مجلة البحوث التطبيقية في العلوم والإنسانيات

أثر إستخدام الطحالب في معالجة المياه الملوثة من المعادن الثقيلة

فاطمة عصام محمد، فاطمة ياسر حسين، كريمة سيد محمد، مارجريت عاطف عزيز، مريم إبراهيم محمد، مريم سامح خليل، مريم عادل محمد

المشرف على المشروع: د. هالة سمير سعد الدين مدرس علم النبات

جامعة عين شمس، كلية التربية، برنامج البكالوريوس في العلوم والتربية تخصص (بيولوجي – عربي)

المستخلص

تُعد مشكلة تلوث المياه بالمعادن الثقيلة من أخطر القضايا البيئية نظرًا لآثارها السلبية على صحة الإنسان والنظم البيئية. يهدف هذا البحث إلى دراسة كفاءة الطحالب في إزالة هذه المعادن من المياه الملوثة باستخدام تقنية الامتصاص الحيوي. تمت دراسة كفاءة طحلب ***Ulva lactuca*** المجمع من شواطئ الإسكندرية في إزالة ثلاثة أمثلة من المعادن الثقيلة (النحاس Cu، الزنك Zn، والكادميوم Cd) من عينة مياه تحتوي على هذه المعادن، من خلال تتبع التغير في تركيز كل عنصر على فترات زمنية تتراوح ما بين (15 إلى 180 دقيقة)، ومقارنة النتائج بالتركيز الابتدائي (العينة الضابطة). أظهرت النتائج أن أعلى كفاءة إزالة كانت لعنصر النحاس (Cu)، حيث انخفض تركيزه من 47. 5 ملجم/لتر إلى 35. 5 ملجم/لتر بعد 45 دقيقة من المعالجة، بنسبة إزالة بلغت 25. 3%. يليه عنصر الزنك (Zn)، حيث انخفض تركيزه من 50. 5 ملجم/لتر إلى 42. 0 ملجم/لتر بعد 45 دقيقة أيضًا، بنسبة إزالة بلغت 16. 8%. أما الكادميوم (Cd) فقد سجل أقل نسبة إزالة، حيث انخفض تركيزه من 57. 0 ملجم/لتر إلى 47. 5 ملجم/لتر بعد 60 دقيقة، بنسبة إزالة بلغت 16. 7%. وتم قياس تركيزات هذه المعادن الثقيلة في الماء باستخدام جهاز (Flame Atomic Absorption (SavantAA، في المعمل المركزي بكلية العلوم جامعة عين شمس. بناءً على ما سبق، يُستنتج أن طحلب ***Ulva lactuca*** يتمتع بكفاءة ملحوظة في إزالة أيونات المعادن الثقيلة محل الدراسة من المياه المحتوية عليها، وكانت كفاءته مرتفعة نسبيًا تجاه النحاس مقارنةً بالزنك والكادميوم، مما يجعله مرشحًا واعدًا في تطبيقات المعالجة الحيوية لمياه الصرف الصناعي الملوثة بالمعادن. تؤكد هذه النتائج إمكانية استخدام الطحالب كبديل بيئي وحيوي فعال للتقنيات التقليدية في معالجة المياه الملوثة، مما يسهم في الحد من التلوث البيئي بطريقة مستدامة وبتكلفة منخفضة. وتوصي الدراسة بإجراء المزيد من الأبحاث لتحديد الأنواع الأكثر كفاءة من الطحالب، وتحسين ظروف المعالجة، بالإضافة إلى دراسة إمكانية تطبيق هذه التقنية على نطاق واسع في محطات معالجة المياه.

الكلمات المفتاحية:

تلوث المياه – المعالجة الحيوية – المعادن الثقيلة – *Ulva lactuca*

1. مقدمة

يعد الماء عنصراً جوهرياً في استمرارية الحياة، فهو المركب الأهم لجميع الكائنات الحية، حيث يعتمد وجودها على توفره بكميات كافية. فمع تزايد الأنشطة البشرية وزيادة استهلاكه أصبح معرضاً للتلوث مما يشكل تهديداً للأنظمة البيئة والصحة العامة. **(سلمان، 2019، ص 4)**

يُقصد بالتلوث البيئي أي تغير غير طبيعي في البيئة ناتج عن الأنشطة البشرية أو العوامل الطبيعية مما يؤدى الى خلل في تدفق الطاقة والإشعاع والخصائص الكيميائية والفيزيائية وخلل في التوازن البيئي للكائنات الحية. **(عذبي وآخرون، 2015 ب، ص 2)**

يصنف تلوث المياه بالعناصر الثقيلة ضمن أخطر أشكال التلوث، نظراً لكونها عناصر انتقالية قادرة على تشكيل مركبات معقدة ومستقرة مع معظم

المركبات العضوية وغير العضوية داخل أجسام الكائنات الحية، مما يؤدى الى تراكمها في الأنظمة البيئية الحية. وتكمن خطورتها في عدم تحللها بسهولة وثباتها العالي، وخصائصها السامة. **(عذبي وآخرون، 2015 ب، ص 2)**

توجد عدة أساليب لمعالجة المياه الملوثة بالمعادن الثقيلة: الطرق الفيزيائية والكيميائية. مثل الترشيح بالترسيب، التبادل الأيوني، التناضح العكسي، وتفاعلات الأكسدة والاختزال. إلا أن هذه الأساليب قد تؤدى الى تلوث إضافي بسبب المواد الكيميائية المستخدمة، فضلاً عن كونها مكلفة وغير فعالة أحيانا، خاصة عند التعامل مع المياه التي تحتوي على نسب ضئيلة من المعادن الثقيلة. بناءً على ذلك، توجهت الأبحاث الى تطوير تقنيات بديلة تعتمد على الكائنات الحية والمواد البيولوجية مثل البكتيريا، الفطريات، والطحالب نظراً لسهولة الحصول عليها وتكلفتها المنخفضة. (**Lourie *et al*, 2010, p. 494**)

يُعد استخدام الكائنات الحية الدقيقة في امتصاص المعادن الثقيلة تقنية واعدة، نظرًا لكونها منخفضة التكلفة مقارنة بالطرق التقليدية مثل الأيونات أو أغشية الترشيح. وتمتاز هذه الطريقة بسرعة الأداء، حيث أظهرت الأبحاث أن ما يقارب 85٪ – 90٪ من المعدن المستهدف يُمتص خلال 10–15 دقيقة، بينما يتم ارتباط جزء كبير منه في اقل من 20 ثانية. (**Kipigroch, 2018, p. 290**)

وتُعد الطحالب من أكثر الكائنات الحية الدقيقة كفاءة في امتصاص المعادن الثقيلة، نظرًا لقدرتها العالية على الامتصاص وتوافرها الواسع بكميات كبيرة. ولهذا السبب، تُعتبر الطحالب خيارًا مناسبًا كمادة ماصة حيوية لأيونات المعادن الثقيلة، ويمكن أن تتم عملية الامتصاص باستخدام الكتلة الحيوية سواء كانت حية أو ميتة. (**Kipigroch, 2018, p 290**)

تعتبر الطحالب الدقيقة من أكثر الكائنات كفاءة في امتصـــاص المعادن الثقيلة من المياه الملوثة، تم تقييم كفاءة أكثر من أحد عشـــر نوعًا من الطحالب الدقيقة في معالجة مياه الصـــرف الناتجة عن غســـل الديزل الحيوي في البيئات الحضـرية، وهي مياه تحتوي على مسـتويات عالية من الملوثات والعناصـر الثقيلة. أظهـرت النتـائج أن بعـض الأنـواع، مثـل ***Moneraphidium contortum*** و***Ankistrodesmus sp.*** و***Chlorococcum sp.***، إلى جانب عدد من الطحالب الخضـــراء **Chlorophyceae**، اسـتطاعت أن تنمو بشـكل جيد في هذه البيئة، مما يشـــير إلى إمكانياتها الواعدة في المعالجة الحيوية. توجد علاقة بين تركيب جدار الخلية في الطحالب الدقيقة وقدرتها على التخلص من المعادن الثقيلة. وبينما أُثبتت فاعلية أنواع شائعة مثل ***Chlorella*** و***Scenedesmus***, برزت أيضًـــا أنواع أخرى مثـل ***Neochloris*** و***Nannochloropsis*** ككائنات واعدة في المعالجة الحيوية نظرًا لقدرتها العالية على امتصـاص العناصـر الثقيلة من المياه الملوثة (**Sarma *et al*., 2024, p. 2**).

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير استخدام الطحالب في تنقية المياه من المعادن الثقيلة، وذلك من خلال تحديد كفاءة طحلب ***Ulva lactuca*** في إزالة الكادميوم والزنك والنحاس كأمثلة للمعادن الثقيلة الملوثة للمياه.

2. الإطار النظري

مفهوم تلوث المياه:

يُعرف تلوث المياه بأنه أي تغيير في تركيبها الطبيعي يؤدي إلى انخفاض جودتها، مما يجعلها غير ملائمة للاستخدامات المختلفة مثل الشرب والري والصناعة. يمكن أن يكون هذا التلوث ناجمًا عن الملوثات الكيميائية مثل المعادن الثقيلة والمبيدات الحشرية، أو الملوثات البيولوجية مثل البكتيريا والفيروسات، أو حتى التغيرات الفيزيائية مثل ارتفاع درجة الحرارة نتيجة المخلفات الصناعية. (**Chapman, 1966, pp. 1–25**)

تلوث المياه وآثاره على البيئة وصحة الإنسان:

يُعتبر تلوث المياه من أبرز القضايا البيئية التي تؤثر سلبًا على صحة الإنسان والنظم البيئية. يحدث هذا التلوث عندما تتغير الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية أو البيولوجية للمياه، مما يجعلها غير آمنة للاستهلاك أو غير صالحة لدعم الحياة المائية. تنتج هذه الظاهرة عن مصادر طبيعية أو أنشطة بشرية مثل التصريف الصناعي والزراعي، مما يؤدي إلى أضرار بيئية وصحية واسعة النطاق. (**Chapman, 1966, pp. 1–25**)

آثار تلوث المياه على البيئة والصحة:

1. التأثيرات البيئية:

يؤثر تلوث المياه بشكل مباشر على الأنظمة البيئية، حيث يؤدي إلى اختلال التوازن البيولوجي ويؤثر على الكائنات الحية المائية. على سبيل المثال، يؤدي التلوث بالمغذيات الزائدة، مثل النيتروجين والفوسفور، إلى ظاهرة تعرف بـ **Eutrophication**، التي تقلل مستويات الأكسجين في الماء، مما يؤدي إلى نفوق الأسماك والكائنات البحرية الأخرى. (**Smith *et al*, 1999, pp 180–181**)

2. التأثيرات الصحية:

يشكل تلوث المياه تهديدًا كبيرًا لصحة الإنسان، حيث يتسبب في انتشار الأمراض المنقولة عبر المياه، مثل الكوليرا والتيفوئيد والتهاب الكبد الفيروسي. كما أن التعرض المستمر للمواد الكيميائية السامة، مثل الرصاص والزئبق، يمكن أن يؤدي إلى مشكلات صحية مزمنة، بما في ذلك أمراض الكلى، واضطرابات الجهاز العصبي، وزيادة خطر الإصابة بالسرطان. (**Fewtrell & Bartram, 2001, pp. 1–16**)

مصادر تلوث المياه:

يُعَدّ تلوث المياه من أخطر المشكلات البيئية التي تؤثر على صحة الإنسان والحياة المائية، وتتنوع أسبابه ما بين المصادر الطبيعية، والأنشطة الصناعية، والتلوث بالمعادن الثقيلة. وهى:

1. **المصادر الطبيعية لتلوث المياه:**

يمكن أن تنشأ بعض أشكال تلوث المياه بشكل طبيعي دون تدخل بشري، حيث تلعب الظواهر الجيولوجية والبيئية دورًا في إدخال الملوثات إلى المسطحات المائية. على سبيل المثال، تتسبب الانفجارات البركانية في إطلاق كميات كبيرة من الكبريت والمعادن الثقيلة التي تنجرف إلى الأنهار والبحيرات. كما تساهم التربة والصخور الغنية بالفوسفات في ارتفاع مستويات هذا العنصر في المياه، مما يؤدي إلى اضطراب التوازن البيئي.(**Elumalai *et al.*, 2020, p. 3**)

2. **التلوث الصناعي للمياه:**

تُعَدُّ الأنشطة الصناعية أحد الأسباب الرئيسية لتلوث المياه، حيث تتسبب العديد من المصانع في تصريف مخلفاتها السائلة مباشرة إلى المسطحات المائية دون معالجة كافية. تشمل هذه الصناعات إنتاج الورق، والمدابغ، والمصانع الكيميائية، إضافةً إلى محطات الطاقة النووية، والتي تفرز ملوثات عضوية وغير عضوية تؤثر سلبًا على جودة المياه والكائنات الحية التي تعيش فيها. (**Rathi *et al.*, 2021, p. 246**)

3. **التلوث بالمعادن الثقيلة:**

يشكل تسرب المعادن الثقيلة مثل الرصاص، والزئبق، والكادميوم إلى مصادر المياه تهديدًا خطيرًا للنظم البيئية وصحة الإنسان. تدخل هذه العناصر السامة إلى المياه بسبب الأنشطة الصناعية، والتعدين، واستخدام المبيدات الحشرية وبمرور الوقت، تتراكم هذه المعادن داخل أجسام الكائنات الحية، مما يؤدي إلى مشكلات صحية خطيرة عند انتقالها عبر السلسلة الغذائية. (**Zhang *et al.*, 2022, pp. 2–4**)

تلوث المياه بالمعادن الثقيلة كمشكلة بيئية رئيسية:

يُعتبر تلوث المياه بالمعادن الثقيلة من أخطر التحديات البيئية التي تؤثر على صحة الإنسان وتوازن النظم البيئية. وتنتج هذه المشكلة عن تراكم المعادن السامة في المسطحات المائية نتيجة للأنشطة البشرية والتغيرات الطبيعية، مما يؤدي إلى تأثيرات سلبية طويلة المدى على الكائنات الحية والبيئة (**Jaishankar *et al.*, 2014, p. 65**)

1. **تعريف المعادن الثقيلة:**

المعادن الثقيلة هي عناصر كيميائية ذات كثافة عالية وسُمّيّة واضحة، حتى عند وجودها بتراكيز منخفضة في البيئة. وتمتلك القدرة على التراكم داخل الأنسجة الحية، مما يجعلها خطرة عند دخولها إلى سلاسل الغذاء. وتشمل بعض المعادن الثقيلة الشائعة: الرصاص، الزئبق، الكادميوم، الزرنيخ، النحاس، والزنك، والتي تُعد مصادر رئيسية للتلوث المائي. (**Tchounwou *et al.*, 2012, p. 152**)

2. **المعادن الثقيلة الشائعة واستخداماتها وتأثيراتها الصحية:**

- **الرصاص (Lead)**: يُستخدم في تصنيع البطاريات، الطلاء، المواد البترولية، وأنابيب المياه. يُؤدي إلى تسمم الجهاز العصبي، مشكلات في التعلم والذاكرة لدى الأطفال، وارتفاع ضغط الدم وأمراض الكلى لدى البالغين. (**Flora *et al.*, 2012, p. 119**)
- **الزئبق (Mercury)**: يدخل في صناعة المعدات الكهربائية، التعدين، المصابيح الفلورية، وبعض المستحضرات الطبية. يسبب اضطرابات عصبية خطيرة، ضعف الإدراك، واضطرابات في الحركة والتنفس (**Zahir, *et al.*, 2005, p. 164**)
- **الكادميوم (Cadmium)**: يُستخدم في البطاريات والطلاء والبلاستيك. يؤدي إلى هشاشة العظام، وأمراض الكلى، وتأثيرات سلبية على الجهاز التنفسي (**Godt *et al.*, 2006, p. 25**)
- **الزرنيخ (Arsenic)**: يُستخدم في المبيدات الحشرية والمواد الحافظة للأخشاب. يرتبط التعرض المزمن له بسرطان الجلد والرئة ومشاكل الجهاز الهضمي والقلب.(**Naujokas *et al.*, 2013, p. 298**)
- **النحاس (Copper)**: يدخل في الأنابيب والأسلاك والمبيدات الفطرية. يمكن أن يؤدي إلى مشاكل في الكبد والكلى والجهاز الهضمي. (**Gaetke *et al.*, 2003, p. 155**)
- **الزنك (Zinc)**: يُستخدم في الطلاء والسبائك والأسمدة. قد يسبب التعرض المفرط له اضطرابات في الجهاز الهضمي والمناعة والهرمونات. (**Plum *et al.*, 2010, p. 1343**)

3. **مصادر العناصر الثقيلة في المياه:**

تتعدد المصادر التي تؤدي إلى تلوث المياه بالمعادن الثقيلة، ويمكن تصنيفها إلى ثلاثة أنواع رئيسية: **الصناعية** مثل مخلفات التعدين والبطاريات، **الزراعية** كمبيدات وأسمدة تحتوي معادن، **والطبيعية** مثل تجوية الصخور والبراكين. (**Jaishankar *et al.*, 2014, p. 66**)

4. **أخطار المعادن الثقيلة على البيئة وصحة الإنسان:**

تتسبب هذه المعادن في تلويث المياه العذبة، وانخفاض جودة المياه، وفقدان التنوع البيولوجي، وتراكم السموم في الكائنات الحية. كما تؤثر على صحة الإنسان بالتسمم العصبي والفشل الكلوي وأمراض القلب واضطرابات الهضم، بالإضافة إلى تسببها في بعض أنواع السرطان. (**Järup, 2003, p. 175**)

طرق وتقنيات إزالة المعادن الثقيلة من المياه:

تعد إزالة المعادن الثقيلة من المياه أمرًا ضروريًا للحفاظ على صحة الإنسان والتوازن البيئي، نظرًا لما تسببه هذه العناصر من تأثيرات سلبية تشمل التسمم البيولوجي وتراكمها في السلسلة الغذائية. هناك العديد من الأساليب المستخدمة لتنقية المياه من المعادن الثقيلة، والتي يمكن تصنيفها إلى تقنيات فيزيائية، كيميائية، وحيوية. (**Barakat, 2011, p. 368**)

1. **الترسيب الكيميائي:**

تعتمد هذه الطريقة على إضافة مركبات كيميائية، مثل الجير أو كبريتيد الصوديوم، إلى المياه، مما يؤدي إلى تفاعلها مع المعادن الثقيلة وتكوين مركبات غير

قابلة للذوبان تترسب في قاع الخزانات، ما يسهل فصلها عن المياه. (**Edzwald, 2011, p. 49**)

2. **التبادل الأيوني:**

في هذه التقنية، تُستخدم راتنجات خاصة تستبدل أيونات المعادن الثقيلة بأيونات أخرى غير ضارة، مما يؤدي إلى تقليل تركيز هذه المعادن في المياه وجعلها أكثر أمانًا للاستخدام. (**Barakat, 2011, p. 368**)

3. **التناضح العكسي:**

تعتمد هذه الطريقة على تمرير المياه تحت ضغط مرتفع عبر أغشية شبه نفاذة، ما يسمح بفصل المعادن الثقيلة والملوثات الأخرى، مما يجعلها من أكثر التقنيات كفاءة رغم تكلفتها العالية. (**Babel, 2003, p. 231**)

4. **التحليل الكهربائي:**

تُستخدم الكهرباء لإزالة المعادن الثقيلة من خلال ترسيبها على أقطاب كهربائية، مما يسهل فصلها من المياه، وتُستخدم هذه الطريقة غالبًا في معالجة المياه الصناعية. (**Halder, 2014, p. 827**)

الطرق البيولوجية (المعالجة الحيوية):

تعتمد هذه الطرق على استخدام الكائنات الحية لإزالة المعادن الثقيلة بطرق طبيعية ومستدامة، ومن أبرزها:

