الباب السادس

تطبيقات تكنولوجيا النانو
فى مواد التعبئة وعبوات المواد الغذائية

obeikandl.com

obeikandl.com

الباب السادس

تطبيقات تكنولوجيا النانو

فى مواد التعبئة وعبوات المواد الغذائية

مقدمة

تمثل العبوات وتعبئة المواد الغذائية أحد المجالات التي خطت فيها تكنولوجيا النانو خطوات واسعة بل وأصبح البعض منها مطبقا صناعيا علي نطاق واسع. قدرت بعض الدراسات أن عدد منتجات التعبئة التي يدخل فيها مواد نانو يصل الي ٣٠٠-٤٠٠ منتج حاليا وأن حجم مبيعات مواد التعبئة المعتمدة علي تكنولوجيا النانو وصل الي ٦٦ مليون دولار عام ٢٠٠٣ بمعدل زيادة سنوية ٤٠% وهو ما يدل علي سرعة إستيعاب صناعة مواد التعبئة والتغليف للتطبيقات في مجال تكنولوجيا النانو.

وقبل أن نتناول تلك التطبيقات يحسن أن نعطي نبذة عن دور التعبئة في التصنيع الغذائي بصفة عامة وأهمية المستجدات في هذا المجال. فمن الناحية التاريخية فان دور العبوات في التصنيع الغذائي ينقسم الي أربع أدوار هي:

١- حماية المنتج protection وهو الدور الرئيسي للعبوة حيث تحمي العبوة المنتج من التلف بفعل العوامل الخارجية المحيطة.

٢- نقل المعلومة communication الي المستهلك حيث تعمل العبوة كأداة تسويقية بجذب المستهلك وتعريفة بالمنتج المعبأ.

٣- التيسير والراحة convenience حيث توفر للمستهلك سهولة الاستخدام وتداول المادة الغذائية المصنعة بما تقدمه من مختلف الأحجام والأشكال للمنتج الواحد بما يتلائم مع احتياجات المستهلك.

٤- التلويث contamination كأثر سلبي للعبوة علي المنتج بما يمكن أن ينتقل من مواد العبوة الي المنتج والذي تحرص صناعة مواد التعبئة والعبوات علي منعه أو الاقلال منه بحيث لا يؤثر علي صلاحية المنتج أو سلامته.

علي أن هذه الادوار متداخلة ولا يمكن الفصل بينها فعلي سبيل المثال فان الارشادات المدونة علي العبوة مثل درجة حرارة حفظ العبوة تساعد علي حماية المنتج من الفساد كما أن طرق اعداد المنتج ضمن الوجبات تساعد علي راحة المستلك في استخدامه.

وعلي ذلك فان التطوير في مواد التعبئة والعبوات دائما ما يتم إستجابة لاحتياجات المستهلك التي تتجه الي أقل إستخدام للمواد الحافظة في الغذاء المصنع علي سبيل المثال. كذلك فان التغيرات في التشريعات وعولمة السوق والاهتمام بسلامة الغذاء ومخاطر الارهاب الحيوي bio-terrorism تؤخذ في الاعتبار عند تطوير مواد التعبئة والعبوات.

وقد نشأ عن المتطلبات المستجدة في مجال التعبئة ظهور عدة إتجاهات في مجال التعبئة تتمثل فيما يعرف بأسم التعبئة النشطة active packaging والتعبئة الذكية intelligent packaging/smart packaging وفي أحدث التطبيقات الآن تطبيق تكنولوجيا النانو لمزيد من التطوير في دور العبوة.

٢- مواد التعبئة والعبوات البلاستيكية

تطور استخدام المواد البلاستيكية في تعبئة المواد الغذائية تطورا هائلا خلال السنوات الثلاثين الماضية بحيث أصبحث مواد التعبئة البلاستيكية أكثر مواد التعبئة استخداما علي مستوي العالم. ويرجع إنتشار إستخدام المواد البلاستيكية الي خواصها المميزة وهي:

١- المرونة flexibility ٢- الشفافية clarity ٣- التكاليف المنخفضة

٤- الجاذبية التسويقة shelf appeal ٥- سهولة النقل والتداول

أن أهم خصائص عبوات الأغذية والمشروبات هو توصيل المنتج الي المستهلك محتفظا بطزاجته وسلامتة أطول مدة ممكنة بدء من إنتاجه حتي وصوله للمستهلك. وتبعا للتغيرات العالمية في مجال تسويق المنتجات الغذائية والمشروبات والذي يعتمد علي توزيع المنتجات عالميا ولا يقتصر علي الأسواق المحلية أو القريبة فان الحاجة الي إطالة مدة حفظ المنتج الغذائي ضرورة ملحة وهو ما يتطلب تحويرات عديدة في العبوات. وبالنسبة لكثير من الأغذية والمشروبات فان العوامل المحددة لطول مدة حفظ المنتج هى مقاومة العبوة لنفاذية الغازات من الخارج الي داخل العبوة (مثل الأكسجين وبخار الماء) وفي أحيان أخري الاحتفاظ بالغازات مثل ثاني أكسيد الكربون ومواد النكهه الطيارة. وفي كلتا الحالتين فان معالجة هذه الأمور يتم بوضع حواجز لانتقال الجزيئات خلال طبقات البلاستيك المكونة للعبوة. ويتم تحقيق هذا الهدف بأحد إتجاهين:

