



منشورات جامعة دمشق

كلية الهندسة الزراعية

هندسة التصنيع الزراعي

الدكتور

أحمد جاد الله عبود

أستاذ مساعد في قسم الهندسة الريفية

جامعة دمشق

١٤٣٤ - ١٤٣٣ هـ

٢٠١٣ - ٢٠١٢ م



الفهرس

الصفحة	الموضوع
١٥	الجزء الأول: أساسيات هندسة التصنيع الزراعي
١٧	الفصل الأول: الوحدات الهندسية
١٧	١-١- الأبعاد الأساسية والمشتقة
١٨	٢-١- الأنظمة العالمية المستخدمة للتعبير عن الكميات الفيزيائية
١٨	٣-١- أهم الكميات الفيزيائية
٢٣	الفصل الثاني: مبادئ عامة في هندسة التصنيع الزراعي
٢٣	١-٢- مفهوم العملية التصنيعية
٤٣	٢-٢ - مفهوم هندسة التصنيع
٤٤	٣-٢ - الأهداف الرئيسية من عمليات التصنيع
٤٤	٤-٢ - أمثلة على بعض العمليات التصنيعية
٢٨	٥-٢ - مفاهيم عامة عن مصانع الأغذية
٢٨	٦-٥-٢ - اختيار موقع المصنع
٢٨	٧-٥-٢ - أقسام مصنع الأغذية
٢٩	٨-٥-٢ - تصميم بناء المصنع
٣٠	٩-٥-٢ - مواصفات الأرضيات والجدران والأسقف
٣٠	١٠-٥-٢ - التهوية
٣١	١١-٥-٢ - الإنارة
٣٢	الفصل الثالث: الخصائص الطبيعية والهندسية للمواد الزراعية
٣٢	١-٣ - أهمية الخصائص الطبيعية في عمليات التصنيع الزراعي
٣٤	٢-٣ - خصائص المواد الصلبة
٣٤	٣-٢-٣ - خصائص الفيزيائية
٣٤	٤-١-٢-٣ - خصائص الشكل والحجم
٣٩	٥-١-٢-٣ - الكثافة والوزن النوعي
٣٩	٦-١-٢-٣ - خصائص الاحتكاك

الصفحة	الموضوع
٤١	٢-٢-٣ - الخصائص الميكانيكية
٤٤	٣-٢-٣ الخصائص الحرارية
٥٢	٣-٣ - خصائص المواد السائلة
٥٢	١-٣-٣ - الكثافة
٥٣	٢-٣-٣ - المزوجة
٥٣	٣-٣-٣ ... القوام
٥٤	٥-٣ - الخلاصة
٥٥	الفصل الرابع: أساس اتزان الكتلة وحركة المائع
٥٧	١-٤ - انتقال الكتلة واتزانها
٥٧	٤-٢-٣ - نقل المواد السائلة وشبكة السائلة
٥٩	٣-٤ - تصنيف المواقع
٥٩	٤-١-٣-٤ - تصنيف المواقع وفقاً للسمakanة
٦٠	٤-٢-٣-٤ - تصنيف المواد السائلة وفقاً لخصائص الأنسياب والمزوجة
٦٠	٤-١-٢-٣-٤ - العوامل المؤثرة في المزوجة
٦٢	٤-٤ - مبادئ أساسية في نقل المواقع
٦٤	٤-١-٤-٤ - مفهوم ضغط السائل
٦٤	٤-٢-٤ - تحليل حركة السائل:
٦٥	٤-٣-٤ - قانون الاستمرار واتزان الكتلة
٦٦	٤-٤-٤ - فقد القدرة بسبب الاحتكاك
٧٩	٤-٥ - المضخات والأنبوب والصمامات
٧٠	٤-١-٥-٤ - أنواع المضخات
٧٠	٤-٢-٥ - أداء المضخات
٧٤	٤-٣-٥-٤ - الأنابيب والوصلات والصمامات
٧٥	٤-٣-٥-٤ - اختيار الأنابيب
٧٥	٤-٢-٣-٥-٤ - الوصلات
٧٧	٤-٣-٤-٥-٤ - الصمامات

الصفحة	الموضوع
٧٩	الفصل الخامس: انتقال الحرارة وتطبيقاته في التصنيع الغذائي
٨١	١-٥ - مبدأ انتقال الحرارة
٨١	٢-٥ - انتقال الحرارة المستقر
٨٢	٣-١-٢-٥ - انتقال الحرارة بالتوسيط
٨٢	٤-١-٢-٥ - انتقال الحرارة بالتوسيط في حلقة أحادية
٨٢	٥-٢-١-٢-٥ - انتقال الحرارة بالتوسيط في الطبقات المتعددة
٨٤	٦-٣-١-٢-٥ - انتقال الحرارة في الأنابيب
٨٦	٧-٢-٢-٥ - انتقال الحرارة بالحمل
٩٠	٨-١-٢-٢-٥ - الحمل الفوري
٩١	٩-٢-٢-٥ - الحمل الحر
٩٢	١٠-٣-٢-٥ - انتقال الحرارة بالإشعاع
٩٣	١١-٤-٢-٥ - انتقال الحرارة المختلط
٩٤	١٢-٣-٥ - انتقال الحرارة غير المستقر
٩٤	١٣-٤-٥ - مصادر الطاقة الحرارية في تطبيقات التصنيع الزراعي
٩٨	١٤-والغذائي
٩٩	الفصل السادس: أنظمة التبادل الحراري
٩٩	١-٦ - أنظمة التسخين الحراري
٩٩	٢-١-١-٦ - نظم التسخين غير المباشرة
١٠٠	٣-٢-١-٦ - نظم التسخين غير المباشرة
١٠١	٤-٢-٦ - البخار ك وسيط للتسخين
١٠١	٥-١-٢-٦ - أشكال البخار
١٠٣	٦-٣-٣-٦ - الأشكال التصميمية للمبادلات الحرارية
١٠٤	٧-١-٣-٦ - المبادل الحراري الأنبوبي
١٠٥	٨-٢-٣-٦ - المبادل الحراري اللوحي أو الصفائحى
١٠٨	٩-٤-٦ - تحليل عمليات انتقال الحرارة في المبادلات الحرارية
١١٠	١٠-٥ - حل البخار ذات الطوق البخاري

الصفحة	الموضوع
١١٢	٦ - المبادر الحراري ذو وشيعة السخين
١١٥	الجزء الثاني: هندسة عمليات التصنيع الميكانيكية
١١٧	الفصل السادس: وحدات تنظيف المواد الأولية
١١٧	١-٧ - أهداف عملية التنظيف
١١٧	٢-٧ - طرائق عمليات التنظيف
١١٨	١-٢-٧ - طريقة التنظيف الجاف
١٢٢	٢-٢-٧ - طريقة التنظيف الرطبة
١٢٤	٣-٢-٧ - التقشير
١٢٥	الفصل الثامن: تداول المواد غير السائلة ونقلها
١٢٥	١-٨ - مراحل نقل المواد
١٢٧	٢-٨ - أهم وسائل النقل
١٢٧	٣-٨ - النقل بالسيور الممسطحة
١٢٨	٤-٣-٨ - خصائص السير الممسطح
١٢٨	٥-٢-٣-٨ - الشروط الواجب توافرها في السير الممسطح
١٢٨	٦-٣-٣-٨ - تصميم السيور الناقلة
١٣٢	٧-٤-٨ - الناقل الحزوني
١٣٢	٨-٤-٨ - خصائص الناقل الحزوني
١٣٢	٩-٤-٨ - الشكل التصميمي للناقل الحزوني
١٣٤	١٠-٤-٨ - حساب سعة الناقل الحزوني وقدرته
١٣٥	١١-٤-٨ - المواد المستعملة في صناعة حزون النقل
١٣٥	١٢-٤-٨ - النقل بالقواديس (الدلو)
١٣٦	١٣-٤-٨ - الشكل التصميمي للناقل بالقادوس
١٣٧	١٤-٤-٨ - مبدأ التفريغ في الناقل ذات القادوس
١٣٨	١٥-٤-٨ - حساب سعة وقدرة الناقل
١٣٩	١٦-٤-٨ - النقل بالهواء
١٤١	١٧-٤-٨ - مكونات نظام النقل بالهواء

الصفحة	الموضوع
١٤٤	٢-٦-٨ - متطلبات القدرة
١٤٥	الفصل التاسع: فرز المواد الزراعية وتدرجها
١٤٦	١-٩ - تقانات الفرز اليدوية
١٤٩	٢-٩ - تقانات الفرز الميكانيكية
١٥٤	٣-٩ - تقانات الفرز الحديثة
١٥٧	١-٣-٩ مكونات نظام الفرز الحديث
١٥٩	٢-٣-٩ - أجزاء خطوط الفرز الآلية
١٦٢	٤-٩ مبدأ التربيع
١٦٣	الفصل العاشر: وحدات تصغير الأحجام
١٦٣	١-١-١ - تعريف تصغير الأحجام وأهدافه
١٦٣	١-١-٢ - مبدأ تصغير أحجام الأغذية الصلبة
١٦٤	٣-١-١ - الاعتبارات التي تحكم اختيار أجهزة تصغير الحجم
١٦٥	٤ - متطلبات الطاقة في عمليات تصغير الحجم
١٦٧	٤-١-١-٤-١ - آلات السحق أو الطحن
١٦٨	٤-١-١-٥ - معدات تصغير الأحجام للمواد الصلبة وآلاتها
١٦٨	٤-١-٥-١ - آلات الجرش
١٧٠	٤-٥-١-٥ - آلات التقطيع
١٧٠	٤-٦ - تسمير الحجم في السوائل
١٧١	٤-٦-١-٦ - مبدأ العمل
١٧٢	٤-٦-١-٦-١ - معدات تصغير الأحجام في السوائل
١٧٥	الفصل الحادي عشر: أنظمة خلط المواد الصلبة والسائلة
١٧٥	١-١-١ - مبدأ خلط المواد الصلبة
١٧٧	٢-١-١ - أنظمة خلط المواد الصلبة
١٧٨	٣-١-١ - أنظمة تقلية السوائل وخلطها
١٧٩	١-٣-١-١ - الشكل الهندسي لنظام التقلية أو لخلط
١٧٢	٢-٣-١-١ - تأثير تصميم محور المقلب في السرعة

الصفحة	الموضوع
١٨٤	٣-٣-١١ - التصميم الهندسي للداععات التوربينية
١٨٤	٤ - القراءة الازمة لعمليات الخلط
١٨٧	الجزء الثالث: هندسة عمليات التصنيع الحرارية
١٨٩	الفصل الثاني عشر: هندسة عمليات التبريد والتجميد
١٨٩	١-١-تعريف عملية التبريد
١٩٠	٢-١٢ - مبادئ أساسية في الترموديناميك
١٩٢	٣-١٢ - مبدأ التبريد
١٩٣	٤-١٢ - مبدأ عمل آلات التبريد
١٩٤	٥-١٢ - دورة التبريد النظرية (دورة كارنو)
١٩٦	١-٥-١٢ - مردود دورة كارنو
١٩٧	٦-١٢ - أجزاء آلة التبريد
١٩٩	٧-١٢ - حساب الحمل التبريدي
٢٠١	٨-١٢ - مؤشرات الأداء في دارة التبريد الفعلية
٢٠٢	٨-١٢ مبدأ التجميد
٢٠٣	١-٨-١٢ خصائص الأغذية المجمدة
٢٠٤	٢-٠-٨-١٢ التثبيت بمعدلات تجميد المنتجات الغذائية
٢٠٥	٣-٨-١٨ الأشكال التصميمية للمجمدات
٢٠٩	الفصل الثالث عشر: هندسة البسترة والتعقيم الحراري
٢٠٩	١-١-١-تعريف ومبادئ عامة
٢٠٩	٢-١-٢-نظيرية البسترة
٢١٠	١-٢-٢-١٣ - أجزاء جهاز البسترة
٢١٣	٢-٠-٢-١٣ - العوامل المؤثرة في اختيار وحساب أبعاد جهاز البسترة
٢١٣	٣-٢-٢-١٣ - مبدأ عمل جهاز البسترة
٢١٤	٤-٢-٢-١٣ - طرائق البسترة
٢١٤	١-٤-٢-١٣ - بسترة المود السائلة غير المعبأة
٢١٥	٢-٤-٢-١٣ - بسترة المواد المغلفة

الصفحة	الموضوع
٢١٥	٥-٢-١٣ - تأثير عملية البسترة في خصائص المنتج
٢١٦	١-٥-٢-١٣ - تأثير البسترة في التركيب الكيميائي للحليب
٢١٦	٢-٥-٢-١٣ - تأثير البسترة في اللون والنكهة والرائحة
٢١٦	٣-٣-١٣ - هندسة التعقيم الحراري
٢١٧	١-٣-٣-١٣ - العوامل المؤثرة في عملية التعقيم
٢١٩	٢-٣-١٣ - أجهزة التعقيم
٢١٩	١-٢-٣-١٣ - أجهزة التعقيم ذات الوجبات
٢٢٠	٢-٢-٣-١٣ - أجهزة التعقيم المستمرة
٢٢٣	٣-٣-١٣ - انتقال الحرارة داخل العبوة ومعدل التفود الحراري
٢٢٤	٤-٣-١٣ - قياس التفود الحراري داخل العلبة و زمن التعقيم
٢٢٧	الفصل الرابع عشر: هندسة تجفيف المواد الزراعية
٢٢٧	٤-١-١-١٤ - مقدمة في الهواء الرطب
٢٢٨	٤-١-١-١٤ - تعاريف أساسية في الهواء الرطب
٢٢٩	٤-١-١-١٤ - خريطة الهواء الرطب (الخريطة السيكرومترية)
٢٣٠	٤-٢-١-١٤ - تعاريف أساسية
٢٣٢	٤-٣-١-١٤ - مبدأ التجفيف
٢٣٣	٤-٤-١-١٤ - حساب معدل التجفيف في مراحل التجفيف وزمنه
٢٣٦	٤-٥-١-١٤ - الطاقة اللازمة لعملية التجفيف
٢٣٦	٤-٥-١-١٤ - التوازن الحراري في عملية التجفيف
٢٣٧	٤-٥-٢-١٤ - توازن الكتلة
٢٣٧	٤-٦-١-١٤ - تمثيل عملية التجفيف على الخريطة السيكرومترية
٢٣٨	٤-٧-١-١٤ - العوامل المؤثرة في سرعة التجفيف:
٢٣٩	٤-٨-١-١٤ - تأثير عملية التجفيف في عوامل الفساد
٢٣٩	٤-٨-٢-١٤ - تأثير التجفيف في الأحياء الدقيقة
٤٤٠	٤-٩-١-١٤ - تأثير التجفيف في التفاعلات الكيميائية
٤٤٠	٤-٩-٢-١٤ - تأثير التجفيف في الأنزيمات المؤكدة

الصفحة	الموضوع
٢٤٠	١٤ - ٩ - الأشكال التصميمية للمجففات
٢٤٢	١٤ - ١٩ - مجففات الهواء الساخن
٢٤٨	١٤ - ٢٩ - مجففات التبخير المباشر
٢٥١	١٤ - ١٠ - التجفيف باستخدام الطاقة الشمسية
٢٥٦	١٤ - ١١ - أنواع أنظمة التجفيف الشمسية
٢٥٢	١٤ - ١١ - ١ - المجففات المباشرة
٢٥٢	١٤ - ٢ - المجففات غير المباشرة
٢٥٥	١٤ - ٣ - العوامل المؤثرة في اختيار المجففات الشمسية
٢٥٧	١٤ - ٤ - العوامل المؤثرة في سرعة التجفيف
٢٥٩	الجزء الرابع: بعض العمليات التصنيعية الخاصة
٢٥٩	الفصل الخامس عشر: هندسة تصنيع الأعلاف
٢٥٩	١٥ - مبادئ عامة
٢٦٠	١٥ - ١ - ١ - اختيار الموقع
٢٦٢	١٥ - ٢ - المادة العلفية
٢٦٣	١٥ - ٣ - أقسام مصنع العلف
٢٦٥	١٥ - ٤ - أجهزة خلط المواد العلفية
٢٦٦	١٥ - ٥ - عملية تشكيل الإصبعيات
٢٦٧	١٥ - ٦ - ١ - مبدأ التصنيع
٢٦٨	١٥ - ٦ - ١٥ - آلات تصنيع الإصبعيات
٢٦٨	١٥ - ٧ - ١٥ - المواد الرابطة
٢٦٨	١٥ - ٨ - ١٥ - خصائص الجودة الميكانيكية للإصبعيات
٢٧١	١٥ - ٩ - عمليات تبريد الأعلاف المصنعة
٢٧٣	الجزء الخامس: عمليات ما بعد التصنيع
٢٧٤	الفصل السادس عشر: عمليات التغليف
٢٧٤	١٦ - ١ - المواصفات الفنية لمولد التغليف

الصفحة	الموضوع
٢٧٦	٦-٢ - نظرية التغليف
٢٧٨	٦-٣ - أنواع العبوات والمواد المستخدمة في تصنيع مواد التعينة
٢٧٩	٦-٤-١ - العبوات الخشبية والبلاستيكية
٢٨١	٦-٤-٢ - العبوات البلاستيكية المتعددة
٢٨٢	٦-٤-٣ - العبوات الورقية
٢٨٣	٦-٤-٤ - عبوات الألياف الصناعية
٢٨٥	٦-٤-٥ - اختبارات جودة العبوات
٢٨٥	٦-٥-٥ - أمثلة عن بعض عمليات التعينة
٢٨٦	٦-٥-٦ - تعينة الخضار والفاكهة الطازجة
٢٨٩	٦-٥-٧ - تعينة وتعليق البيض
٢٨٩	الفصل السابع عشر: غلق العبوات ولصقها
٢٩٠	٦-٦-١ - مقدمة في تطور الإغلاق واللصق
٢٩٠	٦-٦-٢ - فوائد عمليات الإغلاق واللصق
٢٩١	٦-٦-٣ - صناعة الإغلاق واللصق
٢٩١	٦-٦-٤ - تكنولوجيا الإغلاق واللصق
٢٩٣	٦-٦-٥ - تكنولوجيا الإغلاق
٢٩٥	٦-٦-٦ - تكنولوجيا اللصق
٢٩٥	الفصل الثامن عشر: هندسة التحكم في العمليات التصنيعية
٢٩٦	٦-٦-٧ - قياس بaramترات التشغيل
٢٩٧	٦-٦-٨ - أنظمة للتحكم
٢٩٩	٦-٦-٩ - التحكم اليدوي
٢٩٩	٦-٦-١٠ - التحكم الميكانيكي
٣٠٠	٦-٦-١١ - التحكم الآلي
٣٠١	٦-٦-١٢ - تصنیف دلائل التحكم
٣٠٢	٦-٦-١٣ - نظام التحكم النسبي
٣٠٣	٦-٦-١٤ - نظام التحكم الفسيبي المتكامل

الصفحة	الموضوع
٣٠٥	٤-٤ - دارت التحكم المنطقية: PLC
٣١٦	دليل المصطلحات العلمية: إنكليزي ... عربي
٣١٩	المراجع العلمية الأجنبية
٣٢٠	المراجع العلمية العربية
	الأجندة العلمية والتذوق الغوري

الجزء الأول

أساسيات هندسة التصنيع الزراعي

Basics of Agriculture Process

Engineering



الفصل الأول
الوحدات الهندسية
Engineering Units

١-١ - الأبعاد الأساسية والمشتقة

يتم التعبير عن أية كمية فизيائية بقيمة عددية وبوحدة قياس مثل (الطول، السرعة، والزمن وهكذا)، لذلك تم تقسيم الأبعاد والوحدات إلى:

١- الوحدات الأساسية: Fundamental units: وتشمل هذه الكميات:

- الكثافة (mass) : ويرمز لها بالتحليل البعدي (M)
- المسافة (Length) : ويرمز لها بالتحليل البعدي (L)
- الزمن (time) : ويرمز له بالتحليل البعدي (τ)
- درجة الحرارة (Temperature) : ويرمز لها بالتحليل البعدي (θ)
- القوة (Force) : ويرمز لها بالتحليل البعدي (F)

ويمكن تعريف بعض وحدات القياس الأساسية المعيارية كما يأتي:

• المتر: هو أقصر مسافة عند درجة حرارة (صفر مئوية) وذلك بين خطين متوازيين محفورين على قضيب ناعم من platinum – iridum والمحفوظ في مكتب الأوزان والمقياس في فرنسا.

• الكيلوغرام: وهو عبارة عن كثافة اسطوانة من platinum – iridum والمحفوظة في مكتب الأوزان والمقياس في فرنسا.

• الثانية: وهي تعبّر عن $1 / 86400$ جزء من اليوم الشمسي

٢- الوحدات المشتقة : derived units هي خليط من الأبعاد الأساسية مثل:

- السرعة (speed) وتقدر بوحدة (م.ث^{-1})
- والвязوجة (viscosity) وتقدر بوحدة (باسكال .ثا).

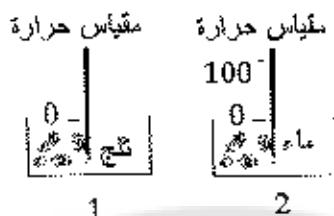
٤-١ - الأنظمة العالمية المستخدمة للتغيير عن الكميات الفيزيائية
توجد ثلاث جمل قياس معروفة عالمياً تستخدم للتغيير عن الكميات الفيزيائية الأساسية
كما هو مبين في الجدول (٤-١)

جدول (٤-١) : الأنظمة الدولية المعتمدة لوحدات القياس

النظام الدولي (SI)	النظام المترى (فرنسي) ()	النظام الانكليزى	الكمية الفيزيائية
كغ (Kg)	غرام (g)	رطل (lb)	الكتلة
متر (m)	متر (m)	قدم (ft) بوصة (in)	المسافة
ثانية (sec)	ثانية (sec)	ثانية (sec)	الזמן
كلفن (K)	درجة مئوية (°C)	فهرنهايت (°F)	درجة الحرارة
Pa (N / m ²)	Kp / cm ²	Lb / in ²	الضغط

٣-١ - أهم الكميات الفيزيائية

١- درجة الحرارة: يعبر عن درجة الحرارة بالنظام المترى بالدرجة المئوية وفي هذا النظام يتم تقسيم مقياس الحرارة إلى مئة درجة متساوية (من ٠ - ١٠٠ م) ويعتمد هذا التقسيم على اعتبار درجة الصفر هي درجة حرارة انصهار الثلج مع الوسط المحبي والدرجة مئة هي درجة حرارة غليان الماء كما هو موضح في الشكل (٣-١).



شكل (١-١) : مبدأ تدريج مقياس الحرارة بالنظام المترى "سليوسوس"

أما النظام الانكليزى فقد اعتمد على تقسيم سلم درجات الحرارة في المجال (٣٢ - ٢١٢) معتبراً الصفر المئوي يعادل ٣٢ "فهرنهايت" واعتمد في ذلك على ذوبان الثلج بعد إضافة الملح وبذلك تم تقسيم السلم إلى وحدات متساوية كل وحدة تعادل ١٠.٨ على المقياس والعلاقة بين التدريج المئوي و"الفهرنهايت" يعطى بالعلاقة الآتية :

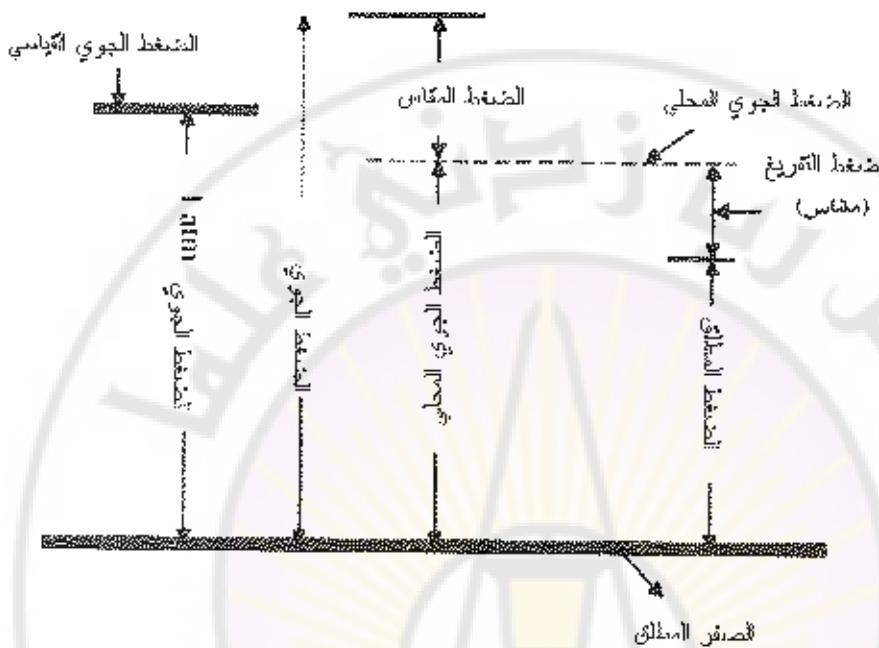
أما النظام العالمي فيستخدم وحدة كلفن K، وصفر كلفن يعادل -٢٧٣ درجة مئوية (درجة تجمد الأزوت).

- الضغط: Pressure: الضغط هو مقدار ما تؤثر به قوة في سطح ويمكن أن نميز ثلاثة أنواع من الضغوط كما يأتي وكما هو موضح في الشكل (١-٢) كما يأتي:

- الضغط الجوى (barometric pressure) هو مقدار الضغط الموجس في الطبيعة على سطح الكرة الأرضية ويقاس بوحدة (ضغط جوى، باسكال، أو بار $1 \text{ at} = 1.03 \text{ bar} = 10^5 \text{ N.m}^{-2}$)

- ضغط المقياس: (Gauge pressure) وهو الضغط الذي يشير إليه مقياس الضغط في نقطة ما ويمكن أن يكون أعلى من الضغط الجوى (ضغط موجب) أو أقل من الضغط الجوى (ضغط سالب أو ضغط تخلص) ويظهر الضغط الموجب عند استخدام مضخات في عمليات نقل المواد الغذائية ويستخدم الضغط السالب عن الحاجة إلى عمليات تكثيف المواد الغذائية عند درجة حرارة منخفضة نسبياً.

- الضغط المطلق (absolute pressure) وهو مجموع الضغط الجوي + ضغط المقيمان.



شكل (٤-٢) : الأنواع المختلفة من الضغوط

-**القوة: Force:** تعتبر القوة أهم "بارامتر" في حقل العلوم الهندسية ويُعرف القوة بأنها أي فعل يسبب حركة للأجسام أو يميل لتحريرك الأجسام، وتُقاس القوة بالوحدة الدولية بالنيوتن (N)، ويمكن أن يكون اتجاه القوة أفقياً أو مائلاً أو رأسياً عللي اتجاه الحركة ويمكن أن تتعدد القوى المؤثرة في نقطة ما أو جسم ما، وبذلك تكون القوة الكلية هي المحصلة الشعاعية لمجموع القوى المختلفة ويمكن أن تكون خطية بحيث تنتهي عملاً يسبب حركة خطية أو قوة طاردة بحيث تنتهي عزماً دورانياً.

-**العزم: Moment:** وهو كمية فيزيائية تعبر عن مقدرة قوة ما على تحريك جسم مسافة حول محور دورانه وبساوي رياضياً جداء القوة في البعد العمودي عن مركز تحريك الجسم.

- ٥- عزم الدوران torque: وهو مقدرة القوة على تحريك الجسم حرکة دورانية حول نقطة أو حول محور تناقض الجسم، غالباً ما ينتع هذا العزم بتأثير مزدوجة من القوى.
- ٦- العمل Work: عندما تقوم قوة بالتأثير في جسم وتنقله مسافة معينة نقول إنّ القوة قد أجزت عملاً ويتساوي جداء القوة في المسافة في حالة كان اتجاه حركة الجسم في اتجاه القوة، أمّا في حالة تحريك الجسم حرکة دورانية فإنّ العمل يساوي جداء العزم في الإزاحة المزاوية ويقدر العمل بوحدة الجول (J)
- ٧- الطاقة energy: هي القدرة على إنجاز عمل ما ويمكن أن تأخذ الطاقة أشكالاً مختلفة مثل الطاقة الميكانيكية، الطاقة الكيميائية، طاقة الضوء وتقدر بوحدة "الجول".
- ٨- القدرة (الاستطاعة) power: وهي تعبير عن معدل إنجاز العمل (معدل استهلاك الطاقة خلال الزمن) وتقدر بوحدة السواط (W) أو الحصان البخاري (hp).



الفصل الثاني

مبادئ عامة في هندسة التصنيع الزراعي

General principles to agriculture process engineering

١-١ - مفهوم العملية التصنيعية

يقصد بالعملية التصنيعية مجموعة العمليات المختلفة التي تطبق على المواد الزراعية الأولية Raw material النباتية أو الحيوانية لتعديل شكلها من حالتها الأولية إلى حالة أخرى، والوصول بها إلى شكلها النهائي التصنيعي أو إيقاعها على حالها مع المحافظة على خصائصها وجوينتها وعدم تعريضها للذلة والفساد. تتم العملية التصنيعية باستخدام سلسلة من وحدات التشغيل أو التصنيع (Unit operation) والتي تكون في خط إنتاج متسلسل أو بشكل منفرد وتشمل هذه الوحدات:

- وحدات تحضير المادة الأولية: (وحدات الغسيل، وحدات التدريج والتنظيف، ووحدات التغشیر إلخ....)
- وحدات التداول والتقليل داخل المصنع: ومنها التوافل بمختلف أنواعها (الميكانيكية والهوائية).
- وحدات التصنيع ومنها: وحدات البسترة والتعقيم ، وحدات التجفيف والتبريد ووحدات التصنيع الميكانيكية مثل (تصغير الأحجام والخلط، التقطيع، الكبس إلخ...).
- الوحدات المتممة: مثل وحدات التعبئة والتغليف والطباعة أو ما يسمى وحدات ما بعد التصنيع.

١-٢ - مفهوم هندسة التصنيع

يشمل مفهوم هندسة التصنيع دراسة العلاقات الهندسية المختلفة التي تتحكم في العملية التصنيعية وتطبيق نظريات الهندسة في التحكم في تلك العمليات وكذلك إجراء الحسابات الهندسية اللازمة لإنجاز تلك العمليات، ومن هذه العمليات الهندسية حسابات انتقال الحرارة التي تلزم في وحدات التصنيع الحرارية مثل حساب مساحة

سطح التبادل الحراري في المبادرات الحرارية اللازمة لعمليات التعقيم والبسترة أو حسابات القراءة اللازمة لتشغيل وحدات التقطيع والجرش.

٣-٢ - الأهداف الرئيسية من عمليات التصنيع

تهدف العملية التصنيعية إلى تحقيق الأهداف الآتية:

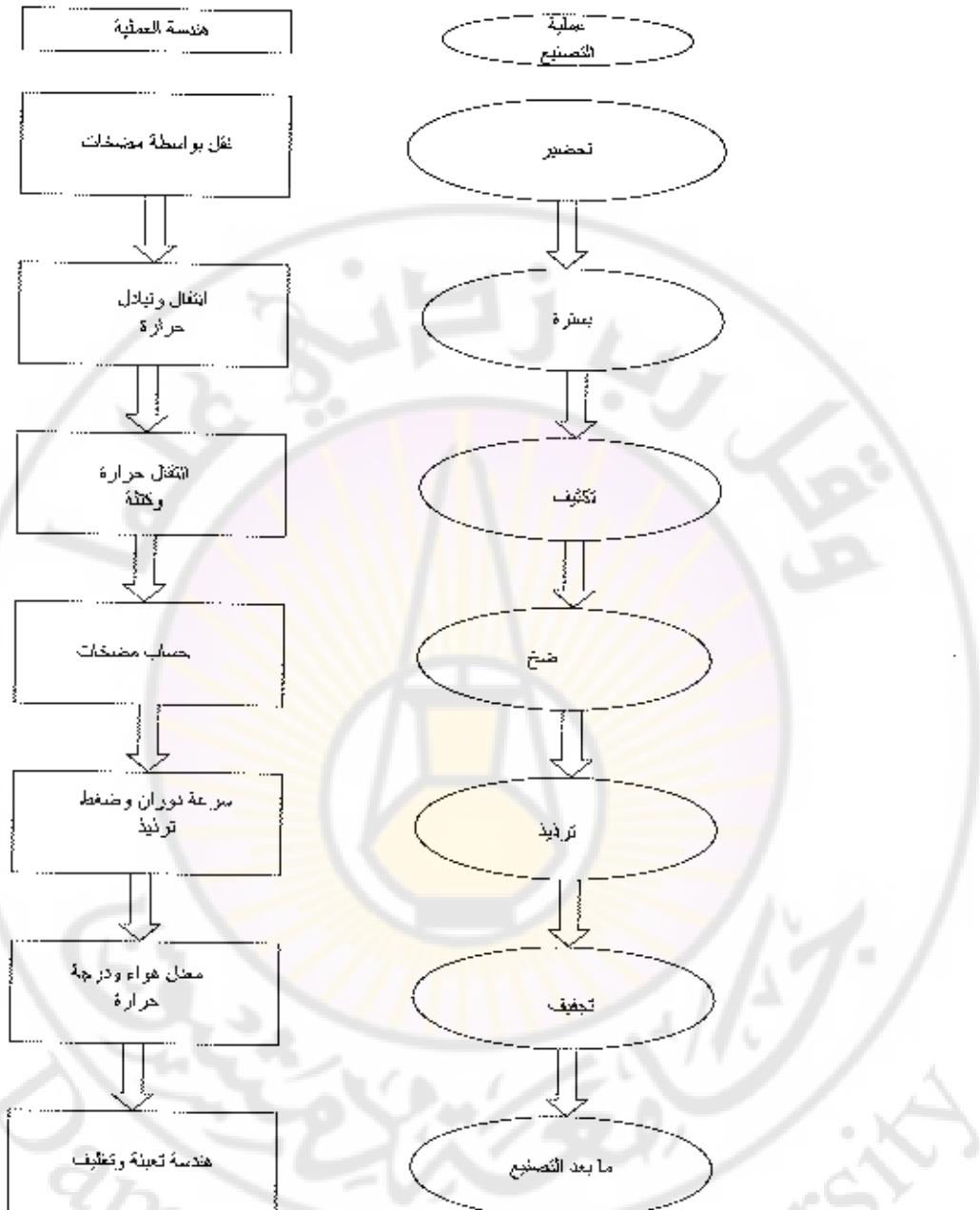
- منع فساد الأغذية نتيجة الظروف الجوية وسوء التخزين والحفظ، ويتم ذلك باستخدام الكثير من وحدات التصنيع الخاصة مثل (التجفيف ، التبريد والتعليب).
- تقليل الفاقد والهدر من خلال حفظ تلك المواد بالتجفيف وذلك لتنظيم عملية العرض والمطلب على تلك المولود وذلك بتطبيق تقانات معاملات ما بعد الحصاد (post-harvest operation technology) .
- المحافظة على جودة المنتجات ومكوناتها الغذائية من خلال تطبيق بعض المعاملات الصناعية التي تتعرض لها.
- المحافظة على توفير الفواكه والخضروات على مدار السنة من خلال عملية الحفظ بالتجفيف أو التبريد أو التعليب.
- تغيير شكل المادة من الحالة الأولية إلى الشكل المصنوع مما يكسبها قيمة مضافة (تصنيع الحبوب على شكل دقيق وتصنيع الدقيق على شكل طويات).

٤-٤ - أمثلة على بعض العمليات الصناعية

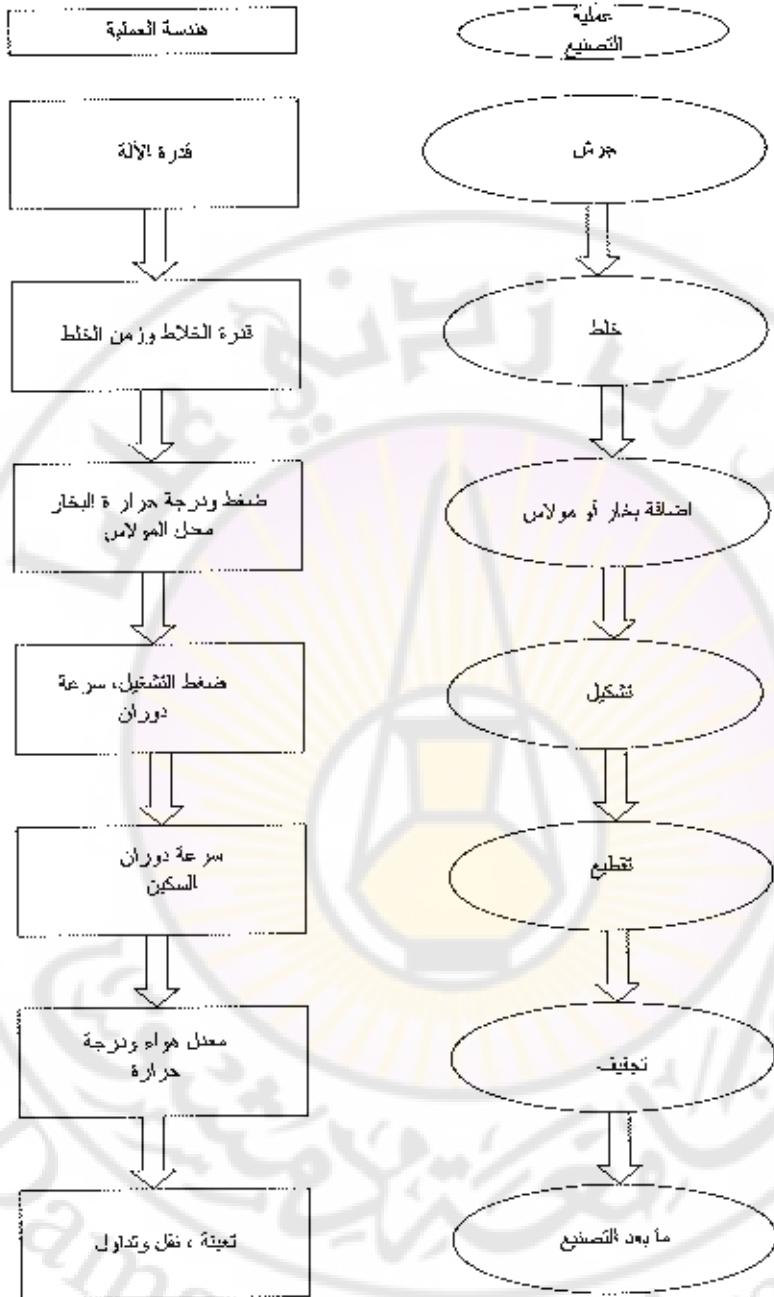
- ١ - **تصنيع الحليب المجفف:** تهدف عملية تصنيع الحليب على شكل مسحوق إلى تأمين هذه المادة الهامة في تغذية الإنسان والحيوان على مدار العام وكذلك تهدف إلى تخزين الفائض من الإنتاج على صورة جافة مما يطيل من عمرها التخزيني ويقلل من تكاليف النقل والتخزين بعكس الحالة السائلة. يتم تصنيع الحليب على شكل مسحوق بالتجفيف باستخدام مجفف الرذاذ spray dryer أو مجفف الاسطوانة drum dryer وتم عملية التصنيع في مراحل متعددة تبدأ

من عملية استلام الطين الخام ثم إجراء عمليات التصفية والبسترة ومن ثم عملية التصنيع. يبين الشكل (٢-١) مراحل تصنيع الطين وما يرتبط بكل عملية من حسابات هندسة تتعلق بها.

٢ - **تصنيع الأعلاف على شكل إصبعيات:** تعرف عملية تصنيع الأعلاف على شكل إصبعيات بأنها عملية خلط ثم كبس مكونات التركيبة العافية في كتلة واحدة تسمى الإصبعية أو "الكبسولة" (Pellet) ولهذه الطريقة في تصنيع الأعلاف فوائد كثيرة من حيث تأمين عملية تغذية بأقل تكلفة وأحسن جودة ، وتم عملية تصنيع الأعلاف على شكل إصبعيات باستخدام آلة خاصة لذلك تحوي هذه الآلة على قالب لتشكيل الإصبعيات بأقطار مختلفة وبذلك يتم الحصول على إصبعيات بأقطار متعددة وأطوال حسب الحاجة، يبين الشكل (٢-٢) خطوات تصنيع الأعلاف على شكل إصبعيات .



شكل (٢-١) : مراحل تصنيع الحليب على شكل مسحوق.



شكل (٢٦) : لتصنيع الأصناف على شكل إصبعيات

٤ - مفاهيم عامة عن مصانع الأغذية

يمكن أن نعبر عن مفهوم هندسة المصانع من خلال فهم التفاصيل الضرورية التي تشمل اختيار مكان إقامة المصنع وتصميم المصنع إثنائياً وبيئياً والتجهيزات اللازمة لعمل هذا المصنع وكذلك الأشياء المتممة لعمل هذا المصنع مثل تأمين المياه وغيرها.

٤-١ - اختيار موقع المصنع

عند اختيار موقع المصنع يجب مراعاة ما يأتي :

- ١ - القرب من موقع المواد الأولية حيث يسهم إنشاء المصنع بالقرب من مصادر المواد الأولية في تقليل تكاليف النقل والتخزين ويساهم في الحصول على مواد بأحسن جودة ممكنة.
- ٢ - القرب من مصادر المياه العذبة حيث يتطلب المصنع كميات كبيرة من المياه لتنظيف المواد الأولية والتحضير الحالين المختلفة ولتوليد البخار.
- ٣ - القرب من اليد العاملة حيث تساهم هذه الخاصية باستخدام عماله رخيصة مما ينعكس بشكل مباشر على تكاليف الإنتاج .
- ٤ - القرب من أسواق التصريف وذلك لتقليل تكاليف النقل والتخزين قدر الإمكان.
- ٥ - القرب من الطرق الرئيسية ومصدر الطاقة .

٤-٢ - أقسام مصنع الأغذية

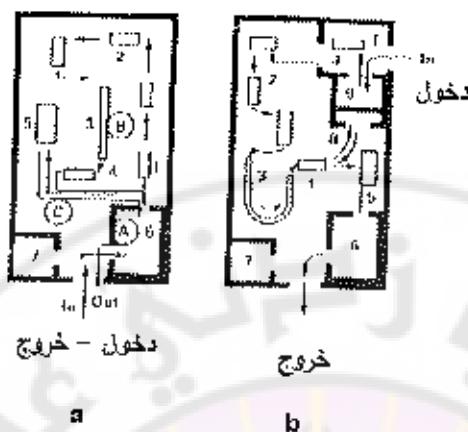
- ١ - قسم استقبال المواد الأولية: يتكون هذا القسم بشكل رئيسي من مجموعة من المستودعات العامة والخاصة ومجموعة من المخابز والمرازان الرئيسي، ومهمة هذا القسم التأكد من مواصفات المادة الأولية الفنية باستخدام المخابر أو الطرق البصرية و التأكد من أوزان المواد ونوعها وتخزينها تمهيداً لنقلها إلى المرحلة الآتية .
- ٢ - قسم التحضير: مهمة هذا القسم تحضير المادة الأولية لعملية التصنيع النهائي مثل عمليات التنظيف ، الفرز ، التقطيع ، المسلاك ، البتارة إلخ.

- ٣- قسم التصنيع : ويحوي هذا القسم على خط الاتساع الرئيسي والأجزاء المتممة له (التجفيف أو التبريد إلخ ...).
 - ٤- قسم التعبئة والتغليف: ومهمة هذا القسم تعبئة المادة المصنعة في العبوات الخاصة بها وأصدق عبارات التعريف، بالستانج وكذلك وزن العبرات وفق أوزان قياسية.
 - ٥- قسم الإدارة : ويحوي هذا القسم على الإدارة العامة والإدارة الفنية والإدارة التجارية وقسم التسويق وقسم مراقبة الجودة.
 - ٦- قسم الصيانة ومعالجة المخلفات: يساهم في أعمال الصيانة الدورية للألات المصنوع والتخلص من المخلفات بالطرق المناسبة.
- ٣-٥-٢ - تصميم بناء المصنع

إن حسن تصميم بناء المصنع وفق دراسات دقيقة يساعد في تحقيق ما يأتي:

- ١- تدفق المواد الخام بكافة أشكالها وأحجامها داخل المصنع بسهولة ويسر.
- ٢- إمكانية ترتيب الآلات داخل المصنع بشكل يسمح بتسلاسل العملية الإنتاجية.
- ٣- تأمين الممرات الآمنة للعمال للتقليل من الحوادث داخل المصنع.
- ٤- عزل العمليات المزعجة (الصوت، الروائح، إلخ...) في مكان مستقل .
- ٥- توفير الإنارة والتهوية المناسبتين .
- ٦- إمكانية مراقبة الإنتاج بسهولة .

يبين الشكل (٢-٣) نموذجين تخطيطيين لتصميم أحد المصانع ومقارنته بالخطاط الصحيح بالأخر غير الصحيح .



٤-٥-٤ مواصفات الأرضيات والجدران والأسقف

يجب أن تكون أرضيات المصانع خصوصاً غير منفذة للرطوبة مع مراعاة وجود ميل باتجاه المصرف وذلك لتسهيل صرف مياه التهوية المختلفة وأن تكون هذه الأرضيات على درجة عالية من المتنفسة والصلابة لتحمل وزن الآلات، وأما الجدران الداخلية والأسقف فيجب أن تكون ملساء ناعمة ومقاومة للحرارة والرطوبة وأن تكون نقاط اتصال الجدران مع السقف خالية من التقويب لمنع إيواء الحشرات والقوارض، وأن لا يقل ارتفاع الجدران عن ٢٠٠ سم من أجل ضرورة عمليات التهوية والإبارة الجديدة.

تهيئ الجو المناسب لنفو الفطور مما يعكس بشكل مباشر على جودة الأغذية المصنعة وكذلك لتأمين صحة العاملين داخل المصنع، ويمكن تأمين التهوية بإحدى طريقتين:

١- التهوية الطبيعية: وذلك من خلال الأبواب والنوافذ التي تؤمن دخول الهواء الجديد والمتجدد ولكن بهذه الطريقة لا يمكن التحكم بمعدلات الهواء الازمة

٢- التهوية الصناعية : وذلك عن طريق المراوح أو المكيفات وبذلك يمكن التحكم في هذه الحالة ب معدلات مرور الهواء وكذلك بخصائص الهواء الازمة لعملية التهوية.

٦-٥-٤ - الإنارة: Lighting

إن تأمين الإنارة الجيدة يعكس بصورة مباشرة على أداء العاملين داخل المصنع وعلى جودة الأداء ويمكن تأمين الإنارة الطبيعية عن طريق النوافذ والإنسارة الاصطناعية عن طريق الطاقة الكهربائية.



الفصل الثالث

الخصائص الطبيعية والهندسية للمواد الزراعية

Physical and engineering properties of agricultural materials

٣-١- أهمية الخصائص الطبيعية في عمليات التصنيع الزراعي

تعرض المواد الزراعية خلال عمليات التصنيع المختلفة إلى مجموعة من المعاملات المختلفة مثل: عمليات النقل والتداول والمعاملات الميكانيكية والمعاملات الحرارية والفيزيائية. تتطلب جميع عمليات التصنيع السابقة معرفة القوائين الطبيعية التي تحكم استجابة هذه المواد الحيوية لتلك العمليات وذلك بهدف التخطيط لتصميم الآلات التي ستقوم بإنجاز تلك العمليات الصناعية أو بهدف الحصول على جودة المنتج المصنوع ومدى مطابقته للمواصفات المطلوبة بالسوق التجاري. وتشمل الخصائص الطبيعية للمواد الزراعية: الخصائص الفيزيائية والخصائص الحرارية والخصائص الميكانيكية، فمثلاً إنَّ معرفة الخصائص الحرارية للمواد الزراعية مثل الناقالية الحرارية ومعاملات انتقال الحرارة تفيد في تصميم وتشغيل وحدات التجفيف والتبريد والبسترة ومعرفة خصائص الشكل والحجم تفيد في عمليات التخزين والفرز، لذلك فإنَّ معرفة الخصائص الطبيعية ومدى استجابة المواد الزراعية لهذه المعاملات سوف يسمح في تحقيق ما يأتي:

- ١- تصميم وحدات التشغيل الالزمة للتداول هذه المواد ونقلها وتصنيعها (وحدات النقل، الجرش، الخلط ، التريج ، التجفيف، التبريد، التخمير، إلخ) .
- ٢- إمكانية التحكم بعوامل التشغيل المطبقة على هذه المواد .
- ٣- إمكانية المحافظة على خصائص الجودة للمنتجات الزراعية للمواد الأولية والمواد المصنعة ومدى مطابقة هذه المواد للمواصفات القياسية المحلية أو العالمية .

٤-٣ - خصائص المواد الصلبة

٤-٢-١- الخصائص الفيزيائية: Physical properties:

تعتبر الخصائص الفيزيائية للمواد الزراعية مثل: الحجم والشكل والكتافة والمسامية وخصائص الاحتكاك إلخ . من الخصائص الهامة فسي تصميم وتشغيل الآلات الخاصة بعمليات التداول والنقل والتخزين وعمليات الجرش والطحن إذ تلعب أشكال وأحجام المواد الزراعية دوراً هاماً في حساب عمليات انتقال الحرارة والمساحات اللازمة لتخزينها، وتؤثر خصائص الاحتكاك في الطاقة اللازمة لعمليات نقل المواد .

٤-٢-١-١- خصائص الشكل والحجم: Shape and size:

تؤثر خصائص الحجم والشكل للمواد الزراعية خلال عملية التصنيع:

- في عمليات تدريج (grading) المحاصيل الزراعية للتعبئة أو الفرز . (packing and sorting)
- في وضع منchinيات التبريد للفواكه.
- في عملية نقل المواد الصلبة باستخدام النوافل المختلفة من خلال تحديد سرعة النقل الحدية والأرقام القياسية ،

يمكن وصف حجم وشكل المادة بالطرق الآتية:

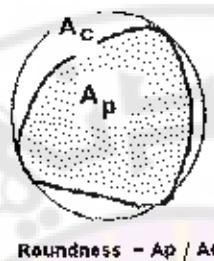
١- درجة الاستدارة: Roundness: تعبّر درجة الاستدارة عن مدى تحضير الشكل ووجود زوايا حادة وتختص هذه الطريقة بالأجسام الصلبة ويمكن تحديد درجة الاستدارة بالطرق الآتية :

- على أساس المساحة : تعطى درجة الاستدارة كما هو مبين بالشكل (٣-١) على أساس المساحة بالعلاقة الآتية:

حيث:

A_p : أكبر مسقط لمساحة المسطح.

A_c : مساحة أصغر دائرة محاطية تمس الجسم من الخارج.



$$\text{Roundness} = A_p / A_c$$

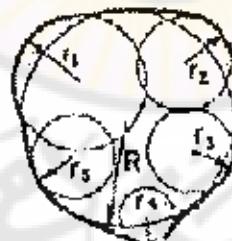
شكل (٣-١): درجة الاستدارة على أساس المساحة

- على أساس النصف الأقطار كما هو مبين في الشكل (٣-٢) فإن درجة الاستدارة تعطى بالعلاقة الآتية:

حيث:

R : نصف قطر الدائرة العظمى .

N : العدد الكلي للدوائر الذي يتكون منه الجسم .



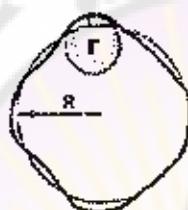
$$\text{Roundness} = \frac{\sum r}{NR}$$

شكل (٣-٢): درجة الاستدارة على أساس النصف الأقطار

- * على أساس نصف قطر القطر: تحدد درجة الاستدارة كما هو مبين في الشكل (٣-٣) بالعلاقة الآتية:

حيث:

R ، متوسط نصف قطر الجسم ونصف قطر المنحني الحاد.



$$\text{Roundness Ratio} = r / R$$

شكل (٣-٣): درجة الاستدارة على أساس نصف قطر

- درجة التكروز **Sphericity**: يعتمد على مبدأ مدى اقتراب الشكل من الشكل الكروي كنسبة مئوية ويمكن قياس الكروية بالعلاقة الآتية:

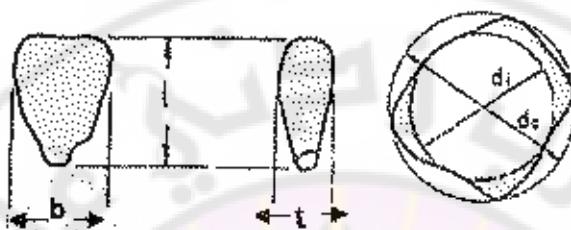
ويمكن رياضياً حساب درجة التكروز لبعض أنواع مختلفة بتقرير هذه الأشكال إلى أشكال هندسية معروفة مثل القطع الناقص أو الدائرة كما هو مبين في الشكل (٤-٤)

(ويتم قياس الكروية بالعلاقة الآتية:

$$S_{ph} = \left[\frac{\pi l.b.t}{\frac{\pi l^3}{6}} \right]^{1/3} = \frac{(l.b.t)^{1/3}}{l}$$

حيث:

- L: البعد الأكبر لحبة البذور
- b: البعد الأكبر لحبة البذور في الاتجاه العمودي على L
- A: البعد الأكبر لحبة البذور في الاتجاه العمودي على الاتجاهين السابقين



شكل (٣-٤) : تحديد درجة التكوار لحبة النرة

٣-١-٢-٣ - الكثافة والوزن النوعي

تعتبر الكثافة والوزن النوعي من الخصائص الطبيعية الهامة للمواد الزراعية وخصوصاً في حالة الحبوب، إذ تتمثل الكثافة صفة مهمة في تصميم صوامع الحبوب وفي عمليات فصل المواد الكيميائية وفي عمليات التنظيف والفرز. ويمكن تحديد قيمة الكثافة رياضياً بالعلاقة الآتية:

حيث :

m : كتلة المادة (كغ)

V : حجم المادة (م³).

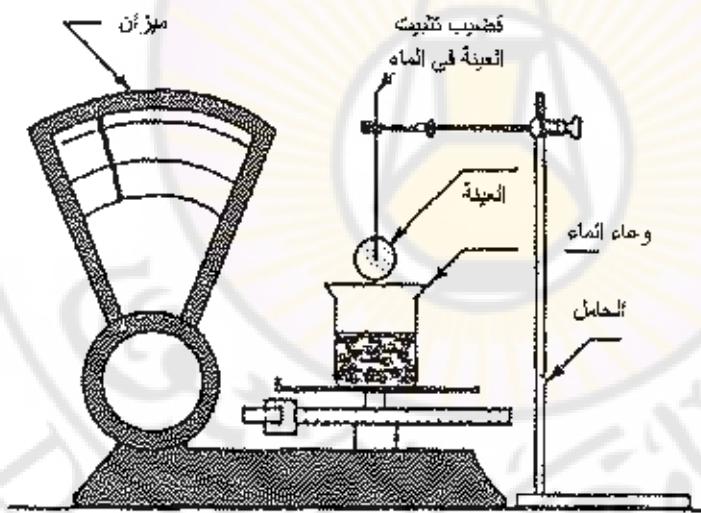
ويمكن التمييز بين نوعين من الكثافات : كثافة الوحدة (unit density) والكثافة السائلة أو كثافة التكوم أو الكثافة الحجمية Bulk density حيث تلعب الكثافة السائلة الدور الرئيسي في عمليات نقل وتدلول وتخزين وتعبئة المواد الزراعية المختلفة ويتم قياس الكثافة الحقيقة من خلال قياس الأبعاد للمادة (الشكل النظامي) وحساب الحجم

أو بطريق الحجم المزاح كما هو مبين في الشكل (٣-٥) ، أمّا قياس الكثافة السائبة أو كثافة التكوب ف يتم عن طريق مighbار مدرج معروف الوزن من خلال قياس كتلة المادة داخل المighbار ومعرفة حجم المighbار واستخدام العلاقة التقليدية لمعرفة الحجم، أمّا الوزن النوعي فيعطي بالعلاقة الآتية:

W_a : وزن المادة في الهواء

S_{gw} : الوزن النوعي للماء

W_d : وزن الماء المزاح



شكل (٣-٥) : طريقة تقدير الوزن النوعي بطريقة الغمر في الماء

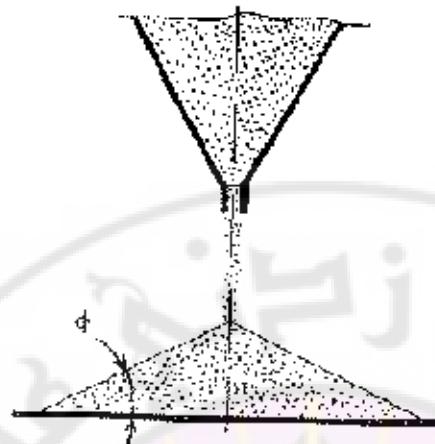
٣-١-٤-٣ - خصائص الاحتكاك

تعتبر خصائص الاحتكاك مثل معامل الاحتكاك وزاوية الراحة من الخصائص الهامة في عمليات نقل المواد الزراعية بأنظمة النقل المختلفة وفي عمليات الحصاد وفي ألات تصفيف الأعلاف وفي عمليات تخزين الحبوب في الصوامع، حيث تؤثر خصائص الاحتكاك في متطلبات القدرة اللازمة لإنجاز العملية التصنيعية ومن هذه الخصائص:

- زاوية الراحة (ϕ): يقصد بها الزاوية المكونة بين المادة والمخروط المتشكل من سقوط المادة من أعلى على سطح أفقي وتأثر هذه الزاوية بشكل وحجم المادة والمحتوى الرطبوبي وبذلك نجد نوعين من زوايا الاحتكاك الساكنة و زاوية الاحتكاك لشاء الحركة (البنور مثلاً) وجزء الآلة التي تسير عليه المادة وغالباً ما تؤخذ هذه الزاوية في حالة الحركة ويتم قياس هذه الزاوية تجريبياً كما هو مبين في الشكل (٣-٦) وبوضع على شكل جداول كما هو مبين في الجدول (٣-١) .

جدول (١-٣): زاوية الراحة لبعض المواد الزراعية

نوع المادة	زاوية الراحة، درجة
القمح	٢٨ - ٢٣
الذرة	٤٠ - ٣٠
الرز الشعير (Paddy)	٤٠ - ٢٨
الشعير	٤٥ - ٣٠

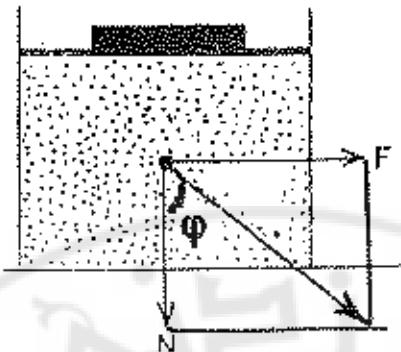


شكل (٣-٦) : قياس زاوية المراحة

- معامل الاحتكاك: **Coefficient factor:** يعبر معامل الاحتكاك عن مدى المقاومة المتشكلة بين المادة الزراعية والسطح التي تتحكّم معها انتاء الحركة ويُلعب معامل الاحتكاك دوراً هاماً في تحديد احتياجات الطاقة اللازمة لعمليات التصنيع المختلفة ويتم تحديد معامل الاحتكاك تجريبياً ويوضع على شكل جداول، ويُقدر معامل الاحتكاك كما موضح في الشكل (٣-٧) بالعلاقة الآتية :

حيث :

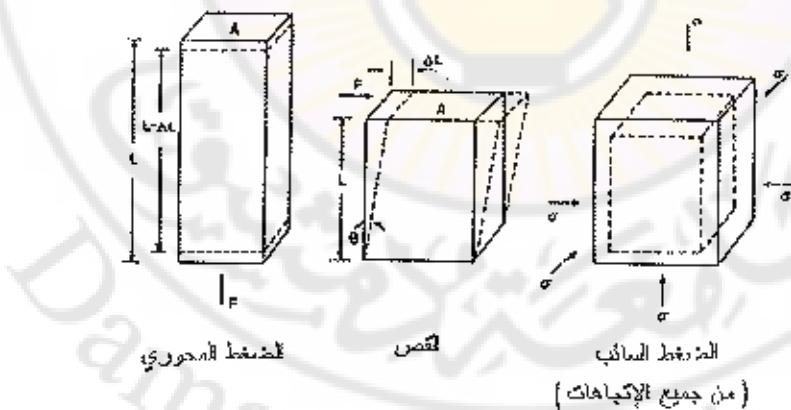
$N_r F$: مقاومة الاحتكاك للمادة، المركبة الأفقية والمركبة المماسية للمادة على التوالي، نيوتن



شكل (٣-٧) : حساب معامل الاحتكاك

٤-٢-٣ - الخصائص الميكانيكية

تُعبر الخصائص الميكانيكية عن مقاومة المادة للتشوه أو القص عند تعرضها لقوى خارجية أو داخلية ومن هذه الخصائص الصلادة، مقاومة الشد والضغط ومقاومة القص وخصائص الانسياط، إلخ...، وكما هو موضح في الشكل (٣-٨)، توفر هذا الخصائص في تصميم آلات التصنيع مثل الطحن والت نق حيث توفر هذه الخصائص في مواصفات المنتج النهائي وتوثر في استهلاك الطاقة اللازمة لإنجاز العملية التصنيعية.



شكل (٣-٨) : أنواع مختلفة من الإجهادات

١ - مقاومة المواد للضغط: يتم قياس مقاومة الضغط للمواد الزراعية على الرغم من صعوبتها بوضع المادة المراد قياس مقاومتها بين صفيحتين صلبتين كما هو موضح في الشكل (٣-٩) وتطبيق القوة عليها ويتم حساب مقاومة الضغط المعبر عنها بإجهاد الضغط بالعلاقة الآتية :

حيث :

σ : إجهاد الضغط ، نيوتن . م^{-٢} .

F : القوة المطبقة ، نيوتن .

A : مساحة مقطع العينة، م^٢ .

وذلك يمكن التعبير عن مدى مقاومة المادة للتشوه بحساب معامل المرونة (معامل يانع) بالعلاقة الآتية :

ويعطي مقدار الانفعال بالعلاقة الآتية :

حيث: E : معامل يانع .

ϵ : مقدار الانفعال .

ΔL : مقدار التغير في الطول .

L : الطول الأصلي للعينة .

يتم الاستفادة من هذه الخاصية في حالة التحميل الساكن للمواد فوق بعضها البعض (عمليات تعبئة الفواكه في صناديق) وذلك لحساب الحد الأقصى المسموح به وذلك لمنع تلف تلك المواد، وهناك بعض العلاقات التجريبية التي تعطي قيمة معامل " يانع " وذلك مع اختلاف طريقة التحميل كما يأتي :

- للتحميم المحوري لنموذج أسطواني بين صفيحتين :

- ويعطى للشكل شبه المخروطي على صفيحة العلاقة الآتية :

حيث :

F : القوة المؤثرة .

D : مقدار التشوه .

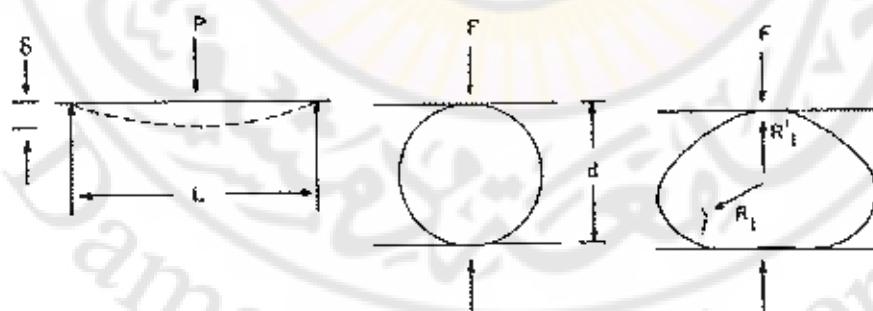
d : قطر الكرة .

μ : معامل بواسون .

R_2, R_1 : أنصاف قطران الانحناءات .

ويؤثر خصائص الانضغاط بشكل عام في :

- كبس المواد الزراعية في صورها المختلفة (بالات قش ، تصنيع أصنباعيات علفية).
- التحميل المسالك و عمليات تخليق الأغذية .



شكل (٣-٩) : مقاومة الضغط للمواد الزراعية

٢- مقاومة القص shear strength: تُعبر مقاومة القص عن مدى مقاومة المادة لعمليات القص أثناء تعرضها لقوى موازية لسطح الحركة كعمليات التقطيع ويعبر عن ذلك بالإزاحة الزاوية كما هو مبين في الشكل (٣-٩) وتبدو هذه الخاصية واضحة عند نقل وتدوير المواد السائلة وشبيه السائلة، ويمكن التعبير عن إجهاد القص بالعلاقة الآتية :

ويعطى معامل القص بالعلاقة الآتية :

$$\gamma = \frac{\Delta L}{L}$$

τ : إجهاد القص .

G : معامل القص .

γ : الانفعال الزاوي .

٣- مقاومة المواد للتصدم : تؤثر مقاومة الصدم في خصائص المادة كما يأتي :

- تؤثر في عمليات تصغير الحجم في الات جرش ودرجات تعليم المواد الزراعية .
- تؤثر في التلف الميكانيكي للمواد الزراعية خلال عمليات الحصاد والدرس وعمليات النقل المختلفة .
- تؤثر في استهلاك الطاقة لآلات الجرش

٣-٢-٣ الخصائص الحرارية

تعتبر الخصائص الحرارية مثل السعة الحرارية والانفالية والانتشارية ومعامل انتقال الحرارة السطحي وغيرها من الخصائص الحرارية الهامة في عمليات التصنيع التي تحتاج معاملات حرارية كعمليات التجفيف والتبريد والبسترة، وتدخل هذه

الخصائص في عمليات حساب الطاقة وعمليات حساب مساحات أسطح التجفيف أو التبريد للمواد الصلبة والسائلة. بشكل عام يمكن أن تُصنف الخصائص الحرارية كخواص ديناميكية حرارية (الإنتالبي أي المحتوى الحراري في وحدة الكتلة والأنتروبي أي درجة التعادل الحراري) وخواص انتقال الحرارة (الموصولة الحرارية والانتشارية الحرارية).

