

الباب الحادى عشر

التجفيف

DRYING OR DEHYDRATION

حفظ الاغذية بالتجفيف

التجفيف Drying أو التنشيف Dehydration هو عبارة عن عملية ينتج عنها خفض المحتوى الرطوبى للمادة نتيجة لتبخر الماء منها وبالتالي تركيز ما تحتوى عليه من المكونات الصلبه الذائبه وبذلك يمكن حفظها لفترات طويله دون خوف من سرعة تعرضها للتلف حيث انه كلما كانت نسبة الرطوبه بالمادة مرتفعه كلما كانت مجال خصب لنمو الكائنات الدقيقه ونشاط الانزيمات .

وصناعة التجفيف تعتبر من اكثر الصناعات الغذائيه ممارسه واهميه ، فهى من الصناعات القديمه التى ادت الحاجه الطبيعيه للانسان لقيامها . وقد كانت عمليه التجفيف - ومازالت فى كثير من الاحيان - تتم طبيعيا بتعريض المادة المراد تجفيفها للشمس والهواء لخفض نسبة الرطوبه بها كما هى الحال فى تجفيف البلع او العنب وبعض الخضروات . وقد استحدثت عمليه التجفيف الصناعى نظرا لانه يمكن فيها التحكم فى العوامل المؤثره على المادة الجففه مثل سرعة الهواء والتحكم فى درجة حرارته ونسبة رطوبته .

ويشترط فى تجفيف الاغذيه المحافظه على مركباتها بدون أى تلف او تحلل اثناء عمليه التجفيف او اثناء تخزين المواد الجففه ، كما يشترط فى الماده الغذائيه الجافه سرعة تشربها ثانياه للرطوبه عند نقعها فى الماء حتى تسترجع اكبر قدر ممكن عمليا من صفات وخواص مادتها الطازجه .

وعمليه تجفيف المنتجات الزراعيه والغذائيه تعتبر ذات اهميه كبيره فى الحفظ لاقبل اهميه عن طرق الحفظ الاخرى مثل التبريد أو التجميد بل تفوقها فى بعض الاحيان خاصة اثناء الحروب . واهم مميزات الاغذيه الجففه :

- ١- ارخص طرق الحفظ لانخفاض تكاليف الانتاج والعبوات وعدم الحاجه الى اضافه مواد حافظه اخرى او تخزينها فى غرفه التبريد .
- ٢- انخفاض تكاليف النقل والشحن والتخزين نتيجة لقله وزنها وحجمها .
- ٣- تواجد الاغذيه المحفوظه بالتجفيف على مدار السنه .
- ٤- يمكن الاحتفاظ باكبر قدر ممكن من صفات المواد الغذائيه الطازجه وذلك طالما كان هناك عناية كافيه فى تصنيعها وتخزينها .

الخطوات الرئيسية فى تحضير ثمار الفاكهه والخضر للتجفيف :

- ١- انتخاب اصناف الفاكهه والخضر التامة النضج اذ ان تجفيف الثمار الغير تامه النضج يتسبب عنها لون غير مغرى ومذاق غير مستحب وانكماش ظاهر فى شكلها الخارجى .
- ٢- العناية بقطف ثمار الفاكهه حتى لايتسبب ذلك فى قلة جودتها .
- ٣- مراعاة انتخاب اصناف الفاكهه والخضر التى بها نسبة مرتفعه من المواد الصلبه . اى نسبة الرطوبه بها قليله وبذلك يمكن زيادة نسبة التجفيف وتقليل كمية الماء الواجب تبخيرها من المادة الطازجه .
- ٤- مراعاة الصفات الخاصه فى الثمار التى تحدد جودة المنتجات المجففه مثل ارتفاع نسبة الكاروتين فى الجزر والبطاطا ونسبة فيتامين C فى الفواكه وانخفاض نسبة السكريات المختزله وما اليها من صفات مشابهه .
- ٥- مراعاة عدم تلف الثمار فى الفترة بين جمعها وتجفيفها . فبعض الخضروات تتعرض للتلف بسرعة بمجرد حصادها ، لذلك يجب نقلها وتجفيفها فى اقصر وقت ممكن . وكثير من ثمار الفاكهه يمكن تخزينها داخل غرف تبريد اثناء هذه الفترة حتى يتم تجفيفها .
- ٦- تغسل جميع الخضروات وخاصة الجذرية منها غسلا جيدا لازالة الأتربه والمواد العالقه بها . ولاينصح بغسل الفاكهه الا اذا كانت معاملة باحدى المواد المبيده للحشرات أو اذا جمعت من الارض .
- ٧- لتسهيل عملية التجفيف ولانتاج فواكه او خضر مجففه ذات مظهر افضل ومذاقا احسن تتم عمليات الفرز والتنظيف والتقطيع وازالة النقى والتقشير . وتتم عملية التقشير للخضروات الجذريه وبعض انواع الفاكهه كالتفاح والخوخ اما بواسطة آلات التقشير بالاحتكاك كما فى البطاطس والبطاطا ، او بالمحالييل القلويه كما فى الخوخ .

٨- الغمر بالقلوى : Dipping

تغمر ثمار الفاكهه قبل عملية التجفيف فى محلول قلوى مثل الصودا الكاويه ٥.٠٪ وذلك لازالة الاتربه الملصقه بالثمار ، والطبقة الشمعيه الموجوده على سطحها مع تليين قشور الثمار وتشقيقها حتى تسهل عملية تبخير الماء من الثمار .

٩- الكبريتسه : Sulfuring

والمقصود بهذه العمليه هو معامله ماده المعده للتجفيف بغاز ثانى اكسيد الكبريت واهم اغراض هذه العمليه مايتى :-

- أ - ايقاف عمل الانزيمات خاصه المؤكسده .
- ب - تمنع اكسده سطح الثمار بالهواء .
- ج - تساعد على المحافظه على اللون والطعم الطبيعى للفاكهه او الخضر .
- د - تساعد على استخدام درجات حراره عاليه فى عمليه التجفيف .
- هـ - تأخر معدل فقد الفيتامينات خاصه فيتامين أ ، ج .
- و - اطاله مدة التخزين نتيجه لتأثير غاز ثانى اكسيد الكبريت على نشاط الاحياء الدقيقه .

١٠- التبخير : Fumigation

تبخر الفاكهه كالبطح ومعظم الخضروات قبل او بعد عمليه التجفيف للتخلص من الآفات الحشريه .

نظرية التجفيف الصناعى

عندما تتعرض المادة المراد تجفيفها للجو يفقد السطح المبلل لهذه المادة كمية كبيرة من رطوبته وذلك نتيجة لتبخر الماء منه . وحيث ان عملية تبخير الماء يلزم لها اضافة كمية حرارة كافية لاتمامها فاننا نجد ان عملية التجفيف ينتج عنها الآتى :

- ١- انخفاض نسبة الرطوبة فى سطح المادة المعرضه للجو نتيجة لتبخر الماء منها .
- ٢- انخفاض فى درجة حرارة سطح المادة وذلك لامتصاص كمية الحرارة منها لاحداث التبخير .
- ٣- ارتفاع تركيز بخار الماء فى الجو المحيط بسطح المادة .
- ٤- انخفاض معدل التبخير كنتيجة للآتى :

أ - انخفاض نسبة الرطوبة بسطح المادة المعرضه للجو يؤدى الى الاقلال من معدل التبخير .

ب- انخفاض درجة حرارة السطح المعرض وعلى ذلك ينخفض معدل التبخير كنتيجة لصعوبة الحصول على الحرارة الكافية منه لاحداث التبخير .

ج- وجود طبقة راكده من الهواء على سطح المادة يتسبب عنها مقاومه مرور الرطوبة من داخل المادة الى الجو الخارجى اى انه يسبب تشبع سطح المادة ببخار الماء .

