

## المادة: هندسة معامل الاغذية *FOOD PLANTS ENGINEERING*

**الجزء النظري:** عدد الوحدات النظرية ( 2 ) عدد الساعات ( 2 )

مدرس المادة: أ.م.د. اسعد رحمان سعيد الحلفي

قسم علوم الاغذية – كلية الزراعة – جامعة البصرة

المحاضرة الثامنة:

### التجفيف Dehydration

تحتوي المواد الغذائية على نسب مختلفة من الماء وهي بحالتها الطازجة ، وان المواد الغذائية ذات الرطوبة العالية تكون عرضة للتلف بسبب نمو الاحياء المجهرية في المحاليل المائية واستعمالها لمكونات هذه المواد في تغذيتها .ان إزالة الرطوبة من هذه المواد تضمن إمكانية حفظها من التلف لمدة اطول من الزمن وامكانية استعمال هذه الأغذية بعد ذلك بإضافة جزء من الماء او الماء بكامله لاسترجاع المنتج واستعماله .يطلق على عملية إزالة الماء من المواد الغذائية بالتجفيف Drying.

التجفيف هو احدى الطرائق القديمة المستعملة بشكل واسع لحفظ الأغذية وقد استعمله منذ العصور القديمة وقبل الاف السنين البابليون والمصريون واليونانيون والرومان في حفظ بعض أنواع الفاكهة والخضر والمحاصيل الحبوبية واللحوم والأسماك والحليب . يعمل التجفيف على ايقاف نشاط البكتريا والتخمير والأنزيمات مما يؤدي الى توقف التلف وتكون الأغذية مركزة ومحفوظة بنكهتها وقيمتها الغذائية وسهلة الخزن والتحضير وخفيفة الوزن).

هنالك طرائق عدة لتجفيف الأغذية وان لكل طريقة ميزاتها الخاصة كما ان الفقد الذي يحدث في المكونات الغذائية تحدده مجموعة من العوامل أهمها طريقة التجفيف المستخدمة .

توجد طرائق مختلفة لتجفيف المواد الغذائية بالمجففات الالية التي تعتمد على صفات المواد الغذائية ومدى تأثرها بالحرارة وهي اما ان تستخدم النظام المباشر وفيه توجه الحرارة بصورة مباشرة على الغذاء الرطب او المادة السائلة بوساطة الهواء الساخن وبالوقت نفسه يحمل هذا الهواء الرطوبة منه . او النظام غير المباشر وفيه تنتقل الحرارة من البخار او المشبكات الكهربائية او الحرارية الى الغذاء بوساطة التوصيل او الإشعاع لإنجاز عملية التجفيف . يستعمل هذا النظام في اجهزة التجفيف تحت التفريغ .

توجد الرطوبة في المواد الغذائية كالاتي:

1- **الرطوبة المرتبطة bound moisture**: يرتبط الماء مع بعض المكونات الاخرى التي تؤلف المادة الغذائية ويسبب هذا الماء المرتبط ضغط بخار اقل من الضغط الذي يولده الماء الحر وقد يوجد هذا الماء في الانابيب الشعرية وفي عصير الخلايا او مرتبط مع بعض المواد الكيمياوية التي تتكون منها المادة الغذائية.

2- الرطوبة الحرة وتمثل الرطوبة الموجودة بشكل غير مرتبط وتشكل الجزء الكبير من نسبة الرطوبة التي تحتويها المواد الغذائية.

3-الرطوبة الممدصة على الجزيئات adsorbed moisture وتطلق على محتوى الرطوبة المتوازن equilibrium moisture content على مقدار الرطوبة الموجودة في المادة الغذائية عند تعرضها الى هواء في درجة حرارة ثابتة ويمكن قياس هذا المقدار تحت ظروف مختلفة من الحرارة والرطوبة والتعبير عنه بخط بياني يبين قيمة محتوى الرطوبة في المادة ورطوبة الجو الذي يحصل فيه التوازن مع درجات الحرارة المختلفة ويطلق على هذا الخط البياني sorption isotherm وتعتبر دراسة هذه المنحنيات مهمة لانها تحدد اقل مقدار من الرطوبة الممكن وجودها في المادة الغذائية تحت تلك الظروف.

#### مراحل التجفيف

1- مرحلة التوازن settling down :وفي هذه المرحلة يتبخر قسم من الرطوبة الى ان تصل الى حالة التوازن بين المادة الغذائية الصلبة والهواء وان مقدار الرطوبة المزالة قليلة جدا .

2- مرحلة التبخر الثابت constant rate period : وفي هذه المرحلة يبقى سطح المادة الغذائية مشبع بالرطوبة B – C حيث ينتقل الماء من الداخل الى السطح ويتم ذلك بازالة بخار الماء المتكون عبر غشاء الهواء الملامس للسطح ومن ثم الى تيار الهواء المستعمل للتبخير وفي هذه المرحلة يكون مقدار مايزال من الرطوبة من السطح مساويا لمقدار الرطوبة التي ترتفع من المادة الغذائية الى السطح وبنفس المعدل ويتوقف معدل التبخر على معدل انتقال الحرارة للسطح الذي يتم تجفيفه وان معدل انتقال الكتلة يوازي معدل انتقال الحرارة ولذا فان درجة حرارة السطح تبقى ثابتة .

يحسب معدل التجفيف الثابت:

$$R_c = \frac{W_o - W_c}{t_c}$$

$R_c$ : معدل التجفيف الثابت (كغم ماء/كغم مادة جافة . دقيقة)

$W_o$ : المحتوى الرطوبي الابتدائي (كغم ماء /كغم مادة صلبة)

$W_c$ : المحتوى الرطوبي الحرج (كغم ماء /كغم مادة صلبة)

$t_c$ : زمن التجفيف بمعدل ثابت (دقيقة)

3- مرحلة التبخر المتنازل falling rate : وفي هذه المرحلة تنخفض سرعة انتقال الرطوبة الى السطح C –E ولذا فان السطح يبدأ بالجفاف ويطلق على مقدار الرطوبة في هذه المرحلة محتوى الرطوبة الحرج وتستمر العملية وترفع درجة حرارة السطح الى درجة الحرارة الجافة للهواء. ويكون الوقت اللازم لاجراء هذه المرحلة اكبر جزء من وقت تجفيف المادة الغذائية الكلي.

