دراسة مقارنة بين عبوات البلاستيك الحيوى الصلب وعبوات الستايروفوم لتغليف الوجبات السريعة

A comparative study of solid bioplastic containers and containers Styrofoam for fast food packaging

م.د/ سارة إبراهيم عبدالرحمن رمضان

مدرس بقسم الإعلان والطباعة والنشر، كلية الفنون التطبيقية - جامعة بنها، bu.sara.ramadan@gmail.com

ملخص البحث: Abstract

تناول البحث دراسه مقارنة بين البوليستيرين الممدد الرغوى (الستايروفوم) مع إستعراض البوليستيرين عموما وخواصه الفيزيائية وتركيبه الكيميائى وأنواعه المختلفة ثم دراسه مفصلة عن الستايروفوم المستخدم فى تصنيع عبوات الوجبات السريعة من حيث التركيب وطرق إعادة التدوير وخواص العزل الحرارى وعبوات الوجبات السريعة من البولى ستايرين الرغوي وخط إنتاجها بدءا من تصنيع الستايروفوم على شكل حبيبات كروية ودخولها على خط إنتاج عبوات الوجبات الجاهزة ، خط إعادة التدوير (آلة التحبيب) وصولا إلى ميكانيكية تصنيع عبوات الستايروفوم للوجبات السريعة.

ثم إستعراض لعبوة البلاستيك الحيوي المناظرة لها فى الإستخدام بداية بتصنيف المواد البلاستيكية الحيوية وفقًا لمصدرها إلى خمسة أنواع رئيسية وهى النشا البلاستيكي الحراري (TPS) ، بولي هيدروكسي بوتيرات (PHB) وطريقة إنتاجه بواسطة البكتيريا الزرقاء ، الناتج من بولى الهيدروكسيل- كانوات (PHA).

المنتج من الكتلة الحيوية، أي المستخرج من النشا مثل حمض البولي لاكتيك (PLA) ، والناتج من الزيوت النباتية مع توصيف كل نوع على حدة .

والقابلية للتحلل البيولوجي بالإضافة لبعض العوامل التي تؤثر بشكل مباشر على قابلية التحلل الحيوي للبوليمرات ومنها عوامل التحلل الميكانيكية والكيميائية والمتعلقة بالظروف السطحية سواء تحلل مائى أو إنزيمى والعوامل المؤثرة على تشكيل عبوات البلاستيك الحيوى الصلب بالحقن وإضافات مواد البلاستيك الحيوى والفرق بين البلاستيك الحيوى والبلاستيك القابل للتحلل الحيوى.وتبين فى القياسات العملية أن البلاستيك الحيوى أكثر صلابة من الستايروفوم وأظهرت نتائج القياسات العمليه قوة صلابة البلاستيك الحيوى كأحد أهم الخصائص الميكانيكية المحددة للخامة مما يثبت تحمل البلاستيك الحيوى رغم كونه مصنوع من مواد طبيعية صديقة للبيئة

كلمات دالة: Keywords

البلاستيك الحيوى الصلب Rigid bioplastic، الستايروفوم styrofoam، تغليف الوجبات السريعة fast food packaging

Paper received July 25, 2024, Accepted September 28, 2024, Published on line Novebmer 1, 2024

المقدمة: Introduction

تعتبر حاوية المواد الغذائية الرغوية هي شكل من أشكال تغليف المواد الغذائية التي تستخدم لمرة واحدة لمختلف الأطعمة والمشروبات.

يتزايد استهلاك الوجبات الجاهزة في جميع أنحاء العالم. تمثل العبوات ذات الاستخدام الواحد المستخدمة في تغليف الوجبات الجاهزة مصدرًا هامًا للنفايات والآثار البيئية بسبب انخفاض قابليتها لإعادة التدوير.

وبالتالي، من المهم تحديد أفضل البدائل المتاحة وفرص التحسين لتقليل الآثار البيئية لحاويات الوجبات السريعة. ولهذه الأسباب، تقوم هذه الدراسة بتقدير ومقارنة تأثيرات نوعين من عبوات الوجبات الجاهزة .

نتيجة لظاهرة الاحتباس الحراري والتلوث البلاستيكي، زاد الطلب على المواد البديلة القابلة للتحلل بشكل كبير. يعد البلاستيك الحيوي خيارًا بديلاً يتم دراسته لاستبدال المواد البلاستيكية التقليدية المعتمدة على النفط لتقليل انبعاثات الكربون. ونظرًا لأن المواد البلاستيكية القابلة للتحلل الحيوي تتحلل بشكل أسرع من المواد البلاستيكية القائمة على النفط ، فمن المتوقع أن تقلل من التلوث البلاستيكي. وظلت الخواص الميكانيكية لهذه العبوات تحديا لتحديد ما إذا كانت عمليه فى الإستخدام أم أنها ضعيفة مما يجعلها الخيار الأول سواء فى التصنيع أو الاستخدام أو حتى التخلص منها.

مشكلة البحث: Statement of the Problem

1- هل عبوات البلاستيك الحيوى أقل قوة وصلابة من نظيرتها من عبوات البلاستيك التقليدى نظرا لتصنعها من مواد طبيعية؟

2- هل هناك حل للإفراط في انبعاثات الغازات الدفيئة، مثل ثاني أكسيد الكربون (CO_2). بسبب تصنيع العبوات البلاستيكية الصلبة القائمة على إستخدام الوقود الأحفورى ؛ بما زاد من تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الهواء وساهم فى مشكلة الإحتباس الحرارى و أزمة المناخ عن طريق الإتجاه للتصنيع من الموارد المتجددة؟

أهداف البحث: Research Objectives

1- محاولة الحفاظ على التراث الثقافي وحمايته من التأثيرات الواردة، من خلال المساهمة في حل مشكلات تلك القصور لتستعيد دورها الفعال في المجتمع.

2- تصميم دور ثقافية مكتفية ذاتيًّا أو أبنية صفْريّة أو متعادلة

3- المساعدة في تحقيق المتعة المفقودة لدى الشباب وتشجيعهم على تنمية قدراتهم العقلية وحاجاتهم النفسية من خلال التفاعل مع عناصر التصميم الداخلي المختلفة لدور الثقافة لتوليد الطاقة.

أهمية البحث: Research Significance

تكمن أهمية البحث فى :

1- تحقيق اقتصاد منخفض الكربون. حيث يمكن للشركات الاستفادة من مزايا التغليف الصلب القائم على أساس حيوي لفصل نموها عن استهلاك الموارد الأحفورية وانبعاثات الغازات الدفيئة.

2- إمكانية مساهمة تطبيقات التعبئة والتغليف في تخفيف أو خفض كبير فى أزمات التغيرات المناخية.

3- الإستخدام الأمن للعبوة سواء فيما يتعلق بخواص الإستخدام أو طرق التخلص منها بعد الإستخدام.

منهج البحث: Research Methodology

تتبع الدراسة النظرية المنهج الوصفي التحليلى من خلال توصيف وتحليل لأنواع البوليستيرين الممدد الرغوى وكذلك أنواع البلاستيك الحيوى وطرق تحلله والإضافات المطلوبة له أثناء تصنيعه مع إستعراض لميكانيكة الإستخدام لإنتاج العبوات والفرق بين البلاستيك الحيوى والقابل للتحلل.

كما تتبع الدراسه العملية المنهج التجريبى فى عمل بعض القياسات على الخامتين محل الدراسة للمفاضله بينهما من حيث المكونات الأوليه لكلا منهما وقوى الضغط كأهم الخواص الميكانيكية الفارقة بينهما.

الإطار النظري: Theoretical Framework

يتضمن توصيف عام لنوعى البلاستيك (الحيوى– التقليدى) المستخدم فى تغليف الوجبات الجاهزة والسريعة من حيث طبيعة التركيب الكيميائى وأنواع كلا منهم وخط انتاجهم والإضافات المطلوبة للبلاستيك الحيوى

أثناء التصنيع والعوامل التي تؤثر بشكل مباشر على قابلية التحلل الحيوي للبوليمرات.

الإطار التطبيقى:

قياسات للعينات محل الدراسه لمعرفة الصلابة وقدرة كلا منهما على مقاومة الإختراق وأصل المواد المكونة لهما وطبيعة الروابط الكيميائية المسئوله عن ترابط الجزيئات داخل كل مادة.

المحور النظرى:

البوليستيرين (PS)

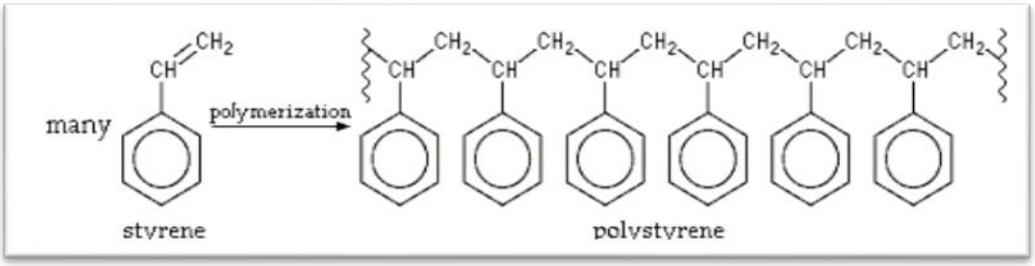
بلاستيك لدن بالحرارة يعرف بالبوليمر الهيدروكربوني العطري الاصطناعي ينتج من بلمرة مونومر يسمى الستايرين يمكن أن يكون شكل البوليسترين في حالة صلبة أو في حالة رغوية وهو عبارة عن بوليمر صلب شفاف وهو نوع من البولي أوليفين .

الخصائص الفيزيائية:

1- شفاف وله معامل انكسار أعلى.
2- موصلية حرارية جيدة.
3- التزجج عند 100°م.
4- نقطة الانصهار عند 240 °م. يتم استغلال سلوك درجة الحرارة هذا في البثق (كما هو الحال في الستايروفوم) وأيضًا في القولبة والتشكيل بالتفريغ، حيث يمكن صبه في قوالب ذات تفاصيل دقيقة.

