الماء في الأغذية Moisture in foods

مقدمة Introduction

يُعتبر الماء أحد المكونات الثابتة في جميع المواد الغذائية الطازج منها والجاف وإن اختلفت نسبته، فهو يُمثل حوالي 70٪ من وزن الأغذية الطازجة وربما أكثر، وقد يصل إلى 4- 6٪ في المواد الجافة مثل الدقيق والحبوب وتحتوي الفاكهة والخضر على حوالي 90- 95٪ من وزنها ماء وكذلك فإن اللحوم والأسماك والدواجن بعد طهيها وفقد جزء من الماء لا تزال تحتوي على 60٪ منه. والجدول التالي يُوضح نسبة الرطوبة في بعض الأغذية.

جدول (1) محتوى بعض الأغذية من الرطوبة وطرق تقديرها.

المادة الغذائية	النسبة المئوية للرطوبة	طريقة التقدير
خبز لبناني	29.4	الفرن على درجة 105°م
خبز إفرنجي (صامولي)	34.9	الفرن على درجة 105°م
أرز مطبوخ	71.5	الفرن على درجة 105°م
بسلة جافة	11.6	الفرن على درجة 105°م
فول مدمس	71.5	الفرن تحت تفريغ على 70°م
بطاطس	77.8	الفرن تحت تفريغ على 70°م
مربى ومرملاد	28	الفرن تحت تفريغ على 70°م
سمك بلطي	78.7	الفرن تحت تفريغ على 70°م
جمبري معلب	66.2	الفرن تحت تفريغ على 70°م
لحم دجاج	55.9	الفرن تحت تفريغ على 70°م
كبد بقري	69.7	الفرن تحت تفريغ على 70°م
جبن دمياطي	68.2	الفرن تحت تفريغ على 70°م
حليب بقري كامل	87	الفرن تحت تفريغ على 70°م

ووجود الماء في الأغذية يُؤثر على تركيبها وعلى مقدرتها الحفظية وبقائها صالحة بدون فساد Shelf life ويُعتبر إزالة الماء أو خفض نسبته في كثير من الأغذية العامل الأساسي في حفظها من الفساد لمدة أطول وذلك أساس طرق الحفظ بالتجفيف والتجفيد والتركيز، وكذلك تحويل الماء من الصورة الحرة إلى الصورة المجمدة وبذلك يفقد مقدرته كمذيب لعديد من مكونات الأغذية الأخرى القابلة للذوبان فيه وبذلك تقف التفاعلات الكيماوية بين هذه المكونات وأيضاً يُصبح صورة غير قابلة للاستفادة بواسطة

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الكائنات الحية الدقيقة وأحياناً قد يلجأ إلى تقليل الماء بغرض نقص حجم الأغذية وقلة وزنها وبذلك يُؤدي إلى توفير كبير في العبوات وتكاليف الشحن والنقل.

أهمية الماء في الأغذية

يلعب دوراً هاماً داخل جسم الكائن الحي نوجزها فيما يلي:

1- يدخل في جميع العمليات الحيوية مثل تخليق الكربوهيدرات وعمليات التمثيل الغذائي المختلفة.

2- يُعتبر مكوناً أساسياً من مكونات الخلية سواء حيوانية أو نباتية.

3- يُعتبر الوسط الذي تتم فيه التفاعلات الحيوية المختلفة وبدونه لا تحدث مثل هذه التفاعلات.

4- يُعتبر الوسيلة التي تنتقل بها المكونات العديدة ونواتج عمليات البناء والهدم من مكان لآخر بين أجزاء الخلية الواحدة وخلال خلايا النسيج الواحد وبين الأنسجة المختلفة وبعضها البعض.

الخواص العامة للماء General properties of water

يُعتبر الماء من المواد الشائعة، وفيما يلي بعض الخواص المهمة للماء:

1- يُوجد الماء في الصورة السائلة على درجة الحرارة العادية على الرغم من أن المواد المتشابهة له في بساطة التركيب مثل الأمونيا (NH_3)، غاز ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، غاز ثاني كبريتور الأيدروجين (H_2S) تتواجد على الحالة الغازية.

2- ثابت الحاجز الكهربي للماء Dielectric constant يُعتبر أعلى من أي سائل آخر وهو الذي يلعب دوراً كبيراً في قدرة السائل على تأين المواد الذائبة فيه، فإذا فرضنا أن F هي القوة التي تُوجد بين شحنتين من الكهرباء مقدارها C_2، C_1 والمسافة بينهما هي r وأن الحاجز الكهربي للوسط الموجود فيه الشحنتان هو D فإن القوة يُمكن إيجادها من المعادلة التالية:

$$F = \frac{C_1 \times C_2}{D \times r^2}$$

Where:

F – The force between C_1 and C_2 (charges).

r^2 – The square of distance between C_1, C_2.

D – Dielectric constant = 78.5 for water.

C_1 and C_2 – The two charges in the media.

ومن المعادلة السابقة نُلاحظ أنه كلما زاد أو ارتفع مقدار الحاجز الكهربي D كلما قلت F بين الشحنتين ومن ثم حدث انفصالهما بسهولة أي إن قوة ارتباط الشحنتين المختلفتين في الإشارة تكون أقل في حالة كبر قيمة ثابت الحاجز الكهربي للسائل والعكس صحيح.

ويرجع سبب ارتفاع ثابت الحاجز الكهربي للماء السائل إلى قطبية الجزئيات الذائبة Polarity

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

$H^+ + {}^-OH \longleftrightarrow H_2O$

ومن ذلك نجد أن ثابت الحاجز الكهربي يقيس التأثير النسبي للوسط السائل على القوة التي تربط شحنتين مختلفتين في الإشارة وكلما كانت هذه القوة ضعيفة كلما سهل انفصال الشحنتين والعكس صحيح ويُمكن حساب هذا الثابت من النسبة بين الشحنات الكهربية في السائل والهواء كالتالي:

D = C liquide / C air

حيث إن C air و C liquid عبارة عن الطاقة الكهربية للمكثف وهو مملوء بالسائل والهواء على التوالي.

