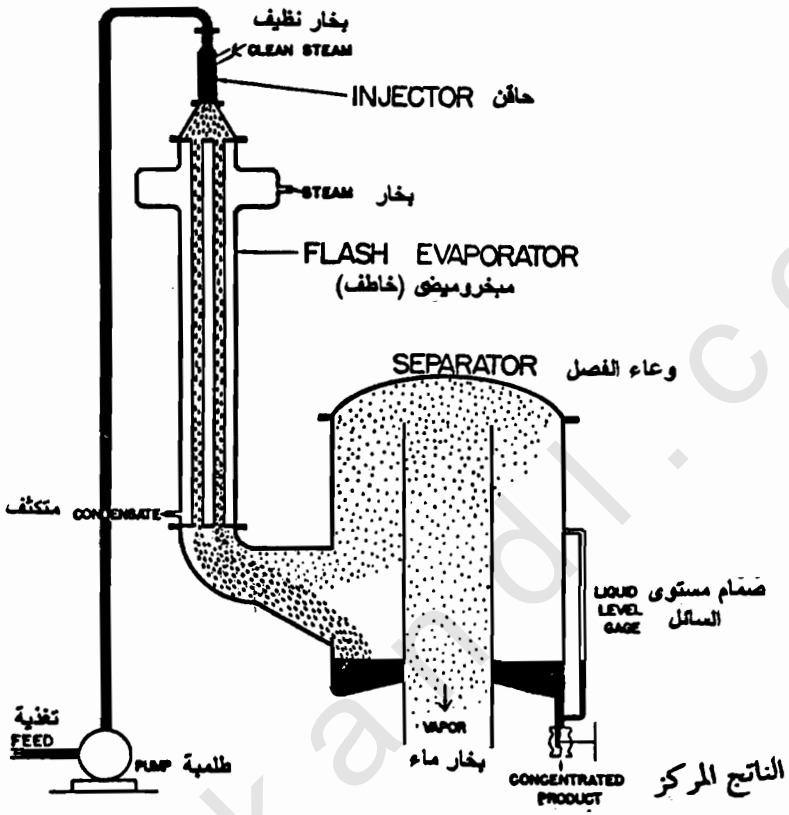
المبخرات المستخدمة فى مجال تركيز الأغذية يمكن تقسيمها على عدة أسس، منها: ضغط التشغيل operating pressure عند الضغط الجوى أو التفريغ vacuum ، عدد مراحل الفعل أو التأثير effect مفرد single أو متعدد المراحل multiple effect ، طريقة الحمل الحرارى convection: طبيعى أو مدفوع forced وتبعاً لنظام التشغيل: مستمر continuous أو متقطع بالدفعات batches وسنوضح ذلك فى الأمثلة الآتية:

أولاً: الأوعيـــة المفتوحة Open pans or Kettles :

وهى عبارة عن حلل أو مبخرات تعمل عند الضغط الجوى بنظام الدفعات batches وتسخن إما من قميص (جدار) مزدوج للبخار steam jacketed أو بملفات بخار مغلقة closed steam coils والتى تسمح بإرتفاع درجة حرارة الناتج الغذائى عن 100 °م. وتستخدم الأوعية المفتوحة فى تركيز وطبخ الصلصات sauces والمربيات jams والجيلى jelly وبعض أنواع الحساء والحلوى، رغم تدهور خواص معظم الأغذية بإرتفاع درجات الحرارة وطول زمن التركيز. وبالإضافة إلى ذلك تزداد سماكة thickening وإحتراق burn الناتج على جدار الوعاء فتقل كفاءة الإنتقال الحرارى وتنخفض بالتالى سرعة عملية التركيز. وينتشر أيضاً إستخدام الأوعية المفتوحة فى صناعة العسل الأسود treacle وشراب المابل حيث يكون رغوباً فى درجات الحرارة العالية لتكوين لون من كرملة السكر caramelized sugar ولإضفاء نكهة مميزة.

ثانياً: المبخرات الوميضية (الخاطفة) Flash evaporators :

فتجزئة المادة الغذائية وجعلها ملامسة لوسط التسخين يؤدى إلى إسراع عملية التركيز، وهذا ما يحدث فى المبخرات الوميضية (الخاطفة) من النوع الموجود فى الشكل رقم 18-3 . فيحقن البخار المحمص superheated steam النظيف عند 150 °م فى الغـــذاء ويضخ بالطلمبة فى أنبوبة التبخير ويحدث الغليان ثم يدخل المخلوط المغلى إلى وعاء الفصل separator vessel ويسحب الغذاء المركز من القاع مع إزالة البخار وبخار الماء من فتحة فصل separate outlet . ونظراً لإرتفاع درجة الحرارة فإن مكونات النكهة الطيارة للغذاء تفقد مع البخار وأبخرة الماء، ويمكن فصلها بجهاز إسترجاع مركزات النكهة (الأسنس essence) على أساس إختلاف درجة غليانها عن الماء.



شكل رقم 18-3 : مكونات المبخر الوميضى (الخاطف) Flash evaporator

المصدر : . مهداة من Oscar Krenz إلى Potter & Hotchkiss (1995).

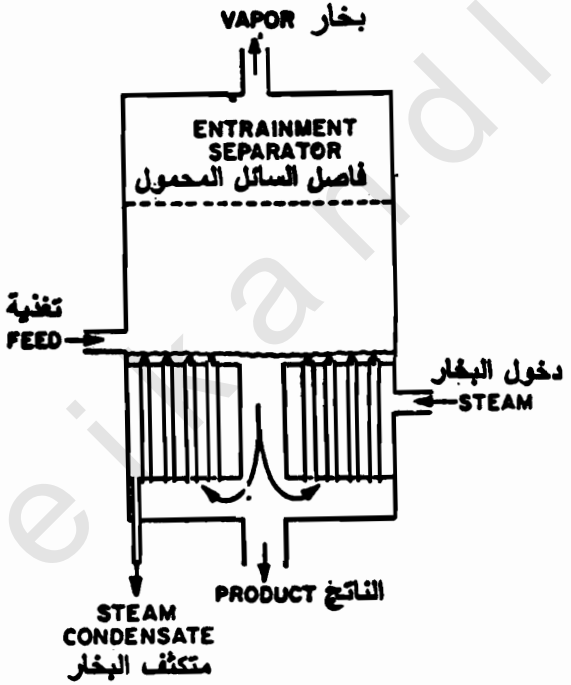
ثالثاً : مبخرات الأنبوبة الطبيعية الدوران

Natural circulaton tube evaporators

ومنهـا عـدة نماذج للتركـيـز المسـتـمـر للأغـذية والتى تسـتـخـدم مبـادلات حـرارية

obeikandl.com

أنبوبية tubular heat exchangers، كالمبخر القياسى standard evaporator (شكل رقم 18-4) الشائع الإستخدام فى تركيز السوائل منخفضة اللزوجة، غير التآكلية noncorrosive والتى تقاوم درجات الحرارة المرتفعة. ويرتفع معامل الإنتقال الحرارى الكلى (U) إلى قيم تتراوح بين 100 إلى 500 وحدة حرارة بريطانية Btu / ساعة / قدم^2 / درجة فهرنهيت. ويحدث الدوران مجاوراً لأسطح التسخين نتيجة غليان السوائل فى مجموعة من الأنابيب الرأسية التى يتراوح طولها بين 4-6 أقدام وقطرها بين 2 إلى 3 بوصة، ويتكثف البخار فى الفراغات المجاورة للأنابيب ويسمح بسريان متكثف البخار من فتحة جانبية سفلية.



شكل رقم 18-4 : المبخر القياسى standard evaporator

المصدر : Karel (1975).

obeikandl.com

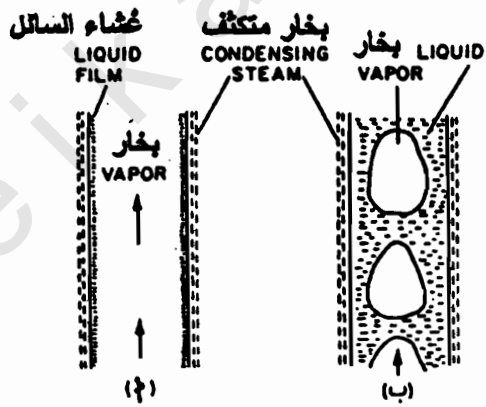
رابعاً: مبخرات الغشاء المتسلق (طويلة الأنبوبة):

Climbing film (long - tube) evaporators

تعتبر من التصميمات عالية الفعالية، وهذه المبخرات تتكون من جسم رأسى بداخله أنابيب المبادل الحرارى ويحدث غليان السائل داخل الأنابيب الرأسية التى يبلغ طولها 10-40 قدم وقطرها 1-2 بوصة ويتكثف البخار على السطح الخارجى للأنابيب، ويتكون غشاء رقيق من السائل على الأسطح الداخلية للأنابيب نتيجة الرفع الحادث للسائل بسبب إندفاع البخار بشدة لأعلى من خلال مركز الأنابيب. وعند ظروف تشغيل مناسبة ومنع تكوين الرغاوى فإنه يمكن الوصول إلى معاملات مرتفعة للإنتقال الحرارى. وفى حالة السوائل اللزجة فمن الضرورى أن يتم التسخين بالحمل الحرارى المدفوع كما تستخدم طلمبات لضخ وإدارة السائل اللزج. وتشغل هذه المبخرات بطريقة مستمرة أو بالدفعات سواء عند الضغط الجوى أو تحت تفريغ خاصة مع السوائل (الموائع) الحساسة للحرارة. وأهم الصعوبات التى تواجه هذه الطريقة، ما يلى:

1- يزداد تكوين المواد الممزلقة (الرواسب المخاطية) fouling على الأسطح الداخلية للأنابيب.

2- تكون فقاعات بخار تعوق سريان السائل كما فى الشكل رقم 18-5.

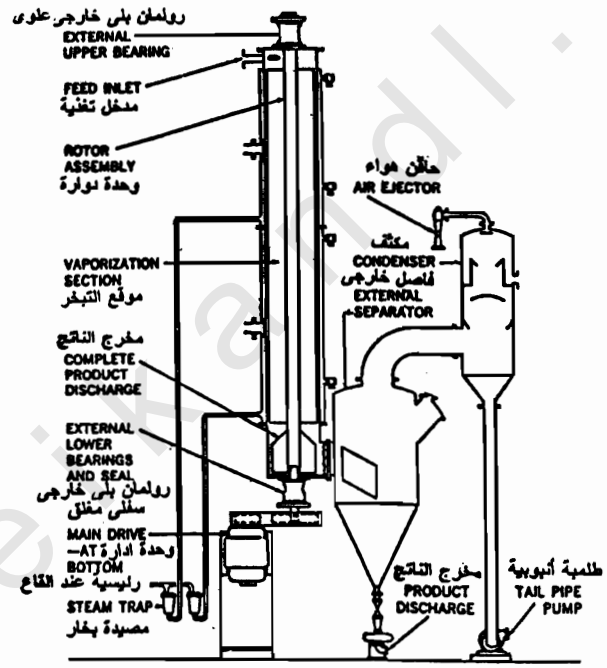


شكل رقم 18-5 : مبخر الأغشية المتسلقة climbing film evaporator

(أ) تشغيل صحيح (ب) تشغيل غير صحيح نتيجة تكوين الفقاعات.

المصدر : Karel (1975).

ويتبع هذا القسم مبخرات الأغشية الرقيقة thin-film evaporators (شكل رقم 18-6) حيث يتم دفع الغذاء بالطلمبة فى إسطوانة رأسية تحتوى عنصر دوار يعمل على نشر الغذاء كغشاء رقيق على جدران الإسطوانة المزودة بقميص مزدوج double jacket يسخن بالبخار. ويتبخر الماء بسرعة من غشاء الغذاء ويكشط الغذاء المركز من جدار الإسطوانة، ثم ينقل الغذاء المركز وبخار الماء باستمرار إلى جهاز فاصل خارجى external separator حيث يسحب الناتج من القاع ويمرر بخار الماء إلى المكثف. وفى بعض النظم وللتوفير فى الطاقة يجرى رفع درجة حرارة بخار الماء بإعادة ضغطه ميكانيكياً لإنتاج بخار يعاد إستخدامه. وعادة تصل درجة حرارة الناتج إلى 85 °م أو أعلى قليلاً، ورغم ذلك يكون تدهور الناتج عند حده الأدنى نظراً لأن فترة بقاء الغذاء المركز فى الإسطوانة المسخنة تصل لأقل من دقيقة واحدة.

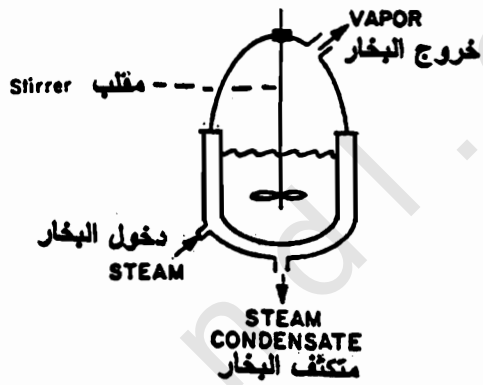


شكل رقم 18-6 : مبخر غشاء رقيق بالقلاب Agitated thin - film evaporator
المصدر : مهداة من شركة Blaw-Knox – شعبة أجهزة Buflovak إلى
Potter & Hotchkiss (1995)

obeikandl.com

خامساً : وعاء الضغط المنخفض مع التقليب Stirred vacuum kettle :

وهو أبسط مثال على المبخرات التى تسخن بالحمل المدفوع (شكل رقم 18-7) ويستخدم على نطاق واسع بالدفعات batches . وتم تطوير وعاء الضغط المنخفض مع التقليب لإستخدامه مع السوائل عالية اللزوجة وسمى مبخر وورلنج Wurling evaporator حيث يصمم المبادل الحرارى على صورة حلزون بخار يدور فى السائل ويجعل الإنتقال الحرارى جيداً، حين إستخدامه فى تركيز عجينة الطماطم حتى 20-50 ٪ جوامد.



شكل رقم 18-7 : وعاء الضغط المنخفض مع التقليب stirred vacuum kettle

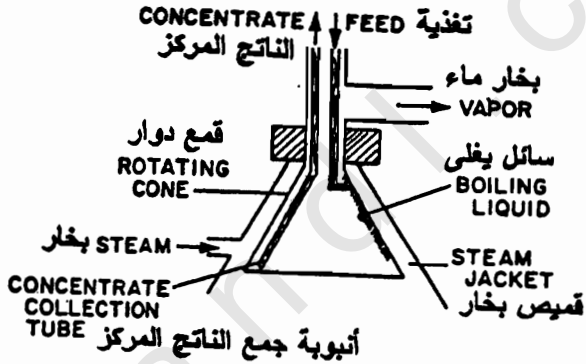
المصدر : Karel (1975).

سادسا: مبخرات الأغشية الرقيقة عند ضغط منخفض التى تدار ميكانيكياً:

Mechanically aided thin - film vacuum evaporators

يحتاج التشغيل المستمر continuous operation للمواد الحساسة للحرارة فى مبخرات الأغشية الرقيقة عند ضغط منخفض إلى إستخدام أجهزة ميكانيكية تساعد سريان السوائل المسخنة للغليان على هيئة غشاء رقيق thin film على سطح المبادل الحرارى، يسمح بمعدلات تبخير مرتفعة مع إنخفاض درجات حرارة التشغيل . والسائل يتم فرده كطبقة رقيقة بمساعدة قمع دوار rotating cone داخلى والذى يثبت داخل المبخر بحيث يترك فراغ

محدد (خلوص clearance) مع الجدار كما فى مبخر الطرد المركزىcentrifugal evaporator (شكل رقم 18-8) حيث يفرد الغشاء الرقيق بالطرد المركزى على قمع دوار ساخن بسمك 0.004 بوصة ويتراوح زمن التلامس بين 0.5 إلى 2 ثانية للسوائل منخفضة اللزوجة. كما تستخدم هذه المبخرات مع السوائل الحساسة للحرارة عالية اللزوجة (من 1000–10.000 سنتيبواز cps) وأيضاً مع السوائل التى تميل إلى تكوين الرغوة.



شكل رقم 18-8: مبخر الطرد المركزى centrifugal evaporator

المصدر : Karel (1975).

ومن المفيد هنا المقارنة بين بعض أنواع المبخرات السابقة كما يوضح فى جدول رقم 18-2.

obeikandl.com

جدول رقم 18-2 : مقارنة بين معامل الإنتقال الحرارى ومعامل الضرر الحرارى والتكاليف النسبية فى بعض أنواع المبخرات

نـوع المبخـر	معامل الإنتقال الحرارى الكلى (Btu / قدم / ف / ساعة)			
	للسـوائل منخفضة اللزوجة	للسـوائل عاليـة اللزوجـة	معامل Dh	التكـاليف النسبية $
القياسى ...	300 - 30	غير مناسب	10 - 8	50
الأغشية المتسلقة ...	400 - 100	أقل من 50	8 - 7	100
التدوير المدفوع الأنبوبة والغلاف ...	≃ 500	100	8 - 6	200
الأغشية الرقيقة التى تدار ميكانيكياً ...	≃ 500	300	6 - 3	500

المصدر : Carter & Kray bill (1966).

سابعاً: التبخير بالتغذية سابقة التسخين فى مبخر أحادى المرحلة:

Evaporation with feed preheating in single - stage evaporator

إن إقتصاديات البخار من أهم الإعتبارات الواجب مراعاتها فى هندسة البخار رغم أهمية الإعتبارات الأخرى التى تؤثر على جودة الناتج. وسنوضح أحد التصميمات التى تحقق الكفاءة الإقتصادية لإستهلاك البخار فى المثال التالى:

مطلوب تركيز محلول تغذية يحتوى 10 ٪ جوامد عند درجة حرارة 112 ° فهرنهيت على مرحلة واحدة single - stage إلى 20 ٪ جوامد بغليانه عند 112 ° فهرنهيت بافتراض عدم زيادة درجة الغليان وباستخدام 100 رطل للتغذية كأساس.

ولحساب كمية البخار تستخدم المعادلة 18-3- :

$$G_2 = L_o (1 - w_o / w_2)$$

$$= 100 \ (1 - 0.1 / 0.2) = 50 \text{ lb vapor}$$

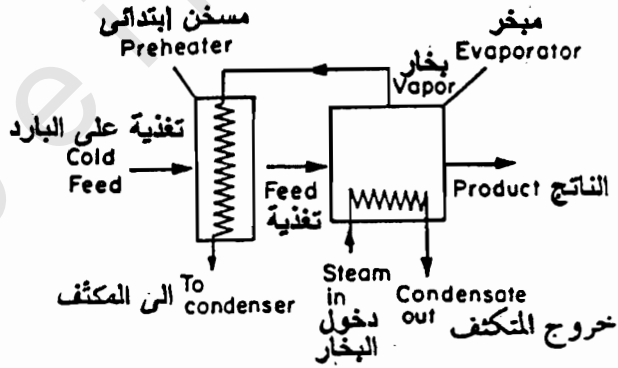
وتحسب الحرارة اللازمة لتبخير 50 رطلاً من الماء من المعادلة 18-4- ، بإفتراض أن الحرارة النوعية للمحلول المغذى cpo =1 وأن الحرارة الكامنة لتبخير الماء عند T_2 =121 ف ، λ_2 = 970 Btu / رطل؛ وتكون الحرارة الكلية اللازمة = $\lambda_2 G_2 + (L_o)(cpo)(T_2 - T_1)$

$$(970)(50) + (100)(1)(100) =$$

$$48.500 + 10.000 =$$

$$\text{Btu} \quad 58.500 =$$

وعلى ذلك فإن 58.500 Btu التى تعطى لـ 100 رطل من السائل، يستخدم منها 48.500Btu لرفع طاقة 50 رطل من البخار أعلى السائل إلى نفس درجة حرارته. وهذه الطاقة لا يمكن إستخدامها لتبخير مزيد من السائل فى المبخر أحادى المرحلة لأن درجة حرارة البخار تساوى درجة حرارة السائل الذى يغلى وبالتالى لا يوجد فرق درجات حرارة ولا يحدث إنتقال حرارى. ويمكن استخدام البخار G_2 فى المبخر أحادى المرحلة (شكل رقم 18-9) فى تسخين التغذية الداخلة، وبالتالى تخفض كمية البخار اللازمة للتبخير .



