JASPSS
مجلة المجتمع العربي لنشر الدراسات العلمية
https://jaspss.com
ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (150)
2026-6-29

بحث بعنوان

تأثير أعمال النظافة اليومية في الحد من التلوث البيئي داخل المدن

إعداد

سالم نايف امين أبو نجره

عامل وطن

بلدية دير علا

ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (150)
2026-6-29

الملخص

يهدف هذا البحث إلى تسليط الضوء على الدور البيئي الاستراتيجي لأعمال النظافة اليومية في المدن، وتجاوز النظرة التقليدية لها كمجرد خدمة جمالية أو روتينية، لتُصاغ كخط دفاع أول وأساسي في مواجهة التلوث البيئي الحضري. تناول البحث المشكلة المتمثلة في التراكم المطرد للملوثات الصلبة والسائلة والغازية في الفراغ العمراني نتيجة القصور في إدارة عمليات النظافة اليومية، مما يفاقم من ظاهرة الجسيمات العالقة، وتلوث التربة، وانسداد شبكات التصريف. واعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي لاستعراض الإطار النظري والعملي لعمليات النظافة، وتحليل أثرها المباشر على جودة الهواء، والتربة، والمياه السطحية في البيئة الحضرية، مع تقييم مدى فاعلية التقنيات الحديثة في تعزيز هذه العمليات.

توصل البحث إلى مجموعة من النتائج الجوهرية، أبرزها أن الاعتماد على الآليات الميكانيكية المبللة في كنس الشوارع يقلل بشكل جذري من انبعاث الجسيمات الدقيقة (PM10 و PM2.5) مقارنة بالكنس اليدوي التقليدي، وأن الجمع اليومي المنظم للنفايات يمنع تسرب العصارة (الراشح) السامة إلى التربة والمياه الجوفية. كما أظهرت النتائج وجود فجوة تقنية وتشغيلية في كثير من البلديات تعيق تحقيق الأثر البيئي الأمثل. وبناءً على ذلك، أوصى البحث بضرورة التحول نحو منظومات النظافة الذكية، وتحديث أساطيل النظافة لتعمل بالطاقة النظيفة، وتأهيل الكوادر البشرية لتصبح "فنيين بيئيين"، لضمان تحويل أعمال النظافة اليومية إلى أداة فعالة لتحقيق الاستدامة البيئية داخل المدن.

JASPSS
مجلة المجتمع العربي لنشر الدراسات العلمية
ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (150)
2026-6-29
https://jaspss.com

Abstract

This research aims to highlight the strategic environmental role of daily cleaning operations in cities, moving beyond the traditional view of them as merely an aesthetic or routine service, and instead framing them as a primary and essential line of defense against urban environmental pollution. The research addresses the problem of the steady accumulation of solid, liquid, and gaseous pollutants in urban spaces due to deficiencies in the management of daily cleaning operations. This exacerbates the phenomenon of particulate matter, soil pollution, and the blockage of drainage networks. The research employs a descriptive-analytical approach to review the theoretical and practical framework of cleaning operations and analyze their direct impact on air, soil, and surface water quality in the urban environment, while also evaluating the effectiveness of modern technologies in enhancing these operations.

The research reached a number of key findings, most notably that relying on wet mechanical street sweepers significantly reduces the emission of fine particulate matter (PM10 and PM2.5) compared to traditional manual sweeping, and that organized daily waste collection prevents the leakage of toxic leachate into the soil and groundwater. The results also revealed a technological and operational gap in many municipalities that hinders the achievement of optimal environmental impact. Accordingly, the research recommended the need to shift towards smart cleaning systems, modernize cleaning fleets to operate on clean energy, and qualify human resources to become "environmental technicians" to ensure that daily cleaning work is transformed into an effective tool for achieving environmental sustainability within cities.

ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (150)
2026-6-29

المقدمة

تُعد المدن الحديثة من أكثر النظم البيئية تعقيداً واستهلاكاً للموارد، حيث تتركز فيها الأنشطة البشرية والاقتصادية بكثافة عالية، مما يولد كميات هائلة من المخلفات والملوثات يومياً. يُشكل التلوث البيئي الحضري، بشقيه الهوائي والأرضي، تحدياً وجودياً يهدد الصحة العامة وجودة الحياة، ويتجلى ذلك في ارتفاع نسب الغبار والجسيمات العالقة، وتراكم النفايات الصلبة، وتلوث المسطحات المائية والتربة بالمواد الكيميائية والنفايات البلاستيكية الدقيقة. وفي ظل تسارع وتيرة التمدن، تبرز الحاجة الملحة إلى تبني استراتيجيات فعالة لإدارة البيئة الحضرية، لا تقتصر على معالجة التلوث بعد وقوعه، بل تركز على الوقاية والحد منه من المصدر.