٢-١ إستخدام الحواجز العامة General barrier

من المسلم به أن كل المواد البلاستيكية التقليدية المستخدمة في تعبئة المواد الغذائية تسمح بنفاذ الجزيئات الصغيرة بدرجات متفاوتة وللحد من نفاذيتها إستخدم الآتي:

٢-١-١ تحضير رقائق البلاستيك ثم طلائها بمادة عازلة حيث تطلي كل رقائق البلاستيك أو العبوات الصلبة بطبقة فائقة الرقة من مواد عازلة تكسبها مقاومة النفاذية. وهناك العديد من تكنولوجيات الترسيب البخاري vapor deposition المستخدمة للصق طلاءات أكاسيد الألومنيوم والسليكون. ومن التكنولوجيات الحديثة في هذا المجال الترسيب البلازمي بالميكروويف microwave plasma deposition لإكساب الأسطح الداخلية لعبوات المشروبات طبقة من الكربون غير المتبلور. وفي إتجاه آخر يتم رش الأسطح الخارجية للعبوة أو غمرها في محلول للأبوكسيدات لإكساب السطح الخارجي للعبوة طبقة عازلة. وقد أثبتت هذه الطريقة فعالية في إطالة خفظ المواد الغذائية غير أن كفاءتها تعتمد علي مدي ثبات الطبقة السطحية العازلة فقد تتعرض هذه الطبقة الي الخدش أثناء التعبئة والتداول ومن ثم تؤثر في مدي فعاليتها في إطالة مدة حفظ المنتج.

٢-١-٢ خلط أنواع بلاستيك عالية مقاومة النفاذ بمتوسطة النفاذية. توفر تكنولوجيات الخلط الحديثة فرصة مزج البلاستيك عالي مقاومة النفاذ مع البلاستيك متوسط النفاذ. ويعتمد هذا الاتجاه علي توزيع البلاستيك عالي المقاومة علي صورة ميسلات صغيرة بصورة متجانسة في البلاستيك متوسط النفاذية. وعادة ما تختلف ثوابت الخلط وإنكسار الضوء لكل من هذين النوعين من البلاستيك. ويعيب هذه الطريقة عدم القدرة علي إدماج كميات مناسبة من البلاستيك عالي مقاومة النفاذية في المخلوط نظرا لإكسابه العبوة عتامة غير مقبولة وبذلك فان إستخدام هذا الاتجاه يقتصر علي تعبئة الأغذية ذات مدة الحفظ المحدودة.

٢-١-٣ مواد التعبئة متعددة الطبقات والتي تضم طبقة عازلة. نما هذا الاتجاه بسرعة خلال العقد الماضي والذي يعتمد علي وضع طبقة رقيقة (٣-١٠% من سمك مادة التعبئة) من بلاستيك عالي المقاومة بين طبقتين علي الأقل من البلاستيك المشكل. ووضع طبقة البلاستيك العازلة بين طبقتي البلاستيك يحميها من التآكل أو الخدش كما أن هذا الاتجاه يتغلب علي مشاكل المزج وعتامة العبوة التي تواجه الاتجاه السابق. غير أن التصاق الطبقات قد يكون مشكلة وقد يحتاج الي إضافة مواد لاصقة. وبصفة عامة فان هذا الاتجاه يوفر ميزة إطالة مدة حفظ المادة الغذائية بتكاليف مناسبة.

٢-٢ رفع كفاءة البلاستيك باستخدام مواد تزيد من مقاومة البلاستيك للنفاذية.

بالرغم من أن هذا الاتجاه معروف منذ فترة الا أنه لم يستخدم الا حديثا مع إستحداث تكنولوجيات المواد المتقدمة. وهناك إتجاهيين صناعيين لتحقيق ذلك وهما:

٢-٢-١ إستخدام المواد المستهلكة للأكسجين Oxygen scavenger.

٢-٢-٢ إستخدام حبيبات نانو من الطمي Nano clays.

وتبعا لما يدل عليه لفظ مواد مضافة فان نوعي الإضافة السابقين يتم مزجهما ودمجهما في البلاستيك مباشرة ثم إستخدام البلاستيك المحورفي تصنيع العبوة. وفي حالة إضافة المواد المستهلكة للأكسجين فان البلاستيك المحور هو المكون الوحيد لمادة العبوة في حين أن إستخدام حبيبات نانو الطمي فان البلاستيك المحور يستخدم عادة وليس دائما كطبقة عازلة في نظام متعدد

الطبقات. ويتم إستخدام المواد المستهلكة للأكسجين مع البولي أميد أو PET في حين تضاف حبيبات نانو الطين أساسا في البولي أميد وتستخدم المواد المضافة بنسبة ٢-٨% وتمتزج تماما بالبلاستيك ودرجة الشفافية عالية.

