

Comparative Efficacy of Cold and Hot Aqueous Extracts of Some Libyan Marine Algae in Inhibiting the Growth of Food borne Pathogenic Bacteria

Khaled M. Al-Zintani^{1*}, Abdul Hamed A. El-Sheble²

¹ Department of Botany, Faculty of Science, University of Zintan, Zintan, Libya.

² Department of Zoology, Faculty of Science, University of Zintan, Zintan, Libya

*Corresponding author: Khaled Al-Zintani | khalid.zintani78@gmail.com

Received: 12-08-2026 | Accepted: 24-09-2026 | Available online: 04-10-2026 | DOI:10.5281/zenodo.23184808

ABSTRACT

This study aimed to evaluate and compare the antibacterial activity of cold and hot aqueous extracts of six marine algal species (*Ulva lactuca*, *Codium tomentosum*, *Padina pavonica*, *Sargassum* sp., *Hypnea* sp. and *Petrocladia* sp.) collected from the western coast of Libya (Al-Khums and Tajoura) during May 2025, against three food borne bacterial strains (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, and *Bacillus cereus* ATCC 11778), using the agar well diffusion assay. The results revealed variations in the inhibitory activity depending on the algal species, extraction method, and tested bacterial strain, with hot aqueous extracts generally outperforming cold ones in achieving larger zones of inhibition diameters. The hot extract of *Padina pavonica* exhibited the highest inhibitory activity against *B. cereus* with a diameter of (17 ± 0.3 mm), followed by *Codium tomentosum* at (16 ± 0.2 mm). Furthermore, both *Padina pavonica* and *Hypnea* sp. recorded the highest activity against *S. aureus*, with inhibition diameters of (15 ± 0.4 mm) and (15 ± 0.2 mm), respectively, while the hot extract of *Codium tomentosum* achieved the largest inhibition diameter against *E. coli*, reaching (14 ± 0.3 mm). Gram-positive bacteria demonstrated higher sensitivity compared to *E. coli*, whereas *Petrocladia* sp. displayed the lowest overall inhibitory activity. These findings indicate that Libyan marine macro algae, particularly *Padina pavonica* and *Codium tomentosum*, represent promising sources of natural antibacterial compounds, warranting further investigations to explore their potential in food and pharmaceutical applications.

Keywords: Marine algae, Aqueous extracts, Antibacterial activity, Food borne pathogens.

مقارنة فعالية المستخلصات المائية الباردة والساخنة لبعض الطحالب البحرية الليبية في تثبيط نمو البكتيريا الممرضة المنقولة بالغذاء

خالد محمد الزنتاني^{1*}، عبد الحميد عبد الصمد الشبلي²

¹ قسم علم النبات، كلية العلوم، جامعة الزنتان، الزنتان، ليبيا.

² قسم علم الحيوان، كلية العلوم، جامعة الزنتان، الزنتان، ليبيا.

*المؤلف المراسل: خالد الزنتاني | khalid.zintani78@gmail.com

استقبلت: 12-08-2026 | قبلت: 24-09-2026 | متوفرة على الانترنت: 04-10-2026 | DOI:10.5281/zenodo.23184808

ملخص البحث

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم ومقارنة النشاط المضاد للبكتيريا للمستخلصات المائية الباردة والساخنة لستة أنواع من الطحالب البحرية وهي (*Ulva lactuca*، *Codium tomentosum*، *Padina pavonica*، *Sargassum* sp.، *Hypnea* sp. و *Petrocladia* sp.) المجمعة من الساحل الغربي الليبي بمنطقتي الخمس و تاجوراء خلال شهر مايو 2025 ضد ثلاث سلالات بكتيرية منقولة بالغذاء وهي (*Escherichia coli* ATCC 25922 و *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 و *Bacillus cereus* ATCC 11778) باستخدام طريقة الانتشار بالحفر في الآجار.

أظهرت النتائج اختلافا في النشاط التثبيطي تبعا لنوع الطحلب، وطريقة الاستخلاص، والسلالة البكتيرية المختبرة، حيث تفوقت المستخلصات المائية الساخنة بصورة عامة على المستخلصات المائية الباردة في تحقيق أكبر أقطار لمناطق التثبيط. وسجل مستخلص *Padina pavonica* الساخن أعلى نشاط تثبيطي ضد *B. cereus* بقطر (17 ± 0.3) ملم، يليه *Codium tomentosum* بقطر (16 ± 0.2) ملم. كما سجل كل من *Padina pavonica* و *Hypnea* sp. أعلى نشاط ضد *S. aureus* بقطري تثبيط (15 ± 0.4) ملم و (15 ± 0.2) ملم على التوالي، بينما حقق مستخلص *Codium tomentosum* الساخن أكبر قطر تثبيط ضد *E. coli* حيث بلغ (14 ± 0.3) ملم. وأظهرت البكتيريا الموجبة الجرام حساسية أعلى مقارنة ببكتيريا *E. coli*، في حين سجل طحلب *Petrocladia* sp. أقل نشاط تثبيطي بوجه عام. وتشير هذه النتائج إلى أن الطحالب البحرية الكبيرة بالسواحل الليبية، ولاسيما *Padina pavonica* و *Codium tomentosum*، تمثل مصادر واعدة للمركبات الطبيعية المضادة للبكتيريا، مما يستدعي إجراء مزيد من الدراسات لاستكشاف إمكاناتها في التطبيقات الغذائية والدوائية.

