

جامعة الملك سعود
قسم الهندسة الزراعية
مقرر ٤٦٠ هزر (تعبئة وتغليف الأغذية)
الفصل الدراسي الأول ١٤٣٧/١٤٣٨ هـ

مذكرة

تعبئة وتغليف الأغذية

مسودة (١)

إعداد:

فريق المقرر

١/١/١٤٣٨ هـ

الفصل الأول

مقدمة في التعبئة والتغليف

- مقدمة
- نبذة تاريخية عن مواد التعبئة والتغليف
- أنواع العبوات الغذائية
- إحصائيات مواد التعبئة والتغليف
- أسئلة عامة

● مقدمة

في الأسواق المركزية وغيرها، نادراً ما توجد مواد غذائية مباعه بدون عبوات مناسبة. حيث تلعب عبوات المادة الغذائية دوراً هاماً في احتواء ونقل المنتج، وكذلك الحفاظ على جودة المنتج، وأيضاً حمايته من بعض الظروف الخارجية الغير مرغوبة بالإضافة أن العبوة وسيلة للتعرف على المنتج. بالطبع فإن العبوات لا تحسن من جودة المنتج ولكن المحافظة بقدر الإمكان على جودة المادة الغذائية لأطول فترة ممكنة.



صورة لأحد أرفف سوق مركزي وتظهر فيه عدة أنواع من العبوات الغذائية المبردة .

وهناك عدة تعاريف للعبوة ومنها أنها وسيلة آمنة لنقل المنتجات إلى المستهلك في حالة مقبولة وبالسعر الأدنى. وفي تعريف آخر أنها عبارة عن متطلبات من الفن والعلم والتقنية لتهيئة الغذاء للنقل، التخزين، أو البيع لمكان آخر بعيدا عن نقطة الإنتاج. أما التعريف الثالث فهو الوظيفة الاقتصادية والتقنية والتي تهدف إلى تقليل التكاليف للنقل وتعظيم البيع.

- وهناك عشرات الوظائف للعبوات الغذائية إلا أنه يمكن حصرها بشكل عام في ثلاث محاور أساسية:
١. الوظيفة الأولى: هي الاحتواء وهذا قد يبدو من البديهيات، ولكنها وظيفة أساسية لاحتواء المنتج، فمنذ آلاف السنين وعبر التاريخ كان الفراعنة وغيرهم ينقلون الزيت في جرة من مكان لآخر ويتم حفظه فيها لبعض الوقت.
 ٢. الوظيفة الثانية: هي الحماية وهذه الوظيفة تلعب دوراً كبيراً في صناعة المواد الخام للتعبئة والتغليف، فعلى سبيل المثال يوجد هناك بعض المواد الغذائية لو تُركت مكشوفة لما بقت صالحة للأكل مدة ثلاثة أيام ولكن بفضل الله والمعرفة التامة بخواص هذه المواد استطاع الإنسان الاحتفاظ بهذه المواد صالحة لمدة تصل إلى سنة أو أكثر،

وذلك يتم عن طريق حماية المواد المعبأة من أي ظروف محيطية بما مثل الظروف الجوية والحيوية وأيضا من بعض الحشرات والقوارض.

تكمّن الحماية في عدة محاور من أهمها ما يلي:

- حماية ما تحتويه هذه العبوة من العوامل أو الظروف الجوية مثل (الرطوبة، الحرارة، أشعة الشمس، وغيرها مفردة أو مجتمعة).
- حماية محتوى العبوة حيويًا من الكائنات الدقيقة (ميكروبات) والحشرات وحتى الإنسان في بعض الأحيان.
- حماية محتوى العبوة من الفقد الجزئي أو الكلي لمحتويات المادة مثل المحتوى الرطوبي والنكهة.
- حماية المحتوى من بعض الغازات الغير مرغوب فيها لتقليل التفاعلات بداخل العبوة مثل الأوكسجين وغيره.
- الحماية من الأضرار الميكانيكية: وهذا يتضح عند التعامل مع الأغذية المعرضة للكسر مثل البيض والأطعمة الخفيفة. وتشمل الحماية الطبيعية تحمل عمليات التغليف في خطوط الإنتاج والتداول عند التوزيع. ومقاوم لهجوم القوارض و تسرب الحشرات.

هذه المواصفات تنطبق على الغذاء و الدواء على حد سواء.

٣. الوظيفة الثالثة: أن العبوة والبطاقة الملصقة أو المطبوعة عليها هي وسيلة **للتعريف والتواصل** بين البائع أو المصنّع والمستهلك، فمن متطلبات التعبئة والتغليف اليوم هو بطاقة تعريفية عن المحتوى، فمثلاً تجد مكونات مادة الآيس كريم على جانب العلبة من حليب ونكهات وغيرها، التسعيرة الموجودة على المواد الغذائية وغيرها أيضا لا يمكن أن تكون على تلك المواد مباشرة ولكن توضع على سطح العبوة الخارجي. بالإضافة إلى ذلك، هناك الكثير من المعلومات المقدمة للمستهلك على البطاقة الملصقة بالعبوة مثل الوزن الصافي، قائمة بالمحتويات والقيمة الغذائية والمعاملة الحرارية، رقم التصنيع، و تاريخ الإنتاج والصلاحية. ومن جانب آخر فالعبوة لها جوانب تسويقية ودعائية. فلا بد أن تكون العلبة جذابة وأن تكون ملفتة لنظر.

من خلال هذه الوظائف الأساسية يمكننا القول إن للتعبئة والتغليف أهمية بالغة في المجال الصناعي والزراعي والطبي أيضا ومن هذا المنطلق يمكن تعريف هذه الصناعة بأنها "منظومة ومجموعة من العمليات تستخدم فيها العبوات لحفظ واحتواء المنتج سواء كان منتجا غذائيا زراعيا أو طبيا أو صناعيا لتكون وسيلة منفعة وتواصل للمستهلك في النهاية".

هنا بعض الأمثلة على أهمية العبوات بشكل عام من خلال تلك الوظائف التي تؤديها للمنتج:

✓ أمامك عبوة من الماء على مائدتك، تخيل أن هذا الماء بدون وعاء يحويه وتضطر كل مرة أن تشربه من الصنبور! فهذه فلسفة العبوة حيث تأتي من احتواء الشيء سواء كان صلباً أو سائلاً وفي بعض الأحيان يكون غازياً.

✓ أفترض أنك تركت عبوة الماء هذه مفتوحة عدة ساعات على المائدة، فماذا سيحدث لهذا الماء؟! بالتأكيد سيتبخّر ذلك الماء من العبوة! وذلك بسبب فرق ضغط بخار الماء حيث أن الرطوبة النسبية لطبقة الهواء الملاصقة لسطح الماء قريبة من ١٠٠% بينما الرطوبة النسبية في الهواء بالغرفة تتراوح عادة من ١٠% إلى ٧٠% حسب المنطقة والموسم. لذلك قارورة الماء عند إغلاقها بالغطاء المحكم فهي تحفظ الماء داخل العبوة، وإلا لتبخّر كل الماء قبل أن تستطيع تناوله! لذلك تعمل هذه العبوة على الحفاظ على المنتج ومنع أو تقليل فقدته لخارج العبوة.

✓ تحتاج في رحلة خلوية لعدة أيام وربما أسابيع إلى الحليب كعنصر أساسي في الرحلة. يمكنك الاستمتاع بحليب صحي ومغذي دون تبريد أو وجود مواد حافظة حتى عدة أشهر. نعم، بإمكانك أن تأخذ معك حليب طويل الأجل وتشتري منه كمية تكفيك طوال الرحلة دون أن يفسد أو يتلف لعدة أشهر. لاحظ أنه بدون المعاملة الحرارية والعبوة المناسبة التي تمنع تلوث الغذاء سيفسد هذا الحليب خلال عدة ساعات حسب درجة حرارة التخزين. بالتالي بعض طرق الحفظ والتعقيم تحتاج إلى عبوات خاصة تحفظ الغذاء في درجة حرارة الغرفة صالحاً للتناول لفترة طويلة.



✓ افترض أثناء تسوّك في سوق مركزي وجدت عبوة غذائية سليمة وخالية من أي عيوب مظهرية ومحكمة الغلق (معدنية مثلاً)، ولكن الملصق (البطاقة التي تكتب فيها بيانات العبوة) منزوع أو غير واضح المعالم، فهل ستشتريها؟ ولماذا؟!

✓ ماذا عن احترافية بطاقة العبوة وجاذبية تصميمها؟ هل ستؤثر على نظرتك وتقييمك للعبوة؟

من هنا نرى التطبيق العلمي من خلال هذه الأمثلة المبسطة لاستخدامات العبوات والتي تقوم عليها الصناعات الضخمة والتي تقوم على التقنيات الهندسية والغذائية لعمليات الحفظ هذه. والجدير بالذكر أن الاستثمارات في مجال التعبئة والتغليف عالية جداً وذات تقنية متخصصة تتلاءم مع سلامة وصحة الإنسان ومتطلباته.

وتتطلب العبوات شروطاً حسب الجهة المستفيدة، فالمنتج يرغب في تغليف سلعته بشكل جيد ولكن بتكلفة معقولة يضمن من خلالها الربح والفائدة، كما أن المستهلك يهتم بأن تكون السلعة نظيفة خالية من العيوب والمشاكل،

فالتعبئة والتغليف مرة أخرى حلقة وصل بين المنتج والمستهلك. ومن المتطلبات أيضاً سهولة فتح العبوة وكذلك التخلص منها أو إمكانية إعادة التدوير.

لذا فالمختصون في تعبئة وتغليف الأغذية عدة مجموعات، فمنهم من يهتم بمواد التغليف نفسها ويطور منها. ومنهم من يهتم بعمليات التعبئة حيث يعبأ المنتج داخل العبوة وطرق مكننتها والعمل على تطويرها. أيضاً هناك فريق متخصص في متطلبات مواد التغليف ومدى التوافق مع المنتج. كما هناك من يهتم بتصميم شكل العبوات ومميزاتها الهندسية التصميمية مثل ما هو الحال في إنشاء المباني فيتطلب من المهندس المعماري تصميم ورسم المبنى بينما المهندس المدني يهتم بالمواد وخصائصها الممكن استخدامها في هذا المبنى. تتطور العملية أيضاً إلى دراسة خصائص العبوة في ظروف مختلفة من التخزين والإجهادات الحرارية والميكانيكية وخلال نقلها وحمايتها من التلف عند تداولها. هذا ناهيك عن كون متخصصاً في إعادة التدوير لهذه المواد ومدى ملائمتها في إعادة التدوير وإعادة استخدامها أحياناً، كما يوجد أيضاً المتخصص في مدى تفاعل العبوة مع المحتوى خلال فترة زمن معينة وسيتم شرح هذا بالتفصيل في عدد من طروحات هذا الكتاب بعون الله.

ومن أهم الجوانب التي يجب أخذها في الاعتبار عند اختيار نوع العبوات هو الجانب الاقتصادي من حيث سعر العبوة الخام، خطوات التصنيع المختلفة والأجهزة المستخدمة، القدرة التسويقية، ومدى تقبل المستهلكين لها. ويجدر قبل الشروع في الجوانب التقنية والعلمية في صناعة العبوات أن يكون هناك لمحة تاريخية مختصرة لتاريخ وتطور العبوات عبر التاريخ، حيث الحاجة هي الدافع الرئيس للابتكارات.

○ نبذة تاريخية عن مواد التعبئة والتغليف

في العصور القديمة كانت الأواني المعدنية والسلال والأواني الخشبية والسيراميك والفخار والزجاج وجلود الحيوانات المجففة تستخدم لاحتواء ونقل وحفظ الأغذية تبعاً لحاجة الإنسان في نقل وحفظ الأغذية. وتزخر المتاحف العالمية اليوم بكمية هائلة من العبوات البدائية ومراحل تطورها على اختلاف منشئها وتاريخها الذي يمتد لألاف السنين. استخدمت العبوات منذ العصور الأولى للإنسان، فما يلي نبذة مختصرة عن مراحل تطور العبوات:

- في العهد الفرعوني صنعت الأواني الفخارية لنقل الزيت وحفظه لحين الحاجة له، و يذكر أن الحضارة الصينية هي أول من استخدم الخزف والسيراميك لحفظ الأغذية السائلة أو الزيت والمشروبات وغيرها، وتبعت ذلك الحضارة الإغريقية وغيرها.



- كما استخدم العرب والمسلمين في العصور الوسطى الأواني من الفخار وغيرها وتفننوا في أشكالها وزخرفتها. حتى بدأت النهضة الصناعية الحديثة في أوروبا وأمريكا وغيرها. ويلاحظ هنا أن كل حضارة أو منطقة استخدمت المواد المتوفرة في بيئتها، وهذا هو المنطق.



- كما أن الفترة التي عاشها أجدادنا من شطف العيش واعتمادهم بعد الله على المنتجات الزراعية التي يزرعونها والعبوات الأولية والتي جملها يقومون بتصنيعها من الفخار والخشب وجلود الماشية وبعض المعادن وكذا بعض الثمار الكبيرة الحجم. ومن أمثلتها:



- وبالرغم من التطورات المتدرجة في الصناعة والمبتكرات بشكل عام في الحضارات المختلفة إلا أنه من العجيب أن تلك المبتكرات ومنها صناعة التعبئة والتغليف زتطور بشكل متسارع وتحدث قفزات خلال الحروب والنزاعات حيث تزداد الحاجة الماسة والعاجلة للغذاء والدواء وطرق حفظها. فحين أوشك جيش نابليون على الهلاك بسبب الجوع ونقص المؤونة في الغذاء (قبل الاستيلاء على ما يسمى بروسيا اليوم) وحينها أعلن نابليون جائزة مجزية لحفظ الأغذية من الفساد خلال تنقل الجيش من مكان لآخر.



- بدأ التطور الحقيقي في استخدام العبوات على أساس علمي لحفظ الأغذية في عام ١٨١٠ م، حيث فاز العالم الفرنسي Nicholas Appert نيكولاس بجائزة نابليون من الحكومة الفرنسية لتطوير آلية لحفظ الأغذية حيث كانت فرنسا في ذلك الوقت في حالة حرب مع جيرانها، وكانت هناك مشاكل في توفير ونقل الأغذية، استخدم نيكولاس عبوات زجاجية ذات فتحة كبيرة تعبأ عن طريقها الأغذية، بعد ذلك يتم إغلاقها بإحكام ومن ثم غليها في الماء، ولقد ألف كتاباً

يصف هذه الطريقة لحوالي ٥٠ منتجاً غذائياً، بعد ذلك تم بيع براءة اختراع طريقة الحفظ هذه بمبلغ ١٠٠٠ جنيه استرليني. ومن ذلك الوقت تطورت طرق التعليب الغذائي بشكل مستمر، حيث بدأت الجيوش في الاهتمام بتطوير طرق الحفظ (بدلاً من اللحوم المجففة والبسكويت الجاف)، وكان هناك معلبات للطماطم والفاصوليا، ولكنها كانت مكلفة جداً وكان الإنتاج في مصنع حوالي عشر معلبات في اليوم، وكانت العلبة المعدنية تفتح بمطارق، وفي عام ١٨٤٧ م بدأ تطوير آلات لصناعة العلبة المعدنية.



- بالرغم من استخدام تلك الطرق في حفظ الغذاء فإنه لم يعرف لماذا حصل هذا الحفظ. حتى اكتشف العالم الفرنسي Louis Pasteur في عام ١٨٦٣ م العلاقة بين منع فساد الأغذية بتلك الطريقة وتثبيط نشاط الكائنات الحية الدقيقة باستخدام الميكروسكوب، وبالتالي اقترح التسخين لدرجة حرارة معينة لوقف نشاطات الفساد في حفظ بعض المنتجات الكحولية ومن ثم ضرورة منع نفاذ الهواء المحمل بتلك البكتيريا إلى داخل العلبة.
- وأصبحت عملية البسترة إجبارية للحليب ومنتجاته في الدانمرك سنة ١٨٩٨ م، وفي عام ١٩١٠ م ظهرت تشريعات في مدينة نيويورك بتحديد زمن ودرجة حرارة البسترة للحفاظ على صحة المستهلك.
- وفي عام ١٩٢٠ م طور بوهارت Bohart من جمعية المعلبات الوطنية مادة لطلاء العلب المعدنية لحماية الأغذية المعلبة من التلوث بسبب كبريتات الحديد الناتجة من العلبة أثناء العملية الحرارية، كذلك اقترح بيقلو وبول Bigelow و Ball في نفس العام طريقة علمية لحساب الحد الأدنى للجرعة الحرارية باستخدام الطريقة البيانية، ومن ذلك الوقت تطور استخدام المعلبات بأنواعها المختلفة لحفظ الغذاء والدواء.

أما في الوقت الحاضر شهدت تقنية العبوات الغذائية قفزات عديدة في جوانب كبيرة، حتى أصبح من الممكن حفظ المنتجات القابلة للفساد من عدة ساعات عندما تكون العينات غير محفوظة إلى أن أصبح حفظها ممكناً لعدة أشهر وربما سنوات في العبوات المعقمة، كذلك أصبحت هناك أجهزة منزلية لتفريغ العبوات وإحكام غلقها شكل (١)، على سبيل المثال.



أجهزة منزلية يمكن بها تفريغ العبوات وإحكام غلقها.

○ أنواع العبوات الغذائية

يمكن تقسيم مواد التعبئة والتغليف للأغذية إلى خمس مجموعات رئيسية وهي البلاستيك والورق (أو الكرتون) والمعدن (الحديد و الألمنيوم والسبائك) والزجاج والخشب. وهناك بالتأكيد العبوات المركبة والتي تحوي مجموعتين أو أكثر من هذه المواد. و في ما يلي أستعراض موجز لهذه العبوات حسب مكونات المادة المصنعة منها.

(١) العبوات البلاستيكية:

يوصف البلاستيك بأنه الأكثر شعبية ولكنه الأقل صداقة للبيئة نسبياً. وبالتأكيد فإن نجاح تصنيع البلاستيك من مشتقات النفط في الثلاثينات من القرن الماضي هو السبب الرئيس للانتشار الواسع للعبوات البلاستيكية. وتعتبر البلاستيك (اللدائن) صناعة ضخمة جداً وتستخدم كثيراً في مجال التعبئة والتغليف. والبلاستيك إما أن يكون من

مشتقات نفطية أو حيوية. وهناك اتجاه لتطوير صناعة البلاستيك الحيوي أو ما يسمى (Bio-plastic) بسبب بطء تحلل العبوات أو الحاويات المصنعة من مشتقات نفطية تحت الظروف البيئية الطبيعية أو المحاكاة المسرعة.

يوضح جدول رقم (١) بعض أنواع المواد البلاستيكية المستخدمة في التعبئة والتغليف وطريقة التعرف عليها من خلال الرموز. البلاستيك المستخلص من مشتقات نفطية يتم صناعته من مواد أولية مثل الإثيلين وهو غاز طبيعي عضوي بينما يتكون البلاستيك الحيوي من مشتقات أولية موجودة في الطبيعة مثلاً النشا المستخلص من الذرة أو البطاطس أو قصب السكر أو البنجر أو التمر من البيئة المحلية. وأيضاً قد يكون مستخلصاً من البروتينات الحيوانية ومثال على ذلك الكازين أو الجلاتين المستخدم في تصنيع غلاف الكبسولات الطبية ذات الطبيعة الصلبة (القاسية) والتي تحتوي على المضادات الحيوية بينما الأغلفة اللينة تحتوي على الزيوت أو المكملات الغذائية. وتختلف استخدامات البلاستيك في هذا المجال سواء لتعبئة المواد الغذائية أو الصيدلانية، كما تختلف خصائص هذه المادة مع اختلاف المواد أو العائلة الكيميائية التي صنعت منها. وبالتأكيد تختلف الخصائص الحرارية والميكانيكية في الحالة الساكنة أو الحركية حسب نوع وتركيب مادة العبوة. وقد يسبب الاختلاف البسيط في التركيب الكيميائي لمادة تغيراً كبيراً في خواصها.

بشكل عام يستخدم شعار المثلث ذو الأسهم المتعاقبة في تصنيف العبوات البلاستيكية لتسهيل جمعها بهدف تدويرها وإعادة تصنيعها مرة أخرى. ولا يعني الرمز بالضرورة إلى أن المادة قابلة تماماً ١٠٠% لإعادة التدوير حيث أن أعلى نسبة تدوير و هي للبولي إثيلين (PE) تصل إلى ٣٠% فقط من مجموع الكمية المصنعة و أنواع أخرى مثل البي في سي (PVC) يصعب إعادة تدوير هذه المادة أولاً لكثرة وجود المواد المثبتة (الموازنة) له حيث يمكن للمادة أن تكون متوازنة وثابتة تحت ظروف معينه و ثانياً قصر المدى الذي يمكن التعامل مع هذه المادة حرارياً حيث أن درجة حرارة الاحتراق قريبة لدرجة حرارة الذوبان و بمساعدة المثبتات غالباً ما يحترق البي في سي قبل إمكانية إعادة صهره تدويره ، ولكن يبقى الرمز خاص للبلاستيك لا يحاكي رموز شركات ومنظمات أخرى.

جدول (١). رموز واستخدامات بعض العبوات البلاستيكية الشائعة في مجال التعبئة والتغليف

رمز	اسم المادة واستخداماتها
	متعدد الإيثيلين تريفثالات - يستخدم في صناعة علب المشروبات الغازية وحاويات الوجبات الجاهزة المجمدة.
	البولي إيثيلين عالي الكثافة - يستخدم لعلب الحليب وعلب الغسيل والمنظفات.
	متعدد كلورو الفينيل - يصنع منه صواني الطعام وأغشية التغليف اللاصقة وعلب العصائر والمياه المعدنية وعلب الشامبو.
	متعدد إيثيلين قليل الكثافة - يستخدم في صناعة الأكياس البلاستيكية لحمل الأغراض وأكياس النفايات.
	متعدد البروبيلين - يستخدم في صناعة علب السمن الصناعي وصواني اللحوم القابلة للتسخين بالميكروايف.
	متعدد ستايرين - يستخدم في صناعة علب الزبادي وأطباق اللحوم الفلينية وعبوة اللحم (البرجر) وعبوة البيض وأكواب المشروبات الفلينية كذلك السكاكين والملاعق البلاستيكية وفلين حماية الأجهزة الإلكترونية من الكسر أثناء الشحن.
	أخرى - أي مواد بلاستيكية لا تندرج تحت المجموعات السالفة الذكر مثل بعض المواد التي تصنع من عدة طبقات مختلفة أو البلاستيك الحيوي مثلاً بي إل أي (PLA) بولي لاكتيك أسيد متعدد حمض اللبنيك (حمض اللاكتيك).

(٢) العبوات الورقية والطلبات الخشبية:

يصنع الورق أساساً من أشجار الغابات حيث يستخدم جذع الشجرة (وأوراقها أحياناً) في استخراج مادة الألياف وهي المكون الرئيس للورق. ومن مميزات الورق انه يمكن إعادة تدويره إلى خمس مرات مع حفظه على قوته ، ومع مرور الوقت يمكن له أن يتحلل على عكس البلاستيك تماماً ولكن للورق حساسية عالية جداً للرطوبة والمواد الكيميائية. لذا قد تبطن العبوات الورقية -أو ما يسمى بالكرتون أحياناً - بطبقة رقيقة من البلاستيك لأغراض الحماية وربما الطباعة أيضاً.

عادة تستخدم العبوات الورقية المقواة - ما يسمى بالكرتون المموج حيث يكون متعدد الطبقات ومموج من الداخل ليعطي القوة والمتانة هندسيا- كعبوات ثانوية أي لاحتواء وحفظ ما بداخلها من عبوات صغيرة سواء كانت بلاستيكية أو معدنية أو غيرها.

وكان يستخدم الخشب شائعاً في صناعة الصناديق والحاويات ولكن له عدة عيوب من أهمها صعوبة تشكيله وثقل وزنه وتأثره الكبير بالرطوبة قلل من استخداماته. إلا أن الخشب ما زال يستخدم في صنع الحاويات متوسطة الحجم (تسمى بالطبليات أو المنصات) لاحتواء عدد كبير من العبوات الكرتونية أو البلاستيكية لتسهيل عملية نقلها كمجموعات كبيرة بالرافعات وغيرها إلى وسائل الشحن المختلفة.

(٣) العبوات المعدنية:

يتميز الحديد بقوة ومتانة عالية وتحمل لدرجة الحرارة العالية كما في تعقيم المنتجات الغذائية لذا يحفظ المواد المعبأة مدة طويلة تصل إلى تسعة أشهر أو أكثر. إلا أنه لا يمكن استخدام الحديد لوحده من غير معالجة السطح بمادة أخرى كطلاء داخلي حيث أن الحديد الخام سريع التفاعل مع المواد المحيطة به. وتعتبر طبقة الطلاء غالبية الثمن وتحتاج إلى تقنية خاصة للطلاء لتقليل التكلفة من جانب وتجانس سمك الطلاء من جانب آخر. وتعتبر عبوات التونة والخضار أحد الأمثلة الشائعة لهذه النوعية من مواد التعبئة والتغليف. فبعد تهيئة المنتج الغذائي يتم تعبئتها في العبوة المعدنية ثم إحكام إقفالها ومن ثم تعريضها لدرجة حرارة التعقيم (عادة بالبخار عند ١٣٥ م) وتكاد تكون هي العبوة الوحيدة التي تتحمل درجة الحرارة هذه. التعقيم وهي تقنية تحفظ المنتجات الغذائية لمدة طويلة (تصل إلى عدة أشهر وربما سنوات) في درجة حرارة الغرفة.

أما المعدن الآخر الشائع في تعبئة المشروبات الغازية فهو الألمنيوم. ويعتبر أقل من الحديد في تفاعلات الأكسدة مع الأوكسجين مثلاً بسبب تركيبه الكيميائي وكذلك يتميز بخفة وزن عبواته. والجدير بالذكر أن تكلفة الألمنيوم أعلى من التكلفة الأولية لباقي مواد التعبئة والتغليف وهذا مما أدى إلى حصر صناعته في بعض المشروبات الغازية، وينافسه في ذلك العبوات البلاستيكية وبتكلفة أقل.

(٤) العبوات الزجاجية:

يتميز الزجاج (مادته الأولية عنصر السيليكا المصنع من الرمل) بأنه قليل التفاعل مع الجو المحيط والمنتجات المعبأة فيه، كذلك يتمتع بمتانة وصلابة جيدة جداً ويحفظ المنتجات الغذائية لمدة طويلة. إلا أنه من أهم عيوبه الطاقة الكبيرة التي يتم استهلاكها في تصنيعه وتشكيله. ويمكن إعادة تدوير جزء لا بأس به من هذا الزجاج المستخدم ولكن

الإضافات والألوان تبقى عائقا للحصول على الزجاج النقي. ومن جانب إضافي فوزن الزجاج نفسه يعد عيبا في صناعة العبوات وكذلك قابليته للكسر مقارنة بالعبوات المعدنية والبلاستيكية الأخرى.

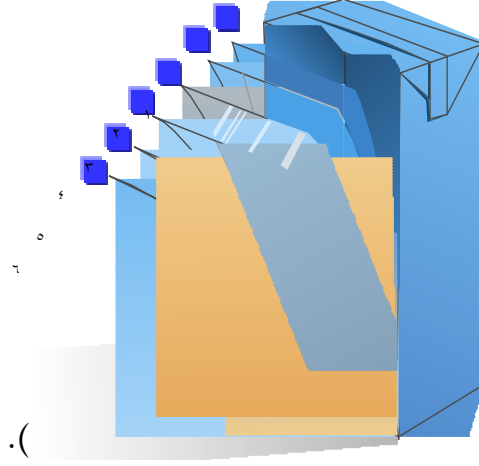
٥) العبوات المركبة واعتبارات أخرى:

في بعض التطبيقات قد تكون هناك حاجة لاستخدام عدة طبقات من جدار العبوة سواء كانت معدنية أو ورقية أو بلاستيكية تبعاً للجانب الاقتصادي وتخفيض التكاليف أو الوقائي أو الطباعة. على سبيل المثال دائما ما نجد الورق مع الغلاف البلاستيكي الرقيق وهذا إما أن يكون لصعوبة الطباعة على الورق وسطحه الخشن أو لكي تستمد الدعامة من الورق المقوى ويشكل البلاستيك طبقة رقيقة عازلة وحامية للورق. وفي جميع الأحوال وعند أي من هذه التطبيقات فيجب الحرص على أن تكون مصادر المواد الخام المستخدمة لتصنيع العبوات الغذائية مطابقة للمواصفات والمقاييس المطلوبة لسلامة المنتج.

يلاحظ في أرفف المحلات والأسواق اليوم أن العبوات متعددة الطبقات تكاد تكون هي السائدة في أغلب المنتجات ذات القيمة العالية مثل الحليب وعلب الدواء وأيضا كمية لا بأس بها من العصائر والمعجون والزبدة وما إلى ذلك من منتجات. يتكون الغلاف متعدد الطبقات عادة من مادة ذات قوام مثل الورق المقوى وطبقة معدنية رقيقة عديمة النفاذية لمنع دخول الميكروبات ومسببات التلف ويلي ذلك مادة بلاستيكية يمكن الطباعة عليها لأنها تمتاز بنعومة السطح، ويفيد أيضا البلاستيك في لحام العبوة ذاتها والطبقات مجتمعة حيث من الصعب جداً لحام المواد التي لها تركيب كيميائي مختلف جذريا عن بعض مثل المعادن والورق. فيما يلي عينة في شكل رقم (٢) من هذه العبوات متعددة الطبقات.

في هذه المثال للعبوات المركبة، العبوة هنا تتكون من ثمان طبقات أهمها الألمنيوم البلاستيك والورق والجدير بالذكر هنا أن هناك عدد من الأغلفة أيضا يمكن أن تكون أكثر أو أقل من ذلك حيث بعض عبوات البلاستيك الخاصة تتكون من ثلاث أو بحسب المواصفات المرغوب فيها من حيث النفاذية أو القوة والمتانة. وغالبا ما يكون انتقال المادة -النفاذية- ذات أهمية خاصة لطبقات البلاستيك كما أن بعضها حساس للأوكسجين وغيرها من الاعتبارات. ويوجد اليوم كذلك بعض العبوات التي تتكون من طبقتين حيث يكون هناك طبقة رقيقة معدنية على غلاف من البلاستيك وهذا ما يسمى بتعدين البلاستيك أو الورق. وتقوم فكرتها على البثق الحراري للمعدن (مثل الألمنيوم) على غلاف بلاستيك وذلك لمنع انتقال المادة أو تسرب الغازات من وإلى العبوة ولحجب أشعة الشمس للوصول للمنتج أو جميعها. والمثال الواضح على ذلك أكياس أو عبوات رقائق البطاطس أو الذرة الشائعة في السوق المحلية. وسوف يتم التطرق لهذا الموضوع بالتفصيل لاحقا.

١. بولي إيثيلين: للحماية ضد الرطوبة الخارجية
٢. طبقة للحبر والطباعة
٣. الورق اللامع للكتابة
٤. ورق للقوة والتوازن
٥. بولي إيثيلين: مادة لاصقة
٦. رقائق ألومنيوم: عازقة ل O_2 ، النكهة، والضوء
٧. بولي إيثيلين: مادة لاصقة
٨. بولي إيثيلين: عزل عن السائل



اليوم تقوم وكالة الفضاء الأمريكية NASA (National Aeronautics and Space Administration) بتمويل أبحاث ومشاريع ضخمة لإطالة عمر المنتج من سنه إلى عدة سنوات (مثال على ذلك سنتين ونصف وهي المدة التي تستغرقها الرحلة الفضائية لتعود إلى الأرض) وذلك بنفس الجودة والمواصفات التي يتميز بها المنتج الغذائي الطازج أو الدوائي. أيضا من اهتمامات بعض الجيوش المتقدمة اليوم تقديم وجبة غذائية متكاملة لأفراد الجيش حيث تكون شبيهة بتلك التي يتناولونها في ثقافتهم ومنطقتهم بنفس النكهة والجودة وهذا يتطلب بطبيعة الحال اختبارات وبحوث مكثفة في هذا المجال يقوم بها مهندسي و مصممي العبوات و تقنيي الأغذية. فمثلا يمول اليوم الجيش الأمريكي أبحاث إطالة عمر الفطائر (السندوتشات) وخصوصا تلك التي تحتوي على خضار طازج ولحم أيضا. وزاد الاهتمام بهذه الأبحاث بعد الحرب على العراق في أواخر عام ٢٠١٠ و أوائل عام ٢٠١١ م بعد أن زاد الطلب عليها من أفراد الجيش في أماكن القتال حيث هي أسهل وأسرع للتناول، وكان المشروع يتبنى إطالة عمر المنتج باستخدام مواد تغليف خاصة حتى أربع سنوات من التخزين.

ولا يفوت هنا أن هناك بعض المواد الأخرى التي لم يتم التطرق لها مثل العبوات المصنعة من الفخار والخزف وتلك من الجلود أو من سعف النخيل أو بعض الثمار الكبيرة (التي يتم تجفيفها مثل اليقطين) في تصنيع شبه بدائي لعبوات وحاوليات سادت في أوقات مضت لنقل وتخزين الزيوت والثمار والحبوب وغيرها. وهي ما زالت تصنع يدوياً ولكن ليست بإنتاج تجاري.

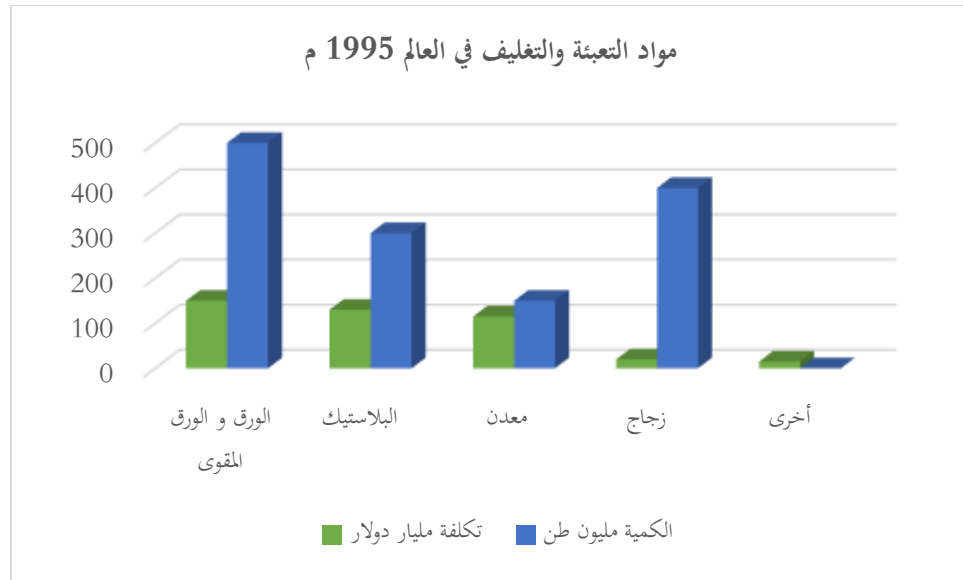
ويمكن تقسيم أنواع العبوات الغذائية حسب ملامستها للمنتج إلى ثلاث مجموعات:

- أ- عبوات أولية: وهي التي تكون في اتصال مباشر مع المنتج الغذائي مثل قارورة الماء المعبأة فالعبوة تلمس الماء مباشرة. وهذه لها أهمية خاصة في حماية المستهلك وسلامته.
- ب- عبوات ثانوية: وهي العبوات التي تحوي العبوات الأولية ولا تلامس المنتج الغذائي مباشرة. وعادة تباع العبوات الثانوية بالجملة على الأفراد مثل الكرتون (الصندوق الكرتوني المقوى) الذي يحوي عبوات معجون الطماطم مثلاً.
- ت- عبوات ثلاثية: وهي التي تحوي العبوات الثانوية، وتكون معدة أساساً لتسهيل النقل إلى الشاحنات فيما يسمى الطبلبات المغلفة وغيرها بمعدات خاصة مثل الرافعات لحمل تلك المجموعات من مكان لآخر.

