

تقنيات استخدام الجسيمات النانوية في تنقية المياه

د / عبد المنعم فخرى كامل محمد

Abdelmonaimfakhry601@gmail.com

abdelmonaim.fakhry.kamel.std@iesr.asu.eg

المخلص :

مقدمة: تعد المياه النظيفة مطلبًا أساسيًا لصحة الإنسان والبيئة، إلا أن تلوث المياه يمثل تحديًا كبيرًا في العديد من مناطق العالم وتعتبر الجسيمات النانوية واحدة من أكثر التقنيات الواعدة في هذا المجال بفضل خصائصها الفريدة التي تتيح إزالتها بشكل فعال منطقة تنقية المياه من الملوثات المختلفة.

الأهمية: تقييم فعالية وسلامة واستخدام الجسيمات النانوية في تنقية المياه مع التركيز على التحديات والحلول المحتملة للتطبيق على نطاق واسع لهذه التقنيات. إن فهم هذه الجوانب ضروري لتحسين جودة المياه وتحقيق الرعاية البيئية والصحية المستدامة.

المشكلة: تركز مشكلة البحث على التحديات المتعلقة بفعالية إزالة الملوثات، والسلامة الصحية والبيئية، والتكاليف الاقتصادية، واستدامة الأداء، وتطبيق الجسيمات النانوية في البيئات العملية. وتهدف الدراسة إلى إيجاد حلول لهذه التحديات وتحقيق الاستخدام الأمثل لهذه التقنيات.

المنهجية: اعتمد البحث على التصميم التجريبي والتحليلي الذي تضمن التحليل النظري للبيانات بالإضافة إلى التجارب العملية والدراسات الميدانية. تم استخدام الأدوات الطيفية والكروماتوغرافية بالإضافة إلى برامج التحليل الإحصائي لتقييم فعالية وسلامة واستدامة الجسيمات النانوية.

النتائج: أظهرت الجسيمات النانوية فعالية عالية في إزالة الملوثات المختلفة مقارنة بالتقنيات التقليدية. وتبين أن بعض الجسيمات النانوية يمكن أن يكون لها آثار صحية وبيئية سلبية، اعتمادًا على نوع وحجم الجسيمات. وعلى الرغم من ارتفاع تكاليف الاقتناء، إلا أن الكفاءة العالية تقلل من تكاليف التشغيل على المدى الطويل. ولذلك، تحتفظ الجسيمات النانوية بفعاليتها على مدى فترات طويلة من الزمن دون الحاجة إلى تجديد منتظم. وقد تم استخدام التقنيات بنجاح في مجموعة متنوعة من البيئات، مع وجود بعض التحديات المرتبطة بتكثيف الأنظمة الحالية وتدريب الموظفين.

التوصيات: تعزيز البحث والتطوير لفهم فعالية الجسيمات النانوية بشكل أفضل وتطوير تقنيات التصنيع الاقتصادية.

وكذلك ضمان السلامة الصحية والبيئية: من خلال تقييم التأثيرات السمية ووضع معايير للاستخدام الآمن. للحد من الأثر البيئي وتحسين الأداء على المدى الطويل.

كلمات مفتاحية: الجسيمات النانوية الاستراتيجية للمياه، تطبيقات معالجة المياه النانوية

١ - المقدمة البحثية :

تعتبر المياه النظيفة التي يمكن الوصول إليها حاجة أساسية للحياة والصحة العامة. ومع ذلك، يواجه العالم تحديات متزايدة في توفير المياه النظيفة بسبب التلوث والنمو السكاني وتغير المناخ. وفي هذا السياق، تظهر تقنيات النانو كأحد الحلول الواعدة لتحسين نوعية المياه وتوفير مصادر المياه المستدامة.

الجسيمات النانوية هي مواد دقيقة للغاية يتراوح حجمها من ١ إلى ١٠٠ نانومتر، وتمتلك خصائص فريدة بسبب صغر حجمها ونسبة سطحها إلى حجمها العالية. هذه الخصائص تجعلها مثالية للاستخدام في مختلف التطبيقات، بما في ذلك تنقية المياه. يمكن لهذه الجسيمات إزالة مجموعة واسعة من الملوثات، بما في ذلك المعادن الثقيلة والبكتيريا والفيروسات والمواد العضوية والملوثات الكيميائية، بشكل أكثر فعالية من التقنيات التقليدية.

هناك طرق عديدة لاستخدام الجسيمات النانوية في تنقية المياه، بما في ذلك استخدام المرشحات النانوية، والمواد الماصة النانوية، وأجهزة الاستشعار النانوية التحفيزية، وغيرها من التقنيات. تستخدم المرشحات النانوية أغشية تحتوي على جسيمات نانوية لتصفية الملوثات المجهرية من الماء. بينما تعتمد المواد الماصة النانوية على قدرة الجسيمات النانوية على التقاط الملوثات وتثبيتها على سطحها. يمكن أن تساهم الجسيمات النانوية التحفيزية أيضاً في التفاعلات الكيميائية التي تساعد على تحلل الملوثات العضوية وتحويلها إلى مواد أقل ضرراً.

على الرغم من الفوائد العديدة لاستخدام الجسيمات النانوية في تنقية المياه، إلا أن هناك تحديات ومخاطر تتعلق بالسلامة والأثر البيئي لهذه المواد. ولذلك فإن البحث والتطوير المستمر في هذا المجال أمر ضروري لضمان تطوير تقنيات آمنة وفعالة (مجد الدين العلي، ٢٠١٤).

يهدف هذا البحث إلى استعراض تقنيات استخدام الجسيمات النانوية في تنقية المياه، مع التركيز على الفوائد المحتملة والتحديات الحالية والآفاق المستقبلية لهذه التقنيات. وتتم مناقشة أهم الابتكارات والتطبيقات الحالية وتقديم لمحة عامة عن الأبحاث العلمية التي تتناول تأثير هذه المواد على البيئة وصحة الإنسان. ونأمل من خلال هذا البحث أن نساهم في اكتساب رؤى متكاملة حول الفرص والقيود المفروضة على تطبيقات الجسيمات النانوية في معالجة المياه وتشجيع المزيد من البحث والتطوير في هذا المجال المهم.

٢ - الأهمية البحثية :

أصبحت الأبحاث في تقنيات استخدام الجسيمات النانوية لتنقية المياه ذات أهمية متزايدة لعدة أسباب تتعلق بالتحديات البيئية والصحية والاقتصادية التي تواجه العالم اليوم. وتكمن أهمية هذا البحث في أن العديد من الدول تعاني من شح المياه وتلوث مصادرها، مما يهدد الصحة العامة والنمو الاقتصادي. يمكن لتقنيات الجسيمات النانوية أن توفر حلاً مبتكرة وفعالة لتحسين جودة المياه، وبالتالي تزويد ملايين الأشخاص بالمياه النظيفة والأمنة.

تتمتع الجسيمات النانوية بقدرة فائقة على إزالة مجموعة واسعة من الملوثات، بما في ذلك المعادن الثقيلة والبكتيريا والفيروسات والملوثات الكيميائية والعضوية. وهذه الكفاءة العالية تجعلها بديلاً واعداً للتقنيات التقليدية، والتي قد تكون أقل فعالية في بعض الحالات. وبفضل خصائصها الفريدة، يمكن للجسيمات النانوية أن تساهم في تطوير تقنيات تنقية المياه الأقل استهلاكاً للطاقة وتولد نفايات أقل من الطرق التقليدية. وهذا يزيد من الاستدامة البيئية ويقلل من التأثير البيئي لعمليات معالجة المياه. ويمكن استخدام الجسيمات النانوية في مختلف مجالات معالجة المياه، مثل معالجة مياه الشرب ومعالجة المياه الصناعية وتنقية المياه الجوفية. تزيد هذه التطبيقات المتنوعة من أهمية البحث في هذا المجال لتلبية الاحتياجات المتنوعة والمتنوعة.

ولذلك فإن توفير المياه النظيفة الخالية من الملوثات يساعد في الحد من انتشار الأمراض المرتبطة بالمياه الملوثة، مثل الأمراض المنقولة بالمياه والالتهابات البكتيرية والفيروسية. مما يؤدي إلى تحسين الصحة العامة للمجتمع ويقلل من تكاليف الرعاية الصحية المرتبطة بعلاج هذه الأمراض.

٣ - الإطار النظري :

يعد الإطار النظري جزءاً أساسياً من البحث العلمي لأنه يوفر الخلفية العلمية والنظرية التي يركز عليها البحث ويشرح المفاهيم والتقنيات الأساسية المستخدمة. سنناقش في هذا البحث الإطار النظري لتقنيات استخدام الجسيمات النانوية في تنقية المياه من خلال استعراض مفاهيم الجسيمات النانوية وخصائصها الفريدة وآليات استخدامها في معالجة المياه.