الكلمات المفتاحية: الطحالب البحرية، المستخلصات المائية، النشاط المضاد للبكتيريا، مسببات الأمراض المنقولة بالغذاء.

1. المقدمة:

تعد الطحالب البحرية من الكائنات الحية واسعة الانتشار في البيئات المائية، حيث توجد في المياه البحرية والمالحة والعذبة، وتمتاز بقدرتها على إنتاج العديد من المركبات النشطة حيويًا ذات الأهمية البيولوجية والطبية. وتلعب هذه المركبات دورًا مهمًا في حماية الطحالب من الظروف البيئية القاسية والهجمات الميكروبية، كما أظهرت العديد من الدراسات امتلاكها أنشطة مضادة للبكتيريا والفطريات، إضافة إلى خصائصها المضادة للأكسدة والالتهابات [1] [2].

وتصنف الطحالب البحرية الكبيرة تقليديًا إلى ثلاث مجموعات رئيسية تبعا لاختلاف الأصباغ والتركيب الكيميائي والصفات المورفولوجية، وهي الطحالب الخضراء (*Chlorophyta*)، والطحالب الحمراء (*Rhodophyta*)، والطحالب البنية (*Phaeophyceae*). وتتميز الطحالب الخضراء باحتوائها على الكلوروفيل a و b وقدرتها على تخزين النشا كمادة غذائية احتياطية، بينما تحتوي الطحالب الحمراء على أصباغ الفيكوبيلينات، خاصة الفيكواريثرين، كما تتميز جدرانها الخلوية بغناها بمركبات الأجار والكاراجينان. أما الطحالب البنية فتحتوي على صبغة الفيكوزانثين بالإضافة إلى مركبات حيوية مثل الفيكوكويدان والمانيتول، وتعد من أكثر مجموعات الطحالب تعقيدا من الناحية التركيبية [3].

وتمثل الأمراض المنقولة بالغذاء إحدى المشكلات الصحية العالمية المتزايدة، إذ تشير تقارير منظمة الصحة العالمية إلى إصابة مئات الملايين سنويا نتيجة استهلاك الأغذية الملوثة، مع تسجيل أعداد كبيرة من الوفيات، خاصة بين الأطفال وكبار السن [4]. وتعد بعض البكتيريا الممرضة، مثل *Escherichia coli*

و *Bacillus cereus* و *Staphylococcus aureus*، من أهم مسببات هذه الأمراض، لما تسببه من اضطرابات صحية قد تتراوح بين العدوى المعوية البسيطة وحالات التسمم الحاد. وقد تفاقمت هذه المشكلة نتيجة الانتشار المتزايد للبكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية، والتي ارتبطت بالاستخدام المفرط وغير المنظم للمضادات الحيوية في المجالات الطبية والبيطرية والصناعات الغذائية، مما أدى إلى تراجع فعالية العديد من العلاجات التقليدية [5]. وقد دفع ذلك الباحثين إلى التوجه نحو البحث عن مصادر طبيعية بديلة تمتلك نشاطاً مضاداً للميكروبات وتتميز بدرجة أعلى من الأمان والاستدامة. وتشير العديد من الدراسات إلى احتواء الطحالب البحرية على طيف واسع من المركبات الحيوية، من بينها المركبات الفينولية والفلافونويدات والتربينات والكاروتينات والأحماض الدهنية غير المشبعة، والتي تعمل بآليات متعددة، مثل التأثير في سلامة الجدار الخلوي للبكتيريا أو تثبيط بعض العمليات الأيضية الأساسية داخل الخلية الميكروبية [3]. كما أن كفاءة استخلاص هذه المركبات تتأثر بنوع المذيب وطريقة الاستخلاص المستخدمة، الأمر الذي قد ينعكس بصورة مباشرة على مستوى النشاط المضاد للبكتيريا للمستخلصات الناتجة.

وعلى الرغم من تزايد الدراسات المتعلقة بالنشاط الحيوي لمستخلصات الطحالب البحرية، فإن معظم الأبحاث السابقة ركزت على أنواع محددة أو مجموعة واحدة من الطحالب، في حين ما تزال الدراسات المقارنة بين الطحالب الخضراء والحمراء والبنية محدودة نسبياً، خاصة في البيئة البحرية الليبية التي تتميز بتنوع أحيائي بحري مهم لم يحظى بالقدر الكافي من الدراسة.

لذلك هدفت هذه الدراسة إلى استخلاص المركبات النشطة حيويًا من بعض الطحالب البحرية الخضراء والحمراء، والبنية المجمعة من الساحل الغربي لليبي باستخدام طريقتي الاستخلاص المائي البارد والساخن، ثم تقييم النشاط المضاد للبكتيريا لهذه المستخلصات ضد بعض أنواع البكتيريا الممرضة المنقولة بالغذاء. ومن المتوقع أن تسهم نتائج هذه الدراسة في تعزيز المعرفة العلمية المتعلقة بالطحالب البحرية الليبية وإبراز إمكاناتها كمصادر محتملة طبيعية للمركبات المضادة للبكتيريا ذات التطبيقات الغذائية والدوائية.

