بحوث المؤتمر الدولي الأول

التنمية المستدامة وخدمة المجتمع

نحو مستقبل شامل ومتوازن

جامعة سرت 29 أكتوبر 2025م

تنظيم وإشراف

مركز خدمة المجتمع وتنمية البيئة بجامعة سرت

الجزء الثاني

تحرير

أ. د. الطيب محمد القبي

أ. د. حسين مسعود أبومدينة

د. صلاح محمد اجبارة

منشورات مركز البحوث والاستشارات - جامعة سرت

الطبعة الأولى 2026

بحوث المؤتمر الدولي الأول

التنمية المستدامة وخدمة المجتمع
نحو مستقبل شامل ومتوازن

الجزء الثاني

تنظيم وإشراف
مركز خدمة المجتمع وتنمية البيئة بجامعة سرت
جامعة سرت 29 أكتوبر 2025م

تحرير

أ. د. الطيب محمـــــــد القبي
أ. د. حسين مسعود أبومدينة
د. صـــلاح محمـــــد اجبارة

المراجعة اللغوية: فوزية علي الغزال

منشورات مركز البحوث والاستشارات بجامعة سرت
الطبعة الأولى 2026م

بحوث المؤتمر الدولي الأول

التنمية المستدامة وخدمة المجتمع
نحو مستقبل شامل ومتوازن

الجزء الثاني

تنظيم وإشراف
مركز خدمة المجتمع وتنمية البيئة بجامعة سرت

جامعة سرت 29 أكتوبر 2025م

الوكالة الليبية للترقيم الدولي الموحد للكتاب

دار الكتب الوطنية

بنغازي – ليبيا

هاتف: 9097074 - 9096379 - 9090509
بريد مصور: 9097073
البريد الالكتروني: nat_lib_libya@hotmail.com

رقم الإيداع القانوني 857 / 2025م

رقم الإيداع الدولي: ردمك ISBN 978-9959-891-69-3

تصميم الغلاف: خالد جمعة مهلهل

جميع البحوث والآراء المنشورة في هذا المؤتمر لا تعبر إلا عن وجهة نظر أصحابها، ولا تعكس بالضرورة رأي هيئة التحرير.

حقوق النشر والطبع محفوظة لمركز البحوث والاستشارات بجامعة سرت

الطبعة الأولى 2026م

بسم الله الرحمن الرحيم

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ
اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ.

سورة آل عمران الآية 190

رئيس المؤتمر

أ. د. سليمان مفتاح الشاطر

اللجنة العلمية للمؤتمر

أ. د. الطيب محمد القبي	رئيساً
أ. د. حسين مسعود أبومدينة	عضواً
أ. د. عبدالحكيم سعد الصادق	عضواً
أ. د. وائل محمد جبري	عضواً
د. جبريل عمر السائح	عضواُ
د. علي كركرة علي	عضوا

اللجنة التحضيرية للمؤتمر

د. صلاح محمد اجبارة	رئيساً
عبدالحليم مفتاح الشاطر	عضواً
علي مصطفى إبراهيم	عضواً
خالد جمعة امهلهل	عضواً
عبدالباسط اهلال الدبار	عضواً
سهام عبدالباسط علي	عضواً

المحتويات

العنوان	الصفحة
كلمة رئيس جامعة سرت	ج
كلمة رئيس اللجنة العلمية للمؤتمر	د
كلمة مدير مركز خدمة المجتمع وتنمية البيئة	هـ
حماية المكونات البيئية من التَّلوث من مقاصد السُنَّة النَّبويّة د. عبد الله إمْحَمَّد عون	12-1
الممارسات البيئية في الحرم الجامعي كمدخل لتنمية الوعي البيئي لدى الطلاب رؤية أعضاء هيئة التدريس د. أسماء فرحات مُحَمَّد د. مصطفى أحمد بن حكومة أ. عبد الرحمن علي هدي علي أ. نجاة السنوسي العمراوي أ. أمل مُحَمَّد المرابط	48 - 13
نحو مجتمع بلا نفايات: رؤية تطبيقية لمبدأ "صفر نفايات" في المدن الليبية مصطفى بن حكومة أنور الشيباني عيدة الشيلابي هيام نجم	84-49
تدبير الماء الحضري بالمدن العربية وتحدّي الاستدامة: حالة مدينة نواكشوط (موريتانيا) د. مُحَمَّد الأمين عابدين	100-85
استدامة الموارد المائية في مدينة إجدابيا بين الاعتماد على نقل المياه وتلوث المياه الجوفية د. إبراهيم مُحَمَّد على مُحَمَّد	118-101
نحو بلدية مستدامة: البحث العلمي كمدخل للتنمية المحلِّية دراسة تطبيقية لبلديات مختارة في ليبيا (طرابلس – البيضاء – سبها – زليتن – الزاوية) مصطفى بن حكومة أنور الشيباني عيدة الشيلابي مُحَمَّد فحج أحمد المدهوني	144-119
الاستدامة والتعليم المحاسبي: من وجهة نظر الطلاب دراسة تطبيقية على الطلاب كلية الاقتصاد جامعة سرت أ. عيادة رمضان سالم أ. ماجدة مُحَمَّد هاشم المهشهش	164-145
التعليم الجامعي ودوره في التنمية المستدامة دراسة ميدانية على عينة من أعضاء هيئة التدريس بالجامعات الليبية د. يوسف إمْحَمَّد صالح منصور	194-165
الآليات القانونية لحماية البيئة في ظلِّ التَّطور التكنولوجي: الجزائر نموذجًا د. حيرش نور الدين د. بن زكري بن علو مديحة	212-195

المحتويات

العنوان	الصفحة
دور التشريعات الجنائية الليبية في تحقيق وحماية أبعاد التَّنمية المستدامة وفقا لرؤية الأمم المتحدة بحلول عام 2030م أ. محمد على محمد التائب	234-213
أثر الشفافية الإدارية في تعزيز الحوكمة الرَّشيدة **دراسة ميدانية على مديري الإدارات العليا والوسطى بديوان بلدية بنغازي** أ. د. بشير مُحَّد العبار	268-235
سياسات الحوكمة الرشيدة لتحقيق الاستدامة (SDG16) **دراسة تحليلية في ضوء الهدف السادس عشر للتنمية المستدامة (SDG16)** أ. عبد القادر حمدان العوجة.	280-269
متطلبات ومعايير الحوكمة الإلكترونية وعلاقته بتحسين الأداء المؤسسي بالجامعات الليبية، دراسة حالة جامعة فزان أ. د. حسن عبد السلام علي عمران د. حسن بشير حسن مُحَّد	304-281
التُّكنُولوجيا ودورها في التخطيط الحضري المُستدام **دراسة في جغرافية التخطيط الحضري** د. هناء عمر مُحَّد كازوز	312-305
تكنولوجيا الإعلام المعاصر وتعزيز الوعي البيئي المجتمعي **دراسة تحليلية في علم اجتماع التنمية** د. وداد أبوبكر محمود الجديد	328-313
دور التكنولوجيا النانوية في الحدِّ من التَّلوث وتحسين جودة الحياة **دراسة تطبيقية على الطِّلاءات النانوية في مدينة سرت"** أ. حليمة عون الله سعيد علي	358-329
الذَّكاء الاصطناعي مدخل بديل لتحقيق التَّنمية المستدامة نوال بن قلوش	372-359
Renewable Energy as a Strategic Driver for Sustainable Development Zienap Abobaker Basher Ehrer	386-373
The Role of Rehabilitation and Conservation of Vegetation Cover in Combating Desertification, Shikan Locality, North Kordofan , Sudan Awad Elkarim Suliman Osman Khalifa	401-387

كلمة رئيس الجامعة

بسم الله الرحمن الرحيم

والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين،

أما بعد ،،،

يسرّنا في هذا المقام العلمي المتميز أن نحتفي بإصدار كتـاب أعمال المؤتمر العلمي حول التنمية المستدامة وخدمة المجتمع، والذي انعقد تحت شعار "نحو مستقبل شامل ومتوازن "في التاسع والعشرين من شهر أكتوبر 2025م . والذي نظمه مركز خدمة المجتمع وتنمية البيئة بالجامعة، ويأتي ذلك في إطار تنفيذ رسالة الجامعة الأكاديمية والوطنية الرامية إلى ترسيخ دورها في خدمة قضايا المجتمع والتنمية الشاملة.

إن هذا الإصدار العلمي يُجسّد ثمرة جهد جماعي شارك فيه نخبة من الباحثين والأكاديميين والمتخصصين من داخل الجامعات والمراكز الليبية وخارجها، حيث تناولت بحوثه محاور متعددة عكست عمق الإشكاليات المرتبطة بالتنمية المستدامة، وأبرزت العلاقة التكاملية بين المعرفة العلمية ومتطلبات خدمة المجتمع، في أبعادها الاقتصادية والاجتماعية والبيئية والمؤسسية.

ويأتي هذا الكتـاب ليؤكد إيمان جامعة سرت بدور البحث العلمي بوصفه ركيزة أساسية في دعم السياسات التنموية، وتقديم الحلول العلمية القابلة للتطبيق، والمساهمة في تحقيق أهداف التنمية المستدامة، بما يتماشى مع خصوصية المجتمع الليبي واحتياجاته الراهنة والمستقبلية.

ولا يفوتنا في هذه المناسبة أن نتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى إدارة مركز خدمة المجتمع وتنمية البيئة وإلى اللجنة العلمية للمؤتمر، واللجنة التنظيمية، وكافة الباحثين المشاركين، وكل من أسهم بفكره وجهده في إنجاح هذا المؤتمر وإخراج أعماله في هذا الكتـاب العلمي القيم، الذي نأمل أن يكون مرجعًا علميًا يسهم في إثراء المكتبة الأكاديمية، ويدعم مسارات البحث والدراسة وصنع القرار.

وفي الختام، نؤكد أن جامعة سرت ستظل حاضنة للعلم والفكر، ومنبرًا للحوار الأكاديمي الجاد، وشريكًا فاعلًا في خدمة المجتمع وتحقيق التنمية المستدامة.

والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته.

أ. د. سليمان مفتاح الشاطر

رئيس جامعة سرت

كلمة وكيل الجامعة للشؤون العلمية ورئيس اللجنة العلمية للمؤتمر

بسم الله الرحمن الرحيم

والصلاة والسلام على أشرف المرسلين، سيدنا محمد، وعلى آله وصحبه أجمعين.

يسرّني، ويشرّفني، بصفتي رئيس اللجنة العلمية لمؤتمر التنمية المستدامة وخدمة المجتمع، أن أتقدّم بهذه الكلمة بمناسبة صدور الكتـاب العلمي المحكَّم الخاص بأعمال المؤتمر، الذي انعقد في رحاب جامعة سرت، في إطار أكاديمي اتسم بالجدية العلمية والتكامل المعرفي، وبمشاركة نخبة من الباحثين والمتخصصين من مختلف الجامعات والمؤسسات العلمية.

إن هذا الإصدار العلمي يُعد توثيقًا معرفيًا لمخرجات المؤتمر، ويجسّد الجهود البحثية التي تناولت قضايا التنمية المستدامة وخدمة المجتمع من زوايا متعددة، مستندة إلى أطر نظرية ومنهجيات علمية رصينة، وبما يعزز الربط بين البحث الأكاديمي واحتياجات المجتمع الفعلية، ويسهم في دعم صُنّاع القرار والمهتمين بالشأن التنموي.

ويؤكد صدور هذا الكتاب الدور الحيوي الذي تضطلع به الجامعات في إنتاج المعرفة وتوجيهها نحو خدمة المجتمع، وترسيخ مبادئ التنمية المستدامة بأبعادها الاقتصادية والاجتماعية والبيئية، من خلال البحث العلمي الجاد والتعاون الأكاديمي البنّاء.

ولا يسعني في هذا المقام إلا أن أتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى السادة الباحثين على إسهاماتهم العلمية المتميزة، وإلى أعضاء اللجنة العلمية ولجان التحكيم لما بذلوه من جهود علمية دقيقة أسهمت في ضمان جودة البحوث المنشورة، كما أتوجّه بالشكر إلى اللجنة التحضيرية وإدارة جامعة سرت على دعمهم المتواصل وتوفيرهم للبيئة العلمية الملائمة لإنجاح المؤتمر وإخراج هذا الكتـاب في صورته المشرفة.

ختامًا، نسأل الله أن يكون هذا الكتـاب إضافة نوعية للمكتبة العلمية، ومرجعاً بحثياً يُنتفع به في الدراسات المستقبلية، وأن يسهم في تعزيز مسارات التنمية المستدامة وخدمة المجتمع، وترسيخ ثقافة البحث العلمي المسؤول والفاعل في مجتمعاتنا.

والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته.