بالتأكيد هناك اختبارات عديدة تجرى للعبوات الغذائية لاختبار كفاءتها حسب نوع العبوة والمادة المصنوع منها. فكل عبوة لها اختبارات خاصة بها، فلا يمكن تطبيق اختبار النفاذية على الورق لأن الورق له مسامات كبيرة لحد ما، وأيضاً لا يمكن تطبيق هذا الاختبار على الزجاج أو الحديد لأنهما شبه معدومي المسامات أن صح التعبير. بينما لا يمكن اختبار البلاستيك بالرطوبة والبلل حيث أنها اختبارات خاصة بالورق، وسوف يأتي الحديث عن الاختبارات المناسبة لكل عبوة بشكل مفصل في فصل مخصص لها لاحقاً.

○ إحصائيات مواد التعبئة والتغليف

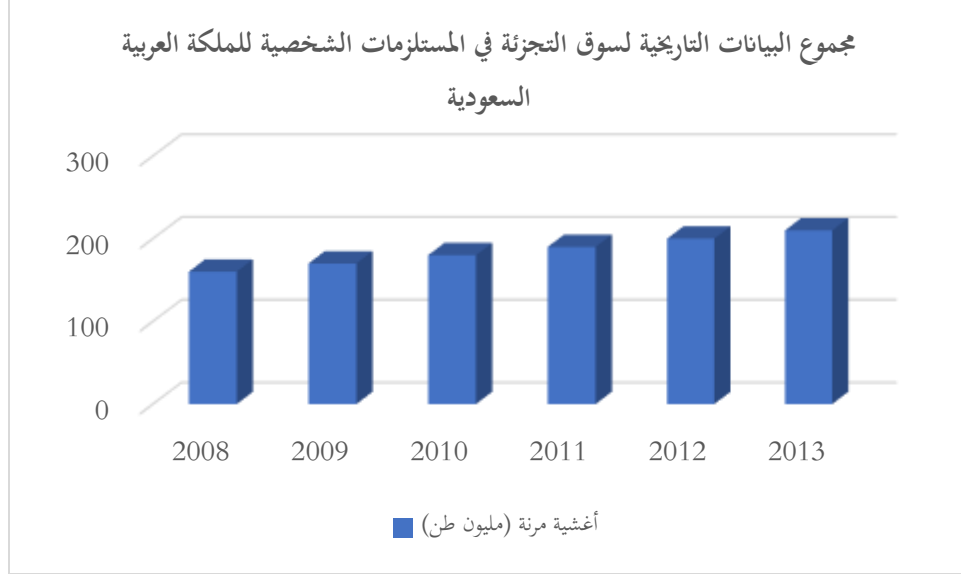
عند قياس حجم العبوات المستهلكة وحساب كميات موادها الأولية فيجب الأخذ في الاعتبار إحصاء مواد التعبئة والتغليف المعاد تصنيعها. ففي عام ١٩٩٥ م صدر من إدارة النفايات البلدية في أمريكا بعض الإحصائيات عن الإنتاج العالمي لمواد التعبئة والتغليف - ليس للأغذية فقط - وتلخصت في الأرقام الموضحة في الشكل التالي رقم (٣).



الاستخدام العالمي لمواد التعبئة والتغليف إلى عام ١٩٩٥ (آخر بيانات متاحة)

يوضح الرسم البياني أعلاه أن أكبر كمية كانت للورق والورق المقوى في تلك الفترة وبتكلفة عالية جدا في حدود ١٥٠ مليار دولار أمريكي، اللافت للانتباه هي تكلفة إنتاج البلاستيك وتكلفة إنتاج الورق متقاربة رغم أن الكميات متفاوتة بشكل واضح وهذا يرجي للأتي أولا أن صناعة البلاستيك كانت مكلفة نوعا ما في ذلك الوقت ولا تصل للكميات التي يتم تداول الورق فيها، وقد يتحكم فيها اسعار المواد الخام منها اسعار الغاز والبتترول وما إلى ذلك من تكلفة أنتاج عالية ، من جهة أخرى نرى هنا أن تكلفة المعادن والكميات المتداولة له متقاربة وهذا يعود لارتفاع أسعار المواد المعدنية مثل الحديد والألمنيوم والتكلفة التصنيعية لها من مواد طلاء وصعوبة التشكيل وغيرها، في الوقت الذي يكون فيه كميات الزجاج عالية جدا بالنسبة لقلة التكلفة وهذا قد يكون مضلل نوعا ما للقيمة الفعلية للزجاج وصناعتة وإنتاجه ولكن سبب أن الكميات ضخمة هي أولا ثقل وزن الزجاج وثانيا إمكانية إعادة استخدامه لعدة مرات وليس إعادة تدويره فإعادة الاستخدام تقلل من التكلفة وترفع سقف الكميات المستخدمة، واما البيانات الأخرى هنا كان لها سعر ولم يكن لها كمية حيث أنها قليلة ومكلفة نوعا ما فيدخل من ضمن هذه الفئة عبوات متعددة الطبقات أو غير التي تم ذكرها سلفا مع الفئات الأخرى.

تختلف الأسواق بحسب حاجتها والاستهلاك لهذه المواد ومن العوامل الاقتصادية هي كمية الطلب على تلك المواد المستهلكة وفي إحصاءات حديثة من الواضح جدا أن معدل الاستهلاك والطلب على مواد التعبئة والتغليف يزداد بشكل واضح ومتطرد كما هو موضح في الشكل التالي.



استخدام المواد البلاستيكية للعبوات المرنة في السعودية (المصدر: Euromonitor International 2014)

في خلال الخمس سنوات من عام ٢٠٠٨ إلى عام ٢٠١٣ نسبة الزيادة في استهلاك عبوات البلاستيك المرنة قد ارتفعت إلى ما يعادل تقريبا ٣٠ % و متوقع مع زيادة نسبة عدد السكان و إنتاج البلاستيك محليا و هذا يعد للأغراض الشخصية للفرد في المجتمع. لو فرضنا جدلا أن سكان المملكة العربية السعودية هم ٣٠ مليون نسمة في عام ٢٠٠٨ هذا يعادل تقريبا استهلاك تقريبا ٥ طن للفرد الواحد سنويا و لو فرضنا أن نسبة عدد السكان لم تزيد في خلال هذه السنوات لكان استهلاك الفرد في عام ٢٠١٣ هو ٦,٦ طن من البلاستيك المرن كل سنه طبعاً هذا يشمل الغذاء و الدواء و المنافع الشخصية مثل المنتجات في غير تصنيف الغذاء و الدواء و المخلفات الزراعية و البلدية.



الصورة التالية تعكس أمثلة على الإهمال واللامبالاة لبعض المتنزهين ورمي العبوات البلاستيكية على الشواطئ و المتنزهات والتي تسبب الضرر الكبير للبيئة والطبيعة من حولنا. بالإضافة إلى الدلالة على بعض التخلف الحضاري في التعامل مع هذه النفايات. ويفوتهم توجيه الرسول صلى

الله عليه وسلم أن إمطة الأذى عن الطريق من الإيمان. للأسف أن مثل هذه الصور منتشرة في المتنزهات والطرق والشواطئ وغيرها. فهي تشويه وضرر للبيئة وإثم.

أسئلة عامة

١. أذكر بعض الأمثلة -غير التي ذكرت في هذا الفصل- عن أهمية العبوات الغذائية.
٢. بين أهم ثلاث وظائف للعبوات الغذائية؟ مع التوضيح لعبوة غذائية تختارها.
٣. هل هناك مواد تغليف أخرى غير ما تم سرده في هذا الفصل؟ اكتب مثال على ذلك؟
٤. تكمن أهمية البلاستيك في عدة أمور أذكر ثلاث منها؟
٥. للمعدن مميزات لا توجد في الزجاج أذكر بعض منها؟ مع شرح وجه النظر؟
٦. يعد الألمنيوم أكثر أماناً من الحديد لماذا؟ حدد السبب الرئيسي؟
٧. ما هو أجدى اقتصادياً في بلد صحراوي مثل المملكة إعادة التدوير للورق أم للبلاستيك؟ ولماذا؟
٨. هل تتوقع ارتفاع الطلب على البلاستيك المرن في السعودية الخمس سنوات القادمة؟ وما هو مقدار هذه الزيادة؟
٩. هل من الممكن أن تختلف خواص البلاستيك من بلد إلى بلد ومن مكان إلى آخر؟ لماذا؟
١٠. هل استخدام العبوات البلاستيكية المتلامسة مع الغذاء فيها خطورة على الصحة؟ ولماذا؟
١١. ما هي أعلى نسبة إعادة التدوير في البلاستيك؟ وهل بالضرورة أن جميع البلاستيك يعاد تدويره؟
١٢. أذكر أهم الأسباب التي تعوق إعادة التدوير للبلاستيك وهل العبوات متعددة الطبقات يمكن إعادة تدويرها؟ وكيف؟
١٣. أذكر بعض المقترحات لتجنب تلوث بيئتنا بهذه العبوات البلاستيكية وغيرها.

المراجع

- Selke, S. E., Culter, J. D., & Hernandez, R. J. (2004). Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications, and regulations (2nd ed.): Hanser Munich, Germany.
- Twede, D., & Selke, S. E. (2005). Cartons, Crates and Corrugated Board: Handbook of Paper and Wood Packaging Technology: DEStech Publications, Inc.
- Paul C. Painter and Michael M. Coleman. Fundamentals of Polymer Science. An Introductory Text. (2nd ed): CRC Press. ISBN: 1-56676-559-5
- GMID. (2014). Retrieved from Euromonitor Passport Database.
<http://www.portal.euromonitor.com/>

مفاهيم في علم المواد

٢,١ مقدمة
٢,٢ التركيب والروابط الكيميائية
٢,٣ الخصائص الفيزيائية
٢,٤ الخواص الميكانيكية
٢,٥ الخواص الحرارية
٢,٦ انتقال الكتلة والحرارة
٢,٧ الالتصاق والمواد اللاصقة
٢,٨ تجارب واختبارات عملية
٢,٩ أسئلة عامة

٢,١ مقدمة

من أهم العوامل المؤثرة على خصائص المادة بشكل عام هو مكوناتها وطريقة تكوينها. لذا تبدأ دراسة المادة من الذرات المكونة لها ومن ثم يأتي كيفية ارتباط هذه الذرات مع بعضها البعض. وهذا يتطلب دراسة علم الكيمياء لهذه المادة ومن ثم تركيبها على وجه دقيق، والمقصود هنا هو تركيب الذرات ونوعها وكمها وكيفية ترابطها. وبعد ذلك، يتم استعراض كيفية تأثير هذا التركيب الكيميائي على خواص المادة الطبيعية وهذا ما يطلق عليه علم الفيزياء (الطبيعة).

وليس المقصود هنا التعمق في دراسة الكيمياء والفيزياء كعلم نظري بحت ولكن للرجوع لهما عند الحاجة لفهم تلك التراكيب والصفات للمادة المستخدمة. ويمكن على هذا الأساس التعامل مع المادة باتزان ومنطق وذلك بسبب الفهم الدقيق لها، ومن ثم يمكن الاستفادة منها للهدف المراد تحقيقه إن كان ذلك متطلباً.

فعلى سبيل المثال، يمكن أن يكون تكون البوليمرات (أي البلاستيك) من ذرات الكربون وارتباطها بذرات الهيدروجين من فهم العلاقة لهذه الروابط ومدى صمودها وبالتالي يمكن ان يفسر لنا الكثير، فالكربون يرتبط بأربع ذرات هيدروجين ولكن هل المادة المكونة من هذا العنصر ترتبط بهذه الكيفية؟ من الطبيعي لا، فهي تتكون من سلسلة طويلة جدا من الروابط التي تكون المادة النهائية. وبمجرد ارتباط المادة بذرة مختلفة عن الكربون أو الهيدروجين فإن الخواص الكيميائية للمادة حتما سوف تتغير. ونظرا لنوعية القوى والشحنات التي تحملها تلك الذرة الجديدة فيتكون على إثرها مادة جديدة تماما في الخواص الفيزيائية والسمات النهائية التي يمكن للشخص ملاحظتها وربما من دون الحاجة إلى أي اختبارات بأجهزة دقيقة.

ومن المهم لفهم المادة تحليلها لجزيئاتها الأساسية، ومعرفة كيف يمكن أن ترتبط تلك العناصر ببعض. فبفهم قاعدة واحدة للمادة فيمكن أن يعطي دلائل عنها، فعندما يقال على سبيل المثال، أن كل أنواع البلاستيك مكونة من البوليمرات، ولكن ليس كل البوليمرات يمكن أن تكون بلاستيك، فهذا ينعكس على أهمية فهم كيمياء المادة وخواصها الفيزيائية.

يغطي هذا الفصل في البداية التركيب الكيميائي وأنواعه ومن القوى بين الجزيئات. وسوف يتم التطرق إلى بعض الخواص الفيزيائية المهمة هنا في مواد التعبئة والتغليف، وأيضا سيتم التطرق إلى الخواص الميكانيكية والحرارية ومعرفة تأثير الروابط الكيميائية وقواها عليها. وبالتالي يتسنى اختبار تلك المواد ومعرفة خواصها معرفة دقيقة بيسر وسهولة. يضم هذا الفصل كذلك آلية انتقال المادة والحرارة خلال غشاء معين وهي مادة التغليف بشيء من التفصيل الذي يتيح فهم هذه المواد وطريقة عملها. كما سيتم التطرق إلى آلية الاستخدام الأمثل في حفظ المنتجات بداخل العبوات لحمايتها بشكل جيد لإطالة عمر المنتج ومدة استخدامه. واستكمالاً لما طُرح فسوف يتم التطرق في آخر هذا الفصل إلى بعضاً من التجارب العملية التي توضح ما تقدم من علم للمواد وليكون مكملاً لفهم المقصود من الدراسة النظرية بشكل واضح وجلي.

٢,٢ التركيب والروابط الكيميائية

التركيب الكيميائي للمادة يكون تبعا لنوع المادة، وقد تتكون المادة أساسا من عدة مواد مختلفة متماسكة ومتلاصقة مع بعضها البعض. ويمكن تقسيم المواد إلى مجموعتين أولهما مواد طبيعية والأخرى مصنعة، فالمادة الطبيعية يمكن أن تتكون من أو تشتمل على عدة مواد ومن أهم أمثلتها الخشب، والذي يتكون من مواد السيليلوز واللجنين وغيرها. إلا أن المادة المصنعة دائما ما تتبع هندسة معينة في تصنيعها، ومن أهم هذه المواد المصنعة مادة البلاستيك المكونة لكثير من مواد التعبئة والتغليف.

ومن الملاحظ في مواد التعبئة والتغليف أنها تجمع بين المواد العضوية (مثل ما ذكر سابقا الخشب والبلاستيك) مع المواد المعدنية في آن واحد. ولكن يفضل استخدام المواد العضوية عن غيرها من المواد

المعدنية وذلك لعدة اعتبارات من أهمها استدامة التركيب الكيميائي العضوي وقلة تفاعله مقارنة بالتركيب المعدني.

ومن الواضح أن هناك حاجة في بعض الأحيان لمعرفة الوزن الجزيئي للمادة وتربط الذرات فيما بينها ومع غيرها المرتبطة بروابط كيميائية. ويمكن تقسيم هذه الروابط حسب اسماء مكتشفها أو قوة هذه الروابط وطبيعتها إلى ثلاث مجاميع وهي:

(١) **الروابط التساهمية:** وهي ارتباط عنصرين بالاشتراك أو التساهم في إلكترون واحد، ولذا سميت بهذا الاسم.

(٢) **الروابط الأيونية:** وهي تكون بانتقال إلكترون من ذرة إلى أخرى، وينتج عنها ترابط جزيئين يختلفان في الشحنات.

(٣) **الروابط المعدنية:** وهو ترابط بين عناصر لديها تبادل حر في الإلكترون، ويكون هناك بحر من الإلكترونات، وسميت بالمعدنية حيث أنها ذات موصلية كهربائية عالية.

كل ما ذكر أعلاه يعتبر من الروابط الأولية للمادة فمنها ما هو في البلاستيك ومنها ما هو في المعادن. وهناك روابط ثانوية أيضا مهمة. فالروابط الأولية هي التي تكون المادة الأساسية على وجه الخصوص ومن خلالها نستطيع أن نعرف المادة باسمها العلمي. أما الروابط الثانوية فلها التأثير الكبير على الخواص الفيزيائية ومنها قوة الشد والشفافية، مع أن الأخير قد يكون بسبب الروابط الأولية والثانوية معا.

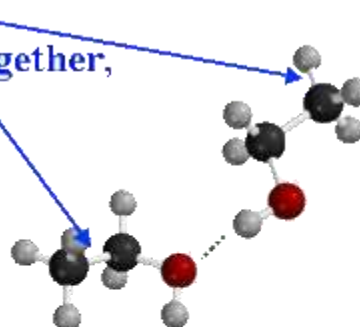
ويقسم العلماء الروابط الثانوية عادة إلى قسمين رئيسيين: أولهما فاندير والز: وهي تعتمد على المسافة بين الجزيئات المترابطة مع جاراتها. يضم هذا القسم ثلاث فئات من أهمها قوة التشبث ومثال عليها مادة البولي (متعدد) إيثيلين PE ، وقوة المحاكاة أو الاستقراء ومثالها في إثلين فاينيل أستيت EVA، والثالثة والأخيرة هي قوة ثنائي القطب وهو ما يكون في البولي فينيل كلورايد PVC . وهذا الترتيب من الأضعف إلى الأقوى. جميع الأمثلة السابقة لمواد من البلاستيك. الشق الثاني من الروابط الثانوية هي الرابطة الهيدروجينية: ولها خواص تختلف عن غيرها وهي أقوى من الثلاث السابقة لذلك صنفنا لوحدها.

وبشكل عام الروابط الثانوية أضعف من الروابط الأولية، هنا تفصيلها. أولى الروابط الثانوية هي قوة التشبث وتكون بين جزيئات متقاربة جداً (ولا يهم أن كانت قطبية أو غير قطبية) وقوتها ضعيفة جدا وتتراوح بين ٠,٤ إلى ٠,٨ كيلو جول لكل مول. أما قوة المحاكاة أو الاستقراء فهي متوسطة القوة وتتكون أساسا على جزيئات قطبية وتكون قطبية مؤقتة للجزيئات المجاورة، وتعمل على تكوين روابط سالبة بين الجزيئات. والاختيرة هي روابط قطبية وهي قوية لحد ما وتكون الجزيئات القطبية بين السالب والموجب وهي معقدة نوعا ما ولكن تصل قوتها ل ٨ كيلو جول لكل مول.

تتمتع الروابط الهيدروجينية (فاندير والز) بصفات جيدة وهي الأقوى، وتتشتأ بين جزيء مع قوة سالبة وذرة الهيدروجين وتعتبر مهمة في الالتحام. ومن أهم روابط الهيدروجين هذه في سلسلتها الأساسية هي تلك التي مع الفلورين والنيتروجين والأكسجين، وفي قوتها تصل لعشر قوة الروابط الأولية تلك التي تكون ما بين ٢٠٩,٣ إلى ٢٩٣,١ كيلو جول لكل مول. من المهم معرفة تأثير تلك القوى في العموم على الخواص الفيزيائية مثل المرونة وغيرها في البلاستيك.

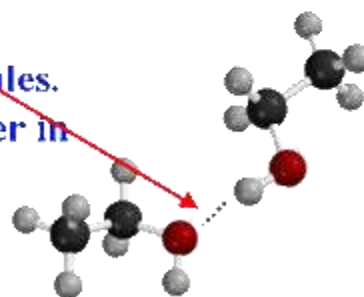
Intramolecular Forces -

**Force which keeps molecule together,
i.e., bonds.**



Intermolecular Forces -

**Attractive force between molecules.
Responsible for keeping matter in
solid or liquid phase.**



رسم توضيحي للروابط بين الجزيئات.

٢,٣ الخصائص الفيزيائية

من أهم العوامل المؤثرة على الخصائص الفيزيائية لمادة تلك التي تتجم عن الروابط الكيميائية الثانوية بها، فمنها على سبيل المثال التبلور والاتجاه والشفافية. وغالبا ما يؤثر على هذه الخصائص الفيزيائية كل من الروابط الثانوية والهيدروجينية وبشكل واضح وملحوس للعين المجردة. سوف يتطرق هذا الفصل لبعض وليس كل الخواص الفيزيائية للمادة، وتعتبر تأسيس لفهم سريع لها. وفيما يلي من البنود سوف يتم التطرق لكل ظاهرة والربط بينها وبين القوى التي تتحكم بها:

(أ) التبلور:

تكون البلورة نتيجة للتتوي في الذرات وتكونها وتراصها جنباً إلى جنب لتعطي انتظامية في السلاسل المترابطة فيما بينها من الذرات. ويكون التبلور في ذرات الماء لتكون الثلج مثلاً وفي عدد من المواد لا بأس به ولا ينحصر في مادة معينة دون الأخرى ونهتم به هنا لكونه من أساس التركيب والقوى الكيميائية التي تؤثر تأثير مباشر على كل من خصائص المادة الفيزيائية. من الجدير بالذكر هنا أنه لا يوجد مادة متبلورة ١٠٠% ولا عديمة التبلور ٠% ولكن غالب المواد التي تستخدم لتبلور تكون متبلورة بنسب معقولة تتفاوت فيما بينها فمثال على ذلك قارورة الماء الشفافة البلاستيكية تكون نسبة البلورة فيها من ٤٠% إلى ٦٠% ونقيس على ذلك مواد أخرى.

مرة أخرى المواد البلورية هي تلك التي لديها، على المستوى الجزيئي، القدرة التكرار المنتظم للذرات التي لديها ذرات في مجموعات بلورية وتشكل نمطاً متكرراً. لتكون قادرة على بلورة، يجب أن تكون الجزيئات على درجة معينة من النظام ولذلك فإن بعض المواد غير قادرة على بلورة.

الزجاج هو مثال من المواد التي توجد فيها اختلافات كبيرة في خصائص الأداء اعتماداً على وجود أو عدم وجود التبلور. كما سنرى في مزيد من التفاصيل في وقت لاحق، والمكون الرئيسي في الزجاج هو ثاني أكسيد السيليكون. عندما يشكل ثاني أكسيد السيليكون مادة بلورية نحصل على الرمل أو الحجر الرملي. يتم تشكيل الزجاج فقط عندما لا تكون الجزيئات في ترتيب بلوري.

تأتي في كثير من الأحيان المواد الطبيعية في ترتيب بلوري والتي تكون مكونة من السيليلوز هو العنصر الرئيسي للخشب مثلاً. وتأتي اللجنين وهيميسيليلوز وهما المكونات الأساسية الأخرى في الخشب (وفي بعض الورق)، غير متبلورة.

بعض المواد البلاستيكية يكون في التبلور عالي، وبعضها غير متبلور تماماً، وكثير منهم ما بين البين. كلما زاد التبلور في البلاستيك يمكن أن تؤثر بشكل ملحوظ على أدائها. دائماً تقريباً، تكتظ الجزيئات وتتقارب معاً في المناطق البلورية على العكس مما هي عليه في المناطق غير المتبلورة من نفس المادة. (الثلج هو الاستثناء الرئيسي تكتظ وتتجمع جزيئات الماء معاً في الماء السائل أكثر مما هو عليه في بلورات الثلج - وهذا هو السبب أن الثلج يطفو) هذه التقارب الشديد يميل إلى تحقيق أقصى قدر من القوى بين الجزيئات، وبالتالي تؤثر على أداء المواد في مجموعة متنوعة من الطرق.

يميل التبلور أيضاً أن التأثير على شفافية المواد. وجود البلورة ضمن المواد يميل إلى زيادة تشتت الضوء. وبالتالي فإن المواد ذات الدرجة العالية من التبلور تميل إلى أن تكون ضبابية وغير شفافة. المواد غير

المتبلورة تكون أكثر شفافة مثال ذلك الزجاج وبعض أنواع البلاستيك، إلا إذا احتوت على شيء آخر يشتت الضوء، مثل الأصباغ أو وجود أكثر من طبقة واحدة.

(ب) الاتجاه

عندما تتعرض المادة إلى جهدا هندسيا فإن الاتجاه يؤثر على هذا الجهد، ويقصد بالاتجاه هنا الاتجاه المحدث وليس الطبيعي. الطبيعي يكون مثلا تراص الألياف المكونة من السيليلوز في الخشب فيكون باتجاه طولي مع طول جذع الشجرة، ولكن نتحدث هنا عن الاتجاه المحدث من العمليات التصنيعية فالألياف في الورق التي جرت مع مجرى الماء في العمليات التصنيعية تكون باتجاه طولي مع اتجاهه جريان الماء والآلات المصنعة له وكذلك في البلاستيك فإن الصب يؤثر في الاتجاه أيضا. لذلك نجد من الواضح جدا أن خواص المادة تختلف باختلاف الاتجاه لهذه المادة فالورق خواصه تختلف باختلاف اتجاهه وكذلك البلاستيك اتجاه صب الآلة يكون أكثر تماسكا وقوة منه في الاتجاه الآخر.

الاتجاه هنا يمكن أن يؤثر على بلورة المادة وهذا بزيادة قدرة الجزيئات على التراص وتكوين النويات والشعيرات والاتجاه أيضا يمكن أن يقلل متوسط المسافة بين الجزيئات وهذا مما يؤثر ويزيد القوى الثنائية في المادة نفسها. والتوجه يمكن أن يكون ذو محورين (راسي مع اتجاه الآلة) أو (أفقي عمودي على اتجاه الآلة)، هو يتكون عموما بفرض ضغوط على طول الاتجاهات الراسية والأفقية. إذا التوجه هو ذو محورين، فإنه يمكن أن يكون متوازنا (مع فرض ضغط على أي اتجاه) أو غير متوازن (مع المزيد من الضغوط المفروضة في اتجاه واحد).

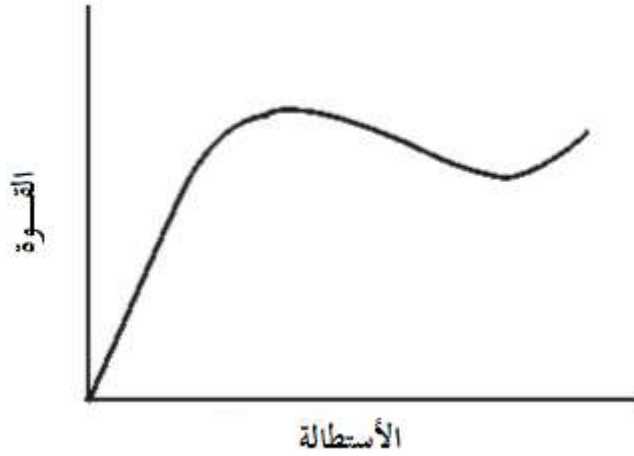
التوجه يميل إلى زيادة ودعم بعض الخصائص مثل قوة الشد في الاتجاه الراسي (مع اتجاه الآلة)، بينما تتناقص هذه القوة في اتجاه الأفقي. من ناحية أخرى، القطع يميل إلى الانتشار أو التوسع بسهولة في اتجاه الراسي، لأنها يمكن فصل على طول خطوط أو اتجاهات التي باتجاه الألياف أو جزيئات. البلاستيك الموجهة عندما يتم تسخينها إلى درجة كافية، فإنها يميل إلى فقدان التوجه والجزيئات تكسب ما يكفي من طاقة لتنتقل بشكل عشوائي وتكون الجزيئات غير متبلورة لتعود إلى طاقة أقل (قوى ثنائية أقل) لتستجيب للإجهاد.

○ الخصائص الميكانيكية

عندما نختار مادة التعبئة والتغليف المناسبة لتطبيق معين، نختار المواد التي تكون قادرة على تقديم أداء معين. في معظم التطبيقات، وهذا يشمل شرطا بعض الأداء الميكانيكي، مثل القدرة على تحمل الحمل، لتوفير درجة معينة من المساندة، الخ. الخواص الميكانيكية هنا تشمل مثل قوة الشد، وقوة ضغط، وقوة الانحناء،

والمرونة، والصلابة، والهشاشة، الزحف، وإجهاد الاسترخاء، والتعب، والاحتكاك، تقاس هذه الخواص أحيانا بطريقة مباشرة وأحيانا أخرى بدلالة أحدهما أو عدد منها لتعطي قيمة محسوسة. يدخل ضمن هذه الخصائص اعتبارات عدة منها عامل الوقت والأطوال والشكلي الهندسي أي التصميم.

يستخدم منحنى الحمل (القوة والاستطالة) لدراسة التشوه ودراسة السلوك الميكانيكي للمواد التعبئة والتغليف بشكل عام - هذا ينطبق أيضا على مواد أخرى هندسيا مثل الخرسانة والحديد والمنتجات الحيوية الزراعية وغيرها الكثير، هذا المنحنى يتعلق بالقوى المطبقة التي ينتج عنها تشوه في عينة ما. وبالعادة يتم قياسها باستخدام جهاز يطبق قوة معينة ببطء ومعدل ثابت من الاستطالة، ويستخدم خلايا لقياس القوة وتسجيل القوة المطلوبة لإنتاج هذا التشوه أو الاستطالة بقدر معين.



شكل (١). منحنى القوة والاستطالة

منحنى الإجهاد والانفعال يوحد أو يقنن منحنى القوة والاستطالة وذلك عن طريق تطبيق الحمل إلى وحدة مساحة المقطع العرضي وتطبيق التشوه على طول الوحدة. إذن الإجهاد هو حمل الشد المطبق مقسوما على مساحة المقطع العرضي الأصلي للعينة، والجهد هو الزيادة في الطول مقسوما على طول الأصلي للعينة.

المعادلة لهذه العلاقة -الجهد الهندسي- Stress يمكن أن يعبر عنها كالتالي:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots (1)$$

حيث أن F هي القوة و A هي المقطع العرضي العمودية على اتجاه الشد.

ويمكن التعبير عن الإجهاد-التشوه- Strain بالمعادلة التالية:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \dots (2)$$

حيث أن ΔL تعبر عن فرق الطول (الطول الأصل مطروحا من الطول بعد الشد قيمة موجبة) و L_o هو الطول الأصلي.

يعطي منحنى الجهد والتشوه تصور بياني ومدلول شكلي على ردة فعل المادة -مواد التغليف- سواء بصفتها كاملة مثل القارورة تحت ضغط المكبس أو رقائق الأغشية (البلاستيكية مثلا) تحت شد الكلابات وهذا ما يسمح لنا بتحديد بعض المنقاط والأماكن (المناطق) ذات الأهمية الخاصة وتعطي مدلولاً معبراً عن الخصائص الهندسية الميكانيكية.

يلاحظ أولاً أن هناك علمياً في غالب المواد علاقة خطية في أول هذا المنحنى البياني بن الجهد المبذول والتشوه بمقدار ثابت الحاصل كنتيجة لهذا الجهد وفي هذا الجزء تكون العلاقة هي تناسب طردي بين الجهد والتشوه أي كلما زاد الجهد زاد التشوه أو الإجهاد على المادة وهذا منطق وعند نقطة معينة ينحرف هذا المنحنى عن كونه علاقة خطية وبداية هذا الانحراف تسمى هذه النقطة أي بداية الانحراف بالحد النسبي، في الحد النسبي يعرف ثابت التناسب هذا بين الجهد والتشوه على أنه معامل المرونة أو معامل يونق ويرمز له بالرمز E.

يمكن التعبير عن معامل يونق أو المرونة بالمعادلة التالية:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots (3)$$

حيث يجب قياس الجهد والتشوه في الجزء الخطي من منحنى الجهد والانفعال/التشوه.

يجب لزيادة معامل المرونة زيادة الجهد (مقدار الجهد المطبق على المادة) وبذلك فإن زيادة معامل المرونة يعطي تعبيراً أن المادة صلبة وأكثر تماسكاً وجموداً (بشكل عام هذا كون بمقاومة الانحناء بدلاً من كونه مقاوِماً للشد) في التطبيق هناك علاقة بين قوة الانحناء وقوة الشد لذلك بالعادة نطلق على مادة ما بأنها صلبة مع قيمة كبيرة لمعامل المرونة وانحناء (slop) كبير في العلاقة الخطية الابتدائية لمنحنى الجهد والتشوه أو الانفعال ومن الطبيعي أن هذا يعطينا قوة أكبر لكي يصنع انفعال أو تشوه بمقدار صغير.

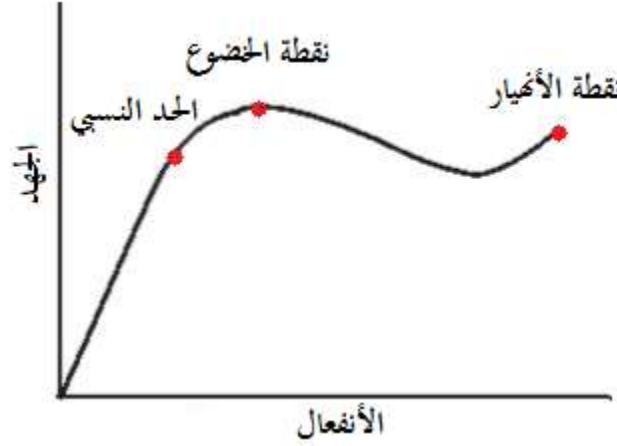
تعود المادة لطبيعتها عند إزالة الحمل في منحنى الجهد والانفعال في الجزء الأسفل من المنحنى الخطي أو ما يسمى بالجزء المرن. عودة المادة لطبيعتها تعني أنها تحتفظ بأطوالها الأساسية أو الأصلية ان صح التعبير. لذلك فإن حد المرونة هي آخر نقطة تصل إليها المادة ويمكن أن تعود إلى طبيعتها بدون إي تشوه يذكر. بمعنى آخر إذا تخطينا هذا الحد أو النقطة فإن المادة سوف تخضع لتشوه دائم ولا يمكن أن تعود المادة لشكلها الأساسي أو أبعادها الأصلية لإيجاد حد المرونة يتطلب ذلك اختبار المادة عدة مرات لتحديد عند إي نقطة بالضبط يحدث التشوه ويجدر بالذكر بأن لا يمكن فقط تحديد هذه النقطة من المنحنى مباشرة ولكن ممكن القول بكل ثقة أنه إلى نقطة الحد النسبي يمكن للمادة ان تعود لطبيعتها وأبعادها الأصلية بمعنى آخر حد المرونة لا يكون قبل الحد النسبي عند انتهاء العلاقة الخطية بين الجهد والانفعال (التشوه).

نقطة الانكسار تحدث عندما تنهار المادة تماما (تتمزق) وعند عدة النقطة فإن الجهد الفعلي المبذول هو صفر أو يعود لصفر بمعنى أدق لأن المادة انهارت ولا يمكنها تحمل إي جهد وذلك لتحويلها إلى قطع غير متصلة.

معظم المواد وليس جميعها تصل إلى نقطة عندها يكون الانفعال أو تشوه المادة مستمر مع عدم تزايد أو تطبيق أي جهد عليها وهذه النقطة تسمى نقطة الخضوع التام وتعرف بأنها أعلى (سنام الجمل) نقطة في منحنى الجهد والانفعال. نقطة الخضوع يمكن القول بأنها النقطة التي يحدث في إعادة ترتيب جزيئات المادة وهي النقطة أيضا التي يحدث للمادة بعدها تشوه دائم إي ان المادة لا يمكن أن تعود إلى أبعادها الابتدائية. إعادة ترتيب الجزيئات يضمن عدم عودة المادة لأبعادها الأصلية عند الوصول إلى نقطة الخضوع لذلك نقطة الخضوع هذه تساعد على تحديد حد المرونة والتي تقع بين الحد النسبي ونقطة الخضوع في تلك المنطقة كما يمكن أن يكون حد المرونة أقرب من الحد النسبي منه إلى نقطة الخضوع يمكننا أيضا أرجاء الحد النسبي بأنه النقطة التي تتصرف بعدة المادة وتتغير مثل البلاستيك وبشكل مرن (أي من مرونة البلاستيك).

