

الفصل السابع

تكنولوجيا سكر البنجر

- * مقدمة
- * زراعة بنجر السكر
- * أسس الصناعة
- * خطوات الصناعة
 - جمع المحصول
 - الغسيل
 - التقطيع
 - الإستخلاص
 - بطارية روبرت
 - بطارية سيلفر
 - تنقية العصير
 - الطريقة التقليدية
 - طريقة ديفكو
 - الترشيح
 - التركيز
 - البلورة
 - تجفيف وتعبئة السكر

الفصل السابع

تكنولوجيا سكر البنجر

مقدمة :

إتجهت الدولة فى السنوات الأخيرة إلى الإهتمام بإنتاج السكر من البنجر لمواجهة الإحتياجات المتزايدة من السكر ولسد الفجوة الكبيرة بين الإنتاج والإستهلاك حيث أن الإنتاج المحلى من السكر يقدر بحوالى مليون طنا سنويا بينما يصل الإستهلاك إلى مليون و ٦٠٠ ألف طنا سنويا ، وفى هذا المجال فقد تم زيادة المساحة المنزرعة بينجر السكر فى مصر من ٢١,٣ ألف فدان عام ١٩٨٢ إلى حوالى ٥٠ ألف فدان عام ١٩٩٤ ، كما أن إنتاجية الفدان من بنجر السكر ارتفعت من ١٠ أطنان عام ١٩٨٢ إلى ٢٠ طنا عام ١٩٩٤ ولاستيعاب هذه الزيادة من بنجر السكر فقد تقرر التوسع فى إقامة عدة مصانع لإنتاج سكر البنجر فى النوبارية والفيوم بعد نجاح المصنع الأول الذى أقيم فى كفر الشيخ .

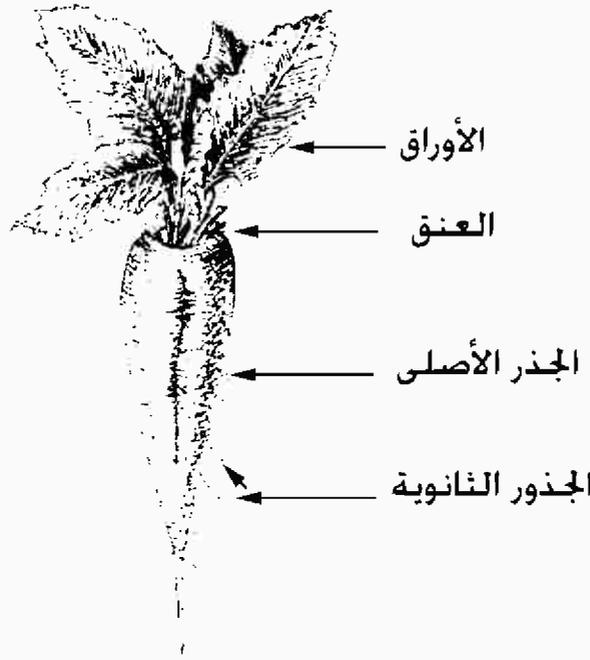
بنجر السكر Sugar Beet Plantation :

نبات بنجر السكر *Beta vuulgaris* يتبع عائلته *Chenopodiaceae* موطنه الأصيلى منطقة البحر الأبيض المتوسط حيث عُرِفَت زراعته من حوالى ٤٠٠٠ عام والنبات عبارة عن جذر ضخيم مخروطى الشكل أبيض اللون تنتشر عليه عدة جذور ثانوية صغيرة الحجم وللجذر الأصيلى عنق *Hypocotyl* وهو عبارة عن جزء قصير صغير خالى من الأوراق ثم رأس *Epicotyl* تخرج منه عدة أوراق خضراء شكل (٧-١) .

ويوجد من بنجر السكر أصناف كثيرة تشتمل على :

- (١) أصناف عديدة الأجنة وهى تنتشر زراعتها بمناطق الإنتاج ومنها أصناف رأس بولى ٢ كواميرا ، بيتا بولى ، ماريب ، مارينا وتربل .
- (٢) أصناف وحيدة الأجنة مثل الأصناف إيفا ، صوفيا وبيرية .

ويزرع بنجر السكر بالبذرة وتعود زراعته في المناطق الباردة والمعتدلة التي تقع شمال خط عرض ما بين ٣٠ - ٦٠ ولذلك تتركز صناعة سكر البنجر في البلدان الباردة مثل ألمانيا وروسيا وفرنسا وشمال وشرق الولايات المتحدة . ويحتاج نمو النبات إلى درجات حرارة تتراوح بين ٢٣ إلى ٢٦م أثناء النهار وحوالي ٢٠م أثناء الليل كما أن إنتاج وتراكم السكر في الجذور يكون عند أعلى معدل على درجات حرارة تتراوح بين ١٥ إلى ٢٠م في حين أن ارتفاع درجة الحرارة إلى حوالي ٣٠م يؤدي إلى حدوث انخفاض حاد في تركيز السكر بالجذور - من ناحية أخرى يمكن زراعة بنجر السكر في الأراضي الحديثة الاستصلاح ويختلف في ذلك عن قصب السكر الذي يحتاج إلى أراضى قوية وتعود زراعته في المناطق الحارة . وبالتالي فإنه يمكن التوسع في زراعات البنجر دون المساس بالأراضى المشغولة بالمحاصيل الأخرى الهامة - أيضاً لمحصول بنجر السكر بعض المزايا الأخرى النسبية عن محصول قصب السكر حيث أن إحتياجات فدان بنجر السكر لمياه الري تمثل تقريباً $\frac{1}{4}$ إحتياجات فدان محصول القصب كما أن محصول بنجر السكر يكث في الأرض ٦ أشهر فقط بينما محصول القصب يشغل الأرض طول العام .



شكل (٧-١) نبات بنجر السكر

ويتعرض نبات بنجر السكر أثناء النمو للإصابة بالبكتريا والفطر والمن ويصاب ببعض الآفات مثل ذبابة أوراق البنجر - سوسة أوراق البنجر - فراشة البنجر - دودة البنجر الزغبية وخنفساء البنجر السلحفائية ، وللمقاومة هذه الآفات الزراعية فإنه غالباً ما يتم رش النبات ببعض الكيماويات مثل المبيد الحشرى سوميثون ٥٠٪ وهو مستحلب فعال في مقاومة هذه الآفات ، أيضاً لمقاومة النيماطودا التي قد يصاب بها النبات فإن البنجر عادة ما يزرع كجزء من نظام دورة زراعية محددة إذ يجب أن لا يتم زراعته في نفس الأرض الزراعية أكثر من مرة كل ثلاث سنوات لتجنب تراكم النيماطودا بالتربة .