أ. د. الطيب محمد القبي

وكيل الجامعة للشؤون العلمية ورئيس اللجنة العلمية للمؤتمر

كلمة مدير مركز خدمة المجتمع وتنمية البيئة

الحمد لله القائل في محكم تنزيله: "وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ"، والصلاة والسلام على المبعوث رحمة للعالمين، وبعد،،

إنه لمن دواعي سرورنا واعتزازنا في مركز خدمة المجتمع وتنمية البيئة بجامعة سرت، أن نضع بين أيدي الباحثين والمختصين هذا السجل العلمي الرصين، الذي يضم نتاج أعمال "المؤتمر الدولي الأول للتنمية المستدامة وخدمة المجتمع"، والذي انعقد تحت شعار "نحو مستقبل شامل ومتوازن" في التاسع والعشرين من أكتوبر 2025م.

لقد انطلقت فكرة هذا المؤتمر من إيماننا العميق بدور الجامعة في قيادة قاطرة التغيير نحو الاستدامة، ليس فقط كصرح تعليمي، بل كشريك فاعل في تنمية البيئة وخدمة المجتمع المحلي والدولي. وتجسد هذا الطموح في استقطاب كوكبة من العلماء والباحثين من مختلف الجامعات والمراكز البحثية من ليبيا، والمغرب، والجزائر، وموريتانيا، والعراق، ومصر.

يحتوي هذا الكتـاب بين دفتيه على دراسات معمقة تناولت محاور جوهرية شملت:

- **الحوكمة والقيادة المستدامة:** ودورهما في تحسين الأداء المؤسسي في الجامعات والشركات.
- **الاقتصاد الأخضر والمسؤولية الاجتماعية:** كركيزة أساسية لتحقيق الاستدامة في القطاعات النفطية والزراعية.
- **التقنيات الحديثة والذكاء الاصطناعي:** ودور التكنولوجيا والنانو في حماية البيئة والتخطيط الحضري المستدام.
- **التحديات البيئية والمجتمعية:** بدءاً من إدارة النفايات والموارد المائية وصولاً إلى تمكين المرأة وحماية المكونات البيئية من منظور شرعي وقانوني.

إننا نأمل أن تكون هذه الأعمال العلمية مرجعاً قيماً لصناع القرار والباحثين، ومساهمة حقيقية في وضع الحلول للتحديات التي تواجه مجتمعاتنا في طريقها نحو تحقيق أهداف التنمية المستدامة ورؤية الأمم المتحدة 2030م.

ختاماً، أتوجه بوافر الشكر والتقدير لرئاسة جامعة سرت على دعمها المتواصل، وللجنة العلمية والتحضيرية التي سهرت على إنجاح هذا الحدث، ولكل الباحثين الذين أثروا هذا المحفل بعلمهم وفكرهم.

والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته

د. صلاح محمد إجبارة

مدير مركز خدمة المجتمع وتنمية البيئة

دور التكنولوجيا النانوية في الحدّ من التلوث وتحسين جودة الحياة دراسة تطبيقية على الطلاءات النانوية في مدينة سرت"

أ. حليمة عون الله سعيد علي
المعهد العالي للعلوم والتّقنية / سرت
Halima123onalla@gmail.com

الملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم فعالية الطِّلاءات النانوية المعتمدة على ثاني أكسيد التيتانيوم Tio_2 في الحدِّ من تلوث الهواء، وتحسين جودة الحياة في مدينة سرت، التي تواجه تحديات بيئية حادَّة ناجمة عن العواصف الترابية، الانبعاثات المرورية، ونقص حلول المعالجة المستدامة، وقد أجريت تجارب ميدانية تحاكي الظروف المناخية المحلية، وأظهرت النتائج قدرة هذه الطِّلاءات على تقليل تراكم الملوثات الغازية، والجسيمات الدقيقة على الأسطح الخارجية بفعل التحفيز الضوئي، دون الحاجة إلى طاقة إضافية، أو صيانة دورية، كما تناولت الدراسة إمكانية دمج هذه التَّقنية مع نظم تنقية المياه باستخدام النانو لمعالجة المياه الملوثة محليًا، وقد أسهمت تكنولوجيا النانو، من خلال الطِّلاءات النانوية، في معالجة التَّحدّيات المرتبطة بالتَّلوث المستمر، وتجاوز القصور في كفاءة الأسطح التقليدية في مقاومة تراكم الملوثات، ممَّا يجعلها حلاً بيئيًا واقتصاديًا متكاملًا، توصي الدراسة بتطبيق هذه التَّقنية ضمن خطط التنمية العمرانية في سرت، وتوسيع استخدامها في المرافق العامَّة، وتعزيز البحث، والتَّطوير المحلّي لضمان الانتقال نحو مدن ذكيّة، ومستدامة تدمج الابتكار مع حماية البيئة.

الكلمات المفتاحية: الطِّلاءات النانوية، ثاني أكسيد التيتانيوم، Tio_2 تحفيز ضوئي، التنمية المستدامة، تقنية النانو.

Abstract

This study aims to evaluate the effectiveness of titanium dioxide Tio_2based Nano coatings in reducing air pollution and improving quality of life in Sirt, a city facing severe environmental challenges caused by dust storms, traffic emissions, and a lack of sustainable treatment solutions. Field experiments were conducted simulating local climatic conditions, and the results demonstrated the ability of these coatings to reduce the accumulation of gaseous pollutants and fine particles on outdoor surfaces through photo catalysis, without the need for additional energy or periodic maintenance. The study also examined the possibility of integrating this technology with Nano-based water purification systems to treat locally polluted water. Nanotechnology, through Nano coatings, has contributed to addressing the challenges associated with persistent pollution and overcoming the shortcomings of traditional surfaces in resisting pollutant accumulation, making them an integrated environmental and economic solution. The study recommends implementing this technology within Sire's urban development plans, expanding its use in public facilities, and promoting local research and development to ensure the transition towards smart and sustainable cities that integrate innovation with environmental protection.

Keywords: Nano coatings, Titanium DioxideTio_2, Photo catalysis, Sustainable Development, Nanotechnology.

1. المقدمة:

تخضع الحياة على سطح الأرض لنظام دقيق ومتوازن، حيث تتوزع الكائنات الحيَّة ضمن طبقة رقيقة تُعرف بالمحيط الحيوي، وهو المجال الذي يشهد نشاطًا حيويًا مكثفًا، وينقسم هذا المحيط إلى بيئات متعددة تشمل الغابات، الصحاري، البحيرات، البحار، الأنهار وغيرها، ويُطلق على كل منها "النظام البيئي" الذي يضم كائنات حيَّة نباتية وحيوانية، إلى جانب المكونات غير الحيَّة من الطبيعة، والبيئة، والتي يوحي تركيبها اللغوي بمعنى التَّداخل، ويؤكد معناها في الواقع المادِّي هذا التَّدخل، هي وجود معرفي وواقعي تتناسق فيه خيوط عدَّة، وعلى المستوى المعرفي تطلَّب ذلك إيجاد روافد عدَّة لهذا الاختصاص، منها على سبيل المثال: الهندسة البيئية، الزراعة البيئية، وعلم النفس البيئي، هي مجموعة العوامل والعناصر الطبيعية، والأرضيَّة، والجويَّة، والنباتية، والحيوانية المحيطة بالإنسان، تتعرض البيئة أو الوسط الذي يعيش فيه الإنسان للهدم بواسطة الإنسان نفسه.(خنفر، 2021).

ويُعد التَّلوث البيئي، بجميع أشكاله، من أخطر التَّحدِّيات المعاصرة، نظرًا لتَّأثيراته المتشعِّبة على الصِّحة العامَّة، والأنظمة البيئية، والاستقرار الاقتصادي والاجتماعي؛ فبالإضافة إلى كونه سببًا في تفشي الأمراض، وتدهور الأنظمة البيولوجية، يؤدِّي إلى خسائر اقتصادية كبيرة ناجمة عن استنزاف الموارد وزيادة الإنفاق الصِّحي، كما يُسهم في توسيع الفجوة الاجتماعية، حيث تتأثر الفئات الضعيفة بشكلٍ أكبر، ومن هذا المنطلق يُعد التَّلوث انتهاكًا واضحًا للحقِّ في بيئة سليمة، باعتبارها أحد شروط الحياة الكريمة.

وتؤدِّي ملوثات الهواء، النَّاتجة بشكلٍ أساسي عن الأنشطة الصناعية، والانبعاثات الضَّارة، إلى تفاقم الأمراض التَّنفسيّة وأمراض القلب، وتُعد الفئات الهشة كالأطفال، وكبار السن من أكثر المتأثرين، وتشكِّل الصِّحة البيئية أحد المرتكزات الأساسية لضمان استدامة الحياة، إذ أنَّ تلوث الهواء، والماء يُفضي إلى أمراض مزمنة، واضطرابات تنفسية، وانخفاض في جودة الحياة.

يسعى هذا البحث إلى تحليل الآثار السلبيَّة للتَّلوث البيئي، مع التَّركيز على أهمية الحفاظ على نقاء الماء والهواء، واقتراح حلول عملية تُسهم في تحقيق بيئة نظيفة وصحيَّة، إنَّ مواجهة هذه القضايا، واتخاذ خطوات فعَّالة لمعالجتها من شأنه أنْ يُحدث فارقًا ملموسًا في صِّحة الأفراد، وسلامة الأجيال المقبلة.

ويُعد تلوث الهواء من أخطر أشكال التَّلوث، لما يحتويه من غازاتٍ سامَّة، وجسيماتٍ دقيقة، وموادٍ كيميائية مسببة للرَّبو، وأمراض القلب، وأحيانًا السرطان، أما تلوث المياه، فهو يمثل تحديًا بيئيًا

بالغًا نتيجة تراكم الملوثات الكيميائية، والمخلفات الزراعية، والميكروبية، الأمر الذي يؤدِّي إلى تفشي أمراض مثل: الكوليرا، والتهاب الكبد، واضطرابات الجهاز الهضمي، ممَّا يؤكد على ضرورة حماية مصادر المياه باعتبارها أساسًا للصِّحة العامَّة.

لا يقتصر خطر التَّلوث البيئي على الصِّحة فقط؛ بل يتعدَّاه ليصبح قضية اقتصادية، وبيئية تؤثر على التَّنوع البيولوجي، وتؤدِّي إلى خسائر بشرية سنوية، ويُعد تلوث الهواء من أبرز مسببات الوفاة المبكرة عالميًا، ممَّا يستدعي وضع هذه الظاهرة على رأس الأولويات؛ لضمان بيئة آمنة وتحقيق جودة حياة أفضل.

في الدول الصناعية المتقدمة، يتم تنظيم التَّلوث البيئي، وفق إطار قانونية دقيقة، ورغم تعقيد هذه القوانين، فإنَّها أثبتت فعاليتها في الحدِّ من التدهور البيئي، ويُميز العقد الحالي بتعديلات جوهرية في التَّشريعات البيئية التي تعتمدها الأنظمة القضائية الحديثة.

ويمكن كبداية أنْ تزّود بالوسائل الشرعية لأولئك الذين يتعرضون إلى الإضرار بمصالحهم، أو حتى التَّهدِّيد بسبب التَّلوث البيئي؛ فمثلاً الدَّعاوي القانونية في الأصل، شكَّلت الدَّعامة، أو الركيزة الأولية لقانون التَّلوث البيئي في الدُّول الصناعية المقدمة مثل بريطانيا وأمريكا، ولاتزال اليوم تحظى بالأهمية البالغة، على الرغم من أنَّها دعاوي قانونية خاصَّة، وغير شاملة لأنْ تكون مقنعة للمبدأ الأساسي للنظم السائدة؛ فمثلاً الأفراد ربما ينعمون بالدَّعم لكي يضمن أحدهم حقَّه القانوني، أو أنْ يضع القانون موضع التنفيذ. (الانصاري، 2009، ص197).

2. التَّلوث البيئي وتأثيره على جودة الحياة.

يُعد التَّلوث البيئي من أبرز التَّحدِّيات التي تواجه العالم المعاصر، لما له من تداعيات عميقة على صِّحة الإنسان والبيئة، وانعكاساته الخطيرة على الحياة البريَّة، واستنزاف الموارد الطبيعية، ومن هذا المنطلق، فإنَّ التَّصدِّي لهذه الظاهرة يتطلب جهودًا منهجية، وإجراءات وقائية فعَّالة تتمثل في النقاط الرئيسة الآتية:

1. يُشكل التَّلوث البيئي تهديدًا بالغًا للصحة العامَّة، واستدامة النظم البيئية.
2. تتعدد أشكال التَّلوث لتشمل ثلاث أنماط رئيسة: تلوث الهواء، وتلوث المياه، وتلوث التربة.
3. يؤدِّي التَّلوث إلى تفاقم معدلات الإصابة بالأمراض المزمنة، والمشكلات الصِّحية الحادَّة.
4. تتطلب الوقاية من التَّلوث تضافر الجهود الجماعية، وتبنِّي ممارسات بيئية مستدامة.
5. تمثل جودة الحياة هدفًا جوهريًا في استراتيجيات الحدِّ من آثار التَّلوث البيئي.