2. طريقة الدراسة:

2.1. جمع عينات الطحالب وتحضيرها

جمعت عينات الطحالب البحرية قيد الدراسة (جدول 1) خلال شهر مايو 2025م من منطقتين مختلفتين على الساحل الليبي، حيث جمعت طحالب المجموعتين الخضراء والبنية من مدينة الخمس بالمنطقة المقابلة لقصر سيلين (32°42'36.65"E 14°10'40.73"N) بينما جمعت أصناف الطحالب الحمراء من مدينة

تاجوراء بجوار مرسى المنارة (N 13°23'01.80"E 48.72'53°32) (شكل 1). عقب عملية التجميع، غسّلت العينات جيدا بماء البحر ثم بالماء المقطر لتخلص من الشوائب والعوالق، تم التعرف على العينات الطحلبية وتصنيفها بالاستعانة بمركز بحوث الأحياء البحرية بتاجوراء والمراجع التصنيفية المعتمدة ، وذلك اعتمادا على الصفات المورفولوجية المميزة لكل عينة، ثم جففت في الظل في درجة حرارة الغرفة. بعد تمام الجفاف، طحنت العينات بمطحنة كهربائية للحصول على مسحوق ناعم، وحفظت في عبوات معتمة ومحكمة الإغلاق لحين تحضير المستخلصات.

الجدول 1: عينات الطحالب البحرية المستخدمة

مكان التجميع	الاسم العلمي	مجموعة الطحالب
الخمس	<i>Ulva lactuca</i>	طحالب خضراء
الخمس	<i>Codium tomentosum</i>	
الخمس	<i>Padina pavonica</i>	طحالب بنية
الخمس	<i>Sargassum</i> sp.	
تاجوراء	<i>Hypnea</i> sp.	طحالب حمراء
تاجوراء	<i>Petrocladia</i> sp.	



ب

أ

الشكل 1: صور جوية توضح مواقع جمع عينات الطحالب البحرية على الساحل الغربي الليبي. حيث تمثل الصورة (أ) موقع الجمع في منطقة الخمس ، بينما تمثل الصورة (ب) موقع الجمع في منطقة تاجوراء.

2.2. تحضير المستخلصات

2.2.1. تحضير المستخلصات المائية الباردة

أضيف 20 جم من مسحوق كل نوع من الطحالب إلى 100 مل من الماء المقطر المعقم، ثم وضعت الخلطات في جهاز رجّاج عند درجة حرارة الغرفة لمدة 72 ساعة لضمان زيادة التلامس بين المذيب والمادة

النباتية وتحسين كفاءة الاستخلاص. بعد انتهاء فترة الاستخلاص رشحت العينات بواسطة الشاش المعقم ثم باستخدام ورق الترشيح Whatman No.1 للحصول على راشح صاف وخالي من الشوائب الصلبة وجاهزة للتركيز [6].

2.2.2. تحضير المستخلصات المائية الساخنة

استخدمت النسبة نفسها من المادة الخام إلى المذيب 20 جم / 100 مل، حيث خضعت العينات للاستخلاص في حمام مائي عند درجة حرارة 80°م لمدة 6 ساعات. بعد ذلك رشحت المستخلصات باستخدام الشاش المعقم وورق الترشيح Whatman No.1 للحصول على مستخلصات صافية جاهزة للتركيز (شكل 2) [7].



الشكل 2: مخطط خطوات الاستخلاص المائي البارد والساخن

2.2.3. تركيز المستخلصات وحفظها

ركزت المستخلصات المائية باستخدام المبخر الدوار تحت ضغط منخفض إلى أن تم التخلص من معظم المذيب والحصول على مستخلصات مركزة ، بعد الانتهاء من عملية التركيز وزنت المستخلصات الناتجة باستخدام الميزان الدقيق لحساب إنتاجية كل مستخلص، ثم حفظت المستخلصات في عبوات زجاجية معقمة ومحكمة الإغلاق عند 4°م لحين استخدامها [8] .

2.2.4. حساب إنتاجية المستخلص

حسب مردود الاستخلاص لكل مستخلص اعتمادا على نسبة وزن المستخلص الجاف المتحصل عليه إلى الوزن الابتدائي للمسحوق الجاف المستخدم في الاستخلاص، وعبر عنه بالنسبة المئوية وفق المعادلة التالية:

$$\text{إنتاجية المستخلص (\%)} = (\text{وزن المستخلص الجاف} \div \text{وزن العينة الجافة}) \times 100$$

2.3. السلالات البكتيرية المستخدمة في الدراسة

استخدمت في هذه الدراسة ثلاث سلالات بكتيرية ممرضة تعد من أهم مسببات الأمراض المنقولة بالغذاء [9] [10] ، وذلك لتقييم النشاط المضاد للبكتيريا للمستخلصات المائية للطحالب البحرية المدروسة. شملت السلالات المختبرة بكتيريا واحدة سالبة الجرام هي (*Escherichia coli* ATCC 25922) وسلالتين موجبتين الجرام هما (*Staphylococcus aureus* ATCC 25923 و *Bacillus cereus* ATCC 11778)، تم الحصول على السلالات البكتيرية في صورة مزارع نقية من قسم الأحياء الدقيقة بالمختبر المرجعي للصحة العامة بطرابلس.