يحسب معدل التجفيف المتناقص:

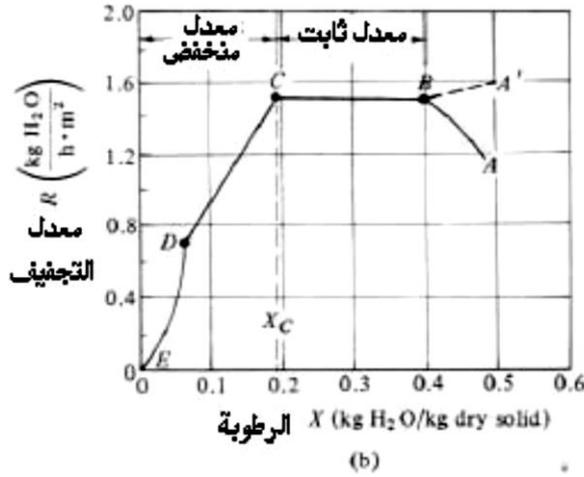
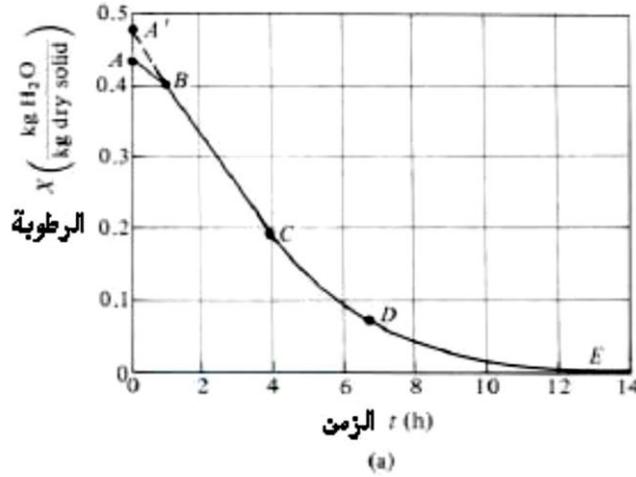
$$t_f = \frac{W_c}{R_c} \ln\left(\frac{W_c}{W}\right)$$

$t_f$ : زمن التجفيف بمعدل متناقص (دقيقة).

ويحسب الزمن الكلي للتجفيف كالآتي:

$$t = \frac{W_o - W_c}{R_c} + \frac{W_c}{R_c} \ln\left(\frac{W_c}{W}\right)$$

$W$ : المحتوى الرطوبي المتوازن (كغم ماء /كغم مادة صلبة).



مثال: مجفف نفق صمم لتجفيف انصاف التفاح من محتوى رطوبي ابتدائي 70% على اساس رطب الى محتوى رطوبي نهائي 5% على اساس رطب . اوضح منحنى التجفيف التجريبي للمنتج ان المحتوى الرطوبي الحرج 25% على اساس رطب وزمن معدل التجفيف الثابت هو 5 دقائق استنتج زمن التجفيف الكلي للمنتج ، افترض ان المنتج يزن 1 كغم.

نحول المحتوى الرطوبي من على اساس رطب الى على اساس جاف وكالاتي:

$$W_o = \frac{0.7}{1 - 0.7} = 2.33 \frac{kg \text{ water}}{kg \text{ d.b.}}$$

$$W_c = \frac{0.25}{1 - 0.25} = 0.333 \frac{kg \text{ water}}{kg \text{ d. b.}}$$

$$W = \frac{0.05}{1 - 0.05} = 0.0526 \frac{kg \text{ water}}{kg \text{ d. b.}}$$

$$R_c = \frac{dW}{dt} = \frac{W_o - W_c}{t_c} = \frac{3.33 - 0.33}{5} = 0.4 \frac{kg \text{ water}}{kg \text{ d. b. min.}}$$

الزمن الكلي لمعدل التجفيف المتناقص هو:

$$t_f = \frac{W_c}{R_c} \ln\left(\frac{W_c}{W}\right) = \frac{0.333}{0.4} \ln\left(\frac{0.333}{0.0526}\right) = 1.54 \text{ min.}$$

$$T = 5 + 1.54 = 6.54 \text{ min.}$$

#### التجفيف بالرش spray drying

يكون معدل التجفيف فيها محددا بالتبخير من سطح ماء حر داخل غرفة التجفيف تتحرك قطرات الغذاء السائل خلال الهواء المسخن ويؤدي ذلك تغير لحالة الماء من على سطح القطرة الى بخار ، يحمل بخار الماء من سطح القطرة بعيدا بوساطة الهواء المسخن يتحدد معدل التجفيف الثابت بانتقال الحرارة والكتلة من على سطح القطرة .

$$t = \frac{\rho_L H_L d_o^2}{8 k_a (T_a - T_w)} + \frac{\rho_p H_L d_c^2 (W_c - W_e)}{12 k_a \Delta T_{ave}}$$

$\rho_L$ : كثافة السائل (كغم/م<sup>3</sup>) ،  $H_L$ : الحرارة الكامنة للتبخير (كيلوجول/كغم ماء) ،  $d_o^2$ : القطر الابتدائي للقطرة (م) ،  $k_a$ : معامل التوصيل الحراري للهواء (واط.م/م<sup>2</sup>.م<sup>2</sup>) ،  $T_a$ : درجة حرارة الهواء (م<sup>0</sup>) ،  $T_w$ : درجة الحرارة الرطبة (م<sup>0</sup>) ،  $\rho_p$ : كثافة المنتج الجاف (كغم/م<sup>3</sup>) ،  $d_c^2$ : قطر القطرة عند المحتوى الرطوبي الحرج (م) ،  $W_c$ : المحتوى الرطوبي الحرج (كغم ماء /كغم مادة صلبة) ،  $W_e$ : المحتوى الرطوبي النهائي (كغم ماء /كغم مادة صلبة) ،  $T_{ave}$ : متوسط درجة الحرارة بين الهواء والمنتج (م<sup>0</sup>) ،

مثال: تجفف منتجات مركزة بالرش الى محتوى رطوبي نهائي 14 % باستخدام هواء مسخن حرارته 120 درجة مئوية ورطوبته النسبية 7 % ، كثافة السائل المركز 1000 كغم/م<sup>3</sup> وكثافة المنتج المجفف 1250 كغم/م<sup>3</sup> . اوضحت اجهزة الفصل ان المحتوى الرطوبي الحرج للمنتج هو 0.45 كغم ماء / كغم منتج ، وقطر الجزيء عند المحتوى الرطوبي الحرج هو 45 ميكرومترا . الحرارة الكامنة للتبخير خلال عملية التجفيف على المعدل الثابت 2150 كيلوجول/كغم حدد زمن التجفيف للمنتج بناء على اكبر قطر للقطرة الذي يساوي 120 مايكرومترا . درجة الحرارة الرطبة للهواء 57.1 مئوي.

$$\Delta T_{ave} = \frac{(120 - 57.1) + 0}{2} = 31.45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t = \frac{\rho_L H_L d_o^2}{8 k_a (T_a - T_w)} + \frac{\rho_p H_L d_c^2 (W_c - W_e)}{12 k_a \Delta T_{ave}}$$

$$t = \frac{1000 \times 2150 \times (20 \times 10^{-6})^2 \times 1000}{8 \times 0.032 (120 - 57.1)} + \frac{1250 (45 \times 10^{-6}) \times 2375 \times 1000 (0.818 - 0.042)}{12 \times 0.032 \times 31.45} = 2.31 \text{ s}$$

التجفيف بالتجميد freeze drying

ويحسب زمن التجفيف بالتجميد من المعادلة التالية:

$$t = \frac{RT_A L^2}{8 D M V_w (p_1 - p_a)} + \left(1 + \frac{4D}{k_m L}\right)$$

L: سمك طبقة المنتج (م) ،  $T_A$ : درجة الحرارة المطلقة (كلفن) ،  $M$ : الوزن الجزيئي (كغم/كغم . مول) ،  $V_w$ : الحجم النوعي للماء (م<sup>3</sup>/كغم ماء) ،  $p_1$ : ضغط البخار للتليج (باسكال) ،  $p_a$ : ضغط البخار للهواء عند سطح التكتيف (باسكال) ،  $k_m$ : معامل انتقال الكتلة (كغم.مول/ثا.م<sup>2</sup>.باسكال) ،  $R$ : ثابت الغازات العام يساوي 8314.41 (م<sup>3</sup>.باسكال/كغم.مول.كلفن) ،  $D$ : معامل الانتشار (م<sup>2</sup>/ثا) .

