المقدمة

ظهرت الأهمية البالغة لحفظ الأغذية بعد التزايد الهائل وعلى شكل كبير في أعداد السكان في الدول والبلدان المتعدّدة بحاجاتها الغذائية وأنواع منتجاتها الغذائيّة. وبالتالي كان وما يزال الأمن الغذائي من أهم القضايا التي تسعى الحكومات والدول للحفاظ عليها مستقرة وضمن مجال السيطرة، ومن خلال الثورات العلمّية التي اجتاحت العالم أخذ العلماء بالسعي الحثيث والتفكير المطوّل والبحث العلمي العميق والدقيق لاستنباط التقنيات والطرق العلميّة المؤدّية لحفظ المواد الغذائيّة ومحاولة السيطرة على الحاجة المتزايدة للغذاء.

واعتمادا على الطرق القديمة لحفظ الأغذية التي اعتمدها الإنسان استند العلماء على طريقة حفظ الأغذية بالتجفيف كتقنية علميّة يمكن لها تحقيق الغاية المطلوبة. ومن الطرق القديمة في تجفيف الأغذية اعتماد الإنسان على تجفيف الأغذية بواسطة أشعة الشمس وهي طريقة قديمة منتشرة في بلدان حوض البحر الأبيض المتوسّط وبلدان الشرق الأدنى ومن الأغذية التي ماتزال تجفف بواسطة الأشعة الشمسة المشمش والعنب والتّين. وقد قام السكان الأصليون لأمريكا اللاتينية (الهنود الحمر) بتجفيف البطاطا والذرة ولحم الجاموس الأمريكي.

ومع التطوّر العلمي الذي شهدته البشرية تمّ التوسّع في طرق التجفيف وإنشاء وتصميم آلات تعتمد الطاقة الحراريّة بمصادرها المتعدّدة في تخفيض نسبة الرطوبة الموجودة في المادّة الغذائيّة وهو ما يعرف بالتجفيف الصناعي الذي بدء في القرن الثامن عشر في المملكة المتّحدة وألمانيا وانتشر بشكل كبير في الولايات المتّحدة الأمريكية.

ويتميّز التجفيف الصناعي بقلّة تكاليفه عند المقارنة مع التكاليف المترتّبة في طرق حفظ الأغذية الأخرى وأيضا يتميّز بقلة عدد الأيدي العاملة التي يمكن أن يحتاجها بالإضافة إلى محدوديّة آلاته والانخفاض النسبي في مساحات التخزين التي تلزمنا عند تخزين الأغذية المجفّفة مقارنة مع تلك المساحات التي نحتاجها في تخزين الأغذية المصنعة بطرق أخرى بالإضافة إلى انخفاض تكاليف النقل والتوزيع.

1-1 مقدمة

تعرف عملية تجفيف المواد الغذائيّة على أنها تطبيق طاقة حراريّة ضمن حالات محدّدة وذلك لإزالة قسم رئيسي من الماء المتواجد بشكل طبيعي في المادة الغذائية وبالتالي انخفاض المحتوى المائي في المادّة الغذائية ورفع تركيز موادها الصلبة الذائبة وذلك اعتمادا على التبخير أو بالتسامي في حالة التجفيد.

والهدف الرئيسي لنزع الماء هو إطالة عمر الغذاء من خلال إنقاص فعالية الماء بشكل يمنع نمو الميكروبات وفعالية الأنزيمات ولكن حرارة الإجراء تكون غير كافية لتسبّب إتلاف هذه الميكروبات. لذلك فإن أي زيادة في الرطوبة خلال التخزين وذلك عند حدوث ظروف سيئة وضارّة بعمليّة التخزين سوف تؤدّي لفساد الغذاء.

وتعتبر عملية التجفيف ناجحة طالما بقيت المادّة الغذائيّة محتفظة بمركباتها الغذائيّة من أي تلف أو انحلال أثناء التجفيف والتخزين وكذلك سرعة امتصاصها للرطوبة ثانية عند نقعها بالماء أو عند إعادة تحضيرها أو إعدادها للاستهلاك أو التّصنيع بحيث تأخذ ما أمكن شكلها الطبيعي الطازج.

2-1 الأسس الفيزيائيّة لعمليّة التجفيف

الرطوبة المطلقة:

هي وزن بخار الماء الموجود في وحدة وزن معروفة من الهواء الجاف

ويمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية:

$$H_a = \frac{m_e}{m_a}$$

حيث m_e : كتلة الهواء الجاف

m_a : كتلة بخار الماء

ويمكن التعبير عن الرطوبة المطلقة أيضا بواسطة أجزاء الكتلة أو الضغوط الجزئيّة فإذا كان :

P_e هو الضغط الجزئي لبخار الماء في مزيج الهواء– بخار

P هو الضغط الكلّي يمكن أن نكتب المعادلة التالية:

$$H_a = \frac{P_e}{P+P_e} * \frac{8}{29}$$

الرطوبة النسبية:

وهي النسبة المئويّة لوزن بخار الماء الموجودة في حجم معيّن من الهواء على وزن بخار الماء الذي يمكن أن يشبع نفس الحجم من الهواء وذلك عند نفس الدرجة من الحرارة.

الحرارة النوعيّة:

وهي الكمية اللازمة من الحرارة لرفع درجة حرارة واحد كيلو غرام من مادة ما درجة مئوية واحدة وهنا يجب التذكير أن الحرارة النوعيّة تختلف باختلاف نوع المادّة الغذائيّة حيث ترتفع الحرارة النوعيّة مع ازدياد الرطوبة النسبيّة للمادة.

الحرارة الكامنة للتبخير:

وهي كمية الحرارة اللازمة لتحويل كيلو غرام واحد من الماء المقطّر من الحالة السائلة إلى الحالة الغازيّة عند نفس درجة الحرارة.

درجة حرارة المستودع الرطب:

نستطيع أن نعرف درجة حرارة المستودع الرطب لحجم معيّن من الهواء بأنّها عبارة عن درجة الحرارة الّتي يشير إليها ميزان حرارة موضوع في طريق تيار الهواء المتدفق المدروس عندما تكون سرعته 3 m/sec حيث يكون الانتفاخ السفلي لميزان الحرارة محاطا بفتيلة مبلّلة بشكل دائم بالماء. تكون درجة الحرارة التي يشير إليها ميزان الحرارة المذكور سابقا أخفض من درجة الحرارة التي يشير إليها ميزان الحرارة الجاف الموضوع في نفس تيار الهواء.

نقطة النّدى:

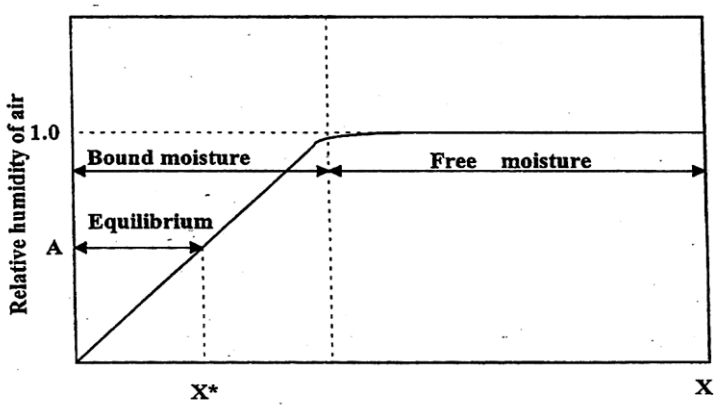
وهي درجة الحرارة التي يتم عندها إشباع حجم معين من الهواء ببخار الماء بحيث أنه عند انخفاض درجة الحرارة أو ازدياد كمية بخار الماء يبدأ البخار بالتكاثف.

3-1 تصنيف رطوبة المادّة الغذائيّة

تتواجد الرطوبة في المادّة الغذائيّة على شكلين: رطوبة حرّة أو ما يسمّى بالماء الحر ورطوبة مرتبطة أو ما يدعى بالماء المرتبط. فالرطوبة التي على شكل ماء مرتبط تتواجد في أوعية شعرية دقيقة أو تكون ممتزّة على سطح الخلية أو داخلها أو على جدران الألياف أو على شكل اتحاد فيزيائي أو كيميائي مع المادّة الصلبة.

يمارس الماء المرتبط ضغط بخار توازني أقل من الضغط التوازني الذي يمارسه الماء الحر عند نفس درجة الحرارة.

كما أنه للفرق بين الماء الحر والماء المرتبط أهميّة بالغة فهو يشكل خاصيّة نوعيّة للمادة الغذائية، فإذا جفف الغذاء بهواء ذي رطوبة نسبية معيّنة A فإنه سيفقد معظم ماءه الحر وجزء من مائه المرتبط. (لا يوجد أي تعليق على الشكل 1-1).



الشكل (1-1) مخطط نزع رطوبة المادة الغذائيّة

1-4 العوامل المؤثرة على عمليّة التجفيف

هناك عدة عوامل تلعب دورا أساسيا في التحكّم بسرعة عمليّة التجفيف وذلك لضمان الحصول على المنتج الغذائي المطلوب ذي المواصفات الفيزيائيّة والكيميائيّة الجيّدة والذي يكون قابل للحفظ لفترة طويلة من الزمن دون أن يحدث تغيّر في المواصفات الجيدة فيه، ومن هذه العوامل:

1- درجة حرارة هواء التجفيف:

تعتمد درجة حرارة الهواء المستخدم في عملية تجفيف المواد الغذائيّة على نوعيّة تلك المادة الغذائية وعلى حجمها وسماكة الطبقات الخاضعة لعملية التجفيف. حيث تتراوح درجة

الحرارة للهواء المستخدم في عملية التجفيف ضمن المجال °C (45-85) حيث يُنصح بعدم تجاوز الدرجة °C 100 إلا في الأغذية المحتوية على قيمة ڤيتامينية عالية.

2- سرعة هواء التجفيف:

مع ازدياد سرعة مرور الهواء في المجفف الصناعي تزداد سرعة عمليّة التجفيف وبالتالي ازدياد سرعة نزع بخار الماء من المادة الغذائيّة وإخراجه إلى خارج المكثّف حيث تتراوح سرعة هواء المجففات m/sec (50-325)، وتعتمد سرعة هواء التجفيف على نوع المادة الغذائيّة المجففة وحجمها وسماكة الطبقات من المادة الغذائية المحملة على صواني التجفيف.

ولتسريع عملية التجفيف في مراحله الأولى يتم عادة تطبيق سرعات تتراوح بين (300-200) m/sec. حيث أن ازدياد سرعة الهواء في هذه المرحلة عن الحد المذكور سابقاً يجعل عملية التجفيف غير اقتصادية بسبب الزيادة في الفقد الحراري داخل المجفف المستخدم، أمّا انخفاض سرعة الهواء في المراحل الأولى من التجفيف يزيد من زمن التجفيف حيث تكون الرطوبة النسبيّة للمادة الغذائيّة عالية.

3- الرطوبة النسبية للهواء:

كلما كانت الرطوبة النسبيّة للهواء الساخن الداخل للمجفّف منخفضة ازدادت قدرة الهواء على حمل الماء المتبخّر وبالتالي تسريع عملية التجفيف إلا في حالة المواد الغذائية التي تتعرض لظواهر الجفاف السطحي كالبطاطا والبازلاء.

4- نوعية المادة الغذائيّة:

إن لنوعيّة المادة الغذائيّة الخاضعة لعمليّة التجفيف أهميّة بالغة في تحديد عملية التجفيف والتأثير عليها، فنظراً لنوعيّة المادة الغذائيّة وشكلها أو حجمها أو أوزان القطع الغذائية المأخوذة من تلك المادة الغذائيّة المعدّة للتجفيف بالإضافة إلى نسبة الرطوبة الموجودة فيها يمكننا اختيار طريقة التجفيف الملائمة.

5- الطريقة المعتمدة للتجفيف:

يتم تحديد طريقة التجفيف التي يجب اعتمادها تبعاً لنوعيّة المادّة الغذائيّة المراد تجفيفها وحالتها الفيزيائيّة كما أنّه من خلال تحديد طريقة التجفيف نستطيع تأمين السرعة اللازمة والمناسبة لعمليّة التجفيف المطلوبة للمادة الغذائيّة حيث نختار طرق التجفيف بالتفريغ

للمواد ذات القيمة الڤيتامينية العالية بهدف الحفاظ عليها من التلف. كما أنّنا نستخدم طرق تجفيف أخرى عند درجات حرارة أعلى عند تجفيف الخضار والفواكه بهدف الحصول على الرطوبة النهائيّة المطلوبة.