فعند إذابة الأملاح في الماء فإنها تتأين إلى أيونات موجبة الشحنة وأخرى سالبة الشحنة وتُسمى الأولى كاتيونات والثانية أنيونات وهذه الشحنات تجتذب الماء من حولها في صورة طبقات مائية ثابتة Water layers ووجود هذه الطبقات يعمل على سهولة فصل الأيونات ذات الشحنات المختلفة عن بعضها في المحاليل المركزة وتُسمى هذه العملية بـ Hydration وتعتمد درجة التأدرت هذه على كثافة شحنة الأيون Ion charge density وبالتالي فإنها تكون كبيرة في حالة الأيونات الصغيرة عنها في حالة الأيونات الكبيرة والتي تحمل نفس الكمية من الشحنات وعلى سبيل المثال فإن قطر $K^+ > Na^+$ ولكن أيون البوتاسيوم المهدرت أقل من أيون الصوديوم المهدرت.

3- الماء له مقدرة كبيرة على إذابة كثير من المواد المختلفة الخواص مثل المواد العضوية وغير العضوية.

4- الماء له مقدرة كبيرة على تأيين كثير من المواد الذائبة فيه وبذلك يُصبح محاليلها موصلة للكهرباء.

5- الماء له حرارة نوعية عالية وهي أيضاً خاصية غير عادية بالنسبة للماء وهي تعني أن كميات كبيرة من الحرارة يُمكن للماء أن يمتصها أو يفقدها دون أن يحدث تغير كبير أو ملحوظ في درجة حرارة الماء نفسه وتُعتبر هذه الخاصية مهمة في حالة امتصاص أو تخزين الحرارة في الأنسجة وبالمثل في حالة الحرارة الكامنة للانصهار Latent heat of fusion والتي تُعرف بأنها عدد الكالوري اللازمة لتحويل واحد جرام من الثلج على درجة الصفر إلى سائل على نفس الدرجة وهي 80 كالوري/ جم ماء، كذلك حرارة التبخير تُعتبر مرتفعة أيضاً. وهذه الخواص أساساً ترجع لقوة الارتباط الأيدروجيني بين جزيئات الماء فعندما تكون درجة حرارة الماء منخفضة نجد أن الروابط تُصبح قوية بدرجةٍ كافية لتثبيت الجزيئات وشكلها مع بعضها في صورة ثلج.

6- الماء له نقطة انصهار Melting point (MP) مرتفعة وكذلك نقطة غليان Boiling point (BP) وذلك عند مقارنته بالمواد الأخرى المساوية له أو القريبة منه في الوزن الجزيئي. والجدول التالي يُوضح بعض الخواص الطبيعية للماء وبعض المواد الأخرى ذات الوزن الجزيئي المنخفض.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

جدول (2) الخواص الطبيعية للماء وبعض المواد

Substances	Formula	Molecular weight	MP (°C)	BP (°C)
Methane	CH_4	16	-184	-161
Ammonia	NH_3	17	-78	-33
Water	H_2O	18	0.0	+100
Hydrogen fluoride	HF	20	-83	+20
Hydrogen sulfide	H_2S	34	-86	-61
Hydrogen chloride	HCl	36	-115	-85
Oxygen	O_2	36	–	-183
Nitrogen	N_2	28	–	-196

ومن هذا الجدول يُلاحظ ارتفاع كل من نقطة الغليان والانصهار عن المتوقع بالنسبة للأمونيا وغيرها من المركبات القريبة في الوزن الجزيئي من الماء ويرجع هذا الاختلاف أساساً إلى وجود ما يُسمى بـ Hydrogen bonds بين جزيئات الماء ونفسه.

7- الماء نفسه يتأين تأيناً ضعيفاً ودرجة تركيز أيون الأيدروجين في الماء النقي 1×10^{-7} فمثلاً لتر من الماء يحتوي على 55 جزيء ماء وعلى ذلك يُصبح الجزء المتأين هو:

$$\text{الجزء المتأين من الماء} = \frac{1 \times 10^{-7}}{55} = 0.0000002\%$$

آي في المتوسط جزء من 50 جزء من الماء يُوجد في صورة متأينة وهي خاصية هامة في كثير من التفاعلات الحيوية.

8- لجزيئات الماء القدرة على التجمع Association ويحدث ذلك عن طريق الرابطة الأيدروجينية وهذه الظاهرة هي التي تُفسر سيولة الماء إذا ما قورن بغيره من المركبات المشابهة له في التركيب. كما أن هذا التجمع لجزيئات الماء هو السبب في ارتفاع قيمة التوتر السطحي للماء Surface tension (72 داين) الذي يُؤدي إلى قلة ضغط بخاره وارتفاع قيمة الحرارة الكامنة لتبخيره وكذلك ارتفاع الحرارة الطبيعية للماء ووزنه النوعي. ففي السوائل التي لا تتجمع جزئياتها يقل وزنها النوعي مع ارتفاع درجة الحرارة بينما نجد في السوائل الأخرى مثل الماء والذي تتجمع جزيئاته أن الوزن النوعي يزيد فعلاً عند التسخين من درجة الصفر إلى 4°م.

9- الماء كوسيلة لزيادة الحجم: كثير من المواد ذات الوزن الجزيئي المرتفع يزداد حجمها عند إضافة الماء إليها مثل النشا- الجليكوجين والبروتين، حيث يتم اختزان الماء داخل هذه الجزيئات الكبيرة ويزداد حجم جزء النشا بصورة أكبر مع التسخين على درجة حرارة 50°م وهنا تتكون عجينة النشا

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

وبتبريدها يتكون جل النشا ويُستفاد من هذه الخاصية في صناعة منتجات الخبيز والبودنج وإنتاج بعض المأكولات.