وحيث ان عملية التجفيف الصناعى تتحكم اساسا فى سرعة مرور الهواء على السطح الخارجى وخلال انسجة المادة المراد تجفيفها ، وكذلك يتحكم فى درجة حرارة ونسبة رطوبة الهواء ، فانه يمكن الاقلال من انخفاض معدل التبخير بواسطة التجفيف الصناعى وذلك كما يأتى :-

التجفيف

١- تزود المجففات الصناعيه بالطاقيه الحراريه اللازمه للتجفيف عن طريق التسخين المباشر (حرق الوقود مباشره فى المجففات) او الغير مباشر (كاستخدام مبادلات حراريه يمر بداخلها بخار وخارج اسطحها هواء التجفيف) وينتج عن ذلك ارتفاع درجة حرارة السطح المعرض للماده وبذلك يسهل انتقال الحرارة من الجو الملامس للماده الى داخلها وبالتالي يرتفع معدل التبخير منها. ويجب مراعاة عدم رفع درجة حرارة الهواء الى الحد الذى ينتج عنه ضرر للماده المراد تجفيفها . غير انه يمكن استخدام درجات حرارة اعلى لهواء التجفيف فى حالة ما اذا كانت اسطح المواد المراد تجفيفها بها نسبة عاليه من الرطوبه .

٢- تستخدم مراوح لدفع هواء التجفيف داخل المجففات وبذلك تكون سرعة الهواء مرتفعه يتسبب عن ذلك ازاحة تيارات الهواء الساخن لطبقة الهواء المشبعه ببخار الماء الراكده على اسطح الماده المراد تجفيفها والتي تقاوم تبخير الرطوبه من داخل الماده نفسها ، ويختلف سمك الطبقة الراكده باختلاف سرعة الهواء المستخدمه . فكلما كانت السرعة بطيئة كلما كان سمك هذه الطبقة كبيره ويقل هذا السمك بازدياد سرعة الهواء كذلك يجب ان يكون الهواء المار داخل المجففات به نسبة منخفضة من الرطوبه حتى يزيد من قدرته على امتصاص كمية كبيره من الرطوبه .

وتتم عملية التجفيف على مرحلتين :

١- المرحلة الاولى وتعرف بمرحلة معدل التبخير الثابت :

Constant Rate Period :

فأى مادة بها كمية من الرطوبه ، يوجد عادة على سطحها طبقة ذات سمك صغير من الماء . وازالة هذه الطبقة بالتجفيف يماثل تماما تبخير الماء من سطح اناء محتوى على ماء ومعرض للهواء الساخن . والمدة اللازمه للانتهاء من المرحله الاولى تعتمد مباشره على سمك طبقة الماء على سطح الماده وتكون هذه المدة قصيره . والمحتوى الرطوبى للماده الذى تصل اليه بعد المرحله الاولى يعرف بالمحتوى الرطوبى الحرج (M_c) Critical Moisture Content ويعده تبدأ عملية التجفيف فى المرحله الثانيه .

٢- المرحله الثانيه وتعرف بمرحلة معدل التبخير المتناقص :

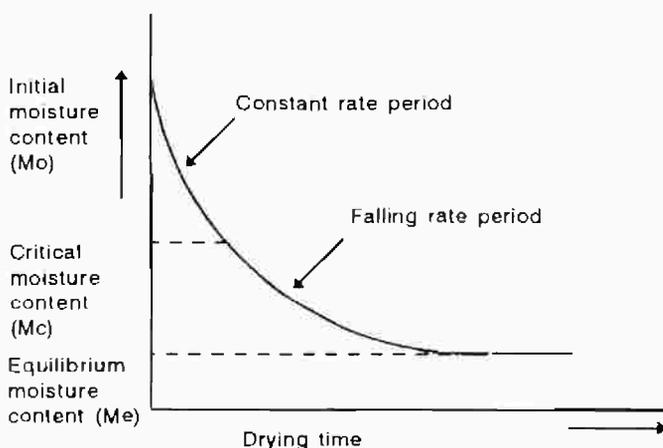
Falling Rate Period :

وتتم هذه المرحله على الوجه التالى :

أ - تحرك الرطوبة (الماء) داخل المادة المراد تجفيفها الى ان تصل الى السطح الخارجى .

ب- ازالة هذه الرطوبة من السطح الخارجى .

والتحرك الداخلى للرطوبة فى المواد الغذائيه (سواء بها خلايا وانسجة تجعلها مساميه) يماثل تحرك السوائل فى الانابيب الشعريه او تحركها بالجاذبيه مثل تحرك المياه الجوفيه فى الاراضى المساميه . واذا كان المحتوى الرطوبى للمادة اقل من درجة التشبع يكون تحرك الرطوبة بطريقتة الانتشار Liquid Diffusion



شكل (١-١١) منحنى التجفيف

والرسم البيانى شكل (١-١١) يمثل العلاقة بين المحتوى الرطوبى للمادة المراد تجفيفها والزمن الذى تستغرقه عملية التجفيف خلال مروره بمرحلتى التجفيف المذكورتين ، ونلاحظ ان المحتوى الرطوبى للمادة لا يقل عن حد معين مهما طالت مدة التجفيف حيث يكون عندها ضغط بخار الماء داخل المادة فى حالة اتزان كامل مع ضغط بخار الماء الموجود فى هواء التجفيف ويسمى بالمحتوى الرطوبى المتوازن (M_e) Equilibrium Moisture Content .

الحسابات الخاصة بالتجفيف

تعريف :

تعتبر كمية المياه المتشربة في المادة الغذائية من أهم المهام الرئيسي لإجراء عملية التجفيف لخفضها . ويعبر عن ذلك بالمحتوى الرطوبي للمادة أما منسوبا للوزن الكلى الرطب أو الوزن الجاف فقط ويسمى في هذه الحالة كذلك بنسبة الرطوبه في المادة كما يلي :

المحتوى الرطوبي للماده على الأساس الرطب :

Moisture content, wet basis % (m)

ويرمز لها بالرمز m ، وهي النسبه بين وزن الرطوبه بالماده والوزن الكلى للماده أى ان :

$$m = \frac{W_m}{(W_m + W_d)} \times 100 \quad (11-1)$$

حيث :

W_m = وزن الرطوبه بالماده

$W_m + W_d$ = الوزن الكلى للماده = W_t

W_d = الوزن الجاف للماده = Weight of bone-dry material

المحتوى الرطوبي للماده على الأساس الجاف:

Moisture content, dry basis, % (M)

ويرمز له بالرمز M ، وهي النسبه بين وزن الرطوبه بالماده والوزن الجاف تماما للماده وعادة ماتسمى نسبة الرطوبه في المادة Moisture Ratio .

$$M = \frac{W_m}{W_d} \times 100 \quad (11-2)$$

والعلاقه الآتية تربط المحتوى الرطوبي على الأساس الرطب والمحتوى الرطوبي

على الأساس الجاف

$$M = \frac{100m}{100 - m} \quad (11-3)$$

ويفضل عند عمل حسابات التجفيف استخدام المحتوى الرطوبي على الأساس الجاف (M) إذ انه منسوب الى الوزن الجاف تماما بالمادة وهو ثابت لا يتغير اثناء عملية التجفيف بعكس المحتوى الرطوبي على الأساس الرطب (m) فهو منسوب الى الوزن الكلى للمادة وهو يعتبر كمية متغيره يتغير اثناء فترة التجفيف وحسب درجته .

حساب كمية الرطوبة الواجب التخلص منها بالتجفيف :

ويمكن حساب كمية الرطوبة التي يجب التخلص منها بالتجفيف وذلك باستخراج المحتوى الرطوبي أولا قبل عملية التجفيف ثم المحتوى الرطوبي بعد عملية التجفيف ويكون الفرق بينهما يساوي كمية الرطوبة الواجب طردها منسوبه الى الوزن الجاف تماما للمادة. ولما كانت هذه الطريقة مطوله فقد استخرجت بعض المعادلات التي يمكن بواسطتها ايجاد وزن الرطوبة الواجب طردها مباشرة وهذه المعادلات هي :

١- وزن الرطوبة الواجب ازالتها (تبخيرها) من وحدة وزنيه واحده من الماده الطازجه:

$$\frac{\text{Weight of moisture}}{\text{Weight of fresh material}} = \frac{M_1 - M_2}{100 + M_1} = \frac{m_1 - m_2}{100 - m_2} \quad (11-4)$$

حيث (1) يرمز للحاله قبل اجراء عملية التجفيف ، (2) يرمز للحاله بعد اجراء عملية التجفيف .

