Sharwes Scientific Journal (SSJ)
Volume 6, Issue 2, 2025, pp 560-575, ISSN 3079-6040

Towards a Citizen-Driven Smart App for Managing Temporary Waste Dumps

Abubkr Abdelsadiq [1*], Salem Muftah Abdusalam [1]

[1] Computer Science Department, Faculty of Science, Almergib University, Alkhoms, Libya.

*Corresponding author email: Abubkr Abdelsadiq | abubkr.abdelsaiq@elmergib.edu.ly

Received: 19-11-2025 | Accepted: 15-12-2025 | Available online: 17-12-2025 | DOI:10.26629/ssj.2025.34

ABSTRACT

This paper addresses the growing challenges of solid waste management (SWM) in cities with limited infrastructure, highlighting its environmental, health, and economic implications. Given that this is a design-based research study, this paper presents a proposed framework for a smart application that aims to transform citizens into active partners in the process of reporting illegal dumps and full bins, while providing an effective incentive system. The proposed application is based on citizen empowerment and open data, offering an alternative to complex, sensor-based technologies often unsuitable for local needs in low-infrastructure environments. The paper follows a design-based research methodology that includes the stages of analysis, design, implementation, and evaluation, with a detailed explanation of the data flow within the system. The analysis shows that this principle enhances the efficiency of the collection process, reduces unregulated waste disposal, and improves transparency, contributing to the development of a sustainable waste management system and supporting the achievement of sustainable development goals.

Keywords: Smart Waste Management, Citizen Participation, Open Data, Limited Infrastructure, Smart Apps.

نحو بناء تطبيق ذكي قائم على المشاركة المجتمعية لإدارة مكبات النفايات المؤقتة

أبوبكر عياد عبد الصادق[1*]، سالم مفتاح عبدالسلام[1]

[1] قسم علوم الحاسوب، كلية العلوم ، جامعة المرقب، الخمس، ليبيا.

*المؤلف المراسل: أبوبكر الصادق |abubkr.abdelsaiq@elmergib.edu.ly

استقبلت: 19-11-2025م | قبلت: 15-12-2025م | متوفرة على الانترنت | 17-12-2025م | DOI:10.26629/ssj.2025.34

ملخـــــــص البحـــــــث

تتناول هذه الورقة التحديات المتنامية في إدارة النفايات الصلبة بالمدن ذات البنية التحتية المحدودة، وتُسلِّط الضوء على انعكاساتها البيئية والصحية والاقتصادية. وفي ظل عجز الحلول التقليدية عن مواجهة هذه التحديات، وعدم ملاءمة التقنيات الحديثة للاحتياجات المحلية، يقترح البحث تطوير تطبيق ذكي لإدارة النفايات ويقوم على تمكين المواطنين واستثمار البيانات المفتوحة. يهدف التطبيق إلى تحويل المواطنين إلى شركاء فاعلين في عملية الإبلاغ عن المكبات العشوائية وامتلاء الصناديق، مع توفير نظام تحفيزي فعال. تتبع الورقة منهجية بحثية تصميمية تطويرية تشمل مراحل التحليل والتصميم والتنفيذ والتقييم، مع توضيح دقيق لتدفق البيانات داخل النظام. من خلال التحليل تبين أن هذا المبدأ يعزز كفاءة عملية الجمع، ويقلل من التخلص غير المنظم للنفايات، ويرتقي بالشفافية، ما يسهم في بناء نظام إدارة نفايات مستدام، ويدعم تحقيق أهداف التنمية المستدامة.

الكلمات المفتاحية: إدارة النفايات الذكية، مشاركة المواطنين، البيانات المفتوحة، البنية التحتية المحدودة، التطبيقات الذكية.

"Articles published in *Sharwes Sci J* are licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License."

1. مقدمة

تصاعدت أزمة ادارة النفايات الصلبة بشكل ملحوظ في السنوات الأخيرة في العديد من المدن النامية والمناطق التي تعاني من ضعف البنية التحتية، حيث أصبحت المكبات العشوائية جزءًا من المشهد اليومي، مما يترك تأثيرًا سلبيًا كبيرًا على البيئة والصحة العامة وجودة الحياة. تشير الإحصائيات الصادرة عن البنك الدولي إلى أن العالم ينتج سنويًا حوالي 2 مليار طن من النفايات الصلبة، بينما يتم جمع حوالي 48% منها فقط بشكل منتظم في البلدان منخفضة الدخل [1] وفي ظل غياب أنظمة فعالة لإدارة النفايات، يعتمد السكان على أساليب غير رسمية للتخلص من القمامة، مما يؤدي إلى تفاقم الأزمات الصحية والبيئية. نتيجة لذلك، يمكن أن تؤدي النفايات المتراكمة إلى تلوث المياه الجوفية بسبب تسرب المواد الكيميائية السامة، كما تخلق بيئة ملائمة لتكاثر الحشرات والقوارض الناقلة للأمراض مثل الملاريا والتيفوئيد [2]. بالإضافة إلى ذلك، فإن حرق النفايات بشكل عشوائي يطلق انبعاثات ضارة مثل الغازات السامة والمركبات العضوية المتطايرة، مما يزيد من تلوث الهواء ويؤثر على المناخ العالمي [3] [4].

