الفصل الأول

قياس تركيز المحاليل وتحضيرها

الدكتور سعد أحمد حلابو

الفصل الأول

قياس تركيز المحاليل وتحضيرها

تمثل المحاليل سواء كانت محاليل سكرية أو ملحية أو حامضية أو قلوية أو كحولية ركناً أساسياً فى مجال الصناعات الغذائية وذلك لتعدد استعمالاتها وفيما يلى أمثله لبعض استعمالات هذه المحاليل فى بعض الصناعات الغذائية:

1- فى صناعة الشراب والجيلي والمرملاد والمربى والمياه الغازية.

2- فى صناعة التخليل حيث تستخدم المحاليل الملحية بتركيزات مختلفة وكذلك لتجهيز المخللات وفيها تستخدم المحاليل الملحية وأحياناً السكرية.

3- في صناعة الكحول حيث تحضر محاليل سكرية بتركيزات معينة تناسب نمو الخمائر التى تقوم بتخمير السكر وتحويله إلى كحول.

4- في صناعة الخل حيث تحضر محاليل كحولية بتركيزات معينة تناسب نمو البكتريا التى تقوم بأكسدة الكحول وتحويله إلى حامض خليك.

5- في صناعة التعليب وفيها تستعمل المحاليل في عمليات الغسيل - التقشير - التعبئة .... إلخ.

6- فى صناعة التجفيف حيث تستعمل المحاليل في عمليات الغسيل - التقشير - الكبرتة... إلخ.

مما سبق تتضح أهمية المحاليل في الصناعات الغذائية وسنقوم في هذا المجال بدراسة عن المحاليل السكرية والملحية والكحولية من ناحية تحضيرها وطرق قياسها.

وتتكون المحاليل المستخدمة فى الصناعات الغذائية من مذاب (مادة صلبة) قد تكون سكر أو ملح طعام أو قلوي.. إلخ مذابة في مذيب (وسط سائل) وهو الماء.. وبذلك يمكن تعريف المحلول بأنه عبارة عن المحلول المتجانس الناتج عن إذابة مادة صلبة (تعرف بالمذاب أو الذائب) في سائل هو الماء (يعرف بالمذيب) وله طعم المادة المذابة به.

ويمكن تعريف ظاهرة الذوبان بأنها ظاهرة تلاشي جزيئات المادة الذائبة بين جزيئات المادة المذيبة بحيث يصبح المحلول متجانس.

ويلاحظ أنه كلما زادت نسبة المواد الصلبة المذابة في الماء كلما قل معدل الإذابة إلى أن تقف عملية الذوبان تمامًا عند درجة معينة من التركيز تعرف بدرجة التشبع وذلك على درجة حرارة الجو المحيط إلا أنه يمكن زيادة عملية الإذابة عن درجة التشبع هذه عن طريق رفع درجة حرارة المحلول المشبع (حتى درجة الغليان كحد أقصى) ويصبح المحلول في هذه الحالة فوق مشبع ولكن عند رجوعه إلى درجة حرارته الأولى التي كان عليها فإنه يطرد الكمية المذابة الزائدة والتى ترسب بدورها على هيئة بللورات.

أهمية قياس تركيز المحاليل:

يعتبر قياس تركيز المحاليل السكرية والمحاليل الملحية المستعملة في عمليات التصنيع الغذائي أولى الخطوات التي يجب أن يعنى بها وذلك لأهميتها الكبيرة فعلى سبيل المثال:

1- نجد أن المصانع تستهلك كميات كبيرة من السكر وحدوث أي خطأ في القياس مقداره 1 ٪ في تركيز السكر لمصنع يستهلك 100 طن سكر شهريًا يسبب خسارة تصل إلي 1000 كيلو جرام سكر شهريًا. ويعتبر زيادة في التكلفة للمنتجات المصنعة.

2- الخطأ في القياس يؤدي إلى استخدام محاليل بتركيزات أقل من التركيز الحافظ المفروض استعماله مما يؤدي إلى فساد المنتجات المصنعة باستخدام هذه المحاليل.

3- كذلك نجد أن الخطأ في القياس يؤدي إلى أن يصبح المنتج مخالفًا للمواصفات القياسية والقوانين الغذائية وبالتالي التعرض إلى العقوبات الخاصة بذلك بالإضافة إلى انخفاض في درجة جودة المنتجات المصنعة.

الأساس الذى تقوم عليه طرق التقدير المختلفة:

تعتمد طرق تقدير أو معرفة تركيز المحاليل المختلفة على أساسين:

1- تقدير كثافة المحاليل ويرجع ذلك لوجود علاقة بين كثافة محلول معين وتركيزه. فكثافة المحاليل السكرية أو الملحية تتناسب تناسب طردي مع تركيزها أما في حالة المحاليل الكحولية فإن الكثافة تتناسب تناسب عكسي مع تركيزها.

2- قياس معامل انكسار الضوء.

أولاً: الطرق المعتمدة على الكثافة:

قبل الكلام عن الطرق المستخدمة سنذكر كلمة مبسطة عن الكثافة والعلاقة بينها وبين الوزن النوعي. حيث يعبر عن الكثافة بأنها كتلة وحدة الحجم وتميز بالجرام/سم3 تبعاً للنظام المتري أو رطل/قدم3 تبعاً للنظام الإنجليزي.

$$\text{أي أن الكثافة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

ونجد أن كثافة الماء = 1 جرام/سم3 علي درجة حرارة 4م وأن كثافة السكروز النقي = 1.585 جرام/سم3 علي درجة حرارة 25م وكثافة كلوريد الصوديوم النقي = 2.165 جرام/سم3 على درجة حرارة 25م.

وحيث من الصعب تقدير الكثافة خاصة في حالة المواد الصلبة والغازية لذلك يفضل الاستعاضة عنها بتقدير الوزن النوعي وهو عبارة عن النسبة بين وزن حجم معين من المادة إلي وزن نفس الحجم من الماء عند درجة حرارة محددة مع مراعاة ذكر درجة الحرارة التي يتم عندها تقدير الوزن النوعي حيث أن اختلاف درجات الحرارة يؤدي إلي اختلاف في الوزن النوعي للمادة.

العلاقة ما بين الوزن النوعى والكثافة:

الوزن النوعي عبارة عن وزن حجم معين من المادة منسوباً إلى وزن نفس الحجم من الماء على درجة حرارة 4م أو أي درجة حرارة أخرى.

$$\text{الوزن النوعي} = \frac{\text{وزن حجم معين من المادة}}{\text{وزن نفس الحجم من الماء علي درجة حرارة 4م}}$$

$$= \frac{\text{حجم المادة} \times \text{كثافة المادة}}{\text{حجم الماء} \times \text{كثافة الماء}}$$

$$= \frac{ح_1 \times ث_1}{ح_2 \times ث_2}$$

وحيث أن الحجمين متساويين

$$\text{إذن الوزن النوعي} = \frac{\text{كثافة المادة}}{\text{كثافة الماء}}$$

وحيث أن كثافة الماء = 1 على درجة حرارة 4م .

إذن الوزن النوعي للمادة = كثافة المادة على درجة حرارة 4م .

وقد وضعت جداول تبين العلاقة ما بين تركيزات المحاليل وكثافتها أو الوزن النوعي لها عند درجات الحرارة المختلفة. لذلك عند استخدامها يلزم تعديل القراءة تبعاً لاختلاف درجة حرارة الجو المحيط عن تلك المحددة في الجدول.

١- قنينة الكثافة: Pycnometer

حيث تستخدم لتقدير كثافة المحلول وذلك عن طريق وزن حجم معين من السائل المراد معرفة كثافته ووزن حجم مماثل من الماء باستخدام قنينة ثابتة الحجم وذلك على درجة حرارة ثابتة.

وصف القنينة:

عبارة عن وعاء زجاجي ذو أحجام مختلفة 5سم3، 10سم3، 50سم3 ...إلخ ولها غطاء به ثقب يسمح بمرور السائل الزائد عند ملء القنينة تماماً وقفلها. وتوجد أنواع ذات غطاء مزود بترمومتر لقياس درجة حرارة المحلول مباشرة. ويوضح شكل (1) بعض الأنواع المستخدمة من قنينة الكثافة.

ويراعى عند تقدير الكثافة باستخدام هذه الطريقة ترك القنينة على درجة حرارة المعمل حتى تتساوى درجة حرارتها بمحتوياتها مع درجة حرارته.

ويمكن تلخيص خطوات العمل بها كما يلى:

1- وزن القنينة وهى فارغة ونظيفة وجافة (أ).

2- ملء القنينة بالماء المقطر مع عدم ترك أي فقاقيع هوائية ثم يوضع الغطاء وتجفف من الخارج وتوزن (ب).

3- تفرغ القنينة وتغسل بالسائل أو المحلول المراد معرفة وزنه النوعي عدة مرات ثم تملأ بهذا السائل أو المحلول وتوزن (جـ).

4- يحسب الوزن النوعي كمايلي:

$$\text{الوزن النوعي} = \frac{\text{وزن حجم معين من المحلول علي درجة حرارة ثابتة}}{\text{وزن نفس الحجم من الماء}}$$

$$\text{إذن الوزن النوعي} = \frac{\text{(جـ - أ) على درجة حرارة ثابتة}}{\text{(ب - أ)}}$$

قنينة كثافة ذات غطاء
خارجي لمنع التبخير

قنينة كثافة ذات
غطاء مثقب

قنينة كثافة مزودة بالترمومتر
وبها ذراع جانبي

شكل (1) أنواع مختلفة من قنينة الكثافة

مثال:

في تجربة لإيجاد الوزن النوعي لمحلول سكري كان وزن القنينة فارغة هو 27.9671 جرام ووزنها بالماء المقطر هو 78.2210 جرام ووزنها بالمحلول السكري هو 82.2351 جرام على نفس درجة الحرارة. احسب الوزن النوعي للمحلول السكري.

الحل:

وزن المحلول السكري = 82.2351 – 27.9671 = 54.2680 جرام .

وزن المـــاء المقطـــر = 78.2210 – 27.9671 = 50.2539 جرام .

الـــوزن النوعـــي = $\frac{54.2680}{50.2593}$ = 1.0798 على درجة حرارة معينة

ب- ميزان وستيفال: Westphal balance

يعتمد عمل ميزان وستيفال على طريقة الإحلال وهي مبنيه على قاعدة أرشميدس التي تقول: «إذا غمر جسم في سائل فإنه يلقى دفعاً من أسفل إلى أعلى بقوة تساوي وزن السائل المزاح.

أي أن:

قوة الدفع من أسفل إلى أعلى = وزن السائل المزاح

= حجم السائل المزاح × كثافته

وعلى هذا الأساس إذا أمكن قياس حجم السائل المزاح وقوة الدفع يمكن معرفة الكثافة. ومن المعلوم أن حجم السائل المزاح يساوي حجم الجسم المغمور. فإذا كان حجم الجسم المغمور 5سم3 يكون حجم السائل المزاح 5سم3 أيضاً وإذا كان حجم الجسم المغمور 10سم3 يكون حجم السائل المزاح 10سم3 – وهكذا. ولتعيين قوة الدفع من أسفل إلى أعلى يعتمد ذلك على قانون الروافع الذي ينص على أن:

القوة × ذراعها = المقاومة × ذراعها

تركيب الجهاز:

يوضح شكل (2) تركيب الجهاز وهو يتكون من:

1- حامل معدني مزود بمسامير محواه للضبط الأفقي.

2- عائق أحد طرفيه مقسم إلى عشرة أقسام ويتحرك على منشور من العقيق مثبت في الطرف العلوي للحامل وينتهي هذا الطرف بحلقة يعلق بها غاطس زجاجي ذو حجم معين وهو عادة 5سم3 وبه ترمومتر لقياس درجة حرارة المحلول.

3- الطرف الآخر من العائق غير مدرج وبه مؤشر يتحرك أمام مؤشر آخر ثابت وعندما يكون المؤشران على خط واحد يكون الجهاز في حالة اتزان.

4- خمسة رواكب من المعدن الراكب الأول والثاني وزن كل منهما 5 جرام والراكب الثالث وزنه 0.5 جرام والراكب الرابع وزنه 0.05 جرام أما الراكب الخامس فوزنه 0.005 جرام.

5- مخبار يوضع به المحلول المراد تعيين وزنه النوعي أو كثافته. وعلي أساس أن الميزان رافعة من النوع الثاني فالقوة فيها عبارة عن الأوزان أو الرواكب التي تعادل هذه القوة وعلي هذا يمكن استخدام قانون الروافع.

القوة × ذراعها = المقاومة × ذراعها

قوة الدفع من أسفل لأعلى × الذراع = المقاومة × ذراعها

وزن السائل المزاح × الذراع = المقاومة × ذراعها

حجم السائل المزاح × كثافته × الذراع = المقاومة × ذراعها

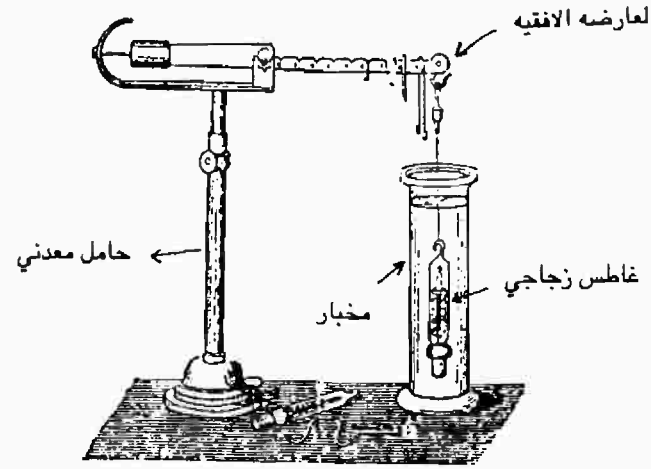
وحيث أن:

1- حجم الغاطس = 5سم3 وبالتالي فعند غمره يزيح 5سم3 من المحلول.

2- وطول الذراع = 10سم .

3- وأن المقاومة تمثل أوزان الرواكب المستعملة.

$$50 \times ت = م_1 \times ع_1 + م_2 \times ع_2 \ldots\ldots + م_ن \times ع_ن$$



شكل (2) ميزان وستيفال

طريقة العمل:

يمكن ذكر خطوات العمل في النقاط الآتية:

1- توضع العارضة أفقياً في حالة اتزان وذلك بمساعدة المؤشرين الخاصين لذلك.

2- يملأ المخبار بحجم مناسب من المحلول المختبر مع التأكد من خلو المحلول من أي مواد عالقة.

3- يعلق الغاطس في طرف العارضة بحيث ينغمر تماماً في المحلول المختبر وتسجل درجة حرارة المحلول. ومن الطبيعي أن نجد الإتزان الأفقي للعارضة يختل نظراً للقوة التي يدفع بها الغاطس من أسفل إلى أعلى. ويجب التأكد من حرية حركة الميزان.

4- تستخدم الرواكب المعدنية وتوضع كلها أوعدد منها حتى تعود العارضة إلى حالة الإتزان.

مثال:

أحسب كثافة المحلول باستخدام ميزان وستيفال إذا كان وضع الرواكب عند الإتزان كما يلي:

الراكب الأول على التدريج العاشر.

الراكب الثاني لم يستعمل.

الراكب الثالث على التدريج الخامس.

الراكب الرابع على التدريج الثاني.

الراكب الخامس على التدريج الأول.

الحل:

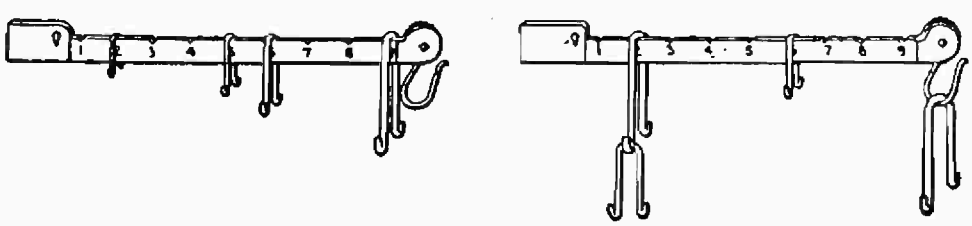
القوة × ذراعها = المقاومة × ذراعها

$$5 \times \text{ث} \times 10 = 5 \times 10 + \text{صفر} \times 0.5 + 5 \times 0.05 + 2 \times 0.005 + 1$$

$$50 \text{ ث} = 52.605$$

$$\text{ث} = \frac{52.605}{50} = 1.0521 \text{ جرام/سم}3$$

كما يمكن إيجاد كثافة المحلول مباشرة دون إجراء العمليات الحسابية السابقة حيث يمكن استنتاج قيمة الكثافة من مواقع الرواكب شكل (3) .. يمكن توضيح ذلك بالنسبة للمثال السابق كمايلي:



١,٢٢٦٠ ٠,٩٦٥٢

شكل (3) قراءات الكثافة باستخدام ميزان وستيفال

الراكب الأول ووزنه 5 جرام عند التدريج العاشر يدل علي الرقم الصحيح الأول.

الراكب الثاني ووزنه 5 جرام لم يستعمل يدل علي الرقم العشري الأول.

الراكب الثالث ووزنه 0.5 جرام عند التدريج الخامس يدل على الرقم العشري الثاني.

الرابع الرابع ووزنه 0.05 جرام عند التدريج الثاني يدل على الرقم العشري الثالث.

