

## المحاضرة الأولى والثانية

مقدمة في كيمياء الأغذية تحديد محتوى الرطوبة في الأغذية

## التطور التاريخي لعلوم الأغذية

كانت بدايات علوم الأغذية مع الانسان القديم ، الذي قام بشواء اللحوم من باب التجريب لا أكثر لاحقاً، حفز توافر الغذاء عن طريق الزراعة الناس للبحث عن أنظمة غذائية أفضل وأكثر تطوراً للاستمتاع بالتنوع الغذائي المتاح.

دون معرفة الخلفيات حول ذلك، بدأ الانسان بالبحث عن طرق جديدة للطهو والعمليات لجعل طعامهم أكثر قابلية للهضم، إزالة السمية، تحسين الطعم وحفظه لفترة أطول . وهكذا تطورت طرق الطهو التقليدية وانتقلت من جيل إلى آخر.

من الصعب معرفة أصل كيمياء الأغذية ، لكنه على الأغلب مرتبط بتطور الفروع المختلفة للكيمياء الحديثة وكذلك الكيمياء الحيوية .

أحد أهم مجالات كيمياء الأغذية هو دراسة المكونات الكيميائية للأغذية . ولم يكن ذلك ممكن حتى بدأ المختصون في الكيمياء العضوية بدراسة الطبيعة الكيميائية للأغذية وذلك في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر.

في البداية تم تحديد المكونات الغذائية الأساسية Macronutrients وخصائصها بما في ذلك الكربوهيدرات ، الليبيدات والبروتينات. لاحقاً تم اكتشاف بعض الفيتامينات مع بدايات القرن العشرين.

تم بعدها ، خلال القرن العشرين، ربط دراسة الاصطناع الحيوي والاستقلاب للمكونات الغذائية الأساسية والثانوية ( Macro and Macronutrients ) بكيمياء الأغذية والكيمياء الحيوية للأغذية.

تطور التحليل الكيميائي للأغذية (أو ما دعي بالكيمياء الرطبة Wet chemistry) بالتوازي مع دراسة مكونات الغذاء، وفي المرحلة ذاتها، لكشف الغش الذي يقوم به مزود الغذاء.

مع تطور التقنيات التحليلية في ستينيات القرن الماضي، انتقلت التحاليل الغذائية من الكيمياء الرطبة إلى استخدام التقنيات الطيفية. كذلك، أدى تطور علوم الفيزياء إلى إمكانية تحديد القوام وغيرها من الخصائص الحسية للأغذية بصورة أفضل.

### تعريف كيمياء الأغذية

أحد فروع علوم الأغذية، يدرس المكونات الكيميائية للأغذية والتغيرات التي تتعرض لها من المزرعة حتى مائدة الطعام ( From Farm to Fork ) تتضمن مراحل النقل، التعبئة، التصنيع والتخزين) والتي تؤثر على جودة Quality وأمان Safety الغذاء مروراً بالخصائص الفيزيائية الكيميائية Physio-Chemical، الوظيفية Functional والحسية Sensorial لهذا الغذاء.

سندرس في هذا المقرر بصورة أساسية

المكونات الأساسية للأغذية Major Food Component



الماء water

السكريات carbohydrate

البروتينات proteins

الدهن lipids

المكونات الثانوية للأغذية (Minor food components)



سندرس أيضا المضافات الغذائية food additives



1. مضادات الأكسدة Anti-Oxidant
2. الملونات والمنكهات ومحسنات القوام Colorants, Flavorants, and Texturants
3. أخرى

ومن العناوين المهمة الأخرى الأغذية الوظيفية Functional food

تفاعلات السمرة الأنزيمية وتفاعلات السمرة غير الأنزيمية Enzymatic and nonenzymatic browning