نقطة أخرى مهمة وهو قوة الشد وقوة الشد تعرف على المنحنى التالي (شكل ٢) بأنها أعلى نقطة يمكن ان يصل إليها الجهد لذلك فإنها تمثل أعلى نقطة في كامل منحنى الجهد والانفعال. جرت العادة أن قوة الشد أما أن تقع على نقطة الخضوع أو نقطة الانهيار (الانكسار) ولكن هذا ليس دائما لأنهم أعلى نقطتين على المنحنى.

نهتم بنقطة الخضوع حتما حتى إذا كانت اقوى قوة لشد هي عند نقطة الانهيار لأننا وبكل بساطة لا نريد المادة ان تتشوه تشوه دائم ونقطة الاهتمام في نقطة الانهيار أو الانكسار محصورة لأن المادة المراد استخدامها قبل هذا الحد والمادة غير مرغوب فيها بعد هذا الحد وفي الأساس تكون نقطة الانهيار سريعا بعد نقطة الخضوع وفي بعض الأحيان تكون نقطة الانهيار من الصعب إيجادها على المنحنى وذلك لسرعة تدهور المادة بعد نقطة الخضوع أو عدم تطلبها لجهد في الانهيار بعد أن تخضع تماما للجهد المسلط عليها.

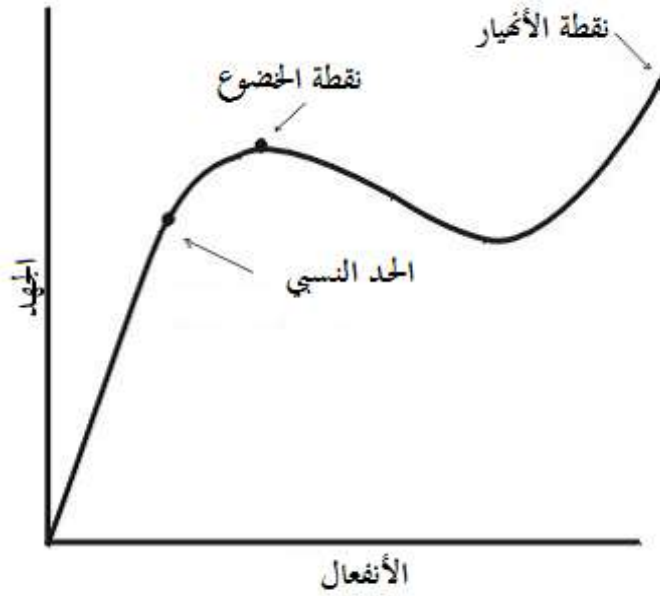


شكل (٢). منحنى الجهد والانفعال موضحاً النقاط الهامة.

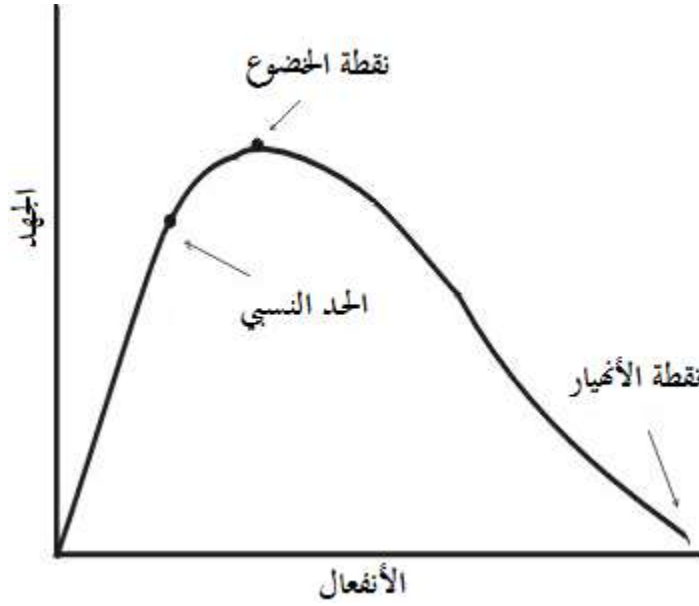
هندسياً يمكن استخدام هذه المنحنيات لدلالة على عدد من الأمور نلخصها في النقاط الآتية:

- ١- **الحد النسبي:** هو النقطة على المنحنى الذي ينتهي العلاقة الخطية بين الجهد والانفعال.
- ٢- **حد المرونة:** وهي النقطة تقع ما بين الحد النسبي ونقطة الخضوع ولا يمكن لمادة أن تعود لطبيعتها بعد هذا الحد.
- ٣- **نقطة الخضوع:** عند هذه النقطة تخضع المادة ولا تقاوم الجهد ولا يحصل أي زيادة في الجهد لتطويع هذه المادة.
- ٤- **نقطة الانهيار:** وهي النقطة التي يكون عندها الجهد صفر نتيجة لتحطم أو انهيار المادة تماماً.
- ٥- **قوة الشد:** وهي أعلى نقطة يصل إلى الجهد في هذا المنحنى وقد تكون إما في نقطة الخضوع أو نقطة الانهيار.

يمكن توضيح أعلى قوة للشد في المثالين (الشكلين) التاليين:

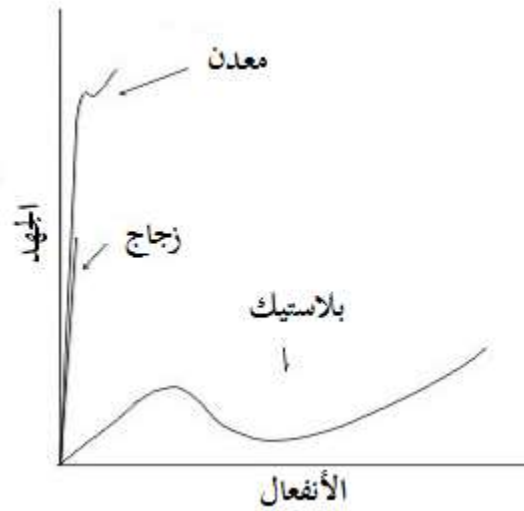


شكل (٣). في منحنى الجهد والانفعال تقع أقوى قوة للشد هنا في نقطة الانهيار.



شكل (4). منحنى الجهد والانفعال تقع أقوى قوة للشد في نقطة الخضوع.

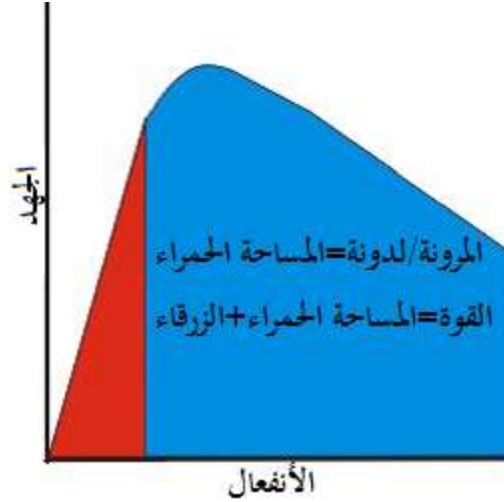
منحنى الجهد والانفعال ايضا يوضح إذا ما كانت المادة هشة والمواد الهشة عادة تلك المواد التي لا يمكن لها أن تتمدد بدون أن يحدث أي فشل أو اخفاق في التمدد. لذلك سوف يكون منحنى الجهد والانفعال قصير جدا. في المقابل المواد اللدنة يمكن لها أن تتشكل تبعا للجهد المسلط عليها بدون أن تتمزق لذلك سوف يكون لها منحنى جهد وانفعال طويل. يجب ملاحظة إذا ما كانت المادة لدنة أو هشة فأن هذا لا يرتبط بشكل مباشر على قوة الشد وذلك لان المواد الهشة ممكن أن تكون قوية وهشة أو ضعيفة وهشة وكذلك ينطبق على المواد الغير صلبة أو اللدنة حيث ممكن أن تكون قوية أو ضعيفة وهذا يعتمد على القوة التي تحتاج من اجل أنتاج استطالة أو انفعال في المادة لذلك يمكن أن يكون للمواد اللدنة قوة شد قوية جدا.



شكل (٥). منحنى الجهد والانفعال لزجاج (هش) والحديد (أكثر لدونة من الزجاج) والبلاستيك أكثر لدونة من الجميع.

دائما ما نأخذ نسبة الاستطالة عند نقطة الانهيار أو نقطة الخضوع لتعطينا المعلومات الكافية عن كم من الممكن تتمدد المادة قبل انهيارها أو قبل التشوه الدائم.

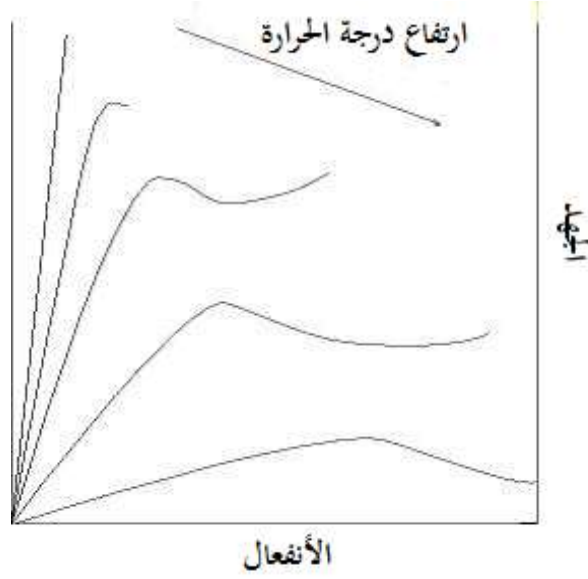
منحنى الجهد والانفعال يخبرنا عن مدى مرونة وقوة المادة. اللدونة أو المرونة تعرف على أنها القدرة للمواد على امتصاص الطاقة بدون حدوث أي تغير كلي أو جزئي للمادة. لذلك فإن المرونة تتناسب مع المساحة تحت منحنى الجهد والانفعال التي تكون تحت المنطقة أو المنحنى الخطي (المنطقة المرنة). أيضا قوة المادة تتمثل في قدرتها على امتصاص القوة الواقعة عليها قبل أن تنهار. لذلك فأن هناك نقطتين مهمة وهي الحد النسبي لتعريف المرونة ونقطة الانهيار لمعرفة القوة للمادة.



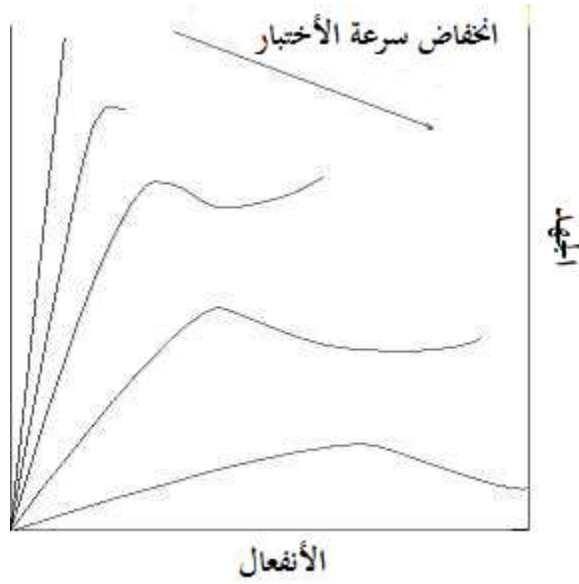
شكل (٦). منحنى الجهد والانفعال اللدونة هي المساحة الحمراء إلى نقطة الحد النسبي والقوة هي جميع المساحة تحت المنحنى.

درجة الحرارة وسرعة الاختبار لهما تأثير على منحنى الجهد والانفعال في تحديد الصفات المطلوبة منه. بوصف عام المادة تحت تأثير درجة حرارة منخفضة فهي هشة وقاسية وكلما زادت درجة الحرارة كلما زادت درجة لدونة المادة ومرونتها (يتم تشكيل الحديد عند درجة حرارة مرتفعة ويكون سائل الزجاج أيضا تحت تأثير الحرارة العالية). بطبيعة الحال هذا لبعض المواد يمكن قول هذا ولكن بعض المواد تبقى في احتياج لدرجات حرارة عالية للتغير مثل الزجاج والحديد. بعض المواد إذا تم التأثير على الروابط الثانوية يمكن إعادة تشكيل المادة بشكل آخر أو لمضمون آخر يبقى بعض المواد ذلك يتطلب طاقة كبيرة ولكن بالعادة هذه الطاقة لا تؤثر فقط على الروابط الثانوية إنما تتلف الروابط الأولية وإذا تم التأثير على الروابط الأولية بشكل سلبي ذلك عادة يضر بالمنتج الرئيسي أو أن المادة تتدهور تماما.

التأثير من معدل سرعة الاختبار أيضا لها تأثير درجة الحرارة وذلك لأن المادة لا يكون لديها الوقت المناسب للتعامل مع التأثير المفاجئ وتعديل نفسها على الوضع الجديد. وهذا يجعل المادة تتفاعل مع التأثير بكل هشاشة وقسوة إذا ما تم تطبيق القوة بمعدل سريع وعلى العكس من هذا إذا تم تطبيق القوة بشكل تدريجي فإن المادة يمكن لها أن تشكل نفسها تبعا للقوة المطبقة عليها مع الوقت المسموح لها بذلك والشكل رقم ٨ يمثل هذا التأثير مع معدل السرعة مختلف في كل مره.



شكل (٧). منحنى الجهد والانفعال يوضح لدونة المادة مع ارتفاع درجة الحرارة.



شكل (٨). منحنى الجهد والانفعال يوضح لدونة المادة مع انخفاض سرعة الاختبار.

الأُن لو نفكر في أن درجة الحرارة هي غير درجة حرارة التصنيع لهذه المواد أي أنها الحرارة الطبيعية بإمكاننا أن نتنبأ بعمل أو يكون لدينا بعض الانطباعات عن منحنى الجهد والانفعال للخواص الميكانيكية لمواد التعبئة والتغليف وهي التي تهمنا هنا في هذا المفصل.

مثلا الزجاج يكون سلوكه صلب وقوي عند درجة الحرارة الطبيعية ولا يمكن أن يعطي بعض الانحناءات أو التشوه الطبيعي مثل البلاستيك بل يكون مادة هشة قابلة للكسر مع معامل مرونة مرتفع وقوة شد عالية ولديه قليل من المتانة.

الورق شبيه لزجاج في تصرفه ولا مكن له أن ينحني مثل البلاستيك ولكنه أقل قوة وصلابة من الزجاج. المعدن مثل الزجاج فهو قوي وصلب ويمكن أن يعطي قليل من الانحناءات مثل البلاستيك والمعدن له قوة شد جيدة نوعا ما ومتانة أعلى من الزجاج.

البلاستيك لديها قابلية لبعض الانحناءات وعند الحرارة الطبيعية فأن البلاستيك يمكن له أن يعطي العديد من السلوكيات تحت منحنى الجهد فبعضها تكون تماما مثل الزجاج والبعض يمكن أن يكون لها تصرف آخر مع اعلى مرونة ومتانة أو قوة.

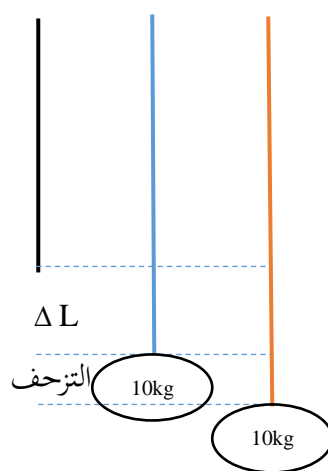
الجدول التالي (١) يبين بعض خصائص قوة الشد للمواد التعبئة والتغليف (لا بد للتنبية أن الأرقام المعروضة في الجدول هي معروضه بشكل عامل لغرض الشرح في هذا السياق، فاختلاف المواد وطريقة تجميعها وتصنيعها واختلاف شروط الاختبار قد تعطي بعض الارقام المختلفة عما هو معروض في الجدول).

منحنى الجهد والانفعال يلقي نظرة أولية فقط على قوة الشد ويجب التنويه أن تصرف المواد اعقد من ذلك بكثير فعلا سبيل المثال عندما يتم تعريض المادة للجهد على مدى وقت طويل فهناك تغير بسيط على مستوى الجزيئات فهي تعيد ترتيب نفسها تبعا للحمل خلال هذا الوقت وهذا عادة ما يحدث لبعض المواد أسرع من أخرى ويجب الذكر هنا أن هذا التغير مع الوقت في النهاية يحدث فرقا كبيرا لا يمكن أن يلاحظ على منحنى الجهد والانفعال.

جدول ١ . قوة الشد لبعض مواد التعبئة والتغليف.

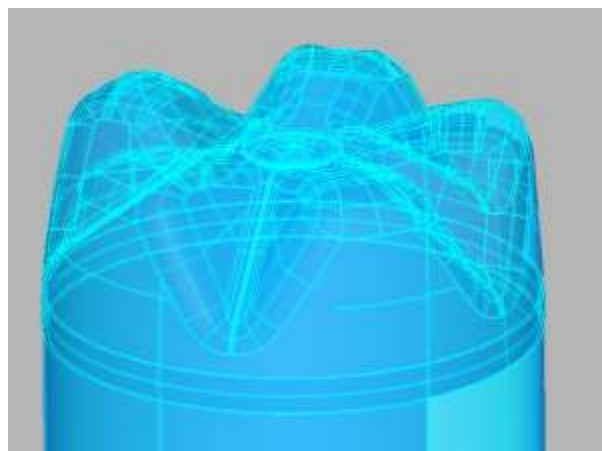
المادة	معامل المرونة (psi)	الحد النسبي (psi)	قوة الشد (psi)	الاستطالة عن الكسر %
الألمنيوم	10,000,000	3,000	10,000	50
الحديد	30,000,000	30,000	60,000	20
الزجاج	10,000,000	لا يوجد	10,000	0
الخشب	2,000,000	لا يوجد	8,000	0
الورق	300,000	لا يوجد	4,000	0
المطاط	500	600	2,000	500
بلاستيك LDPE	20,000	1,500	2,000	200
بلاستيك HDPE	100,000	3,000	4,000	400
بلاستيك PP	500,000	5,000	10,000	300
بلاستيك PVC	400,000	4,000	8,000	200

وهذا ما يسمى بالترحف ويعرف بأنه التغير المستمر للمادة تحت تأثير ثابت. أولاً إذا تم تعليق حمل على انبوب من البلاستيك على سبيل المثال فإنه سوف يحدث ردت فعل مباشرة وإعادة تشكيل وهذا يمكن معرفته أو توقعه من منحنى الجهد والانفعال. الآن لو تركنا هذا الحمل معلق بقطعة البلاستيك فإنه مع الوقت المادة سوف تتمدد بمعدل قليل جداً وفي النهاية هذا الحمل يمكن أن يقع.



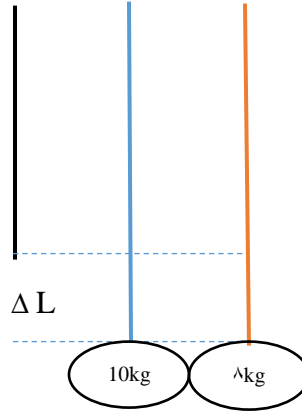
شكل (٩). الترحف بعد بعض الوقت مع الحمل المستمر.

من الأمثلة الشائعة في التعبئة والتغليف على التزحف هو ما يحدث في عبوات المشروبات الغازية البلاستيكية حيث أن العبوة تكون معرضة لفارق الضغط ما بين الداخل (ضغط المشروبات الغازية والتعبئة الأولية - ثاني أكسيد الكربون) والضغط الخارجي الجو المحيط بعض الانحناءات تحدث آنيا وبعضها مع مرور الوقت فكان المنتج يشتكي من كثرة تقعر أسفل العبوة مع مرور الوقت. عندما يكون الضغط الداخلي مؤثر بشكل كبير فأن أسفل العبوة تستدير بسبب هذا الضغط حتى تصل لمرحلة عدم التوازن بسبب الاستدارة وتقع من الرف في بعض الأحيان. أقترح المتخصصون اضافة كوب منفصل اسف كل عبوة ولكن هذا الحل سوف يكلف المنتج كثيرا وكان البديل هو تصميم يشبه الوردة أو ما يسمى (Petaloid) وهو تبعا لشكل رقم (١٠) وهو ما حقق للمنتج ألا يضيف أي تكلفة على الإنتاج بحيث لا يمكن أو من الصعب لهذا التصميم أن يصبح مستدير أو حتى مستوي، على الأقل بشكل نظري، ويجدر الذكر هنا أن التزحف هو خاصية كثيرة الحدوث في البلاستيك وهي مقلقة نوعا ما في تصنيع البلاستيك.



شكل (١٠). تصميم الوردة أو Petaloid في أسفل عبوات البلاستيك.

جهد الاسترخاء يمكن أن نصفه بأنه على العكس من التزحف هو يمكن أن يعرف الانخفاض في الجهد مع بقاء انحناء أو استطالة ثابتة مع الوقت تخيل معنا في المثال السابق للتزحف شكل رقم (٩) ولكن عندما ينقص الجهد أو الوزن المطبق. بدلا من تطبيق نفس الوزن ورؤية استطالة ثابتة مع الوقت فأننا سوف نقوم بإزالة الحمل الزائد مع الوقت لتبقى الاستطالة الأولى. لذلك إذا ازلنا بعض الحمل المطبق على العينة فأن العينة الثالثة من اليمين سوف تكون بنفس الاستطالة الأولى في العينة الوسطى. وهذا يعود كما ذكرنا سلفا أنه إعادة ترتيب للجزيئات وخاصة في البلاستيك والتركيب الداخلي للعينة.



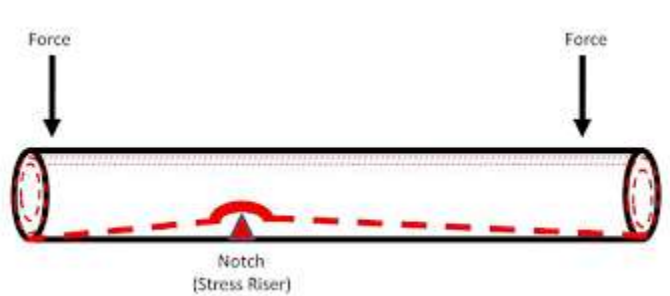
شكل (١١). جهد الاسترخاء لعينة من البلاستيك المستخدم في التعبئة والتغليف.

مثل ما هو التزحف خاصية خاصة للبلاستيك أيضا جهد الاسترخاء يمكن رؤيته بشكل واضح أكثر في البلاستيك وهو مشكلة تقلق في البلاستيك ومن الأشياء الأكثر جدلا في هذا الحديث عن الاسترخاء في التعبئة والتغليف فإنه عندما يكون لديك حمل طبلية (أو منصة) من المواد الغذائية فإذا طبق عليها الغلاف البلاستيكي المتمدد (مثل ما هو الحال في بعض المطارات مع أمتعة الركاب) فإن هذا الغلاف البلاستيكي يشد على الحمل الذي في الطبلية وأيضا حمل المنصة له قوة دافعة عكس شد هذا الغلاف. إذا قضا هذا الغلاف وقتا فإنه مع مرور الوقت سوف يفقد خاصيته في الشد والحفاظ على الأمتعة أو حملة الأغذية مع مرور الوقت وهذا ما يحدث بالضبط في جهد الاسترخاء.

في نقاشنا هذا كنا نأخذ الجهد على أنه القياس للقوة المطبقة على مساحة المقطع العرضي للعينة ولكن كلما تمددت العينة المساحة هذه تقل وكلما قلت المساحة زاد الجهد "الحقيقي" عندما تكون القوة المطبقة على مساحة مقطع أصغر هذا مثال واحد فقط. في الآونة الأخيرة نفكر في تركيز الجهد عند مناطق الخلل أكثر منها في أي مكان آخر. على سبيل المثال إذا كان هناك غشاء من البلاستيك وهذا الغشاء الرقيق يتخلله فقاعات هواء بداخله فعند تطبيق القوة في هذه الأماكن أي مكان الفقاعات فلا يوجد هناك مادة من الأساس لكي تتحمل هذا الجهد الواقع عليها أي على فقاعات الهواء. في هذه الحالة سوف ينقطع الغشاء الرقيق على الأرجح من مكان هذه الفقاعة المليئة بالهواء لكون أنها ضعيفة جدا ولا يمكنها مقاومة القوة الواقعة عليها. لذلك فإن التجانس مطلوب وعلى الأغلب أن هذا المكان أو مكان فقاعة الهواء لا يشكل أي قوة في الغشاء نفسه. بهذا المنطق يمكن القياس أيضا على العوامل الأخرى من عيوب في التصنيع (العيوب الميكانيكية) والتي قد تشكل أو تجعل تركيز الجهد على منطقة محددة.

تركيز الجهد على منطقة محدده لا يمكن أن يكون فقط في وجود المادة مثل الهواء كالمثال السابق ولكن مثل ما هو الآن حاصل في الزجاج فتركيز الجهد فيه قد يكون من التصميم الهندسي أو من أي تشوهات في السطح مثلا الخدش! والتوضيح التالي يبين لنا هذا بشكل أكبر.

لو أخذنا عينة على شكل اسطوانة زجاجي واحدنا فيه خدشاً بسيطاً من منتصف الاسطوانة الزجاجية وأمسك أحدا بقطعة الزجاج هذه واراد هزها أو الإيماء بها من طرف القطعة الزجاجية إذا كان القوة في مطبقة عكس الخدش المحدث في هذا الزجاج فأن هذه القوة سوف تؤثر على الخدش بالشد حيث أن الخدش سوف يتمدد ويتغلغل إلى داخل القطعة الزجاجية وفي نهاية المطاف سوف تنكسر الاسطوانة الزجاجية مبتدئاً بالخدش ومنتهي بالقوة المطبقة عليه التي جعلت هذا الخدش يحدث بداية نقطة الانكسار. وهذا يجعلنا نتذكر تركيز الجهد الهندسي على الزجاج بمجرد وضع هذا الخدش. وفي حال عدم انكسار الزجاج من نقطة الخدش فهناك نقطة من المؤكد أنها أضعف من تلك التي وضع عليها الخدش.



شكل أسطواني والقوى الهندسية عليها

كذلك الحال في تطبيقات التعبئة والتغليف عندما يحدث فشل للعبوة أو ضغط أو حمل زائد فأن الفشل بالعادة ما يقع عند مناطق الجهد القصوى في التصميم الهندسي فعلى سبيل المثال قارورة الزجاج عندما تفشل من حمل عليها زائد وهذا لتعرضها لحمل زائد في غالب الأحيان. فإذا اخترنا فشل هذه العبوة عادة ما يقع الكسر في كتف العبوة أي أسفل العنق مباشرة وهناك عاملين مهمين في هذا الكسر وهو ما يحدده أولاً سمك الزجاج وعرض منطقة الكتف. بكل بساطة لأن الحمل على فم وعنق الزجاج إلى أسفل فإنه يحدث قوة شد (تمدد) لمنطقة الكتف.

مصطلح آخر في الخواص الميكانيكية يمكن النظر فيه وهو **الإجهاد**. الإجهاد هو عبارة عن فشل المادة بعد تعرضها إلى عدد متكرر محاولات الجهد عندما لا يكون الجهد في البداية كاف لأحداث هذا الفشل

مباشرة. البعض يقول إن الإجهاد هو عبارة عن تراكم تغيرات صغيرة جدا في المادة نظرا لعدد من فترات الجهد المطبق على المادة عند نقاط أو مراكز الجهد الأولية هذا التعريف يعطي تصور دقيق لاحتمال بناء شبكة من التغيرات الصغيرة التي بدأت في الأساس عند مراكز الجهد القصوى وكبرت هذه الشبكة مع مرور الوقت تصبح أكثر تأثيرا بحيث تتأثر المادة عند أول تطبيق للجهد يمكنه أن يكون أصغر من الجهد الأولي الذي لم يجعل المادة تفشل.

هنا أيضا خاصية ميكانيكية تهمنا في التعبئة والتغليف ولا تقل أهمية عن مثيلاتها وهي **الاحتكاك** وهي القوة التي تمنع أي جسم من التحرك وهو على اتصال بجسم آخر. وهنا يجب أن نفرق بين الاحتكاك الساكن وهي التي تمنع الجسم الواقف من الحركة الابتدائية والاحتكاك الحركي وهي التي تمنع الجسم من استمراره في الحركة أو بقاءه متحركا. وفي الاحتكاك الحركي أيضا يمكن التفريق بين احتكاك حركي أفقي أي جسم يحتك بجسم آخر موازي له أو الاحتكاك الحركي الدوراني وهو جسم يدور ويحتك بجسم آخر. يمكننا القول بأن الاحتكاك الساكن أعلى بكثير من الاحتكاك المتحرك والاحتكاك الأفقي أعلى بكثير من الاحتكاك الدوراني. ولهذا السيارة تتحرك بكل سهولة ويسر.

في حين أن الاحتكاك متناسبا مع الحمل المطبق (أو الجزء العمودي منه على سطح الاحتكاك) ومستقل عن مساحة السطح بإمكاننا تعريف بأن معامل الاحتكاك هو نسبة الحمل المطبق للقوة المطلوبة لتحريك الجسم أو استمرارية حركته في سرعة ثابتة.

حيث أنه يمكن التعبير عن معامل الاحتكاك الحركي μ_k بالمعادلة التالية:

$$\mu_k = \frac{F_k}{W}$$

حيث أن F_k هي القوة المطلوبة لاستمرارية الحركة عند سرعة ثابتة ، و W القوة الطبيعية على السطح.

و أيضا بنفس المنطلق يمكن تعريف معامل الاحتكاك الساكن μ_s بالمعادلة التالية:

$$\mu_s = \frac{F_s}{W}$$

حيث أن F_s هي القوة المطلوبة لبداية الحركة ، و W القوة الطبيعية على السطح.

العلاقة هي خاصة بين المواد التي تحتك في بعضها البعض (سطحين متلامسين) وأيضا خصائص السطح تلعب دورا مهما في تلك العملية أي إما أنه سطح ناعم أو خشن. في الجدول التالي يعطي أمثلة على القوة الحركية والساكنة للاحتكاك بين مادتين.

جدول ٢. القوة الحركية والساكنة للاحتكاك لبعض مواد التعبئة والتغليف.

المواد على اتصال	F_k هي القوة المطلوبة لأستمرارية الحركة	F_s هي القوة المطلوبة لبداية الحركة
حديد-حديد	٠,٣٠	٠,٣٨
حديد-زجاج	٠,١٥	٠,٢٠
حديد-بلاستيك	٠,٣٠	٠,٣٥
حديد-خشب	٠,٣٠	٠,٤٥
حديد-ورق	٠,٣٠	٠,٤٠
زجاج-زجاج	٠,١٥	٠,٢٠
زجاج-بلاستيك	٠,٢٥	٠,٤٠
زجاج-خشب	٠,١٥	٠,٢٠
زجاج-ورق	٠,١٠	٠,١٣
بلاستيك-بلاستيك	٠,٣٣	٠,٥٣
بلاستيك-خشب	٠,٣٢	٠,٤٠
بلاستيك-ورق	٠,٢٨	٠,٤٠
خشب-خشب	٠,٤٠	٠,٦٣
خشب-ورق	٠,٤٠	٠,٦٣
ورق-ورق	٠,٣٥	٠,٥٨

• الخصائص الحرارية

المرحلة ما بين طور المادة الصلب والسائل يسمى بنقطة الذوبان T_m والنقطة التي يحدث عندها هذا التغيير في الطور يسمى بدرجة حرارة الذوبان. على مستوى الجزيئات عند الوصول لهذه النقطة فأنها اشارة

إلى الوصول لحد من الطاقة التي يسمح لجزيئات المادة تعطيل الروابط الثنائية للمادة وهذا ما يسمح للجزيئات التحرك عن جيرانها بكل سهوله أو بمعنى آخر يسمح هذا بتدفق أو سيلان المادة. عندما نصل إلى درجة الحرارة هذه فإن أي طاقة تدخل فإنها تذهب لتبديد طاقة الروابط الثنائية في المادة وهي غالبا ما تشكل القوى الفيزيائية للمادة ويجدر الذكر هنا أنه لا يمكن أن ترتفع درجة الحرارة في التغيير في الطور حتى أن يكون الطور الثاني تماما مكتمل وهنا هذا ما يسمى بدرجة الانصهار. هناك توازن بين الطور الصلب والطور السائل وما فوق هذه النقطة فإنه يكون سائل وما دونها فيكون صلب.

بعض المواد مثل البلاستيك والزجاج هذا الانتقال من طور الصلب إلى السائل غير واضح جدا وخاصة الزجاج عند انتقاله من الحالة الصلبة إلى السائلة لا يمكن لنا أن نحدد درجة حرارة معينة ونقول هذه هي درجة حرارة الذوبان، حتى أنه لا يوجد منطقة صغيرة حيث أن الزجاج يمكن أن يذوب تماما خلال هذه المنطقة المحددة على درجات الحرارة لذلك لا يمكن تحديد هذه النقطة بكل سهولة (مفهوم السائل المجمد). وأيضا البلاستيك لا يوجد نقطة معينة أو درجة حرارة واضحة يمكن أن نصف بها البلاستيك ونقطة ذوبانه لذلك عند الحديث عن كل مادة لاحقا سوف نطرق لهذا المفهوم بشيء من التفصيل.

في غالب الأحيان، المواد تتمدد بارتفاع درجة الحرارة وتتكشف أو تنقلص بانخفاض الحرارة: ذلك لأن طاقة الجزيئات عادة ما تجعل المسافة بين الجزيئات أعلى في حال أن درجة الحرارة عالية وفي انخفاضها فإن هذا لا يحدث بل تكون الجزيئات مترابطة جيدا جنبا إلى جنب. بعض المواد تكون أكثر عرضة لهذا التأثير من غيرها ونستخدم عامل التمدد ليعطينا العلاقة بين التغيير في درجة الحرارة مع التغيير في أبعاد المادة مثل الطول أو الحجم. للمواد المتباينة فإن التغيير في الطول قد يكون مختلف وذلك يعتمد على الاتجاه الذي نقيس فيه ولكن هنا للتبسيط فقط فأنا سوف نتعامل مع الأكثر حدوثا وهو التغيير في الطول مع تغيير درجة الحرارة لذلك يمكن تعريف معامل التمدد بالمعادلة التالية:

$$\beta = \frac{1}{L} \frac{dL}{dT}$$

حيث β هو معامل التمدد الحراري و dL التغيير في الطول على التغيير في درجة الحرارة dT

في الحالات المعتادة عندما معامل التمدد الحراري لا يعتمد على الحرارة، بإمكاننا حساب التغيير في الطول من المعادلة التالية:

$$\Delta L = \beta L_0 \Delta T$$

حيث أن L_0 هو الطول الأصلي و ΔL هو التغير في الطول و ΔT هو التغير في درجة الحرارة. معامل التمدد الحراري لبعض مواد التعبئة والتغليف المتعارف عليها سوف تعرف في الجدول التالي.

جدول 3. معامل التمدد الحراري لمواد التعبئة والتغليف.

المواد	β معامل التمدد الحراري (in/in °F)
الألمنيوم	13×10^{-6}
حديد	7.5×10^{-6}
خشب	90×10^{-6}
ورق	85×10^{-6}
مطاط	370×10^{-6}
بلاستيك LDPE	90×10^{-6}
بلاستيك HDPE	47×10^{-6}
بلاستيك PP	38×10^{-6}
بلاستيك PVC	38×10^{-6}
بلاستيك PET	36×10^{-6}

الجهد الحراري هو نتيجة للتمدد الحراري ولو فرضنا أن هناك مادة محدودة بأبعاد معينة ولا يمكن أن تخرج عن هذه الحدود فإذا ارتفعت درجة الحرارة فالمادة على الأرجح لا يمكن لها أن تتمدد والجهد الحراري سوف يترجم لجهد ميكانيكي في النهائية يكون ضاغط على الأبعاد المحددة مسبقاً (فكر بغطاء عبوة الماء). إذا معامل المرونة الآن يلعب دوراً مهماً في هذا التمدد الحراري من اصلة لذلك يمكن حساب هذا الجهد حينما يكون هذا التمدد واقعاً في الحدود المرنة للمادة والتي تم شرحها مسبقاً.

