Al-Mukhtar Journal of Agricultural, Veterinary and Environmental Sciences 3 (2): 32-40, 2025
Doi: https://doi.org/10.54172/19rdt516

Research Article **Open Access**

استخدام طحلب *Enteromorpha Prolifera* في المعالجة الحيوية للمعادن الثقيلة في مياه البحر في منطقة (سوسة – الحنية)

زمزم إبراهيم الصاوي[1] ، على محمود أبوغرارة*[2] ، سعاد خليفة عمر[3]

زمزم إبراهيم الصاوى[1]*: قسم علوم البيئة ، كلية الموارد الطبيعية وعلوم البيئة، جامعة عمر المختار.
Zmzmabrahym66@omu.edu.ly
على محمود أبوغرارة : قسم الموارد البحرية، كلية الموارد الطبيعية وعلوم البيئة، جامعة عمر المختار.
ali.mahmoud@omu.edu.ly
سعاد خليفة عمر . قسم الكيمياء . كلية العلوم .جامعة عمر المختار.
suad.khalifa@omu.edu.ly

*Corresponding author: Ali Mahmoud Abu Gharara: Department of Marine Resources, Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences, Omar Al-Mukhtar University.
ali.mahmoud@omu.edu.ly
Zamzam Ibrahim Al-Sawy[1]*: Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences, Omar Al-Mukhtar University.
Zmzmabrahym66@omu.edu.ly
Suad Khalifa Omar. Department of Chemistry. Faculty of Science. Omar Al-Mukhtar University
.suad.khalifa@omu.edu.ly

Received:
12. 07. 2025
Accepted:
31. 08. 2025
Publish online:

المستخلص: هدفت هذه الدراسة لاختبار مدى إمكانية الإستفادة من بعض صفات الطحالب البحرية الكبيرة. أظهرت نتائج العينات التي أخذت من مياه البحر لموقعي الدراسة (منطقة سوسة والحنية)، وكذلك عينات الطحلب التي أخذت من مكان أقل تلوثاً لإجراء التحاليل للطحلب والمياه لمعرفة نسبة عنصري المعادن الثقيلة (الرصاص والنحاس). حيث أوضحت نتائج التحاليل أن مياه البحر تحتوي على العنصرين، وبمقارنة المنطقتين كان بمنطقة الحنية تواجد عنصر النحاس أكثر بمرتين من منقطة سوسة وبلغت نسبته 24.043 جزء في المليون بينما نسبته في منطقة سوسة 13.040 جزء في المليون وكان العكس في عنصري الرصاص، حيث وجد بكميات أكبر في منطقة سوسة، وقد كانت نسبة العناصر في الطحلب قبل التجربة (النحاس 1.457، الرصاص 0.063 جزء في المليون) وبعد التجربة ارتفعت هذه العناصر في الطحلب في موقع الدراسة الأول (النحاس4.430، الرصاص 2.730 جزء في المليون)، وموقع الدراسة الثاني بعد التجربة (الرصاص 5.557 والنحاس 4.282 جزء في المليون، وهذا يوضح أن هناك امتصاصاً للمعادن الثقيلة الموجودة في المياه بواسطة الطحلب. حيث انخفضت نسبتها وازدادت في الطحالب، لذلك ننصح باستخدام هذا النوع من الطحلب في مكافحة التلوث.

الكلمات المفتاحية : *Enteromorpha prolifera* المعالجة الحيوية، المعادن الثقيلة.

The Use of *Enteromorpha prolifera* in the Bioremediation of Heavy Metals in Seawater in the Sousa–Al-Haneya Areas

Abstract: The aim of this study was to test the extent of the possibility of benefiting from some characteristics of large marine algae, as the results of the samples taken from seawater for the two study sites (Sousse and Hanieya areas), as well as algae samples taken from a less polluted place to conduct analyses of the algae and water to determine the percentage of heavy metals (lead, copper). The analysis results showed that seawater contains both elements. Comparing the two areas, the presence of copper in the Hanieh area was twice as high as in the Sousse area, reaching 24.043 ppm, while its percentage in the Sousse area was 13.040 ppm. The opposite was true for lead, as it was found in larger quantities in the Sousse area. The percentage of elements in the algae before the experiment was (copper 1.457, lead 0.063 ppm). After the experiment, these elements increased in the algae in the first study site (copper 4.430, lead 2.730 ppm), and in the second study site after the experiment (lead Copper 5.557 ppm 4.282 ppm This indicates that the algae is absorbing heavy metals from the water, as their levels have decreased and increased in the algae. Therefore, we recommend using this type of algae to combat pollution.

