

دراسة عملية التحلل لأغشية البلاستيك الحيوي المحضرة من الطحلب البحري الأحمر " *Galaxaura* " في التربة

د. أحمد قره علي *

د. حسام الدين لايقه **

رئبال منى ***

(تاريخ الإيداع 8 / 6 / 2021. قبل للنشر في 23 / 8 / 2021)

□ ملخص □

تعد النفايات البلاستيكية من أهم المشاكل البارزة على مستوى العالم لأنها تتراكم في البيئة وتسبب تلوثها، ومن هنا تأتي أهمية هذا البحث في اصطناع بلاستيك قابل للتحلل الحيوي من الطحالب البحرية كبديل عن البلاستيك الصناعي التقليدي غير القابل للتحلل.

تم استخلاص الأغار من الطحلب البحري الأحمر "*Galaxaura*" بمعدل استخلاص 36.8% بطريقة الاستخلاص المباشر بالماء الساخن وبمردود 16% بطريقة الاستخلاص بالماء الساخن بعد المعالجة القلوية، ليتم استخدامه لاحقاً في إنتاج أغشية البلاستيك الحيوي.

تم إجراء اختبار التحلل الحيوي لأغشية البلاستيك الحيوي في التربة، حيث أظهرت الأغشية قابلية للتحلل مع معدل فقدان وزن (42.1%) خلال 30 يوماً في الشتاء مقارنةً مع (40.58%) في الصيف خلال 120 يوماً.

الكلمات المفتاحية: طحالب، أغار، *Galaxaura*، بلاستيك قابل للتحلل الحيوي، أغشية حيوية

* استاذ ، المعهد العالي للبحوث البحرية، قسم الكيمياء البحرية، اللاذقية- جامعة تشرين ، سورية.

** استاذ مساعد ، المعهد العالي للبحوث البحرية، قسم الكيمياء البحرية- جامعة تشرين ، اللاذقية، سورية.

*** طالب دكتوراه ، المعهد العالي للبحوث البحرية، قسم الكيمياء البحرية، جامعة تشرين ، اللاذقية، سورية.

Study of the biodegradation process of bioplastic films prepared from red marine algae "*Galaxaura*" in soil

Dr. Ahmad Kara-Ali*
Dr. Hussam Eddin Laika**
Reabal Mona***

(Received 8 / 6 / 2021. Accepted 23 / 8 / 2021)

□ ABSTRACT □

Plastic waste is one of the prominent environmental problems worldwide because it accumulates in the environment causing pollution, hence the importance of this paper is to synthesize biodegradable plastics from marine algae as alternatives to non-degradable plastics.

Agar was extracted from the red marine algae "*Galaxaura*" by direct extraction method with hot water with an average yield of 36.8%, and by hot water extraction method after alkaline treatment with a yield of 16%, and used it in the production of bioplastic films.

The bioplastic film sample which buried in soil exhibited biodegradability and a weight loss rate of (42.1%) within 30 days in winter compared to (40.58%) in summer within 120 days.

Key word: Algae, Agar, *Galaxaura*, Biodegradable plastic, biofilms

* Professor, High Institute of Marine Research, Lattakia, Tishreen University, Syria.

** Associate Professor, High Institute of Marine Research, Lattakia, Tishreen University, Syria.

*** PhD student, High Institute of Marine Research, Marine Chemistry Department, Tishreen University, Lattakia, Syria

مقدمة

تتميز المواد البلاستيكية الاصطناعية بأنها مقاومة للتحلل حيث يحتاج تفككها وتحللها طبيعياً مئات أو حتى آلاف السنين بسبب الوزن الجزيئي العالي لبوليميراتها والروابط الكيميائية القوية ونقص الإنزيمات الطبيعية والعمليات البيولوجية التي تؤدي إلى تفككها، مما يؤدي إلى تلوث عناصر البيئة من تربة وماء وهواء، وعدم توازن في النظام البيئي (Sudesh, 2013 ; Manzoor et al., 2020). تستهلك عمليات إنتاجها كميات كبيرة من الوقود الأحفوري، هذا بالإضافة إلى التكلفة الاقتصادية المرتفعة والمتعلقة بتغير أسعار البترول العالمي، فضلاً عن كونها تحرر كميات كبيرة من الغازات الدفيئة الضارة خلال عمليات الإنتاج والاحتراق. الأمر الذي يقود إلى البحث عن مواد بديلة وفعالة منخفضة التكلفة وصديقة للبيئة (Song et al., 2009 ; Kumar and Thakur, 2017).