شكل رقم 18-9 : شكل تخطيطى يوضح نظام تبخير مزود بمسخن ابتدائى

المصدر: Karel (1975) .

obeikandl.com

ثامناً : المبخرات عديدة المراحل (الفعل) Multiple - effect evaporators :

تعتمد على إستعادة جزء من طاقة البخار فى أحد المبخرات وإستخدامها كمصدر حرارى فى مبخر آخر، ويسمى بالفعل (أو المرحلة) effect ، ويمكن إجراء التشغيل عند ضغط منخفض (لخفض نقطة الغليان) . ويوضح شكل رقم 18-10 ، ثلاثة تنظيمات مختلفة لهذا النوع من المبخرات تعتمد على الإتجاه :

- التغذية فى نفس الإتجاه أو الطردية (الأمامية) co-current or forward feed ،
- التغذية فى عكس الإتجاه أو العكسية counter - current or backward feed ،
- التغذية المتوازية parallel feed .

وعادة فالتغذية المتوازية غير شائعة فى المبخرات نظراً لترسيب الجوامد مما يعوق السريان المستمر من فعل لآخر ويجعله غير عملياً، ولكنها تستخدم فى أجهزة البلورة crystallizers .

ففى التغذية الطردية، تظهر الأفعال (المراحل) الثلاثة، حيث يحدث الغليان عند ضغوط P_2 و P_3 و P_4 (حيث $P_4 < P_3 < P_2$) والتى تقابلها درجات حرارة T_2 و T_3 و T_4 (حيث $T_4 < T_3 < T_2$) . وعادة تبسط الحسابات بدرجة كبيرة تسمح بتقريب معقول للتشغيل الكلى overall operation للمبخرات عديدة الفعل (المراحل) وذلك بإعتبار الإفتراضات الآتية:

1- أن التغذية (L_o) تدخل المبخر عند درجة حرارة T_2 ،

2- أنه لا يوجد فقد حرارى إلى الجو المحيط،

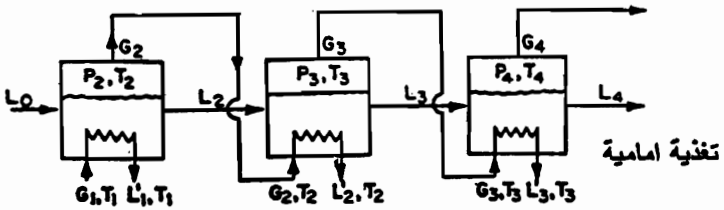
3- أن الحرارة الكامنة لا تعتمد على درجات الحرارة ($\lambda_1 \simeq \lambda_2 \simeq \lambda_3 \simeq \lambda_4$)،

4- أنه تتساوى مساحات المبادلات الحرارية فى جميع المراحل (الأفعال)،

5- أنه تتساوى معاملات الإنتقال الحرارى الكلية فى جميع المراحل (الأفعال) .

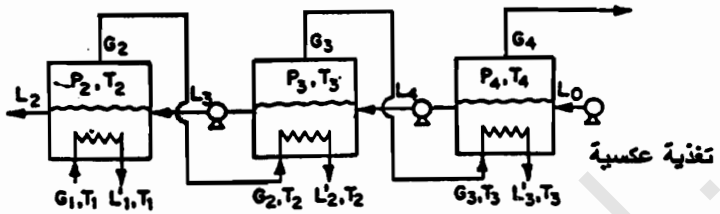
ومن الطبيعى أنه ينتج عن هذه الإفتراضات السابقة ما يلى :

مبخر متعدد الفعل (المراحل)



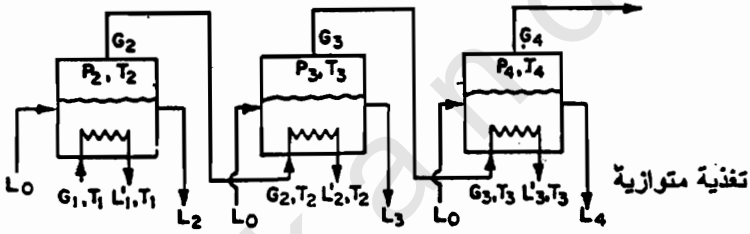
تغذية امامية

MULTIPLE-EFFECT EVAPORATOR, FORWARD FEED



تغذية عكسية

MULTIPLE-EFFECT EVAPORATOR, BACKWARD FEED



تغذية متوازية

MULTIPLE-EFFECT EVAPORATOR, PARALLEL FEED

شكل رقم 18-10 : مبخرات عديدة الفعل multiple - effect evaporators مع تنظيمات سريان مختلفة

المصدر : Karel (1975).

أ- أن كمية الإنتقال الحرارى الكلى تتساوى مع كمية الماء المتبخرة فى كل فعل و

ب- أن عدد أرطال الماء المتبخرة لكل رطل بخار فى الفعل الأول (G_1) first effect يتساوى مع عدد الأفعال (المراحل) . وعند التشغيل الفعلى، فإن هذه الإفتراضات تكون غير حقيقية ولابد من أن تتبع طرق المحاولة والخطأ – و – trial - and - error لتحديد ظروف

التشغيل الحقيقية بدقة. والوفر فى البخار المتحصل عليه تحت ظروف التشغيل الحقيقية يكون أقل من المحسوب عند الإفتراضات النموذجية كما يوضح ذلك جدول رقم 18 - 3.

جدول رقم 18 - 3 : وفورات البخار فى المبخرات عديدة الفعل

عدد الأفعال	رطل ماء متبخر (نظرياً)	رطل بخار فى الفعل الأولى (عملياً)
واحد	1.0	0.95
إثنان	2.0	1.70
أربعة	4.0	3.20

المصدر : Slade (1967).

وتتميز التغذية الطردية forward feed بأن سريان السائل يتبع تدرج الضغطpressure gradient (حيث أن الفعل الأول يكون عند الضغط الأعلى)، وتنخفض تكاليف أجهزة الضخ pumping equipment. كما أن عملية المراقبة والتحكم أقل تعقيداً عن مبخرات التغذية العكسية. ومن الناحية الهندسية فإن للتغذية العكسية backward feed ميزتان هامتان هما:

(1) إستهلاك إقتصادى للبخار عندما يغذى السائل بارداً نسبياً.

(2) لزوجة السوائل تنخفض بإرتفاع درجة الحرارة ولكنها تزداد مع تركيز الجوامد. وفى التغذية العكسية فإن الميل لإرتفاع اللزوجة فى السوائل المركزة يمكن تعويضها compensated لحد ما بارتفاع درجة الحرارة، وبالتالى تتحسن الخواص المميزة للسريان والإنتقال الحرارى.

ويختلف هذين النوعين من تنظيمات التغذية (السريان) من ناحية تأثير كل منهما على

التغيرات الكيماوية والتى تؤثر على جودة الغذاء. ففى التغذية الطردية، تحدث بسرعة عدة تفاعلات كيماوية وخاصة التلون البنى غير الإنزيمى non - enzymatic browning فى مجال المحتوى المائى للناتج المركز (الخارج). أما فى التغذية العكسية، فإن الناتج يخرج عند درجات حرارة مرتفعة وقد تصبح هذه التغيرات الكيماوية غير مقبولة. وفى تنظيم التغذية العكسية أيضاً ونتيجة لإرتفاع كل من التركيز ودرجات الحرارة معا فتترسب البروتينات المدنترة وتتكون المواد الممزلقة fouling بسرعة.

تاسعاً : مبخرات بالبخار معاد الكبس (الانضغاط) :

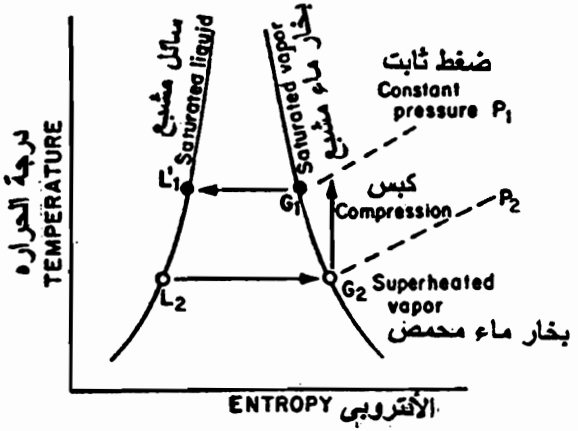
Evaporators with vapor recompression

طريقة إعادة كبس (إنضغاط) البخار vapor تعتبر أحد طرق تحسين إقتصاد البخار steam economy . ويوضح أساس هذه الطريقة بالمثال التالى: فتدخل تغذية (L_o) إلى مبخر أحادى المرحلة single - stage عند 212° فهرنهيت وتغلى عند نفس درجة الحرارة (بدون أى إرتفاع فى درجة الغليان). ويحدث التسخين ببخار ضغطه 24 psia * يدخل المبادل الحرارى كبخار مشبع (G_1) ويخرج كسائل مشبع(L'_1) وكلاهما عند 238° فهرنهيت. ويوضح شكل رقم 18-11 دياجراما للعلاقة بين درجة الحرارة – الانتروبى ** entropyتمثل عمليات التبخير وكبس البخار، حيث يبخر L_o إلى G_2 و G_1 إلى L'_1 ومن جداول البخار فإن البخار المتكلف عند 238° فهرنهيت يعطى 953 Btu / رطل. وكمية الحرارة اللازمة لكل رطل سائل متبخر عند 212° فهرنهيت يساوى 970 Btu . وعلى ذلك فإن واحد رطل من البخار المكلف يبخر 0.985 رطل من السائل.

---

* اختصار لوحدة الضغط (بالرطل / بوصة مربعة جوىpound / square inch atmosphere).

** تعبر فى نظام عكسى عن النسبة بين الحرارة التى يأخذها النظام إلى درجة الحرارة المطلقة التى تمتص عندها الحرارة (من Uvarov وزملائه (1964) ,Adictionary of science)



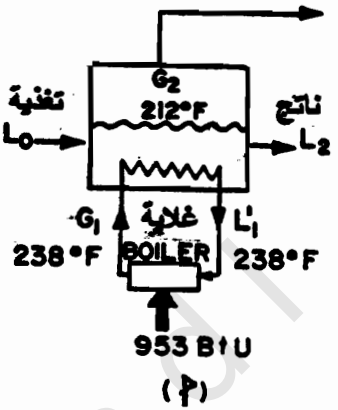
شكل رقم 18-11 : دياجرام لدرجة الحرارة – الأنتروبى يمثل عمليات التبخير وعملية كبس البخار

المصدر : Karel (1975).

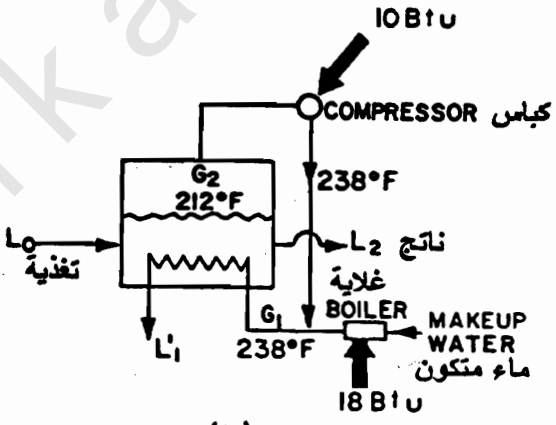
وللحصول على رطل واحد من البخار عند 238° فهرنهيت ، فإن المتقطر L` يعاد إلى الغلاية حيث تمده بـ 953 Btu لكل رطل (شكل رقم 18-12 - أ) . كما يمكن أيضاً الحصول على 0.985 رطل بكبس البخار الناتج (G_2) من 15 psia (الضغط الجوى) إلى 24 psia عند 238° فهرنهيت، وبذلك يمكن الحصول على المتبقى 0.015 رطل بغليان الماء المتكون make up water (شكل رقم 18-12 ب) . وبذلك فإن الحرارة اللازمة فقط 10 Btu لكل رطل من الأبخرة المكبوسة، بالإضافة إلى الكمية اللازمة لتسخين وتبخير الماء المتكون make up، ليعطى فقط حرارة كلية مقدارها 28 Btu (كما فى الشكل 18-12) .

ومن وجهة نظر الديناميكا الحرارية لتكاليف التبخير، فإن عملية إعادة الكبس recompression تكون مجزية لحد كبير، حتى بمقارنتها بالتبخير متعدد المراحل (الفعل) . إلا أن هناك بعض الصعوبات فى تحديد حجم الأبخرة المفروض كبسها (انضغاطها) . فإذا تم التشغيل عند الضغط الجوى ، فإن كل رطل من البخار عند 212° فهرنهيت والمفروض كبسها تشغل 27 قدماً مكعباً. وعادة فإن الحجم المفروض كبسه يكون أكبر من ذلك حتى عندما تتطلب الحساسية الحرارية للناتج إجراء التشغيل تحت تفريغ. فإذا

أجرى التبخير تحت تفريغ عند 27 بوصة زئبق (يقابل نقطة غليان الماء عند 115° فهرنهيت) فإن رطل واحد من البخار يشغل 225 قدم مكعب، فإذا إستخدمت أجهزة كبس بالإزاحة الثابتة تحت هذه الظروف فإن التكاليف تنخفض بدرجة لا تذكر.



(أ)



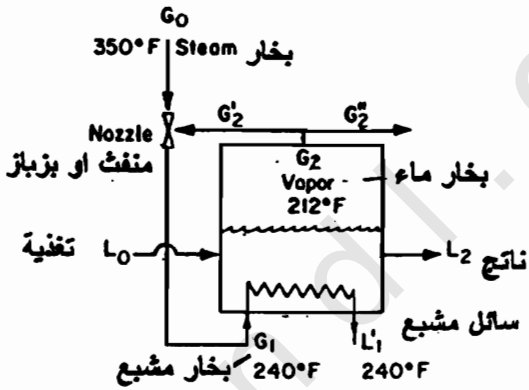
(ب)

شكل رقم 18-12 : تنظيمان لإعادة توليد regeneration البخار عالى الضغط اللازم لتشغيل المبخر .
(أ) إعادة تبخير متكاثف البخار فى غلاية boiler ؛ (ب) نظام كبس البخار.

المصدر : Karel (1975).

obeikandl.com

وفى حالة إستخدام درجة تبخير عالية، فإنه من المفيد إستخدام بخار مرتفع الضغط بعد خلطه بجزء من الأبخرة لإنتاج البخار اللازم للإنتقال الحرارى. وفى المثال الموضح فى شكل رقم 18-13، حيث يخلط رطل واحد من البخار steam عند 140 psia مع 0.75 رطل بخار ماء، عند 15 psia لانتاج 1.75 رطل من البخار عند 25 psia ، و بذلك يستعاد أكثر من 40 % من الطاقة المفقودة مع بخار الماء و بذلك يتحسن اقتصاد البخار



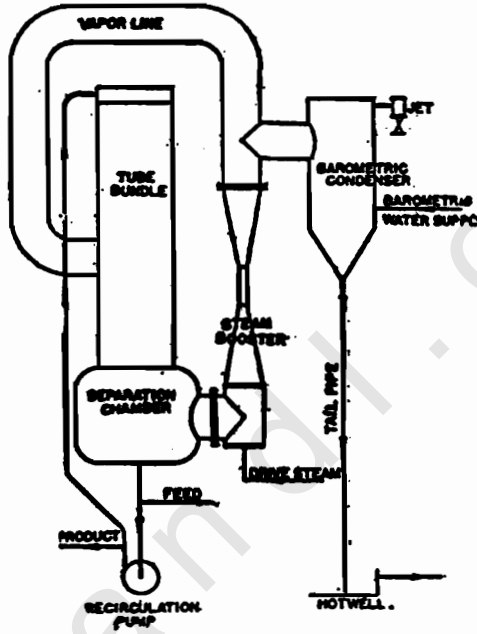
شكل رقم 18-13: إستخدام منفث (بزباز nozzle) لكبس بخار ماء منخفض الضغط مع بخار مرتفع الضغط

المصدر : Karel (1975).

وعادة يتم كبس نوعى البخار مرتفع ومنخفض الضغط من خلال منفث nozzle أو فى جهاز خاص يسمى حاقن injector أو booster والذى يوضحه شكل رقم 18 - 14 .

ويقل حجم البخار المطلوب كبسه بدرجة كبيرة بنقل الطاقة من بخار الماء إلى غاز آخر مثل مائع الأمونيا بإستخدام طلمبة حرارية heat pump كما يوضح شكل رقم 18-15 وشكل رقم 18-16 . فالتغذية (L_0) تدخل إلى المبخر وتبخر جزئياً عند درجة حرارة T_2 حيث تستمد حرارة التبخير من الأمونيا المتكثفة فى المبادل الحرارى الملاصق لسطح التبخير، ويتكثف بخار الماء G_2 فى المبادل الحرارى معطياً الحرارة للأمونيا التى تغلى، ويكبس غاز

الأمونيا E عند درجة حرارة عالية تكفى لنقل الحرارة إلى السائل المائى الذى يغلى، وتبرد الأمونيا السائلة بالتمدد عند F .

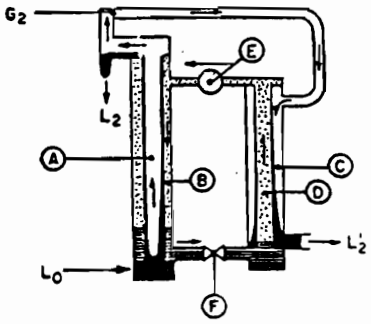


شكل رقم 18-14 : يوضح دورة الكبس الحرارى للبخار

Heat pump cycle using steam recompression

المصدر : الجندى (1965) .

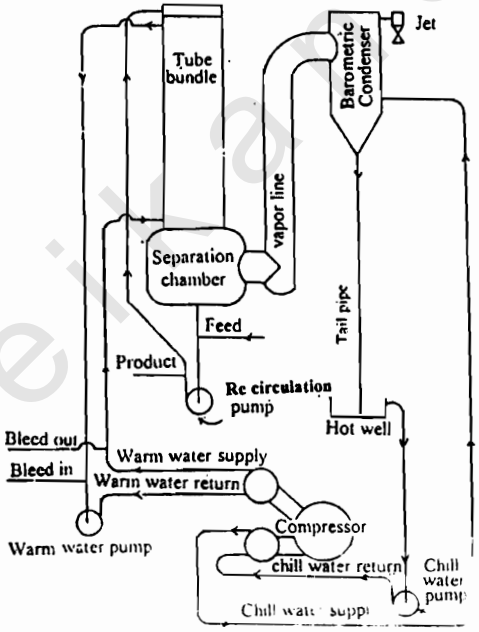
وتتضح مميزات هذا النظام من ظروف التشغيل المثالية التالية ، فتدخل التغذية عند80° فهرنهيت وتتبخر عند هذه الدرجة عند تفريغ مقداره 27 بوصة زئبق. وحتى يناسب بخار الماء الناتج (G_2) متطلبات الإنتقال الحرارى فإنه يسخن لدرجات حرارة مرتفعة (يفترض أن 100° فهرنهيت مناسبة) ويتطلب ذلك كبس 633 قدم مكعب لكل رطل إلى 350 قدم مكعب لكل رطل، وبإعتبار الحرارة الكامنة لكل رطل بخار ماء، فإنه يمكن حساب الحجم المشترك كما يلى :



تغذية	L_O	FEED	T	TEMPERATURE درجة الحراره
مركز	L_2	CONCENTRATE	P	PRESSURE الضغط
بخار ماء	G_2	VAPOR		
بخار ماء مكثف	D_2	CONDENSED VAPOR		
مبخر	A	EVAPORATOR AT T_2, P_2		
تكثيف الأمونيا	B	AMMONIA CONDENSING AT T_B, P_B		
مكثف بخار الماء	C	WATER VAPOR CONDENSER AT T_C, P_2		
غليان الأمونيا	D	AMMONIA BOILING AT T_D, P_D		
كباس الأمونيا	E	AMMONIA COMPRESSOR (VAPOR COMPRESSED FROM P_D TO P_B)		
صمام تحدد الأمونيا	F	AMMONIA EXPANSION VALVE (LIQUID COOLED FROM T_B TO T_D)		

شكل رقم 18-15 : دورة طلمبة حرارية بإستخدام الأمونيا لإعادة كبس بخار الماء

المصدر : Karel (1975) .



شكل رقم 18 - 16 : دورة التكثيف بإستخدام سائل التبريد

Heat pump cycle using primary refrigerant

المصدر : الجندى (1965).

$$\text{Btu / قدم مكعب} = 0.6 \text{ قدم مكعب / رطل} \times \frac{633}{1050 \text{ Btu / رطل}}$$

وبإستخدام الأمونيا (شكل رقم 18 - 15) فإنه يمكن إستخدام ظروف التشغيل التالية:

1- المبخر (A) : عند درجة حرارة 80° فهرنهيت وضغط 0.5 psia

2- تكثيف الأمونيا (B): عند درجة حرارة 100° فهرنهيت وضغط 211 psia

3- مكثف بخار الماء (C) : عند درجة حرارة 100° فهرنهيت وضغط 0.5 psia

4- غليان (مبخر) الأمونيا (D): عند درجة حرارة80° فهرنهيت وضغط 153 psia (-1.95 قدم مكعب لكل رطل)

ويحدث إنخفاض ضخم لهذا النظام كما يلى :

$$\text{Btu / قدم مكعب} = 0.0039 \text{ قدم مكعب / رطل} \times \frac{1.95}{500 \text{ Btu / رطل}}$$

ويعيب هذا النظام إرتفاع التكاليف الإستثمارية لكبس الأمونيا، ورغم ذلك يشيع إستخدامه فى تركيز عصائر الموالح وفى التطبيقات الأخرى التى تتطلب نظم تبريد بالأمونيا وكبس البخار.