التركيب الكيميائي للبوليستيرين:

الصيغة الكيميائية للبوليستيرين هي (C8H8)n سلسلة هيدروكربونية تتناوب فيها ذرات الكربون مرتبطة بمجموعات الفينيل. كما في الشكل (1) (Abdallah S. Elgharbawy , 2023)



شكل (1) يوضح بلمرة مونومر الستايرين لتكوين البولى ستيرين

يتم تصنيف البوليستيرين PS إلى نوعين:

1- البوليسترين المبثوق (XPS) : يعتبر رغوة البوليسترين المبثوق ذات الخلايا المغلقة له العديد من التطبيقات موجودة في حاويات مثل فناجين القهوة وصواني الطعام.
2- البوليسترين القابل للتمدد(EPS): إسمه التجاري الستايروفوم. عادة ما تكون رغوة EPS بيضاء ومصنوعة من حبات البوليسترين الممدد، وتستخدم لأكواب القهوة التي تستخدم لمرة واحدة، والمبردات، أو كمادة توسيد في التعبئة والتغليف.

يعزى الحجم الكبير للبوليسترين القابل للتمدد إلى تكنولوجيا المعالجة. حيث يتم إضافة عامل النفخ (البنتان أو البيوتان) أثناء عملية البلمرة. ثم ينتج عن تسخين هذا العامل مع البوليمر زيادة حجمه بسرعة نظرا لكون الخواص الفيزيائية لرغوة XPS تتمتع بكثافة أعلى وقوة ضغط أعلى من EPS يتم استخدام معظم البوليسترين كمنتجات رغوية. الستايروفوم منتج يستخدم لمرة واحدة، مما يعني أنه مادة غير قابلة للتحلل وسيستمر في تلويث البيئة.

الستايروفوم EPS:

هو لدن حراري خامل ومنخفض الكثافة ومشتق من الهيدروكربون ويحتوي على عدة حبات كروية تحتوي على 2 % بوليسترين و98 %هواء . وهو هيكل مسامي خفيف الوزن يتيح تخزين الهواء بشكل كبير . تتميز رغوة EPS بأنها شديدة الاشتعال بسبب انخفاض مؤشر الأكسجين المحدد (LOI) والذي يبلغ 17% فقط. التكاليف المباشرة لإنتاج الستايروفوم غير مكلفة نسبيا، مما يجعلها خيارًا منخفض التكلفة لاستخدام المستهلك.

تشمل منتجات EPS حاويات الخدمات الغذائية والمنزلية ومنتجات عزل الأجهزة، وتغليف المنتجات للشحن.كما هو موضح شكل (2).

شكل (2) يوضح منتجات الستايروفوم

التركيب الكيميائى الستايروفوم :

المكون الرئيسي للبوليسترين الممدد هو الستايرين (C8 H8)، وهو مشتق من البترول أو الغاز الطبيعي ويتكون من تفاعل بين الإيثيلين (C2 H4) والبنزين (C6 H6)؛ يتم إنتاج البنزين من البنزين أو من النفط. يتم بلمرة الستايرين إما بالحرارة أو بواسطة عامل حفاز مثل البنزويل بيروكسايد.(Manu Chandra Al ,2016)

يتكون الستايروفوم من حوالي 5% من البوليسترين (PS) ، 95% من الهواء .عملية بلمرة الستايروفوم هي عملية بلمرة بالتكثيف بينما بلمرة البوليسترين الأصلي هى عملية بلمرة بالإضافة.
(Budi Triyono AL, 2023)

يمكن أن يكون البوليسترين شفافًا بشكل طبيعي، ويمكن تلوينه بالملونات. وتشمل الاستخدامات التغليف (مثل تعبئة الفول السوداني

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

وعلب الأقراص المضغوطة وأقراص DVD)، والحاويات (مثل "الأصداف البحرية")، والأغطية، والزجاجات، والصواني وأدوات المائدة التي تستخدم لمرة واحدة. وفي صنع النماذج. باعتباره بوليمر لدن بالحرارة.

البوليسترين القابل للتمدد هش وقدرته ضعيفة على امتصاص الأكسجين وبخار الماء ومكوناتهما كما له نقطة انصهار منخفضة.

https://iamovement.org/wp-content/uploads/2018/09/Styrofoam-Single-Use-Plastic-and-Compostable-Packaging-Facts-Statement.pdf (3 may,2024)

طرق إعادة تدوير الستايروفوم :

1- **إعادة تدوير المواد:** تقليل حجم الستايروفوم عن طريق عملية التسخين، ثم يذوب بسبب درجة الحرارة، ويخرج الستايروفوم كمادة صلبة أو حبيبات. يمكن أن يكون إعادة استخدامها في المواد الخام والمنتجات اليومية.

2- **إعادة التدوير الكيميائي:** يهدف إلى استعادة مونومر الستايرين لإعادة استخدامه كمورد كيميائي.

3- **إعادة التدوير الحراري:** يتم من خلاله تجهيز وحدة فرن غرفة الاحتراق ؛ تتم المعالجة على مطحنة ثنائية الأسطوانات عند درجة حرارة 110 °م.

وقد تم بناء وتشغيل آلة معالجة نفايات الستايروفوم بطريقة البثق. تتراوح درجات حرارة تشغيل هذه الآلة عند (180 ، 200 ، 220 °م وسرعة التشغيل 130 دورة / الدقيقة. Budi Triyono AL, (2023).

الخصائص العازلة للبوليسترين الممدد (EPS) ضد الحرارة:

1- خفيف الوزن ومقاوم للرطوبة
2- طول العمر التشغيلى.
3- التوصيل الحراري
4- عازل ممتاز لتدفق الحرارة على الرغم من عدم قدرته على مقاومة الحريق.
5- يبدأ تليين EPS عند تعرضه لدرجات حرارة تتراوح من 100 درجة مئوية إلى 120 درجة مئوية.
6- يذوب EPS عند حوالي 160 درجة مئوية وبعد ذلك تتبخر وتنتج غازات سامة عند درجة حرارة 275 °م. (Ankesh, jaikant Al , 2021)

عبوات الوجبات السريعة من البولى ستايرين الرغوي :

Fast food containers made of foamed polystyrene

تتميز عبوات بلاستيك البوليسترين المتمدد (الرغوى) ذو الإستخدام لمرة واحدة بخصائص مقاومة للزيت، و الماء ، والتآكل ، والحفاظ على الحرارة، والعزل الحراري. يتم تسخين الكريات البلاستيكية من البوليسترين وعامل النفخ معًا، وتصبح الكريات البلاستيكية ناعمة، ويتمدد الحجم حتى 40 مرة في نفس الوقت. يتم تبريد بلاستيك البوليسترين الممدد، وإعادة تسخينه، وتشكيله باستخدام قوالب ليصبح عبوة صالحة لتعبئة وجبة غذائية كما فى شكل (3).

شكل (3) يوضح عبوة الوجبات السريعة من البولى ستايرين الرغوي

يزن منتج البوليسترين الممدد (الرغوى) 30 مرة أقل من منتج البوليسترين العادي من نفس الحجم. ولذلك، تتميز عبوات البوليسترين الممدد لصنع عبوات الغداء بقلة تكلفته بشكل كبير.

https://www.ygplasticmachinery.com/ps-foam-food-box-machine-line (30 april,2024)/

خط إنتاج عبوات الوجبات الجاهزة من البولى ستايرين الرغوى

PS Foam Takeaway Container Production Line

أولا : تصنيع الستايروفوم على شكل حبيبات كروية:

يبدأ تصنيع الستايروفوم على شكل حبيبات كروية بقطر نموذجي 0.5 - 1.5 مم تحتوي على عامل التمدد البنتان أ (الهيدروكربون). يتم تسخين خرزات البوليسترين بالبخار، ومع غليان عامل التمدد، تنعم الخرزات و تتمدد حتى أربعين مرة حجمها الأصلي. يترك الخرز المتمدد ليبرد قبل أن يسخن مرة أخرى.

تم تصميم قوالب في مجموعة متنوعة لتشكيل المنتج النهائي المطلوب، على سبيل المثال أكواب الستايروفوم، والكرتون، وذلك بعد ملء الخرزات بشكل دائم لتندمج معاً.

(Manu Chandra Al ,2016)

ثانيا : خط إنتاج عبوات الوجبات الجاهزة الرغوية يحتوي على نوعين كالتالى:

- شبه أوتوماتيكى semi-automatic شكل (4) يضيف خط الإنتاج شبه الأوتوماتيكي كسارة البلاستيك (وحدة التقطيع) .
- أوتوماتيكي fully automatic شكل (5)

شكل (4) يوضح خط إنتاج علب الوجبات الجاهزة الرغوية شبه الأوتوماتيكي

يتكون خط إنتاج عبوات الوجبات الجاهزة شبه الأوتوماتيكي من أربع قطع من المعدات وهى :

1- وحدة ألواح (أفرخ) البولى ستايرين الرغوى. (PS foam sheet unit) .

2- وحدة التشكيل بالشفط الأوتوماتيكية (automatic vacuum forming machine)

3- آلة طحن البلاستيك (pulverizer) .

4- خط إعادة التدوير (آلة التحبيب). (recycling granulator) .

وفيما يلى وظيفة كل وحدة :

1- وحدة ألواح (أفرخ) البولى ستايرين الرغوى (PS foam sheet unit) :

تعتمد عملية إنتاج ألواح البولى ستايرين الرغوى من سلسلة الماكينات المزدوجة. إضافة عامل نفخ أثناء نفث المواد الخام من البوليسترين باستخدام هذه المعدات. بعد طحن ونفث الرغوة والتبريد والتشكيل والسحب واللف في الورقة النهائية. تعتبر صفائح الرغوة PS نوعًا جديدًا من مواد التعبئة والتغليف، والتي تتميز بعزل حراري جيد وخصائص توسيد ولها أيضًا مظهر ولون يشبه اللؤلؤ. بعد التشكيل ، يتم تصنيع لوح الرغوة PS في أنواع مختلفة من حاويات المواد الغذائية مثل صناديق الغداء، والصواني، والأطباق، وغيرها.

2- وحدة التشكيل بالشفط الأوتوماتيكية (automatic vacuum forming machine)

هي وحدة من وحدات التشكيل الحراري التي تتكامل وتقطع. ويعتبر خط إنتاج علب الوجبات الجاهزة الرغوية PS كامل الأوتوماتيكية و يعمل نظام التحكم بشاشة الكمبيوتر باللمس. وهو سهل التشغيل. كما يتميز بخصائص توفير مقاسات التشكيل الكبيرة، القطع المريح وسرعة التشكيل السريعة. مع إمكانية إنتاج مجموعة واسعة من الأشكال عن طريق تغيير القالب.

3- آلة طحن البلاستيك (pulverizer):

يتم قطع المواد المتبقية وغير المستخدمة. ثم سحقها بواسطة آلة طحن بلاستيكية ومن ثم وضعها في آلة التحبيب لإعادة التدوير.

