

Effect of Adding Iron Tri ions (FeCl_3) on Nutrient Consumption and Determining the causative factor for growth in the marine waters of the Syrian coast

Dr. Hazem Krawi ^{*}
Dr. Firuz Darwich ^{**}
Ahmed Abdel Aziz ^{***}

(Received 6 / 5 / 2022. Accepted 25 / 9 / 2022)

□ ABSTRACT □

This research aims to study the effect of iron fertilization on phytoplankton growth and nutrient consumption in some areas of the Syrian coast.

The experiment was conducted during the period from August 17 to September 6, 2019, and samples were collected from the mouth of the northern river al-Kabeer and the Higher Institute for Marine Research and transferred to the laboratories of the Higher Institute for Marine Research, where the water was enriched with iron and nutrients. Periodic samples were taken at 2-3 day intervals for nutrient and chlorophyll a measurements, the experiment spanned a period of 21 days.

Iron played an important role in stimulating growth, as the results showed that the iron-fortified media recorded the highest values of phytoplankton growth and consumption of nutrient electrolytes compared to the rest of the preparations, The results showed that the concentration of iron $10 \mu\text{mol} / \text{L}$ is sufficient to reach the maximum growth of phytoplankton, as we did not notice clear differences in growth for the concentration of $100 \mu\text{mol} / \text{L}$.

Phytoplankton showed a clear growth ability in the two studied stations in the enrichment medium, where growth continued throughout the incubation period and a jump in growth occurred on the seventh day of the experiment and nutrients remained available in the medium until the end of the experiment, while the growth of phytoplankton was less in the control medium with a jump in Growth On the seventh day of the experiment, growth decreased on the twelfth day of incubation as a result of phosphate depletion from the medium. Iron played a role in the increased consumption of nutrients, especially silicates, as well as an increased reliance on ammonia as a source of nitrogen.

The application and investment of the results of these experiments on various environmental fields and fish farms with economic and environmental returns is important.

Keywords: iron nutrition, Primary productivity, phytoplankton growth, Nutrient utilization.

* Associate Professor, Dept. of Marine Chemistry at HIMR, Tishreen University, Lattakia, Syria

** Associate Professor, Dept. of Marine biology at HIMR, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Master Student , Dept of Marine Chemistry at HIMR, Tishreen University , Lattakia, Syria.
ahmad.abdelaziz@tishreen.edu.sy

تأثير إضافة شوارد الحديد الثلاثية (FeCl₃) على استهلاك المغذيات وتحديد العامل المسبب للنمو في المياه البحرية للساحل السوري

د.حازم كراوي*

د.فيروز درويش**

احمد عبد العزيز***

(تاريخ الإيداع 6 / 5 / 2022. قبل للنشر في 25 / 9 / 2022)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير الإغناء بالحديد على نمو العوالق النباتية واستهلاك العناصر المغذية في بعض مناطق الساحل السوري.

أجريت التجربة خلال الفترة الممتدة من 17 آب وحتى 6 أيلول عام 2019، جمعت العينات من منطقة مصب نهر الكبير الشمالي ومنطقة المعهد العالي للبحوث البحرية ونقلت إلى مخابر المعهد العالي للبحوث البحرية حيث تم إغناء المياه بالحديد والعناصر المغذية، أخذت عينات دورية على فترات من 2-3 يوم لإجراء القياسات للعناصر المغذية و الكلوروفيل أ، استمرت التجربة 21 يوماً.

لعب الحديد دوراً هاماً في تحفيز النمو، حيث بينت النتائج ان أوساط الإغناء بالحديد سجلت أعلى قيم لنمو العوالق النباتية واستهلاك الشوارد المغذية بالمقارنة مع باقي المحضرات. بينت النتائج أن تراكيز الحديد 10µmol/L كانت كافية للوصول إلى النمو الأعظمي للعوالق النباتية، حيث لم نلاحظ فروق واضحة في النمو بالمقارنة مع التركيز 100µmol/L.

أظهرت العوالق النباتية قدرة نمو واضحة في المحطتين المدروستين في أوساط الإغناء، حيث استمر النمو طيلة فترة الحضانة وحدثت قفزة للنمو في اليوم السابع من التجربة وبقيت المغذيات متوافرة في الوسط حتى نهاية التجربة، في حين كان نمو العوالق النباتية أقل في أوساط المقارنة مع حدوث قفزة في النمو في اليوم السابع من التجربة وتراجع النمو في اليوم الثاني عشر من الحضانة وذلك نتيجة استنفاد الفوسفات من الوسط. لعب الحديد دوراً في زيادة استهلاك المغذيات وبشكل خاص السيليكا وكذلك زيادة الاعتماد على الأمونيا كمصدر للنيتروجين، إن تطبيق واستثمار نتائج هذا النوع من التجارب على مجالات مختلفة بيئية ومزارع سمكية ذات مردود اقتصادي وبيئي هام.

الكلمات المفتاحية: التغذية بالحديد، الإنتاجية الأولية، عوالق نباتية، استهلاك المغذيات.

* أستاذ مساعد، قسم الكيمياء البحرية، المعهد العالي للبحوث البحرية، جامعة تشرين ، اللاذقية، سورية.

** أستاذ مساعد، قسم البيولوجيا البحرية، المعهد العالي للبحوث البحرية، جامعة تشرين ، اللاذقية، سورية.

*** طالب ماجستير، قسم الكيمياء البحرية، المعهد العالي للبحوث البحرية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

ahmad.abdelaziz@tishreen.edu.sy

مقدمة:

تغطي البحار والمحيطات حوالي 70% من سطح الأرض، لذا فهي تحتل 96% من الغلاف الحيوي، وهي تلعب دوراً حيوياً في ضبط المناخ العالمي، وكذلك في رقد الموارد الطبيعية التي يحتاجها الإنسان (Planavsky *et al.*, 2021). تُعرّف المغذيات بأنها مجموعة العناصر الكيميائية الضرورية لاصطناع المادة العضوية الحية وهي عوامل محددة لنمو العوالق النباتية وتشمل الشوارد اللاعضوية المذابة لكل من الأزوت والفوسفور والسليسيوم (Prasad *et al.*, 2021).

بالإضافة إلى هذه العناصر المغذية توجد عناصر أخرى لا يمكن الاستغناء عنها لنمو العوالق النباتية كنزر المعادن (Sunda, 2012)، حيث أشارت العديد من الدراسات إلى أن الحديد هو أحد المغذيات الحيوية الهامة لنمو العوالق النباتية (Tagliabue *et al.*, 2017). ينتقل الحديد عادة إلى البيئة البحرية عبر ثلاثة مسارات: مدخلات الأنهار والترسيب الجوي والعمليات التي تجري في قاع البحار كتحلل وإعادة تعليق الرواسب والخلط الحراري المائي (Sholkovitz *et al.*, 2010, Elrod *et al.*, 2008, Chase *et al.*, 2005).