يُعرّف البلاستيك الحيوي بأنه شكل من أشكال البلاستيك المشتق من مصادر الكتلة الحية المتجددة والذي يخضع لتغير في البنية الكيميائية تحت ظروف بيئية معينة، حيث تتحلل هذه المواد سريعاً إلى مركبات أبسط في البيئات النشطة بيولوجياً من خلال التفاعلات الإنزيمية للكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا والفطريات (Wang and Nomura, 2010). كما يوفر البلاستيك الحيوي حلاً لمشكلة إدارة النفايات البلاستيكية الصناعية، ويحافظ على الموارد النفطية الأحفورية ويقلل من انبعاثات غاز ثنائي أكسيد الكربون، مما يجعل البلاستيك الحيوي ابتكاراً مهماً للتنمية المستدامة (Shah et al., 2021).

يُعرّف التحلل الحيوي بأنه انخفاض في الوزن الجزيئي للبوليمير من خلال عمل الإنزيمات أو المواد مثل الأحماض والبيروكسيدات التي تفرزها الكائنات الحية الدقيقة (البكتيريا، والخمائر، والفطريات، إلخ) التي تتواجد بشكل طبيعي في البيئة (Dudek and Coskun, 2017). يحدث عموماً التحلل الحيوي في كلٍّ من الأنظمة الحية والبيئية عبر العمليات الإنزيمية وغير الإنزيمية التي تجريان معاً في الظروف الطبيعية، أو قد يبدأ أحياناً بالتحلل غير الحيوي مثل التحلل الضوئي والتحلل المائي (Iordanskii et al., 2014 ; Bagrov et al., 2012 ; Bastioli, 2015). يميل البلاستيك الحيوي في التحلل المائي إلى امتصاص الرطوبة بسهولة مما يسمح له بالتفكك إلى قطع أصغر، ويصل إلى وزن جزيئي منخفض بما يكفي ليتم استقلابه بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، مما يؤدي إلى تحلله حيوياً (Hocking et al., 1996 ; Bonartsev et al., 2012).

أكدت الدراسات أن الطحالب البحرية من البدائل الواعدة في إنتاج البلاستيك الحيوي، نظراً لانتشارها الواسع في البيئة الطبيعية، وقدرتها على النمو في بيئات مختلفة وتحملها لمختلف العوامل البيئية (Jang, 2012).

أهمية البحث وأهدافه

أهمية البحث:

1. إنتاج البلاستيك القابل للتحلل الحيوي من الطحلب البحري "Galaxaura" المنتشر على الساحل السوري، ليكون بديلاً للبلاستيك الصناعي، بالتالي فهو آمن للأنظمة البيئية وبصورة خاصة البيئة البحرية.
2. يمتلك البلاستيك المحضر من الطحالب البحرية تطبيقات محتملة في العديد من المجالات: الصناعية، والزراعية وغيرها الكثير، وبسبب خاصية التحلل فهو يؤمن فوائد مضاعفة في حفاظه على الموارد الأحفورية وخفض انبعاثات غاز ثنائي أكسيد الكربون مما يجعله ابتكاراً مهماً للتنمية المستدامة.

3. يمكن استخدام الطحالب كواحدة من البدائل لإنتاج البلاستيك الحيوي بسبب كتلتها الحيوية العالية، وقدرتها على النمو في مجموعة كبيرة من البيئات وإمكانية زراعتها في البيئة الطبيعية مقارنة بالمصادر الميكروبية الأخرى التي تتطلب بيئة محددة لزراعتها.

4. عادةً ما تشكل المواد الأولية ثلث التكلفة النهائية في عمليات الإنتاج، لذلك فإن توفر الطحالب البحرية بشكل شبه مجاني وعلى مدار العام أمر مهم جداً من الناحية الاقتصادية ويجعل أسعار منتجاتها تنافسية مقارنة مع البوليميرات المنتجة من البترول.

أهداف البحث:

- ✓ استخلاص الأغار من الطحالب البحرية الحمراء (*Galaxaura*).
- ✓ اصطناع بلاستيك حيوي من الطحالب البحرية الحمراء (*Galaxaura*).
- ✓ دراسة خصائص التحلل في التربة للأغشية البلاستيكية المحضرة.

طرائق البحث و مواد

جمع العينات:

تم جمع عينات من الطحالب البحرية الحمراء "*Galaxaura*" (الشكل 1) من منطقة الشاطئ الأزرق (الشكل 2)، حيث تم غسل العينات جيداً بماء البحر لإزالة الشوائب والأتربة العالقة عليها، ومن ثم تم نقلها إلى مختبر الكيمياء البحرية في المعهد العالي للبحوث البحرية للقيام بالتحاليل المطلوبة. تركت العينات عدة أيام لتجف بدرجة حرارة الغرفة، ثم طحنت وخرّنت بمعزل عن الرطوبة لحين الاستخدام.