4- خط إعادة التدوير (آلة التحبيب). recycling granulator):

يستخدم لإعادة تدوير وتحبيب منتجات البوليسترين عالي التمدد. يشتمل خط إنتاج التحبيب لإعادة التدوير بشكل أساسي على الغربلة ، والتغذية ، والبثق ، والتبريد ، والسحب ، وتجفيف الهواء ، والتقطيع ، والتعبئة ، وغيرها من العمليات. يمكن إعادة تدوير الكريات البلاستيكية الناتجة عن إعادة تدوير التحبيب لتقليل النفايات.

ميكانيكية تصنيع عبوات الوجبات السريعة

Mechanical manufacturing of fast food containers

تستخدم وحدة ألواح (أفرخ) البولى ستايرين الرغوى لمعالجة جزيئات البوليسترين وتحويلها إلى لفات من الألواح .

وضع لفة البولى ستايرين الرغوى على وحدة التشكيل بالشفط الأوتوماتيكية. لتتشكل الالواح إلى حاويات رغوية بالشكل المطلوب من خلال القالب. يمكن سحق القصاصات المتبقية بواسطة كسارة البلاستيك ومن ثم إرسالها إلى وحدة التحبيب لإعادة التدوير.

شكل (5) يوضح خط إنتاج علب الوجبات الجاهزة الرغوية الأوتوماتيكي

/https://www.ygplasticmachinery.com/ps-foam-food-box-machine-line (30 april,2024)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

يشكل الستايروفوم آثارًا بيئية سلبية خطيرة في إدارة النفايات بسببه تكوينها ومتانتها وصعوبة إعادة تدويرها أو التخلص منها. يوضح الجدول (1) بعض التأثيرات الرئيسية لمخلفات الستايروفوم على البيئة.

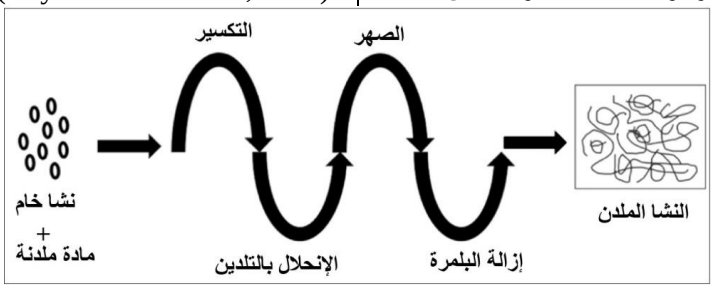
الرقم	نوع التأثير	الوصف
1	عدم القابلية للتحلل الحيوي وتأثيرات النظام البيئي	يتمتع الستايروفوم بخاصية عدم القدرة على التحلل بشكل طبيعي ويمكنها البقاء في البيئة لعدة قرون. إذا تم التخلص من الستايروفوم بشكل غير صحيح، فسوف يتراكم في مدافن النفايات والنظم البيئية الطبيعية، مما يسبب مشاكل زيادة النفايات والتلوث ويمكن لجزيئاته أن تنقسم إلى أجزاء أصغر لتكون مواد بلاستيكية الدقيقة، مما يزيد من التلوث البيئي.
2	خفيفة الوزن سهله الإنتشار	الستايروفوم مادة خفيفة جدًا بحيث يمكن أن تحملها الرياح والمياه وتسبب التلوث والنفايات بسهولة. غالبًا ما توجد نفايات الستايروفوم في المياه والمحيطات مما يعرض الحياة البحرية للخطر بسبب نفايات الستايروفوم.
	خيارات إعادة التدوير محدودة	على الرغم من إمكانية إعادة تدوير نفايات الستايروفوم، إلا أن إعادة التدوير عملية صعبة للغاية ومحدودة. ونادرا ما تتم لنفايات الستايروفوم بسبب قيمتها الاقتصادية المنخفضة والحاجة إلى مرافق إعادة التدوير الخاصة. معدل إعادة التدوير لنفايات الستايروفوم تميل إلى أن تكون أقل من المواد الأخرى .
	طاقة مكثفة للإنتاج	عملية صنع الستايروفوم نفسها تتطلب حجمًا كبيرًا من الموارد. تتضمن عملية الإنتاج استخدام المواد الخام المعتمدة على البترول وتنتج الانبعاثات الغازات الدفيئة التي تساهم في الأضرار البيئية و تغير المناخ.
	انبعاثات مواد كيميائية سامة	يمكن حرق نفايات الستايروفوم أو تعريضها لدرجات حرارة عالية تلوث الهواء وتؤدي إلى إطلاق مواد كيميائية سامة، بما في ذلك مادة الستايرين، وهي مادة مسببة للسرطان.
	الحاجة إلى مساحات كبيرة لمدافن النفايات	يشغل الستايروفوم مساحة كبيرة في مدافن النفايات، مما يؤدي إلى الإغلاق السريع لمدافن النفايات الموجودة وإثارت الحاجة إلى العثور على مواقع جديدة لمدافن النفايات، مما يؤدي إلى تأثيرات إضافية على البيئة .

جدول (1) يوضح بعض التأثيرات الرئيسية لمخلفات الستايروفوم على البيئة.
(Aditia Febriansya Al, 2024)

البلاستيك الحيوي:
البلاستيك الحيوي قائم على أساس حيوي، أو قابل للتحلل الحيوي ، أو كليهما. وهذا يعني أنه إما أن يكون مصنوعا كليًا أو جزئيًا من الكتلة الحيوية. تتميز بعض المواد البلاستيكية الحيوية أيضًا خصائص القابلية للتحلل البيولوجي.
على عكس المواد البلاستيكية التقليدية، فإن المواد البلاستيكية ذات الأساس الحيوي مشتقة من مصادر متجددة الموارد وتتمثل هذه الموارد في الغالب في المحاصيل السنوية مثل الذرة، الحبوب وبنجر السكر أو الكسافا وقصب السكر.وتتميز بدورها الفعال فى الحد من انبعاثات الغازات الدفيئة مدعومة بأشعة الشمس، تمتص النباتات ثاني أكسيد الكربون الجوي، أكثر من غيرها ووفرت الغازات الدفيئة (GHG) وتحويلها إلى كتلة حيوية.
يعتبر النشا البلاستيكي الحراري (TPS) وحمض البوليلاكتيك (PLA) هما المادتان السائدتان من المواد البلاستيكية الحيوية القابلة للتحلل. وجزئياً، فإن مادة PET ذات الأساس الحيوي (على سبيل المثال مشروع (PlantBottle™) و"Green PE"، وهو بولي إيثيلين مصنوع من الإيثانول المشتق من قصب السكر في البرازيل، هما أكثر المواد البلاستيكية غير القابلة للتحلل شيوعاً، ولكنها ذات أساس حيوي.
تتمتع العديد من المواد المتجددة أيضًا بخصائص التحلل الحيوي، على سبيل المثال PLA، PHA، والنشا الحراري (TPS)، وPHB، والبروتين، والسليلوز، والسكريات المتعددة الأخرى. يتم تصنيف المواد القابلة للتحلل الحيوي على أنها تلك التي تتغير فيها التركيبات الكيميائية بسرعة عند ملامستها للبيئة البيولوجية بسبب التحلل المائي والنشاط الأنزيمي . يؤدي انقسام البوليمر إلى انقسام السلسلة. وهذا يقلل من الوزن الجزيئي وينتج عددًا متزايدًا من الأوليجومرات وغيرها من المواد ذات الوزن الجزيئي المنخفض. تعتمد معدلات ومنتجات التحلل الحيوي على عدة عوامل في الظروف البيئية المختلفة. (Jovany Prendiz AL, 2019)
يمكن تصنيف المواد البلاستيكية الحيوية وفقًا لمصدرها إلى :
1- النشا البلاستيكي الحراري (TPS) .
2- المنتج من الكتلة الحيوية، أي المستخرج من النشا مثل حمض البولي لاكتيك (PLA)
3- الناتج من بولى الهيدروكسيل- كانوات (PHA].
4- بولي هيدروكسي بوتيرات (PHB)
5- الناتج من الزيوت النباتية.

أولاً: النشا البلاستيكي الحراري (TPS) Thermoplastic Starch
عبارة عن مادة متجانسة يتم تحضيرها باستخدام النشا الأصلي والماء أو الملدنات الأخرى ، مثل الجلسرين والسوربيتول والجلوكوز . ويمكن أيضًا استخدام مركبات أخرى، مثل تلك التي تحتوي على النيتروجين (اليوريا، ومشتقات الأمونيوم، والأمينات) . يمكن إجراء عملية تحويل TPS باستخدام نفس تقنيات المعالجة مثل البلاستيك التقليدي، مثل القولبة بالضغط. أو البثق ، أو القولبة بالحقن. يخترق الملدن حبيبات النشا ويقاطع التركيب البلوري الأولي بسبب درجة الحرارة وقوى القص. تخضع المادة للتحول الحراري الميكانيكي لحبيبات النشا شبه البلورية، والتي يتم تدميرها إلى مادة بوليمرية غير متبلورة لا تظهر انحرافًا عن طريق تمزق الروابط الهيدروجينية داخل الجزيئات وبين الجزيئات (الجيلتنة) وإعادة الترتيب لاحقا للبنية الجزيئية (التراجع أو إعادة التبلور). بمجرد أن يتم تحويل النشا إلى هلام وتلطيفه بشكل مناسب، يمكن أن يتدفق TPS مثل أي بوليمر صناعي؛ وبالتالي فإن TPS لديه درجات أقل من طاء البلورات من النشا الطبيعي. لا يمكن تحويل النشا إلى مادة لدنة بالحرارة بدون الملدنات، وتطبيق الحرارة وقوة التكسير يوضح الشكل (6) عملية تلدين النشا. تؤثر معلمات العملية ونسبة الملدنات وقوى التكسير بقوة على الخواص الفيزيائية للنشا المعالج ، مثل قوة الشد، وإجهاد الكسر، ومعامل المرونة، والانتقال الزجاجي، وحاجز الغاز. المواد البلاستيكية الحرارية القائمة على النشا لها استخدام محتمل في التطبيقات البلاستيكية قصيرة العمر، خاصة لتغليف المواد الغذائية بسبب خصائص حاجز الأكسجين، وقابلية التحلل البيولوجي، والقابلية للتحلل والتجديد. بالإضافة إلى ذلك، بالمقارنة مع اللدائن الحرارية الاصطناعية، فهي مادة رخيصة إلى حد ما. ولسوء الحظ، فإن تطبيقاته محدودة بسبب خواصه الميكانيكية الضعيفة، وحساسيته العالية للرطوبة وانخفاض ثباته الحراري بسبب محبته للماء. لمعالجة أوجه القصور هذه، تم استخدام العديد من الاستراتيجيات، بما في ذلك اختيار مصادر النشا ذات محتوى الأميلوز الأعلى، واستخدام مواد ملدنة أكثر كفاءة، وتعديل النشا كيميائيًا، وصهر TPS مع بوليمرات تقليدية أو قابلة

