

دراسة كفاءة إزالة الطحالب باستخدام تقنية الأمواج فوق الصوتية في المياه السطحية

م. آلاء معروف* د. م. حسين جنيدي** د. م. قينان ابراهيم**

(الإيداع: 9 تشرين الأول 2023، القبول: 2 كانون الثاني 2024)

الملخص:

يسبب تنوع الأنشطة البشرية والتوسع في العمل الزراعي إلى زيادة مخزون المغذيات التي تصل إلى المسطحات المائية مسببة إزهار الطحالب، مما يتطلب معالجة مياه البحيرات باستخدام طرائق عدة منها تقنية الأمواج فوق الصوتية. جمعت عينات المياه من بحيرة سوريت، اللاذقية في فترة ازدهار الطحالي، وتم زراعة الطحالب في وسط مكون من السماد التجاري (NPK 20:20:20) تحت ظروف الإضاءة الطبيعية. تمت دراسة أجناس الطحالب الموجودة، وجنس الطحالب المسيطر باستخدام تقانة المجهر الضوئي. للتحكم بنمو الطحالب ومعالجة المياه تم تطبيق الأمواج فوق الصوتية بتردد منخفض 40 كيلو هرتز وكثافة 0.024 واط/سم³ في فترات زمنية مختلفة ودراسة تأثيرات زمن المعالجة على تغير تركيز الخلايا. أشارت النتائج إلى انخفاض تركيز الكلوروفيل أ (من 0.98 إلى 0.58 ملغ/ل) أي بنسبة (41%) بعد تعريضها للأمواج فوق الصوتية لمدة 80 دقيقة. دلت النتائج أن استخدام الأمواج فوق الصوتية فعال حيث لا يتم استخدام مواد كيميائية ضارة أو مسببة للتلوث، مما يجعلها بديلاً صديقاً للبيئة مقارنة بالطرائق التقليدية للتخلص من الطحالب في المسطحات المائية.

الكلمات المفتاحية: الأمواج فوق الصوتية، الطحالب، الإثراء الغذائي، تردد.

* طالبة ماجستير في قسم هندسة النظم البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** مدرس في قسم هندسة النظم البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Study the efficiency of Ultrasonic Technology in Removal of Algae from Surface Waters

Kinan A. Ibrahim ** Hussain Junide ** Alaa Maarouf *

(Received: 9 October 2023, Accepted: 2 January 2024)

Abstract:

The diversity of human activities and the expansion of agricultural work led to an increase in nutrient accumulation, which reached aquatic ecosystems, causing algal blooms. This highlighted the importance of the treatment of surface waters using various methods, including ultrasound technology. Water samples were collected from Soriet Lake, Lattakia during an algal bloom period. Algae were cultivated in a medium composed of commercial fertilizer (NPK 20:20:20) under natural light conditions. The dominant algae genus was identified using a light microscope, and ultrasound waves with a low frequency of 40 kHz and a power density of 0.024 W/cm^3 were applied at different time intervals (0 – 80 minutes) at time intervals of 5 minutes. Changes in cell concentration were studied as a result of varying treatment times. The results indicated a decrease in Chlorophyll-a concentration, from 0.98 to 0.58 mg/l, representing a 41% reduction after exposure to ultrasound waves for 80 minutes. Based on these findings, the use of ultrasound waves appeared to be an effective method. It may avoid the use of harmful chemicals and pollution, making it an environmentally friendly alternative compared to traditional methods for algae control in aquatic ecosystems.

Keywords: Ultrasound Waves, Algae, Eutrophication, Frequency.

* Masters Student at the Department of Environmental Systems Engineering, High Institute of Environmental Research, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Lecturer at the Department of Environmental Systems Engineering, High Institute of Environmental Research, Tishreen University, Lattakia, Syria.

المقدمة:

تُوفر المياه السطحية، بشكل عام، بما فيها البحيرات، الأنهار وخزانات المياه الخدمات البيئية الأساسية مثل مياه الشرب والري (Jeppesen *et al.*, 2015). عالمياً من المتوقع أن تزداد المغذيات في المسطحات المائية، استجابةً للتحميل المتزايد لها بسبب النشاطات البشرية والتغير المناخي (Paerl and Huisman, 2009). حيث تُعتبر مركبات النتروجين والفوسفور من المغذيات المهمة إلا أن وجودها بتركيز عالية في الماء يسبب ظاهرة الإثراء الغذائي (Eutrophication)، وهي ظاهرة من ظواهر التلوث البيئي، حيث تؤدي إلى مشكلة إزهار الطحالب الذي يتبعها نقص في الأكسجين المذاب مما يؤثر، بشكل عام، على نوعية المياه، وبالتالي، فإن العثور على طرائق خضراء سهلة التشغيل لمعالجة المياه من حيث التحكم في النمو الطحلي تستهلك القليل من الطاقة، وتخفض الاستخدام الكيميائي وتكاليف المعالجة تمثل تحدياً كبيراً، حيث أكدت الدراسات الحديثة أن استخدام الأمواج فوق الصوتية طريقة صديقة للبيئة للتحكم في نمو الطحالب في المياه العذبة (Purcell, 2010; kong *et al.*, 2022).