2.1 أسباب التَّلوث البيئي:

تُعد الأنشطة الصناعية من أهم العوامل المسببة لتدهور البيئة، إذ ينتج عنها إطلاق ملوثات خطيرة تشمل المواد الكيميائية، والمعادن الثقيلة، والنِّفايات السَّامة إلى النظم الإيكولوجية، ما يؤدِّي إلى تلوث المياه والتربة، وتمتد هذه الملوثات لتشمل آثارًا صحيَّة جسيمة على الإنسان، مثل اضطرابات الجهاز العصبي، وأمراض الكلى، وبعض أنواع السرطان، وتُشير تقارير بيئية إلى أنَّ أكثر من 70% من المياه الصناعية في بعض البلدان النَّامية، يتم تصريفها مباشرةً في الأنهار، والبحيرات دون معالجة، ممَّا يؤدِّي إلى تدهور مصادر المياه العذبة.

كذلك، تُعد وسائل النقل مصدرًا رئيسيًا لانبعاثات ملوثة، نتيجة احتراق الوقود الأحفوري الذي يُطلق ثاني أكسيد الكربون، وأكاسيد النيتروجين، والجسيمات الدقيقة (PM2.5)، وهي ملوثات ثبت ارتباطها بزيادة معدلات الإصابة بأمراض القلب والجهاز التنفسي، خاصَّة بين الأطفال وكبار السن، وقد قُدّرت الوفيات المبكرة النَّاتجة عن تلوث الهواء بنحو سبع ملايين حالة سنويًا على مستوى العالم، وفقًا لتقديرات منظمة الصِّحة العالمية (WHO).

أمَّا في المجال الزراعي، فإنَّ الاستخدام المكثف للمبيدات الحشرية، والأسمدة الكيميائية يُسهم في تلويث التربة، والمياه الجوفية، ممَّا يضر بخصوبة الأرض، ويُضعف جودة المحاصيل، ويُهدد التنوع البيولوجي، كما أنَّ هذه المواد الكيميائية قد تتراكم في السلاسل الغذائية، بما يشكِّل خطرًا مباشرًا على صحة الإنسان والحيوان على حدٍّ سواء، وبناءً على ما سبق، فإنَّ أشكال التَّلوث البيئي، سواءً في الماء، أو الهواء، أو التربة، لا تمثل تهديدًا بيئيًا فحسب؛ بل تشكّل أزمة صِّحيَّة، واقتصادية، واجتماعية متفاقمة، تتطلب استجابة شاملة من خلال تبنّي سياسات بيئية صارمة، وتطبيق معايير إنتاج صديقة للبيئة، وتشجيع أساليب الزراعة المستدامة، إلى جانب تطوير وسائل نقل نظيفة، إنَّ تحسين جودة البيئة يشكِّل عاملًا حاسمًا في حماية صِّحة الإنسان، وتعزيز رفاه المجتمعات، وتحقيق أهداف التنمية المستدامة. ويمكن اختزال الأسباب الجوهرية للتلوث البيئي في ثلاث محاور رئيسة:

1. الأنشطة الصناعيَّة التي تُطلق ملوثات خطيرة إلى البيئة.
2. وسائل النقل التي تؤدِّي إلى تلوث الهواء نتيجة الانبعاثات الضَّارة.
3. الأنشطة الزراعية التي تعتمد بشكلٍ مفرط على الأسمدة، والمبيدات الكيميائية.

ومن الضروري الاعتراف بأنَّ تضافر هذه العوامل يُسهم في تدهور البيئة، والصِّحة العامَّة، ممَّا يجعل الحدِّ من مصادر التَّلوث أمرًا بالغ الأهمية في سبيل تحقيق بيئة نظيفة ومستدامة.

بالإضافة إلى العوامل المشار إليها، يبرز تأثير الحروب بوصفه أحد العوامل الجوهرية في تلويث البيئة، حيث يؤدّي إلى تدهور في جودة المياه، والهواء، والتربة، وتُعدُّ الصناعات النّفطية أحد القطاعات الأكثر تضررًا في مراحل الحرب وما بعدها، إذ تُسهم في تسرب الملوثات إلى البيئة، ممَّا يتطلب استخدام تقنيات فعَّالة للتقليل من الأضرار ومعالجتها، وتتمثل هذه الجهود في التعرّف على أنواع الملوثات النَّاتجة عن الحروب، والتي تشمل الغازات السَّامة، الجسيمات الدَّقيقة، والغبار المشبع بالمواد الكيميائية، ويُعدُّ التَّلوث النووي من أكثر أشكال التَّلوث خطورة؛ نظرًا لطبيعة مواده الإشعاعية، وآثاره التراكمية بعيدة المدى، ويُعرّف التَّلوث النووي بأنَّه وجود أو ترسب مواد مشعة في الأوساط البيئية (الصلبة، السائلة، الغازية)، سواءً كان ذلك بفعلٍ مباشر، أو عن طريق الحوادث العرضية.

ويتعلق التَّلوث الإشعاعي غالبًا بتسرب الإشعاعات النووية إلى الغلاف الجوّي أو المياه، ممَّا يعرّض الكائنات الحيَّة لأخطارٍ فادحة، ولفهم طبيعة هذا النَّوع من التَّلوث، من المهم الإشارة إلى مبدأ النشاط الإشعاعي؛ حيث تتسم بعض العناصر الكيميائية بعدم استقرار نواتها، ممَّا يدفعها لإطلاق إشعاعات خلال عملية الاضمحلال الإشعاعي، وهي الآلية التي تنتج الطَّاقة النووية، وتُطلق هذه العملية جسيمات مؤينة مثل: أشعة ألفا، وبيتا، وغاما، والنيوترونات الحُرَّة، والتي تُشكّل خطرًا كبيرًا على البيئة وصِّحة الإنسان.

تعدُّ النظائر المشعة تُسبب تلوثًا إشعاعيًا عند تسرُّبها ، وتتمثل في انفجارات الأسلحة النووية التي تسبب في انطلاق المواد المشعّة، ممَّا يرفع مستوى الإشعاع في البيئة إلى درجة لا يستطيع عندها الإنسان أنْ يتحملها، والاستمرار في البقاء؛ لأنَّها تجعل من الكرة الرضية مكانًا غير مأهول ممَّا تقضي على البشرية بأسرها، ومن النظائر المشعَّة هي السترونتيوم -9 المنطلق من الانفجاريات النووية، فالتَّلوث الإشعاعي واحد من المشاكل البيئية المهمَّة التي تجابه الإنسان في عصر الذَّرة، فإنَّ ارتفاع العناصر المشعَّة في أغذية الإنسان، والمحيطة من تربة، ونبات، وماء، وهواء، ومن العناصر المشعَّة الموجودة في الطبيعة هي: اليورانيوم، والثور يوم، والراديوم، والبوتاسيوم المشع. (جندل، 2011، ص80-87).

وقد ركزت وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA) على ست ملوثات للهواء رئيسة، تتصف بتأثير ذي شأن على الصِّحة العامَّة، والبيئة، وهي: طبقة الأوزون، والجسيمات الدَّقيقة، وأول أكسيد الكربون، وثاني أوكسيد النيتروجين، وثاني أوكسيد الكبريت، والرَّصاص. (النعيمي، 2020، ص309).

2.2 الطرق الوقائية من التَّلوث البيئي:

في ظلِّ التَّحدِّيات البيئية المتزايدة النَّاتجة عن تنامي ظاهرة التَّلوث بأنواعه المختلفة، تبرز الحاجة الملحَّة إلى تحليل دقيق، وتقييم شامل للاستراتيجيات الفعَّالة، والمبتكرة التي تهدف إلى الحدِّ من هذه الظاهرة الخطيرة، ويُعد موضوع "تقليل التَّلوث بجميع أنواعه: استراتيجيات للحدِّ من التأثير البيئي" من القضايا الحيوية التي تتطلب معالجة علمية متعمقة، ويهدف هذا المحور من البحث إلى تسليط الضوء على أبرز الأساليب والتَّقنيات الحديثة، إضافَّة إلى مراجعة السياسات والمبادرات الرَّامية إلى خفض التأثيرات البيئية النَّاجمة عن مصادر التَّلوث المتعددة، كما يؤكد على أهمية تعزيز التعاون الدولي، وتنسيق الجهود لضمان بيئة صِحيَّة، وآمنة للأجيال الحالية والمقبلة.

تتطلب مواجهة التَّلوث البيئي تطبيق مجموعة من الإجراءات الوقائية على المستويين الفردي والجماعي، للحفاظ على سلامة البيئة، وصحة الإنسان، ومن أبرز هذه الوسائل:

1. الحدّ من استخدام المواد الضَّارة: من خلال تقليل الاعتماد على المنتجات البلاستيكية، واستبدالها ببدائل قابلة للتَّحلل، أو إعادة التَّدوير.
2. استخدام مصادر الطَّاقة النَّظيفة: مثل الطَّاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطَّاقة الكهرومائية، لما لها من دور فعّال في تقليل الانبعاثات الضَّارة النَّاتجة عن احتراق الوقود الأحفوري.
3. الإدارة الفعَّالة للنفايات :عبر فرز النِّفايات من المصدر، وتشجيع عمليات إعادة التدوير، والتَّخلص السليم من المواد السَّامة.
4. الرَّقابة على الانبعاثات الصناعية: بسنِّ وتشديد القوانين البيئية للحدِّ من ملوثات المصانع والمنشآت الصناعية.
5. تعزيز الوعي البيئي :من خلال حملات التَّوعية المجتمعية والإعلامية، والمناهج التعليمية التي تُبرز أهمية الحفاظ على البيئة.
6. تشجيع وسائل النقل المستدامة: كالاعتماد على الدَّراجات، والمشي، ووسائل النَّقل العامَّة بدلاً من المركبات الخاصَّة.
7. التَّوسع في زراعة الأشجار والمساحات الخضراء: لدورها المحوري في امتصاص ثاني أكسيد الكربون، وتنقية الهواء، وتقليل الضَّوضاء.
8. تشريعات بيئية صارمة: عبر وضع سياسات ملزمة، ومتكاملة لحماية البيئة، وضمان تطبيقها بفعالية على الأفراد والمؤسسات.

توجد مواد ملوثة وذات خطورة عالية مثل: الديوكسينات وهي مواد ملوِّثة للبيئة، وتنتمي إلى مجموعة خطيرة من المواد الكيميائية تُعرف باسم "المجموعة القذرة"، وهي من الملوِّثات العضوية التي تبقى لفترة طويلة في البيئة، تحرق هذه المواد الملوثة بالطُّرق السليمة، وهي أفضل وسيلة للوقاية من التَّعرض للديوكسينات والحدِّ منه، ويمكن حرق تلك المواد أيضًا من التَّخلص من الزيوت التي تحتوي على مركبات بفينيل عديد التكلور، وتتطلب عملية الحرق دراجات حرارية عالية، أي أكثر من 850 درجة سيليزية، وللتَّخلص من كميات كبيرة من المواد الملوثة قد تتطلب تلك العملية درجات أعلى من 1000 درجة سيليزية أو أكثر. (خنفر، 2021).

تُعد إدارة النِّفايات من التَّحدِّيات البيئية الكبرى في العصر الحديث، لا سيما في ظلِّ النمو السكاني المتسارع، وارتفاع معدلات الاستهلاك، فقد أصبحت الكميات المتزايدة من النِّفايات تمثل تهديدًا فعليًا لصِّحة الإنسان، وسلامة البيئة.

ويشير مصطلح إدارة النِّفايا "إلى مجموعة من الإجراءات التي تهدف إلى تقليل كمية النِّفايات المنتجة، والحدِّ من آثارها السلبية، من خلال المعالجة وإعادة التدوير، أو التَّخلص الآمن منها. وتتلخص الخطوات العملية لإدارة النِّفايات فيما يأتي:

1. الوقاية من التَّلوث: تُعد الخيار الأمثل لمعالجة مشكلة النِّفايات، إذ تهدف إلى تقليل المخلَّفات من المصدر عبر اعتماد ممارسات استهلاك رشيد.
2. ترشيد الاستهلاك: ويشمل تقليل استخدام المنتجات ذات العمر القصير، والابتعاد عن المنتجات ذات التغليف المفرط، والاعتماد على السلع ذات الاستخدام طويل الأمد.
3. إعادة الاستخدام: تُعد من الاستراتيجيات الفعَّالة، مثل استخدام الأكياس الورقية، أو البلاستيكية القابلة لإعادة الاستخدام.
4. صيانة وإصلاح المنتجات :بدلاً من التَّخلص منها عند التَّلف، يُفضّل إصلاحها للاستفادة منها مجددًا، ما يحدّ من إنتاج النِّفايات الجديدة.
5. جمع وفرز النِّفايات: وفقًا لأنواعها (عضوية، بلاستيكية، معدنية، ورقية...) لتسهيل عمليات المعالجة وإعادة التَّدوير.
6. إعادة التدوير: تُعد إحدى أبرز الحلول المستدامة، إذ تُحوّل النِّفايات إلى مواد أولية، أو منتجات جديدة، ما يقلل من استنزاف الموارد الطبيعية، والتَّلوث البيئي.
7. التَّخلص الآمن من النِّفايات: في حال تعذّر إعادة التَّدوير، تُستخدم طرق آمنة للتَّخلص منها دون الإضرار بالبيئة.