٢- وزن الرطوبة الواجب ازالتها (تبخيرها) للحصول على وحدة وزنيه واحده من الماده المجففه :

$$\frac{\text{Weight of moisture}}{\text{Weight of dried material}} = \frac{M_1 - M_2}{100 + M_2} = \frac{m_1 - m_2}{100 - m_1} \quad (11-5)$$

٣- تقدير نسبة التجفيف Drying Ratio وهي وزن الماده الطازجه اللازمه لانتاج وحدة وزنيه واحده من الماده المجففه :

$$\text{Drying Ratio} = \frac{\text{Weight of fresh material}}{\text{Weight of dried material}} = \frac{100 - m_2}{100 - m_1} = \frac{100 + M_1}{100 + M_2} \quad (11-6)$$

التجفيف

ولحساب معدل التجفيف فى اجراء عملية التجفيف ذو الطبقة الرقيقة
Thin-layer يوجد بعض المعادلات التى تستخدم لهذا الغرض ونذكر منها :

a- Lewis equation (General exponential equation)

وهى معادله أسيه تحتوى على معامل واحد وتسمى ايضا one term model
أو logarithmic model أو time based model

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-\alpha t) \quad (11-7)$$

وبصيغة اخرى

$$MR = -\ln MR = \alpha t \quad (11-8)$$

حيث :

M = المحتوى الرطوبى بعد فترة من زمن التجفيف ، kg H₂O/kg DM

M_e = المحتوى الرطوبى الاتزانى ، kg H₂O/kg DM

M_o = المحتوى الرطوبى الابتدائى (عند بداية عملية التجفيف) kg H₂O/kg DM

t = وقت التجفيف ، min.

α = ثابت الانتشار لكلى min^{-1} drying rate parameter,

ويعتبر هذا النموذج ان عملية التجفيف تتم بالانتشار وتكون المقاومه
للانتشار على سطح المادة المراد تجفيفها .

b- Page equation

وهى معادلة أسيه تحتوى على معاملين وهى اكثر دقة لحساب معدل التجفيف
Two terms model وتسمى السابقه

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-Kt^N) \quad (11-9)$$

وبصيغه اخرى لتعطى معادله على صورة خط مستقيم

$$\ln [-\ln (MR)] = \ln K + N \ln t \quad (11-10)$$

حيث :

$K =$ ثابت التجفيف التجريبي ويعتبر intercept بمعادله min^{-1} , Page
 $N =$ ثابت تجريبي ويعتبر ميل Slope بمعادله Page, لا بعدى
 dimensionless

وتصف هذه المعادله معدل فقد الرطوبه اثناء التجفيف بالطبقه الرقيقه
 Thin-layer للماده الغذائيه .

٤- كمية الحرارة اللازمه لتسخين الهواء (Q)
 أو (كمية الحرارة التي يكتسبها الهواء فى وحدة الزمن) =

$$\text{معدل السريان الحجمى للهواء فى وحدة الزمن } X \left[\frac{\text{المحتوى الحرارى للهواء عند النقطة (٢)}}{\text{الحجم الرطب للهواء عند النقطة (٢)}} - \frac{\text{المحتوى الحرارى للهواء عند النقطة (١)}}{\text{الحجم الرطب للهواء عند النقطة (١)}} \right]$$

$$Q = \dot{V} \times \left(\frac{H_2}{v_2} - \frac{H_1}{v_1} \right) \quad (11-11)$$

أو

$$\text{معدل السريان الوزنى للهواء فى وحدة الزمن } X \left[\text{المحتوى الحرارى للهواء عند النقطة (٢)} - \text{المحتوى الحرارى للهواء عند النقطة (١)} \right]$$

$$Q = \dot{m} \times (H_2 - H_1) \quad (11-12)$$

٥- كمية الرطوبه المزاله فى وحدة الزمن =(W)

$$\text{معدل السريان الحجمى للهواء فى وحدة الزمن } X \left[\frac{\text{المحتوى الرطوبى للهواء عند النقطة (٢)}}{\text{الحجم الرطب للهواء عند النقطة (٢)}} - \frac{\text{المحتوى الرطوبى للهواء عند النقطة (١)}}{\text{الحجم الرطب للهواء عند النقطة (١)}} \right]$$

$$W = \dot{V} \times \left(\frac{X_3}{v_3} - \frac{X_2}{v_2} \right) \quad (11-13)$$

أو

$$\text{معدل السريان الوزنى للهواء فى وحدة الزمن } X \left[\text{المحتوى الرطوبى للهواء عند النقطة (٢)} - \text{المحتوى الرطوبى للهواء عند النقطة (١)} \right]$$

$$W = \dot{m} \times (X_3 - X_2) \quad (11-14)$$

$$\text{Drying time} = \frac{\text{Total moisture to be removed}}{\text{Moisture removed per unit time}} \quad (11-15)$$

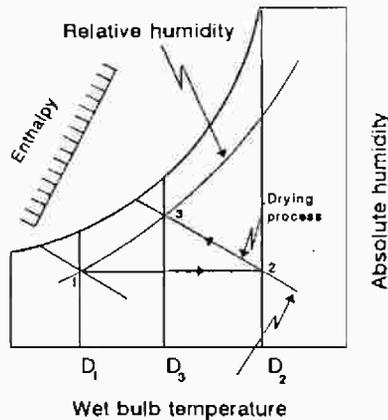
التجفيف

$$\text{Heat energy required for the heating process} = \frac{\text{Total heat required to heat the air}}{\text{Conversion factor of heat energy to electrical energy}} \quad (11-16)$$

تمثيل عملية التجفيف على الخريطة السيكرومتريه :

عند مرور الهواء الجوى داخل مجفف يتم تسخينه اى رفع درجة حرارته الى درجة الحرارة المناسبه لاجراء عملية التجفيف ويمر بعد ذلك الهواء الساخن على سطح المادة الرطبه المراد تجفيفها فيعمل على تبخير الماء منها ويتصاعد بخار الماء ويختلط بالهواء وفى نفس الوقت نجد أن الهواء يفقد كمية من حرارته وبالتالي تنخفض درجة حرارته الجافه . ولما كانت قدرة تشبع الهواء ببخار الماء تقل كلما قلت درجة حرارته فاننا نجد أن الرطوبه النسبيه للهواء تزداد حتى تصل الي تركيز التشبع اى اننا نجد ان معدل التجفيف يكون سريعا أولا ثم يقل تدريجيا حتى يصل الى حد معين يبدأ فى التدهور سريعا بعدها حتى ينعدم نهائيا عند تركيز التشبع .

وبذلك تظل درجة حرارة الهواء الرطبه ثابتة تقريبا اثناء مرور الهواء داخل المجفف على سطح المادة المراد تجفيفها بينما تنخفض درجة حرارته الجافه حتى تتساوى مع درجة الحرارة الرطبه عند تركيز التشبع . وعمليا يخرج الهواء بعد مروره على سطح المادة المراد تجفيفها على درجة حرارة مرتفعه عن درجة حرارة الهواء الخارجى ورطوبة نسبيه عاليه نتيجة لتبخر الرطوبه من المادة المجففه ، وعلى ذلك يمكن خلط كمية من الهواء الخارج من المجفف مع الهواء الجوى الداخلى الى مسخن المجفف لزيادة كفاءة عملية التجفيف مع توفير فى الحرارة المضافه فى مسخن المجفف وتسمى هذه الطريقه باعادة تمرير هواء التجفيف Recirculation .



شكل (١١-٢) تمثيل عملية التجفيف على الخريطة السيكرومتريه

وتمثل النقطة (a) حالة الهواء الجوي قبل دخوله الى مسخن المجفف عند درجة حرارة جافه D_a ، والنقطة (b) تمثل حالة الهواء بعد خروجه من مسخن المجفف عند درجة حرارة جافه D_b وتتم عملية التسخين a-b داخل مسخن المجفف بدون تغير في المحتوى الرطوبي للهواء ويمر الهواء بعد تسخينه ووصوله الى نقطة b على سطح المادة المراد تجفيفها وتتم عملية التجفيف تحت درجة حرارة رطبه ثابتة ويخرج الهواء بعد اتمام عملية التجفيف من المجفف عند النقطة C وتكون درجة حرارته D_c اقل من درجة حرارته عند بدء عملية التجفيف D_b .