الشكل (1) طحالب بحرية حمراء "*Galaxaura*"



الشكل (2): موقع جمع عينات الطحالب البحرية (شاطئ الأبحاث البحرية)

استخلاص الأغار من الطحالب البحرية:

تم استخلاص الأغار من الطحلب البحري "Galaxaura" بطريقة الاستخلاص المباشر بالماء الساخن والموضحة لاحقاً. في حين تم إجراء المعالجة القلوية قبل الاستخلاص لبعض العينات. تهدف هذه الخطوة إلى زيادة قوة جلتة الأغار الناتج والحصول على بنية أكثر تراصاً.

- **المعالجة القلوية:** تمت معالجة عينات الطحالب الجافة في محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH 5% wt) في حمام مائي عند الدرجة 85°C لمدة 90 min. غسلت العينات بماء الصنبور حتى زوال القلوية تقريباً، وعدّل pH الوسط إلى القيمة بين 6.4 و 7 وذلك باستخدام محلول حمض كلور الماء (1%). ثم جففت العينات المعالجة مرة أخرى، وتم مزج (50 g) من العينات الجافة في (1000 ml) ماء مقطر عند الدرجة 120°C مدة 2 h (Chirapart et al., 1995). تركت رشاحة العينة لتبرد عند درجة حرارة الغرفة حتى يتشكل الجل، وضعت الرشاحة في المجمد عند الدرجة -21°C خلال الليل، ومن ثم تمت إزالة الماء من المستخلص المجمد باستخدام طريقة التجميد-الإذابة (Freezing-Throwing method) (Armisen and Galatas, 2009).

- الاستخلاص بالماء الساخن

تم استخلاص الأغار بشكل مباشر من الطحالب البحرية من خلال وضع العينات الجافة في ماء مقطر بنسبة (1:20) عند الدرجة 100°C مدة 4 h حتى اتمام عملية الاستخلاص. تترك رشاحة العينة لتبرد عند درجة حرارة الغرفة، ويتشكل الجل، وتمت باقي الخطوات كما هو موضح في طريقة الاستخلاص بالمعالجة القلوية (Abbas, 2010; Armisen and Galatas, 1987). ما يميز هذه الطريقة هي الحصول على مردود أعلى مقارنةً بالمعالجة القوية التي تعطي قوة جلتة أكبر (Abbas, 2010).

تحضير أغشية البلاستيك الحيوي:

يتم وضع 3.4 g من نشا الذرة مع 0.6 g من مسحوق الأغار الذي تم استخلاصه من الطحالب البحرية و 1g من الغليسول في 80ml ماء مقطر، يسخن المزيج في حمام مائي عند الدرجة 90°C مدة ربع ساعة مع التحريك

المستمر. يصب المحلول الناتج في أطباق بترية ويترك ليجف عند الدرجة °C 50 لمدة يوم كامل للحصول على أغشية البلاستيك الحيوي (WU et al., 2009).

اختبارات التحلل الحيوي في التربة

اختبار الطمر بالتربة:

تم فحص التحلل الحيوي لأغشية البلاستيك الحيوي باختبار طمر بالتربة. حيث طمرت عدة عينات في التربة بعمق 10 cm. تم استعادة العينات بعد فترة من الزمن وتنظيفها من الأتربة والاساخ العالقة عليها وتجفيفها في الفرن عند الدرجة °C 30 مدة نصف ساعة. تم تسجيل الوزن الأولي (M_0) والوزن النهائي (M_1). تم حساب النسبة المئوية لفقدان الوزن باستخدام المعادلة التالية: (Hii et al., 2016)

$$\text{فقدان الوزن (\%)} = ((M_0 - M_1) / M_0) \times 100 \%$$

دراسة البنية المجهرية لعينة التحلل في التربة:

تم أخذ صور مجهرية لعينة الغشاء الحيوي المستخدمة في هذه الدراسة قبل إجراء عملية التحلل وبعد التحلل، وذلك باستخدام المجهر من نوع (Motic) و(بقوة تكبير 20).