8. الطَّمر الصِّحي هو طريقة حديثة لمعالجة النِّفايات بحيث يتم حفر حفرة في الأرض، ويتم تجهيزها بطبقة عازلة من الإسمنت، أو بنوعٍ خاص من البلاستيك؛ ليتم عزلها عن المياه الجوفية، ثم توضع فيها نفايات، ويوضع فوقها طبقة صلبة من الحصى والرمال؛ لتسهيل عملية دخول المياه الى شبكة صرف، وتوزيع النِّفايات على قاعدَّة الحفرة، وترص وتصل كمية النِّفايات الصلبة المضغوطة من (0.8-1.0) طن لكل م^2، ترص ثم تغطى بالتراب لتنزع بعد ذلك، ويتم دفن النِّفايات في مواقع مخصصة بعد معالجتها، لضمان عدم تسرب المواد الضَّارة إلى البيئة المحيطة. (النعيمي، 2021، ص309).

– مميزات وعيوب وخطوات الطَّمر الصِّحي:

- الحد من التَّلوث البيئي: من خلال عزل النِّفايات عن مصادر المياه والهواء، ممَّا يقلل من خطر تسرب الملوثات إلى البيئة المحيطة.
- الكلفة الاقتصادية: يُعد الطَّمر الصِّحي وسيلة ذات كفاءة من حيث التكلفة، مقارنَّة بطرق المعالجة الأخرى مثل: الحرق، أو المعالجة الكيميائية.
- إمكانية استصلاح الموقع: بعد انتهاء فترة الاستخدام، يمكن تحويل مواقع الطَّمر إلى حدائق عامَّة، أو مساحات خضراء تخدم المجتمع.

– خطوات الطَّمر الصِّحي:

- اختيار الموقع المناسب: بعيدًا عن المناطق السكنية، والمصادر المائية لضمان السَّلامة البيئية.
- تبطين الحفرة: باستخدام طبقات من الطِّين، أو البطانات البلاستيكية لمنع تسرب العُصارة إلى المياه الجوفية.
- تجميع العُصارة (Leachate): بواسطة أنظمة أنابيب مصممة لجمع العُصارة النَّاتجة عن النِّفايات، ثم معالجتها.
- تجميع الغازات: مثل غاز الميثان الناتج عن تحلل المواد العضوية، والذي يمكن استخدامه كمصدر للطَّاقة.
- ردم النِّفايات يوميًا: بطبقات من التربة للحد من الروائح الكريهة وانتشار الحشرات.
- إغلاق الموقع: عند انتهاء عمره التشغيلي، يتم تغطيته بطبقة ترابية سميكة، وزراعته بهدف استصلاحه بيئيًا.

– عيوب الطَّمر الصِّحي:

- استهلاك مساحات واسعة من الأراضي: ممَّا يشكل تحدِّيًا في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية.
- خطر تسرب العصارة: في حال عدم تنفيذ نظام العزل بشكلٍ فعال.
- انبعاث غاز الميثان: وهو غاز دفيء خطير، في حال لم يتم جمعه، واستغلاله بصورةٍ آمنة وفعَّالة.

9. الحرق تحت رقابة محكمة: يُعد الحرق في أفران مخصصة ذات درجات حرارة عالية من الوسائل الحديثة في تقليل حجم النِّفايات؛ بل ويمكن استخدامه لتوليد الطَّاقة، ومع ذلك، يتطلب ذلك تقنيات متقدمة لضمان تقليل الانبعاثات الضَّارة النَّاتجة عن الحرق إلى أدنى حدٍّ ممكن.

3. التكنولوجيا في الحدِّ من التَّلوث البيئي:

"تلعب التكنولوجيا دورًا محوريًا في الحدِّ من التَّلوث البيئي، حيث ساهمت في تطوير تقنيات متعددة تهدف إلى تحسين كفاءة الطَّاقة، والاعتماد على مصادر الطَّاقة المتجددة، وإدارة النِّفايات بوسائل ذكيَّة، ومعالجة المياه الملوثة بطرقٍ حديثة. وقد انعكس هذا التَّقدم بشكلٍ خاص في الحدِّ من تلوث الهواء، من خلال الاعتماد على مصادر الطَّاقة البديلة كالطَّاقة الشمسية وطاقة الرياح، استخدام أجهزة غسل الغاز لتنقية الانبعاثات الصناعية، والتَّحول إلى السيارات الكهربائية كبديل نظيف عن الوقود الأحفوري، وتطبيق فكرة الحصاد المائي في المدن للحدِّ من استنزاف الموارد، وإعادة تدوير المياه بوسائل تقنية متقدمة، واعتماد الحكومات على تقنيات الاستشعار عن بُعد لرصد ومراقبة جودة الهواء.

تلعب أجهزة الاستشعار دورًا مهمًّا في تحديد المناطق ذات التَّلوث العالي، ما يسمح للسلطات بوضع خطط فعَّالة للحدِّ من هذه الملوثات، كما تُسهم في تحذير الأفراد لتجنب التَّعرض للأماكن الخطرة، ما يدعم الصِّحة العامَّة.

– برامج مقترحة للتحكم بتلوث الهواء:

1. برنامج الحدِّ من التَّلوث الصناعي.
2. برنامج الحدِّ من ثلوث عوادم السيارات.
3. تطوير شبكات الرصد البيئي ونظام الإنذار المبكر.
4. الإعلام والتَّوعية البيئية.
5. برنامج مراقبة جدودة الهواء.

6. برنامج دراسة الآثار النَّاجمة عن ثلوث الهواء.
7. برنامج أدارة جودة الهواء.
8. ملوثات الهواء ومصادرها المختلفة داخل المباني، والآثار الصِّحية". (خنفر، 2021).

في السِّياق ذاته، تُعد التَّقنيات البيئية الحديثة، مثل الزراعة الذَّكيَّة وإدارة النِّفايات باستخدام الذكاء الاصطناعي، حلولًا استراتيجية لتقليل التأثيرات البيئية السلبية، وتُسهم هذه الابتكارات في ترشيد استخدام الموارد الطبيعية، والحدِّ من الانبعاثات الملوثة، وتعزيز الكفاءة التشغيلية للمرافق البيئية، كما تبرز التكنولوجيا الحيوية البيئية (Bioremediation) كأحد الحلول الواعدَّة، إذ تعتمد على الكائنات الحيَّة الدقيقة (كالبكتيريا والفطريات) لتحليل الملوثات العضوية، وتحويلها إلى مواد غير ضارَّة في التربة، والماء، والهواء، وتغطي تكنولوجيا حماية البيئة مجموعة واسعة من التَّطبيقات، تشمل:

أنظمة الطَّاقة النظيفة، تقنيات تنقية المياه، الصناعات ذات الانبعاثات المنخفضة، وذلك بهدف الحفاظ على التَّنوع البيولوجي، وضمان استدامة الموارد الطبيعية.

تُعد التكنولوجيا البيئية أيضًا أداة فعَّالة للنمو الاقتصادي المستدام، إذ تفتح آفاقًا جديدة أمام المشاريع الخضراء، وتُعزز من فرص الابتكار في ظلِّ التَّحدِّيات البيئية العالمية، والحلول العملية والمستدامة لضمان بيئة صحية وآمنة، تشمل الاستراتيجيات العملية لتحقيق بيئة مستدامة مزيجًا متكاملًا من التَّقنيات الحديثة، والتَّشريعات البيئية، والتَّحولات المجتمعية في السلوك والوعي، ويمكن تصنيف هذه الحلول حسب المجالات الآتية:

أولًا: في مجال الطَّاقة:

- التَّحول إلى مصادر الطَّاقة المتجددة: الطَّاقة المتجددة من موارد طبيعية خلقها الله، ووهبها القدرة في أنْ تجدد بشكلٍ طبيعي، يوجد العديد من مصادر الطَّاقة المتجددة الرئيسية مثل: الطَّاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطَّاقة الكهرومائية، لتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، الحرارة الجوفية (حرارة باطن الأرض)، طاقة المدِّ والجزر والتسخين في المحيطات. (مصطفى، 2023، ص37).
- تحسين كفاءة الطَّاقة: عبر استخدام أجهزة موفرة للطاقة، وتطبيق مفاهيم البناء الأخضر (Green Building)، التي تعتمد على العزل الحراري الجيِّد، وأنظمة تهوية ذكيَّة صديقة للبيئة.

يهدف هذا القسم الى عرض نماذج لسياسات وقوانين وتشريعات قامت بها العديد من الدُّول المتقدمة، والنَّامية على حدٍّ سواء، بهدف زيادة نشر استخدام الطَّاقة المتجددة، وتشجيع القطاع الخاص على الاستثمار في المجال، والتي تنتجها حوالي خمسون دولة من دول العالم، ويمكن تقسيم تلك السياسات إلى ثلاث محاور أساسية وهي:

1. تنمية الطلب والإنتاج.
2. تشجيع التصنيع المحلي لمعدات الطَّاقة المتجددة (خاصة في البلاد النَّامية).
3. دعم الطَّاقة المتجددة.

وتشمل القوانين الخاصَّة بالطَّاقة المتجددة على قوانين خاصَّة بتنمية وتشجيع الطَّاقة المتجددة، أو قوانين خاصَّة بتحسين كفاءة واستخدام الطَّاقة. (أحمد، 2016، ص107-108).

ثانيًا: في مجال إدارة النِّفايات:

- إعادة التدوير: من خلال تشجيع فرز النِّفايات في المصدر، وتعزيز عمليات إعادة التَّدوير للمواد المختلفة مثل: الورق، والبلاستيك، والمعادن.
- تحويل النِّفايات إلى طاقة: باستخدام تقنيات مثل: الحرق الآمن، أو الهضم اللاهوائي لإنتاج الكهرباء من النِّفايات العضوية.
- التقليل من استخدام البلاستيك: عبر استبداله بمواد قابلة للتَّحلل، أو متعددة الاستخدام.

ثالثًا : في مجال المياه:

- معالجة مياه الصرف الصِّحي: باستعمال تقنيات متطورة لإعادة استخدامها في الزراعة، أو الصناعة.
- الحصاد المائي: جمع مياه الأمطار، وتخزينها كمصدر بديل في فترات الجفاف.
- تحلية المياه بالطَّاقة المتجددة: لتقليل الأثر البيئي المرتبط بتحلية المياه التقليدية.

رابعًا: في جودة الهواء:

- تعزيز وسائل النقل المستدام: مثل السيارات الكهربائية، والدَّراجات الهوائية، والمواصلات العامَّة.
- التَّحكم في الانبعاثات الصناعية: من خلال تركيب فلاتر وأجهزة مراقبة بيئية ذكية.
- توسيع الغطاء النباتي: عبر زراعة الأشجار، والمساحات الخضراء التي تمتص ثاني أكسيد الكربون، وتُحسّن جودة الهواء.

خامسًا: في السياسات والتوعية:

- سنّ قوانين بيئية صارمة: تُلزم الأفراد والمؤسسات بالامتثال للمعايير البيئية.
- دمج المفاهيم البيئية في التعليم: عبر إدراج التربية البيئية في المناهج الدراسية.
- تحفيز البحث العلمي والتَّقنيات الخضراء: من خلال دعم مشروعات صديقة للبيئة بالتَّعاون بين القطاعين العام، والخاص.

سادسًا: الحلول الرَّقمية والذَّكيَّة:

- استخدام تقنيات الذَّكاء الاصطناعي، والاستشعار عن بُعد: لرصد التَّلوث، وتحليل البيانات البيئية.
- الزراعة الذكية: باستخدام الرَّي بالتنقيط، وأجهزة الاستشعار لتقليل استهلاك الماء والأسمدة.

3.1 إيجابيات التكنولوجيا البيئية في الحدِّ من التَّلوث:

1. دقَّة وكفاءة عالية في الرصد والمعالجة: بفضل أجهزة الاستشعار والطَّائرات بدون طيَّار، إلى جانب أنظمة الذَّكاء الاصطناعي، يمكن رصد جودة الهواء، والماء بسرعة وكفاءة.
2. الحدّ من الاعتماد على المصادر الملوِّثة: من خلال الانتقال إلى مصادر الطَّاقة النَّظيفة مثل: الطَّاقة الشمسية، وطاقة الرِّياح.
3. فعالية أنظمة إعادة التَّدوير: حيث تُسهم تقنيات الفرز الذَّكي في تقليل النِّفايات، وتحسين كفاءة التَّدوير.
4. تطوير أساليب معالجة الهواء والماء: باستخدام تكنولوجيا مثل: الطِّلاءات النانوية، والفلاتر الذَّكية، التي تزيل الملوثات الدَّقيقة بفعالية.
5. استدامة طويلة المدى: إذ تمَّ تصميم التَّقنيات البيئية لتقليل الأثر البيئي على المدى البعيد.
6. تقليل التكاليف التشغيلية على المدى الطويل: رغم أنَّ تكاليفها الأولية قد تكون مرتفعة، فإنها تقلل من الأعباء الاقتصادية النَّاتجة عن التَّلوث، مثل تكاليف الرِّعاية الصِّحية.

