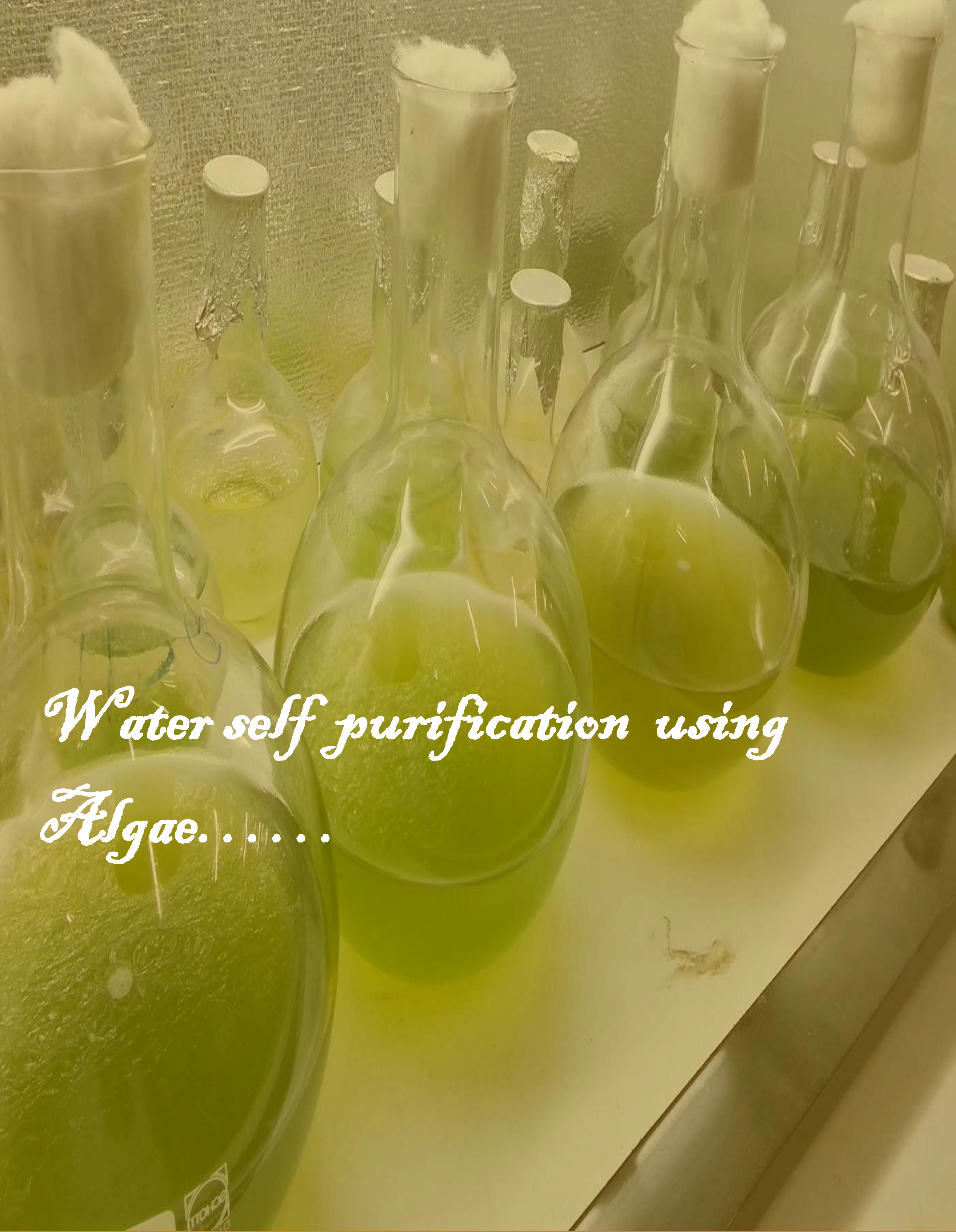


Water self purification using Algae……

تقرير مشروع بعنوان:

التَّنقية الذَّاتيَّة للمياه باستخدام الطَّحالب

تقديم الطُّلاب :

رهام سلمان محمد خليل

علي يوسف زين حسين

أحمد ابراهيم دانيال النُّقولا

الصَّف :الأول الثَّانوي والثَّاني الثَّانوي

العام الدراسي :2014-2015

إشراف :الأستاذ طارق علَّان

الفهرس

فهرس الصور والأشكال البيانية

فهرس الجداول

المصطلحات الجديدة

الأجنبية	العربية
Absorbtion	الامتصاص
Accumulation	التراكم
Adsorbtion	الادمصاص
Algae	الطحالب
Algae Culturing	استزراع الطحالب
Bacillariophyta	الطَّحالب المشطورات
Bioavailable	شكل متوفر حيوياً
Biosorbent	مواد حيوية ممتصة
Bound Form	أشكال مرتبطة
Centrales	رتبة المشطورات المركزية
Charophyta	الطحالب الكارية
Chlorophyta	الطحالب الخضراء
Chrysolaminarine	الكريزولاميناارين
Chrysophyta	الطَّحالب الذَّهبيَّة
Cilia	الأهداب
Cryptophyta	الطَّحالب المستخفية
Culturing in wastewater	الاستزراع في المياه العادمة
Cyanophyta	الجراثيم الزرقاء

Dissolved Oxygen(DO)	الأوكسجين المنحل
Euglenophyta	الطحالب اليوغلينية
Flagella	السياط
Functional Groups	المجموعات الوظيفية
Laminarine	اللامينارين
Lichens	الأشنيات
Open ponds	طريقة البرك المكشوفة
Pennales	رتبة المشطورات الريشية
Phaeophyta	الطَّحالب السَّمراء
Photobioreactors	المفاعلات الحيوية الضوئية
Phytoplankton	عوالق النباتية
Prochlorophyta	طلائع الطحالب الخضراء
Pseudocilia	الأهداب الزائفة
Pyrrophyta	الطَّحالب النَّاريَّة
Rhizopods	الأرجل الجذرانية
Rhodophyta	الطَّحالب الحمراء
Saprobic	المستوى العضوي
Silicaflagellates	السوطيات السيليسية
Soil Algae	التّربة طحالب
Tolerance	التحمل
Trophic	المغذيات النباتية
Xanthophyta	الطَّحالب الصَّفراء المخضرَّة

المقدمة

يمثّل الماء أحد الأبعاد الاستراتيجيّة المهمَّة في صنع الحياة بشتَّى أشكالها. وتتعرَّض مصادر المياه لتلوُّث بشكل كبير وتختلف أنواع الملوّثات ومصادرها من مكان لآخر وهذا دفع إلى العمل والبحث عن طرق بسيطة وحلول قليلة التَّكلفة لمعالجة هذه المياه بالاستفادة من تقنيَّات طبيعيّة ومستنبطة من أرض الواقع، فالله تعالى أوجد في هذه المياه طرق لتنقية نفسها وإزالة الملوّثات وهي التَّنقية الذّاتيّة والَّتي تقوم بها الكائنات الدّقيقة الموجودة في الماء وأهمَّها الطَّحالب والجراثيم والفطريات. تمثّل الطّحالب الأحياء النَّباتية المسيطرة في الأوساط المائيّة، وهي تقوم في جميع النُّظم البيئيَّة المائيَّة بوظيفتين أساسيَّتين هما إنتاج المواد العضويَّة الضَّروريَّة لحياة ونمو مختلف الأحياء المائيَّة الأخرى بفضل مقدرتها الفذّة على القيام بعمليَّة التَّركيب الضَّوئي، وتوليد الأوكسجين الضَّروري لتنفُّس الأحياء المائيَّة ولإنجاز عمليَّات التَّنقية الذَّاتية للمياه على وجه الخصوص.

من النَّاحية التَّطبيقيَّة توضَّحت أهمية الطَّحالب في مجالات متعدّدة كالغذاء والزّراعة والصّناعة والطُّب، ولكنَّها ذات فائدة كبيرة في عمليَّات تنقية المياه وذلك نظراً لقيامها بتوليد الأوكسجين الضَّروري لقيام الجراثيم الهوائيَّة بعملها في تفكيك المخلَّفات العضويَّة والتَّخلص منها، بالإضافة إلى ذلك تلعب الطَّحالب دوراً كبيراً في امتصاص المعادن الثَّقيلة والمواد العضويَّة واللَّاعضويَّة من المياه العادمة مما يساعد على تنقية المياه وتخليصها من الملوّثات.

أهمية المشروع وأهدافه:

نعاني في وقتنا الحالي من نقص في الموارد المائية وتلوثها وذلك بسبب التطور الصناعي الكبير والزيادة السكانية المرتفعة وهذا ما دعانا للبحث عن طريقة سهلة وبسيطة لتنقية هذه المياه وإعادتها إلى الاستخدام ومن المعلوم أن هذه الطرائق متعددة وكثيرة ومع ذلك تبقى التنقية الذاتية باستخدام الكائنات الدقيقة إحدى أهم هذه الطرق. ومن هنا استنبطنا فكرة مشروعنا الذي يهدف إلى:

1) أن نتعرَّف على مكونات وخصائص المياه النقيَّة والمياه العادمة.
2) البحث في طرق تلوُّث المياه ووسائل معالجته.
3) دراسة لأنواع الطَّحالب وتصنيفها ومكوّنات الخليَّة الطُّحلبيَّة.
4) التَّعرُّف على الوظائف الحيويَّة لدى الطَّحالب وطرق استزراعها.
5) دراسة عمليَّة لقدرة الطَّحالب على تنقية المياه الملوثة.
6) إمكانيَّة الاستفادة من المياه النَّاتجة عن عمليَّة التَّنقية في مختلف أوجه الحياة.

* *

إشكاليَّة البحث

إن الحاجة الملحّة لتنقية المياه الملوَّثة التي فرضتها أهميَّة المياه بوصفها عنصر هامّ وأساسي في مجالات الحياة كافَّة، جعلتنا نبحث عن طرق مبتكرة وسهلة، فبالنّسبة للبيئة هناك آثار سلبيَّة وخطيرة للمياه الملوَّثة على حياة الانسان والمجتمع بطريقة مباشرة، ومن هذه الآثار التَّأثير بالنَّاحية الجماليَّة للشّواطئ وانتشار الجراثيم على المناطق الساحليَّة مما يؤدي الى أضرار صحيّة جسيمة لمرتادي هذه الشَّواطئ وعلى البيئة البحريّة وهذا بالإضافة الى انتشار الروائح الكريهة المتمثّلة في غاز H_2S والذي يؤثر على الجهاز العصبي ويسبّب أمراض العيون والحساسيّة، وكذلك تلوث التربة مما يؤدي إلى إنتاج محاصيل زراعيّة فاسدة، لذلك لابد من إيجاد طرق لحلّ هذه المشكلة.

فما هي أهم الطُّرق الَّتي تفي بهذا الغرض وهل للطحالب دور في هذه العملية ....؟؟!!

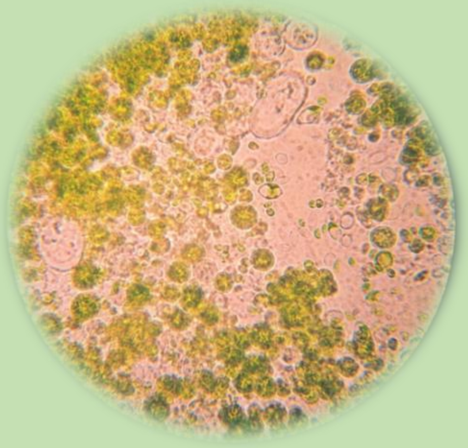
○ الباب الأول: الطَّحالب (وظائف، تطبيقات واستزراع):

✓ الفصل الأوَّل: التَّعريف بالطَّحالب وتصنيفها وبنيتها:

- **الطَّحالب[1]:**

الطَّحالب *Algae* مجموعات ضخمة ومتنوعة من حقيقيات النَّوى أكثر بدائية من النَّباتات، متباينة في الشَّكل والحجم والتَّشكُّل ونمط الحياة، تحتوي اليخضور وتقوم بالتَّركيب الضَّوئي، حيث تختلف فيما بينها، فمنها متناهي الصغر تتكوَّن من خليَّة واحدة لا يتجاوز قطرها 10 ميكرونات ولا يرى إلاَّ بالمجهر كما في الصُّورة رقم(1)، ومنها متعدد الخلايا ويرى بالعين المجردَّة بسبب تنامي الطَّحالب بكثافة حيث تتكدَّس في بقع خضراء داكنة أو بألوان أخرى على مختلف أنواع الطَّحالب الموجودة. ويوجد حوالي عشرين ألف نوع من الطَّحالب منتشرة في الأماكن الرَّطبة وفي الأنهار والبحار والبحيرات.

كانت تصنَّف هذه الكائنات سابقاً ضمن المملكة النَّباتيَّة لأنَّها تحتوي على اليخضور وتقوم بعمليَّة التَّركيب الضَّوئي، ولكنَّها الآن تصنَّف ضمن مملكة الطَّلائعيَّات لأنَّها أكثر بدائية من النَّباتات.



الصُّورة رقم –1–

- **بنية الخليَّة الطَّحلبيّة:[2]**

– الطَّحالب حقيقيَّة النوى: وهي تضم الغالبيَّة العظمى من الطَّحالب، وتحتوي الخلايا في هذه الحالة على المكوّنات الأساسيَّة المعروفة لدى الخليَّة النَّباتيَّة عموماً :

1. الجدار الخلوي: تختلف طبقات الجدار الخلوي بثخانتها ومرونتها وتركيبها الكيميائي من طحلب لآخر وبصورة عامة تكون الطَّبقة الداخليَّة سليلوزيَّة والخارجيَّة بكتينيَّة، ويحفظ الجدار الخليَّة من التَّأثير الشَّديد للحموضة والقلويات.

---

(1) الطَّحالب، د.محمد محمد الحسيني حسن، إعداد : د.عبد العزيز قبلان السراني و د.إدريس بن منير التركي، قسم الأحياء – كلية العلوم، فرع جامعة الملك عبد العزيز، المدينة المنورة، الطَّبعة الأولى عام 2000 م، الفصل الأول الصفحة رقم 7

(2) العوالق النباتية، القسم النظري، منشورات جامعة دمشق- كلية العلوم، د.عدنان أحمد علي نظام (أستاذ في قسم علم الحياة النباتية)، عام 2008- 2009 م، رقم الكتاب 3364

2. النَّواة: تكون معظم الطَّحالب ذات خلايا وحيدة النَّواة، فيما عدا خلايا الطَّحالب الخضراء المزرقَّة الَّتي تحتوي خلاياها على أنوية غير متعضّية.
3. مراكز تكوين النَّشاء: عبارة عن أجسام بروتينيَّة عديمة اللَّون محاطة بصفائح من النَّشاء، فالطَّحالب الخضراء تدّخر النَّشاء بصورة أساسيَّة بينما تدّخر مجموعات الطَّحالب الأخرى سكاكر مركَّبة مختلفة عن النَّشاء.
4. الأصبغة: تحوي الطَّحالب أنماطاً متعدّدة من الأصبغة توجد في البلاستيدات وتأخذ ألواناً مختلفة مما يؤدي لاختلاف ألوان الطَّحالب تبعاً لنوعيَّة هذه الأصبغة الإضافيَّة وغزارتها كما هي الحال في الطَّحالب الذَّهبيَّة والمشطورات والطَّحالب السَّمراء حيث تغزر أصبغة الجزرينات والكزنتوفيلات، أمَّا الطَّحالب الحمراء والزَّرقاء فيعود لونها لوجود أصبغة حمراء وزرقاء من فئة *(Phycobiliprotéines)* .
5. المدَّخرات والمكتنفات الخاصة: ينتج من التَّركيب الضَّوئي واستقلاب الخلايا في الطَّحالب مواد مختلفة تميّز مجموعاتها التَّصنيفيَّة، وتحتوي فجوات الخلايا على مركَّبات خاصَّة ومميَّزة لمجموعات الطَّحالب أهمَّها اللَّامينارين *laminarine* والكريزولامينارين *chrysolaminarine*. وتحتوي الطَّحالب الحمراء على خلايا مفرزة لليود والبروم، كما أنَّ لكثير من الطَّحالب المقدرة على تكديس عناصر ومركبات معدنيَّة بتركيز يفوق ما هو عليه في ماء البحر بمئات أو آلاف المرَّات.
6. الأسواط: يتكون الواحد من ليفين إلى تسعة ألياف و اللَّيف الأخير يوجد داخل غمد سوطي. وقد تكون الأسواط متساوية في الطَّول أو غير متساوية. وقد يكون السَّوط أملس ذا جزء قاعدي صلب وجزء طرفي أملس. كما أن الأسواط هي أعضاء توجد عند بعض أنواع الطَّحالب.

– الطَّحالب طلائعيَّة النَّواة: وهي تضمُّ الطَّحالب الزَّرقاء وطلائع الطَّحالب الخضراء *Prochlorophyta*، وتشبه بنية خلاياها الدَّقيقة بنية الجراثيم (البكتيريا) من حيث عدم وجود غشاء نووي وغشاء محيط بالصَّانعات، وعدم وجود ميتوكوندريات وجهاز غولجي، وتختلف عنها بوجود عناصر البنية الدَّقيقة ووجود أصبغة التَّركيب الضَّوئي.

- **البيئة[3]:**

الصُّورة رقم -2-

تتواجد الطَّحالب في البيئات الرَّطبة عند درجات حرارة واسعة المدى. وتكوّن الطَّحالب جزءاً كبيراً من الكساء الخضريّ للمحيطات والبحيرات وغيرهما من المسطّحات المائية كما هو موضح في الصُّورة رقم (2).

والطَّحالب شائعة الوجود في المياه الراكدة، وبعض الطَّحالب تعيش حُرّة على سطح الماء، مكوّنة طبقة سطحيَّة من العوالق النَّباتيَّة *phytoplankton* .