مثال: يجفف سائل قهوة مركز بالتجميد عن طريق وضع طبقة مجمدة من المنتج سمكها 2 سم فوق لوح مسخن ، جمد المنتج اوليا الى -75 مئوي قبل وضعه فوق اللوح المسخن ذي درجة حرارة 30 مئوي ، يتحقق التجفيف بالتجميد في غرفة عند ضغط 38.11 باسكال مع درجة حرارة تكتيف -65 مئوي . قيست الخواص المطلوبة لوصف العملية بنظام تجريبي. انتشارية الكتلة  $2 \times 10^{-3}$  م<sup>2</sup>/ثا ومعامل انتقال الكتلة 1.5 كغم.مول/ثا.م<sup>2</sup> باسكال. المحتوى الرطوبي الاولي للمركز 40 % وكثافة المنتج الجاف 1400 كغم/م<sup>3</sup> . احسب زمن تجفيف المنتج. ضغط البخار للهواء عند التكتيف 0.5 باسكال والوزن الجزيئي 18 .

الحجم النوعي للماء يحسب من المحتوى الرطوبي الاولي للمنتج وكثافة المنتج الجاف . المحتوى الرطوبي على اساس جاف يساوي:

$$X_o = \frac{0.4}{1 - 0.4} = 0.667 \frac{\text{kg water}}{\text{kg d. b.}}$$

$$V = \frac{1}{0.667 \times 1400} = 0.00107 \frac{\text{m}^3 \text{solid}}{\text{kg water}}$$

$$t = \frac{RT_A L^2}{8 D M V_w (p_1 - p_a)} + \left(1 + \frac{4D}{k_m L}\right)$$

$$t = \frac{8314.41 \times 243 \times (0.02)^2}{8 \times 2 \times 10^{-3} \times 18 \times 0.00107 \times (38.11 - 0.5)} + \left(1 + \frac{4 \times 2 \times 10^{-3}}{1.5 \times 0.05}\right) = 88324 \text{ s}$$

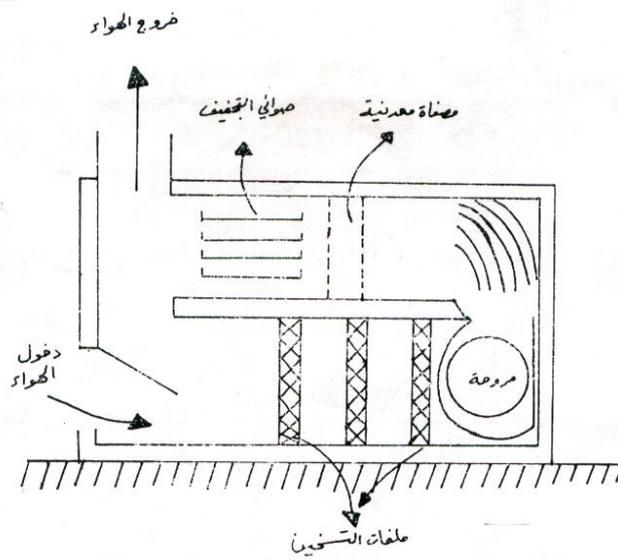
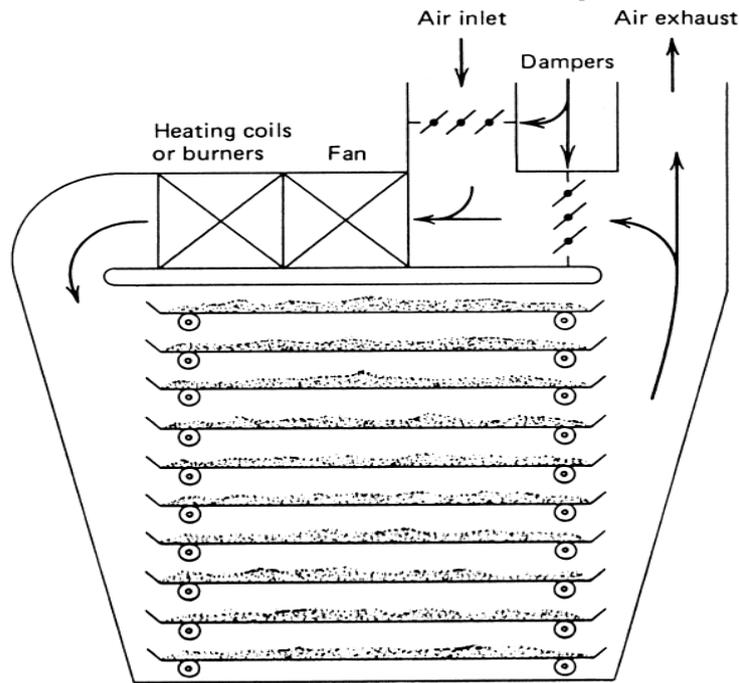
$$= 1472 \text{ min} = 24.5 \text{ h}$$

## انواع المجففات

### 1- المجففات الصندوقية cabinet dryer

يتكون هذا النوع من المجففات من صندوق يحتوي على عدة صواني يوضع عليها الغذاء بشكل طبقة رقيقة بسمك بضعة سنتيمترات ، اما الهواء الحار فيأتي من مسخنات بخارية او كهربائية في درجة حرارة 93 مئوي وبسرعة تتراوح بين 150 – 300 م/دقيقة .

يمتاز هذا النوع من المجففات بان كلفته قليلة وحجمه صغير ويستعمل لتجفيف الخضروات والفواكه وقد تستغرق فيه عملية التجفيف من 10 – 12 ساعة.



مجفف صندوقي

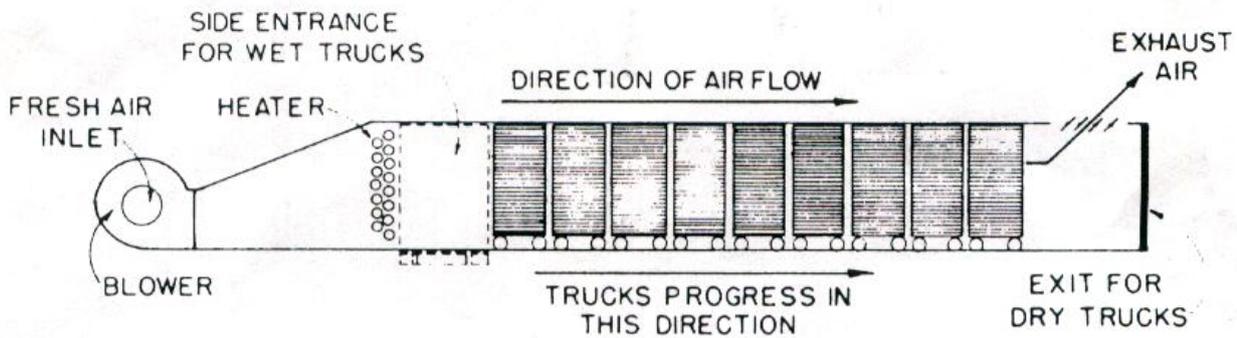
## 2-مجففات النفق tunnel dryer

هذا النوع من المجففات يشبه المجففات الصندوقية الا انها اكبر حجما ويوضع الغذاء على صواني في عربات متحركة . تمتاز هذه المجففات بانها مرنة وذات كفاءة عالية في سرعة التجفيف وتجانس الغذاء المجفف.