وبالتالي، فإن معالجة هذه المشكلة تتطلب استراتيجيات متكاملة تشمل تحسين البنية التحتية، وتعزيز الوعي المجتمعي، واستخدام تقنيات مستدامة لإدارة النفايات. وهنا، تظهر الحاجة إلى حلول مبتكرة تعوض نقص البنية التحتية من خلال تفعيل دور المجتمع. إحدى هذه الحلول هي المنصات الرقمية التشاركية التي تربط المواطنين بالجهات المسؤولة، وهو ما يدعمه هذا البحث عبر طرح نموذج لتطبيق هاتف محمول يحول إدارة النفايات من عبء حكومي إلى مسؤولية مشتركة. في هذا السياق، يبرز التطبيق المقترح كحل تقني يعزز الاستدامة الحضرية والاقتصاد الدائري [5]، ويساهم بشكل مباشر في تحقيق أهداف التنمية المستدامة [6] (SDGs)، خاصة الهدف 11 (مدن ومجتمعات مستدامة) والهدف 12 (الاستهلاك والإنتاج المسؤولان). إن الفجوة في إدارة النفايات تؤدي إلى سلسلة من التحديات ذات الأبعاد المتنوعة والمتشابكة، والتي يمكن للتطبيق أن يساهم في سدها – سندرسها – في النقاط التالية:

أ. البُعد البيئي ويشمل

- التغير المناخي – قطاع النفايات مسؤول عن 20 في المائة من الميثان الذي يسببه الإنسان ، وتعتبر معالجة هذه الانبعاثات مساهمة ضرورية في الجهود العالمية لحل أزمة المناخ [1]. يسهم التطبيق في تقليلها عبر توجيه النفايات إلى مواقع مُدارة، مما يحد من التحلل العشوائي وانبعاث الغازات السامة.

- الحفاظ على الموارد – من خلال دمج إرشادات حول فصل النفايات القابلة لإعادة التدوير، يمكن للتطبيق أن يزيد معدلات إعادة الاستخدام، مما يقلل استنزاف الموارد الطبيعية.

ب. **البُعد الصحي والاجتماعي**

- العدالة البيئية – تتراكم المكبات العشوائية غالباً بالقرب من الأحياء الفقيرة، مما يزيد من مخاطر الإصابة بالأمراض بين السكان الأكثر فقراً والأقل دخلاً. يُمكن للتطبيق تحقيق عدالة جغرافية بتوزيع نقاط التجميع بشكل عادل.
- تمكين المرأة – في العديد من المجتمعات، تُعد النساء الأكثر تضرراً من تراكم القمامة (بسبب أدوارهن في رعاية الأسرة). التطبيق يخفف أعباءهن عبر تقليل الوقت للبحث عن أماكن التخلص والمساهمة في إرشاد بقية أفراد الأسرة.

ج. **البُعد الاقتصادي – من التكلفة إلى الفرصة**

- خفض التكاليف – تصل تكلفة تنظيف المكبات العشوائية إلى 20% من ميزانيات البلديات في بعض المدن (بحسب بيانات البنك الدولي [7]). التطبيق يقلل هذه التكاليف عبر تحسين تخطيط عمليات الجمع.
- خلق فرص عمل خضراء – يمكن دمج وظائف جديدة مثل "مُحقق بيانات النفايات" للتحقق من التقارير المقدمة من المواطنين، أو "مشغلي نقاط التدوير" المرتبطة بالتطبيق.

د. **البُعد التكنولوجي – نحو مدن ذكية**

- الذكاء الاصطناعي للتنبؤ– بجمع البيانات التاريخية، يمكن للتطبيق استخدام خوارزميات التنبؤ لتحديد مواقع مثل نقاط تجميع جديدة بناءً على الكثافة السكانية وأنماط الاستهلاك.
- البلوك تشين للشفافية – يمكن تسجيل معاملات النفايات (مثل الكميات المُعاد تدويرها) بسجل لا مركزي، مما يضمن ثقة المواطنين والجهات الرقابية

هـ. **البُعد العالمي – التكيف مع أجندة 2030**

- ربط الحل بالأهداف الأممية:

- الهدف 11.6: تقليل الأثر البيئي السلبي للمدن، بما في ذلك إدارة النفايات.
- الهدف 12.5: تقليل النفايات عبر المنع والحد وإعادة التدوير.
- التخفيف من حدة الفقر (الهدف 1):

- عبر تقليل الأمراض المرتبطة بالنفايات التي تثقل كاهل الأسر الفقيرة
- تحسين آلية مساهمة المواطنين – من المتلقي إلى الشريك الفاعل

تم تقسيم هذه الورقة البحثية إلى الأجزاء التالية: المقدمة، الدراسات السابقة، الإطار النظري، المنهجية المقترحة، النتائج المتوقعة، وأخيراً الخاتمة والتوصيات.

