



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي - سكيكدة -



قسم التكنولوجيا
التخصص: هندسة طرائق

مذكرة التخرج لنيل شهادة أستاذ تعليم ثانوي

بعنوان:

تفعيل ألياف طبيعية بواسطة أكاسيد معدنية ودراسة خصائصها
التحفيزية

من إعداد:

• قطيطني ندى

المشرف:

• بن جفال حسان

لجنة المناقشة:

الاسم واللقب	الدرجة	الجامعة	الدور
بوجدير اعتدال	أستاذ محاضر - ب -	م.ع.أ.ت.ت.سكيكدة	رئيسة
سايجي يوسف	أستاذ محاضر - أ -	م.ع.أ.ت.ت.سكيكدة	مناقشا
بن جفال حسان	أستاذ التعليم العالي	م.ع.أ.ت.ت.سكيكدة	مشرفا

السنة الجامعية: 2024/2023

شكر

بعد رحلة بحث وجهد واجتهاد تكلفت بإنجاز هذا البحث، نحمد الله ونشكره شكر جزيلًا يباهي النعم التي من بها علينا وتوفيقه لنا، وامتنالاً لقوله تعالى في محكم تنزيله ﴿ومن لا يشكر الناس لا يشكر الله﴾. أما بعد للنجاح أناس يقدرون معناه وللإبداع أناس يصدونه لذا لا يسعني أن أخص بأسمى عبارات الشكر والتقدير إلى أستاذي الدكتور "حسان بن جفال" الذي تفضل بالإشراف على هذه المذكرة، ولما قدمه لنا من جهد ونصح ومعرفة ومساندة طيلة إنجاز هذا العمل، ونتمنى له مزيداً من التقدم والنجاح في أبحاثه الثرية.

اتقدم كذلك بجزيل الشكر والعرفان لأعضاء اللجنة المناقشة الأستاذ سايحي يوسف و الأستاذة بوجدير اعتدال على قبولهم مناقشة هذه المذكرة و تثمينها.

كما أتقدم بالشكر الجزيل إلى كل من ساهم في تقديم يد العون لإنجاز هذا البحث، وأخص بالذكر مسؤول المخبر "مسيخ محمد" الذي كان إلى جانبي طيلة أعمال التطبيقية. والشكر موصول أيضاً إلى المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي، على رأسها رئيس قسم التكنولوجيا الأستاذ المتواضع "رحموني صالح" وإلى كل الأساتذة الذين زرعوا التفاؤل في دربنا وأثرونا بالنصائح والتوجيهات والمعلومات، وإلى الإدارة والعمال كافة وأخص الذكر مريم، شمسة، جمال

كما لا أنسى أجمل الشكر للوالدين الكريمين اللذان كانا سنداً لنا طيلة المشوار ولم يبخلوا علينا بالدعاء والتضريح إلى الله بالتوفيق والسداد.

وفي الأخير طبعاً، أتوجه بأرقى عبارات الشكر والتقدير إلى جميع الزملاء والأصدقاء الذين كانوا سنداً لي بتشجيعهم وحسن رفقتهم.

لكم جزيل الشكر والعرفان والحمد لله رب العالمين

اهراء

﴿وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ﴾

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، الحمد لله ما تم جهد ولا ختم سعي إلا بفضلته وما تخطى العبد من عقبات وصعوبات الا بتوفيقه ومعونته، بفضل من الله اتممت مسيرتي الجامعية من المدرسة العليا للأساتذة تخصص هندسة

طرائق، اللهم انفعني بما علمتني وانفع بي فالحمد لله على حسن التمام والختام.

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة ونصح الأمة، إلى نبي الرحمة ونور العالمين

سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم

إلى من جعل الله الجنة تحت أقدامها واحتضني قلبها قبل يديها وسهلت لي الشدائد بدعائها، إلى ملاكي الطاهر وقوتي بعد

الله، الى من تشاركني أفراحي وآساتي، إلى أجهل ابتسامه في حياتي إلى أروع امرأة في الوجود

أمي

إلى الذي زين اسمي بأجمل الألقاب، من دعمني بلا حدود وأعطاني بلا مقابل، إلى من سعى إلى راحتي ونجاحي، إلى

من علمني أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة، إلى من غرس في روحي مكارم الاخلاق الى فخري واعتزازي

أبي

إلى من قال فيهم ﴿سنشد عضدك بأخيك﴾

إلى من آمنت بقدراتي وأمان ايامي، إلى من تذكرني بقوتي وتقف خلفي كظلي إلى خير أيامي

أختي بسمة

إلى من مدوا لي يدهم بلا كلل ولا ملل وقت ضعفي إلى قرة عيني وضلعي الثابت إلى سندي في الحياة

إخواني عبدو وأكرم

إلى من يسري دمهم في عروقي، إلى كل من ساهم في تقديم يد العون لي أثناء المشوار، إلى جميع أفراد عائلتي الكبيرة

كل باسمه وأخص الذكر بنات أعمامي وخالتي رحمها الله

إلى رفقاء السنين وأصحاب الشدائد والأزمات إلى صديقاتي آية، شروق، عبير

إلى من كن ولازلن سببا في بهجتي وابتسامتي، إلى رفيقاتي خارج وداخل المدرسة

ندى، مريم، ايناس، سارة، سلمى، ساجدة، اية، ريان، سلسبيل، فريدة، جيهان، رودينة، ريان، هند، هديل، منال، بشرى، وسيمه

وأميرة والجميلة إيمان

إلى من تقاسمت معهم مقاعد الدراسة فكانوا خير الجليسين زملائي

إلى استاذي المشرف الدكتور حسان بن جفال، إلى من علمونا حروفا من ذهب، إلى اساتذتي الكرام

إلى كل من كانوا معي على طريق الخير والنجاح

أهديكم هذا الانجاز راجين من الله تعالى ان ينفعا بما علمنا يعلمنا بما ينفعا.

ملخص

في هذا العمل، تم استخدام محفزات ضوئية مختلفة لإزالة الملون الصناعي أزرق التوليد من المياه الملوثة. تم تقييم تأثير عدة عوامل مثل درجة الحموضة (pH)، كتلة المحفز، حجم ماء الأكسجين، التركيز الابتدائي للمحلول الملوث، وزمن التلامس على فعالية الإزالة. أظهرت النتائج المتحصل عليها أن عند تطبيق القيم المثلى لهذه العوامل تزيد من نسبة الإزالة إلى أعلى قيمة لها، حيث تبين أن زيادة كتلة المحفز وحجم ماء الأكسجين إلى حد معين يعزز من فعالية الإزالة، بينما تتحسن النسبة مع مرور الوقت وتصل إلى أعلى قيمة بعد 60 دقيقة من التعريض للأشعة فوق المرئية.

هذه الدراسة تثبت فعالية استخدام المحفزات المناسبة في تحسين إزالة الملونات الصناعية من المياه، مما يساهم في

تطوير تقنيات معالجة مياه ملوثة أكثر فعالية واقتصادية.

الكلمات المفتاحية: طحالب بحرية، أكاسيد معدنية، أزرق التوليد، التحفيز الضوئي، الإزالة.

Résumé

Dans ce travail, différents photocatalyseurs ont été utilisés pour éliminer le colorant industriel Bleu de Toluidine de l'eau contaminée. L'impact de plusieurs facteurs tels que le pH, la masse du catalyseur, le volume de peroxyde d'hydrogène, la concentration initiale de la solution contaminée et le temps de contact sur l'efficacité de l'élimination a été évalué. Les résultats obtenus ont montré que l'application des valeurs optimales de ces facteurs augmente le taux d'élimination à sa valeur la plus élevée. Il a été constaté qu'augmenter la masse du catalyseur et le volume de peroxyde d'hydrogène jusqu'à une certaine limite améliore l'efficacité de l'élimination, tandis que le pourcentage s'améliore avec le temps, atteignant sa valeur maximale après 60 minutes d'exposition à la lumière visible. Cette étude démontre l'efficacité de l'utilisation de catalyseurs appropriés pour améliorer l'élimination des colorants industriels de l'eau, contribuant au développement de technologies de traitement de l'eau contaminée plus efficaces et économiques.

Mots-clés: Algues marines, Oxydes métalliques, bleu de toluidine, Photocatalyse, Élimination.

Absract

In this work, different photocatalysts were used to remove the industrial dye Toluidine Blue from contaminated water. The impact of several factors such as pH, catalyst mass, hydrogen peroxide volume, initial concentration of the contaminated solution, and contact time on the removal efficiency was evaluated. The obtained results showed that applying the optimal values of these factors increases the removal rate to its highest value. It was found that increasing the catalyst mass and hydrogen peroxide volume up to a certain limit enhances the removal efficiency, while the percentage improves over time, reaching its peak value after 60 minutes of exposure to visible light. This study demonstrates the effectiveness of using appropriate catalysts to improve the removal of industrial dyes from water, contributing to the development of more efficient and economical contaminated water treatment technologies.

Keywords: Seaweed, Metal Oxides, toluidine bleu, Photocatalysis, Removal.

قائمة الرموز و الاختصارات

الرمز	المعنى
A ₀	الامتصاصية الابتدائية (nm)
A	الامتصاصية المقاسة (nm)
ADN	Acide désoxyribonucléique
C ₀	التركيز الابتدائي لTB (mg/L)
C	تركيز TB (mg/L)
DCO	Demandes chimiques en oxygène
E	معامل الامتصاصية (L/mol.cm)
ev	electron volte
h ⁺	فجوة موجبة
M	الكتلة
A	الامتصاصية المقاسة (nm)
h ⁺	فجوة موجبة
OH [•]	جذر الهيدروكسل
pH	درجة الحموضة
R [•]	جذر حر
TB	أزرق التوليدين
Us	الموجات فوق الصوتية
UV-Visible	Ultra-Violet-Visible

فهرس المحتويات

الصفحة	العنوان	الرقم
//	شكر	01
//	اهداء	02
//	ملخص	03
//	قائمة الرموز و الاختصارات	04
//	قائمة الأشكال	05
//	قائمة الجداول	06
01	مقدمة عامة	07
الجزء النظري		
الفصل الأول: مفاهيم عامة حول التلوث		
06	1I مقدمة	10
06	I.2. التلوث	11
06	I.3. التلوث المائي	12
07	I.3.I تعريف الملونات	13
08	I.2.3. تصنيف الأصباغ	14
11	I.3.3. استخدامات الأصباغ	15
11	I.4.3. سمية الأصباغ	16

13	I.4. الالياف النباتية	17
15	I.4.1. الخصائص الفيزيوكيميائية للألياف النباتية	18
15	I.4.2. ألياف النباتات البحرية	19
16	I.4.2.1. أنواع النباتات المستخدمة في عملية استخراج الألياف البحرية	20
16	I.4.2.2. طرق استخلاص الالياف من النباتات البحرية	21
17	I.5. الأكاسيد المعدنية	22
18	I.5.1. الخصائص الفيزيوكيميائية ل NiO - CuO - ZnO	23
19	I.5.2. الاستعمالات	24
19	I.5.3. طرق التحضير	25
20	المراجع	26
الفصل الثاني : طرق المعالجة		
24	II.1. مقدمة	28
24	II.2. طرق إزالة الملوثات	29
24	II.2.1. المعالجة البيولوجية	30
25	II.2.2. التخثير Coagulation	31
25	II.3.2. الإدمصاص Adsorption	32
26	II.4.2. الأكسدة المتقدمة (AOPs) Advanced Oxidation Processes	33
28	II.4.2.1. المعالجة بالأوزون	34
28	II.4.2.2. المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية :	35
29	II.3.4.2. التحفيز الضوئي Photocatalyse	36
31	المراجع	37
الجزء العملي		

الفصل الثالث: طرق والوسائل المخبرية		
35	1.IV مقدمة	40
36	2.III المحاليل المستعملة	41
39	2.III . 2 الأجهزة والوسائل	42
41	3.III . 3 عملية التسخين بالميكروويف	43
الفصل الرابع: التحاليل ومناقشة النتائج		
45	1.VI مقدمة	45
45	2.VI تحديد الشروط المثالية لعملية إزالة الملون	46
46	1.2.VI تأثير درجة حموضة الوسط على عملية إزالة TB	47
47	2.2 . V I تأثير كفاءة المحفز	47
48	3.2 . V تأثير كمية الماء الأكسجيني	48
49	4.2 . VI تأثير التركيز الابتدائي لTB	49
50	5.2 . V تأثير زمن التلامس	50
54	2.V حوصلة على النتائج	51
54	المرجع	52
58	خاتمة	53

قائمة الأشكال

- الشكل I. 1. مصادر التلوث 6
- الشكل I. 2. رسم تخطيطي يبين تصنيف الأصباغ حسب شحنة الأيون 9
- الشكل I. 3. أثر التصنيع على صحة الانسان من خلال تلوث المياه 12
- الشكل I. 4. أضرار الترمك البيئي لبعض الملوثات العضوية على الأوساط المائية 13
- الشكل I. 5: الألياف النباتية 13
- الشكل I. 6: ألياف الشوفان 14
- الشكل I. 7: ألياف قشر جوز الهند 14
- الشكل I. 8: ألياف الليجنوسيليلولوز 15
- الشكل I. 9: الطحلب الأحمر والبني 16
- الشكل I. 10 : Posidonia oceanica (Posidonie) و Zostera marina (Zostère) 16

- الشكل II. 1: مراحل عملية التخثير والتنديف 25
- الشكل II. 2: عملية الامتزاز 26
- الشكل II. 3: مخطط تصنيف الأكسدة المتقدمة (AOP) 27
- الشكل II. 4: عملية حقن الأوزون داخل الوسط المائي 28
- الشكل II. 5: وحدة المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية 29
- الشكل II. 6: آلية عمل الأكسدة المتقدمة (التحفيز الضوئي) 30
- الشكل III. 1: مخطط يوضح مختلف المحاليل والوسائل المستعملة 35
- الشكل III. 2: مسحوق أزرق التوليد و المحلول الملوث بأزرق التوليد 36
- الشكل III. 3: مخطط يوضح مختلف مراحل تحضير الطحالب 37
- الشكل III. 4: مخطط توضيحي لكيفية تحضير المدمصات 38
- الشكل III. 5: مخطط لوصف بروتوكول تحضير وتفعيل ألياف الطحالب 39
- الشكل III. 6: صورة مصباح LED 39
- الشكل III. 7: ميزان إلكتروني 40
- الشكل III. 8: مقياس الطيف الضوئي 40
- الشكل III. 9: الخلاط المغناطيس 41
- الشكل III. 10: الميكروويف 41
- الشكل III. 11: البنية الكيميائية لأزرق التوليد 42
- الشكل III. 12: ال pH متر 43
- الشكل VI. 1 تأثير درجة الحموضة على عملية الادمصاص 46
- الشكل VI. 2 تأثير كمية المحفز على عملية الادمصاص 47
- الشكل VI. 3 تأثير كمية الماء الأكسيجيني على عملية الادمصاص. Erreur ! Signet non défini. 48
- الشكل VI. 4 تأثير تركيز الابتدائي ل TB على عملية الادمصاص 50

الشكل 5.VI تأثير الوقت عند تركيز 5 mg/L على عملية الادمصاص.....52

الشكل 6.VI تأثير زمن التلامس عند تركيز 35mg/L على عملية الادمصاص.....53

قائمة الجداول

الصفحة	العنوان	الرقم
8	الجدول (1.1): تصنيف الأصبغة الصناعية حسب شدة اللون	01
10	الجدول (2.1): بنية صبغ بعض الاصباغ	02
18	الجدول (3.1): الخصائص الفيزيوكيميائية ل NiO - CuO - ZnO	03
19	الجدول (4.1): مجال الإستخدام للأكاسيد المعدنية	04
27	الجدول (1.2): الكون القياسي لبعض تفاعلات الأكسدة	05
30	الجدول (2.2): خصائص بعض المحفزات الضوئية	06
42	جدول (1.3): الخصائص الفيزيائية والكيميائية لصبغة الأزرق التوليديني	07
55	الجدول (1.6): الشروط المثالية لإزالة أزرق التوليدين من المياه حسب الدراسة التجريبية	08

مقدمة عامة

مقدمة عامة

يعد التلوث مشكلة بيئية رئيسية تؤثر على الهواء والتربة وخصوصاً الموارد المائية. يمثل تلوث المياه تهديداً خطيراً لصحة الإنسان والحياة البرية والنباتية وللنظام البيئي بشكل عام. تحتوي المياه الملوثة، الناتجة عن الأنشطة المنزلية والصناعية والزراعية على ملوثات متنوعة مثل المعادن الثقيلة، المواد الكيميائية العضوية كالملونات وعندما تُطرح هذه الملوثات في البيئة المائية دون معالجة مناسبة، يمكن أن تسبب أضراراً لا يمكن إصلاحها [1-2].

تُعد الأصباغ من بين المواد العضوية الملوثة للمصادر المائية، وذلك بسبب أهميتها الكبيرة واستخدامها الواسع في الصناعات المتنوعة مثل الصناعات النسيجية والطباعة، وكذلك كمضافات في الصناعات النفطية، بالإضافة إلى استخداماتها العديدة الأخرى. يتم إنتاج حوالي 10-15 مليون طن من هذه الأصباغ سنوياً في جميع أنحاء العالم، وتستخدم في تحضيرها العديد من المركبات المختلفة ذات السلوك البيئي غير المعروف بشكل كبير. يُفقد حوالي 10% من هذه الأصباغ كمخلفات في المياه الناتجة عن الصناعات المختلفة، مما يشكل جزءاً من النفايات المطروحة حول العالم التي تؤثر على البيئة بمنع نفاذ أشعة الشمس خلال المياه وتخفيض عملية التركيب الضوئي، مما يتسبب في مشاكل كبيرة للكائنات الحية [3].