تأتي أهمية العوالق النباتية في كونها الأساس في السلسلة الغذائية وهي تنتشر في الطبقة السطحية من المياه أو الطبقة المضاءة، فهذه الكائنات تقوم بعملية إنتاج الأوكسجين والغذاء من خلال عملية التركيب الضوئي مشكلةً الكلوروفيل (Fleurence, 2021). من المسلم به أن الحديد كعنصر معدني يلعب دوراً مهماً في نمو العوالق النباتية في المحيطات (Tripathy and Jena, 2019)، حيث بينت الدراسات التي أجريت مؤخراً في مناطق معينة من البحار والمحيطات إلى الدور الهام للحديد في نمو النباتات البحرية خاصة في المناطق المعتدلة (Martin *et al.*, 1994). ومما لاشك فيه أن التراكيز الإجمالية للحديد في المناطق الساحلية تكون بشكل عام أكبر بعدة مرات من قيم تراكيز الحديد في المحيطات المفتوحة، حيث يبدو أن الدور الذي يلعبه الحديد كعامل محدد للنمو في المناطق الساحلية ليس محتملاً نتيجة المدخلات النهريّة التي تحمل معها كميات أكبر من شوارد الحديد وعلى العكس من ذلك أشارت العديد من الدراسات التي أجريت في المناطق الشاطئية إلى أن نقص الحديد يلعب دور محدد للنمو الزمني في ساحل كاليفورنيا (Bruland *et al.*, 2001) و كذلك في بعض مناطق المضيق البحري كمضيق تروندهايم في النرويج (Öztürk *et al.*, 2002). يتميز الحديد بشكل خاص من بين جميع المعادن النزرة، بدوره الفعال في تحفيز الأنشطة البيوكيميائية (Shcolnick and Keren, 2006, Morel and Price, 2003)، وهو عامل فعال يسيطر على نمو العوالق النباتية ويحد من نموها فيما يصل إلى 40% من مياه المحيطات (Zhao *et al.*, 2018)، وخاصة أثناء عملية التركيب الضوئي بسبب مشاركته في نقل الإلكترونات اللازمة لإتمام العمليات الحيوية (Zhao *et al.*, 2018, Strzepek and Harrison, 2004)، بالتالي يمكن أن يكون الخلايا المسؤولة عن عملية التركيب الضوئي وصنع اليخضور هي أكبر مخزن لشوارد الحديد داخل خلية العوالق النباتية (Strzepek and Harrison, 2004).

إن مدى التوافر البيولوجي للحديد له تداعيات بعيدة المدى للعديد من النظم الطبيعية مثل ظاهرة الاحتباس الحراري لأن الحديد احد أهم العناصر المعدنية في التفاعلات الاستقلابية للعوالق النباتية وبالتالي خفض نسبة غاز ثاني اكسيد الكربون CO₂ من الغلاف الجوي (Larson *et al.*, 2015).

أهمية البحث وأهدافه:

تعد هذه الدراسة مكملة للدراسات الأخرى في الشاطئ السوري والتي سوف تلقي الضوء على تأثير الحديد على تشكل المنتجات الأولية في السلسلة الغذائية ومعرفة مدى ارتباطها بالمغذيات المتوفرة في مياهنا البحرية والذي لم يدرس حتى الآن بشكل مفصل، إذ يعيق نقص الحديد الاستخدام البيولوجي للمغذيات المتوفرة ويؤثر أيضاً على التركيب الكمي والنوعي للعوالق النباتية في تلك المناطق. بناءً على ذلك فإن هناك حاجة ماسة لإجراء مثل هذه الدراسة في المياه البحرية السورية بهدف تقييم دور إغناء المياه البحرية بالحديد وتأثيره على الإنتاجية الأولية في المياه الشاطئية في اللاذقية كونها تفتقر لمثل هذه الدراسات.

طرائق البحث ومواده:

1. مواقع الدراسة:

أجريت الدراسة على المياه البحرية لشاطئ مدينة اللاذقية على موقعين هما: منطقة مصب نهر الكبير الشمالي التي تمثل منطقة مفتوحة متأثرة بنشاطات زراعية وصناعية وقنوات صرف صحي، ومنطقة المعهد العالي للبحوث البحرية، حيث تمثل منطقة بعيدة نسبياً عن المصادر الخارجية. جمعت العينات من المياه السطحية الشاطئية من الموقعين المدروسين بواسطة عبوات من البولي إيثيلين منسفة مسبقاً سعة 25 لتر خلال فصل الصيف (أب) عام 2019. أخذت القياسات الحقلية (درجة الحموضة pH ودرجة الحرارة وملوحة المياه) ونقلت المياه مباشرة إلى مخابر المعهد العالي للبحوث البحرية في جامعة تشرين لإجراء الدراسة المخبرية.

2- تحضير تجارب الإغناء بالحديد والعناصر المغذية:

نقلت المياه إلى مخابر المعهد العالي للبحوث البحرية وتم توزيعها إلى أربعة مستحضرات ثم وزعت على عبوات من البولي اتيلين وهم كالتالي (عينات مقارنة (شاهد)، حديد 10، حديد 100، مغذيات). المحضر الأول هو مياه بحرية خالية من أي إضافة (عينات مقارنة)، بينما المحضر الثاني (الحديد 10) هو عينة مياه بحر مضاف لها الحديد بتركيز $10 \mu\text{mol/L}$ ونترات بتركيز $200 \mu\text{mol/L}$ وأمونيا بتركيز $200 \mu\text{mol/L}$ و سيليكات بتركيز 2 mmol/L وفوسفات بتركيز $100 \mu\text{mol/L}$ ، بينما المحضر الثالث (الحديد 100) هو عينة مياه بحر مضاف لها الحديد بتركيز $100 \mu\text{mol/L}$ ونترات وأمونيا وسيليكات وفوسفات بنفس التراكيز السابقة للمغذيات في المحضر الأول، أما المحضر الرابع (المغذيات) هو عينة مياه بحر مضاف لها (نترات وأمونيا وسيليكات وفوسفات بنفس التراكيز السابقة للمغذيات في المحضر الأول لكن دون وجود للحديد. تم استخدام الماء منزوع الشوارد لتحضير المحاليل المستخدمة في التجربة، حيث تمت إضافة الحديد على شكل محلول من أملاح كلوريد الحديد الثلاثي (FeCl_3) والنترات على شكل محلول من (NaNO_3) والسيليكات على شكل محلول من ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) والامونيوم على شكل محلول من (NH_4Cl) والفوسفات على شكل محلول من (KH_2PO_4).

تم حضن المياه البحرية لمدة 21 يوم في الهواء الطلق وتم أخذ عينات دورية وفق البرنامج الزمني التالي {1, 2, 5, 7, 12, 15, 21} يوم.

مواد البحث وطرقه:

تم اعتماد طريقة كورولف (Grasshoff *et al.*, 2009) لتحديد تركيز شوارد الأمونيوم في مياه البحر، والتي تقوم على تفاعل النشادر مع الهيبيكلوريت في وسط قلوي ليعطي أحادي كلور الأمين والذي يتفاعل بدوره مع الفينول بوجود كمية زائدة من الهيبيكلوريت مشكلاً أزرق الأندوفينول الذي يمتص الضوء عند طول الموجة 630 nm. تقوم الطريقة القياسية لتحديد شوارد النتريت المنحلة في مياه البحر وفق روبنسن وبنشنايدر، على تفاعل النتريت مع سلفونيل أميد هيدروكلورايد فيتشكل الديازونيوم، الذي يرتبط مع $[\alpha - (1 - \text{نفتيل}) - \text{إتيلين ثنائي أمين ثنائي هيدروكلورايد}]$ ، حيث يقود هذا التفاعل إلى تشكل صباغ الأزو الذي يمتص الضوء عند طول موجة 540 nm (Grasshoff *et al.*, 2009).