صور الماء في الأغذية Water phases in foods

يتواجد الماء في الأغذية في أربع صور هي:

1- **الماء الحر** Free water

وهو عبارة عن الماء الموجود في سيتوبلازم الخلية كوسيط للإذابة لباقي المكونات Dispersion medium ويُوجد في صورة حرة ويتواجد أيضاً في الفجوة العصارية وبين الخلايا ويُعتبر وسطاً لانتشار المواد الغروية مثل البروتين وغيره من المركبات ذات الوزن الجزيئي المرتفع وله نفس وجميع خواص الماء العادي وكذلك له خاصية التجميد والتجمع والانتقال من مكان لآخر بسهولة وحرية تامة ويخرج بالتبخير.

2- **الماء المرتبط** Bound water

ويُسمى أحياناً بماء التأدرت Hydration water حيث يتواجد مرتبطاً بجزء معين في صورة ماء تبلور ويُسمى أيضاً Water of crystallization وهو يختلف في خواصه عن الماء الحر في أنه يفقد مقدرته على إذابة المركبات ولا يتجمد على درجة الصفر المئوي مثل الماء الحر كما أن كثافته مرتفعة ولا يُمكن فصله بسهولة من الأنسجة والجزيئات المرتبط بها ومن أمثلته الماء المرتبط مع بلورات السكر في صورة أيدرات السكريات والأملاح ويكون ارتباطه مع هذه المركبات ارتباطاً كيميائياً قوياً.

3- **الماء المدمص** Adsorption water

ويُسمى أيضاً باسم الماء الهيجروسكوبي Hygroscopic water حيث إن كثيراً من مكونات الخلايا وخاصةً المكونات ذات الوزن الجزيئي العالي مثل النشا والبكتين والبروتين السيلولوز لها المقدرة على امتصاص الماء على سطوح جزيئاتها الغروية وتتفاوت كفاءتها في الاحتفاظ بهذا الماء، فمثلاً السيلولوز يحتفظ بحوالي 70٪ أما البروتين فقد يمتص ما يقرب من 15٪ ويكون هذا الارتباط عن طريق قوى الامتصاص الطبيعية مثل قوى فان در فالس Van der vals أو بتكوين روابط هيدروجينية.

4- **الماء المندمج مع المواد العضوية** Hydrophilic colloids water

إلى جانب الصور السابقة يُوجد الماء المندمج مع بعض المواد العضوية وعلى الأخص الغرويان المحبة للماء Hydrophilic colloids في حدوث Colloidal gels في منتجات الجيلاتين أو يُوجد الماء في صورة قطرات مائية مستحلبة Emulsified water كما في حالة الزبد.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

علاوةً على ما سبق من صور الماء فإن مكوناتها تتواجد (H_2, O_2) في تركيب المكونات العضوية الهامة للمواد الغذائية مثل الكربوهيدرات- البروتين- الدهون.

وعند تعريض المادة الغذائية لحرارة متزايدة فإنها تفقد أولاً الماء الحر فقداً تاماً بعد ذلك يتبعه فقد تدريجي في الماء المندمج طبيعياً والماء الممتص ثم يلي ذلك الفقد الناتج عن الهدم والتحلل Decomposition وبالطبع يحدث أثناء ذلك فقد بالتطاير لبعض المركبات والمواد الطيارة Volatile substances.

وبذلك فإنه من الصعب تحديد ظروف معينة بالضبط يُمكن أن يُقال أنه يحدث فيها التخلص التام من كل الرطوبة في أي مادة بدون أي فقد آخر وعلى ذلك تُعتبر نسبة الرطوبة اصطلاح نسبي وليس مطلقاً وعليه لابد من تحديد جميع الظروف التي أجريت عندها عملية التقدير.

أهمية تقدير الرطوبة

من الضروري تقدير الرطوبة في الأغذية للأسباب الآتية:

1- تقدير الرطوبة في حد ذاته لا يُعتبر ذات أهمية كبيرة ولكن أهميته ترجع إلى استخدامه في المقارنة عند تقدير المكونات الأخرى.

2- يُستخدم لتقدير القيم الحقيقية للمكونات الأخرى لأن زيادة الرطوبة في المادة الغذائية معناه نقص المكونات الأخرى بمقدار هذه الزيادة في الرطوبة وعادةً تتناسب قيم المادة الغذائية عكسياً مع نسبة الرطوبة.

3- يجري تقدير الرطوبة بغرض التعرف على صلاحية المادة الغذائية للتخزين والحفظ والتصنيع.

4- يُمكن من تقدير الرطوبة معرفة نوع الحفظ وطريقة التخزين.

5- أحياناً قد يجرى التقدير كعملية روتينية في منتجات كثيرة لتنفيذ قوانين التشريعات الغذائية التي تشترط حداً معيناً للرطوبة في بعض المواد الغذائية.

6- تُفيد في تقدير القيمة الغذائية حيث يتم التعبير عن النتائج منسوبة إلى الوزن الجاف.

كيفية خروج الرطوبة من المادة الجافة

عادةً يتم فقد الرطوبة من المواد الغذائية عند تعريضها إلى الحرارة على عدة خطوات كالآتي:

1- انتقال جزيئات الماء من داخل المادة الغذائية إلى سطحها.

2- رفع جزيئات الماء للسطح لتكون طبقة سطحية على المادة.

3- تحول جزيئات الماء من السطح إلى بخار وتحتاج هذه الخطوة إلى مجهود وطاقة حيث إن الحرارة الكامنة لتبخير جزء واحد من الماء هي 540 سعر حراري عند درجة 100°م وتحت الضغط الجوي العادي

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

فإن حوالي 500 سعر حراري تلزم للتغلب على تجاذب جزيئات الماء مع بعضها ويلزم فقط 40 سعر حراري للتغلب على الضغط الجوى وحفظ بخار الماء الموجود بها وذلك بغرض تبخير الماء الحر، ومما لاشك فيه أن المجهود أو الشغل اللازم لنقل جزيئات الماء من داخل المادة الغذائية إلى خارجها كبير جداً ويتوقف على طبيعة مكونات المادة الغذائية وحجمها أيضاً.