Keywords: *Enteromorpha prolifera*, Heavy metals

The Author(s) 2025. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) , which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium ,provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

Doi: https://doi.org/10.54172/19rdt516

المقدمة:

يُعد التلوث الكيميائي من أخطر ملوثات البيئة المائية، وخاصةً المواد العضوية الثابتة وغير العضوية، التي أثرت على أكثر من خمسة أنظمة مائية حول العالم لعقود. تعتبر الملوثات الجيولوجية، وعمليات التعدين، ومواقع النفايات من المصادر الرئيسية لهذا التلوث (Schwarzenbach وآخرون، 2010)، تكمن خطورة التلوث بالعناصر الثقيلة لكونها عناصر انتقالية لديها القدرة على تكوين مركبات معقدة ومستقرة مع معظم المركبات العضوية وغير العضوية في أجسام الكائنات الحية.ممايؤدي إلى اكمها داخل هذه الأنظمة البيئية، كما أنها تتميز بطبيعتها الثابتة وعدم قابليتها للتحلل، فضلًا عن سميتها (Singh، 2008). من جهة أخرى، تلعب الطحالب والنباتات المائية دورًا مهمًا في تنظيف البيئة من بعض هذه المخلفات. تُعرف هذه العملية بالمعالجة الحيوية، وتتضمن استخدام أنظمة حيوية لتفكيك الملوثات أو تقليل تراكيزها العالية (Okoh وTrejo، 2006).

تعتبر الطحالب من أكبر مجموعات الكائنات الحية، سواء كانت وحيدة الخلية أو متعددة الخلايا. تتميز بتنوعها وقدرتها على التغذية الذاتية، كما أنها قادرة على امتصاص العديد من العناصر الثقيلة الموجودة في البيئة المائية وتجميعها داخل خلاياها.

أن العوامل المؤثرة في تراكم العناصر الثقيلة واستخدام الطحالب في المعالجة الحيوية تعتمد كميات العناصر الثقيلة التي تُخزِّنها الطحالب على عدة عوامل، منها نوع الطحلب، حالته الفسيولوجية، آلية مقاومته، بالإضافة إلى نوع العنصر وتركيزه ووجود أو عدم وجود عناصر أخرى في بيئة النمو (Murugesan وآخرون، 2008؛ الفرحان، 2010)

في السنوات الأخيرة، اتجه الباحثون نحو استخدام المنتجات الطبيعية في المعالجة الحيوية للحد من التلوث البيئي، نظراً لقدرتها على معالجة مياه الصرف الصحي والمياه الملوثة بالعناصر الثقيلة. لهذا، يمكن توظيف الطحالب في المعالجة الحيوية، مثل معالجة مياه الفضلات، عبر استهلاك المغذيات كعنصري الكربون والنتروجين الناتجة عن تحلل المخلفات (العبادي وآخرون، 2018). كما عزا Phillips وRainbow (1994) قدرة الطحالب البحرية الكبيرة على تخزين العناصر الثقيلة بتركيزاتها المختلفة إلى كبر مساحة سطحها. من الأمثلة على الطحالب المستخدمة في هذا المجال طحلب *Enteromorpha prolifera* ، وهو من الأعشاب البحرية الخضراء الأكثر شيوعاً في الدول الآسيوية. وفقاً لتصنيف (Müller ، 1778) ، ينتمي هذا الطحلب إلى المملكة النباتية، قسم Chlorophyta ، صنف Ulvophyceae ، رتبة Ulvales ، وعائلة.Ulvaceae

يمتلك طحلب *Enteromorpha prolifera* خصائص مميزة ودورا بيولوجياً، وايضاً دورة حياة تتميز بتعاقب أجيال من أمشاج أحادية الصبغيات ومتماثلة الشكل. ينتشر هذا العشب البحري بشكل واسع في المناطق المدية للشواطئ ومصبات الأنهار حول العالم، وذلك بفضل قدرته الفائقة على تحمل نطاق واسع من الملوحة ودرجات حرارة المياه.

يحتوي هذا الطحلب على العديد من المركبات النشطة بيولوجيًا ذات التطبيقات الصناعية، أبرزها عديدات السكاريد التي تُعد من مكوناته الأساسية. كما يُعتبر مصدرًا محتملاً لمجموعة واسعة من المواد الطبيعية الأخرى مثل الكاروتينات، والفوكويدانات، والفلوروتانينات .تُظهر هذه المركبات أنشطة بيولوجية مختلفة تجعلها مناسبة للاستخدام في تطبيقات صناعية حيوية كالأدوية، والمكملات الغذائية، ومستحضرات التجميل، والأغذية الوظيفية.