حُدّد تركيز شوارد النترات باتباع طريقة تحديد النتريت نفسها بعد إرجاع شوارد النترات إلى النتريت باستخدام عمود من الكادميوم المكسو بالنحاس (Grasshoff *et al.*, 2009). تم اعتماد طريقة ريلي ومورفي (Grasshoff *et al.*, 2009) لتحديد تركيز شوارد الفوسفور اللاعضوية التي تقوم على تفاعل مولبيدات الأمونيوم مع شوارد الفوسفات بوجود الأنتومان الثلاثي كوسيط للحصول على حمض الفوسفومولبيدات، يرجع المعقد الناتج بواسطة حمض الأسكوريك لإعطاء أزرق الفوسفومولبيد الذي يمتص الضوء عند طول الموجة 885 nm. لتحديد تركيز شوارد السيليكات المنحلة في المياه تم اعتماد طريقة كورولف والتي تقوم على تشكيل حمض السيليكومولبيدات عندما تعالج العينات المحمضة مع محلول المولبيدات والذي يرجع إلى معقد السيليكومولبيدات الأزرق بواسطة حمض الأسكوريك ويوجد حمض الأوكزاليك. يمتص هذا المعقد الضوء عند طول الموجة 810 nm (Grasshoff *et al.*, 2009). لتحديد تراكيز الأصبغة اليخضورية في الماء تم استخدام طريقة جفري وهمفري (Jeffrey and Humphrey, 1975)، حيث رُشحت العينات على فلاتر سيللوزية، ثم سُحقت بواسطة خلاط عمودي. استُخلص الكلوروفيل *a* من العينات في الظلام بواسطة الأسيتون % 90، بعد ذلك تم قياس امتصاصية العينات بواسطة جهاز سبيكتروفوتوميتر وحُدّد تركيز الكلوروفيل *a* باستخدام المعادلات الرياضية (Jeffrey and Humphrey, 1975). أجريت كافة تم تحديد ملوحة المياه ودرجة حرارتها باستخدام جهاز قياس حقلي ماركة (WTW-Multi 340 i). أجريت كافة قياسات الامتصاصية المطلوبة باستخدام جهاز تحليل طيفي ضوئي (سبيكتروفوتومتر) ماركة ZUZI (4211/20) (Models).

النتائج والمناقشة:

تراوحت درجات الحرارة خلال مراحل التجربة بين $27 - 21 \text{ C}^\circ$ سجلت أعلاها في اليوم السادس من الحضان وأخفضها في اليوم الثاني عشر في جميع المحضرات، حيث خضعت لنفس الظروف. أشارت العديد من الدراسات مثل دراسة (Jia *et al.*, 2022) إلى الدور الهام لدرجات الحرارة في نمو العوالق النباتية. تراوحت قيم الـ pH للمحضرات بين 6.8-8.3 سجل أداها في بداية التجربة في محضرات الحديد لأن الحديد المضاف تم تحضيره بمحلول حامضي. ارتفعت قيم الـ pH مع مرور زمن الحضان في جميع المحضرات حيث أن عملية التركيب الضوئي تستهلك ثاني أكسيد الكربون (CO_2) من الوسط، حيث سجلت أعلى قيمة للـ pH في نهاية فترة الحضان في محضرات الحديد ذات النمو الأكبر يتوافق ذلك مع دراسة (Ferderer *et al.*, 2022).

تراوحت نسبة الملوحة خلال فترة حضان العينات المائية بين 18-38‰ سجلت أعلى قيمة في منطقة البحوث البحرية وسجلت أدناها في منطقة المصب يُعزى هذا الاختلاف نتيجة التغيرات المكانية للمناطق المدروسة حيث تعتبر منطقة البحوث البحرية شبه مغلقة بينما تعتبر منطقة مصب نهر الكبير الشمالي نقطة التقاء مياه النهر العذبة مع المياه البحرية المالحة.

تراوحت التراكيز الابتدائية للعناصر المغذية في منطقة مصب نهر الكبير الشمالي (M) لكل من النترات والفوسفات والسيليكات والأمونيا ($17.474, 3.682, 39.014, 6.492 \mu\text{mol/L}$) على التوالي (جدول 1)، في حين بلغت التراكيز الابتدائية للعناصر المغذية في منطقة البحوث البحرية (B) لكل من النترات والفوسفات والسيليكات والأمونيا ($10.476, 0.415, 18.178, 0.764 \mu\text{mol/L}$) على التوالي (جدول 1). تقاربت هذه القيم مع القيم المسجلة في العديد من الدراسات المحلية السابقة التي جرت على هاتين المنطقتين (Krawi *et al.*, 2013, Darwich and Sulaiman, 2013).

يُعزى الاختلاف في تراكيز العناصر المغذية السابقة الذكر في الموقعين إلى الاختلافات المكانية، حيث كانت مرتفعة في منطقة مصب نهر الكبير الشمالي نتيجة مدخلات مياه النهر التي تجرف معها العناصر المغذية من الأراضي الزراعية بالمقارنة مع منطقة المعهد العالي للبحوث البحرية التي تعد منطقة بعيدة نسبياً عن المصادر الخارجية للمغذيات. يُعزى انخفاض تركيز العناصر المغذية في فصل الصيف بسبب استهلاكها من قبل العوالق النباتية لبناء الكتلة الحيوية (biomas) التي تنشط في فصل الصيف نتيجة ارتفاع درجات الحرارة وكثرة ساعات الإضاءة، حيث أكدت العديد من الدراسات على الدور المهم الذي تلعبه كل من درجات الحرارة والضوء في عملية التركيب الضوئي (Noiri *et al.*, 2005).

الجدول (1): التراكيز الابتدائية للكلوروفيل a والعناصر المغذية في محطتي مصب الكبير الشمالي (M) والبحوث البحرية (B).

الموقع	Chl a (mg. m^{-3})	NO_3^- ($\mu\text{mol/L}$)	PO_4^{3-} ($\mu\text{mol/L}$)	SiO_4^{4-} ($\mu\text{mol/L}$)	NH_4^+ ($\mu\text{mol/L}$)
M	5.172	17.474	3.682	39.014	6.492
B	1.864	10.476	0.415	18.178	0.764

لعب الفوسفات في عينات المقارنة لكلا الموقعين المدروسين دور العامل المحدد للنمو، حيث استمرت الزيادة في تراكيز الكلوروفيل a المترافقة مع انخفاض تراكيز المغذيات لحين استنفاد الفوسفات من الوسط في اليوم السابع من التجربة وعندها بدأت الكتلة الحيوية بالتراجع في عينات المقارنة (الشكل 1) و (الشكل 2). يتفق ذلك مع العديد من الدراسات التي بينت استمرار العوالق النباتية بالنمو في حال توفر المغذيات وتراجع نموها بعد نضوب المغذيات من الوسط (Darwich and Sulaiman, 2013; Umezawa *et al.*, 2022).

في اليوم الاول من التجربة (d 1) كانت تراكيز جميع العناصر المغذية أعظمي (الشكل 1) و (الشكل 2)، ثم بدأت تراكيز العناصر المغذية بالانخفاض خلال التجربة التي استمرت 21 يوماً، حيث يوضح (الجدول 2) إلى الفرق بين التراكيز الابتدائية للعناصر المغذية (نترات، فوسفات، سيليكات، امونيا) والتراكيز النهائية في جميع المحضرات. في اليوم الثاني من فترة الحضان (d 2) كانت كمية استهلاك العناصر المغذية منخفضة في المحضرات الأربعة (حديد 10، حديد 100، مغذيات، مقارنة) ويعزى ذلك لكون التجربة في بدايتها، حيث تأخذ الكتلة الحيوية بالتراجع

نتيجة الصدمة التي حدثت لها نتيجة تغير الظروف البيئية أثناء نقلها إلى المختبر واختلاف مصادر التغذية واختلاف مصادر الاضاءة، حيث أشارت العديد من الدراسات إلى هذه المرحلة من مراحل التجربة (Boyd *et al.*, 2000, Mohamed and Amil, 2015).

الجدول (2): التغير الكلي في تراكيز الكلوروفيل a والمغذيات ضمن المحضرات (شاهد، حديد 10، حديد 100، مغذيات) في محطتي الكبير الشمالي (M) البحوث البحرية (B).