بينما البعض الآخر يكون ملتصقاً بالحجارة المغمورة، أو ملتصقاً بالنَّباتات المائيَّة التي تكون إمّا مطمورة في أنسجتها أو متعلّقة بها دون أن تسبّب أي ضرر لها. كما أنَّها موجودة في التُّربة وعلى سطح الصُّخور والجدران وجذوع الأشجار وفوق الجليد والثَّلج القطبيّ وحتَّى في الصَّحارى الجافة، ويمكن تقسيم الطَّحالب على أساس أماكن تواجدها إلى:

1. الطَّحالب الهوائيَّة:

وتشمل الطَّحالب الَّتي تعيش بعيداً عن مصادر المياه. والطَّحالب في هذه البيئة إمَّا أن تكون فوقيَّة تنمو على أوراق النَّباتات الرَّاقية أو على قفل الأشجار أو على أسطح بعض الحيوانات والبعض منها يتواجد على الصُّخور والحجارة. تغطَّى أنواع الطَّحالب في هذه البيئة بمادة هلاميَّة سميكة تحميها من عوامل الجفاف. والطَّحالب الهوائية تضم كل من الطَّحالب الخضراء، والخضراء المزرقَّة والعصويَّة.

2. طحالب التُّربة Soil Algae :

طحالب التُّربة تمتد من المناطق القطبيَّة حتَّى الصَّحراء الحارَّة. تتميَّز طحالب التُّربة بأنَّها أصغر حجماً عن مثيلاتها في البيئات الأخرى وتتواجد على الطَّبقة السَّطحيَّة أو تحت السَّطحيَّة وإذا وجدت في الأعماق فإنَّها تكون على شكل جراثيم ساكنة.

---

(3) العوالق النباتية، القسم النظري، منشورات جامعة دمشق- كلية العلوم، د.عدنان أحمد علي نظام (أستاذ في قسم علم الحياة النباتية)، عام 2008-2009 م، رقم الكتاب 3364

أنواع الطَّحالب في التُّربة تختلف باختلاف بعض العوامل منها :

- قوام التُّربة.
- درجة الحرارة.
- كيمياء التُّربة مثل أنواع المغذّيات المختلفة.
- محتوى الرُّطوبة.
- الإضاءة.
- الرَّقم الهيدروجينيّ.

وتلعب طحالب التُّربة أدوار بيئيَّة مهمَّة منها:

- زيادة محتوى المواد العضويَّة.
- زيادة التَّهوية.
- تساعد على تثبيت التُّربة ومنعها من الانجراف أثناء عمليَّات التَّعرية وذلك عن طريق إفراز مواد هلاميَّة من الجدار الخلوي يساعد على تماسك حبيبات التُّربة مثل طحلب *Microcoleus* .
- تقوم بعمليَّة تثبيت النّتروجين والَّذي يزيد من عضويَّة التُّربة وبالتَّالي يحسّن ظروف نمو النَّباتات المزروعة.
- تفرز بعض المواد مثل مواد عديدات السُّكريات أو مواد نمو أو مضادَّات حيويَّة بالإضافة إلى المواد النَّاتجة بعد موت وتحلُّل الخلايا الطَّحلبيَّة. ويزداد تواجد الطَّحالب الخضراء المزرقَّة في التُّربة القلويَّة، بينما الطَّحالب الخضراء تسود في التُّربة الحمضيَّة. ولا تتميَّز طحالب التُّربة بالحركة وإذا تحركت فإنها تتحرك بداخل الفيلامينت (*Filament*) الغلاف المحيط.

3. طحالب الجليد :

تتواجد طحالب الجليد في المساحات المتجمّدة أو شبه المتجمّدة حيث يكون سطح المياه ثابت لبعض الوقت. تعيش فيها بعض من طحالب المياه العذبة والمالحة ويختلف وجود الأنواع باختلاف درجة الرَّقم الهيدروجينيّ وأكثر الأنواع شيوعاً بعض من أنواع الطَّحالب الخضراء مثل *Chlamydomonas* وبعض من الطَّحالب اليوغلينيَّة والصَّفراء الذَّهبيَّة وبعض من الخضراء المزرقَّة والدَّايوتومات. النُّمو الأمثل لطحالب الجليد تكون تحت درجة (١٠°م).

- **تصنيف الطَّحالب:**[4]

تقسم الطَّحالب بصورة عامَّة إلى الأقسام التَّالية:

❖ **الطحالب الخضراء المزرقة (*Cyanophyta*):**

تعدُّ أنواع الطحالب الخضراء المزرقة واسعة الانتشار في المياه العذبة والمالحة وبعضها أرضي في الأماكن الرَّطبة، تتميَّز بنمو رائع ولون أخضر مزرق في المياه الرَّاكدة ويمكنها أن تتحمَّل درجة حرارة عالية تصل حتَّى85C، فتعيش في الينابيع الحارَّة ومنها ما يدخل في علاقات تعايشيَّة أو تطفُّليَّة، وبعض منها تقوم بتثبيت النّتروجين الجوّي وتقسم إلى خمس رتب:

1. رتبة (*Chroococcales*)
2. رتبة (*Chamaesiphonales*)
3. رتبة (*Pleurocarpsales*)
4. رتبة (*Nostacles*)
5. رتبة (*Stigonematales*)

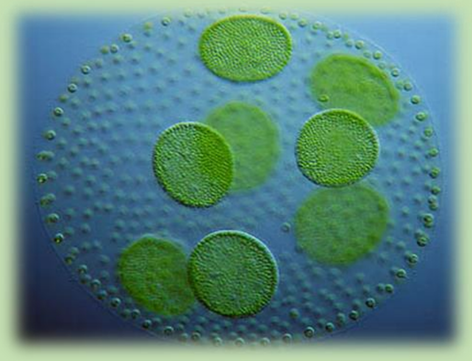
الصُّورة رقم -3-

(تمثل أحد أنواع الطَّحالب الخضراء المزرقَّة)

❖ **الطَّحالب الخضراء (*Chlorophyta*):**

تنتشر غالبيَّة الطَّحالب الخضراء (90%) في المياه العذبة والباقي في البحار. وتوجد في المياه الرَّاكدة والجارية وبعض منها على الثَّلج والجليد، ولها فجوات منقبضة في أغلب أنواع المياه العذبة، وتتضمن نحو 360 جنس و5700 نوع و8 رتب ومنها:

1. رتبة (*Volvocales*)
2. رتبة (*Chrlorococcales*)



الصورة رقم -4-

(تمثل خلايا طحلب ال volvox)

(4) العوالق النباتية، القسم النظري، منشورات جامعة دمشق- كلية العلوم، د.عدنان أحمد علي نظام (أستاذ في قسم علم الحياة النباتية)، عام 2008-2009 م، رقم الكتاب 3364، الصفحة رقم 97

3. رتبة (*Ulotrichales*)

4. رتبة (*Chaetophorales*)

5. رتبة (*Oedogonials*)

6. رتبة الازدواجيات (*Conjugales*)

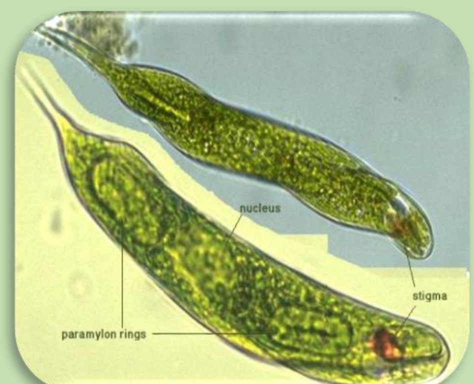
❖ **الطَّحالب الكاريَّة (*Charophyta*):**

تتضمن رتبة واحدة وفقاً لتصنيف [Champan 1962] وهي رتبة *(Charles)* الَّتي تنتشر في المياه العذبة كما في الصُّورة رقم (5) وتختلف عن الطَّحالب الخضراء، وفيها أنواع كثيرة.

الصُّورة رقم –5–(تمثل طحلب كاري)

❖ **الطَّحالب اليوغلينيَّة (*Euglenoids*):**

أفرادها وحيدة الخليَّة عادة والبعض منها يشكّل مستعمرات شجريَّة وهي عديمة الجدار الخلوي، حيث يحيط الغشاء السّيتوبلاسمي البروتوبلاست فتبدو متغيّرة الشَّكل، والصَّانعات الخضراء عديدة ومتباينة الشَّكل، ولكل خليَّة سوط أو شفع أو ربما 3 سياط بالجهة الأماميَّة، وتكون الأفراد ذاتيَّة التَّغذية الضَّوئيَّة أو تتغذَّى بالبلعمة، أو تكون مختلطة التَّغذية، وتوجد في البحيرات وتغزر في البرك والمستنقعات المؤقَّتة ذات المحتوى العضوي المرتفع، وفي مصبَّات الأنَّهار، وتوضّح الصُّورة رقم (6) خلايا الطَّحالب اليوغلينيَّة .



الصُّورة رقم –6–

❖ الطَّحالب الصَّفراء المخضرَّة(Xanthophyta) :

أفرادها وحيدة الخليَّة كرويَّة أو في هيئة مُدمَج خلوي أو خيطيَّة، ويتكوَّن الجدار الخلوي من مواد بكتينيَّة مشبعة بالسّيلكيا *Silica*، لونها أصفرٌ مخضرٌ، وللأبواغ المتحرّكة سوطان غير متساويين في الطَّول وقد تكون عديدة السَّياط، وتقسم إلى الرّتب الآتية:

الصُّورة رقم -7-

(تمثل نوع من طحالب صفراء مخضرة)

- رتبة *Heterosiphonales*.
- رتبة *Vaucheriaceae*.

❖ الطَّحالب الذَّهبيَّة (*Chrysophyta*) :

أفرادها غالباً تكون وحيدة الخليَّة متحركة أو غير متحركة، وتكوّن مستعمرات ونادراً ما تكون خيطيَّة، والأفراد المتحركة ثنائيَّة السَّياط. وهي واسعة الانتشار في الفترات الباردة ولاسيما في الشّتاء وينتمي إليها 325 نوعاً و70 جنساً منها:

الصُّورة رقم -8-

(تمثل صورة لطحلب ذهبي)

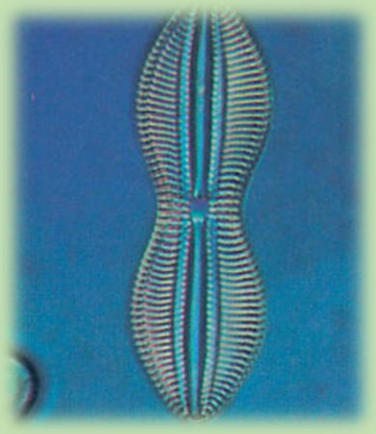
- الجنس *chromulina* .
- الجنس *Mallomonas*.
- الجنس *Dinobryon*.
- الجنس *Coccolithus*.
- السُّوطيات السّيليسيَّة *Silicaflagellates*.

❖ الطَّحالب المشطورات (*Bacillariophyta*) :

المشطورات هي كائنات وحيدة الخليَّة أو مستعمرات لها جدار خلوي صلب يدعى الدَّرع، وتكون بنية السَّطح معقَّدة جدَّاً أحياناً، وتنتشر المشطورات في أيّ موضع تكون الحياة ممكنة فيه، ويقتصر وجود بعض الأجناس على المياه العذبة أو على البحار، ويوجد بعضها في

الينابيع الحارَّة ,وتمثل الصُّورة رقم(9) أحد أنواع المشطورات، وينتمي إليها 170 جنساً و5500 نوعاً. وتقسم إلى رتب:

- رتبة المشطورات المركزيَّة *Centrales*.
- رتبة المشطورات الرِّيشيَّة *Pennales*.



الصُّورة رقم-9-

❖ **الطَّحالب السَّمراء(*Phaeophyta*) :**

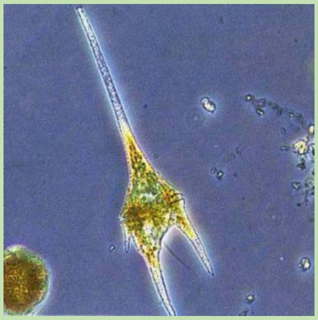
أفرادها غالباً خيطيَّة أو مشرة على الصَّخور والرَّكائز، وغالبيَّتها في البحار وتدعى أعشاب البحر البنيَّة وليس فيها أنواع عوالقيَّة وينتمي إليها نحو 195 جنساً و1000نوع .

وفي الصورة المجاورة مجموعة من الطحالب السمراء.

الصُّورة رقم -10-

❖ **الطَّحالب النَّاريَّة(*Pyrrophyta*) :**

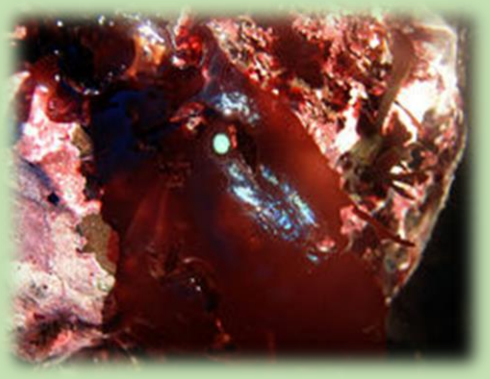
أفرادها غالباً وحيدة خليَّة متحركة بسوطين، ولها أهمية في العوالق ولاسيما في البحار وكثيراً ما تدعى بالسَّوطيات النَّاريَّة, وتمثل الصُّورة المجاورة طحلب ناري.



الصورة رقم -11-

❖ **الطَّحالب المستخفية (*Cryptophyta*) :**

الأفراد وحيدة الخليَّة متحرّكة غالباً بسوطين وعارية والسَّياط مختلفة الطَّول ويعدُّ وسيلة لتناول الجزيئات العضويَّة في بعض الأنواع الرُّمّيَّة العديمة اللون، وهي مجموعة صغيرة ينتمي إليها 14 جنساً، وتنتمي غالبيّة الأنواع العوالقيَّة إلى مجموعة *Cryptomonadineae* .



الصُورة رقم -12-

❖ **الطَّحالب الحمراء(*Rhodophyta*):**

عديدة الخلايا غالباً خيطيَّة أو متفرّعة وربَّما مفردة الخليَّة، وتوجد ملتصقة في المياه العذبة وغالباً في البحار، وينتمي إليها نحو 400 جنساً و2500 نوع.

✓ الفصل الثَّاني: الوظائف الحيويَّة لدى الطَّحالب:

- **تغذية الطَّحالب[5]:**

تعتمد الطَّحالب على القيام بعمليَّة التَّركيب الضَّوئي من أجل تصنيع الغذاء أي أنَّها كائنات ذاتيَّة التَّغذية. فهي تستخدم الطَّاقة الضَّوئيّة للحصول على الكربون اعتباراً من CO_2 المنحل في الماء، كما تحصل على الآزوت والفوسفور وبقيَّة العناصر من أملاحها المعدنيَّة المنحلّة في الماء. ولكن بعضها يمكن أن يتطلَّب وجود مركَّبات عضويّة بسيطة للقيام بالتَّركيب الضَّوئي، في حين توجد طحالب متعايشة مع أحياء أخرى. ولاسيما مع الفطريات، حيث يعطي هذا التَّعايش أنواع الأشن lichens، ومع المرجانيَّات والإسفنجيَّات وغيرها من الأحياء الحيوانيَّة. وأخيراً توجد بعض الطَّحالب عديمة اليخضور، وتعتمد في تغذيتها على المواد العضويَّة الجاهزة.

- **التَّكاثر عند الطَّحالب[6]:**

❖ التَّكاثر الإعاشي:

1. بالانقسام البسيط للخليَّة الطَّحلبيَّة:

هذه الطَّريقة شائعة في الطَّحالب وحيدة الخليَّة ويؤدّي الانقسام الخلوي في الطَّحالب عديدة الخلايا إلى نموها.

2. بالتَّفتيت: هذه الطَّريقة شائعة في الطَّحالب الخيطيَّة ويتم التَّفتيت عرضيَّاً أو يتم بتكوين قرص انفصال الَّذي يسهل تفتيت جسم الطَّحلب إلى فتيتات وينتج عن ذلك تكوين فتيتات عديدة الخلايا تنمو بانقسام خلاياها مكونة أفراد طحلبيَّة جديدة.

---

(5) The Growth of Continuous Cultures of the Phytoplankton Phaeodactylum Tricornutum
.Oya S. OKAY.Page 10

(6)الطَّحالب، د.محمد محمد الحسيني حسن، الصفحة رقم 28

❖ التَّكاثر اللَّاجنسي[7]:

تتكاثر الطَّحالب لاجنسيّاً بتكوين أنواع مختلفة من الجراثيم وتراكيب أخرى، ويتم التَّكاثر اللَّاجنسي عند الطَّحالب بإحدى هذه الطّرق التَّالية:

1) تكوين الأكينيتات:

في هذه الطَّريقة تستطيل الخليَّة الطُّحلبيَّة الخيطيَّة ويسمك جدارها وبذلك تتكوَّن الأكينيتات وتقاوم هذه التَّراكيب الخلويَّة الظُّروف البيئيَّة غير المناسبة وبتحسُّن الظُّروف تنبت لتكون طحلب جديد.

2) تكوين جراثيم ساكنة:

تكون بعض الخلايا الطُّحلبيَّة جراثيم سميكة الجدار يخزّن فيها المواد الغذائيَّة، تقاوم الظُّروف البيئيَّة غير المناسبة وبتحسُّن الظُّروف تنمو مشكّلة طحلب جديد.

.

الصُّورة رقم -13-

صورة توضّح آلية التّكاثر الجنسي واللّاجنسي للطّحالب

3) تكوين جراثيم وحويصلات هرموجونيَّة:

تتكوّن في الطَّحالب الخيطيَّة. وتُحثُّ بنفس الطَّريقة السَّابقة ولكن بتكوين الهرموجونات.