1. **الطحالب:** تمتلك بعض أنواع الطحالب، مثل الكلوريلا، الإسبيرولينا، والأولفا، قدرة على امتصاص المعادن الثقيلة من المياه عبر جدران خلاياها، مما يجعلها خيارًا فعالًا لمعالجة المياه الملوثة. يتميز طحلب الأولفا، المعروف أيضًا بالطحلب الأخضر البحري، بقدرته العالية على امتصاص المعادن الثقيلة، خاصة الرصاص والكادميوم، مما يجعله مفيدًا في أنظمة المعالجة الحيوية. (**Iatrou *et al.*, 2017, p. 117**)
2. **استخدام البكتيريا:** تعمل بعض البكتيريا على تحويل المعادن الثقيلة إلى مركبات أقل سمية، أو تساهم في ترسيبها داخل الخلايا، مما يقلل من تركيزها في المياه. (**Iatrou *et al.*, 2017, p. 117**)
3. **استخدام الفطريات:** أظهرت الدراسات أن بعض الفطريات قادرة على امتصاص المعادن الثقيلة بفضل تركيبها الخلوي الذي يسمح بتراكم هذه العناصر داخل أنسجتها. (**Iatrou *et al.*, 2017, p. 118**)
4. **المعالجة النباتية:** تعتمد هذه التقنية على استخدام نباتات معينة، مثل عباد الشمس والصفصاف، التي تمتلك قدرة على امتصاص المعادن الثقيلة من المياه والتربة، مما يسهم في تقليل تلوث البيئة. (**Iatrou *et al.*, 2017, p. 118**)

تُعد الطرق البيولوجية خيارًا مستدامًا لإزالة المعادن الثقيلة، حيث توفر حلولًا منخفضة التكلفة وصديقة للبيئة مقارنة بالأساليب الكيميائية التقليدية. (**Iatrou *et al.*, 2017. p. 116**)

سوف يتم تناول التقنية الحيوية باستخدام الطحالب بشيء من التفصيل كما يلي:

التقنية الحيوية باستخدام الطحالب:

تُعتبر الطحالب الخضراء البحرية من أكثر الكائنات الواعدة في إزالة المعادن الثقيلة من المحاليل المائية، نظرًا لمساحة سطحها الكبيرة وسرعة امتصاصها للمعادن. (**Pavasant *et al.*, 2006, p. 2321**)

تتميز هذه الطحالب بتكلفتها المنخفضة واحتياجاتها الغذائية البسيطة كما انها لا تنتج مواد سامة مما يجعلها خيارا صديقا للبيئة (**Freire-Nordi *et al.*, 2005, pp. 2215-2216**) وتمتلك قدرة معدنية عالية وهي متوفرة للغاية في البيئة الطبيعية وتتكيف مع مدى واسع من البيئات مثل المياه العذبة ومياه البحر والنفايات المنزلية والصناعية والمستنقعات المالحة والأراضي الرطبة. (**Wang *et al.*, 2002, p. 20**)

الطحالب لها قدرة بارزة على امتصاص وتراكم المعادن الثقيلة من البيئة المحيطة بها. وقدرتها الفائقة على حجز ايونات المعادن المختلفة مثل النحاس والكادميوم والنيكل والكروم والذهب موثقة جدا. واستخدام الخلايا الحية هو الاكثر فعالية لإزالة ايونات المعادن الثقيلة من المسطحات المائية الكبيرة المحتوية على تراكيز منخفضه من المعادن (جزء في البليون ppb) والكتلة الحيوية للطحالب استخدمت بنجاح كمواد امتصاص. تم إنتاج الكتلة الحيوية للطحالب التجارية (AlgaSORB1) بناءً على الأبحاث الأساسية والتطبيقية (**Darnall *et al.*, 1986, p. 4**)

تعتبر الطحالب من المنتجات الأولية الأساسية التي تعتمد عليها معظم الكائنات الحية في الحصول على غذائها، حيث تشكل الطحالب الحلقة الأولى في السلسلة الغذائية. ومن خلال عملية البناء الضوئي، تساهم الطحالب بشكل كبير في إنتاج الأكسجين في البيئة التي تنمو فيها، مما يوفر الأكسجين الضروري لتنفس الكائنات الحية الأخرى. (**Robert, 2008, p. 195**)

تم التوجه العالمي في السنوات الاخيرة للمنتجات الطبيعية وقابليتها على معالجة مياه الصرف الصحي والمياه الملوثة بالعناصر المعدنية الثقيلة بالإضافة الى فائدتها كمنتجات للطاقة. (**Greenwell *et al.*, 2010, p. 720**) تلعب الطحالب دورًا كبيرًا في الحد من التلوث البيئي بفضل قدرتها في عملية المعالجة الحيوية **Bioremediation** (**Becker, 1983, p. 461**) وذلك بسبب قدرتها على اخذ وتراكم العديد من العناصر المعدنية الثقيلة المتواجدة في البيئة المائية وتحميها داخل خلاياها وتعتمد الكميات المتراكمة منها على نوع الطحلب والحالة الفسيولوجية لها وآلية المقاومة ونوع العنصر وتركيزه وتركيز وجود أو عدم وجود عناصر اخرى في وسط النمو. (**الفرحان،2010، ص 247**)

نظرا لأهمية دور الطحالب، يمكن استعمالها في المعالجة الحيوية ومعالجة مياه الصرف الصحي ومياه المخلفات ويمكن اعتبار الطحالب مرشحا حيويا مهما

لإعادة تدوير المخلفات بجميع أنواعها. (**Sivakumar *et al.*, 2010, p. 16**)

وعلى الرغم من ان المعادن الثقيلة تكون ضرورية للأنظمة الانزيمية في الكائنات الحية وتكون الحاجة لها بكميات ضئيلة جدا ضمن التركيب الكيميائي لبعض اجزاء الخلية مثل عنصر النحاس الذي يدخل في تركيب الكثير من الانزيمات (**عباس، 2004، ص 218**) ، الا ان زيادة تركيز هذه العناصر عن حاجة الطحالب فإنها تسبب تثبيط النمو وخفض معدل عملية البناء الضوئي وتزيد اطالة طور السكون وتعمل على زيادة حجم الخلية. (**محمد وآخرون، 2002، ص 115**) لذلك تعد التقنية الحيوية باستخدام الطحالب تقنية بيئية مبتكرة تهدف الى ازالة الملوثات من المياه بما في ذلك المعادن الثقيلة والمغذيات الزائدة والبكتيريا الضارة. (**كاظم، 2017، ص 18**)

الخصائص التي تجعل الطحالب مناسبة لتنقية المياه:

تتميز الطحالب بقدرتها الكبيرة على إدمصاص الكثير من العناصر المعدنية الثقيلة من البيئة المائية وتراكمها داخل الخلايا بتركيزات تبلغ عدة اضعاف نتيجة للعديد من الآليات التي تمكنها من مراكمة العناصر المعدنية الثقيلة. (**عبد الجبار،2008، ص 15**)

اذ تستطيع الطحالب امتصاص العناصر المعدنية الثقيلة بطريقتين رئيسيتين الأولى هي الامتصاص السريع بسبب الامتصاص السطحي على الخلايا، والثانية هي الامتصاص البطيء بسبب نقل المعدن عبر الغشاء إلى داخل الخلايا. (**Ting *et al.*, 1991, p. 452**)

ولبعض انواع الطحالب القدرة المتميزة على مراكمة كميات كبيرة من العناصر المعدنية الثقيلة على الرغم من وجودها بتركيزات منخفضة في الوسط الذي تعيش فيه (**Torres *et al.*, 1988, p. 215**) ربما يكون هذا التراكم للعناصر منتخب من قبل الطحالب. (**عباس وآخرون، 2012، ص 165**)

آليات تخلص الطحالب من المعادن الثقيلة:

تمتلك الطحالب عدة آليات للتخلص من المعادن الثقيلة من المياه وتشمل:

1. **الامتصاص الحيوي (Biosorption):**

مفهوم الامتصاص الحيوي: يشير هذا المصطلح الى قدرة الكائنات الحية مثل البكتيريا أو الطحالب على امتصاص أو ازالة الملوثات خاصة المعادن الثقيلة من البيئات المائية أو التربة. (**شويرب، 2020، ص 40**)

تعتمد هذه الالية على قدرة جدران خلايا الطحالب على امتصاص المعادن الثقيلة مثل الرصاص الكادميوم الزنك النحاس. وترتبط المعادن بمكونات الجدار الخلوي مثل السليلوز والبروتينات والسكريات المتعددة التي تحتوي على مجموعات وظيفية مثل الكربوكسيل والهيدروكسيل. (**الأسدي، 2014، ص 18**)

تعتمد آلية ارتباط المعادن بهذه الطحالب بشكل رئيسي على الامتزاز الفيزيائي والامتزاز الكيميائي حيث تتفاعل المجموعات الوظيفية المختلفة الموجودة في السكريات والبروتينات والدهون بجدار الخلية من خلال رابطة تساهمية مع المعادن. (**Kizilkaya *et al.*, 2012, p. 1055**)

افادت الدراسات المتعددة بأن الكتلة الحيوية للطحالب تحتوي على مجموعات وظيفية متنوعة مثل الأمينو، الكربوكسيل، الثايول التي تعمل كمواقع فعالة للامتزاج. (**Tuzun *et al.*, 2005, p. 90**)

يمكن استخدام الكتلة الحيوية الميتة للطحالب الخضراء مثل طحلب ***Ulva lactuca*** كمواد طبيعية منخفضه التكلفة وفعالة لإزالة ايونات الكادميوم من المياه. (**Ghouneim *et al*. ,2014,p. 237**)

يعد الامتزاز الحيوي تقنية حديثة تعتمد على استخدام الكتل الحيوية سواء كانت حيه أو ميتة لإزالة المعادن السامة من المحاليل المائية وقد تم استخدام انواع مختلفة من الكائنات الحية مثل البكتيريا والخميرة والفطريات والطحالب حيث تتميز الطحالب البحرية بقدرتها العالية. (**Vieira & Volesky, 2000, p. 18; Volesky, 1992, p 462**)

تقوم عمليات الامتزاز الحيوي لأيونات المعادن الثقيلة على الارتباط بالمعادن وذلك لاحتواء جدران خلاياها على مركبات مثل السكريات المتعددة والبروتينات والدهون مما يعزز من كفاءتها في الامتزاز الحيوي. (**Davis *et al.*, 2003, p. 5**)

تتم عملية الامتزاز الحيوي اساسا من خلال الامتزاز الفيزيائي الذي يشمل قوة الجذب الكهروستاتيكي وقوى فان دير فالز أو الامتزاز الكيميائي الذي يتم عبر الروابط التساهمية بين الشحنات السالبة الموجودة على سطح الخلايا والايونات الموجبة. (**Vijayaraghavan & Yun. , 2008, p. 268**) وتتميز هذه التفاعلات بسرعتها وامكانية عكسها. (**Darnall *et al*.1986, p. 6**)

نسبة قدرة الامتصاص الحيوي بشكل رئيسي ترجع إلى خصائص جدار الخلية، نسبة الاختلافات في الامتصاص الحيوي للزنك والكادميوم والنحاس والرصاص ترجع إلى السكريات العديدة الموجودة في جدران خلايا الطحالب، ربما لأن هذه المركبات العضوية قد تكون لها تفضيلات مختلفة لكل معدن". (**Areco *et al.*, 2010 ,p. 625**).

تحدث هذه الآلية بسرعة وتعتمد على التفاعلات الفيزيائية والكيميائية بين المعادن الثقيلة والطحالب، تشمل هذه العملية:

- **الامتزاز السطحي (Adsorption)**: المعادن الثقيلة ترتبط بالمجموعات الفعالة على سطح الطحالب مثل: مجموعة الكربوكسيل ($-COOH$)، مجموعة الهيدروكسيل ($-OH$)، مجموعة الامين ($-NH2$)، مجموعة السلفهيدريل ($-SH$).
- **تبادل الايونات (Ion Exchange)**: الايونات الموجودة في جدران خلايا الطحالب مثل الكالسيوم (Ca^{+2}) والبوتاسيوم (K^{+}) يتم استبدالها بأيونات المعادن الثقيلة مثل الرصاص (Pb^{+2}) أو الكادميوم (Cd^{+2}).

- **تقييد الخلايا (Immbolization)**: تم تنقية مياه الصرف من المغذيات الرئيسية والمعادن الثقيلة باستخدام تقنية تقييد خلايا الطحالب الدقيقة. (**السعودي، 1998، ص 45**)

2. **الامتصاص النشط (Bioaccumulation)**:

في هذه العملية تقوم الطحالب بامتصاص المعادن الثقيلة من البيئة المحيطة ونقلها الى داخل الخلية ويتم ذلك عبر قنوات البروتين في غشاء الخلية حيث تخزن المعادن في الفجوات العصارية أو تحول الى اشكال غير سامة. (**أل خير الله، 2008، ص 5**)

3. **الترسيب الحيوي (Bioprecipitation)**:

بعض الطحالب تقوم بتحويل المعادن الثقيلة الى اشكال غير قابلة للذوبان عبر التفاعل مع المركبات الأيضية التي تنتجها مثل تكوين كبريتيد المعادن أو اكسيد المعادن وهذه العملية تقلل من سمية المعادن في البيئة المائية. (**Abatneh *et al.*, 2014, p. 49**)

4. **التحويل الحيوي (Biotransformation)**:

بعض الطحالب قادرة على تحويل المعادن الثقيلة الى اشكال اقل سمية من خلال عمليات الايض الحيوي مثل الاختزال والأكسدة مثال على ذلك تحويل الزئبق السام (Hg^{+2}) الى زئبق عضوي اقل سمية. (**Ahmed *et al.*, 2013, p. 6696**)

5. **انتاج المركبات الرابطة للمعادن (Chelation)**:

تقوم بعد الطحالب بإنتاج مركبات عضوية مثل الفيتوكيلاتينات (**phytochelatins**) والميتالوثيونينات (**Metallothioneins**) التي ترتبط بالمعادن الثقيلة وتقلل من تأثيرها السام داخل الخلايا. (**Bamgbose *et al.*, 2010, p. 2563**)

بعض الطحالب تقوم بتحويل المعادن الثقيلة الى اشكال غير قابلة للذوبان عبر التفاعل مع المركبات الأيضية التي تنتجها مثل تكوين كبريتيد المعادن أو اكسيد المعادن وهذه العملية تقلل من سمية المعادن في البيئة المائية. (**Abatneh *et al.*, 2014, p. 50**)

إذا كانت الطحالب حية، فإنها تستطيع نقل المعادن الثقيلة إلى داخل خلاياها من خلال:

- (**Active Transport**): يتم إدخال المعادن الثقيلة إلى داخل الخلية عبر بروتينات نقل خاصة في الغشاء الخلوي.
- (**Vacuolar Sequestration**): بعد دخول المعادن الثقيلة، يتم عزلها داخل فجوات خلوية لمنع تأثيرها السام على العمليات الحيوية للطحالب.
- (**Biological Chelation**): بعض البروتينات مثل الميتالوثيونين (**Metallothionein**) ترتبط بالمعادن الثقيلة وتمنع سُميّتها.
- (**Biotransformation**): بعض الطحالب قادرة على تحويل المعادن الثقيلة إلى أشكال أقل سمية، مثل تحويل الكروم السداسي التكافؤ (Cr^{+6}) إلى الكروم الثلاثي (Cr^{+3}). (**شويرب، 2020، ص 15**)

تم تقييم قدرة الامتصاص لأربعة انواع مختلفة من الكائنات البحرية المجففة مثل: ***Ulva Lactuca***, ***Jania rubens***, ***Pterocladia capillacea***, ***Colpomenia sinosa*** لإزالة ثلاث ايونات معدنية مختلفة هم: Pb^{+2}, Cd^{+2}, Ni^{+2} من عينة مياه ملوثة بهذه المعادن. (**Sanjeewa *et al.*, 2016, p. 101**)

يختلف تأثير ايونات العناصر المعدنية الثقيلة من نوع لأخر تبعا لاختلاف تركيب جدار الخلية ومواقع تبادل الايونات الموجبة والسالبة في جدار الخلية والغشاء الخلوي للطحالب. (**Delanoue *et al.*, 1998, p. 60**)

عموما عملية الادمصاص الحيوي للمعادن الثقيلة بواسطة الطحالب تشمل مرحلتين:

- **المرحلة الأولى هي الادمصاص (Adsorption)** خارج الخلايا بواسطة المواد المرتبطة بالخلايا مثل السكريات المتعددة (Polysaccharides) والصمغ (Mucilage)، ومكونات جدار الخلية مثل مجموعة (Carboxy and hydroxyl group) والكبريت (sulfate). هذه الطريقة غير ايضية وتعتبر عملية سريعة وتحدث في كلا من الخلايا الحية والغير حية، وهي تعتمد على العديد من العوامل: الرقم الهيدروجيني، انواع المعادن الثقيلة، نوع الطحلب، وتركيز الكتلة الحيوية.
- **المرحلة الثانية هي الامتصاص** (Absorption) والتراكم (**Accumulation**) داخل الخلايا. هذه عملية بطيئة تشمل النقل النشط عبر غشاء الخلية والربط مع البروتينات وغيرها من المواقع داخل الخلية. وهي آلية تعتمد على الايض والتي يتم تثبيطها عن طريق درجات الحرارة المنخفضة، عدم وجود مصدر للطاقة، موانع الايض، وهذه العملية تحدث في الخلايا الحية. فهم الآليات لمقاومة المعادن في مختلف الكائنات الحية يمكن ان توفر استراتيجيات لإزالة المعادن من البيئة. (**Murugesan *et al.*, 2008, p. 308; Darnall *et* al., 1986, p. 7**)
- **العوامل المؤثرة على كفاءة وامتصاص الطحالب للمعادن الثقيلة:**

1. **نوع الطحالب:** تختلف قدرة الامتصاص بين الانواع المختلفة فالطحالب البنية مثل: ***Sargassum*** وطحلب خس البحر الاخضر ***Ulva*** هما الأكثر كفاءة.
2. **درجة الحموضة (pH)**: الوسط الحمضي يقلل من الامتزاز، بينما الوسط القلوي يعزز من قدرة الطحالب على امتصاص العناصر المعدنية الثقيلة.