٢-٢-١ **المواد المستهلكة للأكسجين.** وتعمل علي استهلاك الأكسجين من خلال تفاعلات الأكسدة التقليدية حيث يستخدم بلاستيك قابل للأكسدة وإستخدام معدن إنتقالي مثل الكوبلت كعامل مساعد. ويمثل بلاستيك البولي أميد، PET نوعي البلاستيك القابل للأكسدة ويساعد تفاعل الأكسدة الرطوبة النافذة خلال طبقات البلاستيك. ويطلق علي المواد المستهلكة للأكسجين أيضا الأنظمة النشطة active systems ويطلق علي التعبئة التي تستخدم هذه النظم التعبئة النشطة active packaging. يبدأ التفاعل مباشرة مع التعرض للرطوبة وبالطبع وجود الأكسجين ويظل النظام فعالا طالما وجدت كمية كافية من المادة المساعدة علي إستمرار التفاعل. وعلي ذلك فان المواد المستهلكة للأكسجين لها مدة صلاحية محددة تصبح بعدها غير فعالة. علي أن المواد المستهلكة للأكسجين ذات فعالية عالية في إزالة الأكسجين خاصة في النصف الأول من عمرها الافتراضي. ولا يقتصر عمل المواد المستهلكة للأكسجين علي الأكسجين الذي ينفذ الي العبوة من الخارج بل يمتد الي إزالة الأكسجين من داخل العبوة. فنظرا لأن الأكسجين الذائب في المادة المعبأة يهاجر الي السطح الداخلي للعبوة بالتأثير التدريجي gradient effect فانه تتم إزالته. وعلي ذلك فان العبوة النشطة تحافظ بسهولة علي مستوي الأكسجين عند ١ جزء في المليون لمدة ٦ أشهر تحت الظروف المثلي.

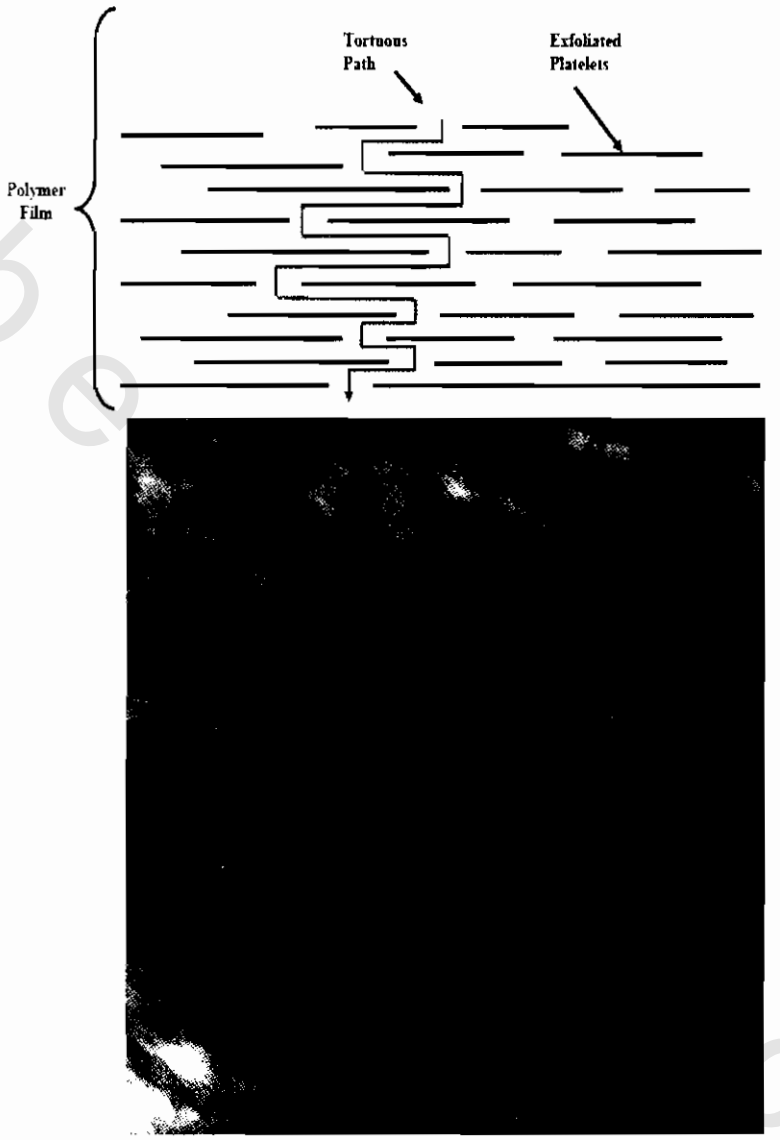
جدول ١-٦: منتجات المواد المستهلكة للأكسجين والمنتجون لها والموقع علي الأنترنت (Maul, 2005)

PRODUCT	REGION	PRODUCER	RESIN BASE (FORMAT)	WEBSITE
Amosorb™ DFC	All	ColorMatrix	PET (Masterbatch)	www.colormatrix.com
Polyshield™	Europe	Invista	PET (Resin)	www.invista.com
Aegis™ OX	All	Honeywell	Polyamide Blend (Resin)	www. honeywell.com
Oxbar™	All	Constar	Polyamide MXD6 (Bottle)	www.constar.net
Bindox™	Europe	Amcor	Polyamide MXD6 (Bottle)	www.amcor.com

وتعتمد كفاءة العبوات النشطة علي نسبة مسطح العبوة/الحجم وعلي ذلك فان معظم استخدامات العبوات النشطة يقتصر علي المنتجات المعبأة في زجاجات. ويوضح جدول١-٦ المنتجات والمنتجين للمواد المستهلكة للأكسجين.