العوامل التي تُؤثر على دقة التقديرات

1- صعوبة انتشار الرطوبة (الماء) من داخل المادة الغذائية إلى سطحها مما قد يُؤدي إلى تغيرات في خواص وصفات المادة إلى الحد الذي يعوق من سرعة جفافها وهذه الظاهرة تُعرف بـ Case hardening وتحدث في اللحوم وذلك لتكوين طبقة جلدية من البروتين غير منفذة للرطوبة على سطح العينة وكذلك في الفاكهة التي بها نسبة عالية من السكريات حيث تتكون طبقة زجاجية ناتجة عن كرملة السكريات وهي تتكون على السطح وتمنع خروج باقي الرطوبة من العينة وتظهر بسبب استخدام درجات حرارة عالية لتقدير الرطوبة في مثل هذه العينات ولذلك يجب إجراؤها على درجة 70°م وتحت تفريغ لتلافي ظاهرة الجفاف السطحي.

2- قد يحدث فقد لبعض المواد الطيارة مثل الكحولات أو الأحماض العضوية مثل حامض الخليط والتي تتواجد بنسبة عالية نوعاً في بعض الأنواع من الأغذية وبذلك تكون نسبة الرطوبة الظاهرية المتحصل عليها كبيرة.

3- حساسية بعض المكونات الغذائية للتحلل أو الهدم مع الحرارة مما يُؤدي إلى الحصول على نسبة عالية من الرطوبة لا تُمثل الواقع والمحتوى الرطوبي الصحيح للعينة.

4- تأكسد بعض مكونات المادة الغذائية مثل الأحماض الدهنية غير المشبّعة والتانينات والفينولات مما يُؤدي إلى الحصول على نسبة رطوبة غير مطابقة للنسبة الحقيقية أيضاً.

الطرق العامة لتقدير الرطوبة بالأغذية General methods for moisture determination in foods

يُمكن تقسيم الطرق المختلفة لتقدير الرطوبة في الأغذية كما يلي:

أولاً: طرق التجفيف Drying methods

تُستخدم طرق التجفيف بواسطة الحرارة عند تقدير الرطوبة بالأغذية طبقاً للمواصفات القياسية ويجري تجفيف المادة المراد تقدير رطوبتها مع اتباع الاحتياطات اللازمة ويُؤخذ الفقد في الوزن كمقياس لمقدار الرطوبة في العينة وتمتاز هذه الطريقة بأنها بسيطة وسريعة نسبياً وتسمح بإجراء تحليل لكميات كثيرة من العينات.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

والنظرية الأساسية في استخدام هذه الطريقة أنه برفع درجة حرارة المادة الغذائية تنخفض كثافة الماء وتضعف الرابطة بين جزيئاته المختلفة وبالتالي يقل ضغط بخاره وبذلك يسهل تحوله من الصورة السائلة إلى الغازية ويتم فقده عن سطح المادة الغذائية، وفيما يلي طرق تقدير الرطوبة بفعل الحرارة:

1- **طرق الأفران الهوائية** Air-oven methods

تُستخدم هذه الأفران في معامل مراقبة الجودة لتقدير الرطوبة، بعضها له جدار مزدوج يمر به ماء ساخن أو هواء ساخن أو مصمم على مرور نظام هواء بداخله ومركب به ميزان، وفيما يلي بعض أنواعها:

أ- Forced-Draft ovens

يسمح باستخدام عينات أكثر ويُمكن الوصول لدرجات الحرارة المطلوبة بسرعة كما يُمكن بواسطته التحكم في درجات الحرارة المطلوبة فيوجد منظم لدرجات الحرارة كما يُوجد حركة ميكانيكية دائرية للهواء داخل الفرن وبواسطتها يُمكن التغلب على الاختلافات في درجات الحرارة أثناء التجفيف، ومثال للأجهزة المتبع فيها هذا النظام Barbender semiautomatic moisture tester. تُوجد به مروحة صغيرة لإدارة الهواء في الفرن كما يُوجد به ميزان أوتوماتيكي يسع الفرن لعشر عينات تُوضع في أطباق مسطحة وزن كل عينة 1 جم وبعد فترة تجفيف معينة يُوزن كل طبق على حدة ويُقرأ مقدار الرطوبة مباشرة على تدريج الجهاز ويمتاز هذا الفرن بدقته وسرعته النسبية وملاءمته لتقدير الرطوبة في عديد من الأغذية، وتُقدر رطوبة الحبوب في هذا الفرن على درجة حرارة 130°م / ساعة.

ب- Carter-Simon oven

يُستخدم هذا الفرن لتقدير الرطوبة في منتجات الحبوب بالتجفيف على درجة 155°م لمدة 15 دقيقة.

جـ- Chopin instrument

تُوضع فيه العينة المراد تقدير الرطوبة بها على درجة 200°م ويُمرر الماء المتبخر على كربيد الكالسيوم، والأسيتلين المتولد يلتهب في قمة الجهاز حتى انتهاء تبخير الماء يقف الاشتعال وذلك يدل على انتهاء التقدير وتترك العينة تبرد ثم تُوزن، ويستغرق التقدير 5 دقائق في الدقيق و 7 دقائق في الحبوب المطحونة.

2- **طرق الأفران تحت تفريغ** Vacuum-oven methods

تُعتبر هذه الطريقة أنسب وأدق الطرق لتقدير الرطوبة في المواد الغذائية وبهذه الطريقة يُمكن التخلص من جميع الرطوبة الموجودة في العينة بدون التأثير على صفاتها أو عدم تحللها مثل المواد الغذائية البروتينية والسكرية والمحتوية على نسبة عالية من المواد المتطايرة وتكون حرارة الفرن 60- 70°م على

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

25 مم/ زئبق، وتمتاز هذه الطريقة بأن معدل التجفيف يُمكن أن يزداد بتخفيض ضغط البخار في الهواء باستخدام التفريغ Vacuum.