3. **درجة الحرارة:** تؤثر على النشاط الايضي للطحالب وبالتالي على كفاءة الامتصاص الحيوي.
4. **تركيز المعدن الثقيل:** عند زيادة تركيز المعدن الثقيل قد تتشبع المواقع النشطة على سطح الطحالب مما يقلل من الكفاءة.
5. **وجود مواد اخرى في الماء:** يمكن ان تتنافس المواد العضوية أو الايونات الاخرى مع المعادن الثقيلة على مواقع الامتصاص. **(لايقة وآخرون، 2016، ص 71؛ عذبي وآخرون، 2015 أ، ص 15)**

انواع الطحالب المستخدمة في تنقية المياه:

1. **الطحالب الدقيقة:**

حيث هناك العديد من الأمثلة: كما جاء في بحث سابق عن طحلب ***Chlorella vulgaris*** **&** ***Oscillatoria limosa*** (آل خير الله، 2008، ص 171؛ **El–sheekh *et al*., 2015, p. 405**) ومثل طحلب ***Spirulina platensis***. (**Soeprobowati and Hariyati, 2014,p. 171**)

وتم استخدام الطحالب في ازالة عنصر الكادميوم بواسطة خلاياه الحية والمقيدة لطحلب ***Spiulina platensis*** (**Murugesan *et al*., 2008, pp. 308–309**)، وايضا تم تقدير كفاءة الطحلبين ***Nostoc linkia*** و ***Oscillatoria* limosa** في ازالة بعض العناصر الثقيلة من المياه (**عبد الجبار ، 2008، ص 16**) وتم المقارنة وتقدير القدرة التراكمية للطحلب الاخضر ***Scenedesmus demorphu*** (**عباس وآخرون،2012، ص 12**)، ايضا مثل طحالب ***Hapalosiphon aureus*** و ***Anabaena variabilis*** في تقدير قابليتهم لتراكم العناصر الثقيلة (**البيضاني، 2009، ص 45**)، كذلك تم استخدام انواع عديدة للطحالب في المعالجة الحيوية لمياه محطات المعالجة الحيوية مثل ***Stigonema sp***. ،***Oscillatoria sp***. ،***Cladophora glomerata*** (**الاسدى، 2014، ص 18**) ، وهذه الطحالب تعد من اشهر الانواع التي تستخدم لمعالجة مياه الصرف الصحي ؛ فهي تساهم في ازالة المواد العضوية والنيتروجين والفسفور مما يحسن جوده المياه ويقلل من تلوثها. (**Christenson *et al*., 2011, p.1060**)،

2. **السيانوبكتيريا (الطحالب الخضراء المزرقة):**

تمتلك قدرة عالية على تثبيت النيتروجين وامتصاص بعض المعادن الثقيلة مما يجعلها خيارا فعالا في بعض انظمة المعالجة الحيوية. (**عذبي وآخرون، 2015 أ، ص 1؛ عذبي وآخرون، 2015 ب، ص 2؛ Abed – Raouf, 2012, p. 265؛ EL–Sheekh *et al*., 2021, p. 1245**)

3. **الطحالب البنية:**

لها امكانية كبيرة في تقليل نسب الملوثات المعدنية وتحسين جودة المياه المعالجة وتنقية مياه الصرف الصحي من المعادن الثقيلة. (**Schiewer & Volsky 2000, p. 332**)

يحتوي جدار الطحالب البنية على كميات كبيرة من السكريات الكبرى مثل Alginates و Fucoidans **بالإضافة إلى المجموعات الوظيفية الحمضية مثل:**

Acetoamido، hydroxyl، amino، carbonyl، amido ، and amino. (**Vieira & Volsky,2000, p. 19**)

يتم تفسير الآليات الاساسية لعملية الامتزاز بشكل أساسي من خلال الامتصاص الفيزيائي أو الامتصاص الكيميائي (**Vijayaraghavan & Yun, 2008,p. 269**)

4. **الطحالب الحمراء:**

تقليل ملوثات المياه وتحسين جودتها وذلك لقدرة الطحالب الحمراء على ازالة المعادن الثقيلة من مياه الصرف وتحسين جودة المياه. مثل الطحلب الاحمر ***Jania Rubens*** له القدرة على امتصاص العناصر المعدنية الثقيلة. (**Sanjeewa *et al*, 2016, p. 103**) وهذا الطحلب له القدرة على تخزين كربونات الكالسيوم في جداره. (**Duerden, 1981, p. 339**)

5. **الطحالب الخضراء الخيطية (Filamentous):**

الطحالب الخضراء الخيطية سجلت كفاءة في ازالة المواد العضوية من مياه الصرف واظهرت النتائج فعالية ملموسة في تقليل تركيز المواد العضوية وتحسين معايير المياه.

الدراسات السابقة:

الدراسة الأولى: دراسة اجرتها السعودي (1998، ص 45): حول "تنقية المياه العادمة من المغذيات الرئيسية والمعادن الثقيلة باستخدام تقانات الطحالب الدقيقة المثبتة ". هدفت الدراسة الى تحديد كفاءة الطحالب الدقيقة في إزالة المغذيات الرئيسة مثل: (النيتروجين والفوسفور) والمعادن الثقيلة مثل: (الرصاص والكادميوم) من المياه الملوثة وتم استخدام تقنيات عديدة من أمثلتها تقييد خلايا الطحالب لإزالة المغذيات الرئيسية والمعادن الثقيلة من المياه الملوثة. وتقييم امكانية تطبيق هذه التقنية كحل مستدام وصديق للبيئة في معالجة المياه الملوثة. اظهرت النتائج قدرة الطحالب الدقيقة المقيدة على ازالة نسبة كبيرة من المغذيات والمعادن الثقيلة من المياه الملوثة وتشير هذه النتائج الى فعالية هذه التقنية في تحسين جوده المياه وتقليل التأثيرات البيئية السلبية للملوثات. تعد هذه التقنية مبتكرة جدا في مجال معالجة المياه لأنها تعتمد على الاستفادة من الخصائص الحيوية للطحالب الدقيقة في امتصاص الملوثات.

الدراسة الثانية: دراسة اجراها Halder (2014, p. 826): حول" إزالة المعادن الثقيلة باستخدام الطحالب البحرية الخضراء المجففة *Ulva lactuca*": سلطت هذه الدراسة الضوء على فاعلية الطحالب الخضراء البحرية المجففة ***Ulva lactuca*** في إزالة عنصري الرصاص (Pb) والكادميوم (Cd) من المحاليل المائية. وسعت الدراسة إلى تقييم كفاءة ***Ulva lactuca*** كمادة ماصة حيوية لإزالة المعادن الثقيلة من المياه، من خلال دراسة تأثير عدة عوامل بيئية على عملية الامتزاز، مثل تركيز المعدن، ودرجة الحموضة (pH)، ومدة التعرض، وكمية المادة الطحلبية المستخدمة. وأظهرت النتائج أن كفاءة الامتزاز بواسطة ***Ulva lactuca*** تتأثر بوضوح بدرجة الحموضة، حيث سجلت أعلى كفاءة عند مستويات pH معتدلة، مما يعكس الدور الحيوي لشحنات السطح في عملية الامتزاز، كما تبين أن زيادة تركيز المعدن في المحلول تؤدي إلى زيادة مؤقتة في كفاءة الإزالة حتى الوصول إلى السعة القصوى للطحالب. وفيما يتعلق بالوقت، لوحظ أن الامتزاز كان سريعًا في المراحل الأولى، ثم تباطأ تدريجيًا مع اقتراب النظام من حالة الاتزان. من ناحية أخرى، أدى استخدام كميات أكبر من الطحالب إلى تحسين كفاءة الإزالة، إلا أن التأثير كان محدودًا بعد الوصول إلى مستوى معين من التشبع. ويستنتج من ذلك أن طحلب ***Ulva lactuca*** يمثل خيارًا منخفض التكلفة وصديقًا للبيئة لإزالة المعادن الثقيلة من المياه الملوثة، وهوما يفتح آفاقًا لاستخدامها على نطاق أوسع في أنظمة المعالجة البيئية، خاصةً في الدول النامية التي تعاني من ضعف تقنيات المعالجة الصناعية.

الدراسة الثالثة: دراسة اجراها *Ghoneim et al.* (2014, p. 242) :حول "إزالة الكاديوم من محلول مائي باستخدام الطحالب الخضراء البحرية، باستخدام طحلب *Ulva Lactuca* ". هدفت هذه الدراسة إلى تقييم كفاءة الطحلب الأخضر ***Ulva lactuca***، الذي تم جمعه من المنطقة بين المد والجزر في خليج السويس (البحر الأحمر)، في إزالة أيونات الكادميوم (Cd^{+2}) من المحاليل المائية. تم تحليل آليات الامتزاز الحيوي باستخدام تقنيتي مطياف الأشعة تحت الحمراء (**FT–IR**) والمجهر الإلكتروني الماسح (**SEM**). عند pH 5.5، كانت كمية صغيرة تبلغ 1 جم من ***Ulva lactuca*** كافية لإزالة 99. 2 % من محلول يحتوي على 10 ملجم/لتر من الكادميوم عند درجة حرارة 30C°. حيث أثبتت هذه الدراسة أن طحلب ***Ulva lactuca*** خيارًا واعدًا وفعالًا من حيث التكلفة وصديقًا للبيئة لإزالة الكادميوم من المياه الملوثة.

الدراسة الرابعة: دراسة اجراها الاسدى (2014، ص 18): "استعمال بعض انواع الطحالب والنباتات المائية في المعالجة الحيوية لمياه محطات المعالجة". تناولت هذه الدراسة استخدام بعض انواع الطحالب والنباتات المائية في تحسين جودة المياه العادمة من محطات المعالجة. هدفت الى تقييم بعض انواع الطحالب والنباتات المائية في ازالة الملوثات من مياه الصرف الصحي وذلك من خلال: دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه العادمة قبل وبعد المعالجة وتحليل المجتمع الهائمات النباتي في موقع الدراسة وتحديد قدره الطحالب والنباتات المائية على ازاله المغذيات مثل النيتريت والنترات والفوسفات وفحص امكانية هذه الكائنات في اختزال المعادن الثقيلة وتقييم تأثير عمليه التقييد (**Immobilization**) على كفاءة الطحالب في المعالجة الحيوية. حيث اظهرت فعالية بعض انواع الطحالب والنباتات المائية في تحسين جودة المياه الملوثة من خلال ازالة الملوثات والمغذيات مما يعزز من كفاءة محطات المعالجة البيئية.

الدراسة الخامسة: دراسة اجراها *Ibrahim et al.*, (2018, p. 425) حول " دراسة مقارنة للامتزاز الحيوي من المعادن الثقيلة من المياه العادمة الاصطناعية بواسطة أنواع مختلفة من الطحالب البحرية". هدفت الدراسة الى تقييم فعالية أربعة أنواع من الطحالب البحرية المجففة في إزالة الأيونات المعدنية الثقيلة السامة (Cd^{2} ،Pb^{2+}، وNi^{2}+) من مياه الصرف الصناعي. وكانت الأنواع الطحلبية المستخدمة: ***Jania rubens*** ،***Pterocladia capillacea*** ،***Ulva lactuca*** ،***Colpomenia sinosa*** حيث أظهرت النتائج أن طحلب ***Jania rubens*** (طحالب حمراء) أعلى كفاءة إزالة بنسبة 91%، يليه طحلب ***Colpomenia sinosa*** بنسبة 89%، بينما سجل طحلب ***Ulva lactuca*** أقل كفاءة بنسبة 85%. وكانت الظروف المثلى لعملية الامتزاز: الرقم الهيدروجيني (pH 5)، زمن التعرض: 60 دقيقة، وزن الطحالب: 20 جرام/لتر، تركيز الأيونات الابتدائي: 40 ملجم/لتر. أكدت الدراسة أن طحلب *Jania rubens* يمثل خياراً واعداً ومنخفض التكلفة وفعالاً كمادة ماصة حيوية لإزالة المعادن الثقيلة من مياه الصرف، مما يجعله تقنية محتملة لمعالجة التلوث البيئي.

الدراسة السادسة: دراسة اجراها شويرب (2020، ص ص35 –50): "استخدام الكتلة الحيوية للطحالب البحرية *Ulva lactuca* و *Corallina officinalis* في ازالة الرصاص والنحاس والكوبلت والزنك من المحاليل المائية ". تم استخدام الكتلة الحيوية الطازجة والجافة للطحالب المذكورة لدراسة قدرتها على ازاله المعادن الثقيلة من المحاليل المائية وشملت التجارب تحديد العوامل المثلى لعملية الامتصاص الحيوي مثل الرقم الهيدروجيني ومده التعرض للمعادن وكمية الكتلة الحيوية المضافة وكما تم استخدام المجهر الالكتروني لدراسة تأثير المعادن على التركيب الخلوي الدقيق للطحالب. هدفت هذه الدارسة الى تقييم كفاءة بعض انواع الطحالب البحرية تحديدا ***Ulva lactuca*** and ***Corallina officinalis*** في ازالة المعادن الثقيلة مثل الرصاص والنحاس والكوبلت والزنك من المياه الملوثة وتحديد كفاءة الطحالب في الامتصاص الحيوي للمعادن الثقيلة ودراسة العوامل المؤثرة على عملية الازالة ومقارنة تأثير الكتلة الحيوية الطازجة والجافة وتحليل تأثير تراكم المعادن الثقيلة على التركيب الخلوي للطحالب باستخدام المجهر الالكتروني وتقييم امكانية اعادة استخدام الطحالب في معالجة المياه الملوثة بشكل اقتصادي وبيئي مستدام والغاية نهائيا من الدراسة هي ايجاد طريقة فعالة وصديقة للبيئة لمعالجة المياه الملوثة بالمعادن الثقيلة باستخدام الطحالب. وتوصلت الدراسة إلى:

1. ترتيب إزالة المعادن: أظهر كلا الطحلبين قدرة أعلى على إزالة الرصاص، يليه النحاس، ثم الزنك، وأخيرًا الكوبلت.
2. تأثير المعادن على التركيب الخلوي: كشفت الدراسة أن المعادن الثقيلة أثرت على جدار الخلايا، البلاستيدات الخضراء، ومكونات الخلية الأخرى في الطحالب
3. الرقم الهيدروجيني الأمثل: للكتلة الحيوية الطازجة:7، للكتلة الحيوية الجافة: 5
4. مدة التعرض المثلى: للكتلة الحيوية الطازجة: 24 ساعة، للكتلة الحيوية الجافة: 60 دقيقة.
5. جرعة الكتلة الحيوية المثلى: 20 جم/لتر من الكتلة الجافة للطحالب كانت كافية لتحقيق أقصى كفاءة لإزالة المعادن الثقيلة
6. مقارنة بين الطحلبين: ***Corallina officinalis*** أظهر كفاءة أعلى في إزالة الرصاص، النحاس، والكوبلت. ***Ulva lactuca*** كان أكثر كفاءة في إزالة الزنك.
7. إعادة استخدام الكتلة الحيوية: يمكن استخدام الكتلة الحيوية للطحالب لامتصاص المعادن الثقيلة لعدة مرات قبل أن تنخفض كفاءتها بشكل ملحوظ.

الدراسة السابعة: دراسة مفصلة اجراها **يوسف (2024)**: حول " تقييم قدرة طحلب ***Ulva lactuca*** في إزالة عنصر الرصاص من المياه الملوثة".

وتهدف هذه الدراسة إلى:

1. تقييم كفاءة طحلب ***Ulva lactuca*** في إزالة عنصر الرصاص من المياه الملوثة باستخدام تقنيات المعالجة الحيوية.
2. تحديد العوامل المثلى التي تؤثر على كفاءة الطحلب في امتصاص الرصاص، مثل زمن التعرض، درجة الحرارة، والرقم الهيدروجيني.
3. دراسة تأثير تركيز الرصاص الأولي على معدل الامتصاص الحيوي للطحلب.
4. تحليل إمكانية استخدام الطحلب كوسيلة اقتصادية وصديقة للبيئة لمعالجة المياه الملوثة بشكل فعال ومستدام.

وقد توصلت الى بعض النتائج:

1. **كفاءة الامتصاص**: أظهر طحلب ***Ulva lactuca*** قدرة كبيرة على امتصاص وتراكم الرصاص من المحاليل المائية، خاصة عند تركيزات منخفضة (أقل من 5 ملجم/لتر)، حيث وصلت نسبة الإزالة إلى 89% في بعض التجارب.
2. **تأثير الرقم الهيدروجيني**: أظهرت النتائج أن الكفاءة القصوى للإزالة كانت عند درجة حموضة متعادلة (pH 7). عند قيم pH منخفضة أو عالية، انخفضت الكفاءة بشكل ملحوظ.
3. **تأثير الزمن**: لوحظ أن أفضل فترة زمنية للإزالة كانت بين 24 إلى 48 ساعة. بعد هذه الفترة، بدأت الكفاءة في الانخفاض نتيجة التشبع الحيوي للطحلب.
4. **تأثير درجة الحرارة**: ارتفاع درجات الحرارة أدى إلى تحسين كفاءة الإزالة بشكل طفيف حتى 30C°، وعند درجات حرارة أعلى (35C° <) انخفضت الكفاءة.
5. **تأثير التركيز الأولي للرصاص**: كلما زاد تركيز الرصاص في المحلول، انخفضت كفاءة الامتصاص النسبي للطحالب، مما يشير إلى تأثير التشبع الحيوي.
6. تحليل شامل: بناءً على هذه النتائج، يُوصى باستخدام طحلب ***Ulva lactuca*** كوسيلة فعالة وصديقة للبيئة في إزالة الرصاص من المياه الملوثة، خاصة في التطبيقات التي تتضمن تركيزات منخفضة إلى متوسطة من المعادن الثقيلة.

الدراسة الثامنة: دراسة اجراها حسين (2024، ص ص 50 – 58): حول "المعالجة الحيوية لبعض العناصر المعدنية الثقيلة باستعمال بعض الطحالب الدقيقة". تهدف هذه الدراسة إلى تقييم قدرة الطحالب الخضراء الدقيقة مثل ***Chlorella vulgaris*** و***Scenedesmus obliquus*** على إزالة المعادن الثقيلة من المياه الملوثة. تم إجراء التجارب عن طريق زراعة هذه الطحالب في محاليل مائية تحتوي على تركيزات معلومة من المعادن الثقيلة مثل الرصاص والكادميوم. ثم تم تعريض الطحالب لهذه المحاليل تحت ظروف محكمة تضمنت التحكم في درجة الحرارة ودرجة الحموضة ومدة التعرض. تم قياس تركيزات المعادن المتبقية باستخدام أجهزة متخصصة لتحديد مدى كفاءة الإزالة. وتهدف الدراسة بشكل رئيسي إلى اختبار فاعلية الطحالب الخضراء الدقيقة في إزالة المعادن الثقيلة واستكشاف إمكانية استخدامها كحلول بيئية بديلة صديقة للبيئة لمعالجة المياه الملوثة. حيث تضمنت:

1. دراسة قدرة الطحالب الخضراء الدقيقة على امتصاص وتراكم المعادن الثقيلة من المياه الملوثة بشكل فعال.
2. تحديد الظروف البيئية المثلى مثل درجة الحموضة، درجة الحرارة، ومدة التعرض، التي تؤثر على كفاءة إزالة المعادن الثقيلة باستخدام الطحالب.
3. التحقق من إمكانية استخدام الطحالب الخضراء الدقيقة كوسيلة مستدامة واقتصادية لمعالجة المياه الملوثة بالمعادن الثقيلة.

وكانت النتائج كما يلي:

1. أثبتت الدراسة أن الطحالب الخضراء الدقيقة التي تم اختبارها أظهرت قدرة كبيرة على إزالة المعادن الثقيلة من المحاليل المائية، حيث بلغت نسبة الإزالة بين 70% و90% اعتمادًا على نوع الطحلب ونوع المعدن الثقيل المستخدم.
2. أظهرت النتائج أن كفاءة الإزالة تتأثر بعوامل مختلفة مثل درجة الحموضة ودرجة الحرارة، وكانت أعلى كفاءة للإزالة عند درجة حموضة متعادلة (pH = 7) ودرجة حرارة تتراوح بين 25 و30 درجة مئوية.

3. وُجد أن فترة التعرض المثلى لتحقيق أعلى نسبة إزالة كانت تتراوح بين 24 إلى 48 ساعة، مما يشير إلى أهمية تحديد المدة المناسبة لكل نوع من الطحالب والمعادن الثقيلة المستهدفة.
4. أو ضحت الدراسة إمكانية استخدام الطحالب الخضراء الدقيقة كطريقة طبيعية وفعالة لمعالجة المياه الملوثة بالمعادن الثقيلة، مما يعزز الحاجة إلى مزيد من الدراسات لتطبيق هذه التقنية بشكل عملي وعلى نطاق واسع.