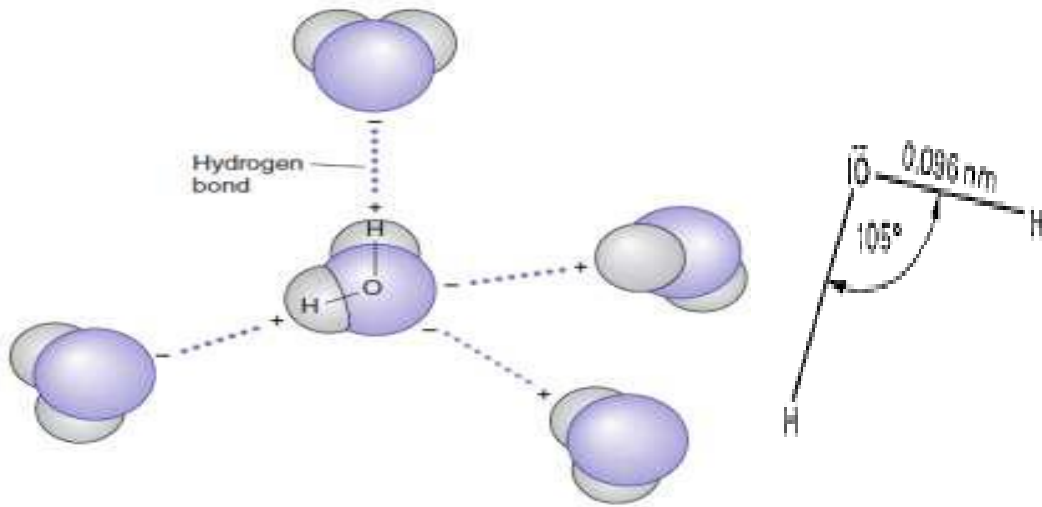
## محتوى الرطوبة والنشاط المائي في الغذاء

### مقدمة:

يعتبر الماء مكوناً مسيطراً بالعديد من الأغذية. يدعم الماء العديد من التفاعلات كما أنه عامل مباشر في تفاعلات الحلمة، لذلك فإن عملية إزالة الماء أو ربطه من خلال زيادة الأملاح أو السكر ستكون قادرة على الحد من العديد من التفاعلات الكيميائية، كما أنها ستكون قادرة على تثبيط النمو الميكروبيولوجي وبالتالي زيادة فترة صلاحية المنتج الغذائي.

### 1- الخصائص الفيزيائية والكيميائية للماء:

تتكون جزيئة الماء من ذرة أوكسجين مرتبطة تساهمياً مع ذرتين هيدروجين تمتلك ذرة الهيدروجين شحنة إيجابية صغيرة في حين تمتلك ذرة الأوكسجين اثنين من أزواج الإلكترونات التي يحمل كلا منها شحنة سلبية صغيرة وبالتالي تمتلك جزيئة الماء القدرة على تكوين روابط هيدروجين قوية نسبياً مع أربعة جزيئات ماء مجاورة نتيجة التنافر المتبادل بين ذرتي الهيدروجين المشحونة جزئياً يكون للماء هيكل مثلثي و زاوية ارتباط 105° ، أي أن الروابط بين الهيدروجين والأوكسجين ذات درجة عالية من الاستقطاب مما يؤدي لتشكيل جسور من الروابط الهيدروجينية وبالتالي تشكيل هيكل بوليميري من جزيئات الماء وهو ما يفسر نقطة الغليان والذوبان العالية للماء بالنسبة إلى وزنه الجزيئي.



## أهمية تحديد محتوى الرطوبة في الغذاء: Importance of Moisture Assay

يعتبر تحديد محتوى الرطوبة من أهم المقاييس التي تجري على المنتج الغذائي وأكثرها شيوعاً. فيما يلي بعض الأمثلة التي تبين أهمية تحديد محتوى الرطوبة في عمليات التصنيع الغذائي:

### 1- أسباب اقتصادية:

تختلف كلفة العديد من الأغذية اعتماداً على كمية الماء التي تحتويها مثلاً يحاول مصنعي الغذاء إدخال ودمج أكبر قدر ممكن من الماء في الغذاء كونه عنصر غير مكلف وذلك دون تجاوز الحدود القانونية. تسمى المادة الجافة التي تبقى بعد عملية إزالة الرطوبة بالبقية الصلبة total solids حيث تعتبر هذه القيمة ذات أهمية اقتصادية كبيرة في المصانع الغذائية لأن الماء يعتبر بمثابة اداة مائة رخيصة الثمن