وفي دراسة حديثة، ركز (Chao Zhao وآخرون 2016) على الأنشطة البيولوجية للطحالب الخضراء من جنس *Enteromorpha*، حيث أظهرت نتائج الأبحاث تأثيرات مضادة للأكسدة والبكتيريا، إضافة إلى قدرتها على تعديل المناعة وخفض مستوى الدهون في الدم، هذه الخصائص قد تفتح المجال لاستخدامها كمكونات وظيفية. من جهة أخرى استخدمت الطحالب كمؤشرات حيوية وممتصات للملوثات، حيث أشار Ho (1990) إلى أن جنسي *Ulva* و *Enteromorpha* يعتبران مؤشرين حيويين جيدين للتلوث بالمعادن. ويعود ذلك إلى أن طحلب *Ulva lactuca*، يمتلك مساحة سطحية كبيرة نسبيًا، وخلايا قوقعة متجانسة هيكليًا وخلايا نشطة فسيولوجيًا، بالإضافة إلى قدرته على النمو بكثافة في المناطق الملوثة. وقد أظهرت دراسة أجراها

Doi: https://doi.org/10.54172/19rdt516

الباحث في هونغ كونغ قدرة الطحلب على معالجة المياه الملوثة بالمعادن الثقيلة مثل المنغنيز (Mn) ، والحديد (Fe) ، والنحاس (Cu)، والزنك (Zn)، والرصاص (Pb).

كما أكدت دراسات أخرى، مثل تلك التي أجراها (Kaoutar و Mourad ، 2013)، قدرة أنواع مختلفة من الطحالب البحرية المجهرية والكبيرة على امتصاص الملوثات العضوية وغير العضوية. تتباين آليات امتصاص المعادن الثقيلة في الطحالب، حيث يُعزى الاختلاف في قدرة الطحالب على الامتصاص إلى اختلاف تركيب جدار الخلية ومواقع تبادل الأيونات في الغشاء الخلوي، وجد العذبي وآخرون (2015) أن طحلب *Microcystis aeruginosa* كان أكثر قدرة على امتصاص عنصر الكادميوم.

أما Kim، 2015 أشار إلى قدرة بعض الطحالب على تحويل المعادن الثقيلة السامة إلى أشكال غير سامة، لامتلاكها آليات للحفاظ على توازن المعادن، ومنع التسمم وذلك عن طريق إمتصاص أيونات المعادن السامة إلى مركبات الجدار الخلوي (سكريات – بروتينات – سيللوز) حيث تتراكم العناصر في الطحالب عن طريق الامتصاص، بينما عزا حربية، 2017 اختلاف تراكم المعادن الثقيلة يعود إلى الشكل المورفولوجي والتركيب الخلوي للطحالب. أن الطحالب والأعشاب البحرية الماصة للمعادن الثقيلة تعتمد على ازالتها من خلال نقل الأيونات المعدنية المنتشرة عبر أغشية الخلايا (Zand وآخرون، 2022). لذا تهدف هذه الدراسة إلى استخدام الطحلب البحري *Enteromorph prolifera* في المعالجة الحيوية للمياه معمليا، بالإضافة إلى مقارنة نسب العناصر الثقيلة في ماء البحر وتركيزاتها في الطحلب بموقعين مختلفين هما: سوسة والحنية.

المواد وطرق البحث:

مواقع الدراسة: أُجريت هذه الدراسة في منطقتين ساحليتين بمنطقة الجبل الأخضر، الواقعة في الجزء الشرقي من ليبيا. حيث أختير موقعين لجمع العينات (شكل 1) ساحل الحنية الواقع على بعد حوالي 25 كم شمال غرب مدينة البيضاء. وساحل سوسة : يقع هذا الموقع على بعد حوالي 30 كم شرق مدينة البيضاء. تتميز هذه المواقع بوجود مناطق سكنية، وورش عمل، ومحلات تجارية، بالإضافة إلى مزارع. كما يحتوي ساحل سوسة على ميناء للصيد البحري ومحطة لتحلية المياه، مما قد يؤثر على الخصائص البيئية للموقع.