نبذة مختصرة عن طحلب *Ulva lactuca*:

Division: Chlorophyta
Class: Ulvophyceae
Order: Ulvales
Family: Ulvaceae
Genus: ***Ulva***
Species: ***lactuca***

Ulva lactuca هو طحلب كبير يتنمى الى قسم chlorophyta كما وصفها لينيوس في بحر البلطيق في القرن السابع عشر. (**Wichard *et al.*, 2015, p. 72**)

تنمو هذه الطحالب ملتصقة أو ساكنة أو عائمة بحرية، نادرا ما تلاحظ في الطحالب الكبيرة قدرة على التكاثر بطريقتين، احداهما جنسية والأخرى خضرياً من خلال تفتيت الثالوث. (**Chevassus-au-Louis *et al.*, 2012, p. 5**) ***Ulva lactuca*** هو نوع متعدد الأشكال، حيث تعتمد اشكاله على درجة الملوحة. (**Raybak *et al.*, 2018, p. 235**)

طحلب ***Ulva lactuca*** يعرف باسم خس البحر وهو عبارة عن نصل رقيق جدا يتكون من طبقتين من الخلايا كروية الشكل وشفافة تذكرنا في ملمسها بالخس. (**Dominguez *et al.*, 2019, p. 357**)

يصل عرض الثالوث المسطح والمتكامل الى 10 سم

شكل (1): (a) ***Ulva lactuca*** before drying
(b) Powder of dried ***Ulva lactuca***

خلايا النصل مستطيلة الشكل ومتجاورة، وطولها يتراوح بين ٢٠ و٢٣ ميكرومتر وارتفاعها بين ٢٠ و٢١ ميكرومتر، وتحتوي على بلاستيدة خضراء جدارية الشكل. وهذا الطحلب متواجد على طول السواحل حول العالم. (**Bonanno *et al.*, 2020, p. 699; Mantri *et al.*, 2020, p. 1; Peter *et al.*, 2024, p. 248**)

شكل (2): الشكل العام لطحلب *Ulva Lactuca*

هذه الطحالب الكبيرة هي الوحيدة التي لها القدرة على التسبب في ازدهار كثيف. ( ) (**Wald *et al.*, 2010, p. 19; Malta, *et al.*, 1999, p. 448**). على الرغم من انه يمكن ان ينمو على اعماق تصل الى ١٥ متر، الا انه عادة ما يوجد على عمق متر واحد بسبب احتياجاته للون وكثافة الضوء. (**Wald *et al.*, 2010, p. 19**)

يعتمد معدل نمو هذا الطحلب على كمية الضوء والنيتروجين وتكوين الأبواغ، بالإضافة الى ذلك فإن وجود النباتات الهوائية والنباتات العاشبة قد يحد من نموها. (**Kamermans *et al.*, 2002, p. 430**)

وبفضل ثالوسها المتكون من طبقتين من الخلايا لذلك تعد مساحة السطح لكل وحدة حجم لطحالب ***Ulva lactuca*** كبيرة للغاية مما يمكنها من امتصاص كميات كبيرة من العناصر الغذائية عبر جدارها الخلوي.

وتزيد هذه القدرة الامتصاصية بشكل خاص عند ارتفاع معدلات النمو وتستطيع هذه الطحالب امتصاص ما يصل إلى أربعة إلى ستة أضعاف كمية العناصر الغذائية التي تمتصها انواع الطحالب الاخرى. (**Pedersen *et al.*, 1997, p. 160**)

ونتيجة للاستجابة للمستويات المرتفعة من العناصر الغذائية يزيد ***Ulva Lactuca*** من امتصاصه للعناصر الغذائية وينمو بسرعة ويقوم بتخزين هذه العناصر داخل خلاياه للنمو المستقبلي. (**Lourenço *et al.*, 2006, p. 389**)

وتشكل الألياف غير القابلة للذوبان، مثل الهيميسليلوز والسليلوز واللجنين، حوالي ثلث المادة الجافة في الأعشاب البحرية، وهى نسبة أقل بكثير من تلك الموجودة في النباتات الارضية. (**De Pàdua *et al.*, 2004, pp. 47–52**)

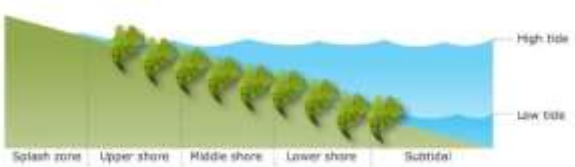
ويعتبر السليلوز هو المركب العضوي الاكثر وفرة على الأرض، موجود في كل من النباتات البحرية والبرية. (**Raven *et al*., 2005, p. 65**). يشكل السليلوز في أنواع الطحالب شبكة أكثر مسامية، مما يجعله يختلف بشكل كبير عن السليلوز الموجود في النباتات العليا. (**Siddhanta *et al*., 2009, p. 920**) وتختلف محتويات السليلوز بشكل كبير من نوع من الطحالب الى آخر وتم العثور على محتوى السليلوز الخام بنسبة ١١% وأيضا 85% من الوزن الجاف. (**Siddhanta *et al*., 2011, p. 92**)

ومن ناحية اخرى، لا تحتاج الطحالب إلى أي دعم أثناء نموها في بيئة مائية، ومحتوى السليلوز في طحلب ***Ulva lactuca*** أقل بكثير من محتوى النباتات الأرضية، وعلى الرغم من العثور على مركبات تضاهى اللجنين في الطحالب البدائية، إلا أن معظم الأعشاب البحرية تحتوي على كمية ضئيلة من اللجنين أو معدومة. (**Raven *et al*., 2005, p. 20; Yanagisawa *et al*., 2011, p. 2113; Martone *et al*., 2009, p. 170**). يبلغ محتوى اللجنين في ***Ulva Lactuca*** 1. 6% فقط، وهو منخفض للغاية مقارنة بنسبة ١٧_ ٢٤% الموجودة في عائلات الأعشاب والبقوليات. (**Vahdat *et al*., 2011,p. 244**)

يتم تحلل عديدات السكريات من ***Ulva lactuca*** بسهولة بسبب محتواها المنخفض من اللجنين، مما يتيح الحصول علي تركيزات عالية من الايثانول الحيوي لكل وحدة وزن. (**Yanagisawa *et al*., 2011, p. 2115**)

يعد ***Ulva lactuca*** مصدرا للبروتين عالي الجودة الذي يحتوي على ١٧ حمض أميني مختلف، بما في ذلك جميع الأحماض الأمينية الأساسية، مما يجعله ممتازا للاستهلاك البشري. (**Yaich *et al*., 2011, p. 898**)

التوزيع والموطن: يوجد حوالي ١٠٠ نوع من انواع الأولفا حول العالم. يوجد في كل من البيئات المالحة والبحرية، وخاصة في مصبات الأنهار، حيث تكون المياه دافئة وغنية بالمغذيات. توجد بعض الأنواع الأنبوبية في المياه العذبة.



شكل (3): انتشار طحلب *Ulva Lactuca*

يعد **طحلب *Ulva lactuca*** مصدرا فعالا للكتلة الحيوية لإنتاج الوقود الحيوي، مع إمكانية إنتاج عالية تبلغ ٢٤ طنا من الكتلة الحيوية الجافة للهكتار الواحد سنويا، وهوما يضاهى ويسأو ى إنتاج بنجر السكر، وأعلى بثلاث مرات من إنتاج الأعشاب البحرية البنية. (**Bruhn *et al*., 2011, p. 2599**)

الأهمية الاقتصادية لطحلب *Ulva lactuca*:

تكمن أهمية الطحالب الكبيرة في تغذية الإنسان في تركيزاتها العالية من المعادن مثل: الكالسيوم والماغنيسيوم والبوتاسيوم وحمض الجلوتاميك مما يجعلها مفيدة أيضا كمحسنات للنكهة، ويمكن ان تساهم الطحالب في مواجهة أحد أكبر التحديات التي تواجه صناعة الأغذية حاليا وهو النمو السكاني المتزايد والمستمر.

كما تعتبر الطحالب أيضا مصدرا للمبادئ الفعالة التي لم يتم استكشافها إلى حد كبير في المنتجات الصيدلانية. (**Pèrez *et al*., 2016, p. 52**)

تحتوي الطحالب الكبيرة على كميات عالية من الكربوهيدرات (تصل الى ٦٠%) وكميات تتراوح ما بين متوسطة وعالية من البروتينات (١٠_٤٧%) وكميات منخفضة من الدهون (١_٣%) مع محتوي متفاوت من الرماد المعدني (٧_٣٨%). (**Kraan *et al*., 2013, p. 245**)

تعد عديدات السكر الطحلبية والاصباغ والبروتينات والأحماض الامينية والمركبات الفينولية مكونات غذائية وظيفية للحفاظ على الصحة والوقاية من الامراض المزمنة، مع تزايد الاستخدامات المحتملة في الصناعات الدوائية. (**Lordan *et al*., 2011, p. 1060**)

يحتوي الأولفا على مكونات ذات قيمة تجارية قابلة للاستغلال في التطبيقات التجميلية والصيدلانية، والكيميائية، والغذائية والطاقة. (**Letts *et al*., 1911, p. 250; Schiffner *et al*., 1938, p. 250; Villares *et al*., 1999, p. 339; Hayden *et al*., 2003, p. 285; Curiel *et al*., 2004, p. 60; Lordan *et al*., 2011, p. 53; Chalier *et al*., 2008, p. 200; Yabe *et al*., 2009, p. 239; Smetacek *et al*., 2013, p. 86; Kirkeneale *et al*., 2014, p. 70; Popa *et al*., 2014, p. 420; Pèrez *et al*., 2016, p. 86; Morelli *et al*., 2016, p. 1108; Neto *et al*., 2018, p. 1**). يوجد مركبات أو لفا نشطة بيولوجيا حيث ان محللات بروتين الأولفا تظهر مضادات الاكسدة. (**Kazir *et al*., 2019, p. 195**). وأيضا النشاط المثبط للإنزيم المحول للأنجيوتنسين (ACE) والتأثيرات المعدلة للمناعة. (**Cian *et al*., 2018, p. 16**)

يحتوي الأولفا على ما يصل إلى ٣٠% من وزنه الجاف من المواد السكرية، ويحتوي بشكل رئيسي على xylose and glucose, sulphated L-rhamnose. تتميز هذه المواد السكرية بخصائص مضادة للفيروسات، للأورام وللتخثر، للدهون، مضادة للحماية من امراض الكبد ومحفزة للمناعة، ومضادة للاكتئاب وللقلق، والاضطراب. (**Cardoso *et al*., 2014, p. 900; Paiva *et al*., 2016, p. 70; Sari-Chmayssem *et al*., 2018, p. 14; Cian *et al*., 2018, p. 235; Kazir *et al*., 2019, p. 195**). وعلى الرغم من ذلك هناك تطبيقات

مثيرة للاهتمام باستخدام مادة مركبة مصنوعة من zinc oxide و calcium carbonate المغطاة بـ polysaccharide الخاص بطحلب الأولفا لعلاج الحروق. (**Cesàrio, *et al.*, 2018, p. 796**)

ويمكن أن تكون كربوهيدرات الأولفا مصدرا للكربون لإنتاج الميكروبات للمواد الحيوية ولبناء مجموعات لإنتاج مجموعة من المواد الكيميائية والوسائط مثل الأحماض العضوية والكحوليات والمواد الحيوية. (**Violle *et al.*, 2018, p. 249**)

تم استخدام مستخلصات الأولفا الحمضية لاستبدال مضادات الأكسدة الاصطناعية وحماية منتجات التجميل المختلفة من الأكسدة. (**Mansori *et al.*, 2015, p. 1692**)

أيضا تم استخدام مستخلصات الأولفا المائية لتخليق جسيمات نانوية من الذهب والفضة مع توافق حيوي ممتاز مع الخلايا السليمة، وكانت شديدة السمية ضد سلالات خلايا سرطان القولون والمستقيم. (**Mansori *et al.*, 2016, p. 1367**)

بالإضافة الى ذلك يحتوي الأولفا على الفينول والكلوروفيل والكاروتينات. (**Cesàrio *et al.*, 2018, p. 792**)

يتميز طحلب الأولفا بتركيبة فريدة من الأحماض الدهنية، تتميز بمستويات عالية من حمض ألفا لينولينيك وحمض ستيريدونيك وهو مادة أولية فعالة لتخليق حمض الإيكوسابنتاينويك، مما يزيد من مستوياته في الأنسجة البشرية. (**Lordan *et al.*, 2011, p. 53; Cesàrio *et al.*, 2018, p. 792**)

ايضا يمكن استخدام ***Ulva*** في تغذية الأسماك أو الرخويات وتعزيز المناعة. (**McCauley *et al.*, 2018, p. 590**)

أيضا يمكن استخدام الأولفا في أنظمة تربية الأحياء المائية المتكاملة متعددة التغذية كبديل جزئي أو مكمل غذائي لصغار أسماك ***Litopenaeus vannamei***. (**Zhang *et al.*, 2019,p. 61**)

وتم استخدام مستخلصات الأولفا المائية في تعزيز النمو الخضري في ظل ظروف الجفاف وانتاج مضادات الأكسدة لنبات المريمية الطبية ***Salvia officinalis*** (**Cruz-Suárez *et al.*, 2010,p. 65**)

ويمكن أن يكون الأولفا بديلا للمحاصيل الزيتية التقليدية لاحتوائه على زيت مناسب لتفاعلات الأسترة أو التحويل الأسترى لإنتاج الديزل الحيوي. (**Soliman *et al.*, 2018,p. 827**)

تطبيقات طحلب الأولفا في معالجة المياه تشمل عدة مجالات مهمة، بناءً على قدرته على امتصاص العناصر الثقيلة. **أمثلة لبعض التطبيقات العملية لهذه النتائج:**

1. **معالجة مياه الصرف الصحي:**

يمكن استخدام طحلب الأولفا في محطات معالجة مياه الصرف الصحي لإزالة المعادن الثقيلة والملوثات الأخرى، مما يحسن جودة المياه المعالجة ويجعلها صالحة للاستخدام في الري أو إعادة التدوير (**مغازي، 2025**)

2. **تنقية المياه الصناعية:**

يمكن استخدام طحلب الأولفا في معالجة مياه الصرف الناتجة عن الصناعات المختلفة، مثل الصناعات المعدنية والكيميائية، حيث يساعد في إزالة المعادن الثقيلة والملوثات العضوية، مما يقلل من تأثير هذه الملوثات على البيئة (**Ometto *et al.*, 2014, p. 247** & (**موسى وآخرون، 2004 ص 3**)

إعادة تأهيل البيئات المائية:

يمكن استخدام طحلب الأولفا في مشاريع إعادة تأهيل البيئات المائية الملوثة، مثل البحيرات والأنهار، حيث يساعد في تحسين جودة المياه وتقليل تركيز الملوثات، مما يعزز التنوع البيولوجي ويعيد التوازن البيئي (**مغازي، 2025**)

3. **إنتاج الكتلة الحيوية:**

يمكن استخدام طحلب الأولفا لإنتاج الكتلة الحيوية التي يمكن استخدامها في إنتاج الوقود الحيوي أو كسماد عضوي، مما يوفر حلولاً مستدامة للطاقة والزراعة. (**مغازي، 2025**)

وفى الختام، يعد طحلب الأولفا موردا بيئيا واقتصاديا واعدا ويعتبر أحد المصادر البيولوجية الواعدة نظرا لاحتوائه على مركبات فعالة بيولوجيا ذات تطبيقات محتملة في مجالات التغذية، والطب، والصناعات الحيوية، مما يجعله محورا مهما في البحوث العلمية الرامية إلى تعزيز الاستدامة البيئية والاقتصادية.

3. منهجية البحث والأدوات المستخدمة

3-1 منهجية البحث:

- تجربة معملية توضح إمكانية استخدام الطحالب في معالجة المياه من المعادن الثقيلة
- استبيان يوضح مدي وعي الطلاب في المرحلة الثانوية بمشكلة تلوث المياه وطرق المعالجة (**ملحق 1**)

3-2-أ الأجهزة المستخدمة:

- جهاز رج (Shaker)
- ميزان
- جهاز Flame Atomic Absorption (SavantAA) (GBC Scientific Equipment) Australia

3-2-ب الأدوات المستخدمة:

- انابيب فالكون سعة 50مل، دوارق مخروطية، ماصة مدرجة، مخبار مدرج

3-3-جـ المواد المستخدمة:

- محاليل قياسية للعناصر الثقيلة (نحاس، زنك، كادميوم) تركيز **1000 ppm**
- **Deionized water** ماء منزوع الأيونات

- حمض النيتريك (HNO_3)
- عينة جافة من طحلب ***Ulva Lactuca*** (الإسكندرية – أبو قير)

شكل (4): أدوات التجربة (أنابيب فالكون، ماصات، 4 دورق مخروطي)

شكل (5): جهاز الرج Shaker المستخدم لمزج العينات في الدوارق بشكل دائري مستمر بسرعة 400 r.p.m.

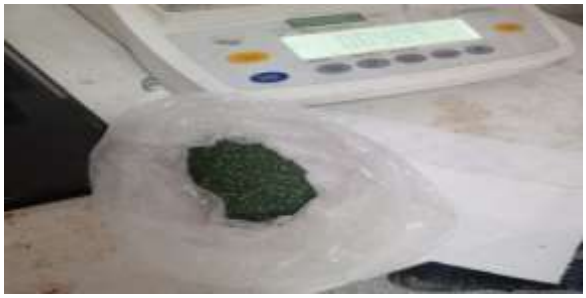
3 – 3 خطوات العمل:

- **تحضير تركيزات المعادن الثقيلة (Cu, Zn and Cd):**

تم تحضير محلول يحتوي على تركيز مناسب للمعادن الثقيلة الثلاث السابق ذكرها يقدر بـ **50 mg/L** لكل عنصر في حجم 100 مل ماء مقطر **deionized water**، باستخدام محاليل قياسية أولية تركيزها **1000 mg/L** لكل عنصر. وتم تثبيتها بحمض النيتريك المركز (**HNO3**) ليصبح الرقم الهيدروجيني أقل من 2 وفقا لطريقة **APHA., 3111B, 2017**.

- **تم الحصول على طحلب *Ulva Lactuca*** من سواحل شواطئ أبو قير في الإسكندرية، البحر الأبيض المتوسط. تم غسل الطحلب تحت مياه عذبة جارية لإزالة الرمال والمواد الغريبة الأخرى. تم جمعه ووضعه في كيس من البولي إيثيلين قبل نقله إلى المختبر. ثم تم غسله مرتين بالماء المقطر لإزالة أي مركبات معدنية، ثم ثلاث مرات بالماء منزوع الأيونات حتى أصبح الرقم الهيدروجيني لمحلول الغسيل مكافئًا للماء منزوع الأيونات. (**Soliman *et al.*, 2018, p.728**)، تم تجميع الطحلب وتجفيفه بالكامل في الظل في درجة حرارة الغرفة، ثم طحنه في مطحنة ميكانيكية قبل تمريره عبر منخل بحجم 0.2 مم. ثم تم وضعه في مكان جاف للاستخدام اللاحق". (**Mohamed *et al.*, 2021, pp. 342–343**)
- تم تجهيز العينة الضابطة **Blank** تحتوي على **Cu, Zn and Cd** لا تحتوي على الطحلب محل الدراسة
- تم إضافة 1 جم من الطحلب الجاف على عدد 7 عينات كل عينة تحتوي على الثلاث معادن بتركيز (50 ملجم / لتر)
- تم وضع السبع عينات المحتوية على الطحلب على جهاز الرج (**Shaker**) لضمان المزج الجيد وتعزيز امتصاص المعادن من قِبل الطحلب، عند **400 r.p.m.**
- تم قياس تركيز المعادن الثقيلة الثلاث النحاس، الزنك والكادميوم في كل عينة على حدة عند أطوال موجية 324.8، 213.9 و 228.8 على الترتيب باستخدام جهاز Flame Atomic Absorption (SavantAA)، وفقًا لطريقة **APHA 3111B, 2017**. على فترات زمنية مختلفة تتراوح ما بين (15 دقيقة إلى 180 دقيقة)

تمت مقارنة نتائج تركيز المعادن الثقيلة بعد امتصاص الطحلب مع العينة الضابطة (**Blank**) لتقييم كفاءة طحلب الأولفا في إزالة النحاس، الزنك، والكادميوم من المياه المحتوية على هذه المعادن.