أسس الصناعة : Principles of Industry

توجد بعض الاختلافات بين صناعة سكر البنجر وسكر القصب نتيجة لاختلاف طبيعة الخامات المستخدمة ففي حالة البنجر يوجد السكر مخزناً في خلايا الجذور بينما في حالة القصب ينتشر بطول الساق ويترتب على ذلك إختلاف طريقة تحضير الخامات للتصنيع واستخلاص العصير وترويجه وغير ذلك من الخطوات التكنولوجية الأخرى ، أيضاً في صناعة سكر البنجر تكون العمليات التصنيعية مستمرة تتم في مصنع واحد يقوم بإنتاج السكر الخام وتكريره للحصول على السكر النقي النهائي بينما في حالة صناعة سكر القصب تتم الصناعة على مرحلتين حيث يتم إنتاج السكر الخام في مصنع إنتاج السكر ثم يتم نقله بعد ذلك إلى مصنع آخر لتكريره ولإنتاج السكر النقي النهائي .

يضاف إلى ما سبق في حالة بنجر السكر لا تزيد فترة جمع المحصول عن شهرين بينما فترة كسر القصب تمتد إلى حوالي أربعة أشهر ويترتب على ذلك أن موسم إنتاج السكر من القصب يكون أطول بالمقارنة بإنتاج سكر البنجر وبالتالي فإن مصنع سكر البنجر يجب أن يكون بطاقة إنتاجية كبيرة بالقدر الذي يسمح للمصنع بالتعامل مع الكميات الكبيرة التي تورد من البنجر على مدى فترة زمنية قصيرة لالتزيد عن الشهرين أو البديل لذلك تخزين الكميات الزائدة من الخامات إلى أن يحين وقت التصنيع وهو ما يمثل مشكلة هامة نظراً لأن تخزين البنجر قد يقلل من جودة الخامات ويؤثر على إنتاجية المصنع من السكر النقي .

خطوات الصناعة : Processing Steps :

(١) جمع المحصول Harvesting :

تتوقف إنتاجية وجودة سكر البنجر بدرجة كبيرة على جودة المواد الخام المستخدمة في الصناعة ليس فقط من حيث محتوى البنجر من السكر ولكن أيضا محتواه من المواد الأخرى المصاحبة التي تؤثر على جودة السكر ويرتبط ذلك بدرجة نضج البنجر وحجم وشكل الجذور والذي يرتبط بالصنف فضلا عن تأثير المعاملات الزراعية والظروف المناخية - أيضا يؤثر في جودة المواد الخام عمليات جمع وتحميل ونقل المحصول من المزرعة إلى المصنع فيجب إتخاذ الاحتياطات اللازمة لمنع تعرض الجذور للتلف الميكانيكي أثناء هذه العمليات إذ أن تعرض الجذور لذلك ومع إرتفاع محتواها من الرطوبة يؤدي إلى سرعة حدوث التلف بفعل الأحياء الدقيقة والتفاعلات الإنزيمية .

يتم جمع البنجر عندما يصل إلى درجة النضج المناسبة والتي تتميز بكبر حجم الجذور وجفاف بعض الأوراق وفي هذه المرحلة تحتوى الجذور على أعلى تركيز من السكر (حوالي ١٨ - ٢٠٪) وعادة ما يتم الجمع بالطرق الميكانيكية حيث تزال بقايا الجزء الخضري وتحمل الجذور على لوريات حيث تنقل إلى المصنع وتوزن جميع الرسائل فور وصولها إلى المصنع لتقدير كمية الخامات الواردة إلى المصنع ثم تؤخذ عينات عشوائية لتقدير محتوى البنجر من السكر والمواد الأخرى مثل السكريات الأحادية والنيوتروجين الأميني والقلوية وبناء على هذه التحليل يمكن تقييم جودة البنجر وتحديد كمية السكر المتبلر المتوقع إنتاجها .

وعادة ما يتم التصنيع فور وصول البنجر إلى المصنع بدون أن يترك لفترة طويلة قد تؤدي إلى التأثير على إنتاجية السكر ولكن قد يلجأ المصنع إلى تخزين البنجر لبعض الوقت للأسباب التالية :

(١) زيادة الكميات الواردة إلى المصنع من المواد الخام عن السعة الإنتاجية بسبب قصر موسم جمع البنجر وبالتالي لا بد من تخزين الكميات الزائدة .

(٢) للمحافظة على إستمرارية تشغيل المصنع بدون توقف تحت أى ظروف طارئة بتوفير المواد الخام اللازمة للتشغيل .

(٣) احتمال تعرض نبات البنجر لظروف مناخية سيئة أثناء تركه في الحقل لفترة طويلة وبالتالي يكون من الأفضل جمعه ونقله إلى المصنع وتخزينه ، ويعتبر تخزين البنجر مشكلة هامة تواجه صناعة سكر البنجر ويرجع ذلك إلى إرتفاع محتوى الجذور من الرطوبة والسكريات والمكونات الأخرى مما يجعل من السهل تعرض الجذور أثناء التخزين إلى التلف بفعل الأحياء الدقيقة فضلا عن إستمرار العمليات الحيوية أثناء التصنيع ، فور وصول البنجر إلى المصنع إذ أن التخزين حتى تحت أفضل الظروف يؤدي إلى فقد فى محتوى البنجر من السكر وزيادة محتواه من المواد الأخرى المصاحبة مثل السكر المحول وسكر الرافينوز والمواد النيتروجينية وغيرها من المواد الأخرى التى تؤدى إلى حدوث بعض المشاكل التكنولوجية أثناء الصناعة وأهم هذه المشاكل مايلي :

- ١- صعوبة إجراء عمليات الترويق والترشيح بسبب إرتفاع لزوجة العصير .
- ٢- صعوبة عملية البلورة وإنتاج بللورات ذات شكل غير منتظم بسبب إرتفاع نسبة السكريات الأحادية والرافينوز أثناء التخزين .
- ٣- يؤدي التخزين تحت ظروف غير مناسبة إلى تكوين الدكستران Dextran الذى يعمل على تشويه شكل بللورات السكر وإنتاج بللورات ذات أشكال إبرية أو مستطيلة .
- ٤- تؤدي التغيرات التى تحدث فى البنجر أثناء التخزين إلى تكوين مادة السابونين Saponin وهى مادة غير سكرية تقلل من درجة جودة السكر الناتج ، فقد وجد أن وجود مادة السابونين بتركيزات بسيطة لا تتجاوز ٢ جزء فى المليون فى السكر الناتج أدى إلى اكساب السكر صفات غير مرغوبة مثل تكوين رغوة وعكارة عند إذابته فى الماء .
- ٥- ارتفاع نسبة الرماد خاصة أملاح الكالسيوم فى عصير البنجر المخزن يؤدي إلى تكوين عكارة فى محاليل السكر وصعوبة عملية البلورة .
- ٦- تخزين البنجر يؤدي إلى إعطاء عصير داكن اللون نتيجة لحدوث تفاعلات التلون البنى أثناء التخزين مما يؤثر فى لون البللورات الناتجة .