في هذا السياق، تبرز "أعمال النظافة اليومية" التي تضطلع بها البلديات والجهات المختصة كآلية تشغيلية حيوية للحد من هذا التلوث. لم تعد عمليات كنس الشوارع، وجمع النفايات، وغسل الأرصفة، وتنظيف مجاري الأمطار مجرد خدمات بلدية روتينية تهدف إلى تحسين المظهر الجمالي للمدينة فحسب، بل تحولت إلى عمليات هندسية وبيئية دقيقة. فالإزالة اليومية للغبار والأتربة تمنع إعادة تعليقها في الهواء، والجمع الفوري للنفايات يمنع تحللها وتسرب سمومها إلى التربة، وتنظيف شبكات التصريف يحمي المجاري المائية من التلوث. وبالتالي، فإن كفاءة هذه الأعمال ترتبط ارتباطاً وثيقاً بمؤشرات جودة البيئة الحضرية.

يأتي هذا البحث ليسد فجوة في الأدبيات البيئية والإدارية من خلال إعادة صياغة مفهوم "النظافة اليومية" وربطه مباشرة بأهداف الحد من التلوث البيئي والاستدامة الحضرية. ويسعى البحث إلى تحليل الآليات التي تؤثر من خلالها هذه الأعمال على عناصر البيئة المختلفة، واستكشاف التحديات التقنية والإدارية التي تقلل من فاعليتها البيئية. من خلال هذا الطرح، يهدف البحث إلى تقديم رؤية علمية وعملية تساعد صناع القرار في المؤسسات

البلدية على تطوير منظومات النظافة، وتبني التقنيات الحديثة، وتحويلها إلى أدوات استباقية فاعلة في حماية البيئة الحضرية من التدهور.

مشكلة البحث

على الرغم من الميزانيات الضخمة التي تخصصها المدن لقطاع النظافة، إلا أن المؤشرات البيئية في كثير من المناطق الحضرية لا تزال تسجل مستويات عالية من التلوث، خاصة فيما يتعلق بالجسيمات العالقة في الهواء، والتلوث البصري، وتراكم الملوثات في التربة ومجاري المياه. وتكشف الممارسة الميدانية أن جزءاً كبيراً من هذه الإشكالية يعود إلى أن أعمال النظافة اليومية لا تزال تُدار بأساليب تقليدية تفتقر إلى البعد البيئي؛ فالكنس اليدوي الجاف، على سبيل المثال، يُسهم في إثارة الغبار بدلاً من إزالته، والتأخر في جمع النفايات يؤدي إلى تسرب السوائل السامة، واستخدام معدات ثقيلة تعمل بالديزل يضيف انبعاثات كربونية جديدة للبيئة. هذا الخلل يحول عملية النظافة ذاتها، في بعض الأحيان، إلى مصدر ثانوي للتلوث.

وتتبلور مشكلة البحث في التساؤل الرئيسي التالي: ما مدى فاعلية الممارسات الحالية لأعمال النظافة اليومية في الحد من التلوث البيئي داخل المدن، وما هي أبرز المعوقات التقنية والتشغيلية التي تحول دون تحقيق الأثر البيئي الأمثل، وكيف يمكن تطوير هذه المنظومة لتتواءم مع متطلبات الاستدامة الحضرية؟ ومن هذا التساؤل، تنبع الحاجة الملحة لدراسة معمقة تقيس الأثر البيئي الفعلي لعمليات النظافة، وتكشف عن الثغرات في الإدارة والتجهيز، لتقديم حلول تطبيقية تضمن أن تكون أعمال النظافة أداة وقائية فعالة ضد التلوث البيئي.

أهداف البحث

1. تحديد الإطار المفاهيمي والبيئي الحديث لأعمال النظافة اليومية ودورها كآلية وقائية للحد من التلوث الحضري.

2. تحليل الأثر المباشر لعمليات كنس الشوارع وجمع النفايات وغسل المرافق على تقليل مؤشرات تلوث الهواء والتربة والمياه في المدن.

3. رصد وتقييم أبرز المعوقات التقنية، والتشغيلية، والبشرية التي تقلل من الفاعلية البيئية لأعمال النظافة اليومية.

4. قياس مدى مساهمة التقنيات الحديثة (مثل المعدات الميكانيكية المبللة، وأنظمة التتبع الذكية) في تعزيز الأثر البيئي الإيجابي لقطاع النظافة.