شكل:(**1**). خريطة موقعي الدراسة (سوسة – الحنيه)

(المصدر: مكتب العمارة للاستشارات الهندسية/ بنغازي، 2009)

Doi: https://doi.org/10.54172/19rdt516

الطحلب المستخدم في الدراسة: استخدم في المعالجة الحيوية نوع من الطحالب الخضراء المتواجدة على السواحل الليبية بكثرة، وهو *E. prolifera.* ، وطبقت التجارب المعملية وفق طريقة (Pavasant وآخرون، 2006؛ El-Sikaily وآخرون، 2007). أُجريت هذه الدراسة لتقييم قدرة طحلب *Enteromorpha prolifera* على المعالجة الحيوية للمياه الملوثة بالعناصر الثقيلة. تضمنت الخطوات العمل التالية:

جمع وتحليل العينات، وذلك بجلب عينات الطحلب وزن 2 كجم من ساحل سوسة إلى معمل الكلية. بعد غسله وأخذ 10جرام للتأكد من خلوها من أي عناصر ثقيلة، كما جُمعت عينات من ماء البحر من مسافة 5 أمتار عن مصدر التلوث في كلا الموقعين (سوسة والحنية).

أجريت التحاليل الأولية لعينات ماء البحر لتحديد نسبة العناصر الثقيلة فيها باستخدام جهاز المطياف الضوئي، وذلك وفقًا لطريقة (Radoslaw وآخرون، 2007؛ Nabil وآخرون، 2008)، أُجريت مقارنة بين تركيزات الملوثات في المياه قبل وبعد المعالجة، وكذلك بين نسب التلوث في المنطقتين وفي الطحلب المختبر. عند أخذ قياسات الظروف البيئية التي قُيست لمياه كلا الموقعين، وكانت النتائج كالتالي: سجلت الملوحة في مياه الحنية37 ±1 جزء من الألف ودرجة الحموضة 6.7، أما الملوحة بمياه سوه بلغت 35 ± 1 جزء من الألف و 6.8 الحموضة، وكانت درجة حرارة المعمل 20 ± 1م°.

التجربة المعملية لتطبيق المعالجة الحيوية تمت بتعقيم ماء البحر للتخلص من الميكروبات، ثم وُزِّع 4 لتر من الماء المعقم في ثلاثة مكررات (جالونات بسعة 6 لتر). أُضيف إلى كل جالون 300 غرام من الطحلب، لترك فترة الحضانة لمدة 8 أيام في ظروف بيئية مناسبة من حيث الإضاءة، والتهوية، ودرجة الحرارة، بعد التجربة :بعد انتهاء فترة الحضانة، جُمعت عينات الطحلب، وجُفّفت في درجة حرارة الغرفة، ثم طُحنت. كما أجريت تحاليل ما بعد المعالجة شملت:

- تحليل عينات المياه :أُخذ 250 مل من المياه من كل جالون، وأُجري تحليلها وفقًا لطريقة (Gregg، 1989).
- تحليل الطحالب :تم هضم عينات الطحلب المجففة باستخدام حمض النتريك (HNO_3) لتحليلها.
- تجهيز المحاليل القياسية :جُهزت محاليل قياسية لكل من الطحلب والماء وفقًا للطريقة المذكورة (Radoslaw وآخرون، 2007؛ Nabil وآخرون، 2008)، وكان القياس بأُخذ 5 مل من كل عينة بعد تحضيرها وقياسها باستخدام جهاز المطياف الضوئي، وحُسبت نسبة الإزالة الحيوية باستخدام المعادلة التالية:

نسبة الإزالة الحيوية=[(تركيز الملوثات قبل المعالجة- تركيز الملوثات بعد المعالجة)/تركيز الملوثات قبل المعالجة] × 100.

التحليل الإحصائي: تم التحليل الإحصائي باستخدام اختبار T-Test للعينات المزدوجة (Paired Sample) كما تم مقارنة منطقتي الدراسة (سوسة والحنية) من حيث نسبة التلوث تم استخدام اختبار T-Test للعينات المستقلة (Independent Sample) (عشماوي وآخرون.، 2008) وتم إجراء التحليل الإحصائي باستخدام برنامج ميني تاب (Mintab-19).

النتائج والمناقشة:

أظهرت نتائج مقارنة التلوث بين مواقع الدراسة تبايناً في تراكيز العناصر الثقيلة بين موقعي الدراسة. فقد سجلت مياه البحر في منطقة الحنية أعلى تركيز للنحاس بـ 24.043 جزء في المليون ، بينما كان تركيز الرصاص في مياه البحر بمنطقة سوسة هو الأعلى، حيث بلغ 5.306 جزء في المليون . وتشير هذه النتائج، كما هو موضح في جدول (1)، إلى وجود تلوث بهذه العناصر في كلا الموقعين.