1.1.1. الأمواج فوق الصوتية:

الأمواج فوق الصوتية هي الأمواج الصوتية التي يزيد ترددها عن 20 كيلو هرتز (Dehghani, 2016). تنتشر الاهتزازات فوق الصوتية في الأوساط الغازية والسائلة والصلبة، وتختلف سرعة الانتشار حسب تركيب المادة حيث يمكن أن تساعد الأمواج فوق الصوتية في التحكم في نمو الطحالب (Peng *et al.*, 2023). عندما يتم تطبيق الأمواج فوق الصوتية في الماء تتسبب في حدوث ظاهرة التجويف الصوتي حيث تؤدي الأمواج فوق الصوتية التي تنتشر في الأوساط السائلة إلى دورات ضغط عالي وضغط منخفض متبادلة. أثناء دورة الضغط المنخفض (مرحلة الخلطة)، تخلق الأمواج فوق الصوتية عالية الشدة فقاعات صغيرة في السائل عندما تصل الفقاعات إلى حجم معين لا تستطيع فيه امتصاص الطاقة تنهار بعنف خلال دورة الضغط العالي (مرحلة الانضغاط). خلال الانهيار، يتم الوصول إلى درجات حرارة وضغوط عالية (حوالي 4750 درجة مئوية، 990 ضغط جوي)، وتشكيل عدد من الجذور الحرة (Suslick & Price, 1999; Kong *et al.*, 2022). تشمل تطبيقات الأمواج فوق الصوتية التعقيم، الاستخلاص، والهضم اللاهوائي، ومعالجة المياه والصرف الصحي (Suslick, 1988; Shon *et al.*, 2004; Mason, 2007). تؤثر الأمواج فوق الصوتية بشكل سلبي على الهيكل والحالة الوظيفية للكائنات الحية ومن هذه الكائنات الطحالب (Rott, 1998).

1.2. الطحالب:

هي كائنات حية مائية مصنفة بشكل منفصل عن النباتات، وهي كائنات ذاتية التغذية ذات أشكال أحادية ومتعددة الخلايا (Doosti *et al.*, 2012)، موجودة في كل مكان وقادرة على التكيف مع البيئة، حيث تتواجد في المياه العذبة والبحار والجليد والينابيع الساخنة الجارية والترية وداخل الشقوق الصخرية (Purcell, 2010). تحتوي أنواع الطحالب على مجموعة متنوعة من الخلايا بأشكال وأحجام مختلفة من الأنواع أحادية الخلية إلى الأنواع متعددة الخلايا والمستعمرات، ومن البكتيريا الزرقاء الأولية الأصغر حجماً (السيانوبكتريا) إلى الأشكال الأكثر تطوراً مثل الدياتومات والطحالب الخضراء (Pearson, 1995b; Hoek *et al.*, 1995). ونظراً لأهمية هذا الموضوع، قام العديد من الباحثين بدراسة تأثير الأمواج فوق الصوتية للتحكم في نمو الطحالب في المياه: درس فريق من الباحثين عام 2020 تطبيق الأمواج فوق الصوتية منخفضة التردد ومنخفضة الكثافة وقصيرة المدة بدورتين تشجيع لإزالة الطحالب في المسطحات المائية. تم دراسة الجنس *Microcystis* sp وهو الجنس الأكثر انتشاراً المسؤول عن ظاهرة إزهار الطحالب المسببة لنقص الأكسجين في البحيرات الغنية بالمغذيات في

جميع أنحاء العالم. تمت تنمية *M. aeruginosa* في وسط BG-11 القياسي في حاضنة عند درجة حرارة 25 درجة مئوية، وتم ضبط شدة الضوء على 2300 لوكس مع دورة (ضوء/ ظلام) 12/12 ساعة. توصل الباحثون إلى مجموعة من النتائج أهمها:

- أن تطبيق الأمواج فوق الصوتية بكثافة عالية ومدة طويلة كان له أفضل تأثير لإزالة الطحالب، ومع ذلك، فإن تطبيق تلك الترددات العالية ولفترات تعرض طويلة من المحتمل أن يكون له تأثير سلبي على الكائنات المائية الأخرى.
- لمعالجة هذه المشكلة تم اقتراح تطبيق دورتين من الأمواج فوق الصوتية، من التردد المنخفض (20 كيلو هرتز) والكثافة المنخفضة (0.0025 واط / مل) على مدى فترة قصيرة (دقيقة واحدة) وبفاصل زمني بين الدورتين (36 ساعة)، وكان معدل إزالة الكلوروفيل أ حوالي 87%. تتميز هذه الطريقة بأنها ذات تكلفة منخفضة، وأقل ضرراً للأنواع المائية (Huang et al.,2020).

تم في عام 2016 تطبيق الأمواج فوق الصوتية بتردد 24 كيلو هرتز على ثلاثة أجناس من الطحالب وهي *Chlorella sp*، *Spirulina sp*، *Nostoc muscorum* حيث تمت دراسة التغيرات المورفولوجية بعد المعالجة بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، ودراسة تأثير زمن المعالجة على تغير تركيز الخلايا، وبالنتيجة، انخفض تركيز الخلايا بعد المعالجة للأنواع الثلاثة بشكل كبير، وكان التأثير الأقل للأمواج فوق الصوتية على *Chlorella sp* وذلك بسبب بنية الجدران السلولوزية لخلايا *Chlorella sp* أما *Nostoc muscorum* و *Spirulina sp* تمزقت بشكل أكبر بسبب البنية الخيطية لها، وبالتالي، زيادة تأثير التجويف الصوتي الذي يسبب تمزق وضرر الخلايا الطحلبية (Mullick & Neogi.,2016). تناولت الدراسات السابقة معالجة المياه الحاوية على الطحالب في مناطق مختلفة حيث استخدم بعض الباحثين ترددات مختلفة، بينما استخدم آخرون أوقات تعرض وطاقت وأنواع أجهزة مختلفة، وهذا يعتمد على طريقة المعالجة وتركيز ونوع الطحالب الموجودة في المياه وحجم المياه، بالإضافة إلى معايير أخرى.