18 - 2 - 5 الأجهزة المستخدمة مع المبخرات:

تشمل الأجهزة التى تستخدم فى كل من :

أ- سريان السوائل: لدفع التغذية، خروج الناتج المركز والماء الناتج من تكثيف البخار،

ب- الناقل الحرارى: كالمبدلات الحرارية فى المبخرات، السخانات الإبتدائية والمكثفات.

obeikandl.com

جـ- إزالة الغازات والأبخرة: طلمبات التفريغ فى المبخرات،

د- الفاصلات الميكانيكية للسوائل والغازات: مثل الفاصلات الناقلة لإزالة السائل فقط من الوجه البخارى. ونتكلم بإيجاز عن طلمبات التفريغ والطلمبات الناقلة:

أولاً: طلمبات التفريغ Vacuum pumps :

يمكن إزالة بخار الماء أو الغازات غير المتكثفة كالهواء من المبخرات بأحد أنواع الطلمبات الآتية:

1- طلمبات ميكانيكية محكمة بالزيت Oil - sealed :

لها إزاحة موجبة، ولإزالة الهواء تستخدم فى نفس الوقت مع المكثفات لإزالة بخار الماء. وهذا النوع يناسب ضغوط تتراوح بين 1, 50 تور* مطلق absolute torr.

2- طلمبات مغلقة محكمة بالماء Water - sealed **(طلمبات ناش** Nash**)** :

حيث تعتمد درجة التفريغ التى تصل إليها على درجة حرارة الماء، ويصل التفريغ إلى قيم تتراوح بين 20 إلى 27 بوصة زئبق(ضغط مطلق، 75 تور torr أو أعلى).

ويستخدم هذين النوعين من الطلمبات عند ضغوط مطلقة منخفضة للغاية (تتراوح بين واحد إلى 100 ميكرومول زئبق أو أقل. وتسمى المبخرات التى تعمل عند هذه القيم المرتفعة من التفريغ بوحدات التقطير الجزيئى molecular stills.

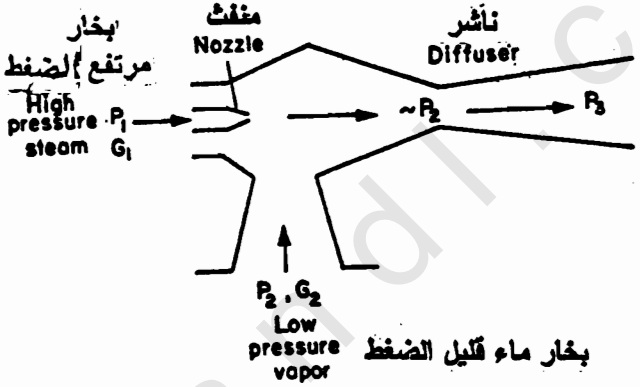
3- طاردات البخار Steam ejectors :

تستخدم لإزالة كميات كبيرة من بخار الماء عند ضغوط مطلقة تتراوح بين 20 إلى100 تور torr. وهى شائعة الإستخدام فى صناعات الأغذية ليس فى إحداث التفريغ فقط ولكن أيضاً فى التسخين، الطبخ، الخلط وكبس الموائع المختلفة كما فى الشكل رقم 18 - 17 الذى يوضح أسس التشغيل. فيضغط كمية بخار عالى الضغط (G_1، رطل / ساعة) عند ضغط P_1 فى منفث nozzle (مجمع - مفرق). ويسحب المنفث كمية بخار ماء عند ضغط جوى

---

* تور torr: عبارة عن وحدة ضغط تستخدم فى التفريغ vacuum ، وتكافئ واحد ملليمتر 1 mm زئبق (من Uvarov ورملائه (A dictionary of science (1964)).

منخفض P_2. وينتج عن خلط هذين النوعين بخار ضغطه P_2 بدمج سيل موائع البخار G_2+G_1 عند فتحة المنفث، حيث يكون المائع عند أعلى سرعة. وفى الجزء المفرق من المنفث تتحول الطاقة الحركية جزئيا إلى الطاقة اللازمة لزيادة ضغط السريان من P_2 إلى P_3. ويستخدم البخار مرتفع الطاقة فى دفع وكبس بخار الماء منخفض الضغط إلى ضغط مرتفع. ولطاردات البخار وطلمبات ناش Nash المقدرة على التشغيل بدون مكثفات بخار – ماء، بعكس الطلمبات الميكانيكية المحكمة بالزيت التى تحتاج لماء بارد أو مكثفات مبردة.

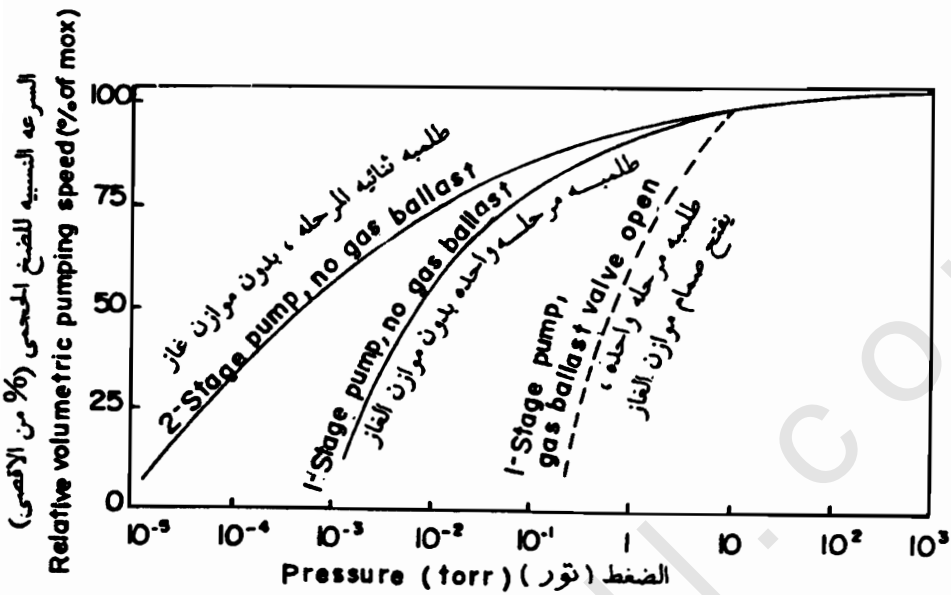


شكل رقم 18 - 17 : طارد بخار steam ejector

المصدر : Karel (1975).

والطلمبات الميكانيكية يتم تشغيلها عند سرعة حجمية ثابتة على مدى من الضغوط، ثم تنخفض سرعة الضخ بشدة "fall off" بإنخفاض الضغط إلى أدناه والذى يسمى بالضغط الصفرى "blank - off"، ويوضح شكل 18 - 18. منحنيات الأداء النموذجى لطلمبات المرحلة الواحدة والمرحلتين.

معظم الطلمبات تزود بأجهزة «موازن الغاز gas ballast» التى تصمم لتقليل تكثف بخار الماء فى الطلمبات إلى الحد الأدنى.



شكل رقم 18 - 18 : اعتماد سعة الضخ الحجمية volumetric pumping capacity لطلمبة تفريغ vacuum ميكانيكية على الضغط

المصدر : Karel (1975).

ولوحظ أنه على مدى من الضغوط، تظل السرعة الحجمية للطلمبة volumetric pump speed ثابتة بينما تنخفض سرعتها الوزنية gravimetric speed خطياً مع إنخفاض الضغط ويرتبط ذلك مباشرة بقانون الغازات المثالية:

$$PV = n R T \qquad (-9-18)$$

حيث :

P : الضغط ، V : الحجم

n : عدد الجزيئات ، R : ثابت الغازات

T : درجة الحرارة المطلقة

فإذا كانت السرعة الحجمية للطلمبة ثابتة، أي :

$$dV/dt = Sp \qquad (-10-18)$$

ويمكن حساب سرعة الضخ الجزيئية molar pumping speed (dn / dt) من المعادلة التالية:

$$dn/dt = Sp\ (RT/P) \qquad (-11-18)$$

حيث : Sp: السرعة الحجمية للطلمبة

وتحسب سرعة الضخ الوزنية gravimetric pumping speed من المعادلة التالية:

$$G = Sp(RT/P)\ (MW) \qquad (-12-18)$$

حيث:

G : السريان الوزنى gravimetric flow للغاز (رطل / ساعة)

MW : الوزن الجزيئى للغاز

أما الزمن اللازم لخفض الضغط فى نظام مغلق من P_1 إلى P_2 ليعطى سرعة حجمية ثابتة للطلمبة (Sp) فيمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$\Delta t = Vs/Sp\ \ln\ P_1 / P_2 \qquad (-13-18)$$

حيث Vs: عبارة عن حجم الغاز فى نظام مغلق

وعملياً، فإنه يلزم زمن أطول عن المحسوب بالمعادلة، لإنخفاض السرعة الحجمية للطلمبة Sp بإنخفاض الضغط، وللحمل الإضافى على الطلمبة الناتج من التأثير الغازى (إخراج الغازات out gassing) على الجدران، ولرشح infiltration بخار الماء من المكثفات والتسريب leak من النظام. ولذلك يستخدم معامل تصحيح kcorr وتصبح المعادلة 18-13- كما يلى :

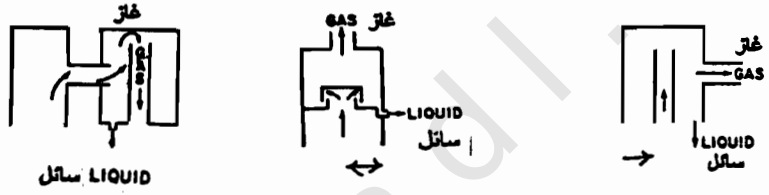
$$\Delta t = Kcorr\ (Vs / Sp) \ln\ \ P_1\ /\ P_2 \qquad (-14-18)$$

وعند ضغوط أعلى من 10 تور torr فإن معامل التصحيح Kcorr يقترب من الوحدة، وتزداد قيمته إلى 4 أو أكثر عند ضغوط أقل تتراوح بين 0.1 و 10 تور torr . وعندما لا

تؤدى المكثفات عملها بالطريقة المناسبة أو عند حدوث تسريب كبير فإنه يلزم تصحيح أكبر .

ثانياً : فاصلات السوائل المحمولة Entrainment separators :

وهى أجهزة تستخدم فى المبخرات لتلافى دخول قطرات السائل فى مسار البخار الخارج (شكل رقم 18-19). ويحدث فصل العزوم momentum separation نتيجة التغير المفاجئ فى سرعة البخار لإصطدامه ببعض عوائق السريان، وترقد قطرات السائل الثقيلة.



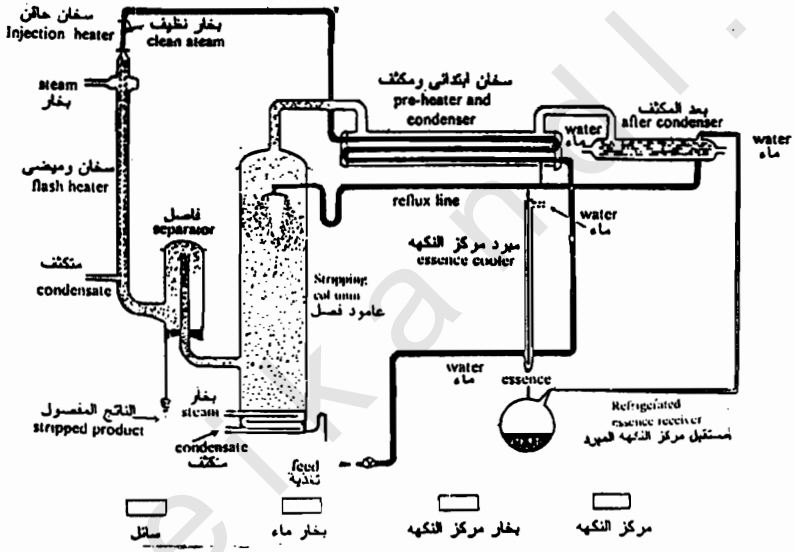
شكل رقم 18-19 : بعض تصميمات فاصلات السوائل المحمولة Entrainment separators

المصدر : Karel (1975).

18 - 2 - 6 إستعادة النكهة الطيارة Volatile flavor recovery :

أحد العيوب الكبرى فى تركيز العصائر بالتبخير هو فقد جزء أو كل مكونات النكهة الطيارة التى تؤثر على تقبل المستهلك، ولذلك يجب إستعادتها وإضافتها للناتج المركز. وتعرف مواد النكهة الطيارة بأنها أحد أو كل المكونات التى تعطى الإحساس بالمذاق والرائحة. وعرفت أهمية إستعادة هذه المكونات بين عامى 1946 - 1950 بواسطة Milleville وزملائه. وتتلخص عملية إستعادة مكونات النكهة الطيارة فى تقطيرها distilled من الأغذية السائلة ثم تركيزها بعامود تجزئة fractionation column ثم تفصل فى صورة مركزة (شكل رقم 18-20). فبخار الماء الناتج أثناء عملية تركيز العصير يتم فصله فى

فاصل للبخار عن السائل vapor - liquid separator ثم يبرد العصير المفصول المركز stripped juice جزئياً وبسرعة لإستبعاد التأثير الحرارى المحطم له. ويدفع بخار الماء مع البخار المحتوى على مكونات النكهة الطيارة إلى عامود التجزئة الذى يزود بغلاية إضافية boiler ومكثف. وتتجمع مكونات النكهة الطيارة عند قمة العامود ويتجمع الماء فى الغلاية الإضافية ويستبعد. وعند تشغيل عامود التجزئة كعامود إنعكاس جزئىpartial reflux فإنه يتحصل على مكونات النكهة الطيارة فى صورة مركز النكهة essence بعد إنسيابها من المكثف العاكس reflux condenser. ويفضل فى بعض الأحيان غسيل البخار فى فتحة الغازات vent gases بالماء المبرد أو بمركز النكهة المبرد chilled essence لإستعادة مكونات النكهة الطيارة التى تحتويها الغازات غير المتكثفة.



شكل رقم 18-20 : وحدة استعادة مركز النكهة Essence recovery plant

المصدر : مهداة من Oscar Krenz Co. إلى [Walker (1961)] .

وعادة فإن مكونات النكهة الطيارة تتواجد بكميات صغيرة، وهى تتكون من مواد مختلفة فى النوع والكمية على حسب نوع الفاكهة وبإختلاف الأصناف داخل نفس النوع. ويتراوح عدد المركبات الكيماوية التى تدخل فى تركيب مواد النكهة الطيارة فى الفاكهة بين

50إلى 100 من الكحولات والكيتونات والاثيرات والأحماض بالإضافة إلى الاسترات الشائعة. أما تركيز المكونات الكيماوية الفردية فيتراوح بين عشرة أجزاء فى المليون إلى واحد جزء فى المليون والتى أمكن تقديرها بكروماتوجرافيا الغاز gas chromatography ابتداءاً من عام 1956 . وتتميز مواد النكهة الطيارة بقلة ذوبانها فى الماء وإرتفاع ضغوطها البخارية عند درجة حرارة الغرفة بالرغم من غليان معظم هذه المكونات عند درجة حرارة أعلى من درجة غليان الماء، كما تتميز كلها بدرجة عالية من التطاير volatilization حيث لوحظ فقد مكونات النكهة العطرية aromatic flavor من عصير التفاح المحفوظ فى عبوات بدون غطاء لمدة من الزمن حتى فى الثلاجة. ويقل التطاير بدرجة ملحوظة عند تخزين مركز النكهة عند درجة حرارة تقترب من درجة تجمد الماء. وتضعف قوة مركز النكهة بنسبة تصل إلى حوالى 80٪ عند حفظه لمدة طويلة فى أوعية غير جيدة الإحكام، ويزداد هذا الفقد عند إعادة إضافة مركز النكهة للعصير المركز ما لم يراعى أن تتم الإضافة فى نظام مغلق.

وعادة يكفى تبخير كميات قليلة من ماء عصير الثمار (حوالى 10-12 ٪ من عصير التفاح لفصل stripped off وإستعادة كل مكونات النكهة الطيارة إلا إذا تكون ممتزج أزيوتروبى azeotropes فيلزم إزالة كمية أكبر قليلاً من الماء كما فى حالة المهروسات purèes حتى يمكن إسترجاع بعض المكونات الشديدة الإرتباط بالألياف . وحتى لا يتأثر العصير المركز وتتدهور صفاته فيجب إجراء عمليات الفصل والإستعادة فى الحدود الحرارية المناسبة بخفض زمن تعرض العصير للمعاملة الحرارية بما لا يتعدى بضع ثوان فقط. وتجدر الإشارة إلى أن وحدات الفصل stripping والإستعادة ليست وحدات قياسية لكل الأغراض ولكن يجرى تفصيلها tailoring لتناسب كل نوع من العصائر المرغوب تركيزها.

18 - 2 - 7 التغيرات التى تحدث أثناء عملية التركيز:

أثناء تركيز المواد الغذائية فإنها تتعرض إلى درجات حرارة مرتفعة 100 °م أو أعلى لمدة طويلة مما يؤدى إلى تغيرات كثيرة فى خواصها العضوية الحسية والتغذوية ، كظهور المذاق المطبوخ ودكانة اللون. وبعض التفاعلات الناشئة عن التعرض للحرارة تميز بعض أنواع الحلوى (القند candy) مثل إنتاج الكراميل caramel حيث يتم تركيز مخاليط السكر

واللبن عند درجة حرارة مرتفعة. ويفضل تركيز أغلب المواد الغذائية عند درجات حرارة منخفضة حتى تماثل بقدر الإمكان المنتج الطبيعى بعد التخفيف بالماء عند الإستهلاك. وحتى عند إجراء التركيز عند درجة حرارة منخفضة فتحدث تغيرات غير مرغوبة خاصة فى السكريات والبروتينات.

ويوجد حد أعلى لتركيز السكريات فى المحلول وإذا زاد عنه تصبح السكريات غير ذائبة. فالسكروز يذوب عند درجة حرارة الغرفة بمقدار 2 جزء لكل جزء واحد من الماء. وإذا قلت نسبة الماء عن ذلك يرتفع تركيز السكروز ويتبلور خارجا من المحلول وتظهر الخشونة grittness فى المربى والجيلى jelly، ويظهر الترميل sandiness فى بعض منتجات الألبان عندما يتبلور سكر اللاكتوز بالتركيز الزائد . ونظراً لإنخفاض كمية السكر فى المحلول بإنخفاض درجة الحرارة فإن المنتج المركز الناعم القوام smooth عند درجة حرارة الغرفة يتحول إلى منتج خشن أو رملى القوام عند حفظه فى الثلاجات، ويحدث ذلك عند تجميد المثلوجات اللبنية ice-cream نظراً لتبلور سكر اللاكتوز نتيجة لإرتفاع نسبته فى اللبن المركز المستخدم فى التصنيع.

ونتيجة لإرتفاع تركيز الأملاح والمعادن أثناء تركيز الألبان فإنها تؤدى إلى دنترة البروتينات مكونة الجل gel ببطء. وعادة لا يظهر هذا الجل بسرعة بل يستغرق عدة أسابيع أو شهور أثناء تخزين علب اللبن المبخر وبعض أنواع اللبن المكثف. وتجدر الإشارة إلى أن تكوين الجل فى اللبن وغيره من المنتجات الغذائية يمثل ظاهرة معقدة تتأثر بعدة عوامل مختلفة بالإضافة إلى درجة التركيز.

18 - 2 - 8 ميكروبيولوجى الأغذية المركزة بالتبخير:

أثناء تركيز الأغذية عند درجات حرارة مرتفعة (100م أو أعلى)، تتحطم الميكروبات ولكن جراثيم البكتريا لا تتحطم. ويزداد تحطم الميكروبات فى عصائر الفاكهة المركزة لإحتوائها على الحامض ولكنها لا تصل إلى درجة التعقيم والخلو التام من الميكروبات. ومن ناحية أخرى فعند إجراء التركيز تحت تفريغ، فإن كثيراً من الأجناس البكتيرية تتكاثر وتتضاعف عند درجات الحرارة المنخفضة فى أجهزة التركيز. ولذلك فمن الضرورى إيقاف

مبخرات درجة الحرارة المنخفضة وتنظيفها. وعادة فلإنتاج أغذية مركزة معقمة فإنه يلزم معاملة حفظ إضافية.