شكل (6): عينة طحلب *Ulva lactuca* بعد تجفيفها

شكل (7) وزن 1جم من طحلب *Ulva lactuca* باستخدام ميزان رقمي حساس

شكل (8): العينات تحتوي كل منها على مزيج من ا جم من طحلب *Ulva lactuca* في محلول يحتوي على تركيز 50 mg/L من العناصر الثقيلة المستخدمة

شكل (9): وضع العينات على جهاز الرج Shaker

نتائج البحث

1. نتائج التجربة العملية

يعتبر طحلب ***Ulva lactuca*** من الطحالب الخضراء التي تتميز بقدرتها على امتصاص المعادن الثقيلة من المياه، مما يجعلها مفيدة في معالجة التلوث البيئي. وهذا يتفق مع النتائج التي حصلنا عليها (**جدول 1**) والرسومات البيانية الممثلة في الأشكال (**10**، **11**، **12**، **13**) البيئي. ويمكن أن تكون هذه النتائج مفيدة في تصميم أنظمة معالجة المياه باستخدام الطحالب لتحسين جودة المياه وتقليل التلوث. وهذا يتفق مع نتائج العديد من الباحثين لنفس نوع الأولفا مثل: (**شويرب، 2020؛ يوسف، 2024؛ Halder, 2014; Ghonium et al., 2014; Ibrahim et al., 2018**)

حيث أوضحت النتائج أن كفاءة الامتصاص تختلف بين المعادن المختلفة، حيث يظهر النحاس والزنك انخفاضا أكبر في التركيز بالمقارنة بالكادميوم، وهذا ما سيتم إيضاحه في تفسير النتائج.

2. نتائج استبيان (استطلاع) رأي الطلاب ومدى وعيهم عن أثر إستخدام الطحالب في معالجة المياه الملوثة بالمعادن الثقيلة:

اعتمد الاستبيان (الاستطلاع) على المنهج الوصفي الكمي كأحد مناهج البحث العلمي، حيث تم جمع البيانات من خلال توزيع استبيان منظم يتكون من 26 سؤال مغلق (**الجدول 2**)، وُ طلب من الطلاب اختيار اجابة واحدة من بين ثلاث اختيارات متاحه لكل سؤال: "نعم"، "لا"، او" إلى حد ما"، وتم تطبيقه على عدد 60 من طلاب المرحلة الثانوية في أحد المدارس الحكومية بالقاهرة.

وتم تحليل البيانات باستخدام الأساليب الإحصائية الوصفية. حُسبت النسب المئوية لكل خيار إجابة لكل سؤال، وتم تحديد الاجابة الاكثر شيوعاً لتمثيل اتجاه العينة (**جدول 3**).

الصعوبات المنهجية:

1. **تحديد التركيزات المناسبة للعناصر الثقيلة:** من الصعب تحديد التركيزات المثلى للعناصر الثقيلة في المياه الملوثة لضمان فعالية الطحلب في التنقية.
2. **اختيار الظروف التجريبية:** تحديد الظروف المثلى للتجربة مثل درجة الحرارة، درجة الحموضة، ووقت التلامس يمكن أن يكون تحديًا كبيرًا لضمان نتائج دقيقة.
3. **التكرار والتوثيق:** الحاجة إلى تكرار التجارب وتوثيق النتائج بدقة لضمان موثوقية البيانات يتطلب وقتًا وجهدًا كبيرين.
4. **التنوع البيولوجي للطحالب:** الطحالب تختلف في تركيبها الكيميائي والبيولوجي حسب البيئة التي تنمو فيها، مما يجعل من الصعب تعميم النتائج على جميع أنواع الطحالب.
5. **تأثير العوامل البيئية:** العوامل البيئية مثل الضوء، الرطوبة، وتوافر المغذيات يمكن أن تؤثر على كفاءة الطحالب في إزالة العناصر الثقيلة، مما يتطلب دراسة دقيقة لهذه العوامل.
6. **التفاعلات الكيميائية:** التفاعلات الكيميائية بين الطحالب والعناصر الثقيلة قد تكون معقدة وتتطلب فهمًا عميقًا للكيمياء البيئية لضمان دقة النتائج.

الصعوبات التطبيقية:

1. **جمع الطحالب ومعالجتها:** جمع الطحالب من البيئة الطبيعية ومعالجتها لتكون جاهزة للاستخدام في التجارب عملية معقدة وتحتاج إلى موارد.

2. **التعامل مع المياه الملوثة:** التعامل مع المياه الملوثة بالعناصر الثقيلة يتطلب إجراءات أمان صارمة لحماية الباحثين والبيئة.

3. **تحليل النتائج:** تحليل النتائج باستخدام أجهزة متقدمة مثل كروماتوغرافيا الغاز يتطلب مهارات تقنية عالية وتكاليف مالية كبيرة

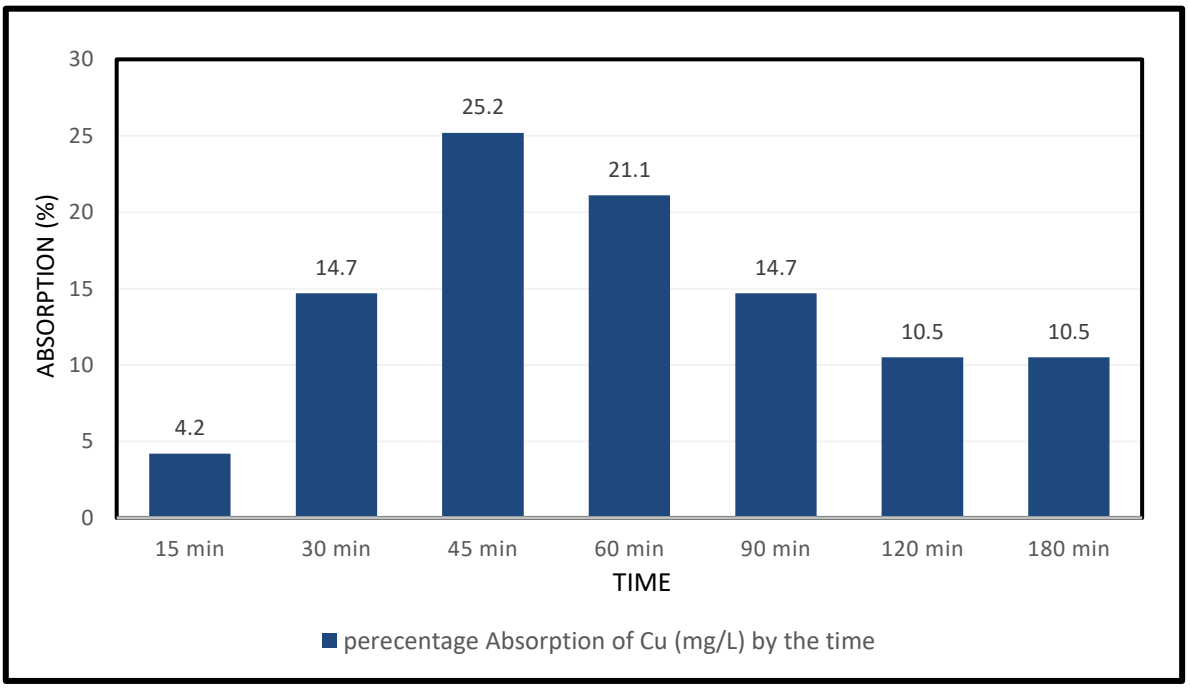
4. **تكلفة المعدات:** استخدام أجهزة متقدمة لتحليل النتائج مثل كروماتوغرافيا الغاز يتطلب ميزانية كبيرة

5. **التخلص من الطحالب المستخدمة:** بعد استخدام الطحالب في التنقية، يجب التخلص منها بطريقة آمنة لمنع إعادة تلوث البيئة بالعناصر الثقيلة التي امتصتها.

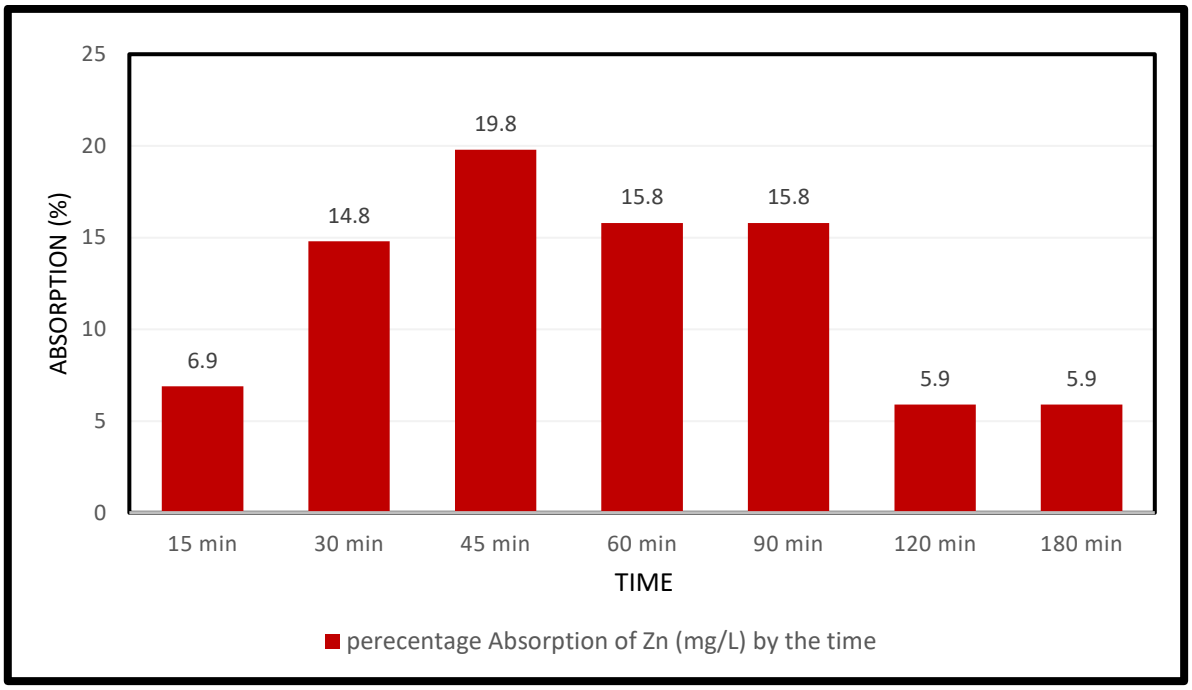
6. **التطبيق على نطاق واسع:** تطبيق هذه التقنية على نطاق واسع يتطلب دراسة الجدوى الاقتصادية لضمان فعالية وكفاءة العملية في مختلف البيئات

(جدول 1): تأثير المعالجة بطحلب ***Ulva lactuca*** على تركيز المعادن الثقيلة (**Cu – Zn – Cd**) في المياه الملوثة خلال فترات زمنية مختلفة.

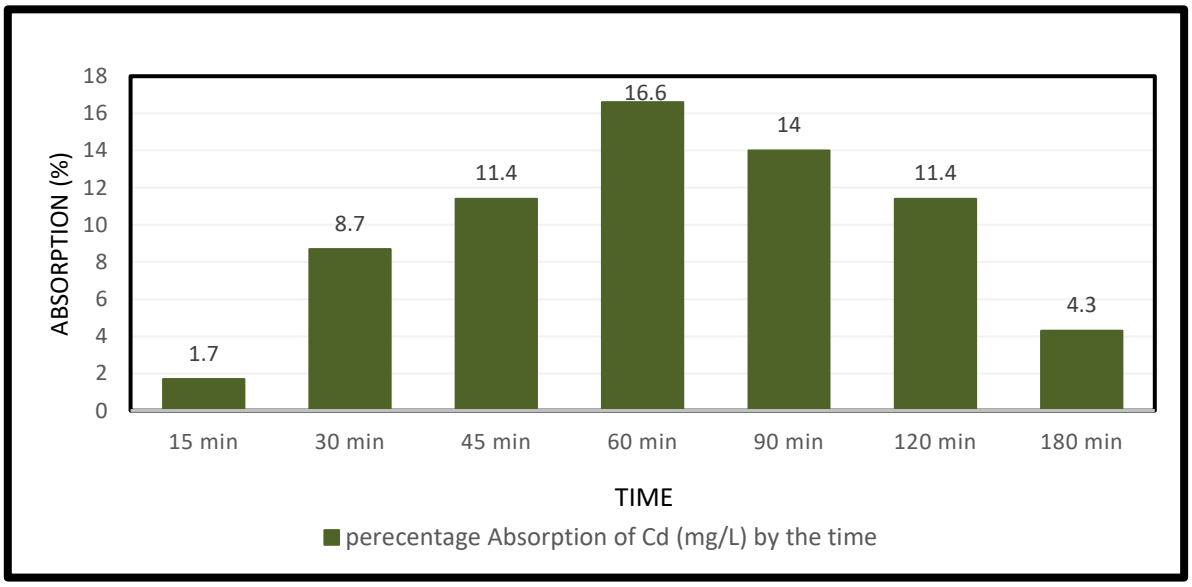
Sample	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Cd (mg/L)
Blank	47.5	50.5	57.0
15 min	45.0	47.0	56.0
30 min	40.5	43.0	52.0
45 min	35.5	40.5	50.5
60 min	37.5	42.5	47.5
90 min	40.5	42.5	49.0
120 min	42.5	47.5	50.5
180 min	42.5	47.5	54.5



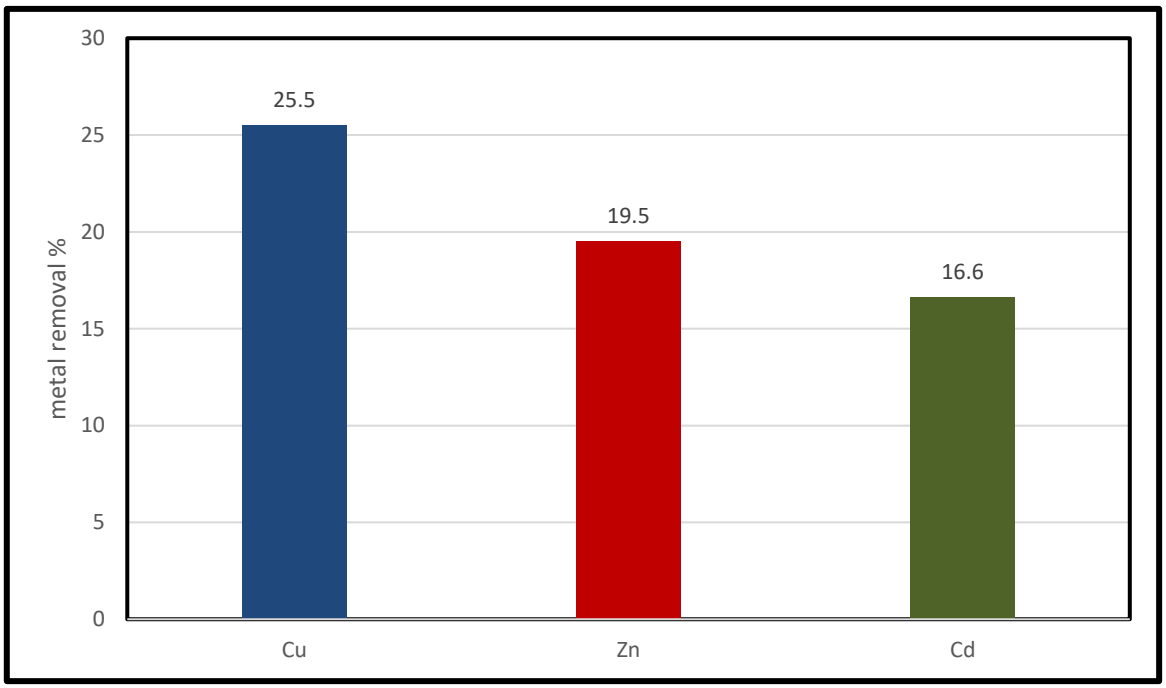
شكل (**10**): النسبة المئوية لامتصاص عنصر النحاس بمرور الوقت بعد المعالجة بطحلب ***Ulva lactuca***



شكل (11): النسبة المئوية لامتصاص عنصر الزنك بمرور الوقت بعد المعالجة بطحلب ***Ulva lactuca***



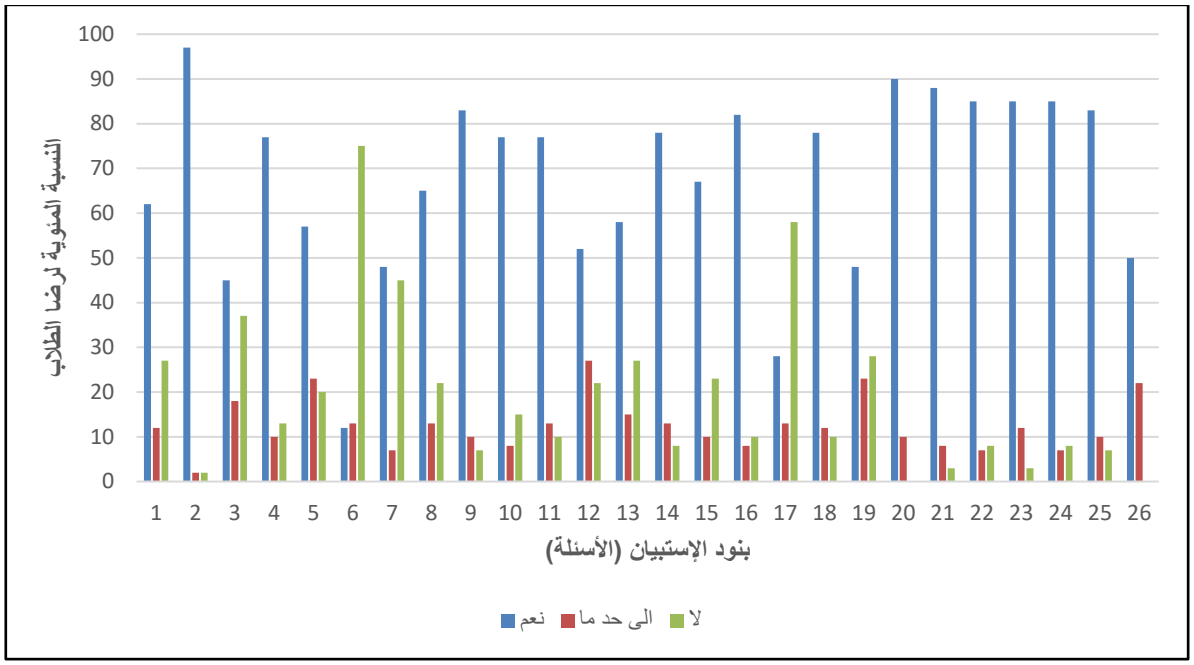
شكل (12): النسبة المئوية لامتصاص عنصر الكادميوم بمرور الوقت بعد المعالجة بطحلب ***Ulva lactuca***



شكل (13): مقارنة بين نسب امتصاص العناصر الثقيلة الثلاث (Cu, Zn & Cd) بعد المعالجة بطحلب *Ulva lactuca*

(جدول 2): نتائج استبيان مدى وعي الطلاب بأثر إستخدام الطحالب في معالجة المياه الملوثة بالمعادن الثقيلة (عدد استجابات الطلاب)