### 2- الثباتية:

✓ يعتمد نمو الكائنات الحية الدقيقة في الغذاء على المحتوى المائي فيه.  
✓ يؤثر محتوى الرطوبة في حفظ وثباتيه بعض الأغذية مثل الحليب المجفف، الخضار والفواكه المجففة حيث يعتمد ملمس وطعم ومظهر وثبات الغذاء على كمية الماء التي تحتويها  
✓ تحديد الشروط الأمثل لتخزين المنتج الغذائي لأطول فترة ممكنة ومعرفة مدى صلاحيته  
3- يعتبر تحديد محتوى الرطوبة أحد المعايير التي يعتمد عليها لتحديد صفات أو هوية المنتج الغذائي  
مثلاً: جبنة الشيدر يجب أن تحتوي أقل من 39% رطوبة، الدقيق المدعم يجب أن يحتوي أقل من 15% رطوبة

4- تحديد القيمة التغذوية للمنتج الغذائي يحتاج معرفة المحتوى المائي أو محتوى الرطوبة فيها  
5- تحديد محتوى الرطوبة ضروري للتعبير عن نتائج باقي مكونات الغذاء من المواد حيث يعبر عنها على أساس الوزن الجاف أكثر من أساس الوزن الرطب.  
6- عمليات تصنيع الأغذية: إن معرفة محتوى الرطوبة ضروري للتنبؤ بسلوك الأغذية أثناء مراحل الإنتاج كإمكانية التدفق عبر الأنابيب أو المزج والتجفيف أو التعبئة والتغليف

### محتوى الرطوبة في الأغذية

يختلف محتوى الرطوبة في الأغذية بشكل كبير كما هو موضح في الجدول التالي وتتأثر القيمة التغذوية للمنتج الغذائي وتحديداً الوارد الطاقى للمنتج الغذائي بمحتوى الرطوبة فكلما ارتفع محتوى الرطوبة انخفض الوارد الطاقى.

يتم اختيار طريقة تحديد محتوى الرطوبة في غذاء ما بناء على كمية الرطوبة المتوقعة في هذا الغذاء، كذلك فإن سهولة إزالة الماء من الغذاء تعتمد على الشكل الذي يتواجد فيه الماء فيه، وعادة ما يتواجد الماء في الغذاء بالشكل الحر أو المرتبط كما سنرى لاحقاً.

<i>Food Item</i>	<i>Approximate Percent Moisture (Wet Weight Basis)</i>
<b>Cereals, bread, and pasta</b>	
Wheat flour, whole-grain	10.3
White bread, enriched (wheat flour)	13.4
Corn flakes cereal	3.5
Crackers saltines	4.0
Macaroni, dry, enriched	9.9
<b>Dairy products</b>	
Milk, reduced fat, fluid, 2%	89.3
Yogurt, plain, low fat	85.1
Cottage cheese, low fat or 2% milk fat	80.7
Cheddar cheese	36.8
Ice cream, vanilla	61.0
<b>Fats and oils</b>	
Margarine, regular, hard, corn, hydrogenated	15.7
Butter, with salt	15.9
Oil-soybean, salad, or cooking	0
<b>Fruits and vegetables</b>	
Watermelon, raw	91.5
Oranges, raw, California navels	86.3
Apples, raw, with skin	85.6
Grapes, American type, raw	81.3
Raisins	15.3
Cucumbers, with peel, raw	95.2
Potatoes, microwaved, cooked in skin, flesh and skin	72.4
Snap beans, green, raw	90.3
<b>Meat, poultry, and fish</b>	
Beef, ground, raw, 95% lean	73.3
Chicken, broilers and fryers, light meat, meat and skin, raw	68.6
Finfish, flatfish (flounder and sole species), raw	79.1
Egg, whole, raw, fresh	75.8
<b>Nuts</b>	
Walnuts, black, dried	4.6
Peanuts, all types, dry roasted with salt	1.6
Peanut butter, smooth style, with salt	1.8
<b>Sweeteners</b>	
Sugar, granulated	0
Sugar, brown	1.3
Honey, strained or extracted	17.1