النتائج والمناقشة

كمية الأغار المستخلص من الطحالب البحرية الحمراء "*Galaxaura*":

تم استخلاص الأغار من الطحلب البحري الأحمر "*Galaxaura*" عدة مرات وحساب متوسط قيم مردود الأغار الناتج عن الاستخلاص بعد المعالجة القلوية والاستخلاص المباشر بالماء الساخن، والذي تم حسابه من العلاقة:

$$\text{المردود} = (\text{وزن الأغار النهائي} / \text{وزن العينة الأصلية الجاف}) * 100$$

الجدول (1): مردود الأغار الناتج عن الاستخلاص من الطحلب "*Galaxaura*"

اسم الطحلب	مردود الاستخلاص بعد المعالجة القلوية (%)	مردود الاستخلاص بالماء الساخن (%)
<i>Galaxaura</i>	16 ± 1.706	36.8 ± 2.655

يلاحظ من الجدول (1)، أنتج الطحلب "*Galaxaura*" مردود عالٍ من الأغار بلغ 36.8% بالاستخلاص المباشر بالماء الساخن مقارنة مع مردود الاستخلاص بعد المعالجة القلوية 16%، وقد يعزى هذا الانخفاض في المردود إلى تحطم سلاسل جزيء الأغار نتيجة المعالجة القلوية وخروجها مع الماء لعدم قدرتها على التجمد في أثناء تنقية الأغار بطريقة التجميد والتذويب (Kumar and Fotedar, 2009). كما يختلف مردود الاستخلاص اعتماداً على نوع الطحلب ودورة حياته وفصل النمو والشروط البيئية وطرائق الاستخلاص (Abbas, 2010).

كما يُظهر الشكل (3) صورة للغشاء المحضر في هذه الدراسة



الشكل (3): غشاء بلاستيك حيوي محضر من الطحالب البحرية المدروسة

دراسة عملية التحلل الحيوي لأغشية البلاستيك الحيوي في التربة

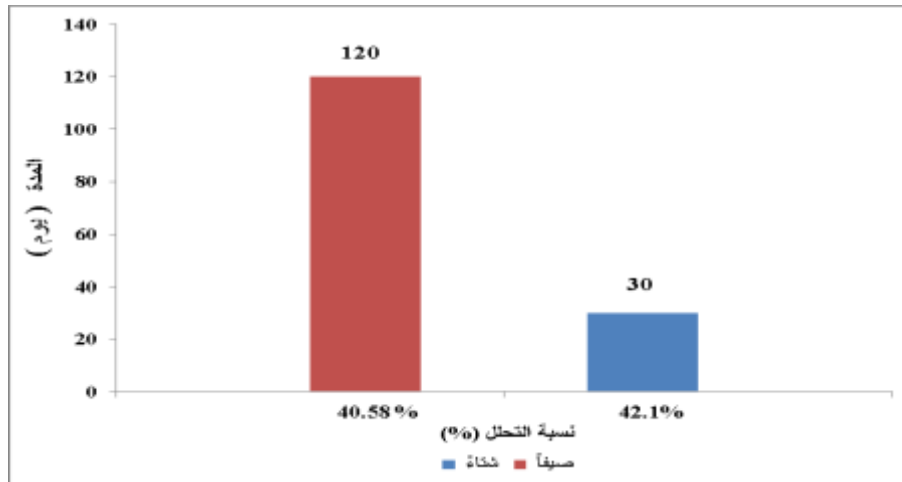
أجري هذا الاختبار من خلال طمر عينتين من أغشية بلاستيك حيوي (تم تحضيرهما من الأغار والنشاء) في تربة لها قيم حموضة (pH= 8.09-8.1) في فترتين مختلفتين (صيفاً وشتاءً). تم تسجيل التغييرات في وزن الأغشية مع الزمن:

الجدول (2): مراحل تحلل أغشية البلاستيك الحيوي المطمورة في التربة مع الزمن

تحلل غشاء (أغار + نشاء) في التربة				
شتاءً (0.12mm)		صيفاً (0.25mm)		المدة (يوم)
نسبة التحلل (%)	وزن الغشاء (g)	نسبة التحلل (%)	وزن الغشاء (g)	
0	0.19	0	1.7	0
21.0	0.15	-	-	15
42.1	0.11	-	-	30
		20.58	1.35	70
		40.58	1.01	120