الراكب الخامس ووزنه 0.005 جرام عند التدريج الأول يدل على الرقم العشري الرابع.

وبالتالي فتكون قيمة الكثافة = 1.0521 جرام/سم3

وللحصول على قيمة الكثافة بهذه الطريقة لابد أن يتبع الآتي في وضع الرواكب.

الراكب الأول لا يستعمل إلا علي التدريج العاشر أما بقية الرواكب (الثاني حتى الخامس) فتستعمل في أي موضع من التدريج الأول حتى التدريج التاسع.

ومن معرفة قيمة الكثافة للمحلول يمكن الحصول على تركيزه باستخدام الجداول الخاصة بذلك.

جـ- الايدروميترات Hydrometers :

بني عمل الايدروميترات على أساس قانون الطفو وهو أنه إذا طفا جسم فوق سطح سائل فإن وزن الجسم يساوي وزن السائل الذي يزيحه الجزء المغمور من هذا الجسم في السائل.

أي أن وزن الجسم = وزن السائل المزاح = حجم السائل المزاح × كثافته

وعلي ذلك إذا طفا الجسم في سائلين مختلفين في الكثافة وكان الحجم المزاح = ح فإن:

$$ح_1 \times ث_1 = ح_2 \times ث_2$$

أو

$$\frac{ح_2}{ح_1} = \frac{ث_1}{ث_2}$$

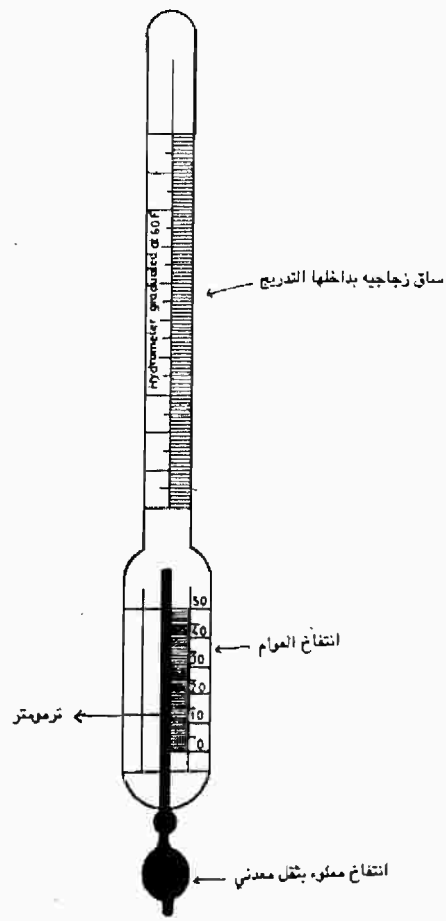
أي أن الحجوم المزاحة للسوائل المختلفة تتناسب مع كثافة هذه السوائل ونظراً لأن الجسم ثابت فإن الحجوم المزاحة تتناسب مع العمق الذي ينغمر في السائل.

وعلي هذا فإذا غمر هذا الجسم في سائلين مختلفي الكثافة فإن مقدار ما ينغمر من الجسم في كل منهما يختلف باختلاف كثافة السائل ونظراً لأن كثافة المحاليل السكرية والملحية تتناسب تناسباً طردياً مع تركيز المواد الصلبة الذائبة الكلية فإنه كلما زادت كثافة السائل كلما كان الجزء المغمور من الايدروميتر أقل والعكس صحيح وتساوي كثافة السائلين يعني تساوي الجزء المغمور.

تركيب الايدروميتر:

يوضح شكل (4) تركيب الايدروميتر وهو عبارة عن أنبوبة زجاجية طويلة ملتحمة من الطرف العلوي الذي يحتوي بداخله علي ورقة بها تدريج يبدأ من أعلى إلى أسفل (في حالة

المحاليل السكرية والملحية) ومن أسفل إلى أعلى (في حالة المحاليل الكحولية) ويكتب على الورقة درجة حرارة التدريج. وتنتهي الأنبوبة من أسفل بانتفاخين العلوي منها يعرف بانتفاخ العوام (مملوء هواء) للمساعدة على طفو الايدروميتر والسفلي بنهايته ثقل من كرات الرصاص أو الزئبق أو أي مادة معدنية أخرى ويعرف بانتفاخ الثقل لمساعدة الايدروميتر على أن يأخذ وضعاً رأسياً في المحلول المستعمل. ويحتوي الايدروميتر بداخله على ترمومتر لقياس درجة حرارة المحلول أثناء عملية القياس.



شكل (4) تركيب الايدروميتر

كيفية تدريج الايدروميترات:

يتم تدريج الايدروميتر باتباع الخطوات الآتية:

1- يغمر الايدروميتر في مخبار بعد ملئه بالماء المقطر ويترك حر الحركة وعندما يثبت الايدروميتر عن الحركة تعمل علامة الصفر على الساق الزجاجية.

2- يحضر محلول بتركيز معلوم وليكن 5 ٪ بالضبط ويكرر غمر الايدروميتر داخله وعندما يثبت الايدروميتر عن الحركة تعمل علامة أخرى على الساق الزجاجية.

3- يكرر العمل السابق (خطوة 1) مع محلول 10 ٪، 15 ٪، 20 ٪ وهكذا حتى آخر تدريج مطلوب.

4- تقسم المسافة بين كل علامة وما يليها إلى خمسة أقسام متساوية.

5- تدون درجة الحرارة أثناء عملية التدريج على ساق الايدروميتر.

انواع الايدروميترات:

هناك أنواع عديدة من الايدروميترات تختلف على حسب الغرض الذي تستخدم من أجله ويوضح شكل (5) أهم الأنواع وهي:

1- ايدروميترات لقياس درجة تركيز المحاليل السكرية وتعرف باسم البالنج أو البركس.

2- أيدروميترات لقياس درجة تركيز المحاليل الملحية وتعرف باسم البوميه.

3- أيدروميترات لقياس النسبة المئوية لدرجة تشبع المحاليل الملحية وتعرف باسم السالوميتر أو السالونيميتر.

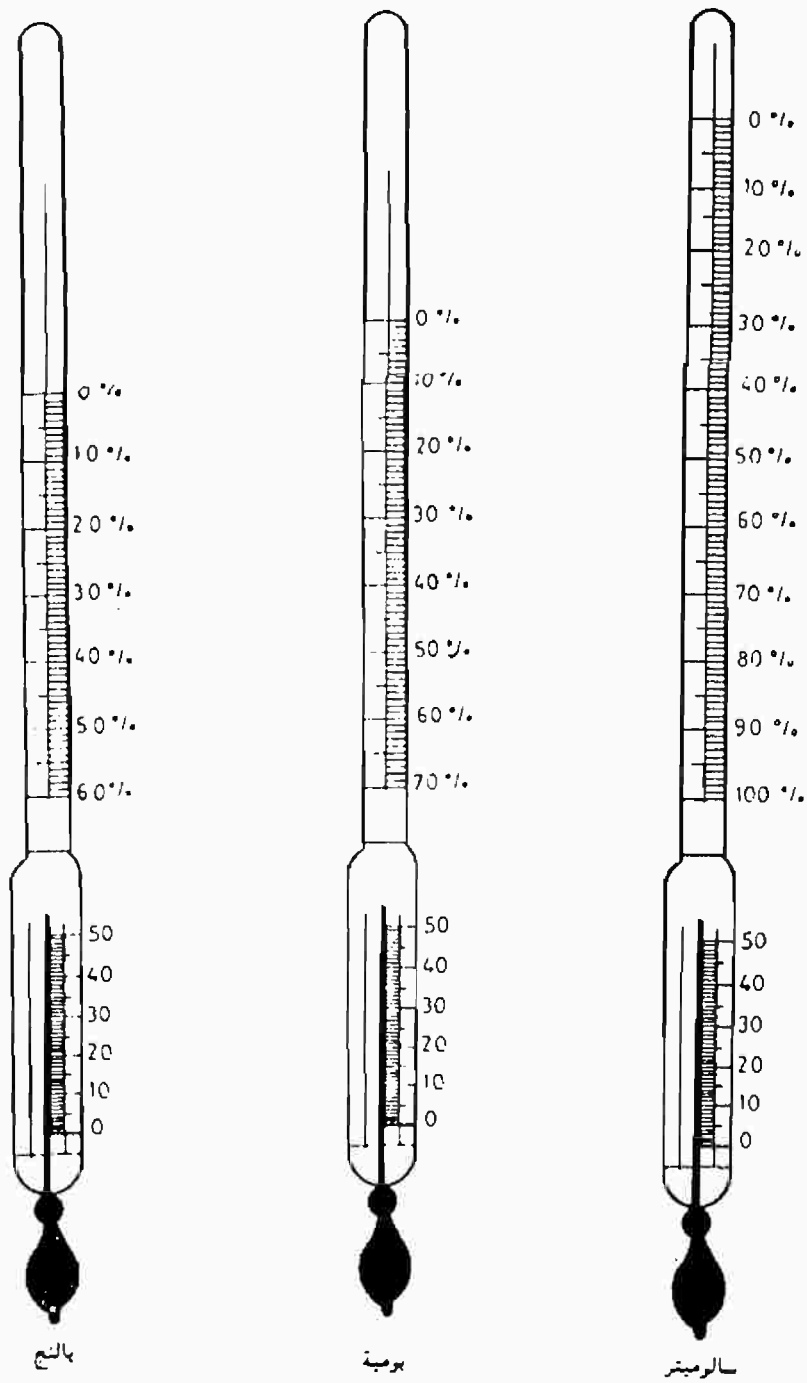
4- أيدروميترات لقياس درجة تركيز المحاليل الكحولية وتعرف باسم ترالز.

5- أيدروميترات لقياس الوزن النوعي وتنقسم إلي:

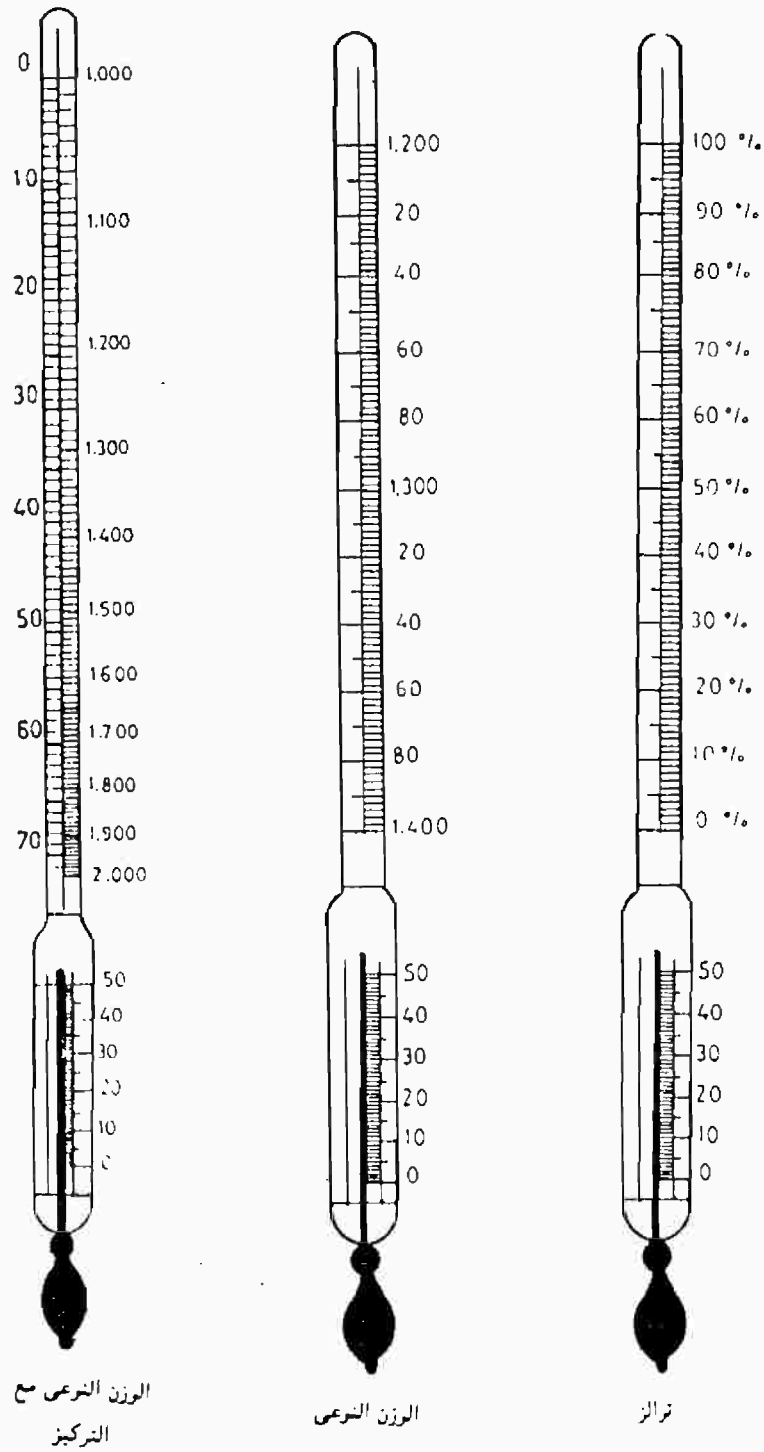
أ- أيدروميترات تعطي الوزن النوعي للمحاليل التي كثافتها أكبر من الواحد الصحيح مثل المحاليل السكرية والملحية.

ب- أيدروميترات تعطي الوزن النوعي للمحاليل التي كثافتها أقل من الواحد الصحيح مثل المحاليل الكحولية والزيوت.

ومن معرفة الوزن النوعى يمكن معرفة ما يقابلها من درجات التركيز المئوية من الجداول الخاصة بذلك (جدول 1) فمثلا نجد أن الوزن النوعي لمحلول 10 ٪ سكر ومحلول آخر 10 ٪ ملح على درجة حرارة 20م هو 1.03998 ، 1.07404 على التوالى. وبذلك يتضح أنه رغم تساوى تركيز كل من المحلولين (السكرى والملحى) إلا أن كثافة كل منهما مختلفة عن الآخر وعلي هذا فإن الأروميتر ينغجر فى كل منهما إلي مسافة تتوقف علي كثافة كل منهما. وفى هذا المثال نجد أن المحلول المحلى الذى تركيزه 10 ٪ كثافته أكبر من المحلول السكرى وبناء على ذلك نجد أن إنغمار الايدرومتر يكون أقل من المحلول الملحى عنه فى المحلول السكرى.



شكل (5) أنواع مختلفة من الأيدروميترات



تابع شكل (5) أنواع مختلفة من الأيدروميترات

جدول (1)

العلاقة بين قراءات ايدروميترى البالنج والبومية والوزن النوعي لمحاليل السكروز علي درجة حرارة 20°م

قراءة البالنج أو ٪ للسكروز بالوزن	الوزن النوعي	قراءة البومية
1	1.00389	.65
2	1.00779	1.12
3	1.01172	1.68
4	1.01567	2.24
5	1.01965	2.79
6	1.02366	3.35
7	1.02770	3.91
8	1.03176	4.46
9	1.03586	5.02
10	1.03998	5.57
11	1.04413	6.13
12	1.04831	6.68
13	1.05252	7.24
14	1.05677	7.79
15	1.06104	8.34
16	1.06534	8.89
17	1.06968	9.45
18	1.07404	10.00
19	1.07844	10.55
20	1.08287	11.10
21	1.08733	11.65
22	1.09183	12.20
23	1.09636	12.74
24	1.10092	13.29
25	1.0551	13.84
26	1.11014	14.39
27	1.11480	14.93
28	1.11949	15.48
29	1.12422	16.02
30	1.12898	16.57
31	1.13378	17.11
32	1.13861	17.65
33	1.14347	18.19

تابع جدول (1)

العلاقة بين قراءات ايدروميترى البالنج والبومية والوزن النوعي لمحاليل السكروز علي درجة حرارة 20م°

قراءة البالنج أو ٪ للسكروز بالوزن	الوزن النوعي	قراءة البومية
34	1.14837	18.73
35	1.15331	19.28
36	1.15828	19.81
37	1.16329	20.35
38	1.16833	20.89
39	1.17341	21.43
40	1.17853	21.97
41	1.18368	22.50
42	1.18887	23.04
43	1.19410	23.57
44	1.19936	24.10
45	1.20467	24.63
46	1.21001	25.17
47	1.21538	25.70
48	1.22080	26.23
49	1.22625	26.75
50	1.23174	27.28
51	1.23727	27.81
52	1.24284	28.33
53	1.24844	28.86
54	1.25408	29.38
55	1.25976	29.90
56	1.26548	30.42
57	1.27123	30.94
58	1.27703	31.46
59	1.28286	31.97
60	1.28873	32.49
61	1.29464	33.00
62	1.30059	33.51
63	1.30657	34.02
64	1.31260	34.53
65	1.31866	35.04
66	1.32476	35.55
67	1.33090	36.05

تابع جدول (1)

العلاقة بين قراءات ايدروميترى البالنج والبومية والوزن النوعي لمحاليل السكروز علي درجة حرارة 20م°

قراءة البالنج أو ٪ للسكروز بالوزن	الوزن النوعي	قراءة البومية
68	1.33708	36.55
69	1.34330	37.06
70	1.34956	37.56
71	1.35585	38.06
72	1.36218	38.55
73	1.36856	39.05
74	1.37496	39.54
75	1.38141	40.03
76	1.38790	40.53
77	1.39442	41.01
78	1.40098	41.50
79	1.40758	41.99
80	1.41421	42.47
81	1.42088	42.95
82	1.42759	43.43
83	1.43434	43.91
84	1.44112	38.44
85	1.44794	44.86
86	1.45480	45.33
87	1.46170	45.80
88	1.46862	46.27
89	1.47559	46.73
90	1.48259	47.20
91	1.48963	47.66
92	1.49671	48.12
93	1.50381	48.58
94	1.51096	49.03
95	1.51814	49.49
96	1.52535	49.94
97	1.53260	50.39
98	1.53988	50.84
99	1.54719	51.28
100	1.55454	51.73

6- أيدروميترات لقياس التركيز والوزن النوعي معاً ويطلق عليها ثرموهيدرميتر Thermohydrometer. وفيما يلى شرح مبسط لأهم الأيدروميترات المستخدمة في التصنيع الغذائي:

1- أيدروميترات قياس درجة تركيز المحاليل السكرية:

وتشمل أيدروميتر البالنج أو البركس Balling or Brix وهما مستخدمان في قياس درجة تركيز المحاليل السكرية مباشرة وتبين القراءة النسبة المئوية للسكر بالوزن بمعنى أن الدرجة الواحدة من تدريجه تمثل 1 جرام من السكروز النقى مذابة فى 100 جرام محلول.