وقد تزايد الاهتمام بإزالة هذه الأصباغ بعد الإدراك أن كثيراً من المواد الأولية المستخدمة في تحضيرها هي عوامل مسببة للأمراض السرطانية. لذلك، يُفضل إزالة هذه المواد من المياه قبل تصريفها إلى البيئة، ليس فقط لأسباب جمالية، وإنما بسبب سميتها وتأثيراتها طويلة الأمد على الإنسان والبيئة. هذا بدوره دفع العلماء إلى البحث بإلحاح عن حلول لمشكلة التلوث.

على الرغم من أن الطرق التقليدية فعالة في كثير من الحالات، إلا أنها غالباً ما تنطوي على عيوب فقد تكون مكلفة، وتستهلك كميات كبيرة من الطاقة، وتسبب في أضرار بيئية إضافية في بعض الأحيان. مما تطلب استحداث تقنيات أكثر كفاءة وبأقل تكاليف للتخلص منها، ومن أهمها عمليات الأكسدة المتقدمة (AOP) [4] والتي صممت لمعالجة مياه الشرب في الثمانينات ثم لاقت انتشاراً واسعاً في وقت لاحق، فهي عبارة عن طرق حديثة لمعالجة مياه الصرف الصحي مكّلة للطرق التقليدية كالترسيب والتخثير...

يهدف هذا العمل لمعالجة عينة ملوثة بملون أزرق التوليدين باستعمال تقنية التحفيز الضوئي ودراسة تأثير تغيير بعض العوامل الفيزيوكيميائية نذكر منها: ككلية المادة المحفزة، الأس الهيدروجيني، تركيز الملون، الزمن وحجم الماء الأكسجيني، حيث تعتمد هاته الطريقة على تشكيل الجذور الحرة من تفكك الماء الأكسجيني مسببة تدميراً تأكسدياً للملوث، تم استخدام الطحالب البحرية كمواد صديقة للبيئة و المُفعّلة بأكاسيد معدنية.

تحتوي مذكرتنا على جزء نظري متكون من فصلين وجزء عملي به فصلين والمقسم كآتي:

الفصل الأول يشمل مقدمة عن التلوث بالملونات، أضراره ومصادره، أما **الفصل الثاني** فقد تطرقنا فيه لمختلف طرق

إزالة هذه المركبات وقد اعتمدنا في دراستنا هذه على تقنية التحفيز الضوئي

الفصل الثالث في الجزء العملي من المذكرة يشمل الدراسة العملية المنجزة والتي تحتوي على الخصائص الفيزيوكيميائية

لطحالب البحر المحفزة بثلاثة أكاسيد معدنية (النحاس، الزنك ، النيكل)، الأجهزة المستخدمة في العمل التجريبي وتحضير

المحاليل ، أما **الفصل الرابع** خصص للتحليل والتعليق على النتائج المتحصل عليها في دراسة مختلف العوامل المؤثرة على

هذه العملية (كثافة المادة المحفزة، درجة الحموضة، حجم المؤكسد H_2O_2 ، تركيز الملون، والزمن).

وفي الأخير نختم هذه المذكرة بالخاتمة التي تحتوي على حوصلة كاملة لهذا العمل بالإضافة إلى جملة من التوصيات.

المراجع

- [1] : H. Bendjeffal, H. Mamine, A. Djebli, N. Rebbani, Y. Bouhedja, Sensor Letts.153844, (2017)
- [2] :T. Xue, Yanshan Gao, Z. Zhang, A. Umar, J. Alloy. Compd. 587, 99 (2014)
- [3] : H.Y. Shu, M.C. Chang, Dyes. Pigments. 65, 25 (2005)
- [4] S.Chergui-Bouafia et R.Alloune,procédé d'oxydation avancée pour le traitement des eaux usées.revue des energies renouvelable Tlemcen,2007

الجزء النظري

الفصل الأول: مفاهيم عامة

حول التلوث

1I مقدمة

أدى التطور التقني والصناعي إلى حدوث خلل في توازن النظام البيئي وتلوث مصادر الحياة (الهواء، الماء والتربة). وتعد الأصباغ من الملوثات الخطرة، والسامة في البيئة المائية بسبب سرعة انتشارها، واستقرارها وقدرتها على الترابط مع الدقائق العالقة وقسم كبير لها مسرطن بسبب تأثيره على المادة الوراثية ADN

I. 2. التلوث

يعرف التلوث بأنه: "كل تغير فيزيائي أو كيميائي أو بيولوجي، يؤدي بشكل مباشر أو غير مباشر إلى تأثير ضار في الهواء، أو الماء، ويضر بصحة الإنسان والكائنات الحية الأخرى، وكذلك يؤدي إلى الإضرار بالعملية الإنتاجية كنتيجة للتأثير على حالة الموارد المتجددة [1_2]."



الشكل (1. I): مصادر التلوث

I. 3. التلوث المائي

هو إحداث خلل في نوعية المياه فتصبح غير صالحة للاستخدامات الأساسية وغير قادرة على احتواء الجسيمات والكائنات الدقيقة والفضلات المختلفة في نظامها البيئي، نذكر منها:

❖ الملوثات المعدنية

أو ما يسمّى بالوفرة في الغذاء، كزيادة تركيز الفسفور والنيتروجين حيث تساهم في تلوث المياه بشكل كبير، فعلى سبيل المثال فإن البحيرات ذات مستويات التغذية القليلة إذا ما عانت من مشكلة الإثراء الغذائي فإن نمو الطحالب فيها سيزداد، وبالتالي زيادة الروائح الكريهة وارتفاع سمية المياه وعدم صلاحيتها للشرب [1_2].

❖ الملوثات العضوية

هي مواد كيميائية تحتوي على الكربون، وتنتج عن النشاطات الإنسانية المنزلية والصناعية والزراعية كالهيدروكربونات، الملونات المبيدات وغيرها. وتؤدي الى تأثيرات ضارة على صحة الانسان، وتصنف للملوثات دقيقة كربونية، وملوثات دقيقة آزوتية وملوثات دقيقة فسفورية. كما يمكن تصنيفها من حيث الثبات الى ملوثات عضوية ثابتة (POPs) و ملوثات عضوية غير ثابتة [1_2].

❖ الملونات (الأصبغ)

الأصبغ بشكل عام مركبات عضوية أو طبيعية أو اصطناعية لديها خاصية التلون الدائم، تم استخدام الأصبغ في عدة صناعات مختلفة مثل الطلاء وصبغة الملابس، وحتى منتصف القرن التاسع عشرة كانت الأصبغ المطبقة ذات أصل طبيعي. واستخدمت أصبغ غير عضوية مثل: أكسيد المنغنيز والحبر، بالإضافة إلى ذلك تم تطبيق الأصبغ العضوية الطبيعية وهي مركبات عطرية تأتي من النباتات مثل النيلي والايزارين. وقد تم اكتشاف أول صبغة صناعية بواسطة العالم وليام بيركن William perkin في سنة 1856 م عندما كان الكيميائي الإنجليزي "وليام هنري بيركين"، في محاولة لتجميع الكينين الاصطناعي لعلاج الملاريا، حصل على أول صبغ اصطناعي يدعى "البنفسجي" (الأنيلين، الصبغة الأساسية).



النيلي



الزعفران



القرمزي

1.3.I تعريف الملونات

الملونات هي مركبات عضوية غير مشبعة وعطرية، قادرة على امتصاص الإشعاعات الضوئية في مجال الطيف المرئي 380-800nm، تحتوي في جزيئاتها على مجموعات تسمى الكروموفور (حامل اللون) (chromophore) مسؤولة عن تحويل الضوء الأبيض إلى ضوء ملون عن طريق الانعكاس على الجسم، أو عن طريق الإرسال أو الانتشار بواسطة الامتصاص الانتقائي للطاقة وهي عبارة عن مجموعات من الذرات تحمل رابطة مزدوجة على الأقل، وتشكل

مع بقية الجزيء تسلسلاً مترافقاً. ومجموعات أخرى تسمى الأكسوكروم (Auxochromes) ذات الطبيعة الحمضية أو الأساسية التي تعمل على تكثيف اللون وتثبيتته بشكل فعال على الدعامات [3].

مجموعات الأكسوكروم (مثبتات اللون)	مجموعات الكروموفور (ملونة)
أمينو (-NH ₂)	أزو (-N=N-)
ميثيل أمينو (-NHCH ₃)	-NO ou -N-OH- نتروزو
ثنائي ميثيل الأمين (-N(CH ₃) ₂)	كربونيل (=C=O)
هيدروكسيل (-OH)	فينيل (-C=C-)
الكربوكسيل (-OR)	(-NO ₂ ou =NO-OH) نترو
مجموعات مانحة للإلكترونات	كبريتيد (>C=S)

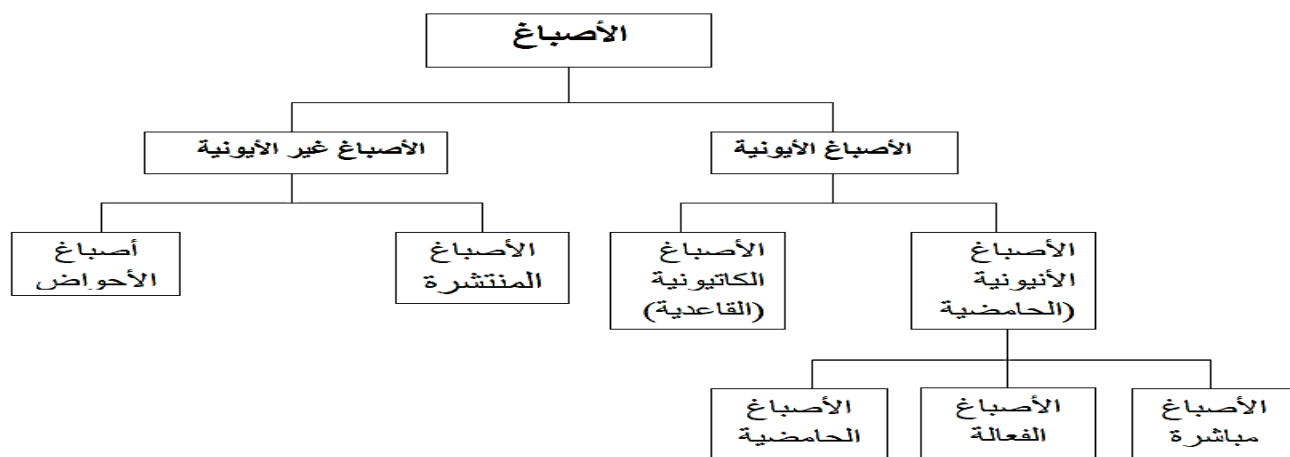
الجدول (1.1): تصنيف الأصبغة الصناعية حسب شدة اللون [3].

2.3.1. تصنيف الأصباغ

أ. التصنيف حسب شحنة الأيون [3]

يمكن تصنيف الأصباغ بناءً على تركيبها أو مجموعتها الوظيفية أو بناءً على شحنة الأيون عندما تذوب في الماء،

حيث تقسم إلى أصباغ أيونية وأصباغ غير أيونية كما هو موضح في الشكل:



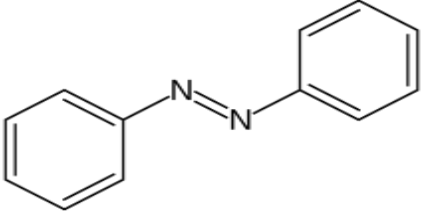
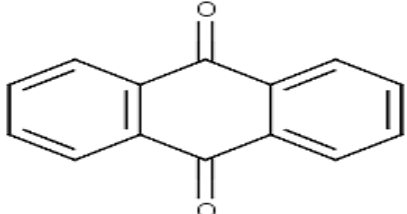
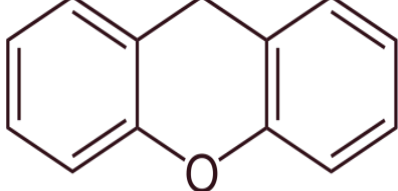
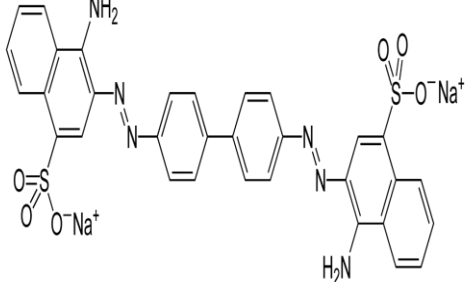
الشكل (I. 2): رسم تخطيطي يبين تصنيف الأصبغ حسب شحنة الأيون

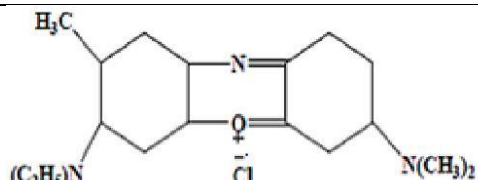
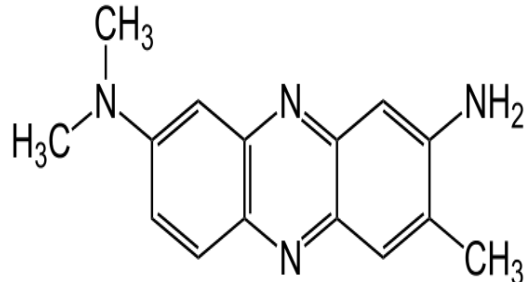
ب. التصنيف الكيميائي [3]

يعتمد تصنيف الأصبغ وفقاً لتركيبها الكيميائي على طبيعة مجموعة الكروموفور التي تمنحها اللون أو وفقاً لمجموعة الأكسوكروم التي تسمح بتثبيتها ونذكر بعض المجموعات الرئيسية:

- **أصبغ الأزو Azo** التي تجمع بين مجموعتي (-N=N-) تتميز هذه الأصبغ بوجود المجموعة الوظيفية ألكيل أو أريل متطابقتين أو مختلفتين. هذه الأصبغ تعتبر الأكثر استخداماً فهي تمثل 50 % من الإنتاج العالمي للصبغة.
- **أصبغ انثراكينون Anthraquinone**: تمثل هذه الأصبغة أهم مجموعة من الأصبغ ولها مجموعة واسعة من التطبيقات صيغتها العامة مشتقة من الأنثراسين.
- **أصبغ الزانثين Xanthène**: تعتبر مركباتها الأكثر شهرة فلورسين، استخدامها قليل كصبغة، تكمن قدرتها على تحديد الحوادث البحرية أو تعقب الأنهار الجوفية الراشحة، كما أنها تستخدم كمادة تلوين الطعام ومستحضرات التجميل والمنسوجات والطباعة.
- **الأصبغ الحمضية**: السلفونات أو الكربوكسيلات، تسمى هكذا لأنها تسمح بصبغ الألياف الحيوانية (الصوف والحرير) الحمضية قليلاً. صبغة حمض السلفونيك من المجموعات الصبغية والأمنية للألياف النسيجية.
- **الأصبغ الأساسية أو الكاتيونية**: وهي أملاح القواعد الملونة مع حمض هيدروكلور أو كلور الزنك وهذه الأصبغة تستعمل على الأنسجة الحيوانية مباشرة وكذلك النباتية التي رشح لونها بواسطة حامض التنيك، وهي تستعمل غالباً على القطن والحرير.

- الأصباغ المباشرة: هي الأصبغة التي لا تحتاج إلى مرسخ وتستعمل لصباغة الأنسجة الحيوانية والنباتية مباشرة.

	<p>أصباغ الآزو</p>
	<p>أصباغ انثراكينون Anthraquinone</p>
	<p>أصباغ الزانثين Xanthène</p>
	<p>الأصباغ الحمضية</p>

	<p>الأصباغ القاعدية</p>
	<p>الأصباغ المباشرة</p>

الجدول (2.1): بنية صبغ بعض الاصباغ

3.3.I. استخدامات الأصباغ

صناعة الصبغة يشكل سوقا اقتصاديا كبيرا لأن العديد من المنتجات الصناعية يمكن تلوينها، فن أهم الصناعات

التي تستخدم فيها الأصباغ [3]:

- ✓ صناعة المواد الغذائية (الملونات الغذائية).
- ✓ صناعة البلاستيك ودهانات البناء.
- ✓ صناعة النسيج.
- ✓ صناعة مستحضرات التجميل (صبغات الشعر).
- ✓ صبغات نسيجية للملابس والديكور والبناء وصبغات النسيج للاستخدام الطبي.
- ✓ الطباعة (الحبر والورق).
- ✓ صناعة الأدوية (الأصباغ والمواد الحافظة).

4.3.I. سمية الأصباغ

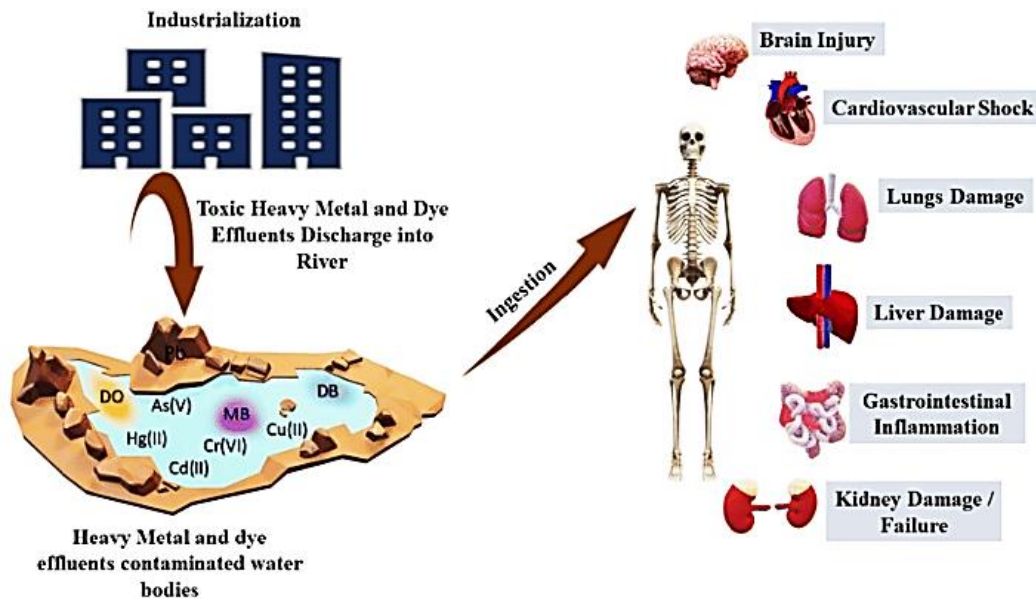
الأصباغ هي مركبات يصعب تحللها بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، فهي سامة وضارة وتسبب تلوثاً بيئياً كبيراً

وتمثل عامل خطراً للغاية على الصحة العامة، تتمثل سميتها في:

❖ بالنسبة للإنسان [3]

- ✓ الأصباغ الأمينية تسبب في تهيج الجلد والتهابه.
- ✓ تصنيع الأصباغ من سلسلة ثلاثي فينيل ميثان تؤدي لإنتاج الأكراما والتقرح.