3.2 سلبيات التكنولوجيا البيئية في الحدِّ من التَّلوث:

1. ارتفاع التكلفة الأولية: فبعض التَّقنيات كتحلِّية المياه بالنانو، أو بناء محطات الطَّاقة المتجددة تتطلب استثمارات ضخمة.
2. عدم المساواة في التوزيع العالمي: حيث تُواجه الدول النَّامية صعوبات في الوصول إلى هذه التَّقنيات، ممَّا يخلق فجوة بيئية.

3. الاعتماد المفرط على التَّقنية دون وعي مجتمعي: فالتكنولوجيا لا تُعد حلاً كافيًا إنْ لم تترافق مع تغيير في سلوك الأفراد، والمجتمعات.

4. ظهور ملوثات بيئية جديدة: مثل نفايات تقنيات النانو، أو البطَّاريَّات المستخدمة، والتي تتطلب طرقًا خاصَّة، وآمنة للتَّخلص منها.

5. ضعف البنية التحتية: في بعض البلدان، لا يمكن دمج هذه التكنولوجيا الحديثة بسهولة في الأنظمة القديمة للمياه والطَّاقة.

لقد ساهمت التكنولوجيا الحديثة في تحقيق تقدم كبير في مجال الحدِّ من التَّلوث، من خلال توفير أدوات دقيقة للرَّصد والمعالجة، واستخدام تقنيات مستدامة في الطَّاقة، والنقل والصناعة، إلاَّ أنَّ هذا التقدم لا يخلو من تحدِّيات، أبرزها ارتفاع التكاليف الأولية، وعدم تكافؤ فرص الوصول إلى هذه التكنولوجيا بين الدُّول، إضافةً إلى بعض المخاطر البيئية المرتبطة بالاستخدام غير المدروس لبعض التَّقنيات الجديدة؛ لذا، فإنَّ تحقيق التَّوازن بين التقدم التكنولوجي، والوعي البيئي يعد أمرًا أساسيًا لضمان نجاح الجهود البيئية على المدى الطويل.

إنَّ الأضرار النَّاتجة عن الأنشطة التكنولوجية الحديثة لا تقتصر على الجوانب المادِّية "كتلوث البيئي مثلاً" و إنَّما هنالك أنشطة أخرى ذات آثار معنوية كبيرة أصبحت تهدد المقومات الثقافية للدول، ومن ثمَّ تهديد النظام العام، والآداب العامَّة والأخلاق، وهي من أهم مقومات استقرار الدول. (جبار، 2019، ص15).

4. أهمية التربية في تحسين نوعية حياة مجتمعنا المعاصر:

إنَّ الاهتمامات البيئية، تمتد من أعماق البحار إلى طبقات الأوزون الناضبة في طبقات الجو العليا، وأنَّ مشكلة التَّلوث البيئي لم تبدأ قبل عشرات السنين، إنما ابتدأت منذ أنْ قام الإنسان بقطع الأشجار لاستخدامها في حياته اليومية من بناء المساكن حتى رميها في الأنهار على شكل نفايات.

أخذ التَّدهور البيئي بعد هذا بشقّ طريقه تدريجيًا نتيجة التَّطور السريع في شتي المجالات لتتسع دائرة المشكلات البيئية حتى أصبحت الحاجة مُلحَّة لتقييم الوضع الحالي للإفادة من التكنولوجيا الحديثة في وضع حلول ناجحة للحدِّ من مشكلة التَّلوث.

وبالرغم من المحاولات والجهود البالغة الأهمية التي تبذل من أجل البيئة المتمثلة في سن التشريعات، والسياسات البيئية، إلا أنَّ الحلَّ الأمثل يكمن في تكوين الإنسان، وتنشئته، وتوعيته وعيًا تامًّا يصل إلى ضميره، ويتحـول إلى قيم اجتماعية لديه توجه سلوكه اليومي، وتعتبره جـزءًا من

هذه البيئة، ومسؤولاً عن عدم الإخلال بها. (حسين، 2010، ص186).

5. الدراسات السابقة:

شهدت السنوات الأخيرة تزايدًا ملحوظًا في عدد الدراسات العلمية التي تناولت تطبيقات تكنولوجيا النانو قادرًا على توفير أنظمة كشف أكثر حساسية لمراقبة جودة الهواء، والماء، ممَّا يسمح بالقياس المتزامن لمعلمات متعددة، وقدرة الاستجابة في الوقت الفعلي، يتم تطوير المحفزات الضوئية لجسيمات ثاني أكسيد التيتانيوم النانوية لإنشاء التنظيف الذَّاتي الأسطح الذي تقلل التَّلوث الموجود.(الشمري، 2023، ص229).

تُعد الدراسات السابقة، خاصَّة في مجال تلوث الهواء، مرجعًا مهمًا لفهم فعالية الطِّلاءات النانوية الذَّاتية التنظيف، نظرًا لما تتمتع به من خصائص فريدة في التَّحفيز الضوئي، والتفاعل الكيميائي مع الملوثات العضوية والغازية.

ففي دراسة Nakagawa وآخرون (2019) التي أُجريت في اليابان، تمَّ إثبات قدرة الطِّلاءات النانوية المحتوية على ثاني أكسيد التيتانيومTio_2 على تقليل تركيز أكاسيد النيتروجين NO_xفي الهواء بنسبة وصلت إلى 70%، عند تعرّضها لأشعة الشمس، في بيئة حضرية شديدة التَّلوث مثل طوكيو.

أما دراسة Chen et al. (2016)، فقد تناولت تقييم فعالية الطِّلاءات النانوية في تحلل المركبات العضوية المتطايرة (VOCs) تحت ظروف مختبرية، وأكَّدت أنَّ "استخدام أشعة UV – وهي نوع من الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من الشمس، ذات طول موجي أقصر من الضوء المرئي وأطول من الأشعة السينية – معTio_2 يُسرّع من عملية التفكيك الضوئي للملوثات".

كما أظهرت دراسة أجريت عام (2020) في إسبانيا كفاءة الطِّلاءات النانوية عند تطبيقها على واجهات المباني المعمارية، حيث أسهمت في تقليل تراكم الجسيمات الدقيقة (PM2.5)، وقد أوصت الدراسة بإدماج هذه التكنولوجيا ضمن استراتيجيات تخطيط المدن الذكية.

وفي إطار التَّطبيقات الميدانية، قامت جامعة روما عام 2010 بدراسة تطبيقية على كاتدرائية سانت لويس، وأظهرت النتائج انخفاضًا بنسبة 50% في تراكيز NO_x في محيط المبنى، ما يؤكد فعالية هذه التَّقنية في البيئات التاريخية والحضرية.

كما تُشير الدراسات التي أُجريت في السعودية ومصر إلى إمكانيات واعدَّة للطلاءات النانوية في البيئات الصحراوية، مع توصيات بتطوير تركيبات نانوية أكثر قدرة على مقاومة الظروف المناخية

القاسية مثل: الغبار، والحرارة العالية.

تُظهر هذه الدراسات مجتمعة أنَّ الطِّلاءات النانوية ليست فقط فعَّالة من حيث الأداء البيئي، بل تمثل كذلك خيارًا مستدامًا منخفض التكلفة نسبيًا على المدى الطويل، هذا يعزّز أهمية الدراسة الحالية، التي تهدف إلى تقييم إمكانية تطبيق هذه التَّقنية في السّياق الليبي، خصوصًا في مدينة سرت التي تشهد توسعًا عمرانيًا متسارعًا، وتواجه تحدّيات بيئية حقيقية.

6. منهجية الدراسة:

تمَّ اعتماد المنهج التجريبي التطبيقي لتقييم فعالية الطِّلاءات النانوية الذَّاتية التنظيف المعتمدة على Tio_2 في الحدِّ من تراكم الملوثات الهوائية وتحسين جودة الهواء في البيئات الحضرية، مع اختيار مدينة سرت كنموذج محلي للتطبيق، واختيار مدينة سرت كنموذج تطبيقي جاء اختيار سرت نتيجة لما تشهده من نهضة عمرانية متسارعة، وتوسع في الأنشطة الصناعية والمرورية، إضافة إلى تعرضها لعوامل طبيعية قاسية مثل العواصف الترابية، وقد جعلت هذه الظروف المدينة موقعًا مثاليًا لاختبار فعالية الطِّلاءات النانوية في ظروف واقعية تعكس البيئة الليبية.

"تمَّ إعداد تجربة محاكاة بيئية تحاكي الخصائص المناخية لمدينة سرت، من خلال تجهيز عينات سطحية مُعالَجة بطلاء نانوي يحتوي على ثاني أكسيد التيتانيوم Tio_2 وأخرى غير معالجة، ثم تعريضها لمصادر تلوث تمثل مكوّنات الهواء المحلي، بما في ذلك الغبار الصناعي، والكربون الأسود الناتج عن عوادم المركبات، ورذاذ الزيوت الناتج عن الأنشطة الحضرية، وقد استندت الدراسة إلى منهج القياس المقارن، بالاعتماد على أدوات تحليل كميَّة ونوعيَّة لرصد الفروقات بين العينات".

تقنيات كميَّة ونوعية:

- مقياس العكارة: لقياس معدل تراكم الملوثات على الأسطح.
- التصوير الرقمي عالي الدِّقة : لتوثيق التَّغيُّرات البصرية.
- تحليل الصور باستخدام برنامج :Imagej للحصول على مؤشرات كمية دقيقة بشأن فعالية التنظيف الذاتي.

– خطوات التجربة العملية:

1. اختيار مواد وأدوات مقاومة لحرارة الشمس، والغبار، وظروف الإشعاع في سرت.
2. تحضير مجموعتين من الأسطح (مطلي وغير مطلي) .
3. تعريض العينات لضوء الشمس الطبيعي وأشعة UV لمحاكاة ظروف النهار والليل.
4. تطبيق مواد ملوثة تمَّ تحضيرها محليًا لتعكس مكونات التَّلوث الفعلي في المدينة.

5.تسجيل التَّغيُّرات في نظافة السطح قبل وبعد المعالجة.

6.تحليل النتائج باستخدام برمجيات مفتوحة المصدر للحصول على مؤشرات كمية دقيقة.

7.صياغة استنتاجات وتوصيات قابلة للتطبيق على نطاق عمراني واسع في سرت.

تعزز هذه المنهجية الفهم التطبيقي لتقنية الطِّلاءات النانوية في بيئة حضرية حقيقية، ممَّا يمنح نتائج الدراسة قيمة عملية مباشرة لصنّاع القرار، والجهات المعنيَّة بالتخطيط الحضري في سرت، وتُبرز التجربة أيضًا فعالية الطِّلاءات عند الاعتماد على مصادر ضوء طبيعية، وهو ما يعزِّز من جدواها البيئية، والاقتصادية في المدن المشمسة مثل سرت.

7 .الجزء العملي:

تطبيق الطِّلاءات النانوية الذَّاتية التنظيف، وتقنيات النانو في مدينة سرت لتحسين جودة الهواء، ومعالجة المياه تواجه مدينة سرت الليبية تحدِّيات بيئية متزايدة نتيجة التَّوسع العمراني السريع والارتفاع المستمر في الكثافة السكانية، الأمر الذي أدى إلى تفاقم معدلات التَّلوث الهوائي، والمائي في عدد من مناطقها الحضرية، وفي إطار البحث عن حلول فعَّالة ومستدامة، برزت أهمية توظيف تقنيات النانو، ولا سيما الطِّلاءات النانوية الذَّاتية التنظيف، كأحد الابتكارات العلمية الواعدَّة لتحسين جودة البيئة في المدينة، يركّز هذا الجزء العملي من الدراسة على تقييم فعالية استخدام مادة ثاني أكسيد التيتانيوم Tio_2 ضمن طلاءات نانوية للحدِّ من تلوث الهواء، مع استعراض إمكانات الاستفادة من تكنولوجيا النانو في تنقية المياه، كجزء من خطة بيئية مستقبلية متكاملة للمدينة.

7.1 تطبيق الطِّلاءات النانوية في البيئة الحضرية لمدينة سرت:

تمَّ تنفيذ تجربة ميدانية محلية تحاكي الخصائص المناخية لمدينة سرت، والتي تتميز بدرجات حرارة مرتفعة، وشدة إشعاع شمسي عالية، وانتشار واسع للغبار الناتج عن العواصف الترابية، وقد اعتمدت التجربة على استخدام نماذج من الأسطح التي تمثل المواد الشائعة في الأبنية المحلية، مثل الزجاج، والخرسانة، والبلاستيك، طُليت مجموعة من هذه الأسطح بطبقة نانوية تعتمد على مادة Tio_2، بينما تُركت مجموعة أخرى دون طلاء لتكون بمثابة عينات ضابطة لغرض المقارنة.