ومعظم مركزات عصائر الفاكهة الناتجة من المبخرات عالية الحرارة لزمن قصير thermal accelerated short time evaporator تكون خالية تقريباً من الميكروبات. وعادة لا تنمو الميكروبات المنتجة لثنائى الأستيل diacetyl بعد أن يصل تركيز المنتج إلى45 درجة بركس. ويحد الأس الايدروجينى (pH) لمركزات بعض العصائر من نمو الميكروبات، ففى عصير برتقال ذو قيمة أس أيدروجينى 3.4 - 4.0، تفشل بكتريا *Leuconostoc* و *Lactobacillus* التى تسبب نكهة غير مرغوبة، فى النمو فى مركزات العصير عند تركيز 45 درجة بركس أو أعلى. ويمكن أن تتواجد بكتريا حمض الخليك والخمائر والفطريات ولكنها لا تنمو بسرعة كافية لتكون مجموع ميكروبى كبير تحت الظروف السائدة أثناء عملية تركيز العصير. ويمكن أن تنمو الخمائر فى مركزات الموالح التى لها قيم أس إيدروجينى(pH) ودرجة حرارة فى المدى الذى يسمح بنموها. ولا يمكن لكل من بكتريا *Shigella* و *Salmonella* أن تتحمل البيئة الحامضية لمركزات عصائر الموالح لفترة طويلة، وأيضاً لا يمكن لجراثيم بكتريا *Clostridium botulinum* أن تنمو فى هذه المركزات. وفى عصائر الموالح المجمدة والتى ركز فيها العصير إلى 58 ٪ جوامد باستخدام مبخرات الأغشية الهابطة falling film فإن كل من الحموضة والسكر ودرجة الحرارة المنخفضة لهذه المنتجات يكون له تأثير مهلك germicidal للعديد من الميكروبات، رغم أنه يتواجد بعضها مثل enterococci وبكتريا حمض اللاكتيك والخمائر وبكتريا الكوليفورم coliform.

وفى اللبن المكثف المحلى (بإضافة 18-20 ٪ سكر) والذى تصل فيه الجوامد اللبنية الكلية إلى 28 ٪ بما يؤدى إلى زيادة الضغط التناضحى ويجعل الماء غير متاحاً للميتابوليزم الميكروبى، ويرجع فساد هذا المنتج إلى نمو الميكروبات المحبة للضغط التناضحى المرتفع osmophilic microorganisms.

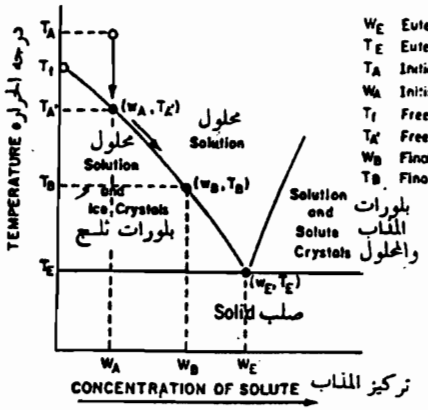
18 - 3 التركيز بالتجميد Freeze concentration :

يعتبر التبخير من أكثر طرق التركيز إقتصاداً وشيوعاً. ولكن يحد منه فقد مكونات

النكهة الطيارة – غير الماء – وكذلك التدهور الحرارى heat damage لجودة الناتج. ويتم التغلب على هذه المصاعب بإجراء التركيز بالتجميد. وهذه العملية تتضمن تجميد الناتج جزئياً ثم إزالة بلورات الثلج النقية، تاركا خلفه كل المكونات غير المائيةnon aqueous constituents فى كمية قليلة من الماء. وهذه العملية يحد منها ارتفاع تكاليفها وصعوبة الفصل الفعال لبلورات الثلج بدون فقد لجوامد الغذاء والإنخفاض النسبى للحد الأعلى لتركيز الجوامد الكلية فى الناتج. ويستخدم التركيز بالتجميد بهدف المحافظة على الجودة وعلى المواد العضوية الطيارة organic volatiles كما فى تركيز الأنبذة wines والبيرة beer (حيث يجب المحافظة على كل من الكحول ومكونات النكهة) وكذلك يستخدم التركيز مع مستخلص القهوة قبل التجفيد freeze drying للمحافظة على مكونات النكهة.

18 - 3 - 1 أساس العملية Principle of the process :

يعتمد الفصل بالتجميد separation by freezing على توازن الوجه جامد – سائل solid-liquid phase equilibrium حيث يحتوى المحلول المراد تركيزه على المذيب (الماء) وعدد كبير من المكونات الذائبة. ومن المناسب إعتبار النظام ثنائى كاذب- pseudo binary وإعتبار أن جميع الجوامد الذائبة فى الماء كمركب واحد. ويوضح شكل رقم 18-21 منحنى الوجه phase diagram لمخلوط ثنائى binary mixture . فعند تبريد هذا المخلوط الثنائى تحت ظروف تسمح بالوصول للتوازن، فتنفصل بلورات الثلج النقى خارجة من المحلول والتى تقابل نقطة W_A عند نقطة تجميد هذا المحلول $T_{A'}$. وبزيادة التبريد، يتكون مزيد من بلورات الثلج التى تنفصل عن المحلول بينما يتبع تركيب السائل الخط [$(W_{B'}, T_B)$ $(W_{A'}, T_{A'})$]. وعند W_E فإن تركيب الجوامد المتبلورة يماثل تركيب السائل المنفصل supernatant .



شكل رقم 18-21 : منحنى الوجه لنظام ثنائى بسيط

Phase diagram for a simple binary system

المصدر : Karel (1975).

ومن الواضح أن عملية التركيز بالتجميد يمكن تطبيقها فقط عند تركيزات أقل من نقطة الإنصهار الدنيا (يوتكتى eutectic) . وغالباً ينفصل الثلج من السائل المرتفع اللزوجة (وكلاهما يرجع إلى التركيز وإنخفاض درجة الحرارة)، ويجب إيقافه تحت نقطة الإنصهار الدنيا (اليوتكتية eutectic) ويكون التركيز النهائى هو W_B (شكل رقم 18-21) . وكمية الماء اللازم إزالتها بالتركيز بالتجميد، يمكن الحصول عليها بتوازن الكتلة البسيطsimple mass balance (شكل رقم 18-22)، وكما توضح المعادلات الآتية:

$$L_A = L_B + L_I \qquad (-15-18)$$

$$L_A W_A = L_B W_B + L_I W_I \qquad (-16-18)$$

وبافتراض تمام الفصل وخلو الثلج المنفصل L_I من أى مواد مذابة محبوسة فيه entrapped ، فيكون الماء المزال من الناتج الخارج، كما يلى :

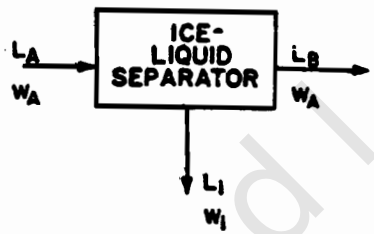
$$L_A W_A - L_B W_B = L_I \qquad (-17-18)$$

ولكل رطل من التغذية فيكون الماء المزال كما يلى :

$$W_e = (L_I / L_A) = 1 - (W_A / W_B) \qquad (-18-18)$$

وعندما تحبس كمية محسوسة من المواد المذابة فى الثلج، فتطبق المعادلة الآتية:

$$W_e = (W_B - W_A) / (W_B - W_I) \qquad (-19-18)$$



شكل رقم 18-22 : تخطيط يمثل فاصل الثلج – السائل ice - liquid separator،

حيث :

L : السريان الوزنى (رطل / ساعة) gravimetric flow،

W : المواد المذابة بالرطل / رطل ماء أو ثلج.

وتدل الرموز تحت الحروف على:

A : التغذية ، B : الناتج المركز و I : الثلج

المصدر : Karel (1975).

المناقشة السابقة أساسها نظام ثنائى binary، وبالطبع فالأغذية الحقيقية تحتوى على عديد من المكونات، فإذا ظلت هذه المكونات كلها فى المحلول فإنها تماثل النظام الثنائى من ناحية الإتزان وتنخفض نقطة التجمد ولا تصل مطلقاً إلى التركيزات اليوتكتية eutectic (عند أدنى نقطة الإنصهار)

obeikandl.com

وفى معظم الأغذية السائلة، فالتركيز الإبتدائى للجوامد يتراوح بين 5-20 ٪، يرفع بالتركيز بالتجميد إلى 35-50٪. ووجد أن درجات حرارة التجميد عند التوازن (T_B، شكل رقم 18-21) المقابلة لتركيز 40٪ جوامد تكون 24° فهرنهيت لمستخلص القهوة، 20° فهرنهيت لعصير البرتقال و18° فهرنهيت لعصير التفاح. وأثناء عملية التركيز، تنخفض درجة حرارة التجميد بسرعة عند التوازن T_B عندما يوجد تركيز مرتفع لمواد مذابة منخفضة الوزن الجزيئى.

ويعتمد معدل نمو البلورة الثلجية ومتوسط حجمها على عدد من عوامل التشغيل operational factors، خاصة : (1) معدل تكوين الأنوية (التنوية nucleation) والذى يعتمد على درجة الحرارة وتركيب المحلول، (2) معدل إنتشار diffusion جزيئات الماء إلى أسطح بلورات الثلج النامية و (3) معدل التخلص من حرارة الصهر heat of fusion من أسطح البلورات. ومن المفضل أن تنمو بلورات ثلجية كبيرة ومتماثلة symmetrical بمعدل بطئ نسبياً حتى يسهل فصلها بالوسائل الميكانيكية. كما تتميز البلورات الكبيرة المتماثلة بنقط تلامس أو اتصال قليلة بالنسبة لوحدة الحجم، مما يقلل كثيراً إحتباس entrapping السائل والمواد المذابة فى البلورات. وفى الظروف الجيدة لإنتقال الكتلة mass - transfer تنمو البلورات الثلجية المرغوبة نتيجة التدفق المضطرب (الدوامى) turbulent flow داخل أجهزة البلورة crystallizers مع كبر مساحات الإنتقال الحرارى عند درجات حرارة مرتفعة نسبياً. وعادة يتحسن تماثل البلورات بالإنصهار الجزئى partial melting وإعادة التجميد refreezing قبل فصل البلورات، ويراعى أن يتم ذلك عمليا فى نظم التركيز بالتجميد.

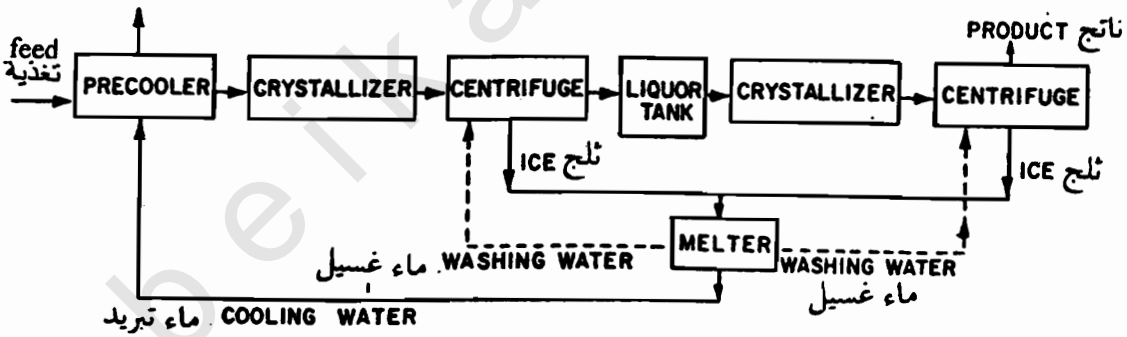
18 - 3 - 2 إزالة الملوحة بالتجميد Freeze desalinaton :

يمكن إزالة الملوحة بالتجميد بنفس أساس تركيز الأغذية بالتجميد، ومن غير المرغوب فى كلاهما حدوث فقد للمواد المذابة فى الثلج الناتج. وتختلف العمليتان عن بعضهما فى : (1) أن الناتج فى عملية إزالة الملوحة هو بلورات الثلج النقية بينما هو السائل المركز فى تركيز الأغذية، (2) وفى إزالة الملوحة، يجب أن يكون الثلج الناتج نقياً ويتم ذلك بالمحافظة على درجة تركيز الأملاح عند أدنى مستوى بينما يتطلب تركيز الأغذية درجة تركيز جوامد

مرتفعة والتى تؤدى إلى زيادة لزوجتها خاصة لاحتواء العصائر التى يتم تركيزها على بوليمرات polymers وحبيبات عالقة dispersed particles و (3) ويمكن التجميد بالحقن المباشر بمواد التبريد direct injection of refrigerants لإزالة الملوحة ولا تستخدم هذه الطريقة لتركيز الأغذية لصعوبة إزالة مواد التبريد منها.

18 - 3 - 3 الأجهزة الرئيسية المستخدمة فى التركيز بالتجميد:

أى نظام للتركيز بالتجميد يجب أن يشتمل على الأقل على المكونات الآتية: (1) جهاز بلورة (مبلور أو مجمد freezer) لإنتاج بلورات الثلج، (2) جهاز فاصل لفصل بلورات الثلج والسائل المركز. ويمكن إضافة أجهزة أخرى لتحسين كفاءة التشغيل. ويوضح شكل رقم 18-23 عملية تركيز بالتجميد على مرحلتين two - stage process بإستخدام أجهزة الطرد المركزى لفصل الثلج، كما يوضح الشكل رقم 18-24 وحدة طلمبة نابضةpulsating unit (قامت بتطويرها شركة فيلبس phillips للبترول) لتركيز البيرة beer، ويشار لبعض هذه المكونات فيما يلى :

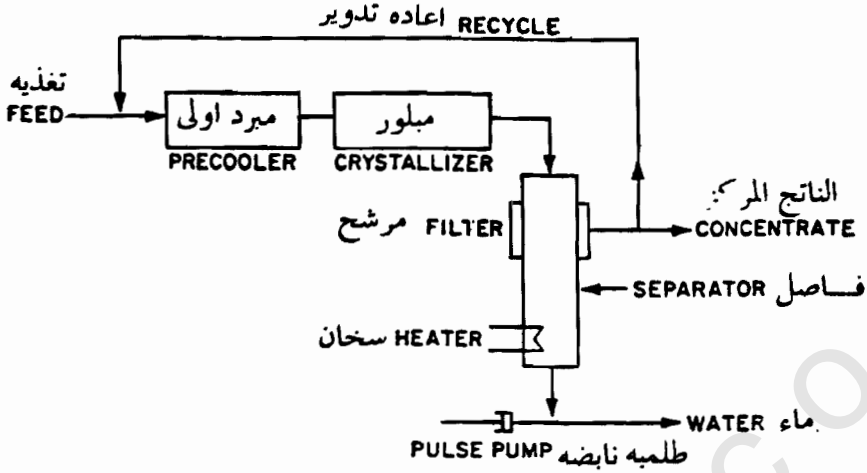


شكل رقم 18-23 : نظام تركيز بالتجميد على مرحلتين

Two - stage freeze - concentration system

المصدر : Karel (1975)

obeikandl.com



شكل رقم 18-24 : نظام تركيز بالتجميد يستخدم طبقة مرشحة

Freeze - concentration system using a filter bed

المصدر : Karel (1975) .

أولاً: جهاز البلورة (المبلور) Crystallizer :

سبق الإشارة إلى أن نمو بلورات الثلج وحجمها وتجانسها يعتمد على ظروف إنتقال الحرارة والكتلة أثناء عملية البلورة. ويحتاج تكوين بلورات كبيرة متجانسة إلى سطح تبادل exchange surface كبير ودرجة عالية من التدفق المضطرب (الدوامى)turbulence . وتحت الظروف المعملية فإن البلورات الثلجية الكبيرة يبلغ قطرها 3 ملليمتر، بينما فى الأجهزة التجارية ولاعتبارات إقتصادية لا يزيد قطرها عن $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{2}$ ملليمتر، وهذا الحجم مناسب لعمليات الفصل.

ثانياً : أجهزة الفصـــل Separators :

من الشائع إستخدام أجهزة الطرد المركزى بقوى forces تصل إلى 1000 × g والتى تكون كافية لفصل البلورات الثلجية حتى فى حالة السوائل اللزجة. ولتقليل فقد المواد المذابة (أو الكحول)، فيتم غسيل البلورات الثلجية قبل شحنها إلى أجهزة الإنصهار melter، ويعاد ماء الغسيل إلى جهاز البلورة لإستعادة الجوامد (شكل رقم 18-23). ويمكن إستخدام طبقة

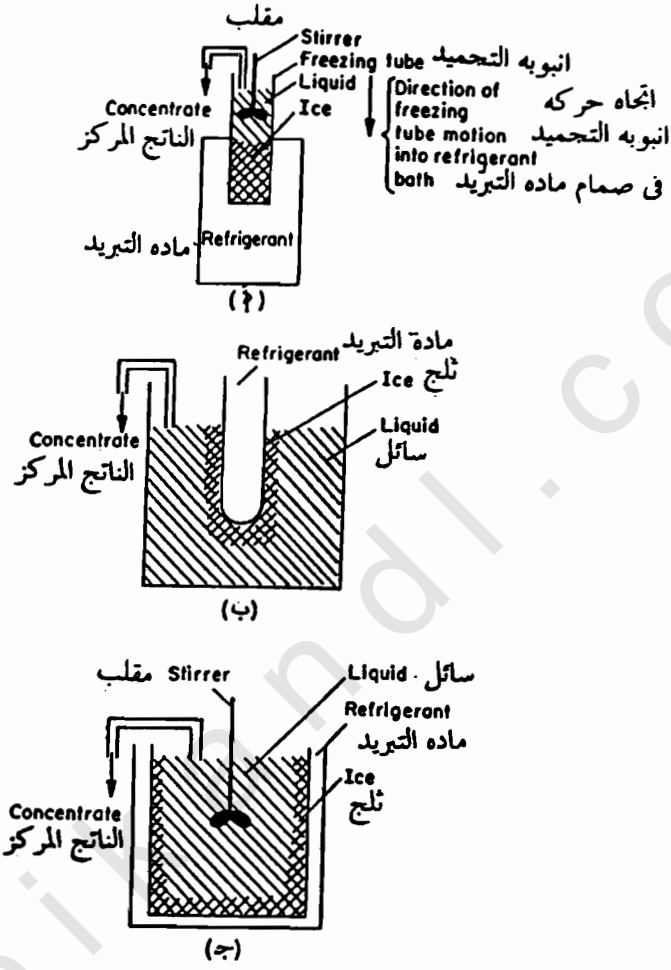
مرشحة filter bed بدلاً من أجهزة الطرد المركزى (شكل رقم 18-24).

18 - 3 - 4 التجميـد العـادى Normal freezing :

تشتمل طرق التركيز بالتجميد على عملية ضخ pumping لمخلوط السائل والبلورات الثلجية نصف الذائبة slush من جهاز البلورة إلى جهاز الفصل لإزالة بلورات الثلج. وتوجد صعوبة فى عملية الفصل عند التشغيل المتقطع بالدفعات على نطاق صغير small - scale batch operation. ويتم التغلب على هذه الصعوبة بالتجميد العادى، حيث يتكون ببطء بقرب جدر أوعية البلورة، طبقة ثلجية جامدة تعمل على توجيه سريان السائل المركز بعيداً عن الجدار إلى موضع السحب drawn off. ويوضح شكل رقم 18-25 ثلاثة من التنظيمات الممكنة لعملية التجميد العادى، فتحتوى أنبوبة التجميد على السائل المطلوب تركيزه ومقلب (شكل رقم 18-25 أ) وتغمر تدريجياً فى حمام يحتوى مادة التبريد ويسحب السائل المركز من أعلى، وفى (شكل رقم 18-25 ب) فيدخل مكثف بارد (يحتوى على المادة المبردة) على هيئة إصبع finger، فى حوض يحتوى على السائل المطلوب تركيزه، حيث تتكون طبقة الثلج على الجدار الخارجى للمكثف. أما فى (شكل رقم 18-25 جـ)، فإن السائل المقلب يحاط بقميص تبريد cooling jacket (يحتوى على المادة المبردة)، حيث يتكون الثلج بجوار الجدار فى إتجاه مركز الحوض ويزال الناتج من المركز. وعامة فإن تطبيقات هذه الطرق محدودة.