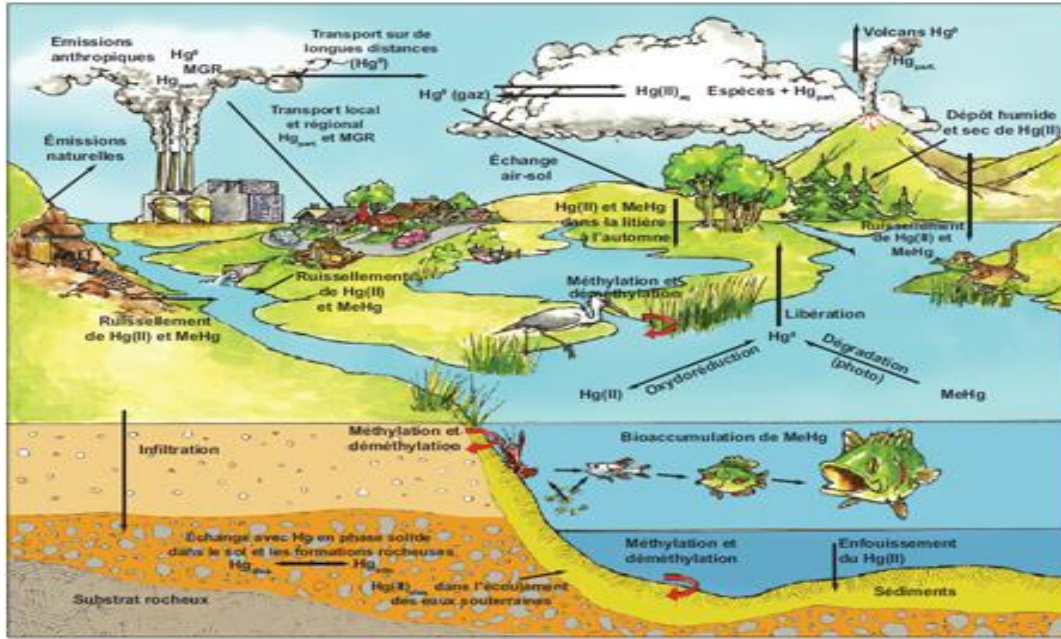
- ✓ تشكل الأصباغ الاصطناعية القائمة على الأمينات مخاطر المواد المسرطنة وأورام المسالك البولية وخاصة الأورام الحميدة والخبيثة في المثانة.
- ✓ قد ذكرت البحوث الأخرى أن الترتازين تطور عدداً من ردود الفعل السلبية مثل الحكة، الربو والتهاب الأنف...إلخ.
- ✓ أصباغ الآزو هي أيضا المسؤولة عن ظهور الأورام لدى البشر.
- ✓ استخدام الأصباغ القائمة على الزرنيخ مثل (الزرنيخ النحاسي) يسبب مشاكل في الجهاز الهضمي: الغثيان والإسهال ويمكن أن يسبب تهيج الجلد والأغشية المخاطية للعين والسرطان الرئوي وخاصة السرطان الورم الحبيبي الرئوي.



الشكل (3. I): أثر التصنيع على صحة الانسان من خلال تلوث المياه

❖ بالنسبة للطبيعة [3]

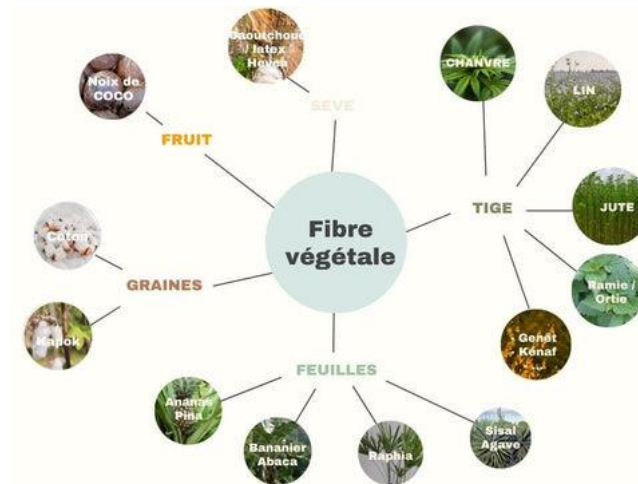
تمثل العديد من الصبغات طابعا ساما على البيئة المائية مما تسبب في التدمير المباشر للتجمعات المائية. حيث تعتبر تصريف النفايات السائلة من مصانع الصباغة والنسيج، المحملة للأصباغ في الأنهار مصدرا يضر بشكل كبير بالأنواع الحيوانية والنباتية التي تعيش في هذه المياه. يمكن أن ترتبط هذه السمية بارتفاع أو انخفاض DOC و DBO والحد من قدرة إعادة التهوية للمجري المائية وتأخير نشاط التمثيل الضوئي، كذلك لها تأثير بطيء على النشاط الحيوي للطحالب عند الحد الأدنى من التركيز 1mg/l.



الشكل (I. 4): أضرار التراكم البيئي لبعض الملوثات العضوية على الأوساط المائية.

I. 4. الألياف النباتية

تعتبر الألياف النباتية بالإضافة إلى دورها الأساسي في صحة الجهاز الهضمي، لها أيضًا دور هام في القضاء على الملوثات. هذه الألياف الموجودة في جدران خلايا النباتات في شكل مركبات مثل السليلوز والهيميسليلوز والبكتين، تظهر قدرة ملحوظة على امتصاص وإزالة مجموعة متنوعة من الملوثات من البيئة.



الشكل (I. 5): مصادر الألياف النباتية

استخدام الألياف النباتية في إزالة الملوثات يرتبط بقدرتها على امتصاص مختلف المواد الضارة. فيما يلي بعض أمثلة على الألياف النباتية ودورها في عملية إزالة الملوثات:

- ◆ ألياف شوفان (**Fibres de son d'avoine**): الألياف في قشر الشوفان غنية بالبيتا جلوكان، الذي أظهر قدرة على امتصاص المعادن الثقيلة والمركبات العضوية في الماء[4].



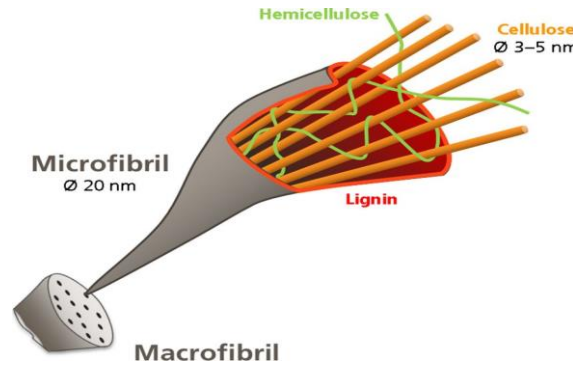
الشكل (I. 6): مصدر ألياف الشوفان

- ◆ ألياف قشر جوز الهند (**Fibres de coques de noix de coco**): أظهرت ألياف قشر جوز الهند فعالية في إزالة ملوثات متنوعة، بما في ذلك الأصباغ والمعادن الثقيلة بسبب هيكلها المسامي وسطحها الكبير[5].



الشكل (I. 7): مصدر ألياف قشر جوز الهند

- ◆ ألياف الليجنوسيليلولوز (**Fibres de lignocellulose**): يمكن استخدام ألياف الليجنوسيليلولوز، الموجودة في مواد مثل القش والخشب، لامتصاص المبيدات والمركبات العضوية الثابتة في البيئة[6].



الشكل (I. 8): ألياف الليجنوسيليلولوز

- ◆ ألياف الكايتوسان (**Fibres de chitosane**) أظهرت ألياف الكايتوسان، المستمدة من كيتين موجود في قشر القشريات، قدرة قوية على امتصاص المعادن الثقيلة والمواد العضوية في الماء [7].

1.4.I. الخصائص الفيزيوكيميائية للألياف النباتية

الخصائص الفيزيو-كيميائية للألياف النباتية متنوعة وتلعب دوراً هاماً في تفاعلها مع الجسم البشري، فيما يلي بعض هذه الخصائص:

- ◆ الهيكل الجزيئي: الألياف النباتية تتألف في المقام الأول من البوليساكاريدات، مثل السليلوز والهيميسيليلولوز والبكتين، والتي تمنح هذه الألياف هيكلها الفريد. [8]
- ◆ قدرة امتصاص الماء: الألياف النباتية لديها قدرة عالية على امتصاص الماء، مما يساهم في تكوين الهلام وتنظيم لزوجة الجهاز الهضمي. [9]
- ◆ قدرة امتصاص المواد السامة: تظهر الألياف النباتية قدرة على امتصاص المواد السامة، مما يساهم في تنقية الجهاز الهضمي. [10]
- ◆ إطلاق الجلوكوز: بعض أنواع الألياف النباتية يمكن أن تبطن من إطلاق الجلوكوز في الدم، مما يترتب عنه آثار على إدارة مستويات الجلوكوز في الدم [11].

في إطار مذكرتنا، نحن مهتمون أكثر بالألياف المستخلصة من النباتات البحرية.

2.4.I. ألياف النباتات البحرية

تمثل ألياف النباتات البحرية مجالاً ناشئاً في البحث والابتكار في مجال المواد المستدامة والبيئية، تقدم الموارد النباتية المستمدة من البيئات المائية، مثل الطحالب والأعشاب البحرية، إمكانيات واعدة لتطبيقات متنوعة كالنسيج ومواد البناء.

1.2.4.I. أنواع النباتات المستخدمة في عملية استخراج الألياف البحرية

✓ الطحالب البنية (Phaeophyceae): بعض أصناف الطحالب البنية، مثل *Laminaria* و *Fucus*، يمكن استغلالها لاستخراج الألياف.

✓ الطحالب الأحمر (Rhodophyta): بعض الأنواع مثل *Gelidium* و *Gracilaria* يمكن استخدامها لاستخراج الألياف [12].



الشكل (9. I): الطحلب الأحمر والبنّي

❖ الأعشاب البحرية:

✓ *Zostera marina* (Zostère): هذا النوع من الأعشاب معروف بأليافه الطويلة والمرنة.

✓ *Posidonia oceanica* (Posidonie): تمت دراسة أوراق البحرين لاستخراج الألياف أيضاً [13]



الشكل (10. I): *Posidonia oceanica* (Posidonie) و *Zostera marina* (Zostère)

2.2.4.I. طرق استخلاص الألياف من النباتات البحرية

الطرق الخاصة لاستخراج الألياف البحرية قد تختلف اعتماداً على نوع النبات البحري المستخدم (الطحالب،

الأعشاب البحرية، إلخ).

❖ طرق استخراج الألياف من الأعشاب البحرية:

نستخرج الألياف من الأعشاب البحرية عبر عدة خطوات محددة تستهدف الحصول على ألياف قوية وعالية

الجودة:

- ✓ الجمع: نجمع الأعشاب البحرية، باعتماداً على خصائص البيئة ونوع الأعشاب البحرية.
- ✓ التجفيف: نخضع الأعشاب البحرية المجمعة لعملية تجفيف لإزالة الرطوبة الزائدة. يمكن تنفيذ عملية التجفيف بشكل طبيعي بواسطة الهواء أو باستخدام تقنيات التجفيف.
- ✓ المعالجة المُسبقة: قد تحتاج بعض الأعشاب البحرية إلى خطوات معالجة مُسبقة، مثل التبييض أو الغمر، لتسهيل استخراج الألياف لاحقاً.
- ✓ الفصل: نفصل الألياف عن هيكل الأعشاب البحرية ميكانيكياً. يمكن أن يشمل هذا العملية التمشيط أو تقنيات فصل أخرى.
- ✓ التنظيف والتشطيب: نخضع الألياف المستخرجة لتنظيف شامل لإزالة الشوائب. قد تشمل خطوات التشطيب لتحسين نعومة وجودة الألياف. [14-16]

5.I. الأكاسيد المعدنية

أكاسيد المعادن هي مركبات كيميائية ناتجة عن تفاعل المعدن مع الأكسجين، توجد هذه المركبات على نطاق واسع في الطبيعة وتلعب دوراً حاسماً في العديد من العمليات الجيولوجية. غالباً ما تتشكل هذه المركبات نتيجة لتفاعلات بين المعادن والغلاف الجوي، والماء. [17]. تحمل هذه المركبات آثاراً هامة في عدة مجالات مثل الجيوكيمياء وعلم المعادن، وحتى في صناعة المعادن والأصباغ بسبب خصائصها الفيزيائية والكيميائية الفريدة. يمكن أيضاً أن تكون مؤشرات جيولوجية مساعدة للعلماء في فهم عمليات تكوين الصخور والمعادن في قشرة الأرض. [18]

1.5.I الخصائص الفيزيوكيميائية ل (NiO - CuO - ZnO)

NiO	CuO	ZnO	الاكسيد المعدني
مسحوق أخضر بلوري	مسحوق أسود بلوري	بنية بلورية سداسية	الخصائص الفيزيائية
غير قابل للذوبان في الماء، مع الأحماض يكون أملاح النيكل القابلة للذوبان في الماء.	غير قابل للذوبان في الماء، مع الأحماض يكون أملاح النحاس الذائبة في الماء.	غير قابل للذوبان في الماء ، قابلة للذوبان مع الأحماض	الذوبانية
تقريباً 1955 درجة مئوية.	تقريباً 1325 درجة مئوية.	تعتمد على الشكل البلوري ، تقريباً 1975 درجة مئوية	نقطة الانصهار
حوالي 6.67 غ/سم ³ .	تكون حوالي 6.31 غ/سم ³ .	تتراوح بين 5.606 و5.68 جم/سم ³ [19].	الكثافة
لديه هيكل مغناطيسي خاص عند درجات حرارة منخفضة	لديه هيكل مغناطيسي خاص.	مركب غير مغناطيسي.	المغناطيسية
أكسيد النيكل يتفاعل مع الأحماض لتكوين أملاح النيكل وتحرير الماء.	أكسيد النحاس يتفاعل مع الأحماض لتكوين أملاح النحاس وتحرير الماء.	يتفاعل مع الأحماض القوية لتكوين أملاح زنك قابلة للذوبان في الماء ، ومع القواعد القوية لتكوين أملاح زنك معقدة.	التفاعل الكيميائي

الجدول (3.I): الخصائص الفيزيوكيميائية ل (NiO - CuO - ZnO) [19-22]

2.5.I الاستعمالات

تتمتع الأكاسيد المعدنية، مثل ZnO (أكسيد الزنك)، NiO (أكسيد النيكل)، و CuO (أكسيد النحاس)، باستخدامات متنوعة في مختلف الصناعات بسبب خصائصها الفريدة، فيما يلي بعض استخداماتها الشائعة:

الأكسيد المعدني	ZnO	CuO	NiO
مجالات الاستعمال	صناعة الطلاء، مواد البلاستيك والمطاط، منتجات العناية بالبشرة، الإلكترونيات، صناعة السيراميك والمواد الغذائية .	كصبغة في صناعة السيراميك، وفي إنتاج الكواشف، وفي صناعة الشبه موصلات.	صناعة البطاريات القابلة لإعادة الشحن، وككاشف، وفي صناعة الخزف.

الجدول (4.I): الاستخدامات المختلفة لبعض الأكاسيد المعدنية [24-27].

3.5.I طرق التحضير

طرق تحضير أكاسيد المعادن، بما في ذلك CuO (أكسيد النحاس)، ZnO (أكسيد الزنك)، و NiO (أكسيد النيكل)، قد تتفاوت وفقاً للخصائص الفريدة للمركبات، نذكر منها: طريقة التحلل الحراري وطريقة الترسيب الكيميائي، في إطار عملنا هذا سنركز على استخدام أكاسيد مرتبطة بالعنصر "Ce" لتخليق أكاسيد $CeMO_3$ ، حيث يمثل M عناصر مثل الزنك (Zn)، النحاس (Cu)، والنيكل (Ni). تهدف هذه الطريقة إلى تحسين خصائص هذه المواد فيما يتعلق بإزالة الملوثات المائية. تظهر أكاسيد $CeMO_3$ اهتماماً خاصاً بسبب خصائصها الحفازة وقدراتها على الامتزاز، التي يمكن تحسينها من خلال الارتباط مع أكسيد السيريوم (CeO_2). تقدم هذه الطريقة المبتكرة آفاقاً واعدة لتصميم حلول مستدامة في مجال معالجة مياه الصرف الصحي، مساهمة بذلك في الحفاظ على جودة المياه وحماية البيئة.