لا تضم الخواص الطبيعية الحرارية فقط الخواص الديناميكية الحرارية وإنما الحرارة بل أيضاً خواص فيزيائية أخرى مشاركة في نقل الحرارة مثل نقطة التجمد والغليان والكتلة والكلافة والمسامية واللزوجة وتلعب هذه الخواص دوراً هاماً في توقع عمليات نقل الحرارة أثناء التداول والتصنيع والفحص والتخزين والتوزيع ومن أهم الخصائص الحرارية:

١- السعة الحرارية : تعبر السعة الحرارية عن مقدرة المادة على تخزين الحرارة وتُعرف بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المادة درجة مئوية واحدة وتتبع السعة الحرارية كثافة المادة ويمكن التعبير عنها بالعلاقة الآتية :

$$Q = m \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1)$$

حيث:

Q ، C_p ، m ، t_1 ، t_2 : كمية الحرارة ، كثافة المادة ، السعة الحرارية ، درجة حرارة المادة قبل وبعد التسخين على التوالي، ومن الشائع استخدام حرارة نوعية عند ضغط ثابت P والذي يوضح شكل تغير الأنباري H (كـ جول.كم^١) بسبب تغير معين في درجة الحرارة T عندما يحدث هذا التغير عند ضغط ثابت P ، ويمكن التقى بالسعة الحرارية للمواد الزراعية من خلال علاقات تجريبية ومنها علاقة (Dickerson,1969) والتي تستخدم في حالة المواد التي تحتوي على نسبة مرتفعة من الرطوبة (٦٦-١٠٠٪) :

$$C_p = 1.67 + 0.25 W\%$$

W : هي نسبة الرطوبة في المادة .

واستنتاج (Heldman and Singh, 1982) التعبير الذي يعتمد على مكونات المادة

$$C_p = 1.42 X_g + 1.590 X_g + 1.67 X_f + 0.837 X_w \quad \text{كماء يأتي :}$$

$$\text{حيث: } X_g, X_f, X_w, X_p.$$

هي مكونات المادة من الكربوهيدرات والبروتين والماء والدهون والراماد.

٢- **النافذية الحرارية :** تعبر النافذية الحرارية عن معدل مرور الحرارة خلال وحدة المساحة لوحدة السماكة (thickness) داخل المادة وبشكل عمودي على اتجاه السطح وذلك عند وجود فرق في درجة الحرارة على طرفي السطح وتعتمد الموصولة الحرارية على تركيب المادة نفسها وعلى وجود الفراغات الموجودة فيها ويمكن التعبير بقيمة الموصولة الحرارية بالعلاقة الآتية :

$$K = 0.25X_c + 0.155X_p + 0.16X_f + 0.135X_w$$

ويعبر عنها بالوحدات الدولية بـ (W . m⁻¹ K⁻¹).

٣- **الانتشارية الحرارية :** تعبر الانتشارية الحرارية عن معدل مرور الحرارة داخل المواد الزراعية بالتوصيل بغض النظر عن شكل المادة حيث تعبر عن مقدرة المادة على نقل الحرارة بالتوصيل إلى مقدرتها على نقل الحرارة بالحمل ويتم حسابها من العلاقة الآتية :

ويمكن الاستفادة من معرفة الخصائص الحرارية للمواد الزراعية من خلال ما يأتي :

- ١- جميع عمليات انتقال الحرارة وعمليات التبريد تتطلب معرفة الخصائص الحرارية للمواد التي تدخل ضمن حيز النظام الحراري .
- ٢- عمليات حساب التوازن الحراري المطبقة على وحدات التصنيع الحرارية تتطلب معرفة الخصائص الحرارية .
- ٣- متطلبات الجودة تحتاج إلى معرفة الخصائص الحرارية للمواد الزراعية ويمكن التعبير بالخواص السابقة باستخدام بعض العلاقات التجريبية كما هو موضح في الجدول (٣-٢) .

جدول (٣-٢) : حساب بعض الفصانص التصنيعية من علاقات تجريبية

المقدمة	المركب الأساسي	الخاصية الحرارية
$k = 0.20141 + 1.3874 \cdot 10^{-3}T - 4.3312 \cdot 10^{-6} T^2$	كربوهيدرات	k $\frac{W \cdot m^{-1}}{(K)}$
$k = 0.32962 + 1.4011 \cdot 10^{-3}T - 2.9069 \cdot 10^{-6} T^2$	رمان	
$k = 0.18331 + 1.2497 \cdot 10^{-3}T - 3.1683 \cdot 10^{-6} T^2$	الوقب	
$k = 0.18071 + 2.7604 \cdot 10^{-4}T - 1.7749 \cdot 10^{-7} T^2$	دهون	
$k = 0.17881 + 1.1958 \cdot 10^{-3}T - 2.7178 \cdot 10^{-6} T^2$	بروتينات	
$k_A = 0.57109 + 1.7625 \cdot 10^{-3}T - 6.7036 \cdot 10^{-6} T^2$	ماء	
$k_{H_2O} = 2.2196 - 6.2489 \cdot 10^{-3}T + 1.0154 \cdot 10^{-4} T^2$	جلد	
$\alpha = 8.0842 \cdot 10^{-2} + 5.3052 \cdot 10^{-4}T - 2.3218 \cdot 10^{-6} T^2$	كربوهيدرات	α $(m^2/s) \times 10^6$
$\alpha = 1.2461 \cdot 10^{-1} + 3.7321 \cdot 10^{-4}T - 1.2244 \cdot 10^{-6} T^2$	رمان	
$\alpha = 7.3976 \cdot 10^{-2} + 5.1902 \cdot 10^{-4}T - 2.2202 \cdot 10^{-6} T^2$	الباب	
$\alpha = 9.8777 \cdot 10^{-2} + 1.2569 \cdot 10^{-4}T - 3.8286 \cdot 10^{-6} T^2$	دهون	
$\alpha = 6.8714 \cdot 10^{-2} + 4.7578 \cdot 10^{-4}T - 1.4646 \cdot 10^{-6} T^2$	بروتينات	
$\alpha_A = 0.1317 + 6.2477 \cdot 10^{-4}T - 2.4022 \cdot 10^{-6} T^2$	ماء	
$\alpha_H = 1.1756 - 6.0833 \cdot 10^{-3}T + 9.5037 \cdot 10^{-5} T^2$	جلد	
$C_p = 1.5488 + 1.9625 \cdot 10^{-3} T - 5.9399 \cdot 10^{-6} T^2$	كربوهيدرات	
$C_p = 1.0926 + 1.8896 \cdot 10^{-3} T - 3.6817 \cdot 10^{-6} T^2$	رمان	

$C_p = 1.8459 + 1.8306 \cdot 10^{-3} T - 4.6509 \cdot 10^{-6} T^2$	الدهون	C_p kJ/kg 10^-3 J/K
$C_p = 1.9842 + 1.4733 \cdot 10^{-3} T - 4.8008 \cdot 10^{-6} T^2$	بروتينات	
$C_p = 2.0082 + 1.2089 \cdot 10^{-3} T - 1.3129 \cdot 10^{-6} T^2$	ماء	ρ (kg/m³)
$C_{p1} = 4.0817 - 5.3062 \cdot 10^{-3} T + 9.9516 \cdot 10^{-7} T^2 \quad (-40 < T < 0^\circ C)$ $C_{p2} = 4.1762 - 9.0864 \cdot 10^{-3} T + 5.4731 \cdot 10^{-6} T^2 \quad (0 < T < 150^\circ C)$	جلد	
$C_p = 2.0623 + 6.0769 \cdot 10^{-3} T$	كريبوهيدرات	ρ (kg/m³)
$\rho = 1.5991 \cdot 10^3 - 0.31046 T$	رمان	
$\rho = 2.4238 \cdot 10^3 - 0.28063 T$	الدهون	ρ (kg/m³)
$\rho = 1.3115 \cdot 10^3 - 0.36589 T$	بروتينات	
$\rho = 9.2559 \cdot 10^2 - 0.41757 T$	ماء	ρ (kg/m³)
$\rho = 1.3299 \cdot 10^3 - 0.51840 T$	جلد	
$\rho = 997.18 + 3.1439 \cdot 10^{-3} T - 3.7574 \cdot 10^{-9} T^2$	الدهون	ρ (kg/m³)
$\rho = 916.89 - 0.13071 T$	بروتينات	

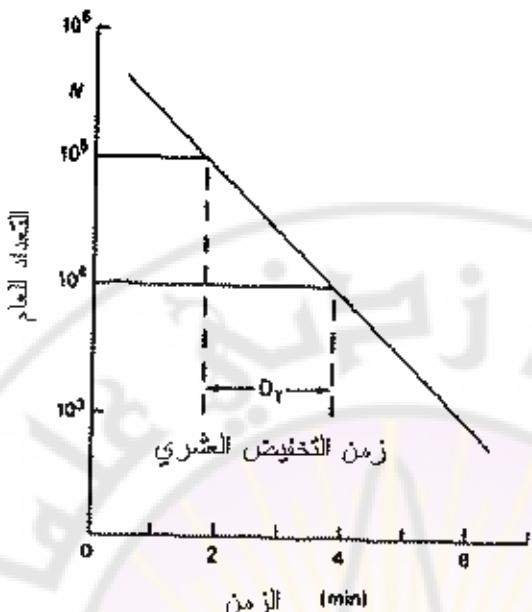
٤- أنسن ومبادئ مقاومة الكائنات الحية للحرارة : تتطلب المعاملة الحرارية للأغذية عمليات تسخين ورفع درجة حرارة المادة الغذائية لذلك تستهدف عملية التسخين هذه وقف نشاط الكائنات الحية الدقيقة أو إتلافها بشكل كامل وكذلك وقف النشاط الأنزيمي وذلك لمنع التغيرات الفيزيائية والكيميائية للمادة كتغير اللون أو تخرب البروتين وتغير في الخصائص الحسية مثل اللون والطعم والقوام . وتسؤثر المعاملة الحرارية بشكل مباشر في جودة المادة الغذائية وسلامة المادة الغذائية لذلك يجب المحافظة على هاتين الخاصيتين بشكل أساسي ، إنَّ عمليات المعاملة الحرارية

تمرُّ في ثلاثة مراحل أساسية: مرحلة التسخين ومرحلة الحجز ومرحلة التبريد ويعبر زمن التسخين عند درجة حرارة ثابتة عاملًا محدداً لفعالية قتل الكائنات الممرضة ويعتمد معدل قتل هذه الكائنات كتابع لزمن المعاملة والتعداد العام كما هو موضح في الشكل (٣-١٠) حيث يمثل المحور الرأسى لوجاريتم التعداد العام ويتم وصف مقاومة الكائنات للحرارة بما يسمى زمن التخفيف العشري D_T وهو الزمن اللازم للتخلص من ٩٠ % من الكائنات الحية الدقيقة أو هو زمن تخفيف دورة لوجاريتمية واحدة، على سبيل المثال خفض التعداد من 10^4 إلى 10^1 ، ويتم تحديد مدى التعطيل الحراري للكائنات من العلاقة الآتية :

$$\log \frac{N_{0,25}}{N} = \frac{T}{D_T}$$

حيث:

N ، $N_{0,25}$: تعداد الكائنات عند بداية المعاملة وعند نهاية المعاملة على التوالي فعلى سبيل المثال إذا كان التعداد العام هو 10^4 / مل فإنه بعد ٨٠ ثانية سوف يصبح 10^1 / مل .

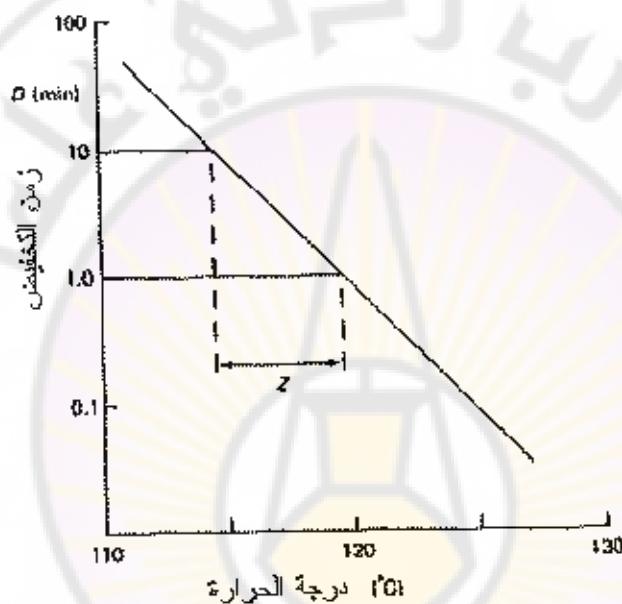


شكل (٣-١٠) : العلاقة بين زمن المعاملة الحرارية ولوغارتم التعداد العام

ويوجد لكل نوع من الكائنات الدقيقة زمان تخفيض خاص فكلما ازدادت المقاومة للحرارة زاد زمان التخفيض ويتم التعبير عن خاصية المقاومة الحرارية أيضاً بالمعامل Z وهي تعبر عن حساسية المادة لدرجة الحرارة وتمثل التغير في درجة الحرارة خلال دورة تخفيض واحد كما هو موضح في الشكل (٣-١١). وتختلف قيمة Z باختلاف نوع الكائن الدقيق فقيمة Z لأغلب الفطور 10°C وللبكتيريا والحضرار $(4 - 10^\circ\text{C})$. يبين الجدول (٣-٢) لأنواع مختلفة من الكائنات الدقيقة ويرتبط زمان التخفيض بقيمة Z بالعلاقة الآتية :

حيث:

θ_1 و θ_2 هي درجات حرارة المعاملة الحرارية عند زمن التخفيض العشري D_1 و D_2 على التوالي ويمكن استبدال زمن التخفيض العشري بزمن التصنيع كما يلقي :



شكل (٣-١١) : طريقة حساب معلم الحساسية الحرارية z

جدول (٢-٣) : قيم زمن التخفيض العشري والمعامل Z لبعض أنواع البكتيريا

Microbe	$D_{121} (C)^\circ$	$Z (C)^\circ$
<i>Bacillus stearothermophilus</i> NCDO 1096, milk	181	9.43
<i>B. stearothermophilus</i> FS 1518, milk	372	9.3
<i>B. subtilis</i> 786, milk	20	6.66
Proteases inactivation	0.5-27.0 min at 150 (C)°	32.5-28.5
<i>C. botulinum</i> (canning data)	13	10

٣-٤ - خصائص المواد السائلة

تؤثر خصائص المواد السائلة مثل الكثافة والتزوجة بشكل مباشر في الكثير من العمليات التصنيعية ولاسيما عمليات نقل هذه المواد خلال المرحلة التصنيعية إذ تؤثر في القوة اللازمة للنقل ومن أهم خصائص المواد السائلة ما يأتي :

١-٣-٣ - الكثافة

تؤثر الكثافة بشكل مباشر في عمليات تعبئنة المواد السائلة (مثل عصائر البندورة والأشربة المختلفة) وكذلك تؤثر في عمليات الخلط وفي تعبئنة المواد بشكل سائب في الخزانات اللازمة للتصنيع كخزانات الحليب في مصانع الألبان وتأثر الكثافة بشكل مباشر بدرجة الحرارة .

٣-٣-٣ - اللزوجة (viscosity)

تعتبر اللزوجة من أهم الخصائص المميزة للمواد السائلة وشبه السائلة إذ تؤثر بشكل مباشر في تصميم وحدات نقل المواد السائلة مثل المضخات والأنابيب وخرانات التعبئة وغيرها، وتعبر اللزوجة عن مدى مقاومة المادة للفصل أثناء عمليات النقل ويمكن التعبير عن اللزوجة بما يسمى اللزوجة التحريرية μ (dynamic viscosity) أو الحركة وتعطى اللزوجة التحريرية بالعلاقة الآتية :

ويمكن التعبير أيضاً عن اللزوجة الحركية η ، وترتبط اللزوجة الحركية بالдинاميكية بالعلاقة الآتية :

حيث:

٥ : إجهاد الفصل ، نيوتن . م ^٢

٦ : معدل الفصل ، م . ث ^{-١} أو سم . ث ^{-١}.

ونقدر اللزوجة التحريرية بوحدة (نيوتون . ثا . م ^{-١}) أو بوحدة "البولز" (1cp = 1mpa.s)

٣-٣-٤ - القوام

يعتبر القوام أحد أهم مؤشرات الجودة للمنتجات الغذائية حيث يعتبر القوام مؤشراً هاماً للجودة ولفساد الأغذية وذلك نتيجة لتغير القوام عند فساد الأغذية، هذا ولا يوجد معيار محدد لتحديد القوام ولكن يتم التعرف على القوام من خلال الخبرة ولكن توجد بعض التصنيفات التي تساعد في التعرف على القوام ومنها:

* خصائص ميكانيكية: وتشمل بعض الخصائص مثل القساوة والهشاشة والمضخة واللزوجة والمرونة.

- خصائص الشكل: مثل الشكل والحجم ودرجة الاستدارة .
- خصائص عامة : مثل الرطوبة ونسبة الدهون .

وبشكل عام يتم تصنیف القوام بالنسبة إلى الصفات الميكانيکية إلى طری soft وقاسی firm وصلب hard وبالنسبة للخصائص الهندسیة تصنیف إلى قوام حبیبی أو حشن أو بلوري وهكذا وبالنسبة للخصائص الأخرى إلى طری وجاف ورطب زیني.

٣-٤ - مثال على الذرة

تأثير الخصائص الطبيعیة التي تطبق على الذرة في أربع حالات

١- الذرة كماده أعلاف خضراء: As livestock forage:

- الخصائص الميكانيکية: عمليات القطع (cutting)، التقطیع (Chopping)

- الخصائص الایرودينامیکية : في عمليات النقل بالهواء وغيره .
- خصائص الانضغاط وتوزع الحمل: عمليات صنع السيلاج والتخزين.
- خصائص الانسياب: تؤثر على نقل المواد كأعلاف إلى المرابط .

٢- الذرة كحبوب: As grain:

- مقاومة الذرة للنفف الميكانيکي؛ فصل الحبوب عن الكوز .
- الخصائص الایرودينامیکية: فصل الشوائب عن البذور .
- الخصائص الحرارية: تجفيف الذرة إلى رطوبة التخزين الأمثل .
- خصائص الانسياب: النقل الميكانيکي إلى الصوامع .

٣- الذرة كماده للغذاء: As food:

- خصائص اللدونة : عمليات الطحن .
- خصائص الانسياب: عمليات البثق والتمدد

٤- الذرة كعلف مرکزة: As livestock feed:

- الخصائص الميكانيکية : عمليات الجرش والخلط .

• خصائص الاسباب: عمليات النقل .

٣-٥- الخلاصة

- ١- إن معرفة الخصائص الطبيعية للمواد الزراعية تعتبر الخطوة الأولى في تصميم وتشغيل الآلات تصنيع وتدالول المواد الزراعية وكذلك فسي عمليات الحصاد .
- ٢- معرفة الخصائص الطبيعية يساهم في وضع مواصفات الجودة للمواد الزراعية الأولية أو المصنعة .
- ٣- معرفة المواصفات للمواد الزراعية يقلل الفقد في هذه المواد خلال العمليات المختلفة وذلك ب اختيار ظروف التشغيل المثلى .



الفصل الرابع
أسس انتزان الكتلة وحركة الموارد
Mass balance basics and liquid flow

٤-١ - انتقال الكتلة وانتزانها

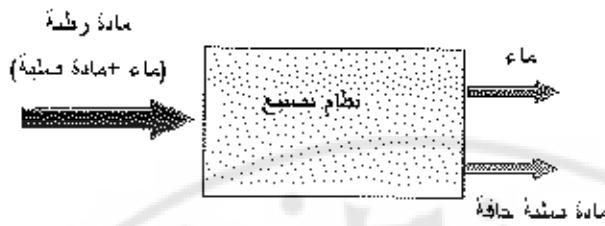
تعتبر عمليات انتقال الكتلة من الأسس الهامة في عمليات التصنيع الزراعي والغذائي فهي عملية أساسية في بعض العمليات مثل التبخير والتجفيف وغيرها من العمليات، وتحدد عمليات انتقال الكتلة على شكل انتقال رطوبة (ماء) بسبب الفرق إما في درجات الحرارة أو نتيجة الفرق في الضغط وتتبع عملية انتقال الكتلة قانون حفظ الكتلة ويمكن التعبير عن انتقال الكتلة من خلال العديد من المفاهيم :

- انتزان الكتلة الكلي : وينصُّ هذا المبدأ على :

الكتلة الكلية الداخلة إلى نظام التصنيع (مادة صلبة + رطوبة) = الكتلة الكلية
الخارجة من نظام التصنيع (مادة صلبة + رطوبة)

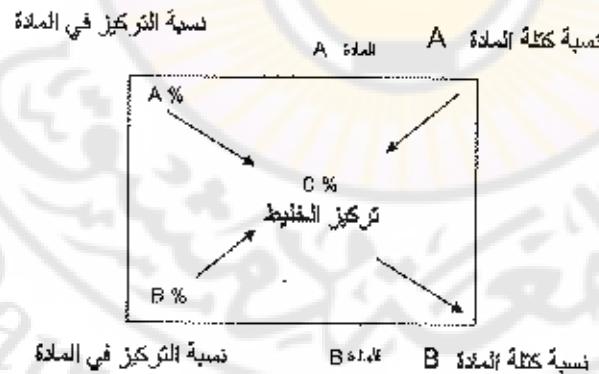
- انتزان المادة الصلبة : وينصُّ هذا المبدأ على أن :

كتلة المادة الصلبة الداخلة في العملية التصنيعية = كتلة المادة الصلبة الخارجة من العملية التصنيعية ويمكن التعبير عن انتزان الكتلة بالشكل التخطيطي الموضح في الشكل (٤-١).



شكل (٤-١) : مبدأ اتزان الكتلة

وكل ذلك تحتاج الكثير من العمليات التصنيعية إلى خلط مجموعة من المواد مع بعضها البعض بحسب معينة لذلك تتطلب عملية الخلط الصحيح معرفة النسب الدقيقة لكل مادة من المواد ويتم حل هذا الموضوع باستخدام مربع "بيرسون" والذي يعبر عن مشكل من أشكال توازن الكتلة وتنتمي عملية حساب نسبة التركيز في الخليط النهائي من خلال وضع نسب التركيز والكتل الوزنية المقابلة لها على رؤوس مربع بحيث تكون نسب التركيز على الجانب الأيسر بينما نسب الكتل على الجانب الأيمن، بينما يتم وضع التركيز النهائي في مركز المربع، وتنتمي عملية الحساب بطرح الأرقام بشكل قطرى كما هو موضح في الشكل (٤-٢).



شكل (٤-٢) : مبدأ اتزان الكتلة باستخدام مربع بيرسون

٤-٢- نقل المواد السائلة وشبها السائلة

الموائع هي مواد قابلة للتشكل بشكل الأوعية التي توجد بها وهي قادرة على الانسياب وهي مواد لا يمكن أن تقاوم شكلها ويمكن أن تتساب الموائع تحت ضغوط عالية بينما توجد بعض أنواع السوائل عالية اللزوجة والتي لا تنساب بسهولة وبذلك يمكن التفريق بين الموائع وفقاً لسهولة الانسياب. تنقسم الموائع بشكل عام إلى: سوائل وغازات.

وتحتمل المواد السائلة بما يأتي :

- غير قابلة للانضغاط
- تشغيل أحجاماً محددة
- قليلة التأثير بدرجة الحرارة
- تبدي مقاومة لقوى القص التي تحاول فصل طبقات السائل وهذه الخاصية تسمى اللزوجة، وتحتمل المواد الغازية بما يأتي :

- قابلة للانضغاط
- تمدد وتتكثف بفعل درجات الحرارة
- تتأثر بشكل كبير بدرجة الحرارة

٤-٣- تصنیف الموائع

تشمل أغلب عمليات التصنيع نقلًّا لمواد سائلة من خزانات التجميع إلى وحدات التصنيع وتم عملية النقل هذه باستخدام مجموعة من الأنابيب الخاصة والمضخات ويحيط تخضع عمليات النقل هذه إلى قوانين ميكانيك الموائع المعروفة من حيث حساب أقطار الأنابيب الالزامية لعمليات النقل وقدرة المضخات الالزامية لتؤمن الضغط والتصريف المناسبين وتحديد سرعة النقل المناسبة وكذلك تحديد فوائد الطاقة أثناء النقل ولتسهيل عملية البحث في هذا الموضوع تم تصنیف السوائل وفقاً للسمكية أو وفقاً للزوجة السوائل .

٤-١-٣-٤ - تصنیف الموائع وفقاً للسمکة

- السوائل عالیة السمکة thick liquids : مثل العسل والزيت والمربيات والشراب.
- السوائل منخفضة السمکة thin liquids : السائل - الغاز؛ مثل الأزوت والبخار. وثاني أكسید الكربون.

٤-٢-٣ - تصنیف المواد السائلة وفقاً لخصائص الاسباب والتزویجة

تعتبر التزویجة من أهم الخصائص المميزة للمواد الزراعیة إذ تسؤثر بشكل مباشر في تصمیم وحدات نقل المواد السائلة مثل المضخات والأنبیب وخزانات التعبئة وغيرها وتعتبر التزویجة عن مدى مقاومة المادة للقص اثناء عمليات النقل ويمكن التعبير عن التزویجة بما يسمی التزویجة التحریکیة η dynamic viscosity التي تعطی التزویجة بالعلاقة الآتیة :

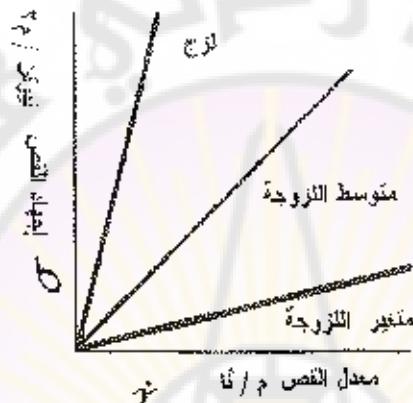
حيث:

$$\eta = \frac{\sigma}{\tau} \quad \text{أي} \quad \eta = \frac{\text{اجهاد القص}}{\text{معدل القص}} \quad \text{أو} \quad \eta = \frac{\text{بوحدة داین سیم}}{\text{ثانية}} \quad \text{أو} \quad \eta = \frac{\text{بوحدة نیوتن}}{\text{ثانية}}$$

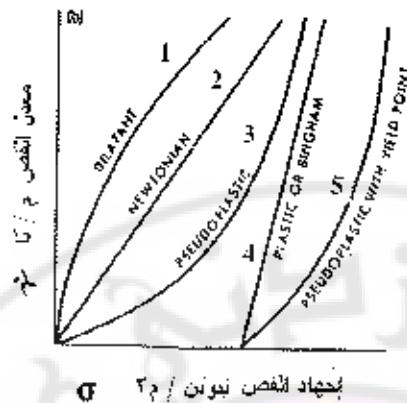
ويمكن أيضاً التعبير عن التزویجة بما يسمی التزویجة الحریکیة η ، وترتبط التزویجة الحریکیة بالتزوجة الدينامیکیة بالعلاقة الآتیة :

ونقدر التزویجة التحریکیة بوحدة (نيوتن . ثا . م^{-٢}) أو بووحدة "البواز" (Np = 1mpa.s) ونسمی القوة التي تقوم بتحريك السائل قوة القص shear force ويعبر عنها بإجهاد القص shear stress ويتم تصنیف السوائل دراسة سلوكها وفقاً للتزوجة إلى ما يأتي :

- سوائل نيوتونية Newtonian fluid : وتكون العلاقة بين معدل القص لأشاء الحركة وإجهاد القص علاقة خطية ومثال ذلك الماء والحلب وتصنف هذه السوائل إلى كما هو مبين في الشكل (٤-٣) : منخفضة التزوجة (Mobile) ومتوسطة (Intermediate) ولزج (viscous).



- شكل (٤-٤) : علاقة إجهاد القص مع سرعة القص في السوائل "النيوتونية" .
- سوائل غير نيوتونية Non-Newtonian fluid : العلاقة بين معدل القص وإجهاد القص تكون غير خطية كما هو مبين في الشكل (٤-٤) ومثال ذلك صلصة البندورة (tomato catsup) والكريما وبياض البيض المخفوق ويمكن أن تبلغ هذه السوائل حد اللدونة في كثير من الحالات كما هو مبين في الجدول (٤-١) .



شكل (٤-٤): تغير إجهاد القص مع معدل القص في السوائل غير النيوتنية ^

١: ذو قابلية تعدد ٢: نيوتوني، ٣: شبه مرن (مرن مزيف)، ٤: مرن ، ٥: شبه مرن

مع نقطة لدونة

جدول (٤-٤): إجهاد الخضوع لمجموعة متنوعة من الأغذية

إجهاد الخضوع (dyn / cm ²)	اسم المنتج
٧	حصين برنتال مركز عند درجة حرارة ٦٠
٣٥	مهروس للدراق نسبة مواد صلبة ١٨.٣
٣٩	مهروس الدراق نسبة مواد صلبة ٤٥
صفر	سكروز ٧٥ ماء
٢٠	مهروس البندورة ، نسبة المواد الصلبة %١١

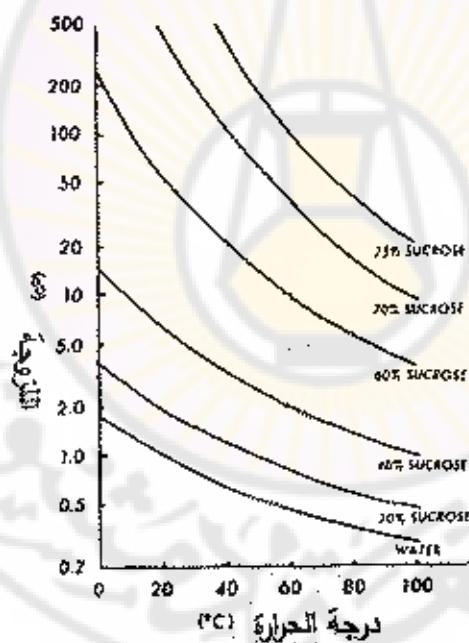
٤-٣-١-٢- العوامل المؤثرة في التزوجة

- ١- درجة الحرارة: توجد علاقة عكسية بين التزوجة ودرجة الحرارة كما هو مبين في الشكل (٤-٥) ، فعلى سبيل المثال فإن تزوجة الماء عند درجة

حرارة صفر تبلغ 1.79 (CP) وتنخفض هذه القيمة إلى 0.28 (CP)
عند درجة حرارة 100°C .

٢- تركيز المادة : توجد علاقة طردية بين تركيز المادة والزوجة كما هو مبين في الشكل (٤-٥)، فعلى سبيل المثال فإن لزوجة الماء عند درجة حرارة 20°C تكون (1 CP) تزداد هذه القيمة عند نفس الدرجة إلى (4000 CP) عند زيادة تركيز الماء بمحلول سكري بنسبة 80% .

٣- الضغط : تبقى لزوجة السائل ثابتة مع الضغط بحدود $(1 - 100 \text{ ضغط جوي})$ وبحيث يمكن إهمال الفرق ضمن المجال السابق.



الشكل (٤-٥) : تأثير درجة الحرارة والتركيز في الزوجة

٤ - ٤ - مبادئ أساسية في نقل المولع

٤ - ٤ - ١ - مفهوم ضغط السائل

بفرض A سطحاً أفقياً في ماتع على عمق Z من السطح كما هو مبين في الشكل (٤-٦) وبفرض ρ هي كثافة السائل و منه يعطى حجم السائل فوق السطح (A) بالعلاقة الآتية :

$$V = Z.A$$

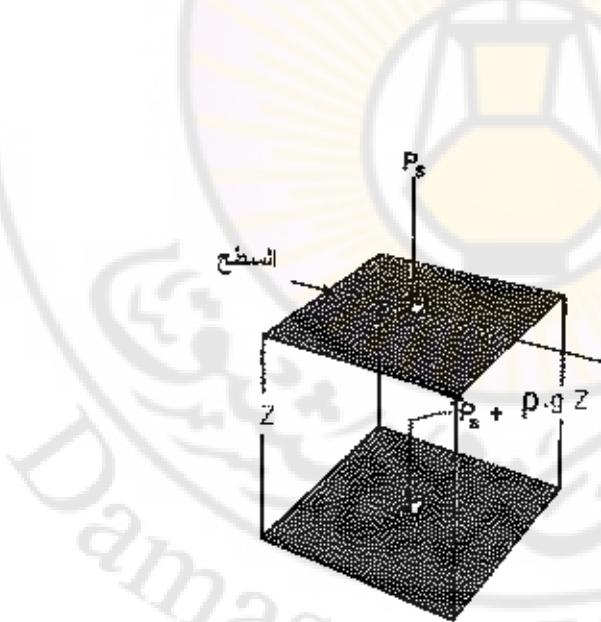
وبذلك يتولد ضغط كلي ناتج عن الضغط على السطح العلوي وعن وزن السائل والذي قيمته :

$$W = V \rho.g = Z.A. \rho.g$$

ومنه تكون القوة الكلية المؤثرة في السطح :

$$F = A.P_s + \rho.g Z.A.$$

ومنه يمكن حساب الضغط الكلي من العلاقة الآتية :



شكل (٤-٦) : مبدأ حساب الضغط المطلق على سطح

٤-٤-٤ - تحليل حركة السائل

يعتبر تحديد سلوك السائل أثناء نظره في الأنابيب من العوامل الأساسية في تصميم أنظمة النقل من حيث اختيار الأنابيب المناسبة وأختيار القدرة المناسبة وفقاً لنوع الحركة حيث يتحرك السائل في ثلاثة أشكال مختلفة كما يأتي :

- الجريان الصفائي Laminar flow : في هذا النوع من الجريان يتحرك السائل في طبقات فوق بعضها البعض دون وجود دوامات وبشكل تقريري في طبقات منفصلة وبحيث تبقى سرعة السائل ثابتة شدة واتجاهها كما هو موضح في الشكل (a ، ٤-٧).
- الجريان المضطرب turbulent flow : في هذا النوع من الجريان يتحرك السائل بشكل طبقات متداخلة ومضطربة مع بعضها بعضاً مع وجود دوامات، تتغير سرعة السائل شدة واتجاهها، ويحدث هذا النوع من الجريان عند معدل التدفق الكبير والسرعات العالية كما هو موضح في الشكل (b ، ٤-٧).
- الجريان الانتقالـي transient flow : في هذا النوع من الجريان يتحرك السائل بشكل مخلط في طبقات منفصلة وأخرى بشكل مخلط يتم التعبير رياضياً عن نوع الجريان من خلال عدد لا بعدي dimensionless هو رقم "رينولدز" كما يأتي :

حيث:

ρ ، μ : كثافة و لزوجة السائل

v : سرعة السائل

D : قطر الأنابيب الجريان صفائحي عند : $Re < 2100$

الجريان مضطرب عند : $Re > 4000$

الجريان انتقالـي عند: $4000 > Re > 2100$

جريان مفتوح



(a)

جريان مغلق



(b)

شكل (٧ - ٤) : شكل الجريان في الأنابيب

٤-٣-٤ - قانون الاستمرار وحفظ الطاقة

يعبر قانون الاستمرار عن استمرارية حركة السائل داخل الأنابيب دون انقطاع وبقاء التدفق ثابتاً عند تغير المقطع وينص قانون حفظ الكتلة على أنَّ كثافة الماء المتحركة تبقى ثابتة على الرغم من تغير مقطع المرور كما هو موضح في الشكل (٤-٨) ويمكن التعبير رياضياً عنها بالعلاقة الآتية :

$$m_1 = m_2$$

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

ويفرض أن السائل غير قابل للانضغاط تؤول المعادلة إلى :

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

حيث تتطلب عملية نقل المواقع عدم وجود انقطاع في حركة السائل ابتداءً من نقطة السحب حتى نقطة التفريغ ويعبر قانون الاستمرار عن ثباتية التصريف على الرغم من تغير مقطع النقل ويغير عنه بالعلاقة الآتية :

$$Q_1 = Q_2 = A \cdot V$$

حيث :

Q: تصريف (معدل تدفق) المادة المنقولة بم³.ثـ⁻¹.

A: مساحة مقطع أنبوب النقل، م².

v: سرعة حركة المائع داخل الأنبوب، م.ثـ⁻¹ وهي بحدود (1 - 1.5 م . ثـ⁻¹).

يتم التعبير عن قانون حفظ الطاقة من خلال معادلة "برنولي" والتي تنص على ثبات الطاقة الكلية بين مقطعين مختلفين في أنبوب لنقل المائع وبلوحة الكثافة ويعتبر اتزان الطاقة من المفاهيم الهامة في حسابات الطاقة اللازمة لعمليات نقل السوائل، وكما هو موضح في الشكل (٤-٨) نجد أن مجموع الطاقة يشكلها المختلفة عند المقطع (١) يساوي مجموع الطاقة عند المقطع (٢) ويمكن ملاحظة ثلاثة أشكال من الطاقة أثناء نقل السوائل كما يأتي :

• طاقة الوضع potential energy : هي الطاقة المتولدة عند وضع جسم ما

أو كتلة ما على ارتفاع معين Z وتحسب بالعلاقة الآتية :

$$E_p = m.g.Z$$

ولكتلة مقدارها 1 كغ تعطى بالعلاقة الآتية :

$$E_p = g.Z$$

• الطاقة الحركية kinetic energy: هي الطاقة الناتجة عن حركة السائل عند

سرعة معينة .

ولكتلة مقدارها 1 كغ تعطى بالعلاقة الآتية :

طاقة الضغط pressure energy : وهي الطاقة الموجودة في سائل نتيجة للضغط

الذي يحمله وتعطى بالعلاقة الآتية :

ولكتلة مقدارها 1 كغ تعطى بالعلاقة الآتية :

يسكن التعبير عن اتزان الطاقة رياضياً بواسطة معادلة برنولي:

$$E_{p1} + E_{k1} + E_{r1} + E_c = E_{p2} + E_{k2} + E_{r2} + E_f$$

حيث:

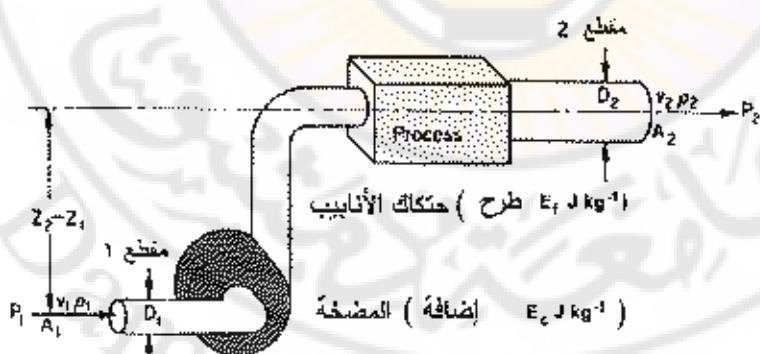
E_f : طاقة الاحتكاك

E_c : طاقة الضغط المقدمة من المضخة

ويغير عن اتزان الطاقة رياضياً بالعلاقة الآتية :

في حالة عدم وجود مضخة أو فوائد احتكاك، فإنَّ المعادلة تصبح كالتالي ولوحدة الكتلة:

من التطبيقات الهامة لمعادلة برنولي حساب التدفق خلال فوهات عند ضغط معين.



شكل (٤-٨): مبدأ الاستمرار وحفظ الطاقة

٤-٤-٤ - فقد القدرة بسبب الاحتكاك

أثناء نقل الموائل يحدث هبوط الضغط بسبب احتكاك السائل مع جدران الأنابيب مما يعني الحاجة لزيادة القوة اللازمة لعمليات الضخ ويمكن التعبير عن الطاقة المفقودة بسبب هبوط الضغط من خلال علاقة " Fanning " الآتية :

حيث:

Δp : هبوط الضغط بسبب الاحتكاك بascal.

D: طول قطر الأنابيب على التوالي، م.

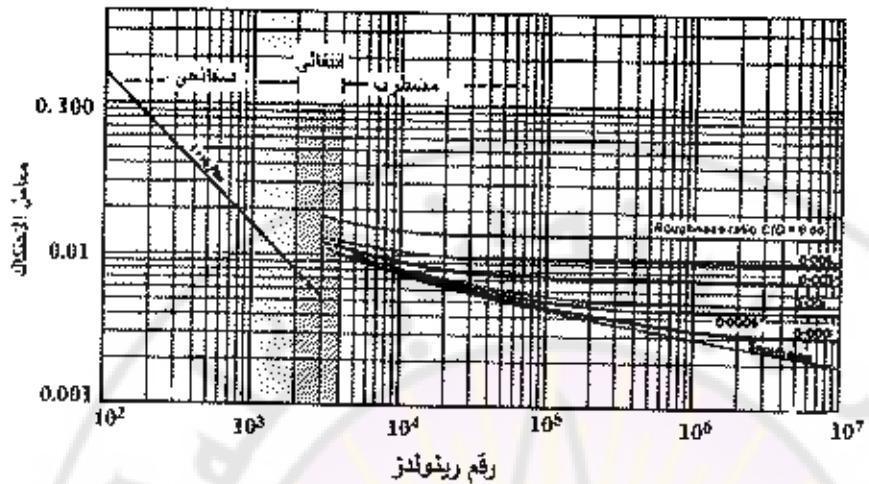
v: سرعة السائل، م . ثا

A: معامل الاحتكاك وهو ينبع بطبيعة الجريان (صفائحي أو مضطرب) ويتعلق بخشونة السطح، ويتم الحصول على قيم هذا المعامل إماً بيانياً في حالة الجريان المضطرب بدلالة معامل الخشونة للسطح والذي يساوي بين نسبة قطر الأنابيب إلى خشونة السطح $\frac{C}{D}$ كما هو مبين في الشكل (٤-٩) أو رياضياً كما يأتي : في حالة الجريان الصفائحي (علاقة دارسي) .

أما هبوط الضغط من خلال الوصلات والصمامات فيعطي بنفس العلاقة بعد إيجاد الطول المكافئ للوصلات وغيرها من العلاقة الآتية :

حيث:

K: معامل الفقد للوصلة وهو ينبع بنوع الوصلة وهو ذو قيم جدولية



شكل (٤ - ٤) : تحديد معامل الاحتكاك بينيا

٤-٥- المضخات والأكياب والصمامات

تُستخدم المضخات بشكل كبير في مصانع الأغذية لنقل المواد السائلة وشبيه السائلة خلال مراحل التصنيع المختلفة ويتمثل دور المضخة بشكل أساسي في إكساب المادة المنقولة الطاقة والضغط اللازمين لتحريك المادة مسافة النقل المطلوب وتتضمن عملية نقل المسوائل بشكل عام إلى نظرية الاستمرار وعلاقة برنولي في حفظ الطاقة.

٤-٦- أنواع المضخات

يتم تقسيم المضخات وفقاً لمبدأ عملها إلى:

- المضخات ذات الإزاحة الموجبة positive displacement pumps: وفي

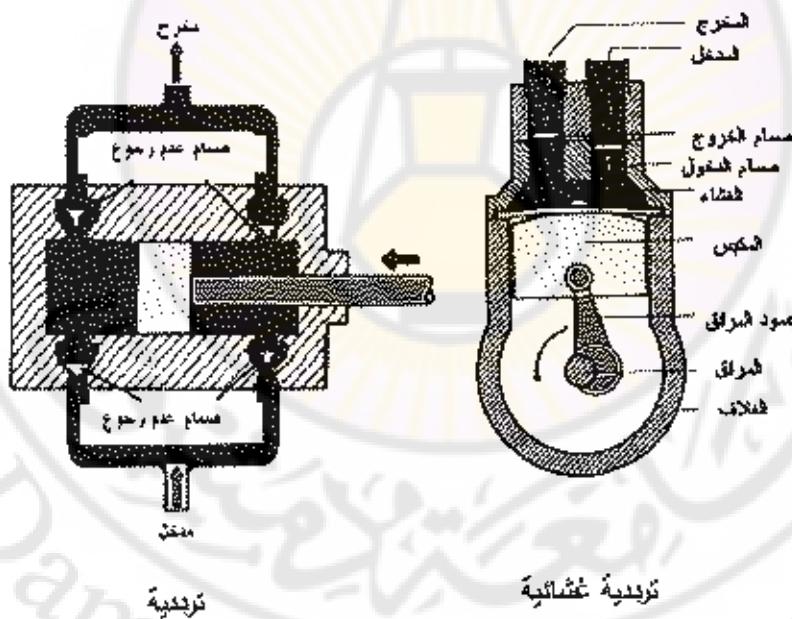
هذا النوع من المضخات يبقى معدل خروج السائل من المضخة ثابتاً ولا يعتمد على الضغط ومنها المضخات الترددية والدورانية.

- المضخات غير موجبة الإزاحة non positive displacement pumps

في هذا النوع من المضخات يتم إكساب الطاقة الحركية للسائل من لحظة دخوله وبزيادة هذه الطاقة بشكل مستمر من لحظة الدخول إلى لحظة

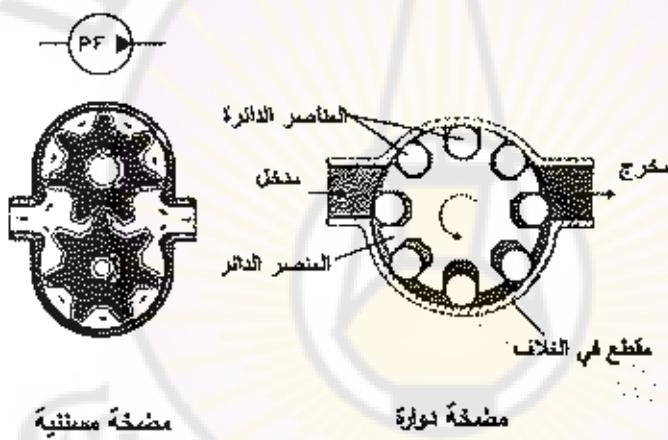
الخروج، ومنها المضخات الطاردة المركزية والمضخات التوربينية. ومن هذه المضخات:

١- المضخات الترددية Reciprocating pumps : تكون هذه المضخة، الشكل (٤-١٠) من اسطوانة يدخل إليها السائل عبر مدخل يحتوي على صمام دخول check valve ويتم دفع السائل إماً عن طريق حركة مكبس piston أو حركة كباس plunger من أجل الضغط العالية أو غشاء يتحرك حركة اهتزازية وفي هذا النوع من المضخات يمكن أن يصل الضغط إلى ٥٠ ضغط جوي وتختلف كفاءة هذه المضخات بحسب حجمها (٤٠ - ٥٠ للمضخات الصغيرة) و (٩٠ - ٧٠) للمضخات الكبيرة .



شكل (٤-١٠) : نماذج لمضخات ترددية

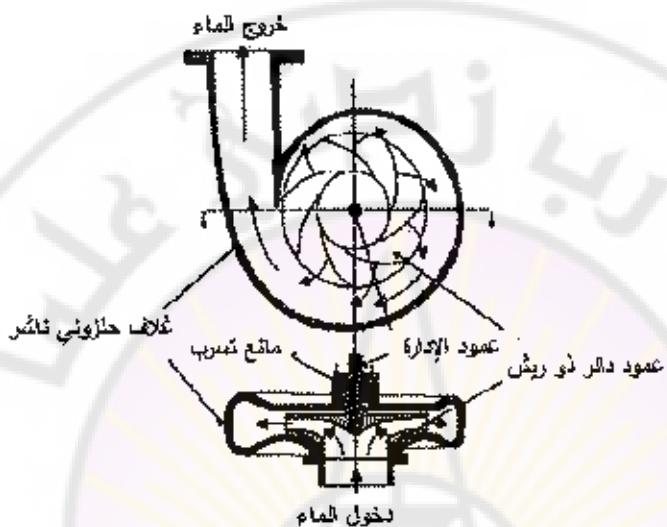
٢- المضخات الدورانية: rotary pumps؛ توجد تصميمات عديدة منها: المضخات الممتنية والمضخات الحلزونية screw pumps، الشكل (٤-١١) والتي تستخدم في نقل المواد الالزجة والمضخات المروحة ، هذا النوع لا يحتوى على صمامات للدخول والخروج حيث تدور تجاويف الدفاعة في هذا النوع من المضخات لا مركزياً داخل جسم المضخة، تجمع مادة السائل بين تجاويف الدفاعة وجسم المضخة وتنتقل إلى المنطقة التي يتناقص فيها نصف قطر جسم المضخة ويووجه السائل للخروج من خلال فتحة التصريف، يعطي هذا النوع من المضخات معدلات جريان متوسطة عند ضغوط متوسطة، ومعدلات التآكل فيها منخفضة .



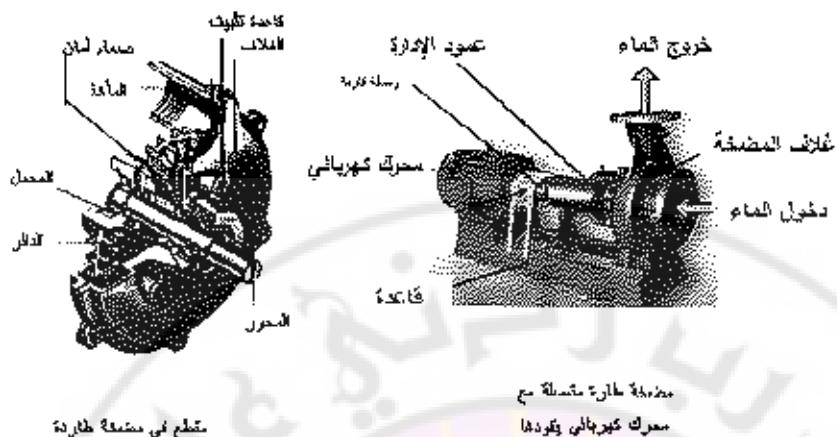
شكل (٤-١١): أنواع مختلفة من المضخات الدورانية

٢- المضخات المركزية المطردة: وهي من المضخات غير موجبة الإزاحة، يعتمد مبدأ عمل هذه المضخة، الشكل (٤-١٢) والشكل (٤-١٣) على قسوة الطرد المركزي بسبب وجود جزء دائري فيه مجموعة من الانحناءات المروحة يدور بسرعة عالية داخل هيكل المضخة، يتم دخول السائل من

المركز باتجاه القنوات على المحيط، لذلك تستخدم هذه المضخات عند الأحجام الكبيرة 550L / min وذلك عند ضغط منخفض وكذلك يمكن استخدام هذه المضخة لضخ السوائل اللزجة وغير اللزجة.



شكل (١٤ - ٤) : مبدأ عمل المضخة المطردة



شكل (٤-١٢) : مضخة طاردة مركزية

٤-٥-٤ - أداء المضخات: pumps performance

يتم تقييم أداء المضخة من خلال الكفاءة الكلية لعمل المضخة ومن خلال القدرة اللازمة لتشغيل المضخة ويتم حساب الكفاءة الكلية كما يأتي :

- الكفاءة الحجمية: (η_v) وهي تعبر عن مدى امتلاء المضخة بالمادة السائلة و عدم وجود تسرب من المضخة ويرجع سبب ذلك إلى عوامل تصميمية وأخرى تصنيعية وتعطى بالعلاقة الآتية :

حيث :

$$Q_t, Q_a: \text{التصريف الحجمي النظري والفعلي على التردد} , \text{م}^3 . \text{ث}^{-1}$$

- الكفاءة الميكانيكية: (η_m) وهي تعبر عن الطاقة المفقودة لأسباب مختلفة ويتم حساب القدرة اللازمة لعملية الضخ من العلاقات الآتية :

$$\Delta H = p_0 + \sum \Delta P$$

حيث:

Q : تصرف السائل، م³ . ثـ⁻¹

ΔH : الضاغط الكلي، باسكال

$\Sigma \Delta P$: مجموع هبوط الضغط في أنابيب النقل والوصلات، باسكال

p_0 : ضغط التشغيل المطلوب، باسكال

٤-٥-٤ - الأنابيب والوصلات والصمامات

Pipes and Tubes selection

الأنابيب هي قنوات مغلقة ذات مقطع دائري يتم من خلالها نقل المواد السائلة أو شبه السائلة من منطقة إلى أخرى وتخالف الأنابيب بعضها عن بعض من حيث نوع المادة التي يصنع منها الأنابيب فتسمى الأنابيب المعدنية أو الأنابيب المصنوعة ذات القياسات النظامية وغير قابلة للانحناء بالأنباب الصلبة (pipes) وقد تكون أنابيب معدنية أو من البلاستيك ذات سمكية كبيرة تسبياً (٤ مم)، بينما تسمى الأنابيب القابلة للتشكل والانحناء بالأنباب المرنة وجميع الأنابيب السابقة ذات قياسات نظامية من حيث القطر وسمك الأنابيب كما هو موضح في الجدول رقم (٤-٢) ويتم اختيار الأنابيب من خلال تحديد قطر الأنابيب اللازم لنقل تدفق معين ومن خلال اختيار السمك المناسب واللازم لتحمل الضغط المنقول بهذه الأنابيب كما هو موضح في

الشكل (٤-٤) ويعطى إجهاد الضغط بالعلاقة الآتية :

$$\sigma = \frac{F}{2.t.l.} = \frac{P.A}{2.t.l.} = \frac{P.LD_t}{2.t.l.} = \frac{P.D_t}{2.t.}$$

وتحدث عملية تمزق الأنابيب عندما يبلغ إجهاد الشد σ الناتج عن ضغط السائل داخل الأنابيب إلى الإجهاد المسموح به S والذي ينتج عندما يصل الضغط إلى ما يسمى ضغط الانفجار والذي يعطى بالعلاقة الآتية :

ذلك يجب أن تعمل الأنابيب عند ضغط محدد يسمى ضغط العمل والذي يعطى بالعلاقة الآتية :

حيث:

σ : إجهاد الشد

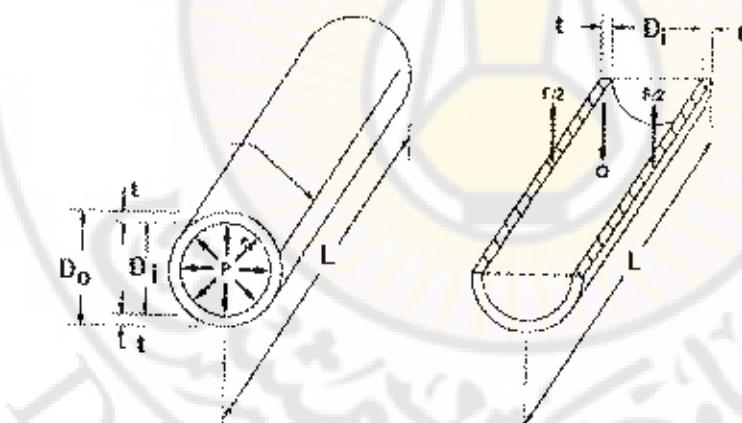
F : قوة الشد

L , t , D_0 : طول وسمك الأنابيب والقطر الخارجي على التوالي

P : ضغط الماء في داخل الأنابيب

S : إجهاد الشد المسموح به

FS : معامل الأمان وهو يتغير بتغير الضغط داخل الأنابيب



شكل (٤-١٤) : مبدأ حساب ممانة الأنابيب

جدول (٤-٢) : بعد الأنابيب النظامية

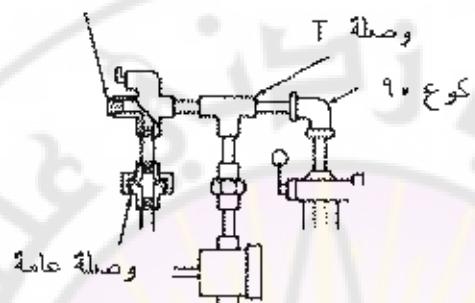
<i>Nominal Pipe Size (in.)</i>	<i>Outside Diameter (mm)</i>	<i>Inside Diameter (mm)</i>	<i>Wall Thickness (mm)</i>	<i>Cross Sectional Area (mm²)</i>
<i>Schedule 40</i>				
1	10.3	6.8	1.7	36.6
1½	13.7	9.2	2.2	61.1
2	17.1	12.5	2.3	123.1
2½	21.3	15.8	2.8	193.9
3	26.7	20.9	2.9	340.9
3½	33.4	26.6	3.4	557.3
4	42.2	35.1	3.6	964.5
4½	48.3	40.9	3.7	1312.8
5	60.3	52.5	3.9	2163.8
6	73.0	62.7	5.2	3097.3
8	98.9	77.9	5.5	4767.6
10	121.6	90.1	5.7	6373.4
12	144.3	102.3	6.0	8205.9
<i>Schedule 80</i>				
1	10.3	5.5	2.4	23.4
1½	13.7	7.7	3.0	46.2
2	17.1	10.7	3.2	99.6

٤-٣-٥-٤ - *Fits*

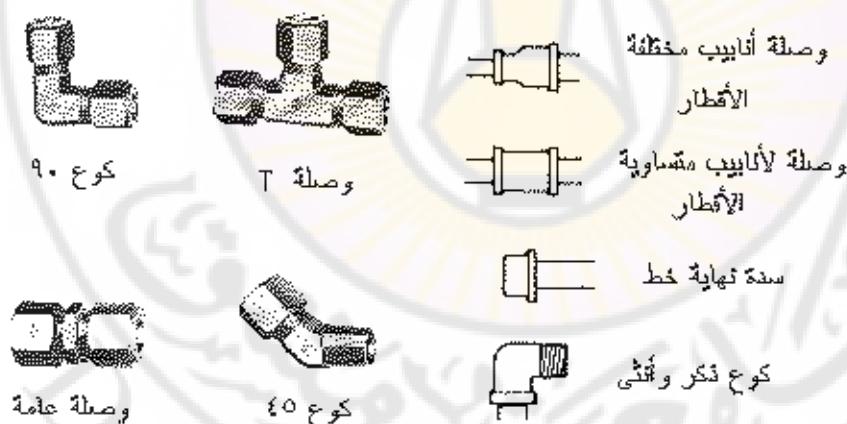
تستخدم الوصلات من أجل ربط مجموعة من الأنابيب مع بعضها بعضاً وكذلك من أجل تغيير اتجاه جريان المادة أو من أجل تغيير الأنابيب ذات الأقطار المختلفة فيتم استخدام الأكواد بشكل عام لتغيير اتجاه تدفق المائع بزاوية قائمة أو بزاوية ٤٥ أو ٦٠ كما تستخدم وصلات ثلاثة بشكل حرف T لتغيير المسار في أكثر من اتجاه ويتم وصل هذه القطع مع بعضها بعضاً من خلال تداخل الأسنان فيما بينها وجميع قياسات هذه الوصلات هي قياسات عالمية.

يبين الشكل (٤-١٥) مبدأ ربط الوصلات مع بعضها البعض ويبيّن الشكل (٤-١٦) أنواعاً مختلفة من الوصلات.

سدة نهاية أثبوب



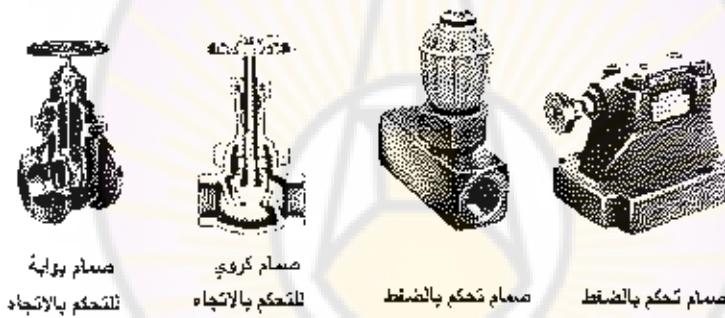
شكل (٤-١٥) : طريقة وصل الأنابيب مع بعضها البعض



شكل (٤-١٦) : أنواع مختلفة من الوصلات

تستخدم الصمامات بشكل كبير في الدارات المختلفة في نقل المولى كما هو موضح في الشكل (٤-١٧)، ويمكن قيادة هذه الصمامات كهربائياً أو ميكانيكياً. تستخدم هذه الصمامات عادة للتحكم في درات التشغيل ويتم اختيار الصمام وفقاً لوظيفته من حيث حجم الصمام وطريقة قيادته وتستخدم الصمامات بشكل عام لأداء إحدى الوظائف الآتية:

- للتحكم في تغيير اتجاه المادة المنقولة
- صمامات التحكم بتدفق المادة
- صمامات التحكم بالضغط



شكل (٤-١٧): أنواع مختلفة من الصمامات



الفصل الخامس

الانتقال الحرارة وتطبيقاته في التصنيع الغذائي

Heat transfer application in food process

١-١- مبدأ انتقال الحرارة

تستخدم عمليات انتقال الحرارة في عمليات التصنيع الزراعي والغذائي بشكل واسع وخصوصاً في المعاملات الحرارية مثل البسترة والتجميل والتبريد والأفران، وبذلك تكون وحدات انتقال الحرارة من أهم وحدات التصنيع الغذائي. يُعرف انتقال الحرارة بأنه عملية مرور الطاقة على شكل حرارة من منطقة إلى أخرى بسبب وجود فرق في درجات الحرارة بين سطحين أو مادتين ويتم عملية انتقال الحرارة بين الأسطح أو الأجسام بثلاثة طرائق رئيسية وأخرى مختلطة:

- انتقال الحرارة بالتوسيط (by conduction)
- انتقال الحرارة بالحمل (by Convection)
- انتقال الحرارة بالإشعاع (by Radiation)
- انتقال الحرارة المختلط (mixed heat transfer).

وهناك نظامان لانتقال الحرارة وهما:

١- انتقال الحرارة في الحالة المستقرة: steady - state heat transfer؛ تحدث عمليات انتقال الحرارة في هذه الحالة عندما يكون الفرق بين درجة حرارة مادتين ثابتة وفي هذه الحالة تكون الطاقة الحرارية الداخلة إلى النظام تساوي الطاقة المغادرة لذلك النظام مثل انتقال الحرارة عبر جدار براد تخزين أغذية ولا ترتبط هذه العملية بالزمن.

٢- انتقال الحرارة غير المستقر **unsteady - state heat transfer**: تحدث في هذه الحالة عملية تغير في فرق درجات الحرارة بين منطقتين الانثال وغالباً ما تتعلق هذه العملية بالزمن مثل : عملية تعقيم المولد الغذائي المعهبة بواسطة البخار أو الماء الحار. تستهدف دراسة عمليات انتقال الحرارة ما يأتي :

- معرفة سلوك المواد الغذائية عندما تتعرض لعمليات تسخين وببريد وتأثير ذلك في خصائص هذه المواد.
- حساب معدلات التدفق الحراري اللازم لإنجاز العملية الصناعية .
- تصميم أنظمة التسخين والتبريد.
- تقييم أداء الأنظمة الحرارية المختلفة .

٢-٥- انتقال الحرارة المستقر

١-٥- انتقال الحرارة بالتوصليل

يتم انتقال الحرارة بهذه الطريقة في المواد الصلبة وذلك عن طريق تسخين الجزيئات وانتقال الحرارة فيما بينها من مصدر التسخين الحراري، ونلاحظ انتقال الحرارة بالتوصليل من جدران البرادات الصناعية والأفران وغيرها، ولا يعتمد انتقال الحرارة بالتوصليل على الشكل الهندسي المسطحي أو الحجمي للجسم .

٢-٥-١- انتقال الحرارة بالتوصليل في طبقة أحادية

يمكن التعبير عن انتقال الحرارة بالتوصليل لطبقة واحدة كما هو مبين في الشكل (٥-١) من خلال قانون "فوريه" والذي يربط بين كمية الطاقة المتداولة من مصدر الحرارة والتدرج في درجة الحرارة باتجاه انتقال الحرارة وعلى محور وحيد كما يأتي :

حيث:

q : معدل انتقال الحرارة بالاتجاه العمودي على السطح ، (واط)

K : الناقلية الحرارية (thermal conductivity) ، (واط . م⁻¹)

A : مساحة السطح (م²)

dT : التغير في درجة الحرارة (م)

dx : المسافة المقاسة على السطح العمودي (م) .

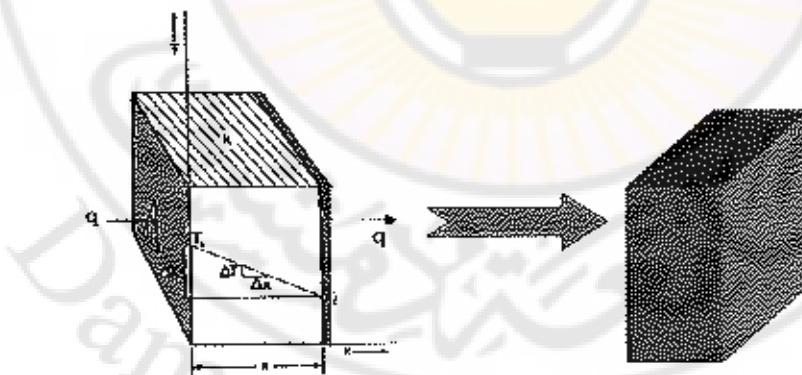
ولمعرفة كمية الحرارة الكلية المتنقلة نكامل العلاقة السابقة كما يأتي :

$$q \cdot \int_0^x dx = -k \cdot A \cdot \int_{T_1}^{T_2} dT$$

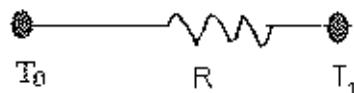
$$q \cdot x = -k \cdot A \cdot (T_2 - T_1)$$

$$q = \frac{k}{x} \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

نسمى المقدار $\frac{k}{x}$ معامل انتقال الحرارة بالتوسييل (W.m⁻² °C⁻¹) ، ويطلق على مقلوبه بالمقاومة الحرارية ($R = \frac{x}{k}$) ، وتمثل المقاومة الحرارية تخطيطياً كما هو موضح في الشكل (٥-٢) .