## 2- أشكال الماء في الطعام:

يتواجد الماء بالأغذية بالشكل التالي:

**الماء الحر Free water:** أي غير المرتبط بأية مكونات أخرى ويحافظ الماء الحر على خواصه الفيزيائية ويعمل بذلك كمحل للألاح وكمعامل مبعثر

**الماء المدمص Adsorbed water:** وهو يرتبط بإحكام إلى جدر الخلايا أو إلى بعض مكوناتها مثل البروتينات

**الماء المرتبط (ماء الإماهة) Water of hydration:** توجد بعض جزيئات الماء في المواد الغذائية بحالة ارتباط كيميائي بجزيئات أخرى وهذه الروابط أقوى بكثير من روابط ماء - ماء الطبيعية وبالتالي يتميز الماء المرتبط بخصائص فيزيائية وكيميائية مختلفة مثلاً:  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ , lactose monohydrate; لا يستطيع الماء المرتبط دعم النمو الميكروبي والتبوغ أو المشاركة بالتفاعلات الأنزيمية وبذلك لا يساهم الماء المرتبط بثبات الغذاء

## 3- طرق تقدير محتوى الرطوبة

لا يوجد الماء في الأغذية بحالة حرة دائماً، أي الشكل الذي يتجمد فيه الماء والشكل الذي يفقد بسهولة بالتبخير لذلك من الصعب تعيين محتوى الرطوبة بشكل دقيق. يتم تحديد محتوى الرطوبة في الأغذية بعدة طرق:

- ✓ التجفيف بالفرن oven drying method
- ✓ التجفيف بفرن التخلية vaccum oven
- ✓ التجفيف بالميكروويف microwave anlyser
- ✓ التقطير distillation
- ✓ الأشعة تحت الحمراء infrared
- ✓ الطرق الفيزيائية physical method
- ✓ الطرق الكيميائية chemical method (معايرة كارل فيشر)



## أولاً: طرق التجفيف والوزن

تعتمد طرق التبخير على قياس كتلة الماء في كتلة معروفة من العينة ويتم تحديد محتوى الرطوبة عن طريق قياس كتلة العينة الغذائية قبل إزالة الماء وبعد إزالة الماء عن طريق التجفيف في جهاز مناسب.

### أجهزة التجفيف المستخدمة:

تعمل أجهزة التجفيف على تزود العينة الغذائية بالطاقة الحرارية لتبخير الماء منها بشكل مباشر (نقل الحرارة في الفرن إلى الغذاء) أو غير مباشر (تحول الإشعاع الكهرومغناطيسي المسلط على الغذاء إلى حرارة نتيجة امتصاص الطاقة من قبل جزيئات الماء) وتعتمد طرائق التجفيف استعمال أحد أجهزة التجفيف التالية:

1.الفرن الحراري

2.فرن التفريغ

3.الميكروويف

ملاحظة هامة: يفترض بالطريقة الوزنية بالتجفيف فقد الماء فقط ولكن في الحقيقة ربما يكون الفقدان لمكونات أخرى في العينة نتيجة ارتفاع درجات الحرارة أو الزمن الطويل اللازم لإزالة كل جزيئات الماء مما يؤدي إلى تغيرات في تركيب الغذاء وفي هذه الحالة لا تكون مقياساً حقيقياً لمحتوى الرطوبة.

### 1-الفرن الحراري:

يتم استخدام هذه الطريقة للأغذية الثابتة في الحرارة (التي لا تتفكك بالحرارة) ويتم قياس محتوى الرطوبة في العينة من خلال تحديد الخسارة في وزن للعينة ولا يتطلب ذلك سوى كمية صغيرة من عينة متجانسة, وعادة ما يتم بدرجة حرارة 100 وأكثر.