المراجع

- [1]: الملوثات العضوية و الغير عضوية و تأثيراتها على البيئة م. وسن محمد علوان، م. هيام هادي علكم، م. ايمان مطر عطية، م. الاء فاضل سليمان، م. نبراس مظفر جميل (قسم الكيمياء).
- [2]: نصر الحايك، تلوث المياه وتنقيتها، ديوان المطبوعات الجامعية، الطبعة الثالثة، الجزائر (1989).
- [3]: الكربون النشط المحضر من نوى، مذكرة ماستر بن صغير مريم، إزالة صبغة أزرق الميثيلين من محلولها المائي بواسطة أكاديمي، جامعة ورقلة، 2019.
- [4]: Shang, J., & Huang, Y. (2018). Adsorption properties of β -glucans in oat bran against heavy metal ions and the mechanism study. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107(Pt A), 96-103.
- [5]: Kumar, P. S., Ramalingam, S., Senthamarai, C., Niranjanaa, M., & Vijayalakshmi, P. (2010). Adsorption of dye from aqueous solution by cashew nut shell: studies on equilibrium isotherm, kinetics and thermodynamics of interactions. *Desalination*, 261(1-2), 52-60.
- [6]: Li, Y., Huang, G., Zhang, X., & Yang, L. (2013). Adsorption of phenanthrene and 1-naphthol by lignin from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials*, 260, 389-396.
- [7]: Wang, J., Chen, C., & Chua, H. (2009). Use of chitosan to enhance the adsorption of organophosphorus pesticides. *Water Research*, 43(9), 2485-2494.

[8]: Mc Cleary, B. V., DeVries, J. W., Rader, J. I., Cohen, G., Prosky, L., Mugford, D. C., & Okuma, K. (2012). Determination of total dietary fiber (CODEX definition) by enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 95(3), 824-844.

[9]: Coffey, A., & Ritz, B. (2019). Dietary fiber source influences the degree of hydration and viscosity of the intestinal contents in rats. *The Journal of Nutrition*, 149(4), 577-585.

[10]: Calame, W., Weseler, A. R., Viebke, C., & Flynn, C. (2015). Siemensma AD. Gum arabic establishes prebiotic functionality in healthy human volunteers in a dose-dependent manner. *British Journal of Nutrition*, 114(1), 1-11.

[11]: Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Taylor, R. H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J. M., ... & Jenkins, A. L. (1981). Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *The American journal of clinical nutrition*, 34(3), 362-366.

[12]: A. Malik et al. "Potential of Brown and Red Algae for Marine Fiber Extraction." *Journal of Applied Phycology*, vol. 18, no. 3, p. 145-162.

[13]: M. Sanchez et al. (20YY). "Fiber Extraction from Seagrasses: A Comprehensive Review." *Journal of Aquatic Plant Management*, vol. 22, no. 4, p. 201-218.

[14]: A. Dubois et al. "Extraction and Characterization of Fibers from *Posidonia Oceanica*." *Textile Research Journal*, vol. 22, no. 3, p. 145-160.

[15]: B. Martin et al. "Processing Techniques for Seagrass Fiber Extraction: A Comprehensive Review." *Journal of Natural Fiber*, vol. 28, no. 4, p. 201-218.

- [16]: C. Garcia et al. "Mechanical Separation of Fibers from Zostera Marina: An Experimental Study." *Materials Science and Engineering: C*, vol. 35, no. 2, p. 112-128.
- [17]: Deer, W. A. ،Howie, R. A. ،& Zussman, J. (2013). *Introduction to the Rock-Forming Minerals*. Mineralogical Society of Great Britain and Ireland.
- [18]: Klein, C. ،& Philpotts, A. (2017). *Earth Materials: Introduction to Mineralogy and Petrology*. Cambridge University Press.
- [19]: A. F. (1984). *Structural Inorganic Chemistry*. Oxford: Clarendon Press.
- [20]: Cotton, F. A., & Wilkinson, G. (1980). *Advanced Inorganic Chemistry*. New York: John Wiley & Sons
- [21] : Jun, Y. W., Huh, Y. M., Choi, J. S., Lee, J. H., Song, H. T., Kim, S., ... & Cheon, J. (2005). Nanoscale size effect of magnetic nanocrystals and their utilization for cancer diagnosis via magnetic resonance imaging. *Journal of the American Chemical Society*, 127(16), 5732-5733.
- [22]: Li, Y., Hu, Y., Zhao, Y., Shi, G., Deng, L., Hou, Y., ... & Qu, L. (2008). An electrochemical avenue to green-lithe on the graphene surface: decoration of graphene sheets with metal nanoparticles. *Journal of the American Chemical Society*, 130(11), 3660-3667.

الفصل الثاني : طرق المعالجة

1.II. مقدمة

أصبحت عملية إزالة وتقليل المواد السامة الناتجة عن تراكم الفضلات المطروحة والعمليات الصناعية المختلفة من أهم التحديات التي تواجه البيئة والمجتمع في عالمنا المعاصر، ومن أكثر الملوثات للموارد المائية المثبتة عليها التلوث بالملوثات، ما حث العاملين في هذا المجال على تشجيع الباحثين لتكريس جهودهم في إيجاد طرائق فعالة وغير مكلفة اقتصاديا لإزالة مختلف الملوثات. ومن أهم التقنيات التي استخدمت في معالجة هذه المشكلة: التخثر، الترشيح، الامتزاز، التحفيز الضوئي والأكسدة المتقدمة. تعد الأكسدة المتقدمة (AOP) من أهم هذه التقنيات لكفاءتها العالية في هذا المجال وبساطة التكنولوجيا المستخدمة مقارنة مع الطرائق الأخرى.

2.II. طرق إزالة الملوثات

يمكن أن نصنف طرق التخلص من الملوثات المائية حسب نوع الملوثات وخصائص البيئة. وفيما يلي بعض الطرق المستخدمة في المعالجة:

1.2.II. المعالجة البيولوجية

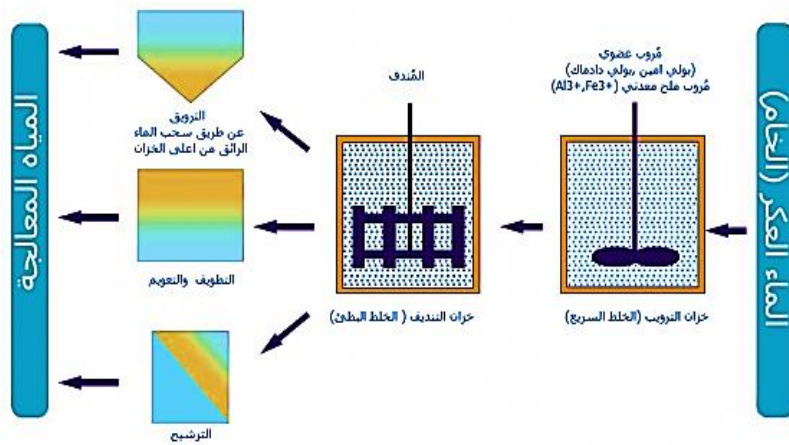
تتضمن هذه الطريقة استخدام الكائنات الدقيقة لتحلل الملوثات الموجودة في الماء. يمكن أن تكون الكائنات الدقيقة بكتيريا أو فطريات أو كائنات حية أخرى قادرة على استقلاب الملوثات وتم عبر عدة خطوات: [1]

- ◆ اختيار الكائنات الدقيقة: نحدد الملوثات الموجودة في الماء واختار كائنات دقيقة قادرة على تحللها. نختار سلالة ميكروبية مناسبة لنوع الملوثات التي تستهدفها.
- ◆ زرع البيورياكتور: نقوم بتجهيز البيورياكتور، وهو جهاز مراقب يسمح بنمو الكائنات الدقيقة. نزرع البيورياكتور بالسلالة الميكروبية المختارة.
- ◆ مراقبة الظروف البيئية: نحافظ على الظروف البيئية المثلى لنمو الكائنات الدقيقة، بما في ذلك درجة الحموضة، ودرجة الحرارة، وتركيز الأكسجين، وغيرها من المعاملات المحددة للسلالة المختارة.
- ◆ تحضير العينات: نقوم بأخذ عينات من الماء المراد معالجته. نقوم بقياس التراكيز الابتدائية للملوثات المستهدفة.
- ◆ تغذية البيورياكتور: نقوم بإدخال عينات الماء الملوثة في البيورياكتور بطريقة مراقبة. نتأكد من الحفاظ على الظروف المثلى للكائنات الدقيقة.
- ◆ مراقبة المعلمات: نراقب بشكل منتظم معلمات البيورياكتور مثل نمو الكائنات الدقيقة، واستهلاك الأكسجين، ودرجة الحموضة، إلخ. ستساعدك هذه القياسات في فهم كفاءة المعالجة.

- ◆ أخذ عينات بعد المعالجة : نقوم بأخذ عينات بعد المعالجة ونقوم بقياس التراكيز المتبقية للملوثات. نقارن هذه النتائج مع التراكيب الابتدائية لتقييم كفاءة المعالجة البيولوجية.
- ◆ تحليل جزيئي (اختياري) : إذا لزم الأمر، نستخدم تقنيات التحليل الجزيئي مثل PCR (تفاعل البلمرة المتسلسلة) لتحديد وقياس الكائنات الدقيقة الموجودة في البيورياكتور.
- ◆ تكرار التجربة: نكرر التجربة للحصول على نتائج موثوقة وقابلة للتكرار. نقوم بتغيير الظروف التجريبية إذا كان ذلك ضرورياً لتحسين أداء المعالجة البيولوجية.

2.2. II. التخثير Coagulation

التخثير عملية فيزيوكيميائية تقليدية تستخدم منذ أكثر من قرن لمعالجة مياه الصرف الصحي [2]. يعتبر التخثير الكيميائي من أفضل الطرق لإزالة المركبات العضوية إذا كانت جرعة الخثر والأس الهيدروجيني للمحلول في النطاق الأمثل. يستخدم التخثير بشكل خاص لإزالة الجسيمات غروية الحجم، تضاف الخثرات إلى المياه الملوثة لتتفاعل مع المواد العضوية الموجودة فيه وتشكل بذلك ندف لتتبع العملية بالترسيب أو الترشيح لثقل وزن الندف. ومن بين أهم الخثرات نذكر: كبريتات الألومنيوم $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ، كلوريد الألومنيوم المتعدد PACI، كلور الحديد $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ [2-3].



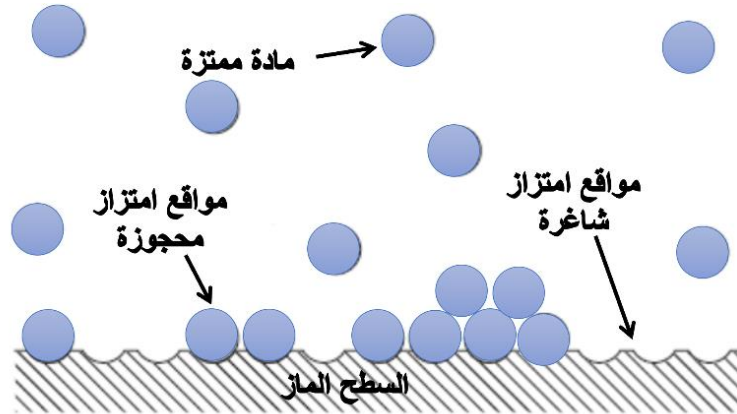
الشكل (1. II): مراحل عملية التخثير [3].

3.2. II. الإدمصاص Adsorption

يعرف أيضا بالامتزاز وهو ظاهرة فيزيوكيميائية تقوم على تراكم وتركز جزيئات المواد السائلة أو الغازية على سطح صلب (المادة المازة) ويصاحبها عادة نقصان في الطاقة الحرة ΔG وتميز نوعين من الامتزاز:

أ- الامتزاز الفيزيائي: ظاهرة فيزيائية عكوسة تعتمد على انجذاب الجزيئات الى السطح تحت تأثير قوى فاندرفالز (van der waals)، يمتاز بجملة منخفضة ويشكل عدة طبقات [4].

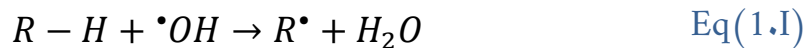
ب- الامتزاز الكيميائي: يمتاز بجملة مرتفعة نسبيا ويشكل طبقة واحدة فقط أما الطبقات التي تليه تكون بالامتزاز الفيزيائي.



الشكل (2.II): عملية الامتزاز.

4.2.II. الأكسدة المتقدمة (AOPs) Advanced Oxidation Processes

تعد من الطرق الأكثر كفاءة في إزالة الملوثات العضوية الضارة من مياه الصرف الصحي، تعتمد الأكسدة المتقدمة (AOP) على مؤكسدات قوية عادة ما تكون جذور هيدروكسيلية أو كبريتية لتفكيك المواد العضوية الذائبة في المياه ويمكن أن تستخدم مع المحفز أو أشعة بالأوزون أو أشعة فوق بنفسجية UV. يتم توليد مجموعة من الجذور الحرة أهمها الهيدروكسيل $\cdot OH$ ، الأوكسجين $\cdot O_2$ و O^{\cdot} ، هيدروبيروكسيل $\cdot O_2H$ و بيروكسي ROO^{\cdot} والتي تستخدم كمؤكسدات كيميائية قوية لتدمير المركبات العضوية التي لا يمكن أكسدها بالمؤكسدات التقليدية مثل الأوزون والأوكسجين والكلور، ولأن الجذور الهيدروكسيلية غير مستقرة ونصف عمرها قصير جدا و كمونها قياسي يقدر بـ 2.80 v فإنها تهاجم بسرعة المركبات العضوية من خلال إنتقال الإلكترون إليها فتتحلل الى ماء و غاز ثاني أكسيد الكربون [5-8]

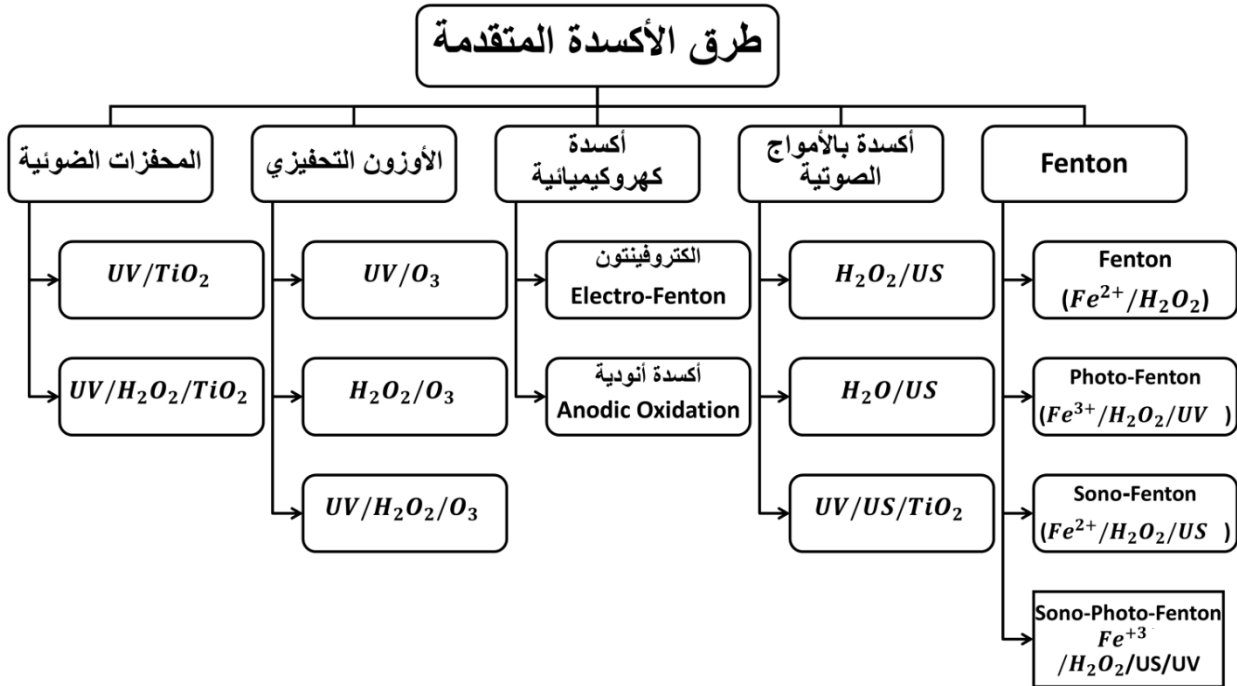


معادلة الأكسدة	كمون قياسي (V) E°
$\cdot OH + H^+ + e^- \rightarrow H_2O$	2.80

$\cdot OH + e^- \rightarrow OH^-$	2.33
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$	1.76
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	1.23
$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	1.36

الجدول (1.II): الكون القياسي لبعض تفاعلات الأكسدة [9].

تتضمن الأكسدة المتقدمة (AOP) مجموعة من الطرق التي تصنف على أنها متجانسة وغير متجانسة، طاقتها عالية وغير طاقتها كما هو مبين في المخطط التالي:



الشكل (3.II): مخطط تصنيف الأكسدة المتقدمة (AOP) [10].

1.4.2.II. المعالجة بالأوزون

الأوزنة "O₃" أو المعالجة بالأوزون هي أكسدة الأوزون لشوارد الحديد Fe²⁺ والمنغنيز Mn²⁺ مما يسهل ترسيبها فيتم ازلتها بسهولة، كما يعمل الأوزون على تكسير الفينول ومركباته، وتحويلها إلى مركبات بسيطة وثنائي أكسيد الكربون وماء، وذلك من خلال سلسلة من التفاعلات الكيميائية. لخصائص المياه المعالجة أهمية كبيرة في تفاعل الأكسدة بالأوزون

مثل وجود الأملاح ودرجة حموضة المياه، وحيث تؤثر هذه العوامل على استقرار الأوزون، ومن عيوب هذه الطريقة هو قصر نصف عمر الأوزون التي تبلغ 20 دقيقة، ويتم حقن الأوزون داخل الوسط المائي بواسطة ناشرات ذات ثقب دقيقة [11].



الشكل (4.ii): عملية حقن الأوزون داخل الوسط المائي.