Doi: https://doi.org/10.54172/19rdt516

يتضح من الجدول (2) قدرة الطحلب على امتصاص العناصر الثقيلة، حيث كشفت اسة عن قدرة طحلب *Enteromorpha prolifera* على امتصاص العناصر الثقيلة. أظهرت نتائج تحليل الطحلب قبل وبعد التجربة وجود تزايد معنوي في تراكيز النحاس والرصاص داخل خلاياه، وهو ما يُعد دليلاً على فعاليته في الامتصاص. وأظهرت نتائج تحليل الطحلب المستخدم قبل التجربة نسبة كل عنصر قبل وبعد التجربة و هو موضح في جدول (2) وهي متباينة حيث زادت نسبة العناصر في الطحلب بعد التجربة أي كانت نسبة إمتصاص العناصر على التوالي النحاس والرصاص وهذا يظهر فروقاً معنوية ارتفع تركيز النحاس في الطحلب من 1.457 إلى 4.430 جزء في المليون، بينما الرصاص زاد تركيزه من 0.063 إلى 5.306 جزء في المليون. كما أظهرت النتائج تأثير الامتصاص على تركيز العناصر في ماء البحر، فكانت تشير هذه الزيادة في تركيز العناصر داخل الطحلب إلى أن الامتصاص قد أدى إلى انخفاض ملحوظ في تراكيزها بماء البحر بعد التجربة. هذه النتائج تتوافق مع دراسات سابقة أكدت قدرة الطحالب على تراكم المعادن الثقيلة بأنواعها المختلفة نتيجة امتصاصها لهذه العناصر، كما ذكرها كل من (Rainbow و Phillips ، 1994؛ Mourad و Kaoutar ، 2013)

جدول:(1). مقارنة نسبة عنصري النحاس والرصاص في مياه البحر لموقعي الدراسة

المنطقة	النحاس / جزء في المليون	الرصاص / جزء في المليون
الحنية	24.043	3.818
سوسة	13.040	5.306
قيمة T-Test	21.427	-7.441
P-Value	0.000	0.017

سجلت النتائج تراكم العناصر الثقيلة في الطحالب خاصة بمنطقة الحنية أن نسبة تراكم النحاس في الطحلب بلغت 4.430 جزء في المليون ، بينما وصلت نسبة الرصاص إلى 2.730 جزء في المليون تتفق هذه النتائج مع ما توصلت إليه (حربية، 2017) حيث كانت نسب النحاس والرصاص 5.333 جزء في المليون و 2.666 جزء في المليون على التوالي. كما تتقارب النتائج مع دراسة (العماري وأخرون ،2020) التي سجلت نسبة رصاص بلغت 5.70 جزء في المليون، وتختلف نتائج هذه الدراسة مع ما توصلت إليه (الحسيني عبدالهادي و إيثار كامل، 2015) التي أظهرت نسبة امتصاص قليلة لعنصر الرصاص. يُعزى هذا الاختلاف بشكل رئيسي إلى اختلاف نوع الطحلب المستخدم، حيث استخدمت دراسة الحسيني طحلب *Westiellopsis prolifica*، مما يؤكد أن نوع الطحلب يلعب دورًا حاسمًا في قدرته على تراكم المعادن الثقيلة.

جدول:(2). مقارنة تركيز عنصري النحاس والرصاص في الطحالب قبل الامتصاص وبعده

المنطقة / التجربة	التركيز بمنطقة الحنية الحنية (جزء في المليون)	
	النحاس	الرصاص
الطحالب قبل الامتصاص	1.457	0.063
الطحالب بعد الامتصاص	4.430	2.730
قيمة T-Test	-3.832	-8.000
P-Value	0.031	0.015

Doi: https://doi.org/10.54172/19rdt516

يوضح جدول (3) تغير اكيز النحاس والرصاص في ماء البحر بمنطقة الحنية ظهر هذا التغير في تراكيز عنصري النحاس والرصاص في مياه البحر بمنطقة الحنية قبل التجربة وبعدها، وبينت النتائج أن أعلى نسبة امتصاص كانت لعنصر النحاس، حيث حدث انخفاض معنوي في تركيزه بماء البحر. كانت نسبة فقدان ماء البحر لعنصر النحاس أكبر من نسبة فقدان الرصاص، ويُعزى هذا الاختلاف بشكل مباشر إلى التركيز الأولي الأعلى للنحاس في مياه البحر مقارنة بالرصاص.