4) تكوين جراثيم داخليَّة:

تحدث في معظم الطَّحالب الوحيدة الخليَّة حيث تنقسم سيتوبلاسما الخليَّة ويكوّن جراثيم تدعى بالجراثيم الداخليَّة، تنبت كل واحدة منها لتكوّن طحلب جديد.

5) تكوين جراثيم خارجيَّة :

تكون هذه الجراثيم رقيقة الجدار وعديمة الأسواط، تتكوَّن خارجيَّاً من بروتوبلاست، وبعضها وحيدة الخليّة. ويوجد هناك طرق كثيرة أخرى كالتَّكاثر اللّاجنسي بتكوين الجراثيم المتحرّكة وتكوين الجراثيم غير المتحرّكة وبتكوين الحويصلات المغايرة.

---

(7) الطَّحالب، د.محمد محمد الحسيني حسن، الصفحة رقم 29

❖ التَّكاثر الجنسي[8]:

يبدي أنماطاً متعدّدة لا نجد نظيراً لتنوّعها في الأحياء الأخرى، فحلقة الحياة يمكن أن تكون وحيدة الجيل (أحاديَّة) أو مضاعفة الصّيغة الصبغيَّة، كما يمكن أن تكون ثنائيَّة الجيل متماثلة أو مختلفة الشَّكل تبعاً لتماثل الجيلين العروسي والبوغي أو اختلاف شكلها وسيادة أحدهما. وأخيراً يمكن أن تتضمَّن حلقة الحياة تعاقب ثلاثة أجيال (عروسي، وبوغي ثمري، وبوغي رباعي) كما في معظم الطَّحالب الحمراء، وهنا أيضاً يمكن أن تكون متماثلة أو مختلفة الشكل.

- **الحركة[9]:**

تمتلك غالبيَّة الطَّحالب ماعدا الطَّحالب الحمراء خلايا متحرّكة خلال دورة حياتها أو في طور محدّد منها فقط، والخلايا المتحرّكة تتميَّز عن الخلايا عديمة الحركة بوجود جهاز حركي خاص يساعد على الانتقال في الوسط السَّائل بإحدى البنيات الخاصَّة الآتية:

1. الأرجل الجذرانيَّة (Rhizopods) وهي خلايا مؤقَّتة.
2. الأهداب (cilia) والأهداب الزَّائفة (pseudocilia) والسَّياط (Flagella)

▪ الأهداب (Cilia) :

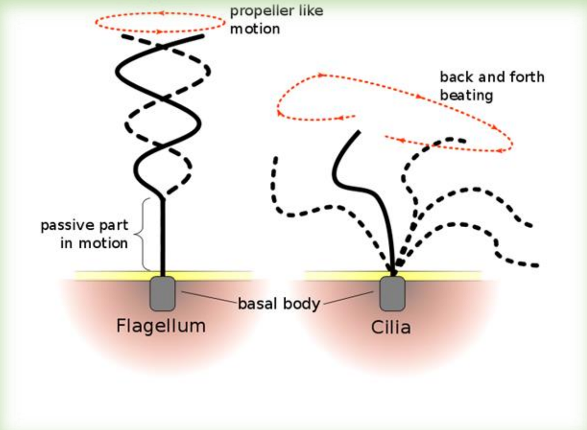
بنيات عديدة قصيرة، يتراوح عددها من بضع عشرات إلى بضع مئات، وطولها من 5−10 ميكرونات، تؤمّن حركة اهتزازيَّة طاقيَّة، بينما تمتلك الأهداب الزَّائفة شكل أهداب طويلة رقيقة جداً غير متحرّكة، وتظهر بعد التَّلوين خاصَّة.

▪ السَّياط (Flagella) :

بنيات طويلة تبلغ بضع عشرات الميكرونات، وقليلة العدد، تفيد في تأمين الحركة لكثير من خلايا الطَّحالب الذهبيَّة والخضراء على مدى حياتها، بينما يقتصر وجودها في بعض الطَّحالب الأخرى على الأعراس والأبواغ، وتختلف السَّياط باختلاف أنواع الطَّحالب، وتفيد خواص السَّياط في التَّصنيف مثل:

- عدد السَّياط في الخليَّة الواحدة.

(8)الطَّحالب، د.محمد محمد الحسيني حسن، الصفحة رقم 30
(9) الموسوعة العربية ....صفحة 101



الصُّورة رقم -14-

- مكان ارتكاز السَّياط.
- الطَّول النّسبي للسّياط عند وجود أكثر من سوط.
- اهتزاز السَّياط.
- وجود الزَّوائد الشَّعرية الدَّقيقة أو غيابها في السَّياط الملساء، والشَّعر الدَّقيق والحراشف في بعض السَّياط .

✓ الفصل الثالث: أهم تطبيقات واستخدامات الطَّحالب(10):

تستطيع الطَّحالب أن تلعب دوراً فعّالاً في التَّقدُّم الاقتصادي وذلك لإمكانيَّة استزراعها حتَّى في أقسى الظُّروف الَّتي تُعدّ غير ملائمة لأي نوع من أنواع الحياة، لقدرتها الكبيرة على التَّأقلم، ولها فوائد واستخدامات عديدة منها:

❖ ذات أهمّيَّة في المزارع السمكيَّة:

تستعمل الطَّحالب كمواد غذائيَّة للمزارع السمكيَّة. حيث تُضاف مزرعة الطَّحالب من جنس *Scendesmus* عادة كمواد غذائيَّة لبعض المزارع السمكيَّة.

❖ تلعب دور مهم في معالجة مياه الصَّرف الصّحيّ[11]:

يأتي دور الطَّحالب من خلال قيامها بعمليَّة التَّركيب الضَّوئي الَّذي ينتُج عنها إطلاق الأوكسجين ممَّا ينشّط عمل البكتيريا لتقوم بدورها في معالجة المياه المُلوَّثة، وامتصاص بعض المواد العضويَّة والمعادن الثَّقيلة.

وتتم معالجة مياه الصَّرف الصّحيّ على ثلاثة مراحل، وهذه المراحل توصف كأوليّة، ثانويَّة وثالثيَّة. المعالجة الأوّليَّة تشمل إزالة الحصبة، الحطام والجزيئات الصَّغيرة وتعدّ بمثابة مرحلة ما قبل الفلترة والفحص، وهي تسمح للمواد الصُّلبة المعلّقة بأن تستقرّ.

(10)العوالق النباتية، القسم النظري، منشورات جامعة دمشق- كلية العلوم، د.عدنان أحمد علي نظام (أستاذ في قسم علم الحياة النباتية)، عام 2008-2009 م، رقم الكتاب 3364، الصفحة رقم 71

[11] Laborarory evaluation of Dunaliella tertiolcta, Ashley Juanika Belle ,page 15.

مرحلة المُعالجة الثَّانويَّة تعتمد بشكل أساسي على عمليَّة المُعالجة البيولوجيَّة. وتلعب الطَّحالب دور كبير في مرحلة المُعالجة الثّانويَّة. يوجد بين البكتيريا والطَّحالب علاقة تعايشيَّة، حيث أنّ تفسُّخ المواد العضويَّة عن طريق الميكروبات (البكتيريا) يُطلِق غاز النيتروجين والفوسفور وثنائي أوكسيد الكربون الَّذي تحتاجه الطَّحالب لتقوم بعمليَّة التَّركيب الضَّوئي وذلك لتُنتِج الأوكسجين اللَّازم لعمل البكتيريا .

تمتلك الكائنات الدَّقيقة القدرة على تفكيك المركَّبات الكيميائيَّة المعقَّدة المختلفة وتحويلها إلى مركَّبات بسيطة وجعل الكثير منها قابل للامتصاص من قبل الطَّحالب والَّتي تسهم بشكل واسع في عمليَّات التَّنقية الذَّاتيَّة الَّتي تجري بصورة طبيعيَّة في المياه العادمة.

❖ الطَّحالب كمصدر غذاء للإنسان[12]:

تُستخدم العديد من الطَّحالب كإضافات تدخل في تكوين غذاء الإنسان، حيث تعد مصدراً للمواد الكربوهيدراتيَّة والفيتامينات والمواد غير العضويَّة، ومثال عن ذلك في اليابان يضاف مسحوق الطُّحلب *Cholorella ellipsoides* إلى الشَّاي الأخضر .

❖ الطَّحالب في الطُّبّ:

- يُستخرج من بعض الطَّحالب مواد كيميائيَّة تدخل في تركيب الأدوية:

  يُحضر من بعض الطَّحالب الحمراء الآجار وهو يستخدم في الطِّب كمادَّة مليّنة ذلك لأنَّه لا يُهضم في أمعاء الإنسان.

- يُستخرج من بعض الطَّحالب اليود: وهو مادة مُعقّمة تُستخدم في الطُّبّ.

- تحسين قدرة جهاز المناعة:

  أظهرت نتائج الدّراسات الَّتي قام بها الأطبَّاء الباحثون أن بعض أنواع الطَّحالب الَّتي تحتوي على أربع مواد طبيعيَّة ملوَّنة أساسيَّة، هي: الكلوروفيل والبيتاكاروتين وزاثوفيل وفايكوكيانين والَّتي :

1. تُحفّز نظام المناعة بدرجة كبيرة.
2. تُحسّن قدرة الجسم على إنتاج خلايا الدَّم الفتيَّة الجديدة.

[12] Algae-Produced Pfs25 Elicits Antibodies That Inhibit Malaria Transmission

3. تزيد من تكاثر خلايا النُّخاع السُّلاليَّة وخلايا B وخلايا T والخلايا القاتلة طبيعياً.
4. تُعجّل وتُنشّط إنتاج الأجسام المُضادَّة والكيتوكينات ممَّا يُشكّل حماية أفضل ضد غزو الجراثيم للجسم.
5. تزيد من كفاءة الأعضاء الحيويَّة لدى الإنسان مثل: الطُّحال والغدَّة التّيموسيَّة، والكبد والعقد اللَّيمفاويَّة واللُّوَز ونخاع العظام، وتحسّن من قدرتهم على مواجهة العوامل الممرضة سواء كانت سمُومًا أو كائنات دقيقة.

❖ دورها في المجال الصّناعي:

تدخل في بعض الصّناعات: مثل معاجين الأسنان ومنظّفات البشرة ومزيلات الرَّائحة، صناعة المواد اللَّاصقة، والمواد المانعة للرُّطوبة، والورق المصقول والصّناعات النَّسيجيَّة، ومواد التَّجميل والصّناعات الدَّوائيَّة والغذائيَّة.

كما أن الإسبيرولينا تبنى البكتيريا المُكوّنة للحامض اللّبني (اللاكتيك) في الأمعاء، مما يزودنا بفوائد رئيسة: هضم وامتصاص أفضل والوقاية من العدوى وتحفيز جهاز المناعة.

❖ تمثل الطَّحالب حلقة في السّلسلة الغذائيَّة:

تُعدُّ الطَّحالب مواد غذائيَّة عضويَّة وتعتمد الأسماك وغيرها من الحيوانات المائيَّة على الطَّحالب بطريقة مباشرة أو غير مباشرة كمواد غذائيَّة لأنَّ الطَّحالب تحتوي على مواد غذائيَّة مخزَّنة بكميَّات كبيرة .

❖ الطَّحالب مصدر لتكوين البترول والغاز :

تعدُّ الطَّحالب من الكائنات الَّتي تحوّل الطَّاقة الشَّمسيَّة إلى مواد عضويَّة لذلك كما ذكرنا سابقاً فهي تشكّل غذاءً مهماً للكائنات البحريَّة وغيرها من العوالق المائيَّة . فعند تراكم المواد العضويَّة – النَّباتيَّة والحيوانيَّة – في قاع المسطَّحات المائيَّة فإنَّها تُصبح في معزل عن الأوكسجين الحرّ ممَّا يؤدّي إلى تحلُّل المواد العضويَّة مُشكّلة البترول والغاز.

❖ الطَّحالب وتكوين الحجر الجيري :

يوجد الكثير من الكائنات الطَّحلبية الَّتي تستطيع أن تسحب الكالسيوم من الماء وترسّبه على صورة كربونات الكالسيوم في جداره، وتكون مثل هذه التَّرسبات نواة لتشكيل الحجر الجيري ومثال عن هذه الطَّحالب الخضراء المزرقَّة وبعض الطَّحالب الحمراء.

❖ تُفيد مزارع الطَّحالب الكثيفة في الرَّحلات الفضائيَّة حيث أمكن الاعتماد عليها في تكوين نظام متكامل داخل القمرة الفضائيَّة، فتكون الطَّحالب قادرة على استعمال المخلفات النّيتروجينيَّة لرواد الفضاء كمغذيات، وتستخدم الزَّفير النَّاتج مصدراً لثنائي أكسيد الكربون وتضخُّ الأوكسجين للرُّواد وتؤمن مصدراً مهماً للغذاء، لكن هذا المشروع صادف بعض المشاكل التَّصميميَّة وتأمين مصادر للإضاءة لذلك لم يتم تطبيقه حتَّى الآن.

❖ للطَّحالب دور كبير في إنتاج الدّيزل الحيوي[13]:

يحظى الوقود الحيوي بتأييد كبديل مستدام للوقود الحفري. ويتم إنتاج معظم أنواع الوقود الحيوي المُصنَّعَة اليوم من المحاصيل النَّباتيَّة والطَّحالب ويُنظَر إلى الطَّحالب باعتبارها خياراً جيّداً لإنتاج كميَّة كبيرة من الوقود – من دون التعدّي على الأراضي الزّراعيَّة – حيث يمكن أن تحتوي على كميَّات كافية من الطَّاقة، يمكن أن تكون مجدية اقتصاديَّاً في إنتاج الوقود الحيوي.

❖ للطَّحالب دور جمالي :

تُعدُّ المزارع الطَّحلبية والمفاعلات الحيوية من الناحية الجمالية مفتاح إيجابي للإنتاج الطُّحلبي وذلك وفقاً للأبحاث الَّتي أُجريت من الممكن استخدام كل طرق استزراع الطَّحالب باستغلال الميّزات الجماليَّة لكلّ منها والقدرة على صنع تحف فنيَّة حقيقيَّة منها.

[13] The green gold of the future.page 20

✓ الفصل الرابع: طُرق استزراع الطَّحالب Algae Culturing Methods:

- **طُرق استزراع الطَّحالب[14] :**

❖ طريقة البرك المكشوفة(Open Ponds) :

الصُورة رقم -15-

تُقلّل هذه الطَّريقة تكاليف الإنتاج لأنَّها تحتاج فقط إلى ضوء الشَّمس وغاز ثنائي أكسيد الكربون CO_2 في المياه لنموّها، لكن يصعب في هذه الطَّريقة التَّحكم بالظُّروف البيئيَّة كما يمكن أن تتلوَّث الطَّحالب ببعض المواد المترشّحة طبيعيَّاً من الجو المحيط، وتُمثّل الصُورة (15) أحد الأحواض المكشوفة.

❖ طريقة المفاعلات الحيويَّة الضوئيَّة (النِّظام المُغلق) (Photobioreactors):

الصُورة-16-

تشتمل هذه الطَّريقة على نوع من مصادر الضَّوء وتعدُّ نظاماً مغلقاً لعدم وجود بيئة تبادل مع الغازات والمواد الملوَّثة للبيئة. وتتميَّز هذه الطَّريقة عن طريقة البرك المكشوفة بالنِّقاط الإيجابيَّة الآتيَّة:

1. تقليل التَّلوُّث من البيئة الخارجيَّة.
2. القُدرة على استزراع نوع واحد من الطَّحالب المجهريَّة.
3. توفير أفضل الظُّروف اللَّازمة لنمو الطَّحالب من درجة الحرارة والإضاءة وثنائي أكسيد الكربون والمغذّيات.
4. منع تبخُّر الماء.
5. التَّقليب باستمرار ومنع ترسُّب الطَّحالب.

❖ الاستزراع في المياه العادمة(Culturing in Wastewater):

يمكن أن يكون مصدر مغذّيات الطَّحالب من مياه الصَّرف الصّحيّ والزّراعي والصّناعي، لكن لا يمكن لهذه المياه أن تزوّد الطَّحالب بالغذاء مباشرةً لذلك يجب مُعالجتها أولاً بالتحلُّل اللَّاهوائي بوساطة الجراثيم والتَّخلص من محتواها من المعادن الثَّقيلة .

---

[14] العوالق النباتية، القسم النظري، منشورات جامعة دمشق- كلية العلوم، د.عدنان أحمد علي نظام (أستاذ في قسم علم الحياة النباتية)، عام 2008- 2009 م، رقم الكتاب 3364، الصفحة رقم 151

✓ الفصل الخامس: العوامل المُؤثِرة على نموّ العوالق النَّباتيَّة[15]:

معدل النُّموّ: وهو المعدَّل الصَّافي للتّغيّر في عدد الخلايا أو الكتلة الحيويَّة للطَّحالب ويمثّل التَّوازن بين الإضافات بسبب التّكاثر والخسائر النّاجمة عن موت الخلايا .

عمليّات الفقد وهي كل تلك العوامل الَّتي تعمل على إزالة أو تهجير العوالق النَّباتيَّة مثل: الوفيّات الفسيولوجية، والعدوى من مُختلف مسبّبات الأمراض، وغرق الخلايا من منطقة (الترسيب)، والافتراس من قِبل العوالق الحيوانيّة وهي من العوامل الرَّئيسة المسبّبة لخسارة العوالق النَّباتيَّة.