٢-٢-٢ حبيبات الطمي النانو Nano clays

يطلق أسم حبيبات الطمي النانو علي مجموعة من معادن الطين ذات تركيب خاص يتميز بتكوينه الورقي بمعني أنه يتشكل من وريقات كل منها له أبعاد أقل من ميكرون وبسمك في حدود ١ نانومتر وينشأ عن هذه الأبعاد في البلاستيك المحور المحتوي علي وريقات الطين المنفصلة أن تعمل هذه الوريقات كحواجز لمرور الجزيئات الصغيرة بما فيها الغازات نظرا للمسار المتعرج لمرور تلك الجزيئات خلال البلاستيك المحور (شكل ٢-٦)



شكل ١-٦: مسار الجزيئات الصغيرة في البلاستيك المحور المحتوي علي طبقات الطمي المنفصلة (الشكل العلوي)، الفحص بالميكروسكوب الأليكتروني للبلاستيك المحور المحتوي علي طبقات الطمي المنفصلة وتبدو بلون داكن عن الخلفية (الشكل السفلي) (Maul, 2005)

وعلي ذلك فان وريقات الطين الموزعة داخل البوليمر تمثل حاجزا ميكانيكيا لنفاذية الغازات والروائح عند محاولتها المرور خلال البلاستيك. وبهذه الكيفية يختلف عن البلاستيك المحتوي علي المواد المستهلكة للأكسجين بعدم تخصصه في نفاذية غاز واحد (الأكسجين كما في حالة المواد المستهلكة للأكسجين) بل هو يعوق مرور الغازات كلها بدرجة أو بأخري كما أن خاصية حده نفاذية الغازات لا تتأثر بمرور الوقت أو بمعني آخر أنه لا يفقد فعاليته مع طول مدة حفظ العبوة.

ويوجد الطمي في صورته الطبيعية علي هيئة حزم من عدة آلاف من الوريقات ترتبط ببعضها البعض بقوي Van der waals forces ولتعظيم القدرة علي الحد من نفاذية الغازات مع عدم التأثير علي شفافية البلاستيك يتم فصل وريقات الطين عن بعضها البعض وتوزيعها بانتظام في البلاستيك وتعرف هذه العملية بالتوريق exfoliation حيث تستخدم مواد خاصة في عملية السحق وبها يمكن فصل وريقات الطين عن بعضها البعض بنسبة ٩٥% مع توزيعها بانتظام في البلاستيك ويعرف الناتج باسم Plastic nano composits.

وللتحكم الدقيق في توريق الطمي وتوزيعه بانتظام يستخدم البولي أميد فقط. وحاليا توجد ثمانية منتجات من بلاستيك النانو المركب يستخدم في سبعة منها النايلون (بولي أميد ٦) وواحدة يستخدم فيها نوع خاص من البولي أميد يطلق عليه MXD6 (جدول٢-٦).

وتتراوح نسبة حبيبات الطمي النانو في البلاستيك المركب التجاري بين ٢-٨% ويصبح توريق الطمي أكثر صعوبة بزيادة نسبة الطمي عن ذلك كما ينشأ عن الخواص الريولوجية للبوليمر الناتج في هذه الحالة صعوبة تشكيلة في

صورة عبوات. وتقع منتجات البلاستيك النانو المركب في مجموعتين تبعا لنسبة حبيبات طمي النانو الي:

١- النسبة العادية وتتراوح نسبة حبيبات الطمي النانو في البلاستيك الناتج بين ٢-٤%

٢- النسبة العالية والتي تتراوح نسبة حبيبات الطمي في البلاستيك الناتج بين ٥-٨%.

جدول ٢-٦: المنتجات والمنتجون للبلاستيك النانو المركب ومواقعهم علي الأنترنت (Maul, 2005)

PRODUCT	REGION	PRODUCER	RESIN BASE	WEBSITE
Durethan® LDPU	Europe	Lanxess	PA6	www.lanxess.com
NycoNano™	US	Nycoa	PA6	www.nycoa.net
Aegis™ NC	US	Honeywell	PA6	www.honeywell.com
Nanoblend™	Europe	PolyOne	PA6	www.polyone.com
Nanomide™	Asia	NanoPolymer	PA6	www.nanopolymer.com
Ecobesta®	Asia	Ube Industries	PA6 copolymer	www.UBE.com
Systemer	Asia	Showa Denko	PA6	www.showadenko.com
Imperm®	All	Nanocor	MXD6	www.nanocor.com

وقد وجد أن البوليمر المحتوي علي النسبة العادية من وريقات الطمي النانو له ضعف مقاومة نفاذية الأكسجين وبخار الماء مما للبلاستيك غير المحور في حين أن البوليمر المحتوي علي النسبة العالية له ٤-٥ أضعاف مقاومة نفاذية الأكسجين وبخار الماء وحوالي ضعف مقاومة نفاذية ثاني أكسيد الكربون مما للبلاستيك غير المحور.

وبالاضافة الي دورها الفعال في الحد من نفاذية الغازات والأبخـــرة فـــان إدماج وريقات الطين في البوليمرات يكسبها الخواص الأخري التالية:

١- المقاومة الميكانيكية، حيث تزيد صلابة البوليمرات المحتوية علي حبيبـــات الطمي النانو زيادة كبيرة عن البوليمر العادي. وقد ركز البرنامج البحثـــي لوزارة الدفاع الأمريكية للوجبات المعدة لتناولها مباشـــرة Ready-To-Eat Meal علي مواد التعبئة بهدف خفض المخلفات الصلبة. وقد وجد أن معدل صلابة البولي أثيلين منخفض الكثافة والمعامل بمضافات حبيبـــات الطـــين النانو يزيد بنسبة ١٠٠%.