18 - 3 - 5 المشاكل الناتجة من ترسيب جوامد أخرى غير الثلج:

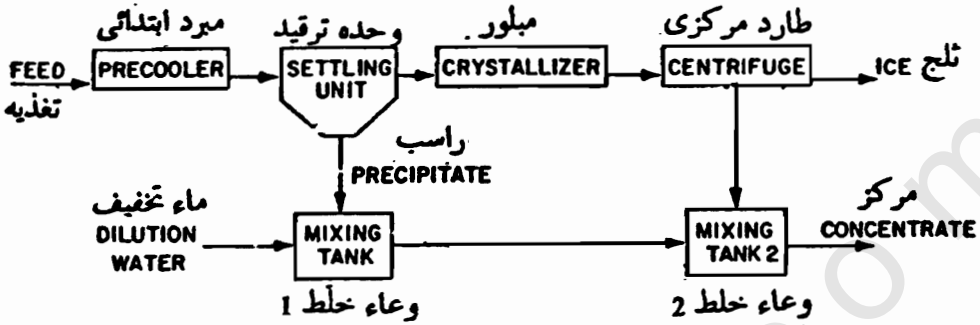
بعض الأغذية السائلة تحتوى على جوامد ضئيلة الذوبان sparsely soluble عند درجات حرارة التجميد مثل مستخلص الشاى. كما تترسب بعض المركبات الذائبة ومنها البوليمرات فى أجهزة البلورة وتفقد مع الثلج. وهذا الراسب يؤثر على كفاءة تشغيل أجهزة البلورة والفصل. وللتغلب على هذه الصعوبة عند إجراء التركيز بالتجميد، يبرد مستخلص الشاى أولاً ثم ينقل إلى وعاء ترقيد settling tank لترسيب بعض المواد المذابة (شكل رقم 18-26)، ثم يمرر المستخلص إلى أجهزة البلورة والفصل ويزال بعض الماء كثلج، ويعاد إذابة هذا الراسب فى كمية قليلة من الماء وتضاف إلى السائل المركز. ويمكن إعتبار هذه



شكل رقم 18-25 : رسم توضيحى يمثل نظم التجميد العادى normal freezing

المصدر : Karel (1975).

الخطوة بمثابة تركيز ابتدائى preconcentration لمستخلص الشاى قبل التجفيد، ويمكن تطبيقه أيضاً فى تركيز مستخلص القهوة. وأمكن التغلب على مشكلة ترسيب جوامد مستخلص القهوة بإختزال فترة بقاء المستخلص فى أجهزة البلورة.



شكل رقم 18-26 : نظام للترسيب الجزئى للجوامد العالقة قبل التركيز بالتجميد

system for precipitation of a portion of suspended solids prior to freeze concentration

المصدر : Karel (1975).

18 - 3 - 6 التركيز بتكوين الايدراتات الغازية :

Concentration by gas hydrate formation

ايدراتات الغاز عبارة عن مركبات شبيهة بالثلج icelike، تتكون من جزيئات صغيرة «زائرة guest» تحتبس فى حجيرات الروابط الايدروجينية لجزيئات الماء (الذى يعتبر «كعائل host») . وكمثال لهذه الغازات التى تكون ايدراتات عند ضغط مرتفع على درجات حرارة أعلى من الصفر المئوى، مركبات الايدروكرابن المهلجنة قصيرة السلسلة . ويمكن تركيز عصائر الفاكهة والخضروات بالتجميد أو بتكوين ايدراتات لكل من بروميد الميثيل CH_3Br والفلوروكلوروكربون CCl_3F .

وتمكن Werezak (1969) من إزالة الماء من كل من مستخلص القهوة، محاليل السكروز، وكلوريد الصوديوم بتكوين ايدراتات للفلوروكرابن fluorocarbons ، كلوريد الميثيل methyl chloride ، أكسيد الإيثيلين ethylene oxide، وثانى أكسيد الكبريت sulfur dioxide . وهناك كثير من الدراسات لبيان إمكانية إجراؤها ميكانيكياً وجدواها الإقتصادية .

18 - 3 - 7 تطبيق التركيز بالتجميد مع الأغذية:

مازال إستخدام التركيز بالتجميد محدوداً مع الأغذية، وأوضحت بعض التقارير التطبيقات التالية:

أ – فى فرنسا، تستخدم لتركيز الأنبذة ليطابق محتواها الكحولى للتشريعات، لأن إضافة الكحول النقى للنبيذ ممنوعة بالقانون.

ب– تركيز البيرة وتستخدم على نطاق تجارى.

جـ – جربت على مستوى نصف صناعى مع عصائر كل من التفاح والبرتقال ومع اللبن الفرز ومستخلص القهوة.

د– إستخدمت على نطاق تجارى لتركيز الخل ، وكان معدل إزالة الثلج حوالى 2000 رطل فى الساعة .

18 - 3 - 8 ميكروبيولوجى الأغذية المركزة بالتجميد:

يزداد تركيز المواد المذابة وعدد بعض الميكروبات أثناء عملية التجميد – فى الجزء الغير مجمد حتى تنخفض درجة الحرارة إلى تحت درجة الحرارة الدنيا لنمو الميكروب. ويفترض أن بعض الميكروبات يمكنها النمو والتكاثر والتضاعف ومع ذلك فقد يصل تركيز المواد المذابة إلى المستوى الذى يحدث عنده تثبيط للنمو الميكروبى. كما أن عملية التجميد تؤدى إلى تغير نفاذية الغشاء الخلوى الميكروبى وحدوث فقد فى ريبوسومات والأحماض الأمينية.

وتؤدى عملية التجميد إلى موت 10-60 ٪ من المجموع الميكروبى، وتزداد هذه النسبة تدريجياً أثناء التخزين بالتجميد. وفى حالة الأغذية المحتوية على مجموع ميكروبى مختلط، فإنه يحدث نقص سريع فى عددها وتموت الأنواع الحساسة أولاً ثم يحدث نقص تدريجى فى العدد كما يحدث نقص آخر فى الأعداد الميكروبية نتيجة التخزين الطويل للمنتجات المجمدة.

والجراثيم البكتيرية أكثر مقاومة لعملية التجميد، والبكتريا الموجبة لصبغة جرام أكثر مقاومة للتجميد عن البكتريا السالبة لصبغة جرام وتقاوم أيضاً البكتريا الكروية عملية التجميد. الخمائر والفطريات أكثر تحملاً لظروف التخزين بالتجميد عن البكتريا، وتحمى التركيزات

المرتفعة من السكر البكتريا والخميرة أثناء التجميد، وتقاوم البكتريا أكثر فى المحاليل المركزة القريبة من التعادل بينما تقاوم الخمائر أكثر فى المحاليل الأكثر حموضة.

وبالرغم من أن البكتـريا *Salmonella* و *Staphylococcus* وباقى الميكروبات الممرضة، تستطيع أن تقاوم التجميد والتخزين بالتجميد، فإن الميكروبات المترممة saprophytic flora تميل إلى تثبيط نموهم . ونجد أن جراثيم بكتريا *Clostridium botulinum* و *Clostridium perfringens* لا تتأثر بالتجميد كما أن السم العصبى الذى تفرزه *Colstridium botulinum* يعتبر مقاوماً لدرجات الحرارة المنخفضة (-50م)، كما يقاوم السم enterotoxin الذى تفرزه بكتريا *Staphylococcus aureus* درجة حرارة -18° فهرنهيت لعدة شهور.

18 - 4 التركيز باستخدام الأغشية Membrane processes for concentration :

يستخدم الفصل الغشائى لإنتاج مركزات عالية الجودة، حيث يتم توسط interposition غشاء بين السائل المغذى والسائل الناتج (أو الفاقد waste) وتسلط قوة دافعة driving force لنقل الماء عبر الغشاء من ناحية السائل المغذى فى إتجاه السائل الناتج. ومعدل النقل يعتمد على القوة الدافعة وعلى المقاومة التى تعتمد بدورها على خواص كل من الأغشية، والسوائل على جانبى الغشاء. ولإنتاج منتجات عالية الجودة، تستخدم أغشية شبه منفذة semipermeable، التى تتميز بنقل الماء water transport وتحجز المكونات.

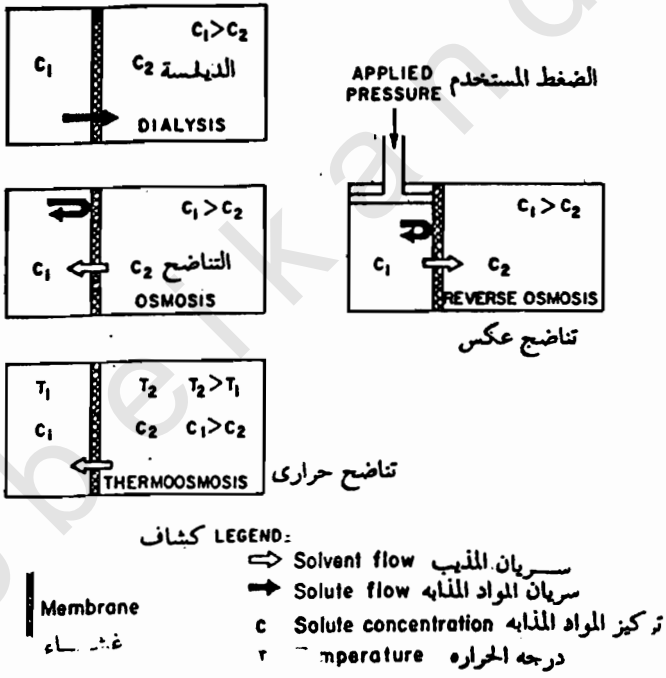
18 - 4 - 1 القوى الدافعة driving forces للفصل الغشائى:

عندما يفصل غشاء بين منطقتين، فيمكن إستخدام القوى الدافعة التالية لتمرير المكونات الجزيئية أو الأيونية molecular or ionic species: الفرق فى كل من التركيز، أو الضغط، أو درجة الحرارة، أو الجهد الكهربائى. ويوضح جدول رقم 18-4 وشكل رقم 18-27 بعض عمليات الفصل الغشائى، والأسس التى تعتمد عليها . فيعتمد كل من التناضحosmosis والديلسة dialysis على فروق التركيز، أما فى التناضح الحرارى thermoosmosis فتعمل درجة الحرارة المرتفعة المستخدمة على زيادة الضغط الجزئى partial pressure للمذيب فى التغذية الداخلة لإيجاد قوة دافعة للنقل. وفى التناضح العكسى reverse osmosis يستخدم الضغط الايدروليكى hydraulic pressure على التغذية الداخلة لعكس counteract القوى الدافعة التناضحية والتغلب عليها.

جدول رقم 18-4 : فصل مكونات الأغذية بالفصل الغشائى

القوة الدافعـة	المكون المفصول	اسـم العمليـة	
فرق التركيز	المذيب	النفاذية	permeation
		التناضح	osmosis
	المذاب	الديلسة	dialysis
فرق درجة الحرارة	المذيب	التناضح الحرارى	thermoosmosis
		التغير المعاكس	pervaporation
فرق الضغط	المذيب	التناضح العكسى	reverse osmosis
		الترشيح الفائق	ultrafiltration
فرق الجهد الكهربى (electrical potential)	المذاب	الديلسة الكهربية	electrodialysis
	المذيب	التناضح الكهربى	electroosmosis

المصدر : Karel (1975).

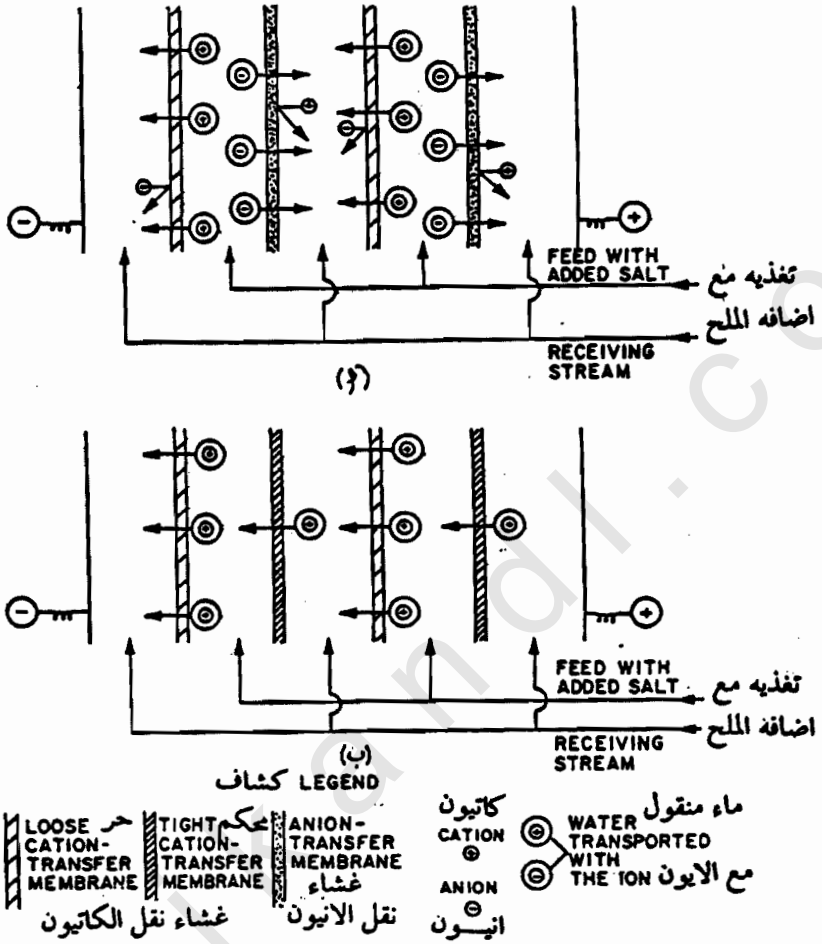


شكل رقم 18 - 27 : بعض عمليات الفصل الغشائى membrane separation processes

المصدر : Karel (1975).

أما المكونات المتأينة، كالأملاح فإنها تساعد فى الفصل بالتيار الكهربى. فتستخدم أغشية تسمح بنفاذ الأيونات المحملة بالشحنة الموجبة فقط وتسمى أغشية كاتيونيةcation membranes أو الأيونات المحملة بالشحنة السالبة فقط وتسمى أغشية أنيونيةanion membranes . وعند وجود فرق جهد كهربى عبر الغشاء فيحدث الإنسياب الأيونىionic flow، وعند إستخدام هذه العملية لإختزال المحتوى الأيونى للمحاليل فتسمى بالديلسة الكهربية electrodialysis . ولأن الأيونات المارة عبر الغشاء تتحمل بماء أدرته water of hydration ، فإنه يمكن إستخدام هذه العملية لإزالة الماء، أى للتركيز وتسمى بالتناضح الكهربى electroosmosis .

ويوضح شكل رقم 18 - 28 تنظيمان للأغشية المستخدمة للتركيز بالتناضح الكهربى للأغذية السائلة المحتوية على الكتروليتات electrolytes . ففى التنظيم الأول (أ)، تتبادل مجموعة من الحزم الغشائية stack of membranes وقنوات السريان flow channels بين القطب السالب anode والقطب الموجب cathode مكملة الدائرة الكهربية. وكل قناة إنسياب تحتوى على التغذية الداخلة تقع بين قناتى نقلsandwiched between transfer channels يفصل بينهما غشاء كاتيونى بجانب القطب الموجب وغشاء أنيونى بجوار القطب السالب. وتسرى الأيونات والماء المرتبط associated water خارجاً من قنوات التغذية feed stream channels عبر الأغشية والتى تمنع سريان الأيونات فيها نتيجة للتدرج الكهربى electric gradient الذى يحرك الأيونات تجاه الأغشية وتمنع مرورها. وبإضافة الملح للتغذية الداخلة، فإنه يحدث سريان أيونى يكفى لإزالة الكمية المطلوبة من الماء. وفى التنظيم الثانى (شكل رقم 18-28 ب) تستخدم أغشية كاتيونية فقط بالتبادل بين أغشية عالية النفاذية (حرة loose) وأخرى غير منفذة نسبياً impermeable(محكمة tight)، ويكون سريان الأيونات والماء إلى التغذية أقل عن السريان للخارج، وتكون المحصلة إزالة الماء.



شكل رقم 18-28 : شكل تخطيطى يوضح نظامى التناضح الكهربىelectroosmosis:
(أ) نظام يستخدم الأغشية الكاتيونية والأنيونية؛ (ب) نظام يستخدم الأغشية الكاتيونية فقط.
المصدر : Karel (1975).

18 - 4 - 2 أنـواع الأغشيـة:

تتكون الأغشية المستخدمة فى عملية الفصل الغشائى من بوليميرات طبيعية natural

أو مخلقة synthetic وتوجد عدة تقسيمات، منها التالى الذى يصف خواص النقل الوظيفية functional transport لعملية الفصل الغشائى.

أولاً: الأغشية المسامية Porous membranes :

وهى الأغشية التى تكون مسامها pores أكبر كثيراً من الحجم الجزيئى للمواد النافذة permeating substances ويتراوح حجم المسام بين 10^{-2} إلى 10^{2} ميكرومتر ويطلق على هذه الأغشية عدة أسماء مترادفة كأغشية: المسام الدقيق microporous، المسام المللى (أى جزء من ألف) millipore والترشيح الفائق ultrafilteration. ويحدث السريان الايدروليكى hydraulic flow للمذيب وللمواد المذابة منخفضة الوزن الجزيئى عبر هذه الأغشية وتحجز المواد المذابة مرتفعة الوزن الجزيئى

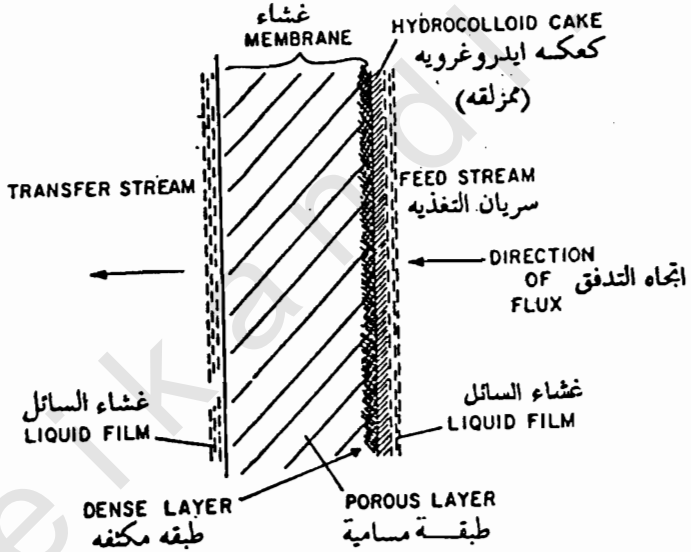
ثانياً : أغشية الإذابة "Solution" membranes :

عندما تكون «ثقوب holes» الغشاء أصغر من حجم الجزيئات المنتشرة diffusing molecules فيحدث النقل transport عن طريق «إنتشار الإذابة solution diffusion» والذى يسمى أيضاً «بالإنتشار النشط activated diffusion». ويفترض تكدس condense أو ذوبان dissolve الجزيئات النافذة permeating molecules على أحد أوجه الغشاء، وتنقل فى الغشاء كجزيئات ذائبة dissolved، ثم يعاد تبخيرها reevaporated أو يعاد استخلاصها reextracted عند الوجه الآخر للغشاء. وتتحدد معدلات النقل وعوامل الفصل separation factors بمدى القابلية للذوبان ومدى القابلية للإنتشار للمواد النافذة permeants فى مادة الغشاء. وعامة فإن هذه الأغشية لها قابلية نفاذية عالية high permeability.

ثالثاً : الأغشية غير المتجانسة Heterogeneous membranes :

وتسمى أيضاً بالأغشية الوسطية intermediate membranes بين الأغشية المسامية وأغشية الإذابة. وكمثال غشاء خلات السليلوز من نوع لويب Loeb - type cellulose acetate membrane الذى يتكون من تكثف طبقة رقيقة من غشاء إذابة thin layer dense, solution membrane على طبقة سميكة من غشاء مسامى عالى النفاذية

thicker substrate of a loose, porous membrane، الذى يحضر بتحويل غشاء الإذابة إلى غشاء مسامى بالمعاملة الكيماوية أو بتغطية وبلمرة اللحامcoating and graft polymerization . ،ويوضح شكل رقم 18-29 مقاومة السريان بغشاء خلات سليلوز غير متجانس، بالإضافة إلى إعاقة impeded السريان الناتجة من مقاومة أغشية السوائل الراكدة stagnant fluid films على جانبى الغشاء وبالرواسب الكثيفة للمواد المذابة الغروية المحبة للماءhydrocolloidal solutes فى السطح البينى interface بين الغشاء والسائل، وهى عادة بوليمر يرات أو بروتينات ممزلقة fouling والتى تسمى أحياناً ،باستقطاب التركيز concentration polarization،، ويقل التدفق عبر الغشاء نتيجة مقاومة المواد الممزلقة.