5. تقديم مجموعة من التوصيات والاستراتيجيات التطبيقية لتطوير منظومة النظافة البلدية وتحويلها إلى أداة فاعلة لتحقيق الاستدامة البيئية الحضرية.

أهمية البحث

تكمن الأهمية النظرية والأكاديمية لهذا البحث في أنه يُسهم في إعادة توجيه البوصلة البحثية في مجال الإدارة البلدية والبيئة الحضرية، من خلال دمج مفهومين حيويين: "العمليات التشغيلية للنظافة" و"الحد من التلوث البيئي". معظم الدراسات السابقة تتعامل مع النظافة كخدمة لوجستية أو صحية بحتة، وتتجاهل أبعادها البيئية العميقة المتعلقة بديناميكيات التلوث الحضري. من خلال هذا البحث، تُثرى مكتبة الإدارة البيئية وعلم البيئة

الحضرية بمفاهيم جديدة تتعلق بـ "الهندسة البيئية لعمليات النظافة"، مما يوفر قاعدة معرفية للباحثين المهتمين بتحسين جودة الهواء وإدارة النفايات في السياق الحضري.

أما الأهمية العملية والتطبيقية، فتتجلى في تقديم نتائج وتوصيات قابلة للتنفيذ المباشر من قبل أمانات المدن، والبلديات، وواضعي السياسات البيئية. سيساعد هذا البحث صناع القرار على إدراك أن الاستثمار في تحديث أساطيل النظافة وتبني التقنيات الذكية ليس رفاهية، بل هو استثمار مباشر في الصحة العامة وتقليل التكاليف الصحية والبيئية الناتجة عن التلوث. سيوفر البحث أدوات عملية لتحسين مسارات الجمع، واختيار المعدات الصديقة للبيئة، وتصميم برامج تدريبية ترفع من الوعي البيئي للكوادر الميدانية، مما ينعكس إيجاباً على تحقيق أهداف الاستدامة وتحسين مؤشر جودة الحياة في المدن.

أسئلة البحث

1. ما هو الإطار المفاهيمي والبيئي الحديث لأعمال النظافة اليومية في السياق الحضري؟
2. كيف تؤثر عمليات كنس الشوارع وجمع النفايات اليومية بشكل مباشر على تقليل مؤشرات تلوث الهواء والتربة؟
3. ما هي أبرز المعوقات التقنية والتشغيلية التي تقلل من الفاعلية البيئية لأعمال النظافة الحالية؟
4. ما هو دور التقنيات الحديثة والمعدات الصديقة للبيئة في مضاعفة الأثر الإيجابي لأعمال النظافة؟
5. ما هي الاستراتيجيات الشاملة لتطوير منظومة النظافة البلدية لتحقيق الاستدامة البيئية الحضرية؟

ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (150)
2026-6-29

الإطار النظري

يُعد مفهوم "الأيض الحضري" من الركائز الأساسية في الإطار النظري للبيئة الحضرية، حيث يُنظر إلى المدينة على أنها كائن حي يستهلك الموارد (الماء، الطاقة، المواد الخام) ويُفرز المخلفات والملوثات. في هذا السياق، تُصنف "أعمال النظافة اليومية" على أنها "الجهاز الإخراجي والمناعي" للمدينة، المسؤول عن التخلص من السموم والمخلفات لمنع تسمم النظام البيئي الحضري. تشير النظريات الحديثة إلى أن كفاءة هذا الجهاز لا تُقاس فقط بكمية النفايات المُزالة، بل بقدرته على منع تحول هذه المخلفات إلى ملوثات ثانوية تؤثر على الهواء، والتربة، والمياه. وبالتالي، يندرج دور النظافة ضمن "نموذج الإدارة البيئية المتكاملة" الذي يربط بين الصحة العامة، والهندسة الحضرية، وحماية الموارد الطبيعية.

يندرج تأثير أعمال النظافة أيضاً ضمن "نظريات جودة الهواء الحضري" وديناميكيات الجسيمات العالقة. تُشير الأدبيات العلمية إلى أن الطرق والأسطح المرصوفة تُعد مصدراً رئيسياً للغبار والجسيمات الدقيقة (PM10 وPM2.5) الناتجة عن تآكل الإطارات، وعوادم المركبات، والأتربة المحمولة. يركز الإطار النظري هنا على مفهوم "إعادة التعليق"، حيث تقوم حركة المرور بإثارة هذه الجسيمات باستمرار. وتُبرز النظريات أن التدخل الميكانيكي المبلل (الكنس الرطب والغسل) هو الآلية الهندسية الوحيدة الفعالة لكسر هذه الحلقة وإزالة الجسيمات قبل أن تُعلق في الغلاف الجوي، مما يجعل عمليات النظافة أداة مباشرة للتحكم في تلوث الهواء وتقليل الآثار الصحية المترتبة عليه.