2. أهمية البحث

تجلت أهمية البحث في حماية بحيرة سوريث من النمو الطحلي لتخفيف حمولات التلوث في المنطقة المحيطة ببحيرة السن. حيث أن كثرة الأنشطة البشرية في حوض السن يكون سبباً في زيادة المغذيات بشكل مستمر في بحيرة سوريث مما يؤدي إلى نمو الطحالب؛ وإن تموت الطحالب بسبب زيادة في الكربون العضوي الذائب والذي يؤثر على نوعية المياه في البحيرة.

3. أهداف البحث

تحديد أجناس الطحالب المسيطرة في بحيرة سوريث واستخدام تقنية الأمواج فوق الصوتية لمعالجة الطحالب المأخوذة من بحيرة سوريث.

4. مواد وطرائق البحث

4.1. منطقة الدراسة:

تقع بحيرة سوريث ضمن وإضيق أسفل هضبة صخرية على الحدود الإدارية الفاصلة بين محافظتي اللاذقية وطرطوس. تقع بحيرة سوريث جنوب بحيرة السن وتشاركها في حوضها المغذي كما هو مبين في الشكل 1، يتغذى الحامل المائي الرئيس لبحيرة السن من مياه الأمطار والثلوج الهاطلة على المرتفعات في شرق المنطقة (الأزكي، 2013)، تتدفق مياه بحيرة سوريث من عدة ينابيع إلى سرير نهر سوريث.

إن أهمية بحيرة سوريث لا تقل عن أهمية نبع السن على الرغم من عدم استخدامه لأغراض الشرب حالياً، وذلك بسبب العلاقة العضوية التي تربط بينهما وهذا يمكن أن يسبب انتقال الملوثات من بحيرة سوريث إلى بحيرة السن، تتخفف غزارة بحيرة سوريث خلال فصل الصيف ويجف بعضها (مديرية اللاذقية، 2016).



الشكل رقم(1): صورة جوية لمنطقة الدراسة – اللاذقية – بحيرة سوريث-جنوب بحيرة السن

4.2. جمع عينات المياه وتحليلها:

جمعت العينات المائية خلال فترة الانفجار الطحلي في فصل الربيع من العام 2022 من مواقع مختلفة من البحيرة. تم إرسال العينات مباشرة إلى المختبر حيث تم قياس البارامترات التالية: الأكسجين المستهلك كيميائياً COD، النترات NO_3^- ، الفوسفات PO_4^{3-} ، درجة الحموضة pH، درجة الحرارة T، المواد الصلبة المنحلة TDS، الناقلية الكهربائية EC، العكارة، كلوروفيل أ.

بعض الأجهزة المستخدمة:

- جهاز حقلي لقياس الناقلية والمواد الصلبة المنحلة و الأس الهيدروجيني (EC/TDS/pH/TEMP COMBO) (METER) موديل COM-100.
- جهاز مقياس الطيف الضوئي (Spectrophotometer) من شركة Shimadzu.
- جهاز الأمواج فوق الصوتية بتردد 40 كيلو هرتز، وبسعة 10 لتراً من شركة Jeken.

بعض المواد الكيميائية المستخدمة:

حمض الكبريت المركز، موليبدات الأمونيوم $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ، كلوريد القصدير SnCl_2 ، غليسول، محلول ثنائي كرومات البوتاسيوم $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ، مشعر الفيروئين، محلول كبريتات الحديدي النشادرية (ملح مور) $[\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ ، أسيتون نقي. تم إجراء القياسات الحقلية في الموقع، أما التجارب المخبرية فقد تم إجراؤها في مخابر المعهد العالي لبحوث البيئة، وذلك وفقاً للمعايير والطرق القياسية المعتمدة.



الشكل رقم (2): بحيرة سوريت

4.3. تنمية الطحالب

تمت زراعة الطحالب التي تم جمعها من بحيرة سوريت للوصول إلى أعلى تركيز من الطحالب، والمكونة بشكل أساسي من الدياتومات والطحالب الخضراء والبكتريا الزرقاء المخضرة في وسط مكون من السماد التجاري المتوازن NPK20:20:20 بإضافة 0.5 جرام/ لتر المذاب في الماء المقطر تحت ظروف الإضاءة الطبيعية وتمت التهوية عن طريق الفقاعات باستخدام مضخة هواء لحوض أسماك، (من شركة Atlantis، B1500) (Ezeani & Abu 2019)، وتم قياس الكثافة الضوئية (OD_{680}) كمؤشر لكثافة الخلية باستخدام مقياس الطيف الضوئي عند طول الموجة 680 نانومتر لمراقبة نمو الطحالب.

4.4. معرفة جنس الطحالب المسيطر في البحيرة

تم فحص العينات تحت المجهر الضوئي (Optical Microscope) لمعرفة جنس الطحالب المسيطر بعد تنمية الطحالب باستخدام المجهر الضوئي Optika B-350. تم تحديد أجناس الطحالب بالاستعانة بالخبراء بمخبر النبات في كلية العلوم في جامعة تشرين وبالاعتماد على عدة مراجع (نظام، 2009؛ الأشقر، 2011؛ Sheath، 2015؛ Sahoo & Seckbach، 2006؛ van Vuuren *et al.*، 2015؛ Wehr. &).