يعتبر التلوث الذي يحدث في البيئة من المشاكل الأساسية التي يواجهها العالم أجمع، خاصة وأن هذا التلوث الذي له تأثير سلبي على حياتنا اليومية، في تزايد مستمر، لدرجة أن مشكلة التلوث أصبحت وهي من المشاكل الخطيرة التي لا يمكن إهمالها دون تطوير علاج لها. ومن أمثلة التلوث البيئي ما يلي:

تلوث المياه من مخلفات المصانع والمنزل.

تلوث الهواء بأكاسيد الكبريت والنيتروجين المسببة لأمراض الجهاز التنفسي.
تلوث الهواء الداخلي الناتج عن المركبات العضوية الموجودة في سباكة المنزل وأثاثه.
مركبات الدوكسين السامة تتشكل من رماد المواد الراتنجية.

إن استخدام الطاقة للقضاء على مصادر التلوث المتعددة يؤدي إلى مشكلة أخرى: زيادة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، مما أدى إلى ارتفاع درجة الحرارة العالمية، وهو ما يسمى بالاحتباس الحراري. ومن المستحسن هنا عدم الاستمرار في استخدام الطاقة كوسيلة لمكافحة التلوث، فقد تسبب ذلك بالفعل في مشكلة أخرى لا تقل خطورة عن مشكلة التلوث، وفي نفس الوقت لا يمكن وقف النهضة التكنولوجية والصناعية (عبد الله أحمد عبد الله، ٢٠١٧). وفي مثل هذه الظروف لا بد من البحث عن بديل لحل هذه المعضلة من خلال إيجاد مادة جديدة لا تسبب ضرراً إضافياً للبيئة وفي نفس الوقت تساعد على توازن الظروف البيئية باستخدام مصادر الطاقة الطبيعية مثل أشعة الشمس والتي هي جزء من التوازن البيئي وهو مصدر رخيص للطاقة التي لا تنضب لتعود إلى حالتها الأصلية. وهذا هو سبب أهمية عملية التحفيز الضوئي. كلمة التحفيز الضوئي هي كلمة تتكون من جزأين: الجزء الأول صورة وتعني الضوء، والجزء الثاني تحفيز وتعني التحفيز. تعتمد العملية التحفيزية على مادة تعمل على زيادة معدل تحويل المواد المتفاعلة دون تحلل تلك المادة أو استنزافها. هذه المادة تسمى المحفز. يعمل على زيادة معدل التفاعل عن طريق تقليل طاقة التنشيط اللازمة له. ولذلك فإن عملية التحفيز الضوئي هي تفاعل يستخدم الضوء كمنشط للمادة، مما يزيد من معدل التفاعل الكيميائي دون أن يلعب أي دور في التفاعل نفسه. على سبيل المثال، الكلوروفيل هو محفز ضوئي طبيعي في النباتات. الفرق بين الكلوروفيل... ويمكن استخدام هذا المبدأ أيضاً في معالجة المياه وتفتيتها، وتكسير أكاسيد النيتروجين السامة الموجودة في الهواء، وتنظيف الهواء في المنازل وأماكن العمل، وغيرها من التطبيقات المفيدة.

يمكن تقسيم دور المحفز الضوئي واستخداماته إلى فئات أساسية:

- تنقية المياه.

- الوقاية من التلوث البيئي.

- مضاد للجراثيم.

- القضاء على الروائح الكريهة.

- تنقية الهواء.

وتعتمد جميع هذه التطبيقات على ضوء الشمس أو الأشعة فوق البنفسجية من أي مصدر بوجود مادة محفزة ضوئياً. ما هي المادة السحرية التي تقوم بهذه الأفعال باستخدام ضوء الشمس؟
المركبات كمرشحين للمحفز الضوئي:

الخيار الأفضل هو أشباه الموصلات كمحفزات ضوئية لأن المواد شبه الموصلة لديها فجوة طاقة صغيرة بين نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل. لكي تتم عملية التحفيز الضوئي، تمتص المادة شبه الموصلة الطاقة، مثلاً من ضوء الشمس أو من مصدر للأشعة فوق البنفسجية، على الأقل مساوية لفجوة الطاقة، لذلك تهاجر الإلكترونات من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل، لذلك نحن نحوي على إلكترون واحد في نطاق التوصيل وفجوة موجبة في نطاق التكافؤ. الفجوة الإيجابية هي عامل مؤكسد قوي يمكنه أكسدة الجزيئات.

مسحوق ثاني اكسيد التيتانيوم TiO_2 :

من بين مواد اشباه الموصلات الممكن استخدامها كمحفز ضوئي مادة ثاني اكسيد التيتانيوم Titanium Dioxide والذي له الرمز الكيميائي TiO_2 وفجوة الطاقة في TiO_2 هي $E_g=3.2eV$ وهذه الطاقة تعادل طاقة فوتون له طول موجي يساوي 388 nm وهذا الفوتون يقع في مدى الاشعة فوق البنفسجية. ويعتبر ثاني اكسيد التيتانيوم الانسب للاستخدام كمحفز ضوئي لعدة مزايا منها على سبيل المثال ان ثاني اكسيد التيتانيوم خامل، مقاوم للتآكل ويحتاج الى معالجة وتحضير اقل من غيره من اشباه الموصلات، وهذا يجعله متوفراً بسعر منخفض التكلفة. كما يمكنه التفاعل في ظروف عادية.

وعندما يمتص ثاني اكسيد التيتانيوم الاشعة فوق البنفسجية من اشعة الشمس او من أي مصدر ضوئي يعمل في مدى الاشعة فوق البنفسجية فان طاقة الاشعة فوق البنفسجية كافية لتحرير الكترولون وفجوة موجبة. يصبح الكترولون حزمة التكافؤ في ثاني اكسيد التيتانيوم مثاراً عند امتصاصه للأشعة فوق البنفسجية وينتقل الالكترولون e^- إلى حزمة التوصيل تاركا خلفه فجوة موجبة في حزمة التكافؤ h^+ . ويصبح ثاني اكسيد التيتانيوم في هذه الحالة مثارة. فرق الطاقة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل.

ألية عمل التحفيز الضوئي في ثاني اكسيد التيتانيوم :

الفجوة الموجبة h^+ في ثاني اكسيد التيتانيوم تعمل على تحويل جزيء الماء إلى هيدروجين وهيدروكسيل. ويتفاعل الالكترولون e^- مع جزيء الاكسجين ويعطي انيون مؤكسد قوي جداً. تستمر هذه العملية طالما هناك ضوء متوفر (عبد الله احمد عبد الله، ٢٠١٧).

1. مفهوم الجسيمات النانوية:

الجسيمات النانوية هي جزيئات دقيقة جداً يتراوح حجمها بين ١ و ١٠٠ نانومتر. تتميز هذه الجسيمات بنسبة سطح عالية إلى حجمها، مما يمنحها خصائص فريدة وغير موجودة في المواد ذات الأحجام الأكبر. تشمل هذه الخصائص زيادة في النشاط السطحي والتفاعلية الكيميائية، والتي تعتبر أساسية في تطبيقات تنقية المياه.

2. خصائص الجسيمات النانوية:

نسبة سطح عالية إلى حجم: تمنح هذه الخاصية الجسيمات النانوية قدرة كبيرة على التفاعل مع الملوثات، مما يزيد من فعاليتها في إزالة الملوثات.

نشاط كيميائي عالي: نتيجة لصغر حجمها، تتمتع الجسيمات النانوية بنشاط كيميائي عالي يمكنها من تحفيز تفاعلات كيميائية تساعد في تكسير الملوثات العضوية والمعادن الثقيلة. القدرة على التخصيص: يمكن تعديل سطح الجسيمات النانوية بوظائف كيميائية مختلفة لزيادة فعاليتها في استهداف ملوثات معينة.

3. آليات استخدام الجسيمات النانوية في تنقية المياه:

تتنوع طرق استخدام الجسيمات النانوية في تنقية المياه وتشمل عدة تقنيات، منها:

النانوفلاتر (Nanofiltration):

تعتمد هذه التقنية على أغشية تحتوي على جسيمات نانوية قادرة على إزالة الملوثات الدقيقة من الماء. يمكن للنانوفلاتر أن تزيل الجسيمات الصغيرة جدًا التي لا تستطيع الفلاتر التقليدية إزالتها، مثل الفيروسات والبكتيريا وبعض المعادن الثقيلة.

المواد النانوية الماصة (Nano adsorbents):

تستخدم هذه المواد لقدرتها العالية على امتصاص الملوثات على سطحها. تشمل هذه المواد الكربون النانوي، وأكاسيد المعادن النانوية مثل أكسيد الزنك وأكسيد الحديد. يمكن لهذه المواد أن تزيل الملوثات العضوية والمعادن الثقيلة بكفاءة عالية.