شكل (٥-١) : مبدأ انتقال الحرارة بالتوسييل في اتجاه واحد وفي طبقة واحدة



شكل (٤ - ٥) : المقاومة الحرارية في جدار وحيد الطبقة

٤ - ٢ - ١ - ٣ - انتقال الحرارة بالتوصيل في الطبقات المتعددة

يبين الشكل (٤ - ٥) جداراً مكوناً من عدة طبقات لكل طبقة سماكة X ومعامل توصيل حراري K وبسطح التبادل الحراري ثابت A ، يمرُّ التدفق الحراري الذي يتولد بفعل المصدر الحراري من جميع الطبقات وهو ثابت . يمكن أن نعبر عن الطاقة الحرارية المتداولة بالعلاقة الآتية :

$$q_1 = q_2 = q_3 = q_n$$

$$\frac{x_1}{k_1} \cdot A_1 \cdot (T_1 - T_2) = \frac{x_2}{k_2} \cdot A_2 \cdot (T_2 - T_3) = \dots = \frac{x_n}{k_n} \cdot A_n \cdot (T_{n-1} - T_n)$$

$$T_1 - T_2 = \frac{q}{A} \cdot \frac{x_1}{k_1}$$

$$T_2 - T_3 = \frac{q}{A} \cdot \frac{x_2}{k_2}$$

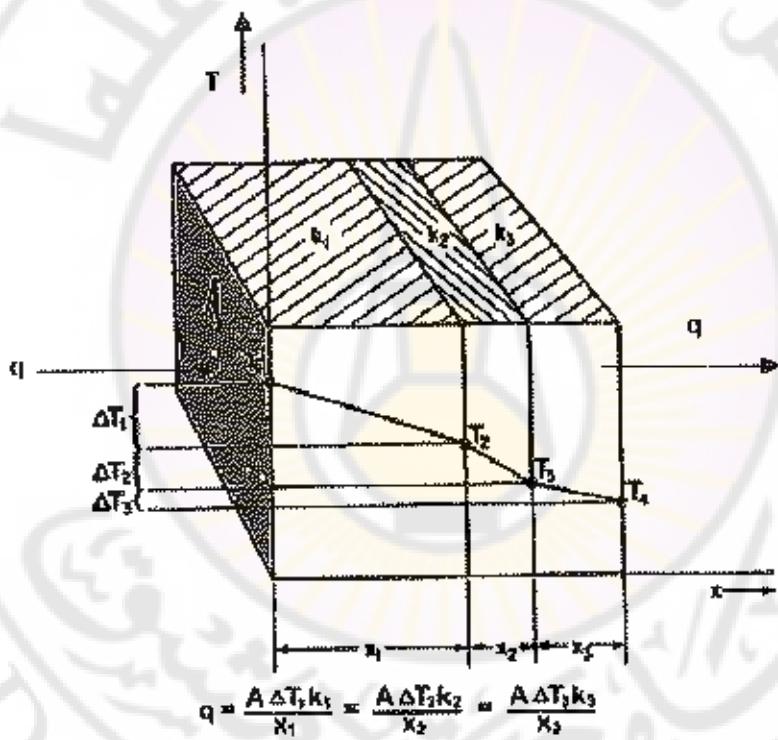
$$T_{n-1} - T_n = \frac{q}{A} \cdot \frac{x_n}{k_n}$$

وبجمع العلاقات السابقة جبرياً نجد:

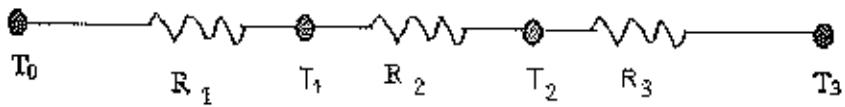
$$T_1 - T_n = \frac{q}{A} \left(\frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_n}{k_n} \right)$$

نسمى المجموع $\frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_n}{k_n}$ بالمقاومة الحرارية وتمثل تخطيطياً كما هو موضح في الشكل (٤-٥)، وتسمى مقلوب هذه العلاقة بمعامل انتقال الحرارة الكلي (over all heat transfer) OHT والذلك يمكن التعبير عن كمية الحرارة الكلية المنتقلة بالعلاقة الآتية :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$



الشكل (٤-٣) : مبدأ انتقال الحرارة بالتوصل عبر جدار مكون من عدة طبقات



شكل (٤-٥) : المقارمة الحرارية في جدار متعدد الطبقات

٤-٣-١-٢-٥- انتقال الحرارة في الأنابيب

في الكثير من عمليات التصنيع تتم عمليات انتقال الحرارة (تسخين وبرودة) من خلال حركة مواد سائلة داخل الأنابيب ونلاحظ مثل هذه العمليات بشكل رئيسي في المبادرات الحرارية وتختصر عمليات انتقال الحرارة في الأنابيب إلى نفس النظرية نظريات انتقال الحرارة المعروفة ، يبين الشكل (٥-٥) أنبوبا دائري المقطع ،

وبتطبيق قانون "فورييه" نجد:

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{dt}{dr}$$

بإجراء عملية التكامل للمعادلة السابقة نجد:

$$q \cdot \int_{r_i}^{r_o} \frac{dr}{r} = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot k \cdot \int_{T_o}^{T_i} dT$$

$$\ln r_o - \ln r_i = (T_i - T_o) \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k}{q} \right)$$

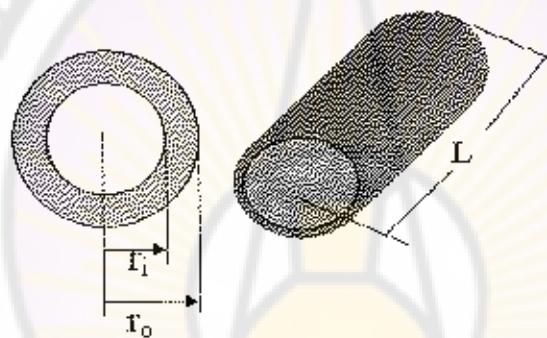
$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k \cdot (T_i - T_o)}{\ln r_o - \ln r_i}$$

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k \cdot (T_i - T_o)}{\ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right)}$$

ويعطى سطح التبادل الحراري بالعلاقة الآتية :

حيث تمثل العلاقة الآتية $\frac{1}{\ln(r_0/r_i)}$ نصف القطر المكافئ .

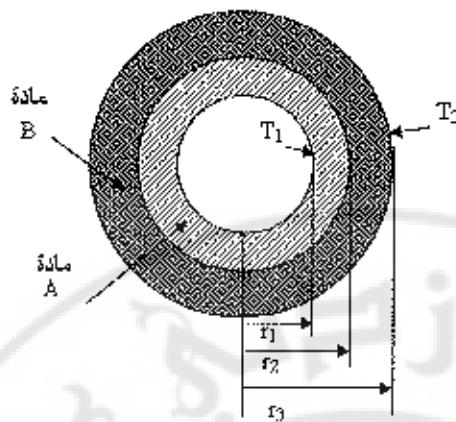
وتعطى المقاومة الحرارية بالعلاقة الآتية :



شكل (٥-٥) : انتقال الحرارة في أنبوب مسطواني وحيد المطبق

وفي حالة أنبوب مكون من عدة طبقات كما هو موضح في الشكل (٥-٦) فإن التدفق الكلي يعطى بالعلاقة الآتية :

$$q_r = \frac{T_1 - T_3}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k A} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi L k B}}$$



شكل (٦-٥) : انتقال الحرارة في الأنابيب مكون من طبقتين

وبشكل عام تتعلق عمليات انتقال الحرارة بالتوصل بشكل مباشر بفارق درجات الحرارة وبالناقلة الحرارية للمواد التي تتم عملية انتقال الحرارة من خلالها، يبين الجدول (٥-١) قيم الناقلة الحرارية لبعض الأغذية ومواد أخرى .

جدول (١-٥) : التحويل الحراري لبعض المواد المختارة

نوع المادة	الطاقة الحرارية (واط / م.م)	درجة الحرارة (م)
مولد الإشاء		
المليوم	٢٢٠	صفر
صلب غير قابل للصدأ	٢١	٢٠
نحاس	٣٨٨	صفر
الأجر	٠.٦٩	٢٠
الخرسانة الإسمنتية	٠.٨٧	٢٠
الصوف الزجاجي	٠٠٣٢	٢٠
Food الأغذية		
زيت الزيتون	٠.١٧	٢٠
الحليب الكامل	٠.٥٦	٢٠
الأغذية المجمدة - المجمدة	٠٠٤-٠٠١	٠
لحم البقر المجمد	١.٣٠	-٣٠
عصير التفاح	٠.٥١	٢٠
الفاصلولياء الخضراء	٠.٨	-٦٠

٢-٢-٥ - انتقال الحرارة بالحمل

يحدث انتقال الحرارة بالحمل عن طريق حركة المائع (الزيت، الماء، الهواء بالغ...) على الأسطح الساخنة كما هو مبين في الشكل (٥-٧)، فيقوم المائع بحمل الحرارة ونقلها من مكان إلى آخر ويتم انتقال الحرارة عن طريق حركة الجزيئات داخل المائع. يعتمد معدل انتقال الحرارة على خصائص حركة السريان، وبذلك يتم وصف حركة المائع بأنها ذات حركة مضطربة أي إن سرعة حركة المائع متغيرة بشكل مستمر حيث يتحرك المائع بشكل طبقات متداخلة أو صفائحية بحيث يتحرك المائع في طبقات متوازية (turbulent or laminar flow)، ويتم تحديد ذلك بواسطة عدد لابدي يسمى رقم أو عدد "رينولدز" (R_e) ويمكن حسابه من العلاقة الآتية :

حيث:

D : البعد المعين للسطح (طول، قطر، عرض) ، م

V : السرعة المتوسطة للسائل، م.ثا^{-١}

ρ : كثافة السائل، كغ. م^{-٣}

μ : لزوجة السائل، باسكال.ثا

يعتمد معدل انتقال الحرارة بالحمل على خصائص المائع الحرارية مثل النقلية الحرارية ، السعة الحرارية، خصائص الانتشار، ويتم تقدير كمية الطاقة الحرارية المنتقلة بالحمل من خلال قانون "نيوتون" الثاني:

$$q = h \cdot A \cdot (T_s - T_i)$$

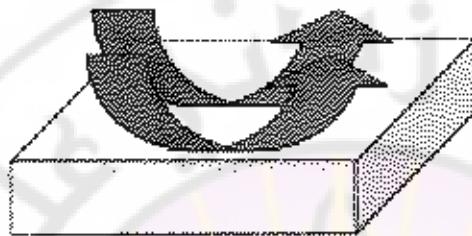
حيث:

h : معامل انتقال الحرارة بالحمل (واط . م^{-٢} . م^{-٣})

A: مساحة سطح التبادل الحراري (م²)

T₁ ، T₂: درجة حرارة سطح التبادل الحراري والمائع على التوالي (م°)

ويتم انتقال الحرارة بالحمل بطريقتين وهما : انتقال الحرارة بالحمل القسري وانتقال الحرارة بالحمل الطبيعي.



شكل (٥-٧) : مبدأ انتقال الحرارة بالحمل

٤-٢-١-٣ - الحمل القسري : Forced convection

في هذه الحالة يتم إيجاد أنماط سريان للمائع حول سطح ساخن عن طريق قوة خارجية بواسطة مضخة أو مروحة، وعندها يتم حل مسائل انتقال الحرارة بواسطة الأعداد الابعدية وهي : رقم (P_r ، N_u ، R_e) رقم "رينولدز" ، نوسلت ، برنسيل على التوالي ويتم حسابها كما يأتي :

$$N_u = f(R_e, P_r)$$

حيث :

L: البعد المميز (نصف قطر أنبوب مثلاً) ، م

n: معامل انتقال الحرارة بالحمل، واط . م^{-٢} . س^{-١} . م^{-٣}

K, ρ, C_p : الخصائص الطبيعية للمائع، الناقلة الحرارية، السعة الحرارية، اللزوجة على التوالي.

ويمكن حساب رقم "توسلت" تجريبياً ووضع العلاقات الازمة لذلك ويتم استخدام العلاقة الآتية على سبيل المثال في حالة عمليات التجفيف ومرور الهواء على سطح أفقى

$$N_u = 0.664 Re^{0.5} \cdot pr^{0.33}$$

٢-٤-٤-٥ - الحمل الحر: Natural convection

يتم انتقال الحرارة في هذه الحالة من السطح إلى المائع عن طريق فرق الكثافة ونشوء قوة الطفو، وفي هذه الحالة نجد أن رقم "توسلت" يتبع رقم "براندل" ورقم "غراشوف" والذي يعطى بالعلاقة الآتية :

$$Gr = \frac{\rho \cdot g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot \Delta T}{\mu^2}$$

حيث:

ρ, β, g : الخصائص الطبيعية للمائع : اللزوجة، معامل التمدد الذي يساوي مقلوب درجة الحرارة (الدرجة المطلقة)، الكثافة، غالباً ما يكون معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري أكبر منه في حالة الحمل الطبيعي كما هو موضح في الجدول (٥-٢)

جدول (٤-٥) : معامل انتقال الحرارة بالحمل لبعض المواد (١)

معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري	معامل انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي	المادة
	٢٥-٥	الهواء
١٠٠٠ - ٥٠	١٠٠-٢٠	الماء
١٠٠٠٠-٥٠٠		بخار الماء

٣-٤-٥ - انتقال الحرارة بالإشعاع

إنَّ عمليات انتقال الحرارة بالإشعاع تعني أن يقوم الجسم الساخن ذو درجة حرارة ما بإطلاق الطاقة على شكل أشعة في الفراغ كما هو موضح في الشكل (٤-٨) وتناسب كمية الطاقة الحرارية المنبعثة من الجسم مع درجة حرارة الجسم، ويمكن تقدير كمية الحرارة المنبعثة من جسم ما بالعلاقة الآتية :

$$Q = A \cdot e \cdot \sigma \cdot T^4$$

حيث:

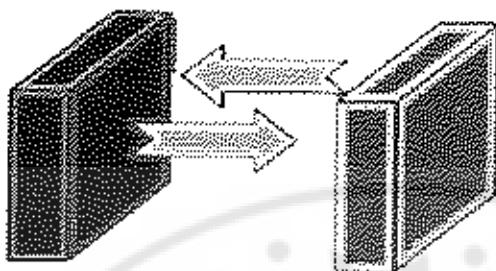
T : درجة الحرارة المطلقة للجسم المشع

A : سطح المادة المشعة، م٢

e : الانبعاثية ، وهي ثابتة لكل مادة وتقراوح قيمتها (١ - ٠)

σ : ثابت ستيفان وبولتزمان، وتبلغ قيمته : $5.669 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$

ولعمليات انتقال الحرارة بالإشعاع تطبيقات هامة في المختبر والطاقة الشمسية



شكل (٥-٨) : مبدأ انتقال الحرارة بالإشعاع

٤-٤ ~ انتقال الحرارة المختلط

تم أغلب عمليات انتقال الحرارة بشكل مختلط بحيث تتم بشكل رئيسي في نوع واحد وبشكل ثانوي في بقية الأنواع، ففي عمليات التصنيع التي تستخدم الماء والبخار أو المواقع بشكل عام فإن عمليات انتقال الحرارة الأساسية تتم بالحمل وبقية الطرائق الأخرى تكون بشكل ثانوي وعلى العكس عندما تتم عمليات تسخين مادة بواسطة الحرارة المباشرة باستخدام "حطة تسخين" فإن عملية انتقال الحرارة الأساسية تتم بواسطة التوصيل ويتم التعبير عن معامل انتقال الحرارة المختلط الكلي بالعلاقة الآتية :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_a + \frac{k}{x} + h_b}$$

٤-٣ ~ انتقال الحرارة غير المستقر

تتغير في هذا النوع من عمليات انتقال الحرارة درجة الحرارة بشكل مستمر مع الزمن كحالات التبريد أو التسخين ويتعلق تغير درجة الحرارة بشكل مباشر بالعوامل الآتية :

- درجة حرارة وسيط التسخين
- الناقلة الحرارية للمادة الغذائية
- الحرارة النوعية للمادة الغذائية

وفي هذه الحالة يتم البحث عن الزمن اللازم لإنجاز العملية التصنيعية أو درجة الحرارة النهائية ويتم التعبير عن هذه الحالة باستخدام عدد لابعدى هو عدد "بيوت" Bi كما يأتي :

حيث:

h : معامل النقل الحرارة بالحمل .

δ : البعد المميز ، نصف قطر الكرة أو الامتدولة ، الخ..

K: الناقلة الحرارية .

يتم حل هذا النوع من المسائل وفقاً للحالتين الآتتين :

يتم حساب زمن العملية وذلك من معادلة التوازن الحراري $Bi < 0.2$

من العلاقة الآتية :

$$m \cdot c_p \cdot dT = h \cdot A \cdot dt$$

وبإجراء عملية التكامل على العلاقة السابقة نجد:

$$t = \frac{m \cdot c_p}{h \cdot A} \ln\left(\frac{T_h - T_i}{T_f - T_i}\right)$$

ويمكن صياغة العلاقة بطريقة أخرى كما يأتي :

$$\frac{T_h - T_i}{T_f - T_i} = e^{h \cdot A \cdot t / m \cdot c_p}$$

حيث :

m : كثافة المادة الغذائية، كغ

c_p : الحرارة النوعية للمادة الغذائية، كج.

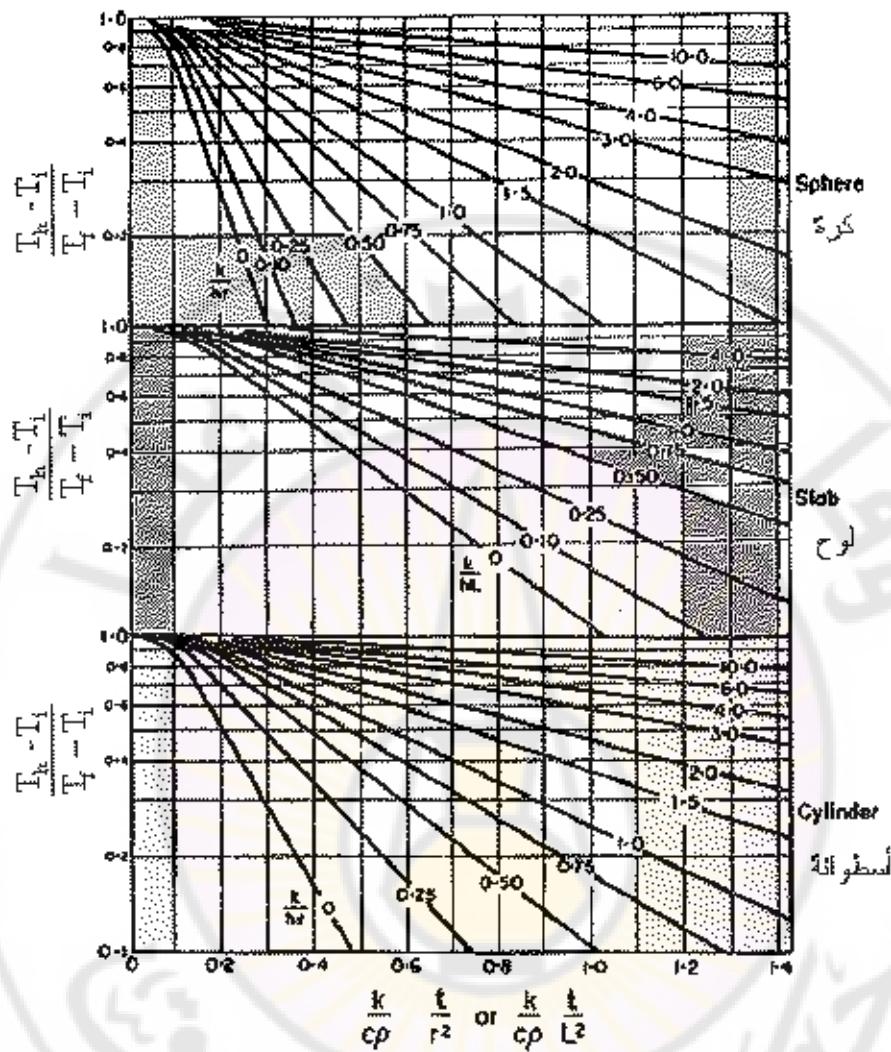
T_f, T_i, T_h : درجات حرارة وسيط التسخين، درجة الحرارة الابتدائية للمنتج، درجة الحرارة النهائية للمنتج

h : معامل انتقال الحرارة الكلي

A : سطح التبادل الحراري

$Bi > 0.2$

خاصية كما هو مبين في الشكل (٥-٩) وذلك باستخدام عدد "فرويد" الذي يعطي بالعلاقة الآتية :



شكل (٥-٩) : حساب التبادل الحراري غير المستقر باستخدام رقم بيريوت .

٥-٤- مصادر الطاقة الحرارية في تطبيقات التصنيع الزراعي والغذائي في عمليات التصنيع الغذائي يتم الحصول على الطاقة من المصادر الرئيسية الآتية :

- الطاقة الكهربائية .
- الغاز الطبيعي .
- الوقود البائن .

ويتم الاستفادة من هذه الطاقة بطريقة مباشرة أو غير مباشرة، ففي حالة التسخين المباشر فإن الطاقة تكون على تماส مباشر مع المادة الغذائية، وغالباً ما يتم استخدام طاقة الوقودسائل أو الغازي في عمليات التسخين هذه ومثال ذلك جميع عمليات صناعة الجبز والمعجنات، أو يتم استخدام الطاقة الكهربائية بشكل مباشر كما هو الحال في حالة أفران الموجات القصيرة (microwave)، أما الطريقة غير المباشرة فتتم عملية الاستفادة من الطاقة الحرارية بشكل غير مباشر حيث يوجد وسط أو وسيط يتم من خلاله الاستفادة من الطاقة الحرارية كما هو الحال في المبادرات الحرارية وغلاف تبريد المواد الزراعية.

الفصل السادس

أنظمة التبادل الحراري

Heat exchange systems

١-٦ - أنظمة التسخين الحراري

يتم معاملة المواد الغذائية حرارياً بطريقة مباشرة أو غير مباشرة، ففي الطريقة المباشرة يتم اختلاط نواتج الاحتراق مباشرة مع المادة الغذائية كحالة الأفران والتنحين أو تكون الطاقة على تماش مع المادة الغذائية كما هو الحال في حالة الأفران ذات الموجات القصيرة، أما في حالة التسخين غير المباشر ف تكون نواتج الاحتراق معزولة عن المادة الغذائية و يتم عملية نقل الطاقة إلى المادة الغذائية عن طريق المبادرات الحرارية .

٦-١-١ - نظم التسخين غير المباشرة

يعتمد مبدأ هذه الأنظمة على عدم وجود تماش مباشر بين المادة المراد تصنيعها و وسيط التسخين ويعتمد النقل الحراري عن طريق مرور وسيط التسخين في مبادل حراري ينقل الحرارة إلى المادة المراد تسخينها وتحتوي هذه الأنظمة بشكل رئيسي على العناصر الآتية :

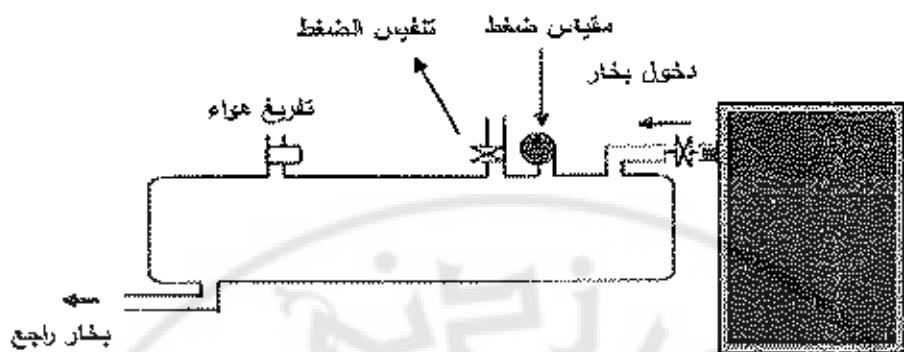
- ١- غرفة احتراق حيث يحرق الوقود و تُطرد نواتج الاحتراق وذلك لتسخين وسيط التسخين (ماء ، بخار ، هواء إلخ...) .
- ٢- مبادل حراري حيث تنتقل حرارة الاحتراق إلى مائع التبادل الحراري .
- ٣- الجسم الحامل للحرارة (ماء ، هواء ، غاز) .

٢-١-٦ - نظم التسخين المباشرة

تم عملية التسخين في هذه الطريقة عن طريق التماس المباشر بين مصدر الحرارة والمادة المراد تسخينها وغالباً ما تظهر هذه الحالات في الأفران ويتم انتقال الحرارة في هذا النوع من التسخين بشكل رئيس بالإشعاع ، وفي هذه الحالة لا يحتوي هذا النظام على مبادل حراري .

٢-٦ - البخار كوسيل للتسخين

يعتبر بخار الماء من أفضل وسائل التشغيل الآمن للاستخدام في التصنيع الغذائي لأنه يحتوي على طاقة حرارية كبيرة لوحدة الكثافة وكذلك لسهولة استخدامه لبداء من وضع المنتج المراد تسخينه في وعاء مغلق closed vessel وتتمرير البخار من خلاله إلى وجود نظام ألي يتم التحكم به بشكل دقيق ويتكون نظام البخار بشكل أساسي كما هو موضح في الشكل (٦-١) من مصدر لتسخين الماء ورفع درجة حرارته من درجة الحرارة العادية إلى درجة الحرارة المطلوبة ويطلق عليه المرجل (boiler) ومن أدبيب لنقل البخار من المرجل إلى مكان التصنيع ومجموعة من أجهزة التحكم والمراقبة والتي تشمل مقاييس الضغط والحرارة وصمامات الأمان وزี่ادة الضغط وتغيير الاتجاه وعند تشغيل أنظمة البخار فإنه من المهم إزالة البخار المتكافئ داخل منطقة التصنيع .



شكل (١-٦) : مكونات نظام توليد البخار

١-٤-٦ - أشكال البخار forms of steam

هناك ثلاثة أشكال رئيسية للبخار تستخدم في العمليات التصنيعية وذلك وفقاً لدرجة الحرارة المطلوبة في العملية التصنيعية كما يأتي :

- * **البخار الجاف المشبّع dry saturated steam:** وهو نوع من البخار تحول فيه الماء من الشكل السائل إلى الشكل الغازي ومع تغير درجة حرارة التسخين يتغير ضغط البخار وتتغير الحرارة الكامنة للتبلور.
- * **البخار الرطب wet steam:** يحتوي هذا البخار على نسب من البخار في الحالة السائلة ونسب أخرى في الحالة الغازية ويتم التعبير عن جودة البخار بنسبة تحول البخار إلى غاز إلى نسبة بقائه ماء فمثلاً البخار الذي جودته ٩٥ % عند الضغط الجوي يعني أن البخار يحتوي على طاقة حرارية تقدر بـ $0.95 \times 2251 \text{ kJ/kg}$.
- * **البخار المحمص superheated steam:** وهو بخار جاف تم رفع درجة حرارته بإملاكه مرات عديدة على منطقة التسخين والتبادل الحراري وهو يستخدم في بعض الأمور الخاصة والتي تحتاج إلى درجات حرارة مرتفعة

و غالباً ما يستخدم في توليد القدرة الكهربائية . يبين الجدول (٦-١) بعض خصائص البخار الحرارية للبخار وذلك عند درجات حرارة و ضغوط مختلفة .

جدول (٦-١) : خصائص البخار الحرارية

درجة الحرارة $^{\circ}\text{C}$	الضغط المطلق كبسكل	الانتالبي لجدول ١	الحرارة الكلامية للبخار لجدول ٢	الحجم النوعي كغم $^{-3}$
0	0.611	2501	2501	206
1	0.66	2503	2499	193
2	0.71	2505	2497	180
4	0.81	2509	2492	157
6	0.93	2512	2487	138
8	1.07	2516	2483	121
10	1.23	2520	2478	106
12	1.40	2523	2473	93.9
14	1.60	2527	2468	82.8
16	1.82	2531	2464	73.3
18	2.06	2534	2459	65.0
20	2.34	2538	2454	57.8
22	2.65	2542	2449	51.4
24	2.99	2545	2445	45.9
26	3.36	2549	2440	40.0
28	3.78	2553	2435	36.6
30	4.25	2556	2431	32.9
40	7.38	2574	2407	19.5
50	12.3	2592	2383	12.0
60	19.9	2610	2359	7.67
70	31.2	2627	2334	5.04

80	47.4	2644	2309	3.41
90	70.1	2660	2283	2.36
100	101.4	2676	2257	1.67
105	120.8	2684	2244	1.42
110	143.3	2692	2230	1.21
115	169.1	2699	2217	1.04
120	198.5	2706	2203	0.892
125	232.1	2714	2189	0.771
130	270.1	2721	2174	0.669
135	313.0	2727	2160	0.582
140	361.3	2734	2145	0.509
150	475.8	2747	2114	0.393
160	617.8	2758	2083	0.307
180	1002	2778	2015	0.194
200	1554	2793	1941	0.127

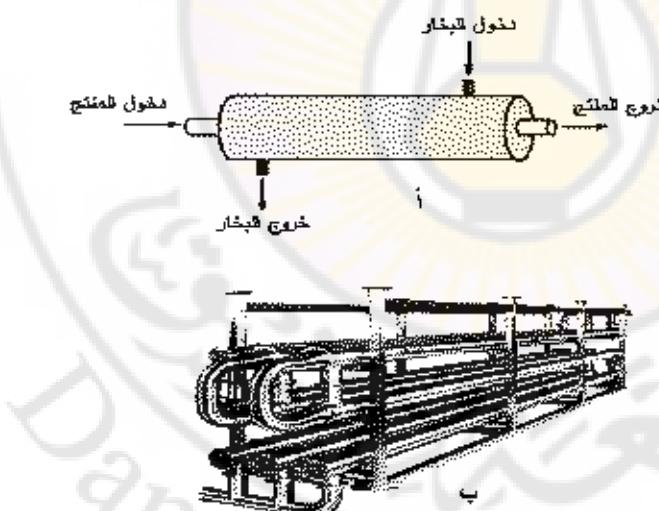
٦-٣- الأشكال التصميمية للمبادلات الحرارية

المبادلات الحرارية هي وحدات هندسية تستخدم طرائق ومبادئ انتقال الحرارة المختلفة بالحمل والتوصيل والإشعاع في عمليات التبادل الحراري، وغالباً ما تستخدم في عمليات التسخين وعمليات التبريد في مجال الصناعات الغذائية (بسترة، تعقيم، تخمير ، سلق إلخ...) ويتم استخدام الماء الساخن أو البخار ك وسيط في عملية التسخين ويتم استخدام الماء البارد أو الهواء في عمليات التبريد. يعتمد تصميم المبادلات الحرارية على كفاءة نقل الحرارة وبالتالي معامل انتقال الحرارة الكلي وخصوصاً معامل انتقال الحرارة بالحمل لكل من المادة المراد تبریدها أو تسخينها و وسيط التسخين وذلك من خلال قانون اتزان الطاقة heat balance وكذلك نوع المادة وخصائصها الطبيعية ونوع المعدن المستخدم في عملية بناء المبادل الحراري و يتم

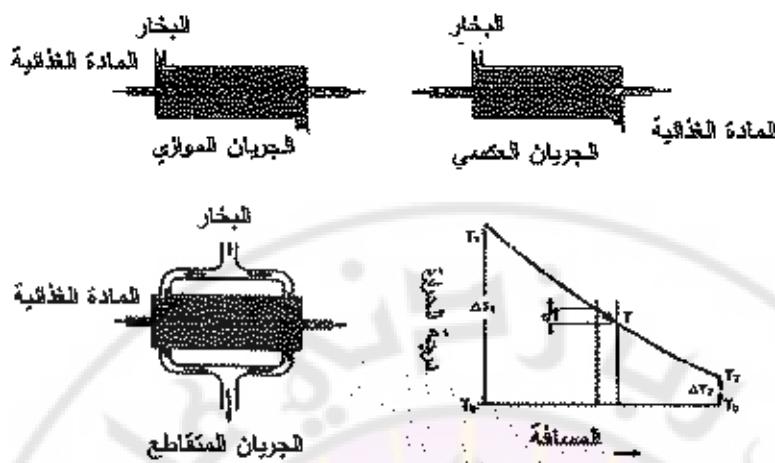
عملية التصميم بتحديد سطح التبادل الحراري أو طول أنبوب التبادل الحراري في حالة المبادل الحراري الأنبوبي وعدد صفائح التبادل الحراري في حالة المبادل الصفائحي وتستخدم هذه المبادلات بشكل رئيسي في عمليات البسترة والتعقيم والتكتيف.

١-٣-٦ - المبادل الحراري الأنبوبي **Tube heat exchange**

المبادلات الحرارية الأنبوية إشكالاً مختلفة ولكن من أكثرها شيوعاً المبادل الحراري ذو الأنبوب المركزي، يتكون هذا المبادل كما هو مبين في الشكل (٦-٢) من أنبوب داخلي يحيط به غلاف خارجي حيث يتدفق المنتج خلال الأنبوب الداخلي بينما يتدفق وسيط التسخين أو التبريد خلال الغلاف الخارجي إما في نفس الاتجاه (يسمى السريان الموازي Counter flow) أو في الاتجاه المعاكس (يسمى السريان العكسي Counter-current flow) أو بشكل متقطع (cross-flow) كما هو موضح في الشكل (٦-٣).



شكل (٦-٢) : أ- رسم تخطيطي ووضع مبادل حراري أنبوبي عكسي، ب- مبادل حراري أنبوبي صناعي

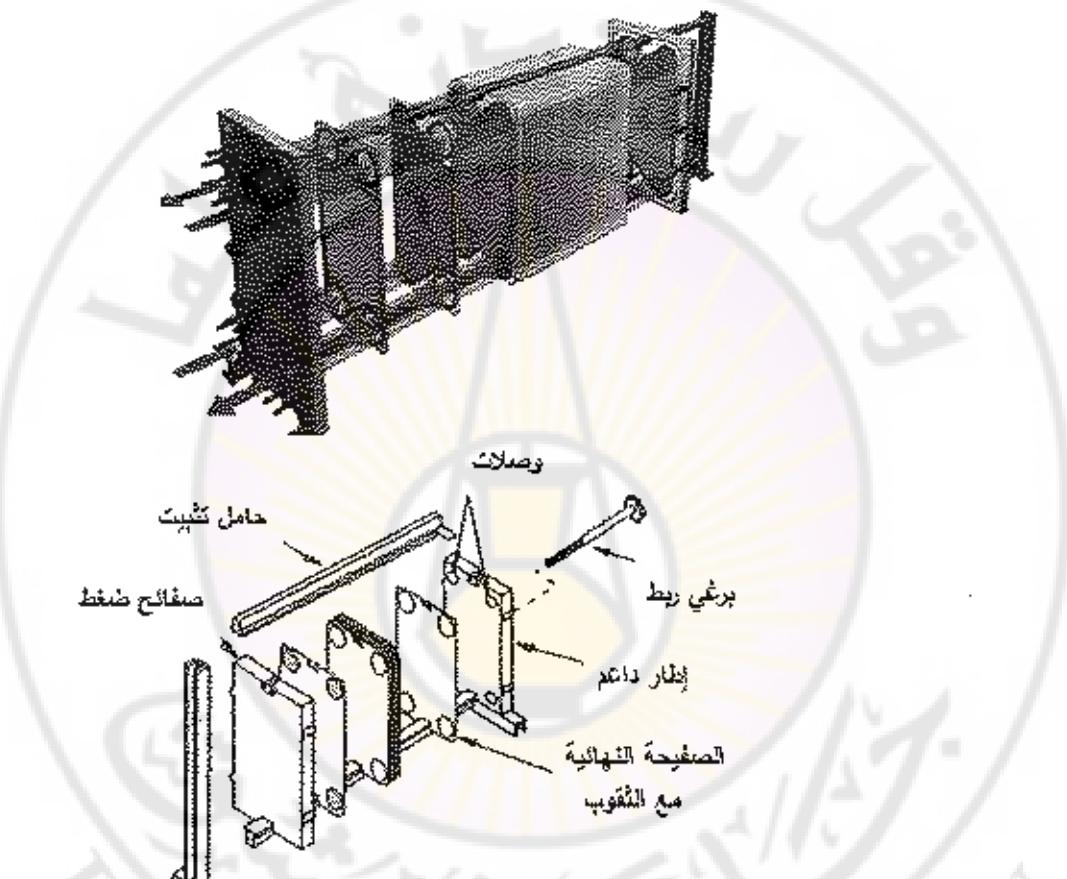


شكل (٦-٢): نماذج لجريان المواد داخل المبادل الحراري الأنبوبي

٦-٣-٢ - المبادل الحراري اللوحي أو الصفائح: Plate heat exchange: تم تطوير هذا النوع من المبادلات الحرارية من أجل عمليات تصنيع الألبان بشكل رئيسي، ويكون هذا المبادل الحراري كما هو مبين في الشكل (٦-٤) من مجموعة من الصفائح الرقيقة المتتابعة المربوطة مع بعضها بعضاً كما هو موضح في الشكل (٦-٥) ويتم ربط هذه الصفائح على شكل كتلة واحدة بواسطة إطار. يتدفق المنتج بين سطحين ساخنين في صورة غشاء رقيق للغاية عبر فوارات منفصلة وينتج عن ذلك زيادة سريعة في درجة حرارة المنتج كما هو مبين في الشكل (٦-٦). يتم التعبير بمعامل انتقال الحرارة بالحمل في المبادلات الحرارية اللوحية استناداً إلى خصائص انتقال الحرارة من وسيط السخين للمنتج على طول سطح السخين للمنتج، ويتم اختيار الأبعاد التصميمية لهذا النوع من المبادلات وفقاً للعامل الآتية :

- معدل تدفق المادة في المبادل الحراري .
- الخصائص الفيزيائية للمادة (مثل اللزوجة، الكثافة إلخ...) .

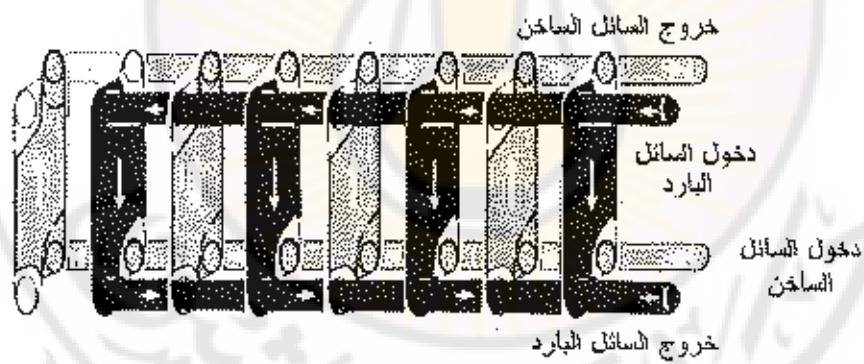
- درجة الحرارة المطلوبة .
- هبوط الضغط المسموح به .
- تصميم المبادل الحراري نفسه .
- زمن التشغيل المطلوب .



شكل (٦-٤) : مكونات المبادل الحراري التوخي

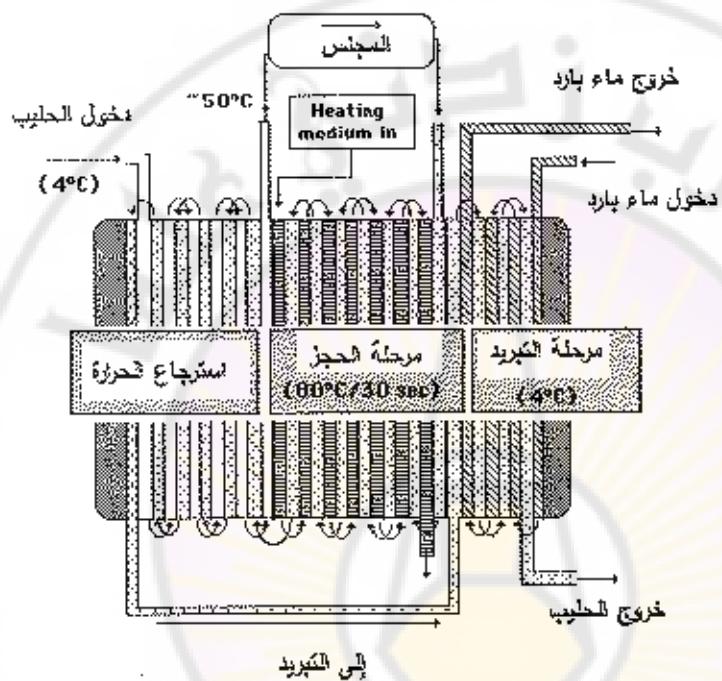


شكل (٦-٥) : تفاصيل أحد لواح المبادل الحراري اللوحي



شكل (٦-٦) : رسم تخطيطي يوضح حركة المائع داخل المصفانع

ويتم استخدام المبادلات اللوحية بشكل كبير في أجهزة تعقيم وبسترة المواد الغذائية السائلة وشبه السائلة وفي جميع المراحل المختلفة مثل التسخين والتبريد واسترجاع الحرارة كما هو موضح في الشكل (٦ - ٧) .



شكل (٦ - ٧) : نظام تبادل حراري لوحى يستخدم في عملية بسترة الحليب

٦ - ٤ - تحليل عمليات انتقال الحرارة في المبادلات الحرارية

يبين الشكل (٦ - ٨) مبدأً حرارياً أنيبوبياً بجريان عكسي ، ومن أكثر العوامل أهمية لوصف انتقال الحرارة لهذا النوع من المبادلات هو متوسط فرق درجة الحرارة اللوغاريتمية الذي يعطى بالعلاقة الآتية :

حيث:

١: $\Delta\theta_1$: فرق درجات الحرارة عند مدخل المبادل وتساوي الفرق بين درجة حرارة دخول المنتج وخروج وسيط التبريد أو التسخين في حالة المبادل العكسي .

٢: $\Delta\theta_2$: فرق درجات الحرارة عند مخرج المبادل ويساوي الفرق بين درجة حرارة خروج المنتج ودخول وسيط التبريد أو التسخين .

أما كمية الحرارة المتبادلة من خلال المبادل الحراري فيتم التعبير عنها بالعلاقة الآتية :

$$q = U \cdot A \cdot \Delta\theta_m$$

وكمية الحرارة المتبادلة بين المنتج ووسط التبريد أو التسخين فتعطى بالعلاقة الآتية :

$$Q_v = Q_p = m_v \cdot C_v \cdot \Delta T_v = m_p \cdot C_p \cdot \Delta T_p$$

وبالنسبة لاستخدام بخار الماء كوسط للتسخين يمكن تحقيق التوازن الحراري من خلال تغير الانتالبي كما يأتي :

$$Q_v = m_s \cdot (H_i - H_o)$$

حيث:

U: معامل انتقال الحرارة الكلي .

A: سطح التبادل الحراري .

$\Delta\theta_m$: متوسط فرق درجة الحرارة اللوغاريتمي .

m_p, m_v : كثافة أو معدل تدفق وسيط التبريد أو التسخين والمنتج .

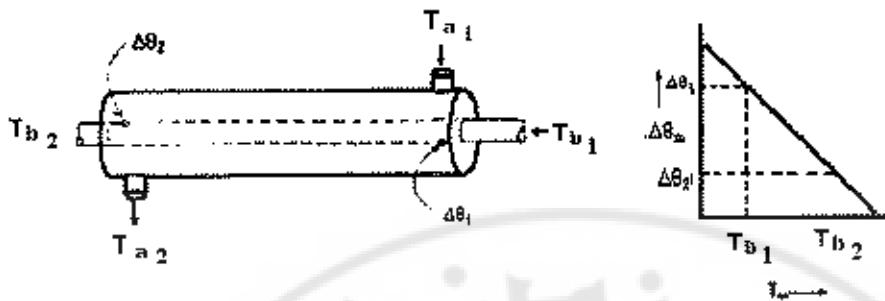
C_p, C_v : السعة الحرارية لوسط التبريد أو التسخين والمنتج على التوالي .

$\Delta\theta_1$: الفرق بين درجة حرارة دخول المنتج وخروج وسيط التبريد

$\Delta\theta_2$: الفرق بين درجة حرارة خروج المنتج ودخول وسيط التبريد

M_s : معدل تدفق البخار .

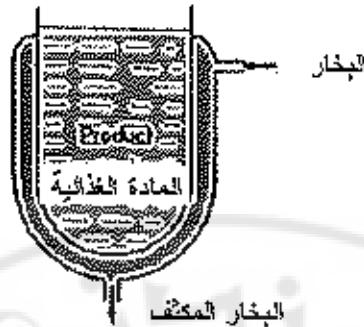
H_o, H_i : انتالبي بخار الماء عند الدخول والخروج على التوالي، ك.جول . كغ⁻¹



شكل (٦-٨) : تحليل انتقال الحرارة في مبدل حراري أنبوبى

٦-٥ - حلل البخار ذات الطوق البخاري : **Jacketed Pans**

تعتبر هذه "الحلل" الشكل (٦-٩) من المبادلات الحرارية الهامة التي تستخدم في عمليات تعقيم الأغذية وتعتمد هذه المبادلات على مبدأ انتقال الحرارة غير المستقر وهذه المبادلات عبارة عن وعاء (Vessel) بطبقتين حيث يمر البخار الساخن على كامل سطح هذه الحلة بينما يتم وضع المولاد المراد تعقيمها داخل الحلة ويتم في كثير من الأحيان وضع المقلبات (Agitators) من أجل تحسين معامل انتقال الحرارة السطحي داخل هذه الحلل، وتمتاز هذه الطريقة بالتسخين بالمحافظة على خصائص المنتج ولا يحتاج البخار إلى درجة حرارة مرتفعة، وتمتاز هذه المبادلات بعمليات انتقال حرارة مرتفعة كما هو موضح في الجدول (٦-٢).



شكل (٦-٩) : نحلة البخار ذات الطوق البخاري

جدول (٦-٢) : معامل التقليل الحرارة في حل البخار

معامل انتقال الحرارة واط / مم	معدن الحلة	المادة المسخنة	وسط التسخين
1800	Cast-iron حديد صهر	Thin liquid سائل خفيف	Steam بخار
900	Cast-iron حديد صهر	Thick liquid سائل سميك أو ثقيل	Steam بخار
300	Stainless steel فولاذ غير قابل للصدأ	Paste معجون (هريس)	Steam بخار
1800	Copper نحاس	Water, boiling ماء	Steam بخار

ويطلب غالباً في حل مسائل انتقال الحرارة بهذه الطرق معرفة معدل تدفق البخار اللازم لعملية التسخين و زمن بقاء المنتج داخل هذه الحلة ، وعندها تعامل هذه الحالة معاملة انتقال الحرارة غير المستقر وترتبط جميع معاملات التشغيل الخاصة بهذه الحالة بالعلاقة الآتية :

$$\frac{T_b - T_i}{T_f - T_i} = C^{h.A.t/m.c_p}$$

حيث:

T_b ، T_f ، T_i درجات حرارة وسيط التسخين، درجة الحرارة الابتدائية للمنتج، درجة الحرارة النهائية للمنتج.

A: مساحة سطح التبادل الحراري، م²

h: معامل انتقال الحرارة السطحي الكلي، واط . م⁻² . كم⁻¹

C_p: السعة الحرارية للمادة، كـ جول . كغ . م⁻²

p: كثافة المادة، كغ . م⁻³

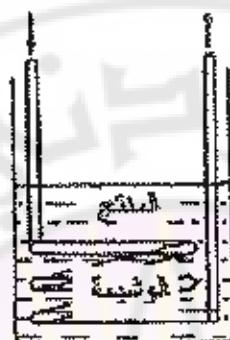
V: حجم المادة، م³

٦-٦ - المبادر الحراري ذو وشيعة التسخين

تحتاج بعض عمليات التصنيع إلى عمليات تسخين سريعة، لذلك يتم استخدام وشيعة تسخين Heating coils ، تغمس داخل حلة التسخين حيث يمر البخار داخل هذه الوشيعة لتبادل الحرارة مع المادة داخل هذه الحلة. كما هو مبين في الشكل (٦-١٠) وتعتبر عملية التبادل الحراري بهذه الطريقة ذات فعالية كبيرة وذلك بسبب ارتفاع معامل انتقال الحرارة الكلي، فعلى سبيل المثال يكون معامل انتقال الحرارة

المطحي لمحلول السكر $1200 - 1400$ واط / م²م و في الحليب يصل إلى $1800 - 2300$ واط / م²م .

خروج البخار دخول البخار



شكل (٦-١٠) : وشيعة التبادل الحراري



الجزء الثاني: هندسة عمليات التصنيع الميكانيكية

Mechanical Process Engineering



الفصل السابع
وحدات تنظيف المواد الأولية
Raw materials cleaning units

٧-١- أهداف عملية التنظيف

يتم تنظيف معظم المواد الزراعية والغذائية قبل التصنيع وذلك لتحضيرها العملية التصنيعية الآتية حيث تستهدف هذه العملية إزالة جميع الماء الملوثة contaminants والتي تتراوح بين مواد غير مؤذية innocuous إلى مواد خطيرة dangers، تقييد هذه العملية في حماية آلات التصنيع من خطر تعرضها للتلف بسبب الاحتكاك أو بسبب زيادة الإجهاد، وكذلك حماية المستهلك consumer، فعلى سبيل المثال يجب إزالة الرمال والحصى من القمح قبل إجراء عمليات الطحن milling وذلك حفاظاً على الصحة العامة وتجنبأ للتلف الآلات ومن أهم المواد الملوثة التي يجب التخلص disposal منها ما يأتي :

- أجزاء النباتات المختلفة مثل الأوراق leaves والقشور husks والأغصان twigs.

- التراب، الرمل، الحصى، المواد المعدنية.
- الحشرات مع بيوضها.
- مخلفات الحيوانات.
- المبيدات والأسمدة pesticides and fertilizers.
- المواد السامة والكائنات الممرضة.

٧-٢- طرق عمليات التنظيف: *cleaning methods*

تعتمد طرائق التنظيف المستخدمة بشكل أساسي على الخصائص الفيزيائية للمواد المراد تنظيفها وأختلافها فيما بينها، وترتبط عملية التنظيف بشكل مباشر بما يأتي :

- نوع المادة المراد تنظيفها
- درجة التنظيف المطلوبة

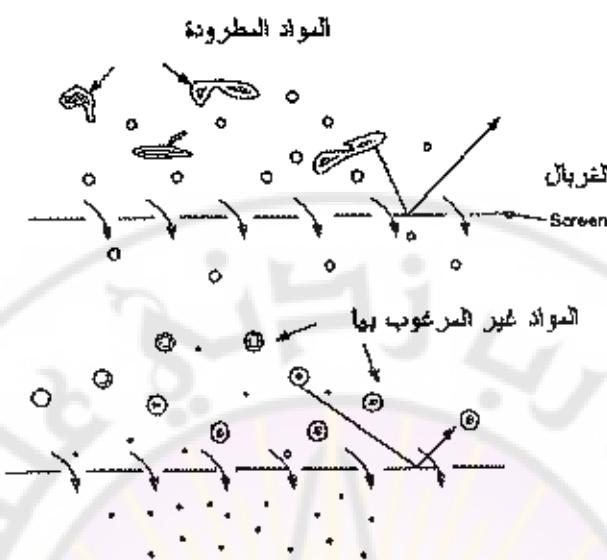
* نوع المواد المراد التخلص منها

وبذلك توجد طرائق متعددة للتنظيف منها طريقة التنظيف الجاف وطريقة التنظيف الرطب وطريقة التنظيف بالتنفسير.

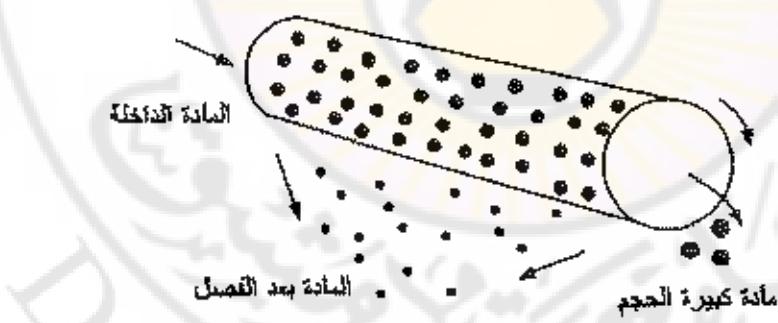
٧-٢-١-١- طريقة التنظيف الجاف: dry cleaning

تمتاز هذه الطريقة بانخفاض التكلفة مقارنة مع الطريقة الرطبة لكنها أقل كفاءة من الطريقة الرطبة نظراً لإمكانية إعادة ثلث المادة المنظفة مرة أخرى بالغبار ويتم في هذه الطريقة استخدام التقنيات الآتية في عمليات التنظيف:

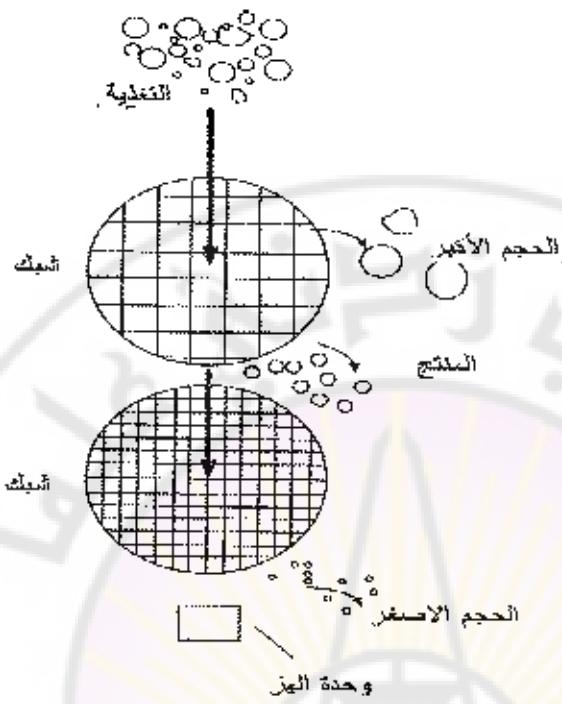
١- التنظيف باستخدام الشباك المهززة : تعتمد هذه الطريقة على وجود مجموعة من الشباك المعدنية المختلفة الأقطار والأحجام (تشبه الغرابيل الموجودة في آلات حصاد الحبوب) تؤدي الحركة الاهتزازية إلى مرور المواد المختلفة الأحجام عبر فتحات الشباك الخاصة بها ونستخدم هذه الطريقة مع الحبوب والبقوليات وقد تصمم هذه الشباك على شكل اسطوانات دورانية كما هو موضح في الأشكال (٧-١) و (٧-٢) و (٧-٣) .



شكل (٧-١) : مبدأ التقطيف الجاف باستخدام الشباك

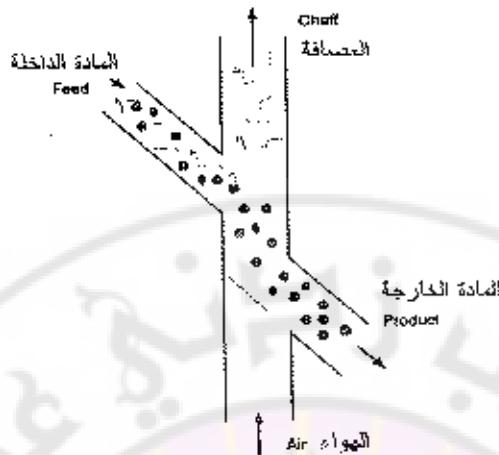


شكل (٧-٢) : مبدأ التقطيف الجاف باستخدام اسطوانات متقدمة



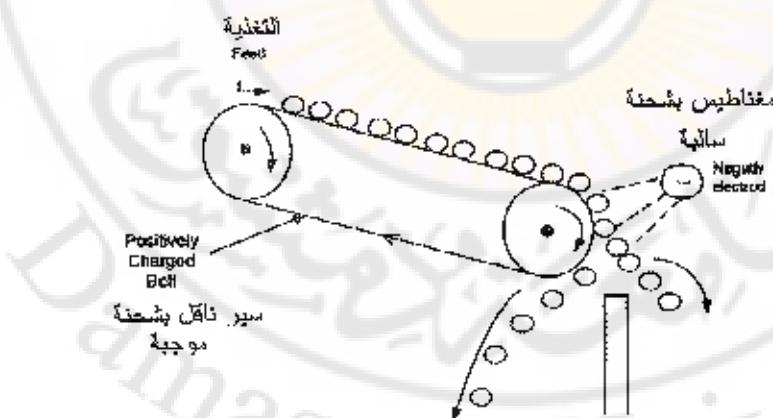
شكل (٧-٣) : طريقة التنظيف بالشبك المهزأة

٤- طريقة التنظيف بالهواء : تعتمد هذه الطريقة على الفرق في الخصائص "الأيروديناميكية" للمواد المراد فصلها (الكثافة، خصائص الطفو)، وتستخدم هذه الطريقة في تنظيف الحبوب وتعتمد هذه الطريقة على مرور تيار من الهواء على المادة المراد تنظيفها وذلك بشكل متقطع كما هو موضح في الشكل (٧-٤)، لذلك فالمادة الأثقل تسقط والمادة الأقل كثافة تطرد مع الهواء ، وتميز هذه الطريقة بإمكانيتها الواسعة في عمليات التنظيف لكنها تحتاج إلى طاقة كبيرة.



شكل (٧-٤) : طريقة التنظيف باستخدام تيار من الهواء

٣- التنظيف باستخدام المغناطيس : تستخدم هذه الطريقة بشكل خاص لتنظيف المواد المعدنية عن طريق شحن السير الناقل بشحنة مغناطيسية أو شحن الاسطوانات التي تشغله هذا السير يتم وضع مغناطيس دائم فوق السير الناقل بشحنة موجبة ويتم وضع مغناطيس آخر عند نهاية السير بشحنة سالبة فعند نهاية السير تتلاقي الشحنات السالبة وتندفع بعيداً كما موضح في الشكل (٧-٥).



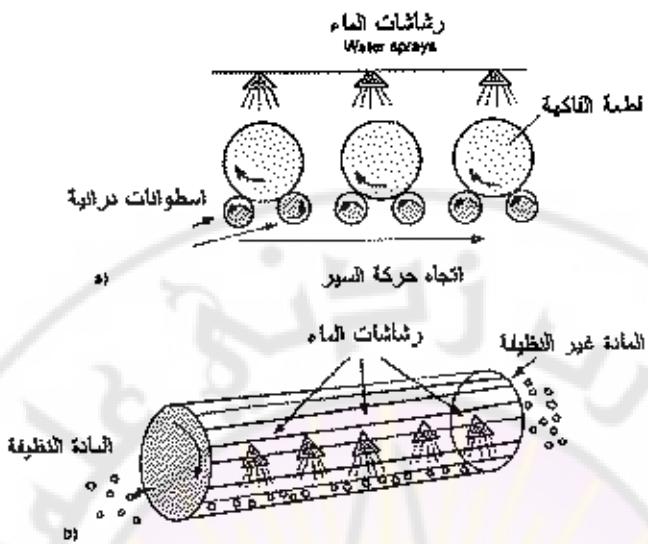
شكل (٧-٥) : مبدأ التنظيف باستخدام السير الناقل

٢-٢-٧ - طريقة التنظيف الرطبة: Wet cleaning method:

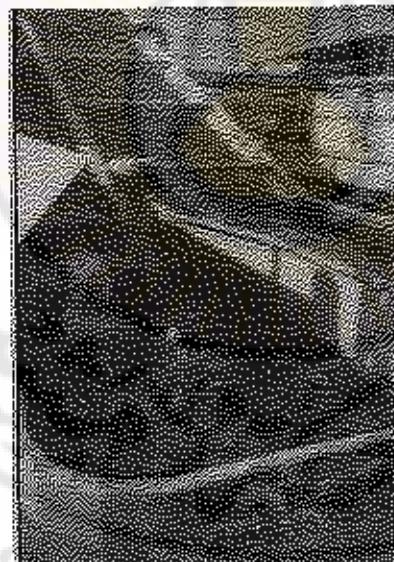
تستخدم هذه الطريقة بشكل أساسي في حالة وجود كميات كبيرة من الأتربة أو عند الحاجة إلى إزالة التربة الزراعية العالقة بالنبات كما هو الحال في المحاصيل الجذرية root crops مثل (البطاطا ، الجزر والشوندر الخ ...)، تعتبر هذه الطريقة ذات تكلفة مرتفعة مقارنة مع التنظيف الجاف وذلك بسبب الهدر الكبير نتيجة لاستخدام المياه العذبة في هذه العملية ، ولكن يمكن التقليل من هذه التكاليف من خلال إعادة استخدام المياه مرة أخرى ، ويتم إضافة مواد كيماوية مع المياه مثل الكلور أو حمض الستريك وذلك لتعقيم هذه المياه وخصائص تلك المواد التي يتم تغييرها وتصل نسبة المواد الكيماوية المضافة ٢٠٠ - ١٠٠ ملخ / ل و يتم عملية الغسيل وفق الطرق الآتية :

١- النقع : soaking: تعتبر عملية النقع المرحلة الأولى في عمليات التنظيف الرطب وذلك لإزالة المواد الملوثة الثقيلة مثل التراب والحصى ويتم استخدام خزانات معدنية أو إسمنتية ومقابض لتحريك الماء داخل الخزانات بهدف تحسين كفاءة التنظيف وقد يتم استخدام الماء الساخن وإضافة بعض المنظفات detergents إليها.

٢- الغسيل بالرش : Spray washing : تستخدم هذه الطريقة بشكل واسع مع الكثير من المواد الغذائية ، ويعتمد هذه الطريقة على حجم ودرجة حرارة الماء المستخدم كذلك على مدة التعرض exposure time ويمكن رفع كفاءة التنظيف من خلال رفع ضغط الماء المستخدم ولكن الذي يحد من زيادة الضغط هو الخوف من تلف المواد بفعل الضغط ويوجد نظامان يستخدمان هذه التقنية: طريقة المسير المتسرّك وطريقة الاسطوانة الدورانية كما هو موضح في الشكلين (٧-٦) و (٧-٧) .



شكل (٧-٦) : مبدأ التنظيف باستخدام الماء



شكل (٧-٧) : طريقة تنظيف البرندورة بالماء باستخدام السيور.

٤-٣-٤-٧ - التقشير : تعتبر عمليات تقشير الفواكه والخضار من طرق التنظيف ويتتم عملية التقشير إما ميكانيكيًا باستخدام أداة حادة لفصل القشرة عن اللب الداخلي أو باستخدام البخار أو بعض المحاليل مثل المحاليل الكلوية وتعتبر طريقة التقشير بالمحاليل أعلى كفاءة وأقل هدرًا مقارنة مع الطريقة الميكانيكية .

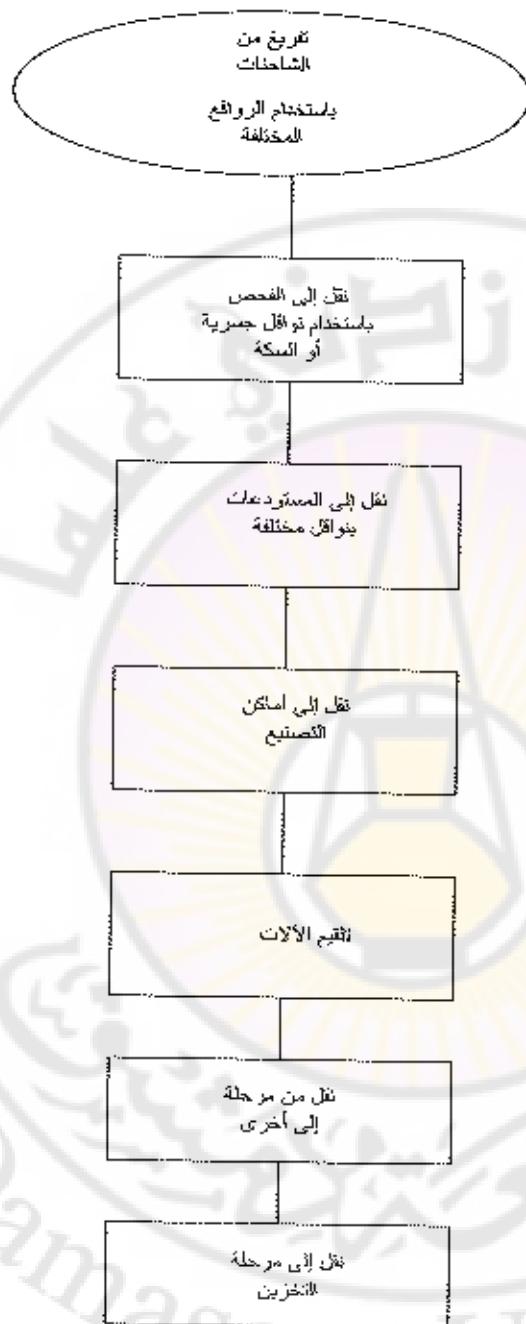
الفصل الثامن
تداول المواد غير السائلة ونقلها
Handling and transport of un- liquid materials

مقدمة

تعني عملية نقل المواد حركتها في أي اتجاه داخل مصنع الأغذية وذلك خلال العمليات التصنيعية والتي تبدأ من لستلام المادة الأولية حتى المنتج النهائي، ويشمل ذلك حركتها المباشرة إلى أعلى وإلى أسفل أو بميل أو حركتها أفقياً، وتمرّ المواد الصلبة والنصف صلبة بمراحل عديدة أثناء تصنيعها وبالتالي فإنها تنتقل بواسطة أنواع متعددة من وسائل النقل المختلفة .

١-٨ - مراحل نقل المواد

تم عملية نقل المواد ابتداءً من وصول المادة الخام إلى المصنع وللنتهاء من عملية تخزين المادة، وبسبب اختلاف العمليات داخل المصنع تختلف طرائق نقل المواد داخل المصنع باختلاف المرحلة ويمكن تلخيص مراحل نقل المواد داخل المصنع من خلال المخطط الآسيبي الموضح في الشكل (٨-١) .



شكل (١ - A) : مراحل نقل المواد خلال العملية التصنيعية

٤-٨ - أهم وسائل النقل

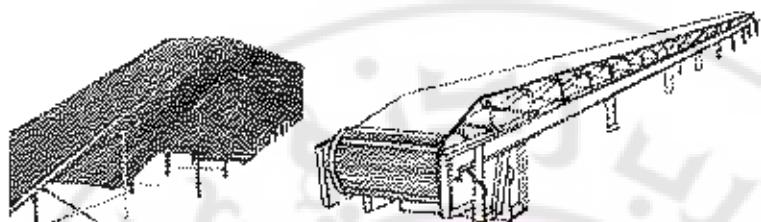
في عمليات التصنيع تتم عمليات النقل بوسائل متعددة تتعلق بشكل أساسي بنوع المادة المنقولة وبخصائصها المختلفة وبمعدل النقل المطلوب وبمكان النقل، لذلك تستخدم طرائق مختلفة في نقل المواد خلال مراحل التصنيع ومن أهم وسائل النقل المستخدمة ما يأتي :

١. السببور الناقلة
٢. الجنازير أو السلاسل الناقلة
٣. النقلات الحزونية
٤. القواديس
٥. النقلات المستخدمة للهواء
٦. الرفاعي الجمرية والشوكية
٧. المصاعد أو العربات

٣-٨ - النقل بالسببور المسطحة flat Belt Conveyor

الناقل المسطح وهو عبارة عن سير لا نهائي يدور حول طارئن أو بكرتين أحدهما متصلة بمحرك أو عمود وتسمي البكرة أو الطارة القائمة Driving Pulley والأخرى الطارة التابعة Driven Pulley وعادة يحمل السير على عدة بكرات حرة تسمى بالعاطلة وذلك للحصول على الشد المناسب، وهو يستخدم على نطاق واسع في عمليات التصنيع حيث يستخدم لنقل المواد من مرحلة إلى أخرى كما هو الحال في تعليب البازلية وفي معاصر الزيتون حيث تركب حواف للسير الناقل والتي تعمل عن الأفق بزاوية تتراوح (٤٥ - ٢٠ درجة) وذلك لمنع تساقط المادة المنقولة ويمكن أن يكون الناقل أفقياً أو مائلًا بزاوية تتراوح بين (٢٠ - ١٥٠ درجة) وبختلف مادة الناقل بحسب الاستعمال فيمكن أن تكون من مواد قماشية كما هو الحال في المخابز حيث لا يوجد تلامس مباشر للسير مع الحرارة أو يصنع من مواد بلاستيكية وقد يُصنع من الحديد في حالة تعرضه لدرجات حرارة كما هو الحال في عمليات الشوي المختلفة

وهذاك سبب تستخدم بعد عملية التصنيع للنقل إلى التعبئة كما هو مبين في الشكل (٨-٢).