وقد تمَّ تعريض العينات لمصادر تلوث محلية تحاكي الواقع البيئي في المدينة، شملت:

- الغبار الصناعي الناتج عن الأنشطة الإنتاجية.
- رذاذ زيتي يحاكي ملوثات المركبات.
- الكربون الأسود كممثل لمخلفات العوادم والانبعاثات الدخانية.

خلال فترة التجربة، خضعت الأسطح لتعرُّض مباشر لأشعة الشمس الطبيعية، وتمَّ استخدام مقياس العكارة إلى جانب التحليل الرقمي للصور لقياس التَّغيُّرات في مستوى التَّلوث الظاهري للأسطح، وقد أظهرت النتائج تفوق الأسطح المطليَّة في الحفاظ على نظافتها، وتفكيك التَّراكمات العضوية تلقائيًا، مستفيدة من آلية التحفيز الضوئي الطبيعي التي تفعّل خصائص Tio_2 دون الحاجة إلى تدخل بشري أو استهلاك طاقة، وهي ميزة حيوية في بيئة مشمسة مثل سرت.

7.1.1 التكامل مع مشاريع التطوير العمراني في سرت:

تُعد مدينة سرت من المراكز الحضرية الليبية التي تشهد نهضة عمرانية كبيرة، تشمل إنشاء مرافق سكنية وتعليمية وصحية حديثة، ويمكن أنْ تُسهم الطِّلاءات النانوية في دعم هذا التَّوسع الحضري من خلال دمجها في المكونات المعمارية، والبنية التحتية، وذلك على النحو الآتي:

- استخدام الطِّلاءات على واجهات المباني العامَّة والخاصَّة.
- تطبيقها على الأرصفة والطرق الرئيسية داخل المدينة.
- تفعيل استخدامها في مداخل المؤسسات التعليمية والمرافق الصِّحية.
- تغليف المنشآت الصناعية والورش الحضرية بها.

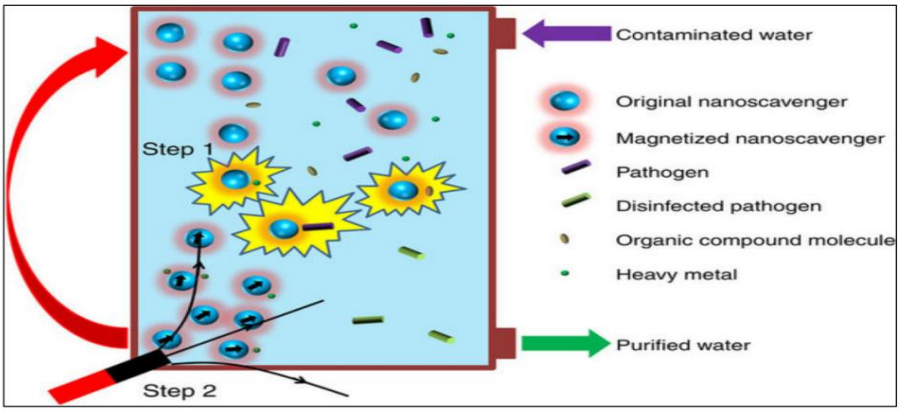
يُسهم هذا التكامل في تقليل التَّلوث الهوائي بشكلٍ سلبي وفعّال، دون تحميل المدينة أعباء تشغيلية، أو صيانة مكثفة، نظرًا لطول عمر هذه الطِّلاءات، ومقاومتها العالية للظروف البيئية القاسية.

7.1.2 الاستفادة من تقنيات النانو في معالجة المياه داخل مدينة سرت:

أثبتت التّطبيقات الحديثة في مجال تكنولوجيا النانو فعاليتها في معالجة المياه، حيث نجح المركز البيولوجي والبيئي لتكنولوجيا النانو في تطوير غشاء تفاعلي مصنوع من أكسيد الحديد الخزفي يُستخدم لإزالة الملوثات العضوية وغير العضوية من المياه، كما تمَّ استخدام أكسيد الألومنيوم النانوي لتطوير أغشية ذات قابلية عالية للتَّحكم في السُّمك، وحجم المسام، ومستوى النفاذية، ما يسمح بتعديلها حسب طبيعة المياه المراد معالجتها.

وتكمن أهمية المواد المحفزة النانوية في خصائصها الفريدة، ومنها المساحة السطحية الكبيرة التي تُعزز من تفاعلها مع الملوثات بشكلٍ أكثر كفاءة مقارنة بالمواد التقليدية، وقد تمَّ توظيف هذه المواد فعليًا في معالجة المياه الجوفية الملوثة، حيث أظهرت نتائج مبشّرة في إزالة ملوثات عضوية ومعدنية خطرة، وهو ما يُعزز إمكانية استخدامها مستقبلاً في مدينة سرت، خاصَّة في ظلِّ محدودية الموارد المائية النَّقيَّة، وزيادة الضغط على البنية التحتية المائية.

الشكل (1) يوضح استخدام النانو ذات الخواص المغناطيسية لتنقية المياه.



وتصنَّف منتجات تقنية النانو المستخدمة في معالجة وتنقية المياه الى ثلاث أنواع هي:

1. مرشحات غذائية بمسامات نانو مترية.
2. حبيبيات نانو مترية ماصَّة بمسامات والملوثات.
3. حبيبيات حفازة نانو مترية مفتتة للسموم والملوثات.

كما وفرت التَّقنية النانونية منتجات خدمية مفيدة عبارة عن أجهزة تحسس بمقاسات نانو مترية تؤدِّي مهام استكشاف وتعرف على الكائنات الجرثومية. (دريالة و حمزة، 2016، ص49-50).

"نظرًا لشح مصادر المياه النظيفة في بعض مناطق مدينة سرت، ووجود عدد من الآبار التي قد تتعرض لتلوث بكتيري أو كيميائي، تبرز الحاجة الماسَّة إلى توظيف تقنيات النانو كأداة فعَّالة لتنقية المياه، ويمكن في هذا السِّياق استخدام الأغشية النانوية (Nano Membranes) أو جسيمات Tio_2 النانوية بهدف:

- القضاء على البكتيريا والفيروسات.
- تفكيك المركبات العضوية الضَّارة.
- ترسيب المعادن الثقيلة والملوثات الصناعية.

ويُقترح تطبيق هذه التكنولوجيا ضمن محطات تنقية متنقلة صغيرة تُخصص لخدمة أحياء محددة، أو في مرافق حيوية كالمستشفيات والمدارس، بما يضمن توفير مياه نظيفة وآمنة، ويتماشى هذا التَّوجه مع أهداف التنمية المستدامة، لاسيما الهدف السادس (SDG 6) المتعلق بتوفير المياه وخدمات الصرف الصِّحي للجميع، والهدف الحادي عشر (SDG 11) الدَّاعي إلى بناء مدن

ومستوطنات بشرية آمنة ومرنة ومستدامة."

7.1.3 التكامل بين تقنيات تحسين جودة الهواء والماء باستخدام النانو:

يُوصى من خلال هذا الجزء العملي بتبنّي مقاربة بيئية شاملة لمدينة سرت، تقوم بدمج تطبيقات الطِّلاءات النانوية الذَّاتية التنظيف في تحسين جودة الهواء، مع توظيف تقنيات النانو في معالجة المياه، ضمن إطار برنامج تنموي متكامل، ويُعد هذا التَّكامل بين الحلول النانوية في مجالي الهواء والماء خطوة استراتيجية نحو تحويل سرت إلى نموذج لمدينة ذكية بيئيًا، تعتمد في بنيتها التحتية على تقنيات مستدامة وفعَّالة، تُسهم في تعزيز جودة الحياة، وتقليل الأثر البيئي بطريقة اقتصادية وقابلة للتنفيذ في السِّياقات الحضرية الليبية.

7.2 أهمية الدراسة:

تُعد هذه الدراسة ذات أهمية استراتيجية في ضوء ما تشهده مدينة سرت من توسع عمراني متسارع، يرافقه تزايد ملحوظ في التَّحدِّيات البيئية، لا سيما تلك المرتبطة بتلوث الهواء، وتدهور جودة المياه في بعض الأحياء؛ فمع تصاعد كثافة حركة المركبات، وتوسع الأنشطة الصناعية، وتكرار العواصف الرَّمليّة، برزت الحاجة الملحة إلى اعتماد حلول تقنية متقدمة ومستدامة تعزز من جودة الحياة وتحد من الأثر البيئي.

تتجلى القيمة العلمية لهذه الدراسة في تركيزها على تطبيق الطِّلاءات النانوية الذَّاتية التَّنظيف، المعتمدة على ثاني أكسيد التيتانيوم Tio_2، كأحد الحلول الذَّكية لمعالجة تراكم الملوثات على الأسطح الخارجية للبنية التحتية في سرت، بما في ذلك المباني، الطرق، والمنشآت العامَّة، وتتميز هذه التَّقنية بقدرتها على تحلل المركبات العضوية والغازية الضَّارة من خلال التحفيز الضوئي الطبيعي، وهو ما يجعلها ملائمة تمامًا للبيئة الليبية التي تتميز بإشعاع شمسي قوي ومستمر.

كما تستند الدراسة إلى تجارب محاكاة واقعية لبيئة سرت المناخية والمادِّية، ممَّا يضفي على نتائجها درجة عالية من المصداقية العلمية، ويُتيح إمكانية التطبيق العملي المباشر، وتمثل هذه التَّجربة مساهمة نوعية في إدماج مفاهيم الاستدامة، والابتكار التكنولوجي في السياسات والمشاريع الحضرية في ليبيا.

وتمتد أهمية الدراسة أيضًا إلى استكشاف إمكانيات توظيف تقنيات النانو في مجال تنقية المياه، خاصَّة في ظلّ محدودية الموارد المائية، وتلوث بعض الآبار بالمركبات الكيميائية، أو البكتيرية، وتوفر الأغشية النانوية، وجزيئات Tio_2 حلولًا فعَّالة، وقليلة التَّكلفة، مقارنَة بالأساليب التقليدية، لمعالجة المياه في البيئات الشبه حضرية.

وبناءً على ما سبق، لا تقتصر أهمية الدراسة على إثبات الجدوى التَّقنية والبيئية لهذه الحلول، بل تتعداها إلى تقديم نموذج تطبيقي واقعي، وقابل للتَّكرار، ويعكس رؤية متكاملة نحو تحويل سرت إلى مدينة مستدامة وذكيَّة بيئيًا، في انسجام مع أهداف التنمية الوطنية، والتَّحول الأخضر في ليبيا.

7.3 أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة التطبيقية إلى استكشاف وتقييم إمكانيات توظيف تكنولوجيا النانو، وبشكلٍ خاص الطِّلاءات النانوية الذَّاتية التنظيف المعتمدة على ثاني أكسيد التيتانيوم Tio_2، في الحدِّ من تلوث الهواء، وتحسين البيئة الحضرية في مدينة سرت، التي تشهد نموًا عمرانيًا متسارعًا، وتتمثل الأهداف التفصيلية للدراسة فيما يأتي:

1. تقييم مدى فعالية الطِّلاءات النانوية في الحدِّ من التَّلوث الهوائي في المناطق الحضرية بمدينة سرت، عبر الحدِّ من تراكم الملوثات على الأسطح الخارجية المكشوفة.
2. اختبار كفاءة جسيمات Tio_2 النانوية في تفكيك الجسيمات الدقيقة، والمركبات الغازية الضَّارة، مثل أكاسيد النيتروجين NO_x والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs)، باستخدام التحفيز الضوئي الطبيعي في بيئة سرت الصحراوية.
3. دراسة تأثير العوامل المناخية المحلية في سرت، كالعواصف الرَّمليّة ودرجات الحرارة المرتفعة والرطوبة، على أداء واستمرارية الطِّلاءات النانوية على المدى المتوسط والطويل.
4. مقارنة أداء الطِّلاءات النانوية عند تطبيقها على أنواع مختلفة من الأسطح المنتشرة في البنيّة التحتية للمدينة، كالمعادن، الخرسانة، السيراميك، والزجاج، مع التَّركيز على المنشآت العامَّة، والطرق الحيوية.
5. قياس الفروقات الكمية في تراكيز الملوثات قبل وبعد استخدام الطِّلاءات، بالاعتماد على أدوات تحليل رقمية دقيقة تضمن موثوقية النتائج وتدعم صناعة القرار البيئي.
6. تقييم مدى استدامة هذه الطِّلاءات من حيث متانتها، ومتطلبات صيانتها، وأدائها تحت ظروف التشغيل الواقعية.
7. إجراء دراسة جدوى أولية لتطبيق الطِّلاءات النانوية في مشاريع البنيّة التَّحتية بسرت، وتحليل مدى ملاءمتها للموارد المالية، والإدارية المتاحة لدى الجِّهات المحلِّية.
8. اقتراح مشروع تجريبي حضري لاستخدام هذه الطِّلاءات في مناطق مختارة داخل المدينة، كنموذج أولي قابل للتَّوسعة في المستقبل.