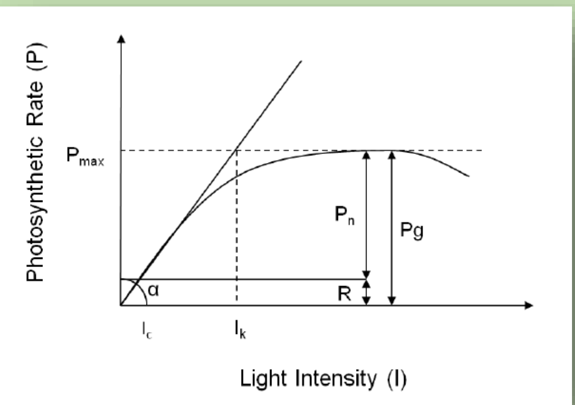
- **العوامل البيئيّة**[16]:

نمو الطَّحالب ووجود عدة أنواع منها في البيئة يعتمد على التّفاعلات المكانيّة والزمانيّة بين العوامل البيئيّة الَّتي تؤثّر على معدّل النّموّ والسلوك علاوة على أن خصائص وأنشطة الكائنات الحيّة الأخرى تؤثّر على نموّ العوالق النَّباتيَّة. ومن أهمها:

- **درجة الحرارة:**

تُعدُّ درجة الحرارة أحد العوامل الرَّئيسة للتأثير على نمو العوالق النَّباتيَّة فهي تؤثّر على التَّفاعلات الكيميائيّة (معدلات التّمثيل الغذائي) في أجسام الطَّحالب فإن زيادة الحرارة تزيد من معدلات النّمو إلى مستوى معين وبعد ذلك يتراجع معدّل النّمو حيث أنّ درجة الحرارة المُثلى لنمو الكثير من الطَّحالب البحريّة 18−25 C

- **الضَّوء:**يجب النّظر إلى مدى الإضاءة والجودة (الطَّول الموجي) وكذلك الكثافة، وهذا يُعتبر من العوامل الرّئيسة الَّتي تسيطر على نمو الطَّحالب وذلك بسبب مشاركة الضوء في عمليَّة التَّركيب الضَّوئي .



الصورة رقم −17−

---

[15]العوالق النباتية، القسم النظري، منشورات جامعة دمشق- كلية العلوم، د.عدنان أحمد علي نظام (أستاذ في قسم علم الحياة النباتية)، عام 2008- 2009 م، رقم الكتاب 3364، الصفحة رقم 109

[16] Phytoplankton Response to Environmental Variables and Organic Pollutants. Laboratory Cultures and Numerical Simulations Experiments.page 9-10-11

يتم رسم استجابة من معدل التّمثيل الضّوئي لشدّة الضّوء في P (معدّل التّمثيل الضّوئي) مقابل I (الإشعاع). في شدّة الإضاءة الخافتة يكون معدّل التّمثيل الضّوئي ضعيف يزيد معدّل التّمثيل الضّوئي خطيّاً مع زيادة الكثافة وعندما يكون في أشدّ كثافة يصل معدل التّمثيل الضّوئي إلى الحد الأقصى(P_{max}).

- **المغذّيات:**

المواد الغذائيَّة هي العناصر الأساسية لنمو العوالق النَّباتيَّة ويجب أن تكون متنوعة من المواد الغذائيّة العضويَّة وغير العضويَّة. تحتاج الطَّحالب إلى الفوسفات والنترات بالإضافة إلى الكربون والهيدروجين والأوكسجين كما تحتاج إلى عناصر أخرى إضافيَّة ضروريَّة لنمو وتكاثر الطَّحالب. حيث يعد نتروجين الأمّونيا المصدر النتروجيني المفضّل من الأملاح اللّاعضويّة للعوالق النَّباتيَّة، وتكون تراكيز الأمّونيا منخفضة ومتباينة في مياه البحر والمياه العذبة غير الملوّثة، غير أنّ الجراثيم المفكّكة للمادة العضويَّة والمخلفات الحيوانيّة توفّر هذه المادة، وتكون المستويات العالية للملوّثات العضويَّة النّاجمة عن المخلفات السّائلة المنزليّة أو الزراعيّة، المصدر الرئيس للأمّونيا في الأنّهار الَّتي يمكن أن تحملها إلى البحيرات أو مصبات الأنَّهار. كذلك يعد النتروجين مصدراً مهما للعوالق النَّباتيَّة، وله تراكيز أكبر من الأمونيا في المياه غير الملوثة، ويتصف بتغيرات موسمية في المنطقة المضاءة، وتتحول النترات إلى أمونيا في خلايا أنواع العوالق النَّباتيَّة، وللنتريت كميات أقل كثيراً مما هي للنترات في المياه، وتنتشر الجراثيم الزَّرقاء المثبتة للنتروجين ضمن العوالق النَّباتيَّة في المياه العذبة ولكنها أقل شيوعا في البحر. ويوجد الفوسفور في صورته اللاعضوية أو العضويَّة في المياه، والمصدر الأساسي هو الأورثوفسفات في البحيرات والبحار، وتتصف خلايا العوالق النَّباتيَّة بقدرة على تكديس احتياطات كبيرة من الفوسفات تزيد على الاحتياج المباشر عند توافر المغذيات. ويستعمل بعض العوالق النَّباتيَّة الفوسفور العضوي عند قلة الفوسفات في البحار والمياه العذبة.

- **الملوحة:**

تتباين درجة ملوحة المياه بين مياه متوسّطة الملوحة في مصبَّات الأنَّهار ومياه شديدة الملوحة في أعالي البحار، الأمر الَّذي يساعد على تكوين حواجز لانتشار العوالق النباتيَّة في المياه، ويمكن تقسيم الطَّحالب إلى:

- أنواع واسعة مدى الملوحة تتحمل تراكيز ملحية متباينة في مصبات الأنَّهار ومياه البحر المخفف جداً إلى مياه شديدة الملوحة.
- أنواع ضيّقة مدى الملوحة توجد في مدى محدود للتَّركيز الملحي، حيث تعاني خلايا العوالق النَّباتيَّة البحريَّة الضيّقة مدى الملوحة التشوه في المياه العذبة وربَّما الانفجار، ويقتصر وجود الازدواجيات على المياه العذبة، حيث تعاني الانكماش البلاسمي في مياه البحر.

- **حركات المياه:**

تعتبر المحيطات من البيئات كثيرة الاضطراب حيث يتفاعل فيها عمل الرّياح، الطَّاقة الشَّمسيَّة، التَّدفئة، المد والجزر ودوران الأرض حيث يؤثر هذا الاضطراب على العوالق النَّباتيَّة من خلال التركيز أو تشتيت بقع منها.

- **الازهرار:**

إن الزّيادة المفرطة في مركبات النّتروجين والفوسفور والكربون من خلال الأنشطة البشريَّة يسبب زيادة في إنتاج الطَّحالب مع أنها في بعض الأحيان تؤدي إلى سمّيّة بسبب الزيادة المفرطة وقد تؤدي هذه الزّيادة أيضاً إلى زيادة في تكاثر الطَّحالب وربما تؤدي إلى تغيُّر في تركيبة بعض الأنواع.

○ الباب الثاني: المياه:

الفصل الأول: الصفات العامة للمياه[17]:

الصفات الفيزيائية للمياه:

- **الكثافة (Density):**

يمكن تعريف كثافة المياه بأنها نسبة الكتلة إلى الحجم في درجة حرارة معينة، وترتبط بعوامل مختلفة، فهي تزداد بازدياد الضغط وكمية الأملاح المذابة في الماء، وتنقص بارتفاع درجة الحرارة ولكنها تزداد عند ارتفاع الحرارة حيث تكون الكثافة أعظمية وتساوي الواحد.

- **اللُّزوجة (Viscosity):**

وهي مقاومة الماء للانتقال الذي تقوم به طبقة إلى طبقة أخرى، وترمز إلى الاحتكاك الداخلي، وهي مرتفعة عموماً، وتتعلق لزوجة الماء بتراكيز الأملاح المذابة، وتنخفض بارتفاع الحرارة وبالعكس.

- **العكر (Turbidity):**

ويمثل قدرة المياه على بعثرة الضوء الساطع عليها، وتتوقف درجته على كمية المواد العالقة العضوية وعلى لونها ودقة حبيباتها، وتتميز هذه المواد بقابليتها للترسيب مع مرور الزمن، ويدل العكر على مدى شفافيتها، وكلما ازداد عكر المياه نقصت شفافيتها والعكس صحيح.

درجة الحرارة(Temperature) :

تعد الحرارة من العوامل المهمة وشديدة التأثير في الخواص الأخرى للماء وفي العمليات الحيوية الكيميائية للأحياء المختلفة، وتتباين درجة حرارة المياه السطحية تبايناً كبيراً خلال العام وفقاً لتغيرات حرارة الهواء والمحيط، وتكون ثابتة تقريباً في المياه الجوفية. وتتميز الحرارة النوعية للمياه Specific heat of water بأنها أعلى من الحرارة النوعية لمعظم المواد.

[17] ميكروبولوجيا المياه –الجزء النظري- للدكتور عدنان أحمد علي نظام الصفحات 22و23و24

الجريان(Flowing):

يعد الجريان عاملاً بيئياً مهماً، إذ تتعرض مياه الأنهار والجداول بمعدلات أكبر للهواء فتتجانس درجة الحرارة في مياهها وكمية الأوكسجين والغازات المذابة والأملاح المغذية، وكثيراً ما يتحدد بوضوح توزيع الأحياء المائية الصغيرة التي تتكيف بأساليب متباينة.

الناقلية الكهربائية (Electrical Conductivity) :

تزداد الناقلية الكهربائية للمياه بازدياد المركبات الكيميائية المتحلّلة كهربائياً مثل الأملاح والأسس والحموض، وتعد هذه الخاصّة دالة لتحديد كمية الأملاح المذابة في المياه بصورة غير مباشرة.

الصفات الكيميائية للمياه:

- **الشوارد الكيميائية (Chemical Ions):**

توجد في الماء العديد من الشوارد الكيميائيّة السالبة مثل الكلوريدات والكبريتات والبيكربونات وفي معظم الأحيان الكربونات، بالإضافة إلى الشوارد الموجبة مثل شوارد الصوديوم والكالسيوم والمغنزيوم، وتوجد شوارد أخرى ولكن بكميات ضئيلة منها البوتاسيوم والحديد والمنغنيز... وتلعب الظروف المناخية السائدة ودرجة الحرارة والأحياء المائية الموجودة دوراً أساسياً في تكوين المحتوى الكيميائي للماء.

- **القساوة (Hardness):**

وهي مجموع شوارد المعادن القلوية الترابية Mg^{+2}، Ca^{+2}، Ba^{+2}، Sr^{+2} وتقدر بالميلي مول/ لتر (mmol\l) ، وشوراد المغنزيوم والكالسيوم تمثل عملياً مجموع شوارد المعادن القلوية الترابية لأنها تمثل النسبة الكبرى منها في المياه.

- **الملوحة (Salinity):**

هي كمية الأملاح المذابة في واحدة الحجم من المياه، وتعتبر المياه عذبة إذا كان تركيز الأملاح فيها أقل من g\l 1، وشبه مالحة إذا كان أقل من g\l 25، ومالحة إذا كان التركيز أكثر منg\l 25.

- **تركيز الغازات المذابة:**

توجد في المياه العديد من الغازات الجوية الذائبة فيه مثل الأوكسجين، وثنائي أكسيد الكربون، وفي بعض المواقع غازات كبريت الهدروجين والميتان والنتروجين والهيليوم وغيرها. تنخفض كمية الأوكسجين المنحل في الماء بازدياد درجة الحرارة أو الملوحة، وهي تتوفر في المياه العذبة أكثر من مياه البحار، وفي السطح أكثر من القاع.

- **تركيز الأملاح المغذية:**

تمثل النترات والفوسفات عاملاً محدداً في معظم النظم البيئية المائية العذبة، وقد يضاف إلها أحياناً أملاح البوتاسيوم وغيرها.

- **المواد العضوية:**

توجد في المياه الطبيعية مواد عضوية متباينة جداً كالدبال Humus والمخلفات السائلة المنزلية والصناعية التي تلقى في الأنهار والبحيرات والوديان دون معالجة، وأهمها الفينولات والمنظفات والهيدروكربونات ولذلك تحدد الكمية الإجمالية للمواد العضوية في اختبارات الدراسات البيئية.

مواصفات المياه النَّقيَّة:

1. اللَّون/ الطَّعم/ الرَّائحة خالٍ تماماً.
2. الشَّوائب العالقة (طبيعيَّة أو حيويَّة) خالٍ تماماً.
3. الحد الأقصى للمواد العضويَّة المنحلَّة 0,023 ملجم/لتر.
4. الحد الأقصى للمواد الغير عضويَّة 3,08 ملجم/لتر.
5. الحد الأقصى للنِّترات 45 ملجم/لتر.

6. الأوكسجين الذَّائب عند درجة C° 25 5−8 ملجم/ لتر.
7. ثاني أكسيد الكربون الذَّائب عند درجة C° 25 2−3 ملجم/ لتر.
8. درجة التَّوصيل الكهربائي عند C° 18 0.0004 ميكروموز/ سم2.
9. درجة التَّوصيل الحراري عند C° 40.8 1.555 وات/ متر. درجة.
10. الضَّغط البخاري عند C° 20 17.62 مليمتر زئبق.
11. الحرارة النوعيَّة عند C° 1 1,00 كيلوجول/ كجم. درجة.
12. الكثافة عند C° 4 1.00 جرام/ سم3.
13. درجة التَّجمُّد صفر درجة مئويَّة.
14. درجة الغليان 100 درجة مئويَّة.
15. درجة الـPH 7.
16. الحرارة الكامنة للتَّبخير عند C° 20 584.9 جرام. كالوري/ جرام.
17. التَّوتُّر السَّطحي عند C° 20 72.75 داين/سم.

✓ الفصل الثَّاني: تلوُّث المياه:

- ندعو تلوُّث الماء كل تحوُّل كيميائي، فيزيائي وبيولوجي في نوعيَّة الماء والَّتي لها تأثير ضار على الكائنات الحية الَّتي تستعمله.

ومن أهم العوامل الملوثة نذكر:

- ❖ الكائنات الحيَّة المجهريَّة والصَّغيرة كالبكتيريا الممرضة والفيروسات وحيوانات وحيدة الخليَّة والَّتي تنمو في المياه المستعملة المتواجدة في المجاري وقنوات الصرف.
- ❖ فضلات الإنسان والحيوانات والَّتي تحتاج للأوكسجين حتَّى يتم تحليلها من طرف البكتيريا، بحيث أن كثرة عدد هذه البكتيريا يجعل كمية الأوكسيجين تقل دون التّخلص من كلّ الفضلات.
- ❖ المواد غير العضويَّة المذابة في الماء منها الأحماض، الأملاح والمعادن السّامة ونترات والفوسفات المذابة في الماء ومصادرها خاصَّة الكائنات الحيَّة والزَّراعة.
- ❖ المواد العضويَّة كالبترول، البلاستيك ومقاوم الطَّفيليات المستعملة في الصّناعة والزّراعة وهي مضرة جدّاً للإنسان والحيوانات والنَّباتات.

- الأتربة السَّابحة في الماء والَّتي تمنع مرور الضوء.
- المعادن وأيونات المعادن يمكن أن تصنَّف وفقاً لتأثيرها أو سميتها على البيئة، والعناصر المعدنيَّة الَّتي كثافتها أكبر من (5 g/cm) تسمى ثقيلة و العناصر الَّتي لها تأثيرات سامة على الكائنات الحيَّة يطلق عليها المعادن الثَّقيلة السَّامة. بعض المعادن الثَّقيلة مثل النُّحاس والزّنك والنّيكل تعتبر أساسيَّة أو ضروريَّة للحياة لأنَّها تلعب دور هام في عمليَّات الأيض الَّتي تحدث في الخلايا الحيَّة أما المستويات المرتفعة من هذه المعادن تعتبر سامة لمعظم الكائنات حقيقية النَّواة وبدائيَّة النَّواة. المعادن الثَّقيلة الأخرى مثل الكادميوم والرَّصاص والزّئبق تعتبر غير أساسيَّة للحياة لأنَّها تسبب أضرار كبيرة للكائنات الحيّة حتَّى في التّركيزات المنخفضة جداً.
- المعادن توجد في أشكال مختلفة: أيونات ذائبة في الماء، أبخرة، أملاح أو معادن في الصُّخور والرّمال والتّربة. كما أنها يمكن أن تكون مرتبطة بجزيئات عضويَّة أو غير عضويَّة، أو ملتصقة (معلَّقة) على جزيئات الهواء.

المياه العادمة[18]:

- المياه العادمة هي كافَّة أنواع المياه المبتذلة الصَّادرة عن الفعاليّات البشريَّة المختلفة (منزلية – تجارية – صناعية)، ويطلق عليها أحياناً مياه المجاري أو مياه الصَّرف الصّحيّ لأنَّها في الغالب تنقل في شبكة المجاري العامَّة في المدينة أو تُعرّف على أنَّها المياه النَّاتجة عن أنشطة الإنسان في السَّكن والصّناعة و الزّارعة وإفرازات الحيوانات، وتحتوي المياه العادمة حسب المصدر على ملوّثات عضويّة وغير عضويَّة وجرثوميَّة وإشعاعيَّة وحراريَّة، وتتواجد الملوثات العضويَّة وغير العضويَّة والجرثوميَّة في المياه العادمة على شكل مواد قابلة للترسّب ومواد عالقة ومذابة على شكل غروي.
- تشكّل المياه العادمة حوالي 80% من المياه العذبة المستهلكة في المدن، وتتألف من الماء بنسبة حوالي 99% ومن الشّوائب والملوّثات الضَّارة المختلفة بنسبة حوالي 1%.

[18] LABORATORY EVALUATION OF DUNALIELLA TERTIOLECTA.page 30

- تتغيّر كمية المياه العادمة المطروحة في شبكة المجاري العامة بتغير معدلات الاستهلاك المائي وبالتالي تختلف كميّتها باختلاف ساعات اليوم أو أيام الأسبوع أو أشهر أو فصول السنة.