2.4. تقييم النشاط المضاد للبكتيريا للمستخلصات المائية

قيم النشاط المضاد للبكتيريا للمستخلصات المائية الباردة والساخنة لطحالب البحرية باستخدام تقنية الانتشار بالحفر في الآجار Agar Well Diffusion Assay ولقحت السلالات البكتيرية المختبرة على أطباق بتري تحتوي على وسط Mueller–Hinton agar المعقم، حيث تم ضبط عكارة المعلق البكتيري لكل سلالة بمقارنتها بمعيار McFarland standard 0.5 بما يعادل كثافة بكتيرية تقدر بحوالي 1.5×10^8 CFU/ mL) باستخدام محلول ملحي معقم. ثم عمل حفر دائرية بقطر 8 ملم باستخدام مثقاب فليني معقم. أضيف إلى كل حفرة 150 ميكرو لتر من المستخلص المائي (بتركيز 200mg/mL ، أي ما يعادل 30mg من المستخلص لكل حفرة)، و للمقارنة عملت حفرة وأضيف إليها الماء المقطر المعقم ، حضنت الأطباق عند 37°م لمدة 24 ساعة، ثم قيم النشاط المضاد للبكتيريا بقياس أقطار مناطق تثبيط النمو

المحيطة بالحفر باستخدام مسطرة مدرجة، وسجلت النتائج بوحدة المليمتر (mm) وأجريت جميع المعاملات بثلاثة مكررات مستقلة، وحساب متوسط أقطار مناطق التثبيت لكل معاملة [11].

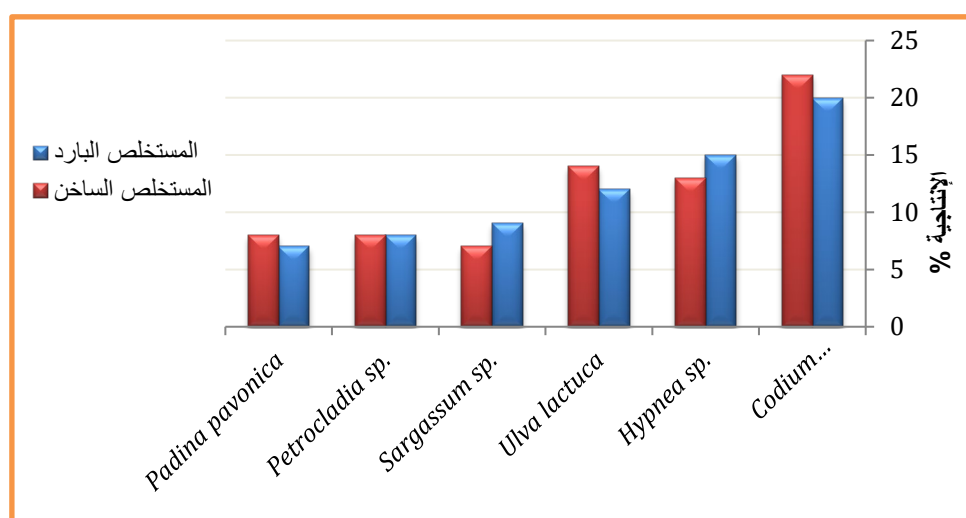
2.5. التحليل الإحصائي

أجريت جميع التجارب في ثلاثة مكررات مستقلة. وعرضت النتائج في صورة المتوسط $\pm$ الانحراف المعياري، واستخدم البرنامج الإحصائي SPSS (الإصدار 20) لنظام التشغيل Windows في حساب المتوسطات والانحرافات المعيارية وتنظيم البيانات.

3. النتائج:

3.1. عوائد إنتاجية المستخلصات الطحلبية

أظهرت نتائج استخلاص الطحالب البحرية المدروسة تباينا في عوائد الإنتاجية (%) تبعا لنوع الطحلب وطريقة الاستخلاص المستخدمة (الماء البارد والماء الساخن)، كما هو موضح في (شكل 3).



الشكل 3: إنتاجية مستخلصات الطحالب المائية الباردة والساخنة

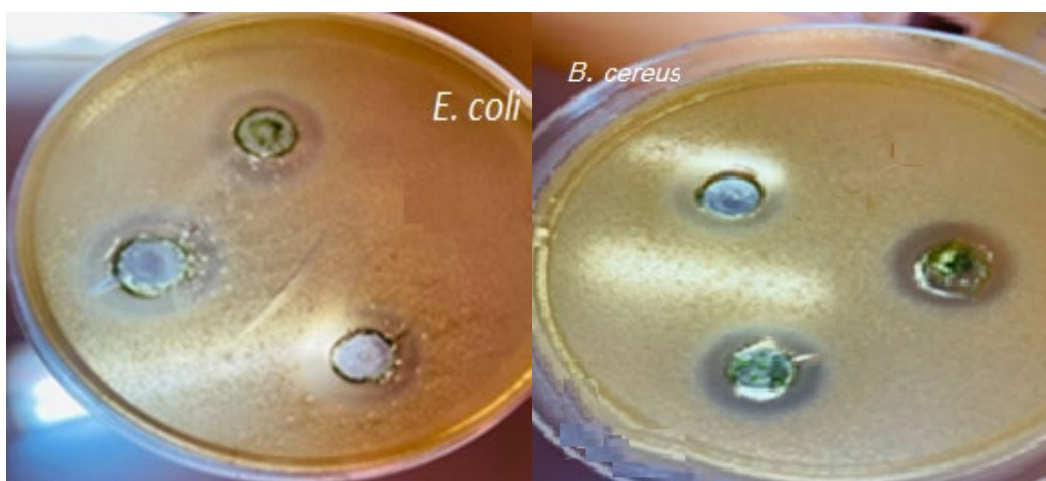
سجل طحلب *Codium tomentosum* أعلى عائد إنتاجي عند الاستخلاص بالماء الساخن، إذ بلغت نسبة الإنتاجية (22%)، بينما بلغت (20%) عند الاستخلاص بالماء البارد. وفي المقابل، سجل طحلب *Padina pavonica* أدنى عائد إنتاجي، حيث بلغت نسبة الإنتاجية (7%) للمستخلص المائي البارد و(8%) للمستخلص المائي الساخن.