تصنف هذه المجففات حسب اتجاه الهواء الحار مابين الصواني ومن خلالها وكالاتي:

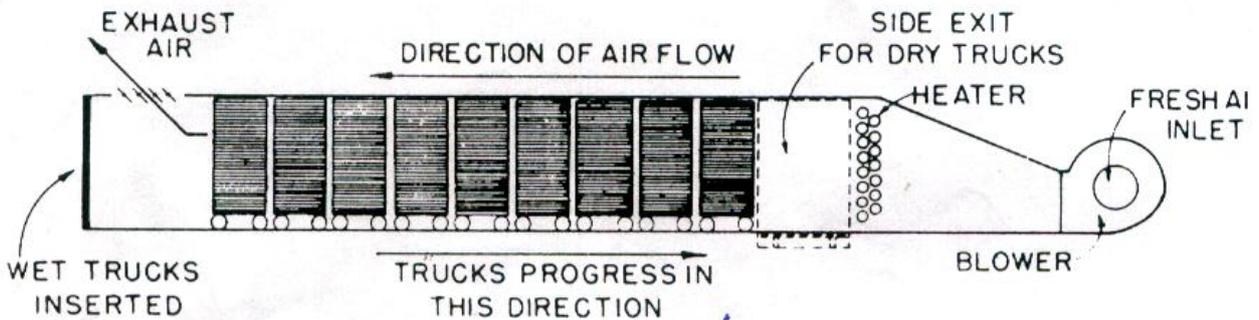
### 1- مجففات النفق المتوازية parallel flow dryers

يدخل الهواء والغذاء من جانب واحد ويخرج الاثنان من الجانب الاخر ، ومن مزايا هذا النظام ان الهواء الحار يلامس الغذاء الرطب ويبرد من الجانب الاخر بنفس الوقت الذي يستكمل الغذاء تجفيفه.



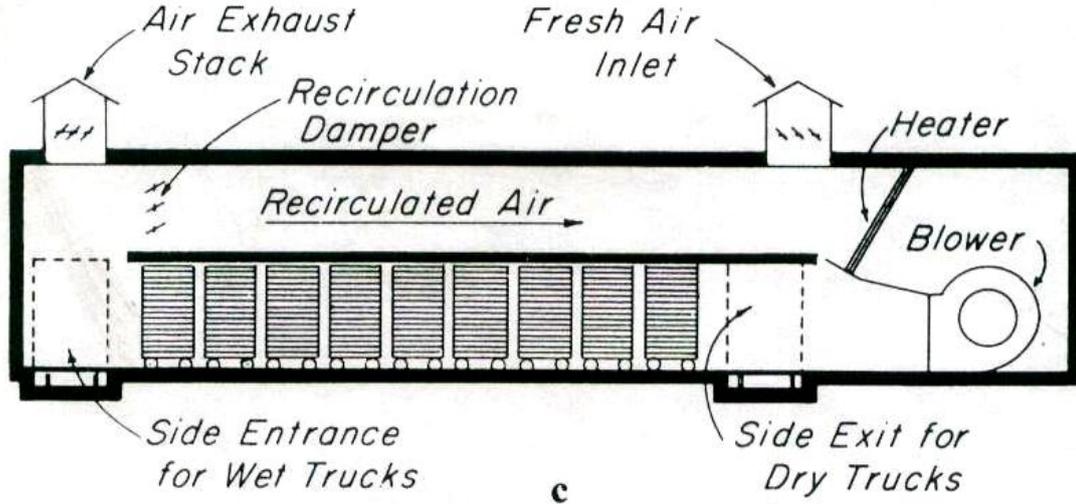
### 2- مجففات النفق المتعكسة الجريان counter current flow dryers

يدخل الهواء في هذه المجففات من جانب والغذاء من الجانب المعاكس وخلال التجفيف يتحرك الغذاء والهواء الذي يكون بدرجة حرارة تراوح بين 37.8 – 48.9 مئوي في بداية التجفيف ثم ينتهي الى درجات حرارة اعلى بحدود 65.6 – 76.7 مئوي قرب النهاية في خط التجفيف . يمتاز هذا النوع بانه على كفاءة عالية من التجفيف ، ولكن اذا لم تراعى السيطرة على العملية فانه يؤدي الى حرق الغذاء.



### 3- مجففات النفق المزدوجة mixed tunnel dryers

في هذا النوع من المجففات يتم مزج المتوازي مع المتعكس او المتعكس مع المتوازي في عملية تجفيف واحدة. ففي التجفيف المتوازي / المتعكس الشائع الاستعمال تتم الاستفادة من السرعة العالية للتجفيف في البداية بواسطة (المتوازي) ومن ثم ضمان الحصول على غذاء جاف من الجانب الاخر (المتعكس).



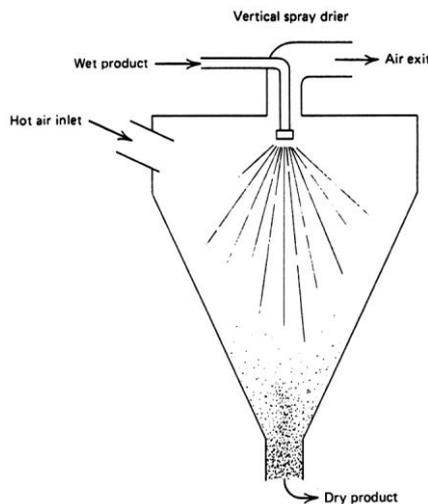
### 3- مجففات القمائن kiln dryers

يتكون هذا النوع من المجففات من بناء ذي طابقين ، الطابق العلوب تتكون ارضه من شرائح خشبية سميكة مرصوفة مع بعضها طوليا تتخللها فتحات ضيقة ، اما هواء التجفيف الساخن فيتولد من موقد او سخان يوضع في ارض الطابق السفلي حيث يرتفع هذا الهواء الى الاعلى بواسطة تيارات الحمل ثم يدخل من خلال الفتحات الخشبية الى الغذاء الذي فوقها والذي يقلب بين وقت واخر لحين نهاية التجفيف. وقت التجفيف يتراوح بين 6 - 8 ساعات ، هذا النوع من المجففات كفاءته قليلة وعملية التجفيف بطيئة والسيطرة عليها معدومة.

### 4- مجففات الرذاذ spray dryers

يتم ادخال المادة الغذائية بشكل رذاذ الى داخل غرفة التجفيف حيث تتعرض اجزاء المادة الغذائية الى هواء حار ، فيتم تبادل حراري بين اجزاء المادة الغذائية والهواء الحار فيتبخر الماء ويرتفع الى الاعلى حيث ينقل مع الهواء الحار الى الخارج بواسطة اجهزة خاصة موضوعة فيها لازالة هذه الابخرة.

يتم تكوين الرذاذ في هذه المجففات باستعمال بخاخات atomizers عاملة بالضغط وفيها يتم ضخ المادة الغذائية تحت ضغط عالي يتراوح بين 24.4 - 34.16 كغم/سم<sup>2</sup> خلال فتحة صغيرة ويوجد تعرج قبل الفتحة بسبب الحركة الدورانية للسائل فيكون الرذاذ.