4.5. تعريض المياه للأمواج فوق الصوتية عند التردد 40 كيلو هرتز ولأوقات مختلفة:

تم استخدام جهاز الأمواج فوق الصوتية من شركة Jeken، المبين في الشكل (3) ذي التردد الثابت 40 كيلو هرتز، وبقوة 240 واطاً. تم وضع عينات المياه في بياض زجاجية داخل خزان الجهاز ذي السعة 10 لتراً وبأبعاد خزان $240 \times 300 \times 150$ مم، وتعريضها للأمواج فوق الصوتية عند الأوقات الزمنية التالية 0، 5، 10، 20، 30، 40، 50، 60، 70، 80 دقيقة.



الشكل (3) جهاز الأمواج فوق الصوتية

4.6. قياس تأثير التجويف الصوتي على عينات الطحالب:

تم قياس الكلوروفيل أ قبل وبعد المعالجة كمؤشر على عملية المعالجة حسب طريقة (LICHTENTHALER & 1983WELLBURN). استخلص الكلوروفيل أ من الطحالب باستخدام الأسيتون بتركيز 80% حيث تم تشغيل 10 مل من العينة لمدة 10 دقائق بسرعة 3000 دورة/ الدقيقة، ثم طرح السائل الطافي وجمد الراسب لمدة (30 دقيقة)، ثم أخرج أنبوب التثقيب من الثلاجة وسخن براحة اليد وتم إذابته باستخدام 10 مل من الأسيتون وقيمت الامتصاصية للسائل الطافي عند الأطوال الموجية (663,645) نانومتر.

5. النتائج والمناقشة Results and discussion

أولاً-نتائج البارامترات المقاسة لمياه بحيرة سوريا

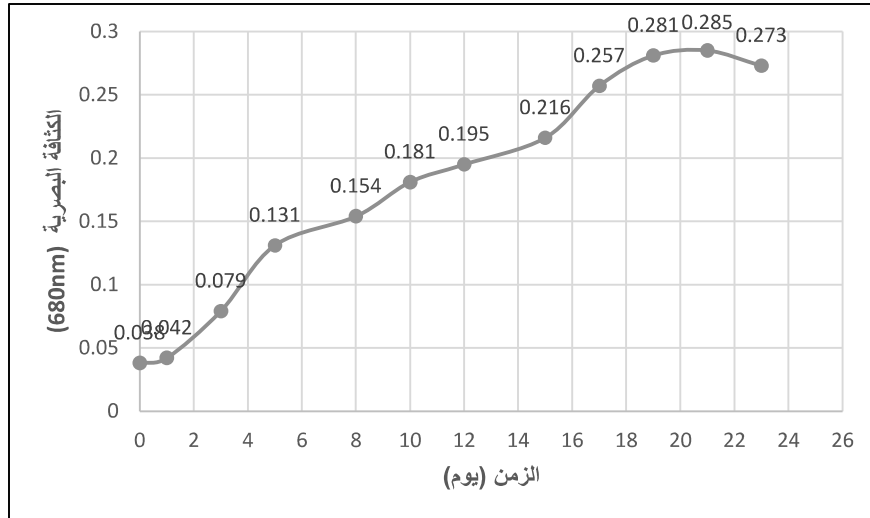
الجدول رقم (1): نتائج البارامترات المقاسة لمياه بحيرة سوريا بتاريخ 2022/4/17

العكارة	T	pH	TDS	EC	PO ₄ ⁻³	NO ₃ ⁻	COD	البارامتر
NTU	درجة مئوية		(ملغ/ل)	(ميكروسيمنز/سم)	(ملغ/ل)	(ملغ/ل)	(ملغ/ل)	القيمة
3.65	1.19	6.92	271	552.6	0.14	8.895	13.2	

بالمقارنة مع المواصفات القياسية السورية لمياه الشرب تبين أن جميع البارامترات مطابقة للمواصفة القياسية السورية إلا أن قيمة الأكسجين المستهلك كيميائياً بلغت 13.2 (ملغ/ل). يمكن أن يعزى ذلك إلى انتقال الملوثات من الأراضي الزراعية إلى البحيرة ووجود مصدر تلوث بالقرب من البحيرة (مطعم) يقوم بصرف المخلفات الناتجة عنه إلى البحيرة.

ثانياً-تنمية الطحالب

يوضح الشكل (4) منحنى نمو الطحالب في وسط NPK 20:20:20


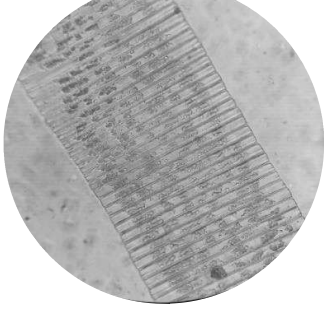
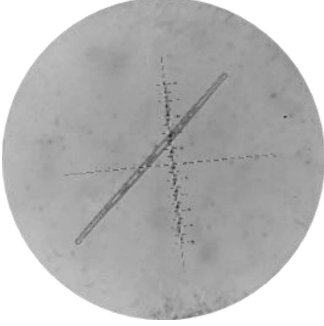
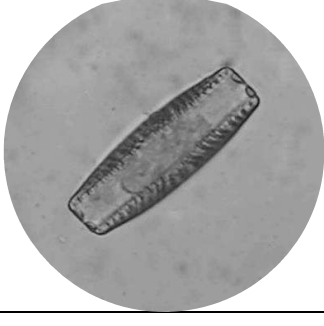