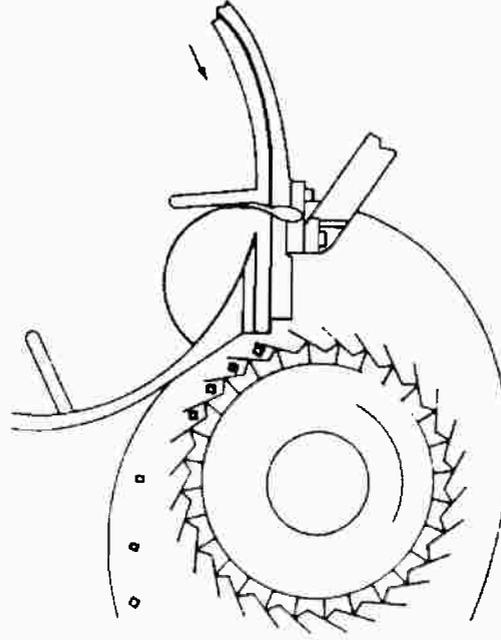
ويعتبر التنفس السبب الرئيسي لحدوث هذه التغيرات الغير مرغوبة التي يتعرض لها البنجر أثناء التخزين وبالتالي يجب إتخاذ الإحتياطات الضرورية لخفض معدل التنفس أثناء التخزين عن طريق تبريد البنجر وخفض درجة حرارته إلى حوالي ٢م والإهتمام بتهوية أماكن التخزين حيث يتم تجميع البنجر فى صورة أكوام فى مخازن جيدة التهوية ، ونظراً لأن البنجر عبارة عن جذور أرضية فإنها تصل إلى المصنع محملة بكميات كبيرة من الأتربة والمواد الطينية العالقة ولذا يجب التخلص من هذه المواد عن طريق عملية غسيل أولية حيث يفضل تخزين البنجر نظيفاً هذا بالإضافة إلى فرز الجذور لإستبعاد التالف منها بفعل عمليات التحميل والنقل فضلاً عن ذلك ولخفض مقدار الفقد الذى قد يحدث للبنجر عن طريق العفن فإنه يستعمل بعض المواد الكيماوية مثل البولى فينولات Polyphenols وال Ally isothiocyanate .

(٢) الغسيل Washing :

نظراً لأن البنجر عبارة عن جذور أرضية تنمو تحت سطح التربة فإنه يجب الإهتمام بالغسيل الجيد للتخلص من بقايا التربة والمواد الطينية العالقة والملتصقة بالجذور وعادة ما تجرى عملية غسيل أولية بواسطة أجهزة غسيل Multijet Washers تقوم بدفع الماء بقوة لتسهيل ازالة المواد الطينية الشديدة الإلتصاق بالجذور إلى ذلك عملية الغسيل الأساسية حيث تنقل جذور البنجر بواسطة سير ناقل إلى أحواض مائية لاستكمال الغسيل والتخلص من الأحجار الصغيرة والمواد الغير مرغوبة وأيضاً يجرى الفرز لإستبعاد الجذور الغير مناسبة أو المصابة .

(٣) التقطيع Slicing :

تنقل جذور البنجر بعد اتمام غسيلها على سير ناقل إلى جهاز التقطيع Beet Slicer المزود بسكاكين حادة تتحرك حركة دائرية شكل (٧-٢) ويمكن التحكم فى سرعة دورانها وتقوم هذه السكاكين بتقطيع الجذور إلى شرائح رقيقة لا يزيد سمكها عن ١/٣٢ من البوصة وتسمى Cassettes وتؤدى عملية التقطيع إلى زيادة مساحة الأسطح المعرضة للاستخلاص وبالتالي تسهيل إستخلاص العصير وزيادة إنتاج المصنع من السكر .



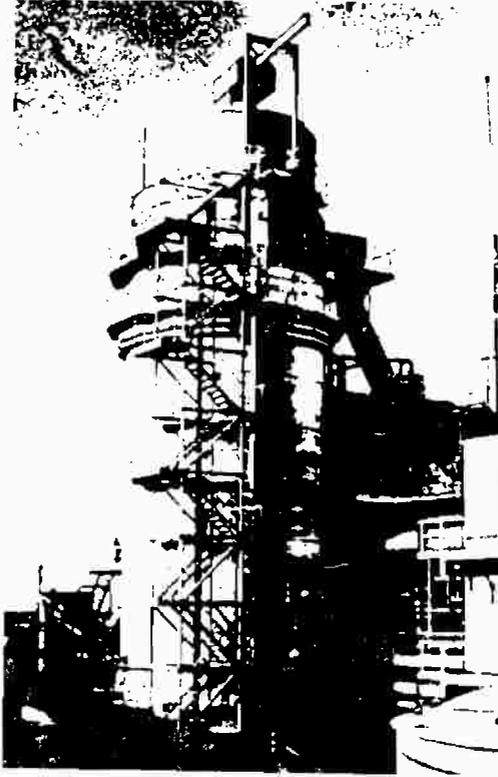
شكل (٧-٢) ماكينة تقطيع البنجر إلى شرائح أو قطع صغيرة

(٤) الاستخلاص Extraction :

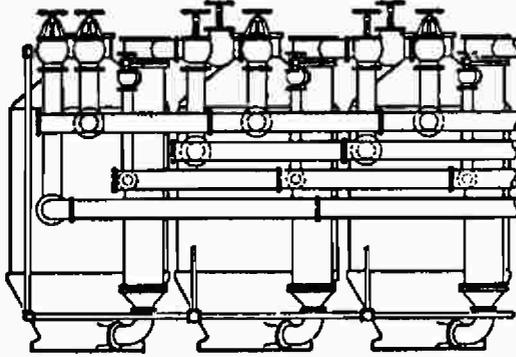
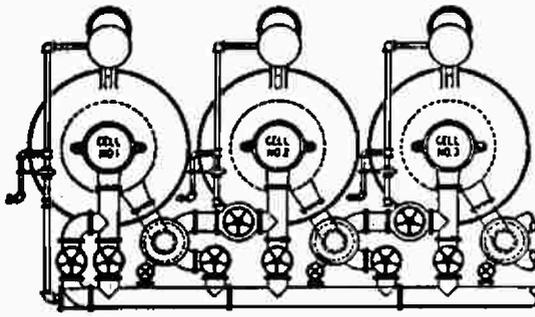
تنقل شرائح البنجر بواسطة سير ناقل إلى أجهزة الاستخلاص حيث يتم تغطيتها بالماء الساخن (درجة حرارته 70°C) الذي يعمل على إنتشار وخروج السكر من الشرائح إلى وسط الإستخلاص (الماء) بالخاصية الأسموزية ويتم الإستخلاص فى أجهزة ضخمة تسمى بطاريات الإنتشار Diffusion batteries ويوجد منها تصميمات عديدة فقد تكون على شكل أسطوانة ضخمة Diffusion drum أو برج عال Diffusion tower (شكل ٧-٣) .