1.1 أهداف البحث

يهدف هذا البحث إلى تحقيق الأهداف المحددة التالية:

- المتطلبات الوظيفية وغير الوظيفية لتطبيق ذكي لإدارة النفايات في المدن ذات البنية التحتية المحدودة.
- تصميم نموذج تفاعلي يدمج مشاركة المواطنين والبيانات المفتوحة (Open Data) كبديل فعال لأنظمة الاستشعار المعقدة لإدارة المكبات المؤقتة.
- تحليل الأثر المتوقع للنموذج المقترح على كفاءة عملية جمع النفايات، والحد من الإلقاء العشوائي، وتعزيز الشفافية في إدارة النفايات الصلبة البلدية (Municipal Solid Waste Management – MSWM).

2.1 أسئلة البحث

يسعى هذا البحث للإجابة على الأسئلة البحثية التالية:

- ما هي التحديات الرئيسية التي تواجه إدارة النفايات الصلبة البلدية في المدن ذات البنية التحتية المحدودة؟
- كيف يمكن لتطبيق ذكي قائم على مشاركة المواطنين والبيانات المفتوحة أن يعالج هذه التحديات في سياق بيئة منخفضة البنية التحتية؟
- ما هو الإطار التصميمي المقترح لتطبيق ذكي لإدارة المكبات المؤقتة يضمن الكفاءة والاستدامة؟

2. الدراسات السابقة

نظراً لتنوع الدراسات السابقة وتناولها لعدة جوانب مختلفة، في هذه الورقة سيتم التركيز على الدراسات السابقة في مجال الإدارة، مشاركة المواطنين والجانب التقني. تُظهر الدراسات السابقة أن الإدارة الفعالة للنفايات الصلبة البلدية Municipal Solid Waste Management (MSWM) تمثل تحديًا كبيرًا في البلدان النامية، لا سيما في المدن ذات البنية التحتية المحدودة. على سبيل المثال، تسلط دراسة حالة أجريت في

كينيا [8] الضوء على أن السلطات المحلية تواجه قيودًا كبيرة في تقديم خدمات إدارة النفايات. وتسلط دراسات الحالة في دول أخرى الضوء على قيود إضافية تعيق الإدارة الفعالة للنفايات، حيث يشير *نارتي* ونياركو [9] إلى أن ممارسات إدارة النفايات الصلبة في غانا، على سبيل المثال، تركز بشكل أساسي على جمع النفايات بدلاً من الإدارة الشاملة التي تشمل النقل والمعالجة والتخلص والمراقبة والتنظيم.

1.2 التحديات الإدارية والتشغيلية في إدارة النفايات الصلبة البلدية

تؤكد الدراسات أن الإدارة الفعالة للنفايات الصلبة البلدية (MSWM) تمثل تحديًا كبيرًا في البلدان النامية، وخاصة في المدن ذات البنية التحتية المحدودة [8, 9]. وفي السياق المحلي، أشارت دراسة حول إدارة النفايات الصلبة البلدية في بنغازي (ليبيا): الممارسات والتحديات الحالية [10] إلى عدة قضايا حاسمة تواجه المدينة، بما في ذلك نقص التوثيق حول توليد النفايات ومناولتها وإدارتها والتخلص منها. كما أكدت الدراسة أن النظام الحالي يتأثر بقيود اقتصادية ومؤسسية وتشريعية وتقنية وتشغيلية غير مواتية. يوجد الكثير من التحديات الإدارية الرئيسية التي تم تحديدها في الدراسات السابقة:

- **ضعف التخطيط وغياب البيانات الموثوقة:** يغيب التخطيط الاستراتيجي الفعال لبرامج إدارة النفايات، ويعزى ذلك جزئيًا إلى عدم توفر بيانات وطنية موثوقة حول توليد النفايات وتكوينها، مما يعيق وضع استراتيجيات مستدامة وموجهة [9] .
- **نقص القدرة التشغيلية والبنية التحتية المترديه:** تعاني السلطات المحلية من ضعف كبير في القدرة التشغيلية، حيث تتسم المعدات والمركبات المخصصة لجمع النفايات بالقدم وعدم الكفاءة، مما يؤدي إلى تعطلها المتكرر وانخفاض حاد في كفاءة الجمع. يضاف إلى ذلك تردي البنية التحتية للطرق، خاصة في المناطق ذات الدخل المنخفض، مما يعيق وصول مركبات الجمع إلى المكبات [8].
- **القيود المالية ونقص التمويل:** تواجه البلديات ضغوطًا مالية شديدة، حيث تستنزف التكاليف التشغيلية المرتفعة جزءًا كبيرًا من الميزانيات، مما يترك القليل للاستثمار في تحديث المعدات أو تحسين البنية التحتية [8].
- **ضعف الحوكمة والتدخل السياسي:** يؤدي سوء التنسيق والتدخل السياسي المتكرر إلى إعاقة تقديم الخدمات بفعالية، كما أن ضعف الإرادة السياسية وسوء الإدارة المالية يؤديان إلى تفاقم نقص التمويل اللازم لتحسين وتوسيع القدرات [8] .