لذلك يمكن الآن حساب مثال على الجهد المسلط على عينه من الخشب طولها قدمين وعرضها ٤ بوصة وسمكها ١ بوصة، إذا تعرضت لتغير في درجة الحرارة مقداره ١٠ درجات مئوية (°C) ولكن لا يسمح لها بالتمدد لأنها محتجزة من الطرفين الأخيرة لها. كم تتوقع التغير في الطول في هذه العينة؟

$$\Delta L = \left(90 \times 10^{-6} \frac{\text{in}}{\text{in}^\circ\text{F}} \right) (24 \text{ in}) (10^\circ\text{C}) \left(\frac{9^\circ\text{F}}{5^\circ\text{C}} \right) = 0.0388 \text{ in}$$

الانفعال الحراري سوف يكون

$$\text{Thermal strain} = \frac{0.0388 \text{ in}}{24 \text{ in}} = 0.00162$$

الجهد الحراري سوف يكون

$$\text{Thermal stress} = E \times \text{strain} = 2,000,000 \text{ psi} \times 0.00162 = 3240 \text{ psi}$$

الآن أيضا بإمكاننا حساب القوة التي سوف تحد من تمدد القطعة الخشبية:

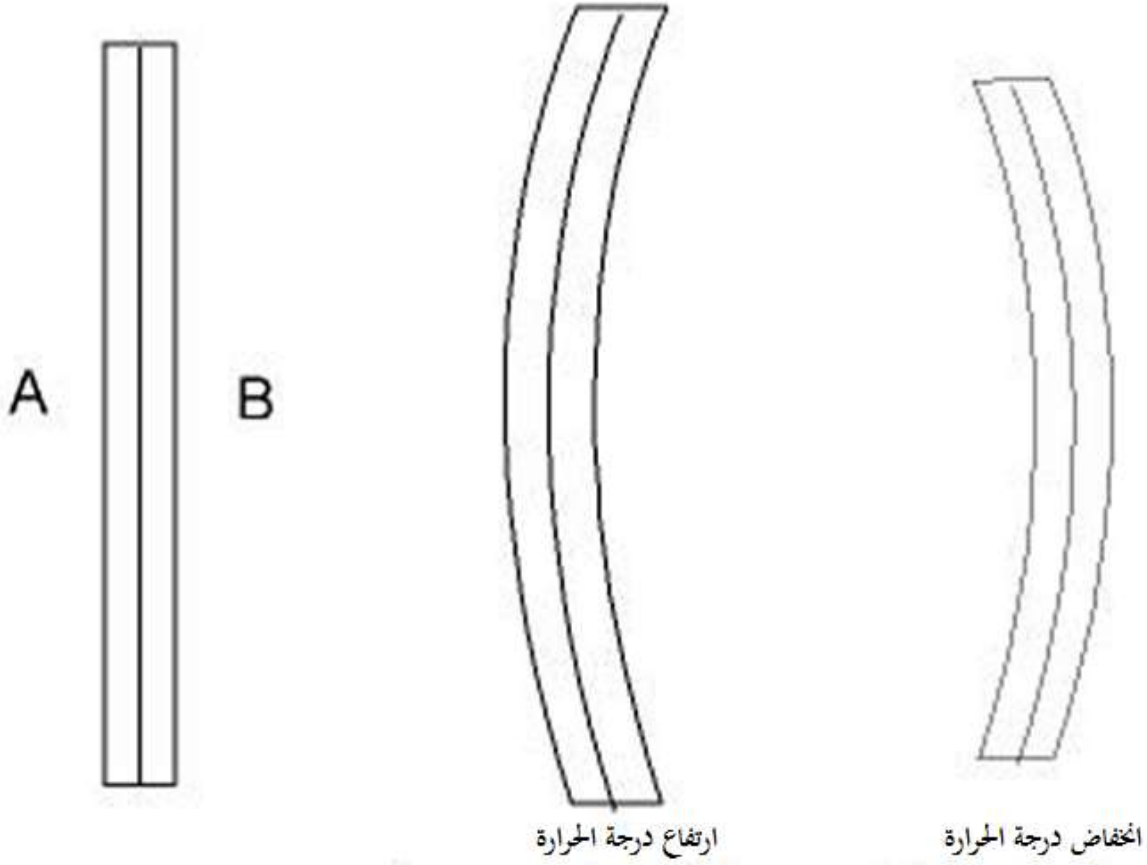
$$\text{Force} = \text{Stress} \times \text{Area} = 3240 \text{ psi} \times (4 \text{ in} \times 1 \text{ in}) = 12960 \text{ lb}$$

اعد الحسابات هذه باستخدام الوحدات العالمية؟

الآن يمكننا أن نعي كم هو كبير الجهد الحراري حتى وأن كان التمدد شيء بسيط أو اطوال قصيرة جدا.

هناك حالة أخرى للجهد الحراري والتي تتعلق في المواد بشكل مباشر وهو على فرض أن لدينا مادة متعددة الطبقات عندما تتعرض هذه المواد لارتفاع في درجة الحرارة فكل مادة أو طبقة سوف تتمدد على حسب معامل التمدد الحراري لها، في غالب الأحيان معامل تمدد مواد مختلفة فأن لا يكون التمدد واحد مثل ما هو موضح في جدول ٣. في حال أن المادة تتكون من عدة طبقات فأن على الأرجح كل طبقة لها معامل تمدد خاص وتتمدد فعليا بشكل مغاير عن ماهي عليه الطبقات الأخرى لذلك فإذا كان تمدد طبقة اعلى من الطبقة الأخرى فذلك سوف يحد لطبقة الأولى قوة شد من الطبقة الأخرى الثانية وقوة ضغط لطبقة الأخرى مع عدم وجود انحناء في المادة لأن الطبيعي أن تنتهي المادة او الطبقات نظرا لتمدد طبقة أكبر من طبقة أخرى. يمكن رسم التوضيح التالي والعلاقة بين طبقتين A و B مع الأخذ بعين الاعتبار معامل التمدد الحراري في الحسابان.

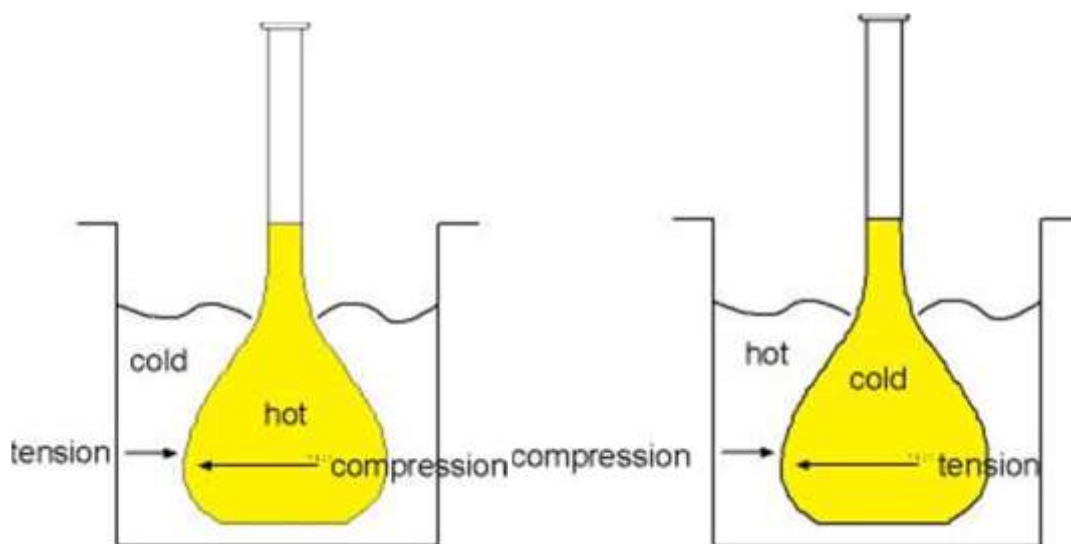
معامل التمدد الحراري $A > B$



شكل (١٢). التمدد والانكماش الفعلي ومعامل التمدد الحراري.

الجهد الحراري أيضا قد يكون لنفس المادة من دون أي تدخل خارجي ما عدا الحرارة، في حال تم صنع قارورة من الزجاج بالعادة تكون أبعادها أكبر من ماهي عليه عند التبريد ولكن إذا كان التبريد سريعا جرت العادة أن تركيب الزجاج لا يمكنه إعادة ترتيب نفسه إلى شبكة متراسة لديها مستوى من الطاقة أقل بكثير مما كانت عليه في السابق وقت التصنيع. إذا حدث هذا أي التبريد السريع ولم ينكسر حينها فأن جزيئات الزجاج نفسه تكون بعيدة عن بعض وهذا يعطي (أي انه تعرض لجهد حراري) تركيب ضعيف ينكسر في أي وقت. يمكن تقادي هذه الحالة بإعادة تسخين الزجاج مرة أخرى وجعل تركيب الجزيئات في حالة الحركة ثم تبريد هذه القارورة مرة أخرى بشكل تدريجي لتكون أقوى بسبب تقادي الجهد الحراري لها.

هناك أيضا مشكلة تحدث للعبوات وتتسبب في فشلها أو عدم مقدرتها على اداء ووظيفتها الرئيسية وهو ما يسمى بالصدمة الحرارية. الصدمة الحرارية قد تحدث، على سبيل المثال، عندما يكون جبن سائل بدرجة حرارة عالية في زجاجة ونريد تخفيض درجة حرارة الجبن لدرجة حرارة معقولة لكيلا يفقد الجبن السائل خواصه التغذوية أو الطعم وغيره مع استمرار درجة حرارته عالية جدا. لذلك يمكن تمرير العبوة الزجاجية التي تحوي الجبنة عبر حمام مائي منخفض الحرارة نوعا ماز الذي يحدث أن الماء البارد والجبن حار جدا فمن الممكن أن تنكسر الزجاجية وذلك نتيجة أولا الضغط الذي تسببه الجبنة السائلة الحارة داخل الزجاجية والشد الذي يسببه الماء البارد خارج العبوة الزجاجية. الكسر غالبا ما ينشأ من الخارج وذلك لاحتمال وجود بعض الخدوش الخارجية في الزجاجية. رفع درجة الحرارة سريعا ليس تمام كما هو الحال في التبريد السريع حيث أن الضغط سوف يكون خارجي إذا كان محتوى العبوة بارد يجعل قوة الشد داخلية. الرسم البياني التالي يوضح اتجاه الشد أو الضغط في خال اختلاف درجة الحرارة الكبير أو الصدمة الحرارية.



شكل (١٣). الصدمة الحرارية ومدى تأثيرها على الزجاج في التعبئة.

الجهد على العبوة الزجاجية من تأثير الصدمة الحرارية، سواء كان تبريد أو تسخين سريع في مائع من الممكن تقديره بالمعادلة التجريبية التالية:

$$S = 140 (T_2 - T_1)(\sqrt{L})$$

حيث أن S الجهد معبرا عنه psi ودرجة الحرارة معبرا عنها $^{\circ}F$ و L سمك الجدار معبرا عنه in

يجدر الذكر هنا أن الصدمة الحرارية مشكلة تكبر في العبوات السميكة وأيضا فارق درجات الحرارة الخارجية عن الداخلية أي داخل العبوة عن خارجها وأيضا يجب ذكر أن بالعادة الصدمة الحرارية تؤثر على المنقطة الأكثر سمكا.

من المهم جدا معرفة الطاقة المطلوبة لرفع درجة الحرارة لمادة ما وهذا ما يسمى بالسعة الحرارية C_p وهو يعرف بأنه الطاقة القادرة على رفع درجة حرارة المادة درجة واحدة لجزء من المادة معلوم، والطاقة الكلية أيضا Q يمكن التعبير عنها بالمعادلة التالية:

$$Q = C_p m \Delta T$$

حيث أن m هو كتلة المادة.

السعة الحرارية دائما ما تؤثر على الطاقة إما لتسخين المادة أو تبريدها.

جدول ٤. السعة الحرارية لبعض المواد التي تهتمنا هنا.

المواد	الحرارة النوعية C_p (BTU/lb $^{\circ}F$)
ماء	١
ثلج	٠,٥
هواء	٠,٢٤
زجاج	٠,٢
خشب	٠,٤٥-٠,٦٥
حديد	٠,١٢
المنيوم	٠,٢١
بلاستيك	٠,٥
غالب الأغذية	٠,٧-٠,٩

أيضا من الخصائص الحرارية المهمة هي خاصية انتقال الحرارة بالتوصيل وهي ما يجعل المادة تكون موصلة للحرارة، المواد ذات الموصلية العالية للحرارة تكون مواد بالعادة غير جيدة في العزل وعلى عكسها التي لا توصل الحرارة بشكل جيد تكون عازل جيد من الحرارة. وسوف نفصل هذا لاحقا في هذا الفصل.

• الإضاءة والإشعاع

تفاعل مواد التعبئة والتغليف مع الضوء أو أي نوع من الإشعاعات مهم جدا في عدد من التطبيقات، من الممكن جدا أن نرغب في أن يمر الضوء المرئي من خلال العبوة كي نرى ما بداخلها، وأيضا من الممكن جدا ألا نرغب في الضوء المرئي والغير مرئي أن يمر خلال الغشاء لنحتمي منتج معين. أحيانا يرغب بعض المصنعين أن يعكس الضوء من على سطح العبوة لكي تكون لامعة أو تكون أكثر تعتيما. بعض المنتجات تتطلب أن تكون معقمة بالإشعاع ولذلك لا يجب للعبوة أن تمنع هذا النوع من الإشعاع للدخول داخل العبوة إلى المنتج، وهذا لا يعني أن نسمح فقط للإشعاع بالدخول وإنما يجب على العبوة أن تتحمل هذا النوع من الإشعاع لتقي بالغرض المناط بها من حماية وغيره.

تذكر أن الإشعاع هو جزء من الطيف الكهرومغناطيسي وأيضا أن هناك علاقة ما بين الطاقة والتردد:

$$E = hv$$

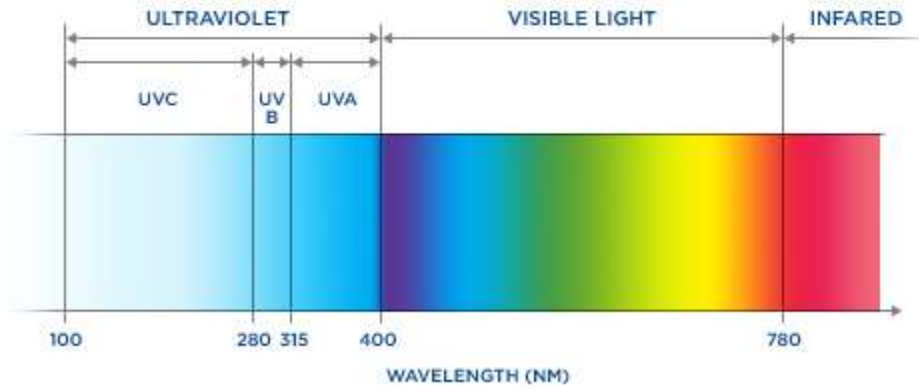
حيث أن E هي الطاقة و v هو التردد للإشعاع و h هو ثابت بلانك حيث يمكن أن تكون له القيمة التالية:

$$h = 6.62517 \times 10^{-27} \text{ erg/s}$$

تذكر أن التردد هو مقلوب الطول الموجي من المعادلة التالية:

$$\text{Frequency} = \frac{1}{\text{wavelength}}$$

لذلك كلما زاد الطول الموجي التردد يقل وبسبب الكمية فأن بعض المواد تمتص الطاقة بشكل أسهل من غيرها ولكن بشكل عام يمكننا القول بالإشعاعات مع الطاقة الأكبر يمكنها أن تسبب أذى أكبر للمادة ومحتواها من الإشعاعات نفسها ذات الطاقة الأقل لذلك إذا كنا نحتمي العبوة والمنتج الذي بداخلها سواء كان غذاء أو دواء من التدهور فأننا على الغالب ما نهتم الأشعة فوق بنفسجية (ultraviolet) وإذا كنا مهتمين بمظهر المنتج والعبوة فنحن غالبا نهتم بالأشعة المرئية حسب ما في الشكل ادناه.



شكل يوضح أنواع الإشعاعات الممكنة والطول الموجي لها.

هي أحد ثلاث حالات إما أن العبوة تعكس الإشعاع أو أنها تسمح له بالنفوذ أو امتصاصه وقد تجتمع كلها سواء. عادة يمكن الحديث عن عكس الإشعاع بأن المادة تلمع من لمعان المادة أو معتمته. يجدر الذكر هنا بأن لمعان المادة يمكن أن يقاس بقدر ما يعكسه من ضوء بزاوية تساوي ٦٠ درجة وهذا بمستقبل خاص بكمية الضوء على الجانب الآخر، انتقال الضوء يمكن أن يعبر عنه بمدى سماح المادة للضوء بالعبور من خلاله، ضبابية المادة يمكن أيضا أن تقاس بهذه الطريقة وهي كمية الضوء العابر لكمية الضوء المشتت. في هذا المشرح نقول إن إذا أردنا لمادة التغليف أن تعطينا رؤية واضحة للمنتج بداخلها فأنا على الأرجح يمكن أن نقول نريد أكبر انتقال لضوء المرئي خلال الغلاف وأقل كمية ممكنه من الضبابية، كما يجدر الذكر بأن المادة يمكن لها أن تتأثر في سماح لضوء بالعبور بالتبلور كما ذكر سلفا.

• انتقال الحرارة والمادة

في مختلف تطبيقات التعبئة والتغليف نهتم بانتقال الحرارة والمادة من وإلى العبوة و/أو المنتج معا. عندما يكون لدينا عبوة بلاستيكية مليئة بالكاتشب فأنا على الأرجح نهتم بعدم انتقال الأوكسجين خلال البلاستيك للكاتشب هذا بالطبع ما يسرع عملية الأكسدة للكاتشب ويتحول للون الأسود في وقت وجيز (انتقال المادة). عندما نريد أن نعقم عبوة خضروات معدنية ونرفع درجة حرارتها بشكل سريع ونخفض درجة الحرارة بشكل سريع للتعقيم فإنه يهمننا بشكل كبير أن العبوة تسخن وتبرد بسرعة وتنقل الحرارة أسرع وإلا خسرها كثيراً من جودة هذا الخضار وبعض الأحيان يمكن أن يحدث عيوباً للمنتج بداخلها. عملية التسخين والتبريد السريع تقتل الأحياء

الدقيقة بداخل العبوة وهذه عملية التعقيم. عندما نرسل دواء أو عقار يجب أن يكون مجمدا فلا بد أن نتأكد أن هناك عزل كاف من مادة التغليف لعدم تعرض العقار لحرارة غير مقبولة ويبطل مفعوله وأداءه.

في جميع هذه الحالات فأنا نعتمد بشكل إما صريح أو ضمني بتلك القوانين النظرية لحفظ المادة أو الطاقة وأيضا على الحقيقة التي تقول إنه يمكن وصف انتقال المادة والحرارة بالمعادلات التفاضلية، وذلك بربط المقدار الذي أنقل بالقوة الدافعة وخصائص المادة نفسها. هنا لن نتطرق لانتقال المادة ولكن سوف نتطرق له في مبحث آخر (البلاستيك) قبل حساب انتهاء الصلاحية والنفاذية للبلاستيك.

$$P = S \times D$$

في الأساس انتقال الكتلة والحرارة هو عبارة عن عمليات ثلاثية الأبعاد وهي من الممكن أن تكون مصاحبة لتفاعل أو تدفق كيميائي وهي توصف بمعادلات تفاضلية معقدة جداً ولكن لحسن الحظ في التعبئة والتغليف يمكن أن نبسط هذه العمليات المعقدة ليمكننا كتابة معادلات بسيطة يمكن أن تعطينا نتائج دقيقة.

من أهم هذه المعادلات البسيطة والتي تكون في اتجاه واحد فقط تصف انتقال الحرارة بالتوصيل هي معادلة فورير حيث الانتقال يكون في اتجاه واحد فقط:

$$q = -kAt \frac{\Delta T}{x}$$

حيث q هو الطاقة الحرارية المنتقلة بالتوصيل و k ومعامل أو ثابت التوصيل و A هي المساحة التي تم فيها التوصيل و t هو الوقت و ΔT الفارق في درجات الحرارة و x هي السمك للمادة التي انتقلت فيها الحرارة.

الحرارة التي انتقلت عبر المادة تعتمد تماما على مدى موصلية المادة (أو مقاومة المادة لانتقال الحرارة) وفارق درجات الحرارة هو القوة الدافعة بين الجانبين السمك والمساحة للتوصيل الحراري أيضا يلعب دورا مهما في هذه العملية حيث كلما زادت المساحة زاد معدل انتقال المادة وكلما قل السمك زاد التوصيل عبر المادة والوقت أيضا محورا مهما في العملية حيث زيادة وقت التعرض للحرارة يزيد من احتمالية انتقاله بشكل أكبر.

الجدول التالي يصف الموصلية الحرارية لبعض من المواد ذات الصلة بالتعبئة والتغليف.

جدول ٥. معامل التوصيل الحراري لبعض المواد التي تهمنا.

المواد	التوصيل الحراري $k \left(\frac{BTU}{hr \cdot in \cdot ^\circ F} \right)$
فارغ	٠
هواء	٠,٠٠١٣
ماء	٠,٠٣١
مطاط	٠,٠٠٧٣
زجاج	٠,٠٣٨
خشب	٠,٠١٧-٠,٠٠٥
المنيوم	٩,٨٦
حديد	٢,١٧
غالب الفلين مفرغ من الهواء	٠,٠٠٢
البلاستيك	٠,٠٠٥٦

هناك شكل آخر من أشكال انتقال الحرارة وهو انتقال الحرارة بالحمل وانتقال الحرارة بالحمل يكون في حركية المائع فقط وأيضا انتقال الحرارة بالحمل يعتمد تماما على معدل انتقال وحركية المائع (تذكير: المائع يمكن أن يكون غاز أو سائل) وإذا فهمنا حدود هذا الانتقال وتمكنا من حساب التوصيل أيضا يمكننا حساب الحمل بطريقة استخدام معامل انتقال الحرارة بالحمل.

انتقال الحرارة بالإشعاع أيضا أحد أنواع انتقال الحرارة وهذا يكون واضح بشكل كبير عندما تترك السيارة في الشمس لمدة وتجد أن حرارة الجو الداخلي للسيارة بعد أن تركبها أعلى من الحرارة الخارجية للجو، يقيدنا أيضا انتقال الحرارة بالإشعاع في بعض تطبيقات التغليف مثلا إذا أردنا إذابة مادة من أجل أن نحكم إغلاقها فيمكن استخدام الإشعاع. خواص السطح دائما تكون مهمة بمثل أهمية فارق درجات الحرارة في التوصيل والحمل.

• الالتصاق والمواد اللاصقة

الالتصاق هو ما يجعل مادتين أن تبقى معا وعلاقة تكون بين سطحين جنبا إلى جنب. والمواد اللاصقة هي ما يجعل سطحين يلتصقان ببعضهما البعض لذلك فإن عمليات اللصق ممكن أن يستخدم فيها مواد لاصقة ويمكن ألا يستخدم فيها هذه المواد.

في بداية هذا الفصل تحدثنا عن الروابط الثنائية بين الجزيئات المجاورة لبعضها البعض وهذه الروابط هي في الأصل ما يجعل المواد في الحقيقة أن تلتصق ببعضها البعض، بشكل عامل الروابط الثنائية هي أقوى بين أي مادتين تتشابهها في تركيبتهما الكيميائية وهي ضعيفة أي الروابط الثنائية بين المواد التي تكون غير متشابهة. لذلك فإن المواد القطبية تلتصق بشكل ممتاز مع المواد القطبية الأخرى ولكن بشكل ضعيف مع المواد الغير قطبية، ومثال ذلك فإن البولي أثلين PE يلتصق أكثر بالبولي أثلين PE عنه مع البولي بروبيلين PP.

هذا يؤثر على المواد بطرق مختلفة ومثال هذا في خليط البولييمرات فإن ممن أن تكون المادة مختلطة بشكل ممتاز من الخارج ولأول نظرة ولمن عندما ننظر بعق والجزيئات الصغيرة تكون تركيبها غير مناسب جدا وتجد أن البلاستيك الآخر قد يكون مغمور بشكل حبيبات بين الآخر وهذه الخاصية غير مفيدة إذا لم يكن هناك تجانس كامل بين المادتين، وفي الطبقات المتعددة فإنه إذا أردنا أن نجعل طبقتين طبقة واحدة ونلحمها سوياً فإنه من المحتمل جدا أن المواد التي لا تتشابه لا تلحم بشكل صحيح وجيد مع الأخرى. وهذا السبب في جعلنا دائما نستخدم مواد لاصقة للصق المواد ببعضها البعض ونجد أن تلك المواد اللاصقة لها نفس التركيب الكيميائي للمادتين الملحومة ببعضها.

ميزة أخرى للمواد اللاصقة أو اللاصقة تلك هي القدرة على أنتاج قوى لحام هائلة وذلك لاحتوائها على الوحدات القطبية ضمن التركيب الكيميائي لها ويجب أن يكون الترابط الكيميائي في قدرة المادة على تكوين الروابط بين جزيئاتها وجزيئات المواد الأخرى (مثال القطبية والغير قطبية: القطبية أكثر قدرة على الروابط بين الجزيئات من غيرها). أيضا سوف نطرق في فصل البلاستيك عن هذه الخواص والمواد اللاصقة بشكل أكثر ومكتف لأن البلاستيك يستخدم كمادة لاصقة ويمكن أن يلتحم بمثيلاته من المواد.

فصل ٣

العبوات المعدنية للأغذية

١. مقدمة

حاول الإنسان منذ القدم حفظ الغذاء بعدة أساليب أهمها التجفيف والتعليق والتخليل وغيرها. وأقدم طريقة لحفظ الغذاء كانت في تجفيفه. فمثلاً، كان الهنود الحمر يجففون الحبوب والفاكهة والسمك. كما كانت الشعوب التي تعيش في المناطق المتجمدة تحفظ اللحوم في الثلج. أما في البلاد الحارة الجافة فقد كان التجفيف مع التعليق هو السائد في تلك المناطق. وقد وجد الغذاء محفوظاً بين آثار العديد من الشعوب القديمة كالمصريين وغيرهم. وقد اكتشف الباحثون في جزيرة كريت (من جزر البحر الأبيض) بقايا قصر قديم يرجع تاريخه إلى ألفي سنة قبل الميلاد، ووجدوا في مخازن قبو هذا القصر جراراً عظيمة أحكم قفلها أعدت لحفظ الغذاء. وفي العصور الوسطى

وبعد سلسلة طويلة من المحاولات لحفظ الغذاء على مدى قرون بدأت الصناعة الحديثة (نهاية القرن الثامن عشر وبداية القرن التاسع عشر) بابتكار طريقة تعقيم الغذاء بالحرارة مع إحكام غلق العبوة والتي تلاها علبة الصفيح.

والعبوة المعقمة هي وسيلة لاحتواء وحفظ الغذاء يتم تجهيزه وتعبئته ومن ثم إحكام الغلق، بعدها تتم عملية التعقيم غالباً بالبخار لجرعة حرارية محددة الزمن ودرجة الحرارة. ويمكن بعدها حفظ الغذاء طوال العام في درجة حرارة الغرفة مادامت العبوة لم تفتح. ويكمن السر في نجاح علبة الصفيح في حفظ الغذاء هو إحكام قفلها وعزل محتوياتها عن الملوثات الخارجية خاصة البكتيريا.

في أثناء الحروب التي خاضها الجيش الفرنسي في أوروبا وروسيا ومصر وغيرها بقيادة نابليون بونابارت (ملك فرنسا في ذلك الوقت) فقد كان هناك صعوبة في حفظ الأغذية وتجنب فسادها، لذا أعلن نابليون عام ١٧٩٢م عن جائزة مقدارها ١٢,٠٠٠ فرانك لمن يبتكر طريقة لحفظ الغذاء أثناء الحروب، وكان هذا الإعلان هو بداية قصة اكتشاف تعقيم الأغذية في عبوات محكمة الغلق. فقد أشعلت الجائزة التنافس الكبير بين صانعي الخبز وبين مقطري المشروبات وغيرهم لاكتشاف طريقة لحفظ الغذاء. ومرت حوالي اثنتا

عشرة سنة حتى استحقه طبّاح وصانع للحلوى يدعى " نيكولاس أبيرت " كرس حياته لحل هذه المشكلة. فقد أمضى سنين طويلة في تجارب حفظ أنواع مختلفة من الأغذية عند درجات حرارة متفاوتة وباستخدام عدة أنواع من العبوات. وفي عام ١٨٠٤ اكتشف أبيرت أنه يمكن حفظ السوائل (كالحساء) والثمار الصغيرة كالكرز وذلك بوضعها في عبوات زجاجية وإحكام إغلاقها ومن ثم غمر تلك العبوات في ماء مغلي. في تلك الفترة لم يدرك أبيرت آلية الحفظ هذه. وكان يعتقد أن الهواء هو الذي يفسد الغذاء لذلك كان همه منصرفاً إلى حجز الهواء عن أنية الحفظ، وإن كانت الفكرة صحيحة في ذاتها إلا أنه لم يدرك بأن الإشكالية في الهواء الذي يحوي الميكروبات المسببة للفساد. حيث لم يعلم أن التعقيم (الجرعة الحرارية) هي التي تقتل الأحياء الدقيقة المحبة للحرارة والمسببة للفساد.

وبناء على ذلك الاكتشاف تسلم هذه الجائزة الثمينة والتي واصل بعدها العمل في تحسين اكتشافه حتى استنزفت هذه المحاولات المال الذي عنده وتوفي وهو في ضيق مادي. ومن جسن الحظ كانت الحكومة الفرنسية قد اشترطت نشر طريقة أبيرت حين منحته الجائزة. وهي التي اتبعت فكرتها الأساسية وطورتها مصانع تعقيم الأغذية العملاقة في هذا الوقت، والتي تحفظ الأغذية المعقمة لعدة أشهر أو سنوات. و انتقلت طريقة أبيرت من فرنسا إلى بريطانيا، ومن ثم إلى أمريكا والتي بدأت تجربة حفظ الفاكهة والسمك وغيرها حتى صارت هذا الصناعة من أعظم الصناعات الغذائية التي تدر دخلاً هائلاً على تلك البلدان المصنعة.

٢. تطور صناعة العبوات المعدنية في سطور:

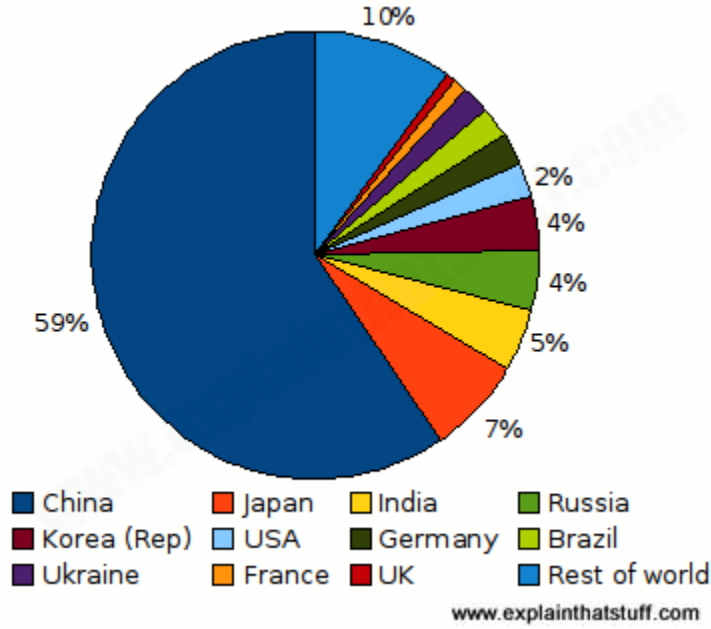
مرت صناعة تعليب الأغذية بمراحل تطور يمكن تلخيصها على النحو الآتي:

- ١٧٩٥ م: بدأ العالم Appert باستخدام طرق الحفظ الحراري ضمن أواني زجاجية وانتهت أبحاثه في عام ١٨١٠ م نال على إثرها جائزة نابليون لحفظ الطعام.
- ١٨١١ م: بدأ العالم Donkin باستخدام الصفائح المعدنية المطلاة بالقصدير لصنع علب لحفظ الأغذية .
- ١٨٦٤م: فسر العالم Pasteur أسباب فساد الأغذية (وهو وجود كائنات حية دقيقة) وأن عملية تسخين الأغذية ضمن عبوات مغلقة تؤدي لقتل هذه الكائنات وعرفت هذه العملية بالبسترة Pasteurization .
- ١٨٥١-١٩٠٠م: طُوِّرَ المعقِّم المحسن، واستعمل التبريد المفاجئ بعد المعاملة الحرارية لدعم التعقيم وقتل الأحياء الدقيقة المقاومة للحرارة.
- ١٩٠١-١٩٥٠م: مرحلة شهدت تطوراً سريعاً في صناعة التعليب من خلال:

- استعملت علبة الصفيح المطوية
- استخدم القفل المزدوج.
- السيطرة على البكتريا الخطيرة السمية (Clostridium botulinum) وقتلها في المعلبات.
- كشف العلاقة بين الأس الهيدروجيني (pH) والأغذية، وتصنيف الأغذية المعلبة بموجبها إلى أغذية حامضية وأغذية منخفضة الحموضة، وحدد لكل من الصنفين طرائق تعقيم خاصة.
- ابتكار طرائق رياضية عملية لحساب الحرارة والزمن اللازمين لتعقيم الأغذية، وبذلك يستغنى عن المحاولات التجريبية التي تعتمد على الخطأ والصواب لمعرفة الشروط المناسبة للمعاملات الحرارية لتعقيم الأغذية.
- طبقت في هذه المرحلة طريقة التعقيم الصحي للأغذية السائلة، وتقتصر على تعقيم المادة الغذائية والعبوة كل على حدة، ثم تعبئتها آلياً ضمن حيز معقم، وهي الطريقة السائدة اليوم، وخاصة عند تعبئة الأغذية السائلة من حليب وعصائر وخلافها.
- ١٩٥٠-٢٠٠٠م: اتصفت هذه المرحلة بتطوير تقانات التعقيم، ومنها:
 - استعمل المعقم المائي الساكن hydrostatic retort والمعقم المائي المغلق.
 - طورت طريقة التعقيم الصحي للسوائل في السويد.
 - في سبعينات القرن العشرين استعملت الأكياس المرنة القابلة للتعقيم sterilizable pouch لتعليب الأغذية المنخفضة الحموضة، وهي أكياس مصنوعة من مادة لدنة بلاستيكية على طبقات بينها طبقة رقيقة من الألمنيوم وتقل بالحرارة، وقد استعملها رواد الفضاء.
 - استعمال الأطباق القابلة للتعقيم retortable trays.
- وفي أوائل القرن الواحد والعشرين تم تطوير تعقيم الأغذية السائلة المحتوية على حبيبات الخضر أو اللحوم بطريقة التعقيم الصحي (تعقم الأغذية في مبدلات حرارية (انبوبية) وتبرد ثم تعبأ في عبوات مركبة مرنة معقمة وفي بيئة معقمة.

ومع كل هذه التطورات فما زالت العلب المعدنية هي الركيزة الأساسية للعبوات المعقمة خاصة حساء قطع الخضروات واللحوم على أرفف الأسواق المركزية على مستوى العالم.