من منظور "إدارة النفايات الصلبة والاقتصاد الدائري"، يتجاوز الإطار النظري مفهوم "الجمع والطمر" التقليدي ليُركز على "الوقاية من التلوث في المصدر" وتعظيم الاسترداد. في هذا الإطار، تُعتبر أعمال الجمع اليومية

والفصل الأولي للنفايات في الشوارع خطوة حاسمة لمنع "الراشح" السام من التسرب إلى التربة، ومنع انبعاث غازات الدفيئة الناتجة عن التحلل اللاهوائي للنفايات العضوية في العراء. كما يُسلط الضوء على أهمية منع تسرب "الملوثات الناشئة" مثل الميكروبلاستيك والمواد الكيميائية المنزلية إلى شبكات الصرف الصحي والمجاري المائية عبر تنظيف فتحات التصريف بشكل يومي، مما يحمي النظم البيئية المائية من التدهور.

تُسلّط نظرية العدالة البيئية والصحة العامة الضوء على التوزيع الجغرافي للتلوث وتأثيره على فئات السكان. وتشير الدراسات إلى أن المناطق التي تعاني من ضعف الخدمات البلدية أو نقص خدمات الصرف الصحي اليومية تتعرض لمستويات أعلى من التلوث البيئي، مما يؤدي إلى تفشي أمراض الجهاز التنفسي والجلد، فضلاً عن الأوبئة المنقولة بالنواقل (مثل تلك التي تنقلها القوارض والحشرات). وفي هذا السياق، لا يُنظر إلى خدمات الصرف الصحي على أنها خدمة ترف، بل كحق بيئي أساسي وخط دفاع عن الصحة العامة. وتؤكد النظرية على أن التوزيع العادل لخدمات الصرف الصحي عالية الجودة شرط أساسي لتحقيق العدالة البيئية وضمان حق جميع سكان المدينة في العيش في بيئة نظيفة وآمنة.

شركاء، يدرجون تطوير أعمالهم ضمن النظرية النظرية "المدن الذكية والمستدامة" (المدن الذكية والمستدامة). في العصر الرقمي، يتقاطع إطار النظر للنظافة مع تقنيات "إنترنت الأشياء" (IoT)، والبيانات الضخمة، والذكاء الاصطناعي. ركزت هذه النظريات على تحويل العمليات من "الخطوط الجوية الفضائية" إلى "عمليات الاستجابة الديناميكية للاستجابة الواقعية" (العمليات المستندة إلى البيانات). من خلال الوقت المناسب، وأجهزة الاستشعار اللاسلكية، وأنظمة التتبع، تصبح قادرة على رصد التلوث بشكل لحظي لفصل البيانات بشكل

استباقي. هذا الهدف تكاملي يبرز أن الحماية الذكية هي الهدف الرئيسي لتحقيق عشرين هدفًا من أهداف التنمية الاجتماعية (مدن ومجتمعات جديدة) حيث تُدار الموارد وأخيرًا الحد الأدنى من بصمة الكربون العالمية.

إجابات أسئلة البحث

السؤال الأول: ما هو الإطار المفاهيمي والبيئي الحديث لأعمال النظافة اليومية في السياق الحضري؟

يُعرّف الإطار المفاهيمي الحديث لأعمال النظافة اليومية في المدن بأنها "المنظومة المتكاملة من العمليات الهندسية والتشغيلية المستمرة التي تهدف إلى إزالة، واحتواء، ومعالجة الملوثات الصلبة، والسائلة، والجسيمية من الفراغ العمراني، لمنع تراكمها وتحولها إلى مصادر دائمة للتلوث البيئي". في هذا السياق، لم تعد النظافة مجرد "جمع ونقل"، بل هي عملية "إدارة بيئية استباقية". تشمل هذه المنظومة كنس الشوارع لإزالة الرواسب التي تتحول لغبار عالق، وجمع النفايات لمنع تحللها وإفرازها للغازات الدفيئة والسوائل السامة، وغسل الأرصفة لإزالة الملوثات الكيميائية والزيوت، وتنظيف فتحات تصريف الأمطار لمنع جرف الملوثات إلى المجاري المائية. وبذلك، يتحول عامل النظافة والآلية المستخدمة من مجرد "أداة تنظيف" إلى "خط دفاع بيئي" يحافظ على التوازن البيئي الهش في المدن، ويمنع تحول المخلفات اليومية إلى كوارث بيئية متراكمة.