سيير مسطح مائل

سيير مسطح لفقي

شكل (٨-٢) : سبب ناقلة مسطحة مائلة ولفقية

١-٣-٨ - خصائص السير المسطح

تتمثل السير المسطحة بما يأتي :

- كفاءة ميكانيكية عالية
- لا يتسبب في ثلث المواد المنقولة وذلك بسبب عدم وجود حركة نسبية بين المواد المنقولة والسير.
- يعمل على سرعات عالية وينتج عن ذلك أن سعة نقل السير تكون عالية
- يتحمل مدة تشغيل طويلة
- يستخدم لنقل المواد لمسافات طويلة
- زاوية ميل السير محدودة وتتراوح بين ٢٥-١٥ درجة

٢-٣-٨ - الشروط الواجب توافرها في السير المسطح

يجب أن يكون السير ذو مرونة عالية حتى يتوافق مع الأقطار المختلفة للطارات ويكون مصنوعاً من مادة خاصة تتحمل الشد والضغط ويتقاوم عوامل التشغيل المختلفة كالأحماض ودرجات الحرارة المختلفة .

٣-٣-٨ - تصميم السيور الناقلة

يتم تصميم السيور الناقلة من خلال حساب ما يأتي :

- أبعاد السيور مثل عرض السيور الناقل belt conveyor
- سرعة السيور الناقل الخطية
- تحديد سعة الناقل belt capacity
- القدرة اللازمة لتشغيل الناقل

يرتبط تحديد سرعة الناقل بشكل مباشر بنوع المادة المنقولة وخصائص الشكل والكتافة من حيث كونها ناعمة أو خشنة وذلك لمنع تطاير أو فقد المادة أثناء الحركة لذلك ينصح في حالة نقل الحبوب بأن لا تزيد سرعة النقل عن $3.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ والسرعة المئالية ($2.5 - 2.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)، أما عرض السيور الناقل فيعتمد على تحديد سعة الناقل وسرعة التشغيل وزاوية حجز المادة trough angle الموضحة في الشكل (٨-٣) وكذلك على عمق السيور.

نعطي سعة الناقل بالعلاقة الآتية :

$$Q = A \cdot V$$

حيث:

A: مساحة مقطع السيور المسطح، م²

V: سرعة السيور الخطية م . ثا⁻¹

وتعطى القدرة اللازمة لتشغيل الناقل نظرياً بالعلاقة الآتية :

$$H_p = T_e \cdot V$$

T_e: مقدار الشد الفعال في السيور الناقل، نيوتن

V : سرعة السيور الناقل، م . ثا⁻¹

وهناك بعض العلاقات التجريبية لحساب هذه القدرة وترتبط بسرعة السيور الناقل وسعة الناقل ومقدار الرفع كما موضح في العلاقات الآتية :

$$H_{p1} = \frac{V}{0.3048} \times \frac{(A+B)(3.281 \cdot L)}{100}$$

$$H_{p2} = Q \times \frac{0.48 \cdot 0.01 \cdot L}{100}$$

$$H_{p3} = \frac{h}{0.3048} \times 1.015 \times \frac{Q}{1000}$$

حيث:

V : سرعة السير الخطية م . د⁻¹

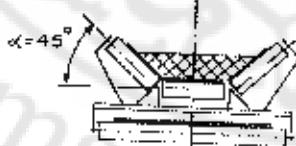
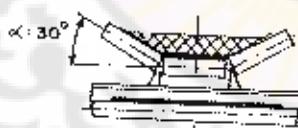
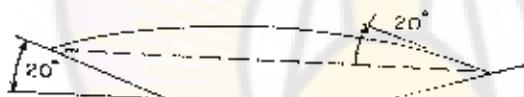
(A,B : ثوابت ترتبط بعرض السير الناقل وهي قيم جدولية ، الجدول (A-1)

L: اطوال السير الناقل، م

Q: سعة الناقل،طن . ساعة⁻¹

h: مقدار الرفع، م

وتقىستخدم هذه السيور لنقل أنواع كثيرة من المواد وبشكل عام تستخدلم للمواد التي لا تزيد زاوية الراحة لها عن ٣٥ درجة. بين الجدول (A-2) بعض الخصائص التصميمية لهذه السيور .



شكل (A-2): زاوية حجز المواد على سطح السير

جدول (٨-١) قيم التأثيرات لحساب عرض المسير

B	A	عرض المسير، سم
٠٠٠١٤٠	٠.٢٠	٣٦
٠٠٠١٤٠	٠.٢٥	٤١
٠٠٠١٦٢	٠.٣٠	٤٦
٠٠٠١٨٧	٠.٣٠	٥٠
٠٠٠٢٢٤	٠.٣٦	٦٠
٠٠٠٢٩٨	٠.٤٨	٧٦

جدول (٨-٢) : بعض الخصائص التصميمية للمسير

الاستخدام	عرض المسير (سم)	مترعه المسير م - د	قطر الطارة الحاملة للمسير ، سم Idler Diam.
جميع أنواع المواد	٥٠.٨		
مواد تصل كثافتها حتى ٨٠٠ كغ / م ^٣	٦١.٠	٩١	١٠
مواد تصل كثافتها حتى ١٦٠٠ كغ / م ^٣	٧٦		
	٦١	١٥٢	
مواد تصل كثافتها حتى ١٦٠٠ كغ / م ^٣	٩١	٩١	١٢.٥
جميع أنواع المواد	٩١	٩١	١٥

٤-٤ - الناقل الحزوني

تستخدم الناقل الحزوني لنقل المواد حرة السريان مثل الحبوب والمواد الليفية الصعبة والمساحيق، فعلى سبيل المثال تستخدم بشكل واسع في نوافل الحبوب والمباني الزراعية وكذلك في مصانع تصنيع الأعلاف ولحمل الحبوب إلى صوامع التخزين، وهي عبارة عن حزرون يلتف حول عمود أو محور الدوران بخطوة في каждة ثابتة أي أنها تتخذ وضعًا مماثلاً على مسافات ثابتة ويدور عمود الحركة داخل كراسي مثبتة على قاعدة التحميل ويدور الحزرون الناقل داخل مجرى على شكل حرف U بغطاء أو بدون غطاء حسب الغرض من التشغيل.

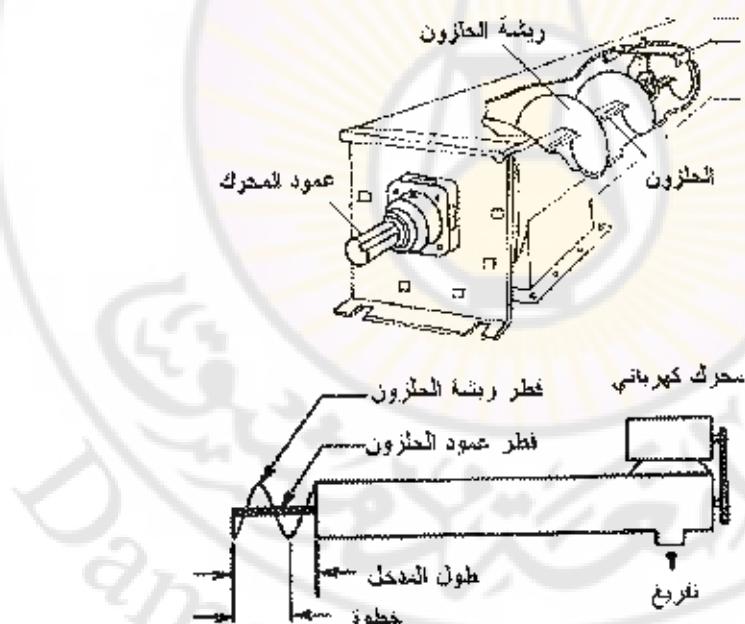
١-٤-٤ - خصائص الناقل الحزوني

- يستخدم في نقل الحبوب والمساحيق والمواد ذات اللزوجة العالية مثل الحليب الجاف والأعلاف والأرز.
- بسيطة التصميم وخالية من الأطراف الحادة وتمنع تطاير الأتربة منها كما أنها سهلة الفك والتركيب.
- تستخدم لنقل المنقطع أو المستمر.
- لا تنقل أو ترفع المواد إلا لمسافات محدودة.
- تكاليف صناعتها معندة.
- القدرة اللازمة لتشغيلها مرتفعة نوعاً ما.
- تستخدم لنقل المواد أفقياً أو على ميل اقصاه ٢٠ درجة.

٤-٤-٥ - الشكل التصميمي للناقل الحزوني

يتكون الناقل الحزوني screw conveyor كما هو مبين في الشكل (٤-٨) من عمود يحمل ريش حزوني على سطحه الخارجي، تكون هذه السريش مغلقة في الحزرون الأنفي أو متوضعة داخل أنبوب كما هو في حزرون الرافع الرأسي حيث يترك الأنبوب أو القناة ثابتة بينما يسبب دوران الريش تحريك المواد في الاتجاه الطولي، فعند جهة المدخل تمتد ريش الحزرون إلى خارج الأنبوب، وبشكل عام يوجد قادوس لاحتواء المواد أثناء نقلها إلى الأنبوب ويمكن تركيب الحزرون بصفة دائمة في

الآلية أو عند الموقع أو يمكن أن تكون قابلة للنقل ويدور الحزون من جهة المدخل أو من جهة المخرج وتوجد بعض الحزونات التي تدار من المركز ولكنها غير شائعة في التطبيقات الزراعية. يحدد طول الحزون بطول مجمع الأنابيب شاملًا المدخل، ولكن لا يشمل خزان أو مجمع الدخول أو رأس الجزء الدوار وطول المدخل هو الريشة المرئية عند مدخل الحزون يمثل القطر الخارجي لريش الحزوني. وبصفة عامة لا تقل الخطوة عن ١٠٩ ولا تزيد عن ١٠٥ من القطر الخارجي . تستخدم الوالب ذات الخطوة التقليدية للانقل الأفقي والمائل بزاوية حتى ٢٠ درجة ، أمّا لزويايا ميل أكثر من ٢٠ درجة فتستخدم الوالب ذات خطوات نصف تقليدية وتوجد حزونات ذات ريش مزدوجة وثلاثية، وخطوات متغيرة، وأقطار متدرجة، لتحريك المواد الصعبة والتحكم في معدلات التغذية.



الشكل (٤-٨) : الشكل التصميمي للناقل الحزوني

٤-٣ - حساب سعة الناقل الحزوني وقدرته

تعتمد سعة الناقل الحزوني على الأبعاد التصميمية للناقل مثل قطر الحزون وطول الخطوة وعمق الخطوة وزاوية ميل الريش كما هو موضح في الشكل (٤-٥) وتعطى سعة الناقل الحزوني بالعلاقة الآتية :

$$Q_{th} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) l_p n$$

حيث:

Q_{th} : السعة الحجمية النظرية، م^٣ . ثا^١

D: قطر الحزون ، م

d: قطر عمود الحزون ، م

l_p: طول الخطوة ، م

N: السرعة الدورانية ، دورة . د^{-١}

وفي الواقع تُعد السعة الحقيقة للحزون أقل من السعة النظرية ويُعبر عنها من خلال

الكفاءة الحجمية، وتعرف الكفاءة الحجمية كالتالي:

حيث:

η: الكفاءة الحجمية ، %

Q_{th} ، Q_a : السعة الحقيقة والسعه النظرية على التوالي

وتعطى القدرة اللازمة للنقل بواسطة الحزون بالعلاقة الآتية :

$$H_p = Q_a \cdot L \cdot W \cdot F$$

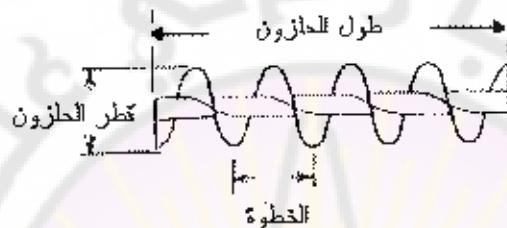
حيث:

Q_0 : سعة الناقل ، $\text{م}^3 \cdot \text{س}^{-1}$

L : طول الناقل ، م

W : كثافة المادة، كجم . م^{-3}

F : معامل يتعلق بنوع المادة



شكل (٤-٨) : تفاصيل ناقل حلزوني

٤-٤-٤ - المواد المستعملة في صناعة حلزون النقل

تستعمل خامات مختلفة في صناعة الحلزون (البريمة) حسب المواد المراد نقلها فتصنع البريمة أحياناً من الصاج غير القابل للصدأ أو من النحاس أو الحديد الصهر حسب طبيعة المواد المنقوله سواء كانت ساخنة أو كاوية وأحياناً يغطي سطح البريمة بطبقة صلبة عندما تكون المواد المنقوله ذات قوام خشن جداً وفي حالة استخدام الحلزون في عملية التصنيع مباشرة كعمليات التصنيع بالبثق extrusion process فتقطع بطبقة من الفولاذ غير قابل للصدأ والكروم.

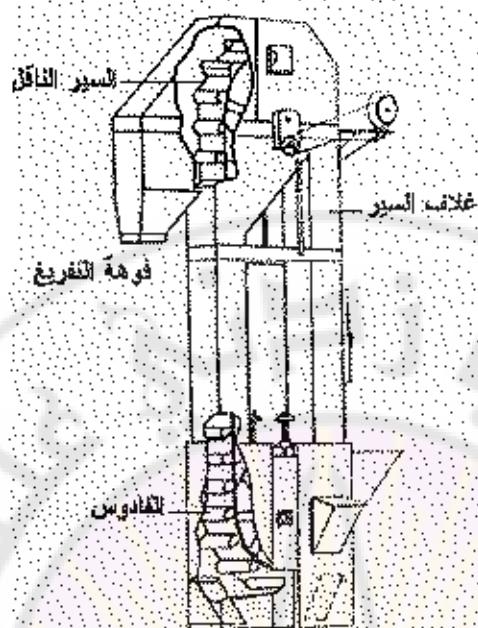
٤-٥ - النقل بالقواديس (الدلو) Bucket Conveyor

يمكن اعتبارها حالة خاصة من السير الناقل أو الجنزير وهي عبارة عن مجموعة من القواديس مثبتة على مسافات متساوية في سير ناقل أو متصلة ببعضها بعضًا بواسطة جزير المواقفي الرافعة ذات الكفاءة العالية بالرغم من أن تكاليفها

الإنسانية مرتفعة وترجع كفافتها العالية إلى أن المواد المنقوله بواسطتها لا تنزلق ولا توجد حركة نسبية بين المواد المنقوله والقواديس المنقوله داخلها وتستخدم هذه النماذل للنقل الرأسي للمواد حرارة السرير مثل الحبوب الصغيرة ومكعبات الأعلاف في مصانع الأعلاف.

١-٥-٨ - الشكل التصميمي للناقل بالقادوس

يتكون هذا الناقل كما هو مبين في الشكل (٨-٦) من سير ناقل أو جنريل رُكب على محيطه مجموعة من قواديس (أكواب) مركبة على سير بمسافات متساوية ويدور السير على بكرتين تقعان في قمة دافع المجسم ذو الشكل المستطيل. ومع دوران السير تزحف القواديس بعض المادة من القاع وتترفع إلى أعلى وعند القمة تفرغ المواد من القواديس مع مرورها حول البكرة العليا والمصممة لقلب إلى أسفل ويتراوح ارتفاع القواديس من (٧٠.٦٢-١٠.١٦ سم) حتى (٣٥.٥٦ - ٢٠.٣٢ سم) ويتراوح المسافة بين القواديس من (١١.٤٣-٤٩.٠٠ سم) وتتراوح سرعة السير من ١٠.٢ م . ثا^١ إلى ٣.٣ م . ثا^١ تعتمد سعة الرافع على حجم القادوس والمسافة بين القواديس وسرعة السير بصفة عامة وتحصل سعة الناقل هذا من ٧ - ٣٥ م^٢ ساعة^{-١}.



شكل (٨-٦): أجزاء السيور الناقل

٨-٥-٤ - مبدأ التفريغ في النواقل ذات القادوس

يعتمد مبدأ التفريغ على العلاقة بين سرعة العجلة العليا وقطر هذه العجلة كمساواة هو موضح في الشكل (٨-٧) ، حيث يتعرض المواد إلى قوى متعددة منها قسوة الجاذبية ذات التأثير باتجاه الأرض وقوة الطرد المركزي المؤثرة قطرياً من مركز عجلة الرأس ، ومن أجل التفريغ الكامل للقادوس بحيث يتأخر بداینة التدفق من القادوس إلى ما بعد مروره من أعلى وضع في عجلة الرأس ، لذلك سوف يحدث التفريغ عندما تتساوی قوتا الجاذبية والطرد المركزي ويحدث هذا فقط من خلال تساوي وزن الحبوب مع قوة الطرد المركزي الممثلة بالعلاقة الآتية :

ومنه نجد سرعة التفريغ:

$$V = \sqrt{g \cdot R} = 2\pi \cdot R \cdot n$$

ويمكن حساب سرعة الدوران المناسبة من العلاقة الآتية :

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{R}}$$

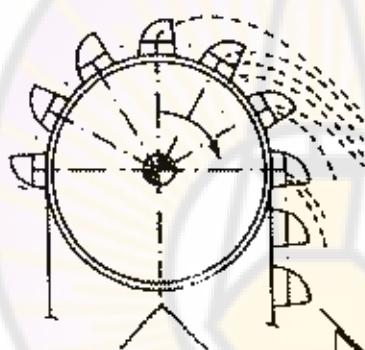
حيث :

W : وزن المادّة، نيوتن

V : سرعة المسير ، م . ثا⁻¹

g : تسارع الجاذبية ، م . ثا⁻²

R : نصف قطرى الجاذبية لمركز القادوس.



شكل (A-٧) : مبدأ التفريغ

٤-٣ - حساب سعة الناقل وقوته

تعتمد السعة الكلية للقادوس على سعة "الكوب" نفسه والمسافة بينها وسرعة المسير أو الجذب الرامل للقمراديس.

وتحسب سعة الرافع من العلاقة الآتية :

$$Q = \frac{V_b \cdot V}{s}$$

حيث :

$$Q : \text{سعة الرافع ، م}^3 . \text{ثا}^-1 .$$

$$V_b : \text{حجم القذوس ، م}^3$$

$$v : \text{سرعة المير ، م} . \text{ثا}^-1$$

$$S : \text{المسافة بين القواديس ، م}$$

تصرف القدرة في هذه الحالة على عرف المواد من القذوس ورفعها وتغريغها بالإضافة إلى تحريك كمية صغيرة من الهواء والتغلب على مقلومات الاحتكاك المختلفة، ويتم إضافة ١٥-١٠% فقط للحصول على القدرة الحقيقية، وتحسب القدرة النظرية اللازمة لتشغيل الرافع من العلاقة الآتية :

$$H_{pb} = \rho_p \cdot g \cdot Q \cdot h$$

حيث :

$$H_{pb} : \text{قدرة الناقل ، واط}$$

$$\rho_p : \text{الكتافة الظاهرية ، كغ} . \text{م}^{-3}$$

$$h : \text{ارتفاع المواد المنقولة ، م}$$

$$Q : \text{سعة الرافع ، م}^3 . \text{ثا}^-1 .$$

٦-٨ - النقل بالهواء: pneumatic Conveyor:

تستعمل هذه الطريقة عادة لنقل المواد المحببة في أنفاق أو عند الصعوبة في نقل المواد بالطرق المبابقة وذلك بواسطة السرعة العالية للهواء سواء كان النقل بالضغط أو الانبعاث معاً، يتم نقل المواد الزراعية وخاصة الحبوب بواسطة الهواء عن طريق الاستفادة من الطاقة الحركية للهواء في حمل الحبوب ونقلها من مكان إلى آخر، وتستخدم هذه النوافل في أماكن يصعب الوصول إليها باستخدام نوافل آلة أخرى ولكنها تحتاج إلى قدرة نوعية أكبر بالمقارنة مع النوافل الأخرى، ومن أهم مميزات النقل بالهواء :

١. سعر إثنائي منخفض
 ٢. بساطة التصميم والتركيب حيث أن الجزء الرئيس المتحرك هو المروحة فقط
 ٣. يمكن تغيير مسار المواد وبنقرعها وتشبعها بمرودة عالية
 ٤. يستخدم في نقل المواد المختلفة مثل الغبار والألياف والرمل والحبوب والمساحيق والقطن ومواد أخرى.
 ٥. الجهاز ينظف نفسه بنفسه
- ومن أهم عيوب النقل بالهواء
١. يلزم قدرة عالية للتشغيل
 ٢. احتمال حدوث تلف لبعض المواد المنقوله
- وتلخص الطرق المختلفة للنقل بالهواء في ثلاثة طرق رئيسية:
- طريقة الشفط أو السحب Suction: تعمل على ضغط منخفض أقل من الضغط الجوي وتعتبر أفضل طريقة لنقل المواد إلى أماكن منخفضة كالتفريغ من الشاحنات ومقطورات سكة الحديد ونقل الحبوب من السفن وكذلك تستخدم لنقل المواد ذات القولم الخاص الذي لا يمر بسهولة من الصعوبات (المحابس) أو المراروح مثل القطن.

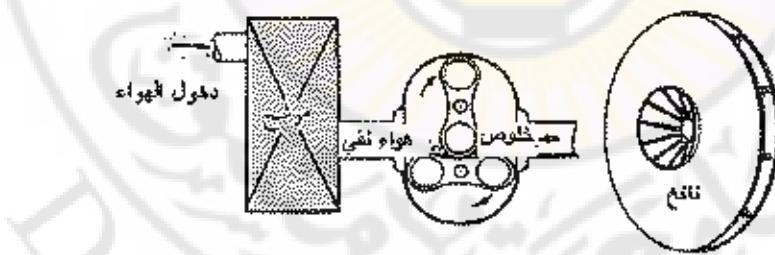
• طريقة الضغط المنخفض Low pressure System: وفيها تستخدم مروحة طازجة مركزية تستعمل هواء ذو سرعة عالية وبكتافة منخفضة (ضغط الهواء يصل إلى ٣٥ سم ماء رفع).

• طريقة الهواء ذي الضغط العالي High pressure System: وفيها يستخدم هواء ذو سرعة منخفضة وبكتافة مرتفعة وعادة تستعمل لهذا الغرض المراروح أو ضواحيط الهواء ذات الإزاحة الإيجابية وتتدخل العادة إلى المروحة مباشرةً أو عن طريق خراطيش مرنّة وتعتبر طريقة الضغط العالي الأكثر كفاءة مقارنة مع طريقة الشفط وتستخدم هذه الطريقة عندما تكون أماكن التفريغ أو التصريف متغيرة كتحميل العربات والمقطورات والخرادات.

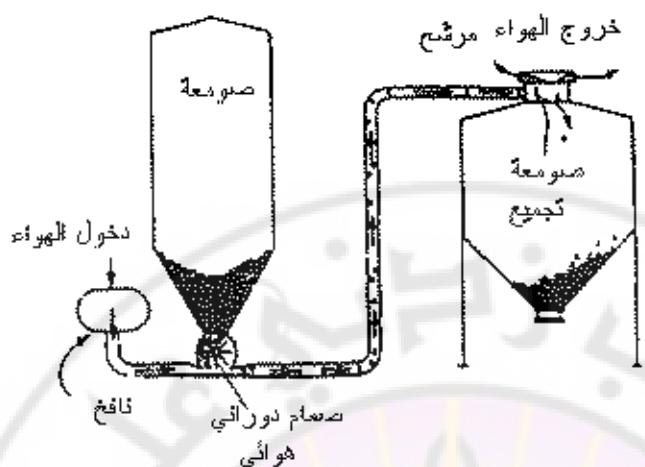
١-٦-٨ - مكونات نظام النقل بالهواء

ت تكون هذه المنظومة من المكونات الآتية :

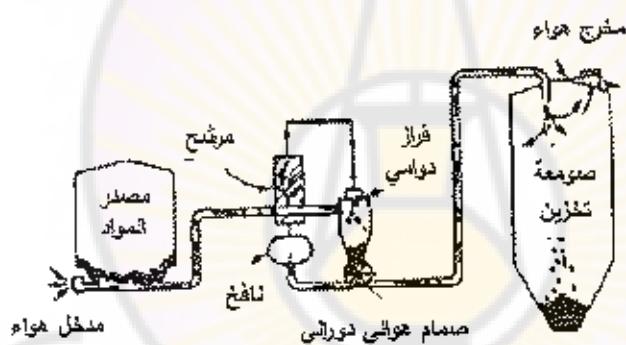
- ١ - منظومة تحريك الهواء: وت تكون هذه المنظومة كما هو مبين في الشكل (٨-٨) من محرك كهربائي يقود مروحة أو دافخاً هوائياً حيث تقوم هذه الوحدة بتمويل الهواء عند ضغط معين وتصل الضغوط إلى (٦٩ ك.بascal) ، يمكن أن تكون هذه المنظومة ذات ضغط موجب كما هو مبين في الشكل (٨-٩) حيث يكون الضغط مرتفعاً (٦٩ ك.بascal) ، وفي هذه الحالة يمكن نقل المواد من نقطة واحدة إلى العديد من النقاط المختلفة ولا توجد حاجة لفراز دوامي ومجمع للغبار ويمكن الحصول على سعات عالية من وحدات أصغر نسبياً بسبب ضغوط التشغيل العالية، ويمكن أن تكون المنظومة ذات ضغط سالب وموجب معاً حيث يستخدم التفريغ لسحب المواد إلى المنظومة، بينما يتم استخدام الضغط لنقل وتحريك الهواء كما هو مبين في الشكل (١٠ - ٨).



شكل (٨-٨) : منظومة تحريك هواء

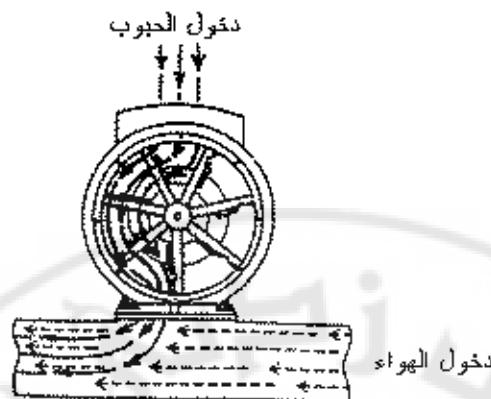


شكل (٨-٩) : منظومة نقل الهواء ذات ضغط موجب



شكل (٨-١٠) : منظومة نقل الهواء تعمل بالضغط السائب والمنسوب معاً

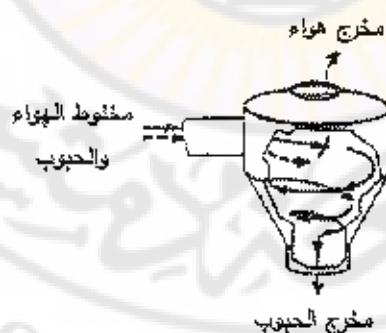
٢ منظومة التغذية: تشمل خزانات لجمع المواد المراد نقلها حيث يزود هذا الخزان بفتحة لتنفيس الضغط وصمام هوائي ودارة للتحكم بمعدل مرور المادة، الشكل (٨-١١).



شكل (١١ - ٨) : الصمام الهوائي الدوار

٣- منظومة الطرد: أنابيب الطرد و جهاز الفرز الدوامي الشكل (١٢ - ٨) اللازم لإبعاد حركة الحبوب من أجل سقوطها في القاع و فصلها عن الهواء وهو بحاجة إلى مرشح لإزالة الأتربة من الهواء قبل دخولها ويمكن أن يوجد أكثر من جهاز فرز وذلك لتخفيف التلف عن الحبوب.

٤- خطوط الأنابيب والتوصيلات: وهي الأنابيب الازمة لعمليات النقل ويجب مراعاة اختيار هذه الأنابيب من حيث القطر وسمك الجدار ومادة الأنابيب ويجب أن تكون مادة الأنابيب مقاومة للتأكل.



شكل (٨- ١٢) : الفرز الدوامي

٤-٦-٨ - منظليات القدرة.

يعتمد حساب القدرة اللازمة للهواء الفيسي على معدل التدفق الحجمي للهواء المنقول والهبوط الكلي للضغط في النظام وتحسب قدرة المروحة من العلاقة الآتية :

حيث:

H_p : قدرة النافخ، واط

ΔP : فقد الكلي في الضغط، باسكال

Q : معدل التدفق الحجمي، م^٣ . ثـ^{-١}

η : الكفاءة الميكانيكية للنافخ، ٠.٥ - ٠.٧

الفصل التاسع
فرز المواد الزراعية وتصنيعها
Sorting and grading of agriculture products

مقدمة

إنَّ مفهوم مصطلح الفرز sorting والتدرج grading يحملان معنى متقارباً لذلك يمكن أن نعرف عملية الفرز بأنها عملية تُجرى على المواد الأولية وذلك حسب خاصية واحدة مثل الوزن أو الحجم أو الشكل وهكذا، أمّا مفهوم التدرج فهو عملية فرز على أساس الجودة للمادة الأولية أو حسب تدرج اللون وبشكل عام تتعرض جميع المواد الأولية لعمليات فرز وتدرج ولعمليات الفرز والتدرج فوائد تسويفية هامة من حيث التجانس في اللون والوزن والحجم والشكل، وكذلك تساهم عمليات الفرز والتدرج في عمليات التصنيع المختلفة مثل التعقيم والتجميف والتبريد وكذلك يؤثر في عمليات التصنيع الميكانيكية مثل عمليات تصغير الأحجام (size reduction) . تتم عملية الفرز اعتماداً على خاصية واحدة من لخصائص الطبيعية للمواد الزراعية وهذه لخاصية تتعلق بمجموعة من العوامل منها: جودة المادة الزراعية وبطريقة التعبئة والنقل والتخزين . تتم عملية الفرز إما بالطريقة التقليدية يدوياً أو ميكانيكيًا أو بالطريقة الحديثة المؤتمنة بشكل كامل.

ترجع أهمية فرز المنتجات الزراعية والغذائية إلى العوامل الآتية :

- ١- تسهل من عملية مكتبة عمليات التصنيع والتحضير للتصنيع كعمليات التقشير في تعليب الفواكه وفي الحصول على عصير الفاكهة والحمضيات.
- ٢- وجود نوع من التجانس في المادة، حيث يؤثر هذا التجانس (نفس الحجم، نفس الوزن، نفس اللون) في عمليات النقل الحراري خلال عمليات التصنيع أو عمليات تخزين الخضار والفواكه في المخازن المبردة.
- ٣- إمكانية استخدام عبوات قياسية وفقاً لدرجة كل نوع من هذه الأنواع مما يعني إمكانية تداول ونقل أصناف وأحجام مختلفة حسب ذوق المستهلك.

٤- تُشكّل عملية فرز وتصنيف المواد الزراعية إلى درجات مختلفة أو ألوان مختلفة أهمية بالنسبة لعمليات التسويق و عنصر جذب المستهلكين.

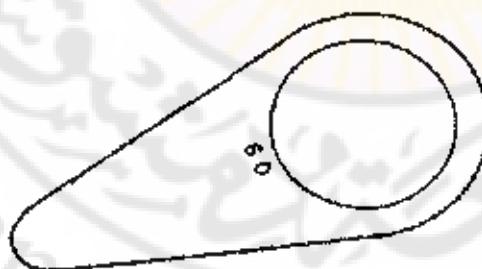
١-٩ - تقانات الفرز اليدوية

يقصد بالطريقة التقليدية في عمليات فرز الخضار والفواكه وتدریجها استخدام الطريقة اليدوية بواسطة العمال في لجأاز عمليات الفرز، حيث تعتمد هذه الطريقة على وجود عدد كبير من العمال المدربين في إجراء أعمال الفرز ويتم الفرز اعتماداً على الخبرة من قبل هؤلاء العمال وتجري عمليات الفرز والتدریج بشكل عام من أجل عمليات التصنيع والتعبئة والتغليف، وتعتبر عمليات الفرز والتدریج من العمليات الرئيسية في عمليات ما بعد القطاف والتي تطبق على المواد الزراعية عموماً والفواكه خصوصاً ومن بين هذه التقانات:

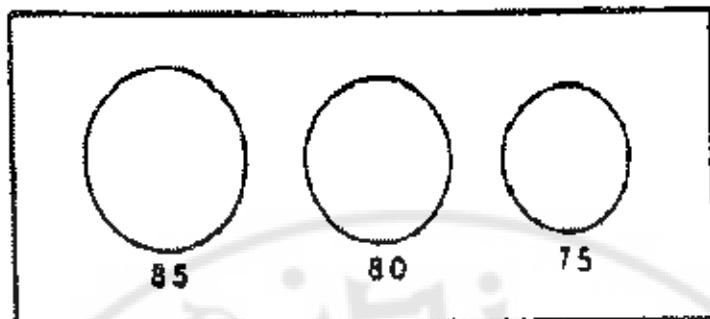
١- استخدام الحلقات اليدوية: تصمم هذه الأداة اللازمة للتدریج الشكل

(١-٩) والشكل (٢-٩)، بما من ثقب واحد بمقاييس محددة أو من عدة

ثقوب بمقاييس مختلفة، وتصنع هذه الأداة من الخشب ويستخدم ذراع لحمل هذه الأداة وغالباً ما تستخدم هذه الأداة للأجسام ذات الشكل الكروي، ولكن تميّز هذه الطريقة بالصعوبة والمشقة والحاجة إلى أدوات كثيرة ذات أنظار متعددة.



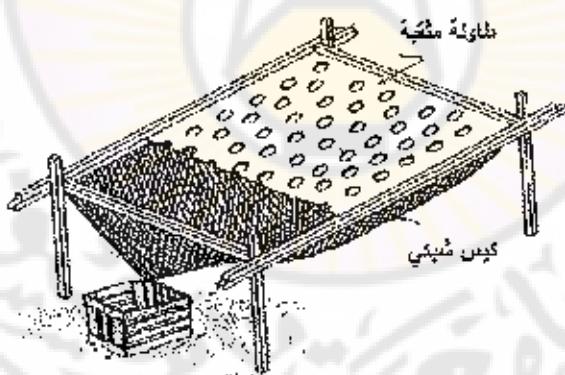
شكل (١-٩): أداة فرز يدوية بثقب واحد



شكل (٩-٢) : أداة فرز يدوية بتنقوب متعددة

٤- طريقة الطاولات المثقبة

تشبه هذه الطريقة السابقة إلا أنه يوجد في هذه الطريقة الشكل (٩-٣)، مجموعة من الطاولات ذات التقويب ويتم إلقاء الحمولة على الطاولات جميعها ويوجد أسفل الطاولة شباك لتجمیع الثمار ومن خلال مرور الثمار يمكن تصنیفها إلى درجات مختلفة.

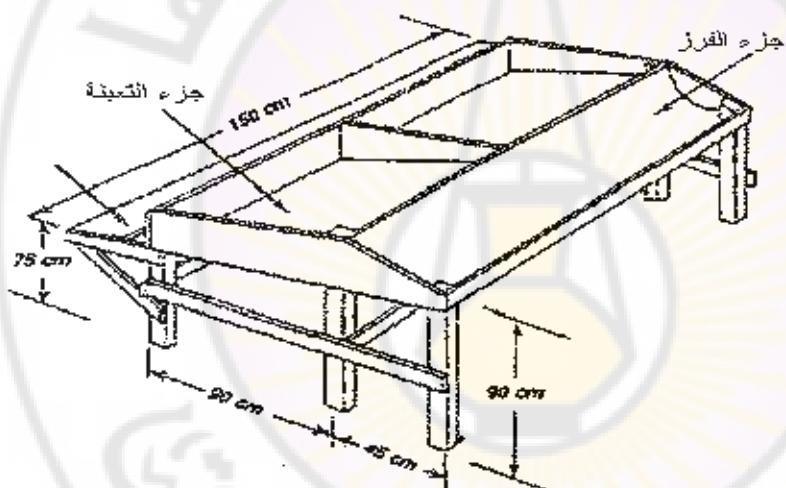


شكل (٩-٣) : طريقة الفرز باستخدام الطاولات المثقبة

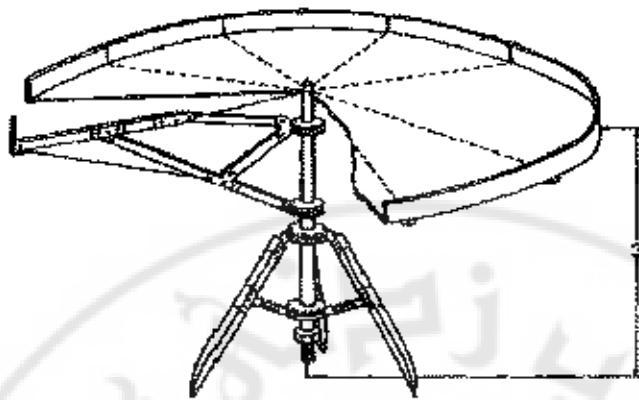
٣- أنظمة الفرز الثابتة باستخدام الطاولات

تجرى عمليات الفرز اليدوي باستخدام الطاولات بفرض التعبئة وذلك باستخدام طاولات خاصة حيث تقسم هذه الطاولة، الشكل (٩-٤) إلى أقسام عديدة منها: قسم يختص بعمليات الفرز وهو الجزء من الطاولة الذي توضع فيه المادة المراد فرزها، والقسم الثاني توضع فيه المادة المراد تعبئتها، ويتم تخصيص عمال مختصين لكل حيز من هذه الطاولة ، بينما يقوم القسم الآخر بعملية التعبئة وثم تطوير هذه الطاولات لتكون ذات شكل دائري بحيث يزداد عدد الخلافات اللازمة لعمليات الفرز والتعبئة،

الشكل (٩-٥).



شكل (٩-٤): طاولة الفرز الثابتة



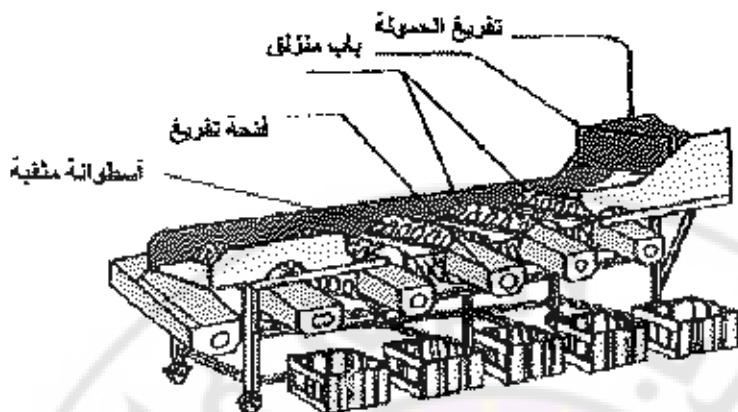
شكل (٩-٥) : طاولة فرز دائرية

٤-٩ - تقنيات الفرز الميكانيكية

تشتمل هذه التقانة على مجموعة من الطرق المختلفة والتي تعتمد على حركة المادة بواسطة قوى ميكانيكية حيث تتحرك المواد المراد فرزها على طول سير ناقل أو من خلال أسطوانات حيث يقوم مجموعة من العمال بإكمال عملية الفرز بكل يدوي ومن أهم هذه الطرق:

١- طريقة الفرز باستخدام الأسطوانات

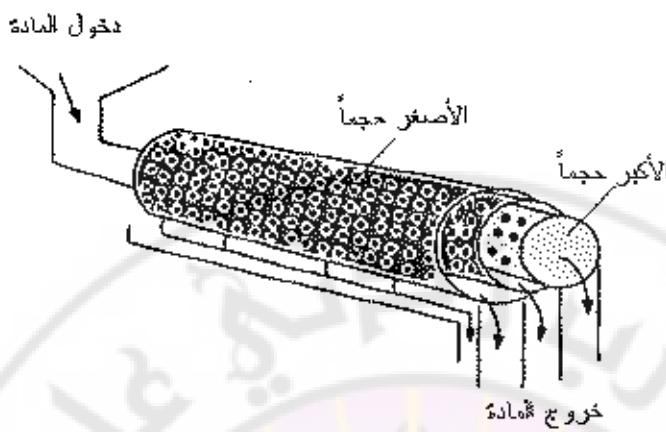
تعتبر هذه الطريقة من التقانات الحديثة نسبياً في عمليات الفرز والتغريح حيث تتكون هذه الوحدة، الشكل (٩-٦) من طاولة يركب عليها مجموعة أسطوانات ذات قطر خارجي واحد، تثبت هذه الأسطوانات على محيطها بثقوب مختلفة ويوضع تحت كل أسطوانة صندوق لجمع المادة المتساقطة ويتم إزالة المادة عن طريق انزالها في المكان المناسب ، تدور هذه الأسطوانات بحركة دورية فقط المواء ذات الأحجام المناسبة من الطرف الآخر وهكذا.



شكل (٩-٦) : طريقة الفرز باستخدام مسطوّنات متعددة

٤- الفرز باستخدام الاسطوانات المتداخلة

تستخدم هذه الطريقة لإجراء عملية الفرز حسب الحجم كما هو مبين في الشكل (٩-٧) وتعتبر هذه الطريقة (طريقة تقليدية) أقل دقة من الفرز على أساس الوزن ولكن تعتبر أسرع وأقل كلفة، تتم هذه العملية بمرور المادة عبر شباك أو أسطوانات شبكيّة مختلفة الأقطار وبحيث يتم عبور المواد من خلال الأسطوانة المناسبة وفقاً لاختلاف أحجامها.



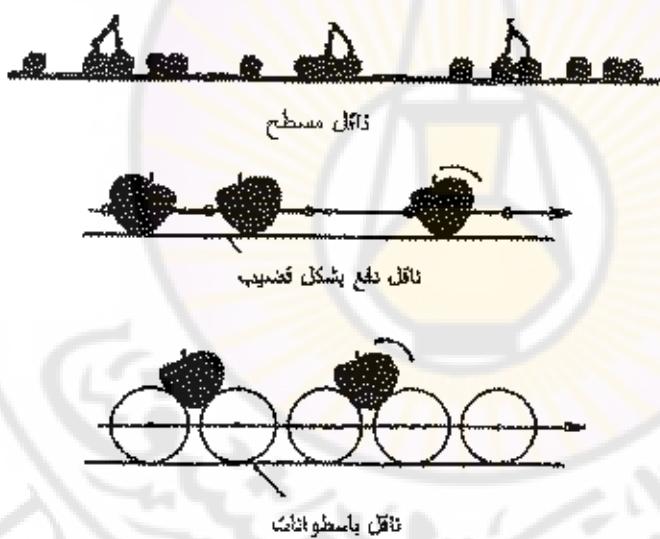
شكل (٩-٧) : طريقة الفرز على أساس الحجم باستخدام اسفلات متداخلة

٣- طريقة الفرز باستخدام السيور الناقلة

تمتاز هذه الطريقة بأنها إلى حد ما تعتبر قريبة إلى الطريقة الحديثة في عمليات الفرز، حيث يتم استخدام سير ناقل يقوم بحمل المواد المراد فرزها بحيث تمر هذه السيور الناقلة أمام العمال وفقط يقوم العامل بالقطاط المادة غير المرغوب بها ودفعها إلى القسم الخاص بالمواد المرفوضة Rejected material. يتم استخدام أنواعاً متعددة من السيور الناقلة وبالتالي المختلف ومنها: السيور المسطحة بشكل حرق S، كما هو مبين في الشكل (٩-٨) أو السيور ذات الاسطوانات المتحركة و المتدحرجة Roller drive surface. كما هو مبين في الشكل (٩-٩).

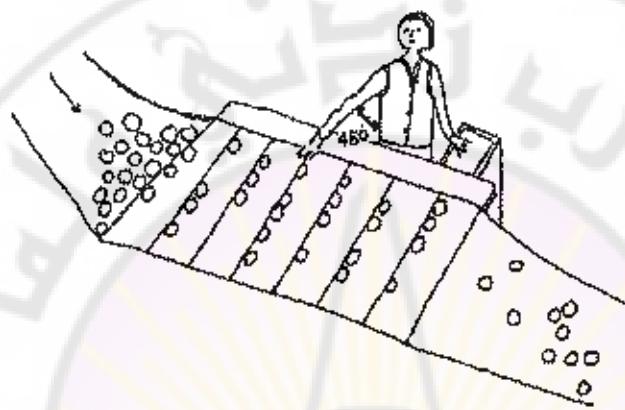


شكل (٩ - ٨) : فرز البنودرة باستخدام المبيور للمسطحة



شكل (٩ - ٩) : نظام الفرز بالميور للنقاوة

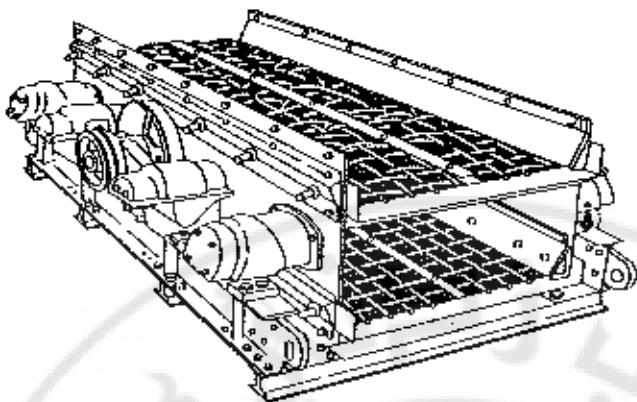
ويوصى لقاء عمليات الفرز هذه أن تميل دراع العامل بزاوية ٤٥° وذلك عندما تكون يد العامل ممتدة إلى السير، وأن تكون أبعد الطاولة أو السير الناقل لا تزيد عن ٥٠ سم وذلك لضمان وصول يد العامل إلى كامل الخط ولتأمين مصدر إثارة حيد، كما هو موضح في الشكل (٩-١٠).



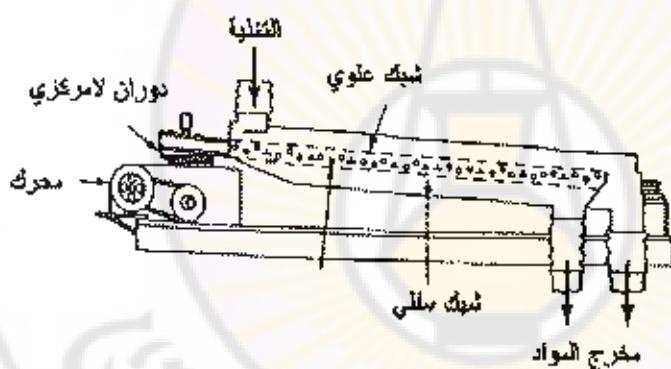
شكل (٩-١٠) : طريقة وقف العامل الصحيحة خلف الطاولة

٤ - الشباك الأفقيه flat-bed-screens

تتكون من إطار يركب عليه شبك ذي ثقوب معروفة الأقطار، شكل (٩-١١)، وتوضع مجموعة من الشباك فوق بعضها بعضاً مع اختلاف أحجامها وتميل عن الأفق قليلاً، تتحرك هذه الشباك حركة ترددية ويتم تغذية المادة المراد فرزها من أعلى ومن ثم تتحرك التمار ذات القطر المناسب إلى الممر الخاص بها عبر قنوات خاصة ومن ثم إلى خزان التجميع والتي تنتقل فيما بعد إلى طباولات التعبئة والتغليف، وتستخدم هذه الطريقة في فرز البازلاء (peas)، والفاصلين (beans) والمأowاد المشابهة لها، يبين الشكل (٩-١٢) مبدأ عمل هذه الآلات.



شكل رقم (١١ - ٩) : منظر عام في آلية فرز ذات الشبك المجهزة

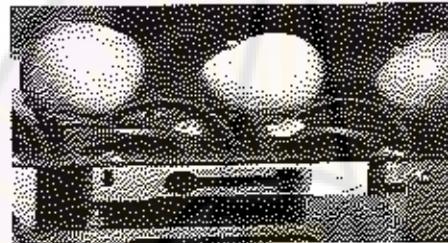


شكل (٩-١٤) : مبدأ الفرز باستخدام الشبك المجهزة

٣-٩ - تقانات الفرز الحديثة

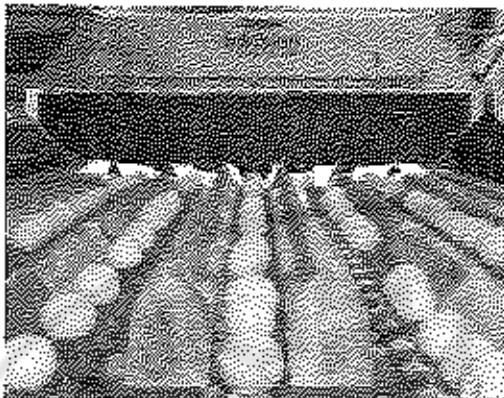
يتم في هذه الطريقة استخدام تقنية التصوير الرقمي والبرامج الحاسوبية للتحكم بعملية الفرز، لذلك فإن عملية الفرز بهذه الطريقة تعتمد على اختيار خاصية واحدة للمادة المراد فرزها ، ومن أهم طرائق الفرز هذه ما يأتي :

١- الفرز على أساس الوزن: تعتبر عملية الفرز على أساس الوزن كما هو موضح في الشكل (٩-١٣) من أدق عمليات الفرز وهي طريقة مستعملة في كثير من المواد الزراعية مثل البيض والفواكه والخضار، وتم هذه الطريقة باستخدام ميزان كهربائي وسizer ناقل وأجهزة تحكم بحيث تمر الفاكهة المختلفة عبر بوابات مخصصة حسب الوزن المطلوب، ويتم التحكم بهذه العملية من خلال الحاسوب الآلي ويتم قسراء وزن الثمرة الواحدة بمعدل ٢٥٠ قراءة في أقل من ١/١ ثانية، تمثاز هذه الطريقة بسرعة إنجاز العمليات و يصل وزن المواد التي يمكن وزنها بهذه الطريقة من ٢٥ غ إلى ٢٠٠٠ غ.



شكل (٩-١٣) : مبدأ فرز النفايات على أساس الوزن

٢- الفرز على أساس الكثافة: تتم عملية الفرز بالطريقة التقليدية باستخدام محلائل ملحية مختلفة التراكيز أو بطريقة الفرز الحديثة كما هو مبين في الشكل (٩-١٤) حيث يعتمد مبدأ هذه الطريقة على حساب كثافة كل ثمرة بشكل مباشر من خلال مجموعة من البيانات المتعلقة بالثمرة. تستخدم هذه الطريقة بشكل رئيسي في ثمار البرتقال، يعتمد مبدأ العمل على قياس قطر الثمرة بشكل دقيق وعلى قياس وزن الثمرة بشكل دقيق أيضاً، ثم يقوم جهاز بحساب كثافة الثمرة بشكل آلي وبالتالي يسمح بمرور الثمار ذات الكثافات المشابهة عبر البوابات المناسبة.



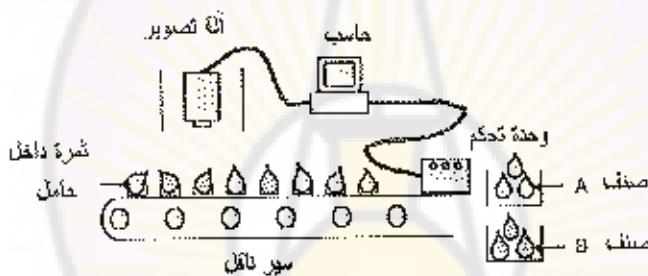
شكل (٩-١٤) : الفرز الآلي حسب الكثافة

٣- الفرز على أساس المواد الصلبة المنحللة "البركس": تستخدم هذه الطريقة مقياس البركس (Brix) وذلك لمعرفة كمية المواد الصلبة والتي تشمل على السكريوز والفركتوز والفيتامينات والأحماض الأمينة حيث تعبر هذه الكميات عن جودة الثمار المرغوب استخدامها للحصول على العصائر، حيث ثبت من خلال التجارب أن قيمة البركس تتغير مع تغير جودة المواد الزراعية: فعلى سبيل المثال فإن العنبر الناتج من أرض فقيرة بالأسدمة يبلغ مؤشر الذوق له "البركس" ٨ بينما تصل هذه القيمة في الأرض الغنية بالأسدمة إلى ٢٤، يتم الفرز بهذه الطريقة عن طريق توجيه أشعة ضوئية إلى الثمرة وبعضاً الأشعة يخترق الثمرة وبعض الآخر ينعكس من الثمرة، لذلك فإن شدة الضوء المنعكس سوف يتغير بتغير الخصائص الداخلية للثمرة لذلك فالثمار المحظوظ على "بركس" أعلى سوف تمتلك أشعة أكثر عند نفس طول الموجة، الفرق في الأشعة المنعكسة لا يمكن ملاحظته بالعين المجردة لذلك يستخدم جهاز spectrometer وهو جهاز التحليل الطيفي لمقارنة الأشعة المنعكسة ويتم استخدام مساحي للإشارة القادمة من مقياس التحليل الطيفي لتحديد نسبة "البركس" أو آية مواصفات أخرى.

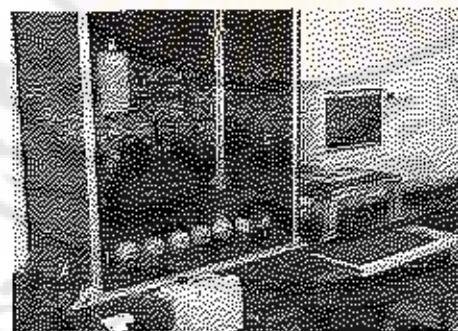
- ٤- الفرز باستخدام المقياس الضوئي : يتم الفرز بهذه الطريقة على أساس لون الثمار حيث يتم استخدام خلايا ضوئية، يعتمد المبدأ على مقارنة الأشعة المنعكسة من المادة مع مرجع قياسي وبذلك يتم استبعاد المادة التي لا تتوافق مع هذا المرجع.
- ٥- الفرز على أساس الشكل: تستخدم هذه الطريقة في حالة فرز التفاح، ويعتمد هذه الطريقة على وجود أفراد أو أسلوبات خاصة تختلف أبدوراً ذات الشكل الصحيح وبنفس المقادير الأخرى .

١-٣-٩ مكونات نظام الفرز الحديث

ويتكون نظام الفرز الحديث كما هو موضح في الشكل (٩-١٥) والشكل (٩-١٦) بشكل من المكونات الآتية :

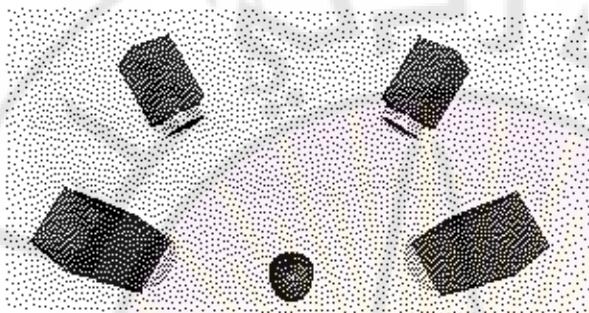


شكل (٩-١٥) : مكونات نظام فرز فواكه حديث

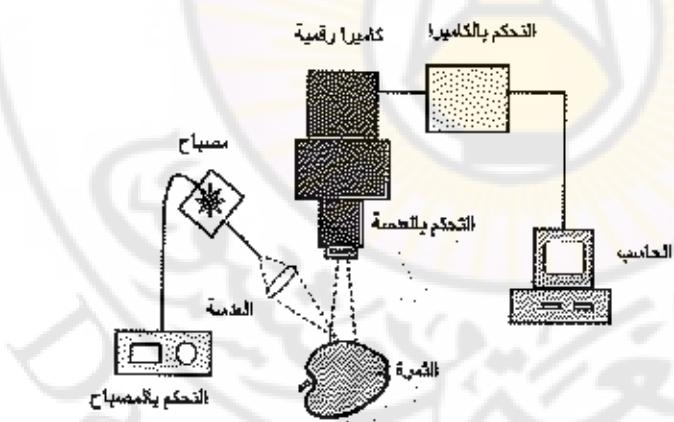


شكل (٩-١٦) : صورة لنظام آلي لفرز التفاح

١ - آلة تصوير رقمية: تُستخدم هذه الآلة لإجراء عمليات التصوير عند مرور الثمار من أمامها، ويتركب هذه الكاميرات فوق خط الفرز ويمكن التقاط أكثر من صورة للثمرة الواحدة. يوضح الشكل (٩-١٧) طريقة التقاط الصورة والشكل (٩-١٨) آلية التقاط الصورة الرقمية ومسار البيانات إلى الوحدة البرمجية.



شكل (٩-١٧) للتقاط صورة للثمرة ذاتاً بأكثر من آلة تصوير



شكل (٩-١٨) : آلية التقاط الصورة الرقمية

٢ - الحاسب الآلي: يفيد وجود الحاسب في إجراء عملية تحليل للصورة التي سوف تنقل إليها من آلة التصوير، ويقوم الحاسب بإجراء تحليل لهذه الصورة وفقاً للبرامج المحمولة عليه بحيث تساهم عملية التحليل في إعطاء إشارة إلى المرحلة الآتية لإجراء عملية الفرز على أساس إحدى الخصائص المطلوبة مثل اللون أو الحجم أو الوزن وهكذا.

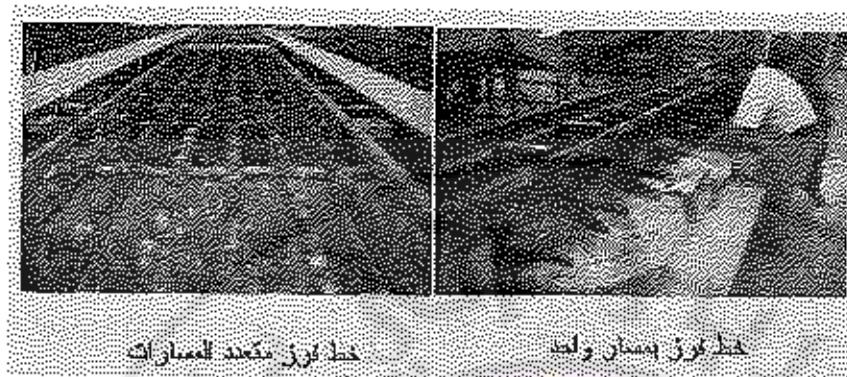
٣ - نظام التحكم: حيث تلتقي وحدة التحكم هذه الإشارة من الحاسب بعد قيامه بعملية تحليل الصورة ثم تقوم وحدة التحكم بتحويل الإشارة هذه إلى إشارة كهربائية ومن ثم ميكانيكية تجبر حامل الثمرة على إلقاء الثمرة في المكان المخصص لها حسب الفئة.

٤ - السير الناقل: وهو يشكل جسم نظام الفرز حيث يقوم بحمل المادة عند سرعة معينة حتى الوصول إلى نهاية الخط وتجميع الحمولة في مكانها المخصص، وتمتاز طرائق الفرز الحديثة بأنها اقتصادية لدرجة كبيرة من خلال إنجاز عمليات الفرز بسرعة كبيرة، ونقل هذه الطريقة من الأخطاء الممكنة من قبل العمال في حالة إجراء عمليات الفرز بشكل يدوي وتمتاز هذه الخطوط بإنتاجية كبيرة، حيث تصل إنتاجية خط يصل طوله إلى ٧٥ م إلى مليون ثمرة في اليوم وهي طفقة إنتاجية كبيرة مقارنة مع الفرز اليدوي.

٢-٣-٩ - أجزاء خطوط الفرز الآلية

تكون أنظمة الفرز والتجميع الحديثة من الأجزاء الرئيسية الآتية :

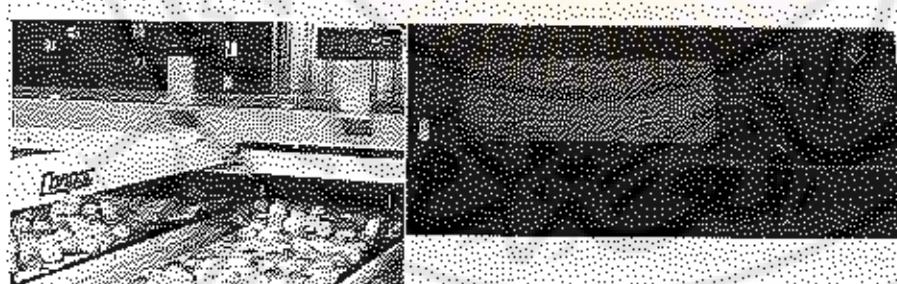
١- خط الفرز **Line sorter**: يتكون خط الفرز من مجموعات من آلات التصوير الرقمية التي ترتكب على طاولة الفرز بهدف إجراء عمليات التصوير الرقمية وبشكل سريع ونقل هذه الصورة بشكل مباشر إلى جهاز المعالجة الذي يعطي الأوامر لبوابات مركبة على خط الفرز للسماح للثمار بالمرور عبر البوابات الخاصة، هذا وتجد خطوط فرز بمسار واحد **Single line** أو خطوط بمسارات متعددة تراوح بين ٤٠ خط ، وتصل إنتاجية الخط الواحد ٦ - ٥طن بالساعة وترتبط سعة خط الفرز الواحد بنوع الثمار وحجمها. الشكل (٩-١٩)



خط فرز التفاح ولقطة فرز معيدي المعايرات

شكل (٩-١٩) : خطوط فرز مختلفة المسارات

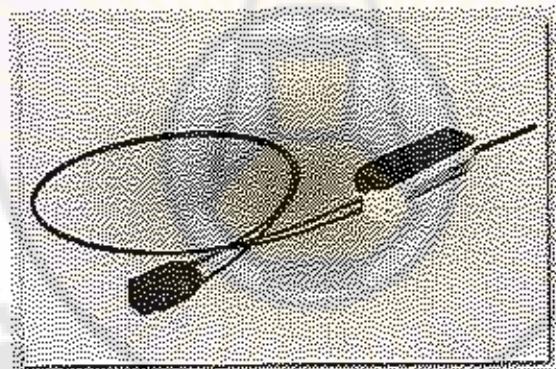
٢ - **وحدات إظهار القيمة** **Outlet displays**: ترکب هذه الوحدات على طول خط الفرز لإظهار القيمة، حيث تظهر هذه الوحدات القيمة الخاصة بالثمار المارة على هذا الخط من حيث أحجام هذه الثمار أو أوزانها، وغالبية هذه الوحدات رقمية وتُستخدم هذه الوحدات لمراقبة عمليات الفرز حسب الحجم أو الوزن وتتنوع قدرة هذه الوحدات بين وحدات خاصة لعمليات التعبئة للأوزان الكبيرة أو لتعبئنة العبوات المصغرة الحجم، وترکب هذه الوحدات عند مخارج خطوط الفرز أي قبل بداية خط التعبئة كما هو موضح بالشكل (٩-٢٠).



شكل (٩-٢٠) : وحدات إظهار المترئنة على خط الفرز

٣- برنامج التحكم بالعمليات **Control software**: يستخدم من أجل عمليات الفرز وتشغيل خطوط الفرز ببرنامج للتحكم بجميع عوامل التشغيل المطلوبة، حيث تظهر جميع البيانات اللازمة لعمليات الفرز على شاشة هذه الحواسيب، بحيث يمكن هذا البرنامج من إجراء عمليات الفرز وفقاً للحجم والشكل والتلوّن والكتافة وغيرها، ويعتمد في ذلك نظام تشغيل النوافذ "ويندوز" مما يعني السهولة في الاستخدام.

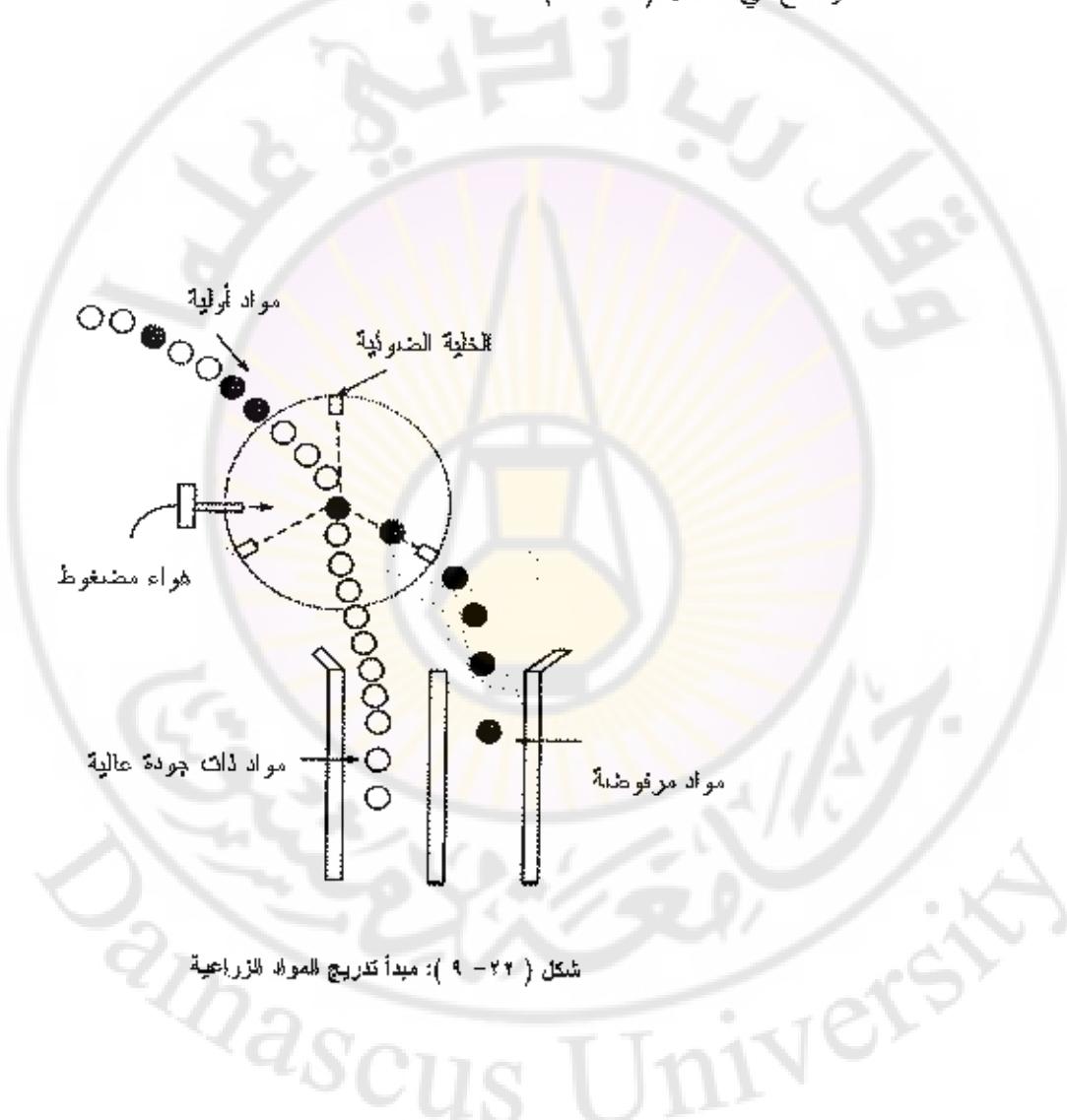
٤- الحساسات **Sensors**: تستخدم الحساسات بشكل مباشر الشكل (٩-٢١) عند إجراء عمليات الفرز على أساس اللون بحيث تستخدم هذه الحساسات مبدأ عكس الأشعة المنعكسة من الشمار وفقاً للون [أحمر أو أخضر أو أزرق، إلخ....] مع شدة الإنارة المطلوبة لعمليات الفرز وفقاً لشدة الإضاءة المطلوبة، وتعمل هذه الحساسات بالتيار المستمر (١٢ - ٢٤ فولت) وعند درجات حرارة ١٠٠°C حتى ٥٥°C ورطوبة نسبية ٣٥% - ٨٥% ولستطاعة قدرها ١.٦ وات.