5-1 حركيّة عملية التجفيف

تجفيف المواد الصلبة عادة يشير إلى نزع السوائل من المواد الصلبة بالتبخير، وليس بالطرق الميكانيكية، أيضاً هذه العمليات تستخدم بشكل شائع، لأنها أرخص وأسهل في الاستخدام.
وبالتالي لابد من توضيح بعض المفاهيم التالية:

1- الوزن الرطب: Wet Weight : هو العلاقة بين وزن الماء في الصلب الرطب والوزن الكلي للصلب الرطب.

2- الوزن الجاف: Dry Weight : هو العلاقة بين وزن الماء في المادة الصـــلبة ووزن المادة الصلبة نفسها بعد تجفيفها كلياً، من المفضل استخدام مفاهيم الوزن الجاف عند القيام بأي تجربة حيث أن الرطوبة تتغير بشكل دائم ومستمر.

3- تغير الرطوبة غير المســتهدفة: Non achieved humidity variety : هي العلاقة بين الرطوبة في أي لحظة من عملية التجفيف والرطوبة الأولية.

4- محتوى الرطوبة الحرج: Critical humidity content : هو محتوى الرطوبة المتوســـط حال انتهاء فترة السرعة الثابتة.

5- محتوى الرطوبـة الموازن: Balance humidity content : هو الرطوبـة الحـديـة التي تحويها المادة الصلبة حتى يتم تجفيفها عند درجة حرارة محددة ورطوبة محددة للهواء.

6- محتوى الرطوبة الحر: Free humidity content : هو الســـائل الذي تم نزعه من المادة الصلبة عند درجة حرارة ورطوبة محددة ، وهذا يشمل الرطوبة المتبقية.

7- التوزع الداخلي: Internal diffusion : هو حركة الســـائل أو المواد الملوثة، التي تحدث داخل المادة الصلبة كنتيجة لمستويات مختلفة من تركيز الرطوبة.

8- التوزع الأولي للرطوبة: Initial humidity distribution : هو توزع الرطوبة في المادة الصلبة عندما تبدأ عملية التجفيف.

9- محتوى الرطوبة للمادة الصـلبة Humidity content : هو الرطوبة في كل وحدة مسـتقرة من وزن المادة الصلبة جافة أو رطبة.

10- تدرج الرطوبة للمادة الصـلبة Humidity gradient : هي توزع الماء في المادة الصـلبة في أي لحظة من عملية التجفيف.

11- التدفق أو الجريان الشـــعري: Capillary flow :هو تدفق الســـائل عبر الفراغات البينية وعلى سطح المادة الصلبة، وهي ناتجة عن الانجذاب الجزيئي بين الصلب والسائل.

12- الرطوبة غير المحتجزة: Non retained humidity: في مادة هيدروسكوبية (مائية) هي الكمية الفائضــة من الرطوبة تبعاً لمحتوى الرطوبة المتوازن من الإشــباع بالرطوبة. محتوى الماء الكلي لمادة غير هيدروسكوبية ليست الماء المحتجز.

13- الرطوبة المحتجزة: Retained humidity : في المادة الصـــلبة هي الســـائل المتبقي محتجزاً في الشـــعيرات المتشـــابكة عند درجة حرارة معينة، اما بالانحلال في الخلايا أو الجدران النســـيجية أو بالانحلال المتجانس عبر الصـــلب، أو بالامتزاز الكيميائي والفيزيائي عبر ســـطح المادة الصلبة.

14- المادة غير الهيدروسكوبية: هي المادة التي تحوي رطوبة محتجزة.

15- فترة الســـرعة الثابتة: Constant speed period : هي فترة زمنية من عملية التجفيف التي فيها يكون إزالة الماء من أي واحدة سطح ثابتة.

16- فترة تناقص الســـرعة: هي واحدة من الفترات الزمنية من عملية التجفيف التي فيها ســـرعة التجفيف اللحظية تتناقص بشكل مستمر ودائم وثابت.

17- نقطة الإشــباع الليفية: هي محتوى رطوبة المواد الخلوية (مثال الخشــب، الخشــب الخلوي (الليفي) مشبع بشكل كامل، بينما التجاويف لا تحوي أي سائل إطلاقاً، عادة هي محتوى الرطوبة التوازني عندما تصل رطوبة البيئة المدروسة إلى الإشباع.

<u>شروط التجفيف العامة</u>:

تجفيف المواد الصلبة يتألف من عمليتين مترافقتين أساسيتين:

1- انتقال الحرارة للسائل حتى يتبخر.

2- انتقال المادة إما كســائل أو بخار داخل المادة الصــلبة وكبخار من ســطح المادة الصــلبة.

العوامل التي تتحكم هي سرعة هذا النوع من العمليات التي تعرف بسرعة التجفيف.

العمليات الصـــناعية يمكن أن تســـتخدم، انتقال الحرارة بالإشـــعاع والحمل أو حتى بثلاثة طرق مجتمعة، لكن بغض النظر عن الطريقة التي تستخدمها، الحرارة يجب أن تتدفق أولاً باتجاه سطح المادة الصلبة، بعدها إلى داخل المادة الصلبة.

أثناء العملية، المادة تنتقل كســائل أو كبخار داخل المادة الصــلبة، وأيضــاً كبخار الذي يغادر سطح المادة الصلبة، الحركة داخل المادة الصلبة تحدث بسبب تدرج تركيز الرطوبة التي تعتمد على مواصــفات المادة الصــلبة. دراســة تجفيف المادة الصــلبة يمكن أن تعتمد على آلية

التدفق الداخلي للسائل أو على كيفية عمل الشروط الخارجية، مثل درجة الحرارة والرطوبة، التي تؤثر على سرعة التجفيف من المادة الصلبة.

الاستخدام الأكثر شيوعاً هو الثاني، حيث أن نتائجها قابلة للتطبيق بشكل أسهل في تصميم وتقييم الوحدات.

مراحل عملية التجفيف

بنية المادة الصلبة تحدد آلية التدفق الداخلي للسائل، بعض أنواع هذه الآليات هي:

1- التوزع في مواد صلبة مستمرة ومتجانسة.

2- التدفق الشعري في المواد الصلبة المسامية والحبيبية.

3- التدفق الذي يحدث بسبب تدرج الضغط والتركيز.

4- التدفق الذي يحدث بوساطة الجاذبية.

5- التدفق الذي يحدث بتتالي عملية التبخير والتكثيف.

عادة أثناء عملية التجفيف، واحدة من هذه الآليات تسيطر داخل المادة الصلبة لفترة زمنية محددة، لكن وجود الآليات المختلفة في نفس العملية، كل منها يسيطر في فترات زمنية مختلفة، هو شائع أيضاً. التصنيف التالي للمواد الصلبة يعتمد على التدفق الشعري والتوزع وقد تم اعداده من قبل Houguen , Mc Cauleyand Marshall .

a) التدفق الشعري: الرطوبة المحتجزة داخل تقاطعات المادة الصلبة إما كسائل في سطح المادة الصلبة أو كرطوبة حرة في تجاويف الخلية ، التدفق بسبب الجاذبية والشعرية ، يستمر طالما هناك ممرات كافية للتدفق المستمر ، في عمليات التجفيف ، تدفق السائل يحدث بسبب الفعل الشعري و تأثيراته على هذه السوائل ، وهي ليست في محلول ، الرطوبة فوق مستويات الإشباع الليفي مثال: النسيج – الورق – الجلد ويسبب الرطوبة فوق مستويات الرطوبة الموازنة مثل: البودرة الناعمة. والمواد الصلبة الحبيبية مثل: صبغة الدهانات والمواد المعدنية، الغضار، التربة، الرمل.

b) توزع البخار: على حساب توزع البخار تتدفق الرطوبة عبر المادة الصلبة إذا كان تدرج درجة الحرارة التي تسبب حدوث تدرج ضغط البخار ، التبخر والتوزع يمكن أن يحدث في أي مادة صلبة الذي فيه سطح بعض الحبيبات تسخن وسطح البعض الآخر يجفف ، لهذا السائل يبقى منعزلاً بين هذه الحبيبات.

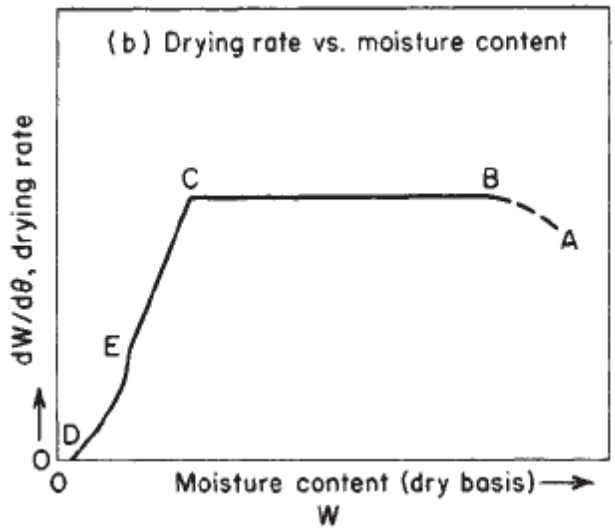
c)توزع السائل: مستويات محتوى الرطوبة الموازنة التي هي أصغر من مستويات نقطة الإشباع الجوي والأنظمة التي فيها الرطوبة والمواد الصلبة منحلة هي فقط الحالات التي تتأثر بتدفق توزع

السـائل ، المثال الأول محدد بالفترات الأخيرة من عملية تجفيف الغضـار ، النشـاء، الطحين ، القماش ، الورق والخشب ، المثال الثاني يتضمن تجفيف: الصابون ، المطاط والمعكرونة.

d) الشروط الخارجية: المتغيرات الخارجية الرئيسية النسبية في أي عملية تجفيف هي درجة الحرارة ، الرطوبة ، تدفق الهواء ، حالة انقسامات المادة الصلبة ، إثارة أو تحضير المادة الصلبة ، طريقة تدعيم المادة الصلبة وتماس السطوح الحارة والمادة الصلبة الرطبة ، لكن هذه المتغيرات لا يكون من الضروري أن تظهر في كل عملية تجفيف.

يعتمد معدل التجفيف المواد على خواص هذه المواد مثل، الكثافة الحجمية، محتوى الرطوبة الأولية وعلاقتها بمحتوى الرطوبة التوازنية تحت ظروف التجفيف.

من الضروري تجنب المعدل الاعظمي للتجفيف إذا كانت نتائجه، الانكماش، تقسية السطح، تشقق السطح أو بعض التأثيرات الأخرى غير المرغوبة أثناء تجفيف المواد الغذائية الصلبة. ويوضح الشكل (1–2) المنحني الحركي لعملية التجفيف.



الشكل (1-2) المراحل الحركيّة لعمليّة التجفيف

- فترة سرعة التجفيف الثابتة:

تتميز مرحلة ثبات معدل التجفيف(CB) بتبخر الرطوبة من السطح المشبع، وتتضمن انتشار بخار الماء من السطح المشبع للمادة عبر غشاء الهواء إلى كتلة الهواء المحيط. حركة الرطوبة داخل الجسم الصلب كافية للمحافظة على حالة الإشباع للسطح، ودرجة حرارة السطح تبقى ثابتة وتقترب من درجة حرارة المستودع الرطب. ومعدل التجفيف يتم التحكم به بمعدل انتقال الحرارة إلى السطح. معدل تبخر الماء في فترة ثبات المعدل الذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$N_c = kg.A.(P_s - P_w)$$

حيث:

N_c – معدل تبخر الماء [kg/hr]

kg – عامل انتقال المادة الكلي لغشاء الغاز

P_s – ضغط بخار الماء عند درجة حرارة السطح

P_w – ضغط بخار الماء الجزئي في تيار الهواء

A – مساحة سطح المنتج المعرض للتجفيف

عندما تنتقل الحرارة في هذه الفترة باســـتخدام غاز حار، فإن توازن ديناميكي بين ســـرعة انتقال الحرارة (w) وتحرر البخار من السطح (θ) .

$$\frac{dw}{d\theta} = h_t.A.\frac{\Delta t}{\lambda} = kg.A.\Delta P$$

حيث : **dw / dθ** [**s** / ماء **kg**] هو سرعة التجفيف.

h_t [**J /(m².s.kg)**] هو المعامل الكلي لانتقال الحرارة.