الموقع	المحضر	Δ Chl a mg	Δ NO ₃ ⁻ μmol	Δ PO ₄ ⁻³ μmol	Δ SiO ₄ ⁻⁴ μmol	Δ NH ₄ ⁺ μmol
M	شاهد	6.58	12.217	3.882	32.564	4.877
	حديد 10	114.588	99.02	15.134	349.9	129.437
	حديد 100	113.868	94.4	15.753	420.4	134.622
	مغذيات	76.448	59.1	7.282	182.2	112.572
B	شاهد	2.038	8.278	0.415	14.384	0.614
	حديد 10	79.776	81.108	11.515	195.5	109.725
	حديد 100	78.606	73.183	12.312	221.2	112.534
	مغذيات	57.986	47.342	6.217	97.7	54.267

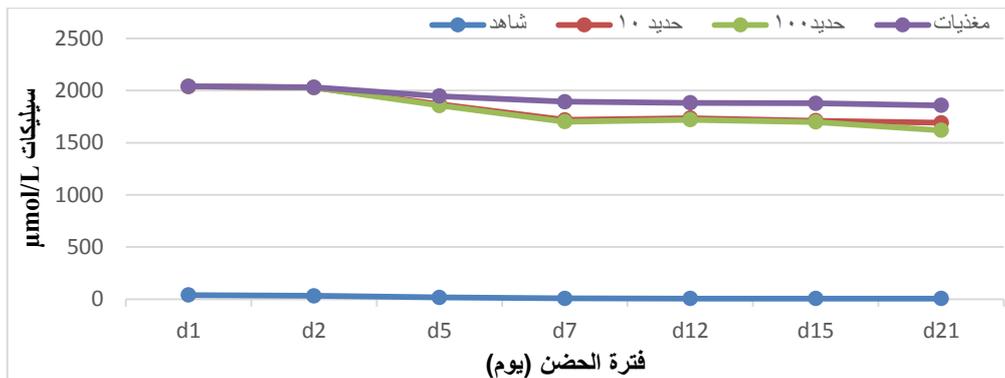
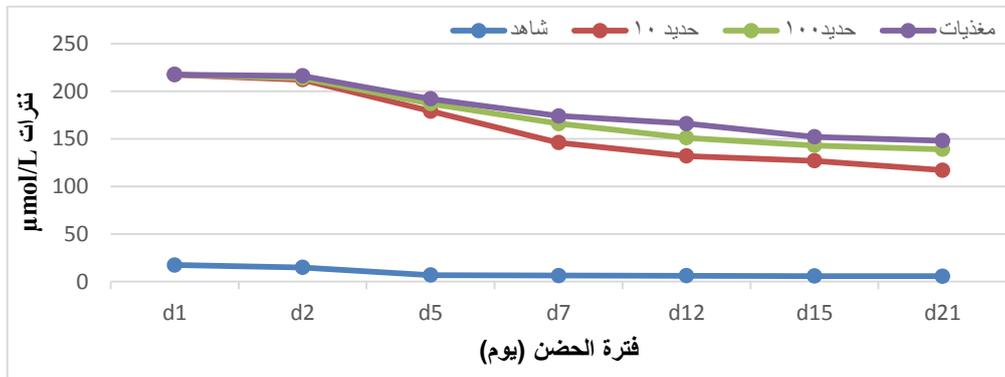
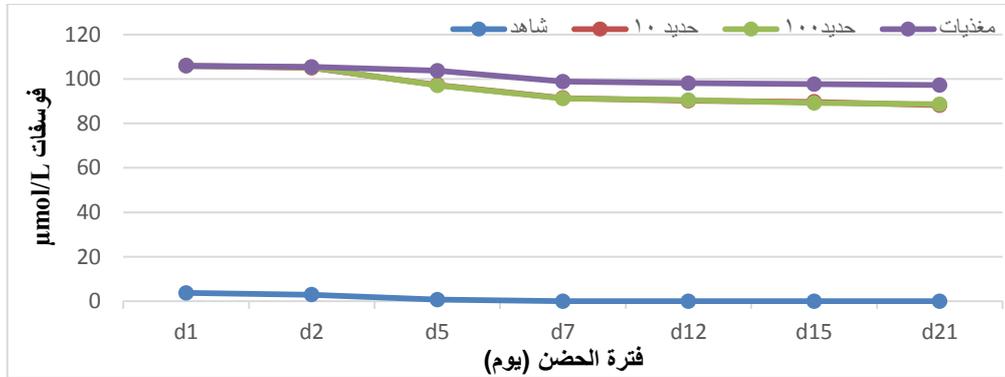
انخفضت كمية المغذيات بشدة في اليوم الخامس من التجربة (d 5)، حيث ازدادت كمية الاستهلاك للمغذيات خلال فترة الحضانة في جميع المحضرات، سجلت محضرات الحديد أكبر كمية استهلاك للعناصر المغذية بينما كان أقلها في عينات المقارنة، ورصد هنا حدوث انكسار واضح في الخطوط البيانية للعناصر المغذية (الشكل 1) و (الشكل 2). تراقف ذلك مع بداية ظهور قفزة واضحة في النمو الكلوروفيل a (الشكل 3) و (الشكل 4).

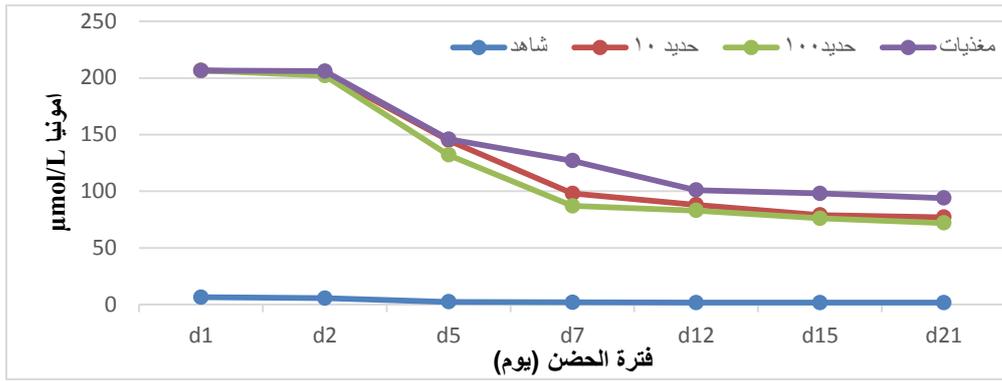
استمر في اليوم السابع من التجربة (d 7) استهلاك العناصر المغذية في جميع المحضرات وشكلت هذه المرحلة حوالي 90% من استهلاك المغذيات الكلي خلال التجربة وهذا تراقف مع ظهور قمة واضحة للكلوروفيل a كما توضح الاشكال (3,4)، في عينة المقارنة استنفذ الفوسفات من الوسط مع بقاء العناصر المغذية الاخرى.

تراجعت نسبة استهلاك المغذيات من الوسط في الايام (d 12, d 15, d 21) وترافق مع تراجع لنمو الكتلة الحيوية حيث اظهرت الخطوط البيانية للكلوروفيل انكسار ملحوظ في هذه الفترة (الشكل 3) و (الشكل 4). في عينة المقارنة استهلكت باقي العناصر المغذية بكميات قليلة جداً بعد استنفاد الفوسفات وسجلت هذه الفترة ادنى كمية استهلاك للعناصر المغذية خلال التجربة بالنسبة لعينة المقارنة.