ويمثل المثال الآتى طريقة استخدام الخريطه السيكرومتريه فى الحسابات الخاصه بالتجفيف :

مثال :

مجفف صوانى يستخدم ٢٤٠ متر مكعب من الهواء فى الدقيقه ، عند درجة حرارة 50°C لتجفيف شرائح من البصل من محتوى رطوبى ٩٠٪ الى محتوى رطوبى ٤٪ ومقدار ماينتجه من البصل المجفف يوميا ٢٢٥ كيلوجرام ، فاذا كان الهواء يدخل المجفف عند درجة حرارة جافه 27°C ورطوبة نسبيه ٦٠٪ ويسخن إلى درجة حرارة 50°C ويخرج الهواء من المجفف عند درجة حرارة جافه قدرها 40°C . احسب:

- ١- نسبة الرطوبه فى المادة قبل وبعد التجفيف .
- ٢- وزن البصل قبل عملية التجفيف .
- ٣- كمية الرطوبه الواجب ازالته .
- ٤- كمية الحرارة الواجب اضافتها للهواء الجوى .
- ٥- الوقت اللازم لاتمام عملية التجفيف .

الحل

١- نسبة الرطوبه قبل عملية التجفيف (M_1)

$$M_1 = \frac{100 m_1}{100 - m_1} = \frac{100 \times 90}{100 - 90} = 900\%$$

نسبة الرطوبه بعد عملية التجفيف (M_2)

$$M_2 = \frac{100 m_2}{100 - m_2} = \frac{100 \times 4}{100 - 4} = 4.170\%$$

التجفيف

$$2- \frac{\text{Weight of fresh material}}{\text{Weight of dried material}} = \frac{100 - m_2}{100 - m_1} = \frac{100 - 4}{100 - 90} = \frac{96}{10} = 9.6$$

$$\text{or} \quad = \frac{100 + M_1}{100 + M_2} = \frac{100 + 900}{100 + 4.17} = \frac{1000}{104.17} = 9.6$$

$$\therefore \text{Weight of fresh onion} = 225 \times 9.6 = 2160 \text{ kg/day}$$

$$3- \text{Weight of bone dry matter} = \text{weight of dried material} \times \left(\frac{100 - m_2}{100} \right)$$

$$= 225 \times \left(\frac{100 - 4}{100} \right) = 216 \text{ kg/day}$$

$$\therefore \text{Weight of moisture to be removed} = \text{Weight of bone dry matter} \times (M_1 - M_2)$$

$$= 216 \times \left(\frac{900 - 4.17}{100} \right) = 1935 \text{ kg/day}$$

او يمكن حسابها كالاتى :

$$\frac{\text{Weight of moisture to be removed}}{\text{Weight of fresh material}} = \frac{m_1 - m_2}{100 - m_2} = \frac{90 - 4}{100 - 4} = \frac{86}{96} = 0.896$$

$$\therefore \text{Weight of moisture to be removed} = 2160 \times \left(\frac{86}{96} \right) = 1935 \text{ kg/day}$$

من الخريطه السيكرومتريه نوجد المعلومات الآتية :

- الرطوبه المطلقه للهواء الداخلى الى المجفف عند النقطه (a) = ١٢ . . . كجم ماء/كجم هواء جاف
 الرطوبه المطلقه للهواء الخارج من المجفف عند النقطه (c) = ٢ . . . كجم ماء/كجم هواء جاف
 الحجم الرطب للهواء الداخلى الى المجفف عند النقطه (a) = ٨٧ . . . متر مكعب/كجم هواء جاف
 الحجم الرطب للهواء الخارج من مسخن المجفف عند النقطه (b) = ٩٣٥ . . . متر مكعب/كجم هواء جاف
 الحجم الرطب للهواء الخارج من المجفف عند النقطه (c) = ٩١ . . . متر مكعب/كجم هواء جاف
 الحراره الكليه فى الهواء الداخلى الى المجفف عند النقطه (a) = ٦١ كيلو جول/كجم هواء جاف
 الحراره الكليه فى الهواء الخارج من المجفف عند النقطه (c) = ٨٥ كيلو جول/كجم هواء جاف

٤- كمية الحرارة المضافة = معدل السريان الحجمي للهواء في وحدة الزمن ×

$$\left[\frac{(\text{المحتوى الحراري للهواء})_a}{(\text{الحجم الرطب للهواء})_a} - \frac{(\text{المحتوى الحراري للهواء})_b}{(\text{الحجم الرطب للهواء})_b} \right]$$

$$4- \quad Q = \dot{V} \times \left(\frac{H_b}{v_b} - \frac{H_a}{v_a} \right) = 340 \times \left(\frac{85}{0.935} - \frac{61}{0.87} \right) = 7070.01 \text{ kJ/min}$$

كمية الرطوبة المزالة في الدقيقة = معدل السريان الحجمي للهواء في وحدة الزمن ×

$$\left[\frac{(\text{المحتوى الرطوبي للهواء})_b}{(\text{الحجم الرطب للهواء})_b} - \frac{(\text{المحتوى الرطوبي للهواء})_c}{(\text{الحجم الرطب للهواء})_c} \right]$$

$$W = \dot{V} \times \left(\frac{X_c}{v_c} - \frac{X_b}{v_b} \right) = 340 \times \left(\frac{0.02}{0.91} - \frac{0.013}{0.87} \right) = 2.39 \text{ kg/min}$$

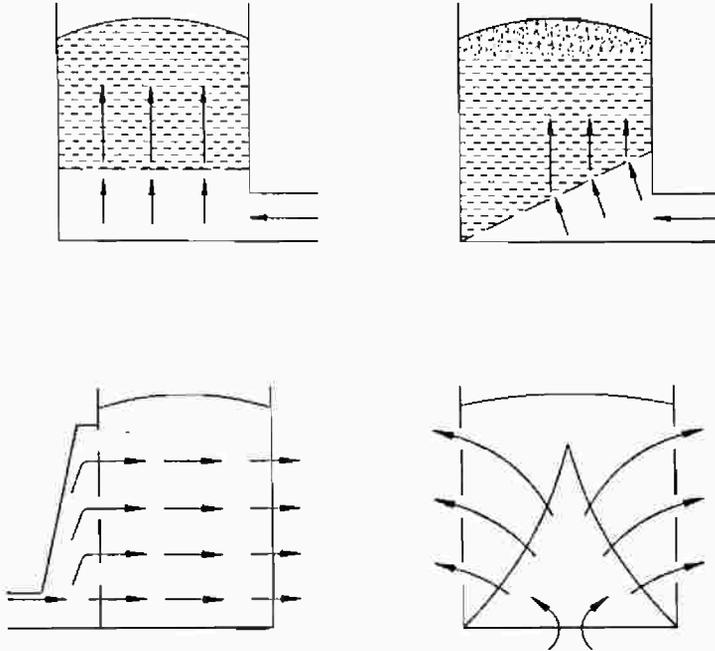
$$5- \text{ Drying time} = \frac{\text{Total evaporated moisture}}{\text{Moisture removed per hour}} = \frac{1935}{1.39 \times 60} = 13.5 \text{ hrs.}$$

أنواع المجففات

توجد تصميمات متعددة للمجففات المستخدمة في تجفيف الاغذية والمنتجات الزراعية . وتختلف انواعها باختلاف المادة المراد تجفيفها وطبيعة ناتج التجفيف والعوامل الاقتصادية التي يتوقف عليها تصريف المنتج . فتستخدم مجففات النفق Tunnel Driers في تجفيف ثمار الفاكهه والخضر ، ومجففات الرذاذ Spray Driers في تجفيف اللبن والبيض وعصير بعض الفواكه والخضروات مثل عصير الطماطم . وتضاف الحرارة داخل المجففات اما باستخدام التسخين المباشر Direct Heating او التسخين الغير مباشر Indirect Heating . ففي طريقة التسخين المباشر تستخدم الغازات الناتجة عن احتراق الوقود مباشرة في تجفيف الاعلاف كما هي الحالة في المجففات الدوارة Rotary Driers وتستخدم طريقة التسخين الغير مباشرة في غالبية مجففات اغذية الانسان حيث يمر الهواء المستخدم في التجفيف على الاسطح الخارجية لافران يحترق داخلها الوقود او بلامسة الاسطح الخارجيه لمواسير البخار او امرار هواء التجفيف على مسخنات كهربائيه وتتوقف الطريقة المستخدمة في التسخين على العوامل الاقتصادية وجودة المنتج .