الجسيمات النانوية المحفزة (Nano catalysts):

تعمل الجسيمات النانوية المحفزة على تسريع التفاعلات الكيميائية التي تساعد في تكسير الملوثات المعقدة وتحويلها إلى مواد أقل ضررًا. تشمل الأمثلة جسيمات الفضة النانوية وجسيمات التيتانيوم النانوية التي تستخدم في تحفيز عمليات الأكسدة لتحطيم الملوثات العضوية.

التعقيم باستخدام الجسيمات النانوية (Nanoparticles for Disinfection):

يمكن استخدام الجسيمات النانوية مثل الفضة والنحاس لتعقيم المياه وقتل البكتيريا والفيروسات بفعالية عالية. تعتمد هذه التقنية على الخصائص المضادة للميكروبات لهذه الجسيمات، والتي يمكن أن تدمر الخلايا البكتيرية والفيروسية.

٤ – المشكلة البحثية :

على الرغم من الفوائد والإمكانات الكبيرة التي توفرها تقنيات الجسيمات النانوية في مجال تنقية المياه، إلا أن هناك العديد من التحديات والمشاكل في تطبيقها واستخدامها على نطاق واسع. تكمن المشكلة في البحث عن تقنيات استخدام الجسيمات النانوية في معالجة المياه في تحديد وفهم هذه التحديات والتغلب عليها لتحقيق قدر أكبر من الفعالية والاستدامة في معالجة المياه. ويمكن تقسيم مشكلة البحث إلى عدة جوانب رئيسية:

١. الجسيمات النانوية فعالة في إزالة مجموعة واسعة من الملوثات، بما في ذلك المعادن الثقيلة والبكتيريا والفيروسات والمركبات العضوية. ومع ذلك، فإن فعالية هذه التقنيات تعتمد على نوع الجسيمات النانوية المستخدمة وطبيعة الملوثات. وبالتالي فإن مشكلة البحث تتمثل في تحديد الجسيمات النانوية الأكثر ملاءمة لكل نوع من الملوثات وتطوير التقنيات التي يمكنها معالجة الملوثات المختلطة بفعالية عالية.
٢. يثير استخدام الجسيمات النانوية في معالجة المياه مخاوف بشأن تأثيرها على الصحة والبيئة. يمكن أن تكون بعض الجسيمات النانوية سامة للكائنات الحية ويمكن أن تدخل إلى المسطحات المائية مسببة المزيد من التلوث. وتكمن مشكلة البحث هنا في فهم الآثار الجانبية المحتملة لهذه الجسيمات وتطوير تقنيات آمنة للبيئة والإنسان، فضلا عن وضع معايير وضوابط تنظيمية للاستخدام الآمن لهذه التقنيات.
٣. يمكن أن يكون إنتاج الجسيمات النانوية واستخدامها في تنقية المياه مكلفاً، مما قد يعيق تطبيقها على نطاق واسع، خاصة في البلدان النامية أو المجتمعات ذات الموارد المحدودة. ولذلك، فإن خفض تكلفة إنتاج واستخدام الجسيمات النانوية يشكل تحدياً كبيراً. وتكمن مشكلة البحث هنا في تطوير أساليب إنتاج اقتصادية وفعالة من حيث التكلفة والتأكد من توفر هذه التقنيات ومناسبتها للبيئات الاقتصادية المختلفة.
٤. الاستدامة عنصر أساسي في أي تكنولوجيا حديثة. يجب أن تكون تقنيات الجسيمات النانوية في معالجة المياه قادرة على الحفاظ على أدائها الفعال على المدى الطويل دون الحاجة إلى صيانة مكلفة أو التسبب في مشاكل بيئية. وتتمثل مشكلة البحث في هذا السياق في تطوير مواد نانوية يمكنها العمل بكفاءة على مدى فترات زمنية طويلة ويمكن إعادة تدويرها أو التخلص منها بطريقة صديقة للبيئة (مرقط رشاد أحمد، أيمن جابر حسونة، ٢٠١٧).

٥ - فرضيات البحث:

الفرضية الأولى: للجسيمات النانوية فعالية أعلى في إزالة الملوثات من المياه مقارنة بالتقنيات التقليدية مثل الترشيح والترسيب الكيميائي. يمكن التحقق من هذه الفرضية من خلال مقارنة كفاءة إزالة الملوثات (مثل المعادن الثقيلة والبكتيريا والملوثات العضوية) باستخدام الجسيمات النانوية وتقنيات التنقية التقليدية.

الفرضية الثانية: استخدام الجسيمات النانوية في تنقية المياه آمن ولا يسبب آثار سلبية كبيرة على صحة الإنسان أو البيئة. تم التحقق من هذه الفرضية من خلال دراسة التأثيرات السامة للجسيمات النانوية المستخدمة في معالجة المياه على الكائنات الحية المختلفة والبيئة المائية.

الفرضية ٣: يمكن إنتاج الجسيمات النانوية واستخدامها بطريقة اقتصادية، مما يجعلها بديلاً مجدياً من الناحية المالية لتقنيات التنقية التقليدية. يتم تقييم هذه الفرضية من خلال إجراء تحليل التكلفة والعائد لتقنيات الجسيمات النانوية، بما في ذلك تكاليف الإنتاج والتشغيل والصيانة مقارنة بالتقنيات التقليدية.

الفرضية ٤: تقنيات الجسيمات النانوية في تنقية المياه مستدامة وتحافظ على فعاليتها على المدى الطويل دون تدهور كبير في الأداء. وسيتم اختبار هذه الفرضية من خلال دراسات طويلة المدى حول أداء الجسيمات النانوية في أنظمة معالجة المياه، ورصد أي تدهور في الأداء أو الحاجة إلى الصيانة المتكررة.

الفرضية ٥: يمكن نقل تقنيات الجسيمات النانوية بنجاح من المختبر إلى التطبيقات العملية ودمجها في أنظمة معالجة المياه الحالية. وسيتم التحقق من هذه الفرضية من خلال إجراء تجارب ميدانية وتقييم الأداء الفعلي لتقنيات الجسيمات النانوية في بيئات مختلفة (مثل محطات معالجة مياه الشرب ومحطات معالجة المياه الصناعية وتنقية المياه الجوفية).

٦- منهجية البحث :

وقد صمم البحث على أساس المنهج التجريبي والتحليلي حيث يتضمن البحث سلسلة من التجارب المعملية بالإضافة إلى التحليل النظري للبيانات. ويتضمن تجارب معملية ودراسات ميدانية لجمع بيانات أولية عن فعالية الجسيمات النانوية في تنقية المياه. مع مراجعة الأدبيات العلمية والدراسات السابقة حول استخدام الجسيمات النانوية في تنقية المياه. سيتم جمع البيانات من مقالات المجلات العلمية والأبحاث المنشورة والتقارير الفنية.

٧- أسباب اختيار الموضوع

وقد اخترنا هذا الموضوع للأسباب التالية:

- ١- ظاهرة التلوث البيئي. وهي ظاهرة مهمة للغاية والأضرار التي تسببها جعلتها في مركز اهتمام العالم.
- ٢- تزايد خطر تلوث المياه وانتشاره في البيئات المائية المختلفة وتأثيره على الدول والمجتمعات والأنظمة البيئية المختلفة.
- ٣- تشهد البيئة المائية تدهوراً نوعياً خطيراً يشكل الآن تهديداً مباشراً لحياة الإنسان والكائنات الحية الأخرى، ويمنعها من العيش في سلام وأمن. وبما أن تقنية النانو قد قلصت حجم العديد من الأجهزة، وزادت كفاءتها ووسعت وظائفها، فإن ذلك يعود إلى ظهور جيل جديد من المواد التطبيقية ذات خصائص أكثر وضوحاً وفريدة من نوعها، سواء على المستوى الكيميائي أو الفيزيائي، ألا وهي المواد النانوية.

٨ - الطريقة والجراءات :

كلمة تقنية النانو أو (تقنية الأشياء الصغيرة) ولا تخلو أي صحيفة من الأخبار الجديدة عن اكتشاف جديد لتطبيقات هذه التقنية. وكلمة نانو مشتقة من كلمة يونانية تعني "فزم" ويقدر في الطبيعة أن هناك مليار أو عشر ذرات هيدروجين متتالية. تعتمد القدرة على تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى أكسجين باستخدام الطاقة الضوئية بشكل أساسي على تقنية النانو. مثال آخر على تكنولوجيا النانو في الطبيعة هو الإنزيمات، وهي جزيئات بيولوجية تحفز التفاعل الكيميائي وتعتبر في بعض الأحيان بمثابة عامل مساعد لتفاعلات معينة.