### 2- فرن التفريغ:

يتم قياس محتوى الرطوبة في العينة من خلال تحديد الخسارة في الوزن للعينة بعد أن تم تجفيفها في فرن التفريغ ويسمح فرن التفريغ بتجفيف العينات في درجات حرارة أقل من 100 تحت ضغط منخفض عادة ( 25-100 mm Hg) مما يؤدي إلى تخفيض الزمن اللازم لتجفيف العينة حيث بعض العينات تتطلب التجفيف في درجة حرارة 70

### 3- الميكروويف:

يتم تجفيف الرطوبة عن طريق طاقة الميكروويف ويحسب محتوى الرطوبة النسبية تلقائياً ويتميز عن غيره من أفران التجفيف بسهولة وسرعة العمل حيث توضع العينات الموزونة في فرن الميكروويف لوقت معين وبدرجة طاقة محددة ثم تحدد كتلتها الجافة بالوزن يوجد بعض الاعتبارات التي يجب الانتباه إليها أثناء استخدام الميكروويف:

- ✓ يجب أن تكون العينة متجانسة وذات حجم مناسب لكي تحدث عملية التبخير بشكل صحيح
- ✓ يجب أن توضع العينة في مركز الميكروويف.

يتواجد من أجهزة الميكروويف ما يسمى: الميكروويف بالتخلية ويتميز بالسرعة الكبيرة حيث أنه قادر في 10 دقائق على إعطاء نفس النتيجة التي يحتاجها فرق التخلية التقليدي ليعطيها بخمس ساعات وحرارة 100

#### ملاحظات عملية عامة أثناء عملية التجفيف

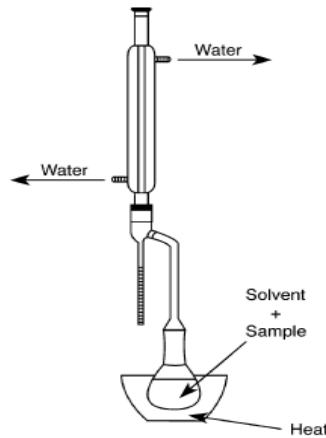
- ✓ أبعاد العينة : يعتمد معدل إزالة الرطوبة على حجم وشكل العينة فكلما زادت مساحة سطح العينة المعرضة للحرارة كلما زاد معدل إزالة الرطوبة وسرعتها
- ✓ نوع الماء : يعتمد سهولة إزالة الماء بطرق التبخير على تفاعلها مع المكونات الأخرى الموجودة في المواد الغذائية ، يعد إزالة الماء الحر من الأغذية هو الأكثر سهولة بينما يحتاج الماء المرتبط كيميائياً إلى مزيد من الحرارة التي تسبب تلف بعض المكونات الأخرى
- ✓ تفكك المكونات الغذائية الأخرى : تتحلل بعض المكونات الحساسة للحرارة في الغذاء إذا كانت درجة حرارة التجفيف عالية جداً أو مدة التجفيف طويلة جداً مما يؤدي إلى تغيير في تركيب المواد الغذائية وبالتالي حدوث أخطاء في تحديد محتوى الرطوبة
- ✓ تطاير المكونات الغذائية الأخرى : غالباً ما يفترض أن نقص وزن الغذاء بالتسخين يرجع كلياً إلى تبخر الماء ولكن تحتوي غالبية الأغذية عملياً على مكونات متطايرة تفقد بالتسخين مثل النكهات أو الروائح، يكون تركيز المواد المتطايرة في معظم المواد الغذائية صغير جداً ويمكن تجاهله أما بالنسبة للأغذية التي تحتوي على كميات كبيرة من المكونات المتطايرة مثل التوابل والأعشاب فمن الضروري استخدام أساليب بديلة لتحديد محتواها من الرطوبة كطرق التقطير أو الطرق الكيميائية

- ✓ العينات عالية محتوى الرطوبة : يتم تجفيف عينات المواد الغذائية عالية محتوى الرطوبة على مرحلتين لمنع تناثر العينة ولتجنب تراكم الرطوبة في الفرن مثل إزالة معظم الرطوبة في الحليب عن طريق التسخين على حمام بخاري قبل التجفيف في الفرن
- ✓ وعاء العينة : ينبغي استخدام أوعية مناسبة تمكن من احتواء العينات ومعاملتها بشكل صحيح عند إجراء تحليل محتوى الرطوبة ، تستخدم عادة أواني الألمنيوم لأنها رخيصة نسبياً.