وساقه مدرجة من أعلي إلى أسفل لأنه كلما زاد تركيز المحلول زادت تبعاً له الكثافة مما يؤدى إلى أن يطفو الأيدروميتر بمعدل أكبر وبالتالي تزداد قراءة الايدروميتر. وبفضل عدم استخدامها فى قياس محاليل سكرية يزيد تركيزها عن 40٪ لزيادة لزوجة المحاليل مما يؤدي إلى عدم انغماره فيها إلى الحد الحقيقى لذلك يجب أن تخفف هذه المحاليل ثم تستخدم الأيدروميترات في القياس وتضرب قيمة القراءة المتحصل عليها في معامل التخفيف للحصول على التركيز الحقيقي.

ويختلف أيدروميتر البالنج عن أيدروميتر البركس في أن الأول مدرج على درجة حرارة 17.5م° أما الثاني مدرج على درجة حرارة 60 ف°.

من المعلوم أن الكثافة تتأثر بنسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية الموجودة في المحلول وعلي ذلك فإن استخدام الأيدروميتر في قياس تركيز السكر في عصائر الفاكهة أو الخضروات لا يدل على النسبة المئوية الصحيحة لأن درجة التركيز الناتجة تدل على درجة تركيز محلول سكري مكون من السكروز النقي والماء تتساوى كثافته مع كثافة العصير ولكنها لا تدل على درجة تركيز المواد السكرية الموجودة بالعصير على حده نظراً لاحتواء العصير إلى جانب المواد السكرية على أملاح ذائبة وأحماض عضوية كحمض الستريك وفيتامينات.... إلخ ونجد مثل هذه المواد تؤثر على كثافة المحلول ولزوجته وبالتالى على قراءة الايدروميتر أى أن قراءة الأيدروميتر فى هذه الحالة لا تمثل المواد السكرية فقط وإنما المواد الصلبة الذائبة السكرية وغير السكرية وعلى ذلك يجب طرح نسبة المواد الصلبة الذائبة غير السكرية من قراءة الأيدروميتر وعادة تصل نسبة المواد الصلبة الذائبة غير السكرية في عصير الموالح إلى حوالي 2٪.

2- أيدروميترات قياس درجة تركيز المحاليل الملحية:

وهذه تشمل أيدروميتر البوميه Baume حيث يعطي النسبة المئوية مباشرة. ومدرج على درجة حرارة 60 ف° وتدريجه من أعلى إلى أسفل. وتعبر كل درجة من البوميه عن 1 جرام من كلوريد الصوديوم النقى مذابه في 100 جرام محلول ملحي. وعلى الرغم من أن أقصى درجة تركيز يصل إليها المحلول الملحي هي 26.5٪ على درجة حرارة 25م° وتزداد بالغليان إلى أن تصل 29٪ نجد أن ايدروميترات البوميه مدرجة من صفر إلى 70 بوميه حيث تستعمل في مصانع الزيوت والدهون وذلك لقياس درجة تركيز محاليل الصودا الكاوية أثناء إجراء عمليات المعادلة للأحماض الدهنية المنفردة من الزيت الخام.

ويمكن حساب قيمة الوزن النوعي من قراءة البوميه باستخدام المعادلة الآتية مع المحاليل التي كثافتها أكبر من 1 .

$$\text{البوميه} = 145 - \frac{145}{\text{الوزن النوعي على درجة حرارة 60 ف°}}$$

أما في حالة المحاليل التي كثافتها أقل من 1

$$\text{البوميه} = 130 - \frac{140}{\text{الوزن النوعي على درجة حرارة 60 ف°}}$$

3- أيدروميترات قياس النسبة المئوية لدرجة تشبع المحاليل الملحية:

وهذه تشمل أيدروميتر السالوميتر أو السالونيميتر Salometer or Salinometer ويستخدم في قياس النسبة المئوية لدرجة تشبع المحاليل الملحية وهو مدرج على درجة حرارة 60 ف° وساقه مدرجة من صفر إلى 100 ويدل صفر تدريجه على أن السائل المختبر هو الماء المقطر كما تدل قراءة 100 على أن السائل المختبر هو محلول ملحي مشبع.

بما أن درجة تركيز المحلول المشبع للملح هي 26.5٪ .

إذن 100 درجة سالومييتر = 26.5 درجة بوميه

العلاقة ما بين قراءتي أيدروميتر البومية وايدروميتر السالوميتر:

26.5 درجة بوميه = 100 درجة سالوميتر

1 درجة بوميـه = ×

$$3.77 = \frac{1 \times 100}{26.5} = \times$$

إلا أنه تجاوزا نعتبر أن:

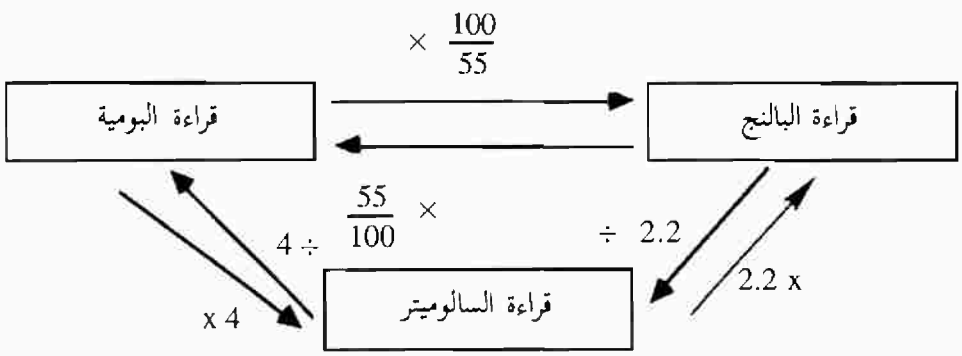
كل 1 درجة بوميه = 4 درجة سالوميتر

العلاقة ما بين قراءات أيدروميترات المحاليل السكرية والملحية:

يمكن معرفة تركيز المحاليل السكرية عن طريق استخدام أيدروميتر البوميه أو السالوميتر كما يمكن معرفة تركيز المحاليل الملحية باستخدام أيدروميتر البالنج وذلك باستخدام العلاقات بين قراءات الأيدروميترات التي تتلخص فيمايلي:

كل 1 درجة بالنج = 0.55 درجة بوميه = 2.2 درجة سالوميتر

كل 1 درجة بوميه = 100/ 55 درجة بالنج = 4 درجة سالوميتر.



4- ايدروميترات قياس درجة تركيز المحاليل الكحولية:

وهذه تشمل أيدروميتر ترالز Tralz وتدل قراءته على عدد الأجزاء من الكحول المطلق الموجودة بالسائل الكحولي. ونظراً لأن كثافة المحاليل الكحولية تتناسب تناسباً عكسياً مع تركيزها أي كلما زاد تركيز المحلول الكحولي كلما قلت كثافته وعلى هذا فإن الايدروميتر يزداد انغماره في المحاليل الكحولية كلما زاد تركيزها. لذلك يتم تدريج الايدروميتر من أسفل إلى أعلى. وساقة مدرجة من صفر إلى 100 .

التصحيح الحرارى:

تعتبر درجة الحرارة من أهم العوامل المؤثرة على قراءة الايدروميتر حيث يتأثر الوزن النوعي للسوائل بدرجة حرارتها لذلك يجري التصحيح الحراري لقراءة الايدروميترات في حالة استخدامها في القياس على درجات حرارة غير المدرجة عليها، ويرجع ذلك إلى أنه في حالة القياس على درجة حرارة أعلى من الدرجة التي درج عليها (ارتفاع في درجة الحرارة) يؤدي هذا إلى زيادة الحجم وقلة الكثافة وبالتالي انخفاض في اللزوجة مما يؤدي إلي زيادة الجزء المغمور في الايدروميتر وانخفاض في قيمة القراءة عن القراءة الحقيقة، ومن هنا نرى أنه للحصول على القراءة الصحيحة لابد من إضافة قيمة التصحيح الحراري. أما في حالة القياس على درجة حرارة أقل من الدرجة التي درج عليها (انخفاض في درجة الحرارة). يؤدى هذا إلى نقص الحجم وزيادة الكثافة وبالتالي زيادة اللزوجة مما يؤدي إلى قلة الجزء المغمور من الأيدروميتر وبالتالي زيادة في قيمة القراءة عن القراءة الحقيقية. ومن هذا نرى أنه للحصول على القراءة الصحيحة لابد من طرح قيمة التصحيح الحراري.

كما تتأثر قيمة التصحيح الحراري باختلاف تركيز المحلول المقاس. لذلك وضعت جداول يمكن استخدامها لتحديد قيمة التصحيح الحراري أو التركيز الحقيقي للمحلول عند قياس تركيزه على درجات حرارة أعلى أو أقل من التي تم تدريج الايدروميترات عليها. يوضح هذا الكلام جدول (2) فمثلاً محلول سكري تركيزه 10٪ على درجة الحرارة القياسية (63 ف°) عند قياس تركيزه على درجة حرارة أخرى (90 ف°) نجد أن القراءة في هذه الحالة تنخفض إلى 9.02٪ لذلك لابد من إضافة قيمة التصحيح الحراري ومقدارها 0.98 للحصول على التركيز الحقيقي للمحلول. ولتوضيح تأثير اختلاف التركيز نجد أن المحلول السكري تركيزه 25٪ عند قياسه على نفس درجات الحرارة السابقة تكون قيمة التعديل الحراري له 1.08 .

جدول (2) التصحيح الحراري لمحاليل السكروز

درجة الحرارة ف°	التركيز الحقيقي لمحاليل السكروز بالبالنج									
	10	15	20	25	30	40	50	60	70	75
	قراءة البالنج علي درجة حرارة القياس									
32	10.41	15.52	20.62	25.72	30.82	40.98	51.11	61.22	71.25	76.29
41	10.37	15.44	20.52	25.59	30.65	40.75	50.80	60.88	70.91	75.94
50	10.29	15.33	20.36	25.39	30.42	40.49	50.50	60.54	70.58	75.61
54	10.22	15.24	20.26	25.29	30.31	40.34	50.36	60.40	70.42	75.46
57	10.16	15.17	20.18	25.19	30.21	40.22	50.23	60.26	70.28	75.32
61	10.08	15.19	20.10	25.10	30.11	40.12	50.12	60.14	70.16	75.18
62	10.03	15.03	20.03	25.04	30.04	40.04	50.04	60.05	70.05	75.06
63	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	75.00
64	9.97	14.97	19.97	24.97	29.97	39.97	49.97	59.97	69.97	74.98
68	9.92	14.91	19.91	24.90	29.90	39.90	49.90	59.90	69.92	74.94
72	9.71	14.69	19.69	24.68	29.68	39.67	49.66	59.68	69.71	74.75
75	9.59	14.57	19.56	24.54	29.54	39.53	49.50	59.54	69.57	74.60
79	9.46	14.44	19.42	24.40	29.39	39.38	49.34	59.38	69.42	74.45
82	9.32	14.30	19.28	24.24	29.24	39.22	49.18	59.22	69.28	74.39
86	9.18	14.13	19.18	24.08	29.06	39.02	49.06	59.12	69.12	74.14

تابع جدول (2) التصحيح الحراري لمحاليل السكروز

درجة الحرارة ف°	التركيز الحقيقي لمحاليل السكروز بالبالنج									
	10	15	20	25	30	40	50	60	70	75
	قراءة البالنج علي درجة حرارة القياس									
90	9.02	13.91	18.97	23.92	28.92	38.90	48.86	58.90	68.97	74.02
93	8.86	13.84	18.79	23.76	28.86	38.72	48.70	58.74	68.81	73.83
97	8.68	13.67	18.62	23.59	28.59	38.54	48.53	58.58	68.65	73.67
100	8.51	13.49	18.45	23.41	28.41	38.36	48.35	58.40	68.49	73.51
104	8.33	13.29	18.27	23.21	28.21	38.18	48.17	58.22	68.31	73.35
108	8.14	13.11	18.07	23.01	28.01	38.00	47.99	58.04	68.15	73.19
110	8.04	13.01	17.97	22.91	27.91	37.90	47.90	57.95	68.07	73.11
112	7.94	12.99	17.87	22.81	27.81	37.80	47.81	57.86	67.98	73.03
115	7.73	12.70	17.66	22.61	27.61	37.60	47.61	57.68	67.80	72.77
117	7.62	12.59	17.55	22.51	27.51	37.50	47.51	57.59	67.71	72.76
119	7.51	12.48	17.46	22.41	27.41	37.40	47.41	57.50	67.62	72.75
121	7.40	12.37	17.33	22.31	27.31	37.30	47.31	57.40	67.53	72.58
122	7.29	12.26	17.22	22.20	27.20	37.20	47.21	57.30	67.44	72.49
124	7.19	12.16	17.11	22.10	27.10	37.09	47.11	57.20	67.35	72.40
126	7.08	12.06	17.00	21.99	26.99	36.98	47.01	57.10	67.26	72.31

تابع جدول (2) التصحيح الحراري لمحاليل السكروز

درجة الحرارة ف°	التركيز الحقيقي لمحاليل السكروز بالبالنج									
	10	15	20	25	30	40	50	60	70	75
	قراءة البالنج علي درجة حرارة القياس									
128	6.97	11.96	16.89	21.88	26.88	36.87	46.91	57.00	67.17	72.22
130	6.68	11.85	16.78	21.77	26.77	36.76	46.81	56.90	67.08	72.13
131	6.74	11.74	16.67	21.67	26.67	36.71	46.70	56.80	67.00	72.04
133	6.61	11.61	16.56	21.56	26.56	36.54	46.61	56.70	66.91	71.95
135	6.48	11.48	16.45	21.45	26.45	36.43	46.57	56.60	66.82	71.86
137	6.36	11.36	16.34	21.34	26.34	36.22	46.40	56.56	66.73	71.77
139	6.24	11.24	16.23	21.23	26.23	36.21	46.29	56.40	66.65	71.68
140	6.18	11.12	16.12	21.12	26.12	36.10	46.18	56.30	66.57	71.59
149	5.47	10.46	15.49	20.49	25.51	35.52	45.64	55.79	66.05	71.12
158	4.82	9.80	14.86	19.87	24.90	34.94	45.10	55.68	65.73	70.65
167	4.00	9.10	14.16	19.21	24.26	34.34	44.57	54.73	65.01	70.16
176	3.38	8.61	13.46	18.54	23.62	33.74	43.94	53.61	64.50	69.67
185	2.56	7.62	12.70	17.79	22.90	33.08	43.32	53.18	63.96	69.15
194	1.74	6.84	11.94	17.03	22.15	32.42	42.70	53.04	63.42	68.63
203	0.86	5.98	11.11	16.23	21.39	31.65	42.03	52.41	62.83	68.10
212	0.01	5.13	10.28	15.46	20.61	30.97	41.36	51.78	62.24	67.58

الاحتياطات الواجب مراعاتها عند استخدام الايدروميترات فى قياس تركيز المحاليل او الوزن النوعى لها:

يمكن تلخيص أهم الاحتياطات الواجب مراعاتها عند إجراء عملية القياس باستخدام الايدروميتر في النقاط الآتية:

1- التأكد من أن الأيدروميتر مضبوط التدريج. وذلك باستخدامه في قياس الماء المقطر لبيان صفر تدريجه.

2- التأكد من صفاء المحلول المختبر وخلوه من الشوائب أو المواد العالقة الصلبة.

3- مزج المحلول جيداً قبل أخذ عينة الاختبار منه.

4- استخدام مخبار نظيف وجاف وبطول مناسب لوضع العينة به.

5- إمالة المخبار حوالي 45 درجة وملئه بالعينة ببطء بحيث يسيل المحلول على جوانب المخبار الداخلية وحتى لا تتكون فقاعات هوائية ترفع الأيدروميتر وبالتالي تغير من القراءة ولا تكون مطابقة للواقع.