شكل (٩-٢١): حساس يستخدم في الفرز على أساس اللون

٤-٩ مبدأ التدريج

تعرف عملية التدريج بأنها عملية تصنيف classification للسلعة إلى فئات حسب الجودة ويتم استخدام طرق مشابهة للطرق المستخدمة في عمليات الفرز كما هو موضح في الشكل (٩-٢٢).



وحدات تصغير الأحجام *Size reduction*

١-١-١-تعريف وأهداف تصغير الأحجام

يتم تصغير أحجام الجزيئات من شكلها الأصلي إلى جزيئات أصغر وذلك تمهيداً للعملية التصنيعية اللاحقة وغالباً ما يطلق اسم عملية الجرش (grinding) على تجزئة المواد الصلبة باستخدام قوة الضغط أو قوة الصدم، ونسمى عملية تصغير الجزيئات إلى درجة ناعمة جداً (بودرة أو ما يسمى المساحيق) بعملية الطحن ونسمى عملية تصغير الجزيئات السائلة بعملية المجازسة (homogenization) أو عملية التقشير إلى قطرات (droplets). وتحقق عمليات تصغير الأحجام الفوائد الآتية :

- زيادة المساحة السطحية نسبية إلى الحجم مما يسهم في زيادة معدلات التجفيف والنقل الحرارة والتبريد وغيرها من العمليات اللاحقة.
- تساهم في الحصول على جزيئات متاجسة تسهل من عمليات الخلط.
- يحسن في كثير من الأحيان خصائص الطعام وخصائص أخرى.
- يساعد في الحصول على أحجام وأشكال معينة .

١-٢- مبدأ تصغير الأحجام في الأغذية الصلبة

يوجد ثلاثة أنواع من القوى الميكانيكية التي تستخدم في عمليات تصغير الأحجام وهي:

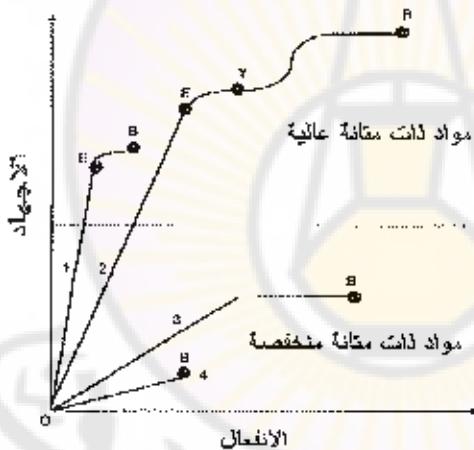
١. قوة الضغط (compression force)

٢. قوة الصدم (impact force)

٣. قوة القص (shearing force)

وخلال عمليات التشغيل لوحدات تصغير الأحجام فإنَّ الأنواع الثلاث من القوى تكون موجودة لإنجاز العملية ولكن غالباً ما تكون إحدى القوى الثلاث رئيسية والأخرى تكون ثانوية .

يعتمد مبدأ العمل في وحدات التشغيل هذه على تطبيق قوة خارجية من مصدر قدرة معين تؤدي إلى توليد إجهاد (stress) يتم امتصاص هذه الطاقة من قبل المادة مما يؤدي إلى نشوء النسخ الداخلية للمادة وفي حالة تم إزالة القوة تعود المادة إلى وضعها الأصلي وتوصف المادة في هذه المرحلة بأنها وصلت إلى حد المرونة (E) ، ويتم تحرير الطاقة التي امتصتها على شكل طاقة حرارية وفي حالة تجاوز تطبيق القوة حد المرونة تنشوء المادة ولا تعود إلى حالتها الأولى حتى نصل إلى نقطة تبدأ عندها المادة بالانسياق وعندها تصل المادة إلى نقطة لخضوع (yield point) (Y) ومع استمرار تطبيق القوة تبدأ المادة بالتحطم (النقطة، B) يتحرر جزء من الطاقة على شكل صوت وحرارة كما هو مبين في الشكل (١٠-١) .



الشكل (١٠ - ١) : منحنى انفعال المادة عند تعرضها لقوة خارجية

٣-١ - الاعتبارات التي تحكم اختيار أجهزة تصغير الحجم

تعتبر عمليات تصغير الأحجام من العمليات الأساسية في عمليات التصنيع وهي من العمليات التي تستهلك طاقة كبيرة لذلك يجب معرفة الدرجة المطلوب تصغير

الحجم إليها، لذلك فإن اختيار الآلة المناسبة سوف يسهم في خفض نفقات تصغير الأحجام، ومن أهم الاعتبارات التي تحكم اختيار أجهزة تصغير الحجم ما يأتي :

١- صلابة المادة: تؤثر صلابة المادة بشكل مباشر في اختيار حجم آلة التخفيض حيث تتطلب المولد ذات الصلابة العالية قدرة كبيرة و زمن تخفيض كبير أيضاً مما يعني انخفاض إنتاجية الآلة و زمن تشغيل أطول كما أن المولد ذات الصلابة العالية تؤثر في تأكيل أسطع الآلة لذلك يجب اختيار مادة بناء الآلة لتقاوم كل هذه الاجهادات.

٢- التركيب الميكانيكي للمادة : تساهم معرفة التركيب الميكانيكي في معرفة نوع القوة التي يمكن أن تساعد على تفكيرها، فعلى سبيل المثال فالمواد الهاشة الكبيرة تتكسر بسهولة أكبر من المواد الهاشة الصغيرة لذلك فإن تركيب المادة الميكانيكي يحدد القوة المطلوبة للتصغير (ضغط أو صدم أو قص).

٣- المحتوى الرطوي: قد تؤثر الرطوبة بشكل إيجابي أو سلبي في عملية تصغير الأحجام ففي حالة الرطوبة المنخفضة قد تؤدي إلى شكل الغبار أثناء الطحن كعمليات ضيق التنفس بالنسبة للعاملين أو أحياناً تؤدي إلى الحرائق.

٤- حساسية المادة لدرجة الحرارة: تسبب حساسية المادة لدرجة الحرارة أثناء عمليات تصغير الأحجام ببعض المشاكل فقد تؤدي الحرارة إلى زيادة لدونة المادة أو إلى انصهارها مما قد يؤدي إلى اختناق في حركة المولد داخل الآلة ، لذلك قد تتطلب بعض عمليات التصنيع إجراء عمليات تبريد على المادة داخل آلة تصغير الأحجام.

٥- متطلبات الطاقة في عمليات تصغير الأحجام

يعتمد استهلاك الطاقة في عمليات تصغير الحجم على خصائص المسادة مثل الخصائص الفيزيائية والمحتوى الرطوي للمادة وكذلك على حساسية المادة لدرجة الحرارة

وكل ذلك على درجة تعميم المادة، لذلك تحتاج المواد الأكثر فسادة إلى طاقة أكبر ، وهكذا وتعتمد عمليات تحطيم الجزيئات بشكل كبير على حجم الجزيئات فالجزيئات الصغيرة تحتاج إلى قدرة أكبر من الجزيئات الكبيرة وتفترض الاعتبارات النظرية أن الطاقة اللازمة لإحداث تغير في حجم وحدة كتلة المادة يمكن التعبير عنها من خلال العلاقة التي تربط تغير الطاقة مع تغير حجم الجزيئه كما يأتي :

يتم حساب الطاقة اللازمة لعمليات تصغير الحجم من خلال العلاقات الرئيسية

الآتية :

١- قانون "كيك" : Kick's law : يعتمد مبدأ حساب الطاقة في هذه الحالة على قياس لميادن الجزيئات قبل وبعد عملية التصغير وذلك بفرض أن شكل المادة نظامياً وفقاً للعلاقة الآتية :

$$\frac{P}{f} = K_k \ln \frac{d_1}{d_2}$$

حيث:

P : القدرة اللازمة لعملية التصغير لوحدة الكتلة الدخلة إلى الآلة، (ك. واط).

K_k : ثابت "كيك".

d_1, d_2 : قطر الجزيئات قبل وبعد الجرش، (م). ونسمى النسبة $(\frac{d_1}{d_2})$ بنسبة تخفيف الحجم.

f : معدل التغذية ، كغم سا^{-١}

٢- قانون ريتينجر: Rittinger's Law: يعتمد هذا القانون على أن الطاقة اللازمة لعملية الجرش تتناصف مع التغير في المساحة السطحية كما يأتي :

حيث: K_r ثابت "ريتينجر"

٥- قانون بوند Bond's law: يتم حساب القدرة باستخدام العلاقة الآتية :

١٠- ٥ - معدات وآلات تصغر الأحجام للمواد الصلبة

تحتفل الآلات المستخدمة في عمليات الجرش باختلاف درجة النعومة المطلوبة فمنها آلات السحق لقطع الأجزاء الكبيرة إلى أجزاء أصغر ومنها آلات الجرش للحصول على جزيئات ناعمة جداً مثل المساحيق.

١٠- ٥-٦ - آلات السحق أو الطحن: Crushers

يعتمد مبدأ عمل هذه الآلات على عملية ضغط المادة المراد طحنها حتى تتحطم، غالباً ما يتم استخدامها في تصغر أحجام المواد الصلبة إلى أحجام أقل ومن أمثلة هذا النوع من الآلات: آلة السحق ذات الأسطوانات الدورانية (roller milles) الموضحة في الشكل (١٠-٢) ، وهي عبارة عن آلية ذات الشكل بسيط وبتكون من اسطوانتين تدوران باتجاهين متعاكسين، يتم إمرار المادة من خلالهما وبالتالي تتحطم هذه المواد إلى أجزاء صغيرة وهذه الأسطوانات يمكن أن تكون ناعمة أو خشنة ويتم ضبط المسافة بين الأسطوانتين للتحكم بحجم الجزيئات الناتجة . يتم حساب إنتاجية هذا النوع من الآلات من العلاقة الآتية :

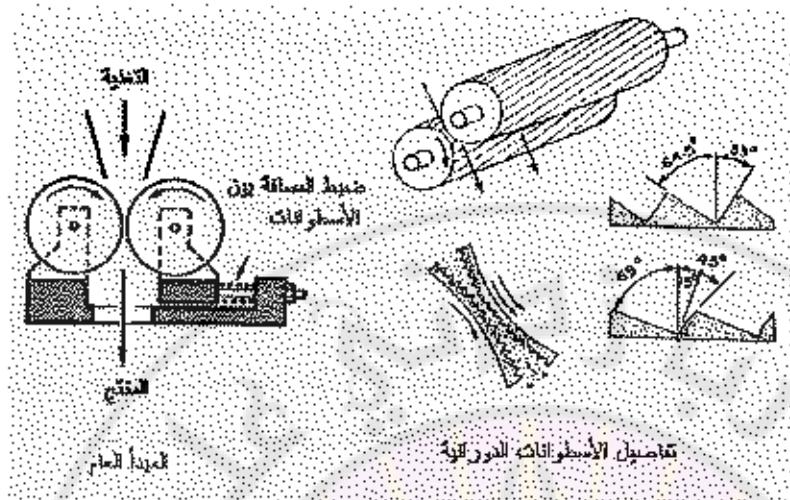
حيث:

D: قطر الأسطوانة، م

N: سرعة دوران الأسطوانة، دورة . د

S: المسافة بين الأسطوانتين، م

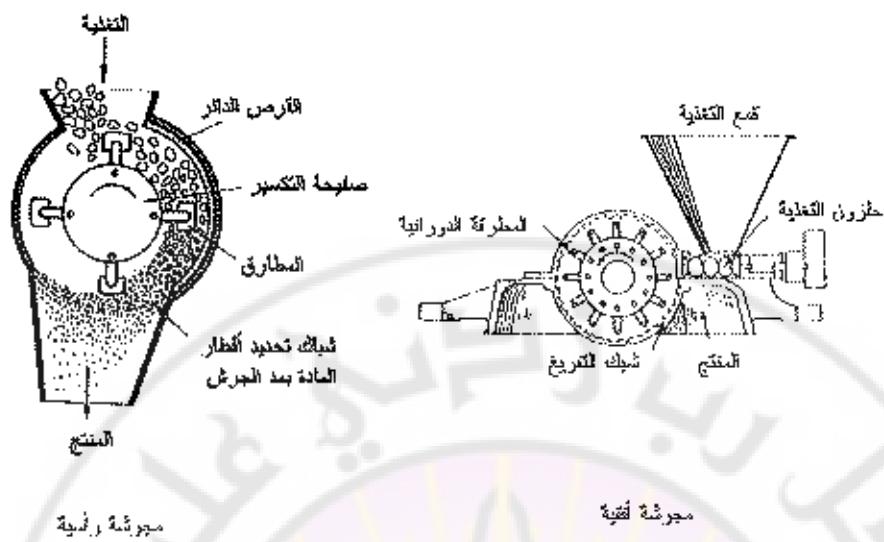
L: طول الأسطوانة، م



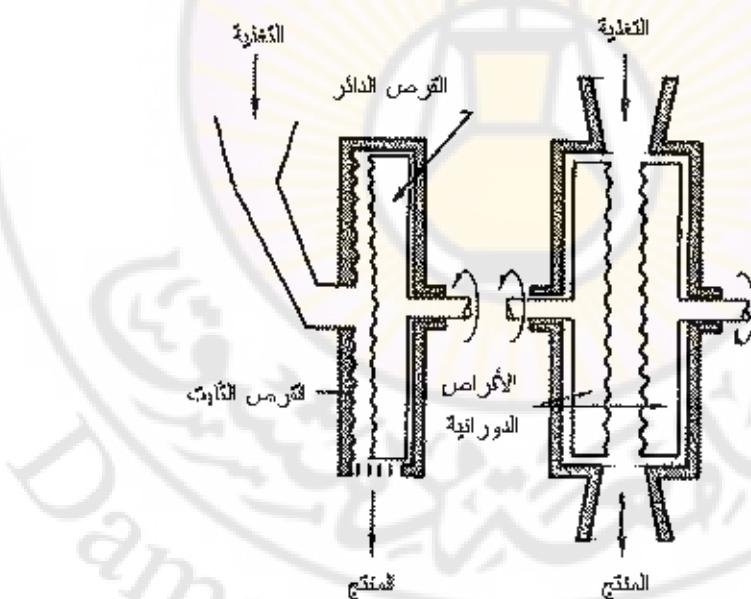
شكل (١٠-٢): آلة طحن ذات أسطوانات دوّرانية

٤-٥-٢- آلات للجرش: Grinders

تستخدم هذه الآلات من أجل الحصول على المساحيق الناعمة ومن هذه الأنواع المجارش المطرقية Hammer mills ومطاحن الكرات حيث تتألف المجرفة المطرقية من جسم دائري داخل جسم أسطواني الشكل مصنوع من الصلب ويركب على هذه الأسطوانة مجموعة من المطارق الفاخطعة Hammers ويندور بسرعة ١٥٠٠ - ٤٠٠ دورة . د^{-١} ويستخدم هذه الآلات مبدأ الصدم في تحطيم الجزيئات كما هو موضح في الشكل (٣-١٠) أو أفراس دورانية احتكاكية التي تهتك مع أفراس ثابتة أو أفراس دورانية مزدوجة حيث تستخدم هذه الآلات مبدأ الاحتكاك في تصفير الأحجام كما هو موضح في الشكل (٤-١٠).



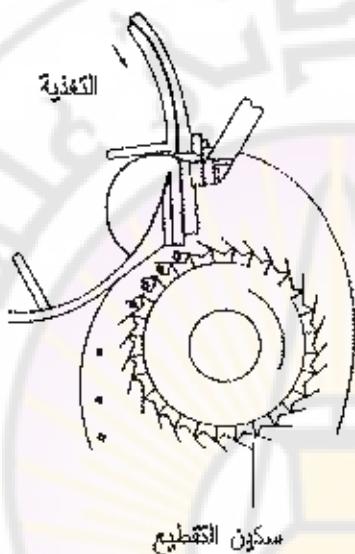
شكل (١٠ - ٣) : مبدأ عمل المجرشة المطرقية



شكل (١٠ - ٤) : آلات جرش ذات أغراض احتكاكية

٣-٥-١- آلات التقطيع Cutting machines:

تستخدم هذه الآلات في عمليات تصنيع الخضار والفواكه حيث تستخدم في صنع الشرائح كما هو موضح في الشكل (١٠-٥) ويتم استخدام سكاكين قاطعة لهذا الغرض حيث يتم تثبيتها على عنصر دائري ويتم إدخال المادة من الأعلى وأخذ الشرائح من الأسفل.



شكل (١٠-٥) : مبدأ التقطيع على شكل شرائح

٦-١- تصغير الأحجام في السوائل

يستخدم مصطلح صنع المستحلبات أو عملية المجانسة في عملية تصغير الأحجام للموائل وعملية المجانسة هي عملية الحصول على خليط من سائلين أو أكثر مستقرتين بحيث يصبحان كمادة واحدة بعد عملية المزج وتنتمي العملية بتحويل أحد السائلين إلى جزيئات صغيرة داخل المادة الثانية وتنتمي العملية من خلال الحصول على جزيئات ضمن قطرات (٣-٠٠ .٥ ميكرومتر) ويتم ذلك باستخدام آلات تستخدم آلات تعتمد قوى قص.

١-٦-١ - مبدأ العمل

يوجد نوعان رئيسيان من المستحلبات:

١- الزيت في الماء (O / W) ومثاله الحليب

٢- الماء في الزيت (W / O) ومثاله الزبدة.

ويعتمد استقرار المستحلب على مجموعة من العوامل :

- نوع وكمية المادة المراد خلطها في المادة الأخرى (emulsifying agent)

• حجم الفقاعات المشكلة .

• قيمة القوة السطحية المؤثرة في أسطح الفقاعات .

• لزوجة السائل الأصل .

• الفرق بين الكثافات .

ويتم تصنيف المواد السائلة بشكل عام إلى مواد قطبية وهي شائعة الارتباط بالماء لتعطي مستحلب W / O ، والمواد اللاقطبية التي تمتض الماء لتعطي محليل لا قطبية ويرمز لها بـ O / W ، ويعتمد استقرار المستحلب على علاقة تربط بين الخصائص الفيزيائية للمواد المراد مزجها مع بعضها بعضاً والتي ترتبط العلاقة رياضية واحدة تسمى بقانون "ستوكس" الذي يعطى بالعلاقة الآتية :

حيث:

v : سرعة الانفصال ، م. ثا^{-١} .

m : لزوجة الطور المستمر ، نيوتن. ثا . م^{-٢} (باسكال . ثا)

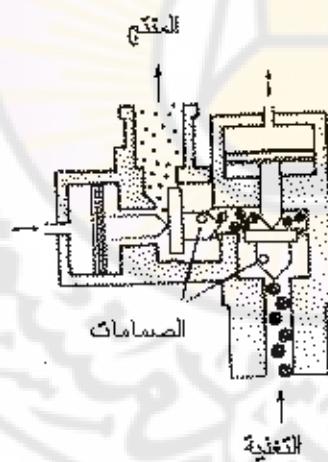
ρ_s, ρ_p : كثافة الطور المشير والطور المستمر على التوالي، كغ . م^{-٣} .

٤-٦-١ - معدات تصغير الأحجام في السوائل :

يوجد أنواع عديدة من وحدات التجفيف ومنها:

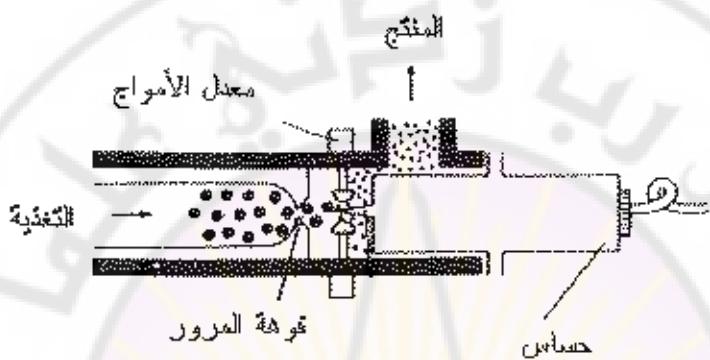
١ - المقلبات عالية السرعة: وتشتمل هذه الأجهزة على مراوح مختلفة التصاميم كالعنفية والدافعة لإحداث عملية التقطير، وكذلك تستخدم مقلبات خاصة في حالات المولد ذات التزوجة المنخفضة وسوف يتم دراسة هذه الأنواع في الفصول اللاحقة.

٢ - مجنسات الضغط: تستخدم هذه الأجهزة مضخات عالية الضغط (١٠٠٠ - ٧٠٠٠٠ ك.بascal) ويتم استخدام صمامات لتحقيق عمليات التجفيف، حيث يتم استخدام مضخة ذات ضغط مرتفع تضخ المادة عبر فتحة صمام صغيرة جداً (٣٠٠ - ١٥ ميكرومتر) مما يؤدي إلى تسريع حركة المادة والذي يؤدي إلى اصطدام الجزيئات مع بعضها البعض وتحطمها إلى جزيئات صغيرة جداً كما هو موضح في الشكل (٤-٦).



شكل (٤-٦): تصغير الأحجام بامتداد الضغط

٣- المجنسلات فوق الصوتية: يعتمد مبدأ هذه الآلات على توليد أمواج صوتية ذات تردد (٣٠-١٠ ك.هرتز) مسبباً دورة متناثبة من الضغط والشد وبذلك تتولد لدينا قطرات ذات أحجام (١-٢ ميكرومتر)، تستخدم هذه الطريقة في إنتاج الكريمات ونقلب البوارة في السوائل، يبين الشكل (١٠-٧) مبدأ عمل هذا النظام.



شكل (١٠-٧): مبدأ عمل مجنسلات الضغط



الفصل الحادي عشر
أنظمة خلط المواد الصلبة والسائلة
Mixing solid and liquid materials

مقدمة:

تعرف وحدة الخلط بأنها وحدة التشغيل التي يتم من خلالها الحصول على خليط متجلانس من ملادتين أو أكثر ويتم ذلك بعملية تشر أحـد المولد وتوزيعها ضمن المادة الأخرى، وتسمى المادة الأكبر كثلاً وجماً بالطور المستمر (continues phase) والمادة الأصغر تسمى الطور المنشر (disperse phase). ويتم استخدام عمليات الخلط على نطاقٍ واسع في عمليات الصناعات الغذائية وصناعة الأعلاف.

(Theory of solids mixing)

تمتاز المواد المتشابهة بالحجم والشكل والكتافة بإمكانية أن تخالط مع بعضها بعضًا أكثر من المواد المختلفة بالشكل وفي حالة كانت الاختلافات كبيرة بين المواد فإن عملية الخلط تصبح صعبة وقد لا تحدث مطلقاً، ومن العوامل المؤثرة في كفاءة عملية الخلط بشكل رئيسي:

- حجم الجزيئات، الشكل والكتافة لكل من المركبات المراد خلطها
- كفاءة الخلط المستخدم
- الرطوبة وخصائص السطح
- زمن الخلط

لذلك لا بد من التأكيد من كفاءة عملية الخلط كتابع لزمن الخلط وذلك لمعرفة نسب الخلط بشكل دقيق، ومن الطرائق المتبعة في ذلك حساب الانحراف القياسي لنسب الخلط للمواد وذلك بأخذ عينات عشوائية من الخليط ليتم تحليل هذه النسب ثم يتم

حساب مؤشرات الخلط عند أزمنة مختلفة بعد معرفة قيمة الانحراف المعياري يتم حساب مؤشر الخلط ، ويعطى الانحراف المعياري بالعلاقة الآتية :

حيث:

σ_m : الانحراف القياسي

n : عدد العينات

\bar{x} : تركيز العينة في الخليط ومتوسط تركيز العينات.

ويوجد ثلاثة أنواع من مؤشرات الخلط تختلف فيما بينها من حيث شروط استخدامها لتقدير كفاءة الخلط وتعطى بالعلاقات الآتية :

$$M_3 = \frac{(\sigma_m^2 - \sigma_p^2)}{(\sigma_m^2 + \sigma_p^2)}$$

ونعطي قيمة M_3 بالعلاقة الآتية :

حيث:

M_1 : مؤشر الخلط (mixing indicator)؛ ويستخدم هذا المؤشر عندما تتساوى كثافة المواد المخلوطة أو في حالة الخلط عند السرعات المنخفضة.

M_2 : مؤشر الخلط؛ ويستخدم هذا المؤشر عندما يتم خلط كمية صغيرة في كمية كبيرة أو عند الخلط عند سرعات عالية.

M_3 : يستخدم هذا المؤشر في حالة خلط السوائل أو يستخدم في حالة المواد الصلبة كما هو الحال في المؤشر الأول.

σ_p, σ_m : الانحرافات القياسية في بداية الخلط، أثناء الخلط، والانحراف المعياري للخلط التام الخلط على التوالي.

ويرتبط زمن الخلط مع مؤشر الخلط بالعلاقة الآتية :

$$\ln M = -K \cdot t_m$$

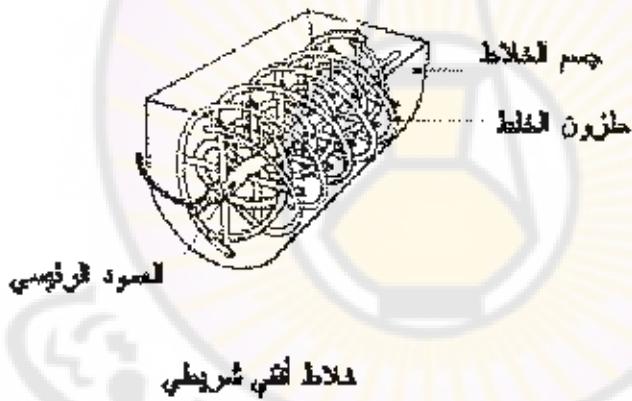
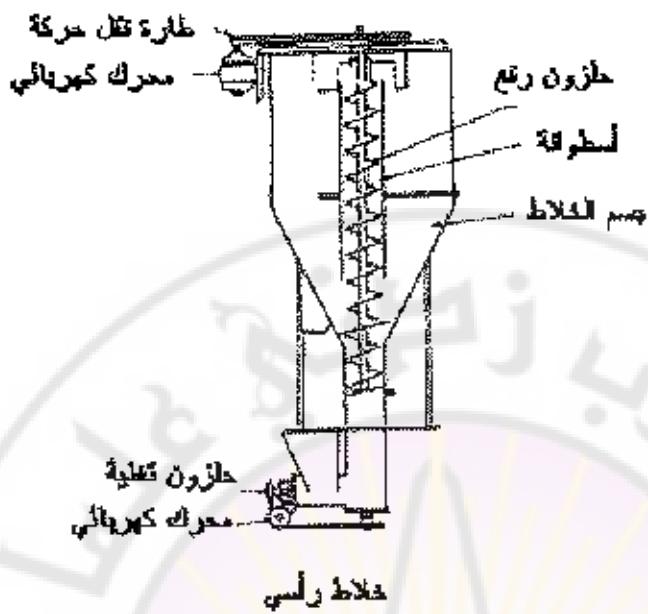
حيث:

K : ثابت الخلط ويتغير بتغير الخلط والمادة المخلوطة.

t_m : زمن الخلط.

٢-١١ - أنظمة خلط المواد الصلبة

تعتمد عمليات خلط المواد الصلبة باستخدام خلاطات رأسية أو لفافية على قوى ميكانيكية تقودها محركات كهربائية كما هو موضح في الشكل (١١-١) ويعتمد مبدأ عمل الخلط بشكل مباشر على تحريك وتقليل المادة داخل جسم الخلط لمدة من الزمن تتعلق بشكل مباشر بنوع وحجم المادة المراد خلطها ويمكن أن تعمل الخلاطات في خط إنتاج مستمر أو تعمل بشكل مستقل بنظام الوجبات.



شكل (١١-١) : نماذج مختلفة لخلطات المواد الصناعية

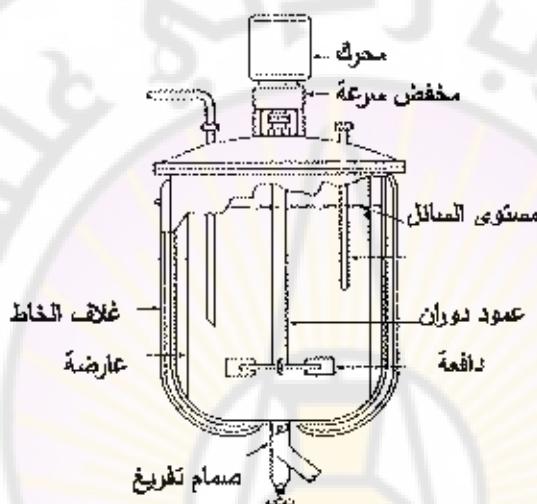
٣-١١ - أنظمة تقليل وخلط السوائل Agitation and mixing of liquids

يعتمد نجاح الكثير من العمليات التصنيعية على فعالية التقليل والخلط ويمكن تعريف التقليل بأنه عملية تحريك المادة السائلة بنفس الطريق وبنفس الاتجاه غالباً ما تكون بشكل حركة دائرية بينما يتم وصف عملية الخلط بأنها عملية توزيع عشوائية لمادتين أو أكثر داخل بعضهما بعضاً، فعلى سبيل المثال لا يمكن وصف عملية تحريك

الماء بأنها عملية خلط ولكن يمكن وصفها بأنها عملية تقليب بينما عملية إضافة الماء الساخن إلى الماء البارد أو إضافة جزيئات صلبة وتحريكها توصف بأنها عملية خلط.

١١-٣-١ - الشكل الهندسي لنظام التقليب أو لخلط

يتكون نظام الخلط بشكل أساسى كما هو مبين في الشكل (١١-٢) من :



شكل (١١-٢) : أجزاء نظام التقليب

١- وعاء الخلط: ويكون غالباً على شكل أسطواني وتختلف المادة المصنوع منها باختلاف نوع المواد المراد خلطها ويشبه قاع الطبق وهذا يلائم عملية الخلط الدقيقة ويجب عند ملء الوعاء مراعاة ما يسمى نسبة الخلط وهي النسبة بين عمق السائل في الخزان إلى نسبة قطر الخزان وتتراوح بين ١٠٥ - ١٠٠ .

٢ - أداة التقليب أو الخلط: تتكون أداة التقليب من ريش التقليب للعنصر الدافع ومن عمود المقلب shaft الذي يتصل بدوره إلى محرك كهربائي كما هو موضح في الشكل

(١١-٣) عبر مخفض للسرعة speed reducer وتحتاج الأشكال التصميمية باختلاف نوع السائل ودرجة التقليل المطلوبة.



شكل (١١-٣) : مكونات أداة التقليل

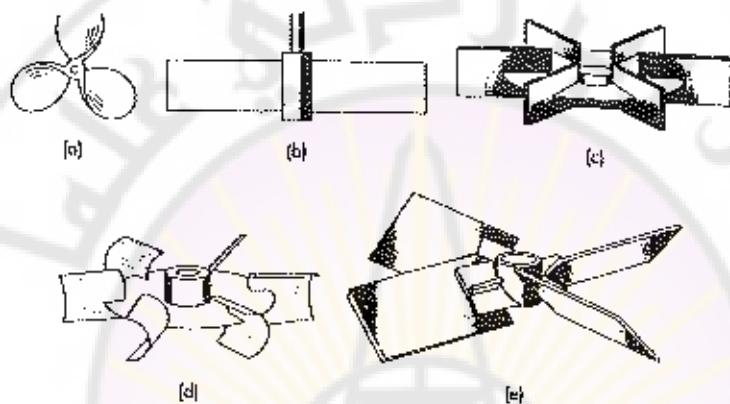
ويختلف تصميم العنصر الذي يستخدم في عملية التقليل باختلاف نوع المادة ومن هذه التصاميم كم هو مبين في الشكل (١١-٤) ما يأتي :

- الدافعات المروحة (الرقيقة) Propellers impellers : يولد هذا النوع من الدافعات جريانًا محوريًا وتعمل هذه الدافعات عند سرعات عالية لسوائل منخفضة التزوجة وغالبًا ما تعمل عند سرعات (١١٥٠ - ١٧٥٠ دوره . د) ويتم اختيار اتجاه الحركة بحيث تكون حركة السائل بشكل دائم باتجاه قعر الخزان ويحدث ذلك عند توضع مثل لمحور المقلب وليس في مركز وعاء الخلط.

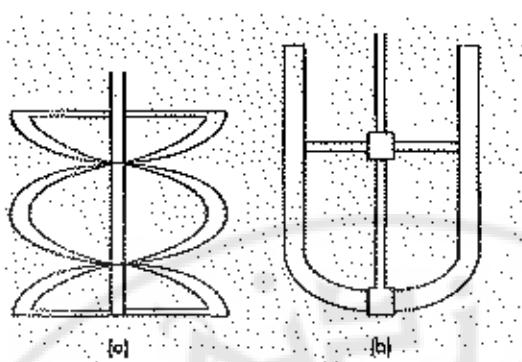
- الدافعات العنفية (التوربينية) Turbines impeller: تتم في هذا النوع من المثباتات حركة السائل قطرياً ومماسياً وفي هذه الطريقة يتحرك السائل باتجاه

جدران الوعاء وتنتمي الحركة إلى أعلى وأسفل يعمل هذا النوع عند سرعات ملحوظة ($20 - 150$ دورة . دقيقة⁻¹).

- * الدافعات للسوائل ذات اللزوجة العالية: تستخدم هذه الدافعات من أجل السوائل ذات اللزوجة ($20 - 50$ باسكال.ثا) كما هو مبين في الشكل (١١-٥) حيث يقترب قطر الدافعة تقريرياً من قطر الخزان.



شكل (١١-٤) : أشكال مختلفة من الدافعات a-دافعه رأسية، b-خفيه بريش مستقيمه، c-توربينه فرسية، d-توربينه منحنيه، e-توربينه مثلاة



شكل (١١-٥) : توربينات الازوجة العالية

١١-٣-٢ - تأثير تصميم محور المقلب في السرعة

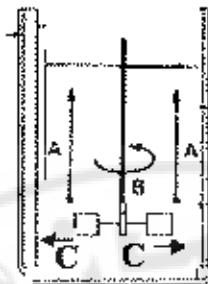
تلعب سرعة الخلط أثناء عملية خلط السوائل دوراً أساسياً في كفاءة الخلط لذلك يمكن ملاحظة ثلاثة أنواع من السرع تؤثر في كفاءة عملية الخلط كما هو موضح في

الشكل (١١-٦) وهي :

- السرعة القطرية (radial velocity) التي تؤثر في اتجاه عمودي على محور دوران الخلط

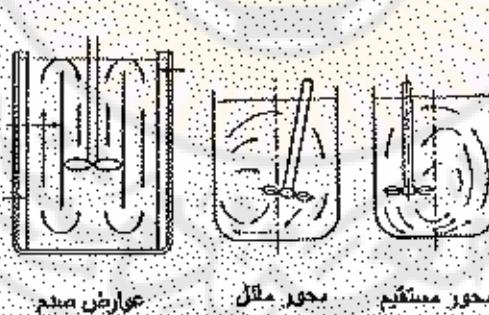
- السرعة الطولية الموازية لاتجاه محور الدوران

- السرعة الدورانية وهي السرعة المماسية على محور الدوران



شكل (١١-٦) : السرع المتناولة أثناء عملية الخلط

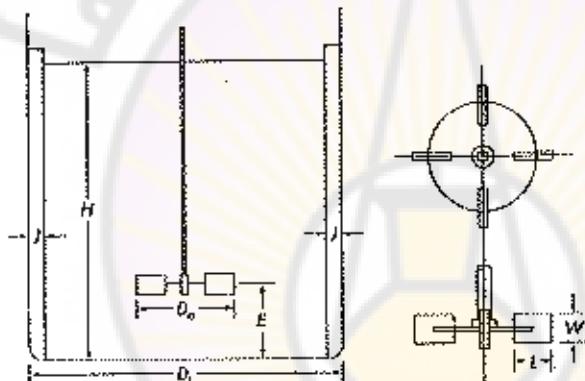
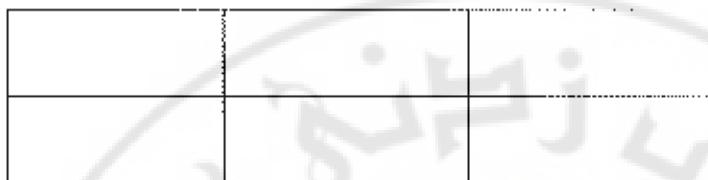
والحصول على عملية خلط أفضل يجب زيادة كلا السرعتين القطرية والطولية (السرعة الأضعف بالمقارنة مع السرعة الدورانية)، ويتم ذلك باستخدام عوارض صدم في نهاية محور الدوران (baffles) أو بإملأة محور الدوران كما هو موضح في الشكل (١١-٧) . وتنتمي عملية الخلط بالشكل المناسب في حالة السوائل المنخفضة اللزوجة (low viscosity) من خلال إحداث حركة اضطرابية تمكن الجزيئات ذات الحركة الطبيعية من أن تكتسب حركة أسرع من خلال الجزيئات ذات الحركة الأسرع.



شكل (٧ - ١١) : طرق مختلفة لزيادة كفاءة الخلط

٣-٣-١١ - التصميم الهندسي للداععات التوربينية

يبين الشكل (١١-٨) الأبعاد الهندسية لنظام خلط ذو مقلب توربيني، ولتحقيق كفاءة عملية تقليل جيدة يوصى بأن تكون الأبعاد التصميمية كما يأتي :



شكل (١١-٨) :الأبعاد التصميمية للمقلب التوربيني

٣-٣-١٢ - القدرة اللازمة لعمليات الخلط

إنَّ أغلب المروائل تعتبر سوائل غير ثيودينية (القوام يتغير مع معدل القص) مما يؤدي إلى تغير خصائص الانسياق أثناء الخلط وبذلك نجد أنَّ حساب القدرة اللازمة لعملية الخلط تعتبر من الحسابات الأساسية في عملية خلط المسواد. وتنبع القدرة اللازمة لعملية الخلط بنوع وقوام المادة المراد خلطها وكذلك بسرعة وحجم ريش

التقليل. ويتم التعبير عن تدفق المسوائل من خلال مجموعة من الأعداد اللابعدية وهي رقم "رينولدز" ورقم "فرويد" ورقم القدرة والتي تعطى رياضياً بالعلاقات الآتية :

رقم القدرة	رقم فرويد	رقم رينولدز

حيث:

D: قطر المقلب ، م

N : السرعة الدورانية للمقلب ، دورة . دقيقة⁻¹.

P: القدرة المنتقلة إلى محور المقلب، ك.وات

ρ_m : كثافة المخلوط، كغ. م⁻³

μ_m : لزوجة المخلوط، باسكال. ثا

وترتبط المجموعات اللابعدية السابقة رينولدز، فرويد ومجموعة الطاقة بالعلاقة الآتية :

$$P_o = k \cdot (Re)^n \cdot (Fr)^m$$

حيث:

m, n, K : عوامل ترتبط بالشكل الهندسي للخلط ويتم تحديد هذه العوامل تجربياً

وترتبط كثافة الخليط النهائي مع كثافة المواد المشكلة له بالعلاقة الآتية :

$$\rho_m = V_1 \rho_1 + V_2 \rho_2$$

V_1, V_2 : نسب الحجم لكل من المواد الداخلة في عملية الخلط.

ρ_1, ρ_2, P_1 : كثافة المواد الداخلة في عملية الخلط.

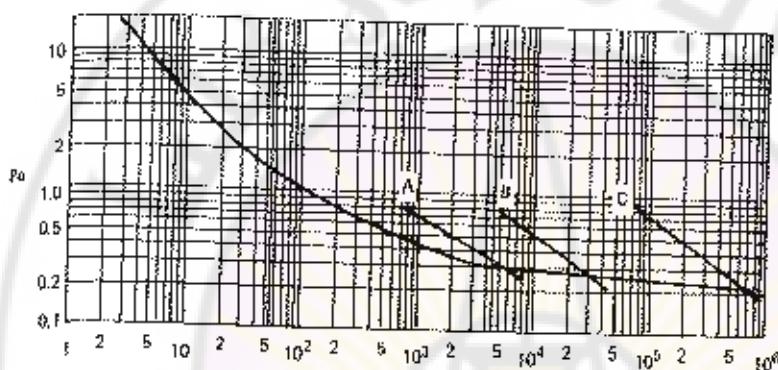
وترتبط لزوجة الخليط بلزوجة المواد المشكلة له بالعلاقة الآتية :

في حالة عدم وجود عوارض:

$$\mu_m = \mu_1^{V1} \cdot M_2^{V2}$$

في حالة وجود عوارض:

يبين الشكل (١١-٩) العلاقة بين متطلبات القدرة P_{h} للخلاط ذو المقلوب المروحي ورقم رينولدز.



شكل (١١-٩) العلاقة بين متطلبات القدرة ورقم رينولدز

الجزء الثالث: هندسة عمليات التصنيع الحرارية

*Part III :Process Engineering by
Application of Heat*



الفصل الثاني عشر
هندسة عمليات التبريد والتجميد
Chilling and freezing process engineering

مقدمة

تعتبر عملية التبريد والتجميد من الطرق المستخدمة في حفظ وتخزين المواد الغذائية مثل اللحوم والفواكه والخضروات بطريقة آمنة إلى مدة طويلة قد تصل إلى أشهر. ويستخدم هذه العملية لخفض النشاط البيولوجي - الكيميائي والميكروبي في الأغذية وتعتبر هذه العملية من العمليات التي لا تسبب تغييراً كبيراً في خصائص المادة الغذائية الحسية ومن حيث القيمة الغذائية.

١-١٢-تعريف عملية التبريد

تعرف عملية التبريد بأنها عملية إزالة أو امتصاص الحرارة من المواد الساخنة وذلك للحفاظ على تلك المواد عند درجات حرارة منخفضة معينة ويمكن تعريف عملية التبريد أيضاً بأنها عملية نقل الطاقة من منطقة الحرارة الأخفاض إلى منطقة الحرارة الأعلى، ويمكن تقسيم المواد الغذائية وفقاً لدرجة حرارة التبريد المطلوبة إلى ثلاثة مجموعات رئيسية:

- درجة التخزين (-١٠° م حتى ١° م) : وتشمل السمك الطازج واللحام المعامل بالتدخين ولحم بعجين .
- درجة التخزين (٠° م حتى ٥° م) : الحليب واللحام المبستر، المعلب، الكريمة، اللبن الرائب، الأطعمة المخبوزة ، البيتراء ، العجين غير المخبوز
- درجة التخزين (٠° م حتى -٥° م) : اللحم المطبوخ ، الزبدة ، الجبن القاسي ، الأرز المطبوخ ، عصائر الفواكه .

٢-١٢ - مبادئ أساسية في الترموديناميك

* العمل Work : هو مقدار ما تتجزءه قوة لتقوم بتحريك جسم ما مسافة معينة ويعبر عنه حسابياً بجاء القوة المطبقة في المسافة المقطوعة ويمكن أن يكون العمل محركاً أو عملاً مقاوماً ويقاس العمل بوحدة القياس الدولية بالجول (J).

* الحرارة Heat : هي شكل من أشكال الطاقة ويمكن أن تكون على شكل طاقة حرارية ، ذرية ، اهتزازية ، كيميائية وهكذا يمكن تحويل هذه الطاقة من شكل إلى آخر وتقسم الحرارة إلى شكلين:

١- الحرارة المحسوسة Sensible heat: هي كمية الحرارة التي تتسبب في رفع (تسخين) أو خفض درجة حرارة المادة (تبريد) دون التغير في حالتها الفيزيائية ويمكن حسابها من العلاقة الآتية :

$$Q_s = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

حيث:

m : كتلة المادة، كغ .

C_p : السعة الحرارية للمادة عند ضغط ثابت ، لك.جول. كغ $^{\circ}\text{م}$

ΔT : مقدار التغير في درجة الحرارة، $^{\circ}\text{م}$

٢- الحرارة الكامنة Latent heat : هي كمية الحرارة اللازمة لـ التغير حالة المادة من حالة فيزيائية إلى أخرى (صلبة، سائلة، غازية) فنسى الطاقة الحرارية اللازمة لعملية التبخر بالحرارة الكامنة للتبخر (latent heat for evaporation) والتي تؤدي إلى انصهار المادة وتحولها إلى مادة سائلة بالحرارة الكامنة للانصهار (fusion) واللزامية لتحويل المادة إلى مادة صلبة بالحرارة الكامنة للتجمد freezing وتعطى بالعلاقة الآتية :

$$Q_l = m_w \cdot h_{l,f,z}$$

حيث:

m_w : كمية الماء المتاخر أو المتجمد أو المنصهر، كغ

h_{fg} : الحرارة الكلمنة للتاخر أو للانصهار أو التجمد الماء، ك.جول. كغ⁻¹

٣- الحرارة الكلية Total heat : هي مجموع الحرارة المحسوسة والحرارة الكلمنة .

* **الاثالبي Enthalpy** : وهو ما يعرف بالمحنوي الحراري ويعبر عن مجموع الطاقة الداخلية وطاقة الضغط في مادة ما ويعبر عنه رياضياً بالعلاقة الآتية :

$$H = E + (P \cdot V)$$

* **الأنتروبي Entropy**: تعبير الأنتروبي عن مدى توفر الطاقة داخل المادة من أجل تحويلها إلى عمل مفيد إلا أن التعريف الفيزيائي غير واضح ويمكن التعبير عنها رياضياً بأنها معدل تغير الطاقة بالنسبة لدرجة الحرارة وتعطى بالعلاقة الآتية :

وهي ذات قيمة موجبة دوماً

* **القانون الأول في الترموديناميك**: يُعرف هذا القانون بقانون حفظ الطاقة وينص على أن الطاقة لا يمكن خلقها أو تدميرها ولكن يمكنها أن تتحول من شكل إلى آخر ويعبر عن هذا القانون رياضياً بالعلاقة الآتية :

$$Q = \Delta E + W$$

حيث:

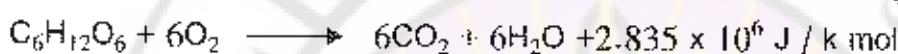
ΔE : التغير في الطاقة الداخلية .

W : العمل المنجز داخل النظم.

- * القانون الثاني في الترموديناميك: يتم وبشكل طبيعي انتقال الحرارة من المنطقة ذات درجة الحرارة المرتفعة إلى المنطقة ذات درجة الحرارة المنخفضة ولكن عند حدوث العكس لا بد من تطبيق قوة خارجية وبالتالي صرف طاقة على ذلك وهذا ما تعتمد عليه أنظمة التبريد.

٣-١٤ - مبدأ التبريد

تعتمد عملية التبريد على إزالة الحرارة المحسوسة والتي هي على شكل محتوى حراري في المادة المراد تبریدها وكذلك الحرارة المتولدة بفعل تنفس المادة الغذائية والتي يمكن التبؤ بمعدلها من العلاقة الآتية :



ويعتمد حساب حجم آلية التبريد لكمية ما على عملية انتقال الحرارة غير المستقر ويتم خفض درجة حرارة المادة الغذائية إلى درجة تتوقف عندها نمو الكائنات والتي يمكن أن تنمو في ثلاثة مجالات لدرجة الحرارة وهي:

- * Thermophilic : وتتراوح درجة الحرارة بحدود (٥٥ حتى ٣٥ °م).
- * Mesophilic : وتتراوح درجة الحرارة بحدود (١٠ حتى ٤٠ °م).
- * Psychrophilic : وتتراوح درجة الحرارة بحدود (٥٠ حتى ١٥ °م).
- * يوضح الجدول (١٢-١) الشروط المناسبة للتبريد بعض المواد الزراعية والغذائية.

جدول (١٢-١) : الشروط المناسبة لتخزين بعض المواد الغذائية بالتبريد

النوع المادي	درجة حرارة التخزين (°C)	الرطوبة النسبية (%)	العمر التخريبي (يوم)
اللحم	(-4 ... -1)	٩٥-٩٠	٢٤...٣٠
المشتمل	(-٠٥ ... ٠)	٩٠	١٤-٧
اللوز	١٧-١١	٩٥-٨٥	١٠-٧
القرنبيط	٠,٥-٠	٩٥-٩٠	٧-٥
الثوم	(-١ ... ٠)	٩٥-٩٠	٤٠-٣٠
الكرز	١	٩٥-٩٠	٢٠-١٤
البطور	١٠-٤	٩٠-٨٠	٧-٤
البطاطا	١٠-٣	٩٥-٩٠	٢٥-١٥
البلاجنة	١٠-٧	٩٥-٩٠	١٠-٧
اللوب	صفر	٧٠	٢٤٠-١٨٠
السل	(-١ ... ٠)	٨٠-٧٠	٢٤٠-١٨٠

١٢-٤- مبدأ عمل آلات التبريد Refrigeration machines concept

آلية التبريد عبارة عن دارة مغلقة تحتوي على العديد من الأجزاء الميكانيكية يدور داخل هذه الدارة و وسيط التبريد (سائل التبريد)، يقوم هذا السائل بامتصاص الحرارة من المادة المراد تبریدها ثم يتم طرد الحرارة إلى الوسط الخارجي في أحد أجزاء الدارة (المكثف) ليعود وسيط التبريد مرة أخرى ليتم دورته من جديد، وبذلك نسمى الدورة الحرارية التي يتم فيها نقل الحرارة من المنطقة الباردة (المبخر) إلى المنطقة الساخنة (المكثف) بـ الدورة العكسية المغلقة ونسمى سائل التبريد المستخدم لنقل هذه الحرارة بـ وسيط التبريد (Refrigerant)، وتوجد أنواع متعددة لسوائل التبريد منها: الأمونيا NH_3 ، والفریونات، (R-12, R-22) وهي عبارة

عن خليط من الكلور والفلور والكريبون وتنعم هذه الغازات بخاصية التبخّر عند درجات حرارة منخفضة جداً مما يتراافق معه امتصاص الحرارة من المادة الغذائية. بين الدول (١٢-٤) المز التجاري والكيمي ويُعرض خصائص هذه الغازات.

جدول (٤-٢) : الخصائص الطبيعية والحرارية لمماكن تبريد مختلفة

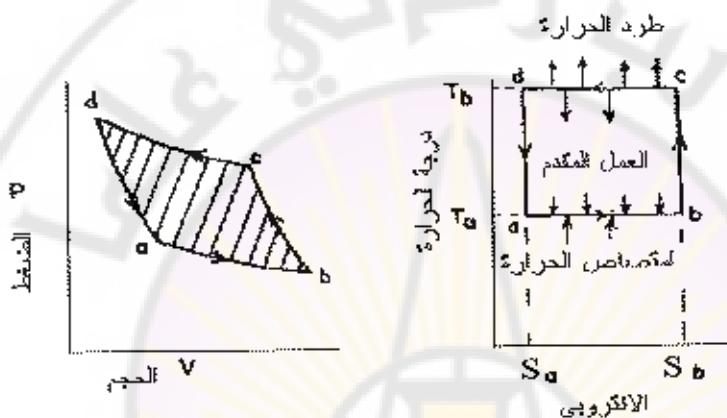
درجة السمية	الحرارة الكامنة للتبيخ لتجويف - كم	درجة حرارة التبيخ (°م)	الرمز الكيميائي	الرقم التجاري
متخفض	١٩٤.٢	٢٣.٨ -	CCL_2F	١١
متخفض	١٦٣.٥٤	٢٩.٨ -	CCL_2F	١٢
متخفض	٢٥٤.٢	٤٤.٥ -	CHCLF	٢١
متخفض	٢٢٠.٩٤	٤٠.٨ -	CHCLF_2	٢٢
عالي	١٢٢٨.٤٨	٣٣.٣ -	NH_3	٢٣٧
متخفض	٢٥٢	٧٨.٥ -	CO_2	٢٤٤

١٢ - دورة التبريد النظرية (دورة كارنو)

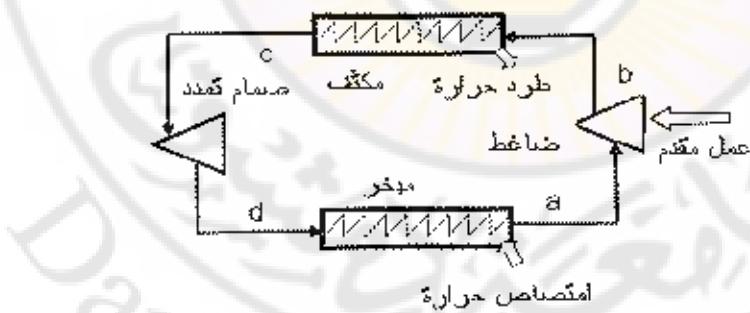
تطبق هذه الدورة على العزارات المثلالية مثل الهواء وتعتبر هذه الدورة من الناحية التبريدية أقل الدورات استهلاكاً للطاقة وتتألف هذه الدورة كما هو مبين في الشكل (١٢-١) على منحني $T-S$ (غير الأنثروبي مع درجة الحرارة) والشكل (١٢-٢) على منحني $P-V$ (غير الضغط مع الحجم). تتألف هذه الدارة термодинамическая من أربع إجراءات ثرموديناميكية إجراءين بثبوت درجة الحرارة (isotherm process) وإجراءين بدون تبادل حرارة (Adiabatic process) ويتم عمل الدورة كالتالي:

في الإجراء a $\leftarrow b$ يمتص وسيط التبريد حرارة مقدارها q_1 من الوسط المدود (المادة المراد تبریدها) وذلك عند درجة حرارة ثابتة T_3 .

- الإجراء b ← c يتم رفع درجة حرارة وسيط التبريد وذلك عن طريق ضغطه وصرف عمل قدره W_C يتم الحصول عليه من الضاغط.
- الإجراء c ← d يتم طرد الحرارة من وسيط التبريد عند درجة حرارة ثابتة (درجة حرارة الوسط المحيط) وذلك في المكثف.
- الإجراء d ← a تمدد وسيط التبريد والخفاض ضغطه أديبياتيكياً لتهيئته للدورة الجديدة.



شكل (١٢-١) : دورة "كارنو" للتبريدية النظرية



شكل (١٢-٢) رسم تخطيطي لنهاية التبريد

١٠-٥-١٢ - مردود دورة كارنو

يتم التعبير عن مردود الدورة النظرية بما يسمى بمعامل التبريد C.O.P والذى يساوى النسبة بين الإنتاجية التبريدية (الحرارة الممتصة) إلى العمل المصروف في الدورة كما يأتي :

$$C.O.P = \frac{q_a}{W}$$

وتقدر الحرارة الممتصة بالعلاقة الآتية ومن الشكل السابق كما يأتي :

$$q_a = T_a \cdot (S_b - S_a)$$

ويعطى العمل المصروف في الدارة بالعلاقة الآتية :

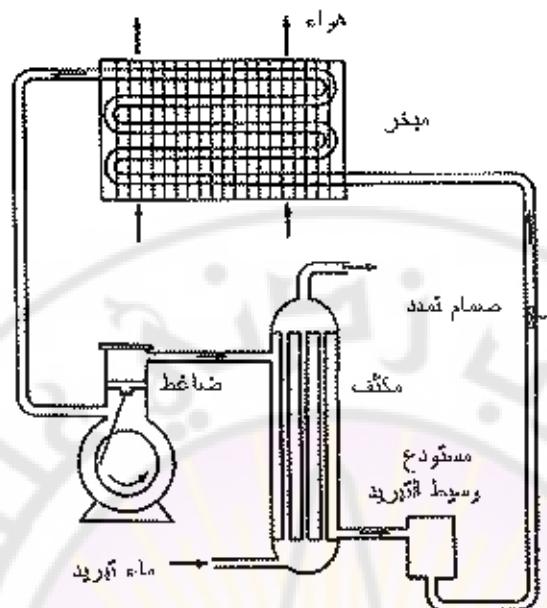
$$W = (T_b - T_a) \cdot (S_b - S_a) = T_b \cdot (S_b - S_a) - T_a \cdot (S_b - S_a)$$

وبهذا نجد:

$$C.O.P = \frac{T_a}{T_b - T_a}$$

٦-٦-١٢ - أجزاء آلة التبريد Refrigeration machine components

تتألف آلة التبريد كما هو مبين في الشكل (٦-٣) من الأجزاء الرئيسية الآتية :



شكل (١٢ - ٣) : الأجزاء الميكانيكية لدورة التبريد

- صمام التمدد Expansion valve : يقوم صمام التمدد بالسماح لوسائل التبريد بالمرور تحت ضغط مرتفع ثم يسمح له بالانفلات إلى المبخر تحت ضغط منخفض (بسبب تغير مقطع مرور السائل من مقطع ضيق جداً إلى توسيع مقاخي) لتحدث عملية تبخر وسيط التبريد حيث يرافق ذلك امتصاص الحرارة.

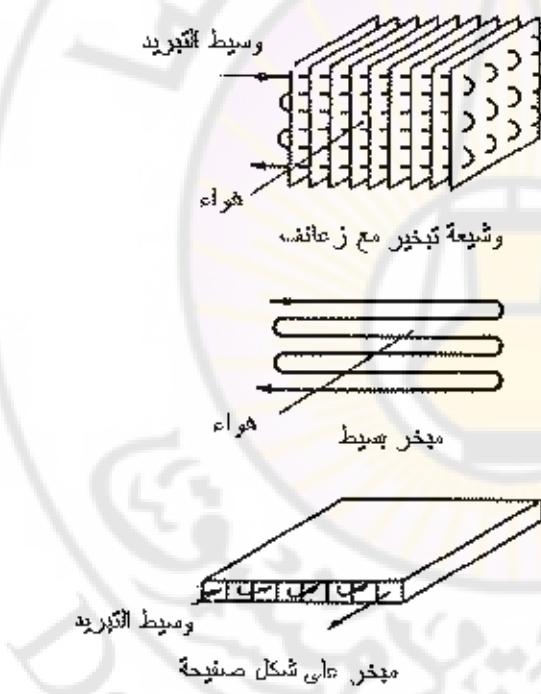
- الضاغط compressor : تتمثل المهمة الرئيسية للضاغط بضغط سائل التبريد بعد إنجازه للعملية التبريدية ورفع درجة حرارته ودفعه إلى المكثف حيث يتم تبريده تمهيداً لدورة الآتية و يتم عملية تبريد وسيط التبريد ليعود إلى حالته الأولى لإعادة الدورة وذلك بشكل طبيعي في المكثف أو باستخدام مراوح تبريد أو باستخدام المياه في حالة الدارات ذات الإنتاجية العالية ، ويمكن أن تكون الضواغط بمرحلة واحدة أو أكثر ، ويمكن تصنيف الضواغط حسب قدرتها التبريدية إلى :

- صغيرة (نقل إنتاجيتها عن ٩٣٠٠ واط)

- ومتوسطة (٩٣٠٠ - ٥٨٠٠٠ واط)
- وكبيرة (أكبر من ٥٨٠٠٠ واط)

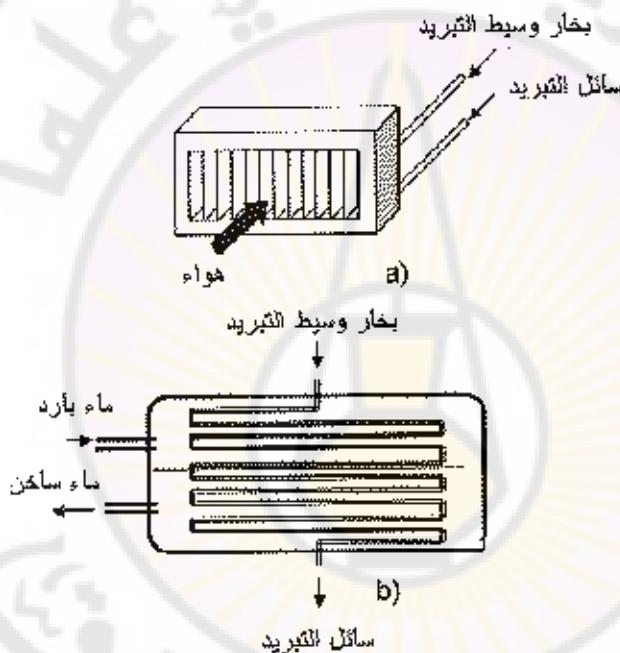
ويمكن تصنيفها من حيث طريقة ضغط الغاز إلى ضواحي مكبسية وضواحي دورانية.

- المبخر Evaporator : يتم في المبخر عملية تبخر سائل التبريد وامتصاص الحرارة من المادة الموجودة داخل المببر ويوجد تصاميم عديدة منها كما هو مبين في الشكل (١٢-٤) وغالباً ما تصنع المبخرات من الألومنيوم.



شكل (١٢-٤) : أنواع مختلفة من المبخرات

• المكثف Condenser: المكثف هو عبارة عن مبادل حراري يتم بواسطته طرح الحرارة التي امتصها وسيط التبريد إلى الوسط الخارجي ويمكن تقسيم المكثفات إلى نوعين : المكثفات المائية والمكثفات الهوائية. كما هو مبين في الشكل (١٢-٥). ويضاف للدارة تجهيزات أخرى من أجل زيادة كفاءة عمل الدارة وخصوصاً للدارات كبيرة الحجم كعمليات تبريد بالماء أو الهواء أو عمليات تجميع وسيط التبريد



الشكل رقم (١٢ - ٥): أنواع مختلفة من المكثفات: a: مكثف هواء، b: مكثف ماء

٧-١٢ - حساب الحمل التبريدي

تسمى كمية الحرارة التي يجب امتصاصها من المادة الغذائية وطردها إلى الوسط الخارجي حتى الوصول بها إلى درجة حرارة التخزين بالحمل التبريدي ويتألف الحمل التبريدي من جزأين:

أ- الحمل الحراري المحسوس: ويشمل هذا الحمل مجموعة من المركبات المختلفة منها:

- فقد الحراري عبر الجدران والتواذن والأبواب وذلك بسبب الفرق بين درجة الحرارة الداخلية والخارجية غالباً ما يكون فقد الأكبر بالتوصيل.
- الكسب الحراري من الأشعة الشمسية.
- الكسب الحراري من تشغيل الأجهزة داخل البراد.
- الكسب الحراري من حركة وتفسخ العمال داخل البراد

ب- الحمل الحراري الكامن: وهو ينشأ من تحول المادة من طور إلى طور آخر ينشأ عن تسرب الهواء داخل البراد أو تجميد المادة داخل البراد، في حالة التبريد يعبر الحمل الحراري الكامن عن عملية الانصهار أو التجمد، ويتم حساب الأحمال السابقة كما يأتي :

الحمل الحراري الكامن: ويعطى بالعلاقة الآتية :

$$Q = m \cdot h_f$$

حيث m : كثافة المادة، الحرارة الكامنة للتغير أو التجمد على التوالي.

الفقد الحراري بالتوصيل:

$$Q = U \cdot A \cdot (T_o - T_i)$$

وهي نفس العلاقة المستخدمة في حسابات انتقال الحرارة بالتوصيل .

ج- أحمال التبريد: وتعتبر هذه الأحمال هي الأحمال الرئيسية وهي ثلاثة أنواع:

• حمل التبريد الأولى Chilling load : وهي كمية الحرارة اللازم نزعها

من المادة وخفض درجة حرارتها إلى درجة حرارة التخزين خلال مدة

زمنية معينة ويعطى بالعلاقة الآتية :

حيث :

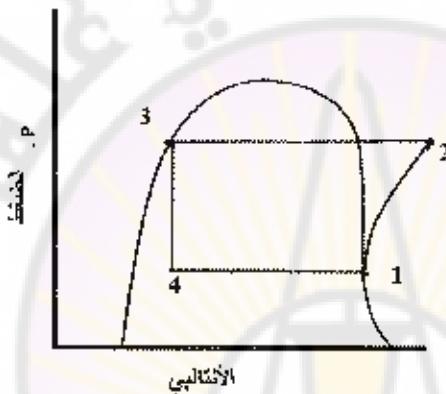
- m : كتل المادة المبردة، كغ.
- T_2, T_1 : درجة الحرارة الابتدائية والنهاية للمنتج، م°.
- c_p : السعة الحرارية للمادة المبردة كـ جول . كغ $^{-1}$ م° $^{-1}$.
- t : الزمن اللازم للتبريد، ساعة.
- * حمل التجميد Freezing load : يعطى بالعلاقة الآتية :

- ٢٤: الحرارة الكامنة للتجمد كـ جول . كغ $^{-1}$.
- * حمل التبريد بعد التجميد: يعطى بالعلاقة الآتية :

٥- T_f, T_i : درجة حرارة التجمد، ودرجة حرارة المادة المبردة
٦- مؤشرات الأداء في دارة للتبريد الفعلية

- يبين الشكل (١٢-٦) الدارة الفعلية لتغير الانتالبي مع الضغط ومن خلال الشكل يمكن التعبير عن المؤشرات الفعلية لدارة التبريد كما يأتي :
- معامل الأداء يتم التعبير عن معامل الأداء عن الطاقة الحرارية التي امتصها وسيط التبريد إلى العمل المقدم بواسطة الصاغط رياضياً بالعلاقة الآتية :
 - معدل تدفق وسيط التبريد: يعتمد معدل تدفق وسيط التبريد في الدارة على حمل التبريد المطلوب ويعطى بالعلاقة الآتية :
 - العمل المقدم من قبل الصاغط : يعطى بالعلاقة الآتية :

٤- الحرارة الممتصة في المبخر والمطروحة في المكثف: تعطى بالعلاقات الآتية
على التوالي:



شكل (١٢-٦): تغير الاتساعي مع الضغط في دارة التبريد الفعلية

١٢ - ٨ مبدأ التجميد

يعتبر التجميد من أهم العمليات التي يتم من خلالها حفظ الأغذية ولفترات طويلة حيث تؤثر عملية التجميد بشكل مباشر في تقليل نشاط الكائنات الدقيقة ونظم الأنزيمات وبالتالي تمنع تدهور المادة الغذائية ويرتبط تصميم نظام التجميد بشكل أساسي بنوع المنتج المراد تجميده ويحدّد التجميد أي الزمن اللازم لعملية التجميد من حيث طريقة التجميد السريع أو التجميد البطيء أي بكيفية تشكّل البلورات داخل المنتج. يعتمد مبدأ التجميد على خفض درجة حرارة الماء الموجود في المادة الغذائية إلى نقطة التجمد الابتدائي وذلك عن طريقة إزالة الحرارة من النظام مما يعني بدء عملية التبلور الأولى

للماء والذي يقابلها زيادة في تركيز المحلول ثم يتبع ذلك زيادة إضافية في التبريد supper cooling ومع تقدم التبريد عن طريق نزع الحرارة تستمر عملية التبلور الآني للماء وينتتج عنه انخفاض في درجة التجمد حتى الوصول إلى نقطة التصلب Eutectic point للمذاب الموجود في الماء حيث يبدأ المذاب بالتبلور إضافية إلى تكون بلورات ثلوجية، يبين الشكل (٧ - ١٢) محنثات التجمد للماء النقى والمحلول مائي يحتوى مذاب واحد فقط.