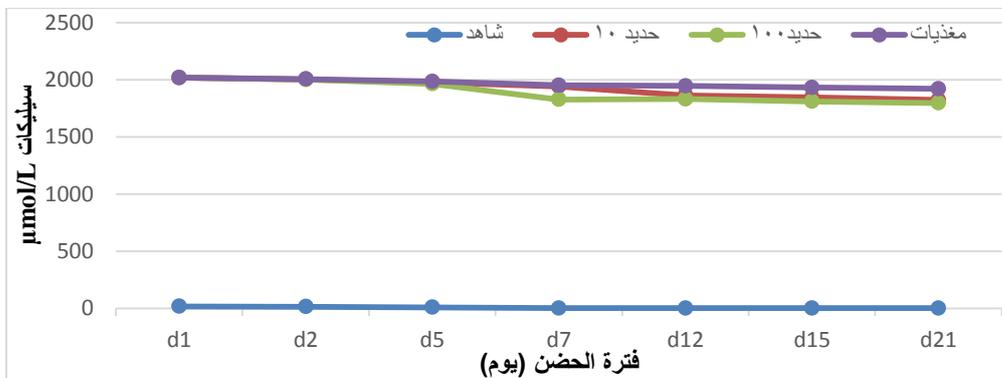
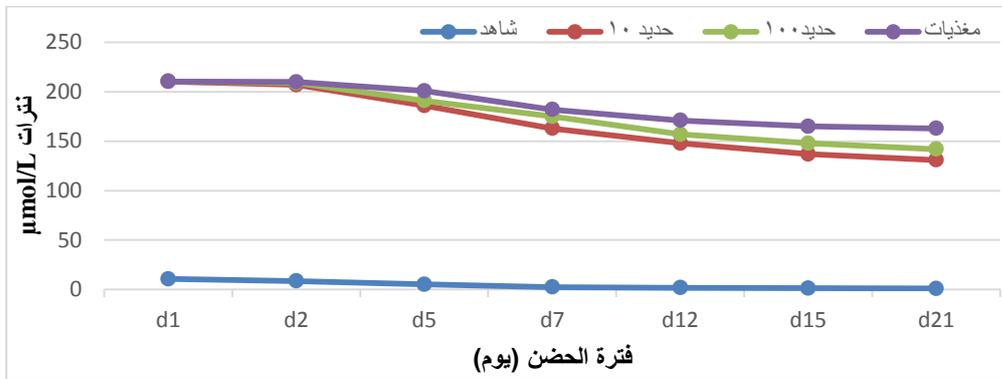
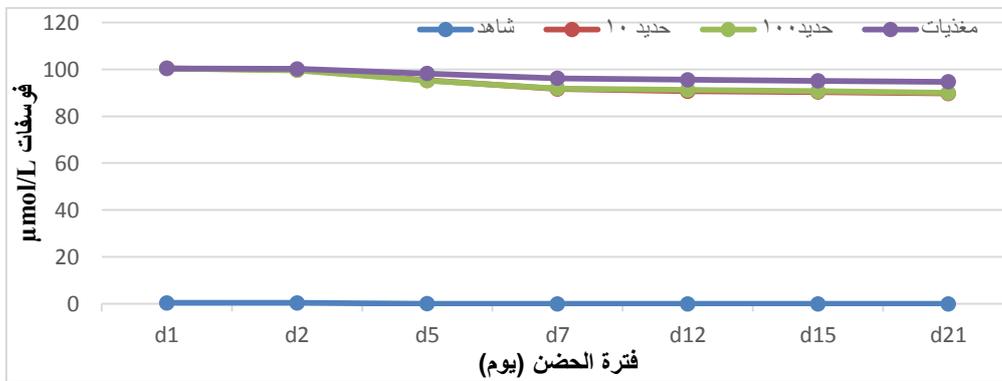
سجلت محضرات الحديد كمية أكبر من استهلاك العناصر المغذية بالمقارنة مع محضر المغذيات وعينات المقارنة، حيث بلغت أكبر كمية استهلاك للعناصر المغذية في محضر الحديد 100 من المحطة (M) وأقلها في عينة المقارنة للمحطة (B)، حيث اشارت العديد من الدراسات إلى أن الحديد يحفز نمو العوالق النباتية والمشطورات بشكل خاص ذات الاحتياج العالي من المغذيات بشكل عام والسيليكا بشكل خاص مما يشير الى ان النمو الحاصل هو للمشطورات (Giri *et al.*, 2022, Balaguer *et al.*, 2022, Mohamed and Amil, 2015)، بلغت أكبر كمية استهلاك للنترات في محضر الحديد 10 في عينات المحطة (M) وأقلها في عينة المقارنة من المحطة (B).

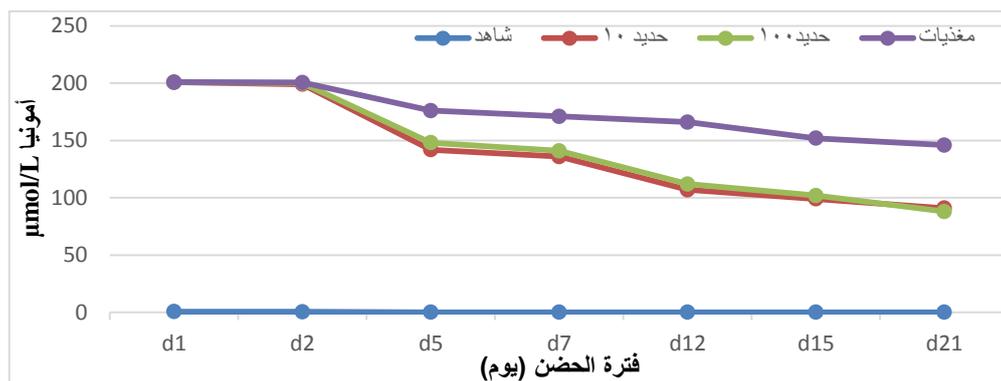
استمر توافر واستهلاك المغذيات المتاحة حتى نهاية التجربة وتوافق ذلك بانخفاض تركيز المغذيات مع ارتفاع الكتلة الحيوية للعوالق النباتية نتيجة نشاط التركيب الضوئي للعوالق النباتية (Ragueneau *et al.*, 2002) لأن الأزوت والفسفور عنصران أساسيان لنمو العوالق النباتية (Golterman and De Oude, 1991)، بينما يعتبر توافر عنصر السيليكات ضرورياً لنمو المشطورات كونه يدخل في بناء درعها السيليبي (Tréguer and De La Rocha, 2013).





الشكل (1): التطور الزمني لتراكيز الفوسفات والنترات والسيليكات والأمونيا ضمن عينات (شاهد، حديد 10، حديد 100، مغذيات) للتجارب المنجزة في محطة مصب نهر الكبير الشمالي (M).





الشكل (2): التطور الزمني لتراكيز الفوسفات والنترات والسيليكات والأمونيا ضمن عينات (شاهد، حديد 10، حديد 100، مغذيات) للتجارب المنجزة في محطة البحوث البحرية (B)

تباينت تراكيز الكلوروفيل *a* للمواقع المدروسة، حيث كانت تراكيز الكلوروفيل *a* في منطقة المصب في اليوم الأول للحضانة وقبل إضافة العناصر المغذية والحديد (5.172 mg.m^{-3}) أكبر مما هي عليه في منطقة البحوث (1.864 mg.m^{-3}) (الجدول 1). يُعزى هذا التباين إلى الاختلافات المكانية للمناطق المدروسة، حيث تعتبر منطقة المصب (M) منطقة غنية بالعناصر المغذية القادمة إليها من مياه النهر الذي يمر بالأراضي الزراعية وينقل معه هذه المواد لمنطقة المصب، بينما تعتبر منطقة البحوث البحرية منطقة شبه مغلقة نتيجة قلة المدخلات الخارجية لهذه المنطقة (Krawi *et al.*, 2018, Jolak *et al.*, 2013, Darwich and Sulaiman, 2013).