كما أظهرت النتائج ارتفاعاً في عائد الإنتاجية للمستخلص المائي الساخن في بعض الأنواع، إذ بلغت نسبة الإنتاجية للمستخلص المائي الساخن (14%) لطحلب *Ulva lactuca* مقابل (12%) للمستخلص المائي البارد. في المقابل سجل المستخلص المائي البارد عائداً إنتاجياً أعلى في طحلب *Hypnea sp.* بنسبة

(15%) مقارنة (13%) للمستخلص المائي الساخن، وكذلك في طحلب *Sargassum* sp. بنسبة (9%) للمستخلص المائي البارد مقابل (7%) للمستخلص المائي الساخن. أما طحلب *Petrocladia* sp. فقد أظهر تساويًا في عائد الإنتاجية بين المستخلصين المائيين البارد والساخن، حيث بلغت نسبة الإنتاجية (8%) لكل منهما.

3.2. نتائج تقييم الفعالية المضادة للبكتيريا للمستخلصات المائية

أظهرت نتائج تقييم الفعالية التثبيطية للمستخلصات المائية الباردة والساخنة للطحالب البحرية المدروسة تباينًا ملحوظًا في قدرتها على تثبيط نمو السلالات البكتيرية المختبرة. وتظهر هذه الفعالية البيولوجية من خلال مناطق التثبيط الواضحة Inhibition zones المحيطة بالحفر في أطباق بتري الموضحة في (شكل 4)، حيث تفاوتت أقطار هذه المناطق تبعًا لنوع الطحلب، وطريقة الاستخلاص، وحساسية السلالة البكتيرية المستهدفة.



الشكل 4: يوضح الفعالية التثبيطية للمستخلص المائي الساخن لطحلب *Ulva lactuca* على نمو بكتيريا *B. cereus* ATCC 11778, *E. coli* ATCC 25922

3.2.1. نتائج المستخلص المائي البارد

توضح النتائج المدرجة في (جدول 2) تباينًا في القدرة التثبيطية للمستخلص المائي البارد لستة أنواع من الطحالب البحرية ضد العزلات البكتيرية المختبرة، حيث أظهرت النتائج أن طحلب *Padina pavonica* سجل أعلى معدل تثبيط ضد بكتيريا *S. aureus* بقطر منطقة تثبيط بلغ (14 ± 0.4 ملم)، متساويًا في ذلك مع طحلب *Hypnea* sp. الذي سجل (14 ± 0.3 ملم) ضد نفس السلالة البكتيرية. بالنسبة لبكتيريا *B. cereus*، أظهر كل من الطحلب *Codium tomentosum* و الطحلب *Padina pavonica* أعلى فاعلية تثبيطية متساوية بقطر (13 ± 0.3 ملم) و (13 ± 0.1 ملم) على التوالي.

وأظهرت بكتيريا *E. coli* مقاومة واضحة تجاه معظم المستخلصات الباردة، حيث غاب التأثير التثبيطي (ND) لدى مستخلصات الطحالب *Ulva lactuca* و *Sargassum sp.* و *Petrocladia sp.*، في حين سجل طحلب *Codium tomentosum* أعلى تثبيط لها بقطر (10 ± 0.5 ملم). وتميز طحلب *Petrocladia sp.* بأقل فاعلية تثبيطية عموماً، حيث اقتصر تأثيره على بكتيريا *S. aureus* فقط بقطر (9 ± 0.1 ملم) ولم يسجل أي تثبيط يذكر (ND) ضد السلالتين *B. cereus* و *E. coli*.

الجدول 2: نتائج المستخلص المائي البارد ضد السلالات البكتيرية المختبرة

قطر منطقة التثبيط (ملم)			عينات الطحالب
السلالات البكتيرية			
<i>S. aureus</i> ATCC25923	<i>B. cereus</i> ATCC11778	<i>E.coli</i> ATCC25922	
10±0.2	10±0.1	ND	<i>Ulva lactuca</i>
11±0.5	13±0.3	10±0.5	<i>Codium tomentosum</i>
14±0.4	13±0.1	9±0.4	<i>Padina pavonica</i>
11±0.2	9±0.3	ND	<i>Sargassum</i> sp.
14±0.3	10±0.5	9±0.2	<i>Hypnea</i> sp.
9±0.1	ND	ND	<i>Petrocladia</i> sp.

ND (Not Detected) لا توجد منطقة تثبيط.