- مواد عضوية وغير عضوية 1% :
  - مواد غير عضوية 30% معادن، رواسب، أملاح.
  - مواد عضوية 70% الكربون والأوكسجين والهيدروجين والنتروجين.....
- ماء 99%.

- **مكونات وخصائص المياه العادمة[19]:**

تعتبر هذه المواد، سواء العضويَّة أو غير العضويَّة المتواجدة في مياه الفضلات، ملوثات. وهي تتواجد في الماء إما بشكل مستعلق أو ذائب.

المواد العضويَّة وغير العضويَّة:

- تتألف المواد العضويَّة من مواد ذات أصلٍ حيواني أو نباتي. وتشمل عادة نفايات الحيوانات الحية والميتة وخلايا النَّباتات مع بعض المركبات الصناعية. وتتكون في الأساس من مجموعة مركبات تحتوي على الكربون والكبريت والفسفور، وأهم مجموعاتها البروتينات والكربوهيدرات والشحوم. وجميع هذه المواد قابلة للتحلل البيولوجي بواسطة البكتيريا وغيرها من الكائنات الدقيقة.
- المواد غير العضويَّة وتتكون من مواد معدنية كالأملاح المعدنية والرمل والحصى والغرين وغيره. وهذه المواد خاملة، أي غير قابلة للتحلل البيولوجي.

تتصف المياه العادمة عموماً بأنها مصدر هام من مصادر التلوث الَّذي يُعتبر خطراً على الصّحة العامة نظراً لاحتوائها على العديد من الملوثات الَّتي يمكن أن تكون:

1. ملوثات فيزيائية:

يمكن إزالتها بعمليات فيزيائية مباشرة كالترسيب أو الترشيح أو التصفية أو الامتزاز أو الفصل الغشائي أو التبخير ... إلخ. ومن أهم هذه الملوثات الرمال والجريش والشوائب الخاملة.

(19)مكونات وخصائص المياه العادمة, خالد بدوي, مستشار تقني

2. ملوثات كيميائية:

تتطلب لإزالتها تطبيق بعض العمليات الفيزياكيمائية أو الكيميائية كالتبادل الأيوني أو الترسيب الكيميائي ... إلخ. وقد تكون هذه الملوثات عضوية ومنها الهيدركربونات والدسم والزيوت والشحوم والمبيدات الحشرية والعشبية والبروتينات ... إلخ، أو لاعضوية ومنها القلويّات والأحماض والكلوريدات والمعادن الثقيلة والنتروجين والفوسفور والكبريت، أو غازية ومنها كبريتيد الهيدروجين والأمونيا والميثان.

3. ملوثات حيوية:

وتتطلب لإزالتها تطبيق بعض العمليات الحيوية أو الفيزياكيميائية كالمعالجة الحيوية أو التعقيم. ومن أهم هذه الملوثات الحيوانات الميتة وبعض أنواع الكائنات العضويَّة المجهرية ومنها البكتيريا والفيروسات وكذلك الديدان وبعض أنواع النَّباتات.

- **أقسام المياه العادمة[20]:**

1. المياه العادمة المنزلية:

هي المياه الناتجة عن استعمالات المنازل والمؤسسات والمعامل، أو المصانع الَّتي تكون مياهها مشابهة للمياه العادمة المنزلية، ويمكن معالجتها بنفس الطَّريقة، وتكون المياه العادمة المنزلية عكرة ذات لون مائل إلى الإصفرار، أو داكن، وتحتوي على بقايا الطَّعام وورق، وغائط، وبول، وكميات هائلة من البكتيريا، والفطريات، والفيروسات، وحيوانات أولية وحيدة الخليَّة مثل البروتوزوا وحيوانات أكبر حجماً مثل النيماتودا (الديدان الإسطوانية) والحشرات، وتسبب بعض هذه الكائنات الأمراض الخطيرة للإنسان.

2. المياه العادمة الصناعية:

هي المياه الناتجة عن الاستعمالات الصناعية المختلفة والَّتي تحتوي حسب المصدر على مواد كيماوية ضارة ولا يجب أن يسمح لها بأن تنقل وتعالج مع المياه العادمة المنزلية.

(20) الجامعة الإسلامية – غزة، عمادة الدراسات العليا، كلية الآداب، قسم الجغرافيا، المياه العادمة وأثرها على الخزان الجوفي في محافظة غزة "دراسة في جغرافية البيئة" 1433 ه - 2012 م ، إشراف الأستاذ الدكتور نعيم سلمان بارود

3. المياه العادمة الزراعية:

تمثل المياه العادمة الزراعية المياه الناتجة عن الأنشطة الزراعية المختلفة، خصوصاً عند استعمال الزراعة المكثفة وتربية الحيوانات، وتحتوي المياه العادمة الزراعية على مواد عضوية سهلة التحلل ولا تشكل خطراً على البيئة عند اختيار الطَّريقة الملائمة لعمليات المعالجة مثل: إعادة المواد إلى دورتها الطَّبيعية عن طريق استعمالها في الزراعة والحراج، وتجمع المياه العادمة الزراعية عادة في حفر خاصة ثم تضخ وتنشر على الأراضي الزراعية والحرجية.

✓ الفصل الثالث: التَّنقية الذاتية للمياه:

○ التَّنقية الذاتية للمياه[21]:

هي عمليَّة معقدة تحتوي على العمليات البيولوجية والفيزيائية والكيميائية والَّتي تعمل في وقت واحد لتحافظ على نقاوة المياه وتخليصها من الملوثات. وتعتبر كمية الأوكسجين الذائب في المياه هي واحدة من أكثر المؤشرات الدالة على صحة مياه النهر. ومطلوب ما لا يقل عن حوالي 2.0 ملغم / لتر من الأوكسجين المذاب للحفاظ على أشكال الحياة في النهر. وهناك عدد من العوامل الَّتي تؤثر على كمية DO المتاح في النهر، حيث تقوم الطَّحالب والنَّباتات برفع كمية DO نهاراً ولكن عمليَّة التنفس ليلاً ووجود الملوثات، بالإضافة إلى ارتفاع درجة الحرارة صيفاً يؤدي إلى انخفاض مستوى DO.

وتجري هذه العمليَّة بواسطة عوامل فيزيائية وكيميائية وحيوية تعمل على إزالة الملوثات من البيئة وهي :

1. العوامل الفيزيائية: وذلك عن طريق تخفيف هذه الملوثات، وتعتمد درجة التّخفيف على حجم الملوثات الداخلة، وفي البحيرات والسدود يكون تأثير عمليَّة التخفيف أقل من التأثير الموجود في الأنَهار لعدة أسباب من أهمها: أنّ تكوين المياه في البحيرات والسدود غالباً ما يكون في طبقات بحيث تمنع عمليَّة الخلط الرأسي وتكون حركة المياه في البحيرات والسدود قليلة لذلك تقل عمليَّة التخفيف. كما أن العوامل الفيزيائية تتضمن الترسيب والَّذي يساعد على التخلص من الملوثات عن طريق ترسبها وتلعب التيارات المائية ولزوجة المياه – الَّتي تعتمد على درجات الحرارة – دوراً مهما في عمليَّة الترسيب.

---

(21) Wastewater Treatment with Algae، Yuk-Shan Wong Nora F.Y. Tam، الصفحة رقم 125

2. العمليات الكيميائية: عن طريق التحلل (فصل المركبات الكيميائية بتفاعلها مع المياه) والأكسدة والاختزال.
3. العمليات الحيوية: وهي من أهم العوامل في عمليَّة التَّنقية الذاتية للمياه حيث تشارك بها معظم الكائنات الحية الَّتي تعيش في النظام البيئي المائي كالبكتيريا والفطريات والطَّحالب والحيوانات وحيدة الخليَّة (البروتزوا) والنَّباتات والأسماك وغيرها، سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة، ويتم ذلك أيضاً بالتعاقب الإيكولوجي الثانوي. إذ تقوم الكائنات الحية الدقيقة بتحليل المواد العضويَّة المذابة والصلبة وإعادتها إلى دورتها الطَّبيعية.

ويوجد في النظام البيئي المائي توازن بين المستوى الغذائي للمغذيات النَّباتيَّة (Trophic)، (وهي القدرة الإنتاجية للكائنات الحية ذاتية التغذية أي المنتجات) وبين المستوى العضوي (Saprobic)، وهي تشكل مجموع الأنشطة الحيوية للكائنات الحية غير ذاتية التغذية. إلا أن المياه كغيرها من النظم البيئية الطَّبيعية تخضع إلى تقلبات، أي لا تبقى حول معدل ثابت من حيث خصائصها. ومن هنا يمكن تعريف عمليَّة التَّنقية الذاتية للمياه بأنها عمليَّة إعادة التوازن بين (Trophic) و (Sabrobic). فعند دخول المواد العضويَّة للمياه (الملوثات العضويَّة القابلة للتحلل) تزداد كمية الغذاء للكائنات الحية غير ذاتية التغذية، وتنشط عمليات التحلل أو بمعنى آخر تبدأ عمليَّة التَّنقية الطَّبيعية حتَّى يتم تحلل المواد العضويَّة (بتوفر شروط التحلل) ويتحقق التوازن ثانية. وتعتمد سرعة إعادة التوازن على درجة تركيز المواد العضويَّة في المياه وسهولة تحللها. وعند إضافة ملوثات على شكل مغذيات نباتية من نترات وفوسفات، فإنه يحدث خلل في التوازن بين (Trophic) و (Sabrobic) لصالح التروفك. لهذا تزداد كثافة المنتجات من نباتات خضراء وطحالب خضراء. وقد يؤدي ذلك إلى الإثراء الغذائي وما يترتب عليه من زيادة المواد العضويَّة الناتجة عن موت النَّباتات والطَّحالب. وهنا تبدأ عمليَّة التنقية الذاتية من جديد حتَّى يعود التوازن. وعند دخول الملوثات بتركيزات عالية تفوق باستمرار قدرة المياه على التَّنقية الذاتية لها تبقى المياه ملوثة ويبقى التوازن مختلاً.

العوامل المؤثرة في عمليَّة التَّنقية الذاتية[22]:

- التخفيف: عندما يكون ماء التخفيف كاف حيث مياه الصَّرف الصّحيّ تفرغ، فإن مستوى DO في مجرى المتلقي قد لا تصل إلى الصفر أو DO حرجة بسبب توافر DO كافٍ من البداية في مياه النهر قبل تلقي تصريف مياه الصَّرف الصّحيّ.
- حركية المياه:

عندما يكون تيار المياه القوي، فإن مياه الصرف تخلط جيداً بالماء مما يمنع ترسب المواد الصلبة, ولكن في تيار صغير سوف تترسب المواد الصلبة من مياه الصَّرف الصّحيّ في التحلل السرير وسينخفض معدلDO وهذا سيعيق عمليَّة التَّنقية.

- درجة الحرارة:

كمية DO المتاح في الماء في درجات الحرارة الباردة أكثر منه في درجة الحرارة الساخنة. ونشاط الكائنات الحية الدقيقة يكون عالٍ في أعلى درجة الحرارة، وبالتالي، فإن التَّنقية الذاتية ستستغرق وقتاً أقل في درجة الحرارة الساخنة مما كانت عليه في فصل الشتاء. الطَّحالب تنتج الأوكسجين في وجود ضوء الشمس بسبب عمليَّة التركيب الضوئي. لذلك فإن ضوء الشمس يساعد في التَّنقية من خلال إضافة الأوكسجين إلى الماء.

- معدل الأكسدة:

نظراً لأكسدة المواد العضويَّة الموجودة في النهر سيتم استنزاف كبير لـDO . وسيكون معدل استنزاف الأوكسجين أسرع في ارتفاع درجة الحرارة .

○ طرق إزالة المعادن الثقيلة من المياه:

الطَّرق الفيزيائية–الكيميائية:

أشهر الطَّرق الفيزيائية–الكيميائية المتاحة لمعالجة المياه الملوثة بالمعادن هي: الترسيب بواسطة تعديل الرقم الهيدروجيني، الترشيح، التكتل والادمصاص بواسطة المركبات العضويَّة. هذه الأساليب غالباً ما تفتقر إلى الدّقة التخصّصيّة المطلوبة لمعالجة المعادن المستهدفة، كما أنها غير فعالة ومكلفة وخصوصاً عندما تكون تراكيز المعادن منخفضة في مياه الصَّرف الصّحيّ.

[22] Wastewater Management.page 1,2

الطَّرق الحيوية:

الطَّرق الحيوية تعتمد على استخدام العمليات الَّتي تحدث بشكل طبيعي, حيث أن العديد من الكائنات الحية الدقيقة تشارك في الدورة الحيوية- الجغرافية–الكيميائية (bio–geo–chemical) للمعادن الثقيلة السامة.

الطَّحالب وكذلك الكائنات الحية الدقيقة الأخرى تلعب دور كبير في تحويل أيونات المعادن الثقيلة في البيئة. المركبات العضويَّة تُطلق من خلايا النمو وكذلك من منتجات التحلل الحيوي للمصادر المختلفة، والَّتي تكون كعوامل تعقيد لأيونات المعادن، مما يقلل من سمية المعادن. ويمكن أن ترتبط أيونات المعدن بمكونات جدار خليَّة الطَّحالب. تحدث خلال نمو الطَّحالب مختلف العمليات الاستقلابية مثل البناء الضوئي، التنفس، امتصاص المغذيات وغيرها، كل هذه تؤثر على التوازن بين الأيونات الحرة للمعدن والأشكال المرتبطة، وكذلك بين الترسيب وإعادة الذوبان في البيئة المائية. تمتلك الطَّحالب المزدهرة في المواقع الملوثة بالمعادن آليات داخل خلوية والَّتي تمكنها من مواجهة التأثيرات السامة للمعادن. وهذه الأنواع قد تستعمل من أجل المعالجة الحيوية في المسطحات المائية الكبيرة الملوثة بتركيزات منخفضة من أيونات المعدن.

الامتصاص لدى الطَّحالب[23]:

آليات الامتصاص الحيوي عند الطَّحالب: الامتصاص الحيوي ينطوي على مزيج من آليات النقل الإيجابي والسلبي بدءاً من نشر الأيونات المعدنية على سطح الخليَّة الميكروبية. فعندما ينتشر الأيون المعدني على سطح الخليَّة سيتم ربط المواقع على سطح الخليَّة الَّذي يحمل بعض الانجذاب الكيميائي لهذا المعدن. وتحتوي هذه الخطوة عدداً من عمليات التراكم السلبي ومن الممكن أن تتضمن الامتصاص والتبادل الأيوني، التنسيق وعمليَّة إزالة معدن ثقيل والترسب المجهري. عموماً مثل هذا الامتصاص الأيوني المعدني يكون سريع وعكوس، وليس بعامل مقيد في الإزالة الحيوية الحركية عند التعامل مع الخلايا المتفرقة. الامتصاص الحيوي غالباً ما يُتبع بعمليَّة تغليف معدني حيث يكون أيون المعدن المُضاف مرتبط وغالباً هي عمليَّة غير عكوسة، وهذه العمليَّة البطيئة من امتصاص المعادن يمكن أن تعزى إلى عدد الآليات الميكانيكية، بما فيها الروابط

* الفروق بين أنواع الطَّحالب من حيث حجم التغيّر والتعديل في سعة تغليف أيون المعدن قد تعزى إلى التنوع الواسع في بنية الخليَّة، وهذا يتوقف على انقسام، جنس ونوع الطَّحلب.

[23] Wastewater Treatment with Algae.page111,112

التساهمية، والترسيب السطحي، وتفاعلات الأكسدة والاختزال، والتبلور على سطح الخليَّة أو في معظم الأحيان نشرها في مناطق الخليَّة الداخليَّة ومناطق تغليف البروتينات ومناطق خلوية داخليَّة أخرى. في بعض الأحيان هذا الامتصاص البطيء والغير عكوس يتطلب طاقة استقلابية (ضوء، ركائز)، مما يدل على أن نظام النقل نشط. الطَّحالب الميكروبية تستطيع عزل أيونات المعادن بنفس الامتزاز (امتصاص) وآلية الامتصاص كغيرها عند الكتلة الحيوية الجرثومية. آلية التغليف لأيونات المعادن من قبل الكتلة الحيوية الطَّحلبية المعطلة (الغير نشطة) قد تعتمد على الأنواع والشحنات الأيونية لأيونات المعدن و العضية الطَّحلبية والتركيب الكيميائي لحل الأيون المعدني. من المهم أن نفهم الطَّبيعة الكيميائية لعمليَّة ربط المعادن لاستخدام الكتلة الحيوية للطَّحالب على نحو فعال لتنقية المياه واستصلاح المعادن. والامتصاص الحيوي لأيونات المعادن بوساطة الكتلة الحيوية الطَّحلبية ينشأ من نسق الأيونات لمختلف المجموعات الوظيفية على خليَّة الطَّحالب. حيث أن جدران الخلايا الطَّحلبية تحتوي على السكريات كوحدات البناء الأساسية وهذه السكريات توفر الحموض الأمينية و الكربوكسيلية والفوسفات بالإضافة إلى الكبريت, والمجموعات الأمينية في البروتينات على جدار الخليَّة والنيتروجين يمكن أن تكون متاحة لارتباط الأيونات المعدنية، والسكريات غالباً تملك خصائص التبادل الأيوني مما يساعد في الامتصاص.

تقسم علمية امتصاص أيون المعدن إلى مرحلتين: المرحلة الأولى والمعروفة باسم الامتصاص الفيزيائي أو التبادل الأيوني على سطح الخليَّة هو تفاعل سريع جداً وعكوس، وتسمى أيضاً الامتصاص السلبي ويحدث في وقت قصير بعد أن تلامس الكائنات الحية الدقيقة المعدن.