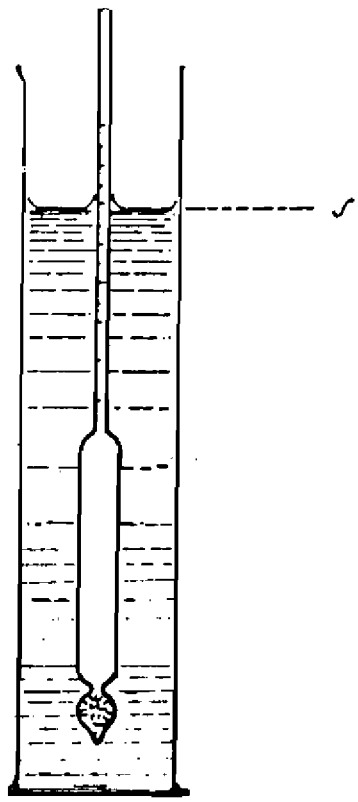
6- يجب ملء المخبار لقرب نهايته وإسقاط الايدروميتر باحتراس وبحركة دائرية بسيطة.

7- يجب أن يكون الايدروميتر حراً في حركته بالمحلول وغير ملتصق بجوانب المخبار أثناء القراءة.

8- يجب أن يوضع المخبار فوق سطح أفقي تماماً وعدم أخذ القراءة إلا بعد سكون حركة الايدروميتر ويقرأ التدريج المقابل للقاع المقعر من سطح السائل وفي مستوى النظر تماما. (شكل 6).

9- عند استخدام الايدروميترات في محاليل محتوية على غازات كالمياه الغازية يراعى تسخين المحلول لطرد الغازات حيث أن وجودها يعمل على رفع الايدروميتر عن وضعه المناسب ثم تؤخذ القراءة بعد أن يبرد المحلول.

10- قياس درجة حرارة المحلول وإجراء التعديل الحراري إذا لزم الأمر.



شكل (6) موضع القراءة الصحيحة عند القياس باستخدام الايدروميتر (ر)

مميزات استعمال طريقة الايدروميترات:

1- سهلة وسريعة ولا تحتاج إلى خبرة.

2- تفي بالغرض المطلوب في كثير من العمليات التصنيعية.

3- يمكن استخدام أيدروميتر واحد لقياس تركيز المحاليل السكرية والملحية كما يمكن تقدير الوزن النوعي لها بعد عمليات التحويل السابق شرحها أو استخدام جداول خاصة لذلك.

عيوب استعمال طريقة الأيدروميترات:

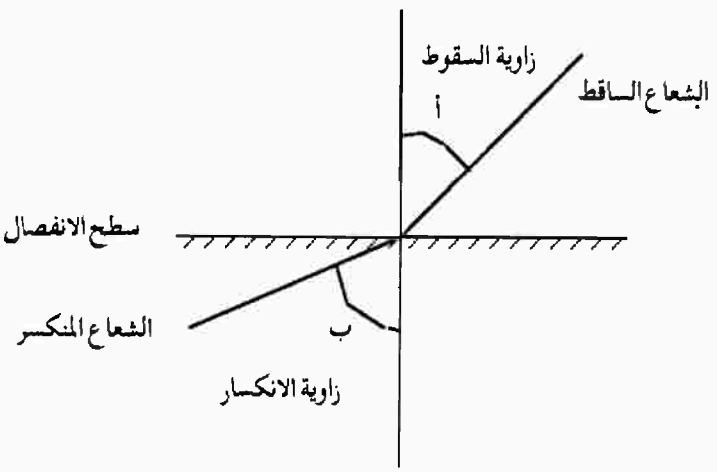
1- ليست أدق الطرق المستخدمة.

2- تحتاج إلى كمية كبيرة من السائل المختبر.

ثانياً: الطرق المعتمدة على انكسار الضوء:

في هذا الجزء سوف نتعرف على أجهزة الرفراكتوميترات وكيفية استخدامها لقياس معامل انكسار المحاليل وكذلك تركيزها.

ويعتمد استخدام الرفراكتوميترات على قوانين الانكسار الطبيعية للضوء حيث أنه عند مرور شعاع ضوئي من وسط إلى وسط آخر يختلف عنه في الكثافة الضوئية يحدث له انكسار عند سطح الانفصال. فإذا مر الشعاع الضوئي من وسط أكبر كثافة ضوئية إلى وسط آخر أقل كثافة ضوئية فإن زاوية السقوط (الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام على سطح الانفصال) تكون أقل من زاوية الانكسار (الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر والعمود المقام على سطح الانفصال) يوضح ذلك شكل (7).



شكل (7) مسار شعاع ضوئي خلال وسطين مختلفي الكثافة

ونحصل على قيمة معامل الانكسار من ناتج قسمة جيب زاوية السقوط على جيب زاوية الانكسار عند درجة حرارة معينة.

$$\text{أي أن معامل الانكسار} = \frac{\text{جيب زاوية السقوط (أ)}}{\text{جيب زاوية الانكسار (ب)}}$$

ويقوم جهاز الرفراكتوميتر بقياس الوزن النوعي للمادة عن طريق قياس معامل الانكسار لها. ويقيس معامل الانكسار النسبة بين سرعة مرور الضوء في الهواء مقارنة بسرعة مروره في المادة. فمثلاً معامل انكسار الماء = 1.333 على درجة حرارة 20م° فإن هذا يعني أن سرعة مرور الضوء في الماء أقل من سرعة مرور الضوء في الهواء بنسبة 1.333 أي أنه إذا كانت سرعة مرور الضوء في العينة 1.00 فإن سرعة مرور الضوء في الهواء تحت نفس الظروف 1.3330 فمثلاً إذا كان معامل انكسار محلول سكري 1.3446 فإن هذا يعني أن سرعة مرور الضوء في المحلول السكري أقل من سرعة مرور الضوء في الهواء بنسبة 1.3446 : 1 .

وقيمة معامل الانكسار تعتبر صفة مميزة للمواد حيث يمكن استخدامها للدلالة على درجة نقاوة المادة. وتعتمد قيمة معامل الانكسار على طول الموجة الضوئية وعادة يؤخذ معامل الانكسار لكل مادة أو محلول بالنسبة لضوء الصوديوم الموحد الموجات عند موجة ضوئية طولها 589 نانوميتر على درجة حرارة 20م°. وتقل قيمة معامل الانكسار للمواد بازدياد طول الموجة الضوئية المستخدمة كما يتضح من الجدول رقم (3).

جدول (3) العلاقة ما بين معامل الانكسار للماء وطول الموجة الضوئية على درجة حرارة 20م°

طول الموجة الضوئية المستخدمة نانوميتر	معامل الانكسار للماء على درجة حرارة 20م°
486	1.3371
589	1.3330
652	1.3311

ويعبر عن معامل الانكسار بالرمز n_D^t حيث أن:

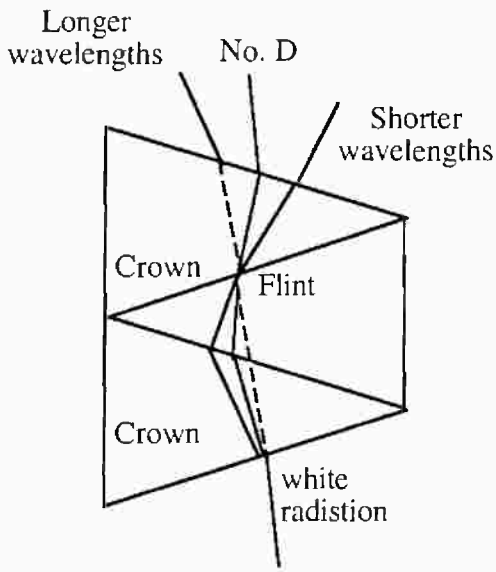
n = معامل الانكسار .

t = درجة حرارة القياس

D = ضوء الصوديوم

واستخدام الضوء العادي في عملية القياس يؤدي إلى اختلاف معامل الانكسار المقاس

عنه في حالة استخدام ضوء الصوديوم لذلك يفضل استخدام ضوء الصوديوم أو العمل على استخدام ضوء ذو موجة ضوئية طولها 589 نانوميتر عن طريق تزويد الأجهزة بمناشير خاصة Amici Prisms للحصول على هذا الضوء كما يتضح فى الشكل (8) حيث نجد أن الشعاع الضوئي عند مروره خلال المنشور يتحلل إلى أشعة ذات أطوال موجية مختلفة وفي النهاية نحصل من المنشور على الضوء بالطول الموجي المطلوب.



شكل (8) منشور اميكي

الشعاع الحرج والزاوية الحرجة:

وكما سبق ذكره فإنه بمرور الشعاع الضوئي من وسط أكبر كثافة ضوئية إلى وسط أقل كثافة ضوئية فإن زاوية السقوط تكون أقل من زاوية الانكسار وعلى ذلك فعند زيادة زاوية السقوط تزداد تبعاً لذلك زاوية الانكسار وعند زاوية سقوط معينة أقل من 90 درجة تكون زاوية الانكسار مساوية 90 وينطبق الشعاع المنكسر على سطح الانفصال ويسمى الشعاع الضوئي الساقط في هذه الحالة باسم الشعاع الحرج وزاوية السقوط باسم الزاوية الحرجة وعند زيادة زاوية السقوط عن ذلك فإن الشعاع ينعكس انعكاساً كلياً.

$$\text{بما أن معامل الانكسار} = \frac{\text{جيب زاوية السقوط}}{\text{جيب زاوية الانكسار}}$$

$$\text{بما أن معامل الانكسار} = \frac{\text{جيب زاوية السقوط}}{\text{جا}90}$$

بما أن حا 90 = 1

$$\text{إذن أن معامل الانكسار} = \frac{\text{جيب زاوية السقوط}}{1}$$

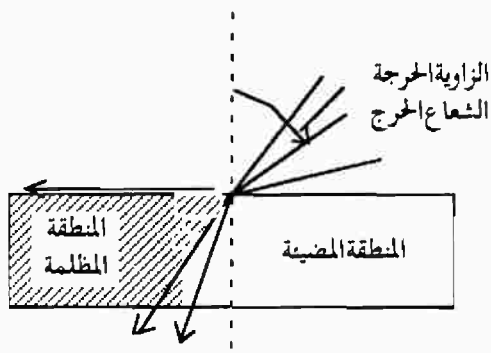
إذن معامل الانكسار = جيب الزاوية الحرجة

وهذه العلاقة السابقة تكون صحيحة عندما يمر الضوء خلال الهواء ولكن في حالة عدم وجود الهواء كأحد الوسطين مثل مرور الضوء من الزجاج إلى السائل تكون العلاقة:

معامل الانكسار = معامل الانكسار للزجاج بالنسبة للهواء × جيب زاوية السقوط.

وعلى ذلك فإن أجهزة الرفراكتوميترات المستخدمة في التصنيع الغذائي تعتمد على قياس الزاوية الحرجة للضوء الساقط بزاوية حادة على السطح الأمامي للمنشور.

ويمكن إيضاح الزاوية الحرجة والشعاع الحرج في الشكل رقم (9).



شكل (9) الزاوية الحرجة والشعاع الحرج

من الشكل (9) يمكن توضيح أنواع الأشعة كما يلي:

1- أشعة تسقط بزاوية سقوط أقل من الزاوية الحرجة وهذه تنكسر وتعطي المنطقة المضيئة Light field.

2- أشعة تسقط بزاوية سقوط مساوية أو أكبر من الزاوية الحرجة وهذه تعطي المنطقة المظلمة Dark field.

أنواع الرفراكتوميترات:

توجد أنواع عديدة من الرفراكتوميترات حيث تحتوي بعض الأنواع على تدريج يقيس معامل الإنكسار فقط وأنواع أخرى تدريجها يقيس معامل الإنكسار والنسبة المئوية للمواد الصلبة الذائبة. هذا بالإضافة إلى اختلاف مدى القياس بين نفس الأنواع. ومن هذه الأنواع على سبيل المثال وليس الحصر مايلي:

أ- رفراكتوميترآبي: Abbe refractometer

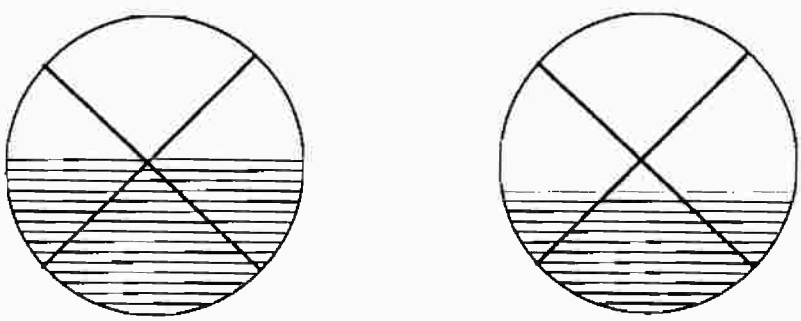
وهو أكثر الأنواع انتشاراً ويعطي معامل انكسار ما بين 1.330 – 1.530 بدقة مقدارها 0.0001 ويقيس المواد الصلبة الذائبة الكلية بتركيزات تصل إلى 95٪ .

تركيب الجهاز:

يتكون رفراكتوميترآبي من الآتي:

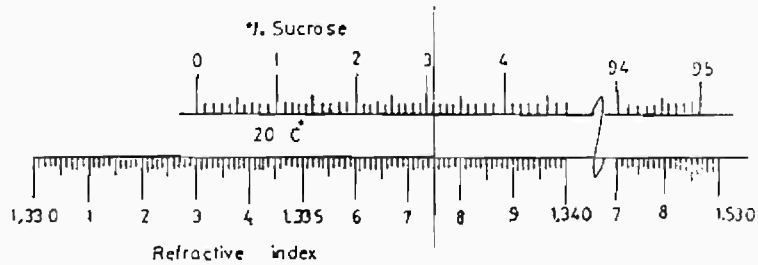
1- منشوران زجاجيان متحركان إحداهما علوي والآخر سفلي توضع بينهما العينة.

2- عدسة عينية بها خطين متعامدين يمكن بهما تعيين الحد الفاصل ما بين المنطقة المضيئة والمنطقة المظلمة شكل (10).



شكل (10) المنطقة المضيئة والمنطقة المظلمة في رفراكتوميتر آبى

3- تدريج أفقي مقسم بحيث يعطي معامل الانكسار للعينة مباشرة منسوباً للهواء ويقابل هذا التدريج تدريج آخر يعطي النسبة المئوية لتركيز المواد الصلبة الذائبة وتحدد القراءة بواسطة خط رأسي متعامد مع التدريج شكل (11).



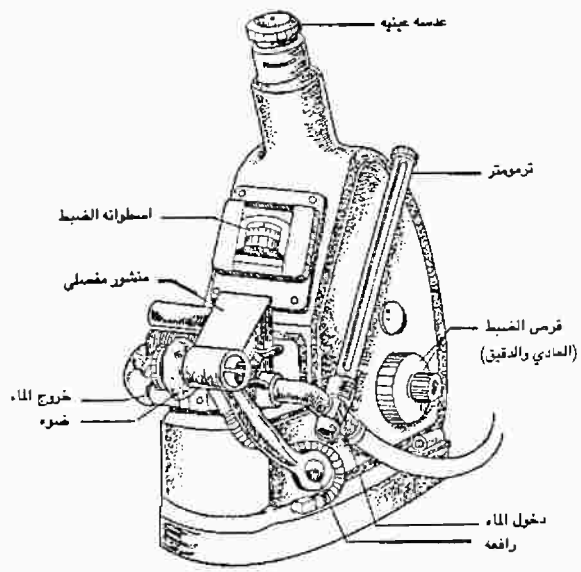
٪ لتركيز محلول السكروز 3.1 ومعامل الانكسار له 1.3375 علي درجة حرارة 30م°

شكل (11) قراءات رفراكتوميتر آبي

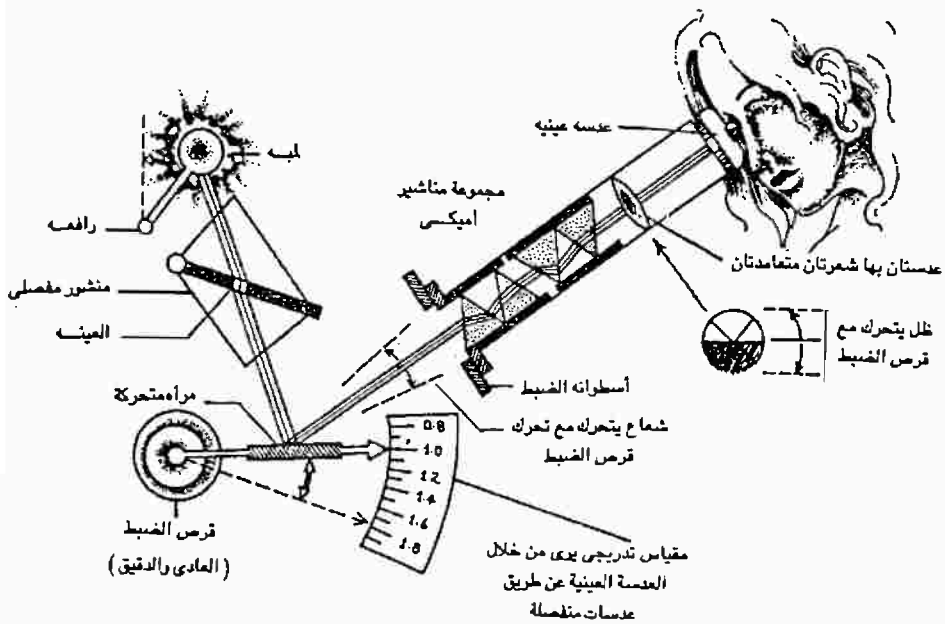
4- مصدر إضاءة:

ويزود الجهاز بفتحتين لدخول وخروج ماء ذو درجة حرارة ثابتة لضبط درجة الحرارة حول المنشوران أثناء عملية القياس. كما يوجد ترمومتر لقياس درجة الحرارة المستخدمة.