٣. احصائيات (تصنيع الحديد في العالم)



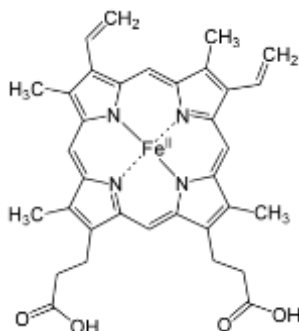
Which countries produce the world's iron? Chart shows estimated figures for pig iron for 2014. Source: US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2015

٤. مكونات مادة العبوة المعدنية

تصنع علب الصفيح من صفائح الحديد المعالجة بمراحل متعددة، بدءاً من الدرفلة لإنتاج ألواح ذات صلابة ومرونة عالية، ثم التخشين، لتكوين سطح يساعد على لصق القصدير ثم القصدير، وهي إلباس الصفائح طبقة متجانسة السمك من القصدير بالتحليل الكهربائي، ثم الطلاء بالمينا أو الورنيش المركب من مواد عضوية ذات صفات خاصة، لمنع تفاعل مكونات الغذاء مع معدن العلب، ومن أنواعه المينا «سي» Enamel C، الذي يدخل في تركيبه أكسيد الزنك، ويخصص لطلاء العلب التي تحوي على أغذية فيها كبريت، كما في سائر أنواع اللحوم مع الخضار والبقول، والمينا «ل» Enamel L، ويستعمل للعلب المخصصة لتعبئة الأغذية الحامضية كالفواكه والمربيات والهلامات والمخللات ومنتجات الطماطم، والمينا «ر» Enamel R، ويستخدم لعلب الأغذية المحتوية على مواد ملونة قابلة للإرجاع كالكرز.

لمحة عن عنصر الحديد ومركباته:

الحديد عنصر كيميائي فلزي، وهو أحد أقدم المعادن اكتشافاً. رمزه Fe (من اللاتينية: ferrum) وعدده الذري ٢٦. يقع بالمجموعة الثامنة والدورة الرابعة من الجدول الدوري. وهو ضروري لحياة الإنسان والحيوان كونه يدخل في تركيب هيموجلوبين الدم، وكذلك لحياة النباتات كونه أحد العناصر الضرورية لتكوين الكلوروفيل.



مركب الهيموجلوبين أساس كريات الدم الحمراء.

الحديد هو رابع العناصر تواجدا في القشرة الأرضية، غالباً ما يتواجد في الطبيعة في صورة أكاسيد. في هيئته العنصرية هو فلز قابل للطرق والسحب. ويعتبر الحديد وسائكه أكثر المواد المعدنية استخداماً على الإطلاق. تحتوي النيازك الساقطة على الأرض على كميات من الحديد قد تصل إلى ٩٠% من كتلة النيازك. وقد وردت كلمة حديد في عدة مواضع في القرآن الكريم، وهناك سورة في القرآن هي سورة الحديد ورد فيها نزول الحديد من السماء، قال تعالى: ﴿لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنْزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتَابَ وَالْمِيزَانَ لِيَقُومَ النَّاسُ بِالْقِسْطِ وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَن يَنْصُرُهُ وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ﴾ [٥٧:٢٥] ويؤمن المسلمون، بموجب هذه الآية أن الحديد نزل من السماء، ويربطون ذلك بما ورد في النظريات العلمية الحديثة بأن الحديد لم يكن موجوداً على الأرض إطلاقاً قبل ملايين السنين، بل وصل الأرض عبر النيازك وذلك خلال فترات تكوين الأرض.



قطعة من الحديد النقي

الحديد في حالته النقية أكثر ليونة من الألومنيوم، وتزداد صلابته بإضافة بعض العناصر السبائكية كالكاربون بنسب معينة، فيتكون سبيكة الصلب، وهي أقوى ألف مرة من الحديد النقي. يتراوح تكافؤ الحديد بين (٢-) و(٦+)، إلا أنه في أشهر حالاته يكون تكافؤه (٢+) أو (٣+).

تطور صناعة الحديد

حصل إنسان ما قبل التاريخ على الحديد من النيازك، ومن ثمّ استخدمه في صناعة العُدَد والأسلحة ومكونات أخرى. وكلمة حديد تعني في العديد من اللغات القديمة فلز من السماء. ولقد استُخدم حديد النيازك في فترات قديمة جدًا يعتقد أنها تصل إلى أربعة آلاف عام قبل الميلاد. ولكن لا توجد أي أدلة مؤكدة تبين بداية استخدام الحديد المستخلص بالصهر والاختزال من الخامات الأرضية، أو تشير إلى المكان الذي بدأ استخلاص الحديد فيه لأول مرة.

ويعتقد أن الحِيثِين هم أول من عرف الحديد بكميات ضخمة. وقد عاشوا فيما يعرف الآن باسم تركيا. وفي عام ١٤٠٠ ق.م. اكتشف الحِيثِين كيفية تصنيع الحديد وأساليب تصليد العُدَد والأسلحة الحديدية. وحول هذه الفترة نفسها تقريبًا طوّر سكان كل من الصين والهند طرقًا وأساليب لاستخلاص الحديد. وعندما وصل العالم إلى القرن العاشر قبل الميلاد كانت معظم الحضارات القديمة حينذاك قد توصلت إلى تقنيات تصنيع الحديد، وهكذا بدأ العصر الحديدي.

كانت أفران استخلاص الحديد الأولية في شكل طبق، وكان يُسخّن خام الحديد مع الفحم النباتي. وبعد مرور عدة ساعات على بدء التسخين يفقد خام الحديد أكسجينه إلى الكربون الساخن المحيط به، ويتحول الخام إلى فلز الحديد في صورة لامعة. ولم يكن يُستخدم فلز الحديد الناتج مباشرة، ولكن يعاد تسخينه مرارًا وفي كل مرة يُطرق للتخلص من بقية الشوائب القصيفة الصلدة وعل الأخص الكربون الذي يجعل الحديد هشًا. وتمكن صُنَّاع الحديد نحو عام ١٢٠٠م من إعادة تسخين وتشكيل وتبريد الحديد المستخلص لإنتاج وتصنيع الحديد المطاوع. وقد كانت خواص الحديد المطاوع الناتج تشبه إلى حد بعيد خواص الفولاذ الكربوني المنتج في العصور الحديثة حيث يحتوي على كمية قليلة من الكربون.

وتمكن صناع الحديد نحو عام ٧٠٠م في منطقة قطالونيا (شمال شرقي أسبانيا) من التوصل إلى أفضل صورة لفرن استخلاص الحديد. وعرف ذلك الفرن عندئذ باسم كوركتلان، وكان الهواء يضغط عند قاعدة الفرن ويدفع إلى الداخل باستخدام الطاقة المائية. وبلغت طاقة إنتاج كوركتلان حوالي ١٦٠ كجم من الحديد

المليف كل خمس ساعات. وهذا الإنتاج أكبر بكثير من إنتاج الأفران السابقة. وقد حَصَّر يعقوب بن إسحاق الكندي (ت ٢٦٠هـ، ٨٧٣م) أنواعاً من الحديد الفولاذ بأسلوب المزج والصهر، فقد مزج كمية من الحديد المطاوع، وكان يسمى الزماهن، وكمية أخرى من الحديد الصلب (الشبرقان) وصهرهما معاً ثم سخنها إلى درجة حرارة معلومة بحيث نتج عن ذلك حديد يحتوي على نسبة من الكربون تتراوح بين ٠,٥ و ١,٥%. وعندما تحدث ابن سينا (ت ٤٢٨هـ، ١٠٣٧م) عن النيازك قسمها إلى نوعين حجري، وحديدي وهو نفس التقسيم المتبع في الوقت الراهن.

أما في أوروبا لم تتطور طرق وأساليب تشكيل الحديد المنصهر في صورة منتجات استهلاكية مناسبة بصورة مرضية حتى حلول عام ١٥٠٠م. وفي بداية القرن الثامن عشر الميلادي بدأ صناع الحديد البريطانيون في استخدام الفحم (الأسود المتحصل عليه من تسخين الفحم النباتي في غياب الهواء) بدلاً من الفحم النباتي في الأفران العالية نظراً لنقص الأخشاب، وهي المصدر الأساسي للفحم النباتي. ويُعد ابراهام داربي أول من تمكن من تصنيع الفحم الحجري ومن ثمَّ استخدم في إنتاج الحديد عام ١٧٠٩م في بلدة كولبروكديل في مقاطعة شروبشاير في إنجلترا. وفي أواخر القرن الثامن عشر تمكن كل من ابن أبراهام داربي وحفيده من تحسين أسلوب التكويك الذي بدأه رب الأسرة. وقد أدت أعمال هذه العائلة إلى قيام الثورة الصناعية التي بدأت في بريطانيا بإنتاج الحديد الزهر ومن ثم استخدامه في المباني والآلات. وقد نقل المهاجرون الأوروبيون هذه الصناعات ونشروها بعد ذلك في أرجاء العالم.

سبائك الصلب:

الصلب Steel هو سبيكة تصنع أساساً من الحديد بمحتوى كربون يتراوح بين ٠,٢ و ٢,٠٤% بالوزن (ك: ١٠٠٠-١٠,٨,٦٧حد)، حسب الدرجة. والكربون هو أكثر العناصر السبائكية فاعلية من حيث التكلفة في سبائك الحديد، إلا أنه تُستعمل العديد من العناصر السبائكية الأخرى مثل المنجنيز، الكروم، الفناديوم، والتنجستن. ويعمل الكربون والعناصر الأخرى كعوامل تصليد (تقسية)، لمنع التفتك في العقد البلوري لذرات الحديد من الانزلاق أمام بعضهم البعض. ويتحكم مقدار العناصر السبائكية وشكل وجودهم في الصلب (solute elements, precipitated phase) في صفات مثل الصلادة ومقاومة الشد للصلب الناتج. فالصلب ذو المحتوى المرتفع من الكربون يمكن أن يُصنع ليكون أكثر صلادة وأقوى من الحديد، إلا أنه أكثر تقصف. السبائك ذات محتوى الكربون الأعلى من ذلك تُعرف باسم حديد زهر بسبب درجة انصهارهم الأقل وقابليتهم للصب.

أما علب الألمنيوم فقد انتشر استعمالها حديثاً بدرجة كبيرة، وهي مقاومة للتآكل حتى في الأجواء الرطبة، وتكاد تكون عديمة التأثير في نكهات الأغذية، إلا أنها أضعف من علب الصفيح، وأعلى سعراً، وحجمها وسعتها محدودان.

٥. العلب المعدنية (الصفيح) :

تصنع العلب المعدنية بسماكات مختلفة من ٠,٢٤ - ٠,٣٢ مم وقد تزداد السماكات أو تنقص عن ذلك. ويجب أن يكون للصفيح مواصفات خاصة فعند استخدام الفولاذ وحده في تصنيع العلب المعدنية يمكن أن تحدث تفاعلات مع المادة الغذائية خاصة أن أغلب المواد المعبأة تكون حامضية أو مائلة للحامضية أو القلوية لذلك يتم طلاؤه بطبقة من القصدير أو الورنيش والذي يجب أن يتمتع بالمواصفات التالية :

- (١) عديم التفاعل مع المواد الغذائية .
- (٢) عازلاً جيداً ومانعاً للتفاعل بين الصفيح والمادة الغذائية .
- (٣) أن لا يؤدي إلى تدني في المواصفات الفيزيائية للأغذية (نتيجة انتقال اللون والرائحة والطعم) .
- (٤) يتحمل درجات حرارة التعقيم (كحد أدنى ١١٥ ° م فلا تؤدي إلى تفككه أو تغير مواصفاته).
- (٥) قوة التصاقه بمعدن الصفيح عالية .

المعاملة الحرارية في العبوات الغذائية (القضاء على الأحياء الدقيقة الضارة)

في المواد المعلبة نوعان من البكتريا لهما أهمية خاصة، ويشكلان أبعاداً عندما يتعرضان لإجهادات، وهما العصيات bacillus والمطثية الوشيكية (Clostridium Botulinum)، فالأولى هوائية والثانية لا هوائية. تتفاوت العناصر البكتيرية وأبعادها تفاوتاً كبيراً بمدى مقاومتها للحرارة. وتعتمد المعاملة الحرارية للمعلبات على عوامل متعددة منها العدد الأصلي للخلايا أو الجراثيم والحالة التي توجد فيها هذه الأحياء، وتركيب المادة الغذائية من رطوبة ومكونات مختلفة، وكذلك حجم العبوة ونوع مادتها. يعبر عن مقاومة الأحياء للحرارة بمفهوم «وقت القتل الحراري» thermal death time، ويعرف بأنه الوقت اللازم لقتل عدد محدد من الأحياء في درجة حرارة محددة وشروط معينة. وقد قام العلماء باستنباط طريقة سهلة لتعيين مقاومة الأحياء للحرارة، بوضع كمية مناسبة من الأحياء الدقيقة معلقة في محلول وتسخينها في حمام مائي في درجة حرارة معينة وزمن محدد، ثم تبريدها فوراً، وزراعتها في بيئة ملائمة لمعرفة البكتريا الناجية من تأثير الحرارة وعددها. ودلت التجارب أن وقت القتل الحراري يتبع قيماً لوغاريتمية، أي إن معدل موت البكتريا ثابت، وهذا ما تبينه العلاقة بين درجة حرارة التعقيم على محور العيّنات والزمن.

يعتمد عملياً في تقانة التعليب على تطبيق معاملة حرارية في أثناء التعقيم كافية لأن تحقق القضاء على أعتى الجراثيم المتبوعة، وهي المطثية الوشيكية، في الأغذية المنخفضة الحموضة، ومن هنا أتى الحرص على العمل على تخفيف الحمولة البكتيرية للأغذية قبل تعليبها بتطبيق خطوات التعليب المناسبة. إن الهدف من هذه العملية هو إيجاد المتطلبات التي تحقق التعقيم الغذائي أو التجاري للمعلبات، أي تطبيق

الشروط الحرارية التي تخلص الأغذية من الأحياء الدقيقة الممرضة والأحياء التي تتكاثر في الغذاء أثناء التخزين في الشروط الطبيعية، أي إن الأغذية المعلبة هي أغذية معقمة غذائياً وليست معقمة بكتيرياً. ومن دراسة شروط نمو جرثوم المطثية الوشيقية، تبين أنه لا ينمو في أوساط لها تركيز أس هيدروجيني أقل من ٤,٦. علاقة الزمن بدرجة الحرارة يعتمد اليوم على تقانة جديدة للمعاملات الحرارية المطبقة على الأغذية المعلبة، وتقتصر على درجات حرارة عالية لاختزال الزمن اللازم لقتل العناصر البكتيرية. وهذا ما يعبر عنه بـ UHT، وهي الحروف الأولى لكلمات مصطلح ultra high temperature، أي «درجة الحرارة الفائقة»، ومن المعروف أن تطبيق التعقيم الغذائي بدرجة الحرارة الفائقة وفي زمن قصير جداً له فوائد جمة، أهمها عدم تعرض مكونات الغذاء الحساسة من فيتامينات وبروتينات وغيرها إلى تخرب شديد بالموازنة مع طرائق التعقيم في درجات الحرارة العادية والزمن الطويل.

انتقال الحرارة في العبوات

يخضع انتقال الحرارة عبر جدار العبوات وصولاً إلى وسط المادة الغذائية المعلبة إلى عدد من العوامل تتعلق بنوع مادة العبوة وحجمها ومكونات المادة الغذائية وقوامها ودرجة حرارتها الأولية. ونوع التقنية المستخدمة في التعقيم، إذ يسرّع تدوير الأوعية التي تحوي أغذية سائلة وتحريكها في نفوذ الحرارة إليها. ومهما كان نوع المادة الغذائية المعلبة فإن انتقال الحرارة في أثناء التعقيم إلى داخل العبوات يتم عن طريق الحمل الحراري convection أو التوصيل conduction وهو الأبطأ، وهي حالة المواد الغذائية ذات القوام العجيني كالذرة والبطاطا الحلوة اللتين تحتاجان إلى معاملة حرارية طويلة الأمد. ثمة علاقة وثيقة بين الزمن الذي يستغرقه التعقيم ودرجة الحرارة. فارتفاع حرارة المعقم يقابله ارتفاع مماثل في كفاية عملية التعقيم وسرعة إنجازها، فالتعقيم على درجة حرارة ١٢١°م أكثر كفاية بمئة مرة من التعقيم على الدرجة ١٠٠°م. إن صناعة التعليب هي أهم تقانات حفظ الأغذية التي تسهم في تحويل الغذاء الطازج السريع العطب إلى منتجات معلبة صحية توفّر للمستهلك على مدار السنة، وهذا يساعد على عدم تفاوت الأسعار الموسمية ويشجع كلاً من المزارعين والصناعيين على الإنتاج.

تبطين العلب المعدنية بطلاء عازل (الورنشة)

تطلي العبوات المعدنية المستخدمة في تعليب الأغذية من الداخل بمادة عضوية عازلة تسمى الورنشة (Enamel) وذلك لوقايتها من التآكل والصدأ والمحافظة على الخصائص الحسية للغذاء وذلك بعمل حاجز بين الغذاء والجدار الداخلي لمعدن العلب. تضاف مادة الورنشة مباشرة لألواح الصفيح قبل مرحلة تشكيلها في

- صورة علب ثم تجفف في الفرن على درجة حرارة ما بين ٢٠٤ - ٢٣٢ م°. يجب ان تتوفر في مادة الورنيش المستخدمة عدة اشتراطات قبل إجازة استخدامها في تبطين او طلاء عبوات الأغذية وهي :
١. ان تكون مأمونة الاستخدام اي عديمة السمية.
 ٢. لا تؤثر في طعم او نكهة المادة الغذائية المعلبة بمعنى خاملة لا تتفاعل مع الغذاء.
 ٣. ان توفر حماية كافية بين المادة الغذائية وجدار العلبة.
 ٤. لا تتمزق او تتصدع بفعل المعاملة الحرارية او إنشاء التخزين والتداول.
 ٦. ان يكون اقتصادي في التكلفة.

أنواع الطلاء (الورنيش) المستخدمة في العلب المستخدمة للأغذية.

يبلغ عددها ٢٠ نوعا، ويمكن تجميعها في الاتي وفق تركيبها الكيميائية ونوعية الظروف التي تلائم استخدامها من حيث نوعية الغذاء ودرجة الحرارة.

(١) **مجموعة الورنيش المعروف باسم الزيت الراتنجي (Oleoresinous)** وهي أكثر أنواع الطلاء المستخدم في العبوات المعدنية للأغذية ويوجد منه نوعان :

أ. R-enamel : يستخدم في العلب الخاصة بالفواكه الملونة مثل الكرز والتوتيات والبنجر وذلك لأنه قادر على حماية الصبغات الطبيعية الموجودة في الفواكه من التغير اثناء التخزين.

ب. C-enamel : يستخدم في العبوات الخاصة بتعليب الأغذية التي تحتوي على احماض امينية محتوية على عنصر الكبريت وذلك لمنع حدوث الاسوداد الكبريتي والذي ينتج من جراء تفاعل الحديد في جدار العلبة مع الكبريت الموجود في الغذاء والذي ينتج عنه ملح كبريتيد الحديد ذو اللون الاسود، وبالتالي فإن هذا الورنيش يلائم العلب الخاصة بتعليب الأسماك والدواجن والبقوليات والكرنب المخلل والذرة. يضاف الي هذا الورنيش عجينة أكسيد الزنك بنسبة ١٥% والمعروف بنشاطه التفاعلي والذي يتفاعل مع الكبريت بدل الحديد ويعطي مركب عديم اللون. بصفة عامة فإن تركيبة الورنيش (oleoresinous) تعد بحيث تعطي حاجز وقائي بين الأغذية الحمضية وجدار العلبة الداخلي.

(٢) **مجموعة الايبوكسي (Epoxy) والايوبوكسي فينول (Epoxy-phenol) :**

أ. الايبوكسي (Epoxy) : يتميز بمقاومته العالية للحرارة ومرونته اثناء تشكيل العلب والقفل المزدوج. كما انه لا يغير من طعم ونكهة الاغذية ويأتي في المرتبة الثانية بعد الورنيش المعروف باسم الفيناي (Vinyl).

ب. الايبوكسي فينوليك (Epoxy phenolic) : يستخدم في طلاء العبوات المعدنية الخاصة بالاغذية البحرية واللحوم واغذية الحيوانات الاليفة. يتميز هذا النوع بمقاومته العالية للنفاذية وللتفاعل الكيميائي مقارنة بالورنيش (oleoresinous)، غير انه قليل المرونة وربما يساهم بعض الشيء في تغيير نكهة ورائحة بعض الاغذية وبالتالي لا ينصح بأستخدامه في طلاء العبوات التي تستخدم في حفظ الاغذية ذات العمر الخزني الطويل. كذلك فهو مقاوم للشحوم الحيوانية ولا يحتاج الي اضافة اكسيد الزنك.

(٣) ورنيش الفيناييل : (Vinyl)

يستخدم عادة كطلاء مضاعف او مزدوج مع ورنيش Oleoresinous او الفينولي. وبالتالي فهو يستخدم في العبوات الخاصة بالأغذية التي لها فعل تأكلي قوي على جدار العلبة مثل علب عصير التفاح حيث يستخدم فيها الورنيش من نوع R-enamel مع طبقة علوية من الفيناييل وحزام إضافي على طول اللحم الجانبي للعلبة من الداخل. هذا الطلاء صلب ومتين ولا يؤثر على طعم او نكهة المادة الغذائية الا ان له مقاومة ضعيفة للبخار وبالتالي فهو ملائم للعبوات التي تستخدم للأغذية التي تعامل حراريا عند درجة حرارة لا تزيد عن ٩٣ م°.

(٤) الطلاء او الورنيش الصديق للبيئة :

لا يؤدي الي الإضرار وتلويث البيئة عند استخدامه لأنه لا يحتوي على مذيبيات عضوية مثل الأنواع التي تم ذكرها أعلاه بل إنها اما ان تكون مائية او في صورة مسحوق. فالأنواع المائية مثل الفيناييل استخدمت في ورنشة العلب الخاصة بالمشروبات الغازية والعصائر منذ عدة سنوات، اما الأنواع في صورة مسحوق فتضاف كشريط على طول اللحم الجانبي للعلبة من الداخل وهي ملائمة للعديد من الأغذية، ولضمان نباتيتها فيجب اختيار المادة اللاصقة المناسبة لها ونوعية المعاملة الحرارية التي ستعرض لها العلب.

٦. خطوات تجهيز وتعبئة وتعقيم المواد الغذائية

تشمل تقانة حفظ الأغذية بالتعليب مجموعة خطوات متلاحقة لوقف نشاط عوامل فساد الأغذية. وهذه الخطوات هي استقبال المواد الخام ومواد التعبئة، ثم فصل الجزء الصالح للأكل منها، وفرزها وتفتيشها ثم نقعها وغسلها وسلقها، ثم تعبئتها وطردها الهواء من العلب، وإحكام قفلها، وتعقيمها، فتبريدها تبريداً مفاجئاً، ثم خزنها. استقبال المواد الخام: في هذه المرحلة يتم التحقق من مطابقة المواد الخام الأولية الواردة للمواصفات المطلوبة، من حيث درجة النضج والجودة والسلامة ومتطلبات التصنيع.

١. فصل الجزء الصالح للأكل: يتم ذلك فور وصول الخامات الزراعية، فيفرز التالف منها، وتقشر وتخلص من البقايا وتحفظ.

٢. الفرز والتفتيش: تفرز في هذه العملية الخضار والثمار وفق درجة النضج والحجم وانتظام اللون، والتحقق من عدم وجود تالف بينها. يجب أن تكون المادة المستلمة بمواصفات معينة لأن ذلك يلعب دوراً كبيراً في عملية التصنيع حيث يوجه الحجم الكبير من المادة الخام لتشكيل القطع والحجم الصغير لعملية الهرس ، ولذلك دور كبير في تحديد منحنى التصنيع والسعر ، إن استلام الخامات يتم خارج المصنع حيث تؤخذ عينة من السيارات ويتم تحليلها ، فمثلاً يقدر السكر في الشوندر وتقدر المادة الصلبة الذائبة في لب الطماطم.

٣. النقع والغسيل: يغسل الجزء الصالح للأكل مباشرة بالماء النظيف المعامل بالكلور لخفض ما يمكن أن يحويه من جراثيم، مما يخفف من عبء عملية التعقيم. وتقيد عملية النقع والغسيل في التخفيف من آثار المبيدات المتبقية. تتم عمليات النقل غالباً على سيور ناقلة أو تنقل ضمن الماء إذا كان هناك حاجة لغسيل المادة الغذائية مثل الطماطم والبازلاء.

٤. السلق: يؤدي سلق الخضار والثمار بالماء أو البخار لعدة دقائق بدرجة حرارة لا تقل عن ٨٠°م إلى تثبيط الأنزيمات وخاصة المؤكسدة منها. وتعد عملية السلق عملية غسيل نهائية لأنها تساعد على التخلص من المزيد من الأحياء الدقيقة وقتل قسم منها وخاصة تلك التي تتحمل الحرارة المتوسطة mesophile. ويعقب عملية السلق مباشرة معالجة المادة المسلوقة لتعد في حالتها النهائية سواء بإضافة السكر والبكتين والحمض في حالة المربيات أو الملح مع التوابل في حالة الخضار، أو بإعدادها لأن تكون وجبات جاهزة بإضافة ما تتطلب من لحم وتوابل وخلافه. تتبع أهمية عملية السلق من النقاط التالية :

- إزالة الطعم المر لبعض الخضراوات (فاصولياء - بازلاء - ملفوف) .
- إزالة جزيئة للمواد المخاطية من بعض الخضروات (البامياء) لكي لا تتشكل مواد مخاطية ضمن العبوة وتشوهها.
- إزالة الطبقة الشمعية لبعض الخضار وإظهار اللون الطبيعي .
- إزالة الهواء من الجيوب الهوائية الموجودة في نسيج بعض الخضر وبالتالي استبعاد وجود الهواء في التعبئة .
- القضاء الجزئي على النشاط الأنزيمي وخاصة أنزيمات الأكسدة .
- تليين أنسجة الخضار الورقية مما يسمح تعبئتها في العبوات .

○ القضاء الجزئي على كثير من التواجد الجرثومي مما يسهل عملية التعقيم في مراحل الحفظ اللاحقة .

○ تسهيل عملية التقشير والتقطيع والطحن وغيرها.

٥. **التعبئة:** تعبأ المواد الغذائية في أحد أنواع العبوات الصحية على أن تكون الطبقة التي بتماس مباشر مع الأغذية خاملة لا تتفاعل مع مكوناتها، ولا تؤدي إلى حدوث تآكل وثقوب في العبوة.

٦. **طرد الهواء من العبوة:** تسمى هذه الخطوة كذلك التسخين الأولي للعبء، ويستخدم بخار الماء مصدراً للحرارة، والغاية منها طرد الهواء من داخل العبوة، وإيقاف نشاط الأحياء الدقيقة إضافة إلى وقف تفاعلات الأكسدة التخريبية داخل العبوة.

٧. **القفل المحكم:** تقفل العبوة بعد طرد الهواء قفلاً محكماً يمنع دخول الهواء إليها ثانية، ويمنع أيضاً دخول أحياء دقيقة جديدة إلى داخل العبوة إبان التداول والتخزين.

٨. **التعقيم الغذائي:** تعامل العبوات بعد إقفالها في درجة حرارة تراوح بين ١٠٠-١٢١°م مدة تكفي للقضاء على معظم ما يبقى من الأحياء الدقيقة التي يمكن أن تتكاثر في شروط التخزين العادية.

٩. **التبريد المفاجئ:** يسهم التبريد المفاجئ للعبوات بعد معاملتها حرارياً في هلاك ما تبقى من الأحياء الدقيقة نتيجة لانكماشها المفاجئ.

١٠. **التخزين المناسب:** يؤدي تخزين المعلبات في درجة حرارة أعلى من ٣٠°م، إلى إنتعاش أبواغ الجراثيم المقاومة للحرارة العالية التي نجت من المعاملات الحرارية في مرحلة التعقيم فتعود إلى النشاط. ولذلك فإن تخزين المعلبات على درجة حرارة بين ١٥-٢٠°م يقيد هذه الأبواغ والأحياء الدقيقة، ويحد من نشاطها داخل العبوة. إضافة إلى المعاملات الحرارية التي تتعرض لها الأغذية المعلبة يمكن أن يضاف إلى بعض أنواعها مواد حافظة أو يرفع تركيز السكر فيها كما في المربيات، أو يرفع تركيز الملح كما في بعض الخضار.

تطبيقات المعاملة الحرارية للأغذية المعقمة في أحد المصانع الغذائية (يوروفود)

خطوات التصنيع

يمر الإنتاج بمصنع يوروفود بالعديد من المراحل ليصل في نهاية تلك المراحل إلى صورة المنتج النهائية ليصل إلى المستهلك وتتلخص أهم تلك المراحل في التالي:

١ - الاستلام: نراعى دائما الحصول على الحبوب عالية الجودة ومن أفضل المزارع بالعالم حيث يتم تشوينها في غرف مجهزة وتحت درجات حرارة مناسبة وذلك بعد اجراء العديد من عمليات الفحص المستمرة على عينات منها لحين البدء في تصنيعها.

٢ - مرحلة الغسيل :- Loading & Cleaning وهى أول مراحل الإنتاج حيث يتم تفريغ الحبوب ونقلها من خلال سيور نقالة إلى مصفاة الغسيل حيث تغسل الحبوب جيدا بالماء النقى وتتم تلك المرحلة لعدة مرات وذلك لفصل الحبوب عن أي شوائب قد تعلق بها.



٣ - مرحلة النقع:- وبعد إتمام غسيل الحبوب ينقل أوتوماتيكيا عبر السيور إلى تنكات النقع وعددها ٣ تنكات لكل خط إنتاج سعة كل تنك ٧٥٠ كيلو جرام بطاقة 2.25 طن حيث تختلف الفترة التي يتم نقع الحبوب فيها من صنف إلى آخر ويتم التحكم فيها آليا.



٤ - **مرحلة السلق**:- blancher حيث يتم سلق الحبوب ببخار الماء وتحت درجة حرارة ٩٠°? وتختلف فترة السلق أيضا حسب نوع الحبوب (فول - فاصوليا - قمح) وذلك جهاز (blancher)، وتلك المرحلة يتم تعقيم الحبوب تحت درجات حرارة عالية.



٥ - **مرحلة الفرز**:- (Sorting) تخرج الحبوب من الـ Blancher لتبدء مرحلة الفرز لها بصورة يدوية من خلال مجموعة من العمال المدربين على تلك الأعمال و فيها يتم استبعاد و فصل أى حبوب غير متجانسة فى الحجم او فى الشكل وتتم تلك المرحلة تحت إشراف مستمر ومراقبين للجودة ويتم سحب عينات عشوائية على فترات عديدة ومراجعتها باستمرار.



٦ - **التعبئة**:- (canning) و تتم تلك المرحلة على اكثر من خطوة
الأولى : تعقيم العبوات الفارغة Cans ببخار الماء فى درجات حرارة عالية .
الثانية : تعبئة الحبوب التى تم فرزها بالأوزان المطلوبة .
الثالثة : تعقيم العبوات ببخار الماء .



5-

٧- إضافة المحلول :- (solutions)

و تنقسم تلك المرحلة لجزئين :

- أ. تجهيز المحلول او solution وتختلف حسب نوع الحبوب. يتم تجهيز المحلول (Solution) الخاص بكل منتج على حدة فى تنكات خاصة وذلك بدون إضافة أى مواد حافظة مع الحبوب أو المنتج.
- ب. إضافة المحلول على العبوات المعبأة لتدخل العبوات بعد ذلك إلى المرحلة التالية و المهمة وهى التعقيم .



٨- تعقيم العبوات :- (Sterilization)

حيث يتم تعقيم العبوات المعبأة بالحبوب ومضافا إليها (Solution) ببخار الماء وتحت درجة حرارة ٩٠ مئوية من خلال التدخل بعد ذلك فى مرحلة إغلاق العبوات.



٩- إغلاق العبوات :- (Double Seaming)

حيث يتم إغلاق العبوات نهائى و محكم لتخرج من الماكينة و يتم وضعها فى حاويات خاصة إستعدادا لعملية الطهى.



9-

١٠- مرحلة الطهى :- (Cooking)

حيث يتم طهي الحبوب داخل العبوات تحت درجة حرارة ١٢١ درجة مئوية وتحت ضغط ١,٢ بار وتختلف الفترة التى يتم الطهى عليها من ٥٥ دقيقة أو أكثر أو أقل حسب نوع المنتج.



١١ - كتابة التاريخ وبيانات البطاقة

مع خروج المنتج من أفران الطهى يتم فرزها ثانية عبوة عبوة للتأكد من سلامة العبوات و إستبعاد العبوات المعيبة إن تواجدت وتوضح الرسالة المطبوعة على العبوة تاريخ الإنتاج وبيانات خط الإنتاج في صورة كود يمكن الرجوع إليه فى أي وقت لمعرفة أى بيانات عن الرسالة أو الشحنة و الاستدلال عليها .



11-التغليف :-

حيث تغلف العبوات إستعدادا لتخزينها فى أماكن مجهزة لذلك.