3.2.2. نتائج المستخلص المائي الساخن

توضح النتائج المبينة في (جدول 3) اختلاف النشاط المضاد للبكتيريا للمستخلص المائي الساخن للطحالب البحرية الستة تجاه العزلات البكتيرية المختبرة. وقد سجل طحلب *Padina pavonica* وطحلب *Hypnea sp.* أكبر قطر لمنطقة التثبيط ضد بكتيريا *S. aureus*، إذ بلغ (15 ± 0.4 ملم) و (15 ± 0.2 ملم) على التوالي، بينما سجل طحلب *Codium tomentosum* قطر تثبيط بلغ (14 ± 0.5 ملم)، يليه طحلب *Sargassum sp.* بقطر (13 ± 0.4 ملم)، في حين سجل كل من *Ulva lactuca* و *Petrocladia sp.* أقل قطر لمنطقة التثبيط إذ بلغ (12 ± 0.2 ملم) و (12 ± 0.3 ملم) على التوالي.

أما بالنسبة لبكتيريا *B. cereus*، فقد سجل طحلب *Padina pavonica* أكبر قطر لمنطقة التثبيط بلغ (17 ± 0.3 ملم)، يليه طحلب *Codium tomentosum* بقطر (16 ± 0.2 ملم)، في حين سجل كل من

Sargassum sp. و *Hypnea* sp. قطري تثبيط (15 ± 0.6 ملم و 15 ± 0.2 ملم) على التوالي، بينما سجل كل من *Ulva lactuca* و *Petrocladia* sp. أقل قطر لمنطقة التثبيط بلغ (12 ± 0.5 ملم). وفيما يتعلق ببكتيريا *E. coli*، فقد سجل طحلب *Codium tomentosum* أكبر قطر لمنطقة التثبيط بلغ (14 ± 0.3 ملم)، يليه كل من *Ulva lactuca* و *Hypnea* sp. و *Padina pavonica* بأقطار متقاربة بلغت (11 ± 0.5 ملم) و (11 ± 0.4 ملم) و (11 ± 0.3 ملم) على التوالي، في حين لم يسجل كل من طحلب *Sargassum* sp. و طحلب *Petrocladia* sp. أي نشاط تثبيطي ضد هذه البكتيريا. وتتميز طحلب *Petrocladia* sp. بأقل نشاط تثبيطي بوجه عام مقارنة ببقية الطحالب للمستخلص المائي الساخن، حيث بلغ قطر منطقة التثبيط (12 ± 0.3 ملم) ضد بكتيريا *S. aureus* و (12 ± 0.5 ملم) ضد بكتيريا *B. cereus*.

الجدول 3: نتائج المستخلص المائي الساخن ضد السلالات البكتيرية المختبرة

قطر منطقة التثبيط (ملم)			عينات الطحالب
السلالات البكتيرية			
<i>S. aureus</i> ATCC25923	<i>B. cereus</i> ATCC11778	<i>E.coli</i> ATCC25922	
12±0.2	12±0.5	11±0.5	<i>Ulva lactuca</i>
14±0.5	16±0.2	14±0.3	<i>Codium tomentosum</i>
15±0.4	17±0.3	11±0.3	<i>Padina pavonica</i>
13±0.4	15±0.6	ND	<i>Sargassum</i> sp.
15±0.2	15±0.2	11±0.4	<i>Hypnea</i> sp.
12±0.3	12±0.5	ND	<i>Petrocladia</i> sp.

ND (Not Detected) لا توجد منطقة تثبيط.

4. مناقشة النتائج:

أظهرت نتائج الدراسة الحالية تفوق المستخلصات المائية الساخنة للطحالب البحرية في نشاطها المضاد للبكتيريا مقارنة بالمستخلصات المائية الباردة، حيث سجلت معظم أنواع الطحالب أقطار تثبيط أكبر عند الاستخلاص بالماء الساخن. ويمكن تفسير ذلك بأن ارتفاع درجة الحرارة يزيد من كفاءة استخلاص المركبات الحيوية الذائبة في الماء، مثل المركبات الفينولية، والسكريات عديدة التسكر الكبريتية، وبعض البروتينات

والبيبتيدات النشطة حيويًا، فضلاً عن دور الحرارة في زيادة نفاذية الجدران الخلوية للطحالب وتحرير المركبات الفعالة بكميات أكبر، مما ينعكس إيجاباً على زيادة النشاط المضاد للبكتيريا. وتتفق هذه النتيجة مع ما أشار إليه [12] من أن طريقة الاستخلاص تؤثر بصورة مباشرة في كفاءة استخلاص المركبات النشطة من الطحالب البحرية. كما تتسق مع ما توصل إليه كل من [13] و [14] من أن المستخلصات المحضرة في ظروف استخلاص أكثر كفاءة تظهر نشاطاً مضاداً للبكتيريا أعلى من تلك المحضرة في ظروف أقل كفاءة.

كما أوضحت النتائج أن البكتيريا الموجبة الجرام، والمتمثلة في *Staphylococcus aureus* و *Bacillus cereus*، كانت أكثر حساسية لمستخلصات الطحالب مقارنة ببكتيريا *Escherichia coli* السالبة الجرام، إذ سجلت الأخيرة أقل أقطار تثبيط، بل لم تظهر بعض المستخلصات أي نشاط تثبيطي تجاهها. ويعزى هذا التباين إلى الطبيعة التركيبية المعقدة لجدار الخلية في البكتيريا سالبة الجرام، حيث تمتلك غشاء خارجياً غنياً بالعديد من السكريات الدهنية Lipopolysaccharides يعمل كحاجز نفاذية انتقائي يحد من وصول المركبات المضادة للميكروبات إلى أهدافها الخلوية، بالإضافة إلى وجود مضخات التدفق الخلوي Efflux pumps التي تقلل من تراكم هذه المركبات داخل الخلية. في المقابل قد يفسر غياب هذا الغشاء الخارجي في السلالتين الموجبتين الجرام المختبرتين *S. aureus* و *B. cereus* زيادة حساسيتهما لتأثير المركبات الحيوية المستخلصة مقارنة بسلالة *E. coli*. وتتطابق هذه الملاحظة على السلالات المدروسة مع النمط العام الذي أشار إليه [15] من حيث تسجيل حساسية أعلى للبكتيريا موجبة الجرام مقارنة بالسالبة الجرام، كما أكد النمط نفسه كل من [14] و [16] عند اختبار مستخلصات الطحالب البحرية.