رقم السؤال	الأسئلة	نعم	الى حد ما	لا
1	هل لديك معرفة سابقة عن تلوث المياه بالمعادن الثقيلة؟	37	7	16
2	هل تعتقد أن تلوث المياه يمثل خطراً كبيرا على الصحة العامة؟	58	1	1
3	هل ترى أن المجتمع المحلى يهتم بمشكلة تلوث المياه؟	27	11	22
4	هل تعرف أن المعادن الثقيلة مثل الكادميوم والزنك والنحاس من أخطر الملوثات؟	46	6	8
5	هل لديك معلومات حول طرق تنقية المياه التقليدية؟	34	14	12
6	هل ترى أن الطرق التقليدية كافية لمعالجة مشكلة تلوث المياه؟	7	8	45
7	هل كنت تعرف أن الطحالب يمكن استخدامها في تنقية المياه؟	29	4	27
8	هل ترى أن إستخدام الطحالب وسيلة فعالة في إزالة المعادن الثقيلة؟	39	8	13
9	هل ترى أن إستخدام الطحالب طريقة آمنة وصديقة للبيئة؟	50	6	4
10	هل تعتقد أن هناك فوائد بيئية اخرى لاستخدام الطحالب؟	46	5	9
11	هل ترى أن الطحالب يمكن أن تساهم في تحسين جودة المياه الصالحة للشرب؟	46	8	6
12	هل تعتقد أن الطحالب قادرة على امتصاص الملوثات بكفاءة عالية؟	31	16	13
13	هل ترى أن الطحالب يمكن إستخدامها في معالجة مياه الصرف الصحي؟	35	9	16
14	هل تعتقد أن التوسع في إستخدام الطحالب سيساعد في حماية الموارد المائية؟	47	8	5
15	هل ترى ان الطحالب يمكن أن يكون بديلاً فعالاً للطرق الكيميائية في معالجة المياه؟	40	6	14
16	هل تعتقد أن دعم الأبحاث حول إستخدام الطحالب في التنقية سيساهم في تحسين جودة المياه؟	49	5	6
17	هل تعتقد أن التنقية الطبيعية كافية للتخلص من هذه المعادن بالكامل؟	17	8	35
18	هل ترى أن التعليم والتوعية يمكن أن يقللا من تلوث المياه بالمعادن الثقيلة؟	47	7	6
19	هل ترى أن الحكومات تبذل جهوداً كافية لمكافحة تلوث المياه بالمعادن الثقيلة؟	29	14	17
20	هل تعتقد أن هناك حاجة لمزيد من التجارب حول الطحالب في تنقيه المياه؟	54	6	0
21	هل ترى أن نتائج هذا المشروع يمكن أن تساهم في تحسن جودة المياه؟	53	5	2
22	هل تعتقد أن هذه الطريقة تستحق الدعم والتمويل؟	51	4	5
23	هل تعتقد أن هناك حاجة لبرامج تعليمية حول فوائد إستخدام الطحالب في معالجة المياه؟	51	7	2
24	هل تعتقد أن المدارس والجامعات يجب أن تدرس موضوع إستخدام الطحالب في معالجة المياه؟	51	4	5
25	هل تعتقد أن هناك حاجة لتطوير تقنيات جديدة لإستخدام الطحالب في معالجة المياه؟	50	6	4
26	هل تعتقد أن المجتمع سيكون متقبلاً لإستخدام الطحالب في معالجة المياه؟	30	13	17



شكل (14): نتائج استبيان عن أثر إستخدام الطحالب في تنقية المياه الملوثة من المعادن الثقيلة

4. تفسير النتائج

يمكن تفسير امتصاص المعادن الثقيلة بواسطة طحلب الأولفا على النحو ا لتالي:

كفاءة الامتصاص بمرور الوقت:

أو لاً: النحاس (Cu)

كان التركيز الابتدائي للنحاس للعينة (Blank) هو (47.5) ملجم/لتر. لوحظ انخفاض واضح في التركيز بعد 45 دقيقة ليصل إلى (35.5) ملجم/لتر، أي بنسبة إزالة بلغت حوالي 25.26 %، مما يدل على كفاءة عالية للطحلب في الامتصاص خلال الدقائق الأولى. لكن بعد ذلك، بدأ التركيز يرتفع تدريجيًا ليصل إلى (42.5) ملجم/لتر بعد ساعتين وثبت بعد ذلك كما لوحظ بعد مرور ثلاث ساعات، مما يشير إلى احتمالية حدوث تشبع لمواقع الارتباط على سطح الطحلب، أو إعادة انطلاق النحاس (Desorption) مرة أخرى إلى الوسط المائي. بالتالي، يمكن اعتبار أن الوقت الأمثل لإزالة النحاس يتراوح ما بين 30 إلى 45 دقيقة. **(شكل 10)**

ثانيًا: الزنك (Zn)

التركيز الابتدائي للزنك كان (50.5) ملجم/لتر. انخفض التركيز تدريجيًا ليصل إلى (40.5) ملجم/لتر بعد 45 دقيقة، بنسبة إزالة وصلت إلى حوالي 19.80 % ثم بدأت الكفاءة تقل تدريجيًا، ووصل التركيز إلى (47.5) ملجم/لتر بعد ساعتين وثبت بعد ذلك بعد مرور ثلاث ساعات، يتشابه هذا السلوك مع النحاس، حيث يحدث امتصاص سريع في البداية ثم توازن بين الامتصاص والانطلاق مع مرور الوقت. هذا يشير إلى أن أعلى كفاءة امتصاص للزنك أيضًا كانت في أول 45 دقيقة. **شكل (11)**

ثالثًا: الكادميوم (Cd)

بدأ التركيز الابتدائي للكادميوم عند (57.0) ملجم/لتر، وتم تسجيل أقل تركيز وهو (47.5) ملجم/لتر بعد مرور 60 دقيقة، بنسبة إزالة بلغت حوالي 16.67%. بعد ذلك، عاد التركيز للزيادة تدريجيًا حتى وصل إلى (54.5) ملجم/لتر بعد 3 ساعات. **شكل (12)**، يوضح ذلك أن امتصاص الكادميوم كان أبطأ وأقل كفاءة من النحاس والزنك، ويرجح أن يكون السبب هو ضعف ارتباط أيونات الكادميوم مع مجموعات الارتباط الحيوية الموجودة على سطح الطحلب، أو تشبعها السريع.

زيادة التركيز بعد فترة

بعد فترة معينة، يزداد تركيز المعادن مرة أخرى، مما قد يشير إلى إعادة إطلاق المعادن الممتصة أو تشبع الطحلب بالمعادن. هذا يمكن أن يكون نتيجة لتشبع مواقع الامتصاص على سطح الطحلب أو تحلل بعض الخلايا الطحلبية وإطلاق المعادن مرة أخرى إلى المحلول.

كفاءة الامتصاص بين المعادن المختلفة

اتضح من النتائج أن كفاءة الامتصاص تختلف بين المعادن المختلفة، حيث يظهر النحاس والزنك انخفاضًا أكبر في التركيز مقارنة بالكادميوم. هذا يمكن أن يكون نتيجة لاختلاف في التفاعلات الكيميائية بين المعادن وسطح الطحلب كذلك امتصاص النحاس يتم بمعدل أعلى من الزنك والكادميوم. **(شكل 13)**

أكدت هذه الدراسة أن طحلب ***Ulva lactuca*** يُعد خيارًا بيئيا فعالاً لإزالة المعادن الثقيلة من المياه، إلا أن تحسين كفاءة هذه التقنية يتطلب مزيدًا من الأبحاث، تمت ملاحظة أن طحلب خس البحر يظهر كفاءة جيدة في امتصاص النحاس والزنك، بينما تكون كفاءة امتصاص الكادميوم أقل.

أهمية العناصر الثقيلة للطحالب:

تُعد بعض العناصر الثقيلة ذات أهمية فسيولوجية للطحالب عند وجودها بتراكيز منخفضة، إذ تسهم في دعم العمليات الحيوية من خلال دورها كمساعدات إنزيمية. ويمكن توضيح ذلك كالتالي:

- **النحاس (Cu)**: عنصر ضروري، يشارك في العديد من التفاعلات الحيوية داخل الخلية، لكن زيادته عن الحد المناسب يؤدي إلى تأثيرات سامة تعيق النمو والأنشطة الأيضية.
- **الزنك (Zn)**: يلعب دورًا مهمًا في عمل الإنزيمات والوظائف الخلوية، إلا أن ارتفاع تركيزه يسبب اضطرابات فسيولوجية ويؤثر على التوازن الداخلي للطحالب.
- **الكادميوم (Cd)**: لا يُعد عنصرًا ضروريًا بيولوجيًا، ويُصنف ضمن المعادن السامة. يؤدي وجوده إلى تثبيط النمو والأنشطة الحيوية، إلا أن بعض الطحالب قد تطور آليات دفاعية لمقاومته، مثل زيادة إنتاج البرولين أو تحفيز بروتينات خاصة لمواجهة الإجهاد (**Mohamed *et al.*, 2016, pp. 85–86**)

يتوافق هذا مع ما أثبتته معظم الدراسات حول كفاءة إزالة المعادن بواسطة الكتلة الحيوية للمواد الجافة الطحلبية، مما يعني أن الخلايا الميتة قد تمتص معادن أكثر من الخلايا الحية .(**Mehta & Gaur, 2005, p. 113**) وقد حظيت البكتيريا، والنباتات الأرضية أو (منتجاتها)، والنباتات المائية، والطحالب، والفطريات باهتمام كبير في الآونة الأخيرة لقدرتها على إزالة المعادن الثقيلة من الوسط المحيط. (**Sandau *et al.*, 1996, p. 103; Iyer *et al.*, 2004, p. 974; Kumar *et al.*, 2006, p. 791**).

كما تمثل الكتل الحيوية الطحلبية مصدرًا غنيًا لمواد الامتزاز الحيوي القادرة على تراكم محتوى عالٍ من المعادن مع كونها أكثر أمانًا بيئيًا وتحتاج إلى معالجة غير مكلفة نسبيًا. نظرًا لوجود البروتينات والسكريات المتعددة غير المتجانسة أو الدهون في بنية جدار الخلية الطحلبية، بالإضافة إلى النسب الكبيرة بين مساحة السطح والحجم، فإن هذه الكتل الحيوية تتمتع بقدرات عالية على ربط المعادن . (**Mofeed, 2017, p. 43**)

تحسين التجربة المستقبلية

لتحسين كفاءة الامتصاص باستخدام طحلب خس البحر *Ulva lactuca* ، يمكن اتباع عدة استراتيجيات علمية وتقنية:

1. **تحسين المواد الممتصة**

- **تعديل السطح**: يمكن تعديل سطح طحلب خس البحر كيميائيًا لزيادة عدد مواقع الامتصاص الفعالة.
- **دمج مواد أخرى**: يمكن دمج طحلب خس البحر مع مواد أخرى مثل الكربون النشط لتحسين كفاءة الامتصاص.

2. **تحسين ظروف التجربة**

- **تحسين الظروف البيئية**: ضبط درجة الحرارة، الرقم الهيدروجيني، وتركيز الطحلب لتحقيق أفضل نتائج. هذه العوامل تؤثر بشكل كبير على كفاءة الطحالب في امتصاص الملوثات (**مغازي، 2025**)
- **زيادة وقت التجربة**: تمديد وقت التجربة لفترات أطول لدراسة تأثير الزمن على الامتصاص بشكل أكثر دقة.
- **توسيع نطاق التطبيق العملي لهذه التقنية**: يتطلب ذلك دراسات ميدانية أوسع لضمان فعاليتها في البيئات المختلفة.
- **التغذية المناسبة**:
- توفير المواد الغذائية الأساسية للطحالب مثل النيتروجين والفوسفور لتحفيز نموها وزيادة قدرتها على امتصاص الملوثات.
- **تحليل البيانات بشكل أعمق**: يمكن استخدام تقنيات تحليل متقدمة مثل التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (**FTIR**) وتحليل حيود الأشعة السينية (**XRD**) لفهم التفاعلات الكيميائية بشكل أفضل.

باستخدام هذه التحسينات، يمكن تحسين كفاءة وفعالية التجربة المستقبلية لإزالة المعادن الثقيلة باستخدام طحلب خس البحر.

- نمذجة رياضية: استخدام نماذج رياضية لمحاكاة عملية الامتصاص وتحديد العوامل المؤثرة بشكل أكثر دقة.

3. **توسيع نطاق التجربة**

- اختبار أنواع أخرى من المعادن: توسيع نطاق التجربة لتشمل أنواع أخرى من المعادن الثقيلة لدراسة كفاءة الامتصاص.

4. **تطبيق التجربة على مياه الصرف الحقيقية**: تطبيق التجربة على عينات مياه الصرف الحقيقية لدراسة فعالية الامتصاص في الظروف الواقعية.

5. **التعاون مع مجالات أخرى**

- **التعاون مع علماء البيئة**: لدراسة تأثير استخدام طحلب خس البحر على البيئة.
- **التعاون مع مهندسي الكيمياء**: لتحسين عملية الإنتاج والتطبيق.

6. **التقييم الاقتصادي:**

تحليل التكلفة والفائدة: إجراء تحليل اقتصادي لتقييم تكلفة استخدام طحلب خس البحر مقارنة بالفوائد البيئية والصحية.

7. **استخدام تقنيات الحصاد الفعالة:**

تطبيق تقنيات حصاد منخفضة الطاقة مثل تعويم الهواء المذاب (**DAF**) والتعويم الهوائي المذاب (**BDAF**) لتحسين كفاءة استعادة خلايا الطحالب وتقليل الطلب على الطاقة. (**مغازي، 2025**)

8. **المعالجة المسبقة للكتلة الحيوية:**

استخدام التحلل المائي الحراري كعلاج مسبق لتحسين إنتاج الغاز الحيوي أثناء الهضم اللاهوائي، مما يزيد من كفاءة الطاقة الكلية للنظام المتكامل. (**مغازي، 2025**)

9. **المراقبة المستمرة:**

- مراقبة أداء الطحالب بشكل دوري وتعديل الظروف البيئية والتغذية بناءً على النتائج لتحسين كفاءة الامتصاص

بتطبيق هذه التحسينات، يمكن تحسين كفاءة وفعالية التجارب المستقبلية لإزالة المعادن الثقيلة باستخدام طحلب خس البحر.

تطبيقات مستقبلية: بناءً على هذه النتائج، يمكن استخدام طحلب خس البحر بشكل فعال في معالجة المياه الملوثة بالنحاس والزنك، وقد يكون هناك حاجة لتحسين كفاءة الامتصاص للكادميوم من خلال تعديل الطحلب أو تحسين ظروف التجربة.

- هذا يشير إلى أن الطحلب يكون فعالاً في امتصاص الكادميوم في الفترات الزمنية الأولى، ولكن قد يكون هناك عوامل تؤثر على استقرار الامتصاص بعد فترة معينة.

تفسير الاستبيان:

(جدول3): نتائج استبيان عن أثر استخدام الطحالب في تنقية المياه من المعادن الثقيلة عدد الاستجابات والنسبة المئوية للإجابات

رقم السؤال	الأسئلة	نعم	الى حد ما	لا	النسبة المئوية			اتجاه العينة
					نعم	الى حد ما	لا	
1	هل لديك معرفة سابقة عن تلوث المياه بالمعادن الثقيلة؟	37	7	16	62	12	27	نعم
2	هل تعتقد أن تلوث المياه يمثل خطراً كبيرا على الصحة العامة؟	58	1	1	97	2	2	نعم
3	هل ترى أن المجتمع المحلي يهتم بمشكلة تلوث المياه؟	27	11	22	45	18	37	نعم
4	هل تعرف أن المعادن الثقيلة مثل الكادميوم والزنك والنحاس من أخطر الملوثات؟	46	6	8	77	10	13	نعم
5	هل لديك معلومات حول طرق تنقية المياه التقليدية؟	34	14	12	57	23	20	نعم
6	هل ترى أن الطرق التقليدية كافية لمعالجة مشكلة تلوث المياه؟	7	8	45	12	13	75	لا
7	هل كنت تعرف أن الطحالب يمكن استخدامها في تنقية المياه؟	29	4	27	48	7	45	نعم
8	هل ترى أن استخدام الطحالب وسيلة فعالة في إزالة المعادن الثقيلة؟	39	8	13	65	13	22	نعم
9	هل ترى أن إستخدام الطحالب طريقة آمنة وصديقة للبيئة؟	50	6	4	83	10	7	نعم
10	هل تعتقد أن هناك فوائد بيئية اخرى لاستخدام الطحالب؟	46	5	9	77	8	15	نعم
11	هل ترى أن الطحالب يمكن أن تساهم في تحسين جودة المياه الصالحة للشرب؟	46	8	6	77	13	8	نعم
12	هل تعتقد أن الطحالب قادرة على امتصاص الملوثات بكفاءة عالية؟	31	16	13	52	27	22	نعم
13	هل ترى أن الطحالب يمكن استخدامها في معالجة مياه الصرف الصحي؟	35	9	16	58	15	27	نعم
14	هل تعتقد أن التوسع في استخدام الطحالب سيساعد في حماية الموارد المائية؟	47	8	5	78	13	8	نعم
15	هل ترى ان الطحالب يمكن أن يكون بديلاً فعالاً للطرق الكيميائية في معالجة المياه؟	40	6	14	67	10	23	نعم
16	هل تعتقد أن دعم الأبحاث حول استخدام الطحالب في التنقية سيساهم في تحسين جودة المياه؟	49	5	6	82	8	10	نعم
17	هل تعتقد أن التنقية الطبيعية كافية للتخلص من هذه المعادن بالكامل؟	17	8	35	28	13	58	لا
18	هل ترى أن التعليم والتوعية يمكن أن يقللا من تلوث المياه بالمعادن الثقيلة؟	47	7	6	78	12	10	نعم
19	هل ترى أن الحكومات تبذل جهوداً كافية لمكافحة تلوث المياه بالمعادن الثقيلة؟	29	14	17	48	23	28	نعم
20	هل تعتقد أن هناك حاجة لمزيد من التجارب حول الطحالب في تنقيه المياه؟	54	6	0	90	10	0	نعم
21	هل ترى أن نتائج هذا المشروع يمكن أن تساهم في تحسن جودة المياه؟	53	5	2	88	8	3	نعم
22	هل تعتقد أن هذه الطريقة تستحق الدعم والتمويل؟	51	4	5	85	7	8	نعم
23	هل تعتقد أن هناك حاجة لبرامج تعليمية حول فوائد استخدام الطحالب في معالجة المياه؟	51	7	2	85	12	3	نعم
24	هل تعتقد أن المدارس والجامعات يجب أن تدرس موضوع استخدام الطحالب في معالجة المياه؟	51	4	5	85	7	8	نعم
25	هل تعتقد أن هناك حاجة لتطوير تقنيات جديدة لاستخدام الطحالب في معالجة المياه؟	50	6	4	83	10	7	نعم
26	هل تعتقد أن المجتمع سيكون متقبلاً لاستخدام الطحالب في معالجة المياه؟	30	13	17	50	22	28	نعم

تفسير نتائج الاستبيان:

- **المعرفة والوعي:**

يشير الجدول إلى أن غالبية الطلاب لديهم معرفة سابقة بتلوث المياه بالمعادن الثقيلة بنسبة 62%. ويعتبرونه خطرًا كبيرًا على الصحة العامة حيث اتفق 97% من الطلاب على ذلك. ومع ذلك، يرى 45% فقط من الطلاب أن المجتمع المحلي يهتم بمشكلة تلوث المياه.

- **المعلومات حول الطحالب:**

يعلم 48% من الطلاب أن الطحالب يمكن استخدامها في تنقية المياه. ويرى 65% منهم أنها وسيلة فعالة لإزالة المعادن الثقيلة

- **الفوائد والتطبيقات:**

يعتقد 83% الطلاب أن استخدام الطحالب آمن وصديق للبيئة، و77% منهم يعتقد ان له فوائد بيئية أخرى. ويتفق 77% على أن الطحالب يمكن أن تساهم في تحسين جودة المياه الصالحة للشرب.

- **الفعالية والتوسع:**

يرى 52% أن الطحالب قادرة على امتصاص الملوثات بكفاءة عالية، و58% يعتقدون أنه يمكن استخدامها في معالجة مياه الصرف الصحي. يتفق 78% على أن التوسع في استخدام الطحالب سيساعد في حماية الموارد المائية.