٢-الثبات الحراري، يستخدم البلاستيك الحراري بولي فنيـــل كلوريـــد (PVC) والبولي أثيلين حاليا علي نطاق واسع في عبوات المواد الغذائية. وبالرغم من تميز الPVC بخواص ميكانيكية ممتازة ودرجة عالية من التوافق مـــع المضافات وقابلية جيدة للتشكيل فضلا عن تكاليفه المنخفضة الا أن إنبعاث غاز كلوريد الأيدروجين وزوال الألوان الملحـــوظ وإنخفـــاض الخـــواص الطبيعية والمقاومة الميكانيكية له أثناء التحلل الحراري تمثل مشاكل كبيـــرة في إستخدامه وقد أثبتت الدراسات أن سلوك ال PVC أثناء إعادة تـــدويره بالتحلل الحراري تتحسن بدرجة ملحوظة بادماج مـــواد النـــانو المركبـــة المحتوية علي الطمي فيه فباضافة ٥% من مواد النانو المركبـــة التجاريـــة Closite® 30B الي الPVC المعاد تدويره تقلل من معامل التمدد الحراري ٥و٣ مرة عن غير المضاف اليه مواد النانو المركبة.

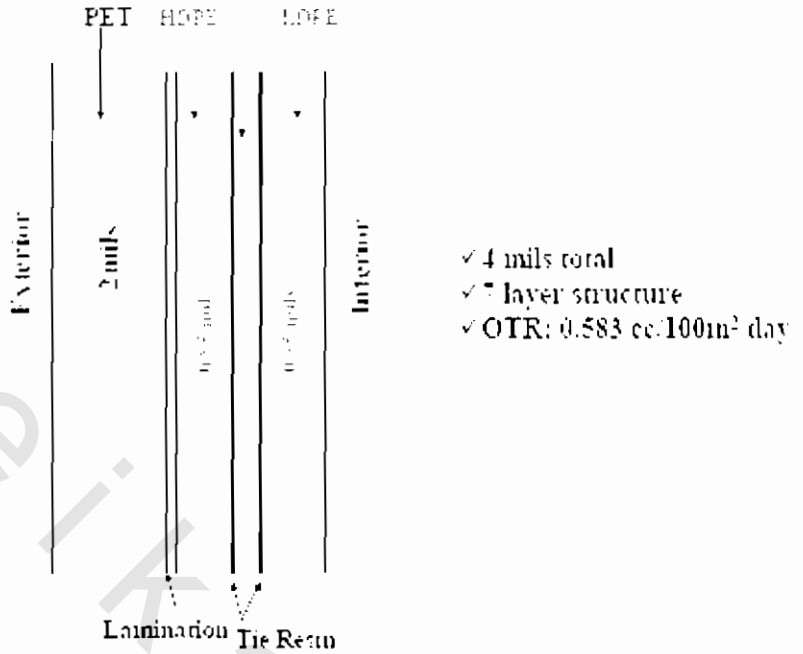
٣- خفض القابلية للاشتعال flammability reduction، فتحت ظروف مـــشابهه للحريق فان مواد النانو المركبة المحتوية علي الطمي تكون تركيبا متعـــدد الطبقات من السليكات المكربنة والذي يساعد علي خفض خواص الاشتعال بصرف النظر ما إذا كانت حبيبات نانو الطـــين مدمجـــة interlocated أو

مورقة exfoliated في البوليمر حيث يقوم هذا التركيب المتكون علي السطح أثناء الاحتراق بعزل الطبقات السفلية من الاحتراق ويقلل من هروب النواتج المتطايرة والمنبعثة أثناء التحلل. وقد ذكرت احدي الدراسات إنخفاض قابلية الاشتعال لمواد النانو المركبة المحتوية علي الطمي بنسبة ٥٠-٧٥% عن البوليمر الأصلي.