II.2.4.2. المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية :

لم تشهد طريقة المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية (UV) انتشارا واسعا في معالجة المياه، بل اقتصر في تعقيم مياه الشرب لبعض المنشآت الصغيرة و تحت شروط معينة، ومن مميزات هذه الطريقة عدم الحاجة إلى إضافة مواد كيميائية، ولا يكون هذا التعقيم ناجحا وفعالاً إلا في حالة كانت المياه خالية تماما من المواد العالقة الدقيقة فوجودها يشكل صعوبة في انتقال الأشعة مما يؤدي إلى عدم التأثير المباشر على الكائنات الحية الدقيقة .

تزداد فعالية الأكسدة بالأشعة فوق البنفسجية اذا تكاملت مع طرق أكسدة أخرى مثل الأكسدة بالأوزون، أو بماء الأكسجين، فهذا التكامل يؤدي إلى أكسدة جيدة للمركبات العضوية. ولاتنتاج الأشعة البنفسجية نستخدم مصابيح زئبقية طول موجتها 245 نانومتر. ومن أهم مميزات هذه الطريقة أنها لا تستعمل المواد الكيميائية، ولا ينتج عنها مواد ثانوية ضارة، وهي سهلة الاستخدام ومنخفضة التكلفة نسبياً.

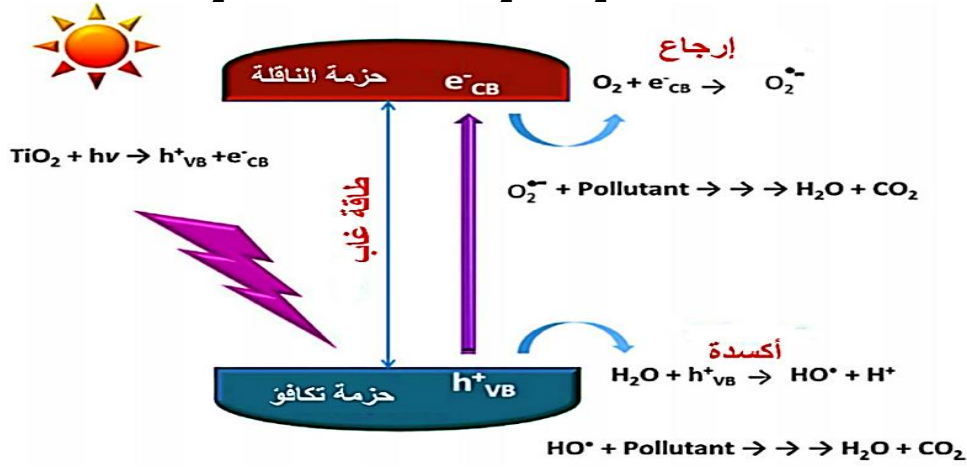
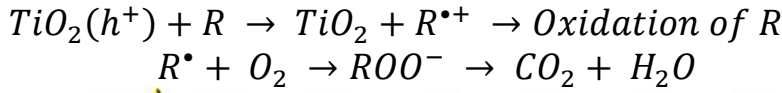


الشكل (5.ii): وحدة المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية.

تدرج طرق أخرى تحت مسمى طرق الأكسدة المتقدمة مثل المعالجة بالموجات فوق الصوتية "US" و المعالجة بمركبات فوق أكسيد الهيدروجين الماء الأكسجيني "H₂O₂", كما يمكن استخدام مزيج من بعض طرق الأكسدة مثل "UV/H₂O₂", أو "UV/ H₂O₂ /O₃", أو "UV/ O₃".²

3.4.2.II التحفيز الضوئي Photocatalyse

تتطلب هذه التقنية محفزات خاملة كيميائيا وبيولوجيا وغير سامة وتتفاعل مع الضوء المرئي أو فوق البنفسجي، قد تكون متجانسة أو غير متجانسة حسب ما إذا كان المحفز من نفس الطور أو من طور مختلف مع طور العينة المراد معالجتها مثل: ZnO، ZnS، SnO₂، Fe₂O₃، وأكثر المحفزات استعمالا هي ثنائي أكسيد التيتانيوم TiO₂ لأنه أكثر استقرار ويعمل في نطاق واسع من الأس الهيدروجيني [12]، كما أثبت نجاعته في تفكيك العديد من الملوثات العضوية: كالمبيدات، الأصبغة وخفض قيم COD و TOC. عندما يمتص ثنائي أكسيد التيتانيوم طاقة قدرها 3.2eV ينتقل الإلكترون من حزمة التكافؤ V_b الى حزمة التوصيل C_b [13].



الشكل (6.II): آلية عمل الأكسدة المتقدمة (التحفيز الضوئي) [14].

❖ المحفزات الضوئية

هي عبارة عن أجسام صلبة تكون فيها طاقة الفجوة بين حزمة التكافؤ وحزمة الناقل صغيرة حتى يمكن إثارة عدد كبير من الإلكترونات من حزمة الناقل الى حزمة التكافؤ [15].

المحفزات الضوئية	كمون حزمة التكافؤ (V)	كمون حزمة الناقلة (V)	طاقة الفجوة (eV)	الطول الموجي اللازم لتجاوز طاقة الفجوة (nm)
TiO ₂	+3.1	-0.1	3.2	387
SnO ₂	+4.1	+0.3	3.9	318
ZnO	+3.0	-0.2	3.2	387
ZnS	+1.4	-2.3	3.7	335
WO ₃	+3.0	+0.2	2.8	443
CdS	+2.1	-0.4	2.5	496

الجدول (3.11): خصائص بعض المحفزات الضوئية [16].

المراجع

[1]: Metcalf, E., & Eddy, P. (2014). "Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery." McGraw-Hill.

[2]: S. Tchamango, C. Njiki, E. Ngameni, D. Hadjiev, Treatment of dairy effluents by electrocoagulation using aluminium electrodes. Science Total Environment, 2010.

[3]: S. Hammami, Etude de dégradation des colorants de textile par les procédés d'oxydation avancée. Application à la dépollution des rejets industriels, thèse de doctorat, université paris-est et tunis el manar, 2008.

[4]: F. Benamraoui, Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture, Ferhat abbas setif-1, 2014

- [5]: R. Munter, Advanced Oxidation Processes-Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Chemistry, 2001.
- [6]: W. H. Glaze, J. Kang, the chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and UV-radiation, Science and Engineering, 1987.
- [7]: G. Tchobanoglous, wastewater engineering treatment and resource recovery, 2013.
- [8]: Solarchem Environmental Systems, The UV/oxidation handbook, Markham Ontario Canada, 1994.
- [9]: A. ELBERKA, R. YAGA, Elimination d'un colorant azoïque par des procédés d'oxydation avancée, Université Ahmed Draïa, 2020.
- [10]: D.Govindaraj, I.Nambi, S.Jaganathan, Nanocatalysts in Fenton Based Advanced Oxidation Process for Water and Wastewater Treatment, Bionanoscience, 2016
- [11]: تقنيات معالجة مياه الصرف الصناعي لمشروعات البتروكيماويات، الكويت (2019)
- [12]: S. Bagheri, Titanium dioxide as a catalyst support in heterogeneous catalysis, The Scientific World Journal, 2014.
- [13]: D. Shhadeh, F. Karabet, The degradation of some pharmaceutical compounds in water by Advanced Oxidation Processes, Damascus university, 2012.
- [14]: Etacheri, V.; Di Valentin, C.; Schneider, J.; Bahnemann, D.B.D.; Pillai, S.C. Visible-light activation of TiO₂ photocatalysts: Advances in theory and experiments

[15]: ح. كالوي، ي. البزرة، ف. الصالح، الكيمياء الفيزيائية، المركز العربي للتعريب والتأليف والنشر والترجمة: بدمشق، 1991.

[16]: A.Hashem, The decomposition of some hormones in water by advanced oxidation processes, master thesis, Damascus University, 2014

الجزء العملي

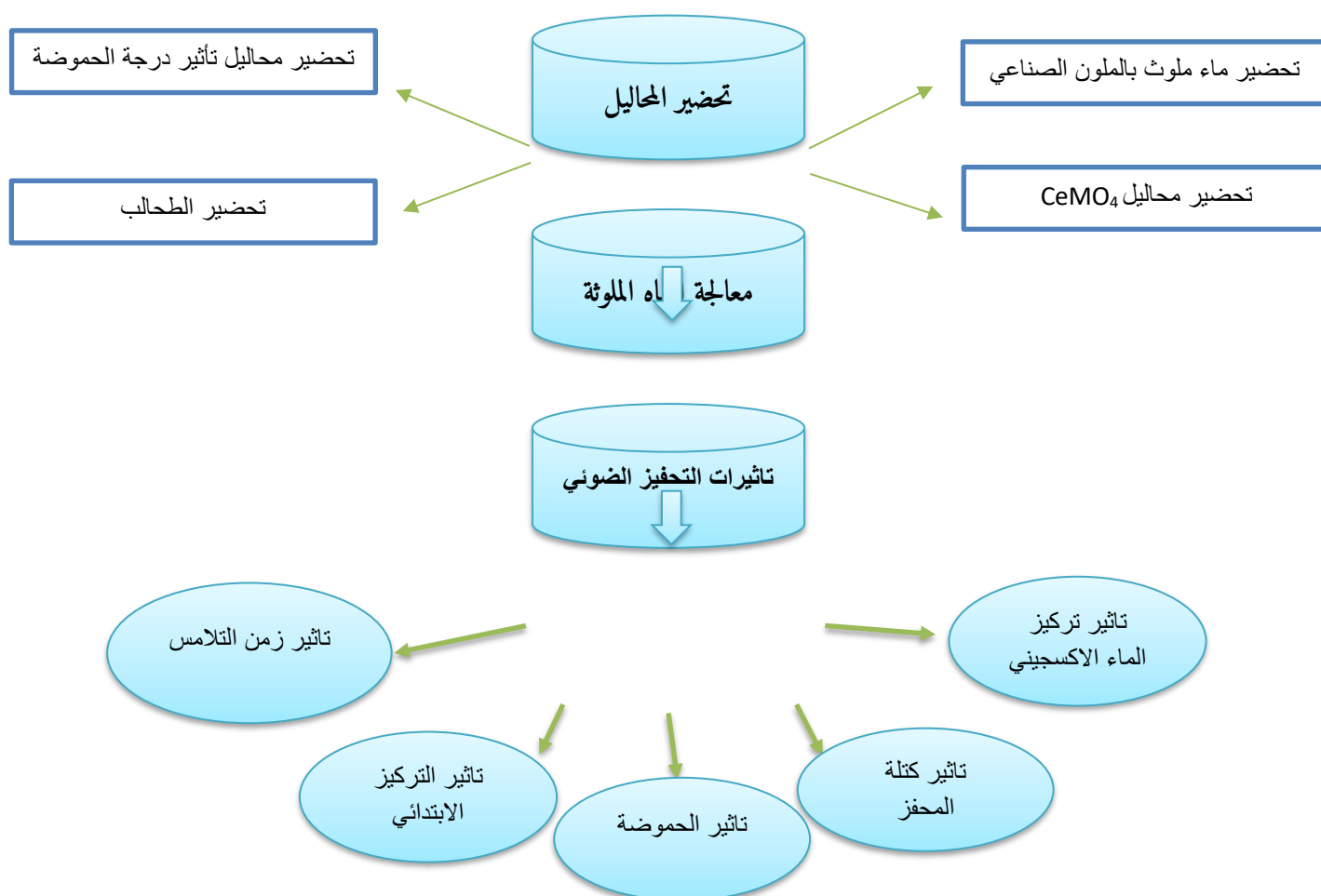
الفصل الأول: الطرق والوسائل

المخبرية

3.III مقدمة

يندرج هذا العمل ضمن البحث عن مواد طبيعية أقل تكلفة لاستخدامها كمواد تحفيزية لتنقية المياه الملوثة بالملونات الصناعية. في هذا الإطار، نستخدم نوعاً من المواد يتكون من ($CeMO_4$ + مسحوق الطحالب) والذي يلعب دوراً فعالاً في إزالة الملونات الصناعية. حيث يشمل هذا العمل دراسة تأثير بعض العوامل في عملية التحفيز الضوئي لمعالجة أزرق التولويدن. قبل البدء في العمل المخبري، يجب تحضير بعض المحاليل بالإضافة إلى المحلول الام المستخدم في عملية الازالة كما هو موضح في الشكل 1.

يتضمن هذا الفصل الدراسة التجريبية التي أجريت في إطار هذا البحث، حيث يتناول الجزء الأول وصف البروتوكولات المتعلقة بتحضير المواد المحفزة بما في ذلك عمليات التنظيف والطحن والغربلة وتنشيط الألياف. ويعرض الجزء الثاني مجموعة متنوعة من تجارب الازالة التي تمت تحت تأثير بعض المؤشرات الفيزيوكيميائية.



الشكل (4.III): مخطط يوضح مختلف المحاليل والوسائل المستعملة

5.III المحاليل المستعملة

للقيام بعملية التحفيز الضوئي لإزالة صبغة الأزرق التولويدين، قنا بتحضير مجموعة من المحاليل الأساسية التي تشمل الماء الملوث بالملون، بالإضافة إلى تحضير محاليل (HCl/H₂O) بهدف دراسة تأثير درجة الحموضة (pH) على عملية إزالة TB.

❖ تحضير ماء ملوث بالملون الصناعي

لتحضير المحلول الام نقوم بإذابة 50mg من مسحوق ازرق التولويدين في 500ml من الماء المقطر وذلك لتحضير محلول TB بتركيز 100mg/L.



الشكل (6.III): مسحوق ازرق التولويدين و المحلول الملوث بأزرق التولويدين

❖ تحضير محاليل بقيم pH (2, 3, 4, 5, 6, 7)

نقوم بأخذ بيشر ذو سعة 100mL نضع فيه الماء المقطر الى خط العيار ثم نضع فيه مسرى ال pH متر وكل مرة نضيف اليه ال HCl قطرة بقطرة حتى الوصول الى ال pH المراد تحضيره.

❖ تحضير محاليل تأثير درجة الحموضة pH

لدراسة تأثير ال pH ، نقوم باستعمال 100 mg/L من المحاليل المحضرة سابقاً لتحضير محاليل TB بتركيز 5mg/L، وذلك عن طريق عملية تخفيف للمحلول الأم (100 mg/L) باستخدام المعادلة:

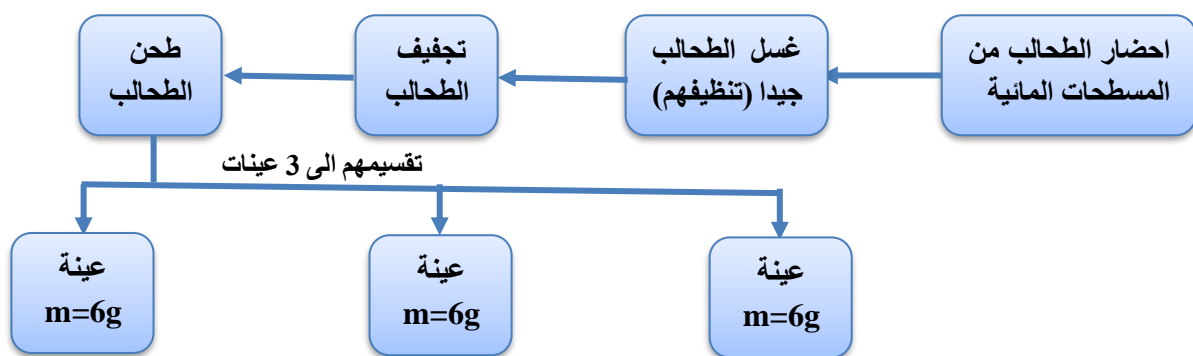
$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

حيث:

$C_1 = 100 \text{mg/L}$ تركيز المحلول الام. V_1 حجم المحلول الام.

وبالتالي نقوم بحساب الكميات المطلوبة لتحقيق التخفيف المطلوب.
 $C_2=5\text{mg/L}$ تركيز المحلول الابن. V_2 حجم المحلول الابن.