للتحلل الحيوي، وتعزيز TPS بالألياف كما تمت دراسة خليط بوليمرات النشا البلاستيكي الحراري (TPS) وحمض البوليلاكتيك (PLA) وهم عبارة عن بوليمرات قابلة للتحلل من أصل بيولوجي، بسبب الخواص الميكانيكية المرغوبة لـ PLA وانخفاض تكلفة معالجة TPS. ومع ذلك، فإن تركيبة TPS/PLA غير قابلة للامتزاج من الناحية الديناميكية الحرارية بسبب ضعف التفاعل البيني بين حبيبات النشا المحبة للماء وPLA الكارهة للماء. (Keydis Martinez Al, 2022)



شكل (6) يوضح عملية تلدين النشا

ثانيا : البلاستيك الحيوي المستخرج من النشا (PLA) حمض البولي لاكتيك Polylactic acid

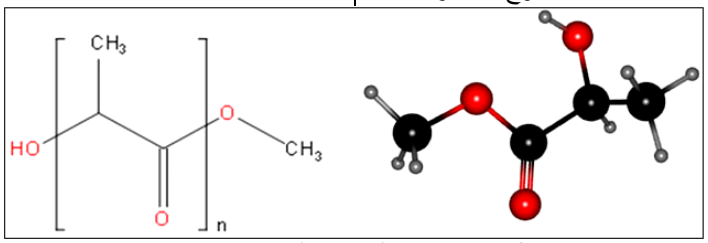
تم التركيز على استخدام النشا كمادة خام، وذلك بسبب توفرها . وتستخدم بشكل عام، على الرغم من وجود مصادر أخرى مثل البطاطس والشعير والشوفان والكسافا والبنجر وغيرها.

النشا عبارة عن بوليمر طبيعي تتكون حبيباته من الهياكل الجزيئية مرتبة في طبقات وخصائصها

من حيث التركيب والكمية والشكل تختلف حسب نوع مصدر النشا نفسه.

مكونات النشا: تتكون الطبقات الخارجية لحبيبات النشا من الأميلوبكتين والطبقات الداخلية من الأميلوز والتي تختلف نسبتها باختلاف مصدر النشا.

تركيبها الكيميائي: يتركب من بولى السكاريد تحتوى وحدات جليكوسيدية فقط، أي أنه جزيء كبير يتكون من العديد من جزيئات الجلوكوز المتكررة يوضح شكل (7) التركيب الكيميائى PLA

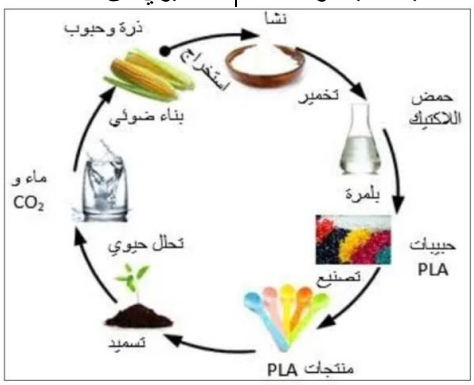


شكل (7) يوضح التركيب الكيميائى PLA

عملية تكوين البلاستيك الحيوي من النشا

: The process of forming bioplastics from starch

تبدأ بإستخلاص السكريات (الدكستروز بشكل أساسي، الجلوكوز والسكروز) من النشا النباتي، ثم تتفل الكائنات الحية الدقيقة وتشكله إلى جزيء أصغر من مادة تسمى حمض اللاكتيك ليتبلمر ثنائي اللاكتيد الذي يتم تنقيته إلى بولي حمض اللاكتيك دون الحاجة إلى المذيبات الكيميائية كما يوضح شكل (8) عملية تكوين البلاستيك الحيوي من النشا.



شكل (8) يوضح عملية تكوين البلاستيك الحيوي من النشا

يتمتع PLA بخصائص ميكانيكية جذابة مثل انخفاض الشفافية الجيدة ، وقوة الشد العالية ، الاستطالة العالية ، يمتلك PLA خصائص يمكن مقارنتها بـ PET، PP والنايلون. يشير هذا إلى إمكانيات PLA كمواد بديلة للمواد البلاستيكية التقليدية كما هو موضح في الجدول (2)

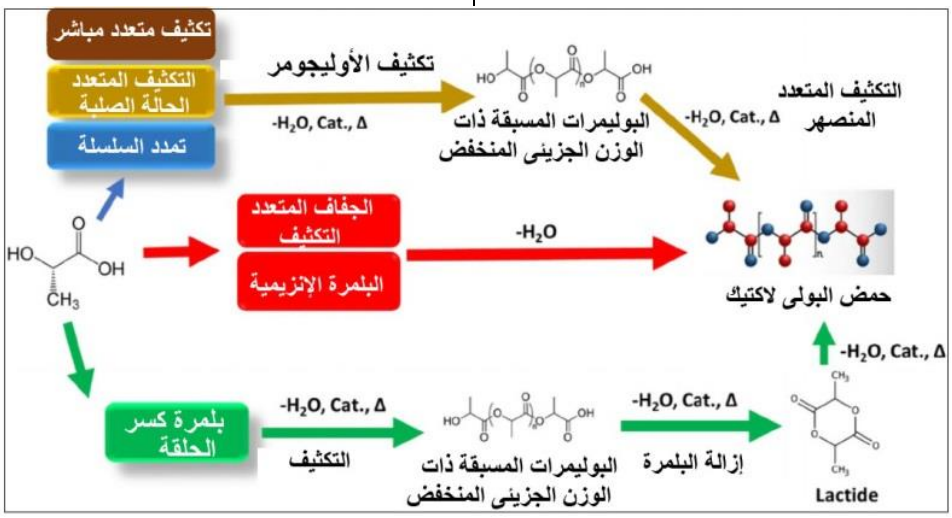
الخاصية	البلاستيك الحيوى PLA	بولى بروبلين PP	بولى إيثيلين ترفثالات PET	النايلون
الكثافة (جم /سم3)	1.25	0.9	1.4	1.2
الإعتامية (%)	2.1	1 - 4	2- 5	2 -3
قوة الشد (ميجا بسكال)	109.97	189.95	204.95	249.94
معامل الشد(ميجا بسكال)	3299.26	2399.46	3799.15	1824.59
الحد الإستطالة الأقصى(%)	160	110	140	125
مقاومة التمزق (جم / مم)	0.3810	0.1316	0.4572	0.3302

جدول (2) يوضح الخواص الميكانيكية للبلاستيك الحيوى PLA وأنواع البلاستيك التقليدية

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

يتم تصنيع PLA (البوليمر الأليفاتي) من حمض اللاكتيك المتخمر (LA) والذى يمكن إنتاجه بطريقتين :
1- التخمير البكتيري للكربوهيدرات الأساسية
2- التخليق الكيميائي.
يفضل عملية التخمير البكتيري لإنتاج LA عن طريق التخمير للمواد الأولية المتجددة. حيث يعيب طريقة التخليق الكيميائي القدرة الإنتاجية المحدودة، ارتفاع تكاليف التصنيع. وهو ما يعني عائد أفضل. للأسباب المذكورة، يتم استخدام طريقة التخمير المتجانس بشكل متكرر في الصناعة .
يبدأ تخليق حمض البولي لاكتيك (PLA) بإنتاج LA وينتهي ببلمرته، مع تكوين اللاكتيد كخطوة وسيطة. يمكن إنتاج PLA على ثلاث مراحل:

(أ) التخمير الميكروبي LA لـ LA
(ب) فصل وتنقية LA وتحضير الثنائيات الحلقية (اللاكتيدات)
(ج) التكثيف المتعدد LA أو بلمرة فتح الحلقة (ROP) من اللاكتيد
يمكن تحويل LA إلى PLA من خلال عمليات البلمرة المختلفة ، بما في ذلك التكثيف المتعدد المباشر (DPC) ، وبلمرة الأكسجين التفاعلية (ROP) ، والجفاف الأزيوتروبي المباشر، والبلمرة الأنزيمية. يعد التكثيف المتعدد أحد أكثر عمليات البلمرة شيوعًا المستخدمة في تصنيع PLA
أكثر الطرق شيوعا لتخليق PLA هي البلمرة المباشرة و ROP، ويوضح الشكل (9) الطرق المستخدمة لإنتاج حمض البولى لاكتيك (Ashfaq Ahmad AL , 2022)



شكل (9) يوضح طرق تصنيع حمض البولي لاكتيك.

قابلية التحلل البيولوجي Biodegradability
البلاستيك القابل للتحلل الحيوي هو البلاستيك الذي ينتج عنه التحلل بفعل الكائنات الحية الدقيقة التي تحدث عملية التحلل بشكل طبيعي مثل البكتيريا،الفطريات، والطحالب. ويعتبر قابلاً للتحلل إذا حدث تغيير كبير في التركيب الكيميائي للمادة المكشوفة، مما يؤدي إلى إنبعاث ثاني أكسيد الكربون، والماء، والمركبات غير العضوية، وإنتاج الكتلة الحيوية .
في بعض الحالات، تعتبر قابلية التحلل البيولوجي مرادفة لـقابلية التسميد إذا لم تكن هناك بقايا مرئية أو سامة في ظل هذه الظروف.
قد يكون مصطلح "قابل للتحلل" غير مضمون فى حال كانت الظروف البيئية المحيطة غير مناسبة لتحلله كما أن المواد لن تتحلل في وقت قصير، حتى في وجود الإنزيمات التي يمكنها تسريع معدل كسر الروابط الكيميائية. ولهذا السبب من المهم تحديد البيئة المعينة التي يتم فيها التحلل الحيوي.
يحدث تحلل PLA بشكل رئيسي من خلال انفصال روابط الإستر، وهذه هي الطريقة التي يتم بها تقسيم السلاسل البوليمرية الطويلة إلى أوليجومرات أقصر أو مونومرات. وتتفكك روابط استر PLA إلى حمض كربوكسيلي وكحول بواسطة التحلل الكيميائي بسبب الهيدريون هذه الوحدات الأقصر تكون صغيرة بما يكفي للمرور عبر جدران الخلايا للكائنات الحية الدقيقة ويمكن استخدامها كخامات لعملياتها البيوكيميائية وبالتالي يمكن أن تتحلل بواسطة الانزيمات الميكروبية .
وإلى جانب طرق التدهور هذه ؛هناك بعض العوامل التي تؤثر بشكل مباشر على قابلية التحلل الحيوي للبوليمرات ومنها :-

1– عوامل التحلل الميكانيكية Mechanical decomposition factors:
العوامل المرتبطة ببنية الترتيب الأعلى (درجة حرارة انتقال الزجاج (Tg)، درجة حرارة الانصهار (Tm) والتى لها تأثير كبير على أنزيمات التحلل ، التركيب البلوري ومعامل المرونة.