ونذكر فيما ياتي بعض انواع المجففات الشائعة الاستعمال :-

١- مجففات الصوب والغلال على دفعات Batch or Bin Grain Driers

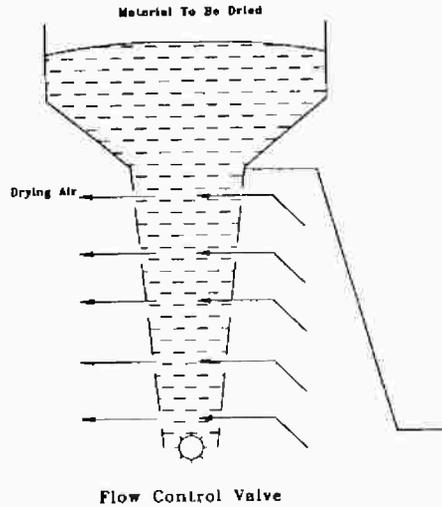


شكل (١١-٢) نظم المجففات على دفعات

وتستخدم لتجفيف الحبوب والفلال التي تحتوى على نسبة بسيطة من الرطوبة . وعادة يكفي استعمال الهواء العادى بدون تسخين فى فترة الصيف او اضافة كمية قليلة من الحرارة للهواء فى موسم الشتاء . وتتكون من خزان كبير او قادوس Bin على شكل اسطوانة او يأخذ مقطعه شكل مستطيل ، يوجد به فاصل او قاطوع به ثقب لاتسمح بمرور الفلال خلاله . ويدفع الهواء داخل القادوس خلال الفلال بواسطة مروحة دفع Air Blower ويمكن توجيه الهواء عند مروره داخل المجففات بحيث يتم توزيعه بانتظام حتي تتم عملية التجفيف بكفاءة عالية كما هو مبين فى الشكل (٢-١١) :-

٢- التجفيف المستمر للحبوب والفلال

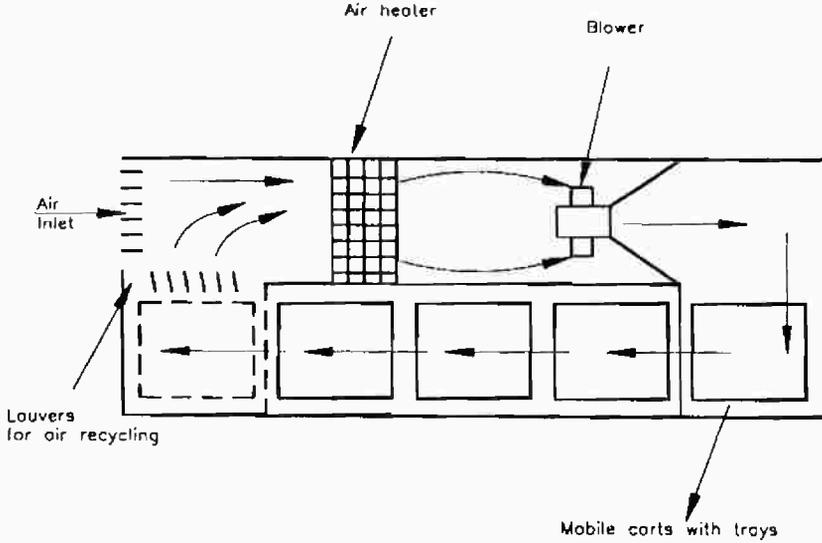
Contlnuous Gravity Flow Drlers:



شكل (٤-١١) نظام التجفيف المستمر للحبوب

ويستخدم لتجفيف المواد الحبيبه التي يسهل تحركها بالجاذبيه الارضيه . ويستعمل الهواء الجوى فى التجفيف سواء كان ساخنا أو طبيعيا حسب موسم الحصاد . ويتكون المجفف من قادوس اسطوانى على ارتفاع عالى يتصل باسفله ماسورة ذات قطر مناسب ومثقبه من جوانبها لتسهيل امرار هواء التجفيف ، وتنتهى الماسورة بقرص به ريش مستقيمه لتنظيم عملية تفرغ الحبوب بعد تجفيفها . وعادة ماتستخدم سيور ناقله او روافع السواقى لتغذية القادوس بالحبوب من اماكن تخزينها والشكل (٤-١١) يبين كروكي للفكره الرئيسيه المستخدمه فى التجفيف المستمر .

Cabinet and Tray Driers:

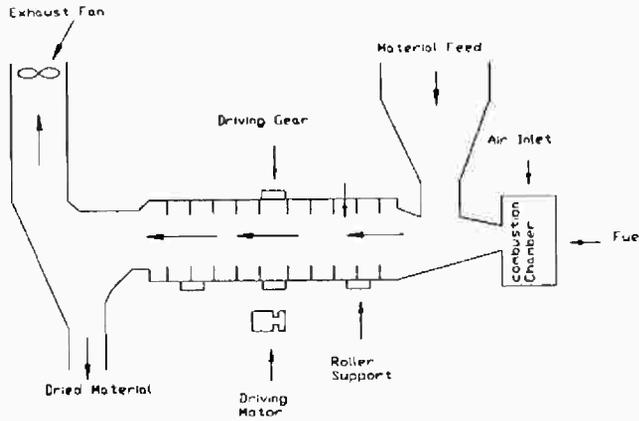


شكل (١١-٥) قطاع في مجفف المقصورة

وتستخدم هذه المجففات عادة في تجفيف المواد الغذائية الصلبة مثل الفواكه والخضروات واللحوم . وهي عبارة عن حجرة مقسمة من الداخل بواسطة فواصل الى كبائن يوضع بداخلها عدد من صواني المجفف مصفوفة فوق بعضها ومحمولة على عربات ، وقد تكون الصواني ثابتة داخل المقصورات او الكبائن كرفوف متحركة او غير متحركة معتمده على نوع المادة المراد تجفيفها وهل يلزم قلبها بين فترة واخرى او لا تتطلب التقلب كما هو مبين في شكل (١١-٥) . وتقوم مراوح الهواء بسحبه لامراره على اسطح المسخن وتوجيهه بواسطة مواسير او مجارى فرعيه ليتخلل المادة المراد تجفيفها داخل كل مقصوره . ويكون مرور الهواء اما خلال الصواني او رأسيا عليها، ولو انه يفضل مروره خلال الصواني حتى لا تتعرض المادة الموضوعه علي الصواني القريبه من دخول الهواء الى سرعة جفافها عن المواضع البعيده عنها . ويمر الهواء بعد عملية التجفيف الى خارج المجفف عن طريق ماسوره على شكل مدخنة مزوده بفتحات يمكن التحكم في اغلاقها او فتحها يدويا وبذلك يمكن الاستفادة من جزء من الحراره الخارجه مع الهواء في تسخين الهواء الداخل الى المسخن حتي يمكن الاقلال من تكاليف التسخين . ويفضل استخدام مواسير البخار في مسخنات هواء التجفيف الا انه في بعض المناطق التي لا يتوفر فيها توليد البخار (مثل الواحات والمناطق الصحراويه) تستخدم اقنران

لاحراق وقود مثل السولار او المازوت لتزويد مسخنات الهواء بالحرارة اللازمه لعملية التجفيف. ويجب فى هذه الحالة مراعاة ان تكون مداخن الافران مرتفعه عن مداخل ومخارج الهواء بمسافة كافيه حتى لا تختلط نواتج الاحتراق مع هواء التجفيف متسببه فى تغير لون ورائحة المادة المجففة كما هى الحالة فى مجففات البلع فى الواحات. وتعتبر طريقة التجفيف بالمقصورات طريقة متقطعه Intermittent على دفعات وبذلك يكون انتاجها محدود. وتتميز بكبر مساحة جدران المجفف بالنسبه لسعته العمليه، ويؤخذ عليها ارتفاع تكاليف نظام الدورة الهوائيه وما تتطلبه من منظمات آليه.