- **الدعم والآراء:**

يعتقد 82% أن دعم الأبحاث حول استخدام الطحالب في التنقية سيساهم في تحسين جودة المياه. بينما يرى 58% أن التنقية الطبيعية غير كافية للتخلص من المعادن الثقيلة بالكامل. اتفق 90% على أن هناك حاجة لمزيد من التجارب حول الطحالب في تنقية المياه. ويعتقد 85% أن هذه الطريقة تستحق الدعم والتمويل.

بناءًا علي نتائج الاستبيان اتضح ان الطلاب لديهم وعي بمشكلة تلوث المياه بالمعادن الثقيلة، ويرون أن استخدام الطحالب يحظى بدعم كبير كطريقة آمنة وفعالة لتنقية المياه.

6. الخاتمة

تمثل هذه الدراسة خطوة مهمة نحو تطوير حلول بيئية مستدامة لمعالجة المياه الملوثة بالعناصر الثقيلة باستخدام الطحالب دون الحاجة إلى المواد الكيميائية التقليدية (**Faruque**, ***et.al.***, **2024**, **p. 1**)

وقد أظهرت الأبحاث أن العديد من أنواع الطحالب، وخاصة الطحالب الخضراء المزرقة، تمتلك قدرة على امتصاص تركيزات مرتفعة من العناصر الثقيلة (**سلمان، 2019، ص 3**)، إلا أن كفاءة الامتصاص تختلف باختلاف الخصائص الكيميائية والفيزيائية للمعادن، بالإضافة إلى مدة تعرض الطحلب للعنصر الثقيل.

تشير نتائج هذه الدراسة إلى انخفاض ملحوظ في تركيز النحاس (**Cu**) والكادميوم (**Cd**) والزنك (**Zn**) باستخدام طحلب ***Ulva Lactuca*** حيث أظهرت النتائج أن أكبر نسبة انخفاض سُجلت في عنصر النحاس، ويعكس التفاوت ف نسب الإزالة أن طحلب ***Ulva lactuca*** يفقد كفاءته بعد فترة زمنية معينة نتيجة الإشباع البيولوجي بالعناصر الثقيلة.

بناءًا على هذه النتائج، يُوصي بما يلي:

- تطوير تقنيات لإعادة تنشيط الطحلب أو استبداله بشكل دوري لضمان استمرارية كفاءة التنقية ومنع التشبع السريع بالعناصر الثقيلة.
- استخدام طحالب معدلة وراثيًا لتعزيز قدرتها على امتصاص كميات أكبر من العناصر الثقيلة، دون فقدان كفاءتها بسرعة. (**Metha & Gaur**,**2008**, **p. 146**).
- إعادة تدوير الطحالب المشبعة بالعناصر الثقيلة بعد معالجتها بطرق مناسبة لمنع تسرب المعادن إلى البيئة، مع إمكانية استخدامها في إنتاج الأسمدة أو الوقود الحيوي لتقليل النفايات البيولوجية. (**Lourie *et al.*, 2010**, **p. 494**)
- تنفيذ برامج توعية للمؤسسات الصناعية حول الفوائد البيئية لاستخدام الطحالب في معالجة المياه الملوثة، وتشجيع تطبيقها كجزء من خطط الإدارة البيئية المستدامة.

7. الشكر والتقدير

الحمد لله الذي وفقنا لإتمام هذا العمل. نتوجه بخالص الشكر والامتنان للأستاذ الدكتور صفاء شحاتة، عميدة كلية التربية بجامعة عين شمس، والأستاذ الدكتور حنان حلمي لطيف، رئيس مجلس قسم العلوم البيولوجية والجيولوجيا، والدكتور هالة سمير سعد الدين، مشرفة البحث، وجميع أعضاء هيئة التدريس بكلية التربية – جامعة عين شمس، على جهودهم القيمة ودعمهم المستمر، الذي كان له الأثر الكبير في حياتنا وتقدمنا المثمر في مسيرتنا العلمية. كذلك نتوجه بالشكر للدكتور رحاب مصطفى المدرس بالقسم لتقديم المساعدة في الحصول على عينة الطحلب، ولا ننسى دكتور نجلاء السيد المعمل المركزي بكلية العلوم جامعة عين شمس.

8. المراجع والمصادر

المصادر الأجنبية:

1) Abatneh, Y., & Sahu, O. (2014). Removal of chromium by biosorption method (Chitosan). *International Letters of Natural Sciences*, *8*, 44–55.
2) Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. A., & Ibraheem, I. B. M. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *19*, 257–275.
3) Ahmed, R. A., & Fekry, A. M. (2013). Preparation and characterization of a nanoparticles modified chitosan sensor and its application for the

15) Chapman, D. (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2nd ed.). UNESCO/WHO/UNEP, 1-25.
16) Chevassus-au-Louis, B., Andral, B., Femenias, A., & Buvier, M. (2012). Bilan des connaissances scientifiques sur les causes de prolifération de macroalgues vertes: *Rapport pour le gouvernement français* (Report No. CGEDD 007942-01 et CGAAER 11128). *Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable*.
17) Christenson, L., & Sims, R. C. (2011). Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts. *Biotechnology Advances*, *29*(6), 686–702.
18) Cian, R. E., Hernández-Chirlaque, C., Gámez-Belmonte, R., Drago, S. R., Sánchez de Medina, F., & Martínez-Augustin, O. (2018). Green alga ***Ulva sp***. hydrolysates and their peptide fractions regulate cytokine production in splenic macrophages and lymphocytes involving the TLR4-NFκB/MAPK pathways. *Marine Drugs*, *16*(7), 235.
19) Cruz-Suárez, L. E., León, A., Peña-Rodríguez, A., Rodríguez-Peña, G., Moll, B., & Ricque-Marie, D. (2010). Shrimp/***Ulva*** co-culture: A sustainable alternative to diminish the need for artificial feed and improve shrimp quality. *Aquaculture*, *301*(1–4), 64–68.
20) Curiel, D., Rismondo, A., Bellemo, G., & Marzocchi, M. (2004). Macroalgal biomass and species variations in the lagoon of Venice (Northern Adriatic Sea, Italy): 1981–1998. *Scientia Marina*, *68*(1), 57–67.
21) Darnall, D. W., Greene, B., Hosea, M., McPherson, R. A., Henzl, M., & Alexander, M. D. (1986). *In R. Thompson* (Ed.), *Trace metal removal from aqueous solutions* (pp. 1–24). Litho Ltd.
22) Davis, T. A., Volesky, B., & Mucci, A. (2003). A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Research*, *37*(18), 4311–4330.
23) De Pádua, M., Fontoura, P. S. G., & Mathias, A. L. (2004). Chemical composition of ***Ulvaria oxysperma*** (Kützing) Bliding, ***Ulva lactuca*** (Linnaeus) and ***Ulva fascita*** (Delile). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *47*(1), 49–55.
24) Delanoue, J., Lessard, P., & Dumas, G. (1998). Biotreatment of effluents using the cyanobacterium Phormidium bohner. *Aquacultural Engineering*, *17*(1), 57–68.
determination of heavy metals from different aqueous media. *International Journal of Electrochemical Science*, *8*, 6692–6708.
4) American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association.
5) Areco, M. M., & Afonso, M. S. (2010). Copper, zinc, cadmium and lead biosorption by Gymnogongrus torulosus: Thermodynamics and kinetics studies. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *81*, 620–628.
6) Babel, S., & Kurniawan, T. A. (2003). Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: A review. *Journal of Hazardous Materials*, *97*(1–3), 219–243.
7) Bamgbose, J. T., Adewuyi, S., Bamgbose, O., & Adetoye, A. A. (2010). Adsorption kinetics of cadmium and lead by chitosan. *African Journal of Biotechnology*, *9*(17), 2560–2565.
8) Barakat, M. A. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, *4*(4), 361–377.
9) Becker, E. W. (1983). Limitation of heavy metals removal from wastewater by means of algae. *Water Research*, *17*(4), 459–466.
10) Bonanno, G., Veneziano, V., & Piccione, V. (2020). The alga ***Ulva lactuca*** (Ulvaceae, Chlorophyta) as a bioindicator of trace element contamination along the coast of Sicily, Italy. *Science of the Total Environment*, 699, 134329.
11) Bruhn, A., Dahl, J., Nielsen, H. B., Nikolaisen, L., Rasmussen, M. B., Markager, S., Olesen, B., Arias, C., & Jensen, P. D. (2011). Bioenergy potential of ***Ulva lactuca***: Biomass yield, methane production and combustion. *Bioresource Technology*, *102*(3), 2595–2604.
12) Cardoso, S. M., Carvalho, L. G., Silva, P. J., Rodrigues, M. S., Pereira, O. R., & Pereira, L. (2014). Bioproducts from seaweeds: A review with special focus on the Iberian Peninsula. *Current Organic Chemistry*, *18*(7), 896–917.
13) Cesário, M. T., da Fonseca, M. M. R., Marques, M. M., & de Almeida, M. C. M. D. (2018). Marine algal carbohydrates as carbon sources for the production of biochemicals and biomaterials. *Biotechnology Advances*, *36*(3), 798–817.
14) Charlier, R. H., Morand, P., & Finkl, C. W. (2008). How Brittany and Florida coasts cope with green tides. *International Journal of Environmental Studies*, *65*(2), 191–208.

A. (2006). The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, *1*(1), 22.

38) Greenwell, H. C., Laurens, L. M. L., Shields, R. J., Lovitt, R. W., & Flynn, K. J. (2010). Placing microalgae on the biofuels priority list: A review of the technological challenges. *Journal of the Royal Society Interface*, *7*(46), 703–726.
39) Halder, S. (2014). Bioremediation of heavy metals through fresh water microalgae: A review. *Scholars Academic Journal of Biosciences*, *2*(11), 825–830.
40) Hayden, H. S., Blomster, J., Maggs, C. A., Silva, P. C., Stanhope, M. J., & Waaland, J. R. (2003). Linnaeus was right all along: ***Ulva*** and ***Enteromorpha*** are not distinct genera. *European Journal of Phycology*, *38*(3), 277–294.
41) Iatrou, E. I., Stasinakis, A. S., Thomaidis, N. S., & Andersen, H. R. (2017). Fate of antimicrobials in duckweed (***Lemna minor***) wastewater treatment systems. *Journal of Hazardous Materials*, *330*, 116–126.
42) Ibrahim, W. M., Abdel Aziz, Y. S., Hamdy, S. M., & Gad, N. S. (2018). Comparative study for biosorption of heavy metals from synthetic wastewater by different types of marine algae. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, *9*(1), 425.
43) Iyer, A., Mody, K., & Jha, B. (2004). Accumulation of hexavalent chromium by an exopolysaccharide producing marine Enterobacter cloaceae. *Marine Pollution Bulletin*, *49*, 974–977.
44) Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, *7*(2), 60–72.
45) Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, *68*(1), 167–182.
46) Kamermans, P., Malta, E.-J., Verschuure, J. M., Schrijvers, L., Lentz, L. F., & Lien, A. T. A. (2002). Effect of grazing by isopods and amphipods on growth of ***Ulva spp***. (Chlorophyta). *Aquatic Ecology*, *36*, 425–433.
47) Kazir, M., Abuhassira, Y., Robin, A., Nahor, O., Luo, J., Israel, A., Golberg, A., & Livney, Y. D. (2019). Extraction of proteins from two marine macroalgae, ***Ulva sp***. and ***Gracilaria sp***.; for food application, and evaluating digestibility, amino acid composition and antioxidant properties of the protein concentrates. *Food Hydrocolloids*, *87*, 194–203.
25) Dominguez, H., & Loret, E. P. (2019). ***Ulva lactuca***, a source of troubles and potential riches. *Marine Drugs*, *17*(6), 357.
26) Duerden, R. C., & Jones, W. E. (1981). The host specificity of ***Jania rubens*** (L.) Lamour in British waters. *Proceedings of the International Seaweed Symposium*, *8*, 313–339.
27) Edzwald, J. N. (2011). *Water quality & treatment: A handbook on drinking water* (6th ed., pp. 11.1–11.52). American Water Works Association.
28) El-Sheekh, M. M., Farghl, A. A., Galal, H. R., & Bayoumi, H. S. (2015). Bioremediation of different types of polluted water using microalgae. *Rendiconti Lincei*, *26*(2), 401–410.
29) El-Sheekh, M., El-Dalatony, M. M., Thakur, N., Zheng, Y., & Salama, E. (2021). Role of microalgae and cyanobacteria in wastewater treatment: Genetic engineering and omics approaches. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *18*(5), 1245–1260.
30) Elumalai, V., Brindha, K., & Elango, L. (2020). Sources and consequences of groundwater contamination. *Environmental Health Insights*, *14*, 1–10
31) Faruque, M. O., Uddin, S., Hossain, M. M., Hossain, S. Z., Shafiquzzaman, M., & Razzak, S. A. (2024). A comprehensive review on microalgae-driven heavy metals removal from industrial wastewater using living and nonliving microalgae. *Journal of Hazardous Materials Advances*, *16*, 1-23.
32) Fewtrell, L., & Bartram, J. (2001). *Water Quality: Guidelines, Standards and Health.* World Health Organization (WHO), 1-16.
33) Flora, G., Gupta, D., & Tiwari, A. (2012). *Toxicity of lead: A review with recent updates*. *Interdisciplinary Toxicology*, *5*(2), 47–58.
34) Freire-Nordi, C. S., Vieira, A. A. H., & Nascimento, O. R. (2005). The metal binding capacity of Anabaena spiroides extracellular polysaccharide: An EPR study. *Process Biochemistry*, *40*(6), 2215–2224.
35) Gaetke, L. M., & Chow, C. K. (2003). Copper toxicity, oxidative stress, and antioxidant nutrients. *Toxicology*, *189*(1–2), 147–163.
36) Ghoneim, M. M., El-Desoky, H. S., El-Moselhy, K. M., Amer, A., Abou El-Naga, E. H., Mohamedein, L. I., & Al-Prol, A. E. (2014). Removal of cadmium from aqueous solution using marine green algae, ***Ulva lactuca.*** *Egyptian Journal of Aquatic Research*, *40*(3), 235–242.
37) Godt, J., Scheidig, F., Grosse-Siestrup, C., Esche, V., Brandenburg, P., Reich, A., & Groneberg, D.

48) Kipigroch, K. (2018). The use of algae in the process of heavy metal ions removal from wastewater. *Desalination and Water Treatment, 134*, 290.
49) Kirkendale, L., Saunders, G. W., & Winberg, P. (2013). A molecular survey of ***Ulva*** (Chlorophyta) in temperate Australia reveals enhanced levels of cosmopolitanism. *Journal of Phycology, 49*, 69–81.
50) Kızılkaya, B., Doğan, F., Akgül, R., & Türker, G. (2012). Biosorption of Co(II), Cr(III), Cd(II), and Pb(II) ions from aqueous solution using nonliving Neochloris pseudoalveolaris: Equilibrium, thermodynamic, and kinetic study. *Journal of Dispersion Science and Technology, 33*, 1055–1065.
51) Kraan, S. (2013). Pigments and minor compounds in algae. In H. Domínguez (Ed.), *Functional Ingredients from Algae for Foods and Nutraceuticals*. Woodhead Publishing. (pp. 205–251).
52) Kumar, R., Vijayaraghavan, K., Thilakavathi, M., Iyer, P. R., & Velan, M. (2006). Seaweeds for the remediation of wastewaters contaminated with zinc (II) ions. *Journal of Hazardous Materials, 136*(3), 791–799.
53) Letts, E. A., & Richards, E. H. (1911). Report on green seaweeds and especially ***Ulva latissima*** in relation to the pollution of the waters in which they occur. *In Royal Commission on Sewage Disposal*; 7th Report, Appendix III, Section II. HMSO: London, UK.
54) Lordan, S., Ross, R. P., & Stanton, C. (2011). Marine bioactives as functional food ingredients: Potential to reduce the incidence of chronic diseases. *Marine Drugs, 9*, 1056–1100.
55) Lourenço, S. O., Barbarino, E., Nascimento, A., Freitas, J. N. P., & Diniz, G. S. (2006). Tissue nitrogen and phosphorus of seaweeds in a tropical eutrophic environment: What a long-term study tells us. *Journal of Applied Phycology, 18*(3-5), 389-398. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5670-3_21
56) Lourie, E., Patil, V., & Gjengedal, E. (2010). Efficient purification of heavy-metal contaminated water by microalgae-activated pine bark. *Water, Air, & Soil Pollution, 210*, 493–500.
57) Malta, E.-J., Draisma, S. G. A., & Kamermans, P. (1999). Free-floating ***Ulva*** in the Southwest Netherlands: Species or morphotypes? A morphological, molecular and ecological comparison. *European Journal of Phycology, 34*, 443–454.
58) Mansori, M., Chernane, H., Latique, S., Benaliat, A., Hsissou, D., & El Kaoua, M. (2015). Seaweed extract effect on water deficit and antioxidative mechanisms in bean plants (Phaseolus vulgaris L.). *Journal of Applied Phycology, 27*(4), 1689–1698.
59) Mansori, M., Chernane, H., Latique, S., Benaliat, A., Hsissou, D., & El Kaoua, M. (2016). Effect of seaweed extract (***Ulva rigida***) on the water deficit tolerance of ***Salvia officinalis*** *L. Journal of Applied Phycology, 28*(2), 1363–1370.
60) Mantri, V. A., Kazi, M. A., Balar, N. B., Gupta, V., & Gajaria, T. (2020). Concise review of green algal genus ***Ulva Linnaeus***. *Journal of Applied Phycology, 32*(5), 2725–2741.
61) Martone, P. T., Estevez, J. M., Lu, F., Ruel, K., Denny, M. W., Somerville, C., & Ralph, J. (2009). Discovery of lignin in seaweed reveals convergent evolution of cell-wall architecture. *Current Biology, 19*(2), 169–175.
62) McCauley, J., Winberg, P. C., Meyer, B. J., & Skropeta, D. (2018). Effects of nutrients and processing on the nutritionally important metabolites of ***Ulva sp***. (Chlorophyta). *Algal Research, 35*, 586–594.
63) Mehta, S. K., & Gaur, J. P. (2005). Use of algae for removing heavy metal ions from wastewater: Progress and prospects. *Critical Reviews in Biotechnology, 25*(3), 113–152.
64) Mofeed, J. (2017). Biosorption of heavy metals from aqueous industrial effluent by non-living biomass of two marine green algae ***Ulva lactuca*** and ***Dunaliella salina*** as biosorbents. *The Egyptian Society for Environmental Sciences, 16*(1), 43–52.
65) Mohamed, R. M., Fawzy, E. M., Shehab, R. A., Ali, D. M., Salah El Din, R. A., & Abd El Fatah, H. M. (2021). Green biosynthesis, structural characterization and anticancer activity of copper oxide nanoparticles from the brown alga ***Cystoseira myrica***. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries, 25*(4), 341–358.
66) Mohamed, R. M., Thabet, R. A., Akladious, S. A., & Salah El Din, R. A. (2016). The effects of using some heavy metals on certain physiological aspects of ***Chlorella vulgaris*** Beyerinck and ***Scenedesmus quadricauda*** (Turp) de Brébisson. *Egyptian Journal of Biotechnology, 51*(2), 84–103.
67) Morelli, A., Betti, M., Puppi, D., & Chiellini, F. (2016). Design, preparation and characterization of ulvan-based thermosensitive hydrogels. *Carbohydrate Polymers, 136*, 1108–1117.
68) Murugesan, A. G., Moheswari, S., & Bagirath, G. (2008). Biosorption of cadmium by live and immobilized cells of ***Spirulina platensis***.