شكل (٧-٣) أجهزة إستخلاص السكر من البنجر
(أ) جهاز إنتشار أسطوانى

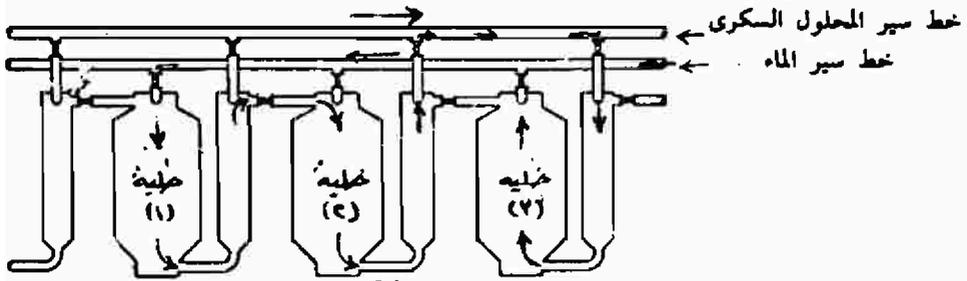


شكل (٧-٣) أجهزة إستخلاص السكر من البنجر
(ب) برج استخلاص

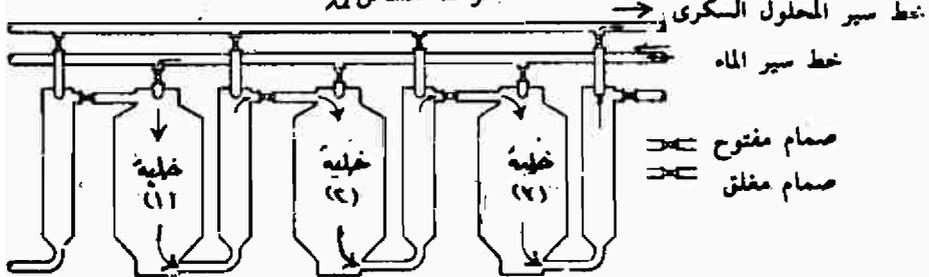


ماسورة الماء
 ماسورة المحلول السكرى
 ماسورة البخار
 ماسورة ارجاع المحلول السكرى
 من بطارية إلى أخرى

(أ) مقطع عرضي لخلايا البطارية من أعلى وترتيب الخلايا بالبطارية



مرحلة الشحن



مرحلة التفريغ

(ب) مرحلتى شحن وتفريغ البطارية

شكل (٤-٧) دياگرام بطارية الإستخلاص بالانتشار

أهم أجهزة الإستخلاص المستخدمة فى مصانع سكر البنجر :

(أ) بطارية روبرت للإنتشار Robert Diffusion Battery :

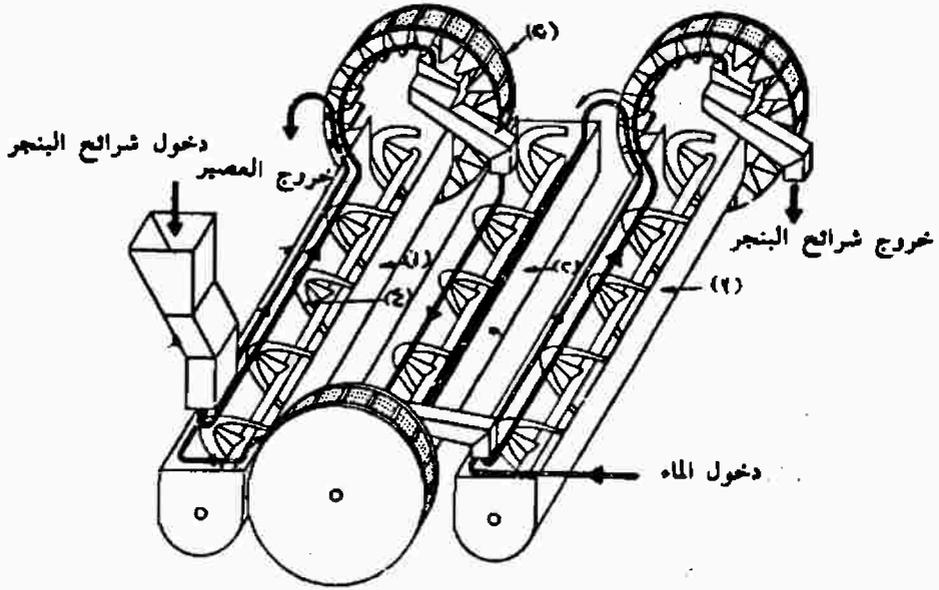
تتكون البطارية (شكل ٧-٤) من عدة تنكات يسمى كل منها خلية ويتراوح عددها بين ١٥ إلى ٢٠ خلية فى البطارية الواحدة وكل خلية مزودة بسخان لتسخين الماء ورفع درجة حرارته إلى ٧٠م° لزيادة كفاءته فى الإستخلاص كما أن لكل خلية ثلاث صمامات تتحكم فى إتجاه سريان الماء والمستخلص السكرى من خلية إلى أخرى على حسب وضعها فى دورة الإستخلاص حيث تكون الخلايا مملوءة بشرائح البنجر المراد إستخلاصها ويتحرك الماء الساخن من خلية إلى أخرى فى إتجاه مضاد لحركة الخلايا التى تتحرك داخل البطارية وهو الإستخلاص بالنظام المضاد Countercurrent extraction حيث يتم دفع الماء النقى من خط أو أنبوية الماء إلى الخلية التى تحتوى على شرائح البنجر المستخلصة قبل خروجها من البطارية لإستخلاص أكبر قدر ممكن من السكر المتبقى عالقا بالشرائح بعد إستخلاصها ثم يتغير وضع الخلايا داخل البطارية بحيث ينتقل المستخلص السكرى المخفف إلى الخلية التالية التى تكون قد أخذت وضعاً جديداً فى دورة الإستخلاص حيث يستخلص كميات أخرى من السكر ويصبح المستخلص السكرى أكثر تركيزاً وهكذا تستمر دورة الإستخلاص وانتقال المستخلص السكرى من خلية إلى أخرى إلى أن يلتقى المستخلص السكرى الأكثر تركيزاً قبيل خروجه من البطارية مع دفعة جديدة من شرائح البنجر الخام التى تبدأ دورة إستخلاص جديدة .

(ب) بطارية سيلفر للإنتشار المستمر Silver Continuous Diffuser

فى السنوات الأخيرة إتجهت مصانع سكر البنجر إلى إستخدام أجهزة سيلفر للإستخلاص والتى أثبتت نجاحاً كبيراً فى صناعة سكر البنجر فى أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية لما تتميز به هذه الأجهزة من إرتفاع كفاءة الإستخلاص وبالتالى إنخفاض الفاقد من السكر المتبقى فى الشرائح المستخلصة وذلك بالمقارنة ببطارية روبرت ويرجع ذلك إلى تعريض شرائح البنجر للتقليب المستمر بالطرق الميكانيكية خلال فترة الإستخلاص بينما فى جهاز روبرت تظل الشرائح ثابتة غير متحركة Fixed bed داخل الخلايا .