A [**m²**] هو المساحة التي يحدث فيها انتقال الحرارة والتبخر ،

λ [**J / kg**] هو الحرارة الكامنة للتبخر عند درجة حرارة t_s .

kg [**kg / (s.m².atm**] هو معامل انتقال الكتلة.

Δt هو الفرق بين **t** و **t_s** وتشير إلى درجة حرارة المستودع الجاف.

[**k**] التي فيها t هي درجة حرارة الغاز.

[**Δ P**] هو الفرق بين **P_s** (الضغط الجزئي لبخار الماء عند درجة حرارة السطح **t_s** في الجو المحيط) و **P** (الضغط الجزئي لبخار الماء في الغاز في المحيط).

- فترة تناقص السرعة:

عندما لا يعود سطح المادة الغذائية يستقبل الماء الحر فان الضغط الجزئي لبخار الماء على سطح المادة الغذائية يبدأ بالانخفاض تدريجيا، كذلك فان معدل التجفيف ينخفض أكثر فأكثر. إن الظاهرة التي تحدد معدل التجفيف هي بالفعل انتقال الماء والبخار من داخل المادة إلى سطحها، يكون هذا الماء مرتبطا بمكونات الغذاء ويكون انتقاله عبر الطبقة الجافة بطيء جداً. إن رفع درجة الحرارة المادة الناتجة هو وحده فقط الذي يمكن أن يؤمن حرارة نزع الماء الممتز وزيادة ضغط بخار ماء الغذاء، وأيضا تجنب أن تصبح شرعة التجفيف مهملة. يحدث مثل هذا الرفع لدرجة الحرارة تلقائيا لأن التبريد بواسطة التبخر سيصبح مهملا، وتنتقل درجة حرارة المادة من درجة حرارة المستودع الرطب للهواء إلى درجة حرارة المستودع الجاف للهواء. ومن الضروري بشكل عام خفض

درجة حرارة الهواء خلال فترة هبوط معدل التجفيف وذلك بسبب الحساسية الحرارية للأغذية، كما انه من الضروري استخدام هواء ضعيف الرطوبة النسبية في نهاية عملية التجفيف.

وكما هو واضح في الشكل (1−2) بأن النقطة (C) تعادل القيمة الحرجة للرطوبة الحرة، وإنّ تقدّم الرطوبة نحو السّطح وفق المنحني (CED) يتعرض للإعاقة وبالتالي تنخفض نسبة تحرك الماء من الداخل إلى السطح تحت النسبة التي يتبخر بها الماء إلى الهواء المحيط ولذلك يبدأ السطح بالجفاف تدريجيا وفق المنحني (CE) وفي النقطة (E) يجف سطح المادة الغذائية بشكل كامل حيث أن الماء الداخلي يتم تبخيره فوراً حال بلوغه إلى السطح، وحسب المنحني (ED) نجد بأن المادة الصلبة تجف تدريجيا باتجاه الداخل ولا بد لبخار الماء من أن ينفذ عبر المادة الصلبة نحو الخارج.

فترة هبوط المعدل هي عادة الفترة الأطول لعملية التجفيف وفي بعض الأغذية (مثل الحبوب) فإن محتوى الرطوبة الأولية يكون تحت محتوى الرطوبة الحرج، وفترة هبوط المعدل هي الفترة الوحيدة الملاحظة في منحني التجفيف.

معاملات انتقال الحرارة :

في ظاهرة انتقال الحرارة بالحمل، تعتمد معاملات انتقال الحرارة على التصـــميم الهندســـي للوحدة وعلى سرعة الغاز وسطح التبخر وعلى مواصفات غاز التجفيف.

في العديد من عمليات التجفيف، يتم التعبير عن معامل انتقال الحرارة كما يلي :

$$h_c = \alpha G^N / D_c.P$$

$\mathbf{h_c}$ [J /msik] هو معامل انتقال الحرارة.

$\mathbf{G}$ [kg / cm² . s] هو سرعة غاز التجفيف.

$\mathbf{D_c}$ [m] هي الأبعاد التوصيفية للنظام.

$\mathbf{N , P , \alpha}$ ثوابت تجريبية.

وعندما يكون انتقال الحرارة بالتوصـــيل والاشـــعاع مهملاً غير هاماً، ســـرعة التجفيف الثابتة من سطح المادة الصلبة يعبر عنها كما يلي :

$$\frac{dw}{d\theta} = \left[\frac{\alpha.G^N.A}{\lambda.D_c^m}\right]\left(t - t_s^{`}\right)$$

حيث $dw/d\theta$ [مادة صلبة جافة **CS.kg** / ماء **kg** هي سرعة التجفيف.

$\mathbf{h_t}$ [J / (m².s.kg)] هو معامل انتقال الحرارة الكلي.

$\mathbf{A}$ [$\mathbf{m^2}$] مساحة التبخر وانتقال الحرارة.

λ [**J /kg**] هو الحرارة المكافئة للتبخر عند درجة حرارة $t`_s$.

$\Delta \mathbf{t} = \mathbf{t} - \mathbf{t`_s}$ حيث **t** هو درجة حرارة الغاز التي تعني درجة حرارة الميزان أو المستودع الجاف.

$t`_s$ هي درجة حرارة المستودع الرطب أو الميزان الرّطب عندما يكون الغاز هو الهواء والسائل هو الماء.

في حالة تدفق الهواء من فتحات أو من مرذذات أو من صفائح مثقبة، التي ترتطم بالسطح، فإن عامل انتقال الحرارة يمكن أن يتم الحصول عليه من

علاقات مولر – فريدمان: $\mathbf{h = \alpha\ Gr^{0.75}}$ ، حيث **Gr** سرعة مركز الكتلة تعتمد على المساحة الكلية لانتقال الحرارة وتعتمد على حجم الصفيحة والثقوب والفتحات وعلى الفراغ بين سطح انتقال الحرارة والصفيحة أو الثقوب والفتحات.

الأساس في صناعة التجفيف:

إن تجفيف الأغذية يعني خفض نسبة الرطوبة بالمادة الغذائية إلى الحد الأقصى وتحت ظروف محددة من درجة الحرارة والرطوبة النسبية خلال فترة من الزمن محددة ومناسبة. وتجري عادة عملية التجفيف إما باستعمال حرارة الشمس الطبيعية وتدعى بطريقة التجفيف الشمسي أو باستعمال مجففات مصممة خصيصاً لتحمل درجات الحرارة المناسبة وتدعى الطريقة بالتجفيف الصناعي حيث تطرد الرطوبة من الأغذية الطازجة ليتم تخزينها.

هذا ويعتبر الهواء الوسيلة العملية لنقل الحرارة إلى المواد الغذائية المراد تجفيفها. وقد يستعاض في بعض المجففات بغاز خامل كيميائياً كوسيلة لنقل الحرارة وعادة يعاد إمرار جزء من الهواء أو الغاز الخارج من المجفف بعد مزج كل منهم بالهواء أو الغاز المجفف للاستفادة من الحرارة المتبقية بعد كل عملية تجفيف. ويقدر هذا الجزء بحوالي ثلاثة أرباع إلى خمسة أسداس كمية الهواء أو الغاز الداخل إلى المجفف في حالة تجفيف الفواكه لكن هذه الطريقة لا تتبع في حالة تجفيف الخضراوات لأن درجة الرطوبة فيها عالية جداً. وتتأثر عملية التجفيف بعوامل عديدة أهمها:

1- نسبة وصفات الرطوبة الموجودة في المادة الغذائية:

وتختلف نسبة الرطوبة من مادة غذائية إلى أخرى اختلافاً كبيراً وعليها تتوقف فترة وكمية الحرارة اللازمة في التجفيف. أما المواصفات الكيميائية للرطوبة فهي التي تحدد نوع التجفيف وبالتالي يعتمد عليها في تحديد كل العمليات في صناعة التجفيف وتوجد الرطوبة في المادة الغذائية على شكلين:

أ- الماء المرتبط ويقسم إلى قسمين:

1- جزيئات الماء المرتبط إلى مجموعة متأينة مثل مجموعة الكربوكسيل ومجموعة الأمينو.

2- جزيئات الماء المرتبطة بواسطة الهيدروجين إلى مجموعة الكربوكسيل ومجموعة أميدية.

ب- الماء غير المرتبط والموجود في المسامات:

ويمكن إزالة الماء غير المرتبط بصورة سهلة وسريعة في المرحلة الأولى للتجفيف ثم يجفف الماء المرتبط بواسطة الهيدروجين ثم الماء المرتبط إلى مجموعات الكربوكسيلية والأمينية المتأينة وحسب النسب الموجودة من كل من المجموعات في المادة الغذائية الواحدة تحسب وتختلف كمية الطاقة اللازمة لتبخير الماء من هذه المواد.

2- نسبة المواد المذابة:

حيث يحتوي الماء الموجود في الفاكهة أو الخضروات أو اللحوم على نسب مختلفة من العناصر المذابة تؤثر على سرعة تبخر الماء من سطح المادة الغذائية حيث يسبب تراكم المواد المذابة في الطبقة السطحية إلى عرقلة عملية تبخر الماء وحتى إيقافها مما يسبب في حدوث الحروق السطحية للمادة الغذائية كما أنه يؤدي إلى عدم تجفيف القسم الداخلي منها وبالتالي فسادها بسرعة أثناء التخزين.

3- نوع الأنسجة:

تتقلص الأنسجة النباتية والحيوانية خلال عمليات التجفيف وقد تتعرض الأنسجة الخارجية والخلايا الداخلية للتمزق، مما يؤدي إلى فقدان المادة لمعظم العناصر الغذائية وعدم تحولها إلى طبيعتها فيما إذا أريد ذلك كما في الخضروات.

وهناك عوامل تتحكم بعملية التجفيف الصناعي والطبيعي بشكل مباشر يمكن التحكم بها في التجفيف الصناعي كلها أما في التجفيف الطبيعي فبقسم منها فقط وهي:

1) الحرارة:

وهي كمية الحرارة المستخدمة لرفع درجة حرارة المادة الغذائية إلى درجة حرارة التجفيف ويعرف جزء الحرارة المستخدم لهذا الغرض بالحرارة الظاهرية ولكل مادة غذائية درجات حرارة تجفيف معينة يمكن التحكم بها في التجفيف الصناعي. إن زيادة أو نقصان درجات حرارة التجفيف لا تساعد على سرعة أو تباطؤ عملية التجفيف بل تؤدي إلى ظهور حالة الجفاف السطحي (وهو جفاف أو تجلد أو احتراق الأنسجة السطحية للمادة الغذائية مما يؤدي إلى تكوين طبقة مسامية تمنع التبخر وتعرق التجفيف)، من هنا نشأت صناعة التجفيف الصناعي بفروعها المختلفة لتتلائم مع طبيعة المواد الغذائية المراد تجفيفها.

مصادر وطرق التسخين المستخدمة:

أ) التسخين المباشر:

حيث تعرض المواد الغذائية مباشرة لنواتج احتراق الخشب أو الفحم أو المواد المستخدمة في التسخين فتتعرض المواد الغذائية لتغيرات في الطعم والرائحة يفقدها قيمتها الاقتصادية وقد يسبب في كسادها لكن الطريقة قليلة الكلفة وليست بحاجة إلى آليات معقدة لذا مازال استعمالها شائعاً.

ب) الإشعاع المباشر:

حيث يسخن الهواء بملامسته لجدران الأفران أو لسطح التسخين يدفع بعدها لتسخين المادة الغذائية بشكل مباشر فتعدم تغيرات المواد الغذائية في الطعم والرائحة لعدم اختلاط هواء التسخين مع نواتج الاحتراق.

ج) الإشعاع غير المباشر:

حيث يسخن الهواء حسب الطريقة السابقة ليدفع إلى تسخين الماء في مبادلات حرارية ويقوم الماء بدور الوسيط الثاني في تسخين المواد الغذائية إلى درجة حرارة التجفيف.

2) الهواء:

وهو الناقل الأول لدرجات الحرارة نظراً لرخصه وتوفره وسهولة نقله للحرارة والرطوبة، وقد استخدمت في الآونة الخيرة غازات خاملة في عملية نقل حرارة التجفيف ولكن أفران التجفيف عدلت بشكل أساسي لعدم فقدان الغازات الثمينة، مما أدى إلى تحسين نوعي في نقل الحرارة.