2.2 مشاركة المواطنين وتطبيقات النفايات الذكية

تُعد مشاركة المواطنين عنصرًا حاسمًا في نجاح برامج الإدارة للنفايات الصلبة، لا سيما في سياق المدن التي تسعى لتحسين ممارساتها البيئية. تسلط دراسة أجريت في بوتراجايا، ماليزيا [11]، الضوء على العلاقة بين مشاركة المجتمع في برامج إعادة التدوير ومواقفهم ومعرفتهم بفصل النفايات، أظهرت الدراسة أن هناك ارتباطًا ضعيفًا بين مشاركة المجتمع في برامج إعادة التدوير وموقف المجتمع تجاه فصل النفايات الصلبة، وكذلك بين معرفة المجتمع بفصل النفايات الصلبة ومشاركته في ذلك. هذا يشير إلى أن مجرد وجود برامج لإعادة التدوير أو توفير المعلومات قد لا يكون كافيًا لضمان مستويات عالية من المشاركة. حدد البحث عدة عوامل رئيسية تعيق مشاركة المجتمع في فصل النفايات الصلبة، منها:

- **ضيق الوقت:** يرى الأفراد أن عملية فصل النفايات تستغرق وقتًا طويلاً.
- **محدودية المساحة والحاويات:** نقص المساحة المخصصة لفصل النفايات في المنازل وعدم توفر الحاويات الكافية.
- **المسافة إلى مراكز التجميع:** بُعد مراكز تجميع النفايات القابلة لإعادة التدوير عن أماكن سكن المواطنين، مما يجعل الوصول إليها صعبًا.
- **مهام وأعباء إضافية:** ينظر بعض الأفراد إلى عملية فصل النفايات على أنها عبء إضافي، ويفضلون التخلص من النفايات دون فصلها لسهولة وسرعة العملية.

تؤكد نتائج الدراسات السابقة على أهمية مشاركة المواطنين في التخلص من النفايات وتؤكد على أهمية معالجة الحواجز النفسية والعملية التي تواجه المواطنين لتعزيز مشاركتهم [11]. ولهذا، تظهر الحاجة إلى منصات رقمية تشاركية تعوض نقص البنية التحتية من خلال تفعيل دور المجتمع. في هذا السياق، أظهرت المراجعات المنهجية لتطبيقات المدن الذكية أن هناك اهتمامًا متزايدًا بتطوير تطبيقات لتعزيز مشاركة المواطنين في تحديد المشكلات الحضرية والمساهمة في عمليات صنع القرار [18]. وقد ركزت العديد من هذه التطبيقات على الإبلاغ التشاركي (Participatory Reporting)، حيث يُنظر إلى المواطنين كعملاء قادرين على الإبلاغ عن مشكلات تتعلق بالبنية التحتية الحضرية أو الإلقاء غير القانوني للنفايات [12] . على سبيل المثال، استهدفت تطبيقات الإبلاغ التشاركي تحديد الإلقاء غير القانوني للنفايات بناءً على تقارير المواطنين [13]. وتعتمد هذه الأنظمة على آليات بسيطة مثل التقاط صورة وإرسال الموقع الجغرافي، مما يجعلها مناسبة للبيئات التي تفتقر إلى أنظمة استشعار معقدة. كما أن بعض هذه التطبيقات تستخدم

آليات تحفيزية مثل الألعاب الالكترونية (Gamification) لزيادة الوعي وتشجيع المواطنين على المشاركة الفعالة.

في المقابل، تركز الحلول التقنية المتقدمة في إدارة النفايات على أجهزة الاستشعار المعقدة والتحكم الآلي في مستويات امتلاء الحاويات وتتبع المركبات [12] [13]. ورغم التقدم الكبير في هذه التقنيات، إلا أنها قد لا تكون قابلة للتطبيق بفعالية في بيئة تفتقر إلى بنية تحتية مستقرة للاتصالات أو تعاني من تحديات في الصيانة الدورية للمعدات الإلكترونية.