3- **بعض طرق التجفيف الأخرى** Other drying methods

أ- التجفيف بواسطة الأشعة تحت الحمراء Infrared drying

تعتمد هذه الطريقة على نفاذ الحرارة Penetration of heat داخل العينة المراد تجفيفها مباشرة ويُمكن بهذه الطريقة اختصار وقت التجفيف من ثلث إلى ثمن المدة المستغرقة في الطرق الأخرى. ويُستخدم في هذه الطريقة لمبة 250- 500 وات ويجب مراعاة المسافة بين العينة واللمبة حتى لا يحدث انحلال للعينة Decomposition وأنسب مسافة هي ألا تزيد عن 10- 15 مم، يصل زمن التجفيف إلى 20 دقيقة في منتجات اللحوم و 25 دقيقة في منتجات المخابز و 10 دقائق في الحبوب المطحونة ويتراوح وزن العينة من 2.5- 10 جم متوقفاً على نوع المادة الغذائية والنسبة التقريبية للرطوبة بها.

ب- التجفيف في مجففات زجاجية تحت تفريغ

في هذه الطريقة تُوضع وزنة معلومة من العينة (المواد السريعة التحلل أو التطاير مثل الطباق والتي لا يُمكن تعريضها للحرارة) في مجفف زجاجي Desiccator تحت تفريغ ويُوضع بمستودع المجفف مادة تمتص الرطوبة مثل حامض الكبريتيك المركز أو كبريتات كالسيوم أو بنتوأكسيد الفوسفور ويُلاحظ أن هذه الطريقة بطيئة وقد تُعاد العملية مرة أخرى للوصول إلى الوزن الثابت للمادة الغذائية وقد يتطلب ذلك تغيير المادة التي تمتص الرطوبة.

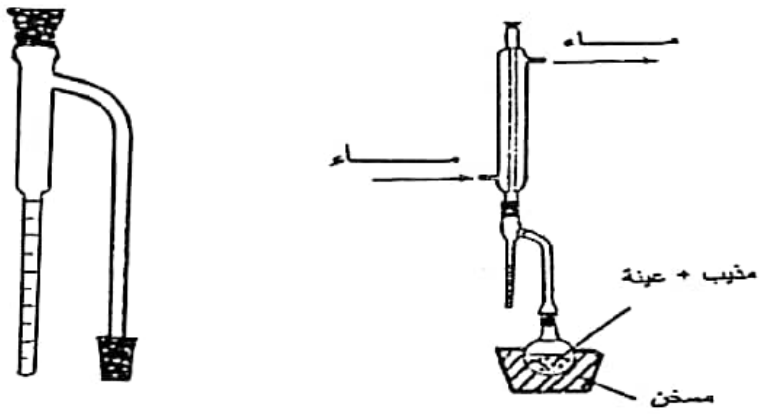
ثانياً: طرق التقطير (المذيبات العضوية) Distillation methods

تُوجد طريقتان رئيستان لتقدير الرطوبة بالتقطير، الأولى يتم تقطير الماء باستخدام سائل ذي نقطة غليان مرتفعة وفيها تُخلط المادة مع زيت معدني في جهاز خاص ويتم استقبال الماء المتقطر في قابلة مدرجة، والثاني يتم تقطير الماء باستخدام مذيب ذي نقطة غليان أكثر من الماء (زيلين- تولوين) في جهاز خاص. وأكثر الطرق شيوعاً هي طريقة Bidwell-Sterling وفيها يُستخدم التولوين درجة غليانه 114°م أو الزيلين درجة غليانه 139°م أو طريقة Brown Duvel وفيها يُستخدم زيت معدني درجة غليانه 200-205°م، أما طريقة Thielepape-Flude يُستخدم فيها مخلوط من التراي كلوروإيثيلين والتتراكلوروإيثان لتلافى استعمال التولوين أو الزيلين لسرعة اشتعالهما كما وأن هذه المواد أقل في الكثافة من المحاليل السكرية وبالتالي تلتصق العينة بقاع الدورق مما ينتج عن ذلك تسخين زائد Overheating للعينة.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

وحديثاً ألغي استعمال مخلوط التراي كلوروإيثيلين والتترا كلوروإيثان لسميتهما الشديدة والآن يُستخدم ترای كلوروإيثيلين فقط وذلك لأن كثافته أعلى من كثافة الماء (1.62 جم/ سم^3) ومن ثم تطفو المادة الغذائية على سطحه في دورق التقطير وذلك يُقلل من تعرضها للحرارة المباشرة وبالتالي يقل هدم بعض مكونات المادة الغذائية بالإضافة إلى أن درجة غليانه هي 121°م وأنه غير قابل للاشتعال.

ولقد اتفق أن تُجرى عملية التقدير لفترة تتراوح ما بين 30- 40 دقيقة والجهاز المستخدم لهذا الغرض مكون من 3 أجزاء يُمكن أن تُوصل إلى بعضها عن طريق أجزاء زجاجية والجهاز مصنوع من زجاج غير قابل للكسر والأجزاء الثلاثة هي دورق التقطير، مكثف ذو أنبوبة مستقيمة وأنبوبة استقبال مدرّجة والشكل (5) التالي يوضح ذلك.



شكل (5) مكونات جهاز Bidwell-Sterling لتقدير الرطوبة في الأغذية بالمذيبات العضوية.

وبقراءة حجم الماء المقطر والمتجمع في أنبوبة الاستقبال حساب النسبة المئوية للرطوبة في المادة الغذائية بغرض أن حجم الماء يُعادل وزنه بالجرام وبذلك يُقسم هذا الوزن على وزن العينة ثم يُضرب في 100.