❖ تحضير الطحالب



الشكل (7.III): مخطط يوضح مختلف مراحل تحضير الطحالب

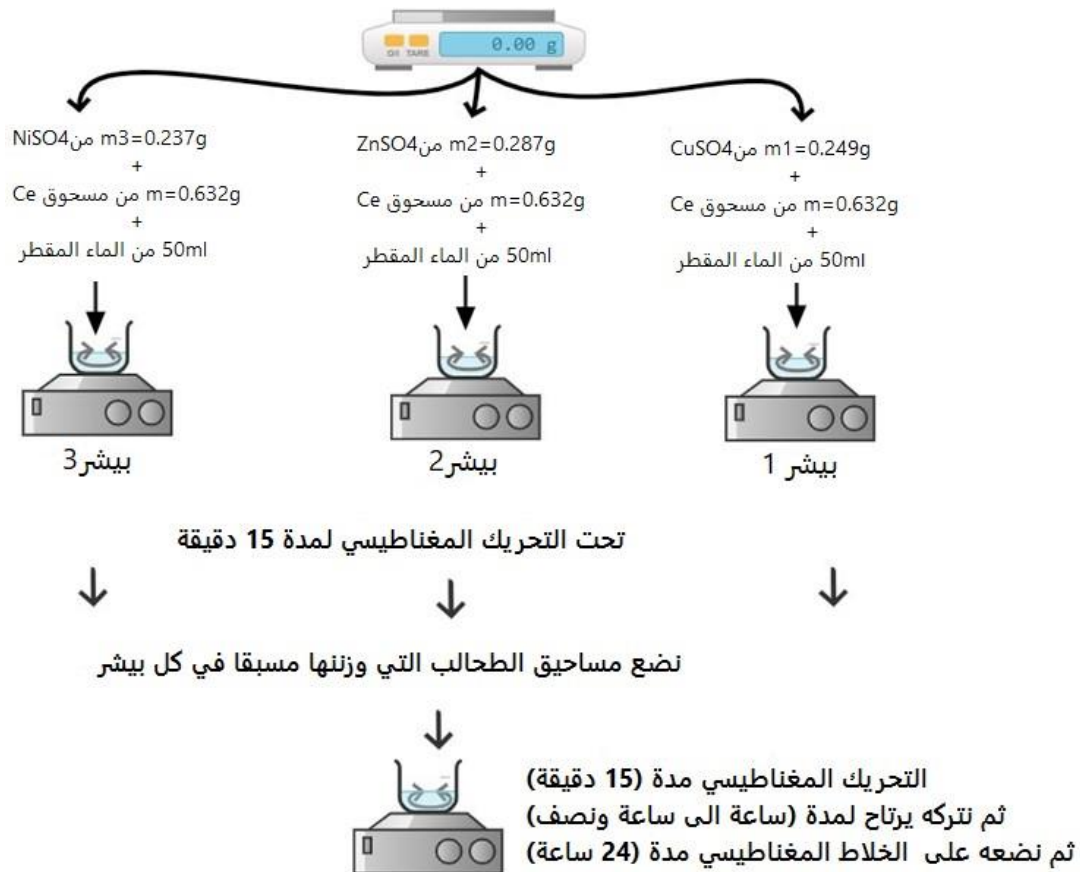
❖ تحضير محاليل CeMO_4

لتحضير المحاليل الأساسية الخاصة بتشكيل CeMO_4 نقوم بإذابة 0.1mol من مسحوق $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$ مع 0.1mol من كبريتات أحد هذه المعادن (كبريتات النحاس $m=0.249\text{mg}$ كبريتات الزنك $m=0.287\text{mg}$ كبريتات النيكل $m=0.237\text{mg}$)، يخلط كل محلول لوحده مع 50ml من الماء المقطر في بياشر ذات سعة 100ml، ويوضع على الخلاط المغناطيسي لمدة 15 دقيقة.

❖ تفعيل الطحالب البحرية

بعد الحصول على ثلاثة محاليل متجانسة من CeMO_4 نضيف إلى كل واحد منها 6g من مسحوق طحالب البحر، نتركها على الخلاط المغناطيسي لمدة 24 ساعة.

بعد مرور 24 ساعة نقوم بفلتره المحاليل كل على حدى ثم وضعها في الميكروويف لمدة 30 ثانية لكل واحد، ونعيد الكرة 5 مرات وفي كل مرة نضع القليل من الماء المقطر لهذه الطحالب، ثم نقوم بطحنها.



الشكل (8.III): مخطط توضيحي لكيفية تحضير المحفزات.





الشكل (5.III): مخطط لوصف بروتوكول تحضير وتفعيل ألياف الطحالب

III. 2 الأجهزة والوسائل

❖ مصباح الضوء المرئي

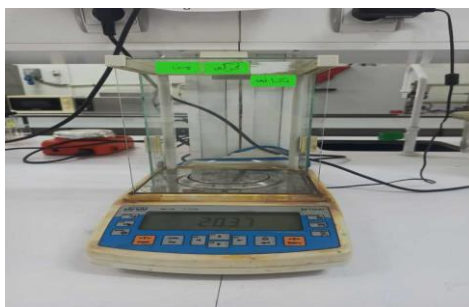
المصباح المرئي هو جهاز يستخدم لتحويل الطاقة الكهربائية إلى ضوء مرئي. تعتمد تقنية المصابيح على عدة أنواع مثل المصابيح المتوهجة، مصابيح الفلورسنت، ومصابيح LED. في عملنا استعملنا مصباح LED الذي يعتمد على مكونات أشباه الموصلات التي تصدر فوتونات ضوئية ذات طاقة متوسطة في المجال المرئي ذو أطوال موجية (400nm-900nm) عند مرور تيار كهربائي من خلال تقاطعات P-N. هذه العملية تُعرف بإسم الانبعاث الضوئي وهي تعتمد على حركة الإلكترونات والفجوات داخل مواد أشباه الموصلات



الشكل (6.III): مصباح LED

❖ ميزان إلكتروني

ميزان إلكتروني هو جهاز قياس يستخدم لتحديد كتلة جسم بدقة عالية. يعمل بواسطة أجهزة استشعار إلكترونية، غالباً ما تكون مجسات انضغاط، والتي تحول وزن الجسم إلى إشارة كهربائية. يتم معالجة هذه الإشارة بواسطة معالج دقيق لعرض الوزن على شاشة رقمية. تُستخدم الموازين الإلكترونية بشكل شائع في المختبرات والصناعة والتجارة بسبب دقتها وسهولة استخدامها.



الشكل (7.III): ميزان إلكتروني

❖ جهاز مطيافية المجال المرئي وفوق البنفسجي

جهاز مطيافية المجال المرئي وفوق البنفسجي هو جهاز يستخدم لقياس الامتصاصية أو النفاذية للضوء عبر مادة معينة بناءً على طول الموجة. يعمل عن طريق توجيه شعاع من الضوء عبر عينة وقياس شدة الضوء قبل وبعد مرورها عبر العينة. تسمح البيانات التي يتم الحصول عليها بتحليل التركيب الكيميائي وتركيز المواد في العينة. تُستخدم أجهزة مطيافية المجال المرئي وفوق البنفسجي بشكل شائع في الكيمياء، البيولوجيا، والصناعة لإجراء التحليلات النوعية والكمية.



الشكل (8.III): مقياس الطيف الضوئي

❖ الخلاط المغناطيسي

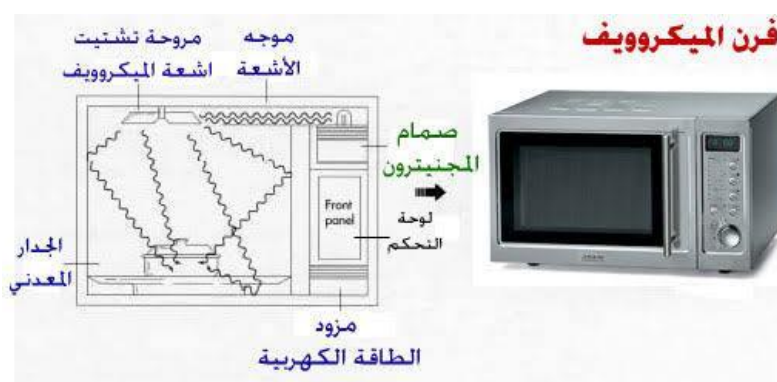
الخلاط المغناطيسي هو جهاز يستخدم لخلط السوائل في أوعية مغلقة أو مفتوحة، عادةً في المختبر. يعمل عن طريق وضع قضيب مغناطيسي في السائل واستخدام مجال مغناطيسي دوار يتم إنشاؤه بواسطة محرك تحت لوحة الهزاز لتدوير القضيب. هذا الدوران خلق دوامة تخلط السائل بشكل متجانس. تُستخدم الهزازات المغناطيسية بشكل شائع في تطبيقات مثل إذابة المواد الصلبة، تحضير المحاليل، وإجراء التفاعلات الكيميائية.



الشكل (9.III): الخلاط المغناطيس

III.3 عملية التسخين بالميكروويف

يختلف تعريف عملية التسخين بالميكروويف حسب استخدامه، فمثلاً تسخين الطعام بواسطة الميكروويف، كعملية تستخدم الأمواج الكهرومغناطيسية عالية التردد لتسخين جزيئات الماء والدهون والسكر الموجودة في الطعام. تتضمن هذه العملية إنتاج الأمواج الكهرومغناطيسية عن طريق جهاز يسمى المغنطرون في فرن الميكروويف، وغالباً ما يتم ذلك عند تردد يتراوح عادة حول 2.45 جيجا هرتز. الأمواج الكهرومغناطيسية تحترق الطعام، والجزيئات تمتص هذه الطاقة، مما يؤدي إلى حدوث حركة جزيئية وارتفاع في درجة الحرارة. على عكس وسائل التسخين الأخرى، يتم التأثير المباشر لتسخين الميكروويف داخل الطعام، مما يضمن السرعة والكفاءة. بالإضافة إلى ذلك، يتكيف التسخين بالميكروويف بشكل مختلف حسب محتوى الماء في الطعام، حيث يتسخن الطعام الذي يحتوي على نسبة عالية من الماء عادة بشكل أسرع.



الشكل (10.III): الميكروويف

❖ الملون الصناعي المستعمل

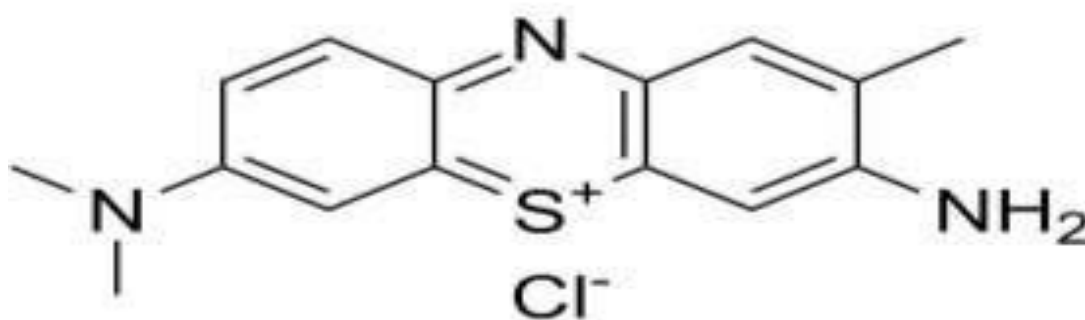
الأزرق التولويديني (TB)، المعروف أيضاً باسم كلوريد التريميثيلثيونين، هو مركب عضوي صيغته الكيميائية $C_{15}H_{16}N_3S$ ينتمي إلى عائلة الفينوثيازينات، وهي مجموعة من المركبات المعروفة بشكل خاص لاستخدامها كأصباغ.

يُعتبر الأزرق التوليديني صبغة أساسية تُستخدم في العديد من مجالات الكيمياء وعلم الأحياء. يتمتع بالقدرة على التفاعل مع مكونات الأنسجة البيولوجية، وخاصة الأحماض النووية والسكريات، كما يمكنه التفاعل مع الوظائف الكيميائية مثل الأحماض الكربوكسيلية في شكل الكربوكسيلات. في الواقع الأزرق التوليديني مستقر بطبيعته تحت شكله كلوريد الهيدروجين لأنه عبارة عن جزيء مشحون إيجابياً ولا يمكنه التفاعل إلا مع الأنواع المشحونة سلبياً، ومن هنا يأتي طابعه كصبغة أساسية.

إليك جدول يوضح الخصائص الفيزيائية والكيميائية لصبغة الأزرق التوليديني [1]:

الأزرق التوليديني	الاسم
$C_{15}H_{16}ClN_3S$	الصيغة الكيميائية
مسحوق أو بلورات زرقاء	شكله
عديم الرائحة	رائحته
626 نانومتر	اقصى امتصاصه
305.83 غرام/مول	الكتلة المولية
ذو قابلية عالية للذوبان في الماء	الذوبانية في الماء

جدول (1.III): الخصائص الفيزيائية والكيميائية لصبغة الأزرق التوليديني

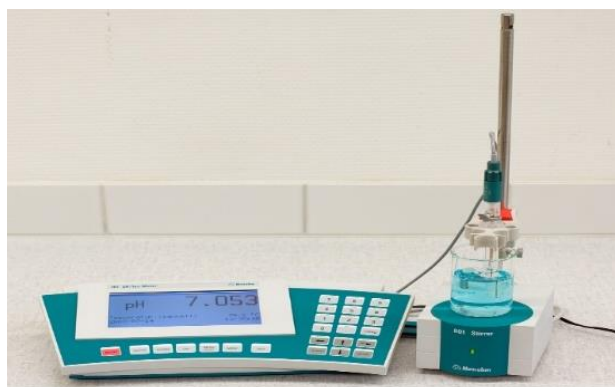


الشكل (11.III): البنية الكيميائية لأزرق التوليدين

❖ الـ pH متر

قياس الـ pH هو تقنية مهمة تستخدم لقياس درجة الحموضة أو القلوية في المحاليل، حيث يتراوح مقياس الـ pH من 0 إلى 14. يتم استخدام جهاز الـ pH متر الذي يحتوي على إلكترود حساس لأيونات الهيدروجين لقياس الجهد الكهربائي الناتج عن تفاعل الإلكترود مع أيونات الهيدروجين في المحلول، وتحويله إلى قيمة الـ pH.

يستخدم الـ pH متر في العديد من المجالات مثل الكيمياء، الزراعة، الطب، الصناعة الغذائية، ومعالجة المياه لضبط ومراقبة قيم الحموضة والقلوية.[2]



الشكل (12.III): الـ pH متر

الفصل الثاني: تحاليل ومناقشة النتائج

1.VI مقدمة

بعد تحضير المحاليل الأساسية والمحفز لتقييم قدراتها التحفيزية في إزالة الملون الصناعي أزرق التوليد من المياه الملوثة، يشمل هذا الفصل دراسة مختلف العوامل المؤثرة على عملية التحفيز الضوئي مثل: pH، كتلة المحفز، حجم ماء الأكسجين، التراكيز الابتدائية لTB، وزمن التلامس.

تم إجراء جميع التجارب في بيشر بسعة 100ml، حيث يتم وضع المحلول الملوث بأزرق التوليد بتركيز 5 g/L مع كمية من المحفز وماء الأكسجين، ثم يتم تعريضه لمصباح الضوء المرئي لمدة 30 دقيقة، لمتابعة تغير كمية الملون أزرق التوليد في المحلول. بعد القيام بالتجارب نقوم بمعاينتها بواسطة مطياف المجال المرئي والفوق البنفسجي وذلك بطول موجي 620nm من أجل تتبع تغير كمية الملون أزرق التوليد في المحلول حيث تحسب نسبة الإزالة باستخدام العلاقات التالية:

$$A = \epsilon l C \dots\dots\dots(1.V)$$

$$R\% = \frac{A_0 - A_X}{A_0} \times 100 \dots\dots\dots(2.V)$$

$$R\% = \frac{C_0 - C_X}{C_0} \times 100 \dots\dots\dots(3.V)$$

A_0 : الامتصاصية الابتدائية للملوث قبل بداية عملية التحفيز الضوئي.

A_x : الامتصاصية المقاسة بعد نهاية عملية التحفيز.

ϵ : معامل الامتصاص.

l : طول مسار الضوء .

C : تركيز المحلول الملوث.

2.VI تحديد الشروط المثالية لعملية إزالة الملون

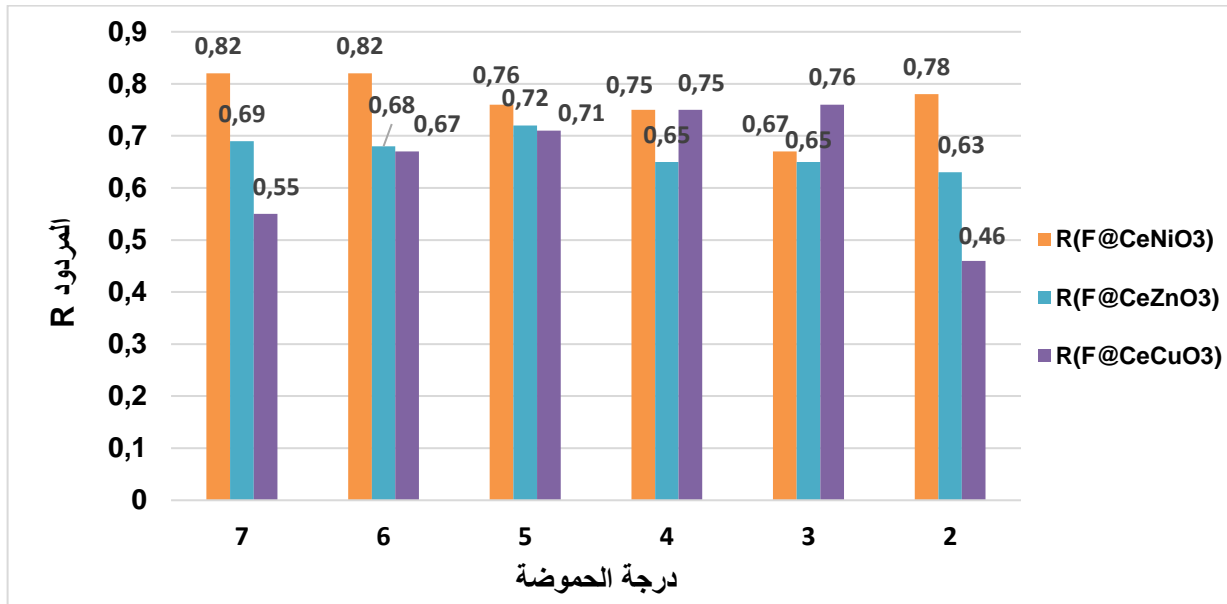
للحصول على عملية ازالة ذات نوعية ومردود عاليين قمنا بإنجاز تجارب الازالة تحت تأثير العديد من العوامل

الفيزيوكيميائية نذكر من بينها pH، كتلة المحفز، حجم ماء الأكسجين، التركيز الابتدائي لTB، وزمن التلامس.

جميع مراحل التجارب والعمل تمت عند درجة الحرارة العادية.