3.2 الجانب التقني في إدارة النفايات الصلبة البلدية

تظهر التطورات الحديثة في الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء[16–14] (IoT) إمكانات هائلة لتحويل إدارة النفايات الصلبة البلدية (MSWM) في المدن الذكية. في هذه الدراسة الاستقصائية الشاملة [16] تم تناول التحديات والفرص في إدارة النفايات في المدن الذكية التي تعتمد على إنترنت الأشياء. تغطي الدراسة مجموعة واسعة من التقنيات، بما في ذلك أجهزة الاستشعار، وتحليل البيانات، والاتصالات، وتطبيقات إنترنت الأشياء المختلفة في إدارة النفايات. نظرًا لطبيعتها كمراجعة، فهي غالبًا ما تكون مرجعًا أساسيًا للعديد من الأبحاث اللاحقة في هذا المجال، مما يفسر عدد استشهاداتها الكبير. كما قدم أحمد وآخرون في دراسة أخرى [15] مراجعة معمارية لنظام إدارة النفايات المدفوع بالذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، والذي يهدف إلى معالجة تحديات مثل امتلاء حاويات النفايات، ارتفاع التكاليف التشغيلية، وجداول الجمع غير الفعالة. يعتمد النظام المقترح على أجهزة استشعار لمراقبة مستويات امتلاء الحاويات بشكل مستمر، واستخدام الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات وتحسين مسارات وجداول الجمع. هذا النهج يساهم في تقليل استهلاك الوقود، خفض التكاليف التشغيلية، وتحسين جودة الهواء، مما يعزز الاستدامة والكفاءة في إدارة النفايات الحضرية. في نفس السياق أيضاً أقترح عبد الله وآخرون [14] تصميمًا محسنًا لنظام إدارة النفايات يعتمد على إنترنت الأشياء، يهدف إلى تحسين كفاءة جمع النفايات والتخلص منها. يعالج هذا التصميم تحديات النمو السكاني والتوسع الحضري من خلال استخدام حاويات ذكية مزودة بأجهزة استشعار (مثل الوزن والحجم) لتحديد مستويات امتلاء النفايات. يتم إرسال هذه البيانات إلى مركز إدارة النفايات، مما يتيح تحديد أفضل مسارات الشاحنات وجداول الجمع المثلى بناءً على نوع النفايات وأولويتها. هذا النهج يعزز الأتمتة ويسرع عملية تحديد النفايات للمعالجة، مما يقلل من التكاليف ويحسن الكفاءة العامة.

من ناحية أخرى تُعد البيانات المفتوحة محركًا أساسيًا للابتكار وتحسين الخدمات في المدن الذكية، حيث تؤكد نيفيس وآخرون [17] على الدور الحاسم للبيانات المفتوحة في فهم وإدارة التحديات الحضرية، بما في ذلك إدارة النفايات. تشير الدراسة إلى أن البيانات المفتوحة تمكّن من الحصول على رؤى وتحليلات معمقة، مما يدعم اتخاذ القرارات الرصينة والتخطيط الفعال للمدن. كما أنها تعزز مبدأ الشفافية، مشاركة المواطنين، وتدعم تطوير حلول تقنية مبتكرة من خلال توفير الوصول إلى كميات هائلة من البيانات الحضرية.

4.2 الفجوة البحثية ومساهمة البحث

على الرغم من وجود دراسات تناولت إدارة النفايات في ليبيا [10] ودراسات أخرى عن التطبيقات الذكية ومشاركة المواطنين[12, 13] ، إلا أنه لا توجد دراسة دمجت بين مشاركة المواطنين و البيانات المفتوحة و إدارة المكبات المؤقتة في بيئة منخفضة البنية التحتية.

تتمثل مساهمة هذا البحث في تقديم نموذج تصميمي يركز على الاستفادة القصوى من الموارد المتاحة (المواطنون، الهواتف الذكية، البيانات المفتوحة) لتجاوز قيود البنية التحتية، مما يوفر إطارًا عمليًا يمكن تطبيقه في مدن مماثلة في البلدان النامية.

3. القصور في الحلول التقنية الحالية وسياق التطبيق المقترح

على الرغم من التطورات الواعدة في الحلول التقنية لإدارة النفايات الصلبة البلدية، والتي تعتمد بشكل كبير على الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والبيانات المفتوحة [15]، [14]، [17]، [16]، إلا أن تطبيق هذه الحلول قد يواجه قصورًا كبيرًا في المدن ذات البنية التحتية المحدودة والمجتمعات التي تفتقر إلى الوعي الكافي، كما هو الحال في ليبيا.

فبينما تركز الأنظمة الذكية المتقدمة على أجهزة الاستشعار المعقدة والتحكم الآلي في مستويات امتلاء الحاويات وتتبع المركبات [15]، [14]، فإن هذه التقنيات قد لا تكون قابلة للتطبيق بفاعلية في بيئة تفتقر إلى البنية التحتية المستقرة للاتصالات، أو تعاني من تحديات في الصيانة الدورية للمعدات الإلكترونية، أو حيث يكون الوعي المجتمعي بأهمية إدارة النفايات ضعيفًا. إن الاعتماد الكلي على التقنية دون مراعاة السياق الاجتماعي والاقتصادي قد يؤدي إلى فشل هذه الحلول في تحقيق أهدافها، كما أن التحديات الإدارية والمالية والبنية التحتية المتردية التي تم تناولها سابقًا [8]، [9] تزيد من صعوبة تبني هذه الأنظمة المعقدة.

لذلك، تبرز الحاجة إلى حل بديل يركز على تمكين المواطنين كعنصر أساسي في نظام إدارة النفايات، مستفيدًا من التقنية بشكل مبسط وموجه لدعم المشاركة المجتمعية. يقترح هذا البحث تطوير تطبيق ذكي يعتمد بشكل أساسي على:

- **مشاركة المواطنين في الإبلاغ** :يتيح التطبيق للمواطنين الإبلاغ عن المكبات العشوائية، امتلاء صناديق القمامة، وحتى الإبلاغ عن المخلفات ذات القيمة المادية (مثل البلاستيك والحديد) عبر واجهة سهلة الاستخدام. يمكن تحقيق ذلك من خلال آليات بسيطة مثل مسح رمز الاستجابة السريعة (QR Code) الموجود على الصناديق، مما يضمن تحديث البيانات في الوقت الفعلي.
- **البيانات المفتوحة والشفافية** :يتم تحديث بيانات مواقع المكبات ومستويات امتلاء الصناديق بشكل مستمر وتكون متاحة لجميع الأطراف المعنية (البلدية، شركات جمع النفايات، المواطنين)، مما يعزز الشفافية ويساعد في توجيه المواطنين إلى الصناديق الأقل امتلاءً.
- **التحفيز والمكافآت** :لتعزيز المشاركة، يمكن للتطبيق تقديم نظام نقاط للمساهمين، مع إمكانية تحويل هذه النقاط إلى قيمة مالية أو مكافآت أخرى، بالإضافة إلى عرض قائمة بأفضل المساهمين لتشجيع المنافسة الإيجابية.
- **تحديد المواقع الجغرافية** : يمكن للتطبيق إرسال بيانات دقيقة عن المواقع الجغرافية للمكبات العشوائية (خارج الصناديق) إلى الجهات المسؤولة، مما يسهل عمليات التنظيف والتخطيط.

يهدف هذا النهج إلى تجاوز قصور الحلول التقنية المعقدة وغير المناسبة للسياق المحلي، من خلال تقديم حل عملي يعتمد على الموارد المتاحة، ويستثمر في رأس المال البشري والمشاركة المجتمعية كقوة دافعة لتحسين إدارة النفايات.

4. المنهجية وتصميم التطبيق

يهدف هذا البحث إلى تقديم مقترحاً تصميمياً لتطبيق ذكي لإدارة النفايات الصلبة البلدية في المدن ذات البنية التحتية المحدودة، مع التركيز على تعزيز مشاركة المواطنين والشفافية من خلال البيانات المفتوحة. لتحقيق هذا الهدف، سيتم اعتماد **منهجية بحثية تصميمية وتطويرية** تركز على بناء حلول مبتكرة لمشكلات واقعية وتقييم فعاليتها. تتضمن هذه المنهجية المراحل التالية:

1.4 مرحلة التحليل وتحديد المتطلبات:

- **تحليل الفجوة:** بناءً على الدراسات السابقة التي تم استعراضها، سيتم تحليل الفجوات في الحلول الحالية ومدى ملاءمتها للسياق المحلي، مع التركيز على التحديات الإدارية، ومحدودية البنية التحتية، ونقص الوعي.
- **تحديد أصحاب المصلحة:** تحديد الأطراف الرئيسية المستفيدة والمتأثرة بالتطبيق، مثل المواطنين، البلديات، شركات جمع النفايات، والجهات البيئية.
- **جمع المتطلبات:** سيتم جمع المتطلبات الوظيفية وغير الوظيفية للتطبيق من خلال :
  - **المقابلات:** إجراء مقابلات مع ممثلين عن البلديات وشركات جمع النفايات لفهم احتياجاتهم التشغيلية والتحديات التي يواجهونها.
  - **مجموعات التركيز:** تنظيم مجموعات تركيز مع عينة من المواطنين لفهم توقعاتهم، حواجز المشاركة، والميزات التحفيزية التي يرغبون بها.
  - **تحليل الوثائق:** مراجعة أي وثائق أو تقارير محلية ذات صلة بإدارة النفايات.
  - **الملاحظة:** تتبع وتدوين ملاحظات حول إجراءات جمع النفايات.

2.4 مرحلة التصميم:

- **تصميم معمارية النظام:** تحديد المكونات الرئيسية للتطبيق (تطبيق الهاتف المحمول، الواجهة الخلفية، قاعدة البيانات، نظام GIS وكيفية تفاعلها).
- **تصميم واجهة المستخدم وتجربة المستخدم:** التركيز على تصميم واجهة بسيطة، بديهية، وسهلة الاستخدام، مع الأخذ في الاعتبار مستويات الوعي المختلفة للمستخدمين. سيتم تصميم شاشات الإبلاغ، عرض الخرائط، نظام النقاط والمكافآت.
- **تصميم قاعدة البيانات:** تحديد هيكل البيانات اللازمة لتخزين معلومات النفايات، المستخدمين، المكافآت، ومواقع المكبات.
- **تصميم آليات التحفيز:** دمج عناصر الألعاب (Gamification) مثل النقاط، الشارات، لوحات الصدارة، والمكافآت المحتملة (مثل القسائم أو الخصومات) لتشجيع المشاركة المستمرة. بشكل عملي يتم تطبيق آلية نقاط قابلة للاستبدال: بخصومات من المتاجر المحلية، خدمات مجانية من البلدية، رحلات مجانية وإبراز المتطوعين الأكثر نشاطاً عبر لوحة شرف رقمية.
- **تصميم آلية QR Code:** تحديد كيفية ربط صناديق القمامة برموز QR Code وكيفية استخدامها للإبلاغ عن الامتلاء أو المشاكل.