وتتكون بطارية سيلفر للإستخلاص المستمر (شكل ٧-٥) من عدة أحواض مستطيلة الشكل يتراوح عددها بين ٢٠ إلى ٢٤ حوضاً فى البطارية الواحدة طول الحوض ٢٠ قدماً

وعرضه ٥ أقدام والأحواض الأولى فى بداية البطارية تكون ذات جدران مزدوجة مزودة بالبخار لتسخين الشرائح ووسط الإستخلاص (الماء) إلى درجة حرارة الإستخلاص (٧٠م) ويتحرك بداخل الحوض بريمة حلزونية تقوم بتقليب شرائح البنجر ونقلها من طرف التغذية أو الشحن إلى الطرف الآخر للحوض الذى يوجد به عجلة قطرها ١٢ قدماً تتحرك دائريا ومزودة بجيوب مثقبة تعمل كمصفاة وتقوم هذه الجيوب برفع شرائح البنجر من الحوض وتصفيتها من المستخلص السكرى ونقلها إلى طرف الحوض التالى حيث يستمر تقليب الشرائح داخل الحوض بواسطة البريمة الحلزونية حتى تصل إلى العجلة التى بطرف الحوض حيث تنقل الشرائح إلى الحوض الثالث لإستكمال الإستخلاص وهكذا يستمر تقليب الشرائح ونقلها من حوض إلى آخر حتى تتم عملية الإستخلاص وتخرج الشرائح المستخلصة من الحوض الأخير فى بطارية الإستخلاص فى نفس الوقت الذى يتم شحن الحوض الأول بدفعات أخرى من الشرائح الخام وهكذا يتم الإستخلاص بصورة مستمرة .



(١) ، (٢) ، (٣) أحواض الإستخلاص

(٤) بريمة لتحريك ونقل شرائح البنجر من طرف إلى آخر بالحوض

(٥) إطار دائرى لنقل الشرائح من حوض إلى آخر

شكل (٥-٧) بطارية سيلفر للإستخلاص بالانتشار المستمر

ويلاحظ أن إنسياب الماء (وسط الإستخلاص) بالنسبة لحركة الشرائح أثناء الاستخلاص يجمع بين النظامين الموازي والمضاد ففى داخل الأحواض ينساب السائل والشرائح فى إتجاه واحد من طرف الحوض إلى الطرف الآخر بينما يكون إتجاه السائل عكس إتجاه الشرائح أثناء نقلها بواسطة العجلة من حوض إلى آخر .

(5) تنقيه العصير Purification of Juice :

يحتوى المستخلص السكرى الناتج من المرحلة السابقة (عصير البنجر الخام) على بعض الشوائب والمواد الأخرى العالقة التى يجب التخلص منها قبل تعريض المستخلص للحرارة أثناء العمليات التصنيعية التالية (مثل التركيز والبلورة) فيجرب أولاً تصفية المستخلص السكرى لفصل ما قد يوجد به من أجزاء صغيرة من قطع البنجر ثم يمرر بعد ذلك إلى تانك كبير لإجراء عملية الترويق بمعاملة العصير بدون تسخين بواسطة لبن الجير (Liming) وثانى أكسيد الكربون (Carbonation) حيث تودى هذه المعاملات إلى ترسيب المواد العالقة التى تنفصل بعد ذلك بالترشيح .

ويوجد عدة نظم لمعاملة العصير بالجير وثانى أكسيد الكربون تختلف من بلد إلى آخر من البلدان التى تنتج سكر البنجر وتشتمل هذه الطرق على مايلى :

5 (1) الطريقة التقليدية Traditional method :

وهى الطريقة الأساسية التى تتبع منذ وقت طويل وفيها يتم معاملة عصير البنجر بالجير وثانى أكسيد الكربون على عدة مراحل متتالية حيث يضاف إلى العصير كمية زائدة من لبن الجير (أيدروكسيد الكالسيوم) بنسبة تصل إلى 2 - 3 ٪ فتتكون سكارات الكالسيوم التى تتحلل بامرار غاز ثانى أكسيد الكربون إلى أن يستشبع العصير بالغاز فيتكون راسب من كربونات الكالسيوم والمواد الأخرى العالقة حيث يسمح لهذه الرواسب بالإستقرار فى قاع تانك الترويق ثم فصلها بالترشيح ثم يعامل المستخلص السكرى مرة ثانية بكمية بسيطة من لبن الجير ويجب أن لا تزيد السكمية المضافة عن 0,5 ٪ لتجنب تكوين عكارة بالمستخلص فضلاً على أن وجود زيادة من الجير يكسب المستخلص السكرى لونا أصفرًا غير مرغوب يؤثر فى لون الناتج النهائى (السكر) بالإضافة إلى صعوبة البلورة وانفصال بللورات السكر فى وجود زيادة من الكالسيوم وبعد ذلك يمرر بالمستخلص السكرى الرائق غاز ثانى أكسيد الكربون مرة ثانية لإزالة ما قد يكون متبقيا من الشوائب حيث يسخن المستخلص بعد ذلك

إلى حوالي ٧٥ - ٨٠م ثم يرشح لفصل الرواسب المتكونة وبعد ذلك يمرر بالمستخلص غاز ثاني أكسيد الكربون لإختزال اللون وترسيب الزيادة من الكالسيوم في صورة كبريتات الكالسيوم الذى يتم التخلص منه بالترشيح .

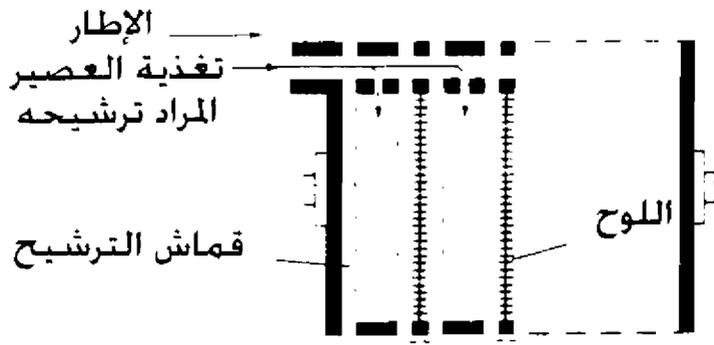
ويمتاز المستخلص السكرى المروق بالطريقة التقليدية بأنه أكثر ثباتا حراريا فلا يتكون به رواسب بعد ذلك عند التعرض للحرارة فى العمليات التصنيعية التالية فضلا على أن القلوية الشديدة تؤدى إلى هدم ما قد يوجد بالعصير من سكريات محولة وجلوتامين والتي قد تتكون فى جذور البنجر أثناء التخزين .