مصادر تلوث المياه:

أ- تلوث المياه من النفايات التي يتم تصريفها في المسطحات المائية:

التلوث بالمخلفات الصناعية: وهي مخلفات العمليات الصناعية المختلفة التي يتم تصريفها مباشرة إلى مجاري الأنهار الطبيعية أو إلى البحار وحتى إلى سطح الأرض، مما يؤدي إلى تسربها إلى طبقات المياه الجوفية. تحتوي هذه النفايات على مكونات كيميائية ضارة مثل الكبريت والزنك والنحاس والزرنيق، ويمكن أن تكون سائلة مكونة من خليط معقد من عدد كبير من المواد الضارة ونسبة عالية من المواد السامة (الكالسيوم والسيانيد والفينول) ويمكن أن يكون لها اتساق قوي، وخاصة تلك المرتبطة بالتعدين واستغلال المناجم.

التلوث بالنفايات المنزلية: ويكون ذلك إما بالنفايات الصلبة أو النفايات المنزلية الفردية أو الجماعية، أو النفايات السائلة على شكل مياه الصرف الصحي أو ما يعرف بالمياه العادمة. وعادة ما تحتوي على كميات سامة من الرصاص والكاديوم والزنك والمواد العضوية والمنغنيز، النيكل والزرنيق.

التلوث بمخلفات الصرف الزراعي: وهي المياه التي يتم استخدامها بشكل زائد عن حاجة النبات. وتصبح هذه المياه أكثر تلوثاً عندما تتلوث بالأسمدة الكيماوية والمبيدات الحشرية، خاصة عند استخدامها بشكل مفرط، حيث يؤدي ذلك إلى زيادة تركيز مركبات النتروجين والفوسفات والبوتاسيوم في مياه الري، مما يؤدي بدوره إلى الإضرار بالكائنات الحية، كالإنسان والحيوانات.

ب- تلوث المياه من الشحن البحري:

تلوث المياه من النفط: يحدث هذا النوع من التلوث إما نتيجة الكوارث البحرية التي تتعرض لها السفن وناقلات النفط أو نتيجة اصطدامها مما يؤدي إلى دخول النفط إلى مياه البحار والمحيطات، أو بسبب مصانع تكرير النفط المبنية على ضفاف الأنهار أو سواحل البحر.

التلوث الناتج عن التجارة البحرية: ويحدث بسبب تسرب الزيوت والمواد الكيميائية والعضوية التي لم تعد البيئة المائية قادرة على امتصاصها.

ت - تلوث البيئة المائية بالإشعاع النووي :

يحدث هذا النوع من التلوث نتيجة دخول عناصر مشعة غريبة عن المكونات الفيزيائية والكيميائية لعنصر الماء، نتيجة التجارب النووية في أعماق البحار والمحيطات، أو الغبار المشع الذي تحمله الرياح إلى الأجسام. من الماء (أحمد توفيق حجازي، ٢٠٢٢)

قسم تلوث المياه:

التلوث الطبيعي: التلوث الذي يحدث نتيجة تغير الخصائص الطبيعية للمياه، مما يجعلها غير صالحة للشرب للاستخدام البشري بسبب تغير لونها وطعمها واكتسابها رائحة كريهة. التلوث الكيميائي: التلوث الذي تصبح فيه المياه سامة بسبب وجود مواد كيميائية خطيرة مثل الرصاص والزنك والزرنيخ والمبيدات الحشرية.

التلوث البيولوجي: ويمثل هذا النوع من التلوث وجود الميكروبات أو الطفيليات في المياه، أو وجود الكائنات النباتية مثل الطحالب بأعداد كبيرة، مما يؤدي إلى تغير في طبيعة وجودة المياه ويؤثر على استخدامها الآمن. التلوث الحراري: وهو التلوث الناتج عن النفايات الصناعية، حيث تستخدم مصانع الحديد والصلب ومصانع الورق ومحطات الطاقة والمفاعلات النووية وغيرها الماء في عمليات التبريد ويدخل الماء الساخن الناتج عن هذه العمليات إلى مياه البرك والأنهار والبحيرات. مما يتسبب في ارتفاع درجة الحرارة مما يؤثر سلباً على الأحياء التي تعيش فيها.

٩ - التحليل والنتائج :

أولاً : نظام تنقية المياه بالاعتماد على السليلوز النانوي :

نظام تنقية المياه بالاعتماد على السليلوز النانوي يعد من التقنيات الحديثة والفعالة في مجال معالجة المياه. يستخدم هذا النظام خواص السليلوز النانوي لتنقية المياه من الشوائب والملوثات المختلفة.

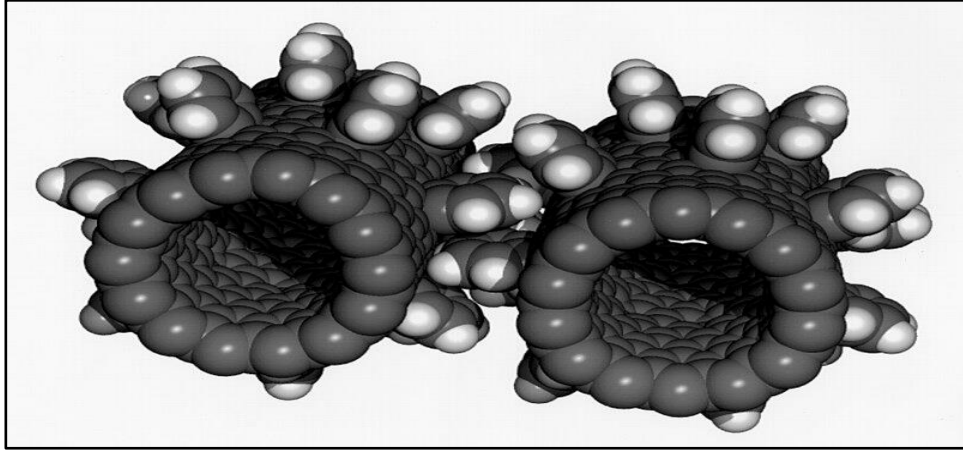
مكونات النظام :

السليلوز النانوي يتكون من ألياف سليلوزية بحجم نانوي (جزئيات دقيقة جداً). ويتم استخراجها عادة من مصادر نباتية مثل الخشب أو القطن. وغشاء السليلوز النانوي يتم تصنيع أغشية من السليلوز النانوي تكون مسامية وقادرة على تصفية الجسيمات الدقيقة جداً من الماء.

آلية العمل :

تعتمد الأغشية النانوية على وجود مسام صغيرة جداً، تستطيع حجز الجسيمات الكبيرة مثل الرواسب والبكتيريا والطفيليات. ويمتاز السليلوز النانوي بقدرة عالية على الامتصاص السطحي للمواد الكيميائية والمركبات العضوية، مما يساعد في إزالة الملوثات الكيميائية والمعادن الثقيلة من الماء. ويمكن تعديل سطح السليلوز

النانوي كيميائياً بإضافة مجموعات وظيفية معينة لتحسين قدرته على إزالة الملوثات المحددة مثل الفيروسات والمعادن الثقيلة.



شكل (١) الانابيب الكربونية النانوية

خطوات عملية التنقية

يتم تمرير المياه الملوثة عبر غشاء السليلوز النانوي، حيث يتم إزالة الجسيمات الكبيرة والشوائب الصلبة. ويتم امتصاص الملوثات العضوية والمركبات الكيميائية بواسطة ألياف السليلوز النانوي. كما قد يتم إضافة مراحل أخرى مثل التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية أو استخدام فلاتر إضافية لضمان نقاء المياه بشكل كامل.

مزايا نظام السليلوز النانوي لتنقية المياه :

- ١ - يتميز بفعالية كبيرة في إزالة مجموعة واسعة من الملوثات.
- ٢ - السليلوز النانوي مادة طبيعية وغير سامة، ولا ينتج عنه نفايات ضارة.
- ٣ - المواد الخام للسليلوز النانوي متوفرة بكثرة ورخيصة التكلفة.
- ٤ - يمكن تعديل خصائص السليلوز النانوي بسهولة لتناسب متطلبات تنقية محددة.

الاجهزة المستخدمة :

- ١ - أغشية السليلوز النانوي: هي العنصر الأساسي في نظام تنقية المياه بالسليلوز النانوي. وتتكون هذه الأغشية من ألياف سليلوزية بحجم نانوي، وتكون مساماتها صغيرة جداً لتمرير الماء وحجز الجسيمات الصلبة والمواد الكيميائية الضارة.
- ٢ - وحدة الترشيح والامتزاز: تتضمن هذه الوحدة الأغشية النانوية التي تعمل على الترشيح الميكانيكي لإزالة الجسيمات الكبيرة والشوائب، بالإضافة إلى القدرة على الامتصاص السطحي للمواد العضوية والمركبات الكيميائية (مرفت رشاد احمد ، أيمن جابر حسونة، ٢٠١٧).