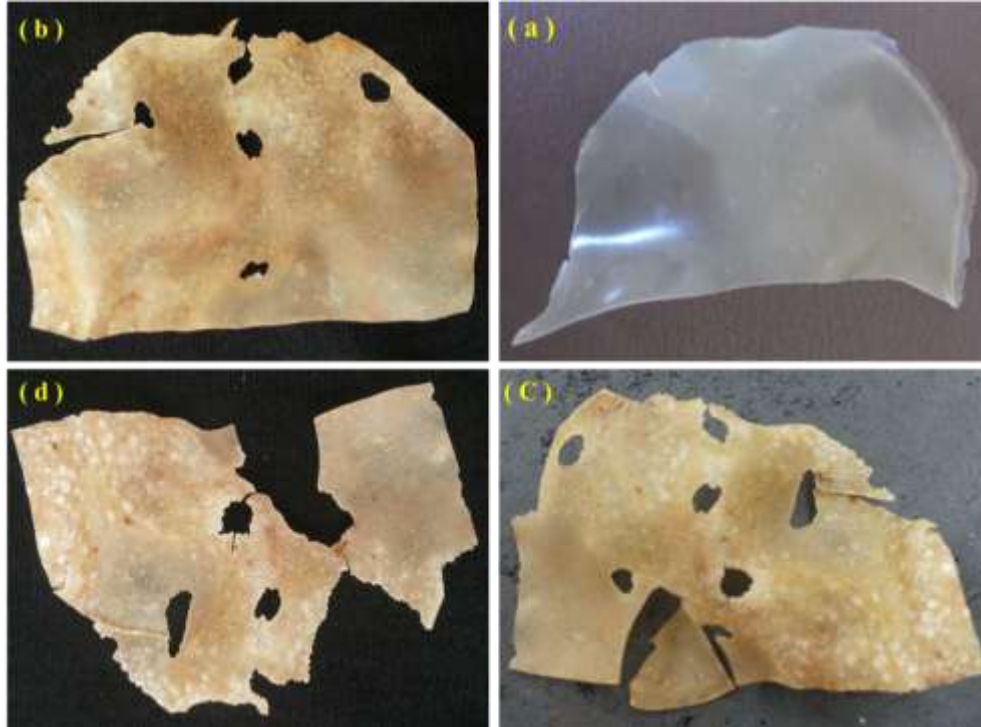
ملاحظة: إن عملية صب الأغشية يدوية وبالتالي كان من الصعوبة أخذ سماكات متماثلة للأغشية بشكل دقيق. لعب كل من نسبة الرطوبة في التربة وسماكة البلاستيك الحيوي دوراً كبيراً في عملية التحلل، حيث لوحظ عند مقارنة عمليات التحلل الحيوي أن عينة الغشاء (أغار + نشاء) المختبرة في فصل الشتاء فقدت 21% من وزنها خلال 15 يوماً، بينما احتاجت العينة التي لها نفس التركيب إلى 70 يوماً ليتحلل 20.58% من وزنها صيفاً. بعد مرور 30 يوماً، فقدت العينة المختبرة في فصل الشتاء 42.1% من وزنها، في حين احتاجت العينة الأخرى إلى 120 يوماً لتنفذ 40.58% من وزنها في فصل الصيف كما هو موضح في الشكل (4).

يعزى ذلك إلى اختلاف نسبة الرطوبة بين فصلي الدراسة مما ساهم في تسريع عملية التحلل المائي شتاءً (أي حدوث تفاعلات جزيئية بين الماء والسلاسل البوليميرية (روابط هيدروجينية) وبالتالي زيادة تحلل البوليمير) (Doh, 2020). لعبت سماكة العينات دوراً مهماً في عملية تحلل البوليمير فالعينات ذات السماكة الأعلى تتحلل بشكل أبطأ من العينات ذات السماكة الأقل، ويمكن تفسير ذلك بالاعتماد على مدى نفاذية العينات حيث أن العينات ذات السماكة الأعلى أقل نفاذية من العينات ذات السماكة الأقل، وكلاهما (نسبة الرطوبة والسماكة) مرتبطان مع بعضهما البعض وفق قانوني فيك للانتشار (Fick's laws) (Paul et al., 2014).



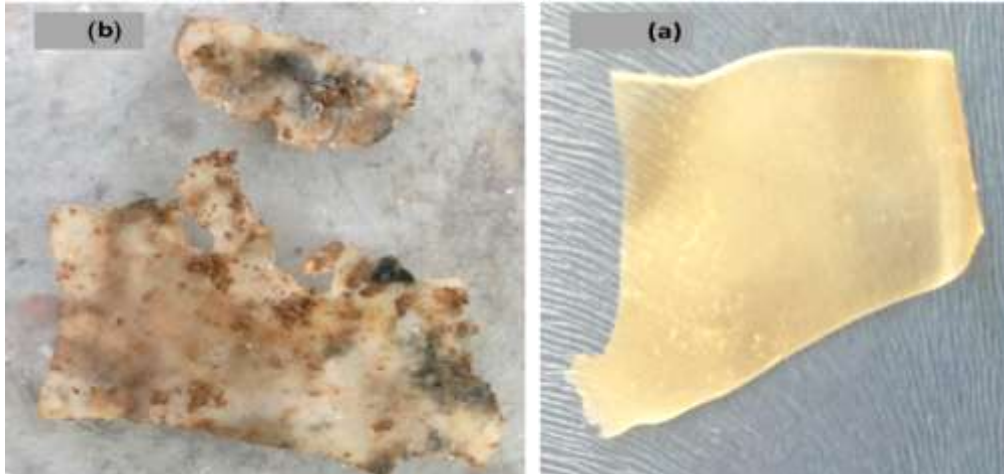
الشكل (4): مقارنة عملية التحلل الحيوي لأغشية (أغار+نشا) في التربة بين فصلي الصيف والشتاء