مجففات الرذاذ اما ان تكون من النوع المتوازي والذي تسير فيه المادة الغذائية بشكل متوازي مع الغذاء الساخن وهو على ثلاثة انواع:

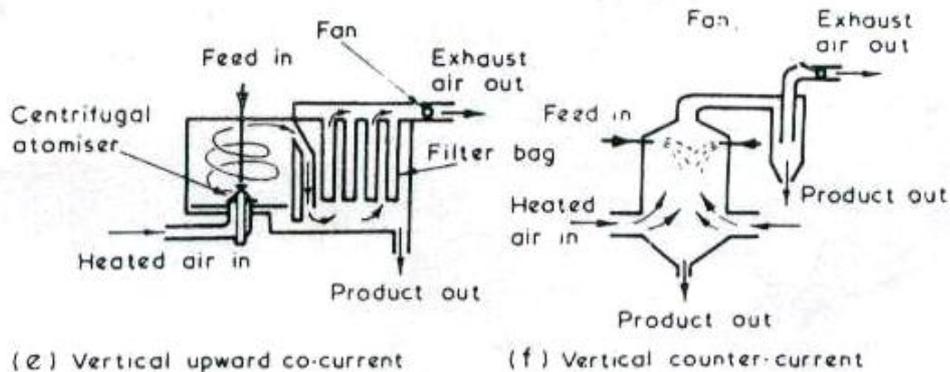
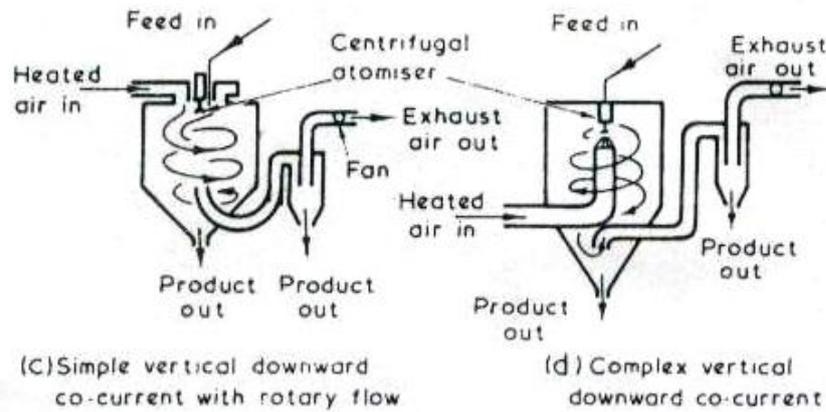
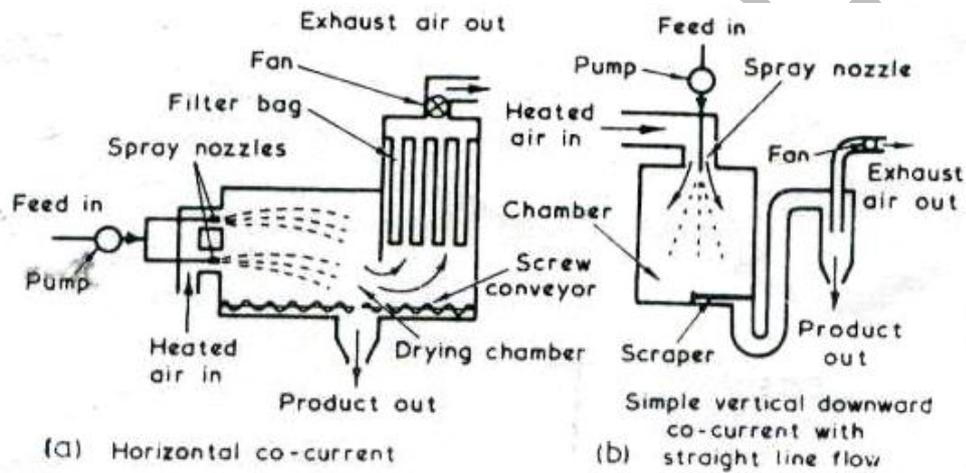
أ- المجففات الافقية ذات التيار المستقيم .

ب- المجففات العمودية ذات التيار المستقيم.

ج- المجففات ذات التيار الدوار.

من مميزات هذه الاجهزة بان وقت التجفيف فيها قصير جدا اذ يتراوح من 3 - 10 ثانية وينتج عن هذا النوع نت التجفيف جزيئات غذائية صغيرة جدا.

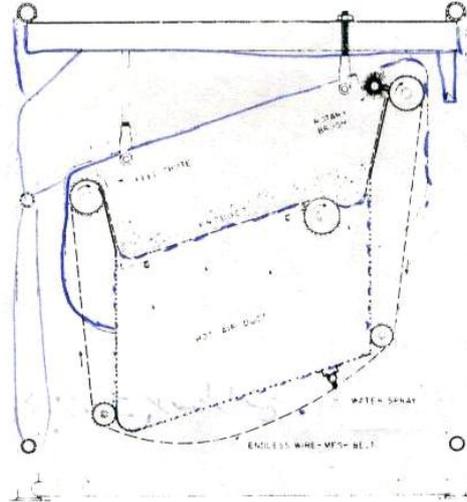
او مجففات الرذاذ التي يسير فيها الهواء من الاسفل وعكس سير المنتج الساقط .



## 5- المجففات الحوضية belt - trough dryers

يحتوي هذا المجفف على حزام فولاذي مشبك مكون من حوض بطول 3 م وعرض 1.2 م . يهبط الغذاء من جانب واحد من المجفف بعدها يتم تجفيفه بواسطة تيار من الهواء الساخن يدخل من اسفل المجفف متجها الى الاعلى مارا من خلال الحزام والغذاء . اما الحزام فيتحرك بصورة مستمرة بينما تبقى المادة الغذائية تتقلب باستمرار معرضة لجميع اجزائها الى التجفيف وبعد ذلك تخرج من الجانب الاخر نتيجة الميل القليل الموجود في تصميم المجفف.

يستعمل هذا النوع من المجففات لتجفيف بعض الخضروات المجففة /المجمدة dehydrofrozen والتي فقدت 50 % من رطوبتها قبل التجميد ، اما الفواكه فلا تجفف بالمجففات الحوضية لسهولة فقدها لجزء من سكرياتها مما يجعلها تلتصق على بعضها وبالتالي تؤثر سلبا على تجفيفها وتفقد لونها على درجات التجفيف العالية. اما درجة حرارة الهواء فتبلغ 135 درجة مئوية وبواسطة هذه الحرارة العالية تنخفض رطوبة الخضروات الى 5 - 7 % بفترة زمنية تصل الى ساعة.

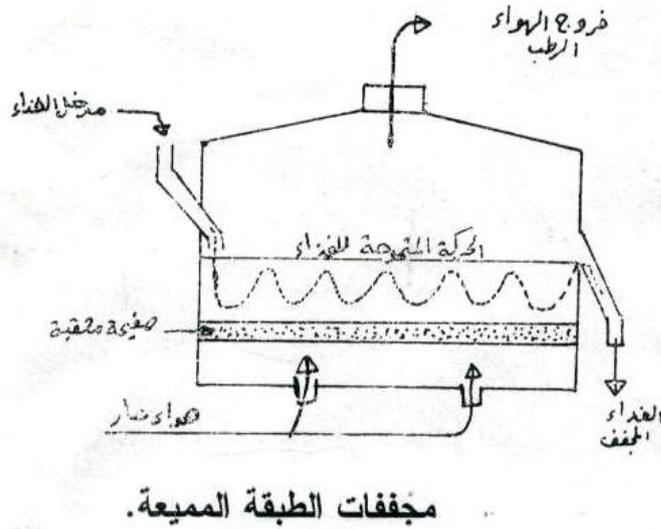


مجفف حوضي .