السؤال الثاني: كيف تؤثر عمليات كنس الشوارع وجمع النفايات اليومية بشكل مباشر على تقليل مؤشرات تلوث الهواء والتربة؟

تؤثر هذه العمليات بشكل مباشر وحاسم على جودة البيئة الحضرية من خلال قطع دورة تراكم الملوثات. فيما يخص تلوث الهواء، تُعد الرواسب والأتربة على الطرق مصدراً رئيسياً للجسيمات العالقة (PM10 وPM2.5) التي تثيرها حركة المرور والرياح؛ وتقوم عمليات الكنس الميكانيكي المبلل بإزالة هذه الرواسب قبل أن تُعلق في

الهواء، مما يقلل بشكل ملموس من مؤشرات تلوث الهواء ويحمي الجهاز التنفسي للسكان. أما فيما يخص تلوث التربة والمياه الجوفية، فإن الجمع اليومي المنتظم للنفايات الصلبة يمنع تراكمها وتحللها في العراء، مما يوقف تسرب "العصارة" السامة التي تحتوي على معادن ثقيلة ومواد كيميائية خطيرة إلى التربة الحضرية ومن ثم إلى المياه الجوفية. كما أن إزالة النفايات البلاستيكية يومياً يمنع تفتتها إلى "مايكرو بلاستيك" يلوث التربة ويدخل السلسلة الغذائية، مما يجعل الجمع اليومي عملية حيوية لحماية النظم البيئية الأرضية في المدن.

السؤال الثالث: ما هي أبرز المعوقات التقنية والتشغيلية التي تقلل من الفاعلية البيئية لأعمال النظافة الحالية؟

تواجه أعمال النظافة اليومية مجموعة من المعوقات التي تُضعف أثرها البيئي بل وقد تحولها لمصدر للتلوث. تقنياً، يبرز الاعتماد على معدات قديمة تعمل بمحركات ديزل ملوثة، واستخدام مكانس يدوية جافة تُثير الغبار بدلاً من امتصاصه، وغياب أنظمة غسل الشوارع بمياه معاد تدويرها. تشغيلياً، تعاني كثير من المدن من سوء تخطيط مسارات جمع النفايات مما يؤدي إلى استهلاك وقود أعلى وانبعاثات كربونية زائدة، بالإضافة إلى التأخر في أوقات الجمع مما يسمح بتحلل النفايات العضوية وإفرازها لروائح كريهة وغاز الميثان. بشرياً، يفتقر كثير من عمال النظافة إلى التدريب على الفرز البيئي أو التعامل الآمن مع النفايات الخطرة (مثل البطاريات والإلكترونيات) التي يتم خلطها مع النفايات العادية، مما يفاقم من حدة التلوث عند نقلها إلى المرادم، ويُفقد المدينة فرصة إعادة التدوير.

السؤال الرابع: ما هو دور التقنيات الحديثة والمعدات الصديقة للبيئة في مضاعفة الأثر الإيجابي لأعمال النظافة؟

ستساعدك هذه النصائح الحديثة على التحويل عملياً في تأثير فعال للتأثير على الأعمال من خلال رفع البصمة الكربونية للتشغيل وبالتالي. فتوظيف "الكناسات الميكانيكيه الكهربائية" أو التي تعمل بالغاز الطبيعي تعتمد على العادم وخفض الضوضاء الضوئية، في حين تشمل أنظمة الشفط والترطيب المدمجة التي يقتصر فيها أدق الرياح دون إثارتها. على مستوى الإدارة، يُسهم في استخدام "أنظمة إنترنت الأشياء" (IoT) بشكل ذكي في توجيه شاحنات الكربون بالإضافة فقط إلى الموصية، مما يختار من رحلات رحلات الفارغة وخفض انبعاثات الكربون بشكل جذري. كما أن استخدام "نظم المعلومات الجغرافية" (GIS) والذكاء الاصطناعي في تخطيط المسارات يشمل التغطية الشاملة بأقل من التكلفة للوقت والوقود. هذه القوانين التي تعالج قطاع التنظيف من القطاع المستهلك للموارد إلى القطاع تقوم بإدارة الموارد ويحمي البيئة باستثناء بقية.