2- عوامل التحلل الكيميائية Chemical decomposition agents:
العوامل الشبيهة بالبوليمر المرتبطة بالبنية من الدرجة الأولى (التركيب الكيميائي والوزن الجزيئي وتوزيع الوزن) . ففي حالة الوزن الجزيئي العالي يتحلل PLA بمعدل أبطأ من تلك ذات الأوزان الجزيئية المنخفضة.

3-عوامل التحلل المتعلقة بالظروف السطحية Decomposition factors related to surface conditions:
يمكن أن تكون عملية التحلل الحيوي هوائية أو لاهوائية وعموما يتم تسريع التحلل الحيوي اللاهوائي عندما تكون درجة حرارة التحلل أكبر من درجة حرارة التزجج Tg.
وذلك لأن فى حال درجة الحرارة الأعلى من درجة التزجج Tg، يصبح الجزء غير المتبلور من PLA أكثر عرضة للكائنات الحية الدقيقة. بينما يتباطأ التحلل الحيوي اللاهوائي عندما تكون درجة حرارة التحلل أقل من درجة حرارة التزجج .
وقد تمت دراسة التحلل في ظل الظروف الهوائية، والذي يحدث أثناء عملية التسميد، بشكل أكثر عمقًا كالتالى :
يبدأ بآلية متسلسلة تبدأ بـتحلل كيميائي بسيط يحدث في وجود الماء و درجات حرارة مرتفعة، لتقليل الوزن الجزيئي للـ PLA ومن ثم، التحلل الحيوي الذي تستخدم فيه الكائنات الحية الدقيقة أوليجومرات حمض اللاكتيك كمصدر للطاقة ولتوليد ثاني أكسيد الكربون، والمياه والكتلة الحيوية .
يعتبر PLA عرضة للتحلل المائي بسبب المجموعات الوظيفية القابلة للتحلل المائي في تركيبته الكيميائية ويتم التحلل تحت الظروف الهوائية على خطوتين:

الخطوة الأولى: التحلل المائي Hydrolysis:
وهذا يحدث على مراحل: الأولى هي انتشار الماء إلى المادة، ثم التحلل المائي للسلاسل في الجزء غير المتبلور، والتي يمكن أن

تحدث من خلال آلية التحفيز الذاتي بسبب مجموعات حمض الكربوكسيل الطرفية من PLA.

الخطوة الثانية: التحلل الأنزيمي Enzymatic hydrolysis:

ويحدث هذا عندما تقوم الكائنات الحية الدقيقة بتحلل PLA وعادةً تتحلل البوليمرات القابلة للتحلل الحيوي عن طريق الهجوم الميكروبي في خطوة واحدة ولكن في حالة PLA فقد ثبت أن الكائنات الحية الدقيقة قادرة فقط على تحلل المونيمرات أو الجزيئات ذات الوزن الجزيئي المنخفض التي تم إطلاقها من مصفوفة البوليمر نتيجة للتحلل الحيوي المسبق لـ PLA.

أثبتت عبوات PLA فاعليتها فى تغليف الزبادي والزبدة والأجبان، من حيث توفير حماية ميكانيكية جيدة وحاجز للرطوبة، وحماية من نفاذية الضوء والدهون والغازات. بالإضافة إلى ذلك، تمت دراسة ما إذا كان خلال عملية التحلل الحيوي يحدث هجرة لحمض اللاكتيك ليتفاعل مع المنتجات، مما يثبت أنها مثالية لتغليف الأطعمة قصيرة الأجل والمخبوزات والفواكه والخضروات دون حدوث أى هجرة.

ثالثا : البلاستيك الناتج من بولى الهيدروكسيل- كانوات (PHA)
Plastics produced from polyhydroxy-alkanoates:

عبارة عن بوليستر لدن بالحرارة ذو هياكل متنوعة ويتم إنتاجه بواسطة الكائنات الحية الدقيقة عندما يكون هناك إمداد محدود من العناصر الغذائية مثل النيتروجين والأكسجين والفوسفور والكبريت، في وجود فائض من الكربون في ظل هذه الظروف القاسية، يكون الجسم قادرا لاستيعاب مصدر الكربون وتخزينه على شكل هيدروكسي ألكانوات (HA) يتراكم PHA داخل الخلايا كحبيبات بوليمر في هيئات المستقلبات الثانوية. بصرف النظر عن كونها جزءًا من داخل الخلايا مكوناً الخلية، PHAs هي مركبات تخزين ومصدر للطاقة للكائن الحي عندما ينضب مصدر الكربون في البيئة.

الخصائص العامة لل PHAs

الخاصية	PHB	PP
نقطة الإنصهار البلورية (%)	175	176
التبلور (%)	80	70
الوزن الجزيئى (Daltons)	5 X 10 5	2 X 10 5
درجة حرارة التحول الزجاجى (°م)	4	- 10
الكثافة (جم / سم3)	1.250	0.905
معامل الإنثناء (Gpa)	4.0	1.7
قوة الشد (ميجا بسكال)	40	38
الإستطالة (التمدد) حتى الكسر (%)	6	400
مقاومة الأشعة UV	جيد	ضعيف
مقاومة المذيبات	ضعيف	جيد

يوضح جدول (3) مقارنة بين PHB وPP.

إنتاج PHB بواسطة البكتيريا الزرقاء (PHB production by cyanobacteria):

من المعروف أن البكتيريا الزرقاء يمكن أن تنتج PHB كطاقة داخل الخلايا ومركب تخزين الكربون . تُظهر البكتيريا الزرقاء العديد من الفوائد ذات الصلة صناعيًا مقارنة بنظيراتها النباتية، بما في ذلك معدل نمو أسرع واستخدام أعلى لثاني أكسيد الكربون وقابلية أكبر للهندسة الوراثية. المركبات التي يمكن إنتاجها بواسطة البكتيريا الزرقاء ضوئيًا. في عام 2013 تم إنتاج بولي- بيتا - هيدروكسي بويترات من (السيانوباك – تيريا) لإنتاج البلاستيك الحيوي. وأتضح أن البكتيريا الزرقاء Synechocystis sp. يمكنها إنتاج ما يصل إلى 37 % من وزن الخلية الجافة من PHB مع ثاني أكسيد الكربون باعتباره مصدر الكربون الوحيد ، وهو أعلى بكثير من القيم الأخرى المبلغ عنها من الأدبيات. تعرضت السلالة لطفرات الأشعة فوق البنفسجية لزيادة إنتاجية PHB.

تعتبر الاستطالة المنخفضة والكسر والهشاشة العالية من أهم عيوب PHB. ومع ذلك، يمكن التغلب عليها باستخدام PHA ، وخليط من البوليمرات المشتركة، يتم استخدام غالبية البولي بروبيلين في المنتجات البلاستيكية قصيرة العمر مثل التغليف الصلب، والتي ينتهي بها الأمر جزئيًا في الطبيعة. يمكن أن يكون البديل القابل للتحلل البيولوجي حلاً ماديًا معقولاً. نظرًا لأنه يمكن اختيار PHA وتخصيصه لمختلف التطبيقات، وخليط من البوليمرات المشتركة ، يمكن تغطية ما يصل إلى 90٪ من جميع تطبيقات PP بواسطة PHA وإلى حد كبير يمكن تصنيعها بواسطة PHB. عيب PHB هو ارتفاع تكلفة الإنتاج. تم إدراج طرق لجعل إنتاج PHA أكثر تنافسية من حيث التكلفة .

لإنتاج PHB من البكتيريا الزرقاء. يتم استخدام خزان النضج لإنتاج PHB في مرحلة لاحقة، حيث لا يتم استهلاك ثاني أكسيد الكربون، ولكن يتم تحويل الجليكوجين إلى PHB كما موضح شكل (11).
(Markl Erich AL , 2018)

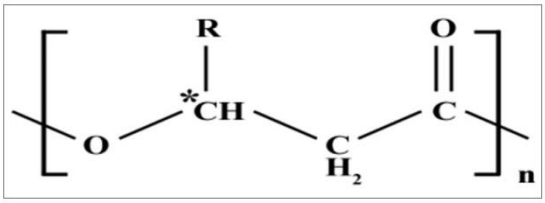
تتميز PHAs بالمرونة ولها خصائص لدنة حرارية مشابهة للخصائص الاصطناعية للبلاستيك عند استخلاصه من الخلية.

الخواص الميكانيكية لـ PHA كالتالى :

قوة الشد (40 MPa)، معامل يونغ (3.5 GPA) تشبه البلاستيك الاصطناعي.

قابلة للذوبان في الكلوروفورم و الهيدروكربونات المكلورة الأخرى ولكنها غير قابلة للذوبان في الماء. و هى غير سامة مما يجعلها متوافقة حيويا.