- ٣ - وحدة التعقيم (إختيارية): في بعض الأنظمة، يتم استخدام وحدة للتعقيم مثل مصباح الأشعة فوق البنفسجية لضمان إزالة البكتيريا والفيروسات الباقية بعد عملية الترشيح والامتزاز.
- ٤ - أنظمة التحكم والمراقبة: تشمل هذه الأنظمة الأجهزة والأجزاء التي تقوم بمراقبة وضبط عملية التنقية، مثل أجهزة قياس جودة المياه وضغط النظام ودرجة حرارته.
- ٥ - وحدة التحكم الأوتوماتيكية: تعمل على تنظيم تدفق المياه ومعدل تشغيل النظام بناءً على الظروف المحيطة ومتطلبات التنقية (Omer et al., 2017)

مزايا استخدام الأجهزة المبنية على السليلوز النانوي:

بفضل قدرة السليلوز النانوي على الترشيح الدقيق والامتزاز السطحي. حيث يعتبر السليلوز مادة طبيعية وقابلة للتجديد. وتتطلب هذه الأنظمة طاقة أقل مقارنة ببعض التقنيات الأخرى لتنقية المياه. نظراً لطبيعة المواد المستخدمة وعدم حاجة كثير من الصيانة. وتحسين الفعالية الكلية والمثانة للأغشية النانوية لزيادة عمر الخدمة وتقليل التكاليف الإجمالية.

طريقة تنقية المياه :

تنقية المياه تتم عبر عدة خطوات أساسية تعتمد على خصائصه الفريدة كمادة ترشيح وامتصاص وهي :

١. تحضير أغشية السليلوز النانوي :

استخلاص السليلوز النانوي: يتم استخلاص السليلوز النانوي من مصادر طبيعية مثل الخشب أو الألياف النباتية الأخرى باستخدام تقنيات تقشير وتحليل جزيئات السليلوز إلى جزيئات صغيرة جداً (نانوية). تشكيل الأغشية: تُشكل هذه الجزيئات النانوية إلى أغشية رقيقة باستخدام تقنيات الطلاء أو التصفيح على أسطح تحميلية مثل ألياف البوليمر أو أقراص ترشيح خاصة.

٢. عملية الترشيح والامتزاز :

يتم تمرير المياه الملوثة عبر أغشية السليلوز النانوي. المسامات النانوية في الأغشية تكون صغيرة جداً، مما يسمح بتحجيز الجسيمات الكبيرة مثل الرواسب والشوائب. بالإضافة إلى الترشيح الميكانيكي، يتم استخدام السليلوز النانوي للامتصاص السطحي للمواد العضوية والمركبات الكيميائية الضارة من المياه، مثل الفيروسات والبكتيريا والمواد العضوية المذابة.

٣. مراحل إضافية :

في بعض الأنظمة، يمكن إضافة مرحلة للتعقيم باستخدام أشعة فوق البنفسجية أو مواد كيميائية لضمان إزالة الميكروبات الباقية بعد عملية الترشيح والامتزاز. ويمكن تعديل خصائص السليلوز النانوي بإضافة مواد كيميائية أو تغيير في الطريقة الصناعية لزيادة فعالية الترشيح والامتصاص لملوثات محددة.

٤. مراقبة الجودة وصيانة النظام :

يجب أن تتضمن عملية تنقية المياه بالسليولوز النانوي نظامًا لمراقبة جودة المياه المعالجة لضمان التأكد من تحقيق المعايير البيئية والصحية المطلوبة. لذا تتطلب الأنظمة المعقدة صيانة دورية لضمان استمرارية أداء الأغشية النانوية وأجهزة النظام بشكل عام (Jean Michel et al., 2014)

مزايا تقنية السليولوز النانوي في تنقية المياه:

فعالية عالية نظراً لقدرته على الترشيح الدقيق والامتصاص السطحي. وهي أيضاً صديقة للبيئة حيث يعتبر السليولوز مادة طبيعية وقابلة للتجديد. كما أنه ذو كفاءة في استخدام الطاقة تتطلب هذه الأنظمة طاقة أقل مقارنة ببعض التقنيات الأخرى لتنقية المياه. وإيضاً تكاليف صيانة منخفضة نظراً لطبيعة المواد المستخدمة وعدم حاجة كثير من الصيانة. إذن باستخدام هذه التقنية، يمكن تحسين جودة ونظافة المياه المعالجة بشكل كبير، مما يسهم في توفير مياه آمنة وصحية للاستخدام البشري والصناعي.

وتشمل المواد المتجددة المعتمدة على السليولوز النانوي مزيجاً من مساحة سطح كبيرة مع متانة مواد عالية. كما أن السليولوز النانوي خامل كيميائياً، وله تركيب كيميائي سطحي محب للماء متعدد الاستخدامات. وهذه الخصائص تجعله أكثر المواد النانوية الواعدة للاستخدام كغشاء ومرشح في أنظمة تنقية المياه لإزالة الملوثات الجرثومية والكيميائية من المياه الملوثة. يُلاحظ أن مادة السليولوز النانوي تملك إمكانات عالية في تكنولوجيا تنقية المياه. تشمل الأنواع المختلفة من المواد السيلولوزية النانوية المتاحة لنظام تنقية المياه البلورات السيلولوزية النانوية (C.N.C) والألياف السيلولوزية النانوية (C.N.F). هذه هي المواد النانوية الشبيهة بالقضبان التي يتراوح حجمها من 100 إلى 2000 نانومتر بقطر 2 إلى 20 نانومتر. ويستند هذا الطول وهذا القطر في الغالب إلى منشأ ومسار التحضير لتركيب السليولوز النانوي. تُستخدم هذه المواد السيلولوزية النانوية لإزالة الملوثات العضوية في الماء مثل الأصباغ، والزيوت، ومبيدات الآفات الموجودة في الماء. في الوقت الحالي، يُصنع الغشاء الحيوي بالكامل باستخدام السليولوز النانوي الذي يُستخدم لإزالة أيونات المعادن مثل Cu^{2+} و Fe^{2+} وغيرها، والكبريتات، والفلوريدات، والمركبات العضوية الأخرى. يتميز المرشح السيلولوزي النانوي الحيوي بميزات أكثر من المرشحات التقليدية. يُحضر السليولوز النانوي بطرق مختلفة مثل التحلل المائي لحمض الكبريتيك وطريقة الطحن الميكانيكية. يعتمد نظام تنقية المياه بشكل أساسي على مبدأ الامتصاص. من أجل امتصاص أنواع المعادن الأنيونية، تُستخدم المواد السيلولوزية النانوية مع مجموعة موجبة الشحنة. وبالمثل، من أجل امتصاص أنواع المعادن الكاتيونية، تُستخدم مادة السليولوز النانوي مع المجموعة الأنيونية سالبة الشحنة. للمواد المعتمدة على السليولوز النانوي قيود على تكلفة الإنتاج وخصائصه على نطاق واسع. يعتمد البحث الحالي على تركيب مادة سيلولوزية نانوية هجينة مع العديد من المواد النانوية الأخرى لتحسين قدرة الامتصاص الكيميائي (احمد توفيق حجازي ، 2022).

ثانياً : تنقية المياه بالاعتماد على ثاني أكسيد التيتانيوم في عملية الحفز الضوئي :

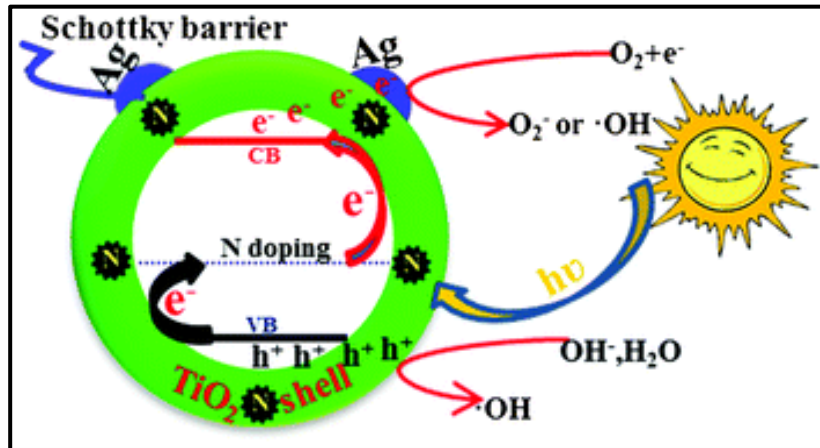
يعد ثنائي أكسيد التيتانيوم من أبرز المواد المستعملة في تنقية المياه الملوثة (ملونات قطاع النسيج والمياه الملوثة بالأسمدة والمبيدات) عبر تقنية التحفيز الضوئي، وهي تقنية تصبو إلى تحفيز المادة الصلبة المستعملة مثل ثنائي أكسيد التيتانيوم باستخدام أشعة ضوئية ذات طاقة تعادل أو تفوق طاقة الفجوة بين مستوى التكافؤ ومستوى التوصيل في المادة المستعملة، وتساوي ٣،٢ إلكترون فولت بالنسبة لثنائي أكسيد التيتانيوم، أي ينبغي إرسال أشعة فوق بنفسجية لتهييج الإلكترونات بشكل كاف. بتعبير آخر، أثناء عملية التحفيز الضوئي توضع المادة المحفزة مع الماء الملوث في مفاعل ضوئي حيث تنتقل الإلكترونات من المستوى الداخلي إلى المستوى الخارجي، وتلتقط من طرف جزيئات الملونات والمبيدات الملتصقة بسطح المادة المحفزة، وهكذا تبدأ عملية أكسدة هذه الجزيئات إلى أن يُخلص منها نهائياً.