## 6- مجففات الطبقة المميعة fluidized bed dryers

تعتبر هذه المجففات تحويلا للمجففات الحوضية حيث يدخل الهواء الساخن من خلال صفيحة مثقبة متجها الى الاعلى مارا من خلال الغذاء وبسرعة معينة بحيث يرفع الغذاء قليلا وبالوقت نفسه يعمل هذا الهواء على دفع الغذاء من بداية دخوله الى نهاية خروجه من المجفف فيظهر الغذاء يتحرك وهو بشكل مائع.

يستعمل هذا النوع من المجففات لانهاء تجفيف اغذية سبق وان جففت بصورة جزئية بطرق اخرى. يمتاز هذا النوع من المجففات بانه بسيط التصميم ويضمن توزيع الحرارة حول الغذاء بشكل متجانس.



#### 7- مجففات الرفع بالهواء air lift dryers

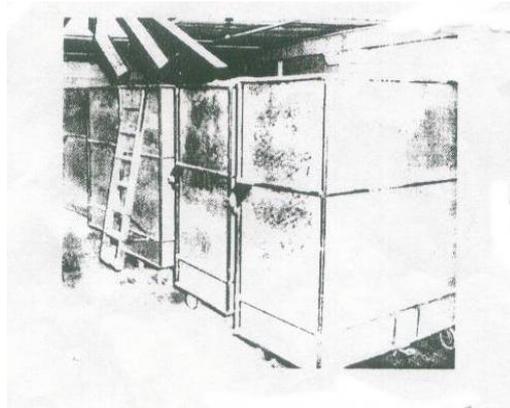
يستعمل هذا النوع من المجففات لخفض رطوبة بعض الاغذية التي سبق وان جففت بطرق اخرى ، حيث تصبح حبيبات المادة الغذائية في مجرى الهواء الصاعد في انبوب ضيق حيث تجف بسرعة لتماسها الجيد مع الهواء وبعد التجفيف يدخل الهواء مع المادة الغذائية المجففة الى داخل مخروط cyclone ذي قطر واسع حيث عنده تهبط سرعة الهواء الى الدرجة التي تسمح لحبيبات المادة الغذائية المجففة بان تصطدم بالجدار وتسقط ثم تتجمع وتنتقل بواسطة حزام ناقل ، بينما الهواء الرطب يخرج من الاعلى.

#### 8- مجففات الحصر الرغوية foam mat dryers

تشمل هذه العملية على تجفيف العصير او السوائل المكثفة بعد ان يعمل منها رغوة ثابتة تفرش بشكل طبقة رقيقة ثم يمرر عليها الهواء الساخن لتجفيفها. يتم تحضير هذه الرغوة من الغذاء بواسطة خلاط يضخ به غاز ومثبت للرغوة عند الضرورة بعدها تنتشر هذه الرغوة المحضرة على صواني مثقبة ثم تجفف بالهواء الساخن يتبعها سحق المجفف الى مسحوق ناعم.

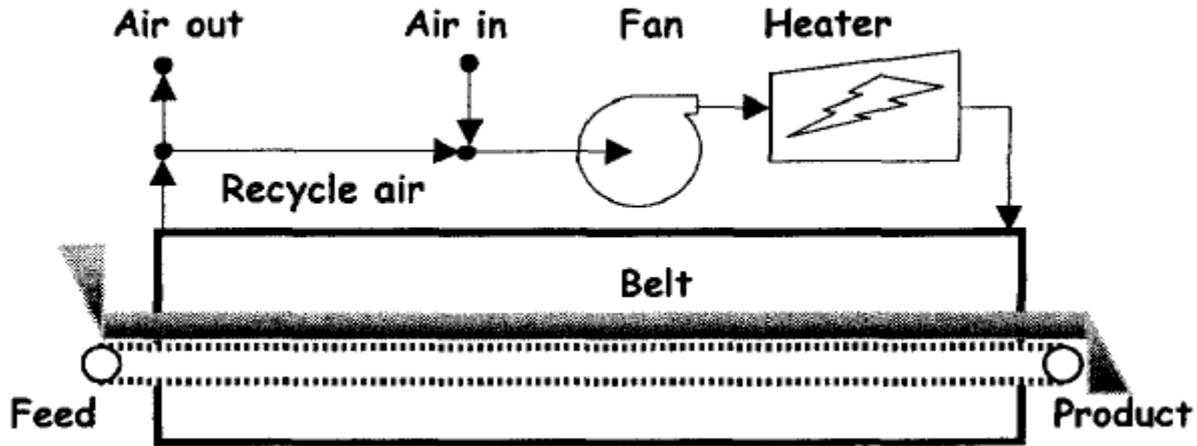
#### 9- المجففات الخابية bin dryers

تستعمل هذه المجففات اعتياديا في استكمال تجفيف الخضروات بعد ان انتزع منها الجزء الاكبر من الرطوبة في مجففات اخرى كمجففات النفق مثلا فهي تعمل على خفض رطوبتها من 10 - 15 % الى 3 - 6 % وهذه العملية تستغرق 36 ساعة



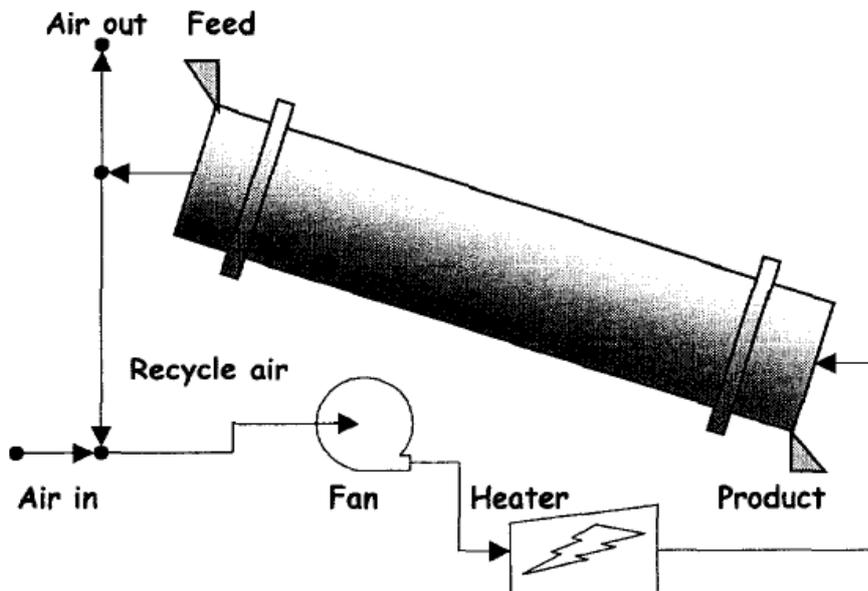
### 10- المجفف ذو الحزام الناقل المفرد single-belt conveyor dryer

ويستخدم بشكل واسع في معامل الاغذية لتجفيف الاغذية بالطريقة المستمرة . عندما يدخل الغذاء الى الحزام الناقل فانه يتحرك ببطيء في المجفف ليحقق زمن التجفيف المطلوب . الهواء مسخن حسب الدرجة الحرارية المطلوبة بواسطة مبادلات حرارية او مخلوط مع غازات احتراق من قود نظيف ويدفع مباشرة فوق او تحت الغذاء . ولغرض بقاء الغذاء فترة اطول يستخدم مجفف متعدد الاحزمة الناقلة مثلا ثلاث احزمة تدور في اتجاهات متعكسة.