٤- المجففات الدوارة : Rotary Driers



شكل (٦-١١) قطاع فى مجفف دوار

وتستخدم هذه المجففات للمواد التى لايسهل حركتها بالاجاذيبه الارضيه والتى بها نسبة رطوبه عاليه كالكسب ومخلفات العلف وتستعمل كذلك فى تجفيف الحشائش وعلى ذلك فهى تصلح لتجفيف البرسيم، وعامة تستخدم هذه المجففات لتجفيف اعلاف للحيوانات والدواجن.

وتتكون هذه المجففات من اسطوانة بها ريش تقلب مثبتة على طول محيطها الداخلي. وتدور الاسطوانة حول محورها الطولي افقيا بواسطة ترس مثبت حول محيطها الخارجى وعند منتصفها ومتصل بترس آخر على عمود ادارة موتور كهربائى. وتحمل الاسطوانة على بكرتين او اكثر من الحديد الزهر عند طرفيها. ويتم تغذية المجفف بالمادة المراد تجفيفها بواسطة قمع تلقيم مخروطى الشكل عند احد طرفيها (الطرف الرطب)، ويتم نقل المادة داخلها مع تقليبها بصفه مستمره نتيجة للريش الداخليه. وكذلك يمكن التحكم فى سعتها بواسطة تعديل زاوية ميل محورها الطولى على المستوى الافقى كما هو مبين فى شكل (٦-١١). وهناك طرق اخرى

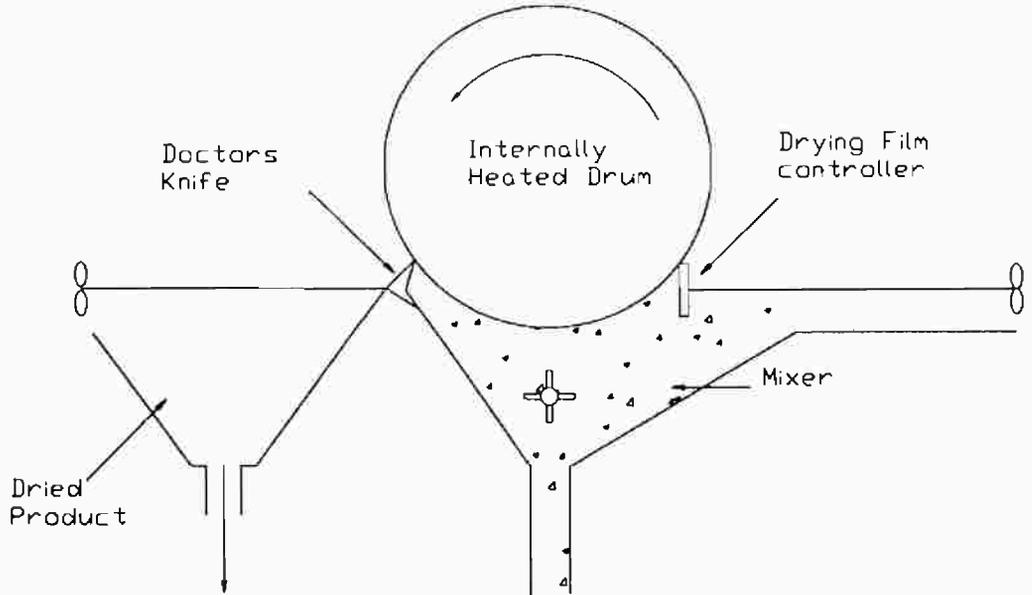
التجفيف

لادارة اسطوانة المجفف مثل طريقة استخدام بكرات احتكاك وفى هذه الطريقة تثبت كمرات مجرى عند طرفى الاسطوانة حول محيطها الخارجى ، وتدار البكرات بواسطة موتور كهربائى ويتم نقل الحركة الدائريه للاسطوانه عن طريق احتكاك البكرات على اسطح كمرات المجرى.

وعادة ماتستخدم نواتج الاحتراق مباشرة فى تسخين الهواء اللازم لتجفيف الاعلاف مما يودى الى خفض التكاليف اللازمه للوقود وفى كثير من البلاد مثل كندا وأوربا تصنع هذه الجففات بحيث يمكن نقلها على مقطورات من مكان الى آخر حتى تتم عملية تجفيف الاعلاف فى نفس المنطقة الموجودة فيها ، وبذلك يمكن الاقلال من مصاريف النقل التى تمثل جزءا كبيرا من تكاليف انتاج الاعلاف المجففه ، اذ ان مواد العلف الخضراء تحتوى على نسبة عاليه من الرطوبه تصل احيانا الى 90 - 92٪ وبذلك يمكن انتاج اعلاف مجففه رخيصه .

٥- المجففات ذات الاسطوانات : Drum Driers

هذه المجففات شائعة الاستعمال فى تجفيف المواد الغذائيه السائله والشبه سائله مثل اللبن الكامل او الفرز ، عصير بعض انواع الفواكه والخضروات مثل الطماطم التى كثر استعمالها بمعدل كبير خصوصا فى الولايات المتحده الامريكيه ، كما انها تستخدم فى تجفيف انواع الحساء (الشوربه) المختلفه وتحويلها على شكل مساحيق .



شكل (٧-١١) قطاع فى المجفف الاسطوانى

وتتكون هذه المجففات من اسطوانه معدنيه واحده او اثنتين ، يختلف معدنها باختلاف المادة الغذائية المراد تجفيفها . وعادة ما تصنع من الحديد الزهر او من الصلب الغير قابل للصدأ خاصة عند تجفيف عصير الخضر والفواكه حتى لاتتفاعل مع الاحماض الموجودة بهذه المواد . وتتم عملية التجفيف بان تتساقط المادة المراد تجفيفها على السطح الخارجى للاسطوانات بحيث يتكون غشاء او طبقة رقيقه جدا من المادة المراد تجفيفها والتي تستمد الحرارة اللازمه لعملية التجفيف من سطح الاسطوانات التى يمر داخلها بخار . ويمكن كذلك تكوين طبقة السائل الرقيقه بان توضع المادة الغذائية السائله فى حوض او اناء اسفل الاسطوانات بحيث يمس سطح الاسطوانات الخارجى السائل عند دورانها ، ويتم تجفيفها على سطح الاسطوانات وتستخدم سكينه او حافة حادة على الأسطح لفصل الطبقة المجففة وتجميعها فى حوض المنتج كما هو مبين فى شكل (١١-٧). وهناك بعض التصميمات يمكن فيها احدثات تفرغ داخل الاسطوانه ، وهى احدث النظم المستخدمه فى انتاج المواد الغذائية المجففة حيث تحتفظ بمعظم صفات المادة الطازجه . وتتوقف مدة التجفيف ومعدله على سرعة دوران الاسطوانات وضغط البخار داخلها وكذلك على سمك طبقة المادة المجففة على السطح الخارجى للاسطوانات .

ويتميز هذا النوع من المجففات بان تكاليف انتاج المواد المجففة تكون قليلة اذ انه فى المتوسط تحتاج مثل هذه المجففات الى ٢-٢ كيلوجرام بخار لكل كيلوجرام رطوبه متبخره من المادة الغذائية . ونظرا لان مساحة سطح انتقال الحرارة يكون كبير (مساحة السطح الفعال تكون حوالي ثلاثة ارباع سطح الاسطوانه الواحده) فان معدل التبخير يرتفع ويتراوح بين ٢ - ٤ كجم رطوبة متبخره لكل مترمربع من سطح التبادل الحرارى فى الساعه .