وتقسم صناعة التجفيف حسب الطاقة المستعملة في التجفيف إلى طريقتين:

1- التجفيف الشمسي أو الطبيعي:

عرف التجفيف الشمسي أو الطبيعي منذ أقدم العصور ويستخدم التجفيف الشمسي أساساً لتجفيف الأسماك وكذلك عدد من الفواكه كالمشمش والخوخ والكمثرى والتين والعنب وتتلخص خطوات عملية تجفيف ثمار المشمش والخوخ والكمثرى في غسيل الثمار وتقطيعها إلى أنصاف وإزالة البذور أو كأس الزهرة ثم ترص أجزاء الثمار على صواني التجفيف مع مراعاة جعل اتجاه الجزء المجروح من الثمرة للأعلى ويلي ذلك تعريض الصواني بما عليها من ثمار لأبخرة غاز ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) المتصاعد من فرن حرق الكبريت لمدة معينة تتوقف على نوع وتركيب ودرجة نضج الثمار وعقب الكبرتة تنتشر الصواني على أرضية المنشر المعد للتجفيف وتترك كذلك حتى تصل الثمار إلى ثلثي درجة جفافها المطلوبة أو حتى تبدو ثمار الكمثرى شبه شفافة، وتجمع الصواني وترص فوق بعضها البعض ليستكمل تجفيف الثمار في الظل وفي حالة وجود قشرة أو سطح يمنع التبخر كما هو الحال في الخوخ فينصح أن تغسل الثمار ثم توضع في محلول قلوي ساخن لمدة نصف دقيقة تقريباً بقصد إحداث تشققات في قشرة الثمرة مما يساعد على خروج الرطوبة من الثمار ثم تعرض الصواني وتجفف بنفس الطريقة السابقة، وينصح بتقليب الثمار مرة على الأقل أثناء عملية التجفيف بسبب بطء سير العملية وعندما توشك الثمار على الجفاف تجمع الصواني وترص فوق بعضها وتترك في الظل بضعة أيام لتتجانس رطوبتها وحلاوتها وعند الرغبة في إنتاج زبيب أبيض تبيض ثمار العنب بالغاز الكبريتي ثم تغمس بالقلوي لإحداث التشقق في الثمار وترص على صواني من الخشب وتكبرت ثم تنشر الصواني في الشمس وتترك حتى تتخذ الشكل المطلوب.

ومن بعض الطرق المتبعة في بعض الدول كاستراليا غمس ثمار العنب في مستحلب زيت زيتون قلوي ثم رص الثمار على صواني من السلك المثقب ترفعها حوامل عن سطح الأرض وبذلك يتحاش تراكم مياه الأمطار على الثمار وتساعد المعاملة بالزيت على تحسين لون الزبيب إذ يكون عنبرياً فاتحاً أما البلح فلا يحتاج في أغلب الأحيان إلى معاملة خاصة في التجفيف إذ يجف على

النخيل بدرجة كافية في أغلب الأحيان أما التين فتساقط على الأرض عندما يبلغ نصف درجة الجفاف المطلوبة، ومن أهم العقبات التي تواجه هذه الطريقة في التجفيف احتياجها لمساحة واسعة لتجفيف المواد الغذائية كما أن الشروط الصحية غير متوفرة لتعرض المواد بشكل مكشوف إلى الحشرات والأتربة، وعلى الرغم من ذلك فإن التجفيف الطبيعي ذو كلفة أقل ويمتاز لون الأغذية المجففة بهذه الطريقة بنقاوته وصفاءه.

2- التجفيف الصناعي:

وتستعمل مجففات مختلفة النظم في تجفيف المواد الغذائية ويتوقف اختيار إحداها في الصناعة على نوع المادة الغذائية المراد تجفيفها فالفاكهة والخضراوات تجفف في مجففات الأنفاق بينما يجفف الحليب بمجففات الرذاذ، والفرق بين التجفيف الطبيعي والتجفيف الصناعي أن الأول يستعمل حرارة الشمس وحركة الهواء الطبيعية في تجفيف المواد الغذائية حيث لا يمكن أن تتحكم في الفترة اللازمة للتجفيف أو بالقدرة الإنتاجية أما الثاني فيقوم على أساس صناعي بحت حيث تجفف المادة الغذائية ضمن مصانع مختصة تقوم بالعمليات اللازمة للتجفيف بواسطة آليات محددة يمكن معها تحديد العوامل المساعدة على التجفيف والتكيف بها حسب نوع المادة الغذائية وبذلك يمكن التحكم بالفترة اللازمة للتجفف أو بالقدرة الإنتاجية للمصنع ويمكن في الوقت الحاضر مجاراة التجفيف الطبيعي من حيث اللون والقيمة الغذائية أيضاً ولكن تبقى الكلفة اللازمة لتشغيل معامل التجفيف الصناعية أكبر منها في التجفيف الطبيعي بكثير.

وأشهر أنواع المجففات المستخدمة تجارياً هي:

1- مجففات القمائن نوع كلين وتستعمل في تجفيف الخضر والفاكهة وحشيشة الدينار والتبغ بأنواعه.

2- مجففات المقصورة ذات الحواجز وتستعمل في تجفيف الخضار والفاكهة.

3- مجففات الأنفاق ذات الممر وتستعمل في تجفيف الخضار والفاكهة.

4- المجففات ذات السيور الناقلة وتستعمل في تجفيف الخضار والفاكهة أيضاً.

5- المجففات الاسطوانية وتستعمل في تجفيف الحليب والعصائر والقهوة والسوائل بشكل عام.

6- مجففات الرذاذ وتستعمل غالباً في تجفيف السوائل كالحليب والقهوة والعصائر أيضاً.

7- المجفدات وتستعمل في تجفيف المواد الغذائية الصلبة والسائلة جميعها.

طرق عمل المجففات:

1- مجففات القمائن:

وتسمى أيضاً مجففات كلين وهي عبارة عن بناء ذو قسمين أحدهما علوي والآخر سفلي وينفصل القسم العلوي عن السفلي بواسطة عوارض خشبية أو شبك من معدن غير قابل للصدأ تنتشر عليه

المواد الغذائية المراد تجفيفها لتحرك بين حين وآخر، أما القسم السفلي فيتم فيه تسخين هواء التجفيف إما بواسطة الحرق المباشر للأخشاب أو بواسطة مدفأة تعمل على الوقود، يدفع الهواء منها إلى الأعلى على الأغلب بواسطة مروحة كهربائية أو التيارات الطبيعية ليتم بواسطة الهواء الحار تجفيف المواد الغذائية.

2- مجففات المقصورة:

وهذه المجففات عبارة عن تطور لمجففات القمائن بحيث يستغنى عن القسم العلوي فيها وهذه المجففات عبارة عن غرفة معزولة تحوي على مروحة تقوم بشفط وتحريك الهواء المسخن من غرف التسخين وهناك أجهزة تقوك بتنظيم دخول الهواء الساخن إلى الغرفة وبين الصواني التي تحوي على المواد الغذائية وتستعمل في تسخين الهواء مراجل بخارية أو أفران تعمل على الوقود السائل ولا يزيد إنتاجها عن 20 طن في اليوم من الخضار والفواكه ويتم التجفيف في مجففات المقصورة على دفعات.

3- مجففات الأنفاق:

وفيها يمرر تيار من الهواء الساخن على المواد الغذائية المعرضة على صواني وقد تكون هذه المجففات ذات نظام شبه مستمر أو مستمر تبعاً لطول النفق، ويتكون هذا المجفف من نفق للتجفيف بطول 35 متر ومسخنة للهواء ومروحة لتنظيم دورات الهواء.

وتدخل العربات المحملة بالصواني والمواد الغذائية الرطبة من أحد طرفي النفق وتستمر في الاندفاع حتى تخرج من الطرف الآخر خلال بابين محكمين لمنع تسرب وفقد الحرارة أحدهما للدخول والآخر للخروج ويتفاوت طول النفق تبعاً لنوع المادة الغذائية المراد تجفيفها وتبعاً لنظام المجفف وكثيراً ما يعمد إلى تشييد عدة أنفاق متجاورة وفي هذه الحالة يمكن استعمال وحدة تسخين ووحدة لتنظيم دخول الهواء لكل نفقين متجاورين.

4- المجففات ذات السيور الناقلة:

وفيها يستعاض عن العربات في نقل المواد الغذائية ضمن النفق بسيور متحركة متعددة الأشكال والأطوال وذلك حسب الشركات الصانعة وأهمها:

أ) المجففات المتحركة:

ويعتمد هذا النوع على نفس الأسس التي يعتمد عليها النوع السابق حيث تنتقل المواد الغذائية ضمن النفق بواسطة سيور متحركة تتعرض خلالها المواد الغذائية لهواء التجفيف فيتم تبخر الرطوبة وجفاف الأغذية.

ب) المجففات الشبكية:

وفيها يتم ضخ لهواء الساخن من أعلى وأسفل المواد الغذائية الموجودة على سيور متحركة تتكون قاعدتها من شبكة من معدن غير قابل للصدأ وتفيد هذه العملية في تعريض أكبر سطح من المواد

الغذائية لهواء التجفيف فتزيد سرعة التجفيف وتستعمل هذه المجففات غالباً في تجفيف الخضار الورقية.

ج) المجففات الدوارة:

وهي عبارة عن اسطوانة دوارة يضخ إليها هواء التجفيف من فتحة في أسفلها، تعبأ المواد الغذائية فيها عن طريق ناقل حلزوني أو سيور متحركة، أثناء دوران الاسطوانة يتم نقل المواد الغذائية وتجفيفها حيث يدخل هواء التجفيف الحار من خلال المادة الغذائية وقد ترتفع درجة حرارة المواد الغذائية إلى درجة الغليان ويستعمل هذا النوع من المجففات لتجفيف أجزاء اللحوم الصغيرة و السكر والكاكاو.

د) المجففات المستمرة تحت التفريغ:

في هذا النوع من الأجهزة يتم تسخين أشرطة السيور المتحركة بواسطة اسطوانة تسخين تقوم بتحريك وتسخين السيور المتحركة الموجودة ضمن غرفة معزولة ومفرغة من الهواء وتسخن الاسطوانة بواسطة بخار الماء الموجود داخلها، تدفع المواد الغذائية على السيور المتحركة على شكل غشاء رقيق فتتعرض لحرارة التجفيف المنخفضة (أقل من درجة الغليان) فتبدأ بالغليان لوجودها في جو مفرغ من الهواء مما يؤدي إلى عدم تعرض المواد الغذائية المجففة إلى حرارات عالية تؤثر على قيمتها الغذائية وفي نهاية الشريط توجد اسطوانة مماثلة للأولى تقوم بتبريد المواد الغذائية المجففة لتقشط بواسطة سكين خاص لتطحن وتعبأ في عبوات خاصة.

5- المجففات الاسطوانية:

وتستعمل هذه المجففات بشكل خاص لتجفيف السوائل، ويتم ذلك عادة على مرحلتين حيث تكثّف المادّة الغذائيّة في المرحلة الأولى وتتم المرحلة الثانية فيها (مرحلة التجفيف) بواسطة المجفّفات الأسطوانية حيث تنتشر السوائل المكثّفة على شكل غشاء رقيق وبواسطة طرق متعدّدة على سطح أسطوانة التسخين.

وترفع درجة حرارة أسطوانة التسخين بواسطة بخار الماء من الداخل حتّى درجة100 مئويّة تكفي لطرد الرطوبة من المواد الغذائيّة.

وبعد دوران الأسطوانة بحوالي 80 % من محيطها توجد سكاكين خاصّة لا تبعد إلا بجزء من المليمتر عن سطح الأسطوانة وظيفتها قشط المواد الغذائيّة المجفّفة الموجودة على سطح الاسطوانة لتجمّع وتبرّد وتطحن في مطاحن خاصة لتخزن في معزلة عن الرطوبة.

6- مجفّفات الرذاذ:

وتقوم عملية التجفيف بالرذاذ على أساس تمرير الهواء الساخن ضمن غرفة موجودة فيها المادة المراد تجفيفها بشكل يعرض القسم الأكبر لأجزائها للهواء الساخن.

فقطرات الحليب أو الأغذية السائلة الموجودة ضمن أبراج التجفيف تؤلّف بعد توزيعها سطوحاً تقدّر بحوالي 20 متراً مربّعاً وبالوقت ذاته تكون حجومها متساوية.

أما قطرات الأغذية السائلة فسوف تلتقي مع الهواء الساخن وتحمل من قبله فيتم التبادل الحراري وتتبخّر كميّات المياه الموجودة في السائل الغذائي على شكل بخار ماء، حيث يحمل بخار الماء من الهواء وتتساقط حبيبات المواد الغذائيّة المجفّفة إلى أسفل برج التجفيف حيث تجمع وتنتقل بواسطة ناقل حلزوني لتطحن ثم تعلّب.