### 11- المجففات الدوارة rotary dryers

ويتكون من اسطوانة طويلة مائلة تدور ببطيء وتجري المواد الغذائية فيه بفعل السقوط وتكون محلقة داخل الاسطوانة . الهواء مسخن حسب الدرجة الحرارية المطلوبة بواسطة مبادلات حرارية او مخلوط مع غازات احتراق (الغاز الطبيعي) من قود نظيف ويدفع مباشرة فوق او تحت الغذاء . ولايمكن ان توضع في هذا المجفف كميات كبيرة من الاغذية لانه يسبب لها تلفا ميكانيكيا بسبب الاحتكاك الميكانيكي خلال الحركة في الانبوب. وهذا النوع من المجففات يكون سعره اقل ام مجففات الحزام الناقل.



## ثانيا: المجففات الاسطوانية drum dryers

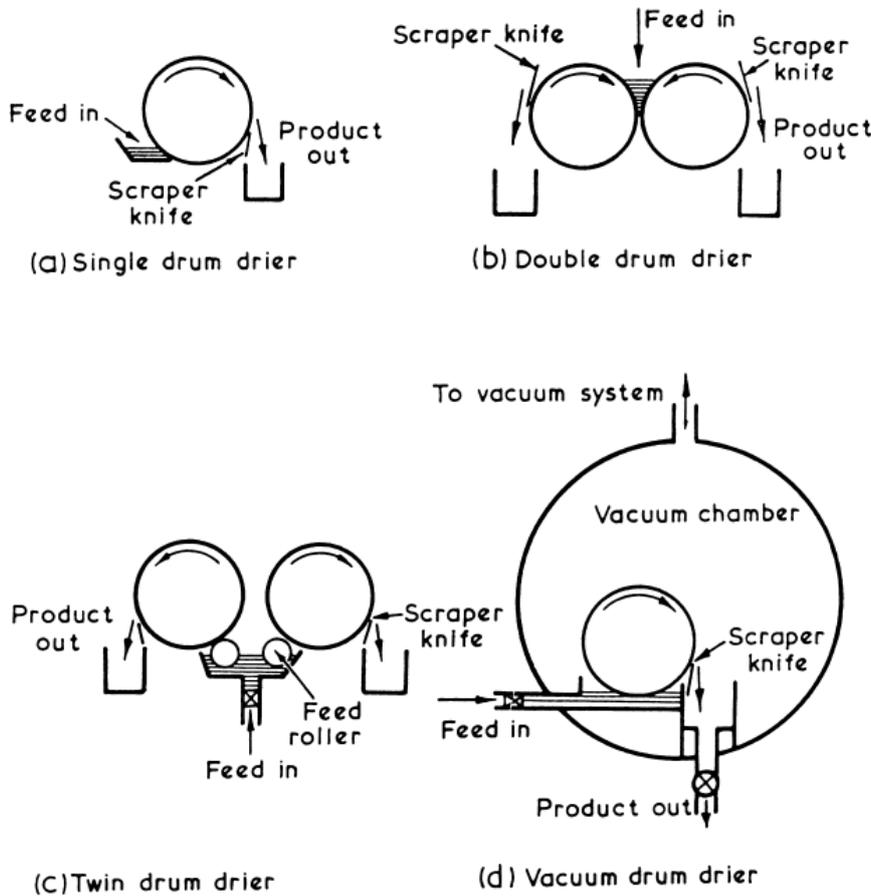
تستعمل هذه المجففات لتجفيف انواع مختلفة من الاغذية السائلة او المكثفة حيث تتم العملية بسكب الغذاء على السطح الخارجي للاسطوانة الدوارة والبطيئة الحركة ويتم تجفيف الغذاء بدورة واحدة بعدها يقشط الغذاء المجفف بواسطة سكين خاصة تسمى docter blade.

تسخن الاسطوانة بواسطة البخار من الداخل ويمتاز سطحها الخارجي بانه سريع التوصيل الحراري وان الفترة الزمنية التي يستغرقها الغذاء لحين استكمال تجفيفه تتراوح بين ثانييتين الى عدة دقائق. وهناك نوعان من المجففات الاسطوانية:

### 1- المجففة الاسطوانية المنفردة single drum 2- المجففة الاسطوانية المزدوجة double drum .

ان تغذية الاسطوانة المنفردة يتم من الاسفل بواسطة تماس الاسطوانة مع الغذاء في حوض الغذاء واما المزدوجة فان الغذاء يسكب عليها من الاعلى او من الاسفل. اما المسافة بين الاسطوانتين فتحدد بواسطة الطبقة المجففة المطلوبة. يمتاز التجفيف الاسطواني بانه قليل التكاليف وان الاستفادة منه تجاريا محصورة على الاغذية التي لاتتأثر كثيرا بالحرارة العالية مثل درجة حرارة 121 مئوي كالبطاطا.

اما المجففات الاسطوانية التي تعمل تحت التفريغ فهي تستعمل لتجفيف الاغذية عند درجات حرارة واطئة لكونها شديدة الحساسية للحرارة كالحليب والموز وعصير الفواكه.



### ثالثا : مجففات الضغط المنخفض vacuum dryers

تمتاز هذه المجففات بقابليتها على انتاج نوعية عالية من الاغذية المجففة ولكونها طريقة مكلفة فهي تستعمل فقط للاغذية التي تحرص اسعارها مثل هذه التكاليف. اما سرعة ازالة الرطوبة من الغذاء فتحدد بمقدار التفريغ ودرجة الحرارة الموجودة في المجفف وهي على ثلاثة انواع:

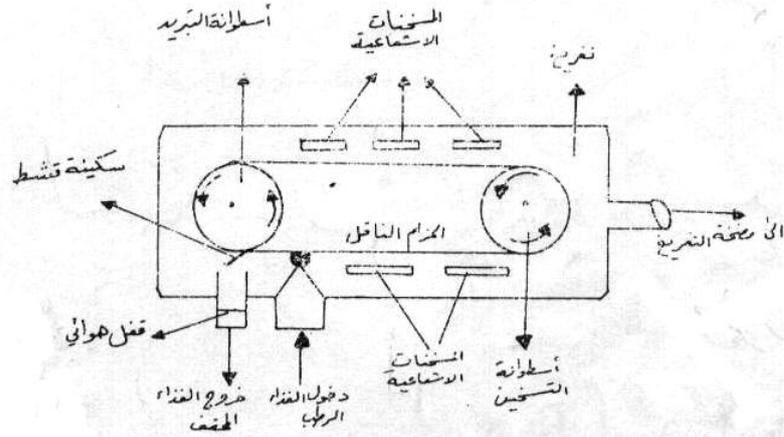
#### 1- مجففات الرفوف المفرغة vacuum shelf dryers

يتكون هذا المجفف من صندوق ذي رفوف مجوفة يدور في داخل طياته بخار او ماء او زيت حار يعادل تفريغ مقداره 8 ملم زئبق و اقل ، يفقد الرطوبة على درجة حرارة اقل من 38 مئوي والمسحوق الناتج يصبح منفوشا وقيمتة الغذائية عالية وسريع التشرب بالماء.