تعتمد الهياكل المتنوعة لـ PHA على مصدر الكربون والكائنات الحية الدقيقة تتكون غالبية PHA التي تم تحديدها من مونومرات الأحماض الدهنية 3- (R-هيدروكسي مرتبطة مبحفزات استر) كما فى شكل(10)

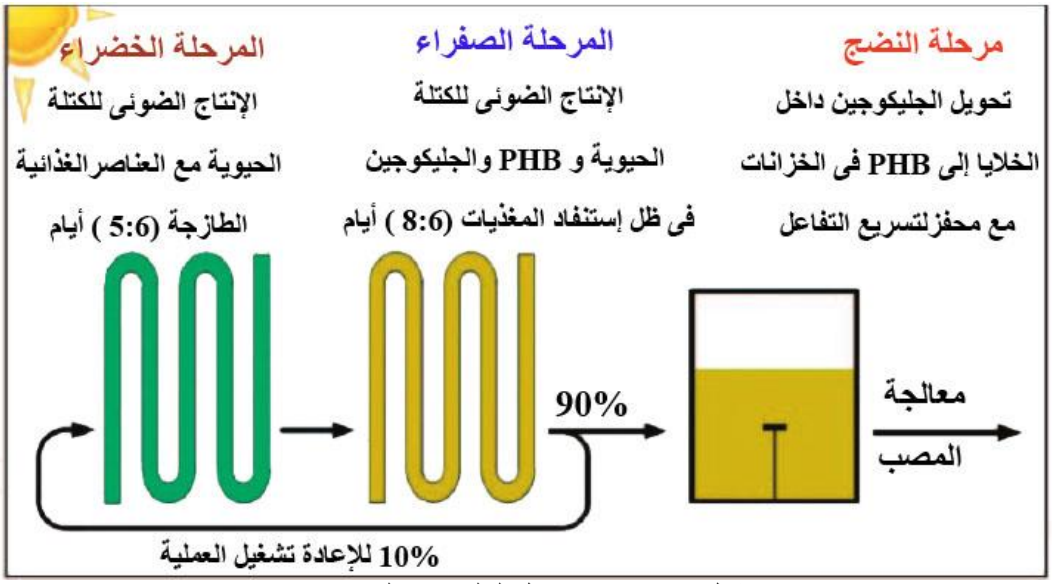


شكل (10) يوضح بولى (3 هيدروكسيل ألكانوات) A. B. (Akinmulewo AL,2019)

رابعا: بولي هيدروكسي بوتيرات (PHB)
Polyhydroxybutyrate:

يحتوي PHB على أوجه تشابه مذهلة مع PP وبالتالي تم تصوره كمرشح بديل محتمل لـ PP على سبيل المثال، في التطبيقات الطبية الحيوية والزراعية والصناعية يوضح الجدول (3) مقارنة بين PHB وPP.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



شكل (11) يوضح تحويل الجليكوجين إلى PHB

خامسا : البلاستيك الحيوى الناتج من الزيوت النباتية

Bioplastics can be created from used vegetable oils

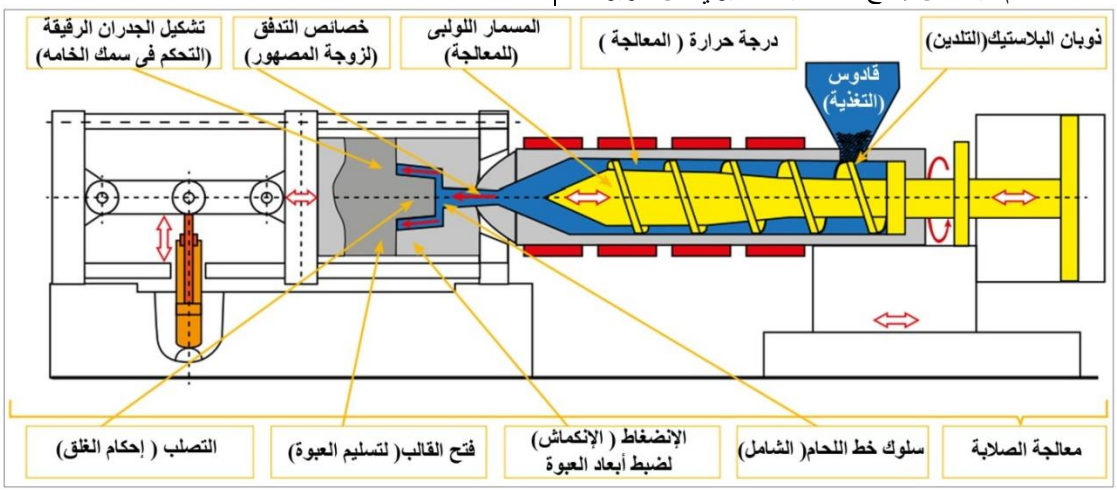
يمكن تصنيع البلاستيك الحيوي من الزيوت النباتية المستخدمة عن طريق تعديل الزيوت إلى راتنجات حيوية أو مونومرات أكريلاتية، والتي يمكن استخدامها بعد ذلك في تصنيع المواد البوليمرية لتطبيقات مختلفة.

كذلك استخدامها في تصنيع اللاتكس البوليمري لتطبيقات الطلاء تتضمن عملية المعالجة تحويل الزيوت النباتية إلى راتنجات حيوية من خلال الإيبوكسيد، مما يؤدي إلى إنتاج مواد ذات أساس حيوي مع مجموعات الأوكسيران .أظهرت الراتنجات الحيوية المشتقة من الزيوت النباتية، مثل زيت فول الصويا وزيت الخروع وزيت بذر الكتان، نتائج واعدة في تسويق الراتنجات الحيوية كما تم استكشاف تخليق البلاستيك الحيوي من السليلوز، مع استخدام أوراق النفايات كمادة خام، باستخدام المعالجة الكيميائية بحمض الأسيتيك وحمض الكبريتيك .بالإضافة إلى ذلك، تم اعتبار تعزيز البوليمرات الحيوية، مثل النشا وراتنجات الزيوت النباتية، بمواد أخرى لتحسين خواصها الميكانيكية بشكل عام، يتضمن إنتاج البلاستيك الحيوي من الزيوت النباتية المستخدمة .

https://typeset.io/questions/how-to-create-bioplastic-from-used-vegetable-oils-5cmd10exik (7 May 2024)

العوامل المؤثرة على تشكيل عبوات البلاستيك الحيوى الصلب بالحقن:

تعتبر عملية التشكيل بالبثق (الحقن) هي المعالجة البلاستيكية التقليدية الأكثر شيوعًا للمواد البلاستيكية الحرارية. تتكون الطاردات بشكل أساسي من القواديس (وحدات التغذية)، وبراميل الأسطوانات، والبراغي، والقالب. يمكن تقسيم المواد الخام في شكل مسحوق (مع مزيج سائل) أو الكريات البلاستيكية إلى آلات بثق أحادية اللولب وآلات بثق ثنائية اللولب اعتمادًا على عدد البراغي في الماكينة. يؤدي دوران البراغي الداخلية داخل الماكينة بالتسخين الكهربائي إلى التسخين والقص الذي يعزز التلدين وبالتالي ذوبان المواد. يمكن أن تختلف درجة الحرارة في مناطق مختلفة من الماكينة الأسطوانية لتحقيق معدلات الخلط والتدفق والضغط والتدفق المرغوب فيها (الشكل 12).



شكل (12) يوضح العوامل المؤثرة على التشكيل بالحقن(Institute for Bioplastics and Biocomposites, 2016)

تشمل معالجة العبوات البلاستيكية الحيوية عبر التحويل التقليدي البثق والتشكيل الحراري والنفخ والقولبة بالحقن. هذه تنتج أشكالًا مختلفة من التغليف المرن والصلب. تؤثر نفاذية عبوات المواد الغذائية بشكل كبير على جودة الأطعمة المعبأة ومدة صلاحيتها. تم تقييم تطوير البلاستيك الحيوي لتغليف المواد الغذائية بما في ذلك المنتجات الطازجة والمخابز واللحوم ومنتجات المأكولات البحرية. ومعالجة البلاستيك الحيوي إلى مواد متعددة الطبقات من خلال الطلاء والتصفيح والبثق المشترك الذي يعمل على تحسين الخصائص العازلة والوظيفية. علاوة على ذلك، فإن تعزيز المواد البلاستيكية الحيوية باستخدام مواد حشو عضوية وغير عضوية، أو

أي تعديلات وظيفية أخرى مثل معالجة البلازما التي تسبب الارتباط المتبادل بين البوليمرات، يعزز بشكل فعال خصائص حاجز التغليف. يعد تحسين خصائص الحاجز وإضافة الوظائف النشطة، وخاصة الأداء المضاد للميكروبات، تطورات رئيسية في التحقيقات المتعلقة بالبلاستيك الحيوي لتغليف المواد الغذائية. إن فعالية زيادة العمر الافتراضي للأغذية المعبأة من خلال التعبئة والتغليف البلاستيكية الحيوية الوظيفية يمكن أن تقلل من فقد الأغذية وهدرها، وبالتالي تسهيل الإنتاج الغذائي المستدام.
.(Nathdanai Harnkarnsujarit AL, 2021)

إضافات مواد البلاستيك الحيوى (Impact Modifiers') Effect

1- الملدنات Plasticizers:

يتم تصنيف PLA على أنه بوليمر زجاجي ذو استطالة ضعيفة عند الكسر10% فقط. لهذا السبب، تم إستخدام العديد من الملدنات القابلة للتحلل وغير القابلة للتحلل لزيادة ليونتها وتحسين قابليتها للمعالجة . يمكن إجراء مثل هذه التحسينات في خصائص PLA يمكن تحقيق ذلك من خلال التحكم في قطبية الملدنات ومجموعاتها النهائية ووزنها الجزيئي.
أحد المونومرات الفعالة لتليين PLA هو اللاكتيد.
لقد بحثت دراسات مختلفة في الأدبيات في استخدام بولي (إيثيلين جلايكول) (PEG) بأوزان جزيئية مختلفة كملدنات لـ PLA لتحسين خواصها الميكانيكية. و عند دراسة تأثير PEG على الجزيئات على الخواص الميكانيكية لـ PLA.
يمكن تحقيق ذلك من خلال التحكم في قطبية الملدنات ومجموعاتها النهائية ووزنها الجزيئي.

2- معدّلات التأثير Impact Modifiers

يمكن دمج معدلات التأثير المختلفة في PLA لتقليل هشاشته أثناء ذلك والحفاظ على صلابته.
أظهرت النتائج زيادة في خواص الشد ونسبة الاستطالة. علاوة على ذلك، عند إضافة 10% بالوزن من BS، تم تلدين Cloisite 25A/PLA حافظت المواد المركبة على قوتها وصلابتها بينما أظهرت ليونة جيدة و تحسن كبير في الاستطالة عند الكسر وتم الوصول إلى قوة التأثير المعززة لـ PLA نتيجة لزيادة محتوى BS معدل تأثير يصل إلى 50% بالوزن. ومع ذلك، كان هناك انخفاض في معامل يونغ وإنتاج إجهاد PLA مع زيادة كمية معدل تأثير BS. ويُعزى ذلك إلى تأثير تشديد معدل التأثير BS مما قلل من تبلور PLA بنسبة تحسين التشوه البلاستيكي لمصفوفة PLA.