٣- تطبيقات المواد البلاستيكية المحورة في التعبئة

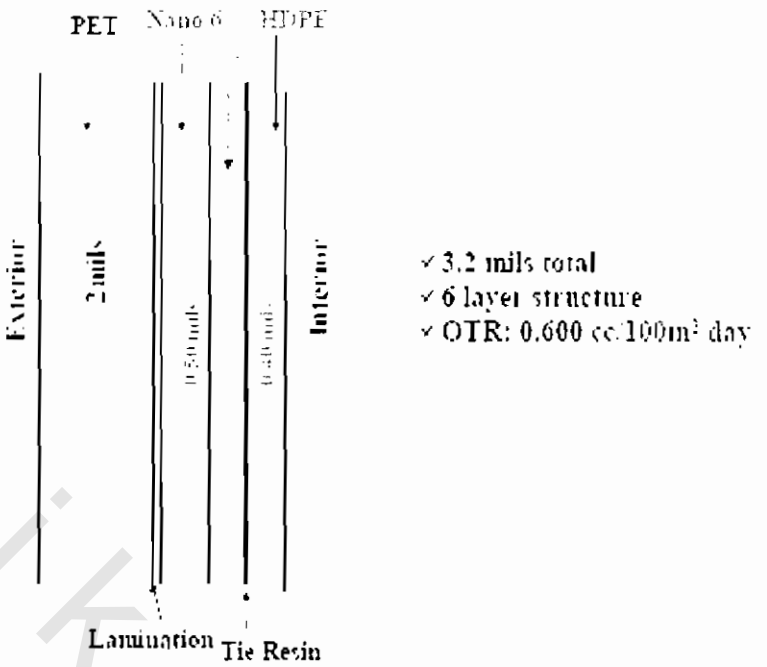
تمثل عبوات البلاستيك الواقفة Standup pouches أحد الاتجاهات المتزايدة في مجال التعبئة عالميا حيث زاد إستخدامها خلال العقد الماضي حوالي ١٠ أضعاف العقد الذي سبقه ويستخدم نصف حجم هذه العبوات في أوروبا. وتمثل العبوات البلاستيكية الواقفة منافسا ناجحا للعبوات المعدنية نظرا لأن إستهلاكها من الطاقة أثناء التصنيع حوالي نصف الطاقة اللازمة للعبوات المعدنية كما أنها تشغل حوالي نصف مساحة الأرفف لنظيراتها من العبوات الأخري. بصفة عامة فان تشكيل العبوة يجب أن يكون بالقوة التي توفر لها القدرة علي الوقوف رأسيا. وتتكون معظم هذه العبوات من ٧ طبقات لها سمك كلى حوالي ١٠٠ ميكرون ومعظمها يحتوي علي حاجز للأكسجين من البوليمر Ethylene vinyl alcohol (EVOH).

ويوضح شكل ٢-٦ تركيب البوليمر متعدد الطبقات المستخدم حاليا بكثرة في تصنيع عبوات البلاستيك القائمة حيث تصنع الطبقة الخارجية (الملامسة للجو العادي من مادة PET بسمك حوالي ٥٠ ميكرون يليها الي الداخل طبقة معدنية ثم طبقة من البولي أثيلين عالي الكثافة بسمك حوالي ٢١ ميكرون تقريبا ثم طبقة EVOH بسمك ٧ ميكرون بين طبقتين من بوليمر رابط ثم الطبقة الأخيرة (الملامسة للمادة المعبأة) من البولي أثيلين منخفض الكثافة بسمك ٢١ ميكرون تقريبا.



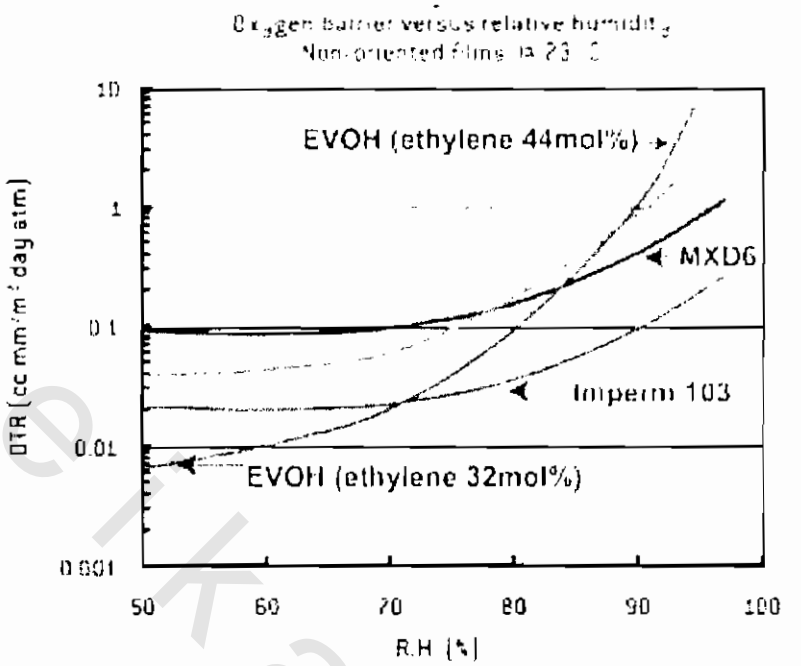
شكل ٢-٦: تركيب البلاستيك متعدد الطبقات المستخدم في تصنيع العبوات القائمة حاليا.
Mil = 25 micron, OTR= Oxygen transfer rate, PET, polyethylene tetraphetalate ; HDPE, high density polyethylene, LDPE, low density polyethylene, Lamination; metal layer) (Maul, 2005).

ويمثل بلاستيك بولي أميد ٦ النانو المركب (عالي نسبة الطمي ٥%) بديلا مفضلا عن البلاستيك متعدد الطبقات المستخدم حاليا في تصنيع العبوات القائمة بما يوفره من زيادة في مقاومة نفاذية الغازات وبصلابة أفضل. فعلي سبيل المثال فان إستبدال مادة العبوة المعتمدة علي حاجز EVOH بالبولي أميد المركب النانو PA6/MXD6 فان سمك مادة التعبئة يقل بنسبة ٢٠% (٨٠ ميكرون بدلا من ١٠٠ ميكرون) مع اختصار عدد الطبقات الي ٦ طبقات بدلا من ٧ دون التأثير علي كفاءة مقاومة نفاذية الأكسجين وهو ما يمثل وفرا في تكاليف التعبئة يصل الي حوالي ٧%. ويوضح شكل ٦-٣ تركيب مادة العبوة المعتمدة علي البولي أميد المركب النانو.