المرحلة الثانية:عادة ما يشار إليها بالامتصاص النشط، وهي بطيئة، حيث ترتبط بالنشاط الاستقلابي ويشارك الغشاء في نقل أيونات المعادن إلى سيتوبلازما الخليَّة.

التفاعل المتبادل بين الطَّحالب والمعادن الثقيلة:

في البيئات المائية العناصر المعدنية قد تتواجد في عدة أشكال كيميائية متوزعة بين الرواسب (صلبة) والمحلول (سائلة). فالمعادن قد تكون موجودة في الرواسب كجزيئات معلقة، أو مرتبطة بالغرويات العضويَّة. المعادن قد تكون موجودة في المحلول كأيونات حرة للمعدن أو كمركبات عضوية أو غير عضوية. والتوازن

بين كل هذه الأنواع للمعدن قابل للتغير ويعتمد على العوامل البيئية مثل درجة الحرارة، الرقم الهيدروجيني (PH) والقلوية وغيرها وكذلك على الكائنات الحية الَّتي تزدهر في الماء.

التوافر الحيوي للمعادن سواء كمغذيات (مثل الحديد والزنك) أو كسموم (مثل الكادميوم والرصاص) يعتمد علـى شـكلها الكيميـائي, فـي معظـم الحـالات أيونـات المعـدن الحـرة، والَّتـي تعتبـر شـكل متـوفر حيويـاً Bioavailable هي أكثر الأنواع سمية. وبالتالي أي عمليَّة تسارع بتحولها الى أشكال مرتبطة (Bound form) تؤدي إلى الحد من سميتها. الطَّحالب حساسة جداً لسمية المعادن لذلك كثيراً ما تستخدم كمؤشرات حيويـة للكشـف عـن التـأثيرات السـامة المحتملـة للمعـادن الثقيلـة. التـأثيرات السـامة قد تـنتج عـن العديـد مـن الآليات:

a. إعاقـة المجموعـات الوظيفيـة (Functional groups) للجزيئـات الهامّـة الحيويـة، مثـل الأنزيمات وأنظمة النقل للمغذيات الأساسية والأيونات.

b. إزاحة واستبدال أيونات المعادن الأساسية من الجزيئات الحيوية ووحدات العمل الخلوية.

هذا قد يؤدي إلى تحوير وتعطيل للأنزيمات، وتعطل (تمزّق) الأغشية الخلوية وأغشية الأعضاء وسلامتها. وبالتالي المعادن السامة لديها القدرة على التدخل مع مجموعة كبيرة من الأنشطة في الكائنات الحية. تقريباً قد تؤثر على كل من استقلاب الكائنات الحية والنمو والتمايز. بعض الكائنات حقيقية النواة وبدائية النواة قد طورت وسائل لتحويل المعادن الثقيلة إلى أشكال غير ضارة. وهي تمتلك عدد من الآليات للحفاظ على توازن المعادن ومنع التسمم بالمعادن الثقيلة. مقاومة المعادن الثقيلة في الطَّحالب وكذلك في غيرها من الكائنات الحية قد تحدث من القدرة على منع الامتصاص. ويتحقق ذلك عن طريق ادمصاص أيونات المعادن السامة إلى المواد المرتبطة بالخليَّة و مكونات جدار الخليَّة، أو إفراز المركبات العضويَّة الَّتي تربط المعدن في البيئة المحيطة بها. خصوصية كلا الحالَّتين هي منخفضة وأي كاتيون معدن قد يتفاعل مع بقايا الشحنة السالبة للمركبات العضويَّة إلى شكل مجمعات. مقاومة المعدن قد تنتج من القدرة على التعامل مع كميات كبيرة من المعادن الثقيلة داخل الأنسجة (التحمل Tolerance)، العمليات النشطة الَّتي تشمل الامتصاص لأيونات المعادن.

المعادن الثقيلة تدخل خلايا الطَّحالب عن طريق ناقلات المغذيات الصغرى. لمرة واحدة في الخليَّة، إزالة سمية المعادن الثقيلة يمكن أن يتحقق عن طريق الربط مع مركبات داخل خلوية محددة ونقل المعادن إلى أماكن خلوية محددة. هناك آلية عامة لإزالة السموم المعدنية داخل الخلايا في الكائنات الحية هي تشكيل ببتيدات وبروتينات ربط المعادن مثل (Metallothionein،Phytochelatins).

المركبات العضويَّة مثل(Malate،Citrate ،Polyphosphate) الَّتي أُفيد عنها كعامل استقلاب داخل خلايا الادمصاص الحيوي للمعادن الثقيلة بواسطة الطَّحالب عموماً هي عمليَّة ثنائية المرحلة.

المرحلة الأولى هي الادمصاص (adsorption) خارج الخلايا بواسطة المواد المرتبطة بالخلايا مثل السكريات المتعددة (Polysaccharides) والصمغ (Mucilage), ومكونات جدار الخليَّة مثل مجموعة (Carboxy and hydroxyl group) والكبريت (sulfate). هذه الطَّريقة غير أيضية وتعتبر عمليَّة سريعة والَّتي تحدث في كلّ من الخلايا الحية والغير حية، وهي تعتمد على العديد من العوامل: الرقم الهيدروجيني, أنواع المعادن الثقيلة, نوع الطَّحلب, تركيز الكتلة الحيوية.

المرحلة الثانية هي الامتصاص (absortion) والتراكم (accumulation) داخل الخلايا. هذه عمليَّة بطيئة تشمل النقل النشط عبر غشاء الخليَّة في الدخول والربط مع البروتينات وغيرها من المواقع داخل الخليَّة. وهي آلية تعتمد على الأيض والَّتي يتم تثبيطها عن طريق درجات الحرارة المنخفضة وعدم وجود مصدر للطاقة و موانع الأيض وعدم الاقتران، وإن هذه العمليَّة تحدث في الخلايا الحية. فهم الآليات لمقاومة المعادن في مختلف الكائنات الحية يمكن أن يوفر استراتيجيات لإزالة المعادن من البيئة.

قدرة الطَّحالب على معالجة المياه الملوّثة بالمعادن الثقيلة[24]:

خلال العقدين الماضيين كان هناك اهتمام متزايد في العمليات الحيوية الَّتي تشمل تحويل المعادن وإزالة سمّيتها في البيئة. حتَّى الآن هناك قبول عام على أن التقنيات الَّتي تعتمد على العمليات الحيوية والَّتي تحدث بشكل طبيعي لها العديد من المزايا بالمقارنة مع التقنيات الفيزيائية–الكيميائية المتاحة حالياً لمعالجة المواقع الملوثة بالمعادن الثقيلة السامة.

[24] Heitmann, H.G. (ed.)، 1990. Saline Water Processing: Desalination and treatment of seawater، brackish water and industrial waste water. VCH Publishers، New York ، page number 34.

الطَّحالب متوفرة للغاية في البيئة الطَّبيعية، وأيضاً تتكيف لمدى واسع من المواطن (البيئات) مثل المياه العذبة ومياه البحر، النفايات المنزلية والصناعية، المستنقعات المالحة والأراضي الرطبة كما أنها تملك قدرة بارزة على امتصاص وتراكم المعادن الثقيلة من البيئة المحيطة بها كما أنها قادرة على حجز أيونات المعادن المختلفة مثل النحاس والكادميوم والنيكل والكروم والذهب.

جرت تجارب عديدة لاستخدام الطَّحالب (الخلايا الحية أو من الكتلة الحيوية الميتة) لإزالة المعادن الثقيلة من المياه الملوثة لأنَّها من أكثر الطَّرق فعالية لإزالة أيونات المعادن الثقيلة من المسطحات المائية الكبيرة المحتوية على تراكيز منخفضة من المعادن.

أثناء نمو الطَّحالب يتم إزالة المعادن من البيئة المحيطة والمعادن المتراكمة في الخلايا بكل من العمليات الَّتي لا تعتمد على الادمصاص (adsorption), والعمليات الَّتي تعتمد على الامتصاص (absortion) ولكن بشرط وجود الظروف البيئية المناسبة لدعم نمو الطَّحالب مثل الضوء، درجة الحرارة، الرقم الهيدروجيني. استخدام الكتلة الحيوية الحية للطحالب يقدم طريقة فعّالة وبسيطة وغير مكلفة. اتحاد الطَّحالب مع الكائنات الحية الدقيقة الأخرى مثل (microbial mats) هي أيضاً قادرة على التخلص من المعادن والفلزات وكذلك المركبات العضويَّة المستعصية الأخرى من المواقع الملوثة. الكتلة الحيوية للطحالب التجارية أُنتجت على أساس العمل الأساسي والتطبيقي بواسطة العالم دارنال (Darnall). المعادن المدمصة (adsorbed) على أسطح جدار الخليَّة للكتلة الحيوية للطحالب من الممكن استعادتها والمواد الممتصة يمكن أن تسترد لإعادة الاستخدام.

إزالة المعادن من المواقع الملوثة بتركيزات عالية من المعادن يمكن تحقيقها باستخدام الكتلة الحيوية الغير حية كمواد ممتصة حيوية (biosorbent). ومع ذلك هناك ملاحظة أن الكتلة الحيوية الَّتي تم الحصول عليها من مختلف أنواع الطَّحالب تختلف إلى حد كبير في قدرة سعة الربط لمختلف المعادن الثقيلة، حيث أن قدرة ربط المعادن للمواد الممتصة الحيوية (biosorbent) يعتمد على تكوين جدار الخليَّة للكائن الحي وهو مستمد من التركيب الكيميائي لمحلول أيون المعدن لعلاجها. لذلك من أجل اختيار أنسب وسيلة لإزالة التلوث بالمعدن من موقع معين فمن الضروري أن نعرف المعادن الموجودة وتركيز كل منها ونختار الكتلة الحيوية المناسبة، والاختيار الصحيح ضروري لتحقيق معالجة حيوية ذات كفاءة عالية.

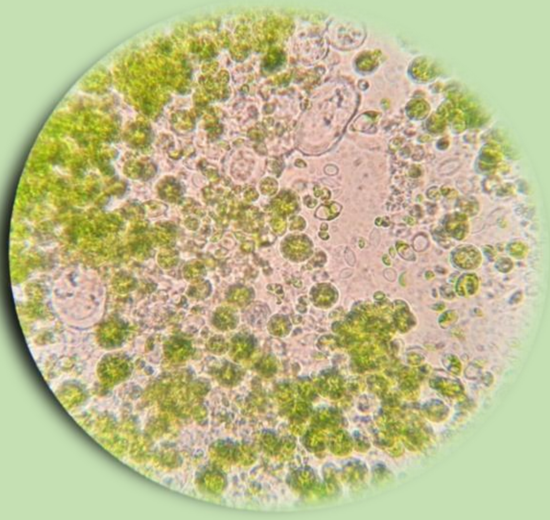
الباب الثالث: الدراسة العملية:

أولاً: تحضير العينات:

قمنا بتحضير عشر حوجلات, خمسة منها اعتبرت كشواهد وتم ملئ كل منها 300 ml ماء مقطر محلول فيه مركب EDTA بتركيز 0.1 g/l, والخمس حوجلات الأخرى بالإضافة إلى نفس الكمية من ال EDTA والماء المقطر تم إضافة نترات البوتاسيوم KNO_3 وفوسفات الصوديوم Na_3PO_4 بتركيز 2 g/l ثم أضفنا إليها 3 ml من خليط لمركبات عضوية ثم قمنا بتحريك الحوجلات لمدة دقيقتين. ثم أضفنا 20 ml من الماء تحوي طحالب من نوع Chlorella و Scenedesmus بغزارة (989156) خلية/لتر.

الجنس Chlorella:

الأفراد وحيدة الخلية صغيرة مستديرة أو بيضوية، ويمكن أن توجد في مجاميع، وتصادف في مواضع متنوعة حيث توجد بكثافة في المياه العذبة الجيدة الإضاءة وغالباً ما تغطّي القاع بطبقة خضراء رقيقة، وتصادف في البرك والبحيرات وتوجد على الترب الرطبة وجذوع الأشجار، وتوجد داخل النباتات أو الحيوانات أحياناً ويمكنها أن توجد في طور رمّي وتظهر في البراز.



الصورة رقم -18- الشكل المجهري لخلية طحلب Chlorellaو Scenedesmus

الجنس Scenedesmus:

مستعمرة في هيئة صفيحة، تكون عادةً من 4-6 خلايا إسطوانية مستديرة أو مستدقّة، ونادراً 8-16 خليّة، وتتوازى محاورها الطولية، وتتميز الخلايا النهائية في بعض الأنواع بوجود زوائد شوكية، وهي امتداد للغمد المخاطي المحيط بالمستعمرة، وتنمو بكثافة في عوالق المياه العذبة.

ثانياً: أماكن الاستزراع:

تم توزيع العينات على شكل ثنائيات (شاهد وحوجلة ملوثة) وكانت على النحو التالي:

1. العينة (1−6) في غرفة معرضة لضوء الشمس.
2. العينة (2−7) في مخبر العلوم في حجرة مظلمة.
3. العينة (3−8) في مخبر العلوم في حجرة مضيئة.
4. العينة (5−10) في غرفة الاستزراع في كلية العلوم تحت الظروف:

- شدة الإضاءة :1800 لوكس.
- درجة الحرارة: 26 C
- مدة الإضاءة 16 ساعة في اليوم.

5. العينة (4−9) في غرفة الاستزراع في كلية العلوم تحت الظروف :

- شدة الإضاءة :1500 لوكس.
- درجة الحرارة: 26 C.
- مدة الإضاءة 8 ساعات يومياً.

والصورة التالية تظهر بعض العينات التي تم تحضيرها :

الصورة رقم −19− توضح بعض العينات التي تم تحضيرها في المخبر

- وتم حساب عدد الخلايا باستخدام صفيحة (كومورا بوركر) حيث تحوي الصفيحة 144 مربع وتم حساب عدد الخلايا الموجودة على الصفيحة ومن ثم تم حساب عدد الخلايا في اللتر وفق القانون:

عدد الخلايا في $1L = 1000 * 250 * \frac{x}{144}$ بحيث x هي عدد الخلايا على الصفيحة.

- تم حساب معدل النمو من خلال القانون: $y = (\log x1 - \log x2)/z$ بحيث:

Y : معدل النمو Z: فرق الأيام بين يوم القياس واليوم الأول.

$X1$: عدد الخلايا اليوم الذي تم فيه القياس $X2$: عدد الخلايا في اليوم الأول

- تم حساب زمن التضاعف للخلايا باستخدام القانون: $24 * \frac{0.301}{y}$ حيث y هي معدل النمو.
- وتم قياس درجة الـ PH والأكسجين المنحل في كل الحوجلات كما تم قياس تراكيز فوسفات الصوديوم ونترات البوتاسيوم في الحوجلات الملوثة كل ثلاثة أيام حتى اليوم ال13.

قد تم وضع نتائج القياسات ضمن جداول على النحو التالي (مع العلم أن الحوجلات من 1−5 تعتبر ملوثة والحوجلات من 6−10 تعتبر شواهد):

	درجة ال PH	الأوكسجين المنحلmg/l	معدل النمو	زمن التضاعف بالساعة	فوسفات الصوديوم g/L	نترات البوتاسيوم g/L	عدد الخلايا/L
اليوم الأول	7.96	3.4	0	0	2.16	2.47	989156
اليوم الرابع	7.89	2.3	0.018570	389	1,99	2,12	1134549
اليوم السابع	7.87	4.5	0.050508	143	1,92	1,86	1987546
اليوم العاشر	7.68	3.4	0.054963	131	1,88	1,61	3089874
اليوم الثالث عشر	7.79	2.6	0.058440	123	1.69	1.28	4972222

جدول (1) يمثل القياسات للحوجلة الأولى

	درجة ال PH	الأوكسجين المنحلmg/l	معدل النمو	زمن التضاعف بالساعة	فوسفات الصوديوم g/L	نترات البوتاسيوم g/L	عدد الخلايا/L
اليوم الأول	7.96	4.4	0	0	2.16	2.47	989156
اليوم الرابع	7.81	3.6	0.014925	484	2,01	2,14	1096584
اليوم السابع	7.74	1.5	0.051518	140	1,96	1,79	2015469
اليوم العاشر	7.77	1.6	0.054414	132	1,86	1,64	3054876
اليوم الثالث عشر	7.71	1.7	0.052463	137	1.78	1.36	4215277

جدول (2) يمثل القياسات للحوجلة الثانية

	درجة ال PH	الأوكسجين المنحلmg/l	معدل النمو	زمن التضاعف بالساعة	فوسفات الصوديوم g/L	نترات البوتاسيوم g/L	عدد الخلايا/L
اليوم الأول	8.01	3.5	0	0	2.16	2.47	989156
اليوم الرابع	7.93	5.3	0.055725	129	1,96	1,98	1453585
اليوم السابع	7.81	2.2	0.072319	99	1,87	1,71	2686484
اليوم العاشر	7.81	2.4	0.066874	108	1,72	1,41	3954875
اليوم الثالث عشر	7.71	1.8	0.059828	120	1.59	1.19	5166666

جدول (3) يمثل القياسات للحوجلة الثالثة

	درجة ال PH	الأوكسجين المنحلmg/l	معدل النمو	زمن التضاعف بالساعة	فوسفات الصوديوم g/L	نترات البوتاسيوم g/L	عدد الخلايا/L
اليوم الأول	8.03	3.5	0	0	2.16	2.47	989156
اليوم الرابع	7.81	1.5	0.046673	154	1,91	1,91	1365482
اليوم السابع	7,82	1,8	0.059015	122	1,79	1,62	2235412
اليوم العاشر	7.81	1.5	0.068912	104	1,56	1,29	4125489
اليوم الثالث عشر	7,88	1,8	0.072065	99	1.44	1.014	7245158