ويوضح شكل (12) أحد أنواع رفراكتوميتر آبي كذلك يوضح شكل (13) مسار الضوء خلال رفراكتوميتر آبي.



شكل (12) رفراكتوميتر آبي



شكل (13) مسار الضوء خلال رافراكتوميتر آبى

ب- رفراكتوميتر زايس: Ziess refractometer

ويعطي معامل انكسار ما بين 1.300 – 1.540 بدقة مقدارها 0.001 ويقيس تركيز المواد الصلبة الذائبة الكلية من صفر إلى 95٪ .

تركيب الجهاز:

يتكون الرافراكتوميتر من الآتي:

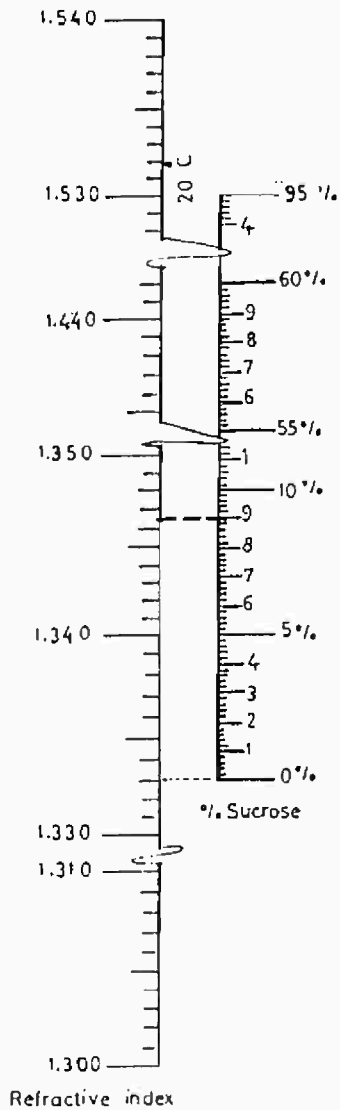
1- منشوران زجاجيان السفلي ثابت والعلوي متحرك توضع بينهما العينة.

2- عدسة عينية بها ثلاثة خطوط أفقية متجاورة لتحديد الحد الفاصل ما بين المنطقة المضيئة والمنطقة المظلمة.

3- تدريج رأسي مقسم بحيث يعطي معامل الانكسار للعينة مباشرة منسوباً للهواء ويقابل هذا التدريج تدريج آخر يعطي النسبة المئوية لتركيز المواد الصلبة الذائبة الكلية شكل (14).

4- مصدر إضاءة:

ويزود الجهاز بفتحتين لدخول وخروج ماء ذو درجة حرارة ثابتة لضبط درجة الحرارة حول المنشوران أثناء عملية القياس. كما يوجد ترمومتر لقياس درجة الحرارة المستخدمة.



٪ لتركيز محلول السكروز ٩ ومعامل الانكسار له ١٫٣٤٦٥ على درجة حرارة ٢٠°م

شكل (14) قراءات وفراكتوميتر زايس

جـ- الرفراكتوميتر الرقمي:

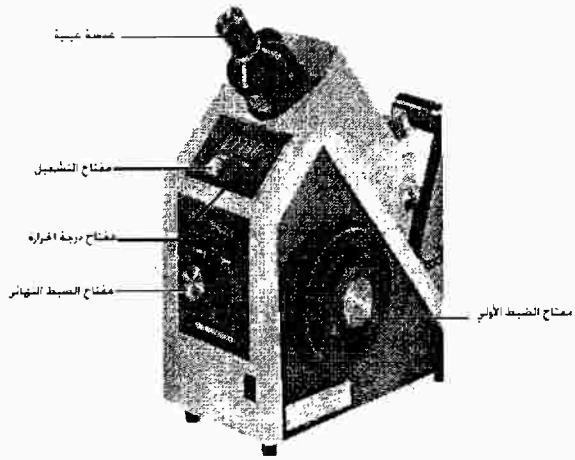
في حالة الأنواع السابقة من أجهزة الرفراكتوميترات يعتمد تحديد الخط الفاصل ما بين المنطقة المضيئة والمظلمة وكذلك الحصول على القراءة (تركيز سكر السكروز – معامل الانكسار) على العين المجردة ونظراً لاختلاف قدرة العين من شخص لآخر قد يحدث اختلاف في القيمة المتحصل عليها. لذلك تم تصنيع أجهزة حديثة رقمية تعتمد علي تحديد الخط الفاصل ما بين المنطقتين (المظلمة – المضيئة). كذلك الحصول على القراءة مباشرة دون الاعتماد على النظر ومن هذه الأجهزة على سبيل المثال وليس الحصر:

د- رافراكتوميتر آبى ليسيا الرقمى: Digital Lecia Abbe refractometer

ويستخدم في تحديد وإظهار النسبة المئوية لتركيز السكر وكذلك معامل الانكسار للمنتجات الغذائية والمواد الكيماوية. ويتم التعديل بالنسبة لدرجة الحرارة آلياً حيث يعطي القراءة على أنها مقاسة على درجة حرارة 20م° وذلك إذا كانت درجة حرارة المحلول في حدود 15 – 50م° دون الاحتياج إلى حمام مائي أو استخدام جداول للتعديل الحراري. ويحتوى على عدسة عينية، ويغلف المنشور داخل إطار من مادة الايبوكسي المقاومة لفعل المذيبات والتي تتحمل التلف باستخدام الكيماويات ويزود المنشور بشعاع ضوئى ذو طول موجه ضوئية موحدة 589 نانوميتر. وتظهر القراءة علي الجهاز بسهولة من خلال وضع العينة على المنشور ثم ضبط الرؤية وبالضغط على مفتاح التشغيل تظهر القراءة مباشرة. ويعطي درجة حرارة المحلول في حدود 0.1 مئوي ويقيس النسبة المئوية للتركيز من صفر إلى 95٪ بحساسية = 0.01 ومعامل الانكسار الذي يتم قياسه يتراوح ما بين 1.300 – 1.700 بحساسية = 0.002 ويعمل الجهاز باستخدام التيار الكهربي 220 فولت ويوضح الشكل (15) رفراكتوميتر آبي ليسيا الرقمي.

وتوجد أنواع أخرى من هذا النوع مزود بإمكانية الحصول على أطوال موجيه مختلفة تعتمد على مدى معامل الانكسار المطلوب يقاس كما يلي:

طول الموجه الضوئية (نانوميتر)	مدى معامل (الانكسار)
450	1.7379 – 1.3277
589	1.7100 – 1.300
680	1.2912 – 1.7011
1100	1.2746 – 1.6843



شكل (15) يوضح جهاز رفراكتوميتر آبي ليسيا الرقمي

طريقة العمل بأجهزة الرفراكتوميترات:

للحصول على أدق النتائج لابد من اتباع الآتي عند استخدام الرفراكتوميتر في القياس:

1- تنظيف المنشورين جيداً ثم تجفيفهما ويفضل استخدام أحد المذيبات العضوية في عملية التنظيف مثل كحول الايثانول.

2- ضبط درجة حرارة القياس بإمرار تيار من الماء على درجة الحرارة المناسبة خلال المنشورين.

3- تتم عملية ضبط لقراءة الرفراكتوميتر قبل الاستخدام وذلك بقياس معامل انكسار الماء المقطر على درجة حرارة 20م° حيث يجب أن يكون 1.3330 كذلك قياس معامل انكسار مادة اورثوبرومونافثالين orthobromo naphthlene على نفس درجة الحرارة السابقة حيث يجب أن يكون 1.6580 .

4- توضع العينة المراد معرفة تركيزها أو معامل انكسارها ما بين المنشورين ويجب أن لا تحتوي على مواد عالقة.

5- تستخدم العدسة العينية لتحديد الخط الفاصل ما بين المنطقة المضيئة والمظلمة ثم ينظر إلى التدريج وتؤخذ القراءة.

6- يجري التعديل الحراري إذا كان هناك اختلاف في درجة الحرارة المقاسة عليها العينة عن الدرجة القياسية.

هـ- الرفراكتوميتر اليدوى: Hand refractometer

ويمتاز هذا النوع بخفة وزنه ودقة قراءته لذلك يستعمل في الحقل أو على خطوط الإنتاج ويستخدم لقياس تركيز محاليل السكروز. ويوجد منه أنواع يختلف تدريجها تبعاً للغرض الذي تستخدم فيه حيث نجد منه ما يعطي تركيز السكروز من صفر إلى 30٪ وأنواع أخرى تعطي تركيزات من 30٪ إلى 75٪ .

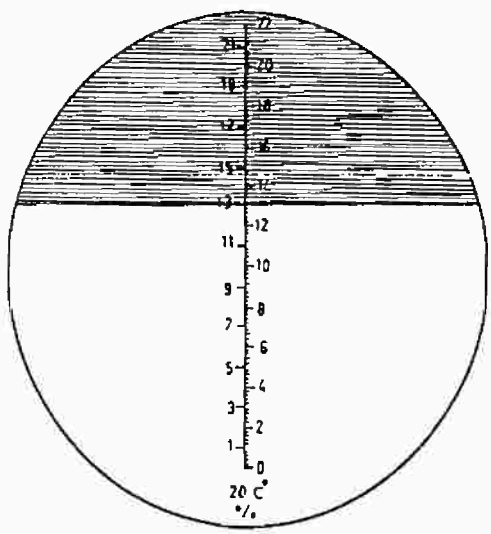
تركيب الجهاز:

يتكون الرفراكتوميتر اليدوي من الآتي:

1- منشوران زجاجيان السفلى ثابت والعلوي متحرك توضع بينهما العينة.

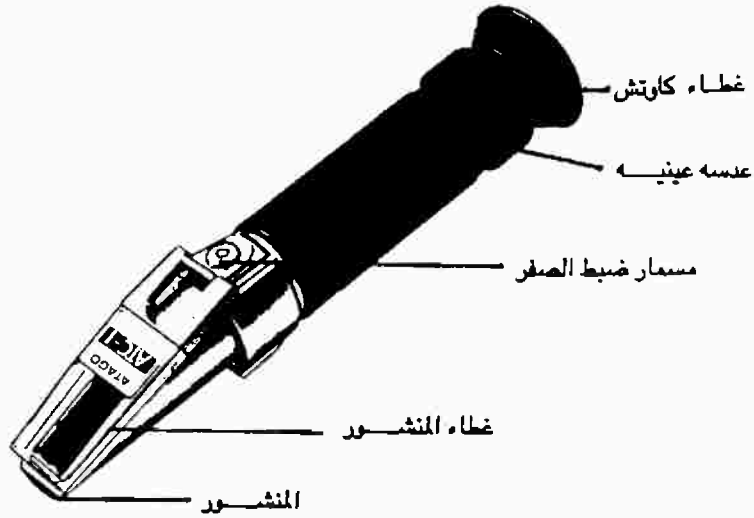
2- عدسة عينية يمكن بها تحديد المنطقة المظلمة والمنطقة المضيئة ويظهر بها تدريج رأسي مقسم بحيث يعطي تركيز المواد السكرية . شكل (16).

ويوضح شكل (17) أحد الرفراكتوميترات اليدوية:



٪ لتركيز محلول كلوريد الصوديوم 12.5 على درجة حرارة 20م°

شكل (16) قراءات الرفراكتوميتر اليدوي



شكل (17) الرافراكتوميتر اليدوي

ويوضح شكل (18) خطوات العمل باستخدام الرفراكتوميتر اليدوي.

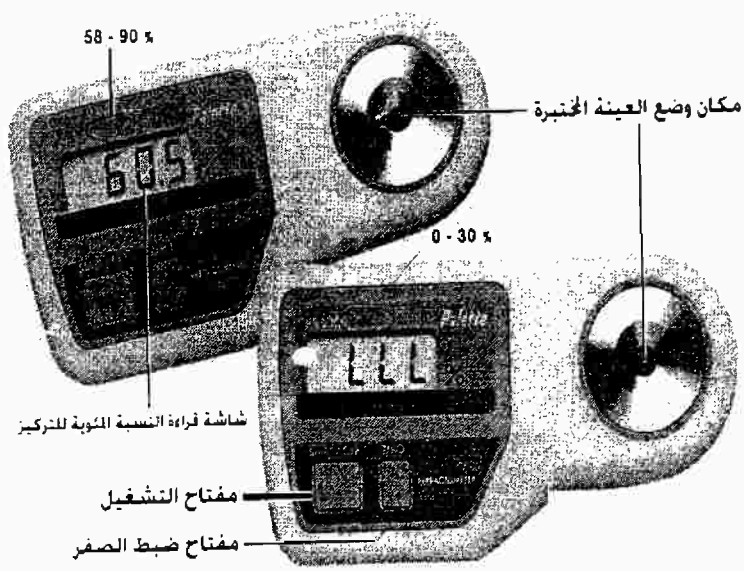
شكل (18) خطوات العمل لقياس تركيز محلول باستخدام الرفراكتوميتر اليدوي

ويوجد حاليا أنواع حديثة تمتاز بالدقة والسهولة في أخذ القراءة ومنها على سبيل المثال وليس الحصر:

و - رفراكتوميتربالیت: Palette refractometer

يستخدم هذا الجهاز للحصول على النسبة المئوية لتركيز سكر السكروز بحساسية رقم عشري واحد. ويوجد منه أكثر من نوع تبعاً لتركيز المواد السكرية المتوقع (صفر – 30٪، (30 – 60٪) (58 – 90٪) ويتم ضبط الجهاز قبل الاستخدام باستعمال ماء مقطر عن طريق مفتاح الضبط المزود بالجهاز لضبط القيمة صفر٪ كذلك يتم ضبط درجة الحرارة آلياً في مجال 10 – 35 مئوي بدون استخدام جداول للتعديل الحراري. ويقيس التركيز مباشرة خلال بضع ثواني ولا يحتاج إلى ضبط للمنطقة المضيئة والمظلمة. ويعتمد تشغيله على استخدام بطارية.

وعند استخدام محلول تركيزه يختلف عن المدى الخاص بالجهاز (زيادة – انخفاض) أو في حالة ضعف البطارية أو عدم مناسبة حجم المحلول المستخدم يظهر على الشاشة قراءة (LLL). ويوضح شكل رقم (19) جهاز رفراكتومتر باليت.



شكل (19) رفراكتومتر يدوي رقمي

تأثير درجة الحرارة على قراءات معامل الانكسار والتركيز للمحاليل:

تعتبر درجة الحرارة من أهم العوامل المؤثرة على معامل الانكسار والتركيز للمحاليل حيث تنخفض قراءات معامل الانكسار وتركيز المحاليل مع ارتفاع درجة حرارة القياس عن الدرجة القياسية. لذلك لابد من الاهتمام بضبط درجة الحرارة أثناء إجراء الاختبار.

ويمكن إيضاح ما سبق بالنسبة لمعامل الانكسار من الجدول (4) حيث يظهر انخفاض قيمة معامل الانكسار للماء المقطر بارتفاع درجة حرارة القياس.

جدول (4) معامل الإنكسار للماء المقطر على درجات حرارة مختلفة

درجات الحرارة بالمئوى	قراءة رفراكتوميتر آبي	درجات الحرارة بالمئوى	قراءة رفراكتوميتر آبي
15	1.3334	22	1.3328
16	1.3334	23	1.3327
17	1.3333	24	1.3326
18	1.3332	25	1.3325
19	1.3331	26	1.3324
20	1.3330	28	1.3322
21	1.3329	30	1.3320

ولكل مادة درجة حرارة يجب قياس معامل الانكسار عليها فمثلاً يقاس معامل الانكسار للزيوت على درجة حرارة 25م° أما في حالة الدهون فيتم على درجة حرارة 40م° وعند إجراء القياس على درجة حرارة غير القياسية يجرى التعديل الحرارى للقراءات باستخدام المعادلة الآتية:

$$م = م" + ث (ع" - ع)$$

حيث أن:

م = قيمة معامل الانكسار الحقيقية.

م" = قيمة معامل الانكسار على درجة حرارة القياس.

ع" = درجة حرارة القياس.

ع = درجة الحرارة القياسية.

ث = رقم ثابت (.000365) في حالة الزيوت أما في حالة الدهون (.000385).

أما بالنسبة لقياس تركيز المحاليل فيتم على درجة حرارة 20م° وعند تغير درجة الحرارة عن ذلك بالانخفاض أو الارتفاع يمكن الاستعانة بجدول (5) في حالة محاليل السكروز الذي يبين التعديل الحراري لمحلول سكر السكروز سواء بطرح قيمة التعديل في حالة ارتفاع درجة الحرارة عن 20م°. فمثلاً إذا كانت قراءة الجهاز 25.7٪ على درجة حرارة 24م° فإن القراءة المعدلة تكون 25.7 + 0.3 = 26.0٪ على درجة حرارة 20م°.

استخدامات الرفراكتوميترات:

يعتبر الرفراكيتوميتر من أفضل الطرق المستخدمة لتقدير المواد الصلبة الذائبة الكلية أو معامل الانكسار في العينات مقارنة بالطرق الأخرى وذلك لدقته وسرعته وقلة الكمية المطلوبة لإجراء عملية التقدير حيث أنها لا تزيد عن بضع نقط ويمكن حصر أهم استخداماته في مجال التصنيع الغذائي فيمايلي:

1- في تقدير المواد الصلبة الذائبة الكلية في المحاليل السكرية أو عصائر الفاكهة والخضروات كذلك الشراب والمربات كذلك المحاليل الملحية كما هوالحال أثناء عمليات التخليل أو التعبئة في محاليل ملحية في حالة الأغذية المعلبة.