شكل ٣-٦: تركيب مادة التعبئة المعتمدة علي البولي أميد المركب النانو PA6/MXD6 (Maul, 2005)

ومن بين منتجات البولي أميد المركب النانو التجارية يتميز المنتج التجاري Imprem® بمزايا خاصة فهو مصنع من بولي أميد خاص يطلق عليه الأسم التجاري MXD6 وهو نفسه له مقاومة عالية لنفاذية الأكسجين. وباضافة حبيبات الطمي النانو اليه يكسبه خواص مقاومة عالية لنفاذية الغازات تصل الي ٥ أضعاف البوليمر المستخدم فيه EVOH خاصة في ظروف رطوبة عالية ودرجات حرارة عالية حيث تقل نفاذية بخار الماء الي النصف ونفاذية الروائح منه محدودة جدا وتتجاوز مقاومته لنفاذية ثاني أكسيد الكربون كل البوليمرات المتاحة تجاريا. ويوضح شكل ٤-٦ نفاذية الأكسجين من أنواع مختلفة من البلاستيك المستخدم في التعبئة.

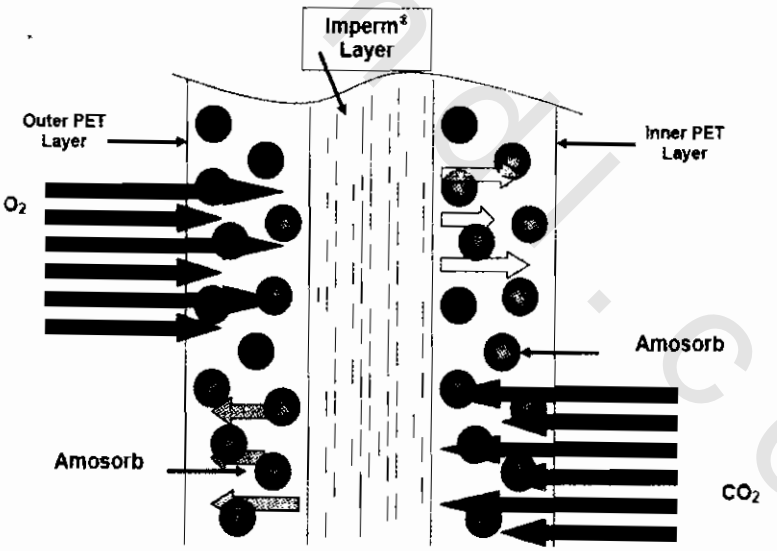


شكل ٤-٦ : نفاذية الأكسجين من أنواع مختلفة من البلاستيك تحت ظروف الحرارة والرطوبة المختلفة (Maul, 2005)

ويمثل المنتج التجاري Imprem® أهمية خاصة في إحتجاز ثاني أكسيد الكربون مع الاتجاه المتزايد الي تعبئة البيرة والمشروبات الخفيفة المكربنة في عبوات بلاستيك. ففي كلا نوعي التعبئة فان البلاستيك PET متعدد الطبقات المستخدم في تصنيع الزجاجات يصلح للأستخدام مع البولي أميد المستخدم كحاجز، غير أن عبوات المشروبات الخفيفة المكربنة تحتاج الي نسبة عالية من المادة الحاجزة لمقابلة نسبة المسطح/الحجم العالية. وعلي ذلك فان نسبة ضئيلة من العبوات أحادية الطبقة لها مدة حفظ محدودة (٨ أسابيع) ولكن إضافة ٣% من Imprem® يزيد مدة الحفظ ٣ مرات تقريبا وهو ما يعني مدة حفظ أطول للتوزيع والتداول.

وتحتاج عبوات البيرة البلاستيكية سعة ٥٠٠ مل أو أقل الي حماية ملحوظة ضد نفاذية الأكسجين وعدم فقد ثاني أكسيد الكربون. وعلي ذلك فان تعبئة البيرة تحتاج الي تدعيم كبير لقدرة الحواجز المستخدمة علي تحقيق ذلك. وبالنسبة لمصنعي البيرة الذين يرغبون في تعبئة البيرة في عبوات بلاستيكية سعة ٣٣٠ مل لمدة ٥ أشهر فان الأكسجين الكلي النافذ الي المنتج قد يصل الي ٢ جزء في المليون بينما يصل الفقد في ثاني أكسيد الكربون الي حوالي ١٠% باستخدام مواد التعبئة البلاستيكية شائعة الاستخدام حاليا.

وقد طورت لهذا الغرض مادة للعبوة باستخدام التركيب PET/Imprem/PET ويمثل Imprem حوالي ٥% من تركيب مادة العبوة ودون الحاجة الي مادة لاصقة بين الطبقات. وتقل تكاليف العبوة ٣٣٠ مل بحوالي ١٠% عن العبوات المعدنية. وتتميز مادة التعبئة البلاستيكية المستخدمة بإمكانية إعادة التدوير بإزالة ٩٣% من مادة الحاجز باستخدام الطرق المتبعة في إعادة تدوير المواد البلاستيكية حاليا.