٦- مجففات الرذاذ : Spray Driers

تستخدم هذه المجففات فى تجفيف المواد الغذائية السائله والمحاليل والمستحلبات مثل البيض واللبن وعصير الفواكه والخضروات وتحويلها الى مساحيق . وتتم عملية التجفيف بتذرية السائل على هيئة ذرات دقيقه فى صورة ضباب معلق فى الهواء الساخن وبذلك يتم تبخير الرطوبه بسرعة فائقه يترتب عليها ترسيب المادة الجافه فى القاع على صورة مسحوق حيث يتم سحبها بواسطة مراوح خاصه الى سيكلونات الترسيب . ويتم تفطيت السائل الى جزئيات باحدى طريقتين:

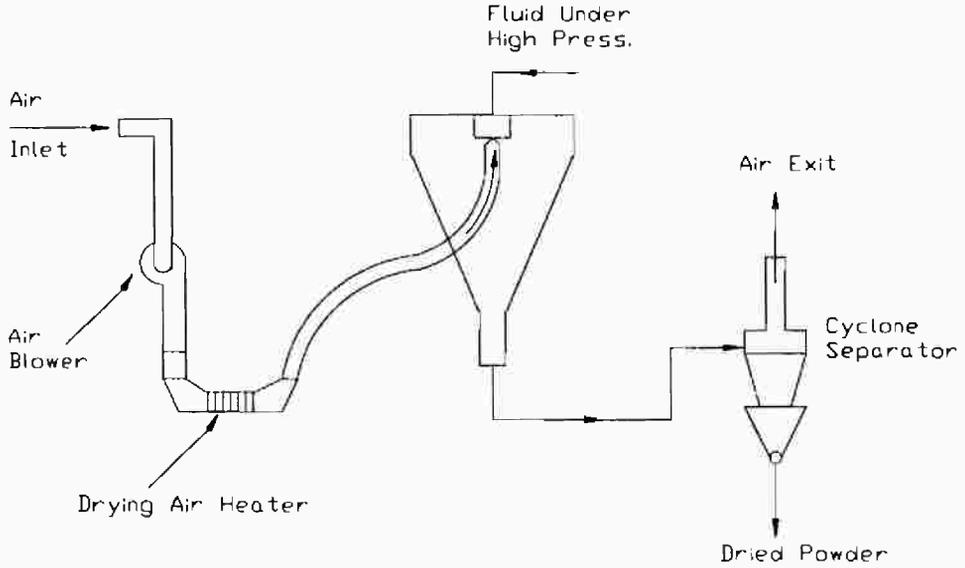
أ- استخدام ظلمبات ذات ضغط مرتفع لدفع السائل داخل ثقب ضيقه (٢٠٠٠

-٤٠٠٠ رطل/بوصه^٢ أو ١٤٠ - ٢٨٠ كجم/سم^٢).

التجفيف

ب- استخدام هواء مضغوط في ادارة اقراص بسرعه عاليه يتسبب عنها دفع السائل بالقوه الطاردة المركزيه لاحداث التجفيف المطلوب .

أما السيكلونات فهي عبارة عن اوعيه مخروطية الشكل بها اسطح داخليه ملساء يمكن بواسطتها تقليل سرعة الهواء المحمل بالمسحوق الجاف ، فتسمح بترسيب المسحوق على الاسطح الداخليه للسيكلونات وبذلك يسهل عملية فصلها .



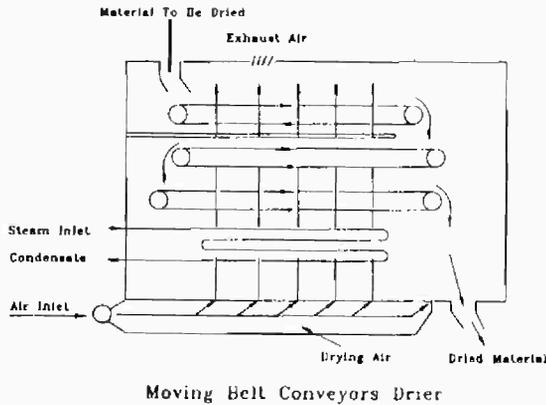
شكل (٨-١١) رسم تخطيطي لوحدة تجفيف بالرداذ

ويتكون مجفف الرذاذ من حجرة رئيسيه من المعدن (غالباً من الصلب الغير قابل للصدأ) على شكل مخروطي اسطواني كما هو مبين في شكل (٨-١١) . وتستخدم مروحة في دفع الهواء داخل هذه الحجرة بعد اتمام تسخينه أما بواسطة مسخن بخار او كهرباء او غاز البوتاجاز ، حيث يتم اختلاطه بذررات السائل وتستغرق مدة التجفيف حوالي ٢٠ ثانيه للحصول على مسحوق السائل المتجمع علي اسطح الحجرة الداخليه . ويعاب على هذا النوع من المجففات انخفاض الكفاءة الحراريه للتجفيف اذ يحتاج الكيلوجرام الواحد المتبخر من الرطوبه الي حوالي ٢٢٥٠ كيلوكالورى في حين لا يحتاج الي اكثر من ١٤٠٠ كيلوكالورى في حالة استخدام مجففات النفق . الا ان هذا النوع من المجففات يتميز بسرعه التجفيف التي رغم ارتفاع درجة حرارة هواء التجفيف فيها (حوالي ١٢٠ م°) فتتخفض درجة حرارة المادة وهي في حالة رذاذ الي درجة منخفضة جدا وذلك نتيجة لسرعة عملية التبخير (قد تصل درجة حرارة ذرات المادة الي حوالي ٤٠ م°).

٧- مجففات النفق Tunnel Driers

وهذه المجففات تعمل بطريقة النظام المستمر Continuous Driers وتمتاز بكبير سعتها وامكانية التحكم فى العوامل التشغيليه المختلفه اللازمه للتجفيف . وحتى يمكن استخدامها بدون انقطاع فانه يلزمها مدة تسخين ابتدائيه Come-Up time حتى يمكن الوصول الى الظروف الهوائيه المستقره لعملية التجفيف . وتتراوح هذه المدة من ٦ - ٨ ساعات على الاقل . وتستعمل هذه المجففات فى تجفيف الفاكهه والخضر واحيانا اللحوم والاسماك .

ومجففات النفق تتكون من حجرات طويله مقطعها مستطيل اذ يبلغ ارتفاعها حوالى ١.٥ - ٣ متر وطولها حوالى ١٠ - ١٢ متر وتوضع المادة المراد تجفيفها على صوانى التجفيف التى تحملها عربات يمكن قطرها بواسطة جنازير او احبال بسرعة مناسبة داخل النفق . تتراوح عدد صوانى كل عربيه من ٢٠ الى ٣٠ صنيه مرتبه بحيث تكون هناك مسافه كافيه بين كل صينيه واخرى تسمح بمرور هواء التسخين خلال المادة الرطبه . وتدخل العربيات المحمله بصوانى التجفيف من احد طرفي المجفف ويسمى بالطرف الرطب Wet side وتخرج من الطرف الآخر ويسمى بالطرف الجاف



شكل (٩-١١) مجفف ذو سيور

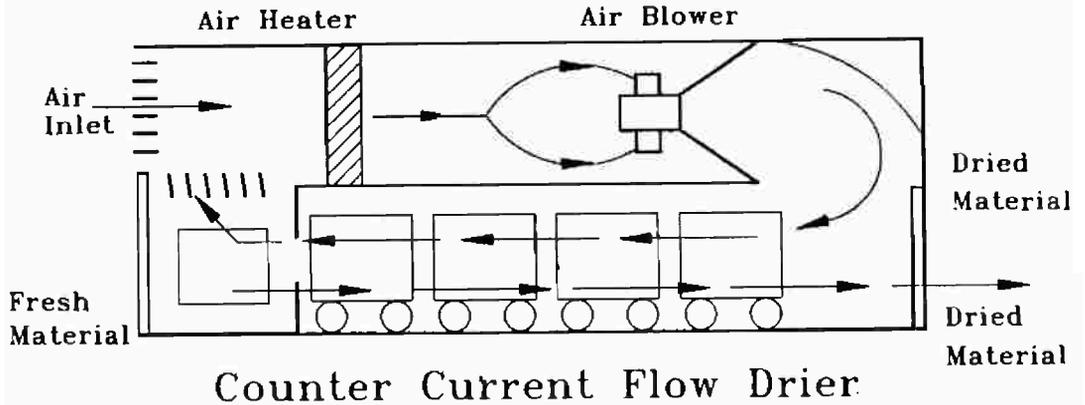
Dry side . وفى بعض التصميمات شكل رقم (٩-١١) تتكون المجففات من حصيره متحركة او سيور لانهايه تتحرك داخل نفق التجفيف ، وتصنع من الشبك المعدنى او من سدايات خشبيه رقيقه تتباعد عن بعضها بمسافات صغيره بحيث لاتسمح للمادة المراد تجفيفها بالسقوط من خلال هذه الفتحات . والمجففات ذات السيور الناقله مرتفعه فى تكاليف الانشاء وقليله فى معدل انتاجها ، وهى غير منتشره الاستعمال ولاتصلح فى تجفيف ثمار الفاكهه لتعرضها للتهشم عند سقوطها من سير الى آخر . وتوضع مواسير البخار (سربنتينات) عادة بين كل سير وآخر . ويدفع

التجفيف

هواء التجفيف من اسفل الى اعلى فيمر على اسطح المواسير الساخنة ثم خلال السيور المحملة بالمادة المراد تجفيفها . ويفضل عليها مجففات النفق ذات العربيات والصواني اذ يمكن التحكم فى معدلات التجفيف بتغيير اتجاه مرور هواء التجفيف التى تتحدد سرعته على اسطح المادة المراد تجفيفها بالتحكم فى المسافات بين الصواني وبعضها حتى لا يحدث جفاف سطحى خصوصا لثمار الفاكهه عند ما تزيد سرعة التجفيف عن الحد المناسب .