جدول:(3). تركيز العناصر في المياه قبل وبعد المعالجة في موقع الدراسة الأول

المنطقة / التجربة	التركيز بمنطقة الحنية (جزء في المليون)	
	النحاس	الرصاص
الماء قبل المعالجة	24.043	3.818
الماء بعد المعالجة	21.223	1.150
قيمة T-Test	3.602	8.048
P-Value	0.035	0.008

أظهرت النتائج الموضحة في جدول (4) أن طحلب *Enteromorpha prolifera* يمتص العناصر الثقيلة من مياه منطقة سوسة بفعالية. كانت أعلى نسبة امتصاص لعنصر النحاس، يليه الرصاص، مع وجود فروق معنوية بينهما. بعد عملية الامتصاص، كانت نسبة تركيز النحاس في الطحلب 5.557 جزء في المليون وتركيز الرصاص 4.282 جزء في المليون تتفق هذه النتائج مع دراسة (العماري وأخرون ، 2020) ويتقارب مع (حربية ، 2017) , يُعزى هذا الاختلاف في النسب إلى عدة عوامل، أهمها: نوع الطحلب المستخدم :استخدمت دراسة حربية (2017) طحلب *Enteromorpha linza*المجفف، بينما استخدمت هذه الدراسة طحلبًا *Enteromorpha prolifera*، بالاضافة إلى ظروف التجربة، حيث تلعب عوامل بيئية مثل درجة الحرارة، والحموضة، والاختلافات الموسمية دورًا حاسمًا في قدرة الطحالب على امتصاص العناصر الثقيلة.

جدول:(4). نسبة الإمتصاص للعناصر في الطحالب في سوسه

المنطقة / التجربة	التركيز بمنطقة سوسه (جزء في المليون)	
	النحاس	الرصاص
الطحالب قبل الامتصاص	1.457	0.063
الطحالب بعد الامتصاص	5.557	4.282
قيمة T-Test	-10.930	-13.619
P-Value	0.004	0.005

يوضح الجدول (5) أن أعلى نسبة امتصاص في مياه منطقة سوسة كانت لعنصر النحاس، مع وجود فروق معنوية، يُعزى هذا الامتصاص المرتفع إلى التركيز الأولي العالي لعنصر النحاس في مياه البحر. تتقارب النتائج التي تم التوصل إليها مع دراسات (حربية.,2017) على الرغم من أن دراسة حربية استخدمت طحلبًا مجففًا من نوع *Enteromorpha linza*وحقنته بعناصر محددة، إلا أن نتائجها كانت متقاربة مع النتائج المتعلقة بعنصري الرصاص والنحاس، وايضاً يتفق هذا مع نتائج (صالح .,2012) التي استخدمت طحلب *Ulva rigda* ، كما تتفق النتائج ايضًا مع (Barraza، 1999) و (Barraza و Carballeira ، 1997) التي أكدت قدرة طحلب *Ulva rigida*على امتصاص المعادن الثقيلة من البيئة المائية من خلال محاكاة الظروف البيئية للطحلب، تُظهر هذه المقارنات أن قدرة الطحالب على امتصاص المعادن الثقيلة هي ظاهرة مثبتة، تتأثر بنوع الطحلب وظروف التجربة، ولكنها تؤكد فعاليتها في المعالجة الحيوية.

Doi: https://doi.org/10.54172/19rdt516

جدول:(5). نسبة العناصر في المياه قبل وبعد المعالجة في سوسه

المنطقة	التركيز بمنطقة سوسه (جزء في المليون)	
التجربة	النحاس	الرصاص
الماء قبل المعالجة	13.040	5.306
الماء بعد المعالجة	8.940	1.043
قيمة T-Test	10.930	14.487
P-Value	0.004	0.005