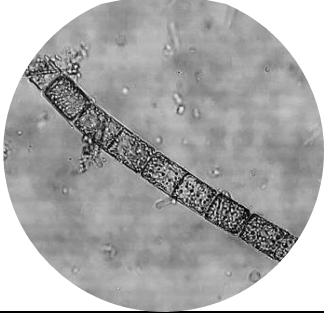
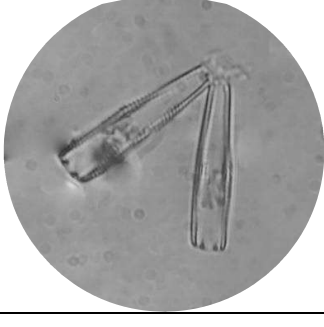
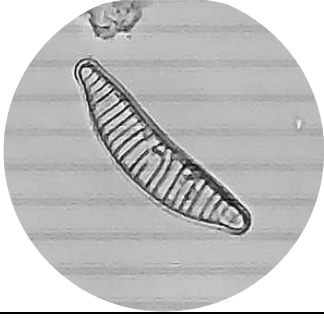
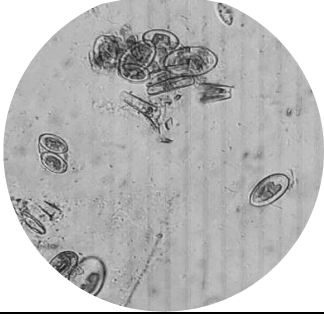


الشكل رقم (4): منحنى نمو الطحالب في وسط NPK

بينت الدراسة أن استخدام السماد التجاري المتوازن كمصدر للعناصر الغذائية يؤثر بشكل كبير على نمو الطحالب، حيث تم الوصول إلى ذروة نمو الطحالب (امتصاص الخلية) عند اليوم 21 بقيمة 0.285 عند ظروف الإضاءة الطبيعية. وبالتالي يعتبر سماد N:P:K المتوازن كوسط لنمو الطحالب بديل منخفض التكلفة وسهل الاستخدام، وهذا يعزى إلى العناصر الأساسية المكونة للسماد حيث يشكل النيتروجين جزءاً من البروتينات والحموض النووية والأنزيمات اللازمة لنمو الطحالب. يمكن أن يؤثر عنصر الفوسفور إيجابياً على عمليات الاستقلاب الطحلي ويساهم في زيادة النمو السريع وهذا يجعله مهم جداً للتكاثر الخلوي وبنية الخلايا، أما عنصر البوتاسيوم فيعزز مقاومة الطحالب للظروف البيئية القاسية مثل التغيرات في درجات الحرارة ويجعلها أكثر قدرة على التكيف وهذا يتفق مع (Ezeani & Abu, 2019).



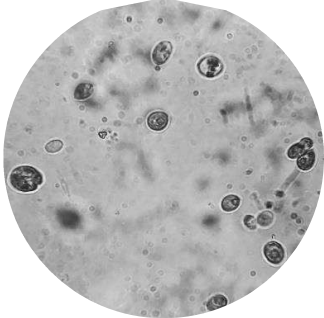
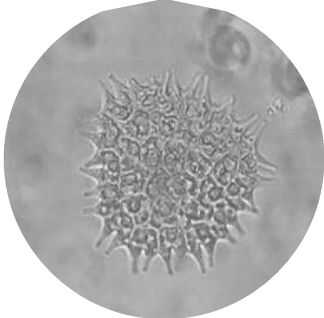

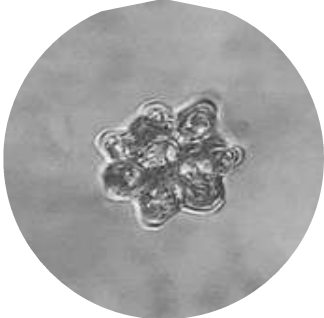

ثالثاً-طحالب المسيطرة

تم تحديد 21 جنساً من الطحالب، وكانت الطحالب المسيطرة الدياتومات. يمثل الشكل (5) صوراً مجهرية لأجناس الدياتومات التي تم ملاحظتها عند الدراسة، والتي تم الحصول عليها بواسطة المجهر الضوئي.