٥- (ب) طريقة ديفكو Defco - Carbonation method :

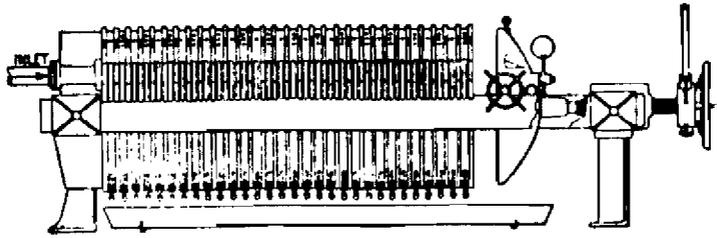
فى هذه الطريقة يعامل المستخلص السكرى بالجير وثانى أكسيد الكربون فى وقت واحد حيث ينقل العصير الخام إلى حلال الكريهة التى يوجد بها لبن الجير مع إضافة ثانى أكسيد الكربون الذى يتخلل لبن الجير مكونا رأسب من كربونات الكالسيوم والشوائب الأخرى ويسمح لهذه الرواسب بالانفصال والاستقرار فى قاع خزان دائرى كبير يسمى المروق Clarifier ويمتاز المستخلص السكرى المعامل بهذه الطريقة بصفات ترسيبية جيدة حيث تتكون الرواسب بسهولة وتنفصل بسرعة ويمكن ترشيحه بسهولة ويطلق على هذه الطريقة Dorr process .

٦) الترشيح Filtration :

بعد معاملة مستخلصات البنجر بالجير وثانى أكسيد الكربون يجرى ترشيحها للتخلص من الرواسب التى تتكون بفعل هذه المعاملات ومن أكثر أنواع المرشحات التى تستخدم فى مصانع سكر البنجر تلك الأنواع التى تعمل تحت ضغط مثل المرشح اللوحي Plate and frame filter press (شكل ٧-٦) إلا أنه بعد إدخال نظام الاستخلاص المستمر Continuous extraction أصبح من الضرورى تطوير بعض خطوات التصنيع الأخرى مثل الترشيح لتلائم مع ذلك ولذا فإن كثير من المصانع الحديثة تستبدل هذه الأنواع من المرشحات بأجهزة الترشيح المستمرة التشغيل Continuously operation مثل المرشح الدائرى الحركة (رحوية) Rotary drum filter (شكل ٧-٧) وتتميز هذه المرشحات بأنها لا تحتاج إلى مسطحات أرضية كبيرة داخل المصنع بالمقارنة بمرشحات الضغط Filter press التى تتطلب مساحة كبيرة تصل إلى ٣٠٠ متر مربع لترشيح ١٠٠٠ طن

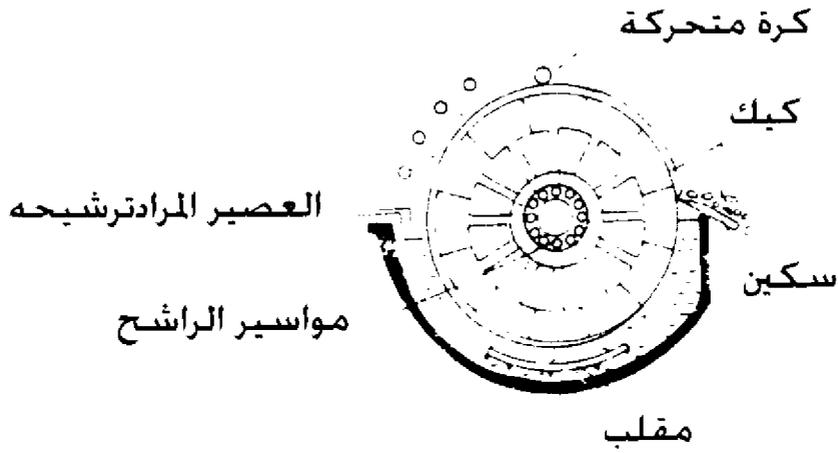


(1) أجزاء المرشح



(ب) شكل عام للمرشح

شكل (٦-٧) مرشح لوحى يعمل تحت ضغط



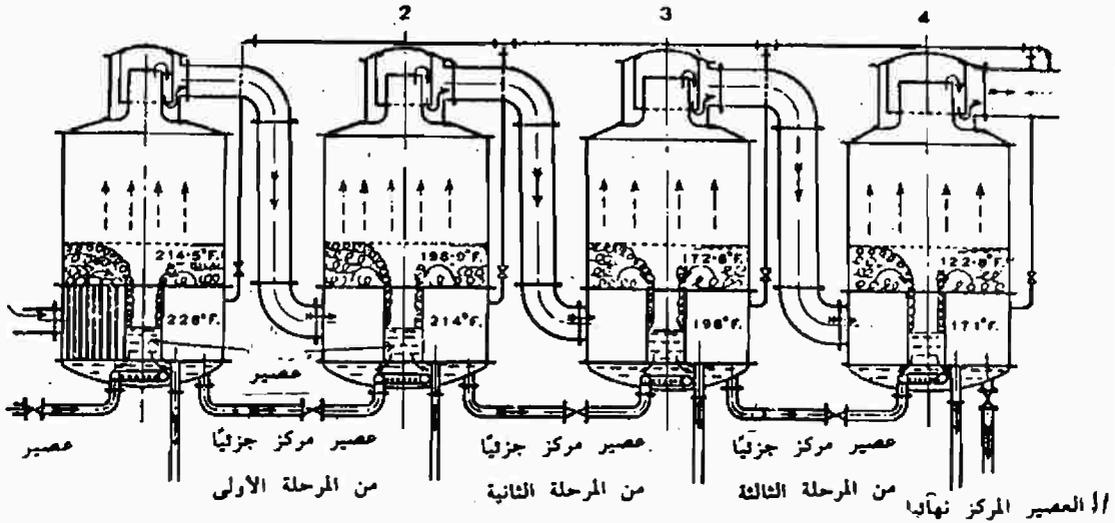
شكل (٧-٧) مرشح أسطوانى دائرى الحركة

عصير فى اليوم فى حين أن ترشيح هذه الكمية بالمرشح الرحوى لا تحتاج إلى أكثر من ١٠٪ من هذه المساحة بالإضافة إلى ذلك إرتفاع كفاءة ترشيح هذه المرشحات وبالتالي خفض الفاقد فى السكر الذى يتبقى فى كيكة الترشيح Filter Cake من ١-٣٪ إلى ٢,٠ - ٦,٦٪ فقط .

(٧) التركيز Concentration :

يتم تبخير المستخلص السكرى لرفع تركيز المواد الصلبة الذائبة (السكروز) من ١٣ - ١٤٪ ليصل إلى ٦٥ - ٧٠٪ ويتم ذلك بالتسخين تحت تفريغ مقداره ٢٠ بوصة زئبق حيث تكون درجة غليان المستخلص ٦٠م وذلك لتجنب التحلل أو الهدم الحرارى الذى يمكن أن يحدث للسكروز عند التسخين تحت ظروف الضغط الجوى العادى التى تؤدى إلى إرتفاع شديد فى درجة حرارة الغليان كلما تقدمت عملية التركيز .