نلاحظ من اختبارات التحلل الحيوي في التربة، ازدياد معدلات تحلل الأغشية شتاءً مقارنة مع فصل الصيف، ويعزى ذلك إلى ازدياد تركيز الوسط المحلل (مياه الأمطار التي تتجمع في التربة) مما ساهم في ارتباط جزيئات الماء مع الجزيئات البوليميرية وبالتالي التحلل المائي والعشوائي لكثلة الغشاء، واستمر فقدان الوزن والتشظي حتى أصبح من الصعب جمع البقايا وقياس أوزانها (Iordanskii *et al.*, 2014)، كما هو موضح في الشكلين (5) و(6). لوحظ أيضاً تشكل بقع بيضاء على سطح هذه الأغشية، قد يعزى ذلك إلى نمو بعض المستعمرات البكتيرية أو الفطرية على الأغشية والتي بدورها تساهم في تسريع عملية التحلل الحيوي (Zuchowska *et al.*, 1998).



الشكل (5): تحلل غشاء بلاستيك حيوي في التربة في فصل الصيف؛

(a) قبل بداية التحلل، (b) بعد مرور 44 يوماً، (c) بعد 70 يوماً، (d) بعد 120 يوماً.

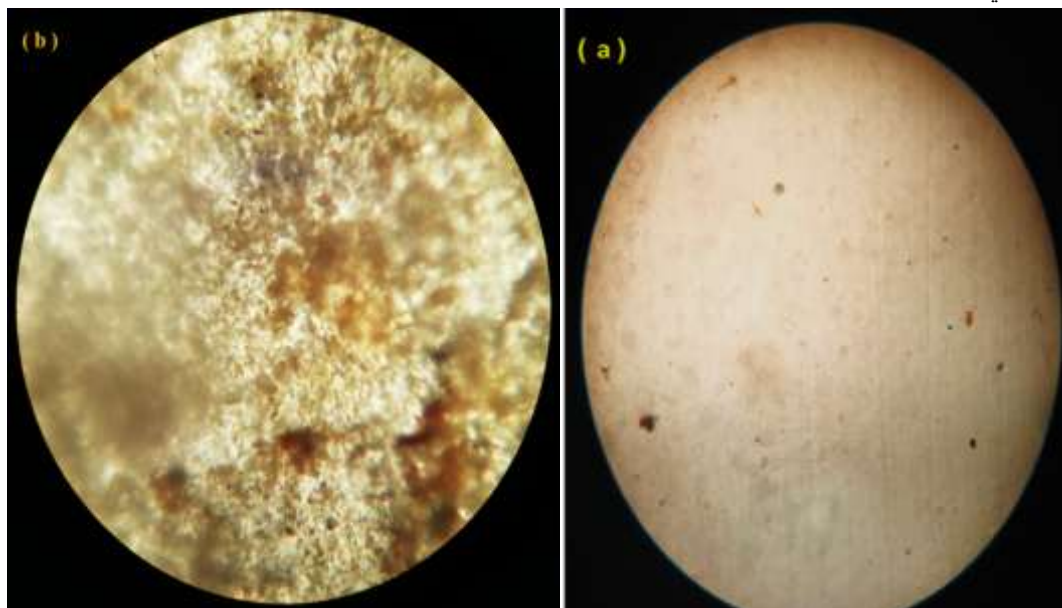


الشكل (6): تحلل عينة الغشاء (أغار + نشا) في التربة شتاءً: (a) قبل بدأ عملية التحلل، (b) بعد مرور 30 يوماً.