ويمر هواء التجفيف الساخن على اسطح الصواني المحملة بالمادة الرطبه باحدى الطرق الآتية :

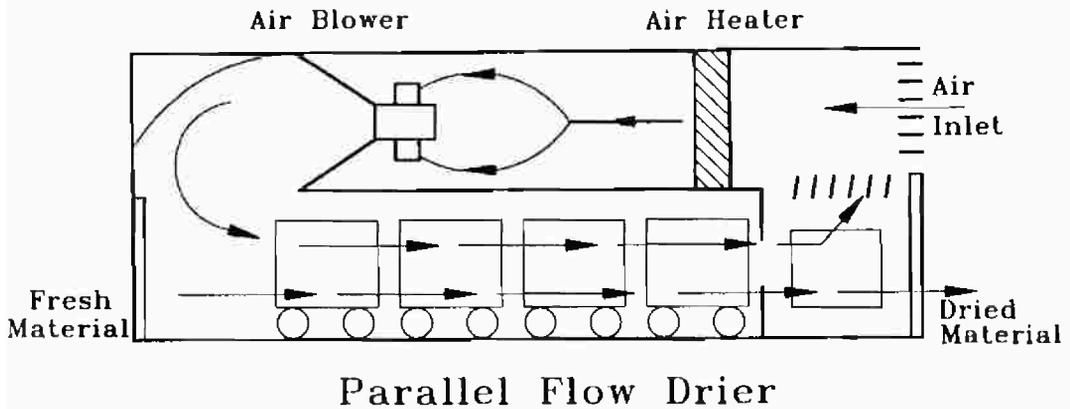
1- النظام العكسى : Counter-current flow



شكل (١١-١٠) مجفف نفق متعاكس

وفيه يمر هواء التجفيف فى اتجاه مضاد لاتجاه حركة العربيات فيدفع الهواء بعد تسخينه بواسطة مروحة دفع Air Blower من الطرف الجاف لنفق التجفيف الى الطرف الرطب وبذلك يلامس الهواء الاكثر سخونه والاكثر جفافا المادة الغذائيه التى قاربت على انتهاء تجفيفها وعلى ذلك نجد انه يمكنها تحمل درجات الحرارة المرتفعه نسبيا دون حدوث حالة الجفاف السطحى لها كما هو مبين فى الشكل (١٠-١١). ويفضل استخدام هذا النظام فى تجفيف ثمار الفاكهه خاصة العنب وعلى عكس الخضر فيجب تجفيف ثمار الفاكهه ببطء حتى لا تتعرض لحالة الجفاف السطحى.

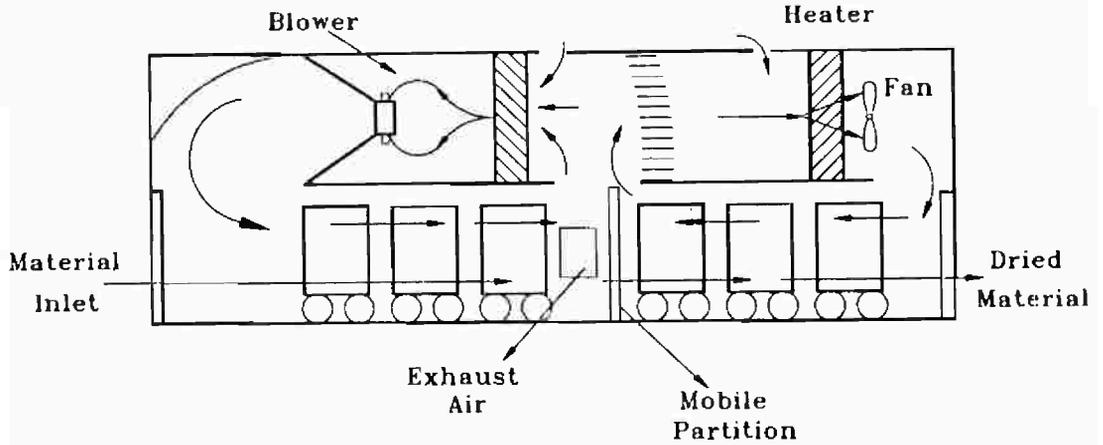
ب- النظام المتوازي : Parallel flow



شكل (١١-١١) مجفف نفق متوازي

وفي هذا النظام يتحرك الهواء في اتجاه موازى لتحرك العربات المحملة بالمواد المراد تجفيفها ، فيدخل الهواء بعد تسخينه مع المادة الرطبه من الطرف الرطب لنفق التجفيف كما هو مبين في الشكل (١١-١١) وحيث ان الهواء الساخن يقابل المادة ذات الرطوبه المرتفعه فانه يمكن استعمال درجات حرارة عاليه في التجفيف عن النظام العكسي بدون تعريض المواد المجففه الى التلف نتيجة للتلف السطحى لها . ولايفضل استخدام هذه الطريقه فى التجفيف فى المواد التى تجف ببطء مثل القراصيا الا اذا كانت حمولة الصوانى ضعيفه جدا . وتستعمل بنجاح تام فى الخطوات الاولى من التجفيف خاصه فى حالة تجفيف الخضر المجزه الى قطع سميكة نوعا حيث يقابل الهواء الجاف الساخن فى بداية عملية التجفيف فيفقد السطح المعرض للهواء رطوبته بسهولة وسرعه .

Mixed flow-central suction:



Dual Drier With Intermediate Ports

شكل (١١-١٢) مجفف نفق مركب

اذ يستخدم فيها الطريقتين السابقتين معا ، فيتم تجفيف المادة الغذائية على مرحلتين . المرحلة الابتدائية ويمر فيها هواء التجفيف المسخن ذو درجة الحرارة المرتفعة فى اتجاه موازى لمرور العربات ، والمرحلة الثانية يمر فيها الهواء فى اتجاه عكسى لمرور العربات . وتستخدم فى هذا النظام حواجز او فواصل مرنة من المطاط او الخشب او القماش السميك لتنظيم حركة الهواء داخل النفق . ويدخل هواء التجفيف من فتحة وسطى فى نفق التجفيف ويمر فى اتجاه طرفى النفق ، موازىه عند الطرف الرطب وعكسيه عند الطرف الجاف للنفق كما هو مبين فى شكل (١١-١٢).

ويتم فى المرحلة الاولى تبخير حوالى ٩٠٪ من رطوبة المادة بسبب استخدام درجات حرارة عالية . ويجب استخدام درجات حرارة منخفضة فى هواء تجفيف المرحلة الثانية حتى لايعرضها للاحتراق او التشقق السطحى وعلى ذلك يزود نفق التجفيف بسخانين احدهما يعطى كمية حرارة محدودة عند الطرف الجاف والآخر يولد كمية عالية من الحرارة عند الطرف الرطب . ومن المعروف ان سرعة التبخير فى المرحلة الثانية تكون بطيئه وبذلك تنخفض نسبة الرطوبه فى الهواء الخارج من تجفيف هذه المرحلة مما يساعد على استخدام هذا الهواء بخلطه بهواء تجفيف المرحلة الاولى حتى يمكن الاستفادة من الحرارة الموجودة فيه والاقلال من تكاليف عملية التسخين .