وأظهرت الدراسة أيضاً وجود اختلاف واضح في النشاط المضاد للبكتيريا بين أنواع الطحالب المختبرة، حيث سجل الطحلب البني *Padina pavonica* والطحلب الأخضر *Codium tomentosum* أعلى نشاط تثبيطي في معظم الاختبارات، في حين أظهر الطحلب الأحمر *Petrocladia* sp. أقل نشاط. ويمكن تفسير هذا الاختلاف بتباين التركيب الكيميائي والمحتوى الأيضي بين الأنواع المختلفة من الطحالب، إذ تختلف كميات وأنواع المركبات الثانوية المنتجة مثل المركبات الفينولية، التربينات، القلويدات، الأحماض الدهنية، والسكريات الكبريتية والتي تعد المسؤولة عن النشاط الحيوي للمستخلصات. علاوة على ذلك فإن اختلاف الانتماء التصنيفي للطحالب (خضراء، وبنية، وحمراء) يؤدي طبيعياً إلى اختلاف نوعية المركبات الأيضية المنتجة، وهو ما يفسر تباين النشاط التثبيطي بين الأنواع المدروسة. كما يعزى جزء من هذا التباين الملاحظ إلى التأثير المشترك للظروف البيئية والمكانية لموقعي الجمع (الخمس وتاجوراء)، حيث يمثل تباين موقع الجمع عاملاً بيئياً مريكاً يؤثر على تركيز ونوعية المركبات الفعالة في المستخلصات. وقد اتفقت هذه

النتائج مع دراسة [12] التي أوضحت وجود فروق واضحة في الفعالية التثبيطية باختلاف أنواع الطحالب البحرية، وكذلك مع نتائج [13] [17].

ومن ناحية أخرى، بينت النتائج أن ارتفاع العائد الإنتاجي Yield للمستخلص لا يعني بالضرورة زيادة فعاليته المضادة للبكتيريا، فعلى الرغم من أن الطحلب *Codium tomentosum* سجل أعلى نسبة عائد إنتاجي، إلا أن النشاط المضاد للبكتيريا يعتمد بدرجة أكبر على جودة ونوعية وتركيز المركبات الحيوية الفعالة الموجودة في المستخلص، وليس على الكمية والوزن الكلي للمستخلص الجاف. وفي هذا السياق أشار [14] إلى أن التركيب الكيميائي للمستخلص يمثل العامل الأكثر تأثيراً في فعاليته الحيوية، كما أوضح [13] أن بعض المستخلصات ذات العائد المنخفض قد تمتلك نشاطاً بيولوجياً يفوق مستخلصات ذات عائد أعلى، وذلك لاحتوائها على تركيز عالي من المركبات الفعالة فيها بنسب أكبر.

وبصورة عامة، تؤكد نتائج الدراسة الحالية أن الطحالب البحرية على السواحل الليبية تمثل مصدراً واعداً للمركبات الطبيعية المضادة للبكتيريا، وأن استخدام تقنية الاستخلاص المائي الساخن تعد وسيلة ذات كفاءة عالية وصديقة للبيئة (Green extraction) لتحسين استخلاص المركبات النشطة دون الحاجة إلى المذيبات العضوية، وهو ما يعزز إمكانية التطبيق الآمن لهذه المستخلصات في المجالات الغذائية والدوائية، لاسيما في ظل التوجه العالمي نحو استخدام المنتجات الطبيعية لمواجهة المعضلة الطبية المتمثلة في مقاومة البكتيريا للمضادات الحيوية التقليدية. وتتسم هذه المحصلة مع ما ورد في العديد من الدراسات المحلية والعالمية التي أكدت الإمكانات التطبيقية الواعدة للطحالب البحرية كمصدر للمركبات الحيوية المضادة للميكروبات [15] [12] [13].

5. حدود الدراسة:

من أبرز محددات هذه الدراسة اقتصار التقييم المضاد للبكتيريا على ثلاث سلالات فقط، واقتصار جمع عينات الطحالب على موقعين جغرافيين، مما قد يدخل تبايناً بيئياً مؤثراً على تركيز المركبات الفعالة. كما اعتمدت الدراسة على تقنية الانتشار بالحفر في الآجار دون استخدام مضاد حيوي قياسي كشاهد موجب، ودون تحديد التركيز التثبيطي الأدنى (MIC) أو التركيز القاتل للبكتيريا (MBC)، مما حد من التقييم الكمي الدقيق للفعالية. إضافة إلى ذلك، لم يُجرَ تحليل كيميائي تفصيلي للمستخلصات، وهو ما يحول دون تحديد المركبات الكيميائية المسؤولة عن النشاط الملاحظ للمستخلصات تجاه نمو البكتيريا المختبرة.