إلا أنه في حالة عصائر الفاكهة والخضروات ومركزاتها توجد بعض المواد الصلبة غير الذائبة وهذه تؤثر على التركيز النهائي للمواد الصلبة الكلية ولا يمكن قياسها بالرفراكتوميترات لذلك عند الرغبة في معرفة المواد الصلبة الكلية (الذائبة وغير الذائبة) يتم ذلك عن طريق تقديرها باستخدام فرن التجفيف تحت تفريغ ويمكن إيضاح ذلك من المقارنة التالية في جدول رقم (6).

جدول (5) التعديل الحراري لقراءات محاليل سكر السكروز

عند القياس على درجات حرارة تختلف عن 20م° باستخدام الرفراكتوميتر

النسبة المئوية لتركيز محلول السكروز											
70	60	50	40	30	25	20	15	10	5	صفر	درجة حرارة القياس بالمئوي
يطرح من قيمة القراءة											
.79	.76	.74	.72	.68	.66	.64	.61	.58	.54	.50	10
.71	.69	.67	.65	.62	.60	.58	.55	.53	.49	.46	11
.63	.61	.60	.58	.56	.54	.52	.50	.48	.45	.42	12
.55	.54	.53	.51	.49	.48	.46	.44	.42	.40	.37	13
.48	.46	.45	.44	.42	.41	.40	.39	.37	.35	.33	14
.40	.39	.38	.37	.35	.34	.34	.33	.31	.29	.27	15
.32	.31	.30	.30	.28	.28	.27	.26	.25	.24	.22	16
.24	.23	.23	.22	.21	.21	.21	.20	.19	.18	.17	17
.16	.16	.15	.15	.14	.14	.14	.14	.13	.13	.12	18
.08	.08	.08	.08	.07	.07	.07	.07	.06	.06	.16	19
يضاف إلى قيمة القراءة											
.08	.08	.08	.08	.08	.08	.07	.07	.07	.07	.06	21
.16	.16	.16	.15	.15	.15	.15	.14	.14	.13	.13	22
.24	.24	.24	.23	.23	.23	.22	.22	.21	.20	.19	23
.32	.32	.31	.31	.31	.30	.30	.29	.28	.27	.26	24
.40	.40	.40	.40	.40	.39	.38	.37	.36	.36	.33	25
.48	.48	.48	.48	.47	.46	.45	.44	.43	.42	.40	26
.56	.56	.56	.56	.55	.55	.54	.53	.52	.50	.48	27
.64	.64	.64	.64	.63	.63	.62	.61	.60	.57	.56	28
.73	.73	.73	.73	.72	.72	.71	.69	.68	.66	.64	29
.81	.81	.81	.81	.80	.80	.79	.78	.77	.74	.72	30

جدول (6)

المواد الصلبة الكلية المقدرة باستخدام طريقة التجفيف تحت تفريغ وطريقة الرفراكتوميتر

العينة			المواد الصلبة الكلية	
			بطريقة الفرن	بطريقةالرفراكتوميتر
سكروز وحامض الطرطريك وماء				
50	1.13	48.78	51.33	51.10
49.03	0.9	50.07	50.41	49.90
49.66	0.3	49.48	50.52	50.25
جيلي التفاح			64.61	63.87
مربي التفاح			71.60	71.06

من الجدول السابق يتضح لنا انخفاض قيمة قراءة الرفراكتوميتر عن القيمة المتحصل عليها باستخدام الفرن. ويرجع ذلك لوجود المواد الصلبة غير الذائبة.

2- في قياس معامل الانكسار لعصير الطماطم ومنتجاته ومن قيمة معامل الانكسار المقاس في الراشح للمنتج يمكن معرفة النسبة المئوية للمواد الصلبة الكلية باستخدام المعادلات الآتية:

أ- إذا كانت النسبة المئوية للمواد الصلبة الكلية تتراوح ما بين 4 - 13.4 .

النسبة المئوية للمواد الصلبة الكلية بدون ملح = 714.3 (معامل الانكسار على درجة حرارة 20م° - 1.3329) .

ب- إذا كانت النسبة المئوية للمواد الصلبة الكلية تتراوح ما بين 13.4 - 20.6 .

النسبة المئوية للمواد الصلبة الكلية بدون ملح = 670.2 (معامل الانكسار على درجة حرارة 20م° - 1.3316).

جـ- إذا كانت النسبة المئوية للمواد الصلبة الكلية تتراوح ما بين 20.6 - 35

النسبة المئوية للمواد الصلبة الكلية بدون ملح = 618.0 (معامل الانكسار على درجة حرارة 20م° - 1.3290).

أما بالنسبة للصلصة الحريفة (الكاتشب).

النسبة المئوية للمواد الصلبة الكلية = 2.35 + 204 (الكثافة على درجة حرارة 20م – 1.00).

3- يمكن الحصول على كثافة المحاليل السكرية (سكروز) عن طريق معرفة معامل الانكسار لها باستخدام المعادلة الآتية:

$$\text{ث} = \frac{(\text{م}^2-1)}{0.20614 \times (\text{م}^2+2)}$$

حيث أن:

ث = كثافة المحلول السكري.

م = معامل الانكسار للمحلول السكري.

0.20614 = رقم ثابت لمحلول السكروز Lorentz-Lorentz Constant

4- في معرفة درجة نقاوة الزيوت والدهون حيث أن قيمة معامل الإنكسار للزيوت أو الدهون ثابتة على درجة حرارة معينة لذلك فإن التغير في قيمة معامل الانكسار على نفس درجة الحرارة يدل على حدوث غش للزيت أو الدهن بمواد أخرى. وفيما يلي مدى معامل الانكسار لبعض أنواع الزيوت على درجة حرارة 25م° والدهن على درجة حرارة 40م°.

زيت القطن 1.465 – 1.473	زيت فول الصويا 1.473 – 1.477
زيت الذرة 1.472 – 1.475	زيت الكتان 1.479 – 1.484
زيت الزيتون 1.468 – 1.470	السمن البلدي 1.453 – 1.457

5- يمكن استخدام التغير في قيمة معامل الانكسار أثناء إجراء عملية هدرجة الزيوت الغذائية لإنتاج المسلي الصناعي كوسيلة سريعة ودقيقة لتتبع عملية الهدرجة وتحديد نهايتها وذلك بدلاً من قياس درجة الانصهار للزيت المهدرج حيث تحتاج إلى وقت طويل لإجراء عملية القياس.

6- في الحكم على درجة جودة المركبات العضوية فمثلاً مركب Turpentine يصنف إلى ثلاث درجات جودة تبعاً لمعامل الانكسار الخاص بها المقاس على درجة حرارة 20م° واستخدام ضوء الصوديوم إلى ما يلي:

درجة 1 معامل الإنكسار = 1.469 – 1.472

درجة 2 معامل الانكسار = 1.472 – 1.476

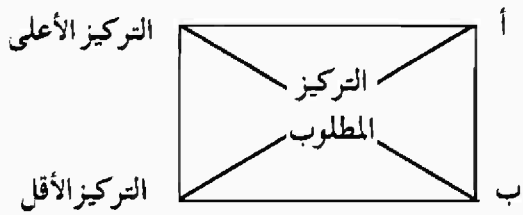
درجة 3 معامل الانكسار = 1.476 – 1.480

تحضير وخلط المحاليل:

يمكن تحضير أو خلط المحاليل سواء السكرية أو الملحية عن طريق استخدام إحدى الطرق الآتية:

اولاً: الطريقة البيانية: Graphical method

وتعتبر من الطرق السهلة في الحساب وقد ذكرها العام Pearson في عام 1904 ويمكن تلخيصها في الآتي:



من الرسم السابق نجد أن مكونات المحلول المراد تحضيره يتم توزيعها على الجانب الأيسر من المربع بحيث يكون المكون ذو التركيز الأعلى في الركن العلوي ويكتب تركيزه والمكون ذو التركيز الأقل في الركن الأسفل ويكتب تركيزه بينما يكتب تركيز المحلول المراد تحضيره في وسط المربع. بعد ذلك تتم عملية طرح ما بين التركيز الأقل والتركيز المطلوب ويوضع ناتج الطرح في الركن الأعلي من الجانب الأيمن (أ) وعملية طرح ما بين التركيز الأعلى والتركيز المطلوب ويوضع ناتج الطرح في الركن الأسفل من الجانب الأيمن (ب)، دون مراعاة للاشارات الجبرية يلي ذلك استخدام العلاقة الآتية:

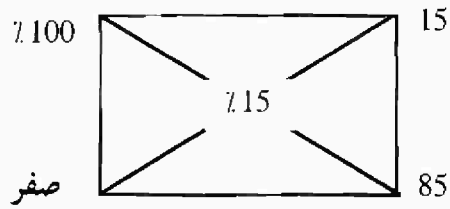
وحدة وزنية من المحلول الأعلى تركيزاً مع وحدة وزنية من المحلول الأقل تركيزاً تعطي وحدة وزنية من المحلول ذو التركيز المطلوب.

أ- تحضير محلول بتركيز معلوم:

مثال:

احسب المكونات اللازمة لتحضير 10 كيلو جرام محلول ملحي بتركيز 15٪ .

الحل:



كل 15 كجم ملح مع 85 كجم ماء – 100 كجم محلول ملحي 15٪

س مع ص – 10 كجم

$$\text{س (كمية الملح اللازمة)} = \frac{10 \times 15}{100} = 1.5 \text{ كجم}$$

$$\text{ص (كمية الماء اللازمة)} = \frac{10 \times 85}{100} = 8.5 \text{ كجم}$$

أو ص $= 10 - 1.5 = 8.5$ كجم

إذن بإذابة 1.5 كجم ملح نقي في 8.5 كجم ماء والخلط جيداً نحصل على 10 كجم محلول ملحي بتركيز 10٪ .

ب- رفع تركيز محلول:

يمكن رفع أو زيادة تركيز محلول (سكري أو ملحي) عن طريق إضافة مادة صلبة (سكر أو ملح) أو خلطة بمحلول أعلي تركيزاً منه.

مثال:

احسب كمية المادة الصلبة اللازمة لرفع تركيز 15 لتر من 20٪ إلى 35٪ مع حساب وزن المحلول النهائي.

الحل:

نظراً لأن المحلول الجديد تركيزه 35٪ فيعتبر ذلك محلول سكري ولمعرفة وزنه لابد من معرفة الكثافة .

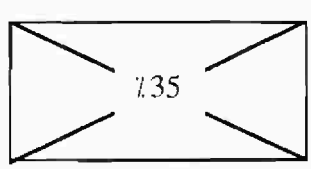
1 درجة بالنج = 0.55 درجة بومية

20 درجة بالنج = درجة بومية

$$\text{بوميه} = \frac{55 \times 20}{100 \times 1} = 11.00$$

$$\text{ث} = \frac{145}{11 - 145} = 1.082 \text{ جرام/سم3}$$

وزن المحلول الابتدائي = 15 × 1.082 = 16.23 كيلو جرام



كل 15 كجم سكر مع 65 كجم محلول سكري ٪20 – 80 كجم محلول سكري ٪35

س مع 16.23 ——— ع

$$\text{س (كمية المادة الصلبة)} = \frac{16.23 \times 15}{65} = 3.75 \text{ كجم سكر}$$

ع (وزن المحلول النهائي) = 16.23 + 3.75 = 19.98 كجم محلول سكري .

إذن بإضافة 3.75 كجم سكر نقي إلى المحلول الابتدائى والإذابة جيداً نحصل على 19.98 كجم محلول سكري بتركيز ٪35.

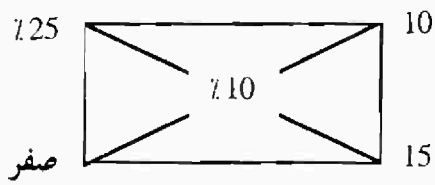
جـ- خفض تركيز محلول:

يمكن خفض تركيز محلول (سكري أو ملحي) عن طريق إضافة ماء أو خلطة بمحلول أقل منه في التركيز.

مثال:

احسب كمية الماء اللازمة لخفض تركيز 50 كيلو جرام محلول ملحي من 25٪ إلى 10٪ .

الحل:



كل 10 كجم محلول ملحي 25٪ مع 15 كجم ماء = 25 كجم محلول ملحي 10٪

50 مع ص ——— ع

$$\text{ص (كمية الماء)} = \frac{15 \times 50}{10} = 7.5 \text{ كجم ماء}$$

إذن بإضافة 7.5 كجم ماء إلى 50 كجم محلول ملحي بتركيز 25٪ والخلط الجيد نحصل على محلول بتركيز 10٪ .

د- خلط محلولين:

توجد حالتين لخلط المحاليل، الأولى خلط محلولين للحصول على محلول جديد بتركيز معلوم، والثانية خلط محلولين والمطلوب معرفة التركيز النهائي الناتج من عملية الخلط.

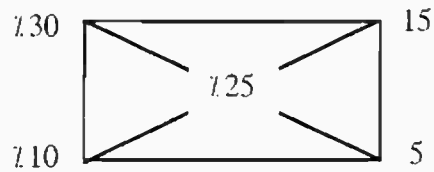
ويمكن إيضاح ذلك بالآتي:

(1) خلط محلولين للحصول على محلول جديد معلوم التركيز:

مثال:

احسب الكمية اللازم خلطها من محلولين تركيزهما 10٪، 30٪ لتحضير 15 كيلو جرام محلول بتركيز 25٪ .

الحل:



كل 15 كجم محلول ٪30 مع 5 كجم محلول ٪10 ← 20 كجم محلول ٪25

س مع ص ← 15

$$\text{س (كمية المحلول بتركيز ٪30)} = \frac{15 \times 15}{20} = 11.25 \text{ كجم محلول}$$

$$\text{ص (كمية المحلول بتركيز ٪10)} = \frac{15 \times 5}{20} = 3.75 \text{ كجم محلول}$$

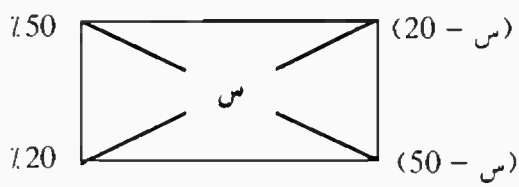
بخلط 11.25 كجم من محلول ٪30 مع 3.75 كجم من محلول ٪10 مع المزج الجيد نحصل على 15 كجم محلول ٪25 .

(2) خلط محلولين ويراد معرفة التركيز النهائي:

مثال:

احسب التركيز النهائي للمحلول السكري الناتج من خلط 500 كيلو جرام محلول بتركيز ٪20 مع 1000 كيلو جرام محلول بتركيز ٪50 .

الحل:



كل (س – 20) كجم محلول ٪50 مع (س – 50) كجم محلول ٪20

← (س – 20) + (س – 50) كجم محلول س ٪

1000 مع 500 = 1500 كجم محلول س٪

$$1000 = \frac{500 \times (20 - س)}{(50 - س)} =$$

$$(50 - س) \ 1000 = 500 \times (20 - س)$$

$$\therefore \ س = 40٪$$

∴ بخلط 500 كيلو جـــرام محلول بتركيز 20٪ مع 1000 كيلو جرام محلول بتركيز 50٪ نحصل على 1500 كيلو جرام محلول بتركيز 40٪ .

ثانياً: الطريقة الجبرية: Algebraic method

في هذه الطريقة تستخدم المعادلات الرياضية في حساب ومعرفة المواد اللازمة لتحضير أو خلط المحاليل سواء باستخدام الأوزان أو الأحجام. ويمكن إيضاح ذلك في الحالات الآتية:

أ- رفع تركيز محلول:

1- رفع التركيز باستخدام الوزن:

يمكن معرفة وزن المادة الصلبة (سكر أو ملح) الواجب إضافتها إلى وزن محلول معلوم التركيز لرفع تركيزه بواسطة تلك المعادلة.

$$و = و_1 \ \frac{(أ - ب)}{(100 - ب)}$$

حيث أن:

و = وزن المادة الصلبة بالكيلو جرام الواجب إضافتها إلى المحلول الابتدائي للوصول إلى التركيز النهائى.

$و_1$ = وزن المحلول الإبتدائي بالكيلو جرام.

أ = التركيز الابتدائي للمحلول.

ب= التركيز النهائي للمحلول .

مثال :

احسب كمية السكر الواجب إضافتها إلي 100 كيلو جرام محلول سكري بتركيز 25٪ لرفع تركيزه إلى 70٪ .

الحل:

$$\text{و} = 100 \ \frac{(70 - 25)}{(100 - 70)} = 150.00 \ \text{كيلو جرام}$$

إذن بإضافة 150 كيلو جرام سكر نقي إلى 100 كيلو جرام محلول سكري بتركيز 25٪ نحصل على محلول نهائي بتركيز 70٪ .

2- رفع التركيز باستخدام الحجم:

يمكن حساب كمية المادة الصلبة (سكر أو ملح) الواجب إضافتها إلى حجم محلول معلوم التركيز عن طريق استخدام المعادلة الآتية:

$$\text{و} = \text{ح ث} \ \frac{(\text{أ} - \text{ب})}{(\text{ب} - 100)}$$

حيث أن:

و = وزن المادة الصلبة بالكيلو جرام اللازم إضافتها إلى المحلول الابتدائى للوصول إلى التركيز النهائى.