3- المزج (الخلط) Belnding

مزج البوليمر هو نهج فعال بديل ينتج عنه مواد جديدة ذات الخصائص المطلوبة. ويعتمد هذا الأسلوب على تعديل البوليمر المتوفر بدلاً من تصنيع بوليمرات جديدة تمامًا. تعتبر القدرة على مزج البوليمرات المختلفة طريقة أرخص لإنتاج بوليمرات جديدة ذات خصائص مرغوبة.
عوامل مختلفة يجب أن تأخذ بعين الاعتبار. على سبيل المثال :يجب ضبط درجة الحرارة لتكون أعلى من Tg لتلك الخاصة بالبوليمر غير المتبلور أوفوق Tm للبوليمر شبه البلوري. هذا أمر بالغ الأهمية للتحكم في اللزوجة مما يؤدي إلى التشتت الأمثل. يجب أن يكون الحد الأدنى لخلطات PLA حوالي 180 درجة مئوية.
عند التعامل مع المزيج في حالة ضعف الالتصاق البيني، يمكن أن يعاني مزيج PLA من التقصف.
علاوة على ذلك، يمكن أن يحدث تغيير كبير في شكل المراحل، بناءً على المنتج ، التصميم وكذلك ظروف المعالجة. يمكن أن تحدث مشكلة أخرى عند مزج PLAمع البوليمرات غير القابلة للتحلل الحيوي لأن ذلك يمكن أن يؤثر على قابلية تركيب PLA إن مزج أكثر من اثنين من البوليمرات الحيوية لا يؤدي بالضرورة إلى مزيج قابل للتحلل حتى لو كان أحد البوليمرات المخلوطة قابلاً للتحلل.
تعتمد الخصائص المطلوبة للمزيج النهائي على البوليمر الذى سيتم مزجه على سبيل المثال، الخصائص الميكانيكية مثل الصلابة والمتانة، وما إذا كان ينبغي أن يكون المزيج قابلاً للتحلل البيولوجي، معدل القابلية للتحلل الحيوي، والخصائص الكيميائية والفيزيائية المطلوبة، والبلورة والامتزاج، كل ذلك يلعب دورًا في تحديد البوليمر الذى سيتم مزجه ، البوليمرات الصلبة تكون متبلورة وهشة بينما البوليمرات المرنة غير متبلورة. وبالتالي، عندما تتم إضافة بوليمر حيوي مرن وقوي إلى بوليمر حيوي هش، يزيد من تأثيرالمقاومة وفي نفس الوقت تقلل القوة والمعامل.
ويعتقد أن الأداء الجيد يمكن تحقيقه من خلال مزج البوليمرات الحيوية الهشة مع البوليمرات الحيوية المرنة. وفي المواد القابلة للتحلل، تعتبر أهم عوامل إنتاج خلطات البوليمر الحيوي الوظيفية هي:
(1) توافق المزيج أو قابليته للامتزاج.
(2) قابلية التحلل الحيوي للخليط وتكوينه. يمكن تقسيم البوليمرات المخلوطة إلى ثلاث فئات :

- **خلائط البوليمر غير المتجانسة أو غير القابلة للامتزاج:** في مثل هذه الخلائط ، تتواجد البوليمرات في مراحل منفصلة ويتم اكتشاف درجات حرارة التزجج المعنية.
- **خلائط البوليمر المتوافقة:** هذه الخلائط غير قابلة للإمتزاج وتظهر خواص فيزيائية موحدة. ويمكن أن يعزى ذلك إلى التفاعلات القوية بين مكونات البوليمرات.
- **خلائط البوليمر المتجانسة أو القابلة للامتزاج:** عادة ما يتم تصنيع هذا النوع من الخلائط من بوليمرات لها تركيب كيميائي مماثل. سيؤدي ذلك إلى مزيج بوليمر ذو هيكل أحادي الطور مع درجة حرارة انتقال زجاجية واحدة فقط.

(Ahmed Z. Naser AL,2021)

الفرق بين البلاستيك الحيوى والبلاستيك القابل للتحلل الحيوى

The difference between bioplastic and biodegradable plastic

البلاستيك الحيوي عبارة عن مواد بلاستيكية مصنوعة من مواد عضوية مثل نشا الذرة، ويتمتع PLA بخصائص مشابهة للبولي بروبيلين (PP) والبولي إيثيلين (PET) ويبدو تمامًا مثل البلاستيك العادي. من الناحية النظرية، فإنه يتحلل في غضون أسابيع ويفعل ذلك دون ترشيح المواد الكيميائية السامة مرة أخرى إلى التربة والمياه الجوفية. ، وتعتبر فكرة غير جيدة أن تترك النفايات من أي نوع تتحلل في مكب النفايات. ومثل معظم المواد العضوية، يؤدي تحللها إلى إنتاج غاز الميثان، وهو غاز دفيئة أقوى عدة مرات من ثاني أكسيد الكربون. وبدلاً من ذلك، يجب نقل البلاستيك الحيوي المرتكز على PLA إلى منشأة تجارية للسماد، حيث يمكن تفكيكه في بيئة خاضعة للرقابة بواسطة الميكروبات.
من ناحية أخرى، تشير المواد البلاستيكية القابلة للتحلل الحيوي إلى المواد البلاستيكية ذات الأساس البترولي والتي يتم دمجها مع مادة مضافة تجعلها تتحلل بسرعة.(The MINI PAk'R ®, 2019)

ثانيا المحور التطبيقى (العملى):

يتبع المحور العملى الدراسة التجريبية حيث تم إجراء قياسات على عينات من العبوتين محل الدراسة

أولا عينة البحث :

عبوتين أحدهما من البلاستيك الحيوى الصلب والأخرى من البولسترين المتمدد الرغوى الذين يتم إستخدامهم فى تغليف الوجبات السريعة. لهما الأبعاد الموضحة بالجدول (4)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

عبوة الستايروفوم	عبوه البلاستيك الحيوى
23 X 19 X 7 Cm	الأبعاد : Cm 22.5 X 23 X 8

جدول (4) يوضح أبعاد وشكل العبوات المستخدمة فى القياس

التجربة الأولى : قياس التحليل الطيفى (إختبار تحلل المواد) (FTIR) (Fourier Transform Infrared)

1. الهدف منها : يعد تحليل FTIR، الذي يرمز إلى التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء لتحويل فوريه، تقنية قوية تستخدم لتحديد التركيب الكيميائي للعينة. وهو يعمل عن طريق قياس ضوء الأشعة تحت الحمراء الذي تمتصه العينة. تمتص المجموعات الوظيفية المختلفة في الجزيئات ضوء الأشعة تحت الحمراء بترددات محددة. ومن خلال تحليل نمط هذه الامتصاصات (الطيف)، يستطيع العلماء تحديد أنواع الروابط والمجموعات الوظيفية الموجودة في العينة.

2. الجهاز المستخدم : FTIR Bruker كما موضح شكل (13)

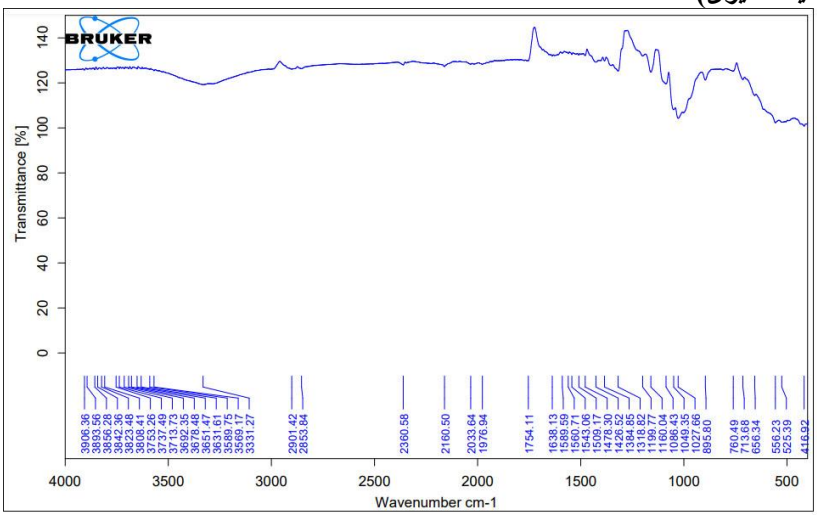
شكل (13) يوضح جهاز (FTIR Bruker)

3. ميكانيكية القياس:

يعمل عن طريق تقسيم الشعاع إلى مسارين باستخدام مقسم الأشعة ، ينعكس شعاع واحد بواسطة مرآة ثابتة والثاني بواسطة مرآة متحركة. يتم إعادة توحيدها عند مقسم الحزم بعد إحداث اختلاف في المسار مما يؤدي إلى حدوث تداخل بين الحزم. نظرًا لتغير مسافة انتقال الشعاع الثاني، الناتج عن المرآة المتحركة، فإن ضوء الأشعة تحت الحمراء الناتج له توزيع ترددي مختلف. يتم تسجيل الإشارة الموجودة على الكاشف على أنها مخطط تداخل للمجال الزمني والذي يخضع بعد ذلك لتحويل فوريه إلى مجال التردد لإعطاء طيف الأشعة تحت الحمراء.

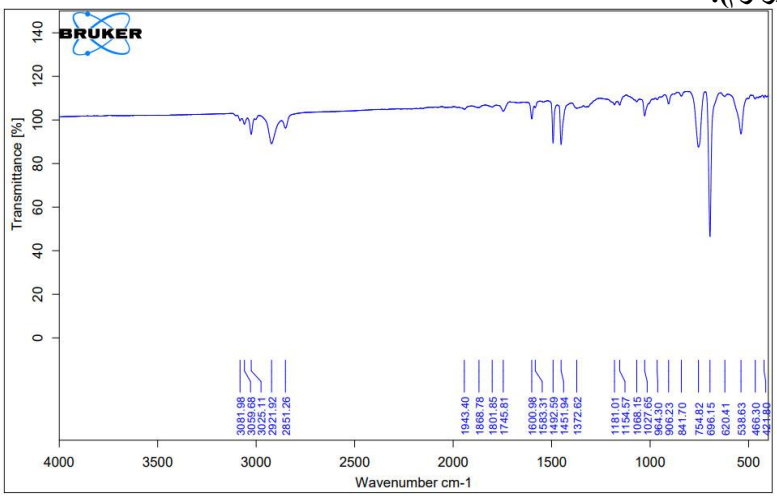
4. نتيجة القياس:

أولا: العينه الأولى (البلاستيك الحيوى)



شكل المخطط البيانى (14) يوضح نتيجة قياس العينة الأولى (البلاستيك الحيوى)

ثانياً: العينه الثانية (الستايروفوم):



شكل المخطط البيانى (15) يوضح نتيجة قياس العينة الثانية (الستايروفوم)

تحليل المخططات البيانية السابقة بالجدول (5):

خامة عبوه البلاستيك الحيوى	خامة عبوة الستايروفوم
وجود قمة عريضة حوالي 3300 سم-1 يدل على اهتزازات تمدد N-H من الأمينات الأولية. من المحتمل أن تكون القمم حوالي 1600 و1500 سم-1 بسبب اهتزازات التمدد C=C في الحلقات العطرية.	توجد قمة قوية وعريضة مركزها حوالي 3000 سم-1. هذه منطقة شائعة لاهتزازات تمديد CH في الجزيئات العضوية. هناك قمتين أصغر بارتفاع حوالي 2920 سم-1 و2850 سم-1. ومن المحتمل أيضًا أن يكون ذلك بسبب اهتزازات التمدد C-H. الذروة عند حوالي 1600 سم-1 قد تكون بسبب اهتزازات التمدد C=C.