3.4 مرحلة التطوير:

- **تطوير تطبيق الهاتف المحمول:** بناء التطبيق على منصات شائعة (مثل Android و/أوiOS) لضمان أقصى قدر من الوصول.
- **تطوير الواجهة الخلفية:** بناء الخوادم، واجهات برمجة التطبيقات(APIs) ، ومنطق الأعمال (Business Logic) الذي يدعم وظائف التطبيق.
- **دمج نظام المعلومات الجغرافية:** دمج خرائط المعلومات الجغرافية (GIS) لعرض مواقع المكبات، صناديق القمامة، وتحديد مسارات الجمع.
- **تطوير لوحة التحكم:** بناء لوحة تحكم للبلديات وشركات جمع النفايات لعرض البيانات في الوقت الفعلي، إدارة البلاغات، وتتبع أداء الجمع.

4.4 مرحلة التقييم:

- **الاختبار الوظيفي** : التأكد من أن جميع ميزات التطبيق تعمل كما هو متوقع.
- **اختبار تجربة المستخدم** :إجراء اختبارات قابلية الاستخدام مع عينة من المستخدمين المستهدفين لجمع الملاحظات وتحسين الواجهة وتجربة المستخدم.
- **التقييم التجريبي:** نشر نسخة تجريبية من التطبيق في منطقة جغرافية محددة في ليبيا لتقييم فعاليته في بيئة واقعية، وجمع البيانات حول معدلات المشاركة، كفاءة الجمع، وتأثيره على تقليل المكبات العشوائية.
- **تحليل البيانات:** تحليل البيانات المجمعة من مرحلة التقييم التجريبي لتقييم مدى نجاح التطبيق في تحقيق أهدافه.

5.4 تدفق البيانات في نظام إدارة النفايات الذكي:

يُعد نظام إدارة النفايات الذكي بمثابة شريان رقمي يربط بين جميع أطراف عملية إدارة النفايات، محولاً كل حركة إلى بيانات قيمة تضمن الكفاءة والشفافية. يتدفق هذا النظام بسلاسة من لحظة ولادة النفايات وحتى نهاية دورتها، معززًا أهمية التطبيق في كل خطوة:

- **المواطن (مصدر البيانات الأول):** تبدأ الرحلة عندما يلاحظ المواطن امتلاء صندوق قمامة، أو وجود مكب عشوائي، أو حتى مخلفات قيمة. يقوم المواطن فورًا بـ **إنشاء البيانات** عبر **تطبيق الهاتف الذكي**، سواء بالإبلاغ المباشر أو بمسح رمز QR الخاص بـ **صندوق القمامة الذكي** لتحديد هويته وموقعه. هذه البيانات الأولية (بلاغات، صور، بيانات موقع) تُعد حجر الزاوية في النظام.

- **تطبيق الهاتف الذكي (نقطة التجميع)** : يعمل التطبيق كبوابة لـ **تجميع البيانات** من المواطنين وصناديق القمامة. يقوم بـ **إرسال** هذه البلاغات والمعلومات (بما في ذلك بيانات الموقع الجغرافي GISوالصور) بشكل فوري إلى المحور المركزي للنظام.
- **السحابة / الخادم المركزي (مركز المعالجة والتخزين)** : تستقبل السحابة جميع البيانات الواردة لـ **معالجتها وتخزينها** .هنا، يتم **تكامل البيانات** مع **قاعدة بيانات GIS** لتحديث الخرائط وتحديد المواقع بدقة. تُصبح السحابة المستودع الرئيسي لجميع المعلومات، جاهزة لـ **الاستخراج والتحليل.**
- **لوحة تحكم الإدارة (مركز التحليل واتخاذ القرار)** : تقوم لوحة التحكم بـ **استخراج البيانات** من السحابة في الوقت الفعلي، وتحويلها إلى تقارير وتحليلات ورسوم بيانية. هذه المعلومات الحيوية تُمكن:
  - **البلدية** من **اتخاذ قرارات** حاسمة بشأن التخطيط والمراقبة الشاملة.
  - **شركة جمع النفايات** من **استخراج** مسارات جمع محسنة، وتلقي تنبيهات فورية للجمع، وتحديد مواقع التنظيف العاجلة، مما يقلل من التكاليف ويزيد الكفاءة.
- **البيانات المفتوحة (الشفافية والمشاركة)** : جزء من البيانات المُعالجة في السحابة يُتاح للجمهور عبر منصة **البيانات المفتوحة**، مما يعزز الشفافية ويسمح للمجتمع بـ **استخراج** معلومات عامة حول حالة الصناديق والمكبات.
- **المواطن (التغذية الراجعة والتحفيز)** : لا يقتصر دور المواطن على إدخال البيانات، بل يتلقى أيضًا **تغذية راجعة** من السحابة عبر التطبيق. يتم **استخراج** نقاط ومكافآت، وتحديث لوحة الصدارة، وتقديم محتوى توعوي، بالإضافة إلى معلومات حول حالة الصناديق القريبة. هذا التدفق ثنائي الاتجاه يحفز المواطنين على المشاركة المستمرة.