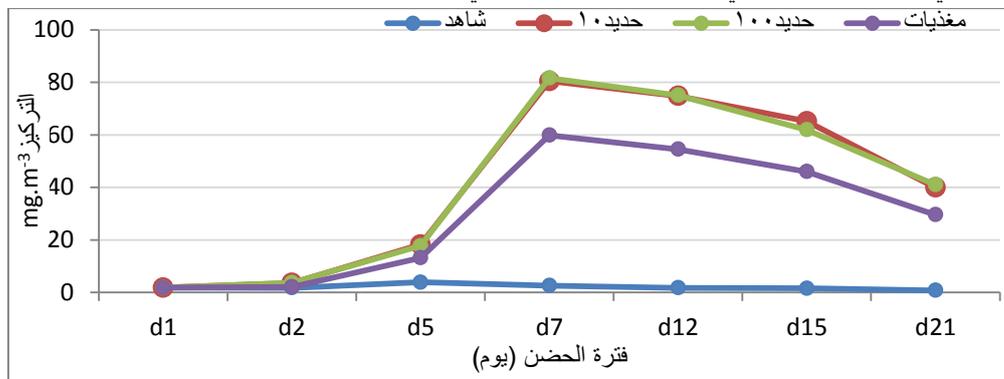
لم نلاحظ زيادة في نمو العوالق النباتية في اليوم الثاني من التجربة في المحضرات الأربعة، بسبب تكيف العوالق النباتية مع المصدر الجديد من المواد الغذائية، وكثافة التعرض للضوء ودرجة الحرارة. ذكرت دراسة سابقة أن هذه العوامل أخذت في الاعتبار، حيث أن مستوى الكلوروفيل في العوالق النباتية حساس بشكل كافي لأي تغييرات بيئية (Mohamed and Amil, 2015).

بدأت العوالق النباتية بالنمو بشكل واضح في جميع الأوساط بدءاً من اليوم الخامس من الحضانة، حيث أخذ المنحني البياني للكلوروفيل *a* بالارتفاع مشكلاً بداية قفزة النمو للعوالق النباتية (الشكال 4 ، 3). رصد معدلات نمو أقل في محطة البحوث البحرية نتيجة لكون التراكيز الابتدائية للمغذيات والكلوروفيل *a* فيها منخفضة (الجدول 1). حدثت قفزة في تراكيز الكلوروفيل *a* في اليوم السابع في جميع المحضرات وشكلت قمة واضحة كما يشير (الشكالان 4 ، 3). بلغت تراكيز الكلوروفيل *a* في المحطة M أعلى قيمة لها $\text{Max Chl } a$ في اليوم السابع من الحضانة مسجلة 120 mg.m^{-3} في كل من المحضر الثاني والثالث ثم بدأت تراكيز الكلوروفيل *a* بالتراجع بعد اليوم السابع من الحضانة.

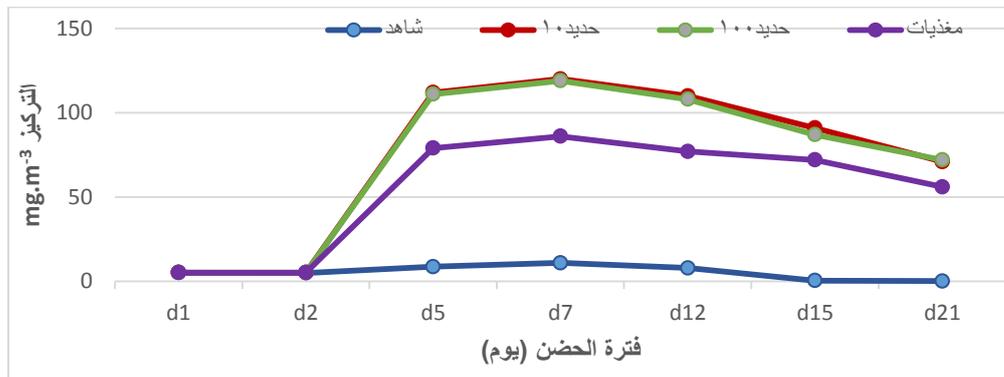
بلغت تراكيز الكلوروفيل *a* أثناء الذروة في منطقة البحوث البحرية في عينة المقارنة (3.902 mg.m^{-3}) وفي المحضر الثاني (80.47 mg.m^{-3}) وفي المحضر الثالث (81.64 mg.m^{-3}) وفي المحضر الرابع (59.85 mg.m^{-3}) (الجدول 2)، حيث كانت الزيادة القصوى في المحضر الثاني وبلغت حوالي 20 ضعفاً. لم يلاحظ فرق كبير في تركيز الكلوروفيل *a* بين المحضر الثاني والثالث أي أن إضافة الحديد بتركيز 10 µmol/L كافية لوصول الكلوروفيل *a* إلى قيمته العظمى في العينات المدروسة. كانت الزيادة في المحضر الرابع حوالي 15 ضعفاً مما يؤكد أن مياهانا محدودة بالعناصر المغذية وبنسبة أقل من معدن الحديد ولكن إضافة الحديد تعزز نمو العوالق النباتية وبالتالي الكلوروفيل *a*.

كذلك هو الحال في موقع المصب، حيث أشارت النتائج إلى ارتفاع في تراكيز الكلورفيل a أكثر من منطقة البحوث البحرية. يمكن تفسير ذلك بكون الكتلة الحيوية البدائية (تركيز الكلورفيل a عند بدء التجربة) كانت أكبر مما هي عليه في محطة البحوث البحرية (الجدول 1)، وكون طبيعة العوالق النباتية في منطقة المصب (M) متألّمة مع التراكيز العالية للمغذيات حيث بلغت تراكيز الكلورفيل a أثناء الذروة (اليوم السابع من التجربة) في منطقة المصب بالنسبة لعينات المقارنة (11.23mg.m^{-3}) والمحضر الثاني (119.76mg.m^{-3}) والمحضر الثالث (119.04mg.m^{-3}) والمحضر الرابع (81.62mg.m^{-3})، كانت الزيادة القصوى في المحضر الثاني وبلغت 11 ضعفاً بالمقارنة مع عينة المقارنة ومن ثم المحضر الثالث وبدرجة أقل المحضر الرابع حيث بلغت 8 أضعاف.

ان كمية النمو للعوالق النباتية في منطقة المصب كانت أكبر بالمقارنة مع منطقة البحوث ولكنها أقل بالنسبة للمضاعفة انطلاقاً من التركيز الأولي للكلورفيل a لكون كمية التوريد الخارجي من الحديد والمعادن النزرة الأخرى في منطقة المصب هي أكبر مما هو عليه في منطقة البحوث البحرية التي تشكل منطقة شبه مغلقة (Krawi et al., 2018).



الشكل (3): التطور الزمني لتراكيز الكلوروفيل a للتجارب المنجزة ضمن محضرات (شاهد، حديد 10، حديد 100، مغذيات) للتجارب المنجزة في محطة البحوث البحرية (B)



الشكل (4): التطور الزمني لتراكيز الكلوروفيل a للتجارب المنجزة ضمن محضرات (شاهد، حديد 10، حديد 100، مغذيات) في محطة مصب نهر الكبير الشمالي (M).