ثانياً- تحديد محتوى الرطوبة بالأشعة تحت الحمراء  
تتضمن توجيه الحرارة إلى العينة المراد تحديد الرطوبة بها عبر توجيه الأشعة تحت الحمراء عليها ويستخدم لذلك لمبة أشعة تحت حمراء. من ميزات الطريقة السرعة حيث تحتاج العينة إلى 10-25 دقيقة. يجب الانتباه للمسافة بين العينة ومصدر هذه الأشعة كما يجب الانتباه لسماكة العينة. لا تعبر من الطرق المعتمدة من قبل AOAC

ثالثاً- تحديد محتوى الرطوبة بالتقطير

- ✓ تتضمن عملية تقطير الرطوبة من العينة الغذائية باستخدام محل عضوي ذو نقطة غليان عالية أكثر من الماء، بالتالي يتبخر الماء قبل تبخر المحل العضوي، ومن ثم تتم عملية تكثيف الماء وأخيراً وزنه.
  - ✓ من المحلات المستخدمة: التولوين, الكزولين, تتراكلور الاثيلين.
  - ✓ يمكن إجراء عملية التقطير بشكل مباشر أو عبر نظام الريفلوكس
  - ✓ من ميزات طرق التقطير أنها تسبب تخرب لمكونات العينة الغذائية أقل من طرق التجفيف بالأفران.
- تعتبر من الطرق المعتمدة من قبل AOAC في تحديد محتوى الرطوبة بالبيهارات



Apparatus for reflux distillation of moisture from a food. Key to this setup is the Bidwell-Sterling moisture trap. This style can be used only where the solvent is less dense than water.

رابعاً- الطرق الفيزيائية بتقدير محتوى الرطوبة:

مثل أجهزة **Hydrometry** : تعتمد على قياس الثقل أو الكثافة النوعية **gravity** ومن أنواعها:

**Lactometry , Refractometry , Alcoholmetry**



خامساً-الطرق الكيميائية لتحديد محتوى الرطوبة (طريقة كارل فيشر):  
تعتبر طريقة كارل فيشر طريقة مباشرة لتحديد محتوى الرطوبة في الأغذية حيث يمكن وبشكل خاص تحديد مستويات الرطوبة المنخفضة أقل من 1% .

تكون معايرة كارل فيشر مفيدة بشكل خاص للعينات التي محتواها السكري أو البروتيني عالي أو التي قد تتحلل في طرق التجفيف والوزن التي ذكرناها سابقاً.

تعتمد طريقة كارل فيشر على التفاعل بين اليود وثاني أكسيد الكبريت بوجود الماء، حيث يقوم اليود بأكسدة ثاني أكسيد الكبريت ولا يحدث هذا التفاعل إلا بوجود الماء بحيث أن كل مول من الماء يتطلب مول واحد من اليود في نقطة نهاية المعايرة. تعابر العينة حتى الحصول على لون اليود الثابت مما يدل أن جميع الماء قد تفاعل.

يتوفر حالياً أجهزة آلية لمعايرة كارل فيشر تعتمد على الطرق الكهركيماوية في التحليل



**KARL FISCHER TITRATOR**

4- تأثير الماء على صلاحية المنتج  
يعتبر التجفيف و/أو الحفظ في حرارة منخفضة من أقدم طرق حفظ الأغذية ذات المحتوى المائي العالي.  
يجب تجفيف المنتج أو تجميده لفترة محددة بحيث تكون النوعية المطلوبة مؤكدة أو مضمونة  
خلال فترة الحفظ. عادة ما تكون عملية التجميد أو التجفيف بشكل تكون فيه الشروط مدروسة ولكل مركب  
على حدي.