شكل (٧ - ١٢) : مقارنة محنثات التجمد للماء النقى والمحلول مائي يحتوى مذاب واحد فقط

١-٨-١٢ خصائص الأغذية المجمدة

تستخدم على العموم الخصائص الحرارية للمواد الغذائية في حسابات عمليات التجميد ولكن هناك خصائص معينة تتعلق بشكل مباشر في عمليات التجميد وهي خصائص ثرموديناميكية كما يلى :

١- انخفاض نقطة التجمد : وهي النقطة التي يبدأ عندها الماء بتشكيل البلورات وهذه النقطة تكون عادة أقل منها في حالة الماء النقي إذ يصبح مقدار انخفاض هذه النقطة دالة في الوزن الجزيئي وتركيز المذاب في المنتج الغذائي ويتم تحديد نقطة التجمد من خلال تحديد درجة الحرارة التي يبدأ عنها تكون البلورات .

٢- تكوين بلورة الثلج: عملية تشكيل البلورات أهمية بالغة في عملية التجميد وقدم بعض الباحثين نظريات تفسر ظاهرة التبلور حيث تتم عملية تشكيل البلورة كما يأتي :

• التقوية أو تكون البلورة (nucleation) : وهي عملية إثارة أولية لبدء التجمد وتتضمن تكوين نوويات صغيرة وهي مراكز للبلورات الكبيرة فيما بعد ويزثر عملية التقوية بشكل مباشر في إيجاد معدل التجميد وتركيبة البلورات في المنتج الغذائي .

• نمو البلورة : تحدث عملية النمو فقط في حالة تكوين النوويات وتجاوز مقام النوية لمقام حرج محدد ويتأثر نمو البلورة بشكل كبير مع انخفاض درجة الحرارة ومعدل إزالة الحرارة

٤-٨-١٢ التأثير بمعدلات تجميد المنتجات الغذائية

حدّد مجموعة من الباحثين أربعة عوامل رئيسية تؤثر بشكل مباشر في معدلات التجميد كما يأتي :

- الفرق الحراري بين المنتج ووسط التبريد
- طرق النقل الحرارة من وإلى المنتج
- مقاس وشكل العبوة التي تحوي المنتج

• مقاس وشكل المنتج وخواصه الحرارية

هذا وتوجد نماذج رياضية لحساب معدلات التجميد وأهمها ما يأتي :

معدلة بلاك : أعتمد بذلك في اشتقاق المعادلة اللازمة لحساب زمن التجميد على حسابات انتقال الحرارة في الأطوار المختلفة للمنتج أثناء التجميد حيث تم وصف عملية انتقال الحرارة للمنطقة المجمدة من اللوح بطريقة التوصيل الحراري بينما تم وصف عملية انتقال الحرارة من سطح المنتج إلى الوسط الخارجي بالحمل بينما تم وصف المعدل الذي تتولد عنده الحرارة عند وجهاً التجميد بصفة حرارة محسوبة وبعدها تم الحصول على الصورة العامة لمعدلة بلاك كما يأتي :

حيث :

R و P : ثوابت تتغير بتغير الشكل الهندسي للمادة المراد تجميدها ويمكن إيجادهما من خلال خرائط معينة .

α : سمك اللوح أو قطر الكرة أو قطر الأسطوانة .

T_{∞} و T_f : درجة حرارة وسيط التجمد ودرجة حرارة نقطة التجمد الابتدائية للمنتج على التوالي .

ρ : كثافة المنتج

n_{tz} : الحرارة الكامنة للتجمد

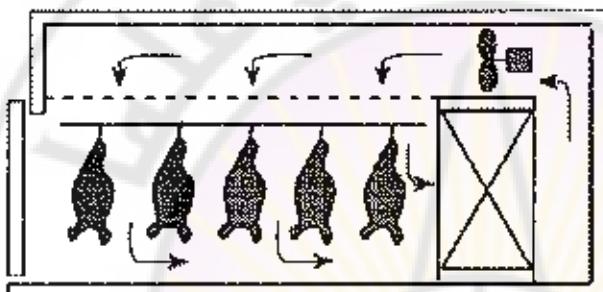
k و h_0 : معامل التوصيل الحراري ومعامل انتقال الحرارة بالحمل على التوالي

٣-٨-١٨ الأشكال التصميمية للمجمدات

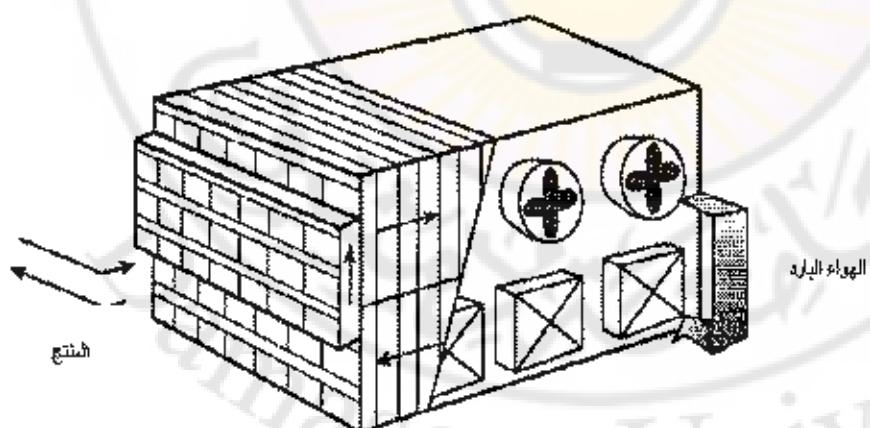
تم تصنيف المجمدات وفقاً لطريقة التصميم والعمل إلى الأنواع الآتية :

١- مجادات الدفع الهوائي air -blast freezers: يتم في هذا النوع استخدام تيار من الهواء البارد عالي السرعة في إنجاز عملية التجميد بينما يتم وضع

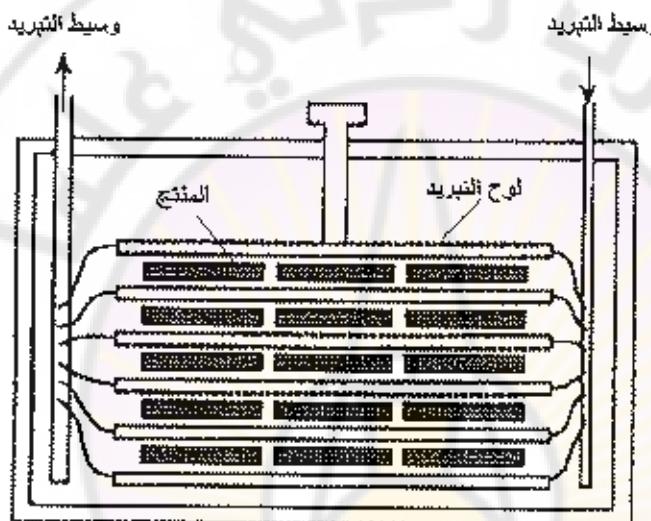
المادة المراد تجميدها وغالباً ما يتم وضع المواد المراد تجميدها على مير ناقل حيث تتحرك المادة المراد تجميدها باستمرار داخل النفق وفي هذا النوع من التصميمات يطلب حساب أبعاد غرفة التجميد وسعة وحدة التجميد استناداً إلى درجة حرارة التجميد المطلوبة وسرعة الناقل المطلوبة ونوع وخصائص المادة المراد تجميدها، يبين الشكل (١٢ - ٨) غرفة تجميد تعمل بالدفع الهوائي وبشكل دفعات والشكل (١٢ - ٩) يعمل بشكل مستمر.



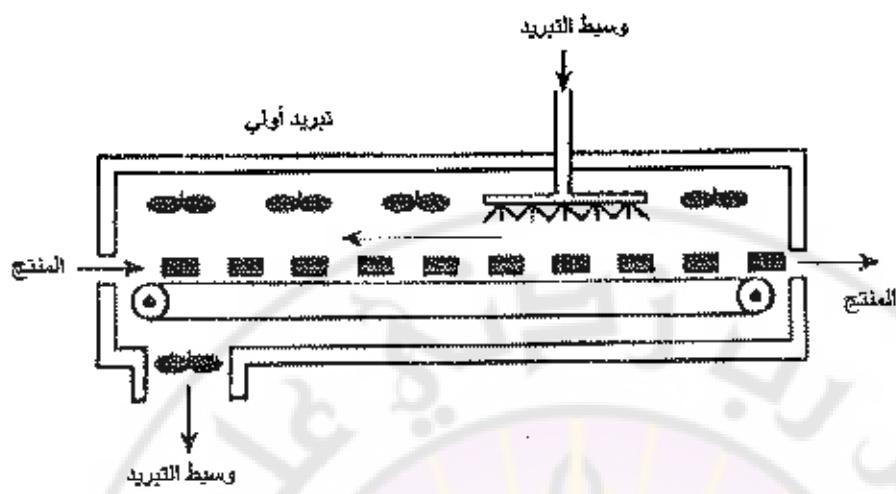
شكل (١٢ - ٨) : نظام تجميد دفع هوائي بعمل بنظام الدفعات



شكل (١٢ -٩) : نظام تجديد دفع هوائي يعمل بالنظام المستمر
 - مجمدات الألواح plate freezers: يتم وضع المنتج المراد تجميده كما هو
 موضح في الشكل (١٢-١٠) على تماس مباشر مع لوح التجميد وهي
 طريقة سريعة للتجميد ويمكن لهذه المجمدات أن تكون ذات نظام عمل مستمر
 أو على شكل دفعات.



شكل (١٢ -١٠) : طريقة التجميد باستخدام الألواح
 - مجمدات الغمر Immersion freezers: في هذا النوع كما هو موضح في
 الشكل (١٢- ١١) يتم إجراء عملية التبريد بغمر المادة في سائل تبريد
 بشكل مباشر حيث تكون سرعة التجميد عالية جداً والحصول على ما يسمى
 التبريد الفائق cryogenic freezing .



شكل (١٢-١١) : مبدأ عمل مجفف الغمر

الفصل الثالث عشر

هندسة البسترة والتعقيم الحراري

Pasteurization and sterilization engineering

١-١٣ - تعریف و مبادئ عامة

تُعرف عملية البسترة بأنها معاملة حرارية للمواد الغذائية والزراعية المعبأة أو غير المعبأة عند درجة حرارة متوسطة غالباً ما تتم تحت ١٠٠°C ولمدة زمنية معينة وتنطلق درجة حرارة البسترة وزمن البسترة بنوع المادة الغذائية وخصائصها الحرارية ودرجة التأثر الميكروبي. تستهدف عملية البسترة زيادة العمر التخزيني shelf life للمولود بحيث تمت لأيام كما هو الحال في حالة الطيب ومشتقاته وتمتد إلى أشهر كما هو الحال في عصائر الفواكه وكذلك تسهم الحرارة في قتل الكثير من العناصر الممرضة microorganisms أو توقف النشاط الأنزيمي inactivate enzymes. يُعرف المنتج المبستر بأنه مادة غذائية تم تعریضها لدرجة حرارة ثابتة لمدة زمنية معينة، ويمكن للمادة أن تكون سائلة أو شبه سائلة أو صلبة ومن ثم يتم تعریض هذه المادة إلى عملية تبريد بهدف التعبئة والتخزين، ووجد أنه يمكن بسترة الحليب الخام عند درجة حرارة ٦٣°C لمدة ٣٠ دقيقة أو ٧٢°C لمدة ١٥ ثانية.

١-٤ - نظرية البسترة: Pasteurization theory

تعتمد عملية البسترة على مبادئ نقل الحرارة من مصدر الحرارة (غالباً البخار أو الماء الساخن) إلى المنتج (الطيب ومشتقاته أو الأغذية المعبأة) وذلك عن طريق مبادل حراري حيث يتم رفع درجة حرارة المادة إلى الدرجة المطلوبة ثم تبدأ بعد ذلك عملية التبريد، وفي حالة البسترة يتم حساب كمية الحرارة اللازمة لعملية البسترة والتي تعتمد على كمية الحرارة المحسوسة واللزمرة لإتمام العملية وتحسب الحرارة المحسوسة اللازمة لإجراء عملية البسترة كما يأتي :

$$Q = m_o \cdot C_p \cdot (T_p - T_f)$$

Q: كمية الحرارة اللازمة لعملية البسترة، واط.

m_c : كتلة المادة، كغ

T_p, T_i : درجة الحرارة الابتدائية ودرجة حرارة البسترة للمنتج على التوالي.

C_p : السعة الحرارية للمادة المراد بسترتها عند ضغط ثابت.

ويعتمد زمن ودرجة حرارة البسترة على مدى مقاومة الأذنيمات الموجودة في المادة وكذلك على مدى وجود الكائنات الممرضة (micro-organism) لذلك يجب ضبط عملية انتقال الحرارة إلى المنتج المبستر بحيث يتم المحافظة على خصائص المادة الطبيعية فمثلاً يمكن أن يصل زمن البسترة عند الحليب عند درجة حرارة ٦٣ م° إلى ٣٠ دقيقة، بينما يصل إلى ١ ثانية عند درجة حرارة ٨٨ م° وفي حالة بسترة المسواد المعجاًة تتم عمليات حسابات البسترة باستخدام نظرية انتقال الحرارة غير المستقرة.

١-٤-١٣ - أجزاء جهاز البسترة

يتكون جهاز البسترة كما هو مبين في الشكل (١٣-١) من الأقسام الرئيسية الآتية :

* **المبادل الحراري (السخان) : Heater:** هذا الجزء عبارة عن مبادل حراري

ويمكن أن يكون المبادل أنيبوبياً أو لوحياً ويتم استخدام الماء الساخن في عملية

تسخين المادة إلى درجة حرارة البسترة وتصل درجة الحرارة ضمن المجال

(٧٦-٧٤ م°) وهي أعلى بقليل من درجة حرارة البسترة وتتم عملية

التسخين هذه خلال فترة قصيرة جداً وذلك حسب نوع المادة المبسترة وحجم

الحمل الميكروبي، ويتم تحديد سرعة الماء الساخن داخل هذا المبادل بنسبية

١.٢ - ٢ مرة من سرعة المادة داخل المبستر.

* **أنبوب الحجز : أنبوب الحجز كما هو مبين في الشكل (١٣-٢) هو أنبوب**

تمرُّ بداخله المادة المبسترة بعد عملية التسخين ولفتره زمنية تزيد من ٤-٥

مرات عن زمن البسترة وذلك بهدف التأكد من قتل جميع الميكروبات (فتره

حضرانة) ويتم ذلك بضبط معدل تصريف مرور المادة ضمن هذا الأنابيب

بشكل دقيق ويجب أن تكون كفاءة الحجز كبيرة لضمان عملية بسترة صحيحة

و يتم التعبير عن كفاءة عملية الحجز بالعلاقة الآتية :

$$\text{كفاءة الحجز} = \frac{\text{زمن مرور المادة داخل الأنابيب}}{\text{زمن الحجز الكلي}}$$

ويقدر زمن الحجز بالعلاقة الآتية :

$$\text{زمن الحجز} = \frac{\text{حجم أنبوب الحجز}}{\text{معدل مریان المادة}}$$

وتعتبر عملية الحجز جيدة عندما تكون كفاءة عملية الحجز أكبر من ٨٠٪، فعلى سبيل المثال تتطلب المعالجة الحرارية الصحيحة للحليب حجز الحليب لفترة محددة عند درجة حرارة لبسترة وهذا يحدث بترتيب معين للصفائح أو الأنابيب التي تضبط أبعادها بحيث تكون فترة حجز المادة متوافقة بالضبط مع الوقت المطلوب ، ويمكن حساب الحجم والطول الكلي لأنبوب الحجز من العلاقات الآتية :

$$V = \frac{Q \cdot h_t}{\eta_h}$$

$$L = \frac{4V}{\pi D^2}$$

حيث :

V: حجم أنبوب الحجز

h_t: زمن الحجز

Q: معدل تدفق المادة في الأنبوب، م^٢ . ثا^{-١}

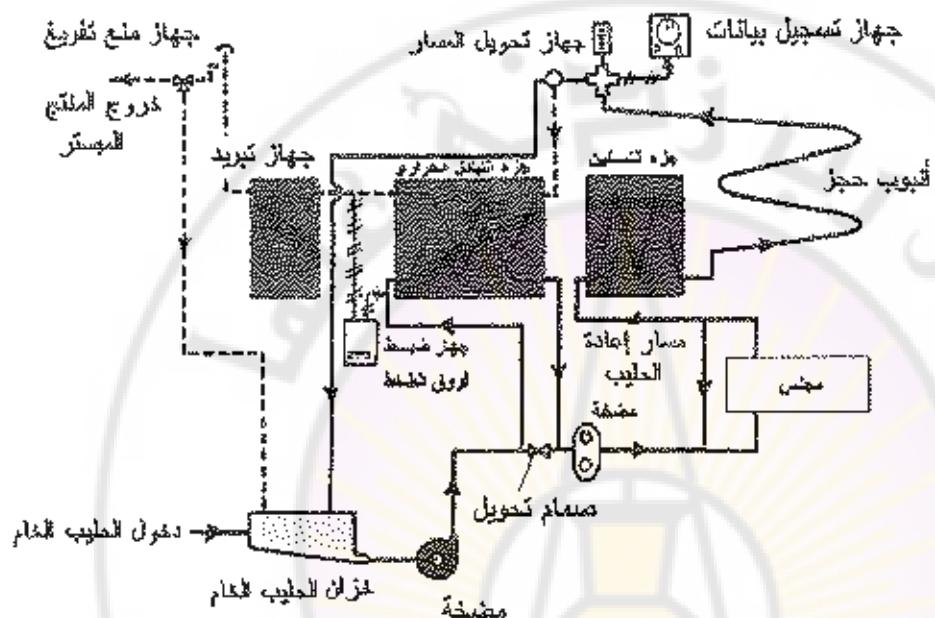
L: طول أنبوب الحجز، م

D: قطر الأنبوب

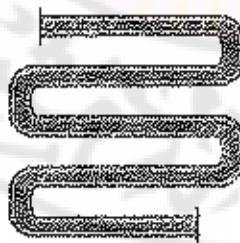
η_h: كفاءة الحجز

- * المبرد: تتم عملية تبريد المادة المبسترة على مرتبتين: في المرحلة الأولى تمر المادة الساخنة على المبادر الحراري الأولى حيث يتم الاستفادة من حرارة المادة الخارجة من عملية البسترة في عملية تسخين المادة الداخلة وفي هذه المرحلة يتم التبريد إلى درجة حرارة ٤٠-٣٨ م° ، وفي المرحلة الثانية

يتم التبريد بواسطة الماء المثلج وتحصل درجة الحرارة بعد التبريد إلى 4 ° م وبعد ذلك تتم عملية التعبئة المطلوبة.



شكل (١٣-١) : مكونات نظام بسترة الحليب النموذجي



شكل (١٣-٢) : شكل لبوب الحجز

١٤-٢-٢ - العوامل المؤثرة في اختيار وحساب أبعاد جهاز البسترة

تتعلق إنتاجية جهاز البسترة بشكل مباشر باختيار الأبعاد المناسبة لجهاز البسترة وعملية الاختيار هذه تتعلق بشكل مباشر بعوامل التشغيل وبخصائص المنتج المختلفة ومن أهم العوامل المؤثرة في اختيار أبعاد وحجم المبستر ما يأتي :

- معدل تدفق المنتج داخل جهاز البسترة
- الخصائص الطبيعية للمنتج (الحرارية والزيولوجية مثل التزوجة الخ..).
- درجة حرارة البسترة المطلوبة.
- هبوط الضغط المسموح به داخل المبستر
- تصميم المبادلات الحرارية داخل جهاز البسترة
- متطلبات التنظيف.
- فترة الجريان المطلوبة.

١٤-٢-٣ - مبدأ عمل جهاز البسترة

تدخل المادة الخام مرحلة الاسترجاع الحراري فتسخن المادة من درجة الحرارة θ_1 إلى الدرجة θ_2 بواسطة المادة الخارجة من أثابيب الحجز، ثم تدخل المادة مرحلة التسخين الأساسية حيث تسخن إلى درجة حرارة البسترة θ_r . تمر، بعد ذلك عبر أثابيب الحجز حيث يتم حجز المادة لفترة زمنية محددة ، وبعدها يعاد تمرير المادة إلى قسم الاسترجاع حيث تُردد إلى درجة الحرارة θ_r ، والمرحلة الأخيرة هي تمرير المادة إلى مرحلة التبريد النهائي حيث يتم استخدام الماء البارد بشكل رئيسي في هذه العملية. تراعي هذه الطريقة نوعية المادة الخام ودرجة التبريد . تستخدم في معظم عمليات البسترة مضخة واحدة فقط حيث تقوم بتدوير المادة بمعدل ثابت بالرغم من الاضطرابات في درجة حرارة المراحل أو التغيرات في خصائص النظام، الأنواع الشائعة من المضخات المستخدمة هي المضخات الطواردة المركزية ومضخات الإزاحة الإيجابية . وعند ضرورة التجنيس فإن المجرس يلعب دور مضخة حيث يقوم بضبط معدل الجريان .

تتم في معظم عمليات البسترة عملية التسخين النهاية بواسطة الماء الساخن ويتم استخدام البخار للحفاظ على درجة حرارة الماء الساخن عند قيمة ثابتة (في أغلب الأحيان أعلى من درجة الحرارة المطلوبة للبسترة بـ 2°C إلى 10°C). يمكن استخدام التسخين الكهربائي وخصوصاً في الأماكن التي تكون فيها عملية تركيب المرجل مكلفة أو صعبة. يكون عادة نظام الحجز ذو أذرع حجز أحادية الاتجاه مجهزة بمجلس حرارة (temperature probe) عند بداية ونهاية صمام تحويل الجريان ويعتبر توضع حساس الحرارة في أنبوب الحجز من الأمور الهامة فعندما يكون حساس الحرارة متوضعاً في بداية الأنبوب فإنه يُتاح لنظام التحكم وقت أكبر للاستجابة للسائل غير المعالج .

٤-٢-١٣ - طرائق البسترة

تتم عملية البسترة باستخدام عدة طرائق حيث ترتبط هذه الطرائق بخصائص هذه المادة وبشكلها من حيث كونها سائلة أو صلبة ومن أهم طرائق البسترة ما يأتي :

٤-٢-١٤ - بسترة المواد السائلة غير المعبأة

يتم استخدام المبادلات الحرارية ذات الشكل اللوحي في عمليات البسترة وخصوصاً في حالة السوائل منخفضة اللزوجة مثل الحليب ومشتقاته وعصائر الفاكهة وهذه المبادلات تتألف من لوحات رقيقة مصنوعة من مادة غير قابلة للصدأ (stainless steel plates) وتتم عملية التسخين بواسطة البخار ويصل معامل انتقال الحرارة إلى ($1100-3000\text{ واط.م}^{-2}\text{ م}^{-1}$) وتنم بإحدى الطرق الآتية :

- طريقة البسترة البطيئة (Pasteurization LTLT) : تسمى هذه الطريقة بطريقـة الحجز وهذا التعبير اختصاراً لـ (درجة حرارة منخفضة- وقت طويـل) وهي طريقة الدفعـات النموذجـية حيث توضع كمية من المادة المراد معاملتها حرارياً (مثلاً الحليب) في حوض مفتوح وتسخـن لدرجة حرارة 63°C وتحـجز عند ذلك الحرارة لمدة 30 دقيقة وفي بعض الأحيان تعالـج

قوارير الحليب المغلفة حراريًّا بشكل مباشر في أحواض قليلة العمق بذلك الطريقة وبعدها تبرد بالماء الجاري.

- طريقة البسترة السريعة HTST Pasteurization : هذا التعبير اختصاراً لـ (درجة حرارة عالية - وقت قصير) بدأ البحث في عملية البسترة هذه (HTST) في أوائل 1920 حيث تم استخدام الحليب في هذه الطريقة عام 1933 ، وسمح باستخدام هذه الطريقة في المملكة المتحدة عام 1941 وساهمت عمليات التشغيل المستمرة continues process بتقديم العديد من الفوائد مثل معدلات التسخين والتبريد الأسرع ، فترات الحجز الأقل والاسترجاع الحراري الذي وفر في تكاليف التسخين والتبريد وبالتالي ساهم في تخفيف تكاليف التشغيل الحراري. تتراوح إنتاجيات المبادرات الحرارية المستمرة ما بين 50000 L. h^{-1} إلى 500 L. h^{-1} وفي النماذج التجريبية 50 L. h^{-1} . تعتمد تقنية HTST على رفع درجة حرارة المادة السائلة إلى درجة حرارة البسترة وفي حالة الحليب إلى $(72-75^{\circ}\text{C})$ وحجزها عند درجة الحرارة لمدة 15-20 ثانية قبل أن تتم عملية التبريد.

١٣-٤-٢-٤ - بسترة المواد المغلفة

تتم بسترة الكثير من المواد السائلة بعد عملية التعبئة في العبوات الخاصة بذلك ويتم من أجل ذلك استخدام الماء الساخن ويجب أن يكون الفرق بين درجتي حرارة الماء والعبوة بحدود 20°C وفي حالة التبريد إلى 10°C وفي هذه الحالة يتم التبريد الأولى إلى درجة 40°C وذلك لضمان تبخر الماء من الأسطح الخارجية ويمكن أن تتم عملية البسترة هذه إما على شكل وجبات (batch) أو بشكل مستمر وذلك باستخدام حوض من الماء الساخن ومن ثم تتم عملية التبريد بواسطة مضخة تضخ الماء البارد

٤-٢-٥ - تأثير عملية البسترة في خصائص المنتج

عملية البسترة هي معاملة حرارية معتدلة نسبياً حتى عندما تتم مع عadiesات تشغيل أخرى (مثل الإشعاع، التبريد). تحدث عملية البسترة تغيرات بسيطة في الخصائص الغذائية والنكهة لمعظم الأغذية وعلى أيام حال فإنَّ العمر التخزيني للأغذية المبسترة عادةً صغير حيث يمتد لعدة أيام أو عدة أسابيع فقط بالمقارنة مع عملية التعقيم التي تمتد إلى عدة أشهر .

٤-٢-٦ - تأثير البسترة في التركيب الكيميائي للحليب

• التقليل من طبقة القشدة التي تتكون على السطح بسبب التغيير في طبيعة أنيقية الحبيبات الدهنية .

- ترسب البسترة 5-10% من بروتينات المصل .
- طرد الغازات الذائبة من الحليب، مما يؤدي إلى خفض حموضة الحليب بمقدار 0.01% حمض لين .
- التقليل من نسبة الكالسيوم والفوسفور الذائبين .

٤-٢-٧ - تأثير البسترة في اللون والنكهة والرائحة

يرجع الاختلاف بين اللون الأبيض للحليب الخام واللحليب المبستر إلى عملية التجفيف حيث لا تملك عملية البسترة أي تأثير ملحوظ في ذلك، أيضاً فإنَّ الأصبغة والألوان الأخرى في المنتجات النباتية والحيوانية لا تتأثر بعملية البسترة. يتم فقدان القليل من عناصر النكهة خلال عملية البسترة (الحليب والعصير) ويمكن استخدام العناصر الطبيعية لاسترداد النكهة للمنتج على الجودة لكنَّ ذلك يؤدي إلى تكاليف عالية وقد ان المواد الطيارة من الحليب الخام مما يجعله منتجًا له رائحة تشبه رائحة القش الزطب .

٣-١٢ - هندسة التعقيم الحراري : Heat sterilization engineering

تعرف عملية التعقيم بأنها عملية معاملة حرارية للأغذية عند درجات حرارة أعلى من 100 °م ولونت كافية للقضاء على الكائنات الدقيقة (الميكروبات، الجراثيم

، الفطور) وكذلك للقضاء على فعالية الأنزيمات ، و كنتيجة لعملية التعقيم فإنَّ زمن حفظ المواد الزراعية (shelf life) سوف يمتد إلى ستة أشهر ولكن لعملية التعقيم الزائدة عن الحد تأثير في خصائص الجودة للمنتجات وذلك بسبب تأثير بعض المكونات المؤلفة للمادة الغذائية بالحرارة مثل البروتين.

١٣-٣-١ - العوامل المؤثرة في عملية التعقيم

إنَّ درجة الحرارة اللازمة للتعقيم وزمن التعقيم يتأثران بالعوامل الرئيسية الآتية :

١- درجة التلوث الميكروبي: إنَّ مدة التلوث الميكروبي تلعب دوراً مهماً في تحديد زمن التعقيم ودرجة حرارة التعقيم وذلك نجد أنَّ الأبواغ هي الأكثر مقاومة للحرارة من الفطريات والخمائر أو البكتيريا. لذلك فهي تحتاج إلى زمن أطول في التعقيم ودرجة حرارة أعلى.

٢- درجة الحموضة pH : إنَّ زيادة الحموضة في المواد الغذائية يقلل من شدة المقاومة الحرارية اللازمة لعملية التعقيم والسبب أنَّ الحموضة العالية تسبب في قتل الكثير من الأحياء الدقيقة بسرعة كبيرة لذلك نجده أنَّ البنفسجية والفواعكه والزيوت يتم تعقيمهها عند درجة حرارة تصل إلى ٢١٢ ف (١٠٠ م°) لمدة ١٥ - ٣٠ دقيقة بينما المولد غير الحامضية (pH أكثر من ٤.٥) فنجد عملية التعقيم عند درجة حرارة ٤١ - ٤٥ ف (١٢١ - ١١٦ م°) وذلك لمدة (٢٠ - ٦٠) دقيقة، ويمكن تقسيم الأغذية وفقاً لدرجة حموضتها إلى :

- الأغذية منخفضة الحموضة: تكون قيمة pH أكثر من 4.5 مثل (اللحوم، السمك، الخضار، المواد المخلوطة، معظم أنواع الحساء).

- الأغذية الحامضية: تتراوح قيمة pH بين 4.5 - 4 مثل (مربيات الفاكهة، خليط الفاكهة، العنب، البندوره، عصير البندوره، الدراق، القليلة الحلوة، شرائح الأناناس، سلطنة البطاطا، عصير الخوخ، عصير الخضار)

• الأغذية عالية الحموضة: تكون قيمة pH أقل من 4 . مثل (التفاح، عصير التفاح، الكرز ، عصير التوت البري، هلام الفواكه، عصير الليمون الهندي لب الليمون الهندي، عصير الليمون، عصير الليمون الحامض، عصير البرتقال، الخوخ، عصير الأناناس، المخللات الحامضة، الخل).

إن الموضع الأكثر أهمية في تصنيف pH هو الفصل بين المواد الغذائية الحامضية والمواد الغذائية مقوسة الحموضة. تكرر معظم المختبرات التي تعامل مع موضوع المعالجة الحرارية اهتماماً خاصاً بجراثيم *Clostridium botulinum* والتي تمتاز بمقاومة عالية للحرارة وشكلها العصوي وتشكيلها للأبواغ وهو عامل مرضي لاهوائي ينتج *botulism toxin* (سم من أكل اللحم). كان هناك قبول عام بأن جراثيم *Clostridium botulinum* لا تنمو ولا تسبب السمية دون درجة $\text{pH} < 4.5$. وبالتالي فقد تم اعتماد درجة حموضة ٤.٥ كحد فاصل بين المجموعات الحامضية والمجموعات المذكورة الحموضة بحيث لا تحتاج إلى التفكير في *Clostridium botulinum* ، وبالرجوع إلى معالجة المواد الغذائية الحامضية ($\text{pH} < 4.5$) من ناحية أخرى، فإن المواد الغذائية ذات درجة الحموضة المذكورة (هناك احتمال وجود أبواغ مقاومة للحرارة وتبقى على قيد الحياة وبالتالي فإن *Clostridium botulinum* تعيش في ظل الشروط اللاهوائية السادمة داخل العلب المحكمة الإغلاق لإنتاج سم ذات منشأ خارجي قوي) (سم البروتين). هناك كائنات تقيقة أخرى مثل *C. thermosaccolyticum* *B. thermocidurans* و *C. botulinum* التي تمتاز بمقاومة أكبر للحرارة من $50 - 55^\circ\text{C}$ وبالتالي ليس هناك اهتمام في حال تخزين العلب المعالجة في درجة حرارة تقل عن 30°C .

- حجم العبوة : يؤثر حجم العبوة كتابع لعمليات انتقال الحرارة داخل العبوة وكذلك تبعاً لمادة العلبة، فالعبوة الأكبر حجماً تحتاج إلى زمن تعقيم أكبر وبذلك تؤثر مادة العبوة بشكل كبير ، فعلى سبيل المثال فإن معدن الألومنيوم ذو

نافذية حرارية أكبر من الزجاج فعملية التعقيم للزجاج تأخذ مدة أطول عند نفس حجم العبوة.

٤- قوام المادة الغذائية: تحتاج الأغذية السائلة إلى زمن تعقيم أقل من الأغذية الصلبة أو ذات الكثافة العالية حيث معدل انتقال الحرارة في الأغذية السائلة أكبر (انتقال حرارة بالحمل) منها في حالة الأغذية بأشكال أخرى (معامل انتقال الحرارة بالتوسيع).

٢-٣-١٣ - أجهزة التعقيم sterilizes equipment

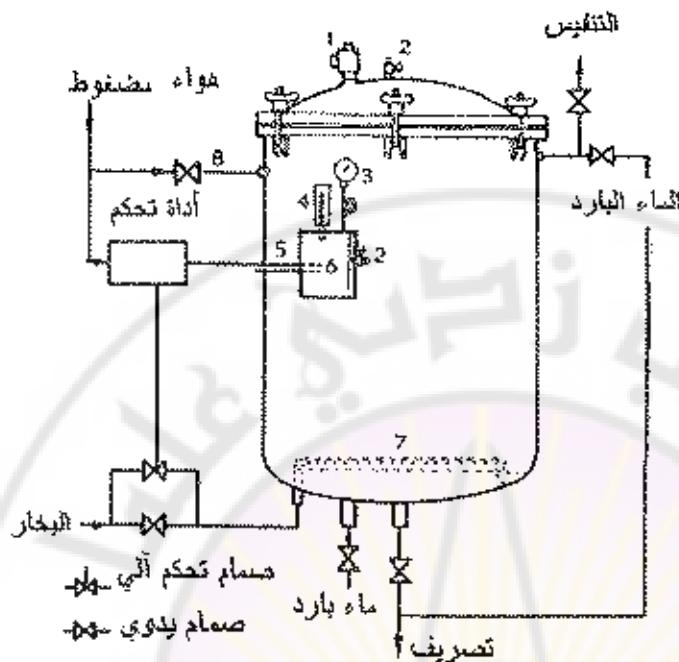
تتم عملية التعقيم داخل أجهزة التعقيم وفقاً لطريقتين :

- طريقة الوجبات أو الدفعات (batch sterilizer) : حيث تتم العملية بوضع المادة المراد تعقيمها بجهاز البسترة حتى تمام عملية التعقيم ثم يتم إزالة هذه الكمية وإدخال كمية جديدة وهكذا أي أن عملية تعذية المعقم بالمادة تتم بشكل متقطع.

- وطريقة التعقيم المستمر (continuous sterilizer) : تتميز هذه العملية بأن عملية تعذية المادة تتم بشكل مستمر وبالتالي يوجد دخل دائم وخرج دائم من وإلى المعقم خلال فترة تشغيل المعقم.

٢-٣-١٤ - أجهزة التعقيم ذات الوجبات

كما هو مبين في الشكل (١٣-٣) فإنَّ هذا المعقم يتكون عن وعاء يمكن إغلاقه بإحكام ويحوي على مجموعة من المداخل والمخارج (فتحات أتابيب) إضافة إلى فتحة إدخال المواد ، حيث يتم العمل بهذا المعقم من خلال وضع المسود المراد تعقيمها بوضعها على حوض شبكي داخل المعقم ومن ثم يتم إغلاق المعقم بإحكام وبعد ذلك يتم فتح البخار حتى الوصول إلى درجة حرارة التعقيم ويتم مراقبة ذلك بواسطة أجهزة تحكم ملحة بالمعقم ثم يبدأ تسجيل زمن التعقيم وبعد ذلك يتم أخذ الوجبة المعقمة إلى التبريد وإدخال وجبة جديدة وهكذا.



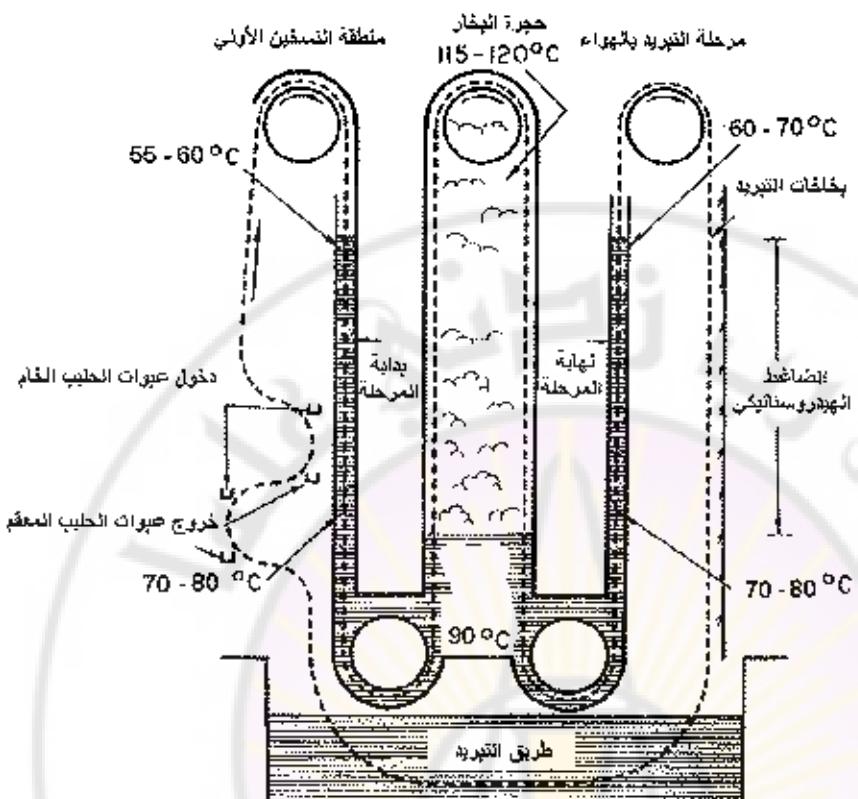
الشكل (١٣-٢) : معقم الوجبات

١: صمام أمان ، ٢: صمام ضبط البخار، ٣: مقياس ضغط، ٤: مقياس حرارة، ٥: حساس، ٦: صندوق
مقياس الحرارة، ٧: موزع البخار، ٨: منفذ الهواء

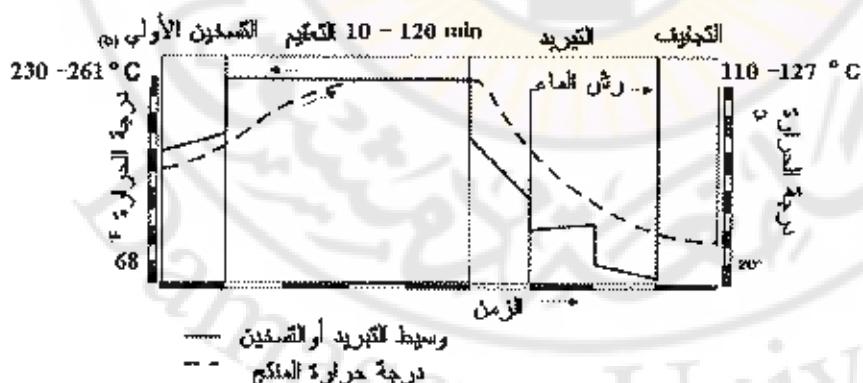
١٣-٢-٣-٢ - أجهزة التعقيم المستمرة

يتكون هذا المعقم من جزأين أحدهما يستخدم للتسخين والآخر للتبريد، يتم دخول العبوات عن طريق سير ناقل إلى حجرة مصممة تمنع تسرب البخار ثم تنتقل بعد ذلك إلى حجرة التبريد ثم تحل بعدها وجبة جديدة مستمرة وهكذا، تسمح عمليات التعقيم باستخدام المعقم المستمر الموضحة في الشكل (٤ - ١٣) بالتحكم بظروف العملية ، لذلك يتم الحصول على منتجات أكثر انتظاماً من حيث درجة التعقيم من المعقمات ذات الدفعات حيث يتسع عنها تغيرات متدرجة في الضغط داخل العبوات وبالتالي إيجاداً أقل على مناطق قفل العبوات (can seams) بالمقارنة مع الأجهزة ذات الدفعات ، والسيئة الوحيدة لهذه الأجهزة هي الفقد الكبير في العبوات الناتجة عند حدوث

أي عطل للجهاز. ويمكن حدوث بعض المشاكل مثل الصدأ أو الاختلاط إذا لم يتمأخذ الاحتياطيات الوقائية الكافية. من أهم الأنواع الرئيسية لأجهزة التعقيم المستمرة هي (Cooker Coolers) وأجهزة التعقيم الدوارة وأجهزة التعقيم الهيدروستاتيكية ويتألخص عمل جهاز التعقيم الهيدروستاتيكى المستمر في تعقيم عبوات الحليب حيث يتم فصل الزجاجات بعد ملئها بالحليب ففلاً محكمًا ثم يتم نقلها بواسطة سرير ألى إلى أسطوانات التعقيم والتبريد وسمى أحياناً ببرج التعقيم ويكون من أربع وحدات أسطوانية الشكل مفتوحة الطرفين ولها غطاء وقاعدة مشتركة وكل من البرج الأول والثالث والرابع مقسوم طولياً إلى قسمين ، تدخل زجاجات الحليب في البرج الأول حيث يكون الجو دافئاً، وعند وصول الزجاجات إلى قمة تقلب عاكسة اتجاهها لتحريك الحليب . وعندما تدخل القسم الثاني تغمر في الماء الساخن الذي درجة حرارته 90°C . تدخل الزجاجات بعدها برج البخار وهو برج غير مقسم حيث تصعد الزجاجات إلى الأعلى ثم تهبط وبذلك يحصل تقليب آخر للحليب والبرج الثاني مشبع بالبخار الذي درجة حرارته 120°C . تبقى الزجاجات داخل هذا البرج المدة اللازمة للتعقيم وهي عادة 20 دقيقة ، ثم تستمر في دورتها لتدخل البرج الثالث وعندها تبدأ عملية التبريد و ذلك بمرور الزجاجات في القسم الأول من هذا البرج والذي يحوي ماء ساخناً درجة حرارته 90°C ثم في القسم الثاني الذي درجة حرارته 68°C وبعدها تمر في البرج الرابع الذي يحوي ماء بارداً لتبریدها. تستغرق الزجاجات في دورتها مدة 80 دقيقة، وتخرج بدرجة حرارة 40°C ، ويحصل تقليب للحليب 7 مرات . يبين الشكل (٥-١٣) الدورة الحرارية التي تمر بها العبوات داخل المعمق.



الشكل (١٣-٤) : مبدأ عمل المعدم المستمر



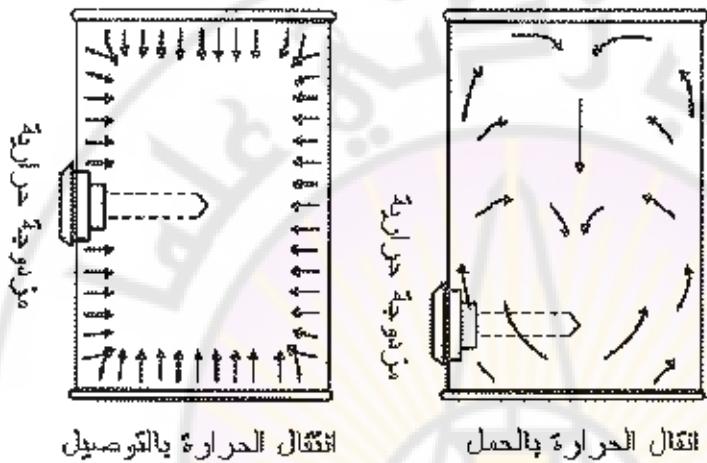
الشكل (١٣-٥) : مراحل التغذيم المختلفة مع الدورة الحرارية

١٣-٣-٣- انتقال الحرارة داخل العبوة ومعدل النفوذ الحراري

إن عملية انتقال الحرارة داخل العبوات يتم بالحمل والتوصيل والإشعاع حتى الوصول إلى النقطة الباردة cold point (وهي آخر منطقة من العلبة والتي تصل درجة حرارة التعقيم فيها إلى الدرجة المطلوبة) وغالباً ما تقع هذه النقطة فوق قاع العلبة بمسافة ٢٥ مم، أما في حالة انتقال الحرارة بالتوصيل (المواد المقطعة أو اللزجة) فتقع النقطة الباردة في منتصف العبوة، لذلك يبدأ زمن التعقيم من لحظة وصول درجة حرارة هذه النقطة إلى درجة حرارة التعقيم ويتم معرفة النقطة الباردة بشكل تجريبى، تنتقل الحرارة من البخار إلى الغذاء عبر جدران العبوة ويكون معامل انتقال الحرارة عادة عبر السطح مرتفعاً جداً وهو عامل غير محدد في انتقال الحرارة، ويتأثر بشكل كبير على معدل النفوذ الحراري للأغذية العوامل الآتية :

- نوع المنتج : سائل أو أغذية خاصة (مثلاً اليازلياء في محلول ملحي).
 - حجم العبوة : النفوذ الحراري للمركز أسرع في العبوات الصغيرة من العبوات الكبيرة .
 - درجة حرارة التعقيم: اختلاف درجة حرارة الأكير بين الغذاء ووسط التسخين يسبب اختراق حراري أسرع .
 - شكل العبوة : يلعب شكل العبوة دوراً في معدل النفوذ الحراري .
 - نوع العبوة : النفوذ الحراري أسرع عبر المعدن من الزجاج أو البلاستيك.
- وتنتمي عمليات انتقال الحرارة داخل العبوات بالطرق الآتية :
- الإشعاع : تنتقل الطاقة الحرارية كما تنتقل الموجات الضوئية .
 - الحمل : تنتقل الطاقة الحرارية بتغيرات الحمل للمحاليل المغمورة فيها المادة الغذائية نتيجة لاختلاف درجات الحرارة كما هو الحال معظم عصائر الفاكهة والخضار في المحاليل، الحساء، الحليب، منتجات السمك ضمن محاليل.
 - التوصيل : تنتقل الحرارة في هذه الطريقة عن طريق التماض المباشر بين مصدر الحرارة ولواء الحاوي على المادة الغذائية (حلة أو أوتووغلاف) وغالباً ما يحدث انتقال الحرارة بالتوصيل في الأغذية الصلبة ذات الرطوبة

المرتفعة مثل عجينة الذرة: وغيرها. يبين الشكل (١٢-٦) آلية انتقال الحرارة داخل العلب المعقمة.



شكل (١٢-٦) : انتقال الحرارة داخل العلب بالحمل والترansfert

٤-٣-٤ - قياس النفوذ الحراري داخل العلبة و زمن التعقيم

يتم قياس معدل النفوذ الحراري باستخدام المزدوجة الحرارية (Thermocouple) والتي تتألف من مسمار حراري بداخل محلول محلبي ومن مسمار ثان يوضع في منتصف العلبة الحلوية على المادة الغذائية (العلبة مثلاً تحوي بازلياء وملح) والمسمارين موصولين إلى جهاز يقوم بتسجيل درجة الحرارة ويحيط توضع هذه التجهيزات ضمن الأوتوكلاف عند درجة الحرارة المناسبة للتعقيم . تعتبر الطريقة الرياضية لحساب زمن التعقيم طريقة سريعة من أجل درجات حرارة تعقيم

مختلفة أو من أجل أحجام عبوات متعددة، ولكنها محددة باعتبارات طبيعة عملية التسخين، وهذه الطريقة تعتمد على العلاقة الآتية :

$$B = f_h \log\left(\frac{j_h I_h}{g}\right)$$

B : زمن التعقيم، دقيقة

f_h : ثابت معدل التسخين = زمن النفوذ الحراري لدورة لوغاريمية واحدة، دقيقة

j_h : عامل التأثير الحراري ويحسب بالاعتماد على الشكل (٧-١٣) بعد إيجاد درجة

حرارة المنتج الأساسية التقريبية (O_{ph})(pseudo-initial product temperature) والذى يعطى بالعلاقة الآتية :

$$j_h = \frac{\theta_r - \theta_{ph}}{\theta_r - \theta_{rh}}$$

a فرق درجات حرارة التعقيم ودرجة حرارة المنتج الأولية وتعطى بالعلاقة الآتية

$$I_h = (\theta_r - \theta_{rh}) [^{\circ}C]$$

g : الفرق بين درجة حرارة التعقيم (retort temperature) و درجة حرارة المنتج النهائي ، القيمة (g) تتأثر بالعوامل الآتية :

- TDT للكائنات الميكروبية التي تعتمد عليها العملية.

• ميل

j_h

على منحني التسخين.

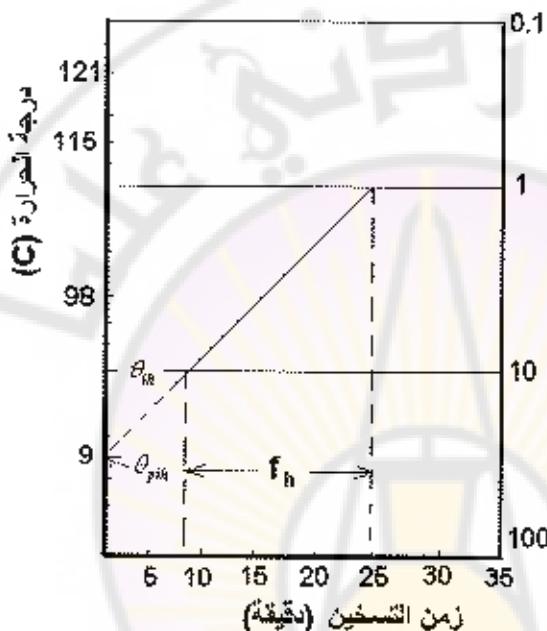
- قيمة Z للكائنات الميكروبية المستهدفة.

- الاختلاف بين درجة حرارة التعقيم و درجة حرارة ماء التبريد.

- θ_r : درجة حرارة التعقيم.

θ_{ji} [°C] : درجة حرارة الابتدائية للمنتج.

يَعْتَبِرُ ثابت مُعْدَلِ التسخين وفَقَاءً لِمساحة السطح وحجم المادة داخِلَ العبوة ويَعْتمِدُ عَلَى طريقة تسخين المنتج بالترصيف أو بالحمل.



الشكل (١٣-٧) : منحني زمن التسخين

الفصل الرابع عشر
هندسة تجفيف المواد الزراعية
Drying engineering of agriculture products

٤-١-١- مقدمة في الهواء الرطب

تعتبر عملية التجفيف من العمليات التصنيعية ومعاملات ما بعد الحصاد الرئيسية التي يتم من خلالها حفظ الأغذية من خلال عملية إزالة الرطوبة من المنتجات الغذائية بشكليها الحر والمرتبط وذلك إما بهدف: الوصول إلى رطوبة التخزين المناسبة أو تسهيل عملية تداول ونقل تلك المواد والتقليل من كثافتها. ويتم تحقيق عملية التجفيف إما طبيعياً بواسطة التجفيف الشمسي sun drying أو بواسطة التجفيف الصناعي باستخدام المجففات الصناعية، يعتمد مبدأ التجفيف على تعريض المادة المراد تجفيفها إلى درجة حرارة مناسبة (درجة حرارة التجفيف) فترة من الزمن مما يؤدي إلى تبخر الرطوبة المحجوزة في المادة الغذائية. إن معرفة خصائص الهواء الرطب الترموديناميكية يعتبر المدخل الأساسي في حسابات عمليات التجفيف (الطاقة اللازمة، مدة التجفيف) باستخدام الهواء الساخن.

يُسمى الهواء الجوي الذي يحتوي على نسبة من بخار الماء بالهواء الرطب wet air، وتزداد خاصية الهواء على حمل بخار الماء مع ارتفاع درجة حرارة الهواء وانخفاض الرطوبة النسبية إلى أن يصل الهواء إلى مرحلة لا يستطيع حمل البخار وبذلك يكون الهواء قد وصل إلى مرحلة الإشباع saturation stage ونقل قابلية الهواء على حمل البخار أيضاً في حالة انخفاض درجة حرارة الهواء ثم يبدأ البخار بالنكائف حتى الوصول إلى نقطة الإشباع أي عند الوصول إلى نقطة الندى (Dew point) وتم تمثيل هذه الخصائص مع بعضها بعضاً في مخطط بياني واحد يسمى خريطة الهواء الرطب أو الخريطة (الميكرومترية).

١-١-٤ - تعاريف أساسية في الهواء الرطب

- درجة الحرارة الجافة: تسمى درجة حرارة الهواء التي يتم قياسها بواسطة ميزان الحرارة العادي مباشرة تحت الظل بأنها درجة حرارة الجافة للهواء ويتم القياس بمقاييس ذات سوائل (زئبقي أو كحولي) أو مقاييس ذات مزدوجات حرارية .
- درجة الحرارة الرطبة: تسمى درجة حرارة الهواء التي يتم قياسها بواسطة ميزان حرارة محاط بالقطن المبلل بالماء أمام تيار من الهواء بأنها درجة الحرارة الرطبة.
- درجة حرارة نقطة التدى: هي درجة الحرارة التي يصل إليها الهواء عند تبريده حتى نقطه التشبع.
- المحتوى الرطوي : (الرطوبة المطلقة) absolutely humidity

تعرف بأنها كتلة بخار الماء (كغ) الموجودة في واحد كيلو غرام من الهواء الجاف وتحسب من العلاقة الآتية :

$$w = \frac{m_w}{m_a} = 0.662 \left(\frac{p_w}{p_a - p_w} \right)$$

حيث:

w: المحتوى الرطوي، كغ ماء / كغ هواء

m_w : كتلة بخار الماء، كغ

m_a : كتلة الهواء الجاف، كغ

p_w : ضغط بخار الماء الجزيئي، بascal

p_a : ضغط الهواء بascal

• الرطوبة النسبية: (φ)

تعرف الرطوبة النسبية بأنها نسبة ضغط بخار الماء الموجود في هواء رطب (P_w) إلى الضغط المشبع لبخار الماء (P_s) عند نفس درجة الحرارة ونعبر عنها رياضياً بالعلاقة الآتية :

ويمكن الحصول على ضغط البخار من جداول البخار القياسية.

• الحجم النوعي: Specific volume

يسمي الحيز الذي يشغله غاز أو مخلوط بأنه حجم الغاز ويقاس بوحدة كغ . م⁻³ من الهواء الجاف.

• المحتوى الحراري للهواء: Enthalpy

يعرف المحتوى الحراري بأنه محتوى الطاقة الداخلية لمخلوط هواء - بخار ويمكن أن يكون المحتوى الحراري على شكل حرارة محسوسة أو بصورة حرارة كامنة ويقاس المحتوى الحراري بوحدة ك.جول . كغ¹ ويندرج من العلاقة الآتية :

$$H_w = H_a + w \cdot H_g$$

H_w : المحتوى الحراري للهواء الرطب.

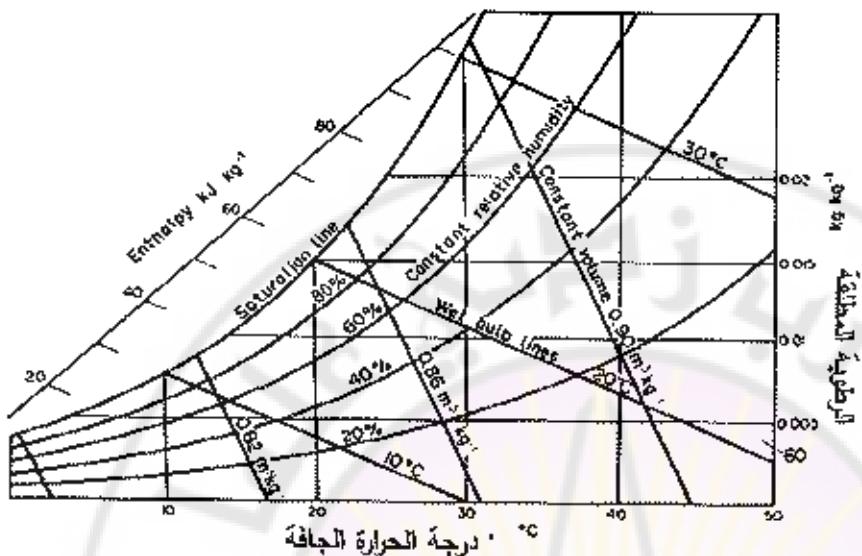
H_a : المحتوى الحراري للهواء الجاف.

H_g : المحتوى الحراري للبخار الرطب.

w : المحتوى الرطوبى لبخار الماء.

٤-١-٢-٤ - خريطة الهواء الرطب (الخريطة السيكرومترية) :

الخريطة السيكرومترية The psychometric chart الموضحة بالشكل (٤-١) عبارة عن تمثيل بياني لكلٍ من الخصائص الطبيعية والحرارية للهواء الرطب فتوضح الخريطة كيفية تغير حالة الهواء نتيجة للتغير الفيزيائي أو حدوث عملية تسخين أو تبريد على الهواء.



شكل (١٤-١) : خريطة الهواء الرطب عند درجات حرارة منخفضة

٤-٢-١- تعاريف أساسية: basic defines

- **المحتوى الرطوي للمادة:** The moisture content: وهو مقدار ما تحويه المادة من ماء نسبة إلى الوزن الكلي ويمكن الحصول على المحتوى الرطوي للمادة باستخدام فرن للتجفيف حيث يتم وزن العينة (٢٥ غ تقريباً) لو حسب الدسائير القياسية ثم توضع في الفرن لمدة من الزمن حتى ثبات الوزن وبعد ذلك يتم تقدير المحتوى الرطوي للمادة من العلاقات الآتية كما يأتي :

$$M_{wb} = \frac{m_b - m_a}{m_b} \times 100\% \quad \text{على أساس رطب}$$

$$M_{db} = \frac{m_b - m_a}{m_a} \times 100\% \quad \text{على أساس جاف}$$

حيث:

M_{w0} : المحتوى الرطوي على أساس رطب، %

M_{d0} : المحتوى الرطوي على أساس جاف، %

m_b : وزن المادة قبل التجفيف، كغ

m_a : وزن المادة بعد التجفيف، كغ

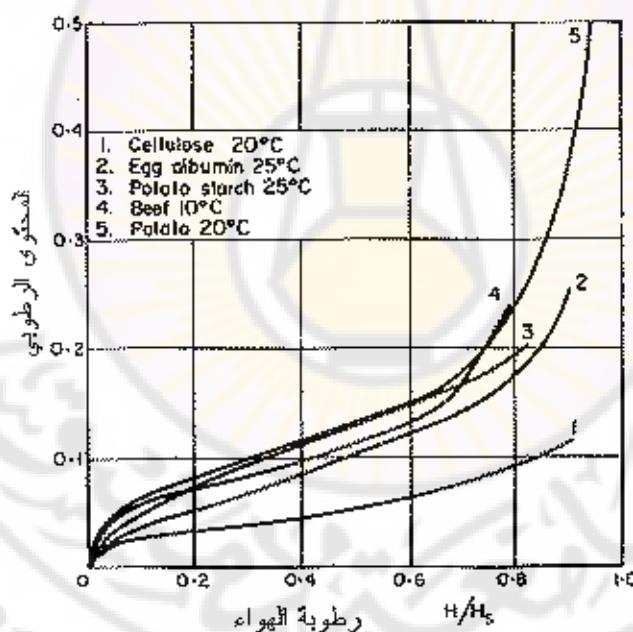
- المحتوى الرطوي الأتزاني أو الحرج M_e : Equilibrium moisture content

هو المحتوى الرطوي (نسبة منوية) الذي تصل إليه المادة أثناء

التجفيف وتبقى الرطوبة عند ثباته مع مرور الزمن وتحتفل قيمة هذا

المعامل باختلاف المواد ويتم تحديده تجريبياً لكل مادة ووضعه على شكل

جدول أو مخططات كما هو مبين في الشكل (١٤-٢).



شكل (١٤-٢) المحتوى الرطوي الأتزاني لبعض الأغذية

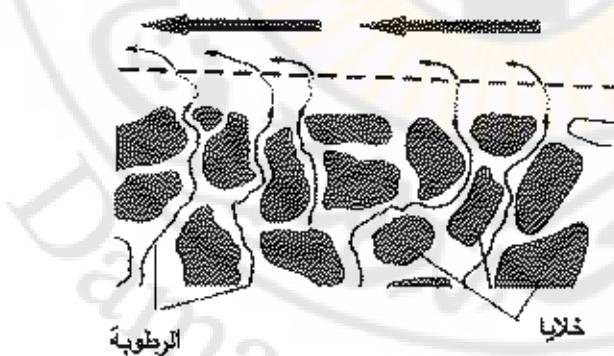
١ - السيلولوز، ٢ - زلال البيض، ٣ - نشاء الذرة، ٤ - اللحم البقرى، ٥ - البطاطا

٤-٣-١٤ - مبدأ التجفيف:

يمكن أن يتواجد الماء داخل المواد الغذائية بثلاثة أشكال: على شكل صلب وهي حالة التجمد والشكل السائل والشكل الغازي ، ويعتمد وجود الماء بإحدى الأشكال الثلاثة على درجة الحرارة والضغط وتعتبر عملية التجفيف عملية مركبة إذ يصاحب عملية التجفيف عملية انتقال للحرارة وانتقال للكتلة (الماء) ويمكن أن يتواجد الماء بحالته السائلة داخل المواد:

- بشكله الحر غير المرتبط والموجود في المسامات الشعرية
- وبشكله المرتبط حيث يرتبط الماء مع مجموعات أيونية مثل المجموعة الكربوكسيلية والمجموعة الأمينية ونوع آخر يرتبط مع المجموعات الاهيدروكسيلية، فعد بدایة التجفيف يبدأ انتقال الحرارة من وسيط التجفيف إلى سطح المادة ويبدا تبخر الماء الحر من سطح المادة كما هو مبين في الشكل (٤-٣) وفي هذه الحالة يكون معدل التبخر (معدل التجفيف) ثابت مع مرور الزمن ونسمى هذه المرحلة من التجفيف بمرحلة معدل التجفيف الثابت ومع تزايد المقاومة الداخلية لمرور الماء يبدأ معدل التجفيف بالتناقص ونسمى هذه المرحلة بمرحلة التجفيف بمعدل متناقص.

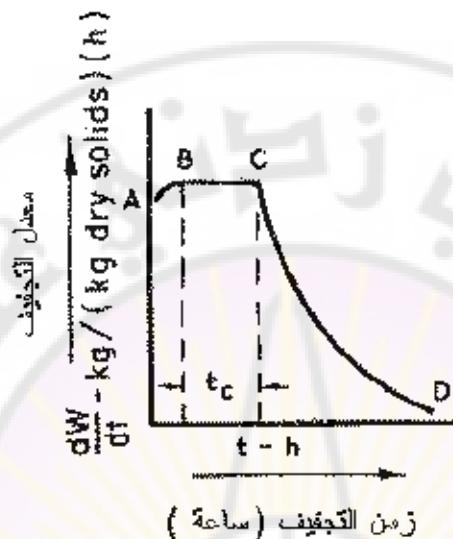
هواء التجفيف



شكل (٤-٣): خروج الماء من المادة الغذائية

٤-٤- حساب معدل وزمن التجفيف في مراحل التجفيف:

تمر عملية التجفيف بمرحلتين رئيسيتين كما هو موضح في الشكل (٤ - ١٤) وذلك وفقاً لنوع الماء الموجود في المادة وهذه المراحل هي:



شكل (٤ - ١٤): منحني التجفيف التناوينجي

١ - مرحلة التجفيف بمعدل ثابت: The falling-rate drying period

في هذه المرحلة من التجفيف (فترة قصيرة من النقطة b إلى النقطة a) حيث يبقى معدل التجفيف ثابتاً مع الزمن وبحيث تبقى الرطوبة على السطح متوفرة وأن كمية الماء المنتقلة من داخل المادة إلى السطح أكبر من معدل انتقالها من السطح ويمكن التعبير عن معدل التجفيف في حالة استخدام الهواء بالعلاقة الآتية :

$$Q = m_w \cdot L_e = h_c \cdot A \cdot (T_a - T_s)$$

وبهذه نجد:

حيث:

m_w : معدل التجفيف، (كغ ماء. سـ⁻¹)

h_t : معامل انتقال الحرارة السطحي بالحمل، (واط . م⁻². سـ⁻¹)

T_s, T_a : درجة حرارة وسيط التجفيف ودرجة حرارة سطح مادة التجفيف والتي تصاوي درجة الحرارة الارادية للمادة ، مـ.

A: مساحة سطح التجفيف، م²

وـ: الحرارة الكامنة لتبخر الماء، كـ. جول. كغ⁻¹ ماء.

يتعلق معامل انتقال الحرارة السطحي بمعدل تدفق هواء التجفيف وبطريقة التدفق ويتم حساب هذا المعامل من في حالة أن اتجاه تيار الهواء يوازي المادة الغذائية:

$$h_t = 14.3m^{0.8}$$

وفي حالة أن اتجاه تيار الهواء عمودي على المادة الغذائية يعطى بالعلاقة الآتية :

$$h_t = 24.2m^{0.37}$$

حيث:

m : معدل تدفق الهواء السطحي كـ. ثـ⁻¹. مـ⁻¹

ويتمكن حساب زمن التجفيف خلال هذه المرحلة من العلاقة الآتية :

ρ : كثافة المادة

X: سمك طبقة المادة

M_i, M_f : نسبة الرطوبة الابتدائية والنهائية على التوالي

٢- مرحلة التجفيف بمعدل متلاقي: Falling – rate time period

تبدأ هذه المرحلة عندما يصبح انتقال الماء بالانتشار من داخل المادة إلى سطحها أقل من تبخر الماء من السطح (من النقطة C إلى النقطة D، الشكل ١٤-٥) وبذلك ثم تطوير تمازج حسابية لتغير معدل التجفيف وذلك حسب سماك الطبقة المراد تجفيفها كما يأتي :

- * نموذج الطبقة الرقيقة: Thin-layer drying: نسمى طبقة المادة المراد تجفيفها والتي يقل سمكها عن ١٥ سم يأهلاً طبقة رقيقة، وفي هذه الحالة يمكن التعبير عن معدل نزع الرطوبة بواسطة قانون "نيوتون" وباستبدال الرطوبة مكان درجة الحرارة كما يأتي :

ويمثل العلاقة السابقة الحصول على العلاقة الآتية التي تعبر عن معدل التجفيف في الطبقات الرقيقة:

حيث :

(Φ) : نسبة الرطوبة

M_e, M_o, M : المحتوى الرطوي المتغير مع الزمن، المحتوى الرطوي الابتدائي، المحتوى الرطوي الابتدائي على التوالي على لسان جاف، %

k : ثابت التجفيف ، معا

٣: زمن التجفيف: ساعة

ويمكن التعبير أيضاً بعلاقة تأخذ بعين الاعتبار معامل انتشار الكتلة كما يأتي

حيث :

$$D_i : \text{معدل انتشار الكثافة: } m^2 . \text{ ماعة}^1$$

- نموذج الطبقة العميقة Deep bed drying : نسمى الطبقة التي يزيد سمكها عن 15 سم بالطبقة العميقة وفي هذه الحالة يتم تقدير معدل التجفيف بفرض أن عملية التجفيف تتم في طبقات فوق بعضها البعض وأن درجة الحرارة ورطوبة الهواء تتغير مع الزمن من مرحلة إلى أخرى.