جدول (4) يمثل القياسات للحوجلة الرابعة

	درجة ال PH	الأوكسجين المنحلmg/l	معدل النمو	زمن التضاعف بالساعة	فوسفات الصوديوم g/L	نترات البوتاسيوم g/L	عدد الخلايا/L
اليوم الأول	7.98	3.5	0	0	2.16	2.47	989156
اليوم الرابع	7.84	1.5	0.055645	129	1,89	1,86	1452785
اليوم السابع	7,91	1,6	0.068306	105	1,73	1,56	2541584
اليوم العاشر	7.84	1.5	0.070292	102	1,48	1,22	4245153
اليوم الثالث عشر	7,92	1,9	0.074947	96	1.32	9.88	7845742

جدول (5) يمثل القياسات للحوجلة الخامسة

	درجة ال PH	الأوكسجين المنحل mg/l	معدل النمو	زمن التضاعف بالساعة	عدد الخلايا/L
اليوم الأول	7.13	3.8	0	0	989156
اليوم الرابع	6.67	1.7	0.021237	340	1145453
اليوم السابع	6.41	2	0.025079	288	1398754
اليوم العاشر	8.13	1.8	0.022132	326	1564785
اليوم الثالث عشر	7.15	1.4	0.023394	308	1888000

جدول (6) يمثل القياسات للحوجلة السادسة

	درجة ال PH	الأوكسجين المنحل mg/l	معدل النمو	زمن التضاعف بالساعة	عدد الخلايا/L
اليوم الأول	6.66	3.7	0	0	989156
اليوم الرابع	7.53	4.3	0.001918	3766	1002354
اليوم السابع	7.2	1.7	0.014133	511	1202454
اليوم العاشر	6.15	1.9	0.015319	471	1358740
اليوم الثالث عشر	7.14	1.4	0.016006	450	1539353

جدول (7) يمثل القياسات للحوجلة السابعة

	درجة ال PH	الأوكسجين المنحلmg/l	معدل النمو	زمن التضاعف بالساعة	عدد الخلايا/L
اليوم الأول	6.18	3.8	0	0	989156
اليوم الرابع	6.62	4.1	0.005088	1419	1024545
اليوم السابع	6.28	1.3	0.025279	285	1398754
اليوم العاشر	7.55	1.6	0.025518	283	1678545
اليوم الثالث عشر	6.64	1.8	0.023544	306	1895833

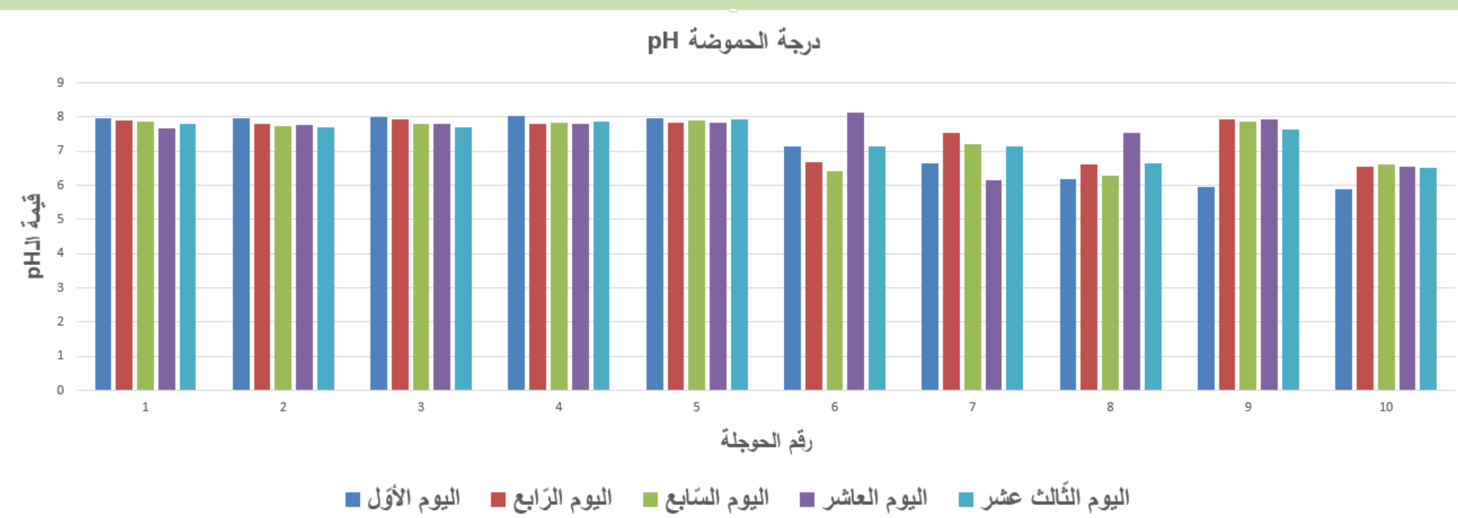
جدول(8) يمثل القياسات للحوجلة الثامنة

	درجة ال PH	الأوكسجين المنحلة mg/l	معدل النمو	زمن التضاعف بالساعة	عدد الخلايا/L
اليوم الأول	5.96	3.84	0	0	989156
اليوم الرابع	7,94	1.3	0.004140	1744	1017854
اليوم السابع	7,86	1,4	0.022737	317	1354215
اليوم العاشر	7.94	1.3	0.033110	218	1964515
اليوم الثالث عشر	7,62	1,3	0.027460	263	2112451

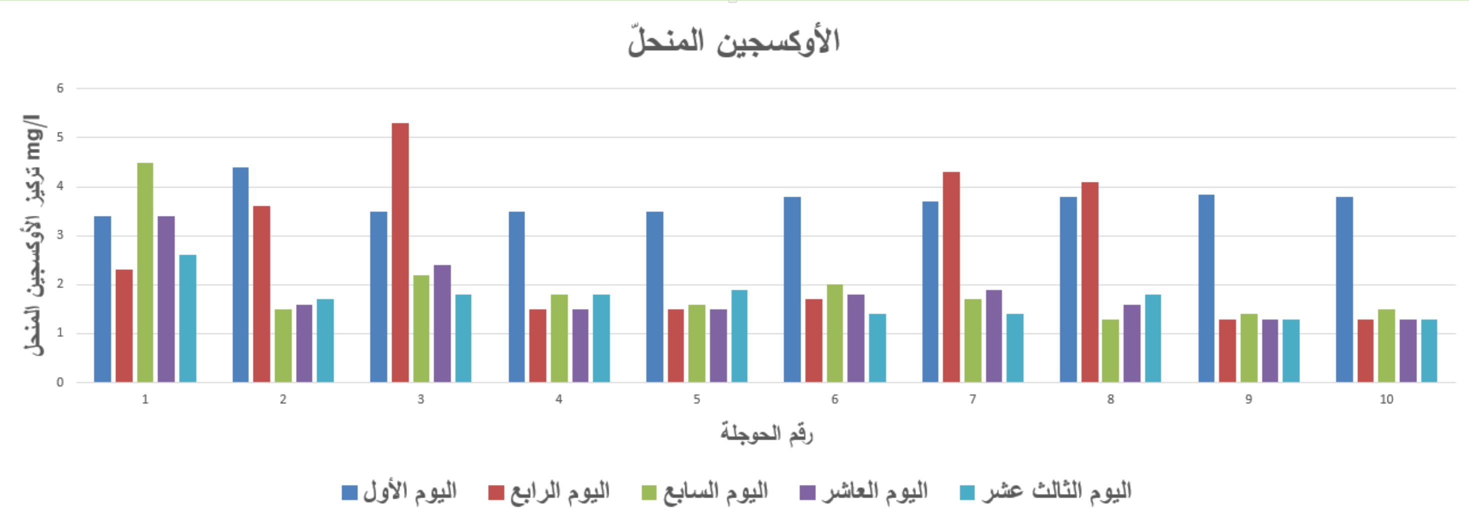
جدول (9) يمثل القياسات للحوجلة التاسعة

	درجة ال PH	الأوكسجين المنحلmg/l	معدل النمو	زمن التضاعف بالساعة	عدد الخلايا/L
اليوم الأول	5.88	3.8	0	0	989156
اليوم الرابع	6.56	1.3	0.018566	389	1124512
اليوم السابع	6,62	1,5	0.023358	309	1365894
اليوم العاشر	6.56	1.3	0.033142	217	1965852
اليوم الثالث عشر	6,52	1,3	0.02729	264	2102545

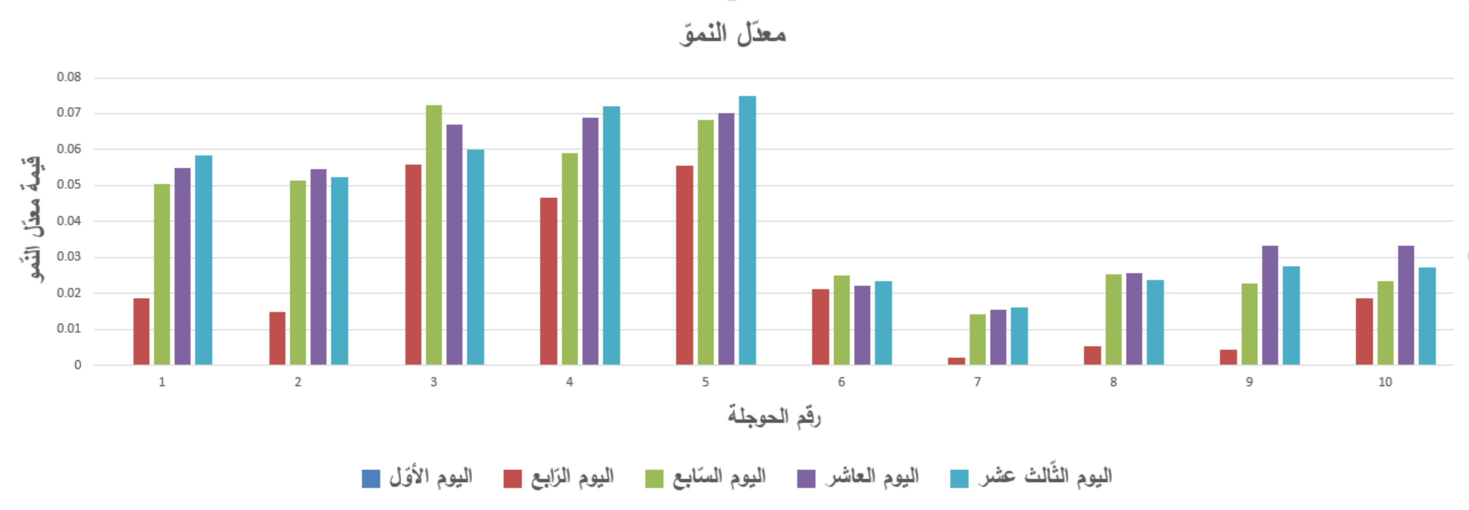
جدول (10) يمثل القياسات للحوجلة العاشرة



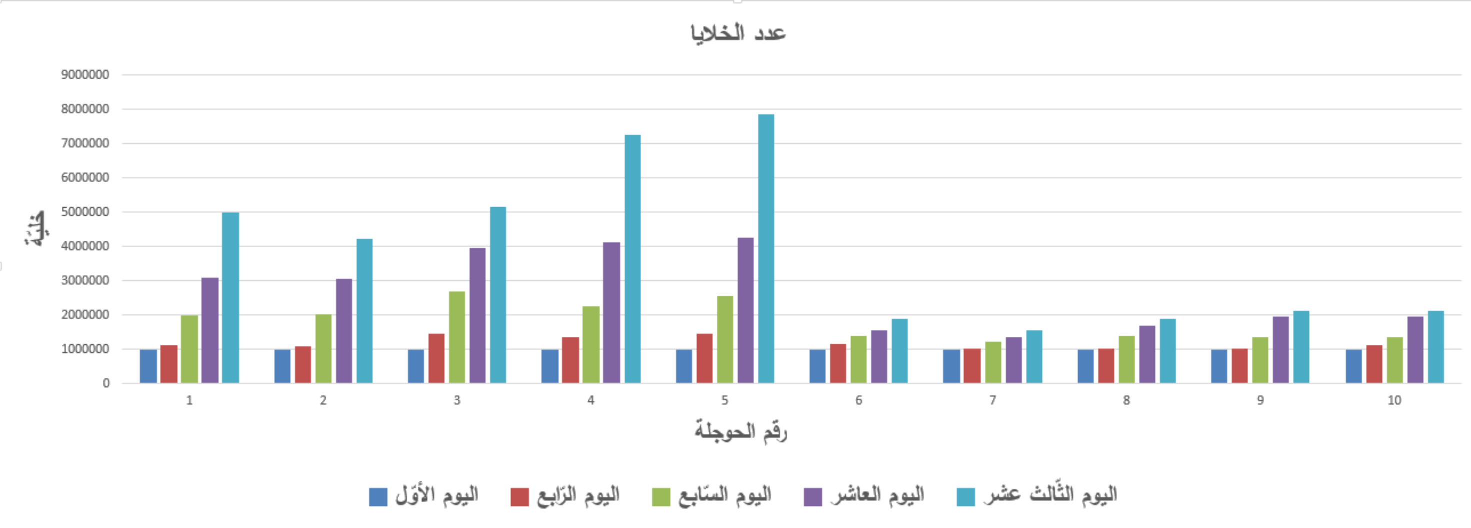
مخطط بياني 1 يدل على تغير درجة الحموضة في كل حوجلة بالنسبة للزمن



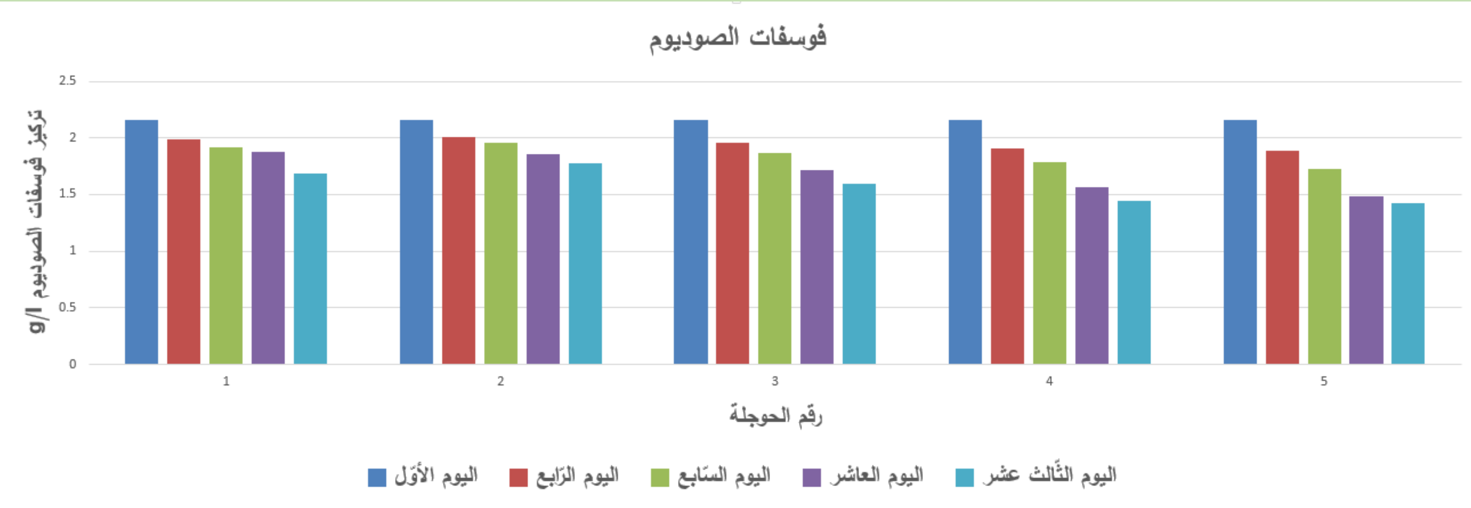
مخطط بياني 2 يدل على تغير قيمة الأكسجين المنحل في كل حوجلة بتغير الزمن



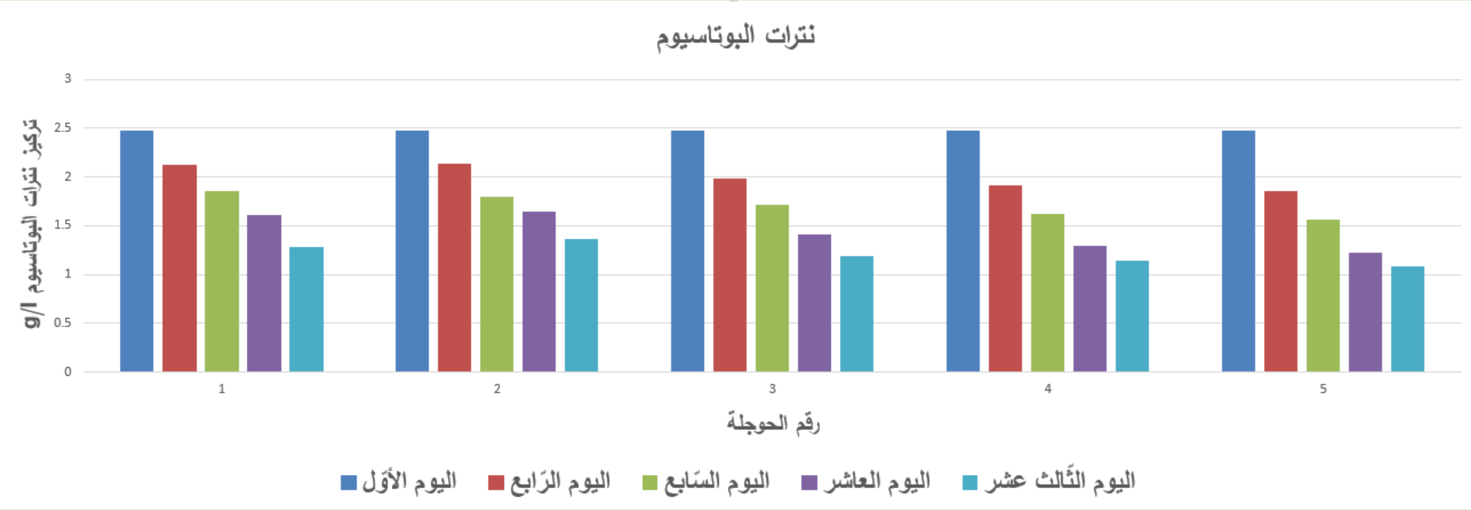
مخطط بياني 3 يدل على تغير معدل نمو الطحالب في كل حوجلة بتغير الزمن