شكل رقم 18-29 : مقاومة إنسياب المذيب عبر غشاء غير متجانس من خلات السليلوز يفصل بين سائلين

المصدر : Karel (1975) .

أما حركة السلاسل البوليميرية mobility of the polymeric chains المكونة لغشاء الإذابة، فإنها تؤثر على التدفق خاصة فى الأغشية غير المتبلورةnoncrystalline (amorphous) العالية الحركة عند درجات الحرارة المرتفعة فى وجود مذيبات لها

ميل affinity للغشاء ويصبح مطاطى rubbery (بعكس الحالة المزججة glassy التى تحدث عند درجات حرارة منخفضة وتحد الحركة كثيراً) . وتزداد قابلية الغشاء للنفاذية وتقل اختياريته selectivity بتحوله من الحالة المزججة إلى الحالة المطاطية بارتفاع درجة الحرارة . وتنخفض القابلية للنفاذية كثيراً فى الأغشية المكونة من بوليميرات مبلورة جزئياً (دقيقة التبلور microcrystalline) حيث توجد مناطق متبلورة تحد كثيراً من تحرك البوليميرات فى المناطق المجاورة غير المتبلورة .

رابعاً: أغشية التبادل الأيونى Ion - exchange membranes :

حيث يحتوى نسيج الغشاء على شحنات ثابتة fixed charges in the matrix تجذب الأيونات المخالفة الشحنة counter - ions وتسمح بنقلها، بينما تستبعد الأيونات المماثلة الشحنة co - ions من الغشاء. وتحتوى الأغشية الكاتيونية على أيونات السلفونات sulfonate ions السالبة الشحنة ، بينما تحتوى الأغشية الأنيونية على أيونات الأمونيوم الرباعية quaternary ammonium ions الموجبة الشحنة. وتعتمد درجة ايدرتة هذه الأغشية على رقم الأس الايدروجينى (pH) .

18 - 4 - 3 التناضح العكسى Reverse osmosis :

يتدفق الماء عبر الغشاء طبقاً للمعادلة 18-20 الآتية:

$$J_w = \frac{D_w \; C_w}{R\,T} \; \frac{(\Delta \; u)_w}{\Delta \; X} \qquad (20\text{-}18)$$

حيث :

J_w : التدفق flux (مول / سم^2 ثانية)

$\bar{D}$: متوسط معامل الإنتشار diffusion coefficient فى الغشاء (سم^2 / ثانية)

$\bar{C}_w$: متوسط تركيز الماء فى الغشاء (مول / سم^3)

R : ثابت الغازات (إرج / مول ^oK)

T : درجة الحرارة المطلقة (^oK)

ΔX : سمك thickness الغشاء (سم)

$\Delta \mu$: فرق الجهد الكيماوى chemical potential difference عبر الغشاء (إرج / مول)

w : ترمز تحت الحروف على الماء.

obeikandl.com

ويرتبط الفرق فى الجهد الكيماوى بالضغط المستخدم والضغط التناضحى& applied osmotic pressure (شكل رقم 18-27) كما فى المعادلة 18-21 الآتية:

$$\Delta u_w = \bar{V}_w (\Delta P - \Delta \pi) \quad (21\text{-}18)$$

حيث :

$\bar{V}_w$: الحجم الجزيئى molar volume للماء (سم^3/ مول)

ΔP: الضغط المستخدم (داين / سم^2)

$\Delta \pi$: الضغط التناضحى (داين / سم^2)

ويرتبط تدفق الماء flux of water بالضغط المستخدم وبالضغط التناضحى كما فى المعادلة الآتية 18-22:

$$J_w = K_w (\Delta P - \Delta \pi) \quad (22\text{-}18)$$

حيث :

J_w: تدفق الماء

K_w: ثابت النفاذية permeance constant المشارك فى خواص الغشاء ومختلف الثوابت فى معادلة 18-22

ΔP , $\Delta \pi$: الضغوط بوحدات متوافقة مع وحدات تدفق الماء J_w

وعندما يكون التيار الناقل transfer stream مخففا نسبيا، فتبسط وتقرب الحسابات لأداء الغشاء بافتراض تناسب الضغط التناضحى مع تركيز المواد المذابة فى التغذية الداخلة، ويعتمد تدفق المواد المذابة فى الغشاء على المعادلة الآتية:

$$J_s = K_s C_{s\,(feed)} \quad (23\text{-}18)$$

حيث :

J_s: تدفق المواد المذابة flux of solute

K_s: ثابت النفاذية permeance constant للمادة المذابة

$C_{s\,(feed)}$: تركيز المادة المذابة فى تيار التغذية

obeikandl.com

ويمكن تعريف عامل الرفض rejection factor للنقل بالمعادلة الآتية:

$$\text{Rejection} = \frac{C_{s\,(transfer)}}{C_{s\,(feed)}} \qquad (24\text{-}18)$$

حيث:

$C_{s\,(transfer)}$: تركيز المادة المذابة فى التيار الناقل ، ويصبح عامل الرفض معتمداً على متغيرات التشغيل operating variables كما فى المعادلة الآتية:

$$\text{Rejection} = 1 - \frac{K_s\, P}{K_w (\Delta P - \Delta \pi)} \qquad (25\text{-}18)$$

حيث :

P : الكثافة بوحدات رطل / قدم^3 (K_s : قدم / ساعة، K_w : رطل / ساعة / قدم^2 / ضغط) .

وتوضح معادلتى 18 - 22 , 18 - 25 زيادة تدفق الماء بزيادة الضغط المستخدم (ΔP) وبزيادة ثابت النفاذية (K_w) وبإنخفاض تركيز المادة المذابة فى تيار التغذية. وتتحسن اختيارية selectivity العملية (أى المقدرة على إزالة الماء وحجز المادة المذابة) بزيادة نسبة تدفق: الماء / المادة المذابة (K_s / K_w) ولكنها تنخفض بزيادة الضغط المستخدم (ΔP) . وتقل إختيارية عملية الفصل بزيادة قابلية الغشاء للنفاذية (أى بزيادة المسامية porosity) . ويوضح جدول رقم 18-5 بعض تطبيقات التناضح العكسى فى تركيز الأغذية ومميزاتها ومشاكلها.

18 - 4 - 4 الترشيح الفائق Ultrafilteration :

يختلف الترشيح الفائق عن التناضح العكسى فى المسامية النسبية relative porosity . ففى الترشيح الفائق تحجز فقط الجزيئات الكبيرة ويمر مع الماء معظم جزيئات المواد المذابة الصغيرة كالأملاح والسكريات ومعظم مركبات النكهة. ويهمل الضغط التناضحى عبر الغشاء

لصغره نتيجة قلة عدد الجزيئات الكبيرة. ويحدث تدفق الماء بالسريان الايدروليكى hydraulic flow الذى يتناسب مع الضغط المستخدم، كما فى المعادلة التالية:

$$J_w = K`_w \Delta P \qquad (26\text{-}18)$$

حيث :

$K`_w$: ثابت constant

ويتوقف عامل الرفض على الحجم الجزئى للمواد المذابة، بينما فى التناضح العكسى فإنه توجد أهمية متساوية لكل من قطبية polarity الغشاء والميل affinity له.

جدول رقم 18-5 : بعض تطبيقات التناضح العكسى على مستوى نصف صناعى Pilot plant

التطبيق	ضغط التشغيل (Psi) *	تدفق الماء (جالون/ قدم2 فى اليوم)	مميزات الناتج	بعض المشاكل
1- تركيز شراب المابل إلى 65° بركس	500	4	المحافظة على النكهة	• نظافة وصحة الغشاء • استقطاب التركيز
2- تركيز بياض البيض	400	5	خواص وظيفية جيدة (بدون دنترة حرارية)	• نظافة وصحة الغشاء • استقطاب التركيز
3- تركيز عصائر الفاكهة	1500	8	لا يوجد تلف حرارى	• فقد بعض مكونات النكهة القطبية مع الماء؛ • البكتين والغرويات المحبة للماء تسبب استقطاب التركيز
4- تركيز الشرش whey	500	10	تجزئة اقتصادية إلى مركبات مشتقة	• مزلقة الغشاء fouling

* رطل / بوصة مربعة

المصدر : Karel (1975).

obeikandl.com

ويناسب الترشيح الفائق عمليات تنقية المواد الحيوية وكذلك التخلص من الماء والأملاح من المحاليل البروتينية الحساسة (كالإنزيمات)، وتستخدم معها ضغوط تتراوح بين 10-100 رطل / بوصة^2 (Psi)، ويتراوح معدل التدفق بين 10-50 جالون / قدم^2 فى اليوم.

وعامة فإن أغشية الترشيح الفائق أقل احكاماً من أغشية التناضح العكسى، ولكنها فى وجود ضغط معتدل تسمح بمرور الجزيئات الصغيرة كالسكريات والأملاح. وعادة فإن الأغذية السائلة تدفع تحت ضغط عبر غشاء اختيارى النفاذية على حامل مناسب، بحيث يشبه مرشحات الضغط. ويمكن تعديل هذه العملية بحيث يمرر الراشح عبر غشاء ثانى أكثر احكاما. فعند تصنيع الشرش فإنه يدفع خلال غشاء تناضح عكسى لإزالة معظم الماء وتركيز جوامد الشرش. ويمكن دمج الطريقتان معاً بدفع الشرش أولاً عبر غشاء ترشيح فائق ويتركز اللاكتوألبيومين Lactoalbumin أعلى الغشاء، ثم يدفع الراشح عبر غشاء تناضح عكسى اختيارى يحجز اللاكتوز ويركزه ويسمح بإزالة الأملاح منخفضة الوزن الجزيئى مع الماء، ويحتوى الماء المزال على أقل نسبة من المادة العضوية (وبالتالى فهو أقل تلويثاً للبيئة). وبجانب التطبيقات فى الصناعات اللبنية، فيستخدم الترشيح الفائق لتركيز عصائر الفاكهة ومستخلصات الشاى والبن وبياض البيض والبيض الكامل وبروتينات الصويا وغيرها.

18 - 4 - 5 التناضح الكهربى Electroosmosis :

تستخدم العمليات ذات القوة الدافعة الكهربائية electrically driven processes، فى إزالة الملوحة desalting ، تبادل الأيونات ion exchange أو للتركيز بإزالة الماء وتسمى بالتناضح الكهربى، ويوضحها شكل رقم 18-28 .

وتمثل المعادلة 18-27، تدفق الأيونات المحملة بشحنة معينة عبر الغشاء كما يلى :

$$Ji = Ki \frac{\Delta Ci}{\Delta X} + K`i \frac{\Delta \Psi}{\Delta X} \qquad (27 - 18)$$

حيث :

Δ Ci : الفرق فى تركيز الأيونات

Ki : نفاذية permeance الغشاء نتيجة تدرج gradient التركيز

$\bar{K}i$: ثابت يربط التدفق الأيونى بتدرج الجهد الكهربى

ΔX : سمك الغشاء membrane thickness

Ji : التدفق الأيونى (جزئ مكافئ mole equivalent/ وحدة المساحة والزمن)

$\Delta\Psi$: فرق الجهد الكهربى electric potential difference

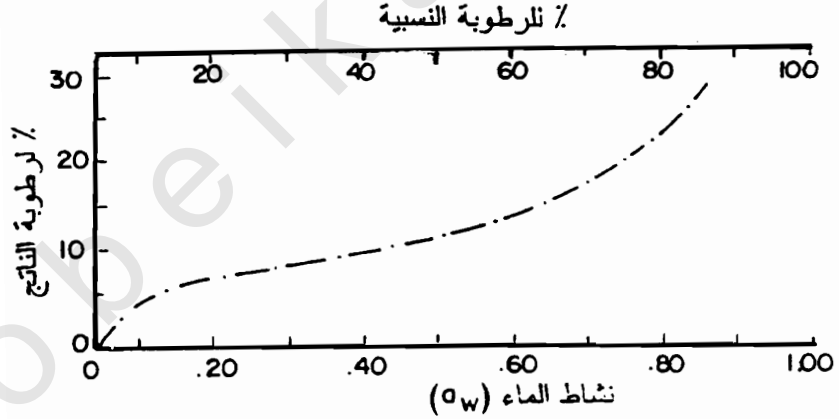
ويعتمد تدفق الما . المرتبط بالأيونات associated flux of water على كل من نوع وتركيز الأيونات، نوع الغشاء وعوامل أخرى، ويبلغ 100 - 1000 سم^3 من الماء لكل جزئ مكافئ أيونات. ويعتمد معدل الإزالة على شدة التيار current density. ولزيادة كفاءة الفصل، يضاف الملح لسريان التغذية feed stream. وأقترح استخدام التركيز بالتناضح الكهربى لتركيز الكشرش وغيره من المواد الحيوية، ويعيبه كمعظم طرق الفصل الغشائى، إرتفاع التكلفة، مزلقة الغشاء fouling ومشكلة نظافة وصحة الأغشية.

18 - 5 الأغذية متوسطة الرطوبة Intermediate - moisture foods :

(وتسمى أيضاً بالأغذية النصف رطبة semimoist foods):

يحظى حفظ الأغذية متوسطة الرطوبة عن طريق الضبط والتحكم adjustment and control فى النشاط المائى water activity اهتماماً متزايداً فى السنوات الأخيرة. وتحتوى هذه الأغذية على نسب معتدلة moderate levels من الماء تتراوح بين 20-50 ٪ بالوزن، وهى أقل من نسبته المعتادة فى الفاكهة والخضر واللحوم ولكنها أعلى من نسبتها فى الأغذية الجافة. وتحتوى الأغذية متوسطة الرطوبة على مواد مذابة dissolved solutes كافية لخفض النشاط المائى لأقل من إحتياجات نمو الميكروبات، وبالتالى لا تحتاج مثل هذه الأغذية للتبريد لمنع التلف الميكروبى microbial deterioration. ومن أمثلة هذه الأغذية: عسل النحل honey ، العسل الأسود (treacle) sugar cane syrup، منتجات الحلوى المصنعة manufactured confectionery product عالية السكر، المربى jams، الجيلى jellies ومنتجات الخبيز مثل كيك الفاكهة fruit cakes وبعض المنتجات المجففة جزئيا، كالتين figs، البلح dates، الزبيب raisins، قديد اللحم المسمى jerky البمبكان pemmican، الفلفل الرومى pepperoni، والمنتجات المشابهة واللبن المكثف المحلى (63 ٪ سكر). وفى مثل هذه المنتجات فيرجع التأثير الحافظ جزئيا إلى الضغط التناضحى osmotic pressure المرتبط بارتفاع تركيز المواد المذابة ونوعها كالملح والحامض وغيرها.

وصفيا يعرف نشاط الماء water activity (a_w) بأنه مقياس للماء الحر غير المرتبط unbound , free water فى النظام المتاح لدعم التفاعلات الحيوية والكيماوية . فنشاط الماء وليس محتوى الماء المطلق absolute water content هو الذى يرتبط بالبكتريا والأنزيمات والفاعلية الكيماوية والتوازن والنكهة والقوام واللون وثبات المغذيات stability of nutrients . وبالتالى فإذا احتوت مادتين غذائيتان على نفس المحتوى الرطوبى، فيمكن أن يكون لهما قيمتى نشاط مائى مختلفان وذلك اعتماداً على كون الماء حراً أو مرتبطاً بمكونات الغذاء. ويصل الغذاء إلى المحتوى الرطوبى النهائى عند التوازن الرطوبىmoisture equilibrium مع الجو المحتوى على رطوبة نسبية relative humidity (RH) كما يوضح منحنى الإمتصاص المتماثل حرارياً للماء water sorption isotherm لغذاء ما عند درجة حرارة معينة (شكل رقم 18-30) . وعند درجة الحرارة التى لها امتصاص متماثل حرارياً فإن هذا الغذاء الذى سبق تجفيفه إلى أقل من 20 ٪ وخزن فى جو رطوبته النسبية 75 ٪ فإنه سيمتص رطوبة ليصل إلى 20 ٪. فإذا احتوى الغذاء على رطوبة أعلى من 20 ٪ وخزن فى نفس الظروف فإنه سيفقد رطوبة حتى يصل إلى قيمة التوازن (20 ٪ رطوبة) . وبعض الأغذية تصل إلى التوازن الرطوبى فى زمن قصير جداً يبلغ عدة ساعات أو قد يطول إلى عدة أيام أو أسابيع . وعند التوازن الرطوبى فإن a_w يساوى قيمة RH ٪ مقسومة على 100 .



شكل رقم 18 -30 : منحنى الأمتصاص المتماثل حرارياً لرطوبة ناتج غذائى

Generalaized moisture sorption isotherm for a food product

المصدر : Potter & Hotchkiss (1995) .

obeikandl.com

كمياً يعرف نشاط الماء (a_w) لمحلول فى ضوء قانون Raoult's بأنه يساوى ناتج قسمة الضغط البخارى للمحلول على الضغط البخارى للماء النقى، وعند نفس درجة الحرارة فيساوى أيضاً كسر من الوزن الجزيئى mole fraction للماء النقى فى المحلول، والتى تكافئ عدد جزيئات number of moles الماء فى المحلول مقسومة على عدد الجزيئات الكلية الموجودة. وعلى سبيل المثال يحتوى محلول سكروز 1 مولال molal على واحد جزيئ mole سكروز، 55.5 مول ماء (ناتج قسمة 1000 جرام / 18 جرام)، وبافتراض أنه يسلك كمحلول مثالى ideal or perfect فإن قيمة a_w تساوى 55.5 / 56.5 أى 0.98 ومثل هذا المحلول يكون مخففا لدرجة أنة لا يثبط النمو الميكروبى فى الوجه المائى.

ويمكن قياس نشاط الماء (a_w) بوضع أجزاء صغيرة من المادة الغذائية فى برطمانات، وتحفظ عند درجة حرارة ثابتة وعند درجات رطوبة نسبية مختلفة مع حامض كبريتيك قياسى standard أو محاليل ملحية. وتوزن عينات دورية حتى تصل للتوازن الرطوبى وثبات الوزن وعدم اكتساب أو فقد الرطوبة، ويرسم منحنى يربط بين نسبة الرطوبة المتوازنة لكل جزء من الأغذية ضد درجات الرطوبة النسبية (شكل رقم 18-30). ومن هذا المنحنى فإن a_w تساوى RH المقابلة لكل نسبة رطوبة مقسومة على 100 . وعمليا يتم بالأجهزة instrumentally تقدير a_w لمخلوط غذائى عن طريق وضع عينة من هذا الغذاء فى وعاء محدود الفراغ القمى headspace عند درجة الحرارة المختارة ويوضع معه مجس لهيجروميتر حساس sensitive hygro meter sensor يتصل بمسجل مقياس الجهد potentiometric recorder لرسم المنحنى، a_w = 100 / RH عند التوازن (ويتم قياس RH بطريقة الثرمومتر الرطب والجاف wet bulb & dry bulb temperature probes.

ويؤثر النشاط المائى فى الأغذية على نمو الكائنات الحية الدقيقة. فأقل نشاط مائى لا ينمو تحته معظم بكتريا الغذاء حوالى 0.9 ما عدا البكتريا الـ *S. aureus* والبكتريا المحبة للملوحة halophilic bacteria وبعض أنواع الخمائر تنمو حتى نشاط مائى 0.75 (وهذه من الاسباب النادرة لفساد الغذاء) . وتقاوم الفطريات ظروف الجفاف عن معظم البكتريا، وبالتالى تنمو جيدا على الأغذية التى لها a_w=0.80 ويقل النمو عند نشاط مائى منخفض

0.70 ويقف تماماً عند a_w=0.65 والتى عادة لاتتحقق عند تصنيع الأغذية متوسطة الرطوبة. ويقابل هذا المستوى محتوى رطوبى كلى أقل من 20٪ فى معظم الأغذية التى تفقد مضغيتها و تقترب من الأغذية المجففة . أما قوام texture معظم أنواع الأغذية متوسطة الرطوبة فتحتاج إلى قيم a_w تتراوح بين 0.70 - 0.85، وهذه القيمة المنخفضة كافية لتثبيط البكتريا التى تسبب فساد للأغذية الشائعة ولكنها غير كافية لتثبيط النمو الفطرى على المدى الطويل. ويمكن زيادة التأثير الحفظى augment the preservative effect بإضافة مضادات فطرية antimycotic مثل سوربات البوتاسيوم potassium sorbate للأغذية.