		
<i>Cymbella</i> sp	<i>Fragilaria</i> sp	<i>Synedra</i> sp
		
<i>Diatoma</i> sp	<i>Navicula</i> sp	<i>Melosira</i> sp
		
<i>Licmophora</i> sp	<i>Epithemia</i> sp	<i>Cocconeis</i> sp

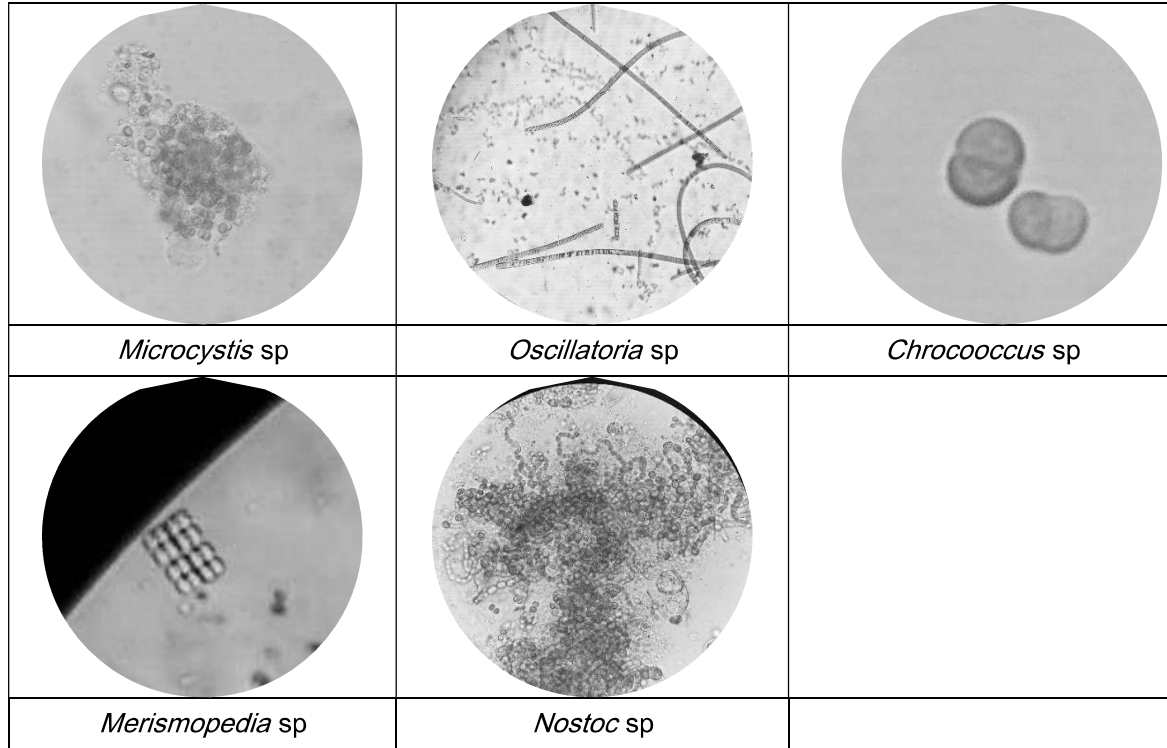
الشكل رقم (5): أجناس الدياتومات

يمثل الشكل (6) صوراً مجهرية لأجناس الطحالب الخضراء التي تم ملاحظتها عند الدراسة.

		
<i>Closterium</i> sp	<i>Cosmarium</i> sp	<i>Chlorella</i> sp
		
<i>Pediastrum</i> sp	<i>Haematococcus</i> sp	<i>Coelastrum</i> sp
		
	<i>Scenedesmus</i> sp	

الشكل رقم (6): أجناس الطحالب الخضراء

يمثل الشكل (7) صوراً مجهرية لأجناس الطحالب الخضراء المزرقمة التي تم ملاحظتها عند الدراسة.

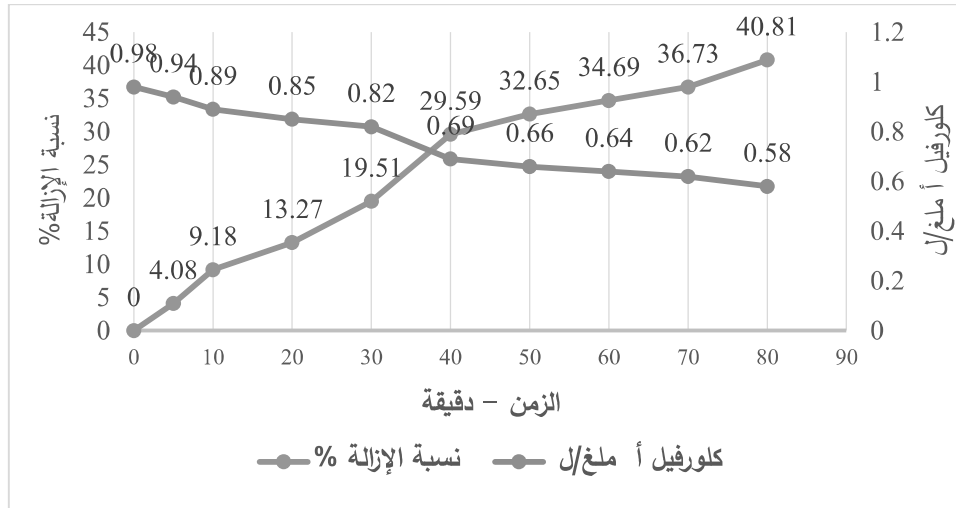


الشكل رقم (7): أجناس الطحالب الخضراء المزرقمة

تبين من خلال هذه الدراسة وجود الطحالب الخضراء المزرقمة، والتي من الممكن أن تكون سامة للعوالق الحيوانية والأسماك (Hao *et al.*, 2004). تنتج بعض الطحالب مثل *Oscillatoria sp* سموماً عصبية وسموماً كبدية. كما يسبب النمو الكثيف للجنس *Microcystis sp* إفراز مواد كيميائية التي تمنع الطحالب الأخرى من النمو، والتي يمكن أن تؤدي بشكل مباشر أو غير مباشر إلى موت الأسماك عن طريق الاختناق نتيجة نضوب الأكسجين، وبالتالي، من الضروري معالجة المياه عند وجود هذه الطحالب بتركيز عالية في المياه (Janse van Vuuren *et al.*, 2006).