1.2.VI تأثير الاس الهيدروجيني على عملية إزالة TB

يعد الاس الهيدروجيني (pH) من أهم العوامل المؤثرة على عملية التحفيز الضوئي لإزالة أزرق التلويديني، وعلى هذا الأساس تم إجراء تجارب تحت تأثير درجة الحموضة (pH)، وبتغير درجة حموضة الوسط في المجال (2_7) في درجة حرارة الغرفة و في نفس الشروط التجريبية وتعريض المزيج للأشعة المرئية والتحرك المغناطيسي لمدة 30 دقيقة. النتائج المتحصلة عليها مبينة في الشكل



الشكل (1.VI) تأثير درجة الحموضة على عملية الازالة عند:

$$m(\text{F@CeMO}_3)=30\text{mg} , V(\text{H}_2\text{O}_2)=0.5\text{ml} , V(\text{TB})=30\text{ml}$$

من خلال التجارب المنجزة والنتائج الموضحة في الشكل نلاحظ ان نسبة ازالة الصبغة من محاليلها المائية كانت منخفضة عند استخدام محلول ذو قيمة pH تساوي 3 قدرت ب (67%) حيث تتزايد هذه النسبة بزيادة قيم ال pH حتى تصل الى (82%) عند pH قدره 6، وهي قريبة من الوسط المعتدل، هذا بالنسبة إلى (F@CeNiO₃). اما بالنسبة إلى (F@CeZnO₃) نلاحظ ان نسبة ازالة الصبغة من محاليلها المائية كانت منخفضة عند استخدام محلول ذو قيمة pH تساوي 2 حيث تقدر ب (63%) ، تتزايد هذه النسبة بزيادة قيم ال pH الى (72%) عند pH قدره 5 وهي قريبة من الوسط المعتدل، ثم نلاحظ ثبوت قيمة الازالة عند pH تساوي 6 و 7.

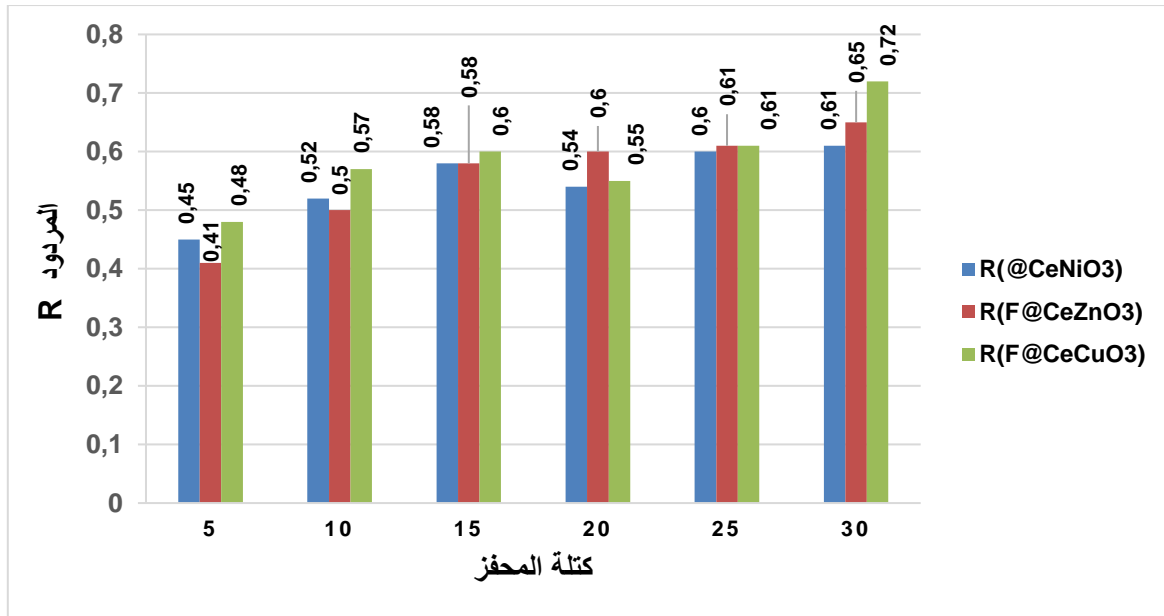
(F@CeCuO₃) نلاحظ ان نسبة ازالة الصبغة من محاليلها المائية كانت منخفضة عند استخدام محلول ذو قيمة pH تساوي 2 قدرة ب(46%) حيث تتزايد هذه النسبة بزيادة قيم الpH الى ان تصل الى (76%) عند pH قدره 3، ثم لينخفض الى 55% عند pH قدره 7.

ويمكن تفسير هذه الظاهرة بالنسبة للمحفزات الثلاثة بكون عملية الازالة تكون اكثر فعالية في وسط ضعيف الحموضة وهذا راجع الى قلة تواجد شوارد الهيدرونيوم (H⁺) التي تعيق لنا العملية وكذلك الطبيعة الكيميائية للمحفز إضافة الى تركيبة الملون.

VI. 2.2 تأثير كتلة المحفز

لمعرفة تأثير كتلة المحفز على ازالة الملون ازرق التوليديني من محاليل مائية ذات التركيز الكلي 5mg/L قنا بإجراء تجارب بعدة قيم لكتلة المحفز تتراوح بين 5mg و 30mg في نفس الشروط التجريبية المتمثلة في V(TB)=30ml ، V(H₂O₂)=0.5ml ، pH =7 ثم تعريض المزيج لأشعة الضوء المرئي في درجة حرارة الغرفة لمدة 30 دقيقة.

والنتائج المتحصلة عليها مبينة في الشكل



الشكل (VI. 1): تأثير كتلة المحفز على عملية الازالة عند:

pH =7 ، V(H₂O₂)=0.5ml ، V(TB)=30ml

من خلال التجارب المنجزة والنتائج الموضحة في الشكل نلاحظ ان نسبة ازالة الصبغة من محاليلها المائية كانت منخفضة عند استخدام 5mg من المحفز حيث تقدر ب (45%) حيث تتزايد هذه النسبة بزيادة كمية المحفز الى ان تصل الى (61%) عند كلفة قدرها 30mg.

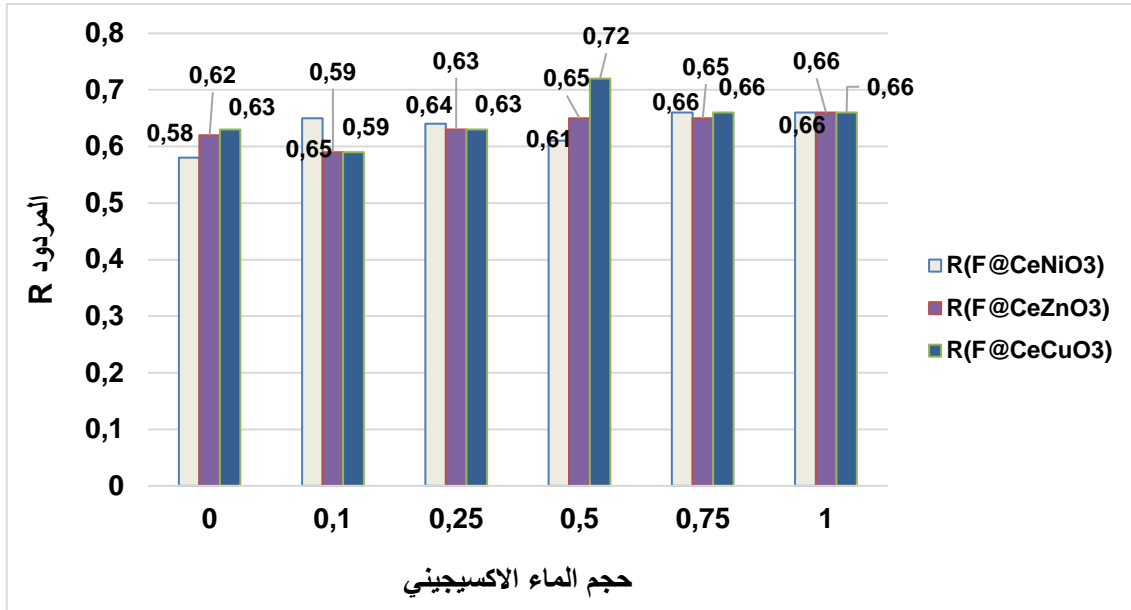
اما بالنسبة إلى (F@CeZnO₃) نلاحظ ان نسبة ازالة الصبغة من محاليلها المائية كانت منخفضة عند استخدام 5mg من المحفز حيث تقدر ب (41%) حيث تتزايد هذه النسبة بزيادة كمية المحفز الى ان تصل الى (65%) عند كلفة قدرها 30mg.

اما بالنسبة إلى (F@CeCuO₃) نلاحظ ان نسبة ازالة الصبغة من محاليلها المائية كانت منخفضة عند استخدام 5mg من المحفز حيث تقدر ب (48%) حيث تتزايد هذه النسبة بزيادة كمية المحفز الى ان تصل الى (72%) عند كلفة قدره 30mg، وهذه الزيادة الملاحظة في المحاليل الثلاثة ناجمة عن الزيادة في مساحة سطح المحفز وبالتالي زيادة في المواقع الفعالة المسؤولة بدورها على ازالة ومعالجة اللون المدروس.

VI. 3.2 تأثير كمية الماء الأكسيجيني

لمعرفة تأثير حجم الماء الأكسيجيني على ازالة الملون ازرق التوليديني من المحاليل المائية ذات التركيز الكلي 5mg/L قنا بإجراء تجارب بعدة قيم حجم الماء الأكسيجيني تتراوح بين 0 و 1ml في نفس الشروط التجريبية المتمثلة في V(TB)=30ml، pH =7 ثم تعريض المزيج لاشعة الضوء المرئي في درجة حرارة الغرفة والنتائج المتحصلة عليها مبينة في

الشكل



الشكل (2.VI): تأثير كمية الماء الأكسيجيني على عملية الازالة عند:

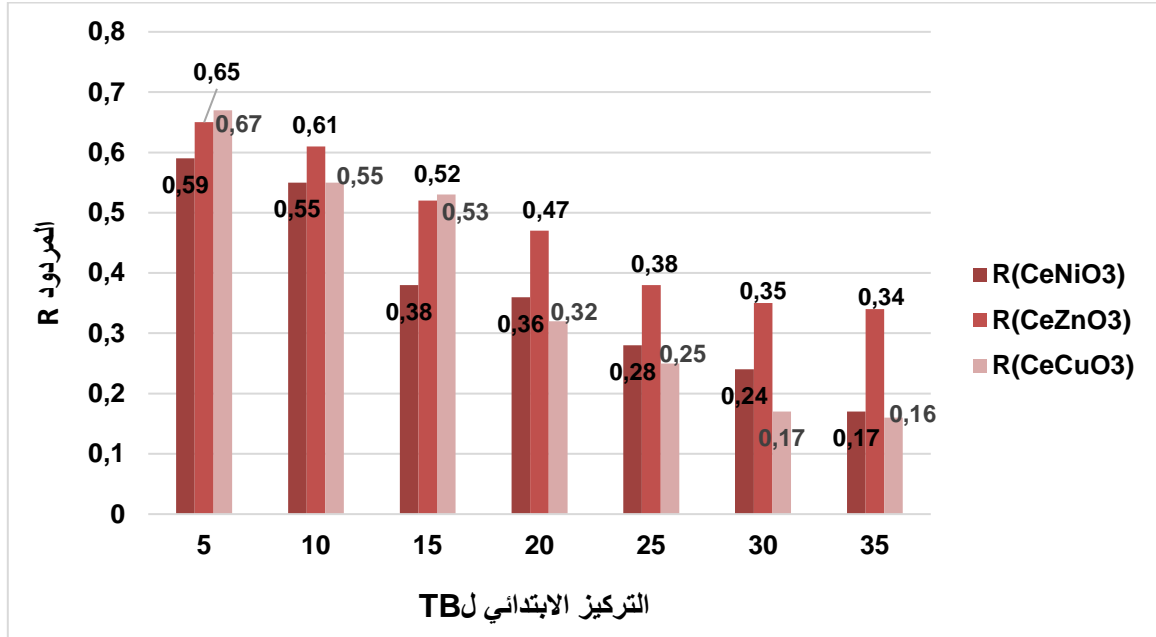
$$pH = 7, V(TB)=30ml, m(F@CeMO_3)=30mg$$

من خلال التجارب المنجزة والنتائج الموضحة في الشكل نلاحظ ان نسبة ازالة الصبغة من محاليلها المائية تزداد بزيادة حجم الماء الأكسيجيني إلى ان تصل إلى اعلى قيمة لها (66%)، وذلك عند استعمال حجم من الماء الأكسيجيني تقدر ب 0.75ml ويمكن تفسير هذه الظاهرة بالدور الايجابي للماء الأكسيجيني الذي يعتبر المصدر الاساسي لتوليد الجذور الحرة المساعدة في عملية الازالة هذا بالنسبة إلى (F@CeNiO₃).

اما بالنسبة (F@CeZnO₃) نلاحظ ان نسبة ازالة الصبغة من محاليلها المائية تزداد بزيادة حجم الماء الأكسيجيني إلى ان تصل إلى اعلى قيمة لها (66%)، وذلك عند استعمال حجم من الماء الأكسيجيني تقدر ب 1ml ويمكن تفسير هذه الظاهرة بالدور الايجابي للماء الأكسيجيني الذي يعتبر المصدر الاساسي لتوليد الجذور الحرة المساعدة في عملية الازالة. اما بالنسبة إلى (F@CeCuO₃) نلاحظ ان نسبة ازالة الصبغة من محاليلها المائية تزداد بزيادة حجم الماء الأكسيجيني إلى ان تصل إلى اعلى قيمة لها (72%)، وذلك عند استعمال حجم من الماء الأكسيجيني تقدر ب 0.5ml ويمكن تفسير هذه الظاهرة بالدور الايجابي للماء الأكسيجيني الذي يعتبر المصدر الاساسي لتوليد الجذور الحرة المساعدة في عملية الازالة.

VI. 4.2 تأثير التركيز الابتدائي لTB على عملية الازالة

لمعرفة تأثير التراكيز على ازالة الملون ازرق التوليديني من المحاليل المائية ذات التركيز الكلي 5ml قنا بإجراء تجارب بعدة قيم للتراكيز تتراوح بين 5 و 35 وقد تم أخذها عند $pH = 7$ وفي نفس الشروط التجريبية، وتم تعريض المزيج لاشعة الضوء المرئي في درجة حرارة الغرفة والنتائج المتحصلة عليها مبينة في الشكل



الشكل (VI. 3): تأثير التركيز الابتدائي ل TB على عملية الازالة عند:

$$pH = 7, V(TB)=30ml, m(F@CeMO_3)=30mg, V(H_2O_2)=0.5ml$$

بالنسبة إلى $(F@CeNiO_3)$ ، كانت أعلى نسبة للإزالة حوالي 0.59 عند تركيز 5 مغ/ل، وتتناقص تدريجياً إلى أن تصل إلى حوالي 0.17 عند تركيز 35 مغ/ل. هذا يشير إلى أن المواقع الفعالة في المحفز تستغرق وقتاً لتتبع بشكل كامل مما يسمح بإزالة كميات متزايدة من المادة الملونة مع مرور الوقت. بمرور الوقت، تصبح الفعالية أكثر استقراراً مع زيادة طفيفة نحو النهاية.

أما بالنسبة إلى $(F@CeZnO_3)$ ، فإن نسبة الإزالة كانت حوالي 0.67 عند تركيز 5mg/L وتتناقص تدريجياً لتصل إلى 0.17 عند تركيز 35mg/L. هذا يدل على أن المواقع الفعالة في المحفز تتشبع بسرعة أكبر بالمقارنة مع $(F@CeNiO_3)$ ، ولكنها تستقر عند مستوى أعلى بكثير مما يشير إلى قدرة أكبر على معالجة الكمية المتزايدة من المادة الملونة في البداية ولكن بدون زيادة ملحوظة بعد التشبع الأولي.

أما بالنسبة إلى (F@CeCuO₃)، فإن نسبة الإزالة كانت حوالي 0.61 عند تركيز 5mg/L و تتناقص تدريجياً لتصل إلى 0.16 عند تركيز 35mg/L. هذه الزيادة التدريجية تشير إلى أن المواقع الفعالة في المحفز تشبع ببطء على مدى الزمن وتستمر في إزالة المزيد من المادة الملونة بشكل مطرد. هذا النمط يعكس قدرة المحفز على معالجة الكميات المتزايدة من المادة الملونة بفعالية ثابتة ولكن بزيادة مستمرة بمرور الوقت.

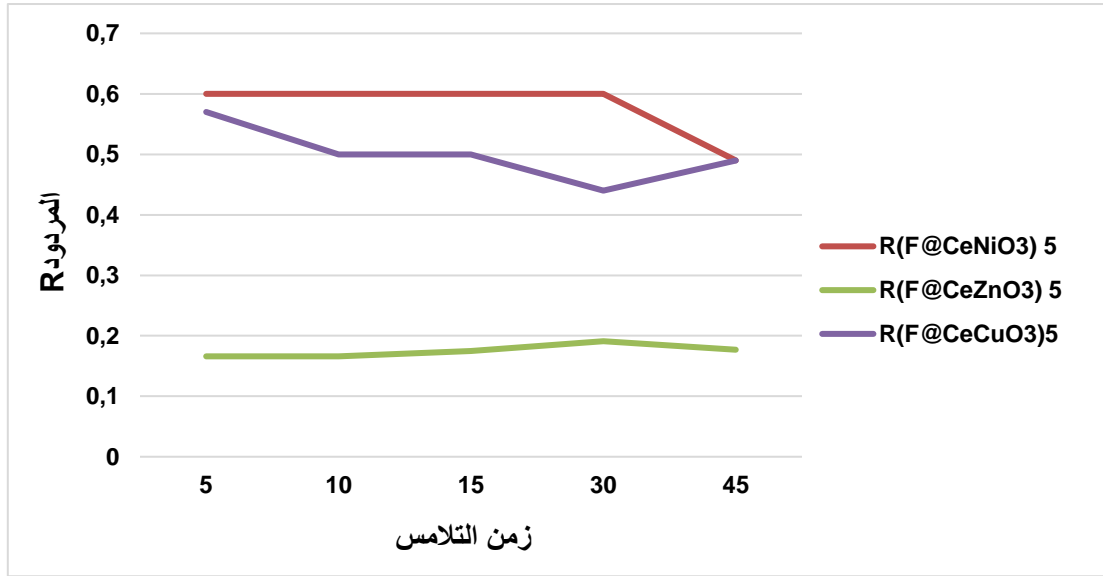
بالمقارنة بين المحفزات الثلاثة، أظهرت النتائج أن نسبة الإزالة تتغير بشكل ملحوظ عند تركيزات مختلفة من TB الابتدائي. بالنسبة لـ (F@CeNiO₃)، تزداد نسبة الإزالة ببطء وتدرجياً، مما يشير إلى تشبع بطيء للمواقع الفعالة (F@CeZnO₃)، من ناحية أخرى، يظهر تشبعاً سريعاً حيث تصل نسبة الإزالة إلى 0.67 عند التركيز الأولي وتبقى ثابتة بعد ذلك، مما يعكس قدرة المحفز على معالجة كمية كبيرة في وقت قصير ولكن بدون زيادة لاحقة. بالنسبة لـ (F@CeCuO₃)، تزداد نسبة الإزالة بشكل ثابت من 0.61 إلى 0.16 على مدى التراكيز المختلفة، مما يشير إلى تشبع بطيء ومستمر للمواقع الفعالة. بناءً على هذه النتائج، إذا كان الهدف هو تحقيق إزالة سريعة وفعالة في البداية، فإن (F@CeZnO₃) هو الخيار الأفضل، أما إذا كانت المعالجة تتطلب زيادة مطردة ومستدامة، فإن (F@CeCuO₃) هو الخيار الأنسب.