بمقارنة النتائج التي تم التوصل إليها مع دراسة (Hii *et al.*, 2016) تبين لنا أن معدل فقدان الوزن لعينة غشاء بلاستيك حيوي بلغ % 61.51 خلال 30 يوماً من اختبار الطمر بالتربة في منطقة معرضة لأشعة الشمس بالقرب من شجيرات (Hii *et al.*, 2016)، بينما بلغ معدل التحلل لغشاء بلاستيك حيوي في هذه الدراسة % 40.1 شتاءً خلال 30 يوماً، ويعزى هذا الاختلاف في معدلات التحلل إلى العديد من العوامل مثل pH التربة وتركيز الوسط المحلل واختلاف طرق تحضير الأغشية وسماكة ومثانة العينات.. (Paul *et al.*, 2014).

دراسة البنية المجهرية لعينة التحلل في التربة

تم أخذ صور مجهرية (بقوة تكبير 20) لعينة الغشاء الموضحة في شكل سابق (الشكل 5) قبل إجراء اختبار التحلل وبعده. ويتضح من الصور في الشكل (7) وجود فراغات في بنية الغشاء دليل على تفكك السلاسل البوليميرية في البنية، وبالتالي تحلل الغشاء.



الشكل (7): صورة مجهرية لغشاء متحلل في التربة؛ (a) قبل التحلل، (b) بعد 120 يوماً.

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات

- تم استخلاص الأغار من الطحلب البحري الأحمر *Galaxaura* بمرود 36.8% بطريقة الاستخلاص بالماء الساخن وبمرود 16% عن طريق الاستخلاص بالماء الساخن بعد المعالجة القلوية.
- أظهرت الأغشية المحضرة من الطحالب قابلية للتحلل الحيوي في التربة.
- بلغ معدل فقدان الوزن للغشاء المظمور في التربة شتاءً (42.1%) خلال 30 يوماً. في حين احتاج الغشاء المظمور في التربة صيفاً إلى 120 يوماً ليفقد (40.58%) من وزنه.
- لعب التحلل المائي (رطوبة التربة) دوراً مهماً في تسريع عمليات التحلل من خلال تفكيك السلاسل البوليمرية للأغشية.
- دل وجود البقع البيضاء على سطح الغشاء على نمو للكائنات الدقيقة على سطحه مما يشير إلى التحلل الحيوي.
- يعد البلاستيك المستخلص من الطحالب البحرية ذو تكلفة منخفضة نتيجة انخفاض تكاليف المواد اللازمة لاستخلاصه وصديق للبيئة نتيجة سرعة تحلله.

التوصيات:

- إمكانية استفادة مؤسسات الدولة المختلفة من هذه الأغشية المصنعة من الطحالب البحرية.
- الاستمرار في مثل هذه الدراسات لما لها من أثر كبير في حل مشكلات بيئية كبيرة وامكانية الاستفادة من ذلك في صنع مواد جديدة والاستفادة منها اقتصادياً.
- الاستفادة من نتائج مثل هذه الأبحاث لتوطينها في العديد من الصناعات ولا سيما التي تدخل في مجالات الغذاء والصيدلة لما لها من تطبيقات واسعة وهامة في هذا المجال.

Reference

- ABBAS, A. A Contribution to the Study of Agar Extraction from the Syrian Marine Alga *Pterocladia capillacea*. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series, 32, 5, 2010, pp: 69-78.
- ARMISEN, R. and GALATAS, F. Production, properties and uses of agar. In McHugh D.J. (ed.), Production, properties and uses of agar. In McHugh D.J. (ed.), Production and Utilization of Products from Commercial Seaweeds. FAO Fish. Tech. Pap. 288, 1987, pp: 1-57.
- ARMISEN, R. and GALATAS, F. Agar. In Phillips G.O. & Williams P.A. (Eds.), Handbook of hydrocolloids, Cambridge. England. CRC Press, 2009, pp: 21-40.
- BAGROV, D.V. ; BONARTSEV, A.P. ; ZHUIKOV, V.A ; MYSHKINA, V.L. ; MAKHINA, T.K. ; ZHARKOVA, I.I. ; YAKOVLEV, S.G. ; VOINOVA, V.V. ; BOSKHOMDZHIEV, A.P. ; BONARTSEVA, G.A. and SHAITAN, K.V. Amorphous and semicrystalline phases in ultrathin films of poly(3-hydroxybutyrate). TechConnect World NTSI-Nanotech 2012 Proceedings, ISBN 978-1-4665-6274-5, 1, 2012, pp: 602-605.
- BASTIOLI, C. Handbook of Biodegradable Polymers. Rapra Technology Limited, Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR, UK. 2015. Page: 549.
- BONARTSEV, A.P. ; BOSKHOMODGIEV A.P. ; IORDANSKII A.L. ; BONARTSEVA G.A. ; REBROV A.V. ; MAKHINA T.K. ; MYSHKINA V.L. ; YAKOVLEV S.A. ; FILATOVA E.A. ; IVANOV E.A. ; BAGROV D.V. and ZAIKOV G.E. Hydrolytic Degradation of Poly(3-hydroxybutyrate), Polylactide and their Derivatives: Kinetics,