the regeneration of articular cartilage. *Critical Reviews in Biotechnology, 3*, 410–424.
79) Rathi, B. S., Mehta, J. S., Mohan, D., & Thakur, I. S. (2021). Contamination of water resources in industrial zones. *Environmental Pollution, 268*, 245-260. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.1158972
80) Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2005). *Biology of plants* (7th ed.). New York, NY: W. H. Freeman and Company.
81) Raybak, A. (2018). Species of ***Ulva*** (Ulvophyceae, Chlorophyta) as indicators of salinity. *Ecological Indicators, 85*, 253–261.
82) Robert, E. L. (2008). *Phycology* (4th ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
83) Sandau, E., Sandau, P., Pulz, O., & Zimmermann, M. (1996). Heavy metal sorption by marine algae and algal by-products. *Acta Biotechnologica, 16*(2–3), 103–119.
84) Sanjeewa, K. K., Kim, E. A., Son, K. T., & Jeon, Y. J. (2016). Bioactive properties and potential cosmeceutical applications of phlorotannins isolated from brown seaweeds: A review. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 162*, 100–105.
85) Sari-Chmayssem, N., Taha, S., Mawlawi, H., Guégan, J.-P., Jeftić, J., & Benvegnu, T. (2018). Extracted ulvans from green algae ***Ulva linza*** of Lebanese origin and amphiphilic derivatives: Evaluation of their physico-chemical and rheological properties. *Journal of Applied Phycology, 30*(3), 1–16.
86) Sarma, U., Hoque, M. E., Thekkangil, A., Venkatarayappa, N., & Rajagopal, S. (2024). Microalgae in removing heavy metals from wastewater – An advanced green technology for urban wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials Advances, 15*, 1-13, 100444.
87) Schiewer, S., & Volesky, B. (2000). *Biosorption processes for heavy metal removal. In D. R. Lovley* (Ed.), Environmental Microbe-Metal Interactions (329–357). Washington, DC: ASM Press.
88) Schiffner, V., & Vatova, A. (1938). The algae of the lagoon: Chlorophyceae, Phaeophyceae, Rhodophyceae, Myxophyceae. In M. Minio (Ed.), *The Lagoon of Venice* (Vol. 3, p. 250). Venezia, Italy. (In Italian)
89) Siddhanta, A. K., Chhatbar, M. U., Mehta, G. K., Sanandiya, N. D., Kumar, S., Oza, M. D., Prasad, K., & Meena, R. (2011). The cellulose contents of Indian seaweeds. *Journal of Applied Phycology, 23*(5), 919–923.
90) Siddhanta, A. K., Prasad, K., Meena, R., Prasad, G., Mehta, G. K., Chhatbar, M. U., Oza, M. D., *International Journal of Environmental Research, 2*(3), 307–312.
69) Naujokas, M. F., Anderson, B., Ahsan, H., Aposhian, H. V., Graziano, J. H., Thompson, C., & Suk, W. A. (2013). The broad scope of health effects from chronic arsenic exposure: Update on a worldwide public health problem. *Environmental Health Perspectives, 121*(3), 295–302.
70) Neto, R. T., Marçal, C., Queirós, A. S., Abreu, H., Silva, A. M. S., & Cardoso, S. M. (2018). Screening of ***Ulva rigida***, ***Gracilaria sp***., ***Fucus vesiculosus*** and ***Saccharina latissima*** as functional ingredients. *International Journal of Molecular Sciences, 19*,(10), 1-17 2987; **https://doi.org/10.3390/ijms19102987**
71) Ometto, A. R., Whitton, R., Coulon, F., Jefferson, B., & Villa, R. (2014). Improving energy balance of an integrated microalgal wastewater treatment process. *Waste and Biomass Valorization, 5*(2), 245–253.
72) Paiva, L., Lima, E., Neto, A. I., & Baptista, J. (2016). Isolation and characterization of angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptides from ***Ulva rigida*** C. Agardh protein hydrolysate. *Journal of Functional Foods, 26*, 65–76.
73) Pavasant, P., Apiratikul, R., Sungkhum, V., Suthiparinyanont, P., Wattanachira, S., & Marhaba, T. F. (2006). Biosorption of Cu^{2+}, Cd^{2+}, Pb^{2+}, and Zn^{2+} using dried marine green macroalga ***Caulerpa lentillifera***. *Bioresource Technology, 97*(18), 2321–2329.
74) Pedersen, M. F., & Borum, J. (1997). Nutrient control of estuarine macroalgae: Growth strategy and the balance between nitrogen requirements and uptake. *Marine Ecology Progress Series, 161*, 155–163.
75) Pérez, M. J., Falqué, E., & Domínguez, H. (2016). Antimicrobial action of compounds from marine seaweed. *Marine Drugs, 14*(3), 1-38 52 https://doi.org/10.3390/md14030052
76) Peter, N. R., Raja, N. R., Rengarajan, J., Pillai, A. R., Kondusamy, A., Saravanan, A. K., Paran, B. C., & Lal, K. K. (2024). A comprehensive study on ecological insights of ***Ulva lactuca*** seaweed bloom in a lagoon along the southeast coast of India. *Ocean & Coastal Management, 248*, 106964. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106964
77) Plum, L. M., Rink, L., & Haase, H. (2010). The essential toxin: Impact of zinc on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 7*(4), 1342–1365.
78) Popa, E. G., Reis, R. L., & Gomes, M. E. (2014). Seaweed polysaccharide-based hydrogels used for

controls N mineralization in soil. *European Journal of Soil Biology, 47*(4), 243–246.
102) Vieira, R. H. S. F., & Volesky, B. (2000). Biosorption: A solution to pollution. *International Microbiology, 3*(1), 17–24.
103) Vijayaraghavan, K., & Yun, Y. S. (2008). Bacterial biosorbents and biosorption. *Biotechnology Advances, 26*(3), 266–291.
104) Villares, R., Puente, X., & Carballeira, A. (1999). Nitrogen and phosphorus in ***Ulva*** sp. in the Galician Rias Bajas (northwest Spain): Seasonal fluctuations and influence on growth. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía, 15*, 337–341.
105) Violle, N., Rozan, P., Demais, H., Nyvall Collen, P., & Bisson, J.-F. (2018). Evaluation of the antidepressant- and anxiolytic-like effects of a hydrophilic extract from the green seaweed ***Ulva sp***. in rats. *Nutritional Neuroscience, 21*(4), 248–256.
106) Volesky, B. (1992). Removal of heavy metals by biosorption. In M. R. Ladisch & A. Bose (Eds.), *Harnessing Biotechnology for the 21st Century* (462–466). American Chemical Society.
107) Wald, J. (2010). *Evaluatiestudie naar mogelijkheden voor grootschalige zeewierteelt in het Zuidwestelijke Deltagebied, in het bijzonder de Oosterschelde*. Plant Research International, 1-94.
108) Wang, J. L. (2002). Immobilization techniques for biocatalysts and water pollution control. *Science Press Beijing*.
109) Wichard, T., Charrier, B., Mineur, F., Bothwell, J. H., De Clerck, O., & Coates, J. C. (2015). The green seaweed ***Ulva***: A model system to study morphogenesis. *Frontiers in Plant Science, 6*, 72-82.
110) Yabe, T., Ishii, Y., Amano, Y., Koga, T., Hayashi, S., Nohara, S., & Tatsumoto, H. (2009). Green tide formed by free-floating ***Ulva sp***. at Yatsu tidal flat, Japan. *Limnology, 10*(3), 239–245.
111) Yaich, H., Garna, H., Besbes, S., Paquot, M., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Chemical composition and functional properties of ***Ulva lactuca*** seaweed collected in Tunisia. *Food Chemistry, 128*(4), 895–901.
112) Yanagisawa, M., Nakamura, K., Ariga, O., & Nakasaki, K. (2011). Production of high concentrations of bioethanol from seaweeds that contain easily hydrolyzable polysaccharides. *Process Biochemistry, 46*(11), 2111–2116.
113) Zahir, F., Rizwi, S. J., Haq, S. K., & Khan, R. H. (2005). Toxicity of mercury: A review. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering, 2*(3), 161–174.
Kumar, S., & Sanandiya, N. D. (2009). Profiling of cellulose content in Indian seaweed species. *Bioresource Technology, 100*(24), 6669–6673.
91) Sivakumar, G., Vail, D., Xue, J., Bruner, D., Lay, J., Ge, X., & Weathers, P. (2010). Bioethanol and biodiesel: Alternative liquid fuels for future generations. *Engineering in Life Sciences, 10*(1), 8–18.
92) Smetacek, V., & Zingone, A. (2013). Green and golden seaweed tides on the rise. *Nature, 504*(7478), 84–88. https://doi.org/10.1038/nature12860
93) Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution, 100*(1–3), 179–196.
94) Soeprobowati, T. R., & Hariyati, R. (2014). Phycoremediation of Pb^{2+}, Cd^{2+}, Cu^{2+}, and Cr^{3+} by ***Spirulina platensis***. *American Journal of BioScience, 2*(4), 165–170.
95) Soliman, A. S., Ahmed, A. Y., Abdel-Ghafour, S. E., El-Sheekh, M. M., & Sobhy, H. M. (2018). Antifungal bio-efficacy of the red algae ***Gracilaria confervoides*** extracts against three pathogenic fungi of cucumber plant. *Middle East Journal of Applied Sciences, 8*(3), 727–735.
96) Soliman, R. M., Younis, S. A., El-Gendy, N. S., Mostafa, S. S. M., El-Temtamy, S. A., & Hashim, A. I. (2018). Batch bioethanol production via the biological and chemical saccharification of some Egyptian marine macroalgae. *Journal of Applied Microbiology, 125*(2), 422–440.
97) Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metals toxicity and the environment. ***Experientia Supplementum***, *101*, 133–164.
98) Ting, Y., Lowson, F., & Prince, I. G. (1991). Uptake of cadmium and zinc by the algae ***Chlorella vulgaris***. *Biotechnology and Bioengineering, 37*(5), 445–455.
99) Torres, E., Cid, A., Herrero, C., & Abalde, J. (1998). Removal of cadmium ions by the marine diatom Phaeodactylum tricornutum (Bohlin): Accumulation and long-term kinetics of uptake. *Bioresource Technology, 63*(3), 213–220.
100) Tüzün, İ., Bayramoğlu, G., Yalçın, E., Başaran, G., Çelik, G., & Arıca, M. Y. (2005). Equilibrium and kinetic studies on biosorption of Hg(II), Cd(II) and Pb(II) ions onto microalgae ***Chlamydomonas reinhardtii***. *Journal of Environmental Management, 77*(2), 85–92.
101) Vahdat, E., Nourbakhsh, F., & Basiri, M. (2011). Lignin content of range plant residues

114) Zhang, C., Lu, J., Wu, J., & Luo, Y. (2019). Phycoremediation of coastal waters contaminated with bisphenol A by green tidal algae ***Ulva prolifera***. *Science of the Total Environment, 661*, 55–62.

115) Zhang, P., Yang, F., Li, H., Li, Y., Liu, M., Wang, Y., & Li, Q. (2022). Water quality degradation due to heavy metal contamination: Health impacts and eco-friendly approaches for heavy metal remediation. *Toxics*, *11*(10), 828.1-15.

المصادر العربية:

1. إبراهيم، ع. م. (2018). دراسة مقارنة للامتزاز الحيوي لبعض الطحالب البحرية في إزالة المعادن الثقيلة من المياه العادمة الصناعية. *مجلة البحوث البيئية، 25*(3)، 101-115.
2. الأسدي، ر. ك. ع. (2014). *استعمال بعض أنواع الطحالب والنباتات المائية في المعالجة الحيوية لمياه محطات المعالجة الحيوية في مدينة الديوانية – العراق* (أطروحة دكتوراه). كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة القادسية.
3. أل خير الله، ر. ج. خ. (2008). *دراسة التأثير السمي لأيوني للكادميوم والرصاص في نمو نوعين من الطحالب Chlorella vulgaris وOscillatoria limosa* (رسالة ماجستير، كلية التربية، جامعة ذي قار).
4. البيضاني، م. ف. (2009). *قابلية بعض أنواع السيانوبكتيريا على مراكمة الهيدروكاربونات الأروماتية وبعض العناصر الثقيلة* (رسالة ماجستير، كلية التربية، جامعة البصرة).
5. حسين، ع. م. (2024). المعالجة الحيوية لبعض العناصر المعدنية الثقيلة باستعمال بعض الطحالب الدقيقة. *مجلة العلوم البيئية، 12*(3)، 45-62.
6. السعودي، ل. ف. ي. (1998). *تنقية المياه العادمة من المغذيات الرئيسية والمعادن الثقيلة باستخدام تقانات الطحالب الدقيقة المثبتة* (رسالة ماجستير: جامعة آل البيت، كلية الآداب والعلوم، الأردن. 1-68).
7. سلمان، ك. ح. (2019). *دراسة إمكانية استخدام بعض أنواع الطحالب في معالجة مياه الصرف الصحي لتحليل كفاءتها*. جامعة القادسية.1-34.
8. شويرب، م. ص. (2020). *استخدام الكتلة الحيوية للطحالب Corallina officinalis وUlva lactuca في إزالة الرصاص والنحاس والكوبلت والزنك من المحاليل المائية* (رسالة ماجستير، جامعة الإسكندرية، كلية العلوم).
9. عباس، ي. خ.، العبادي، ع. ل. ر.، والبدري، س. ح. (2012). مقارنة القدرة التراكمية لنبات الكطل ***Hydrilla verticillata*** والطحلب الأخضر ***Scenedesmus demorphus*** للعناصر الثقيلة. *مجلة جامعة ذي قار للبحوث الزراعية، 2*، 163-174
10. عباس، م. ع. (2004). *حماية البيئة من التلوث: حماية للحياة* (الطبعة 1). الإسكندرية: دار الوفاء لدنيا الطباعة والنشر.
11. عبد الجبار، أ. ش. (2008). تقدير كفاءة الطحلبين ***Nostoc linckia*** و***Oscillatoria limosa*** في إزالة بعض العناصر الثقيلة من مياه الفضلات في محطة طاقة الناصرية الحرارية. *مجلة أبحاث البصرة (العلوم)، 34*(2)، 15-21.
12. عذبي، أ. م.، ناصر، ص. ن.، وعيال، ع. ر. (2015 أ). المعالجة الحيوية لبعض العناصر المعدنية الثقيلة باستعمال بعض الطحالب الخضر المزرقة المعزولة من نهر الفرات عند مدينة الناصرية. *مجلة جامعة ذي قار للبحوث الزراعية، 4*(2)، 1-18.
13. عذبي، أ. م.، ناصر، ص. ن.، وعيال، ع. ر. (2015 ب). دور بعض الطحالب الخضر المزرقة في المعالجة الحيوية لبعض العناصر المعدنية الثقيلة. *مجلة كلية التربية للعلوم الصرفة – جامعة البصرة، 5*(2)، 1-13.
14. الفرحان، ص. ر. (2010). *دراسة بيئية للطحالب القاعدية في بعض الأنظمة البيئية المائية في محافظة البصرة* (رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة البصرة، 247).
15. كاظم، ن. ف. (2017). *المعالجة الحيوية للعناصر الثقيلة باستخدام بعض الطحالب والنباتات المائية مع تحديد الاستجابات الكيموحيوية والجزيئية* (رسالة دكتوراه، جامعة الكوفة، كلية العلوم).
16. لايقة، ح. د.، عباس، آ.، وحريبة، ي. (2016). تحديد بعض العناصر المعدنية الثقيلة النزرة في أنواع من الطحالب البحرية على شاطئ مدينة بانياس. *مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الأساسية، 38*(2)،69-82.
17. محمد، م. ح.، السعدي، ح. ع.، وقاسم، ث. إ. (2002). التأثير التراكمي لبعض المعادن الثقيلة في طحلب ***Scenedesmus quadricauda*** *المجلة العراقية لعلم الأحياء، 2*(**1**)، 24-31.
18. موسى، ي. م.، أبو الخير، و. س.، علي، ع. ح.، وعبد العظيم، هـ. (2024). كفاءة الكتلة الحيوية الجافة لطحلب أولفا لاكتيوكا في إزالة الملوثات البترولية .*مجلة علوم البيئة، 53*(**1**)، 193 - 223.
https://doi.org/10.21608/jes.2024.246830.1662
19. يوسف، ي. م. (2024 ب). *استخدام الطحالب لتنقية المياه من الرصاص*. (رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة عين شمس، كلية العلوم، قسم العلوم البيئية).

المواقع الإلكترونية:

مغازي، ر. (2025). اســـتخدام الطحالب في مُعالجة المياه.. آلياتها وطُرق الاستفادة منها. *مصر الزراعية*. **https://misrelzraea.com**

الملاحق:

استبيان

استبيان عن : استخدام الطحالب في تنقية المياه من المعادن الثقيلة

الهدف من الاستبيان: يهدف هذا الاستبيان الى قياس مدى معرفة الطلاب بدور الطحالب في تنقية المياه من المعادن الثقيلة والتعرف على مستوى وعيهم بهذا الموضوع.

عينة البحث: عدد 60 طالب

رقم السؤال	الأسئلة	نعم	لا	الى حد ما
1	هل لديك معرفة سابقة عن تلوث المياه بالمعادن الثقيلة؟			
2	هل تعتقد أن تلوث المياه يمثل خطراً كبيراً على الصحة العامة؟			
3	هل ترى أن المجتمع المحلي يهتم بمشكلة تلوث المياه؟			
4	هل تعرف أن المعادن الثقيلة مثل الكادميوم والزئبق و النحاس من أخطر الملوثات؟			
5	هل لديك معلومات حول طرق تنقية المياه التقليدية؟			
6	هل ترى أن الطرق التقليدية كافية لمعالجة مشكلة تلوث المياه؟			
7	هل كنت تعرف أن الطحالب يمكن استخدامها في تنقية المياه؟			
8	هل ترى أن استخدام الطحالب وسيلة فعالة في إزالة المعادن الثقيلة؟			
9	هل ترى أن إستخدام الطحالب طريقة آمنة وصديقة للبيئة؟			
10	هل تعتقد أن هناك فوائد بيئية اخرى لاستخدام الطحالب؟			
11	هل ترى أن الطحالب يمكن أن تساهم في تحسين جودة المياه الصالحة للشرب؟			
12	هل تعتقد أن الطحالب قادرة على امتصاص الملوثات بكفاءة عالية؟			
13	هل ترى أن الطحالب يمكن استخدامها في معالجة مياه الصرف الصحي؟			
14	هل تعتقد أن التوسع في استخدام الطحالب سيساعد في حماية الموارد المائية؟			
15	هل ترى ان الطحالب يمكن أن يكون بديلاً فعالاً للطرق الكيميائية في معالجة المياه؟			
16	هل تعتقد أن دعم الأبحاث حول استخدام الطحالب في التنقية سيساهم في تحسين جودة المياه؟			
17	هل تعتقد أن التنقية الطبيعية كافية للتخلص من هذه المعادن بالكامل؟			
18	هل ترى أن التعليم والتوعية يمكن أن يقللا من تلوث المياه بالمعادن الثقيلة؟			
19	هل ترى أن الحكومات تبذل جهوداً كافية لمكافحة تلوث المياه بالمعادن الثقيلة؟			
20	هل تعتقد أن هناك حاجة لمزيد من التجارب حول الطحالب في تنقيه المياه؟			
21	هل ترى أن نتائج هذا المشروع يمكن أن تساهم في تحسن جودة المياه؟			
22	هل تعتقد أن هذه الطريقة تستحق الدعم والتمويل؟			
23	هل تعتقد أن هناك حاجة لبرامج تعليمية حول فوائد استخدام الطحالب في معالجة المياه؟			
24	هل تعتقد أن المدارس والجامعات يجب أن تدرس موضوع استخدام الطحالب في معالجة المياه؟			
25	هل تعتقد أن هناك حاجة لتطوير تقنيات جديدة لاستخدام الطحالب في معالجة المياه ؟			
26	هل تعتقد أن المجتمع سيكون متقبلاً لاستخدام الطحالب في معالجة المياه؟			