٤-٥ - الطاقة اللازمة لعملية التجفيف

يتم حساب الطاقة اللازمة لعملية التجفيف من خلال التوازن الحراري والتوازن الكلي وذلك بتحديد معدل فقد الرطوبة من المجفف والطاقة الكلية اللازمة لعملية التجفيف من خلال تحديد الطاقة الفعلية اللازمة لعملية التجفيف والطاقة المفقودة.

٤-٦-١- التوازن الحراري في عملية التجفيف : Energy balance

تشمل كمية الحرارة الكلية اللازمة لعملية التجفيف كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المادة حتى درجة حرارة التجفيف المطلوبة (كمية الحرارة المحسوسة، Q_s) وكمية الحرارة اللازمة لتبخر الماء عند درجة حرارة ثلبة (كمية الحرارة الكلامية، Q_t) ومن كمية الحرارة المفقودة إلى الوسط الخارجي (Q_{loss}) ويمكن تشكيل توازن الطاقة بالعلاقة الآتية :

$$Q_t = Q_s + Q_t + Q_{loss}$$

حيث :

$$Q_s = m' \cdot C_p \cdot (T_p - T_1)$$

$$Q_t = m_w \cdot L_s$$

حيث :

m' : معدل كمية المنتج الداخلة إلى المجفف، كغ. سا⁻¹

C_p : السعة الحرارية للمنتج، ك. جول، كغ⁻¹ م²

T_p, T_1 : درجة حرارة المنتج الداخلة والخارجة من المجفف على التوالي، م.

M_w : معدل كمية الرطوبة المفقودة من المادة بفعل التجفيف، كغ. سا⁻¹.

L_s : الحرارة الكلامية لتبخر الماء، ك. جول . كغ⁻¹

١٤-٥-٢ - توازن الكتلة: mass balance

ينص قانون توازن الكتلة على أن كمية المادة الصلبة الداخلة في عملية التجفيف تساوي كمية المادة الصلبة الخارجة بعد التجفيف ويمكن تمثيل توازن الكتلة بالعلاقة الآتية :

$$m_i \cdot (1-M_i) = m_f \cdot (1-M_f)$$

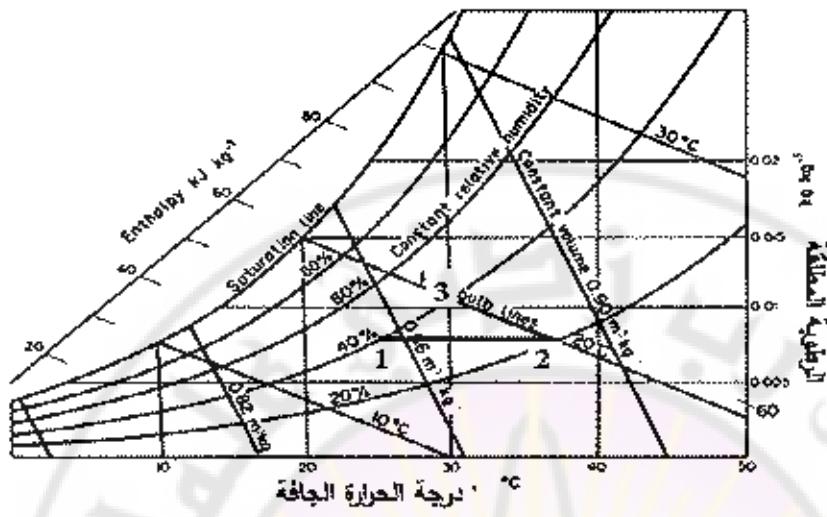
حيث:

m_i ، m_f : كتلة المادة أو معدل كتلة المادة قبل وبعد التجفيف على التوالي.

M_i ، M_f : نسبة الرطوبة قبل وبعد التجفيف على التوالي.

٤-٦ تمثيل عملية التجفيف على المخطط السيكرومترية

عند مرور الهواء الجوي داخل مجفف يتم تسخينه أي رفع درجة حرارته إلى درجة الحرارة المناسبة (الإجراء من ١ → ٢) كما هو موضح في الشكل (٥-١٤) لإجراء عملية التجفيف وذلك عند محتوى رطوبة ثابت ويمر بعد ذلك الهواء الساخن على سطح المادة الرطبة المراد تجفيفها فيعمل على تبخير الماء منها ويتضاعف بخار الماء ويخالط بالهواء وفي نفس الوقت نجد أن الهواء يفقد كمية من حرارته وبالتالي تنخفض درجة حرارته الجافة (الإجراء من ٢ → ٣) . ولما كانت قدرة تشبع الهواء ببخار الماء تقل كلما قلت درجة حرارته فإننا نجد أن الرطوبة النسبية للهواء تزداد حتى تصل إلى تركيز التشبع أي إننا نجد أن معدل التجفيف يكون مرتفعاً أولاً ثم يقل تدريجياً حتى يصل إلى حد معين حتى ينعدم تماماً عند تركيز التشبع . وبذلك تظل درجة حرارة الهواء الرطبة ثابتة تقريباً أثناء مرور الهواء داخل المجفف على سطح المادة المراد تجفيفها بينما تنخفض درجة حرارته الجافة حتى تتساوى مع درجة الحرارة الرطبة عند تركيز التشبع ويزداد محتوى الهواء من الرطوبة المطلقة .



شكل (١٤-٥) : تمثيل عملية التجفيف على الخريطة السيفرومترية

٤-٧-١- العوامل المؤثرة في سرعة التجفيف

- سرعة الهواء : تزداد سرعة التجفيف بازدياد سرعة مرور الهواء داخل المجفف حيث يؤدي ذلك إلى سرعة انتقال الماء من داخل المادة الغذائية إلى خارجها ثم سرعة تبخره وتبلغ سرعة الهواء في المجففات من $50 - 335$ م. د^{-١} وينصح باستخدام سرعة هواء تتراوح بين $200 - 300$ م. د^{-١} والزيادة أو الانخفاض في سرعة الهواء عن ذلك يكون غير اقتصادي.
- الرطوبة النسبية للهواء : ثبتت التجارب أن التجفيف يتم بصورة أسرع عند استخدام هواء رطوبته النسبية منخفضة إلا أنه قد لوحظ أن بعض الخامات الزراعية تتعرض لظاهرة الجفاف السطحي عند استخدام هواء رطوبته النسبية منخفضة عن اللازم.

- درجة حرارة الهواء المستخدم ومقدار الانخفاض فيها: تتراوح درجات الحرارة المستخدمة في التجفيف ما بين $5^{\circ} - 80^{\circ}$ م ويلاحظ أنه كلما زادت درجة حرارة الهواء الداخل للمجفف انخفضت حرارته عند خروجه وبالتالي كان التجفيف أسرع.
- نوع المادة المراد تجفيفها: حيث لكل مادة ظروفها الخاصة في التجفيف.
- شكل وحجم وسمكافة القطع المجهزة : حيث زيادة السطع المعرض من المادة الغذائية المراد تجفيفها للهواء الساخن يؤدي لزيادة سرعة التجفيف.
- حمولة المجفف: وحمولة المجفف تتناسب عكسيًا مع سرعة التجفيف أي كلما زادت حمولة المجفف انخفضت سرعة التجفيف والعكس صحيح وتبلغ الحمولة المثالية بشكل عام حوالي 700 كغ / م² في حالة الفاكهة
- الضغط : إذا أجريت عملية التجفيف تحت ضغط منخفض نقل درجة تبخير الماء وتزداد سرعة التجفيف.

٤-٨-١٤ - تأثير عملية التجفيف في عوامل الفساد

٤-٨-١٤-١ - تأثير التجفيف في الأحياء الدقيقة

الغرض الرئيسي من التجفيف هو خفض المحتوى الرطوي للأغذية والذي يحد من نمو الأحياء الدقيقة (بكتيريا - فطريات - خميرة) ويعتمد ذلك على المحتوى الرطوي للغذاء وفي المنتجات المجففة يتوقف نمو الأحياء الدقيقة على النشاط المائي للغذاء وتركيزه ومقداره على امتصاص الماء وبصفة عامة فإن الفطريات تنمو على نشاط مائي أقل من الخمائر التي تنمو على نشاط مائي أقل من البكتيريا ، ولذلك فإن الفطريات تعتبر أهم الأحياء الدقيقة التي تنمو في الأغذية المجففة يأتيها الخمائر ثم البكتيريا وتتغير تحملة المواد الغذائية المجففة في عبوات سليمة غير منفذة للرطوبة عملاً هاماً في إيقاف نمو الأحياء الدقيقة ويمكن خفض النشاط المائي بإضافة المواد الصلبة الذائبة مثل السكر والملح.

٤-٨-٤ - تأثير التجفيف في التفاعلات الكيميائية

تنشط التفاعلات الكيميائية أثناء عملية التجفيف والتخزين للمواد الغذائية نظراً لارتفاع درجات الحرارة وأهم هذه التفاعلات الضسارة تفاعل "ميلارد" والترنخ الأوكсидي للدهون وهو تفاعل متسلسل يؤدي إلى تكوين مركبات ذات طعم ونكهة غير مرغوبية كما ينتج عن تفاعل "ميلارد" تفاعل بين مجموعة الالدهيد أو الكيتون في السكر ومجموعة الأمين في الحامض الأميني (لون بني غامق وهذا ما يعرف بالتلون البني غير الأزيمي) وقد وجد أن ارتفاع نسبة الرطوبة للمادة الغذائية ينشط تفاعل "ميلارد" إلا أنه يبطئ الترنخ الأوكسيدى وجود المعادن والأوكسجين ينشط من الترنخ الأوكسidi في حين أن المعاملة بثاني أكسيد الكبريت تقلل من تفاعل ميلارد .

٤-٨-٥ - تأثير التجفيف في الأزيمات المؤكسدة

ينخفض نشاط الأزيمات بانخفاض نسبة الرطوبة في المادة الغذائية حيث يصبح ضئيلاً جداً عند نسبة رطوبة ١ % ، أمّا نسبة الرطوبة العالية في المادة الغذائية فتساهم الكثير من المشاكل مما يحتم معه التخلص منها عن طريق التجفيف ويتم ذلك بالحرارة وتعتبر الحرارة الجافة أقل فاعلية في قتل الأزيمات من الحرارة الرطبة وتستخدم أيضاً الكيماويات لتقليل نشاط الأزيمات وأهم الكيماويات المستخدمة هي مركب ثاني أكسيد الكبريت بالنسبة القياسية . ويجب أن يختبر تمام قتل الأزيمات خاصة المؤكسدة منها (الكتاليز أو البيروكسيديز) لأنها تسبب التلون البني الأزيامي .

٤-٩-١ الأشكال التصميمية للمجففات

يمكن تقسيم المجففات إلى نوعين رئيسين وفقاً للطاقة المستخدمة في عملية التجفيف وهما :

- المجففات الطبيعية وتستخدم هذه المجففات الطاقة الشمسية كمصدر لترويد المجفف بالطاقة اللازمة لعمليات التجفيف .

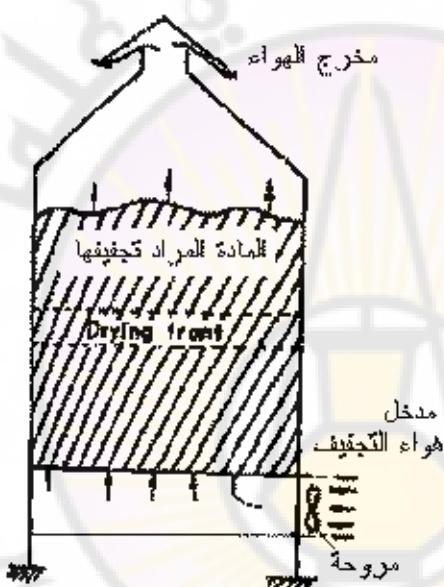
• والمجففات الصناعية التي تستخدم الوقود العادي أو الكهرباء في عمليات التجفيف ويمكن تقسيم المجففات من حيث شكل المادة الفيزيائي: إلى مجففات المواد المسائلة وشبه السائلة وإلى مجففات الموادصلبة وكذلك يمكن تقسيمها إلى مجففات التي تستخدم الهواء الساخن وإلى مجففات التماس المباشر ولها اختلاف اختيار المجفف مع اختلاف المادة المراد تجفيفها كما هو موضح في الجدول (١٤-١)

جدول (١٤-١): أنواع مختلفة من المجففات و المقادير الممكن تجفيفها بكل نوع

المنتجات الممكن تجفيفها	نوع المجفف
الفاكه، الخضروات، اللحم، الحلوي	مجفف الصواني أو المقصورة
الفاكه، الخضروات	التنق
الحبوب، الخضروات، المكسرات	مجفف السيور الناقلة
البذور، الحبوب، الشعير، بذورات السكر	المجففات الدوارية
النشا، المساحيق، الحبيبات، اللب الداخلي (العجين)	المجففات الهوائية والومضية
الخضروات ، للحبيبات، الحبوب، البازلاء	مجفف السرير الاهتزازي
الحليب، الكريما، القهوة، الشاي، العصائر، البيض،	مجفف الرذاذ
الحليب، أغذية الأطفال، الحساءات، مهرولون الخضروات	مجفف الاسطوانية

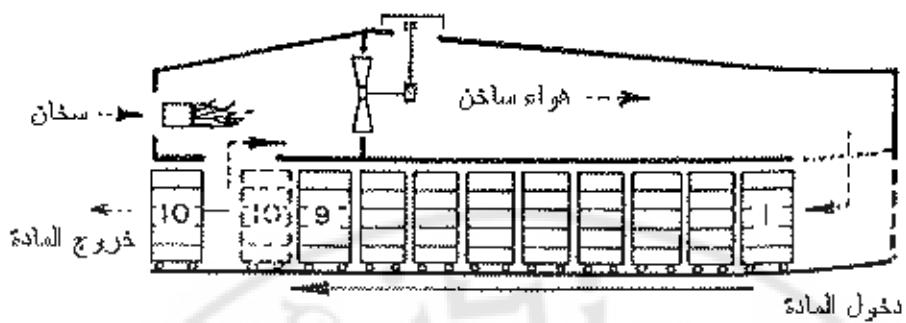
١-٩-٤ - مجففات الهواء الساخن: Hot-air driers

- مجففات الفرشة العميقه (deep-bed driers or bin driers): تستخدم هذه المجففات في تجفيف المواد الغذائية الصلبة مثل الحبوب وهي عبارة عن اسطوانة دائرية ذات قاعدة متباينة كما هو موضح في الشكل (١٤-٦) حيث يمر الهواء الساخن من خلال التقويب بسرعة منخفضة ($0.5 \text{ m}^2/\text{s}$). ويتمتاز هذه المجففات بسعة تجفيفية عالية وتكلفة تأسيسية منخفضة.



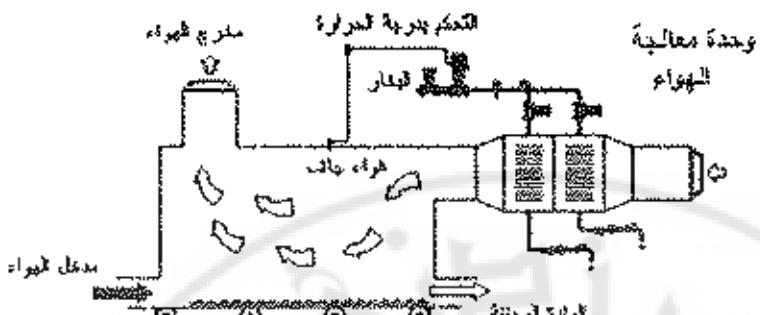
شكل (١٤-٦): مجفف الفرشة العميقه

- مجففات الصوالي أو الأرفف (Tray driers): تصمم هذه المجففات كما هو موضح في الشكل (١٤-٧) على شكل أرفف ثابتة أو على شكل عربة قابلة للحركة توضع عليها المادة المراد تجفيفها على شكل طبقات رقيقة (٦-٢ سم) ويتم تزويذ هذه المجففات بفتحات تحكم التحكم بكمية الهواء الداخل وسرعته.

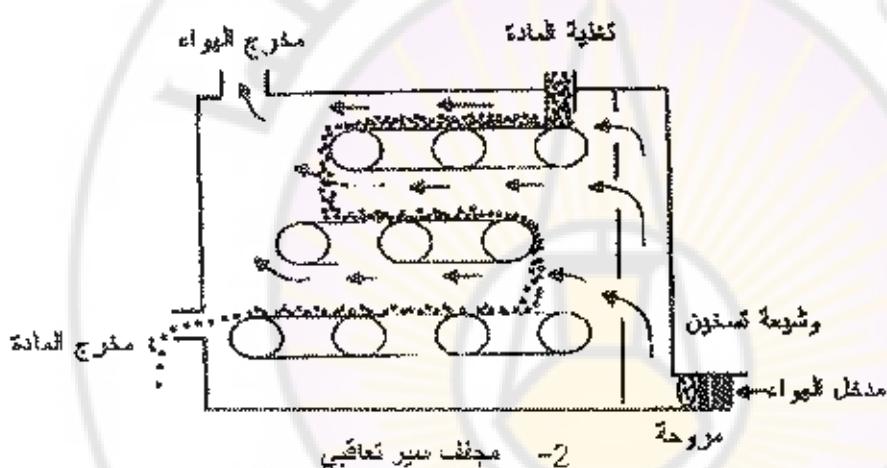


شكل (١٤-٧) : مجفف الأرلف المترددة

- **مجففات السيور الناقلة Conover drier :** توجد أشكالاً متعددة من هذا النوع من المجففات تبني جميعها على نفس المبدأ حيث يحتوي المجفف على عدة سيور متنقلة لا نهاية تدور بواسطة بكرات خاصة توضع المواد المراد تجفيفها على السير العلوي وعند وصولها إلى طرفه تتساقط على السير الذي يوجد أسفله والذي ينقلها باتجاه عكسي وتكرر هذه العملية حتى تصل المادة على السير السفلي وأثناء ذلك يسري تيار هوائي ساخن داخل المادة المراد تجفيفها من الأسفل إلى الأعلى فيقوم بحمل رطوبتها ويبخر من فتحة مناسبة أعلى المجفف بواسطة مروحة شفط . تعتبر هذه المجففات من المجففات ذات التشغيل المستمر كما هو موضح في الشكل (١٤-٨) حيث المجفف عبارة عن سير يصل طوله إلى ٢٠ م ويصل عرضه إلى ٣ م ويتم وضع المواد المراد تجفيفها على شكل طبقات عميقة وتميز هذه المجففات بإنتاجية عالية وإمكانية التحكم بعوامل التشغيل .



١- مجفف سير خطى

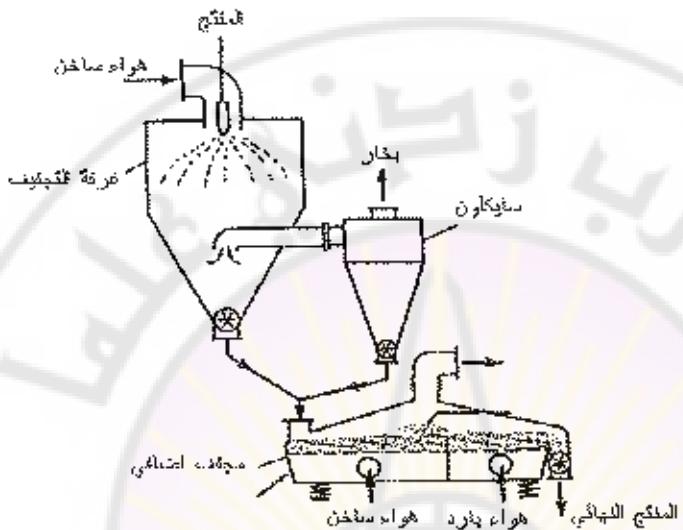


٢- مجفف سير تعابي

شكل (١٤-٨) : تصاميم مختلفة لمجففات السيرور الناشرة

- مجفف الرذاذ Spray dryer: يعتبر مجفف الرذاذ من المجففات التي تستخدم الهواء الساخن في عملية تجفيف المواد السائلة والمركزة مثل الحليب والعصائر. يعتمد مبدأ عمل هذا المجفف كما هو مبين في الشكل (١٤-٩) والشكل (١٤-١٠) على تقطيع المادة الم撒رada تجفيفها إلى قطرات صغيرة (١٥٠-٣٠٠ ميكرومتر) داخل غرفة ساخنة وذلك باستخدام

تيار من الهواء الساخن (١٥٠-١٧٠ م°) فينبغي في تبخير الماء من القطيرات وسقوط المادة الجافة على جوانب غرفة التجفيف ثم يتم سحب المنتج بواسطة تيار من الهواء.



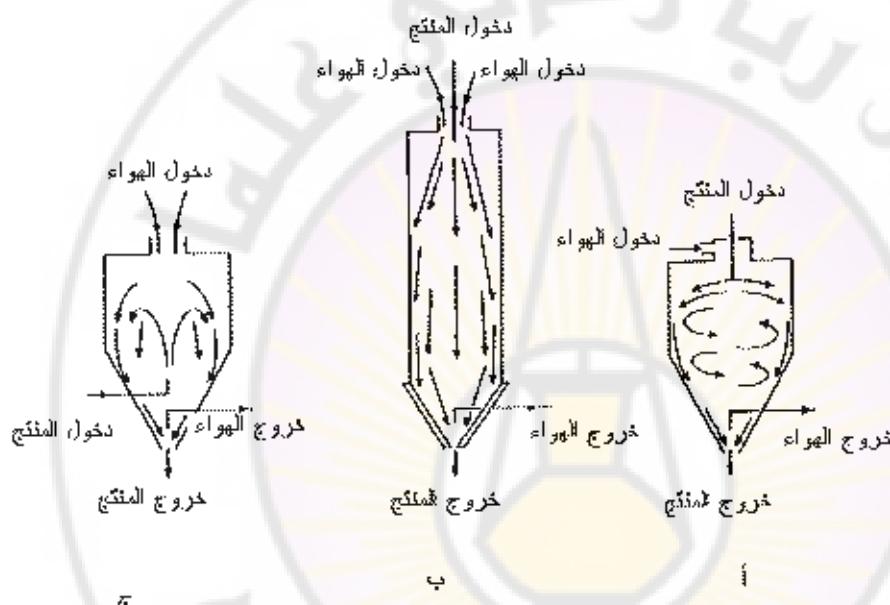
شكل (١٤-٩) : مبدأ عمل مجفف الرذاذ



شكل (١٤-١٠) : مجفف رذاذ صناعي

ويتألف المجفف من الأجزاء الرئيسية الآتية :

١- غرفة التجفيف **Drying chamber**: وهي عبارة عن وعاء اسطواني الشكل وبشكل قمع من الأسفل يتم فيها عملية التجفيف ويصل قطر غرفة التجفيف في المجففات الإنتاجية ٢٠٠٥ - ٩ م ويختلف تصميم غرف التجفيف هندسياً باختلاف اتجاه دخول المواد إلى غرفة التجفيف كما هو موضح في الشكل (١٤-١١).



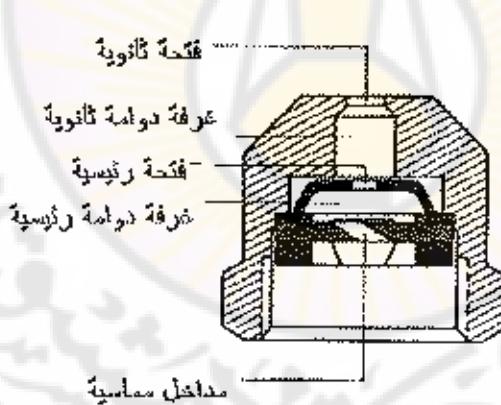
شكل (١٤-١١) : نماذج مختلفة لغرف التجفيف،أ-نظام متنافي مع تدفقات في اتجاه واحد دوامي، ب - نظام متنافي مع تدفقات في اتجاه واحد مستقيم ، ج - نظام مختلط مع تغذية عكبية

٢- المرذاذ **Atomizer**: يعتبر المرذاذ هو الجزء الذي يقسم بقذفه السائل إلى قطرات وهو عبارة عن فرس بدور بسرعة تصل إلى ٥٠٠٠٠ دورة. د^{-١} وبسبب القوة الطاردة المركزية ينفك السائل إلى قطرات المطلوبة أو باستخدام فوهه نفاث

تعتمد على الضغط ثم تقوم الحركة الدوامية بعملية التفتيت كما هو موضح في الشكل (١٤-١٢).



أ - قرص دواراني



ب - غوشه ترزيذ

شكل (١٤-١٢) : طرائق ترزيذ مختلفة

٣- وحدة التسخين Heating device : تقوم هذه الوحدة بتسخين الهواء اللازم لعملية التجفيف ودفعه إلى غرفة التجفيف

٤- مضخة التغذية Feeding pump : تستخدم هذه المضخة لنقل المادة من الخزان إلى المرآذ

يعطى زمن التجفيف في هذا النوع من المجففات بالعلاقة الآتية :

$$t = \frac{r^2 \cdot \rho \cdot L_s}{3h_e(T_s - T_e)} \cdot \frac{M_i - M_f}{1 + M_i}$$

حيث :

r : نصف قطر القطيره المتشكلة

ρ : كثافة المادة

L_s : الحرارة الكامنة للبخار

٤-٩-١٤ مجففات التماس المباشر Heated-surface driers:

يتم في هذه المجففات نقل الحرارة من المصدر الحراري إلى المادة الغذائية بطريقة التوصيل وتمتاز هذه الطريقة عن طريقة التجفيف بالهواء بما يأني :

- معامل انتقال الحرارة مرتفع

- إمكانية إجراء عملية التجفيف بمعزل عن الهواء مما يساهم في المحافظة على خصائص المنتج و من أهم هذه المجففات :

١- مجففات الغشاء الرقيق (thin film dryer) (Drum dryer) :

يستخدم هذا النوع من المجففات في تجفيف المواد السائلة وبshire المسائلة مثل الحليب وعصير الفواكه والخضروات والحساءات ، يتالف هذا المجفف كما هو مبين في الشكل (١٤-١٣) من أسطوانة منفردة أو مزدوجة تصنع من الحديد الصهر وتطلى من الخارج بمادة غير قابلة للصدأ ويعتبر السطح الخارجي للأسطوانة هو سطح التجفيف وتبلغ نسبة طول الأسطوانة إلى قطرها ($L = 1.5 \text{ to } 2D$) ، تدور هذه الأسطوانة حول محورها الأفقي بسرعة ٢٠ دورة . د ^١ يمر داخل الأسطوانة بخار ساخن بدرجة حرارة ١٥٠-١٧٠ م° ويتم إدارة هذه الأسطوانة بواسطة محرك

كهربياً ومحفظ سرعة . ويصل طول هذه الاسطوانة ٣٠٠ م . يعتمد مبدأ التجفيف في هذا النوع على إمرار المادة المراد تجفيفها على السطح الخارجي للاسطوانة بطبقة رقيقة (٠٠٥ م) وتم عملية التجفيف خلال زمن يصل ١٥ ثانية وبعد التجفيف تقوم سكين بقطع المادة المجففة ونقلها إلى حوض التعبئة . وفي تصميم هذا النوع من المجففات يتطلب معرفة الطاقة اللازمة لعمليات التجفيف وإنتاجية الآلة وفقاً لخصائص المنتج المطلوبة ، وغالباً يتم استخدام معدلات التوازن الحراري لإيجاد الطاقة اللازمة لعمليات التجفيف وفي هذا النوع يتم البحث عن كمية الحرارة اللازمة لعمليات التجفيف وكذلك البحث عن معدل التجفيف بغرض إيجاد أبعاد اسطوانة التجفيف اللازمة لإنجاز عملية التجفيف ويتم تقدير هذه المعاملات بالعلاقة الآتية :

كمية الحرارة اللازمة لعملية التجفيف:

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T m$$

معدل التجفيف:

$$\frac{dw}{dt} = m_w = \frac{A \cdot U \cdot \Delta T}{L_s}$$

وتعطى القدرة اللازمة لتشغيل مجفف الاسطوانة بالعلاقة الآتية :

حيث :

D: قطر اسطوانة المجفف، م

n: عدد الدورات . ثا^{-١}

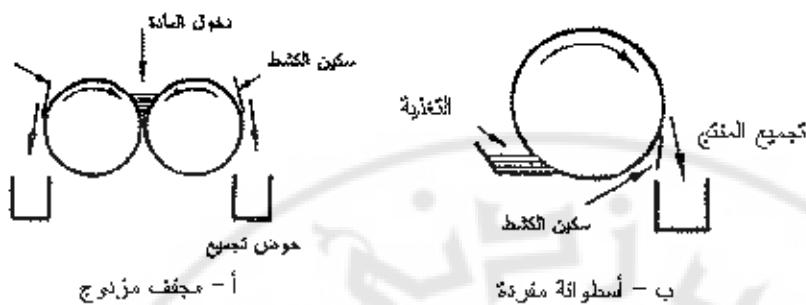
F: قوة المكشط، نيوتن / متر من طول السكين

L: طول السكين، م

Z: عدد الاسطوانات

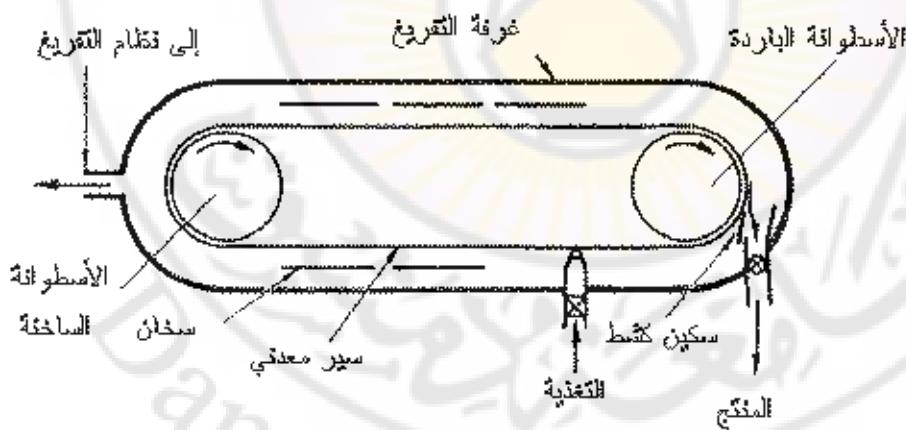
μ : معامل احتكاك مادة الاسطوانة

α : زاوية ميل سكين الكشط عن الاسطوانة



شكل (١٤-١٤) : مبدأ عمل مجفف الأسطوانة

٢- مجفف السير تحت التفريغ : كما هو موضح في الشكل (١٤-١٤) يتألف مجفف السير من أسطوانة التجفيف ومن أسطوانة أخرى باردة تستخدم هاتين الأسطوانتين لحمل سير مصنوع من معدن غير قابل للصدأ ويعمل هذا المجفف تحت التفريغ .



شكل (١٤-١٤) مجفف أسطوانة ذو سير تألف تحت التفريغ

٤ - ١٠ - التجفيف باستخدام الطاقة الشمسية

التجفيف الشمسي الطبيعي sun drying هو التجفيف التقليدي للمحاصيل الزراعية ويعتمد على نشر المنتج في أماكن مفتوحة تحت الشمس على أرضية صلبة ويحرك مرة أو مرتين في اليوم، وهذا التجفيف سهل ويسطع ولكن له عدة سمات منها:

١. لا يوجد تحكم بمعدل التجفيف مما يؤثر في لون المنتج أو فقدان قدرته الإبانية أو يؤدي إلى تغيرات في مكوناته الغذائية.

٢. عدم انتظام عملية التجفيف نظراً للطبيعة المقطعة لشدة الإشعاع الشمسي.
٣. التجفيف بطيء ويتراافق أحياناً بتكاثر الفطور والبكتيريا.
٤. ثاف كبير للمنتجات الزراعية بسبب الطيور والحشرات والقوارض وهطول الأمطار.

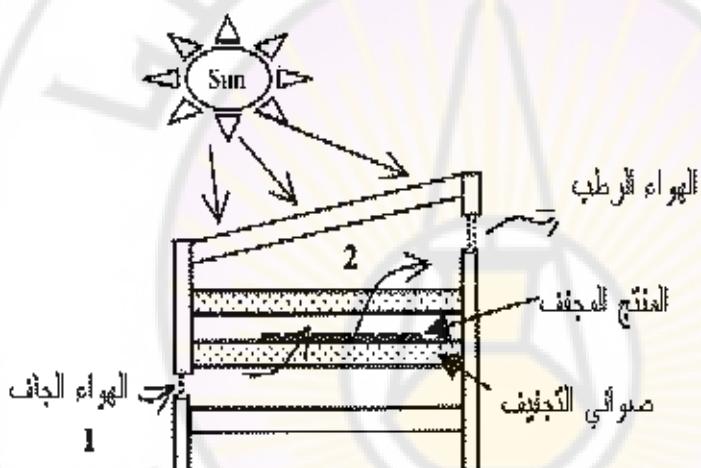
ولللافى هذه السمات هناك تقنيات متقدمة في تجفيف بعض أنواع المنتجات الزراعية بالطاقة الشمسية، ومنها التجفيف باستخدام المجففات الشمسية حيث تستخدم الطاقة الشمسية كمصدر حراري لتسخين الهواء عن طريق سخانات هوانئية شمسية (solar air heater) قبل دخوله إلى المجفف وبذلك فإن استخدام الطاقة الشمسية بهذه الطريقة يتميز بأن:

١. إن الطبيعة المقطعة أو غير الدائمة للإشعاع الشمسي لن تؤثر في أداء المجفف وخاصة في تطبيقات التجفيف لمنتجات زراعية تجفف عند درجة حرارة منخفضة، وأن الطاقة الحرارية الشمسية المخزنة في المنتج الزراعي بإمكانها أن تساعد في إزالة الرطوبة خلال فترة عدم سطوع الشمس.
٢. الطاقة الشمسية متاحة في موقع التجفيف وبالتالي يمكن توفير زمن نقل المنتجات المراد تجفيفها من مكان لأخر ويمكن تقليل التكلفة الإنسانية للمجففات الشمسية باستخدام مجففات شمسية لتجفيف منتجات زراعية متعددة بمواسم حصاد مختلفة أو بتكامل تطبيقات التجفيف مع أنظمة التدفئة في بعض المواسم.

١٤-١١-١٤ - أنواع أنظمة التجفيف الشمسية

١-١١-١٤ - المجففات المباشرة:

تتألف هذه المجففات من حجرة لوضع المادة المراد تجفيفها وتمتاز هذه المجففات ببساطة التركيب والتكلفة وتصل درجة الحرارة فيها حتى 70 °م وتمتاز بكفاءة عالية كما تختصر زمن التجفيف حيث تسقط الأشعة الشمسية عبر حجرة التجفيف الشمسية وتسخن الهواء الذي يمتص رطوبة المنتج مباشرة، كما هو مبين في الشكل (١٤-١٥).

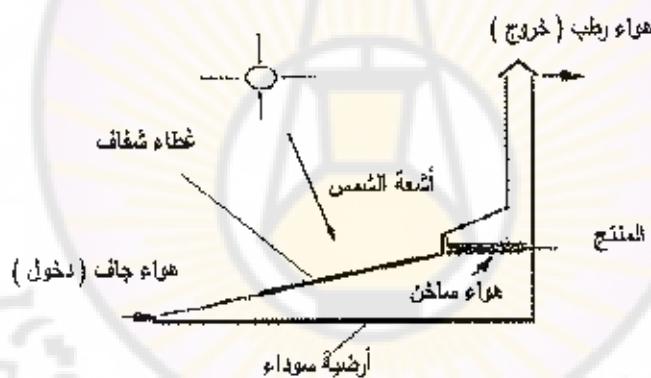


الشكل (١٤-١٥): نموذج لمجفف شمسي مباشر

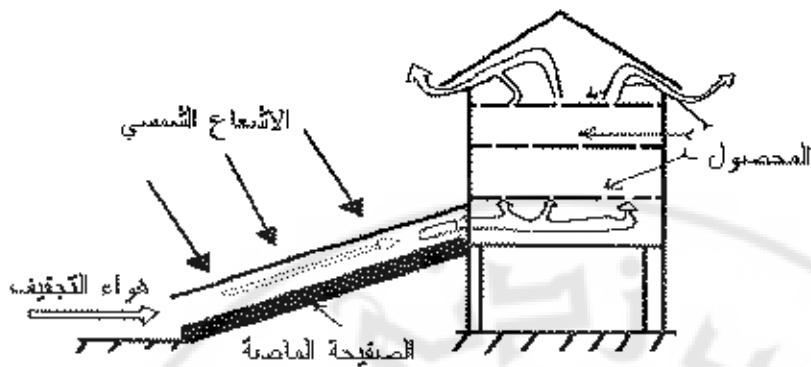
٢-١١-١٤ المجففات غير المباشرة

يتم في هذا النوع من المجففات استخدام السخانات الشمسية للهوائية solar air heaters المنفصلة عن حجرة التجفيف وتقوم هذه المجمعات بتسخين الهواء بشكل مستقل ومن ثم يتم دفعه إلى حجرة التجفيف وهذا يمكن استخدام مصدر طاقة حراري مساعد إضافي لمتابعة نظام التجفيف المطلوب في الأوقات غير المشمسة كما هو مبين في الشكل (١٤-١٦).

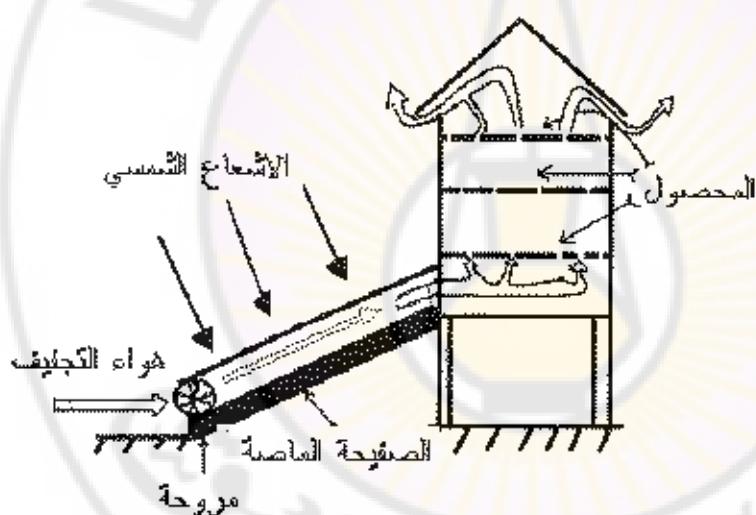
ويمكن أن تكون هذه المجففات ذات حمل الطبيعي : تعتمد حركة الهواء الساخن ضمن حجرة التجفيف على الحمل الطبيعي ، أي يسخن الهواء فتحفظ كثافته فيتحرك نحو الأعلى مجففاً المواد المراد تجفيفها وعندما يمتص الرطوبة ويزداد يتم سحبه كما هو مبين في الشكل (١٤-١٧) . أو مجففات ذات حمل قسري وهنسا تكون حركة الهواء قسرية ، أي يتم تدوير الهواء الساخن ضمن المجفف باستخدام مراوح ويتم اختيارها بحسب كمية الهواء اللازمة لإنتمام عملية التجفيف ومراعاته المطلوبة وهذا النوع يسمح بالتحكم بعملية التجفيف وبالتالي المواصفات النهائية للمنتجات المجففة ، كما هو مبين في الشكل (١٤-١٨) .



الشكل (١٤-١٦) : نموذج لمجفف شمسي غير مباشر



الشكل (١٤-١٧) : نموذج لمجفف شمسي غير مباشر حمل طبيعي



الشكل (١٤-١٨) نموذج لمجفف شمسي غير مباشر حمل قسري

٤-١١-٣ - العوامل المؤثرة في اختيار المجففات الشمسية

- كمية المواد المراد تجفيفها على طول الموسم .
- الكمية المراد تجفيفها في كل مرة (أقصى حمولة للمجفف) .
- مدة التجفيف تحت الظروف العملية من درجات الحرارة المستعملة - معدل تصريف الهواء الساخن والقدرة المستهلكة في الدفع - الرطوبة النسبية .
- كمية الرطوبة في المواد المراد تجفيفها والمحتوى الرطوبوي المطلوب النهائي.
- درجة الحرارة العظمى التي يمكن استعمالها في تجفيف المواد المجففة .
- الظروف المناخية خلال موسم التجفيف، وتشمل شدة الإشعاع الشمسي ومدته ودرجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية وسرعة الرياح.

٤-١١-٤ - العوامل المؤثرة في سرعة التجفيف

- سرعة الهواء: تزداد سرعة التجفيف بزيادة سرعة الهواء الداخل للمجفف.
- الرطوبة النسبية للهواء: كلما كانت الرطوبة النسبية للهواء منخفضة كلما كانت عملية التجفيف أسرع ويجب الانتباه إلى هذه الفترة لأنها قد تؤدي إلى ظاهرة الجفاف السطحي.
- درجة الحرارة: كلما زادت درجة الحرارة الداخلية إلى المجفف كلما كانت عملية التجفيف أسرع وعموماً درجة الحرارة المستخدمة في عمليات التجفيف تكون (٤٥ - ٨٠ م°).
- نوع المواد المراد تجفيفها: حيث لكل نوع ظروفه الخاصة .
- حجم المواد المراد تجفيفها: حيث لكل نوع حجم معين .
- حمولة الصواني: لأن حمولة الصواني تتناسب عكسياً مع سرعة التجفيف حيث كلما زادت حمولة الصواني قلت سرعة التجفيف والعكس صحيح .
- الضغط : كلما استخدم ضغط التخلخل في عملية التجفيف زادت سرعة التجفيف



الجزء الرابع: بعض العمليات التصنيعية الخاصة

Some Special Process



الفصل الخامس عشر
هندسة تصنیع الأعلاف

Feed Process engineering

١-١٥ - مبادئ عامة

تعتبر عملية تصنیع الأعلاف من العمليات التصنيعية الهامة لأنها تخدم بشكل مباشر عملية الإنتاج الحيواني ، فمن خلال تأمين الأعلاف تتحسن عملية الإنتاج الحيواني على كافة الاتجاهات ، لذلك فإنَّ عمليات تصنیع الأعلاف بشكل جيد تلعب دوراً هاماً في تأمين علائق متوازنة للحيوانات تؤمن عملية التمثيل الغذائي بشكل جيد، تهدف عملية تصنیع الأعلاف بتصورها المختلفة (الاصبعيات " الكبسولات " ، المحبيات ، الأعلاف السائبة) إلى تأمين المادة العلفية على مدار العام بغض النظر عن مواسم تلك المواد العلفية وتأمين الحصول على علائق حيوانية متوازنة بهدف تأمين عملية التمثيل الغذائي بشكل جيد.

١-١-١٥ - اختيار الموقع

يتم اختيار مصانع الأعلاف عادة في موقع الإنتاج الحيواني الكبيرة وكذلك في مواقع إنتاج المحاصيل العلفية الخضراء والمركزة وذلك لتناسبية الاحتياجات اليومية من المادة العلفية وتخفيض تكلفة إنتاج هذه المواد بشكل عام وكذلك يراعى توافق مصادر دائمة للطاقة والماء والعملة والخدمات الحكومية والقرب من مصادر الخامات ومناطق التوزيع حيث تكون تكلفة توريد الخامات منخفضة كذلك فإنَّ قصر مسافة توزيع الأعلاف يحافظ على جودتها حيث يكون العلف أقلُّ عرضة للاهتزاز الذي يكون له تأثيرٌ سلبيٌّ على اتزان الخلطة عندما يتعرض له العلبة الناعمة حيث تنزل المواد الأكثر كثافة إلى قاع العبوات عند اهتزازها بشدة ، كما يراعى عند اختيار موقع المصانع توافر مساحة كافية لانتظار سيارات النقل الكبيرة ذات المقاطورات مع

سهولة حركتها في الدخول والخروج والميزان والتحميل والتغريغ كما يجب أن يكون المصنع بعيداً بشكل كافٍ عن المبني السكنية.

٤-١٥ - المادة العلفية

هي مواد زراعية (حبوب، أعلاف خشنة، إلخ...) يتم خلطها مع بعضها ببعض مع الإضافات الأخرى مثل الفيتامينات والدهون حتى الحصول على خليط متوازن ثم يتم كبس هذا الخليط مع بعضه البعض ليعطي خليطاً متماسكاً متوازناً وبعيداً تجاه تحضير هذه الخلطة على كل المركبات الضرورية (الفيتامينات، البروتينات الكربوهيدرات إلخ...) لبناء الجسم والنمو والاستدامة ويجب أن تتمتع المادة العلفية بالخصائص الآتية :

- أن تكون ذات جودة عالية
- أن تكون متزنة غذائياً (تعني وجود نسب محددة من كل مركب مثل نسب البروتين، نسب الفيتامينات إلخ...).
- سهولة التداول والنقل
- تكالفة اقتصادية منخفضة

يمكن تقسيم مواد العلف إلى مجموعتين رئيسيتين على أساس محتوياتها من الألياف الخام CF وجملة المركبات الغذائية المهمضومة TDN وهي:

• **المواد المركزية Concentrates** : تحتوى هذه المواد على الكثير من الطاقة الصافية بالنسبة لوحدة الوزن ويرجع ذلك إلى ارتفاع محتوياتها من النشاء أو السكر أو البروتين أو الدهن وانخفاض محتوياتها من الألياف الخام التي لا تزيد غالباً عن ١٦ % وهي تحتوى على TDN ٧٥ % في المتوسط على أساس المادة الجافة وهي تنقسم إلى مواد مركزة في الطاقة ومواد مركزة في البروتين كما يأتي :

• **مواد مركزة في الطاقة**: وتشمل الحبوب مثل الشعير والذرة والشوفان والذرة البيضاء (السورجام) والأرز وكذلك النواتج الثانوية للحبوب مثل نخالة

المفمح والمذرة والأرز والنتائج الثانوي من تصنيع المكرر الناتج عن فصب السكر أو عن الشوندر السكري.

• مواد مركزة من البروتين: وتشتمل المواد الناتجة عن تصنيع الزيوت مثل الكسب ومنه كسب بذرة القطن وبذرة الكتان والفول السوداني وفول الصويا والسمسم وعباد الشمس .

٢ - المواد الخشنة : حجمها كبير وتحتوى على قليل من الطاقة الصافية بالنسبة لوحدة الوزن ويرجع ذلك إلى ارتفاع محتوياتها من الألياف الخام وأحياناً من الرطوبة (بها أكثر من ١٦ % ألياف خام ، $50\% TDN$ في المتوسط على أساس المادة الجافة) وتنقسم المواد الخشنة إلى مواد طرية ومواد جافة ، وبشكل عام يمكن تصنيف الأعلاف إلى ما يأتي :

• علف كامل : يحتوى على جميع المركبات الغذائية الضرورية لتكوين علبة متزنة .

• مركبات بروتينية: وتتراوح إضافتها للعلبة بين ١٠ - ٣٥ % وتحتوى على مصادر بروتين ومعادن وفيتامينات ومكونات دقيقة .

• مركبات عالية القيمة : وتضاف للعلبة بنسبة أقل من السابقة وتحتوى على مصادر بروتين حيوانية ولا تحتوى على كسب فول الصويا وبها جميع ما يلزم العلبة من معادن وفيتامينات ومكونات صغرى وتتراوح نسبة إضافتها بين ٢ - ٥ % .

• العناصر المصغرى (بريمكس) : وتحتوى على المعادن الدقيقة وفيتامينات والمكونات الدقيقة مضافة إلى مواد حاملة .

٣-١٥ - أقسام مصنع العلف

يحتوي مصنع العلف على الأجزاء الرئيسية الآتية :

١- قسم الاستقبال: يتم في هذا القسم استقبال المواد الأولية الازمة للعملية التصنيعية من الأسواق مثل الحبوب والمواد الرابطة والعناصر الصغرى ووضعها في أماكن التخزين المخصصة تمهدأ لنقلها إلى المرحلة الآتية ويحتوي هذا القسم على المعدات الآتية :

- الصوامع الازمة لتخزين الحبوب ، وتصمم هذه الصوامع بحيث تكفي لتشغيل المصنع فترة من الزمن يحددها سير العملية الإنتاجية داخل المصنع .
- الخزانات الازمة لتخزين المواد السائلة مثل المولاس، الدهون و غيرها
- مجموعة النوافل الميكانيكية (النوافل الحزوية أو نوافل القواديس إلخ ...) أو النوافل الهوانية .
- مجموعة الموازين الازمة لمعرفة كمية المواد الداخلة إلى المصنع .

٢- المختبر الخاصة الازمة للتأكد من خصائص الجودة للمواد الأولية ومهمة هذه المختبر تحقيق ما يأتي :

- إجراء عمليات الفحص الظاهري للمواد الأولية (اللون، القوام، الخلو من الحشرات).
 - أخذ عينات عشوائية إلى المختبر المخصصة للتأكد من التركيب الكيميائي للمواد الداخلة إلى المصنع ومدى مطابقتها إلى المواصفة المعتمدة في تصنيع الأعلاف ومدى خلو المادة العلفية من الغش التجاري المعروف.
 - التأكد من المحتوى الرطبوبي للحبوب بحيث لا تزيد عن ١٢ % حيث يؤثر المحتوى الرطبوبي في ظروف التخزين وعلى وزن المادة الأولية.
- ٣- قسم الصنبع: يحوي هذا القسم على التجهيزات الرئيسية الازمة للحصول على المنتج النهائي ويشمل هذا القسم :
- آلات تصغير أحجام المولاد العلفية إلى الحجم المطلوب وتختلف هذه الآلات باختلاف نوع المواد المطلوب تصنيعها .

• **الخلاطات :** ومهما كانت الخلاطات الحصول على خليط متجانس قبل دخول المواد

إلى مرحلة التصنيع ويمكن استخدام أنواع متعددة من الخلاطات.

٤- **قسم التعبئة:** يحتوي هذا القسم على:

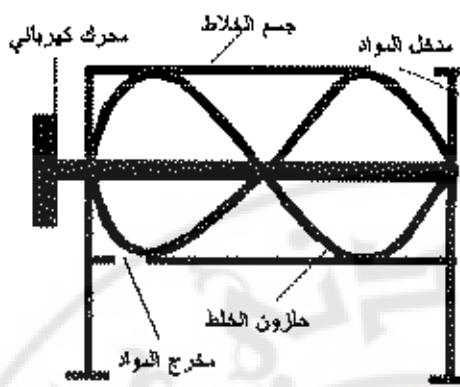
- الصوامع الازمة لتخزين المنتج بعد عملية التصنيع تمهداً للتعبئة
- آلات التعبئة وموارين لوزن العبوات
- آلات قفل العبوات (آلات خياطة)
- آلات طباعة وكتابة البيانات

٥- **قسم التخزين والتوزيع:** ويحوي هذا القسم على المستودعات الازمة لتخزين المنتج بعد التعبئة تمهدأ.

٦- **أجهزة خلط المواد العلفية**

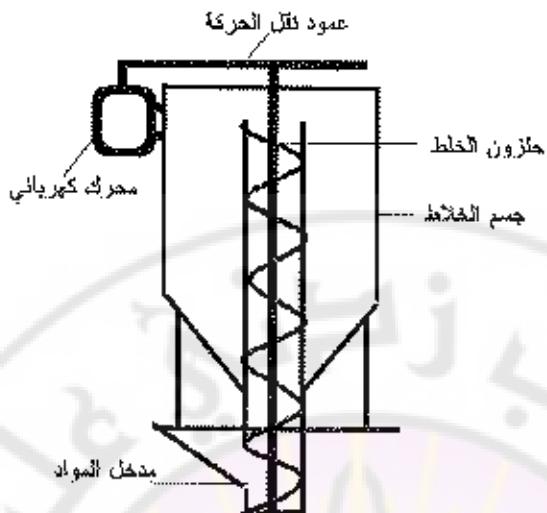
يختلف تصميم الخلاطات بشكل كبير من حيث طريقة العمل فهناك خلاطات التي تعمل بنظام الوجبات: Batch mixtures وهناك خلاطات تعمل بشكل مستمر ومن أهم أنواع الخلاطات المستخدمة في تصنيع الأعلاف ما يأتي :

١- **الخلاطات الأفقية:** Horizontal mixtures: يبين الشكل (١٥-١) أجزاء الخلط الأفقي يتميز هذا النوع بالإنتاجية والكافحة العالية في عملية الخلط، ويحتوي هذا الخلط على محور أفقي يحتوي على ريش (paddles) ويدور في مستوى رأسى، تقوم الريش بقليل المادة العلفية من جهة إلى أخرى وتعمل هذه الخلاطات عند سرعة ٢٥ دورة . د^{-١} وتتراوح قدرة الخلط ٤٥ - ٢٥ حسان ويصل زمن الخلط إلى ٥ دقائق ولا ينصح باستخدام هذه الخلاطات للمواد السائلة، أما بالنسبة لخلط المسواد السائلة كالمولاس فهناك خلاطات خاصة تسمى المقلبات.



شكل (١٥-١) : رسم تخطيطي لخلاط أفقي شريطي

-**الخلاطات الرأسية Vertical mixtures:** تمتاز هذه الخلاطات بأنها تصلح للمصانع الصغيرة الحجم وتستخدم في خلط المواد الصلبة وهي ذات تكلفة تشغيلية منخفضة وتنطلب قدرة أقل ويتراوح زمن الخلط من ١٥ - ٢٠ دقيقة وهذه الخلاطات كما هو موضح في الشكل (١٥-٢) عبارة عن وعاء اسطواني ذو قمع من أسفله تنقل المواد بواسطة حلزون نقل المواد (Auger) وبداخل هذه الاسطوانة يوجد حلزون الخلط وتحصل سرعة الدوران حتى ٤٠ دورة $د^{-1}$.



شكل (١٥-٢) : خلاط افقي

٣-الخلاطات ذات النوع المستمر **Continuous mixtures:**

تعمل هذه الخلاطات بطريقة مستمرة دون توقف وتستخدم لخلط المواد السائلة مثل المولاس، الدهون، الزيوت والماء مع المواد الصلبة وتؤثر في كفاءة عمليات الخلط بشكل رئيسي العوامل المؤثرة في كفاءة الخلط:

- حجم الجزيئات
- شكل الجزيئات
- الكثافة
- القدرة على الالتصاق
- زمن الخلط

٤-٥ - عملية تشكيل الإصبعيات (الكبسولات)

نسمى العملية التي يتم من خلالهاربط المكونات العالفة في مكون واحد على شكل إصبع بعملية تشكيل الإصبعيات أو التكعيب (الكبسولة) وتم هذه العملية باستخدام

الات التصنيع بطريقة الكبس (الضغط) او باستخدام آلة التصنيع بالبثق (extrusion) وتهدف عملية تصنيع الأعلاف على شكل إصبعيات إلى تحقيق ما يلى :

- تحسّن من معاملات الاستفادة من الغذاء وذلك بتقليل الانقراضية من قبل الحيوان.

- تقليل الفقد من الأعلاف بسبب ترابط المواد مع بعضها البعض.

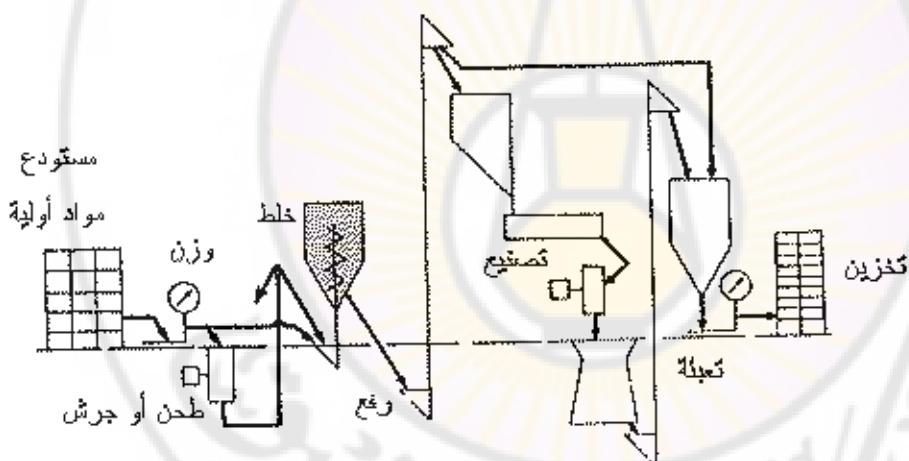
- تحسين عمليات تداول الأعلاف (تعبئة، نقل، تخزين).

- إمكانية مكانة التغذية في المزارع.

- التخلص من الكثير من الكائنات الممرضة بسبب المعاملة الحرارية.

- إمكانية إضافة بعض المواد بعد العملية التصنيعية.

يبين الشكل (١٥-٣) مسار الخامات العلفية في مصنع العلف



شكل (١٥-٣) : مسار الخامات العلفية

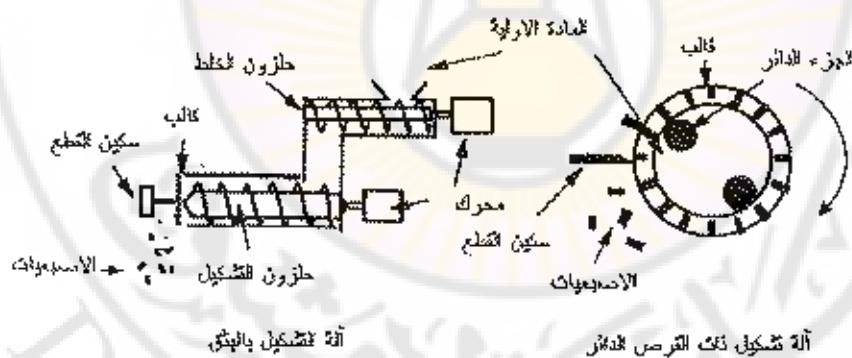
٦-١٥ - مبدأ تشكيل الإصبعيات

تتم عملية تصنيع الأعلاف على شكل إصبعيات بأن تدخل المواد التي سبق خلطها بشكل جيد من خلال قمع التغذية إلى داخل الآلة ثم تجرى عملية الترطيب

باستخدام البخار أو يضاف المولاس كمادة رابطة ثم يقوم حزرون التشكيل بدفع الخليط باتجاه قالب التشكيل والذي هو عبارة عن قالب مثقب ويركب على السطح الخارجي للقالب مكين تقوم بقطع الإصبعيات وفق الأطوال المطلوبة ثم بعد ذلك تتم عملية التجفيف .

١٥-٤-١٥ - آلات تصنيع الإصبعيات Pellet Machines

يتم تقسيم الآلات المستخدمة في تصنيع الإصبعيات عموماً إلى آلات ذات القرص الدائري (Disk pellet type) ، حيث يستخدم الجزء الدائري من الآلة في عملية رفع ضغط المواد داخل هيكل الآلة ومن ثم خروج المواد عبر قالب التشكيل (Extrusion machines) والنوع الآخر من الآلات يسمى آلات التشكيل بالبنق (Masticating machines) تستخدم هذه الآلات مبدأ البنق في عملية التشكيل، حيث يتم دفع الخليط ورفع ضغطه عن طريق حزرون يدفع المواد بشكل خطى باتجاه قالب التشكيل كما هو موضح في الشكل (١٥-٤) .



شكل (١٥-٤) : آلات مختلفة لتصنيع الإصبعيات العنقية

٧-١٥ - المواد الرابطة: binding agents

إنَّ المواد المناسبة التي يمكن أن تستخدم كمواد رابطة في عمليات تصنيع الأعلاف على شكل إصبعيات أو مكعبات هي تلك المواد التي تحتوي على نسب عالية من الدهون أو البروتين والكريبوهيدرات مثل المولاس الذي يحسن من عملية الترابط ويحسن من الخصائص الميكانيكية للإصبعيات وكذلك يمكن استخدام البخار كمساعدة رابطة.

٨-١٥ - خصائص الجودة الميكانيكية للإصبعيات

إنَّ خصائص الجودة الميكانيكية تعتمد بشكل رئيسي على العوامل الآتية :

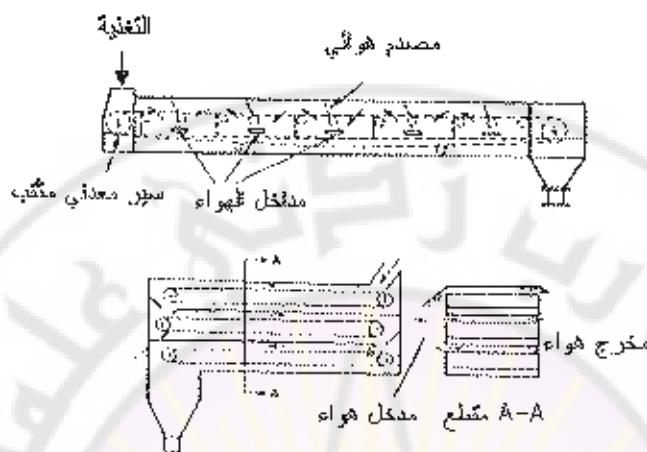
- تركيبة ونسبة المواد المكونة للخلط العلفي.
- حجم الجزيئات المستخدمة في عمليات التصنيع.
- نسبة الرطوبة في الخليط.
- عملية تهيئة الخليط (نسبة المادة الرابطة، عملية إضافة البخار، إلخ...).
- مواصفات قالب التشكيل المستخدم.
- تبريد وتجفيف الإصبعيات الناتجة.

ومن أهم خصائص الجودة الميكانيكية الصلاحة (Hardness) ومؤشر التحمل (Durability index) والكتافة (Density)، حيث تلعب هذه الخصائص دوراً رئيساً في عمليات نقل وتدالوٍ وتخزين وتعبئة الأعلاف.

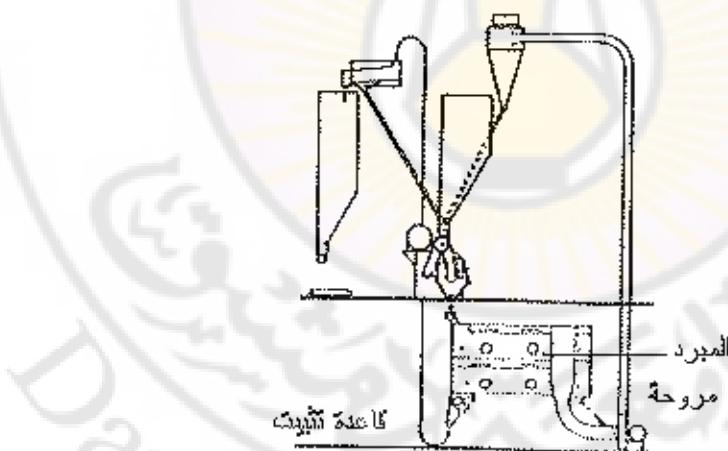
٩-١٥ - عمليات تبريد الأعلاف المصنعة

غالباً ما ينتهي تصنيع المادة العلفية وتبقي عند نسبة رطوبة مرتفعة ودرجة حرارة مرتفعة لذلك تتطلب عمليات النقل والتدالوٍ خفض نسبة الرطوبة وخفض درجة الحرارة مما يكسب المادة المصنعة القساوة اللازمة لعمليات النقل والتدالوٍ ، لذلك تستخدم مجففات خاصة أو ما يسمى المبردات cooler لإنجاز هذه العملية و غالباً ما يتم استخدام الهواء في عمليات تبريد المواد المصنعة وتعمل هذه المجففات بشكل آلي وذلك عن طريق مجموعة من الحساسات الخاصة بدرجات الحرارة ونسبة الرطوبة ويمكن لهذه المجففات أن تكون على شكل سور ناقلة منفصلة عن خط

الإنتاج كما هو موضح في الشكل (١٥-٥) أو تكون مدمجة مع وحدة التصنيع كما هو مبين في الشكل (١٥-٦)



شكل (١٥-٥) : مبرد أعلاف بشكل منفصل



شكل (١٥-٦) : مبرد أعلاف مدمج مع وحدة التصنيع



الجزء الخامس
عمليات ما بعد التصنيع
Post – Processing Operation



الفصل السادس عشر

عمليات التغليف

Packing process

مقدمة :

تُعرف تعبئة المادة الغذائية على أنها تجهيز الغذاء للتسويق النهائي عن طريق وضعه في عبوات أو أوانٍ ويكون بينها وبين الغذاء اتصالاً مباشراً ، أما التغليف فهو تجميع لأكثر من عبوة في وعاء أكبر وعلى هذا فالفارق في هذه العملية هو بمثابة إعداد الغذاء للشحن أو تسويق الجملة .

تلعب التعبئة دوراً كبيراً في تسويق الغذاء واستهلاكه حيث تساعد عملية تقديم الغذاء في صورة معبأة على تسويقه وإقبال أو عزوف جمهور المستهلكين عنه كما أنَّ التطور الاجتماعي الكبير الذي جعل إعداد الغذاء لاستهلاكه لا يكون بالصورة التي كان عليها في القديم ، فل أصبحت تقدم الوجبات كاملة ومعبأة ولا تحتاج لوقت أطول في إعدادها كل هذا أصبح يتلزم من العبوات أن تتلاءم مع طبيعة وظروف الإعداد وتعتبر عملية تعبئة وتغليف الأغذية إحدى العمليات المكملة لعملية التصنيع، ومن الوظائف الأساسية لعملية التغليف ما يأتي :

- تعتبر الخطوة الأولى في تسويق المنتج المصنع.
- تحمي المادة المصنعة من عوامل التلف وتزيد من العمر التخزيني لهذه المواد حيث تتعرض المواد المصنعة أثناء تخزينها إلى عوامل التلف المختلفة مثل تأثيرات العوامل الجوية ، عوامل التلوث ، الأضرار الميكانيكية أثناء النقل .

١ - ١٦ - الموصفات الفنية لمواد التغليف

يجب أن تتمتّع مواد التغليف بالمواصفات الفنية الآتية :

- يجب ألا تتفاعل مادة التغليف مع المادة المصنعة كيميائياً وذلك لمنع حدوث انتقال مواد سامة إلى داخل المنتج أو تسمح بمرور بعض الميكروبات الممرضة .
- أن تكون ذات قابلية تداول سهلة على خط الإنتاج وأن تكون العبوات اقتصادية .
- أن تقاوم عمليات الكسر والتمزق والتحمّيل والنقل أثناء عمليات التعبئة
- إمكانية وضع بطاقات التعريف بالمنتج الذي يحتوي هذه العلبة .