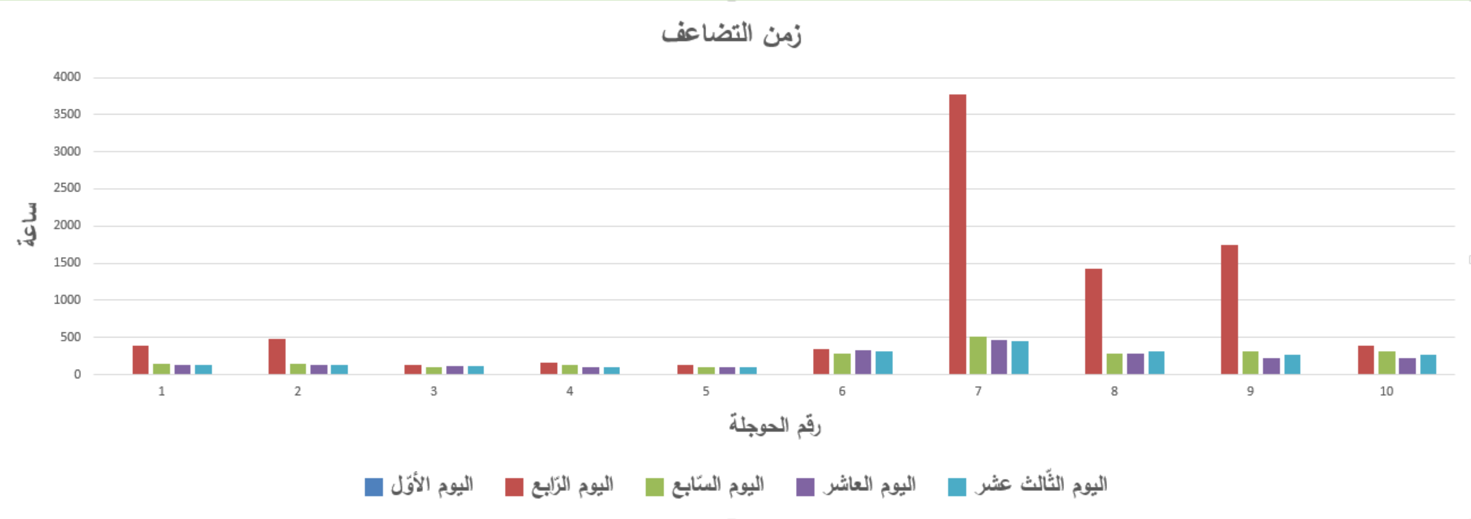
مخطط بياني 4 يدل على تزايد عدد خلايا الطحالب



مخطط بياني 5 يدل على تغيير كمية فوسفات الصوديوم



مخطط بياني 6 يدل على تغير كمية نترات الصوديوم



مخطط بياني 7 يمثل زمن التضاعف في الخلايا

النتائج و المناقشة:

- **نترات البوتاسيوم:**

لقد لاحظنا أن تراكيز نترات البوتاسيوم كانت على تناقص مستمر مع كل قياس، في جميع الحوجلات. وذلك بسبب استهلاك الخلايا الطحلبية للنترات من خلال استخدامها كغذاء. وقد لاحظنا أن أقل قيمة للنترات قد سجلت في الحوجلة رقم (5) وهي(1.08 غرام/لتر) في اليوم 13 وقد ترافق ذلك مع ازدياد عدد الخلايا في تلك الحوجلة أما أعلى قيمة لتركيز النترات فقد سجلت في الحوجلة رقم (2) وكانت (1.36 غرام/لتر) في اليوم 13 وهي الحوجلة الموجودة في حجرة مظلمة. وقد تبين أن الكمية المستهلكة من نترات البوتاسيوم تتناسب طرداً مع عدد الخلايا الطحلبية.

- **فوسفات الصوديوم:**

استناداً إلى المخطط البياني لتغير تراكيز فوسفات الصوديوم مع الزمن وجدنا أن كميتها تتناقص باستمرار مثل نترات البوتاسيوم ولكن بكمية أقل وذلك يعود إلى أن الخلايا الطحلبية تتغذى على نترات البوتاسيوم بشكل أكبر من فوسفات الصوديوم، لأن نترات البوتاسيوم تحتوي على مواد آزوتية بنسب كبيرة وهي من أهم المواد التي تساعد الخلايا الطحلبية على تكوين بروتينها الخاص. وكذلك وجدنا أن أقل قيمة للفوسفات كانت في الحوجلة رقم (5) في اليوم ال13 بقيمة(1.32 غرام/لتر) وذلك بسبب وجود الظروف المناسبة من الضوء والحرارة وهي 1800 لوكس والحرارة 26 c وهي الظروف المثالية لنمو الخلايا الطحلبية مما أدى إلى زيادة واضحة في عدد الخلايا. الذي أدى إلى استهلاك كمية فوسفات الصوديوم أي تناقصها .

- **درجة الـ pH:**

من الدّراسة الّتي قمنا بها تبيّن لنا أنّ درجة الـpH تتناقص تناقص طفيف في الحوجلات من 1 إلى 5 (التي تحوي نترات البوتاسيوم وفوسفات الصوديوم) بينما سجلت الحوجلات من 6 إلى 10 (تحتوي طحالب لكن وضعت كشاهد) قيم متفاوتة من درجة الـpH وهي بالعموم منخفضة مقارنةً بتلك وذلك يعود إلى أعداد الطحالب الكبيرة في الحوجلات من 1 إلى 5 حيث تقوم بعملية التركيب الضوئي فتخلّص الوسط الموجودة فيه من الـ – CO_2 وتحوله إلى أوكسجين – الذي يلعب دوراً كبيراً في جعل الوسط حمضيّاً ممّا ينقص من درجة الـ pH وذلك يعزى إلى التفاعل الحاصل بين الـCO_2 والماء لأنّ ناتج هذا التفاعل هو حمض الكربون الذي يجعل من الوسط حمضيّاً أمّا في الحوجلات من 6 إلى 10 لا توجد تلك الأعداد الكافية من الخلايا

الطحلبيّة لتحدّ من استهلاك الأوكسجين وإنتاج الـCO_2 فهذه العوامل تلعب دوراً في جعل الوسط حمضياً نتيجة التفاعل السابق بين الـ CO_2 والماء، وانخفاض درجة الـ pH مع كل ذلك هنالك عوامل أخرى خارجية تلعب دوراً في تحديد درجة الـ pH كما لاحظنا أنّ الحوجلة رقم 10 في اليوم 13 سجّلت أخفض درجة pH بقيمة 6.52 وذلك بسبب الظروف المُثلى الّتي وُضعت فيها من شدّة إضاءة ودرجة حرارة –كما ذُكر سابقاً– بينما الحوجلات الأخرى لم تحظى بذلك ما أدّى إلى زيادة النشاط الحيوي لدى الطحالب، استهلاكها الأوكسجين وإنتاجها كميات كبيرة من CO_2. لكن الحوجلة رقم 5 سجلت أعلى درجة pH في اليوم 13 بقيمة 7.92 وذلك لأنها وُضعت بنفس ظروف الحوجلة رقم 10 لكن مع العلم أنّها تحتوي نترات البوتاسيوم وفوسفات الصوديوم إضافة إلى المواد العضوية مما أدّى إلى زيادة نشاطها الحيوي، لكن هذه المرّة مضاف إليها النترات والفوسفات ما أدّى إلى زيادة أعداد الطحالب وخفض قيمة الـ CO_2 بواسطة قيامها بعمليّة التركيب الضوئي فظهر ذلك جليّاً في درجة الـ pH التي باتت مرتفعة عن غيرها.

- **عدد الخلايا:**

بعد دراستنا لعدد الخلايا الطحلبية لاحظنا أن عددها يتزايد بشكل مستمر مع القياس في جميع الحوجلات. ولكن هذا التزايد كان ملحوظاً بشكل كبير في الحوجلات التي تحمل الأرقام من 1 إلى 5 وذلك بسبب إضافة نترات البوتاسيوم وفوسفات الصوديوم إلى تلك الحوجلات على عكس تلك الحوجلات التي تحمل الأرقام من 6 إلى 10 التي لم يضاف لها أية نترات أو فوسفات . وكذلك لاحظنا أن أكبر عدد للخلايا قد سجُّل في الحوجلة رقم (5) في اليوم ال(13) وهي(7845748 خلية/لتر) وذلك يعود للظروف الطبيعية المتوافرة في أماكن تواجد تلك الحوجلة وهي الشدة الضوئية المناسبة (1800 لوكس) للحوجلة رقم(5). وأيضاً كان لدرجة الحرارة دور مهم حيث أن درجة الحرارة كانت26 c ، وهي الحرارة المثلى لنمو الخلايا الطحلبية . وقد وجدنا أيضا أن عدد الخلايا في الحوجلة رقم (2) في اليوم الأخير أقل من عدد الخلايا في الحوجلات الأخرى فقد كانت(4215277 خلية/لتر) وذلك لوجودها في حجرة مظلمة مما يقلل من قيام الخلايا الطحلبية بعملية التركيب الضوئي، الذي بدوره يساهم في تسريع عملية النشاط الحيوي وتشكّل خلايا جديدة .

- **معدل النمو:**

لقد وجدنا بالاستناد إلى مخطط معدل النمو الذي قمنا بإعداده أن معدل النمو يتزايد في جميع الحوجلات مع كل قياس ومع مرور الوقت. والسبب في ذلك يعود إلى ازدياد عدد خلايا الناجم عن تغذيها على المواد العضوية. ولكن معدل النمو في الحوجلات ذات الأرقام من 1 إلى 5 كان أكبر بنسبة ملحوظة من معدل النمو في الحوجلات ذات الأرقام من 6 إلى 10 وهذا بسبب وجود نترات البوتاسيوم وفوسفات الصوديوم في الحوجلات الخمسة الأولى فكانت غذاءً ذا قيمة عالية بالنسبة للخلايا الطحلبية. أما أعلى قيمة لمعدل النمو في الحوجلات فكان في الحوجلة رقم (5) في اليوم الأخير والتي بلغت (0.074947) وذلك يعود إلى البيئة الضوئية والحرارية المثالية لنمو الخلايا الطحلبية التي توجد بها كما ذكرنا سابقاً. أما أقل قيمة لمعدل النمو في الحوجلات قد كانت في الحوجلة رقم (2) الموجودة في حجرة مظلمة وهي(0.052463) وذلك بسبب الظلام الذي يقلل من القيام بعملية التركيب الضوئي وبالتالي يقلل من عدد الخلايا الذي يتوقف عليه معدل النمو كما ذكرنا سابقاً.

- **الأوكسجين المنحلّ:**

من الدراسات المرجعية الّتي اطلعنا عليها وبعد مطابقتها مع النتائج الّتي توقعنا الحصول عليها وجدنا أنّ النتائج مغايرة لما وجب أن تكون عليه. فكان من المفترض أن تزداد قيمة الأوكسجين المنحلّ في الحوجلات من 1 إلى 5 – الّتي تحتوي على نترات البوتاسيوم وفوسفات الصوديوم – بينما وجب أن تكون منخفضة في الحوجلات من 6 إلى 10 بالمقارنة مع تلك. بما أنَّ الحوجلات من 1 إلى 5 تحتوي النترات والفوسفات فإن أعداد الخلايا الطحلبية تتضاعف بشكل كبير ما يؤدي إلى زيادة نسبة الأوكسجين نتيجة العدد الهائل من الخلايا التي تقوم بعملية التركيب الضوئي فوجب أن تكون في الحوجلة رقم 5 الأكثر ارتفاعاً نتيجة الظروف المثاليّة الموضوعة فيها الّتي تزيد النشاط الحيوي لدى الخلايا الطحلبيّة لكن لأسباب لم نبني عليها توقعاتنا كانت النتائج متفاوتة ولم تلبي الفائدة المرجوّة كان أحدها كما فسرنا أنّ دورة حياة الخلية الطحلبيّة مدّتها لا تتجاوز 15 يوماً وكانت مدّة دراستنا 13 يوماً ما أدّى إلى موت بعض الخلايا الطحلبيّة فكان للجراثيم الموجودة في المواد العضوية المضافة إلى الحوجلات الدور الكبير في تفكيك الخلايا الطحلبيّة واستهلاكها الأوكسجين الناتج ما أدّى إلى تفاوت القيم في كل مرّة .

- **زمن التضاعف:**

تبين لنا بعد الدراسة والملاحظة أن زمن التضاعف كان قصيراً في الحوجلات من 1 إلى 5. بينما في الحوجلات من 6 إلى 10 كان طويلاً، وذلك يعزى إلى بطء نمو الخلايا الطحلبية لافتقارها إلى نترات البوتاسيوم وفوسفات الصوديوم بينما الحوجلات الأخرى استفادت من هذه النترات والفوسفات كمغذيات أدى إلى تزايد أعدادها وتسارع انقسامها فتضاعفت بسرعة. حيث سجلت الحوجلة رقم 7 في اليوم 13 أطول زمن تضاعف بين الحوجلات البقية وهو(451 ساعة) مع العلم أن هذه الحوجلة أخذت كشاهد أي أنها تخلو من الفوسفات والنترات إضافة إلى وجودها في حجرة مظلمة وهذا ما أدى إلى انخفاض القيام بعملية التركيب الضوئي وانخفاض عدد الخلايا ومعدل النمو. أما الحوجلة رقم 5 فقد سجلت أقصر زمن تضاعف مقارنة بالبقية قدره(96 ساعة) وذلك بسبب الظروف الضوئية والحرارية المثاليَّة المذكورة سابقاً بالإضافة إلى وجود فوسفات الصوديوم ونترات البوتاسيوم فيها.

المقترحات والتوصيات

1- نرجو إتمام هذا البحث في السَّنوات التَّالية والعمل عليه لما له من أهميَّة والمتابعة في تطوره أملاً في أن يصبح مرجعاً للسَّنوات القادمة.

2- نوصي بتطبيق الدّراسات النظريَّة وتطبيق تقنيَّة التَّنقيَّة الذَّاتيَّة باستخدام الطَّحالب وتحقيق الفوائد الاقتصاديَّة والبيئيَّة منها.

3- إقامة محطات معالجة لمياه الصرف الصحي تعتمد على الطحالب في التنقية .

4- تحديد الأنواع الطحلبية الأكثر أهمية في التنقية الذاتية.

****

الخاتمة

تبعاً لدراستنا هذه والعديد من الدّراسات الأخرى وجدنا أن التَّنقية باستخدام الطَّحالب من أهم السُّبل الَّتي تساهم في التَّخفيف من تلوُّث المياه – وخاصَّة بالمعادن الثَّقيلة – وتعدُّ من أفضل طرق التنقية إذا تم استثمارها بالشَّكل المناسب كما أنَّها ستساهم في حماية الثَّروة السَّمكيَّة, وتساهم في المناحي الاقتصاديَّة بفعاليَّة كبيرة لما لها دور في تخليص البيئة من مضار التَّلوُّث والمياه العادمة واستثمارها فيما يخدم الإنسان والبيئة.

المصادر والمراجع

المراجع الأجنبية:

1_ Heitmann, H.G. (ed.) ،1990. Saline Water Processing: Desalination and treatment of seawater ،brackish water and industrial waste water. VCH Publishers ،New York .

2_ Wastewater Treatment with Algae ،Yuk-Shan Wong Nora F.Y. Tam.

3_ SWIM sustain Water Med ,GIZ ,Djerba 12 Mai 2014, Tunisia.

4_ Phytoplankton Response to Environmental Variables and Organic Pollutants. Laboratory Cultures and Numerical Simulations Experiments.

5_ The green gold of the future.

6_ Algae-Produced Pfs25 Elicits Antibodies That Inhibit Malaria Transmission

Laborarory evaluation of Dunaliella tertiolcta, Ashley Juanika Belle.

7_ The Growth of Continuous Cultures of the Phytoplankton Phaeodactylum Tricornutum Oya S. OKAY.

المراجع العربية:

1. الجامعة الإسلامية – غزة، عمادة الدراسات العليا، كلية الآداب، قسم الجغرافيا، المياه العادمة وأثرها على الخزان الجوفي في محافظة غزة.
2. دراسة في جغرافية البيئة" 1433 هـ – 2012 م ، إشراف الأستاذ الدكتور نعيم سلمان بارود.
3. مكونات وخصائص المياه العادمة, خالد بدوي, مستشار تقني.

4. العوالق النباتية، القسم النظري، منشورات جامعة دمشق- كلية العلوم، د.عدنان أحمد علي نظام (أستاذ في قسم علم الحياة النباتية)، عام 2008- 2009 م، رقم الكتاب 336
5. الطَّحالب، د.محمد محمد الحسيني حسن، إعداد : د.عبد العزيز قبلان السراني و د.إدريس بن منير التركي، قسم الأحياء – كلية العلوم، فرع جامعة الملك عبد العزيز، المدينة المنورة، الطَّبعة الأولى عام 2000 م، الفصل الأول.
6. ميكروبولوجيا المياه –الجزء النظري- للدكتور عدنان أحمد علي نظام, منشورات جامعة دمشق.