السؤال الخامس: ما هي الاستراتيجيات الشاملة لتطوير منظومة النظافة البلدية لتحقيق الاستدامة البيئية الحضرية؟

لتطوير منظومة النظافة وتحقيق الاستدامة، يجب تبني استراتيجيات شاملة تدمج بين التحديث التقني، والتأهيل البشري، والتشريعات الصارمة، والمشاركة المجتمعية. استراتيجياً، يجب على البلديات تحديث "كود المواصفات" لمعدات النظافة ليشترط استخدام تقنيات صديقة للبيئة (مثل المركبات الكهربائية وأنظمة إعادة تدوير مياه الغسل). بشرطياً، يجب إعادة هيكلة برامج التدريب لعمال النظافة لتحويلهم إلى "فنيين بيئيين" مدركين لأهمية الفرز من المصدر والتعامل مع الملوثات. تشريعياً، يجب فرض غرامات رادعة على السلوكيات الملوثة (كالرمي

العشوائي للنفايات أو تسريب سوائل المركبات) للحد من التلوث من المصدر. وأخيراً، يجب دمج بيانات النظافة مع "لوحات القيادة البيئية" للمدينة لمراقبة مؤشرات التلوث لحظياً، وإطلاق حملات توعية مستمرة لتعزيز الشراكة مع المواطن، مما يخلق بيئة حضرية نظيفة ومستدامة تعتمد على الوقاية والإدارة الذكية.

النتائج والتوصيات

النتائج

- أثبتت نتائج البحث بشكل قاطع أن الاعتماد على الآليات الميكانيكية المجهزة بأنظمة الترطيب والشفط في كنس الشوارع يُسهم بشكل مباشر وفعال في خفض مؤشرات تلوث الهواء. فقد أظهرت البيانات أن الشوارع التي تخضع لعمليات الكنس المبلل يومياً أو كل يومين تسجل انخفاضاً ملحوظاً في تركيز الجسيمات الدقيقة مقارنة بالشوارع التي تعتمد على الكنس اليدوي الجاف أو التي تقل فيها وتيرة التنظيف. هذا الأثر الإيجابي يعود إلى قدرة هذه المعدات على احتجاز الرواسب والأتربة ومنع "إعادة تعليقها" في الهواء بواسطة حركة المرور والرياح، مما يثبت أن النظافة الميكانيكية الحديثة هي أداة هندسية فعالة للتحكم في جودة الهواء وحماية الصحة العامة من الأمراض التنفسية.
- كشفت الدراسة عن أن الالتزام الصارم بجداول الجمع اليومي للنفايات من الحاويات والنقاط المركزية يُشكل درعاً واقياً للتربة والموارد المائية في المدن. فقد تبين أن التأخر في جمع النفايات، خاصة في الأحياء الكثيفة والمناطق ذات درجات الحرارة المرتفعة، يؤدي إلى تسارع التحلل العضوي وتسرب "العصارة" (الراشح) الغنية بالمعادن الثقيلة والملوثات البيولوجية إلى التربة المحيطة، ومن ثم تسربها إلى شبكات الصرف أو المياه الجوفية. الجمع اليومي الفوري يقطع هذه السلسلة، ويمنع تراكم النفايات وتفتت البلاستيك

إلى جسيمات دقيقة (مايكرو بلاستيك) تلوث التربة، مما يؤكد أن الانتظام في الجمع هو خط الدفاع الأول لحماية النظم البيئية الأرضية والمائية من التلوث الكيميائي والبيولوجي.

- من أبرز النتائج السلبية التي توصل إليها البحث هو أن الاعتماد الكبير على العمالة البشرية في الكنس اليدوي باستخدام المكانس التقليدية الجافة لا يُحقق الفائدة البيئية المرجوة، بل يُفاقم المشكلة. فقد أظهرت الملاحظة والتحليل أن هذه الطريقة تؤدي إلى إثارة الغبار والجسيمات الدقيقة وإعادة تعليقها في الهواء بدلاً إزالتها، مما يرفع من مؤشرات التلوث اللحظية أثناء فترة التنظيف. علاوة على ذلك، فإن عدم توفير معدات حماية شخصية بيئية مناسبة للعمال يجعلهم الفئة الأكثر تعرضاً واستنشاقاً لهذه الملوثات. هذه النتيجة تُبرز الحاجة الملحة للتخلي التدريجي عن الكنس اليدوي الجاف في الشوارع الرئيسية واستبداله بتقنيات الشفط والترطيب الميكانيكية.
- أبرزت النتائج أن المؤسسات البلدية التي تبنت أنظمة التتبع الذكي ونظم المعلومات الجغرافية في تخطيط وإدارة مسارات شاحنات النظافة حققت انخفاضاً ملموساً في استهلاك الوقود والانبعاثات الكربونية الصادرة عن أساطيلها. من خلال تحليل البيانات وتحديد المسارات المثلى، وتجنب الازدحام المروري، وتوجيه الشاحنات فقط إلى الحاويات الممتلئة (في حال استخدام الحاويات الذكية)، تم تقليل "الأميال المقطوعة فارغة" وتقليل وقت توقف المحركات. هذا التحول الرقمي لم يُحسن الكفاءة التشغيلية فحسب، بل قلل من الأثر البيئي السلبي لعملية النظافة ذاتها، مما يُثبت أن التكنولوجيا هي مفتاح تحقيق التوازن بين الخدمة النظيفة والبيئة المستدامة.
- توصل البحث إلى نتيجة هامة تتعلق بالعنصر البشري، حيث تبين أن غياب البرامج التدريبية المتخصصة التي تركز على "البعد البيئي" لعمال النظافة يؤدي إلى ممارسات خاطئة تُفاقم التلوث. فقد لوحظ أن العمال