١٦ - ٢ - نظرية التغليف

يعتبر وعاء التعبئة الخاص بالمادة المصنعة حاجزاً بين الغذاء والوسط المحيط (barrier) فمن خلاله يمكن التحكم بكمية الضوء الواردة إلى المنتج وعمليات انتقال الحرارة وانتقال الرطوبة والغازات وكذلك يسيطر على حركة الكائنات الممرضة والحيوانات ومن العوامل التي يجب التحكم بها:

١- الضوء light : يعتبر الضوء لازماً لإظهار محتوى العبوة من المواد الغذائية ولكن في حالة أنَّ كمية الضوء التي تتعرض لها العبوة زادت عن الحد المسموح به فإنَّ الكثير من مكونات المادة الغذائية سوف تتخرّب مثل أكسدة الدهون وعملية تخريب الفيتامينات أو تغير لون المنتج ويمكن تقدير كمية الأشعة الممتصة من قبل العبوة بالعلاقة الآتية :

حيث:

١: شدة الإشعاع الممتص من قبل الغذاء / شمعة .

٢: الجزء من الإشعاع المتغلق بواسطة مادة التغليف .

٤: شدة الإشعاع الساقط

R_p, R_f : الجزء من الشعاع المنعكس من قبل الغذاء ومادة التغليف على التوالي.
ويعطى جزء الإشعاع المنتقل بواسطة مادة التغليف بالعلاقة الآتية :

حيث :

k : خاصية الامتصاص لمادة التغليف

X : سمكية مادة التغليف

ومن خلال العلاقة السابقة يمكن تقدير كمية الإشعاع المنتقل إلى الغذاء وتقليله بقليل مركبات تلك المعادلة.

٢- الحرارة: تتعلق كمية الحرارة التي تنتقل إلى المادة الغذائية بالخواص الحرارية مثل الناقبية الحرارية والانعكاسية و فالمواد ذات الناقبية المنخفضة مثل الورق البلاستيك، تقلل من انتقال الحرارة بالتحصيل و مواد مثل رقائق الألومنيوم تقلل من الحرارة المنتقلة بالإشعاع.

٣- الرطوبة والغازات: تعتبر الرطوبة والغازات المختلفة (غاز الأوكسجين ، غاز ثاني أكسيد الكربون) من العوامل الرئيسية التي تؤثر في العمر التخزيني للمواد المجففة (shelf life) وعلى المواد التي تحوي على الدهون أو المولود الحساسة للأوكسجين ويمكن تقدير كمية الغازات المنتقلة عبر مادة الغطاء بالعلاقة الآتية :

حيث:

m : معدل انتقال الكثافة للغاز خلال ٢٤ ساعة، cm^3 / m^2 .
 A : مساحة سطح المادة

٤- الزمن

٥- سمك مادة التغليف

Δp : فرق التركيز بين المادة والغازات المحيطة.

٦- الميكروبات: الهدف الأساسي من مادة التعبئة تأمين حماية المادة الغذائية من

مصادر التلوث الآتية :

- الهواء والماء
- التلوث أثناء المعاملة الحرارية
- التلوث بفعل تلوث المواد أثناء التغليف

٧- المقاومة الميكانيكية: Mechanical strength : يجب أن تكون العبوة المغلفة

قادرة على حماية المادة الغذائية من الأضرار الميكانيكية ويتوارد قياس

الخصائص الميكانيكية للمواد المراد استخدامها في عمليات التعبئة مثل إجهاد

الشد والضغط ومعاملات الصلابة.

١٦- ٣- أنواع العبوات والمواد المستخدمة في تصنيع مواد التعبئة

يمكن التمييز بين نوعين من عمليات التداول الأغذية المصنعة وبذلك يختلف شكل العبوات والمواد المصنعة منها باختلاف عملية التداول ومنه نجد :

(a) عبوات الشحن (التصدير) : وستستخدم في عمليات نقل المنتجات بكميات كبيرة سواء في عمليات التصدير أو عند نقل المواد إلى داخل المستودعات وغالباً ما تكون هذه العبوات على شكل حاويات معدنية أو خشبية.

(b) عبوات الاستخدام: وهي العبوات التي تحفظ فيها الأغذية أثناء تداولها للبيع والشراء والتوزيع ومن أمثلتها العلب المعدنية والزجاجية و، المرطبات وغيرها من أشكال علب التداول ويتم استخدام أنواع متعددة في تصنيع عبوات الاستهلاك ومنها كما هو مبين في الشكل (١٦-١) ما يأتي :

١- العبوات المعدنية: metal container: تمتاز العبوات المعدنية بالمواصفات الآتية :

- مناسبة لأغذية الأغذية
- مقاومتها العالية للميكانيكية والحرارية
- إمكانية إجراء عمليات التعقيم المختلفة.
- عمليات تحالل المركبات التي تتكون منها المادة قليلة
- تمنع تأثير الرطوبة والأكسدة.

ومن مسلوبي العبوات المعدنية:

- ارتفاع الأسعار
- * تكاليف تصنيع مرتفعة
- * ثقلة الوزن

٢- رقائق الألミニوم: تمتاز هذه الرقائق بالمظهر الجيد وإمكانية عكس الإشعاع الساقط وتحمي المادة من الرطوبة والغازات والميكروبات.

٣- الزجاج: تم تصنيع الزجاج من ٧٣٪ من الرمل وأكسيد الصوديوم بنسبة ١٢٪ وأكسيد الكالسيوم بنسبة ١٥٪ مع زجاج معد التصنيع

، وتتمثل فوائد الزجاج في:

- لا يتفاعل مع الأغذية

○ يؤمن حماية عالية من الرطوبة ، الغازات ، الميكروبات

- ذو مظهر شفاف

○ إمكانية التشكيل بأشكال مختلفة

المتساوي: وزن مرتفع وقلالية عالية للكسر



عبوات زجاجية



عبوة معدنية

شكل (١٦-١) : انواع مختلفة من العبوات الزجاجية والمعدنية

١٦-٣-١ - العبوات الخشبية والنباتية

تصنع الصناديق الخشبية الكبيرة من لب الخشب وعادة تستخدم في ذلك الأثاثات اللينة غير المرتدة الشحن وتصنع الصناديق المكعبية الشكل حيث تستخدم لنقل العبوات الصغيرة لكثير من المواد الغذائية التي قد تكون معية في عبوة أولية من الورق أو الملو凡 وغيرها ، كما تصنع العبوات الخشبية في صورة براميل لأغراض خاصة مثل تخليل الزيتون والخضار وكذلك لتعقيم الخل ونقله حيث يساعد الخشب على الاحفاظ بأنواع الأحياء الدقيقة الازمة لانتمام تلك العملية ومن أهم مميزات العبوات الخشبية والنباتية ما يأتي :

- ١- رخيصة الثمن إلا في حالة استخدام الأنواع الفاخرة من الخشب
- ٢- يمكن إعادة استخدامها مرات عديدة
- ٣- قابلة للتحمل والشحن ومضادة للصدمات
- ٤- سهلة التخزين والتداول
- ٥- خفيفة الوزن نسبياً

٦-٣-٢- العبوات البلاستيكية المتعددة

تعتبر العبوات البلاستيكية حديثة الاستخدام في عمليات التعبئة والتغليف وقد تقدمت تلك الصناعة تقدماً واسعاً ويعتبر البلاستيك من البوليمرات المعقدة وتتنوع أشكاله وأنواعه وأهم أنواع البلاستيك هي: - polystyrene - Polypropylene polyvinyl ، وبشكل البلاستيك بالحرارة إلى أشكال متعددة ونوجد منه أنواع مختلفة ذات ليونة تتراوح بين العبوات الصلبة والعبوات المرنة. ومن أهم مميزات العبوات البلاستيكية ما يأتي :

- ١- رخيصة الثمن نسبياً لأنها خامات غير طبيعية
- ٢- سهلة التشكيل والصناعة
- ٣- غير قابلة للكسر بسهولة وتحمل الصدمات
- ٤- يمكن تلوينها بألوان مختلفة
- ٥- يمكن تخزينها لمدة طويلة دون أن تتأثر

ومن أهم عيوب العبوات البلاستيكية

- ١- تمتض الرائحة حيث تعلق بها
- ٢- تتأثر بالمعاملات الحرارية ولا يمكن إجراء معاملات التعقيم فيها إلا في حالة استخدام أنواع خاصة مرتقبة الثمن.
- ٣- يتغير لونها بمرور الوقت والتخزين.
- ٤- يمكن أن تكون منفذة للرطوبة أو الغازات من وإلى خارج العبوة.

و كذلك هناك عبوات بلاستيكية صلبة وهي أنواع من العبوات الصلبة التي تستخدم في تعبئة كثير من المواد الغذائية وعادة ما تشكل على هيئة زجاجات وأوعية ذات شكل خاص "برطمانات" ذات عطاء حزوني كذلك في صورة براميل مستديرة وصناديق مكعبة الشكل وتصنع تلك العبوات من "البولي إيتيلين" المرتفع الكثافة ويتراوح سمك هذا البلاستيك من ٠.١٠٠٠٠٠٧ بوصة "الش" وقد يصنع في صورة شفافة ويمكن تلوينه بألوان متعددة وهذا النوع عادة لا يتحمل درجات الحرارة تزيد عن ٥٠ م° و كذلك عبوات بلاستيكية مرنة ومنها العبوات ذات المرونة العالية وقد تشكل في هيئة أكياس أو أغشية مرنة يمكن تعبئته المواد الغذائية بها بحيث تعمل على حمايتها من تقلب العوامل الخارجية مثل الأمطار والرطوبة وقد شاع استخدام البلاستيك المرن كمواد للتغليف ويوجد منها أنواع سميكة ذات درجات تحمل جيدة ومن أكثر أنواع البلاستيك المستخدم في صناعة العبوات شيوعاً ما يأتي :

١- البولي إيتيلين Polyethylene وهو البوليمر المصنوع من الإيتيلين ويمكن تصنيعه بدرجات تحمل مختلفة وتصنع منه العبوات البلاستيكية الصلبة كما يمكن أن تصنع منه أكياس البلاستيك المرن وأنواع مختلفة من الأغشية التي تستخدم لتعبئة وتغليف الأغذية ويتميز بأنه مقاوم لفعل الرطوبة ولكنه يتآثر بالحرارة العالية وفعل المذيبات من الهيدروكربونات الكلوريدية مثل الكلوروформ ويوجد منه أصناف ذات كثافة عالية لها درجات تحمل كبيرة تستخدم في تحليل أو عية الشحن الكبيرة .

٢- البولي بروبيلين polypropylene: وهو بوليمر البروبيلين ويتميز بأنه أكثر لمعاناً من النوع السابق وأكثر مقاومة للحرارة المرتفعة والمنخفضة وذو مقاومة عالية للأحماض والقلويات ومعظم المذيبات العضوية كما أنه يطى الاحتراق .

٣- البولي فينيل كلوريد polyvinylchloride وهو البولимер لكلوريد البولي فينيل ومن أهم مميزاته أنه لا يتأثر بضوء الشمس المباشر ومقاوم جيد للأحماض والقلويات ما عدا الأمونيا وبتصنيع منه الكثير من العبوات لصفاته المتميزة عن النوعين السابقيين.

٣-٣-٦ - العبوات الورقية paper containers

تناسب العبوات الورقية الكثير من الأغذية كما تعتبر العبوات الورقية ذات أهمية قصوى عند معاملتها وتحفظتها بماء خاصة والورق أكثر المواد الخام شيوعاً في أغراض التغليف المختلفة ومن أهم مميزات العبوات الورقية :

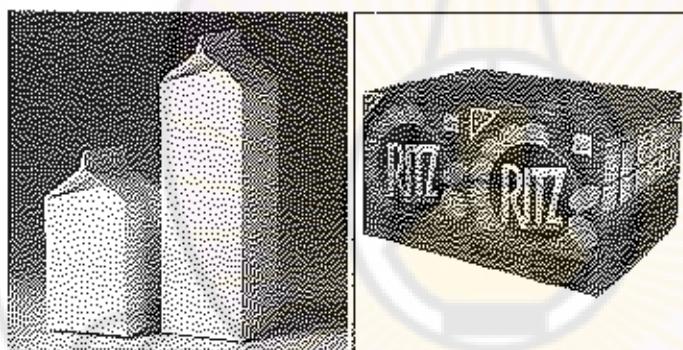
- رخصة الثمن نسبياً
- عبواتها مرنة يمكن تشكيلها بالأشكال المناسبة
- سهلة التخزين والتقل في شكل مطويات
- سهلة النقل أثناء الإنتاج
- خفيفة الوزن
- يمكن ثوابتها ولصق وكتابة البيانات اللازمة عليها بسهولة شديدة
- يمكن معالجتها حتى تصبح غير منفذة للغازات والضوء
- يمكن استخدامها في تعبئة الأغذية الشائعة الاستخدام من العبوة الرئيسية مباشرة ومن وأهم أنواعها العبوات الورقية :

١ - الأكياس: تشكل العبوة على هيئة كيس مفتوح من أحد الأطراف، وذلك بأحجام مختلفة وهذه العبوة شائعة في تجارة التجزئة وتوزيع المواد الغذائية الطازجة أو تستخدم كعبوة خارجية لوحدات أصغر من العبوات وقد تكون العبوة بحجم كبير تصلح لتعبئة الدقيق والسكر والحبوب والبقول.

٢ - العلب الورقية : وهذه العبوة شائعة حيث يشكل الورق على شكل علبة مكعبية أو مستديرة ومن أنواع مختلفة من الورق وتستخدم أيضاً في أغراض التغليف أو كعبات للشحن .

٣ - العبوات الورقية غير المنفذة للرطوبة: وهي مصنوعة من الورق المغطى بطبقة لا تنفذ محتويات الغذاء مثل العبوات المستخدمة في تعبئة الألبان والعصائر والأغذية السائلة وغيرها .

٤- الأكواب: وتشكل العبوات في صورة أكواب للاستخدام المباشر وقد انتشرت تلك العبوة السهلة لتعبئة منتجات الألبان والصلصات والحلوى و"الآيس كريم" لرخصها وتعتبر بديلاً جديداً للزجاج في هذا النوع من الأغذية . يبين الشكل (١٦-٢) نماذج مختلفة لعبوات ورقية .



علبة ورقية للمواد السائلة

شكل (١٦-٢) : عبوات ورقية مختلفة

٤-٣-١٦ - عبوات الألياف الصناعية **Fiber-board container**

توجد حديثاً أنواعاً متعددة من العبوات الخفيفة من الألياف الصناعية ليس بالبلاستيك أو الورق وقد شاع انتشارها جداً في الفترة الأخيرة . وتمتاز عبوات الألياف الصناعية بما يأتي :

- رخيصة الثمن جداً عن مثيلاتها من البلاستيك والورق

- خفيفة الوزن جداً
- سهلة النقل والتخزين
- متوسطة التحمل ويمكن إنتاج عبوات منها شديدة التحمل
- يسهل الطبع عليها أو لصق المطبوعات
- يمكن تشكيلها بأشكال عديدة

وتشتخدم تلك العبوات في معظم الأحيان كعبوة ثانية أو قد تغلف بها العبوات الأساسية للأغذية وقد تكون العبوة من طبقات متعددة من الألياف الصناعية بغرض الوقاية من الصدمات أثناء مسح العلامة ويجب الحرص الشديد عند استخدام مثل هذه العبوات حرصاً على عدم تلوث البيئة .

٤-٤ - اختبارات جودة العبوات :

يتم اختبار العبوات بهدف المحافظة على خصائص المنتج والتأكد من سلامة المنتج داخل العبوة ومن الاختبارات بالنسبة للعبوات ما يأتي :

١- النفاذية للضوء transmission of light : تقدر درجة نفاذية الضوء الخارجي خاصة أشعة الشمس المباشر خلال مواد التعبئة حيث يجب الاهتمام بهذه الخاصية عند تعبئة المواد الغذائية التي تتكون بها المركبات نتيجة لذلك أو المعرضة لحدوث التغيرات غير المرغوب بها نتيجة للضوء مثل تفاعلات الترนخ التأكسدي للزيوت والدهون والمواد الغذائية المعاملة بها مثل شرائح البطاطس المقرمشة " الشيبسي " .

٢- الاختبارات الخاصة بمظهر مادة التعبئة: وتشمل الاختبارات العينة المحددة للمظهر الجيد لمادة التعبئة مثل :

✓ المظهر والإحساس Appearance and feel
✓ القوام Texture
✓ اللمعان Gloss
✓ الشفافية Transparency

✓ القابلية للطبع عليها Printability

وتحتبر الخواص السابقة جيداً وتحدد مدى مناسبتها لتعبئة الأغذية المختلفة تحت الظروف الإنتاجية المحددة، ومن هذه الاختبارات ما يأتي :

٣- الاختبارات الخاصة بالشروط الصحية Sanitation test : تجرى اختبارات متعددة لمعرفة مدى توفر الشروط الصحية في مواد التعبئة حيث يحدد ذلك القوانين والتشريعات الغذائية والرقابة الصحية ومن أهم تلك الاختبارات :

- نسب المعادن العاملة بمادة التعبئة مثل الزرنيخ والحديد والرصاص والزنك والانثيمون.
- نسب المواد العضوية المحتوية على الكلور والتي تشكل خطراً على الصحة العامة
- مدى تسرب مادة ورائحة العبوة إلى الغذاء
- درجة الذوبان التي قد تحدث لمادة التعبئة عند ملامستها للأغذية المختلفة خاصة الأغذية الحامضة (ذات الطعم الحامض) مثل المخللات والألبان المصنعة والبيرة وصلصة البندورة وعصائر الفاكهة وخاصة الحمضيات.
- اللون المضاف لمادة التعبئة ومدى إمكان استخدامه عند ملامسة الغذاء وإمكانية السماح باستخدامه

٤- الاختبارات الخاصة ب مدى حماية العبوة للغذاء : ويقصد بذلك الاختبارات الخاصة التي تحدد عملياً مدى حماية مادة التعبئة للأغذية المختلفة وذلك عن طريق تخزين الأغذية المختلفة في مواد التعبئة المراد تحديد خواصها الملائمة للأغذية وتحت ظروف حالية محددة بغرض معرفة التغيرات التي يحتمل حدوثها ويقدر مدى حماية العبوة للغذاء بعدة عوامل هي حماية محددة بغرض معرفة التغيرات التي يحتمل حدوثها ويقدر مدى حماية العبوة للغذاء وبعدة عوامل هي :

- التغير في الصفات الحسية للغذاء مثل اللون والطعم والرائحة والمظاهر و القوام
- التغير في المحتوى الرطوي للغذاء
- التغير في المحتوى الغازي داخل العبوة
- الحماية من مهاجمة الأحياء الدقيقة من الخارج ومدى نفاذ الحشرات الفطرية الخارجية إلى داخل العبوة .
- مدى نفاذية محتوى الغذاء من الدهون والزيوت إلى العبوة وخارجها
- مدى إمكان العبوة بعدم حدوث تغيرات في حجم وشكل الغذاء الخارجي

١٦ - ٥ - أمثلة عن بعض عمليات التعبئة

١٦-٤ - تعبئة الخضار والفواكه الطازجة

تستمر عملية التنفس للخضار والفواكه بعد حصادها لأنها حية وإذا انخفضت كمية الأوكسجين عن حد معين يتحول التنفس الهوائي إلى لا هوائي منتجًا كميات من حمول الإيثيلين والمعادلات الآتية توضح التنفس الهوائي واللاهوائي في الخضار والفواكه الطازجة :

والتي تؤثر في الخواص الحسية للخضار والفواكه ولذلك يجب أن تسمح العبوات المستخدمة بمرور الأوكسجين وفي نفس الوقت تقلل من فقد رطوبة الخضار والفواكه لأنها إذا فقدت ١٠٪ من رطوبتها ظهر عليها حالة الذبول والانكماس وقدت الأنسجة صلابتها ويمكن إطالة مدة حفظ الخضار والفواكه عن طريق التحكم في معدل التنفس ومعدل فقد الرطوبة ويتم ذلك عن طريق :

- ١- التحكم في درجة حرارة التخزين
- ٢- التحكم في نوع العبوة المستخدمة ومدى منعها ل النفاذية الرطوية

- ٣- التحكم في طرق الحصاد والتداول الجيدة والتي تحافظ على الأغلفة الطبيعية للخضروات والفاكهه سليمة
- ٤- التحكم في درجة النضج المناسبة للتسويق والحفظ
- ٥- استخدام مواد لها قدرة عالية على امتصاص الرطوبة لمنع تكون قطرات الماء التي تسرع من نمو الفطريات
- ٦- استخدام بعض المواد الحافظة خصوصاً مع المواد العاشرة للرطوبة لمنع نمو البكتيريا وتقليل درجة الحرارة خلال النقل عن طريق العبوة .
وأهم ما يوحد في الاعتبار اختيار مادة التعبئة والتغليف للخضروات والفاكهه ما يأتي :
- ١- أنها تعطي الحماية الكافية
 - ٢- لها درجة عالية من النفاذية
 - ٣- غير منفذة للرطوبة
 - ٤- تمنع تكاثف بخار الماء على السطح الداخلي للعبوة
 - ٥- جذابة يمكن الكتابة عليها

٢-٥-٦ - تعبئة وتغليف البيض

البيض كائن حي يحتاج للأوكسجين ليتنفس حتى لا ينطف وبناتالي يجب استخدام الأغلفة التي تسمح بمرور الأوكسجين والغازات ولزيادة مدة حفظه يجب حفظ درجة حرارة التخزين إلى ٢١°F ورطوبة نسبية $٩٠\%-٨٥\%$ مع حمايته من امتصاص الروائح الغريبة من وسط التخزين وتحتاج طريقة التعبئة باختلاف نوع البيض كما يأتي :

- ١- البيض الطازج: ويمكن استخدام مسطحات من الورق أو قشور الذور الزبنتية مثل دوار الشمس لتعبئته ونقل البيض الطازج إلى الأمواق والأفراد أو استخدام folding box المصنوعة من الورق القليل للتشكيل ويغطى من القمة بالأفلام الشفافة مثل PVC,PVDC القابلة للانكماش أو استخدام الكرتون الناتج من النب المشكل Molded

Molded pulp هو رخيص غير جذاب ودرجة احتماله منخفضة أو استخدام Plastic foam وهي تصنع من "البولي ستيرن" الرغوي القليل للتمدد Expanded polystyrene وتميز بخفتها وقوتها وتعطي درجة عالية من الحماية ويمكن الكتابة عليها وقفلها آوتوماتيكياً

٢- البيض المجمد : البيض المجمد يشكل نسبة بسيطة من البيض الطازج فيمكن حفظه في عبوات مصنوعة من البلاستيك المشكّل Molded plastic أو في عبوات مصنوعة من البولي إيتيلين مع البلاستيك Flexible polyethylene plastic ثم يجمد كاملاً بعد خلطه أو كل من البياض والصفار منفصلاً وتنقل تجليط البيض الكامل أثناء التجميد يخلط مع ٥% من وزنه بالجليسرين أو ١٠٪ ملح أو سكر على حسب الناتج النهائي المطلوب

٣- البيض المgef: أما العبوات المستخدمة لحفظ البيض المgef فيجب أن تمنع من امتصاص الرطوبة أو الأوكسجين من الوسط المحيط ويكون لها درجة عالية للتوصيل الحراري لأنه يحفظ مبرداً وفي الغالب تستعمل علب مصنوعة من الصفيح المطلي من الداخل المحكمه القفل



الفصل السابع عشر
إغلاق العبوات ولصقها
Sealing and sticking of packages

١-١٧ - مقدمة في تطور الإغلاق واللصق

تعتبر مرحلة لصق العبوات وغلقها أهم مرحلة قبل البدء في عمليات تداول المواد الغذائية من مناطق التعبئة أو مخازنها إلى أماكن التوزيع والاستهلاك، وقد مررت مراحل استخدام اللصق وإغلاق العبوات بمراحل عديدة ومتطرفة من عام إلى آخر حتى وصلت إلى ما هو عليه الآن، وما زالت مستمرة في التطور مع الزمن ، حيث بدأت بالمسامير والأسلاك سنة ١٩٦٠ م وذلك مع صناعة أقفال جريد التخييل وصناديق الخشب وأكياس القماش ثم بدأ باستخدام الأوراق اللاصقة وشرائط الحزم وذلك في صناعة صناديق الخشب وعبوات الكرتون وعموماً يستمر التطور في استخدام عملية اللصق والإغلاق وإحكام العبوات حيث تتوقف عملية اللصق على ما يأتي :

- ١- نوع العبوة المستخدمة في التعبئة
- ٢- نوع المواد الداخلة في تصميمه
- ٣- نوع السلعة المعبأة (سائلة - صلبة - نصف صلبة) .
- ٤- طريقة التداول (بحري- جوي - بري)
- ٥- حجم العبوة الكبيرة لمستهلك مباشر أو نقل كميات ويعاد تعبئتها في عبوات صغيرة
- ٦- نوع التداول (يدوي - نصف ميكانيكي - ميكانيكي)
- ٧- طرق التخزين المتوقعة : غرفة عادية أو غرف تخزين وتبريد - غرف تخزين وتحميض.

-٨ وزن العبوة

وهناك العديد من الشركات التي تقوم بإنتاج مجموعة من شرائط اللصق وكذلك الحزم بالأشرطة البلاستيكية بكافة أنواعها حيث يتم اللصق والحزم ميكانيكيًا كما أن مولد اللصق يجب أن تمتاز بالصلابة أو بالليونة .

١٧ - فوائد عمليات الإغلاق وللصق

عمليات الإغلاق وللصق فوائد كبيرة من حيث تسهيل عمليات النقل والتداول والمحافظة على المنتج بشكل سليم ومن أهم الفوائد :

١- إكساب العبوات مظهراً جذاباً حيث يستخدم اللصق وغلق العبوات كوسيلة

من وسائل الدعاية للسلع المعبأة حيث تجذب تجاذر الجملة ونصف الجملة

والمستهلك على الشراء

٢- يعتبر لصق العبوة وإحكام علقها بالوسائل المختلفة وسيلة من وسائل الحماية

للسلع المعبأة وعدم حدوث تلف وقدر بالوزن .

٣- إحكام اللصق وغلق العبوات يؤدي إلى عدم تعرض السلع المعبأة إلى التلف

الناشئ عن مهاجمة الحشرات والفنران أثناء التخزين .

٤- التلف الناشئ عن خلط سلع مختلفة أثناء الشحن .

٥- الخلط بالزيوت والشحوم والأتربة وخاصة في مراحل النقل البحري ويظهر

في تداول محاصيل الخضار والفاكهه بالذات .

٣-١٧ - صناعة الإغلاق وللصق

تتمثل نوعاً من الفن الصناعي المتنوع والمتعدد دائمًا ومن إنتاجه ما يأتي :

١- إنتاج الأغطية بأنواعها ومقاساتها وخاماتها أو موادها الأولية

٢- الأنسجة المنكمشة والملتصقة بالعبوات

٣- الحزم والربط بالأساليب والمصادر الطبيعية والصناعية المختلفة

٤ - السدادات والكبسولات بأشكالها وأنواعها والمواد المصنعة منها : مواد اللاصق النباتية { كالصمغ } والكيميائية { غير العضوية } والصناعية { كالبترو كيمياويفات } .

٥ - الشراطط اللاصقة والبطاقات والملصقات بأنواعها ومصنفاتها المختلفة .

وتنتمي عملية الإغلاق واللصق بطريقتين رئيسيتين هما :

١ - الإغلاق واللصق بالحرارة أو بالتشكيل الحراري : تساعد هذه الطريقة في إنتاج الأنابيب بأشكالها وأحجامها المختلفة وتحتاج لهذا الغرض مركبات كثيرة أهمها البولي إيثيلين والبولي بروبيلين والبولي فينيل كلوريد (PVC) والبولي استر .

٢ - الإغلاق واللصق على البارد أو بالتشكيل على البارد : ويمكن الاستفادة من هذه الظاهرة في إنتاج السوائل اللزجة وذلك بإذابة المواد الفسحوية في المحاليل الباردة .

٣-١٧ - تكنولوجيا الإغلاق واللصق :

١-٣-١٧ - تكنولوجيا الإغلاق Sealing technology

وتتضمن أساليب وطرق تكنولوجية كما هو مبين في الشكل (١٧-١) ومن أهمها :

١ - صناعة السدادات : تمثل صناعة السدادات أو الكبسولات صناعة هامة ومتخصصة أدى دورها في تطوير التعبئة حيث يتم إنتاجها بأشكال مختلفة سواء كانت من الخشب أو الفلين أو البلاستيك أو الكاوشوك أو الزجاج أو المعدن وتخصص شركات في إنتاج الأغطية العلوية Up stoppers - hold .

-**الأغطية Covers** : لتنعيم العبوات الكبيرة كالصناديق Boxes والبراميل Barrels والبلاطات Pallet - warp والحاويات Containers بأشكالها وأحجامها المختلفة حيث أمكن غلق كافة هذه العبوات بالأساليب التكنولوجية الحديثة والمعتبرة ومن أهم هذه العبوات الصناديق الخشبية حيث تصلح وبالضرورة لحفظ وتدلول الخضار والفاكهة ويتم غلقها باستخدام معدات لإعداد هذه الصناديق وفتحها آلياً وهذه المعدات أو الأجهزة شائعة الاستعمال في بعض الدول الأوروبية المنتجة للحاصلات البستانية كإيطاليا وإسبانيا وفرنسا وتركيا واليونان .

-**الإغلاق بالرقائق المعدنية Aluminum foil** : يمثل تكنولوجيا جديدة في مجال الإغلاق خاصة بالنسبة لعبوات السلع الغذائية ولقد انتشرت هذه الطريقة باستخدام الرقائق المصنوعة من الألミニوم في الآونة الأخيرة كما تقدمت هذه الصناعة تدماً كبيراً على إثر إتباع أسلوب اللحام بالحرارة في العبوات المختلفة وهو ما يعرف بالتشكيل بالحرارة Thermo formation كما زادت الطاقة الإنتاجية لمثل هذه الوحدات إلى ٦٤٠٠ غطاء في الساعة للوحدة الواحدة.

-**الإغلاق بالمعادن المرنة Soft metals**: تعبئة السوائل في علب الصفيحة تتميز بمستوى جيد في الحفظ والاستقرار وفي المحافظة على القيمة الغذائية بالكامل بالإضافة إلى سهولة الفتح حيث تستعمل في هذا الغرض أغطية رقيقة من الألミニوم ولقد انتشر هذا الأسلوب أيضاً في تعبئة المشروبات.

-**الإغلاق للمستلزمات الطبية والعلجية** : أسلوب من أساليب الإغلاق الجيد ويحقق الغرض منه بطريقة آمنة وسريعة وبكمامة عالية كما يفضل أحياناً

لإحكام الشديد أن يتم الحزم والربط المزدوج بأكثر من طريقة واحدة إلا أن أغلب المواد المستعملة للحزم هي الشناير المصلبة أو الأشرطة البلاستيكية أو الجبال الصناعية ، من أهم مزاياها صناعة إحكام الإغلاق التوسيع في التعقيم والتداول الصحي والتعبئة للمستلزمات والمستحضرات الطبية والعلجية مما يحقق الأهداف الرئيسية الآتية :

- توفير الأمان الصحي
- دور العبوات في صناعة الأدوية والمركبات الدوائية
- مدى التقدم في الأساليب الطبية والعلجية الوقاية



شكل (١٧-١) : طرق مختلفة في عملية الإغلاق
غلق بطريقة الفاكيوم غلق بالضام بلاستيكي

٣-٢ - تكنولوجيا اللصق Sticking technology

هو جزء آخر من صناعة إحكام الإغلاق واللصق وتشتمل صناعة اللصق على

الجانب الفني الهامة الآتية :

١- الأشرطة اللاصقة : Tapes and plasters: استحدث منها أنواع كثيرة لخامات عديدة منها الورق والبلاستيك والأنسجة والشراوح الصناعية وقد ساعدت على التوسيع في صناعة اللصق وبالتالي زيادة دورها الحقيقي في مجال التعبئة والتغليف.

٢- اللصق على الساخن Hot sticking: تقنية جديدة للصلق تم اكتشافها حديثاً في الولايات المتحدة الأمريكية بهدف تطبيق الانصهار لبعض المواد اللاصقة Thermo fusible وباستخدام بعض الأجهزة الإلكترونية حيث تساعد هذه الطريقة على اللصق وبالتالي إلى التوسيع ورفع كفاءة صناعة التعبئة والتغليف.

٣- لصق العبوات الكرتونية Sealing cartons machine: تتمكن آلات خاصة كثيرة من غلق العبوات الكرتونية على خطوط إنتاج العبوات المختلفة ويسرعات كبيرة.

٤- الملصقات Adhesives: صناعة حديثة فتحت مجالات كثيرة للطباعة ودورها في مجال التعبئة والتغليف وبالتالي أهميتها في تسويق العبوات على المستويات المختلفة . ينخصص في هذه الصناعة شركات كبيرة نتيجة للطلب الشديد عليها خاصة في السنوات الأخيرة.

٦- البطاقات Labels: صناعة أخرى من الصناعات الهامة الخاصة بتأثيث البطاقات على العبوات من الخارج وقد تقدمت في مواصفاتها الفنية حيث تطورت على مدى الثلاثين عاماً الماضية وزادت كفاءتها بالتتوسيع في صناعة الورق والطباعة والأحبار والمواد اللاصقة . يبين الشكل (١٧-٢) أنواعاً مختلفة من الملصقات.



ملصق دعاية

بطاقة تبين طريقة التصنيع

شريط لاصق

شكل (١٧-٢) : أنواع مختلفة من الملصقات

الفصل الثاني عشر

هندسة التحكم في العمليات التصنيعية

Control process engineering

مقدمة

تهدف عملية التحكم بالعمليات التصنيعية إلى تحقيق ما يأتي :

- خفض عدم التجانس في المنتج والذي قد يؤثر في جودة المادة الغذائية
- يحقق أمان المنتج من الناحية الصحية
- يرفع كفاءة استخدام الطاقة في العمليات التصنيعية
- يقلل من الفاقد أثناء العملية التصنيعية

١-١٨ - قياس بارامترات التشغيل

يتم قياس بارامترات التشغيل أثناء العملية التصنيعية باستخدام مجموعة من الحساسات وأجهزة القياس بحيث يختص كل حساس بتحسس بارامتر معين (درجة حرارة، ضغط، لون الخ ..) وتعتمد دقة القياس على الحساس بشكل مباشر ولذلك يمكن تصنيفها وفقاً لتوسيعها كما يأتي :

١- حسّاسات نافذة (مخترقة) : penetrating sensors

الحساسات داخل جسم معدات التصنيع لتكون على تماش مباشر مع المادة الغذائية.

٢- حسّاسات غير نافذة (غير مخترقة) : عادة لا تخترق هذه الحساسات معدات

التصنيع بل تبقى خارجها ولا تكون على تماش مباشر مع المادة الغذائية.

ويمكن تقسيم الحساسات وفقاً لتوسيعها في خط الإنتاج إلى ما يأتي :

- حسّاسات كجزء من خط التصنيع inline: تعتبر هذه الحساسات كجزء من خط التصنيع وتستخدم لقيم التي تقيسها بشكل مباشر في عملية التحكم.

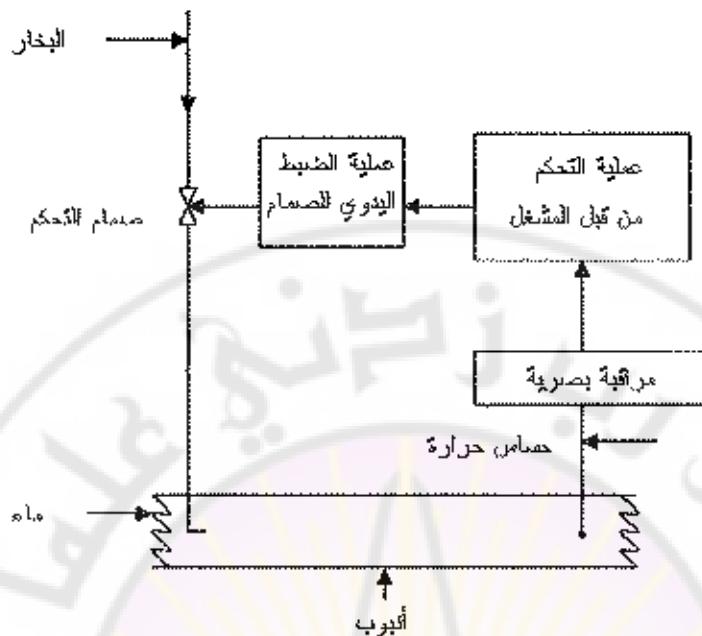
- حساسات مركبة على خط التصنيع online : وكذلك تعتبر كجزء من خط التصنيع ولا تتم عملية التحكم إلا بعد أن يدخل المشغل قيم البارامترات التي تم قياسها في نظم التحكم.
- حساسات مستقلة عن الخط offline: لا تعتبر هذه الحساسات كجزء من خط التصنيع حيث يقوم المشغل بإجراء القياس وإدخال المتغيرات إلى نظم التحكم.

٢-١٨ - أنظمة التحكم:

يمكن تقسيم أنظمة التحكم إلى أنظمة التحكم بشكل يدوي وأنظمة التحكم المؤتمتة كما يأتي :

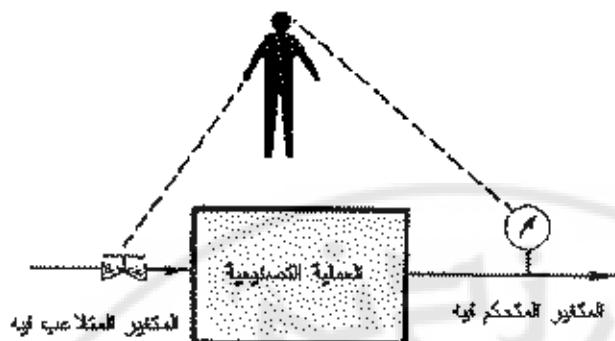
١-٢-١٨ - التحكم اليدوي manual control

يقوم المشغل في هذه الطريقة وبشكل دوري بقراءة بارامتر العملية (درجة حرارة، ضغط تشغيل، إلخ) المطلوب التحكم بها ومقارنته بقيمة مرجعية معروفة set value ويتم تعديل القراءة باتجاه القيمة المرجعية. بين الشكل (١٨-١) نظام تحكم يدوي حيث يتم التحكم بدرجة حرارة البخار المتدفق عبر الأنابيب ويتم مراقبة درجة الحرارة بواسطة "ثرمومكابل" وعندما يتم ضبط صمام البخار لتغيير درجة الحرارة باتجاه الدرجة المرجعية ويعتمد نجاح هذه العملية بشكل كبير على خبرة المشغل عن ظروف عملية الضبط.



شكل (١٨ - ١) نظام تحكم يدوي في درجة الحرارة

فعلى سبيل المثال عند الرغبة في التحكم في مستوى سائل في خزان فإنَّ للمشغل البشري، في هذه المرحلة دور أساسي فهو يقوم بالتحكم في مستوى السائل في الخزان عن طريق متابعة مستوى السائل بعينه ويتخذ القرارات المناسبة بفتح الصمام أو قفله وينفذ ذلك بيده كما هو موضح في الشكل (١٨-٢) .



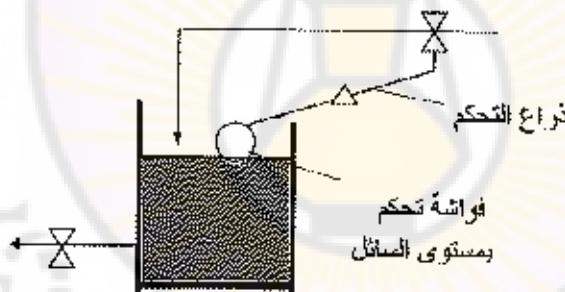
شكل (١٨-٢) : آلية التحكم اليدوي

يتضح من هذا المثال العناصر الرئيسية التي تدخل في نظام التحكم وهي :

١. العملية التصنيعية : تشمل الخزان والسائل المتندق إلى داخل وخارج الصهريج
٢. عنصر الإحساس : وهو الذي يقوم باستشعار القيمة الفعلية لمتغير التحكم فيه (مستوى السائل في الخزان) وهو عين الإنسان في هذا المثال .
٣. المقارن : ومهمنته المقارنة بين القيمة الفعلية لمتغير المراد التحكم فيه مع القيمة المرغوبة لهذا المتغير ، ويمثل المقارن في هذا المثال مخ الإنسان .
٤. عنصر التحكم : وظيفته معالجة البيانات المتعلقة بهذه العملية التصنيعية وإصدار الأوامر ويمثله أيضاً مخ الإنسان .
٥. المشغل : وظيفته تنفيذ الأوامر الصادرة عن عنصر التحكم ويمثله يد الإنسان في هذا المثال .
٦. عنصر التحكم النهائي (عنصر التنظيم) : وظيفته التأثير المباشر في العملية التصنيعية ويمثله الصمام في هذا المثال .

٢-٣-١٨ - التحكم الميكانيكي Mechanical control

يمكن الاستغناء عن المشغل البشري في المثال السابق باستخدام الفوائمة (العوامة) كما هو موضح في الشكل (١٨-٣) ، تقوم العوامة بمثابة عنصر الإحساس ويقوم الذراع والمفصل بمثابة عنصر التحكم ويقوم طرف الذراع بمهام المشغل ، يوصف هذا النوع من التحكم بأنه تحكم آلي ميكانيكي ، فهو آلي لعدم وجود العنصر البشري وهو ميكانيكي لأن القطع المستخدمة في عملية التحكم كلها ميكانيكية ، وقد يستخدم الهواء المضغوط للتاثير في وضع الأجهزة ويسمي التحكم في هذه الحالة بالتحكم الهوائي pneumatic control . أما إذا استخدمت الزيوت المضغوطة فيسمى بالتحكم الهيدروليكي Hydraulic control .



شكل (١٨-٣) : تحكم ميكانيكي بسيط

٣-٢-١٨ - التحكم الآلي

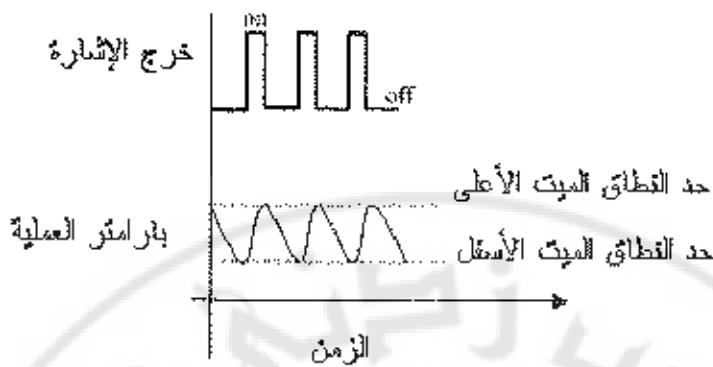
يتم في هذا النوع من التحكم قيام بaramترات التشغيل بأنواع مختلفة من الحسابات وتقع عملية التحكم من خلال دارات تحكم control loops وت تكون دارة التحكم من الأجزاء الرئيسية الآتية :

- ✓ **الحساسات sensors:** تقوم الحساسات بتحسس وقياس أحد باراترات التشغيل وترسل الإشارة المناسبة.
- ✓ **عنصر التحكم controller:** يقارن عنصر التحكم الفرق بين الإشارة القادمة من الحساس (المفاسدة) والإشارة المرجعية وذلك بهدف تعديل الإشارة لتكون متوافقة مع القيمة المرجعية.
- ✓ **عنصر التحكم النهائي Final control element :** يتلقى هذا العنصر الإشارة من عنصر التحكم السابق ويقوم بضبط العملية من خلال قيامه خاصية العملية وإعادتها إلى وضعها الطبيعي ومثال ذلك تغيير تدفق سائل داخل أنبوب عن طريق تغيير وضع الصمام أو تغيير سرعة المضخة.

٣-١٨ - تصنیف دارات التحكم

يمكن تصنیف دارات التحكم إلى الأصناف الرئيسية الآتية :

- ١-٣-١٨ - **نظام التحكم ذو الوضعين (فتح - إغلاق) Off / On controller :**
يعتبر هذا النظام من أبسط أنظمة التحكم حيث يكون عنصر التحكم النهائي (صمام) مفتوحاً بشكل كامل عن القيمة العظمى أو مغلقاً بشكل كامل عند القيمة الدنيا حيث لا يوجد قيمة وسطى بينهما وبسبب عمليات الفتح والإغلاق المتكررة يتعرض عنصر التحكم النهائي إلى الاهتزاء وللحافظة على عنصر التحكم يتم تزويد هذه الأنظمة بما يسمى النطاق الميت dead band وهذا النطاق عبارة قيمة قرينة من القيمة المرجعية تتغير فيها قيمة الإشارة بين قيمة عليا وقيمة دنيا ولا يحصل فيها أية عملية فتح أو إغلاق ولكن عند استخدام النطاق الميت في عملية حماية عنصر التحكم النهائي تخفض جودة عملية التحكم. ي見 الشكل (٤ - ١٨) آلية عمل نظام التحكم فتح - إغلاق مع مبدأ حماية عنصر التحكم باستخدام النطاق الميت.



شكل (٤-١٨) مبدأ عمل نظام التحكم فتح - إغلاق

٤-٣-١٨ : (P C) proportional controller :

يعتبر هذا النظام هو النظام الأكثر استخداماً في دارت التحكم ويعتمد مبدأ العمل على قياس الفرق النسبي بين القيمة المقاسة ليلامتر التشغيل بواسطة الحساس وبين القيمة المرجعية والفرق بين القيمتين يعرف بأنه قيمة خطأ التحكم أو التعادل (controller error or offset) ويمكن التعبير رياضياً عن هذه الطريقة كما يأتي :

$$COS_{(t)} = COS_{(NE)} + K_C \cdot E_t$$

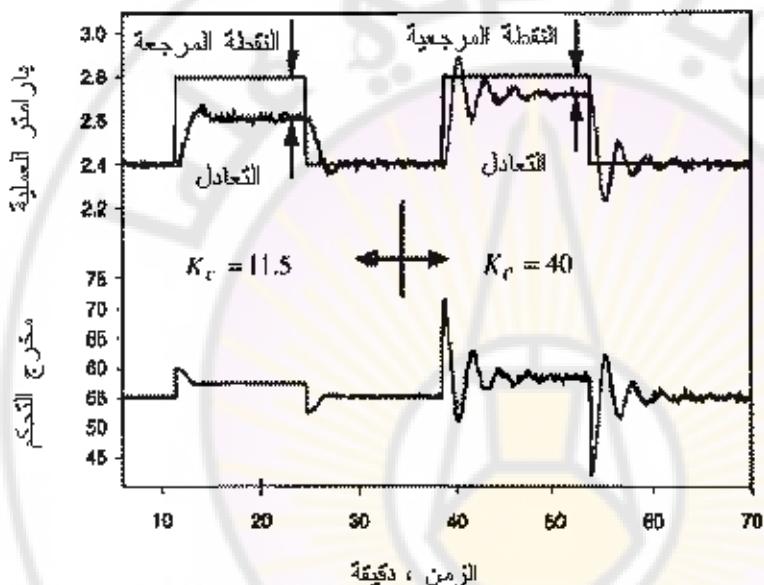
$COS_{(t)}$: إشارة الخرج عند أي زمن (مثلاً درجة حرارة فرن تحسين)

$COS_{(NE)}$: إشارة الخرج عندما لا يكون هناك خطأ
 E_t : الخطأ

K_C : الحساسية: وتعطي بالعلاقة الآتية :

حيث :

PB: النطاق النسبي : وهو يعبر عن ضرورة وصول قيمة الخرج إلى 100 % من الخرج المطلوب ، عندما تكون قيمة PB صغيرة جداً فإن قيمة (μ) تقترب من القيمة المرجعية وعندما تكون استجابة نظام التحكم عالية وهو يشبه نظام فتح - إغلاق ولكن ضمن النطاق الم Piet دون التوقف . يبين الشكل (١٨-٥) تغير القيمة المرجعية لنظام التحكم النسبي عند قيمتين لـ K_c .



شكل (١٨-٥) : تغير القيمة المرجعية لنظام التحكم النسبي عند قيمتين لـ K_c

٣-٣-١٨ - نظام التحكم النسبي المتكامل (PCI) controller

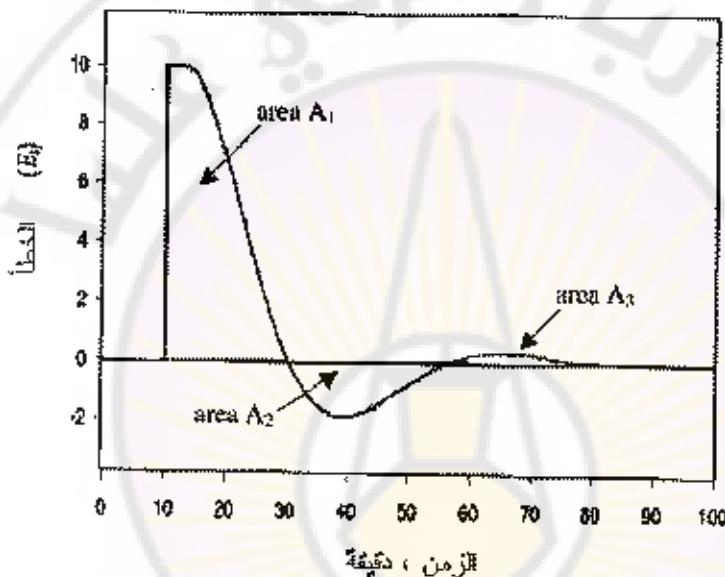
يتم التعبير عن إشارة الخرج في هذه الحالة رياضياً بالعلاقة الآتية :

$$COS(t) = COS_{(NE)} + K_C \cdot E_t + \frac{K_E}{T_I} \int E_t dt$$

حيث

t₁: زمن الضبط

يعبر حد التكامل في العلاقة السابقة عن مدى وقيمة انحراف البارامتر المقاس عن القيمة المرجعية وكذلك يسهم حد التكامل في تقليل الخطأ مع زيادة الزمن كما هو موضح في الشكل (١٨-٦).

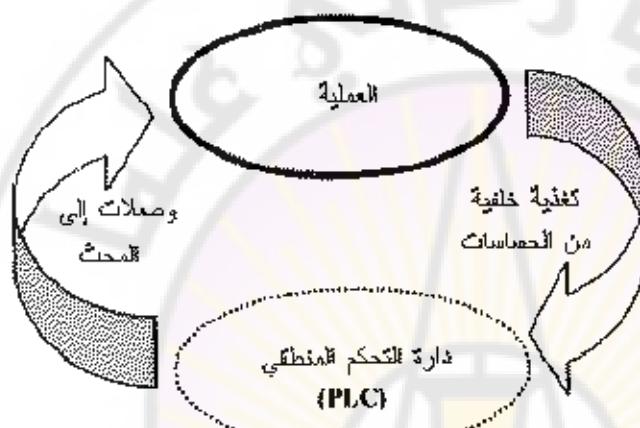


شكل (١٨-٦): تأثير عملية التكامل في التقليل من الخطأ

١٨-٤ - دارة التحكم المنطقية: PLC

تستخدم هذه الطريقة في تقانات التصنيع الحديثة وذات العمليات التصنيعية الموزعة بشكل كامل وهذه الدارة كما هو موضح في الشكل (١٨-٧) عبارة عن معالج صغير microprocessor يمكنه التواصل مع عناصر التحكم بالعملية التصنيعية وهذه الدارة غالباً ما تستخدم ما يسمى السلم المنطقي ladder logic والذي

طور بشكل أساسي للتحكم الإلكتروني باستخدام قوامع حاكمة relay switches ويمكن استخدام لغات متعددة لكتابية البرنامج والذي يقود العملية التصنيعية يعتمد مبدأ العمل على أن تقوم الدارة بقراءة الدخل من خلال السلم المنطقى وذلك وفقاً للبرنامج ثم تقوم بتغير الخرج عن طريق إصدار أوامر إلى محاثات actuators كهربائية أو ميكانيكية ويستخدم هذا النظام بشكل واسع في الصناعات الغذائية الحديثة.



شكل (١٨-٧) مخطط تسلسل عمل الدارة المنطقية

المصطلحات العلمية (عربي - إنكليزي)

Mass balance	متزان اكتلة
Power transmission	أجهزة نقل القدرة
Single layer	أحادي الطبقة
Sanitation test	اختبار الصحة
Pumps performance	أداء المضخات
Roundness	الامتدارة
Cylinder	أسطوانة
Forage	أعلاف خضراء
Twigs	الأغصان
Steam economy	الاقتصاد بالبخار
Microwave	أمواج قصيرة
Retention tube	أنبوب للحجز
Thermal diffusivity	الانتشارية الحرارية
Heat transfer	انتقال الحرارة
Heat transfer by radiation	انتقال الحراري بالإشعاع
Heat transfer by conduction	انتقال الحراري بالتوصيل
Heat transfer by convection	انتقال الحراري بالحمل
Steady stat heat transfer	انتقال حرارة مستقر
	305

Heat exchange systems	أنظمة التبادل الحراري
Superheated steam	بخار محمض
Dry saturated steam	بخار مشبع جاف
Pasteurization	بسترة
Characteristic dimension	البعد المميز
Drying	التجفيف
Sun drying	التجفيف الشمسي
Deterioration	تدحرج (يتعلق بمكونات المادة الغذائية)
Sedimentation	ترسيب
Size reduction	تصغير الأحجام
Sterilization	تعقيم
Sphericity	النكرور
Expansion	تمدد
Ventilation	التهوية
Heat balance	توازن حراري
Heat generation	توليد حرارة
Transient flow	جريان انتقالى
Laminar flow	جريان صفائحي
Turbulent flow	جريان مضطرب

Size	الحجم / القياس
Elastic limit	حد المرونة
Latent heat	حرارة كامنة
Sensible heat	حرارة محسوسة
Sensor	حساس
Chilling load	حمل التبريد
Freezing load	حمل التجميد
Natural convection	الحمل الطبيعي
Forced convection	الحمل القسري
Livestock	حيوانات المزرعة
Psychometric chart	خريطة الهواء الرطب
Reservoir	خزان
Frictional properties	خصائص الاحتكاك
Rheological properties	خصائص الانسياب
Thermal properties	للحصائص الحرارية
Mechanical properties	الخصائص الميكانيكية
Engineering properties	الخصائص الهندسية
Physical properties	الخصائص فيزيائية
Operating line	خط التشغيل

Line sorter	خط الفرز
Horizontal mixtures	خلط أفقي
Temperature	درجة الحرارة
Drying temperature	درجة حرارة التجفيف
Thermodynamics	ديناميكا حرارية
Absolutely humidity	الرطوبة المطلقة
Relative humidity	الرطوبة النسبية
Prandtl number	رقم برانتل (عدد لا بعدي)
Biot number	رقم بيوت (عدد لا بعدي)
Nusselt number	رقم نوسلت (عدد لا بعدي)
Vane	ريشة المرروحة
Angle of friction	زاوية الاحتكاك
Angle of repose	زاوية الراحة / الاستقرار
Time	الزمن
Exposure time	زمن التعرض
Oil	زيت
Newtonian fluid	سائل نيوتنوي (نسبة إلى العالم نيوتن)
Suction	سحب
Solar air heater	سخان هوائي شمسي

Speed	سرعة
Radial velocity	السرعة القطرية
Counter-current flow	سريان العكسي
Counter flow	سريان الموازي
Heat capacity	السعة الحرارية
Wire	سلك
Crossed belt	سير متصالب (متقاطع)
Transparency	الشفافية
Shape	الشكل
Valve	صمام
Relief valve	صمام الأمان
Directional valve	صمام التحكم بالاتجاه
Expansion valve	صمام التمدد
Check valve	صمام عدم رجوع
Hydraulic valve	صمام هيدروليكي
Compressor	مضاغط
Pressure	ضغط
Barometric pressure	الضغط الجوي
Oil pressure	ضغط الزيت

Absolute pressure	ضغط المطلق
Partial pressure	ضغط جزئي
Driving Pulley	الطارة المقادمة
Driven Pulley	الطارة المقودة
Energy	الطاقة
Pressure energy	طاقة الضغط
Potential energy	طاقة الوضع
Heat energy	طاقة حرارية
Soft	طري
Dispread phase	الطور المنتشر
Exhaust	الماءم
Paper containers	العبوات الورقية
Dimensionless number	عدد لا بعدي
Torque	عزم الدوران
Moment	عزم انجذاب
Rotor	العضو الدوار (الشاكوش)
Timing marks	علامات التوقيت
Shelf live	العمر التجاري
Work	العمل

Extrusion process	عملية البثق
Packing process	عملية التعبئة
Milling process	عملية الطحن
Cooling process	عملية تبريد
Float	غرامة / فواثة
Drying chamber	غرفة التجفيف
Steam jacket	غلاف بخار
Sorting	الفرز
Printability	قابلية الطبع
Firm	قاسي
Power	قدرة أو استطاعة
Husks	القشور
Sealing	فول / غلق
Texture	المقوام
Laws of motion	قوانين الحركة
Force	قوة
Compression force	قوة الانضغاط
Shear force	قوة القص
Minimum	قيمة صغرى

Maximum	قيمة عظمى
Mass	كتلة
Density	الكثافة
Bulk density	كثافة التکوم / الحجمية
Specific gravity	الكثافة النوعية
Volumetric efficiency	الكفاءة الحجمية
Plasticity	اللدونة
Viscosity	لزوجة
Dynamic viscosity	اللزوجة التحريرية
Sticking	لصق
Raw material	مادة خام
Tubular heat exchanger	مبدل حراري أنبوبى
Heat Plate exchange	مبدل حراري لوحى
Evaporator	مixer
Multi layer	متعدد الطبقات
Log mean temperature	متوسط درجة الحرارة اللوغاريتمي
Homogenization	المجانسة
Hammer mills	مجرشة مطرقة
Temperature probe	مجس حرارة / مسبار حرارة

Dryer	مجفف
Cabinet dryer	مجفف لرف
Drum dryer	مجفف الامتطوانة
Spray dryer	مجفف الرذاذ
Spray dryer	مجفف الرذاذ
Tunnel dryer	مجفف أنفاق
Belt dryer	مجفف سلور
Conveyer dryer	مجفف ناقل
Moisture content	المحتوى الرطوبى
Equilibrium moisture content	المحتوى الرطوبى الانزاتي
Actuators	محث
Atomizer	مرذاذ
Length	المسافة
Porosity	مسامية
Fluid level	مستوى السائل
Oil pump	مضخة الزيت
Vane pump	مضخة الزيت الدوارة
Reciprocating pumps	مضخة ترددية
Feeding pump	مضخة تغذية

Rotary pump	مضخة دورانية
Plunger pump	مضخة مكبسية
positive displacement pumps	مضخة موجبة الإزاحة
Coefficient factor	معامل الاحتكاك
Diffusion coefficient	معامل الانتشار
Lag factor	معامل التأخير
Heat transfer coefficient	معامل انتقال الحرارة
Post-harvest operation	معاملات ما بعد التصنيع
Evaporation rate	معدل التبخر
Drying rate	معدل التجفيف
Resistance	مقاومة
Uniaxial pressure strength	مقاومة الضغط المحوري
Shear strength	مقاومة الفصل
Valve seat	مقعد الصمام
Agitator	مقلب / خلاط
Condenser	مكثف
Drying curve	منحنى التجفيف
Positive	مووجب
Flat belt conveyor	ناقل سير مسطح

Pneumatic conveyer	ناقل هوائي
Thermal conductivity	النافورة الحرارية
Cold point	النقطة الميتة
Power transmission by	نقل القدرة بالسيور
Food engineering	هندسة التصنيع
Hydraulic	هيدروليكي
Engineering units	الوحدات الهندسية
Derived units	الوحدات مشتقة
Fundamental units	وحدات أساسية
Electronic control unit (ECU)	وحدة التحكم الإلكتروني
Unit operation	وحدة التشغيل
Heating coils	وشيعة تسخين
Fits	الوصلات
Closed vessel	وعاء مغلق

المراجع الأجنبية

- Arora, C.P. (1989).** Heat and mass transfer 3rd ed., Khanna pub.Delhi:245-246.
- Batty, J. C. and Folkmans, S. (1983)** Food engineering fundamentals, John Wiley & Sons-Inc, Ames.: 235-250.
- Behnke, K. C. (2001).** Processing factors influencing pellet quality, Feed Tech, vol.5, Nr 4, South Africa: 1-15.
- Brennan, J.G. (2006).** Food processing Handbook, ed. by WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Weinheim, Germany.
- Brennan, J.G., Butters, J.R., Cowell, N.D., and Lilly, A.E.V. (1990).** Food engineering operation, Elsevier Applied Sci., England: 391-401.
- Bylund, G. (1995)** Tetra Park Processing System (Hand Book) Ch15, Ch.17.AB, S-22186 Lund, Sweden:331-350,361-373.
- Dickerson, R.W. (1969).** Thermal properties of foods .In The freezing preservation of Foods 4th.AVI pub. Co.
- Earle, R. L.(1983).**Unit operation in food proccesing 2nd ed. Pb. by British Pergamon Commonwealth and International Library.
- Harvey, W. C., and Hill, H. (1999).** Milk production , pb,by Biotech Books, 2nd, India, Ch.V, : 282-319.
- Henderson, S.M., and Perry, R.L. (1975)** Agricultural process engineering, John Whiley & Sons, INC, NY.: 302-339.
- Incopera, F.P., and Dewitt, D.P. (1996).** Introduction to heat transfer, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc, Ames.: 446-497.
- Kniep (1982)** Pellet Mill Operator Manual, American Feed Manufacturers Association: 25-32.

- Masters·K.(1985).**Spray drying handbook·4th ed. Jhon Wiley & Sons Inc. NY.
- McCabe· W.· Smith· J.C.· and Harriott· P. (2001).** Unit operations of chemical engineering·6th .ed.· McGraw-Hill Book Co.;804-806.
- Min Cheng·L. (1992).**Food machinery for production of cereal foods· snack foods and confectionery · ed. by Ellis Horwood Limited· England.
- Mohsenin·N.N. (1984).**Physical properties of plant and animal materials (Part I and Part II) · 2nd ed. By Gorden and Breach ·Science publisher· Inc. New York.
- Raton·B.(2009).** Food packaging and shelf life: A practical guide· Florid· CRC Press.
- Rizvi· S. S.· Hand Rao· M.A. (1995).** Engineering properties of foods 2nd· Pb. Marcel Dekker · NY.;132.
- Rodriguez· G.· Vasseur· J. and Courtois· F .(1996)_a.** Design and control of drum dryers for the food industry. Part1. Set-up of a moisture sensor and inductive heater· J.of Food Eng. Elsevier Science LTD.· vol. (28): 271-282.
- Rodriguez· G.· Vasseur· J. and Courtois· F .(1996)_b.** Design and control of drum dryers for the food industry. Part2. Automatic Control· J. of Food Eng. Elsevier Sci. LTD.· vol. (30):171-183.
- Raji·A.· Alamutu·A.(2005).** Prospects of computer vision automated sorting system in agriculture process in Nigeria· J. of Scientific research and development .vol. III Feb·
- Leemans V.· Magein· H.· Destain · M.· F. (2002).** One line fruit grading according to their external quality using machine

- vision. Biosystems Engineering (2002) 83 (4): 397–404. Belgium.
- Forbes K. (2000).** Volume estimation of fruit from digital profile images . Ms.Thc. University of Cape Town.
- Guyer D., Brauer R. and Timm E. (1994).** Lighting system for fruit sorting . Tree fruit postharvest Journal : 5 (1): 22 – 28 USA
- Lu R. (2004).** Hyper spectral Imaging for Nondestructive Assessment of Fruit Quality. Agricultural Engineering Michigan State University.
- Sahay K. M. and Singh K.K. (1992).** 2nd ed .Unit operation of agricultural processing. Vikas Pub. House PVT LTD. Delhi; 103-162, 224, 321-328.
- Sharma S.K., Mulvaney S.J., and Rizvi S. S. H. (2000)** Food processing and laboratory experiments . John Wiley& Sons Inc.Ames.:202-223.
- Simmons N.Q. (1963).** Feed milling .1st ed. Leonard Hill LTD.:73-77, 182-185, 208-214.
- Singh P. and Heldman D.R. (2001).** Introduction of food engineering .3rd ed., Acad. Press, GB:217-219.
- Sitkei G. (1986).**Mechanics of agricultural materials . Elsevier Sci., NY:459-473.
- Valentas K., Rotstein E., Singh R.P. (1997).** Handbook of food engineering practice ed. by. CRC.Press, Boca Raton, NY.

المراجع العربية

- ارنست واطسون وجون هاربر (١٩٩٤). مبادئ هندسة التصنيع - ترجمة الدكتور عبد الوهاب شلبي قاسم - دار المريخ - ١٩٩٤ المملكة العربية السعودية.
- حسن، بكري، حسين، حوباتي، علي، إبراهيم. (١٩٩٥). هندسة تصنيع الأغذية، كتاب مترجم، جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية.
- السيباني، صالح. عبد الرحمن، وهبي، محمد. (١٩٩٤). مبادئ الآلات الزراعية كتاب مترجم، جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية.
- طحلاة، محمد خير. (١٩٩٨). هندسة مصانع الأغذية، منشورات جامعة دمشق.
- عبود، أحمد، جاد الله. (٢٠٠٤). دراسة عوامل تصميمية لإعادة تدوير مخلفات تصنيع الألياف، رسالة دكتوراه - قسم الهندسة الزراعية - كلية الزراعة - جامعة عين شمس، مصر.
- عبود، أحمد، جاد الله. (٢٠١٢). هندسة التصنيع الزراعي، محاضرات غير منشورة، كلية الزراعة جامعة دمشق.
- عبود، أحمد، جاد الله. (٢٠١٢). نفائس مقدمة في تصميم مصانع الأغذية ، محاضرات غير منشورة، كلية الهندسة التقنية، جامعة حلب.
- عبود، أحمد، جاد الله. (٢٠١٢). ج. هندسة معاملات ما بعد الحصاد ، محاضرات غير منشورة، كلية الزراعة، جامعة دمشق .

التدقيق العلمي:

جامعة دمشق	كلية الزراعة	١- أ.د. صبياح أبو غرة	دمشق
جامعة دمشق	كلية الزراعة	٢- أ.د. محمد خير طحلاة	جامعة دمشق
جامعة دمشق	كلية الزراعة	٣- أ.د. أحمد هدال	جامعة دمشق
جامعة دمشق	كلية الآداب	د. حسن الأحمد	جامعة دمشق

التدقيق اللغوي :

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات الجامعية