VI. 5.2 تأثير زمن التلامس

❖ تأثير زمن التلامس عند تركيز 5mg/L

لغرض دراسة حركية التفاعل على عملية التحفيز الضوئي تمت التجارب عند طول موجي 620nm وعند أزمنة مختلفة من 0min إلى 60min، باستعمال محلول ملوث بأزرق التلويدين عند تركيز 5mg/L في وسط درجة حموضته 7، وكملة المحفز فيه 30mg وكمية الماء الأكسيجيني 0.5ml في درجة حرارة الغرفة.

والنتائج المتحصلة عليها مبينة في الشكل



الشكل (4.VI): تأثير زمن التلامس عند تركيز 5mg/L على عملية الازالة عند:

$$\text{pH} = 7, V(\text{TB}) = 30\text{ml}, m(\text{F@CeMO}_3) = 30\text{mg}, V(\text{H}_2\text{O}_2) = 0.5\text{ml}$$

أظهرت النتائج المبينة في الشكل أن نسبة الإزالة تتغير مع الوقت عند تركيز 5 مغ/ل للأملاح الثلاثة (F@CeNiO₃) و (F@CeZnO₃) و (F@CeCuO₃)

بالنسبة إلى (F@CeNiO₃)، كانت أعلى نسبة للإزالة حوالي 0.64 بعد 5 دقائق، ثم تتناقص تدريجياً لتصل إلى حوالي 0.49 بعد 60 دقيقة. هذا يشير إلى أن المواقع الفعالة في المحفز تستغرق وقتاً لتتبع بشكل كامل مما يسمح بإزالة كميات متزايدة من المادة الملونة مع مرور الوقت. بمرور الوقت، تصبح الفعالية أكثر استقراراً مع زيادة طفيفة نحو النهاية.

أما بالنسبة إلى (F@CeZnO₃)، فإن نسبة الإزالة كانت حوالي 0.54 بعد 5 دقائق، وتتناقص تدريجياً إلى 0.44 بعد 45 دقيقة، ثم تستقر عند 0.49 بعد 60 دقيقة. هذا يدل على أن المواقع الفعالة في المحفز تتبع بسرعة أكبر بالمقارنة مع (F@CeNiO₃)، ولكنها تستقر عند مستوى أقل مما يشير إلى قدرة أكبر على معالجة الكمية المتزايدة من المادة الملونة في البداية ولكن بدون زيادة ملحوظة بعد التشبع الأولي.

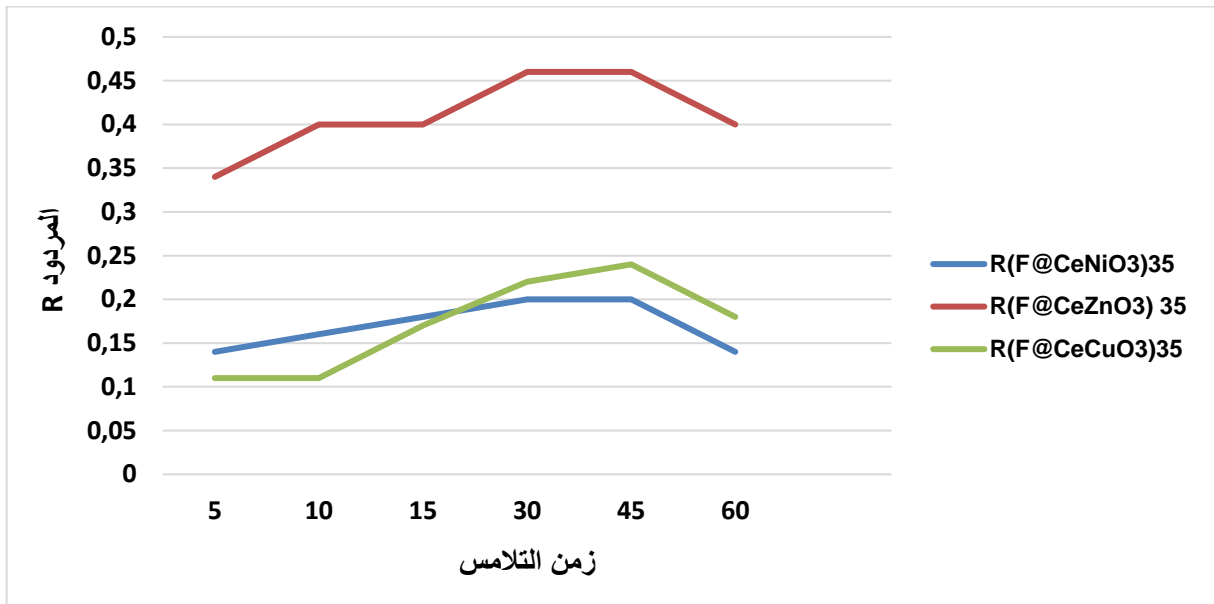
أما بالنسبة إلى (F@CeCuO₃)، فإن نسبة الإزالة كانت حوالي 0.16 بعد 5 دقائق وتزداد تدريجياً لتصل إلى حوالي 0.177 بعد 60 دقيقة. هذه الزيادة التدريجية تشير إلى أن المواقع الفعالة في المحفز تتشبع ببطء على مدى الزمن وتستمر في إزالة المزيد من المادة الملونة بشكل مطرد. هذا النمط يعكس قدرة المحفز على معالجة الكميات المتزايدة من المادة الملونة بفعالية ثابتة ولكن بزيادة مستمرة بمرور الوقت.

بالمقارنة بين المحفزات الثلاثة، أظهرت النتائج أن نسبة الإزالة تتغير بشكل ملحوظ عند تركيز 5mg/L على مدى الزمن. بالنسبة لـ (F@CeNiO₃)، تزداد نسبة الإزالة ببطء وتدرجياً، مما يشير إلى تشبع بطيء للمواقع الفعالة (F@CeZnO₃)،

من ناحية أخرى، يظهر تشبعاً سريعاً حيث تصل نسبة الإزالة إلى 0.54 بعد 5 دقائق وتتناقص تدريجياً إلى 0.49 بعد 60 دقيقة، مما يعكس قدرة المحفز على معالجة كمية كبيرة في وقت قصير ولكن بدون زيادة لاحقة. بالنسبة لـ (F@CeCuO₃)، تزداد نسبة الإزالة بشكل ثابت من 0.16 إلى 0.177 على مدى الزمن، مما يشير إلى تشبع بطيء ومستمر للمواقع الفعالة. بناءً على هذه النتائج، إذا كان الهدف هو تحقيق إزالة سريعة وفعالة في البداية، فإن الخيار الأنسب هو (F@CeNiO₃) أما إذا كانت المعالجة تتطلب زيادة مطردة ومستدامة، فإن (F@CeCuO₃) هو الخيار الأنسب.

❖ تأثير زمن التلامس عند تركيز 35mg/L

لمعرفة تأثير زمن التلامس على إزالة الملون الأزرق التوليديني من المحاليل المائية ذات التركيز الكلي 35g/L قنا بإجراء تجارب بعدة مدد تتراوح بين 5 و60 دقيقة في نفس الشروط التجريبية ثم تعريض المزيج لاشعة الضوء المرئي في درجة حرارة الغرفة والنتائج المتحصلة عليها مبينة في الشكل



الشكل (6.VI) تأثير زمن التلامس عند تركيز 35mg/L على عملية الادمصاص

$$\text{pH} = 7, V(\text{TB}) = 30\text{ml}, m(\text{F@CeMO}_3) = 30\text{mg}, V(\text{H}_2\text{O}_2) = 0.5\text{ml}$$

أظهرت النتائج المبينة في الشكل أن نسبة الإزالة تتغير مع الوقت عند تركيز 35mg/L من (F@CeNiO₃) كانت أعلى نسبة للإزالة حوالي 0.15 بعد 5 دقائق، وتزداد تدريجياً إلى أن تصل إلى حوالي 0.25 بعد 60 دقيقة. هذا يشير إلى أن المواقع

الفعالة في المحفز تستغرق وقتاً لتشبع بشكل كامل مما يسمح بإزالة كميات متزايدة من المادة الملونة مع مرور الوقت. بمرور الوقت، تصبح الفعالية أكثر استقراراً مع زيادة طفيفة نحو النهاية.

أما بالنسبة إلى (F@CeZnO₃) ، فإن نسبة الإزالة تزداد بسرعة في البداية حيث كانت حوالي 0.15 بعد 5 دقائق وتصل إلى 0.35 بعد 10 دقائق، ثم تبقى مستقرة عند هذا المستوى حتى 60 دقيقة. هذا يدل على أن المواقع الفعالة في المحفز تشبع بسرعة أكبر بالمقارنة مع (F@CeNiO₃) ، ولكنها تستقر عند مستوى أعلى بكثير مما يشير إلى قدرة أكبر على معالجة الكمية المتزايدة من المادة الملونة في البداية ولكن بدون زيادة ملحوظة بعد التشبع الأولي.

أما بالنسبة إلى (F@CeCuO₃)، فإن نسبة الإزالة تزداد بثبات وببطء مع مرور الوقت، حيث كانت حوالي 0.2 بعد 5 دقائق وتزداد تدريجياً لتصل إلى حوالي 0.35 بعد 60 دقيقة. هذه الزيادة التدريجية تشير إلى أن المواقع الفعالة في المحفز تشبع ببطء على مدى الزمن وتستمر في إزالة المزيد من المادة الملونة بشكل مطرد. هذا النمط يعكس قدرة المحفز على معالجة الكميات المتزايدة من المادة الملونة بفعالية ثابتة ولكن بزيادة مستمرة بمرور الوقت.

أظهرت النتائج أن نسبة الإزالة تتغير بشكل ملحوظ بين الأملاح الثلاثة (F@CeZnO₃) و (F@CeNiO₃) و (F@CeCuO₃) عند تركيز 35mg/L بالنسبة لـ (F@CeNiO₃)، تزداد نسبة الإزالة ببطء وتدرجياً من 0.15 إلى 0.25 بين 5 و 60 دقيقة، مما يشير إلى تشبع بطيء للمواقع الفعالة (F@CeZnO₃) ، من ناحية أخرى، يظهر تشبعاً سريعاً حيث تصل نسبة الإزالة إلى 0.35 خلال 10 دقائق فقط وتبقى ثابتة بعد ذلك، مما يعكس قدرة المحفز على معالجة كمية كبيرة في وقت قصير ولكن بدون زيادة لاحقة. بالنسبة لـ (F@CeCuO₃)، تزداد نسبة الإزالة بشكل ثابت من 0.2 إلى 0.35 على مدى 60 دقيقة، مما يشير إلى تشبع بطيء ومستمر للمواقع الفعالة. بناءً على هذه النتائج، إذا كان الهدف هو تحقيق إزالة سريعة وفعالة في البداية، فإن (F@CeZnO₃) هو الخيار الأفضل. أما إذا كانت المعالجة تتطلب زيادة مطردة ومستدامة بمرور الوقت، فإن (F@CeCuO₃) يكون الأكثر ملاءمة في الحالات التي تتطلب استقراراً نسبياً وزيادة تدريجية، فإن (F@CeNiO₃) يمكن أن يكون الاختيار الأنسب.

2. VI حوصلة على النتائج

أظهرت النتائج التجريبية التي قمت بها، أن عملية التحفيز الضوئي في إزالة الملون الصناعي أزرق التولويديني إيجابية في الشروط المثالية والنتائج المتحصل عليها ملخصة في الجدول (1. V)

الشروط المثالية	درجة الحموضة	كمية المحفز	كمية الماء	التركيز	زمن التلامس
Ph	mg	الاكسيجيني	الابتدائي ل	min	

	TB mg/L	MI			
5	5	0.5	30	7	القيمة
0.54	0.76	0.72	0.72	0.55	نسبة إزالة أزرق التلويدين $R(F@CeCuO_3)$
0.16	0.65	0.65	0.65	0.69	نسبة إزالة أزرق التلويدين $R(F@CeZnO_3)$
0.64	0.59	0.	0.61	0.82	نسبة إزالة أزرق التلويدين $R(F@CeNiO_3)$

في الجدول (1.0VI): الشروط المثالية لإزالة أزرق التلويدين من المياه حسب الدراسة التجريبية

المرجع

[1]: Makovitzky, J., & Richter, S. (2009). The relevance of the aldehyde bisulfite toluidine blue reaction and its variants in the submicroscopic carbohydrate research. *Acta Histochemica*, 111(4), 274–292.

[2]: Banna, M. H., Najjaran, H., Sadiq, R., Imran, S. A., Rodriguez, M. J., & Hoorfar, M. (2014). Miniaturized water quality monitoring pH and conductivity sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 193, 434–441. doi:10.1016/j.snb.2013.12.002

خاتمة

تم استخدام الألياف النباتية والبحرية المدعمة بأكاسيد المعادن مثل ZnO و CuO و NiO لتحسين كفاءة الامتصاص وإزالة الملوثات. تم تحضير هذه الألياف من مصادر طبيعية متجددة، حيث جمعت ونظفت وجففت ثم طحنت إلى مسحوق ناعم. بعد ذلك، تمت عملية تدعيم الألياف بأكاسيد المعادن من خلال تقنيات التخليق المختلفة لضمان توزيع متجانس للأكاسيد على سطح الألياف، مما يعزز من خصائصها التحفيزية.

تم دراسة تأثير التراكيز المختلفة على إزالة صبغة أزرق التولودين من المحاليل المائية، وهي صبغة صناعية مستخدمة بشكل واسع في التطبيقات الصناعية والتي تشكل تحدياً بيئياً بسبب صعوبة تحللها في الماء. أظهرت النتائج أن الألياف المدعمة بأكاسيد المعادن تظهر كفاءة عالية في الإزالة خصوصاً عند قيم pH حامضية، هذا يعني أن الظروف الحمضية تساهم في تعزيز تفاعل الإزالة بين الألياف والملوثات، مما يؤدي إلى إزالة فعالة للصبغ من المحاليل المائية.

بالإضافة إلى ذلك، لوحظ أن F@CeNiO₃ و F@CeZnO₃ و F@CeCuO₃ يمتلكون كفاءة متفاوتة في إزالة الصبغة، حيث كانت أعلى نسبة للإزالة باستخدام F@CeNiO₃ عند تركيز 5mg/L، وتتناقص تدريجياً مع زيادة التركيز. هذه النتائج تشير إلى أن التركيز الأمثل للمحفزات يمكن أن يلعب دوراً حاسماً في كفاءة الإزالة، أما F@CeZnO₃ فقد أظهر كفاءة أكبر في البداية ولكنها تستقر عند مستوى معين، مما يعكس خصائص إزالة مشبعة عند تركيز معين. في حين أن F@CeCuO₃ أظهر زيادة ملحوظة في الكفاءة مع زيادة حجم الماء الأوكسجيني المستخدم في التجارب، مما يشير إلى دور تفاعلات الأكسدة في تعزيز إزالة الملوثات.

أثبتت الألياف النباتية والبحرية المدعمة بأكاسيد المعادن فعالية كبيرة في إزالة الملوثات، مما يعزز من إمكانية استخدامها في معالجة المياه الملوثة. يعكس هذا التنوع في المواد المستخدمة والظروف المخبرية المختلفة إمكانيات واسعة لتحسين عملية الإزالة وجعلها أكثر فعالية واستدامة. كانت القيم الحامضية لـ pH أكثر فعالية في تحسين عملية الإزالة، مما يوفر اتجاهًا لتحسين ظروف التجارب لتحقيق أفضل نتائج. استخدام مواد مختلفة مثل ZnO و CuO و NiO يساهم في تحسين كفاءة الإزالة، ويعكس الحاجة إلى تنوع المواد الماصة لتحقيق أعلى كفاءة.

تؤكد هذه الدراسة على أهمية استخدام تقنيات متعددة ومواد متنوعة في تحسين معالجة المياه الملوثة، وتقديم أسساً علمية لتطوير حلول مستدامة وصديقة للبيئة لمعالجة التلوث المائي. تعكس النتائج إمكانية تطبيق هذه المواد في معالجة مياه الصرف الصناعي بشكل فعال، مما يساهم في تقليل التأثير البيئي للملوثات وتحسين جودة المياه. كما تفتح هذه الدراسة آفاقاً

جديدة للبحث والتطوير في مجال تقنيات معالجة المياه، مما يشجع على استكشاف مواد جديدة وتحسين العمليات الحالية لتحقيق كفاءة أعلى واستدامة أكبر.