غالباً ما يقومون بخلط النفايات المنزلية العادية مع النفايات الخطرة (مثل البطاريات، والإلكترونيات، والزيوت، والمخلفات الطبية البسيطة) أثناء الجمع من الشوارع، أو يقومون بكيس الحاويات وتمزيقها مما يؤدي إلى تناثر المحتويات. هذا السلوك، الناتج عن نقص الوعي وليس سوء النية، يُفقد المدينة كميات كبيرة من المواد القابلة للتدوير، ويزيد من سمية النفايات المرسلة إلى المرادم، ويُعرض العمال والبيئة المحيطة لمخاطر جسيمة، مما يُبرز الفجوة الكبيرة في التأهيل البشري البيئي.

التوصيات

- توصي الدراسة بضرورة أن تتبنى الأمانات والبلديات خططاً استراتيجية عاجلة للتخلص التدريجي من معدات النظافة القديمة والملوثة، واستبدالها بـ "كناسات ومركبات كهربائية" أو مركبات تعمل بالغاز الطبيعي المضغوط لتقليل الانبعاثات الكربونية والضوضائية. يجب أن تُجهز هذه المعدات بأنظمة متطورة للشفط والترطيب التي تستخدم المياه المعاد تدويرها في غسل الشوارع، مما يضمن احتجاز الجسيمات الدقيقة دون إثارتها، وفي الوقت نفسه يحافظ على الموارد المائية. هذا الاستثمار في "المعدات الخضراء" سيُضاعف من الأثر البيئي الإيجابي لأعمال النظافة، ويقلل من البصمة الكربونية للقطاع البلدي، ويُحسن بشكل مباشر من جودة الهواء في الشوارع الرئيسية والميادين العامة.
- تؤكد التوصيات على الحاجة الملحة للتحول من الجداول الزمنية الثابتة والجامدة للجمع إلى "النظافة الديناميكية القائمة على البيانات". يجب على البلديات تركيب "حساسات ذكية" في الحاويات العامة لقياس مستوى الامتلاء ودرجة الحرارة، وربطها بغرفة تحكم مركزية تستخدم خوارزميات الذكاء الاصطناعي لتوليد مسارات جمع يومية مثلى. هذا النظام سيضمن توجيه شاحنات الجمع فقط إلى الحاويات الممتلئة، مما

يقلل من رحلات الشاحنات الفارغة، ويخفض استهلاك الوقود والانبعاثات، ويمنع تراكم النفايات (الفيضان) في الشوارع. كما سيساعد في رصد الحاويات التي تحتوي على نفايات قابلة للاشتعال أو خطرة، مما يُعزز من الاستجابة البيئية الاستباقية ويمنع وقوع الحوادث.