مميزات طريقة التقطير

1- تأخذ وقتاً بسيطاً في حدود 30- 40 دقيقة.
2- يُمكن تحديد انتهاء التقدير وذلك بملاحظة حجم الماء بمرور الوقت في الأنبوبة الجانبية.
3- لا تحتاج إلى أجهزة معقدة أو غالية الثمن.
4- منع حدوث أكسدة للدهون أو تحلل للسكريات للأغذية المحتوية على نسبة مرتفعة منها.
5- درجة الحرارة ثابتة طوال فترة التقدير.
7- تصلح عادةً مع الأغذية المنخفضة في محتواها من الرطوبة مثل الأغذية المجففة والشوربات المجففة ومواد العلف سواء للإنسان أو للحيوان والسكر والزيوت والزبد والمرجرين والصابون والشموع.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الصعوبات التي تعترض طريقة التقطير

1- انخفاض الدقة في النتائج.
2- تكون مستحلب من الماء مع التولوين أو الزيلين.
3- التولوين والزيلين قابلان للاشتعال.
4- التراي كلوروإيثيلين والتتراكلوروإيثان سامان.
5- التصاق قطرات الماء على جدران الأنبوبة المدرجة في حالة عدم تمام نظافتها مما يُؤدي إلى صعوبة قراءة التدريج.

ثالثاً: الطرق الكيماوية Chemical methods

1- طريقة التنقيط Karl Fischer reagent methods

وفيها يتم تنقيط المادة الغذائية بواسطة محول كيماوي معين حيث يتم تفاعل مكونات هذا المحلول مع جزيئات الماء الموجودة داخل العينة ويُمكن تحديد نقطة نهاية التفاعل بالعين المجردة أو قد تُستخدم الطرق الكهربية في ذلك وأشهر هذه الطرق هي طريقة كارل فيشر، ويتم ذلك بتحضير محلول كارل فيشر والذي يتكون من اليود وثاني أكسيد الكبريت والبيريدين بنسبة 1: 3: 10 وهذه المكونات مذابة في كحول الميثايل الجاف، ويُوضع محلول كارل فيشر في السحاحة وتُوضع العينة في دورق مخروطي ثم يبدأ التنقيط، في البداية يتفاعل اليود مع الماء ويُعطي حامض الأيدرويوديك وثاني أكسيد الكبريت يتفاعل مع الماء ويُعطي حمض الكبريتيك ونتيجة لهذا التفاعل يحدث تفاعل عكسي لذلك فإن البيرودين يربط الحامضين الناتجين بحيث يجعل التفاعل في اتجاه واحد ومن هنا نُلاحظ أنه طالما وجد الماء في العينة فإن اليود يدخل في التفاعل ويكون حامض الأيدرويوديك إلى أن يصل إلى انتهاء جزئيات الماء داخل العينة عند ذلك فإن أول نقطة من محول التنقيط تظهر لون اليود الحر وهو اللون البني وعند ذلك يقرأ حجم محول كارل فيشر الذي يستدل منه على كمية الرطوبة في العينة، والمعادلات الآتية تُوضح ميكانيكية التفاعل:

$$2HI + H_2SO_4 \longleftrightarrow 2H_2O + I_2 + SO_2$$

$$I_2 + SO_2 + 3\,C_5H_5N + H_2O \longrightarrow 2\,C_5H_5N(I)(H) + C_5H_5N(SO_2)(O)$$

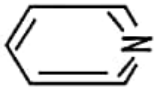
أيودوهيدروبيرودين — بيرودين ثالث أكسيد الكبريت

$$C_5H_5N(SO_2)(O) \longrightarrow C_5H_5N(H)(SO_4CH_3) + CH_3OH$$

بيرودين ميثيل سلفيت

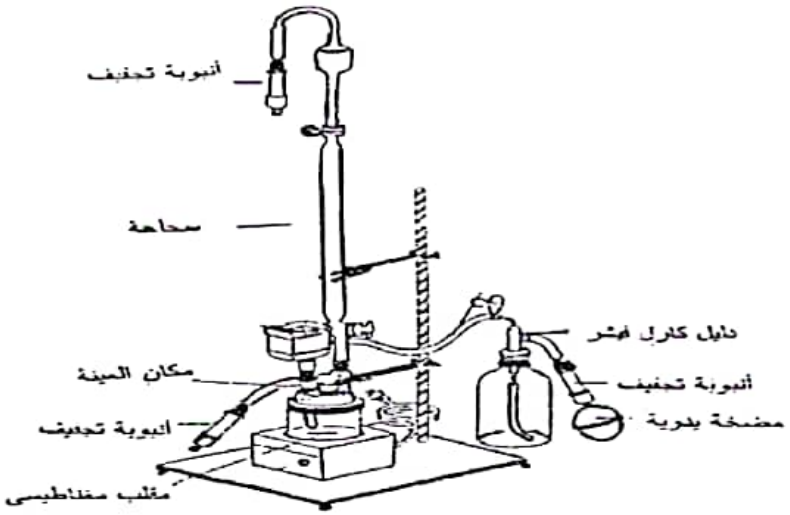
الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

من المعادلات السابقة نجد أن 1 مول م اليود مع 3 مول من البيرودين يلزمهما 1 مول من الماء، لذلك عند معرفة عدد المولات من اليود والبيرودين فإنه يُمكن معرفة عدد مولات الماء الموجودة في المادة الغذائية.

1 mole $H_2O \equiv$ 1 mole I_2 + 3 mole 2 

وتُستعمل هذه الطريقة في تقدير الرطوبة في كلٍ من الكحولات- الإسترات- الشموع- السكر- الصلصة الحريفة- العسل وأحياناً قد تُستخدم مع الأغذية المجففة.

وتمتاز هذه الطريقة بالسرعة والأمان هذا بالإضافة إلى أنه يُمكن استخدامها كطريقة روتينية لأنه يُمكن تقدير عدد كبير من العينات في وقتٍ قصير، ولكن عيب هذه الطريقة هو ضرورة ضبط قوة محلول كارل فيشر يومياً هذا بالإضافة إلى أنه يجب مراعاة عدم تعريض محلول كارل فيشر للهواء الجوى لأنه يُعتبر عاملاً مجففاً قوياً هذا بالإضافة إلى خطورة البيرودين أيضاً. والشكل التالي يوضح مكونات الجهاز المستخدم لتقدير الرطوبة بواسطة محلول كارل فيشر.