نظراً لكون ثنائي أكسيد التيتانيوم يحتاج إلى الأشعة فوق البنفسجية لتهيجه أثناء عملية التحفيز الضوئي، و اتجاه الدول المتقدمة إلى توفير الطاقة والاستفادة من أشعة الشمس، طور العلماء مواداً أخرى يمكن استعمالها في تنقية الماء الملوث تحت تأثير الضوء المرئي أو أشعة الشمس، إما بتطعيم أكسيد التيتانيوم بعناصر كيميائية أخرى لتقليص طاقة الفجوة أو بتصنيع مواد ذات أشكال نانوية مختلفة لدعم التفاعلات بين المحفز والجزيئة الملوثة، هذه المواد تتمثل أساساً في Bi_2WO_6 و BiVO_4 و BiOBr .

ان تنقية المياه باستخدام ثاني أكسيد التيتانيوم (TiO_2) في عملية الحفز الضوئي تعتبر تقنية واعدة لإزالة الملوثات العضوية والمعادن الثقيلة من المياه. هذه التقنية تعتمد على خصائص ثاني أكسيد التيتانيوم كمادة نصف موصلة قادرة على امتصاص الضوء وتوليد أزواج الإلكترونات والفجوات الإلكترونية تحت تأثير الإشعاع الضوئي، مما يؤدي إلى تحفيز عمليات كيميائية تزيل الملوثات من المياه. وطريقة تطبيقها كالاتي :

١. تحضير ثاني أكسيد التيتانيوم

يتم تحضير ثاني أكسيد التيتانيوم بشكل عام بطرق مختلفة، ولكن الشكل الأكثر استخداماً في تطبيقات الحفز الضوئي هو شكله النانوي. يمكن أن يكون TiO_2 في شكل مساحيق نانوية أو طبقات رقيقة على أسطح داعمة مثل الألواح الزجاجية.



شكل (٢) ثنائي أكسيد التيتانيوم مطعم بالفضة والأزوت

٢. عملية الحفز الضوئي

ثنائي أكسيد التيتانيوم يتمتع بخصائص امتصاصية جيدة للأشعة فوق البنفسجية وجزء من الضوء المرئي. عندما يتعرض للضوء الشمسي أو إضاءة الأشعة فوق البنفسجية، يمتص ثنائي أكسيد التيتانيوم الطاقة الضوئية ويثير إلكتروناته من الحالة الأساسية إلى الحالة المثيرة. وتحت تأثير الضوء، يتم إنشاء أزواج من الإلكترونات والفجوات الإلكترونية في ثنائي أكسيد التيتانيوم. هذه الفجوات يمكن أن تكون مواقع للحفز الكيميائي.

ان الأزواج الإلكترونية والفجوات الإلكترونية التي تم إنشاؤها يمكن أن تستخدم لتفاعلات الأكسدة والاختزال التي تزيل الملوثات العضوية والمعادن الثقيلة من المياه، لذا يمكن للفجوات الإلكترونية الناتجة من ثنائي أكسيد التيتانيوم أن تفاعل مع الأكسجين المذاب لإنتاج راديكالات هيدروكسيل، وهذه الراديكالات يمكن أن تزيل الشوائب العضوية بشكل فعال (Giorgio et al., 2017)

٣. تطبيقات واستخدمات:

أ - تنقية المياه الصناعية والمياه الجوفية من الملوثات العضوية المتنوعة.

ب - إزالة المعادن الثقيلة مثل الرصاص والكاديوم والزرنيق من المياه.

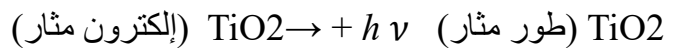
ت - معالجة مياه الصرف الصحي وتحسين جودة المياه المستخدمة في الزراعة والصناعة.

المعادلات المستخدمة في تنقية المياه بالاعتماد على ثنائي أكسيد التيتانيوم في عملية الحفز الضوئي :

في عملية تنقية المياه بالاعتماد على ثنائي أكسيد التيتانيوم (TiO₂) في عملية الحفز الضوئي، تحدث عدة عمليات كيميائية تعتمد على تفاعلات الأكسدة والاختزال التي يثيرها الإشعاع الضوئي ومنها :

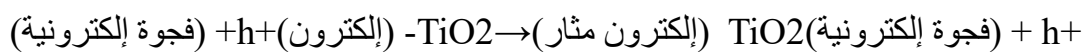
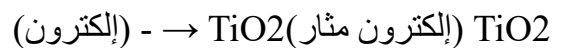
١. تحفيز ثنائي أكسيد التيتانيوم بالضوء الفوتوني:

ثنائي أكسيد التيتانيوم يمتص الضوء فوق البنفسجي وجزءاً من الضوء المرئي، ويثير إلكتروناته إلى حالات مثارة.



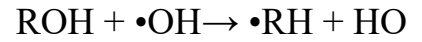
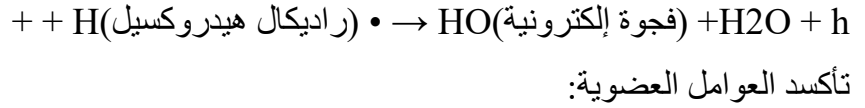
٢. إنتاج الأزواج الإلكترونية والفجوات الإلكترونية:

تحت تأثير الضوء، يتم إنتاج أزواج من الإلكترونات والفجوات الإلكترونية في ثنائي أكسيد التيتانيوم.



٣. تفاعلات الأكسدة والاختزال:

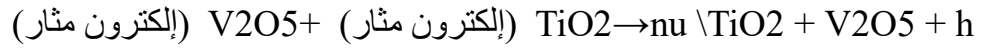
الأزواج الإلكترونية والفجوات الإلكترونية المنتجة يمكن أن تشارك في تفاعلات كيميائية لإزالة الملوثات العضوية والمعادن الثقيلة من المياه ومنها :
تأكسد الماء:



حيث: $\bullet HO$ هو راديكال هيدروكسيل، الذي يعتبر قوياً في تفاعلات الأكسدة.

٤. تحفيز إعادة التركيز المؤكسدة:

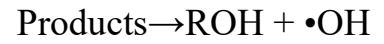
في بعض الحالات، يمكن أن يكون ثاني أكسيد التيتانيوم معدلاً بمعادن أخرى مثل أكسيد الفاناديوم لزيادة فعالية الحفز الضوئي ومنها :



تتطلب عملية الحفز الضوئي بثاني أكسيد التيتانيوم أيضاً مصدرًا للضوء كالشمس أو مصابيح الأشعة فوق البنفسجية لتفعيل عملية الحفز.

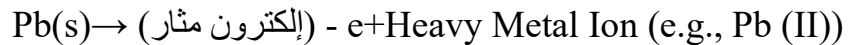
٥. تفاعلات إزالة الملوثات العضوية:

تفاعل تأكسد الملوثات العضوية:



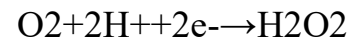
حيث: ROH هو ملوث عضوي، و $OH\bullet$ هو راديكال هيدروكسيل المنتج من تحفيز ثاني أكسيد التيتانيوم.

٦. تفاعلات إزالة المعادن الثقيلة: تفاعل تحويل الأيونات الثقيلة:



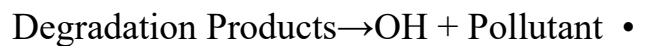
هذا التفاعل يمكن أن يحدث عندما تحفز الفجوات الإلكترونية في ثاني أكسيد التيتانيوم إزالة الإلكترونات من أيونات المعادن الثقيلة مثل الرصاص ($Pb(II)$)، مما يؤدي إلى تخفيضها إلى شكلها المعدني.