أمّا الهواء الساخن والمشبع ببخار الماء فقد يستعمل في التسخين مرة ثانية هذا وترتفع درجات حرارة برج التجفيف من 170–250 درجة مئويّة رغم أن الحرارة الكافية للتجفيف في هذه الحالة لا تتجاوز 100 درجة مئويّة أنّ عمليّة التجفيف بهذه الطريقة هي أحدث طريقة في الوقت الحالي حيث أن مركبات المواد الغذائيّة لا تتأثّر بالحرارة كثيراً رغم ارتفاعها الملحوظ وذلك لتكون طبقة من بخار الماء حول الجزيئات الغذائيّة تمنع تأثر العناصر الموجودة فيها الحرارة.

1-3 مقدمة

اعتمد الإنسان على تجفيف المواد الغذائيّة بهدف تحقيق أمنه الغذائي عند حصول ندرة في الحصول على الغذاء أثناء الفترات التي يحصل فيها شح في المواسم الزراعية.

وكان اعتماده في البداية الأمر على الطاقة الشمسيّة وحركة الهواء الطبيعيّة الناتجة عن اكتساب الهواء للطاقة الحراريّة عن طريق أشعة الشمس وهو ما يعرف بالتجفيف الشمسي.

وقد ساعدت الحروب الطاحنة التي ظهرت في الدول الأوربيّة إلى تزايد الحاجة إلى تأمين الغذاء للجنود المتحاربة وضرورة إيصال ونقل الأغذية لمسافات طويلة بهدف إيصالها للجنود، ومع بداية القرن التاسع عشر ابتُكرت طرق حديثة للتجفيف تهدف إلى تحسين صفات المنتج المجفف ومنها التجفيف بالتفريغ والتجفيف بالرذاذ والتجفيف بالتجفيد(التسامي)، وتتميز طرق التجفيف هذه بقلّة تكاليفها المادّيّة عند مقارنتها مع الطرق الأخرى لحفظ الأغذية حيث تحتاج طرق التجفيف المبتكرة إلى عدد قليل من العمال و آلات محدودة بالإضافة إلى مساحات تخزين أقل مما تحتاجها الأغذية المصنّعة بالطرق الأخرى كما وأنّ تكاليف النقل والتوزيع تقل مقارنة مع الأغذية المحفوظة بالطرق الأخرى.

يجب أن تتوف في المنتج الغذائي المجفف الصفات التالية وذلك حتى يمكن اعتبار صناعة التجفيف ناجحة كطريقة لحفظ الأغذية:

- أن تكون صفات المنتج المجفف مقاربة إلى حد كبير لتلك الأغذية الطازجة أو المحفوظة بالطرق الأخرى من حيث الطعم والرائحة والمظهر والأمان الصحّي.
- قلة تكلفة إنتاجها إلى أقصى حد ممكن.
- إمكانية عودة الأغذية المجففة إلى شكلها وقوامها بسهولة عند إعدادها للاستهلاك.
- احتفاظ الأغذية المجففة بأكبر قدر ممكن من القيمة الغذائية.
- يجب أن تكون الأغذية المجففة قابلة للتخزين لأطول فترة ممكنة.

ويوضح الجدول (3-1) المقارنة بين الاحتياجات التخزينية لكل طن من الغذاء الطازج والمجفف والمعلب أو المجمّد.

المنتج الغذائي	الطازج	المجفف	المعلب أو المجمّد
فاكهة	55–50	7–3	60–50
خضروات	80–50	25–5	85–50
لحوم	85–50	20–15	60–50
أسماك	75–50	40–20	75–30
بيض	90–85	15–10	40–35

الجدول (3–1) الاحتياجات التخزينية للأغذية (قدم مكعب لكل طن)

2-3 نسبة الرطوبة في الأغذية المجففة

نسعى من خلال تجفيف الأغذية إلى خفض محتوى الرطوبة في المادة الغذائية المجففة إلى الحد الذي يمكّننا من مقاومة وإعاقة كافة العوامل المؤدّية إلى فساد تلك المادة الغذائيّة ولكن مع الأخذ بعين الاعتبار الحفاظ على صفات المادة الغذائية قدر المستطاع بحيث تبقى قابلة للاستهلاك البشري وبشكل صحي.

وهناك علاقة تربط بين محتوى المادة الغذائيّة من السكريات وبين نسبة الرطوبة التي يمكن الوصول عند تجفيف تلك المادة الغذائيّة حيث يمكننا نزع نسبة كبيرة من المحتوى الرطوبي من الخضراوات نظراً لكونها تحتوي على نسبة منخفضة من السكريات لذلك نجد أن نسبة الرطوبة في الخضراوات المجففة تتراوح بين %(4–6) وهي نسبة لا تسمح لعوامل إفساد المادة الغذائيّة بالنشاط وهي نسبة رطوبة لا يمكن الوصول إليها عند تجفيف الفواكه نظراً لاحتوائها على نسبة مرتفعة نسبيّاً من السكريات حيث أننا نحتاج للوصول إلى المحتوى السابق من الرطوبة في تجفيف الخضراوات إلى معاملة حراريّة عالية قد تؤدّي إلى الإضرار بصفات المادّة الغذائيّة للفواكه لذلك فإن محتوى الرطوبة الذي يمكن أن نصل إليه في الفواكه يتراوح بين %(18–24) تقريباً حيث نجد أن النسبة العظمى من الرطوبة المتبقية مرتبطة بالسكريات بحيث لا تتواجد بشكل رطوبة حرّة وبالتالي لا يمكن لعوامل إفساد المادّة الغذائيّة من الاستفادة من هذا الماء.

ويوضّح الجدول (3–2) نسبة الرطوبة والمكونات الغذائيّة الأخرى في بعض الأغذية المجففة.

المادة المجففة	الرطوبة	البروتين	السكريات	الدهون	الرماد
تفاح	23	1.4	73.2	1.0	1.4
مشمش	24	5.2	66.9	0.4	3.5
تين	24	4.0	68.4	1.2	2.4
عنب	24	2.3	71.2	0.5	2.0
جزر	4	4.1	84.5	1.4	6.0
بطاطس	7	7.1	82.2	0.7	3.0
طماطم	3	10.8	76.6	1.0	6.2
لحم بقري	10	55.0	1.0	30.0	4.0

ويوضح الجدول (3-3) شروط تجفيف بعض الخضراوات والفواكه صناعياً

نوع المادة	نوع المجفف	درجة الحرارة فْ	نسبة الرطوبة بالمادة المجففة	نسبة التجفيف	نسبة الناتج [%]
خوخ	نفقي	155	20-15	1: 5	20-15
مشمش	نفقي	150	20-15	1: 5-4	20-15
تفاح	نفقي	155	15-10	1: 8-6	17-12
تين	نفقي	155	20-15	1 : 4-2	27-24
عنب	نفقي	160	16-10	1: 4.6-3.3	27-21
عصير العنب	بالرذاذ	130	2.5-1.5	1: 9.3-6.3	18-12
عصير البرتقال	بالرذاذ	130	0.5	11.5-7.3 1:	12-8
أجاص	نفقي	150	15-10	1: 8-6	17-12
جزر	نفقي	155	5	1: 10-8	10.5-9
بطاطا	نفقي	150	6	1: 7	17-15
بصل	نفقي أو على السيور	140-120	5-4	1: 12-10	8-6
بندورة	الرذاذ أو الأسطوانة	130	4	1: 21	-

3-3 المراحل **المتسلسلة في تجفيف الخضار والفواكه:**

لتجفيف الخضار والفواكه فنحن بحاجة لعملية تحضير قبل إجراء عملية التجفيف وذلك بالاعتماد على تنفيذ عدد من العمليات المتسلسلة المستند تنفيذها على عمل العديد من الآلات والتجهيزات المختلفة.

وهذه المراحل هي:

1- جني المحصول الزراعي:

يتم جني المنتجات المراد تجفيفها عندما تصل في النضج إلى مرحلة محددة، ويختلف مستوى النضج حسب نوع المنتج وحسب الصنف أيضاً، ويتم تجهيز المنتج النباتي بعد قطافه مباشرة حيث تجفف الفاكهة والخضروات من الماء العالق بها يف أسرع وقت ممكن، ثم نبدأ بتجفيفها صناعياً مباشرة وبدون تأخير وخاصة بالنسبة للخضروات الورقية، حيث يجب الإسراع في ذلك قبل أن تبدأ بالذبول والجفاف، ويستثنى الأجاص من بلوغ النضج الكامل حيث يتم قطافه قبل نضجه وهو في حالته الخضراء، حيث يتم إنضاجه أثناء التخزين ثم يبدأ تجفيفه.

2- اختيار الأصناف الملائمة لعملية التجفيف:

كلما قلّت كمية الماء في الصّنف المراد تجفيفه كلما زادت نسبة المواد الصلبة الذائبة فيه، وبالتالي كامل كان تجفيفه أسرع وذلك لتدني كمية الماء المراد استبعاده من المنتج عند التجفيف، إن اختيار الصنف الأقل احتواءً على الماء يقلل من تكاليف التجفيف، ويراعى أيضاً عند اختيار الصنف أن يكون من نوعية جيدة ومنسجماً مع المواصفات المميزة للصنف المعني وحاوياً على كميات وافرة ملبية للحاجة من الفيتامينات والمركبات الغذائية المختلفة وذلك لأن غالبية هذه المواد تبقى في المادة الغذائية بعد تجفيفها.

3- مرحلة الغسيل:

تغسل الخضروات والفواكه جيداً وبدون استثناء قبل تجفيفها وذلك للتخلص من الأوساخ ومن البكتريا والجراثيم الملوثة لها وللتخلص من بقايا المركبات الكيميائية العالق بها والمتبقية من عمليات المكافحة التي تعرضت لها المنتجات أثناء وجودها على النبات الأم. وفي بعض الحالات نضيف إلى ماء الغسيل بعض المركبات الحالة للأوساخ وللمبيدات المتبقية، وبعد ذلك تغسل هذه المنتجات بماء نظيف، ويستخدم في الغسيل أجهزة مختلفة بعضها يعتمد التقنية الحلزونية ولآخر عبارة عن آلات غسيل بالرذاذ.

4- التقشير والتخزين:

هناك الكثير من أنواع الخضروات والفواكه يجب تقشيرها قبل التجفيف وخاصة الخضروات الجذرية، وبعض الخضروات تحتاج إلى تغليف مثل اللوبياء والفاصولياء الخضراء، ومن الفواكه التي تحتاج إلى التقشير نذكر التفاح، ويتم تقشير المنتجات بطرق مختلفة، من هذه الطرق التقشير اليدوي والتقشير بآلات تعتمد مبدأ احتكاك سطح المادة المراد تقشيرها بسطوح خشنة، أو يتم التقشير بواسطة محاليل قلوية ساخنة أو بالبخار تحت ضغط مرتفع أو بواسطة آلات ميكانيكية حادة. بعد التقشير يتم تقطيع الخضروات إلى مكعبات أو شرائح مختلفة الأطوال وذلك حسب الطلب، أو تقطع إلى حلقات ودوائر، أما الفواكه فبعض أنواعها تقطع ثماره إلى نصفين كما هو الأمر بالنسبة للخوخ والمشمش أو إلى شرائح كما هو الأمر بالنسبة للتفاح وفي حالات أخرى تجفف ثمار الفواكه كاملة دون تقطيع كما هو الأمر بالنسبة للكرز والعنب. وبالنسبة للمنتجات الحيوانية فعادة يتم تقطيع اللحم إلى قطع أو مكعبات صغيرة أما بالنسبة للسمك فإنه يجفف كاملاً أو على شكل شرائح أو مطحوناً. وينصح بسلق اللحوم بعد تقطيعها في كمية قليلة من الماء لمدة نصف ساعة بدرجة حرارة 75-80°م وذلك لتخفيض رطوبة اللحم من 72% إلى 50%، إن سلق اللحم يخفض نسبة الملوثات الحيوية الموجودة فيه ويسرع في عملية تجفيفه.