نستنتج من هذه الدراسة أن طحلب *Enteromorpha prolifera* يمتلك قدرة عالية على امتصاص وتخزين العناصر الثقيلة من البيئة المائية. وبناءً على ذلك تعد الطحالب وسيلة فعالة وصديقة للبيئة للمعالجة الحيوية (Bioremediation)، حيث تسهم في إزالة الملوثات دون التسبب في أي آثار بيئية سلبية على مكونات البيئة البحرية، وأن كفاءة امتصاص الطحلب للعناصر الثقيلة تتأثر بشكل مباشر بتركيز العنصر في البيئة المائية، ففي كل من منطقتي الدراسة (الحنية وسوسة)، كانت نسبة امتصاص النحاس أعلى من الرصاص، وهو ما يرجع إلى وجود تركيز أولي مرتفع للنحاس في المياه، هذا يشير إلى أن الطحالب قد تكون أكثر فاعلية في إزالة الملوثات ذات التراكيز العالية. كما تؤكد هذه الدراسة أن طحلب *Enteromorpha prolifera* يمكن استخدامه كمؤشر حيوي فعال، إذ تعكس كمية العناصر الثقيلة المتراكمة في أنسجته مستوى التلوث في البيئة المحيطة به، مما يجعله أداة مفيدة لمراقبة التلوث البيئي البحري بشكل مستمر.بالاضافة أن الاختلافات في نسب الامتصاص يمكن أن تُعزى إلى متغيرات بيئية، كما تؤكد هذه الدراسة امكانية تطبيق المعالجة الحيوية باستخدام الطحالب والتي تعتبر حلًا مستدامًا واقتصاديًا لإزالة الملوثات من مياه الصرف الصحي والمناطق الصناعية الساحلية، مما يقلل الاعتماد على الطرق الكيميائية الأكثر تكلفة وضرراً بالبيئة .

نظرًا لفعالية الطحالب في بيئتها الطبيعية، يوصى بدراسة إزالة الملوثات من المناطق الصناعية الساحلية بزراعة هذا الطحلب طحالب بالقرب من مصادر التلوث ، كذلك البحث عن أنواع أخرى من الطحالب البحرية الكبيرة والمجهرية المحلية لفهم قدراتها المختلفة على امتصاص أنواع متعددة من الملوثات العضوية وغير العضوية.

المراجع:

الحسيني، عبدالهادي كاظم، إيثار كامل الميالي.(2015). الإزالة الحيوية لمعدني الرصاص والكادميوم بواسطة طحلب *Westiellopsis prolifica*، قسم علوم الحياة، جامعة بغداد.56 (4): 3094-3102.

العبادي، عبدالوهاب ريسان، أحمد محسن عذبي، صباح ناهي ناصر.(2018). دور الطحالب في معالجة الحيوية، قسم علوم حياة، كلية التربية، جامعة ذي قار. 12-15ص.

العذبي ،أحمد محسن ، صباح ناهي ناصر ،عبد الوهاب ريسان عيال .(2015).المعالجة الحيوية لبعض العناصر المعدنية الثقيلة باستعمال الطحالب الخضر المزرقة المعزولة من نهر الفرات عند مدينة الناصرية ،قسم علوم الحياه ،كلية التربية للعلوم الصرفة ،جامعة ذي قار ،مجلة ذي قار للبحوث الزراعية ،المجلد: 4 ،العدد:2

العماري،عدل صالح، سالمة عبدالله الأبيض، ربيعة عمر اشكورفوا .(2020). قياس معدل التراكم الحيوي لثلاثة عناصر ثقيلة في نوعين من الطحالب البحرية لشاطئ مدينة الخمس، قسم الكيمياء، كلية العلوم ،جامعة مرقب.25(1-2):.

الفرجان، صلاح رزاق .(2010). دراسة بيئية للطحالب القاعية في بعض الأنظمة البيئية المائية في محافظة البصرة، رسالة ماجستير، كلية العلوم ، جامعة البصرة.247 ص .

حربيه، ياسمين باسم .(2017).مساهمة في دراسة تراكم بعض العناصر المعدنية الثقيلة في بعض الطحالب البحرية في المياه الشاطئية لمدينة بانياس، رسالة ماجستير، جامعة تشرين اللاذقية. 24-46 ص .

صالح ،علياء محمود محمد.(2012).علاج التلوث الصناعي البحري بالمعادن الثقيلة باستخدام الطحالب الخضراء المجففة ،الاكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحري ، رسالة ماجستير ،الاسكندرية -مصر.

عشماوي، عبدالحليم، صلاح جلال، محمد حسين صادق .(2008). الإحصاء الحيوي وتصميم التجارب ،المكتبة الأكاديمية، القاهرة، مصر.202 ص.

مكتب العمارة للاستشارات الهندسية، بنغازي.(2009). تقرير المخطط الشامل لمدينة البيضاء الجزء الأول تقرير رقم: 05- 4.

Barraza,J.E.,(1999)..Cinetica de bioacumulacion de metals pesa- dosy estres ecofisiolgco en ulva .phd thesis ,university of Santiago de compostela. pp 189.