ح = حجم المحلول الابتدائي باللتر.

ث = كثافة المحلول الابتدائي جرام/ سم3

أ = التركيز الإبتدائي للمحلول.

ب = التركيز النهائي للمحلول.

مثال :

احسب كمية الملح الواجب إضافتها إلى 40 لتر محلول ملحي بتركيز 15٪ وكثافته 1.0740 جرام/ سم3 للوصول إلى تركيز 25٪ .

الحل:

$$\text{و} = 40 \times 1.0740 \times \frac{(25 - 15)}{(100 - 25)} = 5.73 \text{ كيلو جرام}$$

إذن بأضافة 5.73 كيلو جرام ملح نقي إلى 40 لتر محلول ملحي بتركيز 15٪ نحصل عل محلول نهائي بتركيز 25٪ .

ب- خفض تركيز محلول:

1- خفض التركيز باستخدام الوزن:

يمكن حساب كمية الماء اللازم إضافتها لإجراء عملية تخفيف المحاليل باستخدام تلك المعادلة.

$$\text{و} = \text{و}1 \quad \frac{(\text{أ} - \text{ب})}{(\text{ب})}$$

حيث أن:

و = وزن الماء بالكيلو جرام اللازم إضافته إلى المحلول الابتدائي للوصول إلى التركيز النهائي.

و 1 = وزن المحلول الابتدائي بالكيلو جرام.

أ = التركيز الابتدائي للمحلول.

ب = التركيز النهائي للمحلول.

مثال:

احسب كمية الماء اللازم إضافتها إلى 20 كيلو جرام محلول ملحي بتركيز 15٪ للوصول إلى تركيز 10٪ .

الحل:

$$\text{و} = 20 \quad \frac{(10 - 15)}{10} = 10 \text{ كيلو جرام}$$

إذن بأضافة 10 كيلو جرام ماء إلى 20 كيلو جرام محلول ملحى بتركيز 15٪ نحصل عل محلول نهائي بتركيز 10٪ .

2- خفض التركيز باستخدام الحجم:

يمكن حساب حجم الماء اللازم إضافته لإجراء عملية تخفيف المحاليل باستخدام تلك المعادلة.

$$ح_1 = ح\ ث \frac{(أ - ب)}{ب}$$

حيث أن:

$ح_1$ = حجم الماء باللتر اللازم إضافته إلى المحلول الابتدائي للوصول إلى التركيز النهائي.

ح = حجم المحلول الابتدائي باللتر.

ث = كثافة المحلول الابتدائي جرام/ سم3 .

أ = التركيز الإبتدائي للمحلول.

ب = التركيز النهائي للمحلول.

مثال:

احسب حجم الماء اللازم إضافته إلى 50 لتر محلول سكري بتركيز 25٪ كثافته 1.1047 جرام/ سم3 للوصول إلى تركيز 15٪ .

الحل:

$$ح_1 = 50 \times 1.1047 \frac{(15 - 25)}{15} = 36.8 \text{ لتر}$$

إذن بإضافة 36.8 لتر ماء إلى 50 لتر محلول سكري بتركيز 25٪ نحصل علي محلول نهائي بتركيز 15٪ .

جـ- خلط محلولين:

1- خلط محلولين للحصول على محلول جديد معلوم التركيز :

عندما يراد معرفة وزن كل محلول من المحلولين المستخدمين في عملية الخلط ويكون لدينا الوزن والتركيز النهائي للخليط كذلك تركيز كل محلول نستخدم الآتي:

$$س + ص = ع$$

$$س = \frac{(جـ - ب)}{(أ - ب)} \times ع$$

حيث أن:

س = وزن المحلول الأول.

ص = وزن المحلول الثاني.

ع = وزن الخليط (المحلول الأول + المحلول الثاني) .

أ = تركيز المحلول الأول.

ب = تركيز المحلول الثاني.

جـ = تركيز الخليط.

مثال :

إذا كان لديك محلول بتركيز 20٪ ومحلول آخر بتركيز 50٪ ويراد تحضير 400 كيلو جرام محلول بتركيز 30٪ فاحسب الكمية من المحلول الأول والثاني اللازمة لإتمام عملية الخلط .

الحل:

$$س = \frac{(50 - 30)}{(50 - 20)} \times 400 = 266.66 \text{ كيلو جرام .}$$

$$ص = 400 - 266.66 = 133.33 \text{ كيلو جرام .}$$

2- خلط محلولين ويراد معرفة التركيز النهائي:

يمكن معرفة التركيز النهائي الناتج من عملية خلط محلولين معلومي التركيز عن طريق هذه المعادلة.

$$\frac{\text{س} \times \text{أ}}{100} + \frac{\text{ص} \times \text{ب}}{100} = \frac{\text{ع} \times \text{جـ}}{100}$$

حيث أن:

س = وزن المحلول الأول.

ص = وزن المحلول الثاني.

ع = وزن الخليط .

أ = تركيز المحلول الأول.

ب = تركيز المحلول الثاني.

جـ = تركيز الخليط.

مثال:

احسب التركيز النهائي الناتج من خلط 500 كيلو جرام محلول 45٪ مع 800 كيلو جرام محلول 30٪ .

الحل:

$$\frac{\text{جـ} \times 1300}{100} = \frac{30 \times 800}{100} + \frac{45 \times 500}{100}$$

$$\therefore \text{جـ} = 35.77\٪$$

وعند الرغبة في معرفة نسبة الخلط من كل محلول للوصول إلى المحلول النهائي يمكن استخدام هذه المعادلة.

$$\frac{\text{س}}{\text{ص}} = \frac{(\text{جـ} - \text{ب})}{(\text{جـ} - \text{أ})}$$

ومن المثال السابق يمكن معرفة نسبة المخلوط كمايلي:

$$\frac{\text{س}}{\text{ص}} = \frac{(30 - 35.77)}{(45 - 35.77)} = \frac{5.77}{9.23}$$

أي تتم عملية الخلط باستخدام 5.77 جـزء من المحلول الأول مع 9.23 جزء من المحلول الثاني.

ثالثا: طريقة الرسومات البيانية: Aligmnt charts method

يطلق على هذه الطريقة اسم النوموجرامات nomograms وهي طريقة سهلة وتتلخص في حساب كمية المادة الصلبة أو كمية الماء اللازمة لإجراء عمليات التحضير أو التخفيف أو التركيز من الرسم مباشرة دون الحاجة إلى إجراء عمليات حسابية.

ويمكن ذكر الحالات الآتية على سبيل المثال وليس الحصر.

أ - تحضير محلول بتركيز معلوم:

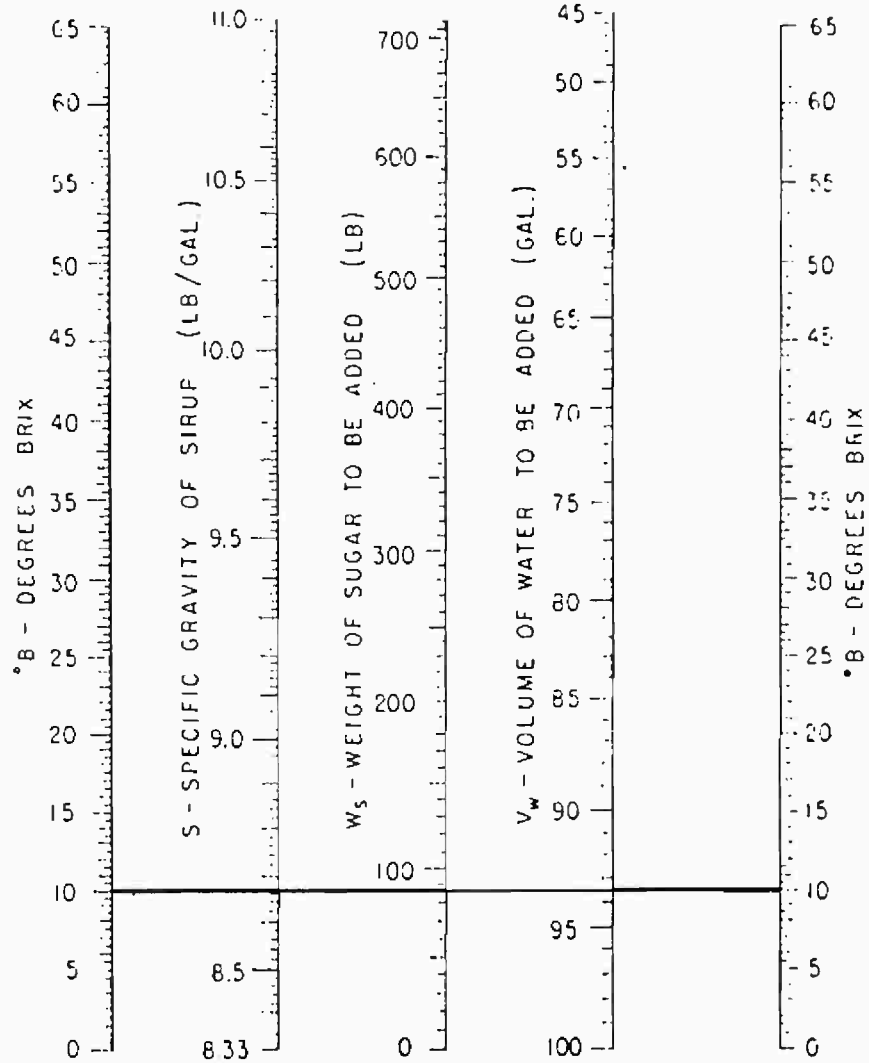
يوضح الشكل (20) كميات السكر وحجم الماء اللازمين لتحضير المحاليل السكرية بتركيزات مختلفة حتي 65٪.

الحل:

يتضح من الشكل (20) أننا نحتاج إلي 87 رطل سكر مع 93.5 جالون ماء ثم الخلط جيداً للحصول علي 400 جالون محلول سكري بتركيز 10٪ .

ب- تخفيف تركيز محلول:

عند الرغبة في إجراء عملية تخفيف للمحاليل المركزة باستخدام الماء يمكن الاستعانة بشكل (21) حيث يظهر كميات الماء التي تضاف إلى المحاليل المركزة حتى 70٪ لتخفيفها إلى التركيز النهائي المطلوب.



شكل (20)

نوموجرام لوزن السكر وحجم الماء اللازمين لتحضير 100 جالون محلول سكري بالتركيز المطلوب

مثال:

احسب كمية الماء الواجب إضافتها إلى واحد جالون محلول سكري بتركيز 60٪ لتخفيفه إلى 24٪ .

الحل:

من الشكل (21) يتضح أننا نحتاج 1.94 جالون ماء وإضافته إلى واحد جالون محلول سكري بتركيز 60٪ مع الرج الجيد للحصول على محلول بتركيز 24٪ .

جـ- تحضير محلول بتركيز معلوم باستخدام محلول ثابت التركيز:

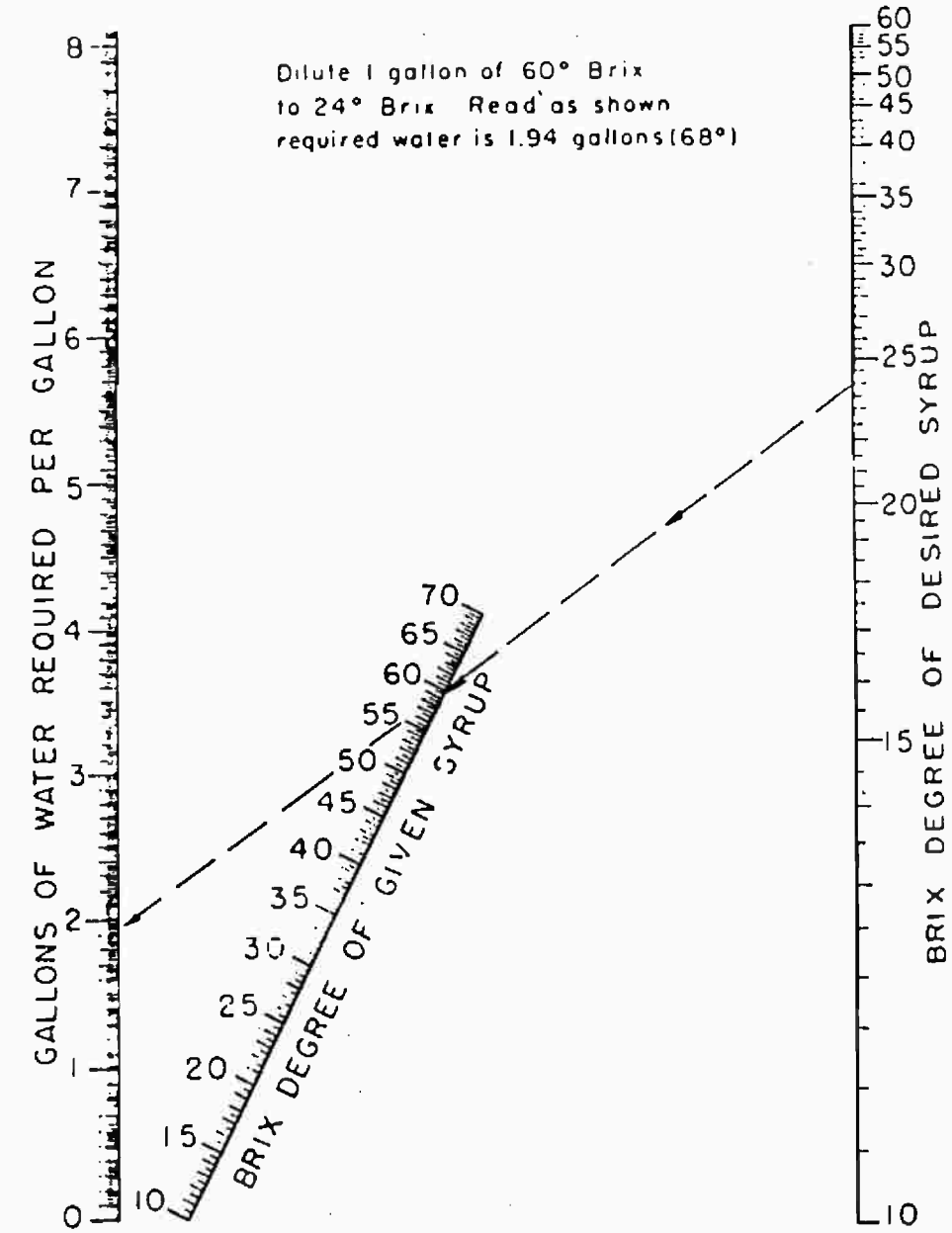
في هذه الحالة يوجد لدينا محلول سكري ثابت التركيز حيث تستخدم كميات منه في تحضير المحاليل تبعاً للتركيزات المطلوبة ويمكن إجراء هذه العملية عن طريق استخدام شكل (22) حيث نجد أن المحلول الذي يستخدم في التحضيرات هو محلول سكري بتركيز 66.5٪ .

مثال:

احسب الكمية اللازم استخدامها من محلول سكري بتركيز 66.5٪ لتحضير 100 جالون محلول سكري بتركيز 25٪ مع حساب كمية الماء اللازمة لذلك.

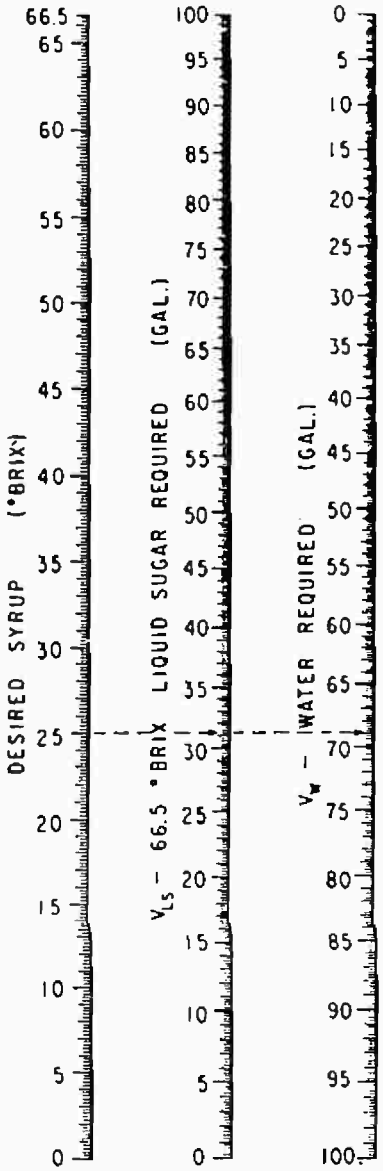
الحل:

من الشكل (22) يتضح لنا أنه لتحضير 100جالون محلول سكري بتركيز 25٪ يلزم إضافة 69 جالون ماء إلى 31.25 جالون محلول سكري بتركيز 66.5٪ مع الرج الجيد للحصول على المحلول الجديد.