وعملياً فإن قيم a_w المنشورة فى المراجع لتثبيط النمو الميكروبى ليست قيماً مطلقة حيث تتأثر ببعض العوامل مثل درجة الحرارة، الأس الايدروجينى (pH) والاحتياجات التغذوية microbial requirements للميكروبات، وطبيعة المواد المذابة فى الماء وبالرغم من تأثيرها المحدود فيلزم إجراء الاختبارات البكتريولوجية bacteriological tests المناسبة خاصة مع التوليفات الجديدة new - formulation للأغذية. وعند تكوين توليفة غذاء متوسط الرطوبة فإنه يتم اختيار a_w محددة ثم تختار المكونات التى توصله لتركيز مذاب ليعطى a_w المرغوب. أما تركيز المواد المذابة الكلية المقابلة لأى a_w فيمكن حسابها بسهولة من المعادلات المشتقة من قانون Raoult's بافتراض سلوك الوجه المائى للغذاء كمحلول مثالى. وعند زيادة تركيز المحلول فإنه يبتعد عن المثالية، وتصبح الحسابات المرتبطة بتركيز المواد المذابة و a_w تقريبية. وكمثال فعند a_w = 0.995 فإن تركيز المادة المذابة من الناحية النظرية يساوى 0.281 مولال molal. فالسكروز أو الجليسرول لا تنحل dissociate فى المحلول وتقترب من المثالية، بينما ينحل كلوريد الصوديوم أو كلوريد الكالسيوم إلى الأيونات المكونة لها وتصل أيضاً للسلوك المثالى فى المحاليل المخففة، ويؤخذ فى الاعتبار مجموع تركيزات هذه الأيونات. وتكون المواد المذابة فى المحاليل المركزة أكثر فاعلية فى خفض a_w عن المتوقع على أساس السلوك المثالى، ولا يرجع ذلك إلى خفض الانحلال الأيونى والتى تؤثر عكسياً ولكن إلى زيادة الايدرته الكلية لعدد كبير من جزيئات المواد المذابة الأيونية أو غير الأيونية كالسكروز والجليسرول التى تستخدم كمكونات فى توليفات الأغذية متوسطة

الرطوبة وبذلك يتعذر الحساب الرياضى لنشاط الماء a_w مقارنا بالقياسات التجريبية.

18 - 5 - 1 ميكروبيولوجى الأغذية متوسطة الرطوبة:

تحتوى الأغذية متوسطة الرطوبة على عديد من الميكروبات الحية وجراثيمها ولكنها غير قادرة على الإنبات والتكاثر لإنخفاض قيمة نشاط الماء a_w عن الحد المناسب، وبالتالى فتعتبر هذه الأغذية ثابتة من الناحية الميكروبيولوجية. وفى الأغذية التى تتراوح قيم نشاط الماء a_w بين 0.60 - 0.85 فإن معظم النمو الميكروبى يرجع إلى الفطريات والخمائر والتى يمكن التحكم فى نموها بإضافة عوامل مضادة فطرية antimycotic agents. كما يؤدى قلة الأكسجين المتاح حول هذه الأغذية إلى الحد من نمو الفطريات. وأحد المشاكل المهمة التى ترتبط بالحالة البكتريولوجية للأغذية متوسطة الرطوبة هو إمكانية نمو بكتريا *Staphylococcus aureus* عند قيم نشاط مائى a_w تتراوح بين 0.83, 0.84 و تفرز السم toxin عند a_w 0.86.

وفيما يلى توضيح للنشاط المائى a_w الأدنى اللازم لبعض الكائنات الحية الدقيقة:

الكائن الحى الدقيق	نشاط الماء الأدنى a_w
بكتريا	0.91
خميرة	0.88
فطريات	0.80
بكتريا محبة للملوحة	0.75
فطريات محبة للجفاف	0.65
خمائر محبة للضغط التناضحى المرتفع	0.60

الأنواع العادية من الخمائر والفطريات، يثبط نموهما عندما تصل قيم a_w إلى أقل من 0.80,0.88 على التوالى. أما فى حالة الفطريات المحبة للجفاف xerophilic fungi ، والخمائر المحبة للضغط التناضحى المرتفع osmophilic yeast فيمكنها أن تنمو عند قيم a_w تصل إلى 0.65 و 0.60 على التوالى. ولاتتواجد معظم الميكروبات الممرضة pathogenic الشائعة فى الغذاء عند قيمة a_w=0.85 .

18 - 6 تصنيع بعض الأغذية المركزة:

18 - 6 - 1 الأغذية المركزة الرطبة Moist food concentrates :

أولاً عصائر الفاكهة المركزة fruit juice concentrates :

1- عصائر الموالح Citrus juices :

تعتبر عصائر كل من : البرتقال orange، الجريب فروت grape fruit، الليمون الأضاليا lemon، والليمون البلدى (البنزهير) lime من أكثر عصائر الموالح التى يتم تركيزها تحت ضغط منخفض vacuum ، لإنتاج المركزات المجمدة frozen concentrates، كقواعد لإنتاج المشروبات beverage bases، أو كمكونات ingredients فى الأغذية. وعادة فإن عصائر الموالح تصفى strained ولا ترشح. وقد تحضر عصائر مروقة clarified juices من الليمون الأضاليا والبلدى لبعض الاستخدامات الخاصة.

وتتعرض عكارة "cloud" عصائر الموالح للترسيب بفعل الإنزيمات المحللة للبكتين pectic enzymes أو بالتجفيف غير العكسى للغرويات irriversible dehydration of colloids. وعادة يزال نشاط هذه الإنزيمات deactivated أو تثبط كلياً أو جزئياً بالتسخين الوميضى flash heating للعصير إلى درجات حرارة تتراوح بين 165-190° فهرنهيت. كما يمكن تقليل تغيرات النكهة فى العصائر بحقنه بالبخار. وتصمم السخانات لرفع درجة حرارة العصير بتجانس فى جزء من الثانية ودون حدوث تسخين زائد overheating. ويبرد العصير بدفعه بسرعة تحت ضغط منخفض فى أجهزة التركيز concentrator أو فى مبادل حرارى.

ولتعويض compensate ما فقد من مكونات النكهة أثناء تركيز العصير تحت ضغط منخفض، فيضاف له العصير الطبيعى غير المركز cutback juice، والاسترات، والزيوت العطرية لقشور الموالح.

وتستخدم مبخرات درجة الحرارة المنخفضة Low temperature evaporators أو المبخرات التقليدية لتركيز عصائر الموالح. ويجب مراعاة الشروط الصحية (التصحاح) sanitation عند تصميم المبخرات، حيث تشجع درجة الحرارة المنخفضة

نمو *Leuconostoc* وغيرها من الميكروبات التى تسبب نكهة غير مرغوبة فى مركزات عصائر الموالح. وتنظف هذه المبخرات بتدوير محاليل المنظفات الساخنة والمطهرات sanitizers مع استخدام التنظيف اليدوى للأماكن التى يصعب الوصول إليها. ويجب إجراء عملية التنظيف دورياً على فترات تتراوح بين 2-7 أيام حسب نوع المبخرات والحمل الميكروبى للمواد الخام.

وعادة يتم تداول وتسويق المركزات المجمدة عند 42° فهرنهيت وبتركيزات مرتفعة تصل إلى 72٪ جوامد، ماعدا البرتقال والجريب فروت، بينما تسوق مركزات عصيرى الليمون الأضاليا والليمون البلدى على أساس محتوى كل منهما من حمض الستريك.

أما عصير البرتقال، فيركز إلى 58 ٪ جوامد لإنتاج المركزات المجمدة، بعد أن يضاف إليه عصير طبيعى غير مركز cutback single strength juice، والذى قد يحدث به إنخفاض لنسبة اللب المعلق suspended pulp نتيجة التجمع coagulation والترقيد (الترسيب) settling . وتجرى عملية الخلط blending أتوماتيكيا، ويتم التحكم فيها باستخدام مقاييس للكثافة density meters تعمل بالهواء وبالطلمبات الحجمية proportioning pumps. وقد يجمد عصير البرتقال المركز على صورة ثلج نصف ذائب slush frozen على سطح مبادل حرارى مزود بأسطح كاشطة scraped surfaces ويعبأ فى أكياس من عديد الايثيلين polyethylene bags ملحقة بالأسطوانة. ويسمح هذا النظام بخلط عصير مرتفع الحموضة مع عصير منخفض الحموضة، عصير غنى باللون بآخر فقير باللون، كما يمكن خلط أصناف مختلفة من نفس النوع لإنتاج مركزات متجانسة على مدى موسم التشغيل الطويل. ويمكن خلط مركزات عصير البرتقال (58درجة بركس) مع عصير طازج لإنتاج عصير مبرد chilled juice معبأ لتوزيعه فى مراكز التسويق.

2- عصير الأناناس Pineapple juice :

يستخدم عصير الأناناس بمفرده أو مخلوطا مع فواكه أو عصائر أخرى. فيطرد العصير مركزيا للتخلص من الجوامد العالقة الثقيلة heavy solids، ويتم تثبيط الإنزيمات بالتعرض الوميضى (اللحظى) flash للعصير لدرجة حرارة 165° فهرنهيت. ويركز العصير فى مبخرات درجة الحرارة المنخفضة والتى تجهز بوحدة لاستعادة مكونات النكهة الطيارة

وإعادتها إلى العصير المركز. كما يمكن إضافة العصير الطبيعى cutback juice إلى العصير المركز لتعويض فقد المواد الطيارة بالتبخير. ويمكن نقله من مناطق إنتاجه إلى أماكن إعادة تصنيعه وخلطه بتجميده فى صورة شرائح أو مكعبات مجمدة فى أكياس من عديد الايثيلين مغلقة، ومعبأة فى كراتين.

3- عصير التفاح Apple juice :

يركز عصير التفاح لاستخدامه فى صناعة المشروبات beverages وكمكون ingredient فى صناعة الجيلى jellies والفاكهة المحفوظة. ويتم إستعادة مركز النكهة essence recovery كخطوة ضرورية فى التركيز التجارى لعصير التفاح وإضافتها إلى العصير المركز للحصول على ناتج مميز النكهة. وتتم بسترة العصير لتثبيط نشاط الإنزيمات. ولا يلزم تركيز عصير التفاح فى مبخرات درجة الحرارة المنخفضة لأن درجات الحرارة الأعلى من 130° فهرنهيت لا تؤثر على نكهة عصير التفاح المركز.

4- عصير العنب Grape juice :

تحضر أصناف العنب (وأشهرها الكونكورد concord) لاستخراج العصير juicing بتسخينها وعصرها crushing لاستخلاص اللون ومواد النكهة من قشر الثمار قبل الكبس pressing فى مكابس هيدروليكية أو بالطرد المركزى. ويسخن العصير المصفى strained بالطريقة المستمرة إلى 180° فهرنهيت. ويمكن استعادة مكونات النكهة الطيارة بالتكثيف الجزيئى fractional condensation فى مكثف مبرد . وتختلف طرق ترويق clarification عصير العنب من مصنع لآخر، حيث يضاف أنزيم استراز البكتين pectinesterase للعصير لترسيب البكتين قبل تخزينه فى أوعية مغلقة لترسيب الأرجولات argols (طرطرات البوتاسيوم الايدروجينية) ثم يعقم الناتج.

ويتم تركيز العصير المروق تحت تفريغ إلى تركيز يتراوح بين50 إلى70 بركس ثم يجمد، وتستخدم مركزات العنب فى صناعة المشروبات.

5- التوت (او العنبيات) Berry والكريز (الكرز) Cherry :

يزداد إنتشار تركيز عصائر التوت بينما لايزال تركيز عصائر الكريز محدوداً. وتستخدم عادة مركزات هذه العصائر فى صناعة الجيلى jelly. ويتم تجميد هذه الثمار

وتفكيكها thawed قبل استخلاص العصير juicing، بالكبس على الساخن ويروق العصير بإضافة الإنزيمات البكتينية ويرشح ويتم تركيزه.

6- مركز عصير الكشمش الأسود* Black - Currant Juice Concentrate :

يتم تركيز هذا العصير بعدة طرق منها: في مبخر غشائي متسلق climbing film evaporator عند درجة حرارة تتراوح بين106° – 118° فهرنهيت، أو في مبخر درجة حرارة منخفضة من نوع coolcentrator عند درجة حرارة تتراوح بين64° –68° فهرنهيت، أو بالتجميد وفصل العصير المركز عن بلورات الثلج. ولا يتأثر شذا أو عبير aroma العصير المركز كثيراً بإختلاف طرق التركيز السابقة، وتكون كلها خالية من المذاق المطبوخ cooked taste . ويتحدد عبير أو شذا العصير المركز أو الشراب المعاد التركيب reconstituted بدرجة إحتفاظه بالجزء الطيار volatile fraction، ويكون أفضل ناتج بالتركيز عن طريق التجميد. ويمكن المحافظة على جودة العصير المركز أثناء التخزين عند32° –36° فهرنهيت لمدة سبعة شهور، ثم يأخذ في التدهور. ويتخزين العصير المركز عند درجة حرارة الغرفة يزداد تدهور لونه ونكهته ويزداد فقد حمض الاسكوربيك. ويجب تخزين العصير المركز عند –10° فهرنهيت لمنع التغير في نكهته، كما يظهر التلون البني browning في العصير المركز بتخزينه عند درجات حراره غير مناسبة ماعدا في العصائر المركزة المضاف إليها ثاني أكسيد الكبريت SO_2 الذي له تأثير محسن ameliarative effect . ويزداد ظهور التلون البني في العصائر المركزة المخزنة عند64° فهرنهيت. وتظهر رائحة عفنة أو رائحة القش musty "hay" aroma في العصير المركز المحضر من عصير سبق تسخينه إلى194° فهرنهيت أثناء فصل مكونات النكهة الطيارة.

---

* وعنب الثعلب الأسود / أو عنب الدب *Ribes orientalis*، ريباس، كاسي (وهو نبات مثمر من فصيلة الكشمشيات، وتؤكل ثماره كما يصنع منها شراب ومربات ومنه أنواع عديدة منها الريباس "الكشمش" الأبيض *R. album* والأسود *R. nigerum* والأحمر *R. rubrum* وله خواص علاجية فهو مضاد للأسقربوط، ومدر للبول.

المصدر : دليل مصطلحات علوم الغذاء والتغذية (إنجليزي / عربي).

النكروري، جامد رباح، طوقان، سلمى خليل، حميض، محمد علي (دكاترة).

ثانياً : مركزات الطماطم Tomato concentrates :

تقطع ثمار الطماطم وتسخن بسرعة لتثبيط نشاط الإنزيمات ولدشر disperse وتثبيت الغرويات المعلقة والأجسام الحاملة للون color bodies، وتفصل البذور والعروق الداخلية cores فى ماكينة فصل اللب pulper & finisher ثم ينقل هذا المهروس purèe إلى أجهزة التركيز concentrators. وعادة تستخدم مبخرات ثنائية الفعل (أو المرحلة) double effect evaporators بطاقة عصير داخل حوالى 20 طن فى الساعة، والتى تنتج مهروس purèe أو عجينة طماطم tomato paste يتراوح تركيز الجوامد فيها بين 26-33 ٪ حسب نوع الناتج، وقد يصل تركيز الجوامد فيها إلى 50 ٪ فى حالة إنتاج عجائن ثقيلة heavy pastes. وتجدر الإشارة إلى أنه قد يستخدم حالل مفتوحة open kettles أو تحت ضغط جوى منخفض vacuum pan من النوع المعروف باسم كالاندريا calandria type. وفى كل الأحوال يتم تعبئة المهروس أو العجينة فى علب صفيح ، أو أوعية زجاجية (برطمانات) وتعقم تجارياً

ثالثاً : مهروس الفاكهة Fruit purèe :

تركز مهروسات purèes المشمش apricot والخوخ peach والكمثرى pear لشحنها إلى مراكز الإستهلاك حيث يضاف إليها الشراب السكرى لتحضير النكتارات nectars المعلبة. وتجابه هذه المهروسات مشاكل هندسية مماثلة لمركزات الطماطم، وكذلك مشاكل اللزوجة، إلا أنها حساسة للتلف damge بدرجات الحرارة المرتفعة.

وتحضر هذه المهروسات بدفع البخار steaming فى الثمار كاملة النضج فى دافعات بخار حلزونية screw steamer لإيقاف نشاط الإنزيمات. وتنقل حرارة التبخير فى هذه المنتجات الغليظة القوام heavy bodies بمبادلات حرارية ذات أسطح كاشطة scraped surfaces، والتى يمكن أن يتضمنها تصميم المبخرات. وتوجد مبادلات حرارية ذات أسطح كاشطة اسطوانية تشبه تلك المستخدمة فى التجميد المستمر للمثلوجات اللبنية ice - cream ، وتناسب هذه الأجهزة عمليات تسخين وتبريد هذه المركزات ولتعليبها معقمة canning أو لتجميد هذه المركزات فى صورة ثلج نصف ذائب slush للتوزيع أو التخزين المجمد.

رابعاً : الأغذية عالية الجوامد – عالية الحموضة High solids - high acid:

وتشمل هذه الأغذية: الجيلى jelly، المربى jam، المرملاد marmalades ، الفاكهة المحفوظة preserves، وزبدة الفاكهة fruit butters. وتحضر هذه المنتجات من الفاكهة و/ أو النباتات مع إضافة السكر بعد تركيزها بالتبخير حتى لا تتعرض للفساد الميكروبى. وتخزن هذه المنتجات فى عبوات غير محكمة without hermatic sealing، رغم فائدة إحكام العبوات كحماية من الأكسدة وفقد الرطوبة وكذلك من النمو الفطرى،كحفظ الفاكهة المحفوظة فى عبوات مغلقة تحت تفريغ. وتحتاج هذه الصناعة إلى التحكم فى القوام consistency خاصة بعد توافر المعلومات عن تكوين البكتين للجل.

1- تعريف المنتجات:

أ- الجيلى Jelly :

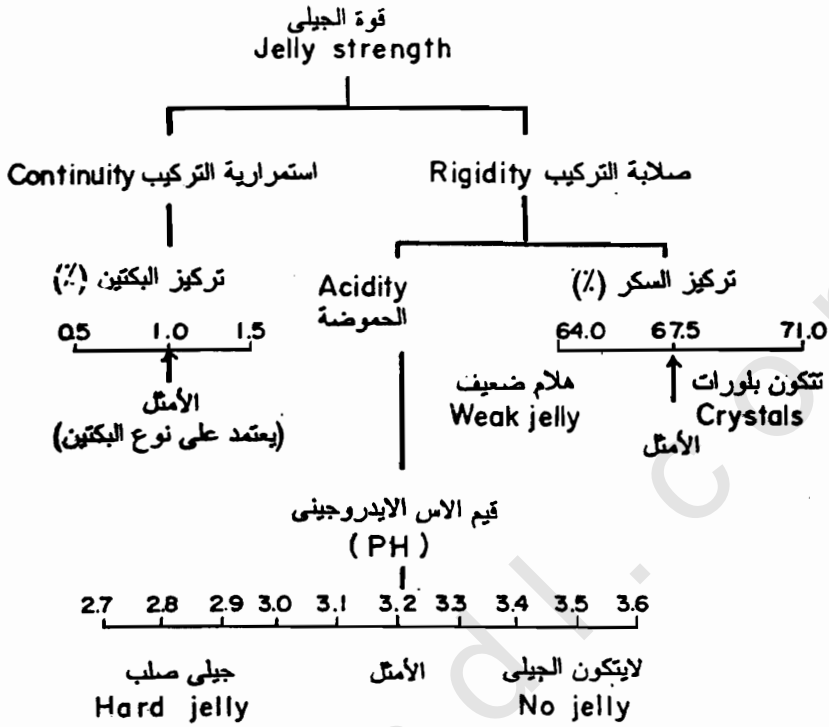
هو الناتج نصف الجامد semisolid الذى يصنع من 45 جزء بالوزن على الأقل من عصير الفاكهة و55 جزء بالوزن من السكر، ويركز إلى ما لا يقل عن 65 ٪ جوامد ذائبة. وقد يضاف له مواد ملونة، مكسبات نكهة flavoring agents، البكتين، والحامض للتغلب على نقصها فى الفاكهة المستخدمة. ولإنتاج جل gel الفاكهة فيجب توفر أربعة مكونات رئيسية هى: البكتين pectin، الحامض، السكر، والماء (شكل رقم 18-31).

ب – المربى Jam :

تشابه تعريف الجيلى ما عدا استخدام ثمار الفاكهة أو أجزائها بدلاً من عصير الفاكهة بنفس النسب السابقة مع السكر، وتركز إلى 65 ٪ جوامد ذائبة على الأقل وقد يصل فى بعض الأنواع إلى 68 ٪ جوامد للوصول إلى الجودة المطلوبة.