5- مرحلة غمر المنتجات في المحاليل القلويّة:

إن غالبية ثمار الفاكهة تكون عادة مغلفة بطبقة شمعية حافظة للثمار، لهذا السبب يتم غمرها في محلول قلوي هو عبارة عن كربونات الصوديوم أو ماءات الصوديوم بتركيز 0.5% أو أقل بدرجة حرارة 90-100°م لفترة وجيزة من الزمن، هذه العملية تزيل الطبقة الشمعية المغلفة للثمار وتشقق القشرة قليلاً، وفي بعض البلدان تغمس الثمار في مستحلب من زيت الزيتون أو تغمس في المحلول القلوي بعد إضافة زيت الزيتون إليه، وذلك بهدف المحافظة على لون الثمار، إن غمس هذه المنتجات في المحلول يوقف نشاط أنزيم البيروكسيداز الذي يغير لون الثمار ويجب الانتباه إلى عدم إطالة مدة غمس الثمار في مثل هذه المحاليل لأن ذلك يؤدي إلى تسرب الكثير من عصير الثمار إلى محلول الغمر وبالتالي ضياع الكثير من العناصر الغذائية المجففة.

6- المعاملة بالكبريت (الكبرتة):

نلجأ في بعض الأحيان إلى معاملة بعض أنواع الخضروات وثمار الفاكهة الكاملة مثل العنب أو تجزأ قبل التجفيف بالكبريت، وذلك لإكساب هذه المنتجات لوناً جذاباً، ويساعد الكبريت أيضاً في احتفاظ هذه المنتجات بقيمها الغذائية ويؤخر فسادها. وتتم المعالجة بالكبريت بتعريض هذه المنتجات إلى غاز ثاني أوكسيد الكبريت أو تغطس الثمار في بعض المحاليل الكبريتية حيث يمكن

لهذه الثمار بهذه الطريقة امتصاص كمية قليلة من ثاني أوكسيد الكبريت، وتتم المعالجة بالغاز بأن توضع الثمار في حجرة أو في أفران خاصة يحرق في داخلها الكبريت فيتولد الغاز المطلوب الذي يؤثر على الثمار، أما بالنسبة للخضروات فمن الأفضل أن تغطس في محلول الكبريتيت أو ترش برذاذ من هذا المحلول. إن كمية ثاني أوكسيد الكبريت الممتصة من قبل المنتج الغذائي تتوقف على درجة الحرارة ومدة الغمس أو مدة التعرض للغاز، ويرتبط كذلك بتركيز أوكسيد الكبريت في المحلول، وبطبيعة وحالة المادة المعالجة، فمثلاً الثمار غير الناضجة تمتص كمية أكبر من غاز ثاني أوكسيد الكبريت. ولكنها بنفس الوقت تحتفظ بكمية أقل مما يحدث في حالة الثمار كاملة النضج. ويراعى في هذه العملية أن تحتفظ الفواكه بحوالي 1000 جزء في المليون من الغاز وذلك في العنب و3000 جزء في المليون من الغاز في المشمش، أما بالنسبة للخضروات فنسبة احتفاظها بالغاز يجب أن تتراوح بين 200 إلى 500 جزء في المليون.

تنفذ عملية الكبرتة بأن يحرق الكبريت في أفران خاصة فينتج الغاز حيث تتم تصفيته ومن ثم يساق إلى غرف مغلقة تحوي المواد الغذائية المراد معالجتها، وفترة المعالجة هنا ترتبط بنوع المادة الغذائية حيث تستمر لمدة ساعة إلى ثلاث ساعات، ويجب الانتباه إلى ضرورة أن يكون الغاز نظيفاً تماماً. أما بالنسبة للمعالجة بالمحاليل الكبريتية فتتم العملية بأن تغمر المواد الغذائية المراد معالجتها في محلول ميتا كبريتيت الصوديوم $Na_2S_2O_5$ أو محلول كبريتيت الصوديوم Na_2SO_3، أو يستخدم محلول يتركب من المحلولين بنسبة معينة من كل منهما، ويجب أن يكون تركيز المحلول الذي ستغمس فيه المادة الغذائية 0.5 إلى 1% وفترة الغمر لا تتجاوز دقيقة أو أكثر قليلاً، وقد نكتفي برش المنتج الغذائي بهذا المحلول. ولكن البلدان الأوروبية لا تشجع على عملية الكبرتة بسبب إمكانية تشكل حمض الكبريت في المنتج الغذائي لذلك يفضل إجراء عملية الكبرتة بعد الغمس بمحلول قلوي ويعقبها مباشرة عملية سلق للمنتج الغذائي. ومن فوائد عملية الكبرتة نذكر:

- المحافظة على اللون والطعم الطبيعي للفاكهة والخضار نتيجة للفعل المثبط لهذا الغاز على الأحياء الدقيقة والأنزيمات المؤكسدة (الاسمرار الأنزيمي).
- إطالة مدة تخزين الأغذية المجففة وتأخير أسودادها أثناء التخزين نظراً لتثبيط تفاعل ميلارد بين السكريات المختزلة والأحماض الأمينية.
- منع أو تقليل الفقد في فيتامين A وC بسبب الفعل المختزل لغاز ثاني أوكسيد الكبريت.
- إمكانية استخدام درجات حرارة أعلى لإنهاء عملية التجفيف وبالتالي إلى تقصير الزمن اللازم لإتمام العملية وما يرافقها من عوامل سلبية تؤثر على مجمل المواصفات الداخلية للمادة.

- عند وجود آثار معقولة من غاز ثاني أوكسيد الكبريت في المادة المجففة فإن هذا الغاز يعتبر عاملاً مساعداً في استمرارية حفظ هذه المواد سواء من التلوث الجرثومي أو من الإصابات الحشرية الأخرى.

7- سلق المنتجات الغذائية:

تسلق المنتجات الغذائية قبل تجفيفها لأسباب كثيرة نذكر منها:

- سلق الخضار والفواكه يقلل من زمن التجفيف.
- سلق المنتج الغذائي يطرد كثيراً من الهواء المتواجد في الفراغات البينية في أنسجة المادة الغذائية.
- تؤخر عملية سلق المنتجات الغذائية في تغير رائحة ونكهة المواد المسلوقة وتؤخر فسادها.
- تقلل عملية سلق المنتجات الغذائية قبل التجفيف من نسبة الفقد في فيتامين C والكاروتين وخاصة أثناء فترة التخزين بعد التجفيف.
- عملية سلق المنتج الغذائي تحسن قوام المادة الغذائي المجففة خاصة عند إعادتها إلى حالتها الطبيعية قبل الاستخدام.

نذكر هنا أنه لعملية سلق المنتجات الغذائية سلبية أساسية هي أنها تفقد المادة الغذائية بعضاً من موادها الصلبة الذوابة في الماء. ويمن التأكد من أن المنتج قد استكمل عملية سلقه بشكل جيد باستخدام بعض الكواشف الخاصة بذلك، والخاصة بالكشف عن وجود أنزيم الكتاليز في الفواكه أو البيروكسيداز في الخضروات، حيث يدل غياب هذه الأنزيمات على كفاية عملية السلق. وتستمر عملية السلق عادة دقيقتان إلى عشر دقائق عند استخدام البخار في السلق، كذلك نشير إن إضافة بعضاً من الملح يمنع تسرب وفقد بعض المواد الصلبة من المادة الغذائية إلى الماء، إن هذا الملح يزيد في إمكانية احتفاظ المادة الغذائية بموادها الصلبة، وبالتالي المحافظة على قيمتها الغذائية.

8- التجفيف:

يتم التجفيف بإحدى الطرق المذكور سابقاً لأنواع المجففات ويعتمد ذلك على نوعية المادة الغذائية ويجب ألا تتجاوز الرطوبة النسبية للهواء المستعمل في تجفيف الفواكه 50% ليتمكن من انتزاع الماء من المادة الغذائية التي تعيق فيها درجة اللزوجة وارتفاع تركيز السكر عملية التبخر. وتستخدم في تجفيف الخضار درجات حرارة تتراوح بين 65-75°م ولمدة تتراوح بين عدة ساعات

إلى أكثر من أربعة وعشرون ساعة. أما الرطوبة النسبية للمادة المجففة فيجب أن تكون في الفواكه بين 15-25% والخضار 3-6% والحبوب في حدود 10-14% كحد أقصى.

9- التحضير النهائي للمادة المجففة:

وتتضمن هذه المرحلة العمليات التالية:

- فرز المادة المجففة وفقاً لحجم الحبيبات أو الشرائح أو القطع المجففة وتنقيتها من البقايا المتكسرة الناتجة عن حركة المواد خلال التجفيف وتتم عملية الفرز عادة وفقاً لقياسات محددة في المواصفات النهائية للمواد بعد التجفيف، مثال ذلك ثمار الخوخ المجففة الدرجة الممتازة تحتوي على 100 ثمرة / كغ الدرجة الجيدة فتحتوي على 100-180 ثمرة / كغ والدرجة المقبولة 180-250 ثمرة / كغ.
- ضغط المواد المجففة ضمن قوالب وتمس هذه العملية بعض أنواع الفواكه كالنخيل (العجوة، التمور)، العنب المجفف (الزبيب)، الخوخ المجفف والتين. ولهذه العملية تأثير كبير على حفظ المواد المضغوطة من الإصابات الحشرية بالإضافة إلى الإقلال من عمليات الأكسدة والاسمرار الأنزيمي والتلوث الميكروبي، هذا علماً بأنه من خلال عملية الضغط يمكن توفير الحجم في وحدة الوزن الذي يؤثر كثيراً على توفير نفقات التعبئة والتغليف ونقل وتخزين المواد المضغوطة.
- خلط المواد المجففة ويقصد بهذه العملية تحضير خلائط مختلفة من المواد المجففة بهدف الحصول على ناتج مجفف يتمتع بنكهة أو طعم مميز وغالباً ما يكون ذلك في الفواكه وقد تستعمل عملية الخلط في الخضار لتحضير خلائط خضار مجففة وكثيراً ما تقوم شركات المطاحن والأعلاف بتحضير خلائط حبوب مجففة بهدف تحضير نواتج بقيمة غذائية محددة.

10- التعبئة والتخزين:

تكون تعبئة الأغذية المجففة ضمن عبوات محكمة الإغلاق وتكون عادة في أكياس من البولي إتيلين أو السيلوفان وأحياناً في علب من الصفيح أو الزجاج ويوضع في داخل عبوات الفواكه المجففة مواد ماصة للرطوبة كمادة كلوريد الكالسيوم وقد يستبدل الهواء داخل العبوات بغاز خامل كثاني أوكسيد الكبريت أو خليط من غاز ثاني أوكسيد الكبريت مع الآزوت. يفضل تخزين الأغذية المجففة في درجة حرارة غير مرتفعة (دون 18°م) وذلك لوقف التفاعلات الخاصة بالأكسدة بالإضافة إلى وقف الاسمرار اللانزيمي ويجب ألا تزداد الرطوبة النسبية في ظروف تخزين الفواكه

عن 50% أما الخضار فيسمح بها حتى 70% كحد أقصى، ويمكن حفظ الأغذية المجففة في الظروف المثلى لعدة سنوات.

3-4 أمثلة **عامة عللا تجفيف بعض أنواع الخضار والفواكه:**

أولاً- تجفيف الفواكه:

1- تجفيف العنب والفريز:

تجفف ثمار هذه الأنواع من الفاكهة دون تقسيم، بالنسبة لثمار العنب فإنها تجفف بقصد تحويلها إلى زبيب. ونستخدم لذلك طرق مختلفة حسب صنف العنب المراد تجفيفه فمثلاً صنفي الموسكات والبناتي تجفف دون معاملة مسبقة لعدم وجود طبقة شمعية، أما بالنسبة لثمار العنب من الأنواع الأخرى فيجب غمر العناقيد في محلول قلوي تركيزه 0.5% مسخن حتى 84°م لمدة خمس ثواني، وذلك بهدف إزالة الطبقة الشمعية المغلفة للثمار وإحداث تشققات في الطبقة السطحية مما يسهل تبخر الماء من الحبات. ثم تغسل العناقيد من آثار القلوي بواسطة رذاذ من الماء البارد، ومن ثم ترص على صواني التجفيف وتوضع في غرف أو أماكن خاصة حيث يتم تبخيرها بغاز ثاني أوكسيد الكبريت لمدة ساعتين بهدف حفظها من التلف والحشرات والتعفن والحفاظ على لونها الجيد المرغوب، ثم توضع تحت أشعة الشمس لمدة ثلاث ساعات لتكتسب اللون الفاتح المرغوب. وبعدها تنقل إلى مكان ظليل لتستكمل جفافها وتصبح زبيباً صالحا للاستهلاك المباشر أو للتخزين. وفي بعض البلدان مثل سوريا واستراليا يتم غمس ثمار العنب في مستحلب من زيت الزيتون والمحلول القلوي مما يكسب الزبيب الناتج اللون العنبري الفاتح المرغوب. ونفس الطريقة مستخدمة في حالة تجفيف الفريز.