شكل ٥-٦ : مادة التعبئة المطورة التي تعتمد علي المواد المستهلكة للأكسجين (Amosorb) وحاجز البولي أميد النانو المركب (Imprm®)(Maul,2005)

ولاطالة مدة حفظ البيرة الي ٦ أشهر أو أكثر فقد تم تطوير مواد تعبئة تشتمل علي إضافة المواد المستهلكة للأكسجين الي التركيب الثلاثي السابق (شكل٥-٦) حيث تضاف مادة Amosorb التجارية الي طبقتي PET الداخلية والخارجية بنسبة ١%. وعلي ذلك فان معظم الأكسجين النافذ من الخارج ويصل الي طبقة البولي أميد المركب النانو يعمل علي حماية المادة المستهلكة للأكسجين في الطبقة الداخلية وبالتالي فانها تعمل علي التخلص من الأكسجين الموجود داخل العبوة.

٤- مواد النانو المركبة القابلة للتحلل الحيوي Biodegradable polymer/clay nanocomposites.

تناولت البحوث التي إجريت في السنوات الأخيرة إمكانية إستخدام البوليمرات القابلة للتحلل كمواد تعبئة وذلك للاقلال من التلوث البيئي الناتج من مخلفات المواد البلاستيكية. تتحلل البوليمرات القابلة للتحلل الحيوي بواسطة تفاعلات إنزيمية للكائنات الحية الدقيقة (البكتريا والفطر والخميرة) تحت ظروف خاصة مثل الpH والرطوبة ووجود الأكسجين في وجود بعض المعادن. وقد جذبت البوليمرات القابلة للتحلل مثل النشا وحمض اللاكتيك العديد والبولي كابرولاكتون polycaprolactone إهتماما متزايدا من صناعة مواد التعبئة والتغليف. ومن بين هذه البوليمرات لقيت المواد القائمة علي النشا إهتماما واضحا في تعبئة المواد الغذائية نظرا لكثرة توافرها وقلة تكاليفها فضلا عن قابليتها للتحلل. وعادة ما تتم معاملة النشا بملدنات plasticizers لإكسابها الخواص البلاستيكية الحرارية thermoplastic وبذلك يمكن تشكيلها حراريا ويطلق علي هذا النوع من النشا thermoplastic starch (TPS) ويعيب الأغشية المصنعة من هذا المنتج نفاذيتها العالية للماء والغازات والمواد المذابة. ويمكن

تحسين خواص المواد المعتمدة علي النشا بادماج حبيبات نانو الطين فيها بواسطة الخلط والصهر mix-melting، ولحبيبات الطمي النانو ميزة أنها مقبولة من الناحية البيئية نظرا لأنها تمثل أكثر المعادن إنتشارا في الطبيعة كما أنها خالية من السموم وبذلك توفر الاستخدام الآمن في تعبئة الأغذية.

وقد ذكرت إحدي الدراسات أن قوة تحمل النشا البلاستيكي TPS تزيد من ٦و٢ الي ٣و٣ ميجاباسكال مع إضافة ٥% من مونتموليتيت الصوديوم (المنتج التجاري Closite Na+) بالاضافة الي أن الاستطالة عند القطع تزيد من ٤٧ الي ٥٧% كذلك وجد أن معدل نفاذية الأبخرة تقل الي حوالي ٦٥% من قيمتها في حالة عدم إضافة حبيبات الطين وأن درجة الحرارة التي يفقد عندها المنتج ٥٠% من وزنه تزيد من ٣٠٥ الي ٣٣٦°م. وفي دراسة أخري وجد أن عدم نفاذية بوليمر حمض اللاكتيك للاكسجين تتحسن عند دمج حبيبات نانو الطين فيه بطريقة الدمج بالانصهار melt intercelation فباضافة ٤% من حبيبات نانو الطين تقل نفاذية بوليمر حمض اللاكتيك للاكسجين بنسبة ٤٠% والي ٥٠% بزيادة النسبة الي ٦%.

وبالرغم من الامكانات الواعدة لتحوير البوليمرات القابلة للتحلل الحيوي بالخلط مع حبيبات نانو الطين الا أن معظم الدراسات إقتصرت علي التحضير ودراسة خواص الناتج ولم تتطور الي الاستخدام الصناعي في تعبئة المواد الغذائية. وفي دراسة حديثة (Avella *et al,* 2005) وجد أن مواد النانو المركبة من النشا وحبيبات الطين تتميز بقوة شد عالية عند مختلف مستويات الرطوبة النسبية أثناء التخزين وأن درجة صلابة الأغشية المحضرة وقوتها يمكن التحكم فيها بتغير نسبة الماء في مواد النشا/حبيبات نانو الطين المركبة كما أن نفاذية أغشية النشا البلاستيكي تقل بدرجة ملحوظة بادماج حبيبات الطين النانو فيه.

٥- الإتجاهات المستقبلية

نظرا لخواص مواد النانو المركبة فانه من المنتظر أن يتم التوسع في إستخدامها في تعبئة المواد الغذائية نظرا لأنها تمد من صلاحية المنتج للتداول. وبالاضافة الي خواصها الحاجزة فان مواد النانو المركبة يمكن تصميمها لاحتواء وتوصيل المواد الفعالة في الأنظمة البيولوجية بتكاليف منخفضة وتأثيرات بيئية محدودة، فعلي سبيل المثال تطوير أسطح طاردة للبكتريا bacteria repellant أو التي يتغير لونها في وجود الميكروبات الضارة والسموم.

obeikandl.com