6. الخاتمة:

خلصت الدراسة أن كفاءة المستخلصات المائية للطحالب البحرية في تثبيط نمو البكتيريا تتأثر بدرجة كبيرة بطريقة الاستخلاص، حيث حققت المستخلصات المائية الساخنة نشاطا مضادا للبكتيريا أعلى من المستخلصات المائية الباردة. كما اتضح أن البكتيريا المختبرة الموجبة الجرام *Staphylococcus aureus* و *Bacillus cereus* كانت أكثر استجابة للمستخلصات الطحلبية مقارنة ببكتيريا *Escherichia coli* السالبة الجرام. وسجل كل من *Codium tomentosum* و *Padina pavonica* أفضل نشاط مضاد للبكتيريا بين الأنواع المدروسة، مما يؤكد أهمية اختيار كل من نوع الطحلب وطريقة الاستخلاص للحصول على أعلى فعالية حيوية.

وتشير هذه النتائج الأولية إلى أن أنواع الطحالب المدروسة تعد مصادر واعدة لمركبات طبيعية مضادة للبكتيريا، مع التوصية بإجراء دراسات مستقبلية تفصيلية تتضمن عزل المركبات الفعالة وتوصيفها الكيميائي باستخدام التقنيات التحليلية المتقدمة مثل GC-MS أو LC-MS، إضافة إلى تقييم السمية، التركيز التثبيطي الأدنى (MIC)، والسلامة الحيوية قبل النظر في إمكانية استخدامها في المجالات الغذائية أو الدوائية.

الشكر والتقدير

يتقدم الباحثون بخالص الشكر والتقدير إلى المختبر المرجعي للصحة العامة بطرابلس، وبخاصة الطاقم الفني والإداري، على تعاونهم المثمر والدعم القيم في تزويدنا بسلالات البكتيريا المعتمدة المستخدمة في هذا البحث، مما أسهم بشكل مباشر في إتمام الجانب العملي للدراسة.

المراجع

- [1] Burja AM, Banaigs B, Abou-Mansour E, Burgess JG, Wright PC. Marine cyanobacteria: A prolific source of natural products. Tetrahedron. 2001;57(46):9251-9281.
- [2] Guiry MD, Guiry GM. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway; 2012 [cited 2026]. Available from: <http://www.algaebase.org>
- [3] Wells ML, Potin P, Craigie JS, Raven JA, Merchant SS, Helliwell KE, et al. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. Journal of Applied Phycology. 2017;29(2):949-982.
- [4] World Health Organization (WHO). Food safety: Fact sheet on foodborne diseases. Geneva: World Health Organization; 2021.
- [5] Murray AK, Zhang L, Smith R. Global burden and trends of antimicrobial resistance: challenges and alternative therapeutic strategies. The Lancet Microbe. 2024;5(3):e210-e221

- [6] Tierney MS, Croft AK, Rai DK. A review of carbohydrate and phytochemical constituents of Ireland's brown seaweed biomass. *Journal of Applied Phycology*. 2013;25(3):867-878.
- [7] Jang KH, Kim KJ, Song KB. Antimicrobial activity of a water extract of seaweeds against foodborne pathogens. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*. 2011;54(5):785-788.
- [8] Santos SA, Felix R, Alves L, Silva J, Lemos MF. Optimization of extraction processes for recovery of bioactive compounds from marine macroalgae. *Marine Drugs*. 2023;21(3):180.
- [9] Garbaj AM, Awad AM, El-Anis AR, Eldaghayes IM. Isolation and identification of food borne pathogens from various food products in Tripoli, Libya. *Libyan Journal of Medical Sciences*. 2016;10(2):45-52.
- [10] Naas HT, Edrah SM, Garbaj AM. Prevalence and antimicrobial resistance of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* isolated from food products in Tripoli, Libya. *Journal of Food Protection and Hygiene*. 2019;5(1):12-19.
- [11] Balouiri M, Sadiki M, Ibnsouda SK. Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*. 2016;6(2): 71-79.
- [12] عبد الرزاق أحمد، صالح وصالح، سامي محمد. التأثير الحيوي لطحلب *Posidonia oceanica* على بعض الميكروبات الممرضة. مجلة المختار للعلوم. 2020؛ 35(2): 112-121.
- [13] منديل قاهر، وقاهر فاطمة، وآخرون. النشاط البيولوجي المضاد للبكتيريا لبعض الطحالب البحرية في البحرين. مجلة الخليج العربي للبحوث العلمية. 2008؛ 26(3): 134-142.
- [14] El-Shafay S.M., Ali S.S., & El-Sheekh M.M. Antimicrobial activity of some seaweeds species from the Red Sea against multidrug resistant bacteria. *Egyptian Journal of Botany*. 2016; 56(1): 45-62.
- [15] Selim S., et al. Antibacterial, cytotoxicity and anticoagulant activities of marine algae. *Journal of Applied Phycology*. 2015; 27(5): 2013-2021.
- [16] Cox S., Abu-Ghannam N., & Gupta S. An assessment of the antioxidant and antimicrobial activity of six species of edible Irish seaweeds. *International Food Research Journal*. 2010; 17(1): 205-220.
- [17] Saleh B., Al-Hallab L., & Al-Mariri A. Seaweed extracts effectiveness against selected Gram-negative bacterial isolates. *Journal of Phytomedicine*. 2019; 9 (2): 115-123.