أما بالنسبة لتجفيف العنب والفريز صناعياً فيستخدم لهذه الغاية المجففات النفقية حيث يتم تجفيف هذه الأنواع من الفاكهة على درجة حرارة 68-74°م لمدة 16-20 ساعة، ولا حاجة هنا لتعريض الثمار إلى أشعة الشمس، ويراعى أن تستمر عملية التجفيف حتى تصل نسبة الرطوبة في عناقيد الزبيب قبل فرطه إلى 15-20% ونسبتها في الزبيب الفرط (عند تجفيف الثمار دون عناقيد) 10-16%. ويجب تبريد العناقيد قبل فرطها ليسهل فصل حبات الزبيب عن العنقود، وتصبح نسبة وزن الثمار المجففة 41-27% من وزن العناقيد الطازجة، حيث يتم فرط حبات الزبيب عن العناقيد إما يدوياً أو بآلات خاصة ويتم ذلك بعد ترطيب العناقيد.

2- تجفيف التين:

هناك عدة طرق لتجفيف التين حسب الرغبة وحسب الهدف الغذائي وحسب الطلب، حيث تجمع الثمار كاملة النضج عن أشجارها وخاصةً في الأصناف ذات اللب الأبيض وتقسم الثمرة

إلى أجزاء أو إلى نصفين أو تبقى كما هي، ثم تجفف تحت أشعة الشمس أو في مجففات نفقية وقبل التجفيف يمكن أن نغمس ثمار التين في محلول قلوي تركيزه 1–3% من الصودا الكاوية مسخن لدرجة الغليان لمدة نصف دقيقة، ثم تغسل الثمار من آثار القلوي بماء نظيف متجدد، ثم تجفف تحت أشعة الشمس أو في مجففات صناعية نفقية بدرجة حرارة 52–54°م لمدة 10–20 ساعة، حيث تستمر عملية التجفيف حتى تصل نسبة الرطوبة في الثمار المجففة إلى 15–20% حيث تكون نسبة التصافي حوالي 24–27%.

وفي حالات أخرى يقوم السكان بما يدعى بتبخير الثمار، حيث تؤخذ الثمار التي تم تجفيفها بالطريقة السابقة وتوضع أو ترص فوق بعضها على مصفاة أو شبكة من الأسلاك وعلى صواني خاصة مثقبة من الأسفل، توضع هذه الأوعية المثقبة مع حمولتها من ثمار التين الجاف فوق وعاء يغلي فيه ماء نقي، وباستمرار عملية غلي الماء يتصاعد بخار الماء من الوعاء مخترقاً ثقوب الصواني الحاملة للتين ومتغلغلاً بين ثمار التين من جميع جوانبها، وبهذا الشكل يتم تسخين التين وبسترته وتبخيره، وباستمرار هذه العملية لبعض الوقت تنضج ثمار التين ويتغير قوامها ولونها، حيث يصبح قوامها طرياً ولونها عسلياً. تؤخذ الثمار بعد تبخيرها وتعرك جيداً في وعاء خاص حتى تتجانس وتصبح على شكل عجينة، ومن ثم تشكل على شكل قوالب صغيرة أو مكعبات كقطع الحلوى وتغلف بورق خاص يمنع دخول الهواء والرطوبة. وأحياناً يتم غمس قطع التين المشكلة قبل تبريدها بكمية من الطحين المتبقي عن البرغل المنخول وتحفظ في أماكن جافة حتى يحين موعد استهلاكها.

3- تجفيف التفاح:

تجفف ثمار التفاح بعد تجزئتها وتتم العملية بأن تغسل الثمار الكاملة بماء نظيف مضافاً إليه قليل من أحد الأحماض بهدف التخلص من الأوساخ ومن مواد الرش وسواها، أو يضاف للماء أحد مواد التنظيف ومن ثم تغسل الثمار بماء نظيف نقي وتقشر ويزال محورها والجزء الصلب منها ويتم ذلك يدوياً وميكانيكياً، بعد ذلك تتم كبرتة الثمار وهي كاملة أو بعد تجزئتها، ويتم ذلك بأن توضع في محلول مائي يحوي ثاني أوكسيد الكبريت بنسبة 0.01%، وتتم هذه الكبرتة لمنع تغير لون لب الثمار إلى اللون البني وذلك عند تعرضه للجو الخارجي. بعد ذلك تنقل قطع التفاح إلى غرف خاصة بالكبرتة الثانية أو تنقل على سيور خاصة إلى أنفاق الكبرتة، حيث تعرض فيها إلى أبخرة ثاني أوكسيد الكبريت لمدة 10–20 دقيقة، ويجب أن تكون نسبة الغاز في جو الغرفة أو النفق حوالي 1% من الفراغ، ويمكن أن تتم الكبرتة الثانية بغمس قطع التفاح في محلول كبريتيت كما يمكن أن يضاف قليل من نترات الصوديوم إلى محلول الكبرتة وذلك لمساعدة لب التفاح على الاحتفاظ بقليل من غاز ثاني أوكسيد الكبريت التي امتصها. وفي بعض الأحيان تتم كبرته ثمار

التفاح بعد تقشيرها وهي كاملة ومن ثم يتم تقطيعها آلياً إلى شرائح أو أنصاف. بعد ذلك ترص قطع التفاح في مقصورات التجفيف بسماكة 20–30 سم وتجفف في المجففات الخاصة بذلك (مثل مجففات الأنفاق) لمدة 9–18 ساعة، ويجب خلال هذه المدة تقليب التفاح مرة على الأقل، وإذا كان التجفيف سيتم على صواني خاصة بذلك تكون سماكة التفاح في هذه الحالة 10– 15 سم. وتختلف درجات حرارة التجفيف بحسب نوع المجفف حيث تصل إلى 62°م في المجففات ذات النظام العكسي وإلى 68°م في المجففات ذات فتحة العادم الوسطية. ثم يخزن التفاح المجفف في عبوات خاصة بذلك، ويجب أن يدخن خلال فترة التخزين بالمواد القاتلة للحشرات، كذلك يجب إعادة كبرتته إذا طالت فترة تخزينه وذلك لمنع تغير لون التفاح.

ثانياً – تجفيف الخضروات:

إن الغرض من تجفيف الخضروات هو خفض رطوبتها إلى حوالي 6–10% من أجل حفظها لأطول مدة ممكنة. يتم تجهيز الخضروات قبل تجفيفها بشكل مناسب حيث يتم تقشير البصل والثوم والبطاطا والجزر ويتم تقليف الفاصولياء الخضراء والباميا واللوبياء، وتنقع حبوب الفاصولياء البيضاء في الماء لمدة 10–15 ساعة. كذلك تنظف الخضروات الورقية وتوضب وتقطع حسب المطلوب. وبعد التقطيع تسلق الخضروات بالماء ثم تجفف وتعبأ في علب خاصة من الصفيح أو البلاستيك محكمة الإغلاق.

1– تجفيف البصل والثوم:

يتم تجفيف البصل إما مباشرة بحرارة الشمس أو صناعياً، في التجفيف الشمسي يتم انتخاب الرؤوس الجيدة ومن ثم تقشر وبعد ذلك يتم تقطيعها إلى شرائح عرضانية بالسكين وبسماكة 3 مم. بعد التقطيع يتم سلق شرائح البصل بالبخار لمدة نصف دقيقة إلى دقيقتين ومن ثم يتم نشر شرائح البصل المسلوق على حصر أو صواني خاصة بالتجفيف، وتوضع هذه الصواني مباشرة تحت أشعة الشمس لمدة 4–7 أيام حتى تجف، ويجب الانتباه إلى ضرورة تقليبها يومياً وتغطى في الليل بقماش مناسب، وبهذه الطريقة في التجفيف ينتج كل 1 كغ من البصل المروي حوالي 90–110 غ من شرائح البصل المجفف، أما بالنسبة للبصل البعلي فيعطي نسبة تصافي أكبر.

أما بالنسبة للتجفيف الصناعي فيتم اختيار تلك الأصناف ذات الرائحة والنكهة القوية ثم تغسل الأبصال وتزال الجذور والقمة النامية ويتم تقشير البصل بوسائل ميكانيكية مختلفة، ومن ثم يتم تقطيع الأبصال إلى شرائح عرضانية بسماكة 3 مم، ترص شرائح البصل على صواني التجفيف بمعدل 40 كغ لكل 1 م^2 ويتم تجفيف البصل في المجففات ثلاث مراحل متعاقبة بدرجات حرارة

71°م، 57°م و 43°م وتستمر عملية التجفيف حتى تنخفض الرطوبة من 7 وحتى 4% حيث تكون نسبة التصافي حوالي 11%، ثم يعبأ البصل المجفف في عبواته على شكل شرائح أو بعد طحنه ليصبح مسحوقاً. أما بالنسبة للثوم فيتم الأمر بشكل مشابه للبصل وذلك بالتجفيف الشمسي أو الصناعي، حيث يتم اختيار رؤوس الثوم المليئة الجيدة ومن ثم يتم تنظيفها وتقشر وتوضع على صواني التجفيف، حيث تجفف صناعياً بدرجة حرارة لا تتجاوز 60°م في المرحلة الأولى وتستكمل عملية التجفيف بالدرجة 38°م حتى الوصول إلى رطوبة 5%، تقدر نسبة التصافي في الثوم المجفف بحوالي 20-25%.

2- تجفيف البطاطا:

تنقى درنات البطاطا السليمة الخالية من الشوائب والأمراض، وتوضع بعد تنظيفها في غرف خاصة تحت درجة حرارة 30°م ورطوبة نسبية 85-90% لمدة ثمانية أيام، تخفض بعدها درجة الحرارة تدريجياً حتى تصل إلى 16°م والرطوبة النسبية إلى 75-85% وتترك الدرنات مخزنة في هذه الغرف حتى يحين موعد تجفيفها. تؤخذ الدرنات وتغسل بماء نظيف ثم تسلق في الماء بدرجة حرارة 57°م لمدة نصف ساعة وذلك لتقليل التغيرات التي يمكن أن تحدث للون اللب وتقليل نسبة الفاقد في التقشير. ثم تقشر الدرنات بعد سلقها بمحلول قلوي أو بالبخار ويتم ذلك تحت ضغط كبير ولمدة 25-30 دقيقة. بعد التقشير تغسل الدرنات لإزالة بقايا القشور، يتم سلق البطاطا بالبخار لمدة 5-7 دقائق بدرجة حرارة 95-98°م. وفي حال تأخر سلق البطاطا يجب أن تنقع في محلول ملحي تركيزه 1-2% منعاً لتغير لونها بالأكسدة شرط أن لا يحتفظ بالبطاطا على هذه الحالة أكثر من ساعة، وبعد السلق تتم كبرتة البطاطا بغمسها في محلول كبريتيت تركيزه 0.2-1%، بعد انتهاء عملية الكبرتة تقطع الدرنات إلى شرائح أو مكعبات وتجفف في مجففات نفقية بدرجة حرارة 65°م حتى رطوبة 5% وتقدر نسبة التصافي في البطاطا المجففة بحوالي 14-20%، ويمكن أن تطحن البطاطا المجففة لتصبح على شكل مسحوق. تحفظ البطاطا المجففة في عبوات خاصة مفرغة من الهواء ومحكمة الإغلاق.

3- تجفيف الجزر:

يتم انتقاء الجذور ذات اللون الأحمر أو المائلة للبرتقالي، ويجب انتقاء الجذور السليمة الناضجة الكبيرة، ينظف الجزر وتستبعد الأدران العالقة به ثم يتم غسيله جيداً بماء نظيف. ثم يقشر بالاحتكاك أو بالمحاليل القلوية، حيث يكون الفاقد في الحالة الأولى 20-30% أما في الطريقة الثانية فيصل إلى 5% فقط. بعد التقشير يتم تقطيع الجزر يدوياً أو آلياً إلى شرائح أو مكعبات أو دوائر حسب الطلب. بعد التقطيع يتم سلق الجزر خلال مدة لا تتجاوز النصف ساعة

بعد التقشير حيث يتم السلق بالبخار لمدة تتراوح بين 7–10 دقائق وينشر على صواني التجفيف، حيث يجفف في المجففات النفقية بدرجة حرارة 68°م حتى الوصول إلى رطوبة 5% ونحصل على نسبة تصافي قدرها 6–8%، ثم يعبأ الجزر المجفف في عبوات خاصة تحتوي على غاز متعادل مثل ثاني أوكسيد الكربون.