شكل (21)

نوموجرام لحجم الماء المضاف إلى واحد جالون محلول سكري لتحضير محلول سكري بالتركيز المطلوب



شكل (22)

نوموجرام لحجمي الماء والمحلول السكري اللازمين لتحضير 100 جالون محلول سكري بالتركيز المطلوب

رابعاً: الطريقة المباشرة: Direct method

ذكر العالمان Zapsalis and Beek عام (1985) أن هناك طريقة مباشرة يمكن استخدامها في تحضير المحاليل وذلك للحصول على 100 وحدة وزنية من المحلول النهائي بالتركيز المطلوب دون الحاجة إلى إجراء عمليات حسابية . ويستخدم في هذه الطريقة ورق الرسم البياني العادي حيث يتم رسم إحداثيان رأسيان الأيمن منهما يمثل المكون الأقل تركيزاً أو المذيب بينما الإحداثي الأيسر يمثل المكون الأعلى تركيزاً أو المادة المذابة ويصل بينهما إحداثي أفقي يستخدم في معرفة مكونات المحلول النهائي المطلوبة ويبدأ صفر تدريجه عند التقائه بالإحداثي الأيمن. ويمكن إيضاح ذلك بالأمثلة التالية.

أ- خفض تركيز محلول:

مثال:

احسب كمية الماء اللازم إضافتها إلى محلول تركيزه 60٪ لتحضير 100 وحدة وزنية من محلول 35٪ .

الحل:

يتم الحل بإتباع الخطوات الآتية:

1- نرسم خط أفقي بين الإحداثيين الرأسيين عند التركيز النهائي المطلوب وهو 35٪ .

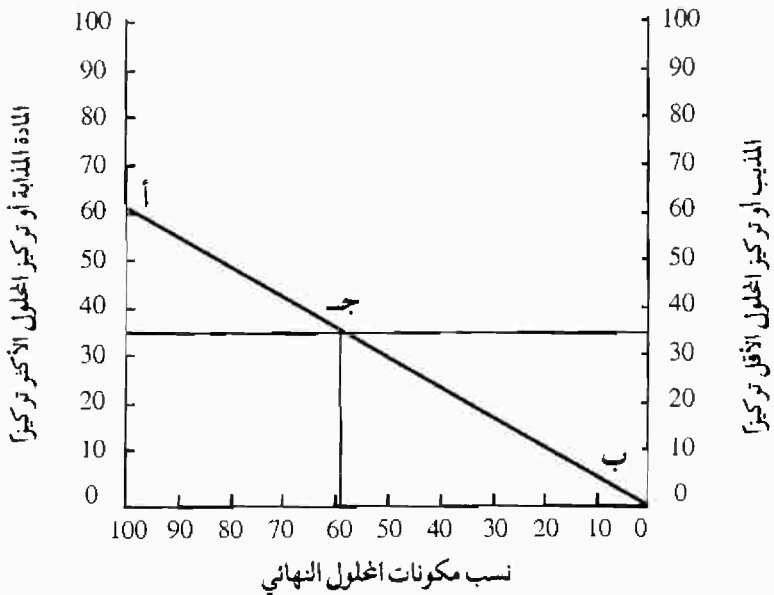
2- يحدد على الإحداثي الرأسي الأيسر نقطة (أ) وهي تركيز المحلول المركز (60٪) .

3- يحدد على الإحداثي الرأسي الأيمن نقطة (ب) وهي تركيز المذيب (صفر ٪) .

4- نصل ما بين النقطتين (أ، ب) بخط مستقيم حيث يقطع الخط الذي يمثل التركيز المطلوب في المحلول النهائي في النقطة (جـ) .

5- نسقط من نقطة التقاطع (جـ) عمود رأسي يقابل الإحداثي الأفقي في نقطة يمكن منها معرفة نسب المكونات اللازمة لتحضير 100 وحدة وزنية من المحلول النهائي بالتركيز المطلوب حيث يمثل الجانب الأيمن من الخط نسبة المكون الأكبر تركيزاً أما الجانب الأيسر منه يمثل نسبة المكون الأقل تركيزاً.

ويتضح لنا من الشكل (23) أنه يلزم 58 وحدة وزنيه من المحلول 60٪ مع 42 وحدة وزنية من الماء لنحصل على 100 وحدة وزنية من محلول تركيزه 35٪ .



شكل (23) خفض تركيز محلول باستخدام الطريقة المباشرة

ب- رفع تركيز محلول:

مثال:

احسب كمية المادة الصلبة اللازم إضافتها لمحلول تركيزه 40٪ لتحضير 100وحدة وزنية من محلول تركيزه 60٪.

الحل:

يتم الحل باتباع الخطوات الآتية:

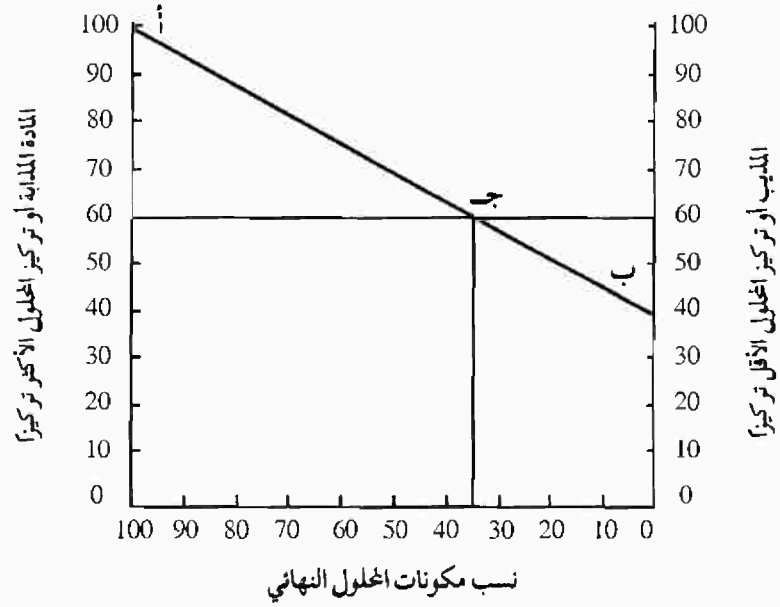
1- نرسم خط أفقي يصل بين الإحداثيين الرأسيين عند تركيز 60٪ وهو التركيز المطلوب النهائي.

2- يحدد على الإحداثي الرأسي الأيسر نقطة (أ) وهي تركيز المادة الصلبة (100 ٪) .

3- يحدد على الإحداثي الرأسي الأيمن نقطة (ب) وهي تركيز المحلول (40 ٪) .

4- نصل ما بين النقطتين (أ ، ب) بخط مستقيم فيقطع الخط الذي يمثل التركيز المطلوب في المحلول النهائي في النقطة (جـ) .

5 - نسقط من نقطة التقاطع (جـ) عمود رأسي يقابل الإحداثي الأفقي في نقطة يمكن عندها معرفة المكونات اللازمة لتحضير 100 وحدة وزنية من المحلول النهائي بالتركيز المطلوب حيث يمثل الجانب الأيمن من الخط نسبة المكون الأكبر تركيزاً أما الجانب الأيسر منه يمثل نسبة المكون الأقل تركيزاً. حيث نجد أنه لتحضير 100 وحدة وزنية من المحلول ذو التركيز 60٪ نحتاج إلى 33 وحدة وزنية من المادة الصلبة (سكر) مع 67 وحدة وزنية من المحلول 40٪ ويظهر ما سبق في شكل (24).



شكل (24) رفع تركيز محلول باستخدام الطريقة المباشرة

جـ- خلط محلولان:

مثال:

احسب الكمية اللازمة من كل من المحلولين 20٪، 50٪ لتحضير 100 وحدة وزنية من محلول 35٪ .

الحل:

يتم الحل باتباع الخطوات الآتية:

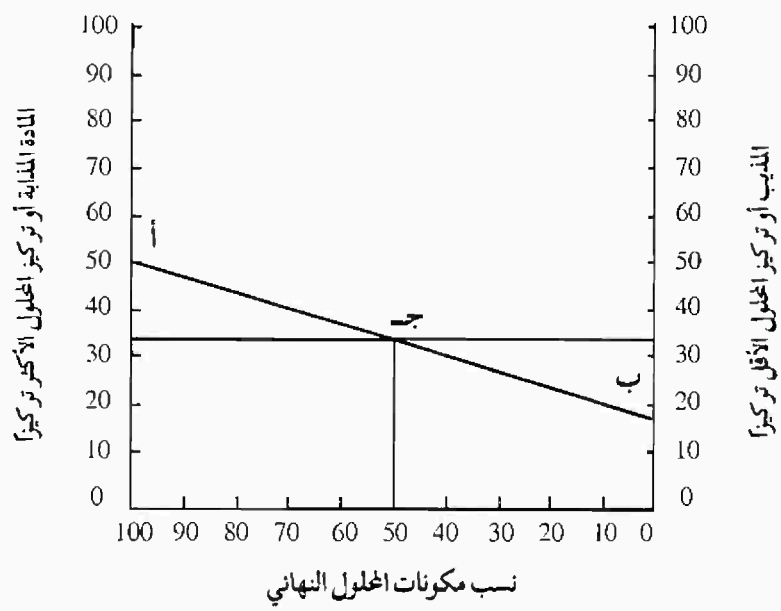
1- نرسم خط أفقي يصل بعد الإحداثيين الرأسيين عند تركيز 35٪ وهو التركيز النهائي المطلوب.

2- يحدد على الإحداثي الرأسي الأيسر نقطة (أ) وهي تركيز المحلول المركز 50٪ .

3- يحدد علي الإحداثي الرأسي الأيمن نقطة (ب) وهي تركيز المحلول المخفف 20٪ .

4- نمد خط بين الإحداثيين الرأسيين يصل بين النقطتين (أ، ب) حيث يقابل الخط الذي يمثل التركيز المطلوب للمحلول النهائي في النقطة (جـ).

5- نسقط من النقطة (جـ) خط عمودي على الإحداثي الأفقي في نقطة يمكن منها معرفة نسب المكونات اللازمة لتحضير 100 وحدة وزنية من المحلول النهائي بالتركيز المطلوب حيث يمثل الجانب الأيمن من الخط نسبة المكون الأقل تركيزاً أما الجانب الأيسر منه فيمثل نسبة المكون الأكثر تركيزاً حيث يتضح أننا نحتاج إلى مزج 50 وحدة وزنية من المحلول 50٪ مع 50 وحدة وزنية من المحلول 20٪ لنحصل على 100 وحدة وزنية من المحلول 35٪ ويمكن إيضاح ما سبق في شكل (25) .



شكل (25) خلط محلولان باستخدام الطريقة المباشرة

خامساً: ميزان المادة: Material balance

في جميع الطرق السابقة اتضح أننا نستخدم مادتين فقط الأعلى تركيزاً مادة صلبة أو محلول مرتفع التركيز والثانية ماء أو محلول منخفض التركيز ويراد معرفة الوزن النهائي لمحلول واحد فقط ناتج من استخدام المادتين. ولكن في عمليات التصنيع الغذائي يتطلب الأمر استخدام أكثر من مادتين لإنتاج مادة أو أكثر وبالتالي لا نستطيع استعمال ما سبق من طرق في حساب المكونات لذلك يمكن الاستعانة بطريقة ميزان المادة التي تعتمد على قانون عدم فناء المادة الذي ينص على «أن المادة لا تفني ولا تخلق من عدم».

وحيث أن المواد الغذائية تتكون من جزئين أساسيين الجزء الأول مادة صلبة والجزء الثاني مادة سائلة فيمكن استخدام العلاقات التالية عند استعمال ميزان المادة.

الميزان الإجمالى:

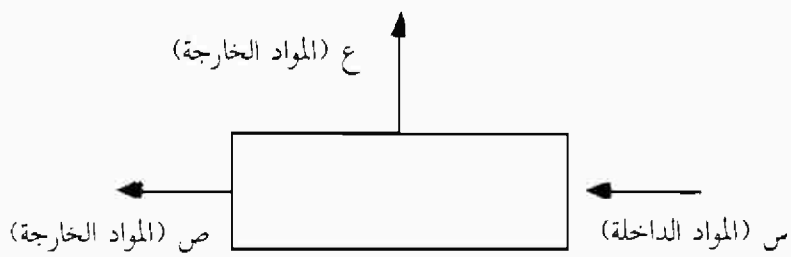
مجموع المواد الداخلة = مجموع المواد الخارجة .

ميزان المواد الصلبة:

مجموع المواد الصلبة الداخلة = مجموع المواد الصلبة الخارجة

ميزان المواد السائلة:

مجموع المواد السائلة الداخلة = مجموع المواد السائلة الخارجة

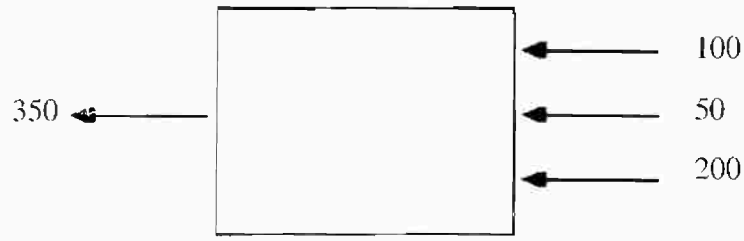


استخدام أكثر من مادتين لإنتاج مادة واحدة:

مثال:

احسب التركيز الناتج من خلط 100 كيلو جرام محلول سكري بتركيز 40٪ مع 50 كيلو جرام محلول سكري بتركيز 60٪ مع 200 كيلو جرام سكر.

الحل:



الميزان الإجمالي

$$350 \longleftarrow 200 + 50 + 100$$

ميزان المواد الصلبة

$$\frac{\text{ص}}{100} \times 350 = \frac{100}{100} \times 200 + \frac{60}{100} \times 50 + \frac{40}{100} \times 100$$

إذن ص = 77.14٪ تركيز المواد الصلبة في المحلول الجديد

أو ميزان المواد السائلة

$$\frac{\text{ع}}{100} \times 350 = \frac{0}{100} \times 200 + \frac{40}{100} \times 50 + \frac{60}{100} \times 100$$

إذن ع = 22.86٪

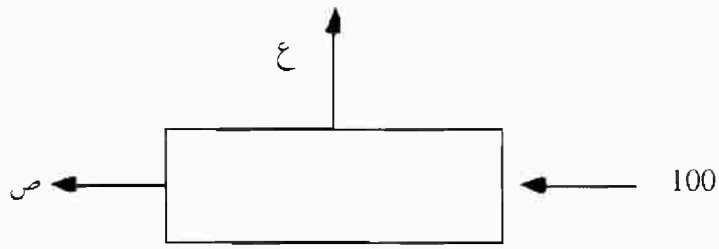
إذن تركيز المواد الصلبة في المحلول الجديد = 100 − 22.86 = 77.14٪

استخدام مادة لإنتاج أكثر من مادة:

مثال:

احسب وزن المحلول الناتج من تركيز 100 كيلو جرام محلول سكري بتركيز 15٪ إلى 50٪ مع حساب وزن الماء الناتج أثناء عملية التركيز.

الحل:



الميزان الإجمالي

100 ⟵ ص + ع

ميزان المواد الصلبة

$$\frac{50}{100} \times \text{ص} = \frac{15}{100} \times 100$$

إذن ص وزن المحلول الجديد = 30 كيلو جرام

ميزان المواد السائلة

$$\frac{100}{100} \times \text{ع} + \frac{50}{100} \times 30 = \frac{85}{100} \times 100$$

إذن ع وزن الماء أثناء التركيز = 70 كيلو جرام.

أو ع =

100 = 30 + ع

∴ ع = 70 كيلو جرام .

المراجـــع

أولاً: باللغة العربية:

- سعد أحمد سعد حلابو، عادل زكي محمد بديع، محمود علي أحمد بخيت (2008) تكنولوجيا الصناعات الغذائية، أسس حفظ وتصنيع الأغذية الطبعة الثانية، المكتبة الأكاديمية – الدقي – الجيزة – جمهورية مصر العربية.
- سعد أحمد حلابو، عوض عباس رجب (1995)، أغذية ومشروبات. الجزء الثاني، مطبعة كلية الزراعة، جامعة القاهرة، جمهورية مصر العربية.
- حسين علي موصللي (2001)، تصنيع وحفظ المياه الغازية والبيرة غير الكحولية. الطبعة الأولى، دار علاء الدين – دمشق – سوريا.

ثانياً: باللغة الأجنبية:

- A. O. A, C (2000) Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Published by A. O. A, C International Maryland, USA.
- Cruess, W. V. (1958), Commercial fruit and vegetablee products. Mc. Graw Hill Book Co. INC New York.
- Joslyn, M. A. (1954). Blending formulate and syrup algebra. In The Chemistry and technology of fruit and vegetable Juice production. by Tressler, D. K and Joslyn, M. A. The AVI Publishing Company, Inc. New York.
- Joslyn, M. A; and Laven, A. S. (1958). Nomographs simplify syrup calculations. Food Eng. 30. No 9. 108 - 110.
- Kumli, K. (1980). Fundamentals of chemisrty. D. Van Nostrand Company. New York, London, Toronto.

- . Pavia, D. L; Lampman, G. M; and Kriz, G. S. (1976). Introduction to organic laboratory techniques, a contemporary approach. W. B Saunders Company, Philadelphia. London, Toronto.
- Ranganna, S. (1977). Manual of analysis of ftuit and vegetable products Tata McGraw - Hill Publishing Company Limited New Delhi.
- Shapiro. S. and Gurvich, Ya. (1972). Analytical chemistry. Mirpublishers. Moscow.
- Tressler, D. K. and Joslyn, M. A. (1961), Fruit and vegetable Juice processing technolgy. The AVI Publishing Company Inc. New York.
- Zapsalis, C. and Beck, R.A, (1985), Food chemistry and nutritional biochemistry. Published by John Wiley and Sons. Inc. New York.