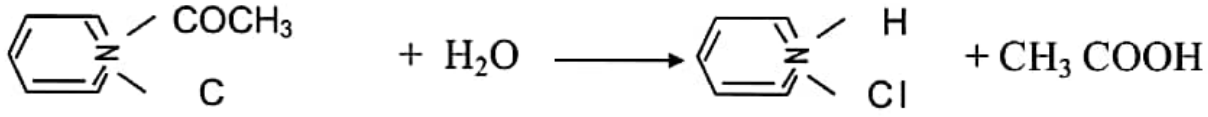


شكل (6) جهاز تقدير الرطوبة في الأغذية بواسطة محلول كارل فيشر.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

2- **طريقة سميث** Acetyl chloride methods

وتعتمد هذه الطريقة على تقدير الزيادة في الحموضة لعينة المادة الغذائية عند معاملتها بكلوريد الأستيل في وجود البيرودين والكحول حيث يتم انفراد 1 مول من حامض الخليك عن طريق 1 مول من كلوريد الأستيل في وجود 1 مول من الماء.



Pyrodine acetate chloride Pyrodine hydrochloride

وعند تقدير حامض الخليك المتكون أو تقدير الزيادة في الحموضة يُمكن معرفة كمية الرطوبة، تُقدر الرطوبة بهذه الطريقة في الزيوت- الزبد- المرجرين- التوابل والأغذية المنخفضة في الرطوبة.

3- **تقدير الرطوبة بواسطة إنتاج الغاز** Gas production methods

أساس هذه الطريقة مبني على التفاعل بين كربيد الكالسيوم والماء حيث ينتج نتيجة لهذا التفاعل غاز الأستيلين حيث يُمكن جمع هذا الغاز وقياس حجمه أو تقدير الضغط الناتج عن غاز الأستيلين في نظام مغلق حيث يُعطي دليلاً على نسبة الرطوبة أو قد يُمكن تقدير النقص الذي قد يطرأ على مخلوط كربيد الكالسيوم والمادة الغذائية بعد تمام التفاعل ومن هذه الحالات يُمكن معرفة نسبة الرطوبة داخل العينة، ويُمكن تمثيل التفاعل السابق بالمعادلة الآتية:

$$CaC_2 + 2H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 + CH \equiv CH \text{ (Acetylene gase)}$$

عموماً تُستخدم هذه الطريقة مع منتجات الحبوب والفانيليا والزبد والصابون وعصائر الفاكهة المركزة، ولا يتجاوز وقت إجراء هذه التجربة أكثر من 10- 15 دقيقة، ويُعاب على هذه الطريقة صعوبة خروج الرطوبة من المادة الغذائية حتى يحدث التفاعل بين كل جزيئات الماء الموجود داخل العينة مع كربيد الكالسيوم.

مثال:

أخذ 1 جم من مادة غذائية وأضيف إليه 1.5 جم كربيد كالسيوم وكان وزن المخلوط قبل بداية التفاعل 2.5 جم وبعد تمام خروج غاز الأستيلين كان وزنه 0.4 جم ، احسب وزن الرطوبة في العينة

الحل:

$$CaC_2 + 2H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 + CH \equiv CH$$

$$2 \text{ mole } H_2O \longrightarrow 1 \text{ mole } CH \equiv CH$$

$$2 \times 18 \longrightarrow 26$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

0.4 ⟶ ×

$$\text{Weight of water}(\times) = \frac{0.4 \times 36}{26} = 0.56 \text{ gm}$$

$$\%\ \text{Moisture} = \frac{0.56 \times 100}{1} = 56\%$$

رابعاً: الطرق الطبيعية Physical methods

1- الطرق الكهربية Electrical methods

أ- التوصيل الكهربي Electric conductivity

بُنيت هذه الطريقة على أساس مقاومة المادة الغذائية للتوصيل الكهربائي حيث يتوقف على ما تحتويه من الرطوبة فمثلاً قمح يحتوي على 13٪ رطوبة، له قوة مقاومة للتوصيل الكهربي تُعادل سبع مرات مقاومة قمح يحتوي على 14٪ وتُعادل 50 مرة قدرة مقاومة قمح يحتوي على 15٪، أو بمعنى آخر الأيونات التي تذوب في الماء تُساعد على توصيل الكهرباء، وتمتاز هذه الطريقة بسرعة إجرائها فقد لا تستغرق أكثر من دقيقة واحدة ومن أنواع الأجهزة المستخدمة في هذا التقدير Tag-Happenstall meter ، وهذا الجهاز يتكون من قطبين كهربيين متحركين أحدهما تجاه الآخر بسرعة محددة، وتُوضع الحبوب المراد تقدير رطوبتها بين القطبين على هيئة طبقة واحدة وتُقاس مقاومتها، ثم يُرسم رسم بياني بمواد معروف نسبة الرطوبة بها ومن هذا الرسم القياسي يُمكن معرفة نسبة الرطوبة للعينات المراد تحليلها.

ب- الثابت الكهربي Dielectric constant

تُعتبر هذه الطريقة من الطرق السريعة لتقدير الرطوبة في المواد الغذائية مثل الدقيق ويُمكن في هذه الحالة عمل رسم بياني قياسي يُبين العلاقة ما بين النسبة المئوية للرطوبة في عينات معروفة من الدقيق والثابت الكهربي لها.