3–6– تجفيف السوائل الغذائية

نعني بالسوائل المواد الغذائية الموجودة بحالة سائلة كالحليب أو التي يتم استخلاصها وتصنيعها في المراحل الأولى للتصنيع وهي بحالة سائلة كالعصير والشرابات المختلفة. وقد أدخلت في السنوات الأخيرة بالإضافة إلى السوائل الغذائية المعروفة مجموعة من المواد الموجودة في حالة نصف سائلة كالبيض والسوائل النشوية من البطاطا وغيرها التي اعتمدت صناعتها على شكل مساحيق وتعتمد طرق تجفيف السوائل الغذائية على مجموعة من المراحل تختلف عن تجفيف المواد الصلبة المعروفة في الخضار والفواكه وهي كما يلي:

1– التحضير الأولي للسائل الغذائي:

تعتمد هذه المرحلة على تنقية السائل من المواد العالقة وتصفيته وأحياناً فرز المواد الدهنية الزائدة فيه كما في الحليب حيث تحدد نسبة المواد الدهنية المرغوب ببقائها في الحليب بعد التجفيف، وأحياناً يتم ترسب المواد البكتينية والشوائب والأصبغة الطبيعية في حال الضرورة بهدف الحصول على المسحوق الغذائي النقي بالمواصفات المطلوبة.

2– التعقيم:

وهي عملية التسخين الأولية للسائل الغذائي حيث يتم في هذه المرحلة التعقيم اللازم للبكتريا والأنزيمات الموجودة وتكون عملية التعقيم أما عن طريق البسترة بدرجة حرارة 80–85°م لمدة 3–6 دقائق أو بالدرجة 100°م لمدة 10–20 ثانية.

3– التكثيف:

حيث يتم رفع تركيز المادة الجافة في السائل وذلك بنزع الماء عن طريق التبخير ويكون ذلك غالباً في أجهزة التسخين تحت الضغط ولهذه العملية فوائد كثيرة أهمها:

- تخفيض تكاليف التجفيف اللاحقة وذلك بنزع كمية كبيرة من الماء الحر في السائل قبل البدء بعملية التجفيف الأساسية.

- لقد ثبت تأثير عملية التكثيف الأولية على التوضـــع الجزئي لحبيبات الحليب المجفف بحيث أن انحلال البودرة الناتجة فيما بعد في التجفيف النهائي تكون أســـرع منها بكثير في حال الحليب المجفف مباشرة.
- أن عملية التكثيف الأولية تقلل من عمليات الأكســدة ومن أثرها الســلبي على الســوائل الغذائية خلال التجفيف النهائي لهذه السوائل.
- إن حجم كتلة الســائل الغذائي المكثف ثم المجفف تكون أقل في وحدة الوزن نتيجة لطرد الهواء.

3-7- تأثير التجفيف على الأغذية

تخضـع جميـع المنتجـات لتغيـرات خـلال عمليـة التجفيـف والتخـزين وهـذه التغيـرات تـنقص مـن جودتهـا بالمقارنـة مـع المـادة الطازجـة. وهـدف تحسـين تقنيـات التجفيـف هـو تخفـيض هـذه التغيـرات إلـى الحـد الأدنـى مـع زيـادة فعاليـة العمليـات. التغيـرات الأساسـية للأغذية المجففة تتمثل في التركيب، الطعم والنكهة اللون والقيمة الغذائية.

1- التغيرات في التركيب:

التغيـرات فـي تركيـب الأغذيـة الصـلبة هـي سـبب رئيسـي لفسـاد النوعيـة. فطبيعـة ودرجـة المعالجـة المسـبقة، نوعيـة ودرجـة الحجـم والتقشـير كـل منهـا يـؤثر علـى بنيـة الخضـار والفواكـه المجففـة، وتخريـب البنيـة فـي هـذه المنتجـات يحـدث نتيجـة تجلـتن المـواد النشـاء، تبلـور السـليلوز التغيـرات الطبيعيـة فـي نسـبة الرطوبـة خـلال التجفيـف الـذي يزيـد الإجهـاد الـداخلي وهـذا يـؤدي إلـى تشـوه الخلايـا الصـلبة بشـكل مسـتمر ويعطـي الغـذاء مظهـر مـنكمش وذبـلان. لـدى إعـادة الاماهـة يمـتص المنـتج الرطوبـة ببطـئ أكثـر ولا يسـترد بنيـة المـادة الطازجـة ثانيـة، تجفيـف قطـع اللحـم لـيس شـائعا فـي العديـد مـن الأقطـار بسـبب التغيـرات الخطيـرة فـي البنيـة مقارنـة مـع طـرق الحفـظ الأخـرى وهـذه التغيـرات نتيجـة تكتـل وتغيـر طبيعـة البـروتين وفقـدان المـاء المـرتبط (water-holding-capacity). بشـكل عـام فـان التجفيـف السـريع ودرجـات الحـرارة العاليـان تسـببان تغيـرات أكبـر فـي بنيـة الأغذيـة من نسب التجفيف المعتدلة ودرجات الحرارة الأخفض.

2- التغيرات في النكهة والطعم:

إن التسـخين لا يقـوم فقـط بعمليـة تبخيـر المـاء خـلال عمليـة التجفيـف لكنـه أيضـا يقـوم بخفـض نسـبة المكونـات المتطـايرة مـن الأغذيـة وبالنتيجـة بـأن معظـم الأغذيـة المجففـة تكـون ذات نكهـة اقـل مـن المـادة الأصـلية. مـدى خسـارة المركبـات المتطـايرة يعتمـد علـى درجـة الحـرارة ومحتـوى الأغذيـة مـن الرطوبـة وعلـى الضـغط البخـاري للمركبـات الطيـارة

وقابلية انحلالها في بخار الماء. إن المركبات الطيارة التي تملك تطايرية وانتشارية مرتفعة نسبياً تفقد في مرحلة مبكرة من التجفيف. تجفف الأغذية ذات الأهمية الاقتصادية العائدة لطعمها المميز (مثل البهارات) عند درجات حرارة منخفضة. إن البنية المفتوحة المسام للأغذية المجففة تسمح بدخول الأوكسجين والذي بدوره يلعب دوراً هاماً في فقدان النكهة نتيجة لأكسدة المكونات المتطايرة والليبيدات أثناء التخزين. يتحدد معدل فساد الأغذية بدرجة الحرارة وفعالية ماء الأغذية، ففي الحليب المجفف ينتج عن أكسدة الليبيدات نكهات زنخة بسبب تشكل مركبات ثانوية تحوي على ألفا–لاكتوز. تحتوي معظم الفواكه والخضار على كمية قليلة من الليبيدات لكن أكسدة الحموض الدسمة المشبعة تعمل على تكوين الهيدروبيروكسيدات التي تتفاعل فيما بعد بعمليات البلمرة أو البلمهة أو الأكسدة لتشكل الألديهيدات والكيتونات والحموض التي تسبب الزنخة والرائحة الكريهة. بعض الأغذية (كالجزر مثلا) يمكن إن تطلق رائحة البنفسج الآتية من الأكسدة الكاروتينات، ويمكن التقليل بهذه التغيرات باستخدام الطرق التالية:

- تفريغ الهواء أو استخدام غاز تغليف.
- التخزين في درجات حرارة منخفضة.
- الوقاية من الأشعة فوق البنفسجية أو المرئية.
- الحفاظ على مستوى منخفض من الرطوبة.
- إضافة مضادات أكسد صناعية.
- الحفاظ على مضادات الأكسدة الطبيعية.
- أيضا تستخدم الأنزيمات (glucose oxidies) لحماية الأغذية المجففة من التأكسد.

يتم تجنب التغيرات في النكهة العائدة إلى أنزيمات (oxidtiveorhydrolytic-ensyms) باستخدام ثنائي أوكسيد الكبريت، حمض الأسكوربيك أو حمض الستريك في الفواكه وبتعقيم الحليب أو عصائر الفواكه. تستخدم طرق أخرى لحفظ نكهات الغذاء المجفف أهمها:

- استرداد الأجزاء المتطايرة وإعادتها إلى المنتج أثناء التجفيف.
- مزج الأجزاء المتطايرة المستردة مع مركبات تثبيت النكهة التي تحبب بعد ذلك وتضاف مرة ثانية إلى المنتج المجفف.
- إضافة أنزيمات تعطي نكهات للغذاء.

3- التغيرات في اللون:

يوجد عدد من الأسباب لفقدان اللون أو تغيره في الأغذية المجففة حيث يغير التجفيف خصائص سطح الغذاء ولذلك تتغير انعكاسيته ولونه. تحدث التغيرات الكيميائية للكاروتين وصبغيات الكلوروفيل في الخضار والفواكه بسبب الحرارة والأكسدة أثناء التجفيف. وفعالية أنزيم بولي فينول أوكسيداز (poly phenol oxidase) المتبقي تسبب الاسمرار أثناء التخزين، تتم الوقاية من ذلك بمعالجة الفواكه بحمض الاسكوربيك أو ثنائي أوكسيد الكبريت. أما من أجل الخضار والفواكه المكبرتة بشكل معتدل فان سرعة جعلها داكنة (مسمرة) أثناء التخزين يتناسب عكسا مع محتوى S02 المتبقي. ولما لـ $S0_2$ من أضرار حيث أنه يؤدي إلى أمراض السرطان لذا فان استخدامه الآن مقتصر على بعض البلدان. سرعة تفاعل ميلارد في الحليب المخزن أو منتجات الفواكه المخزنة تعتمد على فعالية ماء الغذاء ودرجة حرارة التخزين، وسرعة جعلها داكنة (مسمرة) تزداد بشكل واضح عند درجات حرارة تجفيف عالية. عندما يتجاوز محتوى رطوبة المنتج 4-5% ودرجة حرارة التخزين تفوق 30%.

4- التغيرات في القيمة الغذائية:

الاختلافات الكبيرة في القيمة الغذائية للأغذية المجففة يعود إلى التنوع في إجراءات التحضير، درجة الحرارة، وزمن التجفيف، وظروف التخزين. عادة في الفواكه والخضار تتجاوز الضياعات أثناء التحضير تلك الناتجة عن عمليات التجفيف. تملك الفيتامينات ذوبانية مختلفة في الماء ومع تقدم عملية التجفيف فان بعضها يصبح فوق مشبع ويترسب في المحلول مثل فيتامين ريبوفيلارين بعضها الأخر مثل (حمض الأسكوربيك) قابل للذوبان حتى عند مستويات رطوبة منخفضة جداً للمادة الغذائية وهذه تتفاعل بسرعة مع المواد الذائبة بسرعات عالية مع تقدم عملية التجفيف، الفيتامين (C) حساس للحرارة والتأكسد لذلك فإن درجات حرارة منخفضة، رطوبة منخفضة، كميات أوكسجين منخفضة تكون ضرورية لتجنب الضياعات الكبيرة، التيامين حساس للحرارة أيضاً. لكن الفيتامينات الأخرى القابلة للذوبان في الماء تكون أكثر ثباتاً تجاه الحرارة والأكسدة، لذلك فإن الضياعات أثناء التجفيف نادراً ما تتجاوز 5-10 %. الماء محل للوسائط المعدنية الثقيلة التي تعزز أكسدة المواد المغذية غير المشبعة فعندما يزال الماء فان الوسائط تصبح أكثر فعالية ويتسارع معدل الأكسدة. تفقد الفيتامينات القابلة

للذوبان في الشحم نتيجة التفاعل مع البيروكسيدات الناتجة عن أكسدة الشحم، تقلل الضياعات خلال التخزين بتخفيض تركيز الأكسجين ودرجة حرارة التخزين وإبعاد الضوء، لا تتغير القيمة البيولوجية وقابلية الهضم للبروتين في معظم الأغذية نتيجة التجفيف. لا يؤثر التجفيف بالرذاذ على القيمة البيولوجية لبروتين الحليب عند درجات حرارة تخزين مرتفعة ومحتويات رطوبة تقريبا فوق 5% فإن القيمة البيولوجية لبروتين الحليب تتناقص بسب تفاعلات ميلارد بين الليستين واللاكتوز.