أظهرت الدراسة أيضاً أن نسب استهلاك المغذيات كانت أكبر في موقع مصب نهر الكبير الشمالي (M) بالمقارنة مع منطقة البحوث البحرية (B) إذ يلاحظ من الدراسات السابقة التي جرت على هذه المنطقة أنها تحوي على تنوع كبير في مجتمع العوالق النباتية في منطقة المصب (Darwich and Sulaiman, 2013)، هذا التنوع أدى إلى اختلاف في الاحتياجات من العناصر المغذية وبالتالي أدى إلى نمو الكتلة الحيوية وهذا متوافق مع التراكيز الأولية المقاسة للكلورفيل a على المنطقتين كما هو موضح في الجدول (1).

يشير الجدول (3) إلى نسب استهلاك المغذيات ($\sum N:PO_4^{-3}$, $SiO_4^{-4}: PO_4^{-3}$, $SiO_4^{-4}: \sum N$) ضمن المحضرات الأربعة في محطتي المصب (M) والبحوث (B)، حيث نلاحظ أن النسبة N/P ارتفعت عند إضافة المغذيات في المحضرات (حديد10، حديد100، مغذيات) بالمقارنة مع عينة المقارنة الذي بلغت 4.4 وهي قيمة بعيدة عن نسبة ريدفيلد وذلك بسبب انخفاض تركيز الفوسفات في الوسط ولكن باقي العناصر استمر استهلاكها بكميات قليلة من الوسط على عكس المحضرات الثلاث التي ارتفعت فيها نسبة N/P حوالي الثلاثة اضعاف لتبلغ قيمة 15.096 في محضر الحديد 10 من المحطة (M) وهي قيمة قريبة لنسبة ريدفيلد، في حين ارتفعت النسبة في محضر المغذيات حتى سجلت أعلى قيمة لها 23.574 في المحطة (M).

ارتفعت النسبة Si/P في المحضرات الثلاث (حديد10، حديد100، مغذيات) المحطتين المدروسة بالمقارنة مع المقارنة، كانت النسبة مرتفعة في محضرات الحديد بالمقارنة مع محضر المغذيات إذ بلغت 26.6 في محضر الحديد 100 في المحطة (M) حيث أشارت الدراسة الحالية إلى زيادة استهلاك السيليكات مع إضافة الحديد وهذا متوافق مع دراسة (Giri et al., 2022, Mohamed and Amil, 2015)، بلغت نسبة Si/P في محضر المغذيات في الموقع (B) 15.719 وهي أقرب القيم المسجلة إلى نسبة ريدفيلد التي تشير إلى أن نسبة Si/P:15.

يشير الجدول (3) إلى أن نسبة Si/N أكبر من الواحد مما يشير إلى أن المشطورات كانت سائدة في الوسط في حين بلغت أكبر قيمة لها في محضرات الحديد 100، حيث أشارت العديد من الدراسات لكون الحديد يحفز نمو المشطورات وبالتالي زيادة استهلاك السيليكات مقابل النترات (Giri et al., 2022)، في حين بلغت نسبة Si/N اصغر من الواحد في محضر المغذيات في المحطة (B) التي لا تحوي حديد.

الجدول (3): نسب المغذيات المستهلكة ($\sum N:PO_4^{-3}$, $SiO_4^{-4}: PO_4^{-3}$, $SiO_4^{-4}: \sum N$) ضمن محضرات (شاهد، حديد10، حديد100، مغذيات) في محطتي مصب نهر الكبير الشمالي (M) والبحوث البحرية (B).

الموقع	المحضر	$SiO_4^{-4}: \sum N$	$SiO_4^{-4}: PO_4^{-3}$	$\sum N:PO_4^{-3}$
M	شاهد	1.905	8.389	4.404
	حديد 10	1.533	23.124	15.096
	حديد 100	1.836	26.687	14.538
	مغذيات	1.062	25.021	23.574
B	شاهد	1.618	34.661	21.426
	حديد 10	1.025	16.978	16.572
	حديد 100	1.192	17.967	15.084
	مغذيات	0.962	15.719	16.343

بالنتيجة أدت إضافة الحديد إلى زيادة في نسب استهلاك المغذيات في كلا الموقعين بالمقارنة مع المحضر الرابع (المغذيات) الذي يحوي على العناصر المغذية دون الحديد (الجدول 2). كما ترافق استهلاك العناصر المغذية مع زيادة في تراكيز الكلورفيل a وقد استمر النمو طيلة فترة التجربة وترافق بحدوث قفزة في الاستهلاك في اليوم السابع من التجربة. حدثت القفزة لتراكيز الكلورفيل a في اليوم السابع من التجربة. كما لم نلاحظ سوى اختلافات بسيطة في استهلاك العناصر المغذية بين تركيزين الحديد 10 و 100 مما يشير إلى أن كمية الحديد بالتركيز 10 كانت كافية لرفع سوية الكلورفيل a إلى قيمته العظمى في العينات المدروسة. تتوافق هذه النتائج مع نتائج الأبحاث التي تناولت

Balaguer *et al.*, 2022, Mohamed and Amil,) اضافة الحديد لتحسين انتاجية الأولية في المياه البحرية (2015, Anderson *et al.*, 1982, Boye and van den Berg, 2000, Doucette and Harrison, 1991).

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- سجّلت التراكيز الابتدائية للكوروفيل a والشوارد المغذية في منطقة مصب نهر الكبير الشمالي قيم أعلى من تلك المسجلة في منطقة البحوث البحرية.
- أظهرت العوالق النباتية قدرة نمو واضحة في المحطتين المدروستين في أوساط الإغناء، حيث استمر النمو طيلة فترة الحضانة وبقية المغذيات متوافرة في الوسط حتى نهاية التجربة.
- حدثت القفزة في النمو في اليوم السابع من التجربة في جميع المحضرات، في حين كان نمو العوالق النباتية أقل في اوساط المقارنة وتوقف في اليوم الثاني عشر من الحضانة وذلك نتيجة استنفاد الفوسفات من الوسط.
- لعب الحديد دوراً هاماً في تحفيز النمو، حيث بينت النتائج أن أوساط الإغناء بالحديد سجلت أعلى قيم لنمو العوالق النباتية واستهلاك الشوارد المغذية بالمقارنة مع باقي المحضرات.
- إن تركيز الحديد $10\mu\text{mol/L}$ كافي للوصول إلى نمو أعظمي للعوالق النباتية، حيث لم يلحظ فروق واضحة في النمو بالمقارنة مع التركيز $100\mu\text{mol/L}$.
- إضافة الحديد لعبت دور في زيادة استهلاك المغذيات وبشكل خاص السيليكات وكذلك زيادة الاعتماد على الامونيا كمصدر للنيتروجين.

التوصيات:

- الاستمرار بمثل هذه التجارب على مناطق مختلفة من الساحل السوري.
- العمل على تطبيق التجارب مباشرة على الموقع للوقوف على دور الحديد في التأثير على الإنتاجية الأولية في منطقتنا.
- إمكانية استثمار هذه النتائج اقتصادياً في المزارع السمكية والاعتماد على العوالق النباتية المحفز نموها بالحديد كبديل عن الأعلاف المصنعة أو المركبة يدوياً.
- استخدام نتائج هذه الدراسة في المجال البيئي للتقليل من الاحتباس الحراري عن طريق عملية التركيب الضوئي المستهلكة لغاز ثاني أكسيد الكربون.

References:

- Anderson, M. A., Morel, F. M. J. L. & Oceanography 1982. *The Influence Of Aqueous Iron Chemistry On The Uptake Of Iron By The Coastal Diatom Thalassiosira Weissflogii* 1. 27, 789-813.
- Boyd, P. W., Watson, A. J., Law, C. S., Abraham, E. R., Trull, T., Murdoch, R., Bakker, D. C., Bowie, A. R., Buesseler, K. & Chang, H. J. N. 2000. *A Mesoscale Phytoplankton Bloom In The Polar Southern Ocean Stimulated By Iron Fertilization*. 407, 695-702
- Boye, M. & Van Den Berg, C. M. J. M. C. 2000. *Iron Availability And The Release Of Iron-Complexing Ligands By Emiliana Huxleyi*. 70, 277-287.