Barraza, J. E. and A. Carballeira. (1997). Análisis de fluorescencia de clorofila y bioacumulación de cadmio y cobre en Ulva rigida. In Hernández-Molina, F. J., T. A. del Valls, B. Fraguela, J. Gracia, F. Lobo, R. Mañanes, A. Santos & J. T. Vázquez (eds), 2nd Symposium on the Atlantic Iberian Continental Margin. Cádiz, Spain,pp 333–334.

Chao Zhao, Chengfeng Yang and Bin Liu.(2016).Biological activities of green macroalgae Enteromorpha prolifera for potential applications. (MOJFPT) MOJ Food Processing and Technologh . Eissn: 2381-182. DOI:10.15406/mojfpt.2016.02.0004.

EL-Sikaily, A., Elnemr, A. Khaled, A. and Abd-Elwehab, O. (2007). Removal of toxic chromium from wastewater using green alga Ulva lactuca and its activated carbon. Journal of Hazardo us Materials, DOI:10.1016/j.jhazmat.2007.01.146

Gregg, L.W.(1989).Water analysis Hand book.H.A.C.H Company,USA.Pp.33-39.

Ho,Y,B.,(1990).Ulva Iactuca as bioindicator of metal comtam-ination in intertidal waters in Hong kong hydrobiologia. 20: (3),p81-73. DOI:10.1007/BF00005615

Kaoutar Ben Chekroun,and Mourad Baghour. (2013). The role of algae in phytoremediation of heavy metals: A review J. Mater. Environ. Sci. 4 (6) 873-880. CODEN: JMESCN. https://www.researchgate.net/publication/262905106

Kim, S, (2015). Handbook of Marine Macroalgae Biotechnology.ISBN NEW YORK 3:(1) Londn. https://www.researchgate.net/publication/284625002

Müller., O. F., (1778). in Totok Bay, Maluku Sea, and Blongko waters, Sulawesi Sea, North Sulawesi, Indonesia

Murugesan, A. , Maheswari, S. and Bagirath, G. (2008). Biosorption of cadmium by live and immobilized cell of Apirulina platensis . Intrn. J. Environ. Res., 2 (3): 307- 312 .Russian Journal of Ecology

Nabil, A. Al-Shawafi, A.and I. Rushd, (2008). Heavy metal concentrations in marine green, brown, and red seaweeds from coastal waters of Yemen, the Gulf of Aden. Environ Geo., 55:653–660. DOI:10.1007/s00254-007-1015-0

Okoh, A. and Trejo, M. (2006). Remediation of petroleum hydrocarbon polluted systems. Exploiting the bioremediation strategies. African J. Biot ., 5 (25):p 2520- 2525. DOI:10.4314/ajb.v5i25.56067.

Pavasant, Papiratikul, R. Sungkhum, V. Suthiparinyanont, P., Wattanachira and S. Marhaba, T.F. (2006).Biosorption of Cu2+ ,Cd2+, Pb2+, and Zn2+ using dried marinegreen macroalgae Caulerpa lentillifera. Bioresource Technology, , 97:2321–2329. DOI: 10.1016/ j.biortech. 2005.10.032.

Phillips D.,and Rainbow P.,(1994). Biomonitoring of Trace Aquatic Contaminants, 2nd ed.London, UK

Radoslaw, Z., Piotr, and S. Adamm, L. (2007) Comparison of green alga Cladophora sp. and Enteromorpha sp. as potential biomonitors of chemical elements in the southern Baltic.Science of the Total Environment, 387, 320–332. DOI:10. 1016/j.scitotenv. 2007.07.017

Schwarzenbach,Renep.,Thomas Egll,Thomas B.Hofstetter ,Urs von Gunten, and Bernhard wehrli .(2010).Global Water Pollution and Human Health,Annual review of Environment and Resources,p35-109-36 DOI:10.1146/annurev-environ-100809-125342

Singh,D.(2008) Removel of Zn from aqueous solution by absorption Using two blue green algae DOI:10.3390/ijerph19159006

wehrli .(2010).Global Water Pollution and Human Health,Annual review of Environment and Resources,p35-109-36. DOI:10.1146/annurev-environ-100809-125342

Znad, H., and Awual, M.R.,Martini, S, (2022).The Utilization of Algae and Seaweed Biomass for Bioremediation of Heavy Metal Contaminated Wastewater. Academic Editors: Carlo Santoro and Cristina González-Fernandez. DOI:10.5772/65682