٧. تفاعلات التخلص من المواد العضوية المتبقية: تفاعل الأكسدة النهائي:



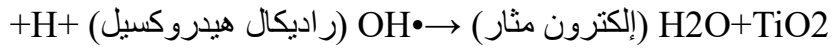
هذا التفاعل يمكن أن يحدث لتحويل الأوكسجين الجزيئي (O_2) إلى بيروكسيد الهيدروجين (H_2O_2)، والذي يمكن أن يستخدم كمادة مؤكسدة لمزيد من تحفيز عمليات الأكسدة في مياه التنقية.

٨. عمليات الحفز الضوئي المعقدة: تفاعلات الأكسدة المتقدمة:



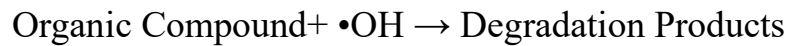
هذا التفاعل يمكن أن يشمل تفاعلات أكسدة أخرى مع الراديكال هيدروكسيل لتحليل الملوثات العضوية المعقدة إلى منتجات أقل ضررًا بيئيًا.

٩. تفاعلات تكوين راديكالات هيدروكسيل (OH•):



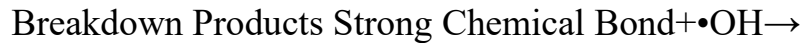
هذا التفاعل يظهر كيف يتم استخدام الإلكترونات المثارة في ثاني أكسيد التيتانيوم لتكوين راديكالات هيدروكسيل، التي تعتبر قوية في عمليات الأكسدة.

١٠. تفاعلات إزالة الملوثات العضوية الدقيقة: تفاعل تكسير المركبات العضوية الدقيقة:



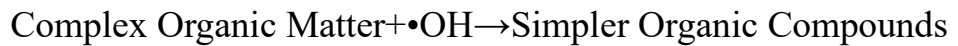
يتمثل دور راديكال هيدروكسيل في تفاعل مع الملوثات العضوية الدقيقة مثل الهيدروكربونات والأصبغ والمواد العضوية الأخرى، مما يؤدي إلى تفكيكها إلى منتجات أقل ضررًا بيئيًا.

١١. تفاعلات تكسير الروابط الكيميائية الصعبة: تفاعلات تكسير الروابط الكيميائية القوية:



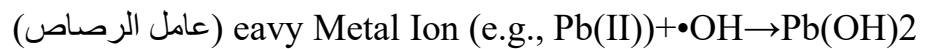
يمكن لراديكالات هيدروكسيل أن تتفاعل مع الروابط الكيميائية القوية مثل الروابط الأليفية والمجموعات الوظيفية المتعددة في الملوثات العضوية، مما يسهم في تفكيكها إلى مركبات أقل توصيفًا.

١٢. تفاعلات تكسير المواد العضوية الكبرى: تفاعلات تكسير المواد العضوية الكبرى:



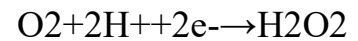
هذه العمليات تعتمد على تفاعلات الأكسدة المتقدمة التي يمكن أن تنقسم إلى جزيئات أصغر وأقل توصيفًا، مما يقلل من تأثيرات المواد العضوية الكبرى في المياه.

١٣. تفاعلات إزالة المعادن الثقيلة: تفاعل إزالة الأيونات الثقيلة:



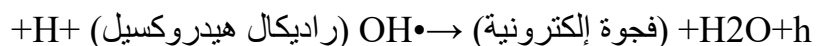
يتفاعل الراديكال هيدروكسيل مع أيونات المعادن الثقيلة مثل الرصاص لتشكيل مركبات أقل ذوبانًا في المياه، مما يسهم في إزالة هذه المعادن السامة من المياه.

١٤. تفاعلات تكوين بيروكسيد الهيدروجين (H2O2): تفاعل تكوين بيروكسيد الهيدروجين:



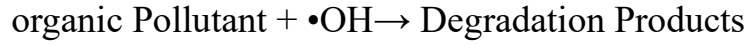
يمكن أن يحدث تكوين بيروكسيد الهيدروجين كمادة مؤكسدة إضافية في الوسط، مما يعزز من عمليات الأكسدة في مياه التنقية.

١٥. تفاعلات تكوين راديكالات هيدروكسيل (OH•): تفاعل تأكسد الماء:



هذا التفاعل يحدث عندما يتفاعل الماء مع الفجوة الإلكترونية التي يتم إنشاؤها في ثاني أكسيد التيتانيوم المثار بالضوء، مما ينتج عنه راديكال هيدروكسيل القادر على التفاعل مع الملوثات العضوية والمعادن الثقيلة.

١٦. تفاعلات تكسير الملوثات العضوية: تفاعل تأكسد الملوثات العضوية:



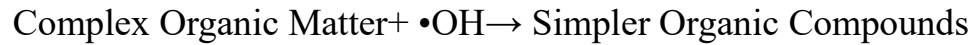
راديكالات هيدروكسيل تتفاعل مع الملوثات العضوية الدقيقة مثل الهيدروكربونات والأصبغ والمواد العضوية الأخرى، مما يؤدي إلى تحطيمها إلى مركبات أقل ضارة.

١٧. تفاعلات تكسير المعادن الثقيلة: تفاعل تحويل الأيونات الثقيلة:



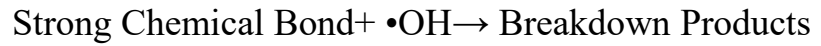
راديكال هيدروكسيل يتفاعل مع أيونات المعادن الثقيلة مثل الرصاص لتشكيل مركبات أقل ذوبانًا في المياه، مما يساعد على إزالتها من المياه.

١٨. تفاعلات إزالة المواد العضوية الكبرى: تفاعلات تحليل المواد العضوية الكبرى:



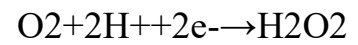
راديكالات هيدروكسيل تتفاعل مع المواد العضوية الكبرى مثل البروتينات والكربوهيدرات، مما يؤدي إلى تحللها إلى مركبات أقل تعقيدًا وأقل ضررًا بيئيًا.

١٩. تفاعلات تأكسد الملوثات الثقيلة: تفاعل تكسير الروابط الكيميائية القوية:



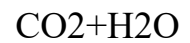
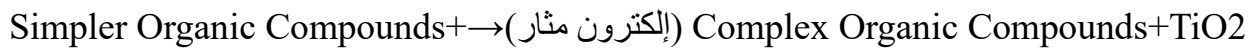
راديكال هيدروكسيل يتفاعل مع الروابط الكيميائية القوية في الملوثات العضوية والمعادن الثقيلة، مما يساهم في تحليلها إلى مركبات أقل توصيفًا.

٢٠. تفاعلات تكوين بيروكسيد الهيدروجين (H₂O₂): تفاعل تكوين بيروكسيد الهيدروجين:



يمكن أن يتم توليد بيروكسيد الهيدروجين كمادة مؤكسدة إضافية في الوسط، مما يعزز من عمليات الأكسدة في مياه التنقية.

٢١. تفاعلات تكسير المركبات العضوية الثقيلة: تفاعل تحطيم المركبات العضوية الثقيلة:



في هذا التفاعل، يُعزز ثاني أكسيد التيتانيوم المثار بالضوء تفاعل الأكسدة الذي يؤدي إلى تفكيك المركبات العضوية الكبيرة إلى مركبات أقل حجمًا مثل ثاني أكسيد الكربون والماء.

٢٢. تفاعلات تكسير الجذور الحرة: تفاعل تحليل الجذور الحرة:

TiO₂ (إلكترون مثار) + •OH → H₂O (راديكال هيدروكسيل) + H⁺ + O₂ (جذر أكسيد)

هذا التفاعل يوضح كيف يمكن لثاني أكسيد التيتانيوم المثار بالضوء تحفيز تكوين راديكالات هيدروكسيل وجذور أكسيد، مما يزيد من قدرته على تكسير وتحليل الملوثات العضوية والمعادن الثقيلة.

٢٣. تفاعلات تكسير الروابط الكيميائية الصعبة: تفاعل تحليل الروابط الكيميائية القوية:

Strong Chemical Bond + TiO₂ (إلكترون مثار) → Breakdown Products

هنا، يساهم ثاني أكسيد التيتانيوم المثار بالضوء في تكسير الروابط الكيميائية القوية في الملوثات العضوية والمعادن الثقيلة، مما يؤدي إلى تفكيكها إلى مركبات أقل تعقيداً.

٢٤. تفاعلات إنتاج الأوكسجين النشط: تفاعل إنتاج الأوكسجين النشط:

O₂ + 2H⁺ + 2e⁻ → H₂O₂ (بيروكسيد الهيدروجين)

بيروكسيد الهيدروجين يمكن أن يستخدم كمادة مؤكسدة إضافية في الوسط، مما يعزز من عمليات الأكسدة في مياه التنقية.