رابعاً-تأثير الأمواج فوق الصوتية على التحكم في نمو الطحالب:

يبين الشكل (8) تغير قيم الكلوروفيل أ ونسبة الإزالة مع مدة التعرض للأمواج فوق الصوتية.



الشكل رقم (8): تغير قيم الكلوروفيل أ ونسبة الإزالة مع مدة التعرض للأمواج فوق الصوتية

أظهرت النتائج أن التردد 40 كيلو هرتز بقوة 240 واط وكثافة 0.024 واط/سم³ قد حد من نمو الطحالب بشكل ملحوظ بعد تعرضها للأمواج فوق الصوتية. انخفض الكلوروفيل أ في عينات الماء بعد تعرضها للأمواج فوق الصوتية من 0.98 ملغ/ل لمدة 80 دقيقة إلى 0.58 ملغ/ل وهذا يتفق مع دراسة (Fan *et al.*, 2014).

اعتماداً على النتائج أعلاه المبينة في الشكل (8)، يمكن تقسيم المعالجة إلى ثلاث مراحل:

يُلاحظ في المرحلة الأولى (0-40 دقيقة) انخفاض طفيف بقيمة الكلوروفيل أ، وبالتالي، لم يتم تثبيط نمو الطحالب بشكل ملحوظ، أما في المرحلة الثانية (40-80 دقيقة) انخفض تركيز الكلوروفيل أ بشكل أكبر مقارنة ببداية المعالجة، وبالتالي، ثبت نمو الطحالب. لم يُلاحظ في المرحلة الثالثة (بعد 80 دقيقة) أي تغيرات ملحوظة في قيمة الكلوروفيل أ (Tan *et al.*, 2018)، وبالتالي، ازدادت نسبة الإزالة مع زيادة مدة التعرض، لكنها أصبحت غير ملحوظة عندما تجاوزت مدة التعرض 80 دقيقة. وبناءً على ذلك، يمكن تلخيص العوامل التي تؤثر على التحكم في نمو الطحالب باستخدام الأمواج فوق الصوتية هي بشكل رئيس التردد، كثافة الطاقة الصوتية، الوقت وجنس الطحالب.

يتراوح تردد الأمواج فوق الصوتية من 20 كيلو هرتز إلى 2 ميغا هرتز. يتسبب التردد العالي < 100 كيلو هرتز بشكل أساسي في التأثيرات الكيميائية حيث يمكن أن تؤدي إلى تغييرات في تركيب المواد الكيميائية في الماء مما يؤثر على الطحالب، بينما يتسبب التردد المنخفض > 100 كيلو هرتز بشكل أساسي في التأثير الميكانيكي حيث تتعرض الطحالب للحركة والاهتزاز، وهذا يمكن أن يؤدي إلى تمزيق الخلايا الطحلبية أو تقليل قدرتها على الاستقرار والنمو (Ma *et al.*, 2005). أما في هذه الدراسة فتم ضبط التردد على 40 كيلو هرتز وهو تردد منخفض يتسبب في تأثيرات ميكانيكية، ووفقاً لمبدأ التحكم في الطحالب باستخدام الأمواج فوق صوتية، فإن التردد الفوق صوتي العالي لا يناسب التحكم في الطحالب، وبالتالي، فإن التردد الأقل من 100 كيلو هرتز هو المثالي للتحكم في الطحالب في المسطحات المائية، وذلك لتجنب التأثيرات المحتملة على الكائنات الحية الأخرى كالعوالق الحيوانية والأسماك (Cum *et al.*, 1992; Fan *et al.*, 2014).

6. الاستنتاجات والتوصيات

- تبين من خلال هذه الدراسة وجود بعض أجناس الطحالب التي تسبب مشاكل تلوث في البحيرة، وبالتالي، ضرورة معالجة المياه بالأمواج فوق الصوتية.
- تبين من خلال البحث أن استخدام تقنية الأمواج فوق الصوتية هي طريقة فعالة للتحكم في نمو الطحالب لأنها طريقة جديدة ذات مزايا مهمة بيئياً، سهلة التشغيل وصديقة للبيئة.
- أظهرت النتائج بأن التردد 40 كيلو هرتز فعال في تخفيض الكلوروفيل أ، حيث انخفض تركيز الكلوروفيل أ بما يتوافق مع انخفاض تركيز الطحالب.
- يجب التوجه لدراسة ترددات وأوقات تعرض مختلفة للأمواج فوق الصوتية واختيار التردد والوقت الأمثل للتحكم في نمو الطحالب.
- يختلف تأثير الأمواج فوق الصوتية وفعاليتها في التحكم في نمو الطحالب باختلاف أنواع الطحالب وبالتالي يمكن أن يوصى بدراسة تأثير الأمواج فوق الصوتية على أنواع مختلفة من الطحالب.
- تم دراسة تأثير الأمواج فوق الصوتية على الطحالب مخبرياً، وبالتالي يمكن التوجه لدراسة تأثير هذه الأمواج على الطحالب في المسطحات المائية حقلياً، وذلك لأنها أكثر تعقيداً وبالتالي تقدر التكلفة المادية للمعالجة بناء على عدة عوامل منها: حجم المسطح المائي، كثافة الطحالب في المسطح المائي، نوع جهاز الأمواج فوق الصوتية وتردده، تكاليف التشغيل والصيانة، الموقع الجغرافي وسهولة الوصول له.

7. المراجع العربية

- نظام، عدنان. (2009). العوالق النباتية (الجزء النظري)، منشورات جامعة دمشق، دمشق_ سورية، 283.
- كمال، الأشقر. (2011). الطحالب (الجزء النظري)، منشورات جامعة دمشق، دمشق_ سورية، 446.
- فواز الأركي، & عبد الكريم العبد الله. (2013). دراسة العلاقة بين هيدروجيولوجية حوض السن وتكونيتها. Tishreen University Journal–Basic Sciences Series، 35(4).
- تقرير مديرية الموارد المائية في اللاذقية- العلاقة بين نبعي السن وسوريت، 2016.

8. المراجع الأجنبية

- Dehghani, M. H. (2016) Removal of cyanobacterial and algal cells from water by ultrasonic waves — A review. Journal of Molecular Liquids, 222; 1109 – 1114.
- Doosti, M. R; Kargar, R; Sayadi, M. H. (2012) Water treatment using ultrasonic assistance: A review. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 2(2), 96.
- Ezeani, S., & O Abu, G. (2019). Commercial Microalgae Culture in Inorganic Fertilizer Media. Current Journal of Applied Science and Technology, 38(4); 1 – 9.
- Fan, G., Zhang, Z., Luo, J., Lin, Q., & Chen, L. (2014). Parameter optimization of ultrasound technology for algae removal and its application in Pengxi river of three Gorges Reservoir. Asian Journal of Chemistry, 26(4), 1165–1170.

- G. Cum, G. Galli, R. Gallo and A. Spadaro, “Role of frequency in the ultrasonic activation of chemical reactions,” *Ultrasonics*, Vol. 30, Issue 4, 1992, pp. 267–270.
- Hao, H., Wu, M., Chen, Y., Tang, J., & Wu, Q. (2004). Cyanobacterial bloom control by ultrasonic irradiation at 20 kHz and 1.7 MHz. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 39(6), 1435–1446.
- Hoek, C., Mann, D., Jahns, H. M., & Johns, M. (1995). *Algae: an introduction to phycology*. Cambridge university press.
- Huang, H., Wu, G., Sheng, C., Wu, J., Li, D., & Wang, H. (2020). Improved cyanobacteria removal from harmful algae blooms by two-cycle, low-frequency, low-density, and short-duration ultrasonic radiation. *Water*, 12(9), 2431.
- Janse van Vuuren, S., Taylor, J., Gerber, A., & Van Ginkel, C. (2006). *Easy identification of the most common freshwater algae: A guide for the identification of microscopic algae in South African freshwaters*. North-West University and the Department of Water Affairs.
- Jeppesen, E., Bruce, S., Naselli-Flores, L., Papastergiadou, E., Stefanidis, K., Nøges, T., & Beklioglu, M. (2015) Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity. *Hydrobiologia*, 750, 201–227.
- Kong, Y., Zhang, Z., & Peng, Y. (2022) Multi-objective optimization of ultrasonic algae removal technology by using response surface method and non-dominated sorting genetic algorithm-II. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 230, 113151.
- Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents.
- Ma, B., Chen, Y., Hao, H., Wu, M., Wang, B., Lv, H., & Zhang, G. (2005). Influence of ultrasonic field on microcystins produced by bloom-forming algae. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 41(2–3), 197–201.
- Mason, T. J. (2007). Sonochemistry and the environment—Providing a “green” link between chemistry, physics and engineering. *Ultrasonics sonochemistry*, 14(4), 476–483
- Mullick, A., & Neogi, S. (2016). POTENTIAL APPLICATION OF LOW FREQUENCY ULTRASOUND FOR SELECTIVE CONTROL OF ALGAL BIOMASS GROWTH.
- Paerl, H. W., & Huisman, J. (2009). Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental microbiology reports*, 1(1), 27–37.

- Pearson, L. C. (1995). The diversity and evolution of plants. CRC Press.
- Peng, Y., Yand, X., Ren, B., Zhang, Z., Deng, X., Yin, W., Zhou, S., & Yang, S. (2023) Algae removal characteristics of the ultrasonic radiation enhanced drinking water treatment process. *Journal of Water Process Engineering*, 55, 104154.
- Purcell, D. (2010). Control of algal growth in reservoirs with ultrasound (Doctoral dissertation, Cranfield University, School of Applied Sciences).
- Rott, H.D., 1998. Biological effects of ultrasound. *Nervenheilkunde* 17, 16–18.
- Sahoo, D., & Seckbach, J. (Eds.). (2015). The algae world.
- Sheath, R. G., & Wehr, J. D. (2015). Introduction to the freshwater algae. In *Freshwater Algae of North America* (pp. 1–11). Academic Press.
- Shon, H. K., Vigneswaran, S., Kim, I. S., Cho, J., & Ngo, H. H. (2004). The effect of pretreatment to ultrafiltration of biologically treated sewage effluent: a detailed effluent organic matter (EfOM) characterization. *Water Research*, 38(7), 1933–1939.
- Suslick, K. S. (1988). *Ultrasound: its chemical, physical, and biological effects*. Vch Publishers.
- Suslick, K. S., & Price, G. J. (1999). Applications of ultrasound to materials chemistry. *Annual Review of Materials Science*, 29(1), 295–326.
- Tan, X., Shu, X., Guo, J., Parajuli, K., Zhang, X., & Duan, Z. (2018). Effects of low-frequency ultrasound on *Microcystis aeruginosa* from cell Inactivation to disruption. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 101, 117–123.
- Van Vuuren, S. J., Taylor, J., & van Ginkel, C. (2006). *Freshwater algae*.