الجدول (5) تحليل المخططات البيانية السابقة

5. نتيجة القياس:

- يحتوى تحليل البلاستيك الحيوى على مجموعه N- H مما يدل على أنه مادة طبيعية .
- يحتوى تحليل الستايروفوم على مجموعه C-H وبالتالى تكونه من مواد غير طبيعية.

التجربة الثانية : قياس نسبة الإختراق:

1- الهدف:

لإختبار صلابة المواد حيث كلما زادت قراءة القوة (أو كلما كان عمق الاختراق أصغر (إذا تم القياس بقوة ثابتة)، زادت قوة وصلابة المادة.

2- الجهاز المستخدم: Texture Pro CtV 1.8 build 31 **كما موضح شكل (16)**

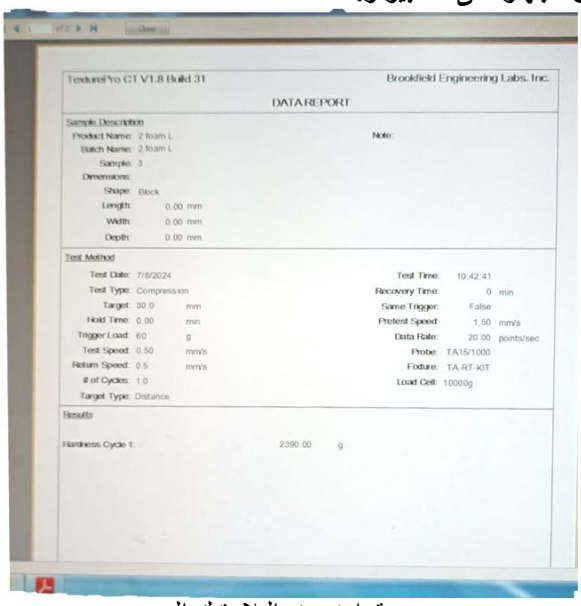
شكل (17) يوضح جهاز مقاومة الإختراق (Texture Pro CtV 1.8 build 31

3- ميكانيكية القياس:

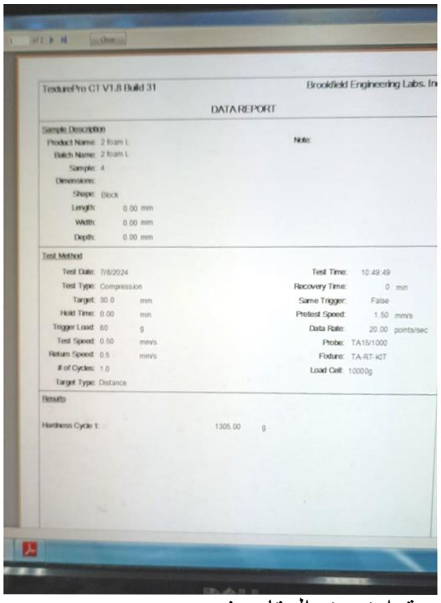
في اختبار الاختراق باستخدام محلل النسيج، يتم دفع مسبار (مثل إبرة أو مخروط أو أسطوانة) متصل بذراع الأداة إلى عينة الاختبار. يقوم محلل النسيج بقياس القوة المطلوبة لتحقيق عمق اختراق محدد أو العمق المخترق بسرعة محددة وتحت ظروف خاضعة للرقابة.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

4- نتيجة قياس الجهاز على الكمبيوتر:



قراءة عينه البلاستيك الحيوى



قراءة عينه الستايروفوم

العينه	الصلابة
البلاستيك الحيوى	23.437
الستايروفوم	12.79767

جدول (6) يوضح نتائج قياس مقاومة الإختراق

شكل (18) يوضح نتائج قياس مقاومة الإختراق

5- نتيجة القياس:

زيادة مقاومة الإختراق للبلاستيك الحيوى عن الستايروفوم مما يعنى قوة وصلابة البلاستيك الحيوى عن الستايروفوم .

النتائج: Results

1- على الرغم من كون البلاستيك الحيوى من مواد طبيعية إلا أن هذا لم يجعله هش أو ضعيف حيث أظهرمقاومه أعلى للإختراق.
2- المواد الطبيعية الحيوية تحتاج إلى ظروف معينة وكائنات حية دقيقة معينة تتغذى عليها من نوعيه معينه لإتمام عمليه التحلل.
3- الأغلفة البلاستيكية الصلبة التقليدية تزيد من إرتفاع نسبة الغازات الدفيئة وتزيد درجة الحرارة أثناء تصنيعها وبالتالى تتسبب فى زيادة مشاكل الإحتباس الحرارى وأزمة تغير المناخ
4- يعتبر البلاستيك الحيوى الصلب أمن على الإنسان فى طرق التصنيع أو الإستخدام حتى فى حال حدوث هجرة بأى نسب مع الأطعمة المغلفة به ، أمن كذلك على البيئة من حيث طريقة التخلص منه بعد الإستخدام علاوة على التحلل السريع وبالتالى إنخفاض تراكم النفايات المسببه للتلوث البيئى.

التوصيات: Recommendation

- فتح أسواق جديدة فى مصر لعبوات التغليف الصلبه ذات الأساس الحيوى كما تم فتح أسواق لعبوات التغليف الحيوى المرنة كإتجاه نحو تطبيق الإستدامه وإنتشار التغليف الأخضر فى مصر.
- من المهم إعلام المستهلكين بهذه المواد البلاستيكية الحيوية القابلة للتحلل للتخلص منها بشكل صحيح . حيث وجد بالمقارنة مع البلاستيك المصنوع من البترول، إن حمض البولي لاكتيك قابل للتحلل الحيوي، ولكن من المهم معرفة المستهلك أن هذا صحيح في ظل ظروف معينة مع وجود كائنات حية دقيقة محددة.
- فتح اسواق لعبوات البلاستيك الحيوى الصلب فى جمهورية مصر العربية بحيث لا يقتصر تفعيل إستخدام عبوات البلاستيك الحيوى على إستخدام عبوات التغليف المرنة كالأكياس فقط .
- توفير مكبات النفايات التى توفر الظروف المطلوبه فى وسط الكائنات الحية الدقيقة المناسبه التى تسرع وتساعد فى عملية تحلل هذا النوع من البلاستيك الصديق للبيئة لسرعه التخلص منه.

References :المراجع

1- Abdallah S. Elgharbawy, Expandable Polystyrene Production and Market Survey- A review, Egyptian Journal of Chemistry Vol. 66, Alexandria, Egypt, 2023

2- Budi Triyono & others , The Characterization of Mechanical and Chemical Properties of Recycled Styrofoam Waste Employing Extrusion Process, Jurnal Rekayasa Mesin, 18(2):241, 2023

3- Ankesh, jaikant and sanjeev goyal, properties of expanded polystyrene (eps) and its environmental effects, ymca, faridabad india, 2021

4- Manu Chandra, Colin Kohn, Jennifer Pawlitz, And Grant Powell , Real Cost Of Styrofoam, Saint Louis University, France ,2016

5- Aditia Febriansya , Iskandar , Dewi Amalia , Risma Nur Indah , and Yulia Widyaningsih, Environmental implications of styrofoam waste and its utilization as lightweight fill material for embankment construction, Civil Engineering Department, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia, 2024

6- Erich Markl, Hannes Grünbichler and Maximilian Lackner , Cyanobacteria for PHB Bioplastics Production: A Review, Vienna, Austria , 2018

7- Keydis Martinez , Mary Arias-Tapia , Jairo Useche & Daniela Escobar Macías , Thermoplastic Starch (Tps)/Polylactic Acid (Pla) Blending Methodologies: A Review, Journal Of Polymers And The Environment 30(1) , Bolívar, 2022

8- Jovany Prendiz & others , Polylactic Acid (PLA) As A Bioplastic And Its Possible Applications In The Food Industry , Food Science & Nutrition 5 , October 2019 , Costa Rica

9- Ashfaq Ahmad & others , An overview of biodegradable poly (lactic acid) production from fermentative lactic acid for biomedical and bioplastic applications ,2022

10-A. B. Akinmulewo and O. C. Nwinyi, Polyhydroxyalkanoate: a biodegradable polymer (a mini review) , Journal of Physics: Conference Series , 2019 , Nigeria.

11-Institute for Bioplastics and Biocomposites, Processing of Bioplastics – a guideline –, Hanover University of Applied Sciences and Arts, Germany , 2016

12-Nathdanai Harnkarnsujarit, Phanwipa Wongphan, Tanaporn Chatkitanan, Yeyen Laorenza, Atcharawan Srisa, Sustainable Food Processing and Engineering Challenges, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, 2021

13-Ahmed Z. Naser, Ibrahim Deiab,Fantahun Defersha and Sheng Yang , Expanding Poly (lactic acid) (PLA) and Poly hydroxyl alkanoates (PHAs) Applications: A Review on Modifications and Effects, School of Engineering, , Guelph, Canada , 2021

14-The MINI PAk'R ®,Biodegradable Vs. Bioplastics: What's The Difference, Scott Borhauer , Tulsa, Oklahoma , 2019

15-https://iamovement.org/wp-content/uploads/2018/09/Styrofoam-Single-Use-Plastic-and-Compostable-Packaging-Facts-Statement.pdf (3 may,2024)

16-https://www.ygplasticmachinery.com/ps-foam-food-box-machine-line16)

17-https://typeset.io/questions/how-to-create-bioplastic-from-used-vegetable-oils-5cmd10exik (7 May 2024)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License