٢٥. تفاعلات تحليل الملوثات الدقيقة: تفاعل تحليل الملوثات الدقيقة:

Micro Pollutant + •OH → Degradation Products

راديكال هيدروكسيل يتفاعل مع الملوثات العضوية الدقيقة مثل الأدوية والهرمونات والمواد الكيميائية الدقيقة الأخرى، مما يساهم في تحليلها إلى مركبات أقل ضرراً بيئياً.

٢٦. تفاعلات تكوين راديكالات هيدروكسيل (OH•): تفاعلات تأكسد الماء وتكوين راديكالات هيدروكسيل:

H₂O + TiO₂ (مثار بالضوء) → OH• (راديكال هيدروكسيل) + H⁺

ثاني أكسيد التيتانيوم المثار بالضوء يساهم في تفاعلات تأكسد الماء لإنتاج راديكال هيدروكسيل، الذي يعتبر قوياً في عمليات الأكسدة الضوئية.

٢٧. تفاعلات تحليل المركبات العضوية الكبرى: تفاعل تحليل المواد العضوية الكبرى:

Complex Organic Compounds + •OH → Simpler Organic Compounds

راديكال هيدروكسيل يتفاعل مع المواد العضوية الكبرى مثل البروتينات والدهون والسكريات، مما يؤدي إلى تفكيكها إلى مركبات أقل تعقيداً وأقل ضرراً بيئياً.

٢٨. تفاعلات إزالة الأيونات الثقيلة: تفاعل تحويل الأيونات الثقيلة:

Heavy Metal Ion (e.g., Pb (II)) + •OH → Pb (OH)₂ (رصاص هيدروكسيد)

راديكال هيدروكسيل يتفاعل مع أيونات المعادن الثقيلة مثل الرصاص لتشكيل مركبات أقل ذوباناً في المياه، مما يساهم في إزالتها من المياه بشكل فعال.

٢٩. تفاعلات تحليل الملوثات العضوية الدقيقة: تفاعل تحليل الملوثات الدقيقة:

Micro Pollutant+ •OH→ Degradation Products

راديكال هيدروكسيل يتفاعل مع الملوثات العضوية الدقيقة مثل الأدوية والمواد الكيميائية الصناعية الدقيقة، مما يؤدي إلى تحليلها إلى مركبات أقل ضرراً بيئياً.

٣٠. تفاعلات تكسير الروابط الكيميائية القوية: تفاعل تحليل الروابط الكيميائية القوية:

Breakdown Products→ (مثار بالضوء) Strong Chemical Bond+TiO2

ثاني أكسيد التيتانيوم المثار بالضوء يعزز من تكسير الروابط الكيميائية القوية في الملوثات العضوية والمعادن الثقيلة، مما يساهم في تحليلها إلى مركبات أقل تعقيداً.

١٠ - توصيات البحث:

١ - تشجيع المزيد من الدراسات المعملية والميدانية لضمان فهم أعمق لفعالية الجسيمات النانوية في إزالة أنواع مختلفة من الملوثات وتحديد أفضل الطرق لاستخدامها.

٢ - الابتكار في تصنيع الجسيمات النانوية لتقليل التكلفة وتحسين الكفاءة، مما يجعلها أكثر قابلية للتطبيق على نطاق واسع.

٣ - إجراء دراسات شاملة لتقييم السمية: لتحديد التأثيرات الصحية والبيئية المحتملة للجسيمات النانوية المستخدمة في تنقية المياه. ولضمان الاستخدام الآمن للجسيمات النانوية وحماية البيئة والصحة العامة.

٤ - تطبيق ممارسات إنتاج مستدامة لتقليل الأثر البيئي لعمليات تصنيع واستخدام الجسيمات النانوية.

٥ - ابتكار مواد نانوية قابلة للتحلل أو إعادة التدوير: لضمان عدم تراكم النفايات النانوية في البيئة.

٦ - تقديم حوافز اقتصادية للمشاريع البيئية لدعم تبني التقنيات النانوية في تنقية المياه على نطاق أوسع، خاصة في المناطق ذات الموارد المحدودة.

٧ - إجراء دراسات تفصيلية لتحليل التكلفة والفائدة: لضمان الجدوى الاقتصادية لتقنيات الجسيمات النانوية مقارنة بالتقنيات التقليدية.

٨ - تعزيز التعاون بين الباحثين والصناعيين والسياسيين لتسهيل نقل التقنيات النانوية من المختبر إلى التطبيقات العملية.

٩ - تطوير شراكات مع الهيئات البيئية والمنظمات غير الحكومية: لتعزيز الوعي والتطبيق المستدام لتقنيات الجسيمات النانوية في تنقية المياه.

١٠ - تقديم برامج تدريبية للعاملين في مجال المياه: لتمكينهم من استخدام وصيانة التقنيات النانوية بفعالية.

نشر الوعي بأهمية التقنيات النانوية: من خلال ورش العمل والمؤتمرات والمناهج التعليمية لتعزيز الفهم والقبول العام لهذه التقنيات.

١١ - إجراء تقييمات دورية لأداء التقنيات النانوية: لضمان استمرار فعاليتها وكفاءتها في تنقية المياه.

تطوير أنظمة مراقبة بيئية: لمتابعة تأثيرات استخدام الجسيمات النانوية وضمان عدم حدوث آثار جانبية سلبية.
١٢ - توسيع نطاق التطبيقات: لتشمل ليس فقط معالجة مياه الشرب ولكن أيضاً المياه الصناعية والزراعية والمياه الجوفية.

١٣ - تطوير حلول مخصصة للمناطق النائية والمجتمعات الريفية: لضمان توفير مياه نظيفة وآمنة لجميع الفئات.

المستخلص :

تزداد مشكلة تلوث المياه في جميع أنحاء العالم مما تتسبب في وفاة 1400 شخص سنوياً، على الرغم من ضخ حجم هذه المشكلة إلا أن التكنولوجيا والعلوم سارعت في إيجاد حلول للحد من هذه الظاهرة، من بين جملة هذه الحلول وبعيدا عن المعالجة التقليدية للمياه الملوثة استخدمت في هذا الصدد تقنية النانو الحديثة التي اختصرت جميع مراحل المعالجة التقليدية في القضاء على الملوثات، وذلك عن طريق تصنيع مواد وجسيمات نانوية تعمل على القضاء على هذه الأخيرة وجعل المياه أكثر صلاحية للاستهلاك .

خاتمة البحث :

ان عالم تصنيع المواد النانوية من خصائصها كونها مواد واعدة للمستقبل، حيث تطرقنا للتعريف بأهم خصائص ومزايا هذه المواد ودورها في معالجة مشكل تلوث البيئة خاصة فيما يخص موضوع معالجة المياه الملوثة. لذا نأمل في المستقبل القريب خوض ميدان تصنيع مواد جديدة ثم تحديد منافعها وتفاذي آثارها السلبية والمواصلة فيما تبقى من بحثنا هذا واجراء تجارب أكثر دقة ووضوح لأجل إيجاد حلول لمشكلة تلوث المياه

قائمة المراجع

- عبد الله احمد عبد الله، تطبيقات تقنية النانو: تأثير تطبيقات تقنية النانو على المواد المستخدمة في الواجهات الخارجية للمباني، كلية الهندسة، جامعة القاهرة، مصر 2017 .
- احمد توفيق حجازي، تكنولوجيا النانو: الثورة التكنولوجية الجديدة، دار كنوز المعرفة، عمان الاردن، ماي، 2022
- مرقت رشاد احمد و ا.أيمن جابر حسونة، التطبيقات البيئية الخضر لتكنولوجيا النانو في المستقبل، المؤتمر الدولي السابع للاتحاد العربي للتنمية المستدامة للبيئة، جامعة عين شمس القسيم، السعودية، 19-20 نوفمبر 2017 .
- مجد الدين العلي، تقنية النانو: عالم الاشياء الصغيرة جدا ذات الخواص الفريدة، مجلة البعث، حجم 36، العدد 11، 2014.

-
- Jean Michel, Marcel Lahmani, Dupas Haeberlin, Patris Hesto, Nanosciences et nanotechnologies Evolution ou revolution? Imprime en France par SEPEC a Peronnas N° d edition: 70118354_01, Depot legal: avril 2014 .
 - Omer Y. Bakather, Ahmad Kayvani Fard, Ihsanullah, Majeda Khraisheh, Mustafa S. Nasser, and Muataz Ali Atieh, Enhanced Adsorption of Selenium Ions from Aqueous Solution Using Iron Oxide Impregnated Carbon Nano tubes, Bioinorganic Chemistry and Applications Volume 2017, 7 May 2017.
 - Giorgio Vilardi, Luca Di Palma, Nicola Verdon, The influence of nitrate on the reduction of hexavalent chromium by zerovalent iron nanoparticles in polluted wastewater, August 2017.