#### 2- مجففات الحزام المستمر المفرغة continuous vacuum belt dryers

تستعمل هذه المجففات لتجفيف عصير الفواكه والشاي والقهوة السريعة الذوبان ابعادها  $3.7 \times 16.8$  م<sup>2</sup> وفي داخلها توجد اسطوانتين مجوفتين يدور حولها حزام فولاذي يتحرك عكس عقرب الساعة ، فالاسطوانة على اليمين تسخن بواسطة مسخنات اضافية من نوع الاشعة الحمراء الموضوعة في اماكن متفرقة من امتداد الحزام الناقل اما الاسطوانة على اليسار فتبرد بواسطة الماء البارد الذي يدور بداخلها والتي بدورها تبرد الحزام الناقل فوقها.

عندما يدخل الغذاء الى المجفف يلامس اولا الجزء السفلي من الحزام الناقل ثم بعدها يدور فوق الاسطوانة المسخنة ثم يبرد بسرعة بواسطة الاسطوانة المبردة بعد ان تهبط رطوبته الى 2 % يقشط بعدها بسكين من على الاسطوانة ثم يجمع وينقل خارجا للتعبئة.



مجفف الحزام المستمر المفرغ .

#### 3- مجففات النفث المفرغة – التجفيف الاسفنجي vacuum or explosive puff dryers

تستعمل هذه الطريقة على القطع الغذائية الكاملة او اجزائها مثل التفاح او الموز حيث تجفف جزئيا لفترة 20 – 30 دقيقة على ضغط يعادل 21 ملم زئبق وعند درجة حرارة 82 – 93 مئوي بعدها تتخلص من هذا التفريغ.

يحقن البخار الى داخل الجهاز لرفع الضغط الى ما فوق الضغط الجوي الاعتيادي وذلك بحدود 9 – 14 كغم في خلال فترة 1-3 دقيقة وذلك لرفع درجة حرارة الماء ف الغذاء بعدها يفرغ الغذاء فجأة مرة اخرى الى

ضغط يعادل 21 ملم زئبق من خلال دقيقة واحدة وذلك للتخلص من الماء المتبخر في داخل الغذاء مع الاحتفاظ بدرجة حرارة قدرها 82 - 83 مئوي حتى نهاية التجفيف ، بعدها تقل درجة الحرارة بسرعة للسماح لنسيج الغذاء ان يكون ذو صلابة معينة وبالوقت نفسه يسمح للضغط بان يزداد تدريجيا الى ان يصل الى الضغط الجوي الاعتيادي ثم يبرد الغذاء الناتج وهو ذو شكل اسفنجي وكثير المسامات وسهل التشرب ثانية بالماء.

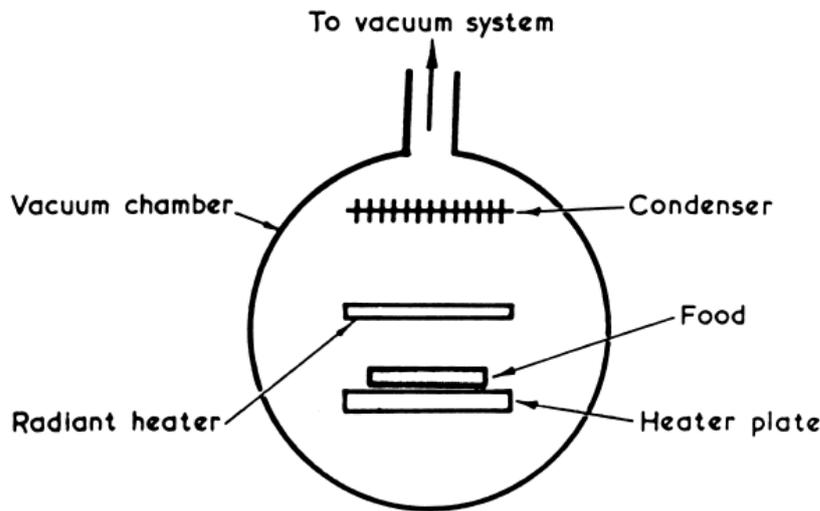
تستعمل هذه الطريقة لتحضير مساحيق متنوعة من العصير كالبرتقال الليمون والتفاح . يمتاز المسحوق الناتج بانه ذو نكهة عالية ولون جيد اضافة الى انه مسامي القوام وسريع التشرب بالماء البارد.

رابعا: مجففات التجفيد freeze dryers

تعتمد فكرة التجفيد على تجميد الغذاء اولا لتحويل جميع الماء الى ثلج بعدها يوضع هذا الغذاء في جهاز التجفيد تحت ضغط اقل من 4.7 ملم زئبق حيث يتسامى الثلج الى بخار دون المرور بالحالة السائلة.

يحدث التسامي للثلج على سطح الغذاء اولا ثم يستمر الى مركز المادة الغذائية ، فالغذاء المجفد يبقى محتقضا بقوامه المسامي لان البلورات الثلجية عند تساميتها تترك خافها في الغذاء تجاوبف فارغة مما يجعله سريع التشرب للماء ثانية ومن الضروري ان يبقى معلق بصورة جيدة لمنع امتصاص الرطوبة من الجو . وتعتبر هذه العملية مكلفة.

من التطورات الاخيرة والجديدة المستعملة مع هذه العملية هي استعمال التسخين بالموجات المايكروية ، ومن مزاياها انها تسخن فقط البلورات الثلجية وتختزل الوقت من 1/2 - 10/1 مقارنة مع وقت التجفيد الاعتيادي.



كما ان هناك طريقة اخرى تمزج بين التجفيف بالهواء وبين التجفيد وتسمى هواء وتجفيد air freeze drying وفي هذه الطريقة تؤخذ مقاطع الخضروات وتجفف بالهواء الى حوالي 50 % من رطوبتها ثم بعد ذلك تجفد الى رطوبة 2 - 3 % واستخدمت هذه الطريقة في تجفيف الفاصوليا الخضراء والكرفس والذرة والفلفل وهذه الطريقة ترفع من كفاءة التجفيد ما بين 50 - 70 % مقارنة مع التجفيد لوحده.

خامسا : المجففات التي تعمل على حرق النباتات كقوود لتشغيلها

يكثر استعمال هذا النوع من المجففات في تجفيف البن في امريكا الوسطى ، حيث يتم تقطيع 66800 م<sup>2</sup> من الغابات على مدار موسم الحصاد وتستغل الطاقة الحرارية المتولدة من الحرق في التجفيف. لكن هذه الطريقة تؤدي الى تدمير الغابات الاستوائية وتلويث البيئة .

سادسا: التجفيف بتأثير الضغط الاوزموزي وتحت التفريغ osmovac drying

بعد ان تقطع الفاكهة يتم تعريضها الى محلول سكري او الى السكر الجاف لازالة الماء من نسيجها بواسطة العملية الاوزموزية ثم يكمل التجفيف بواسطة المجففات التي تعمل تحت التفريغ.

سابعا: مجففات الفصل الميكانيكي mechanical separation dryers

وفيها تزال الرطوبة بواسطة القوة الطاردة المركزية ومثالها ازالة الماء من البنجر السكري.