#### 5- النشاط المائي (aw) water activity

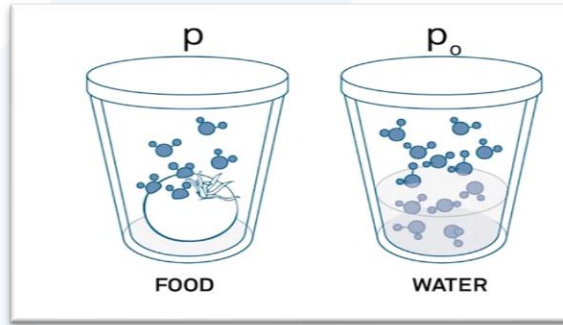
إن نوعية أو جودة الغذاء quality أثناء التخزين تعتمد على مفهوم النشاط المائي water activity أكثر من  
المحتوى المائي water content والسبب في ذلك يعود إلى الاختلاف في طريقة ارتباط الماء مع باقي  
مكونات الغذاء بحيث أن الماء المترابط بقوة مع باقي المكونات لا يساهم بقوة في النمو الجرثومي  
أو التفاعلات الكيميائية في الغذاء.  
يُعبّر عن كمية الماء الحر الكلي في الطّعام بمصطلح النشاط المائي water activity aw ويُعبّر عن هذا  
المُعامل بعلاقة:

$$aw = p/p_0$$

p: ضغط بخار الماء في الغذاء

p<sub>0</sub>: ضغط بخار الماء النقي عند نفس درجة الحرارة

تتراوح قيمة النشاط المائي aw من 0 (غياب الماء) إلى 1.0 (الماء النقي)



يتناقص النشاط المائي للأغذية:

✓ بالتجفيف

✓ بالتجميد

✓ استخدام الأملاح والمواد الرابطة. يظهر في الجدول التالي النشاط المائي لبعض الأغذية:

## Examples of aw values of several foods

fresh, raw fruits, vegetables, meat, fish	>0.98
Coked meat, bread	0.91-0.95
Cured meat, cheeses	0.91-0.95
Fermented sausages	0.83-0.87
jams	0.75-0.80
Honey	0.75
Dry cereals	0.65-0.75
Pastry fillings	0.65-0.71
Candies	0.60-0.65
Sugars, syrups	0.60-0.75
Cake and pastries	0.60-0.90
Dried fruits	0.60-0.75
Powdered milk, dried pasta, spices	0.20-0.60

7-1- تأثيرات النشاط المائي على حفظ الأغذية:

1- تأثير النشاط المائي على نمو الجراثيم والفطور

إن انخفاض النشاط المائي سيبيطى لنمو الجرثومي، وعادة فإن الأغذية ذات النشاط المائي 0.6-0.9 أو التي تعرف بأنها ذات محتوى الرطوبة المتوسط تكون عادة محمية من التخربات الجرثومية، لذلك فإن إحدى استراتيجيات حفظ الأغذية هو إنقاص الفعالية المائية من خلال إضافة بعض المواد التي تربط الماء مثل السكروز، الملح، وغيرها.

لا تنمو معظم الجراثيم المتبوعة بنشاط مائي تحت 0.91 حيث جرثومة المطثية الوشيقيّة *Clostridium botulinum* إيجابية الغرام لا تنمو بنشاط مائي دون 0.94 في حين تستطيع جرثومة العنقودية الذهبية *Staphylococcus aureus* إيجابية الغرام والغير متبوعة أن تنمو بنشاط مائي 0.86، وإجمالاً، تحتاج الجراثيم سلبية الغرام لتنمو إلى درجات أعلى من النشاط المائي مقارنة مع ايجابية الغرام. تحتاج الجراثيم إلى مستويات أعلى من النشاط المائي حتى تنمو مقارنة مع الفطور، حيث تستطيع فطريات العفن النمو عند نشاط مائي 0.80 ويمكن للخمائر أن تنمو عند قيمة نشاط مائي تبلغ 0.61، وبذلك تستطيع فطريات العفن والخمائر أن تنمو عند مجال أكبر من تدرجات aw مقارنة مع الجراثيم

2. تتباطأ التفاعلات المحفزة بالإنزيمات (خاصة الحلمهة) عند النشاط المائي المنخفض
3. تتباطأ تفاعلات السمرة غير الإنزيمية عند النشاط المائي المنخفض
4. على العكس من ذلك، فإن تفاعلات الأكسدة الذاتية ستزداد في الأغذية المجففة عند انخفاض النشاط المائي