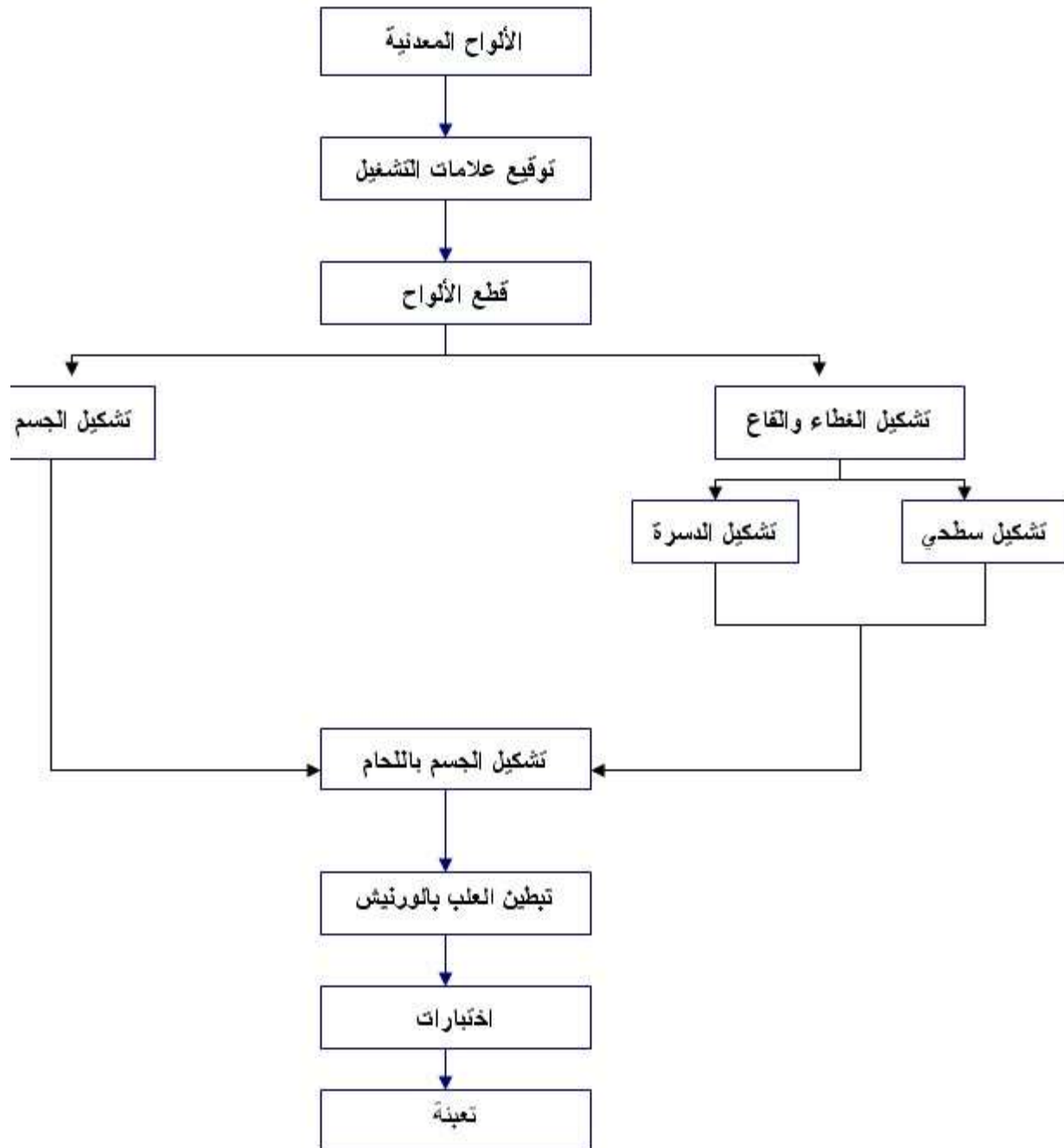


12-التعبئة :-

يتم تعبئة المنتج لتتنقل إلى منافذ التوزيع و

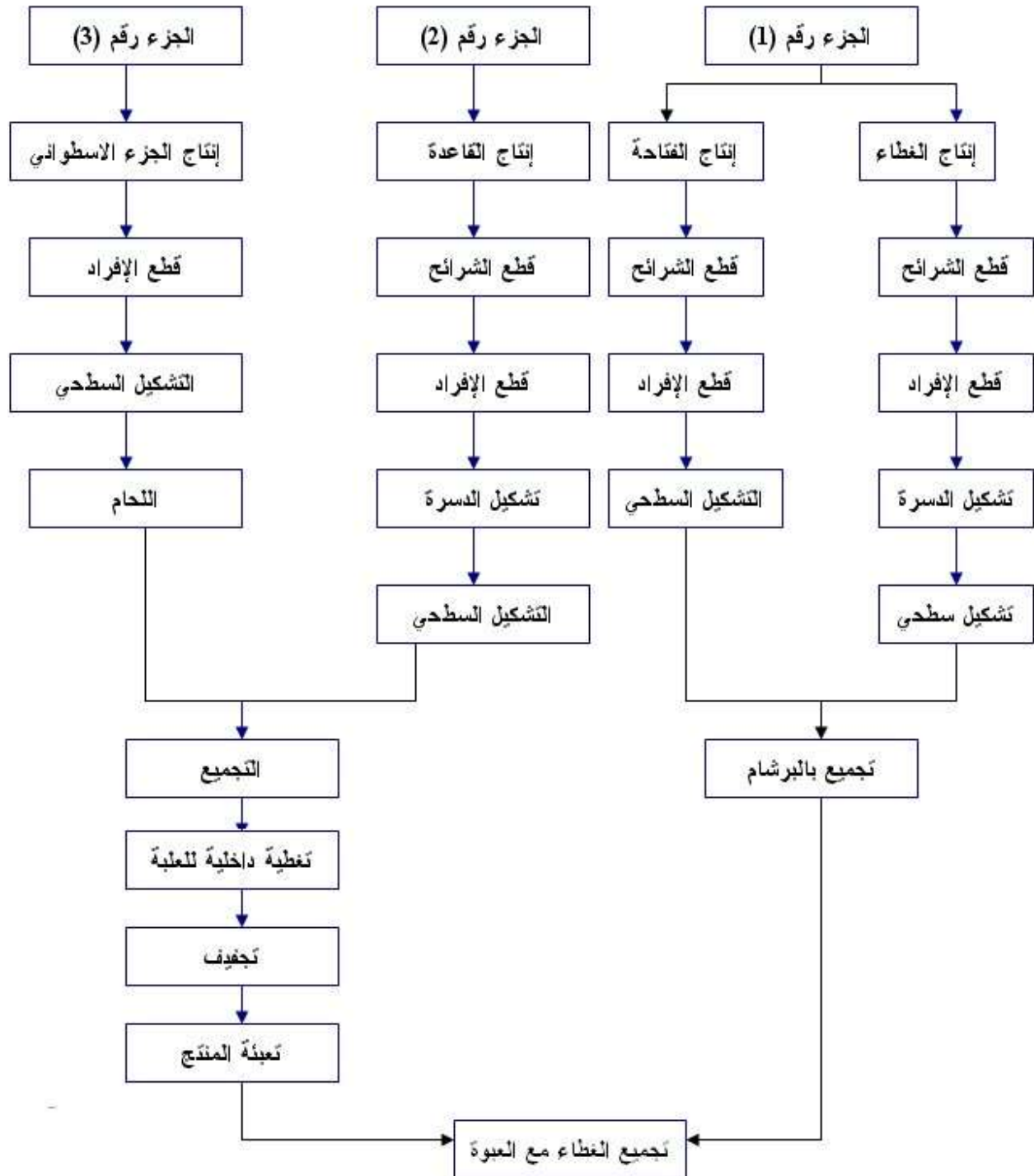


رسم تخطيطي لمراحل إنتاج العلب المعدنية



مراحل إنتاج العلب المعدنية :

الرسم التخطيطي لمراحل إنتاج عبوة صغيرة للعصير



تصنيع العبوات الزجاجية

١. لمحة تاريخية:

- يعود تاريخ صناعة الزجاج إلى ٣٠٠٠ سنة قبل الميلاد. ويعتقد أن أول اكتشاف للزجاج يعود لمجموعة من البحارة كانوا يشعلون النار على شاطئ من الرمال (يحتوي مادة السيليكا) ومصادفة وجدوا أنه نتج من ذلك سائل شفاف لامع.
- ولقد كانت أقدم المواد الزجاجية مسطحة حيث لم يتم التوصل إلى الأنية المجوفة حتى عام ١٥٠٠ قبل الميلاد. ويعتبر الصناع الآسيويون هم أول من أرسى صناعة الزجاج، ومنهم انتقلت الصناعة إلى مصر حيث ترجع أول أنية زجاجية إلى حكم تحتمس الثالث (١٤٥٠-١٥٠٤ قبل الميلاد).
- وفي القرن التاسع قبل الميلاد، ظهرت في كل من سوريا والعراق مراكز لصناعة الزجاج، وامتدت الصناعة عبر منطقة البحر المتوسط.
- في العصر الإغريقي، ازدهرت صناعة الزجاج بمصر حيث كانت تزود القصور الملكية بالزجاج الفخم حيث كان يصنع في الإسكندرية.
- حدثت أكبر نقلة في صناعة الزجاج في تلك الحقبة حوالي ٢٠٠ سنة قبل الميلاد عند استخدام الحديد كقوالب لنفخ الزجاج. حيث ينفخ الفني الزجاج المبطن لأنية الحديد من الفتحة مسببا تمدد السائل الزجاجي اللزج وانتفاخه عبر الفتحة الأخرى، والذي ينتج منه أواني زجاجية مجوفة.
- في القرن الأول قبل الميلاد، تم التوصل إلى عملية نفخ الزجاج في سواحل فينيقيا. وفي العصر الروماني، كانت صناعة الزجاج منتشرة في مناطق متعددة من الإمبراطورية الرومانية.
- في العصور الوسطى، اعتنى المسلمون (بصناعة الزجاج وطوروها؛ وذلك بعدما تعلموا طرق صناعتها من البلدان التي فتحوها، مثل مصر والشام، والعراق، وإيران، وكان ذلك لحاجتهم إلى الأواني الزجاجية التي تستخدم في العطور، والعقاقير، والإنارة، والشرب، وغيرها).

- ابتكر المسلمون التزجيج، وما زالت روائع من أعمالهم في التزجيج باقية في واجهات المساجد والجوامع، وكذلك في الأبنية الأثرية إضافة إلى ما هو محفوظ في المتاحف العالمية. ولقد استخدمت الأصباغ الزجاجية مع الخزف في هذه الصناعة الفنية، فلم تتأثر بالتقلبات الجوية، ولم تؤثر فيها حرارة الشمس المحرقة طوال مئات السنين. كما عرف علماء المسلمين البللور وهو الزجاج الممتاز



(الكريستال بحسب التعريف الكيماوي الحديث) الذي يحتوي على نسب مختلفة من أكاسيد الرصاص ، وصنعوه بإتقان. وصنعوا منه نظارات العيون، وكانوا يسمونها منظرية.

- ولقد صنع المسلمون القدامى أنواعًا كثيرة من الأواني الزجاجية؛ فوصلت هذه المجموعة المختلفة الأشكال التي ترجع إلى القرن الثاني أو الثالث الهجري. وهذه أنية زجاجية ترجع إلى القرن الثالث الهجري. كما برع المسلمون في صنع المصابيح (المشكاوات) وذلك لإضاءة المساجد والمنازل والطرق وغيرها.

- كما استخدم العرب المسلمون الزجاج في زخرفة النوافذ؛ حيث برعوا في صناعة الزجاج المعشق في الجص. كما استخدم المسلمون الزجاج في عمل زخارف الفسيفساء؛ كما في الجامع الأموي بدمشق الذي تضم زخارفه مناظر طبيعية، وتعتبر فسيفساء هذا المسجد أقدم نموذج للفسيفساء الزجاجية الإسلامية بعد قبة الصخرة.

- انتقلت صناعة الزجاج إلى أوروبا من العالم الإسلامي عندما أنشأ فنيون مصريون مصنعين للزجاج في اليونان، ولكن المصنعين حطما في عام ٥٤٤ هـ / ١١٤٧ م، عندما اجتاحت النورماديون مدينتهم ففر الفنيون إلى الغرب، مما ساعد على النهضة الغربية في مجال صناعة الزجاج في العصور الوسطى. كما فر أيضا بعض الفنيين من دمشق إلى الغرب إبان اجتياح المغول للعالم الإسلامي. هذا بالإضافة إلى التقنيات الخاصة بصناعة الزجاج التي أخذها الأسرى الأوروبيون من المسلمين أثناء الحروب الصليبية. وقد كانت أسرار هذه الصناعة مع الفنيين في فينسيا حتى القرن السابع عشر عندما اطلعت فرنسا على تلط التقنيات وأسرارها، وانتقلت إليها صناعة الزجاج وحيث تطورت وانتشرت في العالم.

- أسعار الزجاج كانت عموما عالية حتى تحسنت طرق التصنيع في القرنين الثامن والتاسع عشر ومن ثم بدأت أسعار الأواني الزجاجية في الانخفاض.
- مع عصر النهضة الصناعية الحديثة وتطور الأفران والآلات واتحكم في درجة الحرارة تم التقدم الكبير في صناعة الزجاج الحديث.

- بدأت ميكنة صنع الزجاج في عام ١٨٩٢م. ولكن أول مصنع آلي للقناني الزجاجية بدأ في ١٩٠٣م في مدينة توليدو بولاية أوهايو الأمريكية بناء مايكل اوتز. وفي عام ١٩٢٣ تسارعت أساليب الميكنة باستحداث وتطوير وحدة تغذية تضمن الإمداد السريع بأحجام متجانسة من الزجاج المنصهر.



- وما زال عدد من الصناعات حتى الآن يستخدم الأساليب التقليدية التي توارثوها عبر الأجيال ومنذ آلاف السنين مثل تلك الورش التصنيعية في فلسطين (بيت لحم تحديدا) وغيرها، حيث تهتم بالمصنوعات الزجاجية المزخرفة كزينة وتحف وأواني وغيرها.

٢. الزجاج ومواده الأولية

يعرف الزجاج بأنه منتج غير عضوي عبارة عن مادة لا بلورية (غير واضحة الشكل والتشكل، روابطها الكيميائية غير منتظمة) تم صهرها ثم تبريدها للحالة صلبة بدون المرور بالبلورة وهي هشّة القوام. علميا، لا يعتبر الزجاج صلبا ولا سائلا وإنما يكون في حالة خاصة (تسمى التبريد الفائق) تظهر فيها جزيئاته بشكل عشوائي، ولكن بحيث يوجد تماسك كاف لإحداث اتحاد كيميائي بينها. وعندما يتم تبريد الزجاج يصل إلى حالته الصلبة ولكن بدون تبلور، وعند تعريضه إلى حرارة يتحول الزجاج إلى سائل. والتبلور (أو البلورة) هو مصطلح يصف عملية تشكيل المادة وصفة ترابط جزيئاتها أثناء تحولها من الحالة السائلة إلى الصلبة. وأقرب مثال لذلك تجمد الماء حول أغصان الأشجار إلى أشكال صلبة غير منتظمة. وعادة ما يكون الزجاج شفافا ولكنه قد يكون غير شفاف أو نصف شفاف أيضا، ويختلف لونه تبعاً لمكوناته.

وبشكل عام، يعتبر زجاج الصودا والحجر الجيري (الزجاج المسطح) هو الزجاج الأكثر شيوعاً واستخداماً في العالم، وتبلغ نسبة هذا النوع من الزجاج أكثر من (٩٠ %) من إجمالي الزجاج المستخدم في العالم. ويعتبر الزجاج موصلاً رديئاً لكل من الحرارة والكهرباء ومن ثم فإنه مفيد للعوازل الكهربائية والحرارية.

وهناك أنواع عديدة من الزجاج تبعاً لطريقة التصنيع والمواد المصنعة منها، حيث أن أحد الشركات (شركة كورننج لأعمال الزجاج) تنتج أكثر من ١٠٠,٠٠٠ نوع من الزجاج، تتفاوت في خواصها وصفاتها. وبشكل عام يصنع الزجاج بخلط كمية كبيرة من الرمل مع كميات من الجير والصودا وغيرها من المواد ليكسب الزجاج بعض الخواص المرغوبة. يسخن الخليط في فرن حتى يصبح كتلة من السائل الكثيف اللزج، يتم بعدها تشكيله وعندما يبرد هذا المزيج يصبح زجاجاً.

تتواجد المواد التي يتكون منها الزجاج على سطح الأرض أو من المناجم. ويتم جمع الرمل (السيليكا) من جوانب الأنهار والمحيطات والصحاري، أما رماد الصودا والجير فيتم استخراجهما من مناجم الملح، وكذلك

الصوديوم الذي يستخرج من الأملاح أيضاً، حيث يُقَلَّل من درجة انصهار الزجاج، ويعطي أكسيد الكالسيوم للزجاج الصلابة.



وينتج الزجاج من السليكا الموجودة في رمال الصحراء أو الشواطئ. كما يوجد أيضاً في المواد البركانية التي تسمى الزجاج البركاني أو المواد التي تنشأ من النيازك. ويكون الزجاج المصهور كالدائن بحيث يمكن تشكيله باستخدام عدة تقنيات. ويعتبر رمال الزجاج من أهم المواد التي تدخل في صناعة الزجاج حيث تتكون أساساً من معدن الكوارتز (SiO_2). كما يجب أن تكون رمال الزجاج بدرجة عالية من النقاوة (على الأقل ٨٠% سليكا) ويكون

لونها أقرب للأبيض وتحتوي على نسبة ضئيلة من المواد الملونة مثل أكسيد الحديد والكروم والتيتانيوم. الشكل التالي حبة رمل مكبرة. وتهدف المركبات القلوية المضافة للرمل مثل كربونات الصوديوم وكربونات البوتاسيوم إلى تقليل درجة حرارة انصهار ولزوجة السليكا. وينصهر الزجاج عادة عند درجة حرارة عالية (١٧٠٠ °م) ولا يتمدد أو ينكمش بدرجة كبيرة مع تغير درجات الحرارة، ومن ثم يكون مناسباً لإنتاج الأدوات التي تستخدم في المعامل والأشياء التي تكون عرضة للصدمات الحرارية مثل مرايا التليسكوب.

إذن، تعتبر أكاسيد المعادن القلوية من أهم عوامل الصهر المستخدمة في صناعة الزجاج، وأكثر هذه الأكاسيد استخداماً هي الصودا التي تعتبر أرخصها ثمناً، وقد استخدمت أكاسيد معادن قلوية أخرى لهذا الغرض مثل (البوتاسيوم والليثيوم وغيرها). وهناك عناصر ومركبات كيميائية ضرورية موازنة في عملية تصنيع الزجاج بأشكاله وأنواعه المعروفة بحسب الاستخدام، وهي:

١- الرمل أو السليكا : يشكل السيليكون المادة الأساسية التي يصنع منها الزجاج العادي ويحصل عليه من الرمل. ولا يستخدم رمل الكوارتز (عالي السيليكون) نظراً للصعوبات وارتفاع كلفة التحضير للصناعة. ويشترط في الرمل المستخدم أن يحتوي على نسبة عالية من أكسيد السيليكون تصل إلى ٨٠% وأن تكون نسبة الشوائب قليلة خاصة الملونة مثل مركبات الحديد. وتعتبر أكاسيد المعادن القلوية (بيكربونات الصوديوم والبوتاسيوم) هي المواد المناسبة لتحقيق ذلك حيث تقلل من درجة حرارة الانصهار. وذلك يعود إلى أن كل ذرة سيليكون ترتبط بأربع ذرات فقط من الأكسجين، وأن أي ذرات إضافية من الأكسجين تعمل على خلخلة التشكيل المتماسك والقوي والمكون من سيليكون - أكسجين - سيليكون. لذا أصبح من السهل تغيير تركيب زجاج السليكا وجعله أكثر مرونة، وذلك باستخدام أكاسيد المعادن القلوية.

٢- **الصودا** (كربونات الصوديوم) حيث تعمل أكسيد الصوديوم على تقليل درجة الانصهار وتساعد في تشكيل الزجاج.

٣- **الجير**: حيث تساعد أكسيد الكالسيوم على تصليب الزجاج.

٤- **مواد مساعدة أخرى**: وتشمل المواد التي تضاف لتحسين نوعية الزجاج كالمواد الملونة ومسرعات الانصهار والشفافية مثل أكسيد الرصاص وأكسيد التيتانيوم وأكسيد الباريوم. كما يمكن أن يستخدم البوركس حيث يحتوي على أكسيدي الصوديوم والبورون. هذه المادة تتصهر بشكل جيد وتقلل من معامل تمدد الزجاج . ولذلك فالزجاج الحاوي نسبة كبيرة من أكسيد البورون لا ينكسر إذا سخن أو برد فجأة. فبالناتالي فإن أكسيد البوريك يخفض من درجه لزوجه السيليكا دون أن يزيد من تمددها الحراري. ويستخدم البايركس في صناعة أدوات المخابز وأجهزة المختبرات والأنابيب الصناعية لقدرتها على مقاومة التغيرات المفاجئة في درجات الحرارة وتحملها للتأثيرات الكيميائية. ومع إضافة كمية قليلة من اكسيد الألمونيوم يحافظ على شفافية الزجاج ويجعله أكثر مقاوما للحرارة (البايركس). ويتكون الزجاج شديد الصلابة (زجاج البايركس) من (٨٠%) سيليكا و (٤%) قلويات و (٢%) ألومنيوم و (١٣%) أكسيد البوريك. وهذه النسب تعطي هذا النوع من الزجاج ثلاث أضعاف قوة زجاج الصودا والحجر الجيري . أما زجاج السيليكا المنصهر (١٠٠% من السيليكا) فيعتبر من الزجاج العالي التكلفة وهو مقاوم للصدمات . وأهم خواص الزجاج من ناحية تصنيعه هي لزوجته، لذا فإن زجاج السيليكا النقي له لزوجه عالية ولكنه يحتاج إلى حرارة عالية جداً للتخلص من الفقاعات الموجودة فيه. وهذا الشيء يجعل من صناعة زجاج السيليكا النقي مكلف جداً. لذا ولأسباب علمية يلزم إضعاف زجاج السيليكا لكي يسهل تصنيعه بشكل اقتصادي.

ويعود سبب ظهور الزجاج بلون ما إلى وجود مجموعات معدنية ملونة على شكل ايونات فيه . فمثلا يتلون الزجاج باللون الأصفر أو البني بوجود ايون الحديد الثلاثي ويمكن تحويل اللون الأخضر في الزجاج إلى الأصفر بإضافة ثاني أكسيد المنغنيز. وتصنع الأحجار الكريمة الصناعية بإضافة مساحيق المعادن الثمينة كالنحاس والذهب إلى مصهور الزجاج حيث تشكل تلك المعادن مع الزجاج محاليل غروية.

وأكثر أنواع الزجاج شيوعاً عبر العصور وهو المستخدم في صناعة النوافذ وأواني الشرب هو زجاج صودا الجير والذي يتكون من رمل السيليكا (٤٥ %) كمادة أولية والصودا (أكسيد الصوديوم ١٥ %) لخفض درجة الانصهار والجير (أكسيد الكالسيوم ١٠ %) كمثبت ومنع ذوبان الزجاج في الماء. ويعمل

أكاسيد الألمنيوم على زيادة صلابة المنتج. وهناك عدد من الإضافات الأخرى أهمها الزجاج المعاد تدويره (لخفض درجة الغليان وكذلك اعتبارات بيئية واقتصادية).

ويمكن تصنيف الزجاج حسب الاستعمال إلى:

- ١- زجاج الإنشاءات مثل زجاج النوافذ والأبواب والسيارات.
- ٢- زجاج الأبنية مثل زجاج القناني والأدوية.
- ٣- زجاج البصريّات مثل العدسات والمجاهر والتلسكوبات.
- ٤- الزجاج المضاد للرصاص. كل مُنتج من مُنتجَي الزجاج المقاوم للرصاص له طُرقه الخاصّة في التميّز، ولكن جميعهم يَتَّبِعُونَ منهجًا واحدًا وهو إضافة طبقة من مادة البولي كاربونات Polycarbonate - بين طبقتين من الزجاج العادي في عملية تُسمّى Lamination أو "التصفيح أو التغليف" ينتُج عنها مادة ثخينة تشبه الزجاج، مادة البولي كاربونات هي مادة بلاستيكية "من البوليمرات البلاستيكية الحرارية" شفّافة قوية تُعرف بأسماء أخرى مثل Lexan أو Makroclear .

من خواص الزجاج:

١. الشفافية: يمتاز الزجاج بشفافية صافية متجانسة، تمر من خلاله جميع الأشعة الضوئية من فوق البنفسجية إلى تحت الحمراء، كما أن للزجاج القدرة على عكس وكسر الضوء ویتراوح معامل انكسار الزجاج بين (١,٤٦٧-٢,١٧٩) ويكون معامل الانكسار في زجاج الرصاص اكبر ما يمكن.
٢. القساوة: الزجاج جسم هش سريع التحطم لا يتغير شكله عند الضغط أو الصدمة وتعرّف قساوة الزجاج بأنها قدرته على مقاومة الخدش أو الاحتكاك. وتختلف قساوة الزجاج باختلاف تركيبه حيث تعمل زيادة نسبة الجير والسيليكا على زيادة قساوته.
٣. مقاومته للمواد الكيميائية: يقاوم الزجاج بشكل عام المحاليل الكيميائية عدا حمض الفلورديريك والمصهرات القلوية التي تحل الزجاج بسهولة . ويؤثر الماء على الزجاج بعد تماسه لفترة طويلة جدا.

تصنيع الزجاج

تتكون مصانع الزجاج من وحدات أساسية تشمل كل من: حاويات (صوامع) ضخمة لحفظ المواد الخام الأولية تتمثل في (الرمل ورماد الصودا والحجر الجيري) على شكل مساحيق جافة. أما الأفران فهي جزء أساسي من مصانع الزجاج حيث تستخدم درجات الحرارة العالية لصهر تلك المواد الأولية وتحويلها إلى سائلاً ساخناً أبيضاً اللون. ومن ثم تنقل إلى وحدات تشكيل الزجاج.



خط إنتاجي لتصنيع الزجاج المسطح

وتتمثل عمليات التصنيع في الخطوات التالية:

- (١) **عملية الخلط:** حيث تصل المواد الخام الرئيسية إلى مصنع الزجاج في عربات ومن ثم تخزن في تلك الصوامع الضخمة. وبعد وزنها تخطط آلياً بالنسب المطلوبة. ويمكن إضافة زجاج التدوير (٥ إلى ٤٠%) ليعاد تصنيعه بهدف بيئي وكذلك لتقليل كمية الحرارة المطلوبة لصهر الكمية الجديدة من المواد الخام. وبعد ذلك ينقل الخليط إلى الأفران (وحدات الانصهار) على عربات أو سيور.
- (٢) **عملية الصهر:** تصهر المواد الخام المخلوطة في وحدة الفرن والتي تحتوي على حاويات حرارية (٥ إلى ٢٠ حاوية) يمكن أن تسع كل منها ١,٤ طن أو أكثر. وتسخن هذه الحاويات بالوقود (غازات أو زيت). ويستغرق تصنيع كميات الزجاج عادة ٢٤ ساعة منتجة طن إلى ٣٥ طناً مترياً من الزجاج على شكل دفعات. أما الأفران الكبيرة المستمرة فيمكن أن تصهر ما بين ٢٥٠ و ٥٠٠ طناً مترياً يومياً من الزجاج المسطح أو الأوعية. ويستمر العمل في هذه الأفران لمدة تصل إلى خمس سنوات بدون توقف. والهدف منها تجنب الهدر في الطاقة في حال توقف الأفران. وعادة يحدد طول مدة العمل المتواصل بتآكل جدران الطوب المقاوم للحرارة المصنوع منه الفرن حيث تتآكل بفعل الحرارة العالية. وهناك نوعين من الأفران:

أ- **فرن الجفنة:** تصنع جدران حاوية هذا الفرن من الصلصال أو البلاتين. ويعيب الصلصال انصهار جزء منه أثناء صهر الزجاج، ويعتبر البلاتين أكثر تحملاً إلا أنه أغلى ثمنًا. وتبلغ سعة الفرن ٢ طن من المواد الأولية، ويستعمل لإنتاج أنواع معينة من الزجاج مثل زجاج البصريّات والزينة.

ب- **فرن الحوض:** وتصنع الحاوية من القرميد الناري ويتسع الفرن حتى ١٥٠٠ طن من المواد الخام.

(٣) **عملية تشكيل الزجاج:** تتم مرحلة تشكيل المنتج الزجاجي بعد أن يتم تبريد مصهور الزجاج ببطء للحصول على القوام المطلوب. ويجب أن تتم عملية التشكيل في أقصر وقت حيث خلالها يتحول الزجاج من عجينة إلى مادة صلب. وهناك عدة طرق رئيسة لتشكيل الزجاج ومنها: النفخ والكبس والسحب والصب. هنا نبذة مختصرة على كل منها:

١. **النفخ:** وهي طريقة تقليدية كانت تستخدم يدويا وهي فن قديم يرجع تاريخه إلى ٢,٠٠٠ سنة مضت. وما زالت تستخدم في بعض مدن الشام وفلسطين وغيرها للمصنوعات الزجاجية المزخرفة. وتتم هذه العملية بغمس أنبوب نفخ من الحديد (مجوف طوله حوالي المتر) في مصهور الزجاج الذي يتخلل جزء من الأنبوبة. ثم يبدأ أحد العمال في النفخ بلطف في الأنبوبة والذي يتشكل خلاله عجينة الزجاج وتنتفخ لتكون بداية مثل شكل الكمثري. ويستمر العامل في النفخ مع التحكم في العصر والمط والفتل والقطع حتى يعطي للزجاج الشكل الأولي. ومن ثم يقوم العامل بتسخين هذا الزجاج مرة بعد أخرى ليكون طرياً مرناً وبعدها يصاغ الزجاج الساخن في شكله النهائي المطلوب. ويتم فصل الوعاء الزجاجي المصنع بكسر طرفه من عند نهاية الأنبوبة الحديدية. كما يمكن نفخ الزجاج في قوالب حديدية سواء باليد أو بالآلات.

٢. **الكبس:** وفيه يتم صب الكتلة الزجاجية الساخنة في قالب، ثم تكبس بمكبس حتى تتجانس كتلة الزجاج في القالب. ثم تتم عملية الكبس لتصنيع الصواني وعلى شكل كتل الزجاجية مثل العدسات وطفائيات السجاير وغيرها حسب شكل القالب. ويمكن أن تتم عملية الكبس إما يدوياً أو بالآلات سواء بقالب مفرد أو مزدوج.

٣. **السحب:** هو الطريقة التي تستخدم لتشكيل الزجاج المسطح (للنوافذ وغيرها) وأنابيب الزجاج والألياف الزجاجية. وتتم هذه الطريقة عن طريق سحب صحيفة عريضة من الزجاج المنصهر في صهريج من القصدير المنصهر. ويسمى هذا الصهريج بالحمام الطافي حيث أن الزجاج يطفو على طبقة مستوية على سطح القصدير المنصهر بالغ النعومة. ويتم ضبط درجة حرارة

التسخين في حمام الطفو لتجنب أي خشونة بصهرها. وحيث أن الزجاج ينصهر في درجة حرارة أعلى من تلك التي ينصهر عندها القصدير فإنه بالإمكان نقله على القصدير المنصهر لمزيد من التبريد ومن ثم يخرج من حمام الطفو لامعا من كلا الجانبين. أما الأنابيب الزجاجية فتصنع بسحب الزجاج المنصهر لينساب حول أسطوانة دوارة (أو مخروط) يسمى قلب التشكيل. وينفخ الهواء من خلال قلب التشكيل ليشكل الزجاج على شكل أنبوبة مستمرة. أما الألياف الزجاجية فأنها تصنع عن طريق سحب الزجاج المنصهر من خلال ثقب دقيقة جداً في قاع حاوية الفرن.

٤. **الصب:** وتتضمن عملية الصب ملء قوالب بزجاج منصهر وذلك إما بصب الزجاج من مغارف وإما مباشرة من الفرن أو بصب الزجاج من قاع الفرن. ويستخدم الصب في إنتاج كتل الزجاج المستخدم في البناء المعماري وفي إنتاج زجاج الفنون وزجاج الليزر.

(٤) **عملية التلدين والتطبيع (التقسية):** وبعد عملية التشكيل تتم عملية إضافية للحفاظ على قوة الزجاج ومتانته وذلك بالتسخين (حدود ٦٠٠ م°) ثم التبريد البطيء (عادة تستغرق ٢٠ - ٨٠ دقيقة). وتتم عملية تبريد الزجاج ببطء لتجنب تشققه وتكسره وتلافي تكوّن مناطق ضعف في المنتجات الزجاجية بعد تشكيلها. وفي حال لم تتم عملية التلدين بالصورة المطلوبة فقد يتحطم الزجاج بسبب الشد الذي يسببه التبريد غير المتزن. وتتم عملية التلدين بتسخين الزجاج مرة أخرى ومن ثم تبريده بالتدريج بناء على جدولة مصممة لدرجة الحرارة والزمن. وتتم عملية التطبيع بتسخين المسطحات والأواني الزجاجية المصنعة ثم تبريد بتيارات قوية من الهواء البارد، أو يتم غمرها في زيت أو أي مواد كيميائية سائلة. ويعمل التطبيع على أن يكون الزجاج أكثر متانة من الزجاج العادي.

(٥) **الإنهاء والاختبارات:** يتم في هذه المرحلة تنظيف الأدوات الزجاجية وصلقلها وقطعها وتصنيفها كما يمكن طلائها. كذلك يتم اختبارها آنيا واستبعاد المعطوبة. وفي كل مصنع يتولى مهندسين اختبار عينات من المنتجات الزجاجية تؤخذ مباشرة من الأفران للتأكد من نوعية الزجاج وخواصه المطلوبة. كما تؤخذ عينات من المنتجات والأواني الزجاجية لاختبار حجمها وجودة متانتها وغير ذلك من خواص.

هناك نوعين رئيسيين من عبوات الزجاج المستخدمة في تغليف المواد الغذائية حسب شكل فوهة العبوة. أولها القنينات (الأوعية الزجاجية ذات الفتحات الضيقة) أما الأخرى فهي البرطمانات (الجرار) ذات الفتحات الواسعة). تشكل القنينات حوالي ٧٥% من جميع حاويات الأغذية الزجاجية في الولايات المتحدة الأمريكية كما أن حوالي ٨٥% من عبوات الزجاجية شفافة. وبصفة عامة، العبوات الزجاجية اليوم أخف وزناً ولكنها أقوى من السابقة. كما أن وزن الأوعية الزجاجية قد انخفض من ٢٥ - ٥٠% على مدى السنوات الـ ٥٠ الماضية. وذلك فإن العبوات الزجاجية ظلت قادرة على المنافسة، ولا تزال تلعب دوراً كبيراً ولكن استخدامها بدأ يقل في تعبئة وتغليف الأغذية.

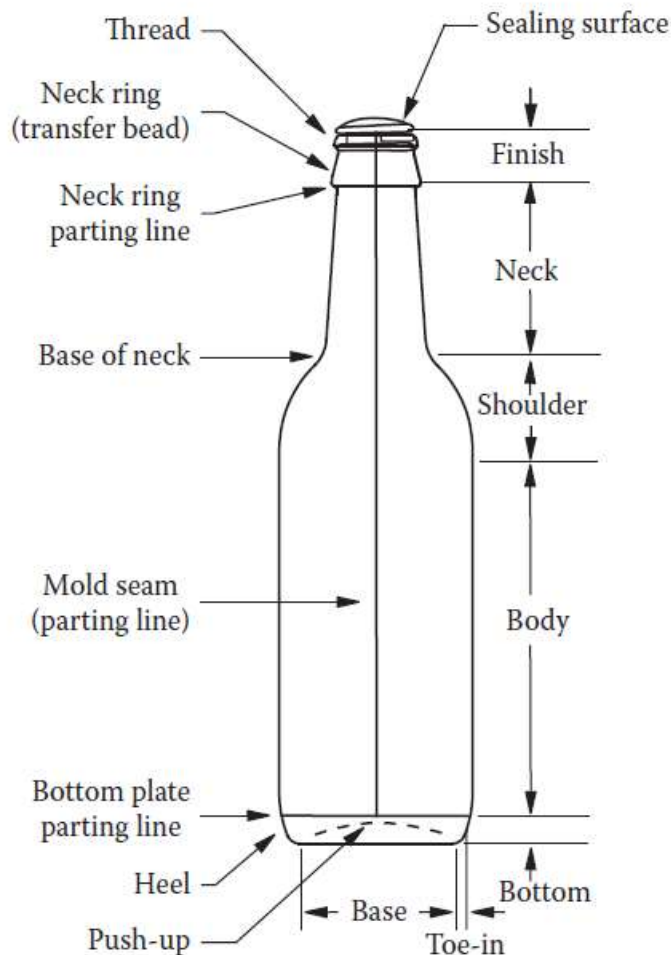


TABLE 8.1**Typical Formula for a 1 Tonne Batch of Soda-Lime Container Glass**

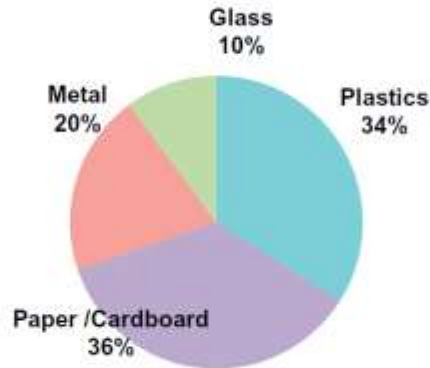
Material	Weight (kg)	Oxides Supplied (kg)					LOI ^a (kg)
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	FeO	
Sand SiO ₂	300	299.3	0.2			0.3	0.5
Soda ash Na ₂ CO ₃	100				58.3		41.7
Aragonite CaCO ₃	90			49.0		0.02	40.7
Feldspar (SiO ₂ ·Al ₂ O ₃)	40	26.4	7.6	0.4	1.3	0.03	0.1
Salt cake NaCl	4				2.1		1.9
Cullet	460	333.7	9.2	48.8	67.2	1.03	0.1
Total	994	659.4	17.0	98.2	128.9	1.95	85.0
Yield of glass	909						
Wt% oxides		72.6	1.9	10.8	14.2	0.1	

Source: Adapted from Boyd, D.C. et al., Glass, in: *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 4th edn., Kroschwitz, J. (Ed.), Vol. 12, John Wiley & Sons, New York, pp. 555–628, 1994.

^a Loss on ignition (also referred to as fusion loss).