2- بعض الطرق الطبيعية الأخرى

أ- تقدير الكثافة Densimetric method

ويتم ذلك بواسطة قنينة الكثافة ، ميزان الكثافة النوعية، الأيدرومترات المختلفة. ويُعتبر تقدير الكثافة من أهم التقديرات الروتينية الشائعة لتقدير الجوامد الكلية في اللبن ومحاليل السكر مثل عصير الفاكهة والشراب والمركزات والمشروبات الغازية والمحاليل الملحية في صناعة المخللات.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

ب- الطرق الرفراكتومترية Refractometric methods

استخدام معامل الانكسار في الحصول على نتائج سريعة لتقدير المواد الصلبة الذائبة في محاليل السكر- الفاكهة- منتجات الفاكهة (الجيلي- المربى)- منتجات الطماطم والعسل.

جـ- الطرق البولاريمترية Polarimetric method

تُستخدم في تقدير تركيز السكريات، ويُلاحظ أنه لا يُمكن تطبيق هذه الطرق السابقة على كل المواد الغذائية المحتوية على السكر إلا إذا كان قد سبق معرفة العلاقة ما بين المواد الصلبة الذائبة والمواد الصلبة غير الذائبة أو العلاقة ما بين المواد الصلبة الكلية ونسبة الرطوبة كما هو متّبع عند تقدير كثافة العصير الطبيعي للفاكهة ومنتجاتها واستخدام جداول خاصة بالكثافة النوعية للمحاليل المختلفة التركيز من السكروز، ولا تُعتبر هذه الجداول صحيحة ولابد من استخدام عامل تصحيح خاص بكل مادة أو مجموعة من المواد الغذائية وذلك يتوقف على طبيعة تركيبها فمثلاً تُوجد جداول خاصة تُبين العلاقة بين مُعامل الانكسار أو الكثافة والمواد الغذائية والمواد الصلبة الكلية للموالح ومنتجات الطماطم ...الخ.

د- اللزوجة النسبية Relative viscosity

يُمكن بتقدير اللزوجة في بعض المواد الغذائية تحت ظروف معينة (كما في حالة عسل النحل) ثم استخدام بعض الرسوم البيانية أو المعادلات للحصول على نسبة الرطوبة.

هـ- الانخفاض في درجة التجمد

تُستخدم هذه الطريقة في معرفة غش اللبن إذ إنه من المعروف أن نقطة تجمد اللبن قرب (-0.55°م) وتنخفض درجة التجميد بمقدار 0.005°م لكل إضافة ما يُعادل 1٪ ماء ويُمكن حساب نسبة الماء المضاف من المعادلة التالية:

$$W = 100 \times \frac{T - T_1}{T}$$

حيث إن: T = نقطة التجمد للبن (- 0.55°م).

T_1 = نقطة التجمد المقدرة في التجربة.

W = ٪ للرطوبة.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

العوامل المحددة لاختيار الطريقة المناسبة لتقدير الرطوبة في الأغذية

يوجد العديد من العوامل التي تحدد اختيار أنسب الطرق لتقدير الرطوبة في الأغذية نوجزها فيما يلي:

1- طبيعة وجود الماء بالمادة الغذائية

يتواجد الماء في المادة الغذائية في عدة صور، وعادةً يتم تقدير الماء الحر بالطرق العادية لتقدير الرطوبة أما الماء المدمص على أسطح المواد الغروية مثل جزيئات البروتين فإنه يُمكن تقديره في بعض الطرق ولا يُمكن في الطرق الأخرى، أما ماء التبلور فصعب تقديره لأنه يُؤدي في هذه الحالة إلى تغير في تركيب العينة أي يعمل على تحطيمها ويُعطي نتائج خاطئة.

2- طبيعة المادة الغذائية المراد تقدير الرطوبة بها

يجب مراعاة أن المواد الغنية بالسكر تختلف في طريقة تقدير الرطوبة بها عن المواد الفقيرة في السكر، فمثلاً تحدث كرملة للسكر في المولاس مما يُؤدى إلى إعطاء نتائج خاطئة في تقدير الرطوبة وذلك عند استخدام حرارة أعلى من 70°م في التقدير، كذلك الطباق يحتوي على مواد طيارة تتحلل بالحرارة وكذلك النيكوتين وعليه يجب تقدير رطوبتها على درجة حرارة منخفضة وتحت تفريغ.

3- النسبة التقريبية للماء في العينة

عادة بعض العينات التي تحتوي على نسبة مرتفعة من الرطوبة مثل الفواكه والخضروات تُجفف باستخدام درجات حرارة عالية تحت الضغط الجوى العادي أو تحت تفريغ لسرعة التقدير، أما المواد الغذائية المجففة والتي تحتوى على نسبة رطوبة منخفضة يُفضل معها طرق التفاعل الكيماوي مع الماء أو التقطير مع المذيبات العضوية مثل التلوين.

4- السرعة والدقة المطلوبة للحصول على النتائج

أما من ناحية سرعة الحصول على النتائج فإن التقديرات الروتينية حيث هناك عينات كثيرة فإنه تتبع معها طرق سريعة لا تأخذ وقتاً طويلاً وبالطبع فإن هذه النتائج تكون أقل دقة- ويجب ذكر جميع الظروف المحيطة بالاختبارات من حيث درجة حرارة التقدير- زمن الاختبار والضغط الجوى، آي يُقال إن النسبة المئوية للرطوبة بالعينة هي 13٪ على درجة 105°م لمدة 2 ساعتين تحت الضغط الجوى العادي مثلاً، حيث إن الصور التي يتواجد عليها الماء في المادة الغذائية تُؤدى إلى تغير نسبة الرطوبة لنفس المادة إذا ما قُدّرت بواسطة طريقتين مختلفتين.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

5- تكاليف الأجهزة المستخدمة في التقدير

تختلف الطرق المستخدمة في تقدير الرطوبة من حيث حاجتها إلى أجهزة كهربية خاصة قد تكون في بعض الأحيان عالية التكاليف وذلك من طريقة إلى أخرى، ولكن عموماً تُعتبر طريقة التقطير بالمذيبات العضوية أرخص الطرق حيث لا تحتاج إلى أجهزة مرتفعة الثمن أو معقدة كما أنها سريعة حيث تحتاج ساعة على الأكثر لإجراء الاختبار.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner