Al-Farouk journal of sciences
Volume (2), Issue (1) (March, 2026)
ISSN: 3135-2359

مجلة الفاروق للعلوم
المجلد (2) العدد 1 مارس 2026
ردمد: 3135-2359

التغير في تركيز العن اصر الكيميا نية في مياه الصرف الصحي المدينة البيضاء بعد المعالجة الطحلبية

هبه الناجي علي ثابت[1*]، اسماء رابح سعيد ادم[2]، حليمة عوض الشلوي[3]
قسم الهندسة الزراعية، كلية الزراعة، جامعة عمر المختار البيضاء، ليبيا[1]
قسم النبات، كلية العلوم القبة، جامعة درنة ليبيا[2]
قسم النبا ت، كلية العلوم، جامعة درنة - درنة، ليبيا[3]

Changes in the Concentration of Chemical Elements in Wastewater in Al-Bayda City After Algal Treatment

Heba Al-Naji Ali 1*, Asmaa Rabih Saeed Adam[2], Halima Awad fathalla[3]
Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Omar Al-Mukhtar Bayda, Libya[1]
heba.thabet@omu.edu.ly
Department of Botany, Faculty of Science, Al-Qubbah, University of Derna, Libya[2]
Department of Botany, Faculty of Science, University of Derna, Derna, Libya[3]
1284-3687-0001-0009

تاريخ الاستلام: 2026/01/13 تاريخ المراجعة 18 / 2 / 2026 تاريخ القبول:2026/03/12- تاريخ النشر: 24/ 03/ 2026

الملخص : تستهدف هذه الدراسة الي تقييم كفاءة المعالجة الطحلبية في خفض الملوثات الكيميائية بمياه الصرف الصحي لمدينة البيضاء. اعتمد التصميم التجريبي علي نظام المكررات الثلاثية علي مدار فترة تلامس استمرت ثمانية أيام تحت الظروف المخبرية(إضاءة دورية **16:8**ساعة ضوء: ظلام).تم تحليل العينات قبل وبعد المعالجة لتحديد تركيز الفوسفور، الأملاح الكلية، النترات، والأمونيا. اظهرت نتائج التحليل الكيميائي باستخدام مطياف الامتصاص الذري (**AAS**) انخفاضًا دالاً إحصائياً (**P<0.05**) في تركيز الفوسفور بنسبة(**31.5%**) و النترات بنسبة**(48.9%)** ،بينما لم يظهر تغير معنوي في الأملاح الكلية. في المقابل ، ارتفع تركيز الأمونيا بشكل معنوي ويعزي ذلك إلى تحلل الكتلة الحيوية الطحلبية ونواتج الأيض. تؤكد النتائج إمكانية استخدام الطلحالب كأداة بيولوجية مستدامة لإزالة المغذيات ،مع ضرورة تطوير انظمة تكاملية للسيطرة علي الأمونيا.

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي، المعالجة الطحلبية، إزالة الفوسفور ،خفض النترات، تغير الأمونيا، المعالجة الحيوية

Variation in Chemical Elements of Wastewater from Al-Bayda City after Algal Treatment

Abstract: This study aims to evaluate the efficiency of algal treatment in reducing chemical pollutants in wastewater from Al-Bayda City. The experimental design was based on a triplicate system over a contact period of eight days under laboratory conditions (photoperiod of 16:8 hours light:dark). Samples were analyzed before and after treatment to determine the concentrations of phosphorus, total dissolved salts, nitrates, and ammonia. Chemical analysis using Atomic Absorption Spectroscopy (**AAS**) revealed a statistically significant reduction (**P < 0.05**) in phosphorus (**31.5%**) and nitrates (**48.9%**), while no significant change was observed in total salts. Conversely, ammonia concentration increased significantly, which can be attributed to algal biomass decomposition and metabolic by-products. The findings confirm the potential of algae as a sustainable bioremediation tool for nutrient removal, while highlighting the need to develop integrated treatment systems to control ammonia levels.

Keywords: Wastewater, Algal Treatment, Phosphorus Removal, Nitrate Reduction,Ammonia Variation, Bioremediation.

المقدمة

تُعد معالجة مياه الصرف الصحي من ابرز التحديات البيئية في المدن النامية والمتقدمة علي حد سوء، نظراً من تركيزات مرتفعة من العناصر الكيميائية والمغذيات التي تُهدد الصحة العامة والنظم البيئية المائية. وقد برزت الطحالب الدقيقة كاحد الحلول المستدامة والفعالة لمعالجة هذه المياه ،لما تمتلكة من قدرة علي امتصاص المغذيات الثقيلة مثل النتروجين والفوسفور ،اضافةً الي العناصر المعدنية السامة(Minhas, A. K et al., 2026). تُشير الدراسات الحديثة الي ان دمج الأنظمة الطحلبية في محطات المعالجة يحقق كفاءة عالية في ازالة المغذيات،مع امكانية الإستفادة من الكتلة الحيوية الناتجة في انتاج الطاقة الحيوية و الأسمدة العضوية، مما يعزز مفهوم الإقتصاد الدائري(Prasad, et al., 2024). أظهرت نتائج التحليل الإحصائي تفوق أداء هذه الأنظمة مقارنة بالطرق التقليدية خاصة في تقليل الحمل العضوي وتحسين جودة المياه المعالجة(Carbonell et al., 2023). بالإضافة الي ذلك، فإن التوجه العلمي نحو حلول صديقة للبيئية يدعم تطوير تقنيات المعالجة الطحلبية،حيث تُعد خياراً منخفض التكلفة وذو كفاءة بيئية عالية،مع إمكانية دمجها في نظمة المعالجة البيولوجية والبكتيرية لتحقيق نتائج اكثر شمولية (Torres et al., 2024)، ومع ذلك لاتزال هناك تحديات تتعلق بالتصميم الهندسي، وادارة الكتلة الحيوية،والتكيف مع الظروف المناخية المختلفة ،وهو ما يستدعي المزيد من الدراسات التطبيقية لتطوير نماذج اكثر فاعلية (Li et al., 2025). وبناءاً علي ذلك تهدف هذه الدراسة الي تقييم دور الطحالب في معالجة مياه الصرف الصحي بمدينة البيضاء، من خلال تقدير بعض العناصر الكيميائية قبل وبعد معالجة ،بما يُسهم في تقديم اطار علمي يدعم تطبيق هذه التقنية في السياقات المحلية والإقليمة.

المواد وطرق البحث:

تتناول هذه الدراسة تقييم كفاءة المعالجة الطحلبية في خفض الملوثات الكيميائية بمياه الصرف الصحي لمدينة البيضاء ، وتم اتباع الخطوات المنهجية التالية:

1- توصيف العينات وجمع البيانات: تم جمع عينات من مياه الصرف الصحي من(مدينة البيضاء) قبل وبعد خضوعها لعملية المعالجة الحيوية بإستخدام طحالب سبايروجيرا (*Spirogyra sp*). وتقدير معدلات الامتصاص الحيوي (Biosorption).

شكل (1). تجهيز الطحالب وضعها في مياه الصرف الصحي.

2 -**التصميم التجريبي:**

لضمان دقة المقارنة الإحصائيه والتحليله ، تم تقسيم العينات محل الدراسة الي مجموعتين أساسية:

المجموعة الاولي عينات مياه الصرف الصحي (قبل المعالجة).

المجموعة الثانية: عينات مياه الصرف الصحي المعالجة(بعد التفاعل مع الكتلة الحيوية).

3- عملية المعالجة الحيوية (Bioremediation Process):

تم غمر الطحالب الخضراء في مياه الصرف الصحي تحت ظروف مخبرية مضبوطة (عند درجة حرارة ثابته و درجة لحموضة p^h 6، وبنظام إضاءة دورية بمعدل 16:8ساعة ضوء:ظلام) . اعتمدت التجربة على نظام ثلاث مكررات

،اســتمرت فترة التماس لمدة 8 أيام لضـــمان اكتمال عمليتي الامتصـــاص الســطحي (Biosorption) والتراكم الخلوي الداخلي.

<u>خصائص طحلب سبايروجيرا (*Spirogyra sp.*) المستخدم في الدراسة</u>

يعتبر طحلب سبايروجيرا من الطحالب الخضراء الخيطية (Filamentous Green Algae) الواسعة الانتشار في البيئات المائية العذبة، وتم اختياره في هذا البحث كعامل معالجة حيوي نظراً لخصائصه المتميزة:

التركيب الهيكلي: يتميز الطحلب بجدران خلوية غنية بمركبات الســـليلوز والبكتين، والتي تحتوي على مجموعات وظيفية نشطة (مثل الكربوكسيل والهيدروكسيل).

آلية العمل: يعتمد الطحلب في المعالجة على آلية الامتصـــاص الحيوي الســطحي (Biosorption)، وهي عملية فيزيائية-كيميائية سريعة لا تعتمد على الأيض، مما يجعله فعالاً حتى في التراكيز العالية من الملوثات. كما يساهم في عملية التراكم الحيوي (Bioaccumulation)من خلال نقل المعادن إلى داخل السيتوبلازم وتخزينها في الفجوات العصارية.

جدول (1): المواصفات الفنية للطحلب في البحث

الخاصية	الوصف العلمي
الاسم العلمي	*Spirogyra sp*
النوع	طحلب أخضر خيطي (Filamentous Green Algae)
الآلية الرئيسية	الامتصاص الحيوي السطحي (Surface Biosorption)
العناصر المستهدفة	الفوسفور، الأملاح الكلية،النترات، والأمونيا

شكل (2). يبين الطحالب (*Spirogyra*) في مياه الصرف الصحي.

4-التحليل الكيميائي والقياسات:

تم قياس تركيزات العناصـــر الكيميائية (الفوســفور، الأملاح الكلية الذائبة، النترات، والأمونيا) بإســـتخدام جهاز مطياف الامتصاص الذري(Atomic Absorption Spectroscopt-AAS).

بالنسبه لعينات المياه: تم إجراء عملية ترشيح وتقدير مباشر للتراكيزات.

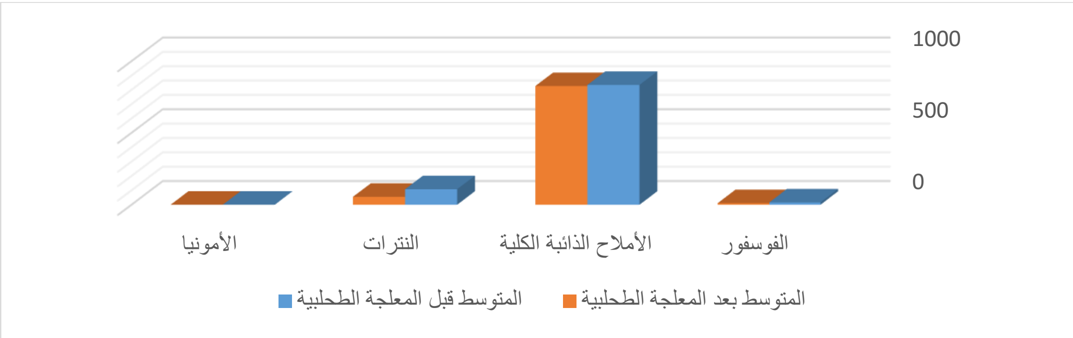
5 -التحليل الإحصائي :

تمت معالجة البيانات الناتجة إحصـــائياً لمقارنة الفروق بين المجموعتين وتحديد مدي كفاءة الطحالب في خفض نســـب الملوثات في الوســـط المائي. باســـتخدام اختبار T للعينات المســـتقلة Independent Samples T-Test، في حالتين مختلفين(قبل المعالجة بالـ *Spirogyra* وبعدها) تم اعتماد مستوي الدلالة عند $P<0.05$.

النتائج والمناقشة

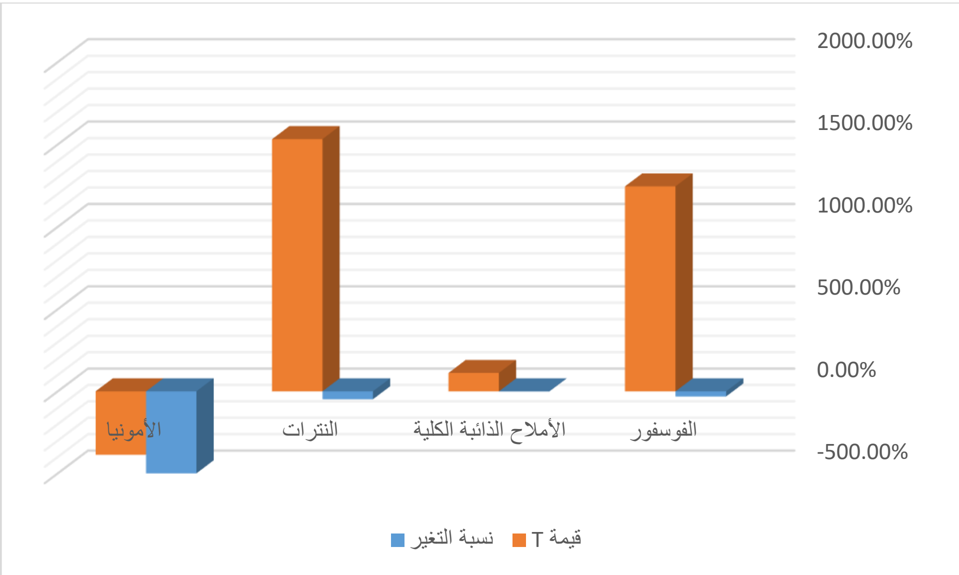
جدول(2). اختبار T للعينات المستقلة Independent Samples T-Test

المتغير	المتوسط قبل المعالجة الطحلبية	المتوسط بعد المعالجة الطحلبية	نسبة التغير	قيمة T	الدلالة لإحصائية
الفوسفور	15.81	10.83	%31.5-	12.45	P<0.01(معنوي)
الأملاح الذائبة الكلية	834	826	%0.96-	1.12	P>0.05(غير معنوي)
النترات	107.48	54.84	%48.90-	15.32	P<0.01(معنوي)
الأمونيا	0.01	0.06	%500-	3.87-	P<0.05(معنوي سلبي)



شكل(3). مقارنة تركيز العناصر الكيميائية قبل وبعد المعالجة الطحلبية.

أظهر التحليل الإحصائي أن المعالجة الطحلبية أدت الي انخفاض معنوي في تركيز الفوسفور بنسبة (31.5%)، وانخفاض في النترات بنسبة (48.90%). تؤكد هذه النتائج قدرة الطحالب علي امتصاص المغذيات من خلال النشاط الضوئي ونمو الكتلة الحيوية. أما الأملاح الذائبة الكلية فقد انخفضت بنسبة طفيفة بلغت(0.96%) ، مما يشير الي أن المعالجة الطحلبية لا تؤثر بشكل كبير علي مستويات الملوحة.



شكل(4).يبين نسبة التغير و قيمة T.

في المقابل ،ارتفع تركيز الأمونيا بشكل معنوي (*P<0.05*) بنسبة تقارب 500%، ويُعزي ذلك الي تحلل الكتلة الحيوية الطحلبية و اطلاق نواتج ايضيه، مما يدل علي ان الطحالب وحدها غير كافية للسيطرة علي الأمونيا. بشكل عام تؤكد النتائج ان الطحلب الخضراء(*Spirogyra*) تمثل اداة بيولوجية مستدامة لإزالة المغذيات، خاصة الفوسفور و النترات ،الا ان تحقيق معالجة متكاملة لمياه الصرف الصحي يتطلب دمج المعالجة الطحلبية مع تقنيات اخري لضمان جودة المياه النهائية.

الاستنتاج والتوصيات

أثبتت الدراســة الحالية أن المعالجة الطحلبية أدت إلي انخفاض معنوي في تركيز الفوســفور والنترات في مياه الصــرف الصـحي بمدينة البيضـاء، مما يبرز فعالية الطحالب في إزالة المغذيات. اتفقت هذه النتائج مع دراسـات حديثة اشـارت الي دور الطحالب في المعالجة الحيوية و استعادة المغذيات(*Abdel-Raouf et al., 2023;* Carbonell *et al., 2023*).

إلا أن الإرتفاع الملحوظ في تركيز الأمونيا (500-%) يعكس محدودية الطحالب كوسيلة معالجة منفردة، وهو ما أبلغ عنه ايضاً في دراسات اخري حيث ساهم تحلل الكتلة الحيوية الطحلبية و نواتج الأيض في حدوث تلوث ثانوي(*Zhou et al., 2024*). وهذا يؤكد الحاجة إلي إنظمة معالجة تكاملية تجمع بين المعالجة الطحلبية وتقنيات أخري لتحقيق تنقية شــاملة (Khan *et al., 2025;* Prasad, *et al., 2024*). بشكل عام، تبرز النتائج الطحالب كحل بيولوجي مستدام لإدارة مياه الصـرف الصـحي، خاصـة في ازالة الفوسـفور والنترات،مع ضـرورة تحسـين الأنظمة ودمجها لضـمان الإسـتدامة البيئية طويلة المدي.

التوصيات

- الجمع بين المعالجة الطحلبية وتقنيات اخري: مثل الحمأة المنشــطة و المرشــحات الحيوية (للســيطرة علي الأمونيا).
- إجراء دراسات ممتدة لتقييم التغيرات الموسمية و استقرار كفاءة الطحالب.
- ضبط ظروف النمو الإضاءة، التهوية، توازن المغذيات لتعظيم كفاءة الإزالة.
- دراسة استخدام الطحالب في انظمة معالجة متكاملة للمياه الصناعية والزراعية.

تُعد هذه النتائج أسـاسًـا لتطوير اسـتراتيجيات مسـتدامة لإدارة مياه الصـرف الصـحي في ليبيا والمناطق المشـابهة، مع إبراز دور الطحالب كحل بيولوجي واعد.

Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. A., & Ibraheem, I. B. M. (2023). Algal biotechnology for wastewater treatment: Advances and prospects. *Journal of Environmental Management*, *345*, 118-126.

Carbonell Sorí, L., Pedraza Garciga, J., Carbonell Rivero, N. A., & López Dávila, E. (2025). Sustainable Nutrient Removal Efficiency, and Biomass Productivity of Chlorella vulgaris in Fish Wastewater. *Waste and Biomass Valorization*, *16*(10), 5317-5331.

Khan, A. Z., Li, Z., Huang, G., Liu, L., Jiang, F., & Hu, Z. (2025). Advances in Microalgal-Bacterial Granular Sludge Systems for Sustainable Aquaculture Wastewater Treatment: Mechanisms, Optimization, and Future Perspectives.

Minhas, A. K., Gaur, S., Sunny, S., Paladugu, C., Ravishankar, G. A., Pereira, L., & Ambati, R. R. (2026). Microalgae-Based Wastewater Treatment Processes for the Bioremediation and Valorization of Biomass: A Review. *Phycology*, *6*(1), 18.

Prasad, B., Malik, T., Sarkar, O., Gupta, S., & Negi, K. S. (2024). A comprehensive review on sustainable removal of micropollutants in wastewater by micro-biotechnological approaches with special reference to microbial associated nanoparticles. Bioremediation Journal, 1-27.

Torres, M. J., Bellido-Pedraza, C. M., & Llamas, A. (2024). Applications of the microalgae chlamydomonas and its bacterial consortia in detoxification and bioproduction. *Life*, *14*(8), 940.