- Bruland, K. W., Rue, E. L., Smith, G. J. J. L. & Oceanography 2001. *Iron And Macronutrients In California Coastal Upwelling Regimes: Implications For Diatom Blooms*. 46, 1661-1674.
- Chase, Z.;Hales, B.;Cowles, T., *Et Al. Distribution And Variability Of Iron Input To Oregon Coastal Waters During The Upwelling Season*.110,C10,2005,Pp.
- Darwich, F. & Sulaiman, N. 2013. *Influence Of Nutrients On Phytoplankton Growth In Lattakia Costal Water*. *Tishreen University Journal For Research And Scientific Studies*, 34.
- Elrod, V.;Johnson, K.;Fitzwater, S. And Plant, J.J.J.O.G.R.O.A *Long-Term, High-Resolution Record Of Surface Water Iron Concentrations In The Upwelling-Driven Central California Region*.113,C11,2008,Pp.
- Ferderer, A., Chase, Z., Kennedy, F., Schulz, K. G. & Bach, L. T. J. B. D. 2022. *Assessing The Influence Of Ocean Alkalinity Enhancement On A Coastal Phytoplankton Community*. 1-36.
- Fleurence, J.*Microalgae: From Future Food To Cellular Factory*,John Wiley & Sons,2021.
- Giri, T., Goutam, U., Arya, A. & Gautam, S. J. T. I. S. 2022. *Effect Of Nutrients On Diatom Growth: A Review*. 19, 1752-1752.
- Golterman, H. And De Oude, N. 1991. *Eutrophication Of Lakes, Rivers And Coastal Seas. Water Pollution*. Springer.
- Grasshoff, K.;Kremling, K. And Ehrhardt, M.*Methods Of Seawater Analysis*,John Wiley & Sons,2009.
- Ishizaka, N.;Saito, K.;Noiri, E., *Et Al. Administration Of Ang Ii Induces Iron Deposition And Upregulation Of Tgf-B1 Mrna In The Rat Liver*.288,4,2005,R1063-R1070pp.
- Jeffrey, S.T. And Humphrey, G.J.B.U.P.D.P. *New Spectrophotometric Equations For Determining Chlorophylls A, B, C1 And C2 In Higher Plants, Algae And Natural Phytoplankton*.167,2,1975,191-194pp.
- Jia, J., Chen, Q., Ren, H., Lu, R., He, H., Gu, P. J. I. J. O. E. R. & Health, P. 2022. *Phytoplankton Composition And Their Related Factors In Five Different Lakes In China: Implications For Lake Management*. 19, 3135.
- Jolak, S., Krawi, H. & Darwich, F. 2013. *A Study Of The Distribution Of Nutrients In Different Types Of Coastal Waters And Their Impact On The Hydrochemical Properties Of The Water*. *Tishreen University*.
- Krawi, H., Darwich, F. & Jolak, S. 2013. *Study Of The Behavior Of Nutrients (Sio⁴⁻⁴, Po⁴⁻³, No³⁻, No²⁻, Nh⁴⁺) Dissolved In Water Along The Salinity Gradient Of The Al-Sin River Estuary (Mediterranean Sea-Syria)*. *Tishreen University Journal-Basic Sciences Series*, 35.
- Krawi, H., Darwich, F., Laika, H. E. & Joulak, S. 2018. *Influence Of Iron Availability On Nutrient Utilization And Phytoplankton Growth In The Syrian Coast*.
- Larson, C.A.;Liu, H. And Passy, S.I.J.F.M.E. *Iron Supply Constrains Producer Communities In Stream Ecosystems*.91,5,2015,Fiv041pp.
- Martin, J.H.;Coale, K.;Johnson, K., *Et Al. Testing The Iron Hypothesis In Ecosystems Of The Equatorial Pacific Ocean*.371,6493,1994,123-129pp.
- Mohamed, K.N. And Amil, R.J.P.E.S. *Nutrients Enrichment Experiment On Seawater Samples At Pulau Perhentian, Terengganu*.30,2015,262-267pp.
- Morel, F.M. And Price, N.J.S. *The Biogeochemical Cycles Of Trace Metals In The Oceans*.300,5621,2003,944-947pp.
- Noiri, Y.;Kudo, I.;Kiyosawa, H., *Et Al. Influence Of Iron And Temperature On Growth, Nutrient Utilization Ratios And Phytoplankton Species Composition In The Western Subarctic Pacific Ocean During The Seeds Experiment*.64,2-4,2005,149-166pp.

- Öztürk, M., Steinnes, E., Sakshaug, E. J. E., Coastal & Science, S. 2002. *Iron Speciation In The Trondheim Fjord From The Perspective Of Iron Limitation For Phytoplankton*. 55, 197-212.
- Planavsky, N.J.;Crowe, S.A.;Fakraee, M., Et Al. *Evolution Of The Structure And Impact Of Earth's Biosphere*.2,2,2021,123-139pp.
- Prasad, S.;Malav, L.C.;Choudhary, J., Et Al. 2021. *Soil Microbiomes For Healthy Nutrient Recycling. Current Trends In Microbial Biotechnology For Sustainable Agriculture. Springer.*
- Regulations, U.S.E.P.A.O.O.W. *Water Quality Standards Handbook,Us Environmental Protection Agency, Office Of Water Regulations And Standards*,1983.
- Shcolnick, S. And Keren, N.J.P.P. *Metal Homeostasis In Cyanobacteria And Chloroplasts. Balancing Benefits And Risks To The Photosynthetic Apparatus*.141,3,2006,805-810pp.
- Sholkovitz, E.R.;Sedwick, P.N. And Church, T.M.J.G.R.L. *On The Fractional Solubility Of Copper In Marine Aerosols: Toxicity Of Aeolian Copper Revisited*.37,20,2010,Pp.
- Strzepek, R.F. And Harrison, P.J.J.N. *Photosynthetic Architecture Differs In Coastal And Oceanic Diatoms*.431,7009,2004,689-692pp.
- Sunda, W.J.F.I.M. *Feedback Interactions Between Trace Metal Nutrients And Phytoplankton In The Ocean*.3,2012,204pp.
- Suzal, A.;Bizsel, N.;Bizsel, K.C., Et Al.*Dissolved Nutrient Behaviour Along The Estuarine Salinity Gradient At The Gediz River Mouth (Aegean Sea, Turkey)*.32,2,2008,67-84pp.
- Tagliabue, A.;Bowie, A.R.;Boyd, P.W., Et Al.*The Integral Role Of Iron In Ocean Biogeochemistry*.543,7643,2017,51-59pp.
- Treguer, P.J. And De La Rocha, C.L.J.A.R.O.M.S.*The World Ocean Silica Cycle*.5,2013,477-501pp.
- Tripathy, S. And Jena, B.J.R.S.I.E.S.S.*Iron-Stimulated Phytoplankton Blooms In The Southern Ocean: A Brief Review*.2,1,2019,64-77pp.
- Umezawa, S., Tozawa, M., Nosaka, Y., Nomura, D., Onishi, H., Abe, H., Takatsu, T. & Ooki, A. J. B. D. 2022. *Nutrient Consumption By Diatoms In The Dark Subsurface Layer Of Funka Bay, Hokkaido, Japan*. 1-18.
- Zhao, P.;Gu, W.;Huang, A., Et Al.*Effect Of Iron On The Growth Of Phaeodactylum Tricornutum Via Photosynthesis*.54,1,2018,34-43pp.