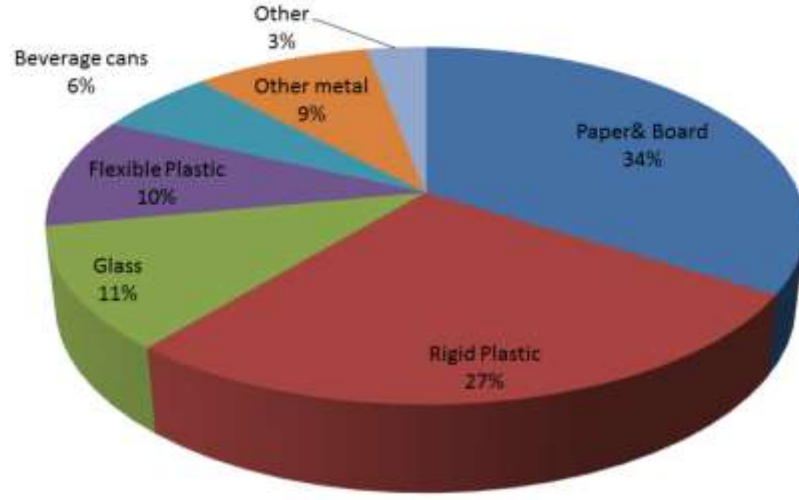
العبوات البلاستيكية وتصنيعها

انتشر استخدام الأغشية البلاستيكية بشكل واسع حتى بلغ الإنتاج العالمي من الأغشية البلاستيكية البلايين من الكيلو غرامات، وذلك منذ أن بدأت محاولة استخدام أغشية البولي إيثيلين والبولي فينيل كلورايد في تغليف الأغذية عام ١٩٣٠ م للأغذية والمشروبات. ويستخدم ٢٥% من هذه المواد البلاستيكية في التغليف - في الولايات المتحدة الأمريكية.



شكل (١). استهلاك مواد التعبئة عالميا (٢٠١٢م؟)

Market Share of Packaging Material



يستعمل في صناعة المواد البلاستيكية مركبات تسمى البوليمرات Polymers وهي تتكون من وحدات من مادة عضوية واحدة أو أكثر ذات وزن جزيئي كبير قابلة للتشكيل حسب الرغبة ويكون الكثير منها عبارة عن مركبات بتروكيماوية ، وتخلط معها مواد مضافة Additives لإكسابها خواص معينة كالمرونة والليونة ومقاومتها للكسر وشفافيتها للضوء. وهناك عدة تسميات للبلاستيك Plastics والتي تتميز بأنها إذا تم سحبها أو ضغطها بقوة فإن شكلها يتغير بسهولة، أي يمكن تشكيلها بسهولة. أما كلمة اللدائن فهي التسمية العربية لها. أما التسمية الثالثة فهي "البوليمرات" وهذا هو الاسم العلمي لللدائن أو البلاستيك، وهناك نوعان من اللدائن، اللدائن الطبيعية، مثل المطاط والصمغ الطبيعي، واللدائن المصنعة Synthetic Polymers وهي الأكثر شيوعاً واستخداماً وتصنع من النفط والغاز.

ويرجع الانتشار السريع للعبوات البلاستيكية إلى اكتشاف النفط وتطور صناعة الغاز المنتج. وتصنع معظم المنتجات البلاستيكية من الغاز المستخرج من الأرض غالباً مصاحباً للنفط.

وهذا العرض من أفضل ما أنتج من توضيح لتحويل الغاز الطبيعي إلى بلاستيك بعنوان:

From Natural Gas to Plastics

<https://vimeo.com/26668944>

حيث تقوم بإنتاجه في المملكة شركة أرامكو ومن ثم تقوم شركات البتروكيماويات العملاقة مثل شركة سابق بتحويل الغاز إلى بلورات حبيبية (بوليمرات) عبر عمليات معقدة من التكثيف ودرجة الحرارة العالية.

تتكون "البوليمرات" من مواد هيدروكربونية ذرات الكربون وذرات الهيدروجين مضافاً إليها بعض المواد الأخرى مثل النتروجين والأكسجين والكلور. هذه المواد تتكون من وحدة أساسية تسمى المونيمر Monomer أو الجزء الصغير. وعندما تترايط أعداد كبيرة جداً قد تصل إلى عشرات أو مئات الآلاف من هذه الأجزاء الصغيرة يتكون جزء البوليمر Polymer. يتم تشكيل المواد البلاستيكية التي توجد عادة على شكل حبيبات أو مساحيق أو قشور بإجراء بعض العمليات كالتسخين والضغط والصب وغيرها. وفي النهاية تقوم مصانع البلاستيك بتحويل هذه الحبيبات البلاستيكية إلى عبوات في شكلها النهائي عبر عدة طرق تصنيعية مثل القولبة والنفخ والبتق والي تستخدم فيها الحرارة والقولبة.

خصائص الأغشية البلاستيكية:

تتميز العبوات البلاستيكية -بشكل عام بالتالي:

١. أخف وزناً مقارنة بالزجاج والمعدن: متوسط ١ جم/سم^٣ بينما ٨ للحديد و٧,٢ للألمنيوم و ٣ للزجاج.
٢. سهولة تشكيلها: وهي متوسطة الصلابة. ويمكن زيادة صلابتها بواسطة المواد المضافة المحسنة.
٣. محدودة التآكل وخاملة كيميائياً.
٤. شفافية بعض أنواعها للضوء فيمكن رؤية محتويات العبوات المصنوعة منها.
٥. إمكانية الغلق: عند درجات حرارة عالية تتراوح ما بين ٨٥ - ٢٢٠ م يمكن تليين طبقتين من مواد البلاستيك المتشابهة وإصاقهما ليكون بالإمكان إحكام غلق العبوات - بدون مواد إضافية.
٦. انخفاض كلفة إنتاجها وبالتالي رخص ثمنها.
٧. إمكانية صناعة العديد من أنواع البلاستيك باختلاف ما يدخل في صناعته من مواد مضافة.

ولكن من سلبيات المواد البلاستيكية مقارنة بالعبوات المعدنية والزجاجية:

١. نفاذيتها لبخار الماء والغازات. وتختلف درجة إنفاذيتها حسب أنواعها.
٢. تشقق بعضها خاصة عند تعرضها لمواد معينة مثل بعض الزيوت الطيارة.
٣. ضعف مقاومة البلاستيك الميكانيكية عند وجود أحمال
٤. محدودية مقاومة الحرارة العالية.

٥. النقاط الغبار

٦. إمكانية انتقال بعض وحدات بناء جزيئات اللدائن أو المواد المضافة المستخدمة في صناعتها لإكسابها خواص معينة إلى الأغذية المحفوظة فيها.

ولقد أمكن التغلب على كثير من هذه العقبات عن طريق خلطها بمواد أخرى معينة مثل مزج البولي إيثيلين بالليف الزجاجي لاستخدامها كأطباق أغذية يتم تسخينها في الأفران.

تصنيف المواد البلاستيكية

يتوفر في الأسواق العشرات من البوليمرات المستخدمة في صناعة البلاستيك يمكن تصنيفها إلى مجموعتين رئيسيتين هما :

أ. **لدائن حرارية** : Thermoplastics وهي نوع من البلاستيك يكون صلبا على درجة الحرارة العادية , ويمكن إذابته وإعادة تصنيعه, وتشمل الأكريليك والنايلون وعديد الإيثيلين وعديد البروبلين وعديد الستايرين Polystyrene وعديد الإستر وعديد كلور الفينيل (P.V.C) وعديد ميثايل ميثا أكريلات وأكريلونتريل Acrylonitrile وثنائي فينولات Biphenols وغيرها.

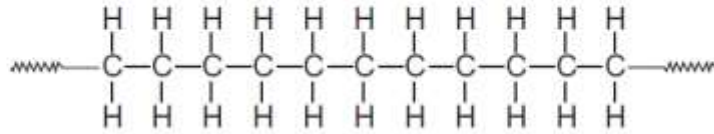
ب. **لدائن صلبة حرارياً** : Thermosetting plastics وهي نوع من البلاستيك لا ينصهر بالحرارة , فلا يمكن إعادة تشكيله مثل ميلامين فورمالدهيد وفينول فورمالدهيد ويوريا فورمالدهيد

أنواع البلاستيك المستخدمة في الأغذية:

تتنوع المواد البلاستيكية (اللدائن) المستخدمة في صناعة عبوات المواد الغذائية والدوائية إما لوحدها أو مع غيرها من المركبات, وأهمها:

١. **عديد الإيثيلين (البولي إيثيلين) منخفض الكثافة (L.D.P.E):** وهو مكون من ١٠,٠٠٠ إلى ٥٠,٠٠٠ جزء من الإيثيلين $CH_2=CH_2$ مترابطة وذات تفرعات كثيرة. يستعمل في تحضير معظم الأكياس المستخدمة في تعبئة الأغذية الساخنة وهو يلتصق بالحرارة, عديد الإيثيلين منخفض الكثافة جيد التوصيل للكهرباء عالي المرونة, ويتأثر بالمذيبات العضوية , ودرجة انصهاره ١١٠ مئوية ويستعمل في صناعة الصفائح البلاستيكية الرقيقة الشفافة للتغليف , وما يسميه العامة أحد أنواع الأكياس البلاستيكية.

Polyethylene (PE)



٢. عديد الإيثيلين (بولي إيثيلين) عالي الكثافة (H.D.P.E) : وهو مكون من ٢٠٠,٠٠٠ إلى ٥٠٠,٠٠٠ جزيء من الإيثيلين $CH_2=CH_2$ مترابطة ولكن بتفرعات أقل مقارنة بمنخفض الكثافة. له نفس استخدامات النوع قليل الكثافة، وهو أكثر مرونة ومقاومة للمذيبات العضوية وأشد صلابة واحتمالا لدرجات الحرارة المرتفعة التي تصل إلى ١٢٠ مئوية ويستعمل في صناعة أدوات منزلية وأنايب وخرطوم المياه ، كما يمكن استعماله في تعبئة الأغذية التي تتعرض لدرجات حرارة التعقيم ويتميز بقدرته على عزل الرطوبة والاحتفاظ بمرونته على درجة حرارة التجميد التي تقل عن -٥ مئوية ولم تكتشف له أي أضرار صحية.

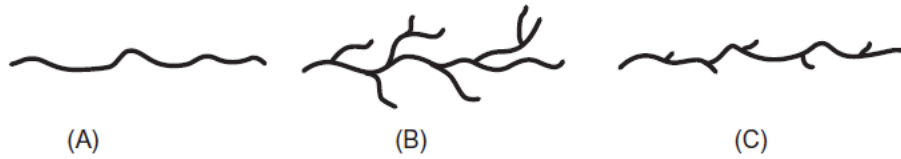
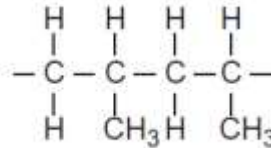


FIGURE 2.4

Structural views of polyethylene (PE): (A) high-density polyethylene (HDPE; linear PE), (B) low-density polyethylene (LDP; branched PE), and (C) linear low-density polyethylene (LLDPE; slightly branched PE).

٣. عديد البروبيلين (بولي بروبلين) P.P : وهو مكون من جزيئات البروبيلين $CH_3=CH-CH_2$ المترابطة. وهو أكثر صلابة وتحملًا وشفافية من عديد الإيثيلين عديد البروبيلين (p.p) وتكون مرونته وصلابته أعلى من عديد الإيثيلين وله نفس استخدامات عديد الإيثيلين.

Polypropylene (PP)

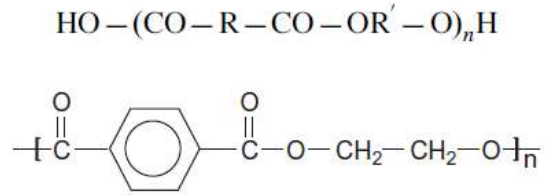


٤. عديد الإيثيلين تيرافثاللات (PET): وهو مقاوم لدرجات الحرارة المرتفعة حتى ٣٠٠ م ، ويتميز بمحدودية نفاذية للرطوبة والغازات ولونه شفاف ويقاوم بشكل جيد المذيبات العضوية ويستعمل في تعبئة المياه

الصحية والدواجن المذبوحة المبردة والمجمدة وغيرها، وتفضل بعض مصانع تعبئة المياه الصحية استخدامه عوضاً عن بلاستيك عديد كلور الفينائل.

Polyester

Polyester packaging plastics are very often used for rigid plastic packaging. Polyester offers reasonably good gas and water vapor barrier properties and proper stiffness and strengths for solid container systems. Its general structural formula is



A variety of plastic polymers fall into this group, such as polyethylene terephthalate (PET), polyethylene naphthalate (PEN), and other copolyesters such as glycol-modified PET (PETG). These are often mixed together to deliver specific properties or to reduce costs. Like other polymers, the barrier properties of polyester can be improved by coating it with copolymers such as LDPE or polyvinylidene chloride (PVDC).

٥. **عديد كلوريد الفينيل P.V.C.** : وهو مكون من جزيئات من كلوريد الفينيل $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ (به ذرة كلور واحدة بديلة عن الهيدروجين مقارنة بالإيثيلين) المترابطة. وهو جيد الالتصاق ولا يتأثر بالدهون والزيوت ويستخدم في صناعة الحاويات والصفائح و القوارير والأنابيب. وهو شديد المقاومة لنفاذ الرطوبة ويستعمل في صناعة عبوات الأغذية الجاهزة للطعام التي تؤكل بعد تسخينها أو عليها ready to use foods، وينتشر استعمال النوع الصلب منه في عمل عبوات زيوت الطبخ ومياه الشرب وعصائر الفواكه المركزة والزيتون المخلل وأغذية أخرى لأنه يمتاز بشدة مقاومته للدهون والزيوت وعدم نفاذيته للرطوبة والغازات. إلا أن استخدامه في العبوات الملائمة للغذاء بدأ يقل نتيجة لبعض الدراسات التي تشكك في ملائمته للغذاء لهجرة بعض مكوناته للغذاء.
٦. **السايران**: وهو مشابه لعدد كلوريد الفينيل ولكن يزيد بذرة كلور أخرى.
٧. **عديد الستايرين (P.S)** : وهو نوع من البلاستيك شديد المقاومة للصدمات والكيماويات والظروف الجوية ويتصف بالشفافية في لونه وصلابته ، ويستخدم في صناعة الأدوات المنزلية ورضاعات الأطفال وفي عبوات بعض المواد الغذائية كالألبان.
٨. **عديد الإستر (P.E.S)** : مقاوم للحرارة واللهب والمواد الكيماوية وجيد التوصيل للكهرباء ، ويستخدم في صناعة الألياف والأقمشة وعبوات مياه الشرب.

٩. ميلامين فورمالدهيد: وهي لا تتصهر بالحرارة , فلا يمكن إعادة تشكيلها , وتستعمل في صناعة أطباق الطعام والصواني وغيرهما المشهورة بالميلامين.

كما ينتشر استخدام البلاستيك مع مواد أخرى في صناعة العبوات الغذائية والدوائية مثل رقائق الألمنيوم المكسو بعديد الإيثيلين والسيلوفان المبطن بعديد الإيثيلين وعديد البروبيلين المبطن بالألمنيوم وغيرها. وهناك العديد من الاختيارات والمواصفات للعبوات البلاستيكية المتطلبة في بعض التطبيقات، ومنها:

- الصلابة: Stiffness - الشفافية: Clarity - المقاومة عند التعبئة والنقل
- تحمل درجات الحرارة: سواء عند درجات الحرارة المرتفعة أو عند التجميد.
- نفاذية بخار الماء - نفاذية الغازات - نفاذية المحاليل
- المضافات. - الهجرة: - المقاومة الكيميائية
- قوة الشد - قوة القص - قوة الاختراق
- التمدد والانكماش - عدد ونوع الجزيئات المترابطة
- التكلفة: Cost

وتستمر الجهود العلمية في مجالات تطوير مثل هذه الأنواع من اللدائن كي تطول فترة تخزين المشروبات الغازية وغيرها في عبواتها، مثل:

- من متطلبات العبوات البلاستيكية المخصصة للتعقيم الحراري أن تكون متحملة للحرارة، مقاومة للتحلل الكيميائي والأشعة فوق البنفسجية، عازلة للغازات وبخار الماء، المتانة والقوة، عديمة التفاعل مع الأغذية المعبأة وغير منفذة للضوء.
- لقد نجح العلماء في إنتاج مواد بلاستيكية جديدة (تباع في الأسواق) ذات مواصفات تتفوق على سابقتها بقلة معدل نفاذيتها للغازات وارتفاع ثباتها الحراري عند تعرضها لدرجات حرارة مرتفعة وتقاوم الكثير من الكيماويات كالأحماض والقلويات وسواها وانخفاض معدل هجرة وحداتها البنائية منها إلى الأغذية.
- كما تمكنوا من تطوير إنتاج مواد بلاستيكية جديدة تحتوي من مواد مضافة أكثر أمانا لصحة الإنسان لاستخدامها في إنتاج عبوات ومواد تغليف للأغذية والأدوية.
- كما نجح إنتاج مركب عديد كلور الفينيل P.V.C جديد تقل نسبة المتسرب من المادة الأحادية الحرة Monomer منه إلى الأغذية،

- وأمكن زيادة درجة الثبات الحراري لبعض أنواع البلاستيك الحراري حتى تتحمل درجات حرارة التسخين لاستعماله في إنتاج قوارير مقاومة للحرارة المرتفعة
- كما يباع في الأسواق بلاستيك من نوع عديد الإيثيلين نفثانات (P.E.N.) له ثبات جيد لدرجات الحرارة المرتفعة وتقل نفاذيته للغازات،
- ووفر إنتاج أنواع البلاستيك المحسنة استبعاد الأخطار الصحية التي صاحبت قديماً استخدام بعض أنواعه ،
- ويتوفر في الأسواق أنواع جديدة من اللدائن تتضاءل بشكل كبير نفاذيتها للهواء والرطوبة لاستخدامها في تعبئة الأغذية والأدوية حتى تطول فترة حفظها.

مواصفات المواد البلاستيكية:

(١) **الخواص الطبيعية:** Physical properties وتشمل: الكثافة والمستخدم لتقدير كميات الأغلفة البلاستيكية وكذلك كدليل لنفاذية الأغشية لبخار الماء والغازات.

(٢) **الخواص الميكانيكية:** Mechanical properties وتشمل: القوة والصلابة المتأثرة بأحمال الشد والرص، مقاومة الصدمات، والقابلية للتمدد عند التصنيع والاستخدام. وأيضاً الخصائص الميكانيكية المعتمدة على الزمن من حيث تغير سلوك المادة عند تعرضها لحمل معين و معدل التغير مع الزمن.

(٣) **الخواص الكيميائية:** Chemical properties وتعبر عن قدرة المادة على مقاومة هجوم مواد كيميائية. وتؤثر على هذه المقاومة ظروف أخرى مثل: درجة الحرارة، الرطوبة، الجهد الميكانيكي، شدة الإضاءة والإشعاع، ومدة وكيفية التعرض لهذه العوامل. ويختلف تأثير المواد الكيميائية من محدود جداً إلى الانتفاخ بسبب الامتصاص، وإلى تأثير كبير يؤدي إلى انهيار مادة البلاستيك. معظم الأغشية البلاستيكية لا تتأثر بمحتويات المواد الغذائية. إلى أن بعض الأغشية تستطيع امتصاص جزءاً من المكونات الغذائية.

(٤) **الخواص البصرية (الضوئية):** Optical properties نفاذية الضوء عبر مواد التغليف يؤثر على جودة الأغذية حيث يساعد على تسريع بعض التفاعلات السلبية والتي تؤثر على مظهر ووظيفة العبوة.

وبالتالي يتم استخدام بعض الإضافات لحجب الضوء خاصة لبعض الإشعاع المضر مثل الأشعة فوق البنفسجية.

(٥) **الاستمرارية: Permanence** وتعتبر عن تأثير الزمن على عمر البلاستيك -عند عدم وجود أحمال ميكانيكية خارجية. يترتب على ذلك -في الغالب-: التشوه والانكماش، وفي بعض الأحيان انهيار ميكانيكي.

(٦) **خواص الانتقال: Transport properties** : ومنها مكونات الأغذية، الغازات، الماء وبخار الماء، ومكونات العبوة معرضة للهجرة إلى داخل أو خارج العبوة. كذلك مكونات الهواء والبيئة قد تدخل العبوة المنفذة وتسبب الضرر للمواد الغذائية المعلبة. وهي من الخواص المهمة جداً خاصة للعبوات البلاستيكية والتي يجب العناية بها ودراستها لكل نوع من الأغشية. النفاذية تعبر عن انتقال الكتلة عبر غشاء العبوة حسب:

$$P = Q \times x / A \Delta p t$$

حيث

P تعبر عن انتقال كمية Q من النادة عبر غشاء بسُمك x ومساحة A خلال زمن t عند وجود القوة الدافعة (المحركة) Δp .

(٧) **صفات السطح: Surface characteristic** حيث تزيد النفاذية بزيادة مساحة السطح الداخلية المتصلة بالأغذية. خصائص انزلاق السطح الخارجية تؤثر على تداول العبوات. كذلك خصائص السطح تؤثر على طباعة أو لصق البيانات على سطح العبوة.

(٨) **السلوك الحراري**: وذلك عند تعرض العبوات لظروف التجمد (مثل عبوات الدواجن) إلى درجات عالية قرب نقطة الذوبان لبعض الأغشية البلاستيكية المعقمة ولفترات محدودة وحتى العمر التخزيني. ذلك تبرز أهمية دراسة الجهد الحراري المسبب للتشوه وعلاقته بكل من الزمن ودرجة الحرارة والرطوبة، والجهد الميكانيكي عند نقاط التوزيع المختلفة وحتى استخدامه من قبل المستهلك.

Table 2.4 General Properties of Plastic Polymer Used for Food Packaging Systems

Plastic	Thermal Properties				Strength		Density (g/cm ³)
	T _m ^a (°C)	T _g ^b (°C)	HDT ^c (°C)	CTE ^d (ppm/°C)	Tensile (K psi)	Compressive (K psi)	
LDPE	98–115	–25	40–44	100–220	1.2–4.6	—	0.910–0.940
LLDPE	122–124	—	—	—	1.9–4.0	—	0.916–0.940
HDPE	130	—	79	59	3.2	2.7	0.940–0.970
PMMA	—	85	79	50	7.0	10.5	1.17
PP	168–175	–20	107–121	81–100	4.5–6.0	5.5–8.0	0.89–0.92
PS	—	74–105	68–96	50–83	5.2–7.5	12.0–13.0	1.04–1.05
PVC	—	75–105	57–82	50–100	5.9–7.5	8.0–13.0	1.3–1.58
PVDC	172	–15	54–66	190	3.5–5.0	2.0–2.7	1.65–1.72
Polyamide	—	310–365	277–360	45–56	10.5–17.1	30.0–40.0	1.36–1.43
PET	245	73	21	65	7.0	11.0	1.29

^aMelting temperature.
^bGlass transition temperature.
^cHeat deformation temperature under a 66-psi load.
^dCoefficient of linear thermal expansion.

ومن أشكال العبوات البلاستيكية الشائعة: قنينات (قوارير)، جرة (مرطبان)، علب اسطوانية، أنابيب، عبوات ورقية، صناديق، أطباق، أكياس حرارية، أنابيب انضغاطية، ملصقات، أغشية تغليف، قفل بالانكماش، أغشية أغذية الميكرويف.

طرق تصنيع العبوات البلاستيكية:

من أهم طرق التصنيع والتشكيل للعبوات البلاستيكية ما يلي:

١. **الضغط**: يتم التشكيل بالضغط (PRESSURE Molding) بوضع المواد البلاستيكية المراد تشكيلها في الجزء السفلي من القالب الذي يكون ثابتاً ثم يتحرك الجزء العلوي من القالب مع الضاغطة إلى أسفل ويقفل القالب ، وتحت تأثير الضغط ودرجة الحرارة تتصلب المادة ويأتي ذلك تحرك الضاغطة إلى أعلى فيفتح القالب وتخرج القطعة في حالتها النهائية وبالشكل المطلوب. وتعد طريقة التشكيل بالضغط من أقدم طرق التشكيل ويعتمد مقدار الحرارة والضغط المطلوبين للتشكيل على طبيعة المادة المراد تشكيلها وعادة تصل درجة الحرارة إلى ١٥٠°م بينما يتراوح الضغط من ٦٠ إلى ٢٠٠ ضغط جوي . وتخضع المادة المشكولة إلى عمليات تشطيب للتخلص من بعض المواد الزوائد البسيطة للمحافظة على شكل المنتج النهائي .

٢. **الحقن** : يتم التشكيل بالحقن (INJECTION Molding) بإدخال المادة البلاستيكية المراد تشكيلها في اسطوانة ساخنة تتحول فيها المادة إلى مادة لدنة (سائله) تحقن بواسطة الكبس داخل القالب الذي يبرد خلال عملية الحقن فتبرد وتأخذ شكل القالب وتخرج في الشكل المطلوب .

٣. **النفخ :** (Blow Molding) : تتم بتسخين المادة ودفعها إلى داخل القالب بواسطة تيار قوي من الهواء بحيث تنتشر المادة البلاستيكية بصورة متساوية على الجدار الداخلي للقالب وتأخذ شكله يلي ذلك فتح القالب ورمى القنينة أو الحاوية المصنوعة إلى خارجه ومن أهم المواد البلاستيكية الناتجة عن استخدام هذه الطريقة القناني ، البراميل ، ألعاب الأطفال ، أدوات حفظ السوائل ، قطع توزيع الهواء في السيارة وغيرها.

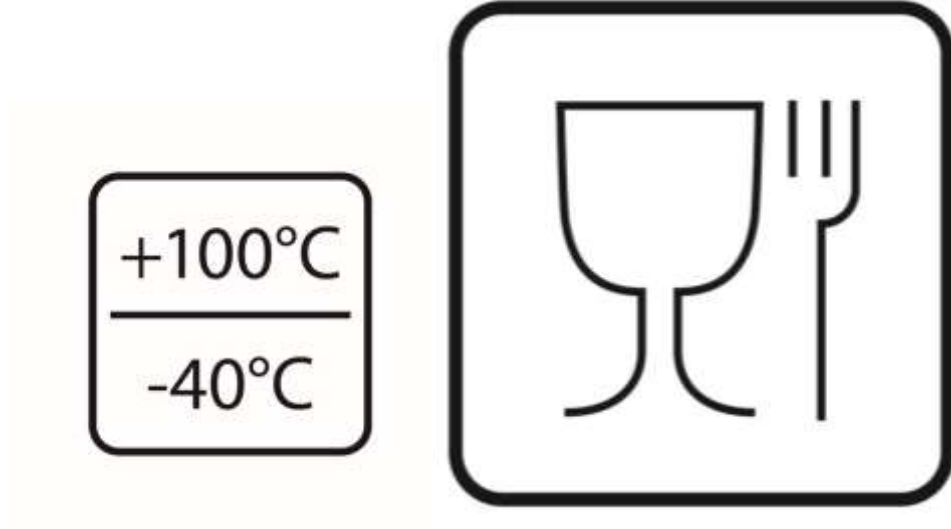
٤. **البثق :** يستخدم التشكيل بالبثق (Extrusion Molding) لتصنيع المواد البلاستيكية المتصلدة (TP) وذلك عن طريق العجن اللولبي والتلدين بالحرارة المستمرة في اسطوانة تحتوي لولباً يدور فيدفع العجينة المدنة للأمام نحو فوهة الخروج الموجودة في نهاية اسطوانة البثق . وتساعد فتحات البثق المركبة على الفوهة على إنتاج مجموعة لا نهاية من أشكال المقاطع المنبثقة المستمرة الطول والتي تقطع حسب الطول المرغوب فيه . ومن أهم منتجات هذه الطريقة : أنابيب المياه ، المواسير الرقيقة اللينة ، الصفائح الملفوفة ، رقائق التغليف ، الأغشية العازلة للحرارة والرطوبة وغيرها .

٥. **السكب (القولبة) :** يتم التشكيل بالسكب عن طريق صب المواد البلاستيكية السائلة في قالب للحصول على منتج معين بالشكل المطلوب .

٦. **التلييف :** تستخدم القولبة بالتلييف لتحويل المادة البلاستيكية إلى ألياف عن طريق تسخينها وتحويلها إلى مادة لدنة وضغطها خلال منخل ذي ثقوب صغيرة جداً فتخرج المادة من المنخل على شكل ألياف وتبرد ثم تلف بواسطة اسطوانة متحركة. ومن أهم منتجات التشكيل بالتلييف ألياف : النايلون ، البوليستر ، الاكريلونتريل ، بولي رباعي فلوروايثيلين .

بعض الجوانب الصحية والبيئية للعبوات البلاستيكية:

شروط العبوات الملامسة للأغذية:



جدول (١). رموز واستخدامات بعض العبوات البلاستيكية الشائعة في مجال التعبئة والتغليف

رمز	اسم المادة واستخداماتها
	متعدد الإيثيلين تريفثالات- يستخدم في صناعة علب المشروبات الغازية وحاويات الوجبات الجاهزة المجمدة.
	البولي إيثيلين عالي الكثافة - يستخدم لعلب الحليب وعلب الغسيل والمنظفات.
	متعدد كلورو الفينيل - يصنع منه صواني الطعام واغشية التغليف اللاصقة وعلب العصائر والمياه المعدنية وعلب الشامبو.
	متعدد إيثيلين قليل الكثافة - يستخدم في صناعة الأكياس البلاستيكية لحمل الأغراض وأكياس النفايات.
	متعدد البروبيلين- يستخدم في صناعة علب السمن الصناعي وصواني اللحوم القابلة للتسخين بالميكروايف.
	متعدد ستايرين- يستخدم في صناعة علب الزبادي واطباق اللحوم الفلينية وعبوة اللحم (البرجر) وعبوة البيض واكواب المشروبات الفلينية كذلك السكاكين والملاعق البلاستيكية وفلين حماية الاجهزة الإلكترونية من الكسر اثناء الشحن.
	أخرى -أي مواد بلاستيكية لا تندرج تحت المجموعات السالفة الذكر مثل بعض المواد التي تصنع من عدة طبقات مختلفة أو البلاستيك الحيوي مثلاً بي إل أي (PLA) بولي لاكتيك أسيد متعدد حمض اللبنيك (حمض اللاكتيك).

(٢) نفاذية الأغشية البلاستيكية لبخار الماء والغازات

من المعروف أن معظم الأغشية البلاستيكية منفذة لبخار الماء والغازات الأخرى مما يسبب انتقال قد يكون غير مرغوباً إلى داخل العبوة الغذائية. تتفاوت الأغشية البلاستيكية في نفاذيتها لبخار الماء والغازات الأخرى حسب عدد من العوامل منها:

(١) نوع المادة البلاستيكية (بولي إيثيلين أو بولي بروبيلين مثلاً)

(٢) التركيب الجزيئي ويشمل عدد الجزيئات طبيعة التفرعات والروابط بينها.

(٣) نوع وطبيعة المواد المضافة والمحسنة.

(٤) طريقة تصنيع البلاستيك

(٥) ظروف التخزين (خاصة درجة الحرارة والرطوبة النسبية).

تتأثر الإنفاذية بظروف تخزين الأغذية وكذلك بطبيعة الأغذية بالإضافة إلى طبيعة المادة المنفذة. للتحكم في المحتوى الرطوبي للأغذية، فإن نفاذية بخار الماء لمادة التعبئة يمكن أن تختار بناء على فترة الصلاحية للمنتج، المحتوى الرطوبي الابتدائي للغذاء، ومساحة السطح وسمك مادة التغليف. كذلك الحال للتحكم في تركيز الغازات الأخرى مثل الأكسجين، ثاني أكسيد الكربون، والنيتروجين ضمن بيئة الغذاء المغلفة. يمكن تقليل معدلات التنفس للفواكه والخضروات بواسطة تقليل تركيز الاوكسجين في بيئة العبوة. التركيز المنخفض للأكسجين أيضاً مطلوب لحماية الأغذية المحتوية على احماض دهنية غير مشبعة. للأغذية الجافة، التحكم في كل من الأكسجين و بخار الماء أساسي لإطالة فترة الصلاحية. لهذا الغرض يمكن إلصاق طبقتين للتحكم في الأكسجين و بخار الماء، طبقة للتحكم في الأكسجين والأخرى للتحكم في إنتقال بخار الماء. أحياناً، للتحكم في الأكسجين و بخار الماء داخل بيئة مغلفة، توضع مواد مُجففة (مجففات) أو كاسحات للأكسجين داخل العبوة لتقليل نسبة O_2 داخل العبوة. وهناك أنواع مختلفة من الأغشية يمكن إستخدامها في عبوات الأغذية. خصائص الأغشية تعتمد على عدد من العوامل مثل درجة التبلر والوزن الجزيئي، توجيه البوليمر المكاني، وجود ملدن plasticizer (ملين)، وتقنية تكوين الغشاء.

فمثلاً هيدروكربونات الفلورين لها نفاذية عالية للأوكسجين وتعتبر خاملة (inertness). من ناحية أخرى، ترايفلورو-كلورو إيثيلين trifluoro chloroethylene له نفاذية منخفضة للغازات. أما فلورايد بوليفينيل فله نفاذية متوسطة لمختلف الغازات. وهناك أغشية ذوابة للماء مثل كحول البولي فينيل polyvinyl، كولاجين collagen، وبعض مشتقات السيليلوز والمتعدد السكريات polysaccharides. تعتبر أغشية النايلون خامدة ومقاومة للحرارة. وعلى ذلك، فأغشية العبوات تتحكم في تركيزات كل من الإضاءة والأوكسجين، ثاني أكسيد الكربون، والرطوبة. كما وجود الأوكسجين يؤدي إلى أكسدة الدهون والزيوت في الأغذية وبالتالي يحدث التزنخ الأوكسيدي. كما أن مكونات أخرى مثل بعض الأحماض الأمينية، الصبغات، البروتينات، والفيتامينات أيضاً تعتبر حساسة للأوكسجين.

ويمكن التحكم وتقليل معدل تنفس في الفواكه والخضروات من خلال تقليل نسبة الأوكسجين داخل العبوات. ولكن، مع استمرار التنفس اللاهوائي لبعض الوقت فإن هذا يؤدي إلى فساد الفواكه و الخضروات. لذا يجب اختيار الغشاء البلاستيكي ذو النفاذية المناسبة للحفاظ على نسب الغازات المطلوبة (خاصة الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون) داخل العبوة لفترة التخزين المطلوبة.

كما أن إنفاذية الأغشية البلاستيكية لبخار الماء قد يسبب فساد الأغذية أو تقليل جودتها وبالتالي مدى تقبل المستهلك لها. فعندم تكون الرطوبة النسبية عالية في البيئة المحيطة بالعبوة (ظروف ساحلية) فتؤدي النفاذية العالية لبخار الماء لتلك الأغشية إلى الاكتساب الرطوبي ومن ثم احتمالية الفساد العالية. أما في الظروف الجافة (المناطق الصحراوية) فتؤدي الإنفاذية العالية إلى الفقد الرطوبي من المنتج الغذائي إلى خارج العبوة ومن ثم جفافه وبالتالي عدم تقبل المستهلك له أو إلى مشاكل تصنيعية عند التعامل مع هذا المنتج العالي الصلابة.

تتفاوت قيم الإنفاذية بشكل كبير حسب نوع الغشاء البلاستيكي بالإضافة إلى الظروف الأخرى الموضحة سابقاً. قيم الإنفاذية لبعض الغازات لعدد من أغشية العبوات معطاة في جدول (٧) بينما يعطي جدول (٨) قيم لنفاذية بخار الماء لبعض أغشية العبوات البلاستيكية والمطاط.

حسابات نفاذية بخار الماء والغازات

بخار الماء والغازات (خاصة O_2 , N_2 , CO_2) تنفذ من خلال مواد الأغلفة البلاستيكية عبر مسامات مجهرية أو بواسطة الانتشار النشط بسبب التباين في التركيز.

يمكن حساب نفاذية الغاز والبخار باستخدام قانون فيك الأول (Fick's first law) والانتشار أحادي الاتجاه:

$$J = -D_g \cdot A \cdot dC/dx$$

حيث:

J = معدل الانتشار، جزيء غرامي (مول) اثنائية ؛

A = مساحة السطح، m^2 ؛

D_g = إنتشارية الغاز، m^2 اثنائية ؛

C = تركيز الغاز، جزيء غرامي (مول) m^3 ؛

x = المسافة في اتجاه الانتشار، متر .