جـ – المرملاد Marmalade :

هو ناتج يشبه الجيلى jelly - like غير أنه يصنع من عصير الفاكهة، عادة الموالح وشرائح قشورها مع السكر.



شكل رقم 18-31 : تكون الجيلى jelly formatoin بارتباط البكتين والسكر والحامض (يلزم حدود ضيقة لتصنيع الجيلى الجيد)

المصدر : Desrosier & Desrosier (1977) .

د- زبدة الفاكهة Fruit butter :

وهى الناتج الناعم smooth نصف الجامد semisolid الذى يحضر من مخلوط يحتوى 5 أجزاء بالوزن من الفاكهة على الأقل لكل 2 جزء بالوزن من السكر.

2- البكتين وتكوين الجل Pectin and gel formation :

ترجع مقدرة الفاكهة ومستخلصاتها على تكوين الجيلى jelly - forming إلى مادة البكتين التى تحتويها الأنسجة النباتية فى عدة صور مع السليلوز ، كما يلى :

أ- البروتوبكتين Protopectin :

وهى المادة الحاملة precursor للبكتين التى تتواجد كمادة لاحمة بين الخلايا النامية

فى الصفيحة الوسطية middle lamellae وفى جدر الخلايا النباتية. وعند غليانها فى محلول حامضى فإنها تتحلل مائياً إلى البكتين الذائب. ويتواجد البروتوبكتين فى الثمار والأوراق والجذور اللحمية، وهى عبارة عن مواد بكتينية غير ذائبة فى الماء وعندما تتحول إلى مادة ذائبة فإنها تسمى بالبكتين، كما يحدث أثناء نضج الثمار بمساعدة الإنزيمات، وقد تتحلل بتقدم النضج maturation مكونة حمض البكتيك pectic acid غير الذائب وكحول الميثايل. وتحدث طراوة softening للثمار بتحول البروتوبكتين إلى البكتين. وفى وجود السكر والحامض فإن البروتوبكتين لا يكون الجل.

ب - البكتين Pectin :

عبارة عن ناتج التحلل المائى للبروتوبكتين (فى عملية نضج الثمار)، ويكون محاليل غروية فى الماء. ويعرف البكتين بأنه حامض البكتينيك pectinic acid الذائب فى الماء والمحتوى على استرات مثيلية (فى صورة مجاميع ميثوكسيلmethoxyl group) ودرجة من التعادل neutralization تجعله قادراً على تكوين الجل gel مع السكر والحامض تحت الظروف المناسبة. وبإجراء التحليل المائى للبكتين فى وجود القلوى فإنه ينتج كحول ميثايل وحامض الجالاكتيورونيك galacturonic acid.

البكتين يختلف باختلاف مصادره، فيحتوى بكتين جذور البنجر على مجموعة أستيل acetyl group، ويختلف بكتين الفاكهة فى محتواه الميثوكسيلى وفى القوة الجلية jellying power. والبكتين غروى عكسى reversible حيث يكون ذائباً فى الماء ثم يرسب بالكحول ويفصل ويجفف ثم تعاد إذابته فى الماء بدون أن يفقد مقدرته على تكوين الجل gel forming capacity. وللبكتين منخفض الميثوكسيل low methoxyl pectins المقدرة على تكوين الجل فى وجود تركيزات منخفضة من السكر أو حتى فى غيابه تحت ظروف خاصة.

جـ - حمض البكتيك Pectic acid :

عبارة عن ناتج التحليل المائى للبكتين ، الذى يمر بعدة خطوات وسطية ومنها خطوة تكوين حمض البكتينيك. ويمثل الوحدة البنائية للبكتين عندما يؤستر مع كحول الميثايل.

د – تكوين الجـل gel formation :

فى الفاكهة الحامضية يصبح البكتين غروى محملاً بشحنة سالبةnegatively charged colloid ويؤثر السكر على توازن البكتين والماء، ويفقد البكتين ثباته ويتكتل conglomerate مكونا شبكة متصلة network من الألياف التى تحتوى السوائل. أما إستمرارية continuity الشبكة التى يكونها البكتين وكثافة الألياف المتكونة فإنها تعتمد على تركيز البكتين، وبزيادة تركيزه تزداد كثافة الألياف فى التركيب الشبكى. كما تتأثر صلابة rigidity الشبكة البكتينية بتركيز السكر وبالحموضة، حيث يقل الماء فى التركيب الشبكى بزيادة تركيز السكر. وتحكم حموضة الثمار خشونة (تخشب) toughness الألياف فى التركيب الشبكى، حيث تزداد خشونة ولزوجة تركيب الجل gel structure بزيادة الحموضة أو انهياره نتيجة التحليل المائى للبكتين. أما إذا انخفضت الحموضة فإن ألياف الشبكة تضعف ولا تحتفظ بالسائل وتترهل (أو يحدث إسترخاء) slump للجل.

ويتكون الجل فقط فى مجال ضيق من قيم الأس الايدروجينى (pH)، الذى تبلغ قيمته المثلى عند 3.2 . وعند أقل من هذه القيمة فإنه تضعف قوة الجل gel strength ببطء. ولا يتكون الجل عند أعلى من قيمة أس ايدروجينى 3.5 عند تركيز الجوامد الذائبة المعتاد. وتبلغ القيمة المثلى لتركيز الجوامد 65 ٪ أو أعلى قليلاً. ويمكن تكوين جل عند 60 ٪ جوامد بزيادة تركيز كل من البكتين والحامض. وزيادة تركيز الجوامد تنتج جل لزج sticky gel . وتتوقف كمية البكتين اللازمة لتكوين الجل على نوعيته، وعامة فإنه يلزم تركيز 1 ٪ أو أقل من البكتين لإنتاج تركيب جيد. ويمكن تكوين جل من حمض البكتينيك pectinic acid gel بإضافة أيونات معدنية التى تخفض تركيز الجوامد الذائبة اللازمة، والتى تفيد فى إنتاج جل منخفض السعرات.

ويستخدم إصطلاح الإرتشاح (إنفصال السائل)synersis ليصف الجيلى jelly المحتوى على سائل حر free liquid متحرر منه وتسمى أحياناً ببكاء الجيلى weeping of jelly .

3- السكـر المحـول Invert sugar :

عبارة عن السكر المختزل المكون من الجلوكوز والفركتوز بنسب متساوية وينتج من

التحليل المائى للسكروز بالغليان فى وجود الحامض ويتأثر معدل التحول inversion بدرجة الحرارة وزمن التسخين وقيمة الأس الايدروجينى للمحلول. ويفيد تكون السكر المحول فى الجيلى فى تأخير أو منع تبلور السكروز فى التركيزات المرتفعة. ويجب توافر توازن فى محتوى الجيلى من السكروز والسكر المحول حيث تبلغ نسبتها 60 : 40 على الترتيب. وينتج عن إنخفاض تحويل السكروز ظاهرة البلورة crystallization، بينما زيادة التحويل قد تؤدى إلى تحبب granulation الجلوكوز فى الجيلى. ويصعب الإحتفاظ بنسبة السكروز إلى السكر المحول (60:40) لإختلاف حموضة الثمار وظروف عملية الغليان، وتزداد الصعوبة بإطالة غليان الفاكهة المنخفضة فى الحموضة أو فى البكتين. ويقل تحول السكر بإجراء التركيز عند ضغط منخفض وفى هذه الحالة يستبدل جزء من السكروز بالسكر المحول التجارى.

4- تصنيع الجيلى Jelly making :

لإنتاج الجيلى الجيد يجب أن تحتوى الثمار المستخدمة فى صناعته على كمية كافية من البكتين ومن الحامض مثل ثمار التفاح البرى crabapples والتفاح الحامضىsour apple والكريز الحامضى sour cherries والتوت البرى (عنب الاحراج) cranberries. ويعتبر الكريز الحلو sweet cherries والسفرجل quinces والشمام melons ثمار غنية بالبكتين ولكنها قليلة الحموضة، بينما تحتوى ثمار الشليك strawberries والمشمش على حموضة كافية ولكنها فقيرة فى محتوى البكتين. أما ثمار الخوخ peaches والتين figs والكمثرى pears فقيرة فى كل من الحامض والبكتين. ونظراً لتوفر البكتين التجارى والأحماض المأكولة edible فيمكن تعويض النقص فى أحدهما أو كلاهما.

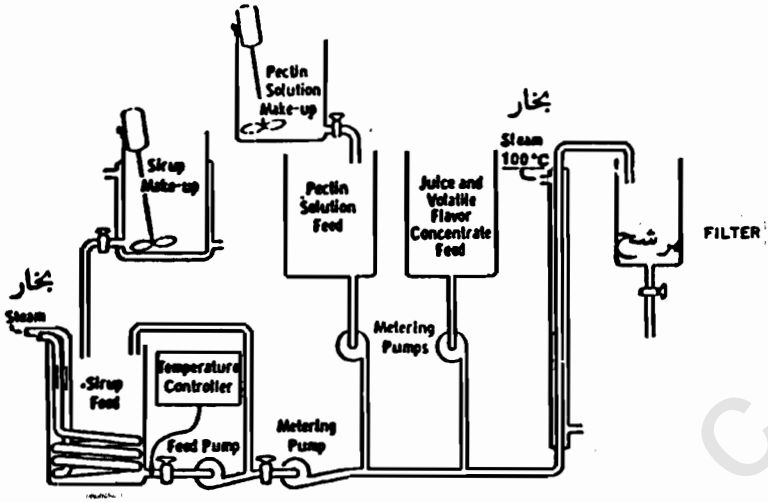
ويتضمن تصنيع الجيلى، غليان الفاكهة لاستخلاص كل من البكتين ومواد النكهة المميزة للثمار، والحصول على أقصى كمية من العصير. كما تفيد هذه العملية فى هدم الإنزيمات المحللة للبكتين أثناء عملية الإستخلاص. وقد يضاف الماء أثناء عملية الإستخلاص بكمية تعتمد على مدى عصيرية juiciness الثمار، ثم يبخر الماء الزائد خلال عملية التركيز. ويفضل إضافة أقل كمية من الماء للحصول على العصير المحتوى على البكتين مع تجنب الشياط scorching. وبعد ذلك يصفى عصير الفاكهة المغلى لفصله عن لب الثمار، ويعاد إستخلاص الكيكة cake المتبقية بالماء والغليان مرة ثانية لإستخلاص

أقصى كمية من البكتين، ويتم ترشيح العصير المصفى للتخلص من الجوامد العالقة. ويعوض النقص فى البكتين أو الحامض بإضافتهما . وعامة فإن مسحوق البكتين المضاف يخلط جيداً بعشرة أمثال حجمه من السكر الجاف، للتأكد من التوزيع المتجانس للبكتين ومنع تكوين قطع متكتلة lumping عند إضافته للعصير.

ويضاف السكر للعصير بحالته الجافة (أو كشراب مركز) أثناء التقليب والتسخين للتأكد من تمام ذوبانه. كما يجب تركيز العصير بسرعة إلى النقطة الحرجة critical point لتكوين الجل فى نظام البكتين – حامض – سكر. حيث تؤدى إطالة عملية الغليان إلى التحليل المائى للبكتين، تطاير الحامض volatilization، فقد اللون ومكونات النكهة . وينتج الجيلى أفضل بالتركيز عند ضغط منخفض عن الأوعية المفتوحة. وتقدر النقطة التى يوقف عندها التبخير بتقدير الجوامد الذائبة بالرفراكتوميتر refractometer أو عندما تصل درجة حرارة المخلوط إلى 104.4° – 105° مئوية فى الأوعية المفتوحة. وطورت صناعة الجيلى كعملية مستمرة continuous process (شكل رقم 18-32). وإذا لزم إضافة الحامض – لتعويض نقصه فى العصير – فيتم ذلك فى نهاية دورة التبخير evaporation cycle حتى تسهل التعبئة قبل تكوين الجل. ويمكن التحكم فى تكوين الجل أيضاً وتأخيره بإضافة أملاح منظمة buffer salts مثل سترات الصوديوم وبعض أملاح الفوسفات.

فى صناعة المربى jam والفاكهة المحفوظة preserves ، ولوجود فاكهة معلقة فى الجيلى، فإنه يلزم إضافة بكتين سريع التصلب quick setting pectins للتأكد من إحتباس entrapped الفاكهة فى تركيب الجل. وعادة تعبأ هذه المنتجات والجيلى ساخنة (حوالى 87.8° مئوية) ولا تحتاج لمعاملة تعقيم إضافية بعد غلق العبوة. ورغم أن الخضروات لا تحفظ فى هذه الصورة فإنه قد يصنع عصير الجزر والطماطم فى صورة الجيلى.

تصنع الفاكهة المحفوظة بنفس خطوات عمل الجيلى فيما عدا تركيز الفاكهة واللب معاً. أما عجينة الفاكهة fruit paste فهى ناتج مركز حيث يبخر الماء من مهروس الفاكهة fruit purèe للحصول على ناتج مرتفع الجوامد.



شكل رقم 18 - 32 : تصنيع الجيلى بالطريقة المستمرة

Continuous process for jelly manufacture

المصدر : Desrosier & Desrosier (1977) .

5- اللبـن المكثـف المحلـى Sweetened condensed milk :

من أقدم المنتجات المركزة تجارياً. ويعرف بأنه مخلوط من اللبن البقرى والسكر، مع إزالة حوالى 60 ٪ من الماء قبل التعبئة فى عبوات محكمة. ويصنع بإضافة 18 كيلو جرام من السكر إلى 100 كيلو جرام من اللبن، ويركـز إلى 70 ٪ جوامد ويعرض الناتج لمعاملة حرارية بسيطة لا تصل إلى التعقيم التجارى حيث يعمل محتواه المرتفع من السكر كمادة حافظة. واللبن المكثف المحلى له التركيب العام التالى:

	٪
دهن اللبن	8.5
جوامد اللبن اللادهنية (MSNF)	20.5
السكـــر	44.0
الرطوبة	27.0
الكلـــى	100.0

obeikandl.com

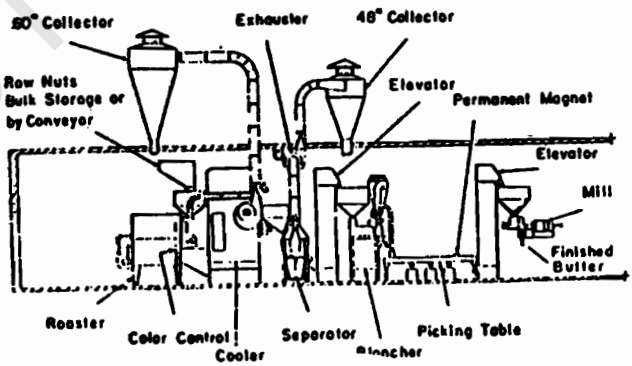
يعبأ الناتج فى علب صفيح 14- أوقية أو يسوق سائباً bulk لإستخدامه فى تحضير حلوى فاخرة (بعد الطعام) fancy desserts وفى صناعتى الحلوى والخبيز.

18 - 6 - 2 الأغذية المركزة غير الرطبة:

Non - Moist food concentrates

وسنورد بإختصار زبدة الفول السودانى كمثال على هذا القسم من الأغذية المركزة. وتعرف زبدة الفول السودانى peanut butter بأنها ناتج غذائى مطحون (أو منسحق comminuted) متماسك cohesive، يحضر من صنف أو أكثر من الفول السودانى (للحصول على القوام المناسب) المحمص بعد إزالة غطاء البذرة coats وقشورها "hearts" والتى يضاف إليها الدهن والملح أو السكر (أو عسل النحل) ومكسبات النكهة flavorings ومضادات الأكسدة. وتتكون زبدة الفول السودانى من : 1.8٪ رطوبة، 27٪ بروتين، 49٪ دهن، 17٪ كربوهيدرات، 2٪ ألياف، 3.8٪ رماد. ونظراً لإنخفاض محتواها من الرطوبة وحماية العبوة لها فإن زبدة الفول السودانى ثابتة ضد الكائنات الحية الدقيقة والتزنخ. ويوجد فى الأسواق عديد من الأسماء التجارية ذات مدى لون واسع ونكهات متعددة ومختلفة القوام. كما قد يضيف بعض الصناع إليها قطع كبيرة من الفول السودانى.

ويوضح شكل رقم 18-33 وحدة لتصنيع زبدة الفول السودانى والتى تتضمن : التحميص roasting، التبريد، السلق blanching، الطحن grinding والتبريد والتعبئة.



شكل رقم 18-33 : وحدة لإنتاج زبدة الفول السودانى (2000رطل / ساعة) Peanut butter plant

المصدر : Desrosier & Desrosier (1977).

18 - 7 المراجـــع References

1- دكتور حامد رياح التكرورى، د. سلمى خليل طوقان، ودكتور محمد على حميض (1999). دليل مصطلحات علوم الغذاء والتغذية (انجليزى / عربى). مطبوعات المكتب الأقليمى للشرق الأدنى، منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة، القاهرة.

2- حسين عارف (1941). علم الصناعات الزراعية. الطبعة الأولى. مطبعة الإعتماد، القاهرة.

3- دكتور حسين عثمان (1998) معجم علم وتقنية الغذاء (انجليزى / عربى). مكتبة المعارف الحديثة، اسكندرية.

4- دكتور محمد ممتاز الجندى (1965). الصناعات الغذائية. الجزء الثالث. الدار القومية للطباعة والنشر، القاهرة.

5- دكتور محمد ممتاز الجندى، (1965) الصناعات الغذائية، الجزء الرابع، دار الكاتب العربى للطباعة والنشر، القاهرة.

- BanWart, G. J. (1979). Basic food microbiology. the AVI pub.Co. Inc., Westport, connecticut.
- Borgstrom, G. (1968). Principles of food science. vol. I. food technology. The Macmillan Co., New York.
- Carter, A. L.; and R. R. Kraybill (1966). Low pressure evaporation. Chem. Eng. Progr. 62,99 - 110.
- Casimir, D. J.; and J. F. Kefford (1968).

  CSIR food Preserv. Quart . 1-2, 20.
- cruess, W. V. (1958). Commercial fruit and vegetable Products. 4 th Edition. McGraw - Hill Book Co.. Inc., New York.
- Desrosier, N. w.; J. N. Desrosier (1977). the technology of food

obeikandl.com

preservation. 4 th Edition. The AVI Pub. Co. Inc., Westport, connecticut.

- Farrall, A. W. (1963). Engineering for dairy and food products. John Wiley & Sons, New York.

- Heid, J. L.; and J. W. Casten (1961). Vacuum concentration of fruit and vegetable juice. In "Fruit and vegetable juice, processing and technology. " D.K. Tressler and M. A. Joslyn. Ed. pp. 278 - 313. The AVI Pub. Co., Inc., Westport, connecticut.

- ICMSF (1980), International commission in microbiological specifications for foods. Microbial ecology of foods. 1. Factors affecting life and death of microorganisms. Academic press Inc., London.

- ICMSF (1980), International commission in microbiological specifications for foods. Microbial ecology of foods. 2. Food commodities. Academic press Inc., London.

- Joslyn, M. A. (1961). Concentration by freezing . In "Fruit and vegetable juice, processing and technology. " D. K. Tressler and M. A. Joslyn. Eds. pp. 314 - 333. The AVI Pub. Co. , Westport, connecticut.

- Karel, M. (1975). Concentration of food. In "Principles of food science." Part II. Physical principles of food preservation." M. Karel; O. R. Fennema; and D. B. Lund. Eds. pp. 266 - 308. Marcel Dekker Inc. New York and Basel.

- Merson, R. L.; and A. I. Jr. Morgan (1968). Juice concentration by reverse osmosis. Food Technol. 22, 631 - 5.

- Milleville, H. P. ; and R. K. Eskew (1946). Recovery of volatile apple flavor in essence form. Western canner and packer 38, 51 - 54.

- Morgan, A. I. Jr. (1967). Liquid food evaporation and aroma recovery . chimia 21, 280.

- Potter. N N.; and J. H. Hotchkiss (1995). Food Science. 5 th Ed. chapman

and Hall, New York.

- Slade, F. H. (1967). Food processing plant. Vol. I. CRC Press, Cleveland, Ohio.

- Taoukis, P. S.; W. M. Breene; and T. P. Labuza (1987). Intermediate moisture foods. Adv. Cereal Sci. Technol. 9, 91-128.

- Walker, L. H. (1961). Volatile flavor recovery. In "Fruit and vegetable juice, processing and technology". D. K. Tressler., M. A. Joslyn. Ed. pp. 358 - 370. The AVI pub. Co. Inc., Westport, Connecticut.

- Werezak, G. N. (1969). Unusual methods of separation. In J. A. Gerster, Ed. Vol. 91, AICHE symposium series, pp. 6, Washington, D. C.

obeikandl.com