9. بحث إمكانات استخدام تقنيات النانو في معالجة المياه، من خلال تقديم تصورات أولية لتطبيق الأغشية النانوية، أو المواد المحفزة ضوئيًا في تنقية مياه الآبار، أو محطات التَّحلية المصغرة بالمناطق شبه الحضرية.
10. تحديد مؤشرات بيئية قابلة للقياس لتقييم تأثير التكنولوجيا على جودة الهواء والماء، بما يُسهم في بناء قواعد بيانات بيئية دقيقة.
11. تعزيز الوعي المجتمعي والمؤسسي بأهمية الحلول البيئية القائمة على تكنولوجيا النانو، وتشجيع تبنّيها في الأوساط البلدية، والسُّكانية داخل سرت.
12. تقديم مجموعة من التَّوصيات العملية لصانعي القرار بشأن إمكانية إدماج تقنيات النانو في السياسات البيئية والتنموية الوطنية، بما يُعزز توجُّه المدن الليبية نحو التَّحول الذكي والمستدام.

7.4 المواد والأدوات المستخدمة:

اعتمدت هذه الدراسة على مجموعة من المواد والأدوات التي تمَّ اختيارها بعناية لتتناسب مع الخصائص البيئية لمدينة سرت، بما يتيح محاكاة واقعية للتَّحديات المناخية، والملوثات المنتشرة فيها، وقد تمَّ التَّركيز على استخدام مكونات قابلة للتطبيق الميداني ضمن السياق الليبي، مع ضمان دقة النتائج وموثوقيتها لإمكانية تعميمها مستقبلاً على نطاق واسع ضمن مشاريع البنيَّة التحتية المستدامة.

أولاً: المادة النانوية الأساسية:

- ثاني أكسيد التيتانيوم Tio_2 بصيغة نانوية، نظرًا لخواصه الفوتو كيميائية الممتازة، وقدرته العالية على التَّحفيز الضوئي لتفكيك المركبات العضوية والغازية، عند تعرضه لأشعة الشمس، ويُعد Tio_2 من أكثر المواد ملاءمة للمناخ الليبي، خاصَّة في سرت التي تتميز بتعرُّض دائم، ومكثف للإشعاع الشمسي الطبيعي.

ثانيًا: الأسطح المستخدمة في التطبيق:

- تمَّ استخدام ألواح زجاجية وبلاستيكية متجانسة من حيث الحجم والملمس، تمَّ طلاء مجموعة منها بمادة Tio_2 النانوية، فيما تُركت مجموعة أخرى بدون طلاء؛ لتكون بمثابة مجموعة ضابطة للمقارنة.
- تمَّ اختيار هذه الأنواع من الأسطح لتوافقها مع المواد الشائعة الاستخدام في واجهات المباني، والنوافذ داخل الأحياء العمرانية الحديثة في سرت.

ثالثًا: أدوات القياس والتحليل:

- أجهزة مراقبة تركيز ثاني أكسيد النيتروجين: No_2 مُخصصة لقياس تراكيز الملوثات الغازية في الهواء، وتسمح بقياس دقيق في مختلف الظروف البيئية.
- كاميرا رقمية عالية الدِّقة: لالتقاط صور توثيقية لمراحل التجربة المختلفة، وتسجيل التَّغيُّرات المرئية في نظافة الأسطح.
- برنامج تحليل الصور :Imagej لتحليل التباين اللوني وتحديد الفروقات الكميَّة بين الأسطح المطليَّة، وغير المطليَّة بدقة.

رابعًا: مصادر الضوء المستخدمة:

- الضوء الطبيعي (أشعة الشمس): شكّل المصدر الرئيس للتَّحفيز الضوئي، مستفيدًا من شدة الإشعاع الشمسي المتوفرة في سرت، لا سيما الأشعة فوق البنفسجية.(UV)
- مصدر ضوء صناعي :UV-A استُخدم في بيئة تجريبية داخلية لمحاكاة ظروف الظلِّ أو الليل، بهدف ضمان استمرارية التَّفاعل الضوئي في جميع مراحل التجربة.

خامسًا: المواد المحاكاة للملوثات:

تمَّ تصنيع مواد ملوثة اصطناعية تمثل التراكيب الكيميائية، والسلوك البيئي للملوثات الفعلية المنتشرة في سرت، بما يسمح بمحاكاة دقيقة لواقع المدينة، وشملت ما يأتي:

1. غبار صناعي دقيق: يمثل الجسيمات العالقة النَّاتجة عن العواصف الترابية المنتظمة.
2. رذاذ زيت معدني: يحاكي الانبعاثات النَّاتجة عن عوادم المركبات، والمولدات المستخدمة على نطاق واسع في المناطق السكنية والتجارية.
3. جسيمات كربونية: (Carbon Black) تحاكي نواتج الاحتراق غير الكامل للوقود والنِّفايات، والتي تعدُّ من أبرز مكونات التَّلوث الحضري.

7.5 طريقة العمل (إجراءات الدراسة):

نُفّذ الجانب التجريبي من هذه الدراسة في مدينة سرت، التي تشهد توسعًا حضريًا متسارعًا وتتعرض لظروف مناخية قاسية تشمل الإشعاع الشمسي المرتفع وتكرار العواصف الترابية، وقد هدفت التجربة إلى تقييم فعالية الطِّلاءات النانوية الذَّاتية التَّنظيف، المعتمدة على ثاني أكسيد التيتانيوم Tio_2 في تقليل تراكم الملوثات الهوائية على الأسطح الخارجية للمباني، والمنشآت الحضرية.

خطوات تنفيذ التجربة كانت كما يأتي:

1.تحضير العينات:

جُهزت مجموعة من الألواح الزجاجية والبلاستيكية ذات حجم وملمس متماثلين، بما يعكس المواد المستخدمة فعليًا في واجهات المباني المحلية.

قُسّمت العينات إلى مجموعتين:

- المجموعة المعالجة (المطليَّة): طُليت باستخدام محلول نانوي يحتوي على Tio_2 .
- المجموعة الضابطة (غير المطليَّة): تُركت دون طلاء لأغراض المقارنة المرجعية.

2.تجفيف وتثبيت الطِّلاء:

تمَّ ترك العينات المطليَّة في بيئة داخلية خالية من الملوثات لمدة 24 ساعة لضمان جفاف الطِّلاء، وتثبيته الكامل على سطح العينة.

3.تعريض العينات للإشعاع الشمسي الطبيعي:

وُضعت العينات في موقع مفتوح داخل المدينة يسمح بتعرضها المستمر لأشعة الشمس المباشرة خلال ساعات النَّهار، وذلك لاعتماد التجربة على التَّحفيز الضوئي الناتج عن الأشعة فوق البنفسجية الموجودة في الضوء الشمسي الطبيعي.

4.تطبيق الملوثات المحاكية:

تمَّ تعريض الأسطح لملوثات محاكيه تعكس الواقع البيئي في سرت، وشملت:

- غبار دقيق: لمحاكاة تأثير العواصف الرَّمليّة.
- رذاذ زيتي: يحاكي الانبعاثات النَّاتجة عن المركبات والمولدات الكهربائية.
- كربون أسود (Carbon Black): يمثل نواتج الاحتراق غير الكامل للوقود والنِّفايات.

5.مدة التعرض:

تمَّ ترك العينات في البيئة الخارجية لمدة سبعة أيام متتالية، مع مراقبة التَّغيُّرات البصرية ومدى تراكم الملوثات على سطح كل عينة.

6.التحليل والتقييم:

بعد فترة التعرض، أُجري تقييم شامل للأسطح من خلال:

- قياس تركيزات ثاني أكسيد النيتروجين باستخدام أجهزة قياس متخصصة.
- التقاط صور رقمية عالية الدِّقة لتوثيق التَّغيُّرات.

- تحليل الصور باستخدام برنامج Imagej لتحديد الفروقات البصرية بين العينات.
- إجراء مقارنة كمية بين العينات المطليَّة، وغير المطليَّة لتقييم درجة النَّظافة، وكفاءة إزالة الملوثات.

7.توثيق النتائج:

تمَّ توثيق النتائج في جداول ورسوم بيانية تُظهر الاختلاف في تراكم الملوثات، ومدى فعالية الطِّلاءات النانوية تحت الظروف المناخيَّة الواقعية في سرت.

8.التحليل الإحصائي للنتائج:

شملت الدراسة تحليلًا إحصائيًا أوليًا لبيانات القياس، بهدف التحقق من دلالة الفروقات بين المجموعتين، ومعرفة مدى موثوقية النتائج المستخلصة من التجربة الميدانية.

الجدول (1) يبين نسبة تركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين قبل الطِّلاء وبعد الطِّلاء.

اليوم	نسبة NO_2 قبل الطِّلاء	نسبة NO_2 بعد الطِّلاء
1	78	62
2	82	59
3	80	56
4	77	55
5	84	53
6	81	51
7	79	50

9.التحليل الإحصائي:

المتوسط قبل الطِّلاء: (78+ 82 +80 +77+84 + 81+79) /7 = 80.14 µg/m³

المتوسط بعد الطِّلاء: (62+ 59 +56+ 55+ 53+ 51+50) /7 = 55.14 µg/m³

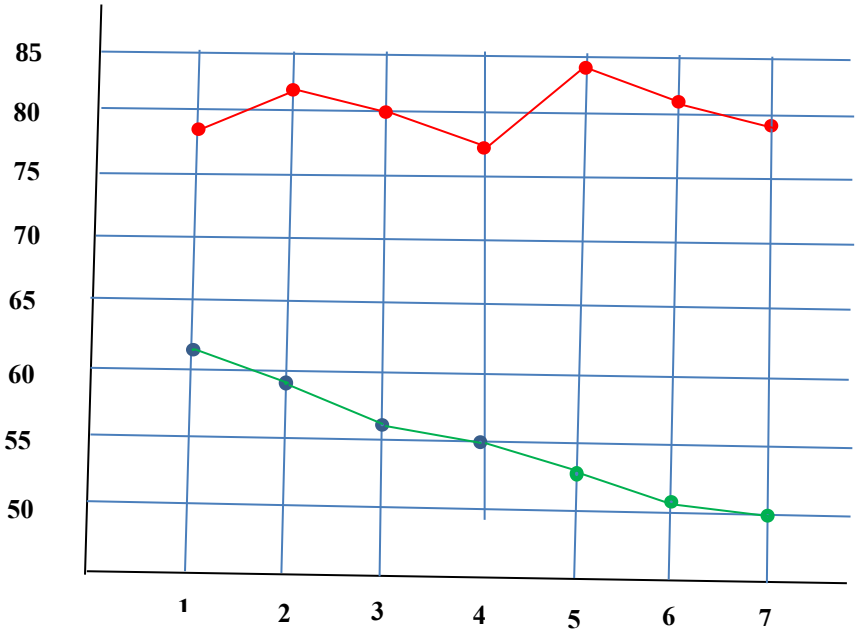
حساب الفر $80.14\mu g/m^3 - 55.14 = 25$

نسبة الانخفاض $= \frac{\text{الفرق المتوسط قبل}}{\text{لطلاء}} \times 100$

نسبة $= \frac{25}{80.14} \times 100 = \%31.20$

نسبة الانخفاض = 31.20%

الشكل (2) يبين معدل تركيز ثاني أكسيد النيتروجين



الخط الأحمر يُمثّل: نسبة تركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين قبل تطبيق الطِّلاء النانوي.

الخط الأخضر يُمثّل: نسبة تركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين بعد تطبيق الطِّلاء النانوي.

تحليل الرسم البياني:

يبيّن الشكل (2) تغيُّر التَّركيز لغاز ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) خلال فترة تجريبية امتدت لسبعة أيام، وذلك قبل وبعد تطبيق الطِّلاء النانوي، تُشير النتائج إلى أنَّ تركيز الغاز قبل الطِّلاء (الخط الأحمر) بقي مرتفعًا نسبيًا ومتراوحًا بين 77–84%. في المقابل، أظهر التَّركيز بعد الطِّلاء (الخط الأخضر) انخفاضًا ملحوظًا وتدريجيًا من 62% في اليوم الأوَّل إلى 50% في اليوم السابع. وتعكس هذه النتائج الكفاءة العالية للطلاء النانوي في تقليل تراكم غاز NO_2، ممَّا يؤكد فعاليته كأحد الحلول البيئية الواعدَّة في الحدِّ من ملوثات الهواء.

8. تحليل النتائج:

كشفت التجربة الميدانية المنفذة في مدينة سرت عن فعالية ملحوظة للطلاءات النانوية المعتمدة على مادة ثاني أكسيد التيتانيوم Tio_2 في الحدِّ من تراكم الملوثات الهوائية على الأسطح الخارجية. وقد أظهرت النتائج وجود فروق واضحة بين الأسطح المعالجة وغير المعالجة، لا سيما من حيث تراكم الغبار، والرواسب الزيتية، والجزيئات الكربونية.