جدول ٧. إنفاذية بعض الأغشية البلاستيكية للغازات عند درجة حرارة الغرفة.

م	الغشاء	الإنفاذية، سم ^٣ . ميل . م ^{-٢} . يوم ^{-١} . ضغط جوي ^{-١}		
		النيتروجين	ثاني أكسيد الكربون	الأوكسجين
١	ساران	٣	٧٥	١٣
٢	نايلون ٦	٢٥	٤٠٠	١٠٠
٣	ميلار (بولستر)	٢٠	٢٦٠	٨٠
٤	تراي ثين أو كيل-ف	٤٠	١٠٠٠	١٥٠
٥	بولي إيثيلين عالي الكثافة HDPE	٧٠٠	١٠٠٠٠	٢٠٠٠
٦	بولي إيثيلين منخفض الكثافة LDPE	٣٥٠٠	٧٠٠٠٠	١٢٠٠٠
٧	مطاط طبيعي	٢٠٠٠٠	٣٥٠٠٠٠	٦٠٠٠٠
٨	مطاط سيليكوني	---	٦١٠×٦	١٠ ^٦

جدول ٨. إنفاذية الأغشية البلاستيكية وبعض مواد تعبئة الأخرى لبخار الماء عند ١٠٠° ف و ٩٥% مقابل ٠,٠ % رطوبة نسبية.

م	المادة	مدى الإنفاذية جم. ٠,٠٠١ بوصة (ميل) ٢٤ ساعة ^١ ١٠٠ بوصة ^٢ .
١	سيلوفان cellophane	١٠٠-٢٠
٢	نتروالسيلولوز-سيلوفان	٢,٠-٠,٢
٣	ساران-سيلوفان	٠,٥-٠,١
٤	بولي إيثيلين، تقليدي	١,٥-٠,٨
٥	بولي إيثيلين، ضغط منخفض	٠,٥-٠,٣
٦	ساران	٠,٥-٠,١
٧	أغشية تعتمد على كلوريد-فينيل	٨,٠-٠,٥
٨	شرائح الألمنيوم، سمكها ٠,٠٠٠٣٥ بوصة	١,٠-٠,١
٩	شرائح الألمنيوم، سمكها ٠,٠٠١٤ بوصة	٠,١>
١٠	صفائح شرائح الألمنيوم ورقية بلاستيكية	٠,١>
١١	أوراق مشمعة	١٥,٠-٠,٢
١٢	أوراق مغطاة	٥,٠-٠,٢
١٣	(بولي) ترايفلورو كلورو إيثيلين	٠,١-٠,٠١
١٤	مطاط سيليكوني	٢٠٠ >
١٥	بولي بروبيلين	٠,٤-٠,٢

بتطبيق قانون هنري (Henry's law)، حيث التركيز معطى ب

$$C = S.P$$

حيث:

$$S = \text{ذوبانية الغاز، مول/(باسكال.م}^3\text{)};$$

$$P = \text{ضغط الغاز الجزئي، باسكال.}$$

وبالتالي:

$$J = -D_g.S.A.dP/dx$$

و يعرف $D_g.S$ بمعامل الإنفاذية (B) ويعني إنفاذية الغاز عبر سمك الغشاء لكل وحدة زمن لكل وحدة مساحة سطح للعبوة ولكل وحدة فرق ضغط بين البيئة و مادة العبوة (مثلاً مول/(ثانية.باسكال.متر)).

معملياً، يمكن التعبير عن خواص إنفاذ الاغشية لبخار الماء بثلاث معادلات هي:

(١) معدل انتقال بخار الماء ،water vapor transmission rate (WVTR)

ويعبر عنه بالمعادلة التالية:

$$WVTR = 24.m_v / (t.A)$$

حيث:

m_v الكتلة المكتسبة أو المفقودة بالجرام،

t الزمن بالساعات،

A مساحة سطح الغشاء بالمتر^٢.

فتكون وحدات WVTR هي جرام بخار الماء المنتقل عبر ١ متر^٢ من مساحة غشاء خلال

٢٤ ساعة.

(٢) نفاذية بخار الماء water vapor permeance ،

ويعبر عنه بقسمة معدل بخار الماء على فرق الضغط بين جانبي الغشاء:

$$\text{Water vapor permeance} = \frac{WVTR}{\Delta p} = \frac{WVTR}{P_s(RH_1 - RH_2)}$$

حيث:

Δp فرق ضغط البخار، مل زئبق ;

P_s ضغط البخار المشبع عند ٢١° م، مل زئبق ;

RH_1 و RH_2 الرطوبة النسبية على كل جانب من عينة الغشاء.

وتكون وحدات نفاذية بخار الماء بالجرام لبخار الماء المنتقل عبر ١ متر^٢ من مساحة غشاء خلال ٢٤ ساعة عندما يكون فرق ضغط البخار ١ مل زئبق.

(٣) إنفاذية بخار الماء water vapor permeability (B)

ويعبر عنه بقسمة نفاذية بخار الماء على سمك الغشاء x:

$$\text{Water vapor permeability (B)} = \frac{\text{water vapor permeance}}{\text{film thickness, cm}}$$

وتكون وحدات الإنفاذية جرام بخار الماء النافذ عبر ١ متر^٢ من مساحة الغشاء خلال ٢٤ ساعة عندما يكون فرق ضغط البخار ١ مل زئبق و سمك الغشاء ١ سم.

تأثير درجة الحرارة والرطوبة النسبية على الإنفاذية:

تعطي معادلة ارهينيوس (Arrhenius) تأثير درجة الحرارة على معامل الإنفاذية، B في التالي:

$$B = B_o \cdot e^{-E_a/R \cdot T}$$

حيث:

$$B_o = \text{ثابت}$$

$$E_a = \text{طاقة التنشيط،}$$

$$R = \text{ثابت الغاز،}$$

$$T = \text{درجة الحرارة المطلقة.}$$

كما أن إنفاذية بخار الماء للأغشية تزيد أُسياً مع زيادة فرق الرطوبة النسبية بسبب إمتصاص الماء وإنتفاخ الأغشية (كاريل وغيره، ١٩٧٥، Karel et al.).

الرسوم البيانية في شكل (٣٩) تبين التأثير الكبير لدرجة الحرارة وكذلك نوع المادة البلاستيكية على إنفاذيتها لبخار الماء والأكسجين.

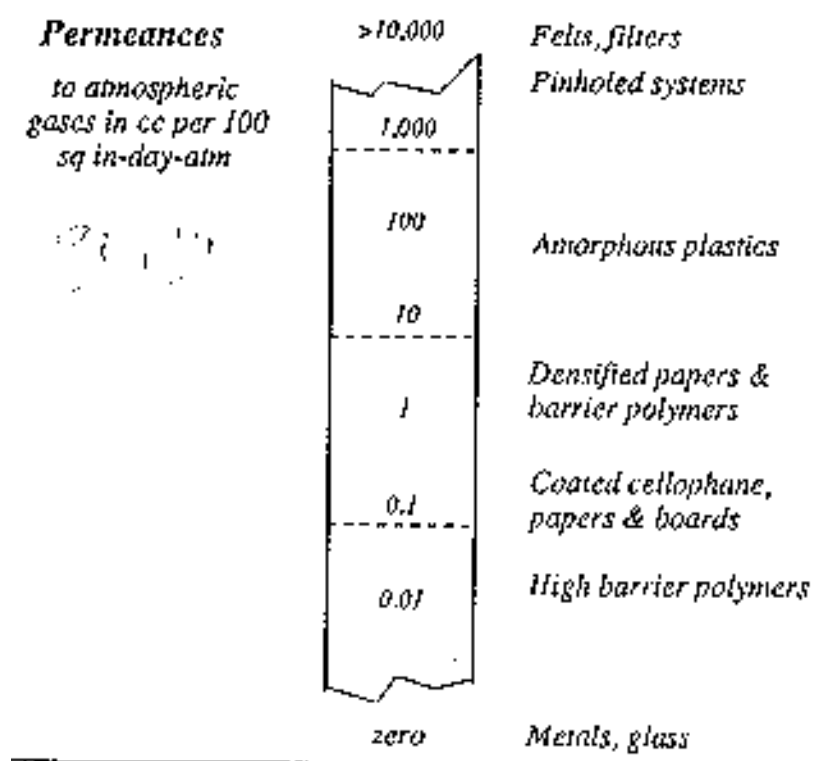


Figure 8.3 - Typical ranges of permeance for common food packaging materials. The logarithmic scale belies the zero value, of course, for metals, glass, both of which can be permeated by certain gases under extraordinary conditions.

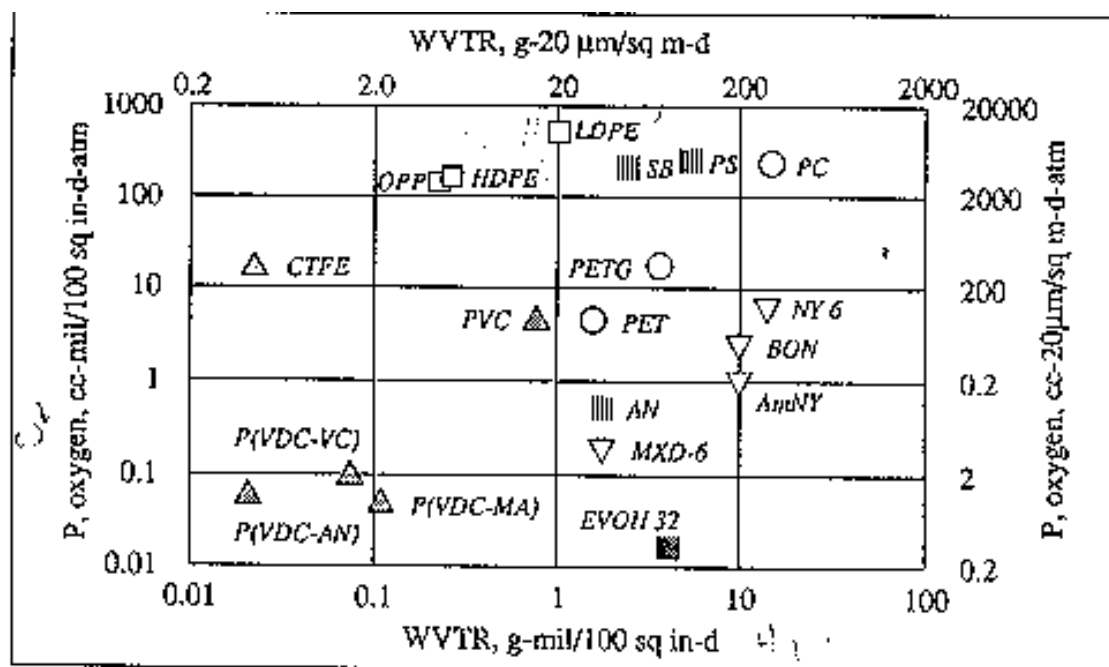


Figure 8.4 - Barrier plastics exhibit a thousand-fold range in water vapor transmission rates and more than a ten thousand-fold range in oxygen barrier. Related polymers are indicated by common symbols. WVTRs are taken at 100°F (38°C) and 90% rh; oxygen permeabilities at 73°F (23°C) and 75% rh. Data are based on manufacturers' literature.

حساب إنفاذية الأغشية متعددة الطبقات لبخار الماء والغازات على التوالي والتوازي:

أ. على التوالي: يوضح شكل (٤٠) ترتيب أغشية التعبئة المتتالية.

مشابه لمعادلات انتقال الحرارة، تحسب النفاذية الكلية (B_T) لعدة طبقات على التوالي كالتالي:

$$B_T = \frac{\Delta X_1 + \Delta X_2 + \Delta X_3}{\frac{\Delta X_1}{B_1} + \frac{\Delta X_2}{B_2} + \frac{\Delta X_3}{B_3}}$$

حيث:

x_i سمك الغشاء لطبقة i

B_i إنفاذية طبقة الغشاء i

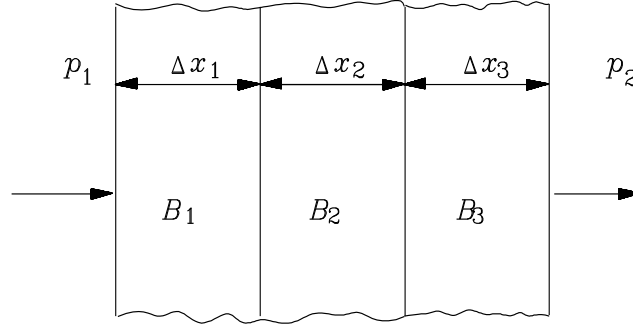
هذه المعادلة صالحة متى كانت مساحة السطح لهذه الأغشية ثابتة، ولكنها لا تنطبق على العبوات ذات الأشكال الإسطوانية و الكروية. كما أن هذه المعادلة قد لا تنطبق على المواد المطلية بطلاء من مواد أخرى مقاومة للرطوبة أو للغاز.

ب. على التوازي: يوضح شكل (٤١) ترتيب أغشية التعبئة المتوازية.

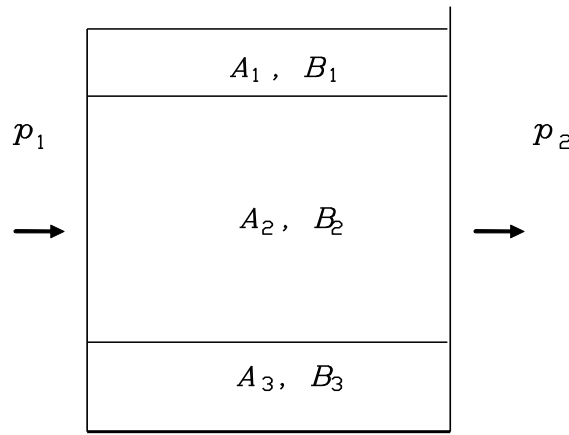
النفاذية الكلية (B_T):

$$B_T = \frac{A_1 \cdot B_1 + A_2 \cdot B_2 + A_3 \cdot B_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

حيث A مساحة كل طبقة. وهذه المعادلة تنطبق في حال ثبات سمك مواد التعبئة.



شكل 40 أغشية العبوة على التوالي

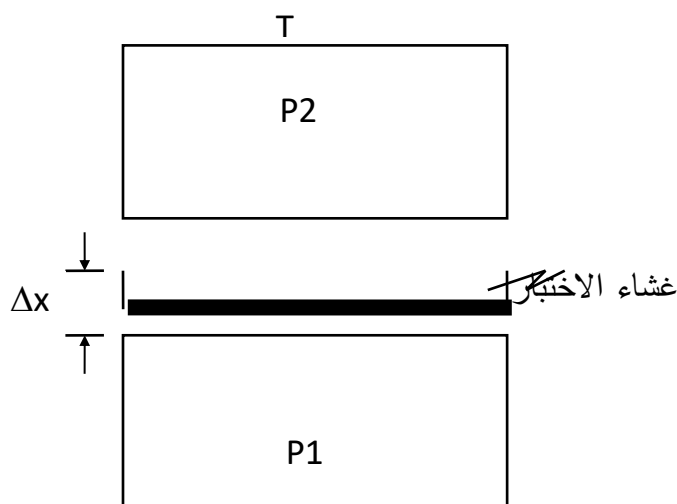


شكل 41 أغشية العبوة على التوازي

طرق قياس الإنفاذية بفرق الضغط:

لقياس إنفاذية الغاز فإن طريقة فرق الضغط هي الأسهل استخداماً. في طريقة فرق الضغط يوضع غشاء العبوة بين حيزين (شكل ٤٢)، ويتم عمل ضغط ثابت (P_1) على جانب واحد من الغشاء، وعلى الجانب الآخر يتم ملاحظة الزيادة في الضغط (P_2) بالنسبة للزمن. يعطي التغيير في P_2 لكل وحدة زمنية معامل الإنفاذية (B):

$$B = \frac{\Delta P_2}{\Delta t} \cdot \frac{V}{101,325} \cdot \frac{273}{T} \cdot \frac{\Delta X}{A}$$



$$P_1 \gg P_2, \text{ in Pa}$$

شكل (٤٢). طريقة زيادة الضغط لقياس إنفاذية الغشاء للغازات.

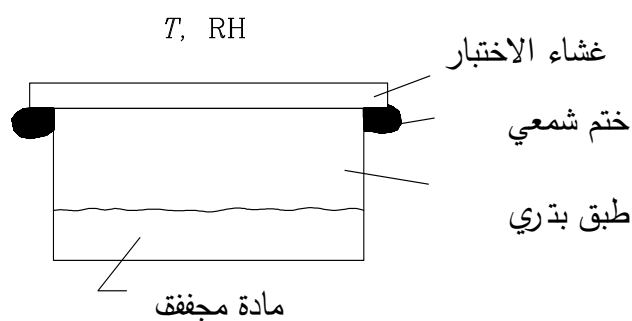
تعتبر الطرق التالية قياسية ومرجعية معتمدة (طريقة المجففات المعدلة ASTM procedure 9A وطريقة الماء المعدلة ASTM procedure 10B) المذكورة في مواصفة ASTM procedure E96-66 والمعمدة من مرجع (ASTM Book of Standards (1978).

طرق قياس إنفاذية بخار الماء بالطريقة الوزنية:

يمكن قياس إنفاذية بخار الماء إما بقياس فرق الضغط الجزئي لبخار الماء على جانبي الغشاء كما في الطريقة السابقة. كذلك يمكن قياس فرق الرطوبة النسبية بين جانبي الغشاء البلاستيكي. أما الطرق الأكثر شيوعاً والأسهل في بقياس كتلة الماء المفقودة أو المكتسبة من مواد كيميائية أو عينة غذاء. في الطريقة الأخيرة يتم وضع العينة في وعاء صغير مغطى بالغشاء البلاستيكي داخل حاوية ذات رطوبة نسبية ثابتة. وتكون العينة داخل لوعاء ذات رطوبة نسبية متوازنة (نشاط مائي $\times 100$) مختلفة عن المحيط على الأقل بـ ٥٠%. وعليه، سيتم التطرق إلى طريقتين تعتمد على وزن العينة وتحديد مقدار الفقد/الاكتساب الرطوبي خلال فترة زمنية محددة.

١ . **طريقة المجفف:** يوضع مجفف ملحي (مثل السليكا جيل تنتجه DRI-RITE) في قاع طبق بتري بقطر ١٤٠ مم (شكل ٤٣) . يتم إحكام غلق غشاء التعبئة حول فتحة الطبق، ويوضع الطبق في غرفة التحكم البيئي (رطوبة نسبية ١٠٠ % R.H. و درجة الحرارة ٢١°م). يفترض أن الرطوبة النسبية داخل الطبق ٠% . يتم وزن طبق العينة دورياً لتحديد مقدار الرطوبة المكتسبة (الممتصة).

٢ . **طريقة الماء:** يوضع ماء في قاع طبق بتري بقطر ١٤٠ مم. يتم إحكام غلق غشاء العبوة حول فتحة الطبق، و يوضع الطبق في غرفة التحكم البيئي (رطوبة نسبية ٣٠ % R.H. و درجة الحرارة ٢١°م). يفترض أن الرطوبة النسبية داخل الطبق ١٠٠% . يتم وزن طبق العينة دورياً لتحديد مقدار الرطوبة المفقودة من خلال الغشاء. حث يتم تسجيل وزن الطبق كل يوم لمدة أسبوع تقريباً.



شكل 43 طريقة المجفف لقياس إنفاذية غشاء بلاستيكي

في التجارب السابقة يتم استخدام نظام لقياس الرطوبة النسبية، درجة الحرارة، أوعية زجاجية، ميزان حساس، وغرفة تحكم بيئي.

الموضوع التالي عن سلامة البلاستيك ((للقراءة والاستفادة))

للإطلاع فقط.. (((سلامة استخدام الأغلفة البلاستيكية:)))

أثبتت النتائج العلمية والصناعية المختلفة أنه لا يمكن ولا يصح الحكم على البلاستيك بصورة عامة بالخطورة أو الأمان لأنه أنواع مختلفة ودرجة خطورته (إن وجدت) مرتبطة بالأنوع.

ومما أن يؤكد عليه هنا النوع الذي يدخل في تركيبه الكلور (البولي فينيل كلورايد) أو ما يسمى بالفنيل PVC فهو موضع الجدل الأكبر. فهذا النوع من البلاستيك اتفق على أنه أثناء تصنيعه أحياناً وإذا ما تعرض لحرارة وحرق فإنه يتسبب في وجود مشاكل بيئية وصحية خطيرة، وذلك بإنتاج مركبات ثانوية خطيرة وعالية السمية، ومن أهمها بنزين سداسي الكلور وغازات ومادة الديوكسين Dioxin ومادة الديوكسين هذه تصنف بأنها أحد أكثر الكيماويات سمية، فهي تتكون كمنتج ثانوي في صناعة الكلور بطريقة عرضية لا يمكن تجنبها، وهي مادة لها القدرة على تعطيل جهاز الغدد الصماء (المسؤولة عن إفراز الهرمونات) الخاصة بالنمو والإخصاب والتكاثر عند الإنسان فهي تعطل النمو والتكاثر، وقد تكون مسببه (بقدر من الله) لعدد من أنواع السرطان. وما تعنيه نتائج حرق PVC هو إطلاق هذه المواد الخطيرة للبيئة ومنها للإنسان والحيوان ومع تراكمها في جسم الإنسان تحدث الأعراض. أما أثناء تصنيع وإنتاج PVC فهو يصنع من الوقود الحفري وغاز الكلور القاتل ويتضمن إنتاجه نقل مواد متفجرة وبقايا سامة كما يحتاج تصنيعه إضافة عدد من المضافات تشمل معادن ثقيلة وملونات مضرّة بالصحة عند تبخرها علماً بأن PVC لا يستخدم في آنية وعبوات الطعام وكان PVC يستخدم ولفترات زمنية في تكنولوجيا التغليف ومازال يستخدم في الأنابيب والبلاط واحتياجات المستشفيات والملابس الواقية من المطر وبعض لعب الأطفال.

أما اليوم فقد توجهت مصانع البلاستيك ونظم التغليف والتعليب إلى إبعاده بصورة كبيرة من نظم التغليف وأكياس أو عبوات نقل وحفظ الأغذية والمشروبات. ورغم هذا فما تزال بعض الدول الصناعية يستخدمه إلى يومنا هذا في عبوات وأنظمة تغليف الأطعمة. أما استخداماته الأخرى في الأنابيب والبلاط وغيرها فهناك توجه جاد لدى بعض الدول للتقليص من استخدامه، فمثلاً استطاعت مصانع في ألمانيا (بيليفد) الوصول إلى نسبة إحلال (بنوع آخر بدلاً من PVC بلغت ٩٠% في مواد البناء في فترة زمنية لا تتعدى العامين فقط. أما في فيينا (النمسا) فقد استطاعوا أن يتخلصوا من PVC في وسائل النقل العامة واستطاعوا استبداله من جميع المقاعد وأدوات المستشفيات بمواد بلاستيكية أخرى. كما أوقفت شركة فولكسواجن الألمانية استخدام PVC في قطع غيار سياراتها، وفي الدنيمرك استطاعت إحدى الأسواق المركزية أن تخفض استخدام PVC في خطوط الإنتاج إلى ٩٩%.

والسؤال المهم وهو ماذا لو لم يحرق ولم يسخن PVC؟ هل هو خطر؟ ماذا لو تم تصنيع منتج محتو على PVC هل هناك خطورة من استخدامه؟ إن النظرة العلمية وللوهلة الأولى تقول طالما أننا لم نسخن أو نحرق هذا المنتج فإنه لن ينتج مواد سامة أو خطيرة. و أغلبية المتحمسين لمحاربة هذا النوع من البلاستيك تهدف إلى

الحفاظ على البيئة بل أن يؤكد خطورة هذه المادة حتى وإن لم تسخن أو تحرق! وبعيداً عن النظرات أو التهجم الذي تحمله بعض منظمات حماية البيئة المتشددة نسبياً يمكن أن يؤخذ الأمر بشيء من الإدراك الأوسع للمشكلة.

الهجرة.. وحقيقتها

لبعض منظمات صحة البيئة (المتطرفة) مثل السلام الأخضر وغيرها، نظرات في تهجمها على مادة الفينيل PVC بحجة أنه ينتقل ويهاجر (ينزح) تدريجياً من المنتجات البلاستيكية إلى الطعام أو إلى أجسامنا. ولصد مثل هذه الهجمات تقف بعض الجهات التشريعية في الحكومات موقف عدم التسرع في الهجوم أو تحريم أو منع مثل هذه المنتجات بمرتكزات واهية أو دراسات هزيلة. ولتوضيح مثل هذه المواقف لابد من التأكيد بأن الجهات التشريعية للحكومات مثل الحكومة الأمريكية تأخذ مثل هذه الأمور بجدية وتحرر علمي قبل اتخاذ قراراتها، فعلى سبيل المثال الموقف من ألعاب الأطفال المصنوعة من مادة الفينيل PVC والتي تصنع من هذه المادة منذ أكثر من ٥٠ سنة وكانت فتحاً علمياً لوقاية الأطفال من الألعاب المعدنية (التي تسبب حوادث الجروح والخدوش عند الأطفال في أعمارهم الأولى) وفي بداية هذه المادة (٥٠ عاماً ماضية) استبشرت مصانع ألعاب الأطفال بهذا الفتح لأنه آمن، وبعد هذه السنوات ونتيجة لفكرة هجرة PVC من البلاستيك إلى جسم الطفل طالبت تلك المنظمات بأن تمتع المصانع من صناعة ألعاب الأطفال بهذه المادة، مما دفع باللجنة الاستشارية للعلوم والصحة الأمريكية (ACSH) إلى تشكيل لجنة مكونة من ١٧ عالماً لدراسة المشكلة بجميع جوانبها وحقيقة ما يثار عن مادة الفينيل الموجودة في ألعاب الأطفال، و خرج تقرير اللجنة في واشنطن في 24/6/1999 م بتوصية تقول بأنه إذا استمر الطفل يمص ويلعق اللعبة المصنوعة من PVC لمدة عشر سنوات متصلة يومياً فإنه سيصل بعدها إلى مستوى يمكن أن يطلق عليه «لا تأثير». وإذا انتفى أمر الخطورة من PVC وهجرته للجسم تبقى قضية البيئة! كم النسبة؟

إن من أكثر ما يثير «البلبل» في أذهان الناس حول خطورة أي منتج أو مادة كيميائية هي إطلاق جوانب الخطورة عن هذه المادة دون تحقيق أمرين أساسيين: الأول: هو في أي حالة تكون هذه المادة خطرة أو سامة؟ الثاني: كم هي الكمية أو النسبة التي تسبب التسمم أو الخطورة من هذه المادة؟ وما أمر مادة PVC البلاستيكية إلا نموذج لهذا الأمر، فمادة الفينيل PVC خطيرة إذا سخنت أو احترقت، فكم النسبة التي يمكن أن تحدث الخطورة أو التسمم إذا تراكمت في الجسم بعض منتجاتها الثانوية، ثم إذا لم تحرق فهل تعتبر النسبة التي تهاجر أو تنزح منها لجسم الإنسان كافية لإحداث الخطورة والتسمم؟

البلاستيك مادة DEHA : يحوي بعض أنواع البلاستيك المستخدم لتغليف الأغذية مادة تساعد على طراوته وعلى سهولة طيّه وتثبيتته عند تغطية الأغذية به بهدف جعل الأغذية بصورة طازجة. هذه المادة تسمى DEHA (adipate(hexyl 1ethy-2)Di) وأثير جدل حول خطورة هذه المادة وأنها تهاجر (تنزح) من البلاستيك إلى الأغذية.

وعودة إلى أمر النسبة فإن التشريعات لوكالة المجموعات الأوروبية تسمح باستخدام هذه المادة على ألا تزيد نسبة وجودها في الغذاء (إذا هاجرت) عن ١٨ جزءاً في المليون. وقد أثبتت الزوبعة ضد هذه المادة نتيجة لعدد من الدراسات والتي منها الدراسة التي قام بها اتحاد المستهلكين في يونيو عام ١٩٩٨م والتي وجدت أنه من بين ١٩ عينة من جبن التشدر فإن ٧ عينات مغلفة ببلاستيك يحوي DEHA انتقلت المادة إلى داخل الجبن بنسبة 153 جزءاً في المليون (أعلى من النسبة المشروعة) كما أن هناك دراسة دينمركية تشير لمثل هذه النتيجة. مادة DEHA وحقيقة سُميتها تصنف مادة DEHA ضمن قوائم السموم ولكن أين موقعها في القوائم وكم جرعة السمية منها. فمنظمة (IARC) تضع هذه المادة ضمن القائمة رقم ٣ من السموم ويقع في هذه القائمة نفسها الشاي والقهوة. وهذه القائمة (3) لا تصنف المواد التي بها ضمن المواد التي تسبب السرطان للإنسان.، بينما تضع منظمة (F-PA) مادة DEHA ضمن مجموعة (C) وهي قائمة تصنف محتوياتها أنها تسبب السرطان للإنسان ولكن بجرعات كبيرة جداً، وقد اعتمدت هذه المنظمة في وضع مادة DEHA في القائمة على دراسات على إناث الحيوانات والتي ظهر أنها تسبب لها سرطان الكبد إذا أخذت بجرعات كبيرة. كما وجد أن هذه المادة لها تأثير على انخفاض وزن مواليد الأمهات من الحيوانات التي أخذت جرعات كبيرة من هذه المادة (الجرعة ١٠٨٠ مللجراماً لكل كيلو جراماً من الوزن في اليوم). وللمقارنة فإن هذه الجرعة تساوي حوالي ٧٥ جراماً في اليوم من مادة DEHA للإنسان. وهذا يعني أن على الإنسان أن يأكل حوالي ١٠٠٠ رطل من الجبن المغلف بهذه المادة يومياً حتى يصل إلى هذا الرقم المستحيل. وقد أبعدت منظمة EPA حالياً هذه المادة من القائمة. وتبعتها بعض المنظمات الأخرى بإزالة هذه المادة من قوائم الخطر.

يؤكد المدافعون عن مادة DEHA والرافضون لما يشاع عن سميتها بأن مثل هذه الأقوال التي تشاع عنها ما هي إلا قصص تعني تجاهل عشرات السنوات من الدراسات على الجوانب الآمنة لهذه المادة وكونها آمنة للاستخدام، وبناء على تقارير إدارة الأغذية والأدوية الأمريكية FDA ومراجعة مكثفة للدراسات حول هذا النوع من البلاستيك المحتوي على DEHA فإن إدارة الأغذية والأدوية DEHA سمحت باستخدام مادة DEHA للتغليف والتعليب لجميع أنواع الأغذية. ولكن تبقى كمية النفايات التي تحوي PVC وبالتالي DEHA وتأثيرها على البيئة. وهذه مسألة

لابد لكل بلد أو قطر أن يتخذ حيالها قراراته. أما في أمريكا فحسب إحصائية وزارة الزراعة الأمريكية فإنها تؤكد أن نفايات البلاستيك المحتوية على مادة DEHA أقل من أن تشغل البال وأن انطلاق التخوف من خطورة مادة عديد الكربونات كان بسبب دراسة يتيمة لم تنشر علمياً، كما أنه لا صحة لما يثار من خطورة مادة BPA على الحيوانات ناهيك عن تأثيرها على الإنسان. و تجمع الجهات الرسمية في كل من أمريكا وبريطانيا واليابان بأن استخدام مادة بولي كربونات (بعديد الكربونات) آمنة صحياً ولا خطر من استخدامها في حفظ الغذاء أو رضاعات الأطفال. مادة عديد الكربونات يستخدم نوع البلاستيك المسمى عديد الكربونات Polycarbonate في آنية وعبوات الطعام والشراب والكاسات والأطباق البلاستيكية وفي رضاعات الأطفال وغير ذلك، فهذه المادة آمنة حسب تشريعات الجهات الحكومية المختلفة في العالم.

ورغم ذلك ظهرت مشكلة مازال يتمسك بها بعض المتطرفين من منظمات حماية البيئة، وكانت بداية ظهور هذا التشكيك عندما نشرت إحدى المجلات الموجهة للمستهلك في أمريكا نتائج دراسة (لم تنشر في دورية علمية) قام بها رجل يسمى فردريك فان سيل (Frederic Van Sael) في جامعة ميزوري (كولومبيا) تقول الدراسة بأنه تمت تغذية ١٤ فأرة على مادة تسمى ABP (bisphenol A) وبكميات لا تتعدى ٢٠ ميكروجراماً لكل كيلو جرام من الوزن في اليوم لمدة سبعة أيام وبعد ولادة هذه الأمهات لوحظ أن ذكور الفئران المولودة حدث عندها أعراض مختلفة، منها ارتفاع في وزن البروستات وانخفاض في إنتاج الحيوانات المنوية وتأثيرات أخرى في أجهزتها التناسلية. و أطلق على هذه المادة بممزقات الهرمونات، هذه المادة تنتج من البلاستيك عديد الكربونات ويعتقد أنها تهاجر من البلاستيك للغذاء. وبعد ذلك أخذ الأمر بشيء من الحذر وقام عدد ليس قليلاً من الباحثين بإعادة لتجربة فردريك بنفس الطريقة ولكن ليس على ١٤ فأرة إنما على عدد زاد في مجملته عن ٦٠٠ فأرة، وكانت النتائج تنفي مزاعم فردريك وتكذب ما توصل إليه. ورغم نتائج هذه الدراسات إلا أن النتيجة التي طار بها الإعلام هي نتائج دراسة «فردريك» فإن مادة BPA تهاجر من أغلفة الكربونات العديدة البلاستيكية إلى الطعام وقد تسبب مشكلات صحية للإنسان. بل إن البعض حملها بمحمل أبعد من ذلك فقال وطالما أن لهذه المادة تأثيراً جنسياً شبيهاً بهرمون الاستروجين (estrogen) فقد يكون لها تأثير مسرطن، ومما هو مؤكد أن مثل هذه الاستنتاجات لا يسندها أي دليل علمي أو دراسة على الحيوانات تثبت أن هذه المادة تسبب السرطان.

حقيقة الهجرة وقبل الحكم على مادة BPA وتأثيرها على الصحة، ما هي حقيقة هجرتها (نزوحها) ابتداءً من رضاعات الأطفال أو أغلفة وعبوات البلاستيك، (من نوع الكربونات العديدة) إلى الطعام؟ لقد قامت كل من إدارة الأغذية والأدوية الأمريكية، ووزارة الزراعة البريطانية وشركة فيشرز عام 1997م بثلاث دراسات لملاحظة

حقيقة الهجرة لهذه المادة من رضاعات الأطفال إلى المادة الغذائية الموجودة بها (سواءً بحليب أو بعصير برتقال أو ماء) وأهم ما جاء من نتائج في هذه الدراسات هو أنه قد تحدث هجرة بسيطة حسب المادة الغذائية تتراوح بين ١,٢ جزء من البليون إلى ١٠٠ جزء في البليون وأنه من الغسل المتكرر في غسالة الصحون لم تلاحظ هجرة للمادة من البلاستيك.

والنتيجة ؟..

مما هو متوفر من معلومات فإن مادة عديدة الكربونات البلاستيكية (Poly Carbonate) آمنة الاستخدام في تغليف أو تغليب الأغذية ولا صحة لخطورة المادة المهاجرة بنسبة بسيطة جداً (لا تكاد تذكر هذا إذا هاجرت أصلاً) المادة BPA منها إلى الطعام. ويدعم مثل هذا الاستنتاج ما أكدت كل من إدارة الأغذية والأدوية الأمريكية FDA واللجنة الأوروبية بالتأكيد على أنه لا يوجد أي خطورة من استخدام هذا النوع من البلاستيك في كاسات أو أطباق أو عبوات الطعام أو رضاعات الأطفال بل وأكدت هذه الجهات بأن هجرة مادة BPA للطعام لا تحدث في الظروف العادية. (((