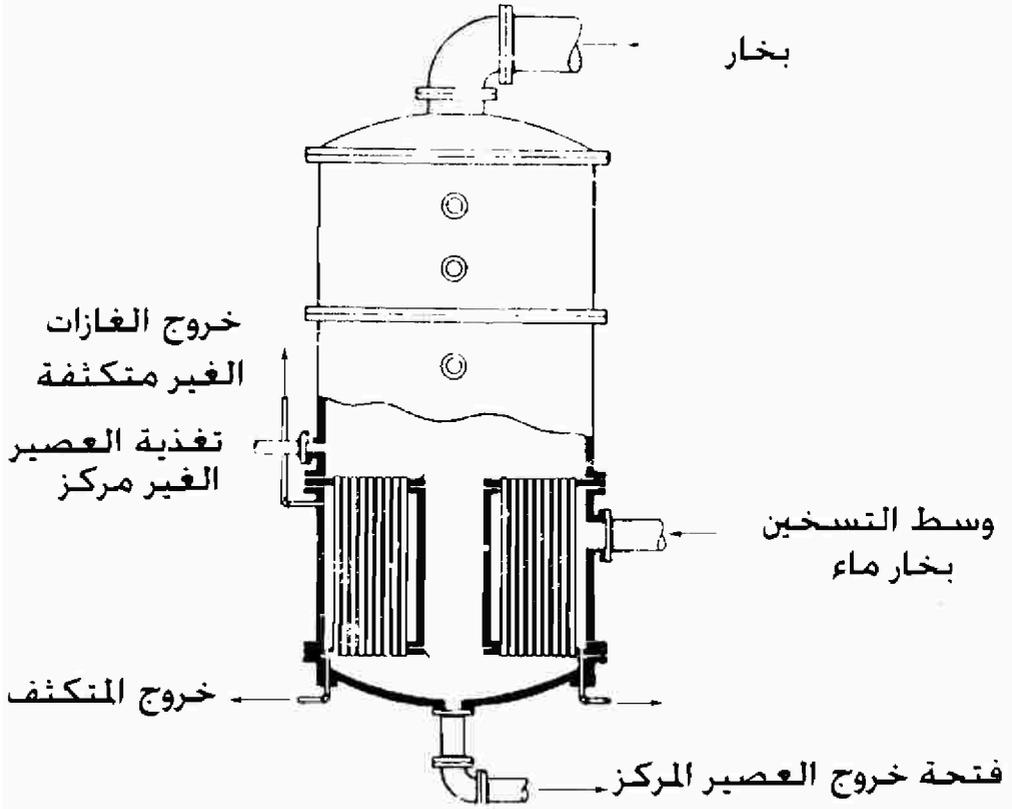
تجرى عملية التركيز فى أجهزة تبخير تعمل تحت تفريغ والتى يوجد منها تصميمات عديدة وأهم هذه الأجهزة المستخدمة فى صناعة السكر مبخرات الدوران المدفوع Forced circulation evaporators ومبخرات الأغشية النازلة Falling film evaporators وتتم عملية التركيز بصورة متدرجة على مراحل متتالية ولذلك فقد تم إحلال أجهزة التبخير المتعددة التأثير Multiple effect evaporator (شكل ٧-٨) بدلا من النظام القديم الذى كان يعتمد على إتمام التركيز فى مرحلة واحدة ففى أجهزة التبخر المتعددة التأثير يستقل المستخلص السكرى المركز جزئيا من مبخر إلى آخر إلى أن يستكمل التركيز إلى الحد المطلوب ويعمل هذا النظام على توفير إستهلاك البخار وزمن التركيز .



شكل (٧-٨) جهاز تبخير متعدد التأثير

(٨) البلورة Crystallization :

تتضمن بلورة السكر ثلاث عمليات رئيسية متتالية وهي غليان الشراب السكرى وتكوين البللورات ثم فصل هذه البللورات عن السائل الأم Mother liquid . يتم غليان الشراب السكرى المركز لرفع تركيزه حتى يصل إلى حالة فوق التشبع Supersaturation ويجرى ذلك فى حلال غليان تعمل تحت تفرغ - Vacuum boiling pans وتشبه الحلة أحد وحدات جهاز التبخير المتعدد التأثير (شكل ٧-٨) وهى عبارة عن تانك اسطوانى كبير الحجم يصل إرتفاعه إلى حوالى ١٠ أقدام (شكل ٧-٩) ومزود بمواسير رأسية قصيرة إرتفاعها حوالى ٣-٤ قدم وقطرها ٣-٥ بوصة يسرى بداخلها البخار المستخدم فى التسخين حيث تغطى هذه المواسير بالماسكوت الذى يصل ارتفاعه إلى حوالى ٥ قدم فوق مستوى مواسير البخار يستمر دوران وتقليب الشراب وغليانه إلى أن يصل إلى حالة فوق التشبع فيتم إزالة التفريغ وكسر الضغط ويبدأ فى تبريد الشراب السكرى لزيادة درجة فوق التشبع للمساعدة فى بدأ تبلور السكروز .

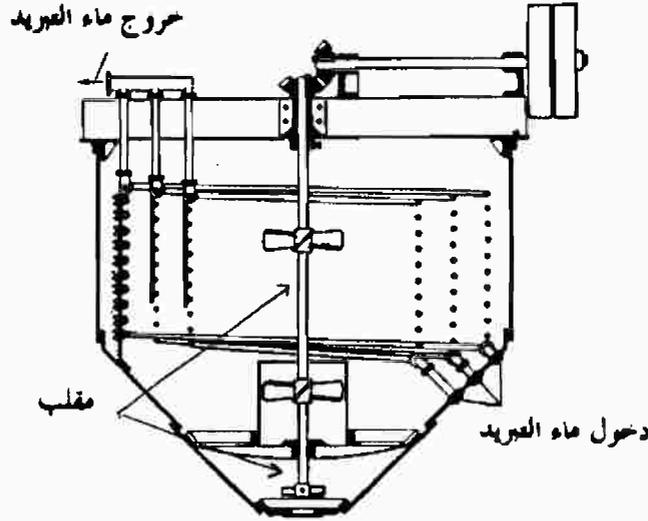


شكل (٧-٩) حلة غليان

ويتوقف النظام المتبع في غليان الشراب السكرى على عدة عوامل مثل درجة جودة الخامات المستخدمة والتجهيزات المتوفرة في المصنع ونوع السكر المراد إنتاجه حيث يتم تصميم عملية الغليان على أساس إسترجاع أكبر قدر ممكن من السكرور في صورة بللورات وهذا لا يمكن تحقيقه بالغليان مرة واحدة ولكن يتم الغليان والتركيز على عدة مراحل متعاقبة وغالبا ما تكون من مرحلتين إلى أربعة مراحل لاعطاء درجات متفاوتة من الماسكويت (مخلوط الشراب السكرى مع بللورات السكر ويوضح الشكل (٧-١٠) نظام غليان على مرحلتين .