- Crystallinity, and Surface Morphology*. Molecular Crystals and Liquid Crystals, 556, 1, 2012, pp: 288-300.
- CHIRAPART, A. ; OHNO, M. ; UKEDA, H. ; SAWAMURA, M. and KUSUNOSE, H. *Physical and chemical properties of agar from a new member of Gracilaria, G. lemaneiformis (Gracilariales, Rhodophyta) in Japan*. Fisheries Science, 61, 3, 1995, pp: 450-454.
- DOH, H. *Development of Seaweed Biodegradable Nanocomposite Films Reinforced with Cellulose Nanocrystals for Food Packaging*. A Dissertation Presented to the Graduate School of Clemson University, 2020, page: 2663.
- DUDEK, S. and COSKUN, M.C. *Biopolymer Compounds for Applications Requiring Marine Degradation*. Presented at ANTEC Anaheim 2017, Anaheim, pp: 415-421.
- HII, S.L. ; LIM, J.Y. ; ONG W.T. and WONG C.L. *Agar from Malaysian Red Seaweed As Potential Material For Synthesis Of Bioplastic Film*. Journal of Engineering Science and Technology, 2016, 7, 1.
- HOCKING, P.J. ; MARCHESSAULT, R.H. ; TIMMINS, M.R. ; LENZ, R.W. and FULLER R.C. *Enzymatic Degradation of Single Crystals of Bacterial and Synthetic Poly(-hydroxybutyrate)*. Macromolecules, 29, 7, 1996, pp: 2472-2478.
- IORDANSKII, A.L. ; BONARTSEVA, G.A. ; PANKOVA, Y.N. ; ROGOVINA, S.Z. ; GUMARGALIEVA, K.Z. ; ZAIKOV, G.E. and BERLIN, A.A. *Current Status and Biomedical Applications of Poly(3-Hydroxybutyrate) as a Bacterial Biodegradable Polymer*. Journal of Information, Intelligence and Knowledge, 6, 4, 2014, pp: 479-515.
- JANG, S.S. ; SHIRAI, Y. ; UCHIDA, M. and WAKISAKA, M. *Production of mono sugar from acid hydrolysis of seaweed*. African Journal of biotechnology, 11, 8, 2012, pp: 1953-1963.
- KUMAR, V . ; FOTEDAR, R. *Agar extraction process for Gracilaria cliftonii (Withell, Millar, & Kraft, 1994)*. Carbohydrate Polymers, 78, 2009, 813–819.
- KUMAR, S. and THAKUR, K. *Bioplastics - classification, production and their potential food applications*. Journal of Hill Agriculture, 8, 2, 2017, pp: 118-129.
- MANZOOR, J. ; SHARMA, M. ; SOFI, I.R. and DAR, A.A. *Plastic Waste Environmental and Human Health Impacts*. Chapter 2. Publisher: IGI Global, 2020, pp: 29-37.
- PAUL, A. ; LAURILA, T. ; VUORINEN, V. and DIVINSKI, S.V. *Thermodynamics, Diffusion and the Kirkendall Effect in Solids*. Springer International Publishing Switzerland 2014. Page: 530.
- SHAH, M. ; RAJHANS, S. ; PANDYA, H.A. and MANKAD, A.U. *Bioplastic for future: A review then and now*. World Journal of Advanced Research and Reviews, 9, 2, 2021, pp: 56–67.
- SONG, J.H. ; MURPHY, R.J. ; NARAYAN, R. and DAVIES, G.B.H. *Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364, 1526, 2009, pp: 2127-2139.
- SUDESH, K. *Polyhydroxyalkanoates from Palm Oil: Biodegradable Plastics*. 1st ed, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2013, page: 130.
- WANG, Q. and NOMURA, C.T. *A Survey of Biodegradable Plastics in the U.S*. Journal of Bioplastics. New York, 36, 2010, pp: 18-23.
- Wu, Y. ; Geng, F. ; Chang, P.R. ; Yu, J. and Ma, X. *Effect of agar on the microstructure and performance of potato starch film*. Carbohydrate Polymers, 76, 2, 2009, pp: 299-304.
- ZUCHOWSKA, D., STELLER, R. and MEISSNER, W. *Structure and properties of degradable polyolefin-starch blends*. Polymer Degradation and Stability. 60, 2–3, 1998, pp: 471-480.