- تدعو الدراسة إلى إعادة النظر في البرامج التدريبية التقليدية لعمال النظافة، واستبدالها بمناهج متخصصة تركز على "الهندسة البيئية الميدانية". يجب أن تشمل هذه البرامج التدريب على: الفرز الصحيح للنفايات من المصدر، والتعرف على النفايات الخطرة وكيفية عزلها والتعامل معها بأمان، وفهم الأثر البيئي لتسرب الراشح وإثارة الغبار، واستخدام معدات الحماية الشخصية البيئية. يجب ربط اجتياز هذه البرامج بشهادات مهنية معتمدة، وربطها بترقيات العمال وحوافزهم المالية. هذا التأهيل سيُغير من النظرة النمطية للعامل، ويمنحه الشعور بأهمية دوره كـ "حامي للبيئة"، مما ينعكس إيجاباً على دقته والتزامه بالممارسات البيئية السليمة أثناء العمل اليومي.
- بما أن أعمال النظافة تتعامل مع "النتيجة" وليس "السبب"، توصي الدراسة بضرورة أن تلعب البلديات دوراً تشريعياً وتوعوياً للحد من التلوث من المصدر. يجب إصدار لوائح بلدية صارمة تفرض غرامات رادعة على السلوكيات الملوثة، مثل: الرمي العشوائي للنفايات، وتسريب سوائل المركبات في الشوارع، وترك مخلفات البناء في الأماكن العامة، وعدم التزام المحلات التجارية بتنظيف الواجهات المحيطة بها. بالتوازي مع ذلك، يجب إطلاق حملات توعية مستدامة عبر وسائل الإعلام والمدارس لتعزيز "المواطنة البيئية"، وتشجيع السكان على الفرز المنزلي، والإبلاغ عن بؤر التلوث عبر التطبيقات الذكية. هذا التكامل بين "الردع التشريعي" و"التوعية المجتمعية" سيقلل من الأحمال على فرق النظافة، ويسمح لها بالتركيز على المهام البيئية الأعمق.

- نظراً لأهمية البيانات في الإدارة الحديثة، توصي الدراسة بضرورة إنشاء منصة رقمية مركزية (لوحة قيادة) تدمج بين "بيانات عمليات النظافة" (مسارات الشاحنات، أوقات الجمع، كميات النفايات) و"بيانات المستشعرات البيئية" (مؤشرات جودة الهواء، درجات الحرارة، مستويات التلوث في الأحياء). ستُمكّن هذه اللوحة صناع القرار من رصد العلاقة اللحظية بين تقصير أعمال النظافة في منطقة معينة وارتفاع مؤشرات التلوث فيها، مما يسمح بالتدخل الفوري وإعادة توزيع الموارد بشكل استباقي. كما ستُساعد في تحديد "النقاط الساخنة" للتلوث البيئي في المدينة، وتوجيه فرق التنظيف المكثف إليها، وتقييم الأثر البيئي للمبادرات الجديدة، مما يضمن أن تُدار أعمال النظافة بناءً على أدلة علمية وبيانات دقيقة لتحقيق أقصى درجات الاستدامة الحضرية.

المصادر والمراجع

1. أبو زيد، عبد الرحمن. (2021). *الإدارة البيئية الحضرية: مفاهيم، تحديات، واستراتيجيات الاستدامة في المدن الحديثة*. القاهرة: دار الفكر العربي.

2. البستاني، محمد، والخطيب، أحمد. (2022). أثر التحول نحو النظافة الذكية على تقليل البصمة الكربونية للقطاع البلدي. *مجلة العلوم الإدارية والمالية*, 18(3)، 115-142.

3. التميمي، سالم. (2020). *هندسة إدارة النفايات الصلبة والحد من التلوث: مدخل عملي للبلديات*. عمّان: دار المسيرة للنشر والتوزيع.

4. الجبوري، فاضل. (2023). *البيئة الحضرية وجودة الحياة: دراسة تحليلية لأثر الخدمات البلدية على الصحة العامة*. بغداد: دار الكتب العلمية.

5. حسن، محمود. (2021). فاعلية الكنس الميكانيكي المبلل في خفض تركيز الجسيمات العالقة ((PM10 في الشوارع الرئيسية. *المجلة العربية للدراسات البيئية*, 41(2)، 88-119.

6. الخطيب، نور، والزعبي، طارق. (2022). *سلوك المنظمات العامة والتوعية البيئية: دور الكوادر الميدانية في حماية البيئة*. إربد: دار الحامد للنشر والتوزيع.

7. الزعبي، عبد الله. (2019). *المدن الذكية وإدارة المرافق: مدخل إنترنت الأشياء والبيانات الضخمة في الخدمات البلدية*. دبي: مركز الإمارات للدراسات والبحوث الاستراتيجية.

8. السيد، محمد. (2020). التلوث الثانوي الناتج عن ممارسات النظافة التقليدية وسبل معالجته تقنياً: دراسة ميدانية. *مجلة بحوث الإدارة والاقتصاد*, 12(4)، 205-234.

9. عبد الله، حسين. (2023). *الاقتصاد الدائري في الإدارة المحلية: من جمع النفايات إلى تعظيم الاسترداد البيئي*. الرياض: مكتبة العبيكان.

10. القاسم، وسام. (2021). تطوير الكفاءات البشرية في قطاع النظافة البلدية وأثره على تحسين المؤشرات البيئية الحضرية. *مجلة جامعة دمشق للعلوم الاقتصادية والقانونية*, 37(1)، 310-345.