اضافتها إلى الشراب يتم خفض التفريغ للمساعدة في رفع درجة الحرارة للعمل على عدم تجاوز درجة فوق التشيع عن الحدود المرغوبة ولتجنب تكوين بللورات كاذبة False grains .

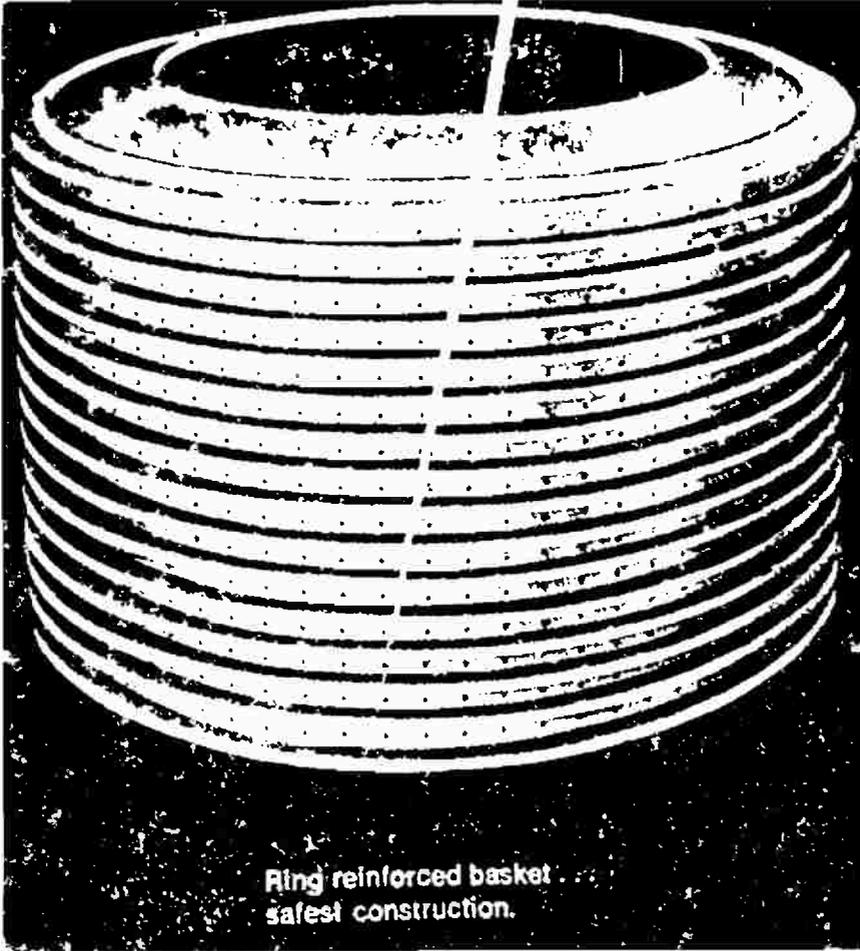
ينقل بعد ذلك الماسكويت من حلال الغليان إلى جهاز البلورة Crystallizer (شكل ٧-١١) وهو عبارة عن تانك كبير مزود بمقلبات تدور بسرعة بطيئة ($\frac{1}{4}$ لفة/دقيقة) تعمل على تقليب الماسكويت ومزود بوسيلة تبريد تتوقف على نوع جهاز البلورة حيث يتم التبريد بواسطة الهواء أو الماء البارد .



شكل (٧-١١) وحدة بلورة

يستمر تقليب وتبريد الماسكويت في جهاز البلورة للمدة المناسبة التي تؤدي إلى كبر حجم البللورات حتى تصل إلى الحجم المطلوب فيتم نقل الماسكويت إلى جهاز الطرد المركزي لفصل البللورات المتكونة عن السائل الأم ويستعمل عادة جهاز بلورة ذو أقفاص أو أسبلة Basket Centrifuge (شكل ٧-١٢) حيث تنفصل البللورات عن السائل بقوة الطرد المركزي (١٦٠٠ - ٢٠٠٠ لفة/دقيقة) وتغسل البللورات المتجمعة بواسطة سكاكين خاصة ويعرف السائل الكثيف القوام المتبقى بعد فصل بللورات السكر بالمولاس Molasse ويوجد عدة درجات من المولاس على حسب موقعه أثناء عملية التصنيع حيث

يوجد مولاس أول First molasse ومولاس ثان Second molasse وأخيراً مولاس نهائى Final molasse (شكل ٧-١٠) حيث أن المولاس المتبقى بعد عملية الطرد المركزي يحتوى



شكل (٧-١٢) شكل الاقفاص داخل جهاز الطرد المركزي

على نسبة من السكر ولذلك يعاد إضافته إلى شراب سكرى جديد حيث يدخل مرة ثانية إلى حلال التركيز ويعاد تركيزه لاسترجاع أكبر قدر ممكن من السكر الذى يحتويه وتكرر هذه العملية عدة مرات غالبا ما تكون ثلاث مرات حتى يصبح فصل كمية إضافية من السكر الموجود بالمولاس عملية غير اقتصادية بالنسبة للطاقة المستخدمة والبخار المستهلك . والمولاس

النهائى يحتوى على كمية من السكر تصل إلى حوالى ٣٠ - ٤٠ ٪ من وزنه وهو ما يمثل حوالى ١٠ ٪ من السكر الكلى الذى يوجد فى البنجر ويعتبر فاقد يصعب تجنب حدوثه لصعوبة استرجاعه بصورة اقتصادية ولذلك يستفاد بالمولاس النهائى باستخدامه فى بعض الصناعات التخمرية فى إنتاج الكحول والخميرة والخل كما يدخل فى تحضير بعض العلائق الحيوانية .

(٩) تجفيف وتعبئة السكر Sugar Drying and Packaging :

تخرج بللورات السكر من أجهزة الطرد المركزى درجة حرارته ٧٠م وتكون البللورات وطبه إلى حد ما وتحتوى على حوالى ١ ٪ رطوبة وبالتالي تكون على حالة غير مناسبة للتخزين ولذا يجرى تجفيف البللورات وتبريدها على درجة حرارة ٤٠ - ٥٠م باستخدام مجففات رحوية Rotary dryers حيث يتم خفض الرطوبة إلى حوالى ٠,٢ ٪ ثم يجرى نخل البللورات وتدرجها إلى أحجام متجانسة ثم يتم تعبئتها فى عبوات مناسبة .

ويتميز سكر البنجر عن سكر القصب بأنه يكون أكثر نقاوة حيث تصل درجة نقاوة إلى ٩٦,٩٩ ٪ (سكروز) وتتميز البللورات بالشكل المنتظم واللون الأبيض الناصع كما أن مولاس البنجر يكون أكثر نقاوة وشبه خالى من السكريات الاحادية .