ومن خلال تحليل الصور الرقمية باستخدام برنامج Imagej، تبيَّن أنَّ الأسطح المطليَّة احتفظت بدرجة نظافة أعلى بكثير مقارنَة بالأسطح غير المطليَّة، وهو ما يعكس فاعلية خاصية التَّحفيز الضوئي لمادة Tio_2 في تفكيك الملوثات عند تعرضها للإشعاع الشمسي، كما أثبتت النتائج أنَّ الطِّلاء النانوي كان أكثر كفاءة في تحليل الملوثات العضوية مثل الزيوت والجسيمات الكربونية، فيما كانت كفاءته أقل نسبيًا تجاه الجزيئات الصَّلبة الدَّقيقة كالغبار الصناعي.

وتميَّز أداء الطِّلاءات النانوية بالثَّبات، والاستقرار طوال فترة التَّعرض، دون أنْ يُسجَّل تراجع في الكفاءة، ممَّا يعزز من القيمة البيئية، والاستدامة التي توفرها هذه التَّقنية، ومن اللافت أنَّ الظروف المناخيَّة السائدة في سرت، بما في ذلك الإشعاع الشمسي القوي، ودرجات الحرارة المرتفعة وانتشار الغبار، لم تؤثر سلبًا على أداء الطِّلاءات، بل ساهمت في تعزيز خاصية التَّحفيز الضوئي بشكلٍ طبيعي دون الحاجة إلى مصادر طاقة بديلة.

وأشارت النتائج كذلك إلى أنَّ الأسطح الزجاجية والمعدنيَّة المطليَّة أظهرت أعلى مستويات الكفاءة في مقاومة تراكم الملوثات، مقارنةً بالأسطح الخرسانية التي كانت أقل منها في الحفاظ على النظافة، وهذا يُبرز أهمية اختيار نوع الأسطح المستهدفة بالتَّطبيق، خاصةً في سياق مشاريع التَّنمية الحضرية في مدينة سرت.

وتدلُّ هذه النتائج على أنَّ الطِّلاءات النانوية تُعد خيارًا واعدًا من النَّاحية البيئية والاقتصادية، نظرًا لقدرتها على تقليل تلوث الهواء دون الحاجة إلى طاقة تشغيلية، أو صيانة متكررة، ممَّا يجعلها مناسبة للتطبيق في المنشآت العامَّة، والمباني الحكومية، والمؤسسات التعليمية.

9. المناقشة:

تُشير النتائج التي أفرزتها هذه الدراسة التطبيقية إلى أنَّ الطِّلاءات النانوية المعتمدة على ثاني أكسيد التيتانيوم Tio_2 تُشكّل وسيلة فعَّالة، ومستدامة في الحدِّ من تراكم الملوثات الهوائية، خصوصًا في البيئات الحضرية ذات النمو العمراني المتسارع مثل مدينة سرت، وفقد أظهرت التجربة قدرة هذه الطِّلاءات على تفكيك الملوثات العضوية، كالجسيمات الكربونية والزيوت، بفضل خواصها التَّحفيزية التي تنشط بفعل أشعة الشمس، والتي تتوفر بكثرة في مناخ المدينة.

وتتوافق هذه النتائج مع ما ورد في دراسات عالمية سابقة أُجريت في كل من اليابان وإيطاليا، ممَّا يعزز من إمكانية نقل هذه التكنولوجيا وتكييفها لتتلاءم مع البيئة المحليَّة الليبية، وعلى الرغم من التَّحدِّيات البيئية التي تواجهها سرت، مثل: العواصف الرَّمليّة، وانتشار الغبار، إلا أنَّ الطِّلاءات

النانوية حافظت على أدائها الفعّال، وهو ما يُعدّ مؤشرًا إيجابيًا على جدوى استخدامها في مشاريع البنيَّة التحتية المحليَّة.

وتُوفر الطفرة العمرانية التي تشهدها مدينة سرت، فرصة حقيقية لتبنِّي هذه التَّقنية في المباني الجديدة، خاصَّة على واجهات المؤسسات العامَّة، والمستشفيات، والمدارس، حيث تُسهم في تحسين جودة الهواء والحدِّ من التَّلوث المحيط بطرقٍ مستدامة.

وتفتح نتائج هذه الدراسة المجال أمام إمكانية توسيع تطبيقات تكنولوجيا النانو لتشمل معالجة المياه، نظرًا لما تعانيه المدينة من تحديات متزايدة في جودة الموارد المائية، وهذا يدعم التَّوجه نحو تبنِّي حلول نانوية متكاملة تخدم أكثر من قطاع حيوي في سرت.

وعلى الرغم من النتائج الإيجابية، توصي الدراسة بضرورة تنفيذ تجارب ميدانية إضافية طويلة الأمد تهدف إلى تقييم مدى استمرارية أداء الطِّلاءات في ظلِّ تقلبات الطقس، والعوامل البيئية المختلفة، بما في ذلك الرُّطوبة، والرِّياح المحمّلة بالرِّمال.

كما تُبرز المناقشة أهمية دمج هذه التَّقنية ضمن الاستراتيجيات الوطنية للتنمية المستدامة، وتشجيع تبنِّي سياسات حضرية مرنة تأخذ في الاعتبار البُعد البيئي للتَّوسع العمراني، ممَّا يُسهم في تحويل مدينة سرت إلى نموذج ريادي في اعتماد التكنولوجيا الخضراء، والابتكار البيئي.

10. التوصيات:

استنادًا إلى نتائج هذه الدراسة، والتجارب الميدانية، التي أُجريت في مدينة سرت، تُقدَّم مجموعة من التَّوصيات العلمية، والتطبيقية التي تهدف إلى تعميم استخدام الطِّلاءات النانوية، وتحقيق أقصى قدر من الفوائد البيئية والصِّحية، وذلك على النحو الآتي:

1. توسيع نطاق تطبيق الطِّلاءات النانوية ضمن مشاريع التنمية الحضرية في مدينة سرت، لا سيما على واجهات المباني العامَّة، والمؤسسات التعليمية، والمرافق الصِّحية، لما لها من قدرة مثبتة على تقليل تراكم الملوثات، وتحسين جودة الهواء في المناطق الحضرية.
2. اعتماد ثاني أكسيد التيتانيوم Tio_2 كمادة رئيسية في تصميم الواجهات الخارجية للمباني المستدامة، خصوصًا في المناطق التي تشهد كثافة مرورية، أو أنشطة صناعية، مثل وسط مدينة سرت.
3. حثّ المجالس البلدية والجهات المختصَّة في سرت على دمج تقنية الطِّلاءات النانوية ضمن السياسات الحضرية المحليّة، بما يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة، لا سيما الهدف الحادي عشر المتعلق بـ "مدن ومجتمعات مستدامة."

4. تطبيق الطِّلاءات النانوية داخل المرافق الصِّحية ورياض الأطفال بهدف تحسين جودة الهواء الداخلي، والحدّ من تعرض الفئات الأكثر هشاشة –كالأطفال والمرضى – للملوثات البيئية.
5. إطلاق مبادرات تشجير وزيادة المسطحات الخضراء في مختلف أحياء سرت، وخاصَّة في المناطق السكنية الجديدة، والمجاورة للطُّرق الرئيسية، لما له من دور تكاملي مع الطِّلاءات النانوية في امتصاص الملوثات، وتنقيَّة الهواء.
6. توسيع استخدام تكنولوجيا النانو في مجال تنقية المياه ضمن مشاريع البنية التحتية، مثل وحدات التحليَّة والمعالجة، بهدف تحسين جودة المياه، وتقليل الاعتماد على المعالجات الكيميائية ذات التكلفة المرتفعة.
7. تنفيذ تجارب إضافية في مواقع مختلفة من مدينة سرت تمثل تنوعًا في الكثافة السكانية ومصادر التَّلوث، للتحقق من استمرارية فعالية الطِّلاءات تحت الظروف البيئية المتغيرة.
8. دعم تطوير تركيبات محلية من الطِّلاءات النانوية تتناسب مع خصوصية المناخ المحلِّي في سرت، من حيث مقاومة الغبار والرُّطوبة، مع العمل على خفض تكلفة التصنيع؛ لتسهيل الانتشار الواسع للتقنية.
9. إدماج تقنيات النانو والطِّلاءات النانوية ضمن البرامج الأكاديمية والبحثية في جامعة سرت والمعاهد الفنية، بما يُسهم في تأهيل كوادر محلية متخصصة قادرة على تطوير وتطبيق هذه التَّقنيات بفعالية.
10. تعزيز الشراكة بين الجامعات والمراكز البحثية، والصناعية، والبلديات من أجل تنفيذ مشاريع تجريبية نموذجية، تخضع للمتابعة والتقييم المستمر لقياس الأثر البيئي للطلاءات، وتطوير آليات فعَّالة للرَّصد والتقييم.

الخاتمة:

خلصت هذه الدراسة إلى أنَّ الطِّلاءات النانوية المعتمدة على مادة ثاني أكسيد التيتانيوم Tio_2 تمثل إحدى الحلول البيئية الرائدة، والمستدامة لمواجهة تحديات تلوث الهواء في البيئات الحضرية، لاسيما في المدن التي تشهد توسعًا عمرانيًا متسارعًا مثل مدينة سرت، وقد بيّنت النتائج الميدانية أنَّ هذه التَّقنية تتمتع بقدرة عالية على تفكيك الملوثات العضوية، والغازية بفعل التَّحفيز الضوئي تحت تأثير أشعة الشمس الطبيعية، دون الحاجة إلى طاقة إضافية، أو صيانة متكررة، ما يُعزز مكانتها كخيار بيئي، واقتصادي مزدوج.

أظهرت البيانات أنَّ تطبيق الطِّلاءات النانوية يمكن أنْ يُسهم بشكلٍ ملموس في تحسين جودة الهواء، خاصَّة في المناطق المتأثرة بانبعاثات المركبات، العواصف الترابية، والأنشطة الصناعية، كما أثبتت الدراسة مرونة هذه التَّقنية في التكيّف مع أنواع مختلفة من الأسطح، وظروف مناخية قاسية كالموجودة في مدينة سرت، ممَّا يُعزز من جدواها في السياقات المناخية المشابهة.

وتؤكد هذه النتائج أهمية تبنّي تكنولوجيا النانو ضمن استراتيجيات التنمية الحضرية المستدامة، لا سيما في المرافق العامَّة الحيويَّة كالمستشفيات، المؤسسات التعليمية، ورياض الأطفال، مع ضرورة تكاملها مع برامج التشجير، وتوسيع الغطاء النباتي بهدف تحقيق منظومة بيئية متوازنة تُسهم في تنقية الهواء بشكلٍ طبيعي وتكاملي.

وعليه، تُوصي الدِّراسة بضرورة دمج هذه التَّقنية ضمن السياسات البيئية، والتَّخطيط العمراني في سرت، بما يتيح تحويل المدينة إلى نموذج ريادي في تبنّي تقنيات البناء الذَّكي، والصديق للبيئة، ويدعم مسار التَّحول نحو مدن مستدامة تضع صِّحة الإنسان، وجودة الحياة في صميم أولوياتها، كما تشدّد على أهمية تحفيز البحث العلمي التطبيقي في هذا المجال، وخلق بيئة بحثية وتشريعية داعمة لتطوير حلول نانوية محليّة قادرة على الاستجابة لخصوصية المناخ الليبي، وتُسهم في بناء مستقبل بيئي أكثر أمنًا، واستدامة للأجيال القادمة.

المصادر والمراجع:

- أحمد، م. ع. (2016) .الطَّاقة المتجددة .دار الجنادرية للنشر والتوزيع.
- الأنصاري، ن. م. ع. (2009) .التَّلوث البيئي: مخاطر عصرية واستجابة علمية .دار دجلة للنشر، المملكة الأردنية الهاشمية.
- الشمري، أ. ع. ح. (2023) .علم النانو وتقنية النانو وتحضيره وتطبيقه.
- جبار، ر. ع. م. (2019) نظرية المخاطر في نظام المسؤولية الدولية ومدى التطبيق على التَّلوث البيئي .المناهل للنشر والتوزيع.
- جندل، ج. م. (2011) تلوث البيئة: أسبابه، أنواعه، مخاطرة وعلاجه .دار الكتاب العربية، بيروت.
- درياله، ع. س. و حمزة، أ. م. م. (2016) .تكنولوجيا النانو وتطبيقاتها في مجالات عديدة .دار الكتب العلمية.
- خنفر، ع. ر. (2021) التَّلوث البيئي: الهواء –الماء –الغذاء .الدار العربية للنشر.
- النعيمي، س. ن. (2020) تلوث بيئة الإنسان بالمعادن الثقيلة وطرق المعالجة .دار الكتب العلمية، بيروت.
- النعيمي، س. ن. (2021) التربة السليمة وصحة الغذاء .دار الكتب العلمية.
- حسين، س. أ. (2010). موسوعة التَّلوث البيئي. دار دجلة، المملكة الأردنية الهاشمية.
- مصطفى، م (2023) الطَّاقة المتجددة: الموارد والتكنولوجيا، الدار العربية للنشر.