من خلال هذا التدفق المتكامل للبيانات، يتحول النظام من مجرد أداة للإبلاغ إلى محرك قوي لـ:

- ✓ **تحسين كفاءة الجمع** وتقليل التكاليف التشغيلية.
- ✓ **تقليل المكبات العشوائية** بفضل الاستجابة السريعة.
- ✓ **تعزيز مشاركة المواطنين** وتحويلهم إلى شركاء فاعلين في إدارة النفايات.
- ✓ **زيادة الشفافية** وتوفير بيانات دقيقة لاتخاذ القرارات الاستراتيجية.

6.4 تحليل SWOT لتطبيق إدارة النفايات الذكي:

ا. نقاط القوة:

- **مشاركة مجتمعية نشطة** : يشجع التطبيق المواطنين على أن يكونوا جزءًا فاعلاً في حل مشكلة النفايات، مما يزيد من الوعي والمسؤولية المجتمعية.
- **تحديث بيانات في الوقت الفعلي** : يوفر معلومات دقيقة وفورية عن حالة صناديق القمامة والمكبات العشوائية، مما يتيح استجابة سريعة وفعالة.
- **تحسين كفاءة الجمع** : يساعد في تحسين مسارات الجمع وتقليل التكاليف التشغيلية من خلال التخطيط الأمثل بناءً على البيانات.
- **نظام تحفيز ومكافآت** : يحفز المواطنين على المشاركة المستمرة من خلال النقاط والمكافآت ولوحات الصدارة.
- **شفافية البيانات (مفتوحة)** : يتيح الوصول إلى بيانات عامة حول حالة النفايات، مما يعزز الثقة والمساءلة.

ب. نقاط الضعف:

- **الاعتماد على مشاركة المواطنين** :قد يواجه تحديات في المناطق ذات الوعي المنخفض أو قلة المشاركة، مما يؤثر على دقة البيانات وفعالية النظام.
- **التكلفة الأولية** :يتطلب استثمارًا كبيرًا في البنية التحتية، مثل الصناديق الذكية وتطوير التطبيق والخوادم.
- **متطلبات البنية التحتية التقنية:** يحتاج إلى اتصال إنترنت مستقر وتوفر أجهزة ذكية لدى المواطنين.
- **مخاوف خصوصية البيانات:** قد تثير جمع بيانات الموقع والصور مخاوف تتعلق بالخصوصية لدى بعض المستخدمين.
- **تبني المستخدم ومحو الأمية الرقمية:** قد يواجه صعوبة في الوصول إلى فئات معينة من المجتمع غير المعتادة على استخدام التكنولوجيا.

ج. الفرص:

- **النمو الحضري والتوسع** :مع تزايد عدد السكان في المدن، تزداد الحاجة إلى حلول ذكية لإدارة النفايات.

- **الدعم الحكومي والتشريعات** :يمكن أن تستفيد من المبادرات الحكومية والتشريعات التي تدعم الاستدامة والمدن الذكية.
- **الشراكات:** إمكانية عقد شراكات مع البلديات، شركات جمع النفايات، والمنظمات البيئية لتعزيز الانتشار والفعالية.
- **الابتكار التكنولوجي:** الاستفادة من التطورات المستقبلية في الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء، وتحليل البيانات لتحسين النظام.
- **التوعية البيئية المتزايدة:** الوعي المتزايد بالقضايا البيئية يدعم تبني حلول مستدامة لإدارة النفايات.

د. التهديدات:

- **المنافسة:** وجود حلول أخرى لإدارة النفايات (تقليدية أو تقنية) قد يؤثر على حصة السوق.
- **التحديات التنظيمية والبيروقراطية:** قد تواجه صعوبات في الحصول على الموافقات والتراخيص من الجهات الحكومية.
- **الأعطال التقنية والأمن السيبراني:** مخاطر الأعطال في النظام أو الهجمات السيبرانية التي قد تؤثر على موثوقية البيانات وخصوصيتها.
- **التغيرات في سلوك المستخدم:** قد يتغير سلوك المستخدمين أو يفقدون الاهتمام بالمشاركة بمرور الوقت.
- **التقلبات الاقتصادية:** قد تؤثر الظروف الاقتصادية على القدرة على الاستثمار في التكنولوجيا أو على استعداد البلديات والشركات للدفع مقابل الخدمة.

5. الخاتمة والتوصيات

لقد أظهرت هذه الورقة أن تحديات إدارة النفايات الصلبة في المدن ذات البنية التحتية المحدودة، كما هو الحال في ليبيا، تتجاوز الجوانب التشغيلية لتشمل أبعادًا بيئية وصحية واقتصادية واجتماعية عميقة. في ظل القصور الواضح للحلول التقليدية والتقنيات المتقدمة غير الملائمة للسياقات المحلية، يبرز هذا البحث نموذجًا مبتكرًا لتطبيق ذكي لإدارة النفايات يعتمد على تفعيل الدور المحوري للمواطنين والشفافية عبر البيانات المفتوحة.

لقد تم تفصيل المنهجية التصميمية والتطويرية المقترحة، والتي تضمن بناء نظام متكامل يربط المواطن بجهات الإدارة وشركات الجمع، محولاً كل بلاغ وبيانات إلى معلومات قيمة تدعم اتخاذ القرار وتحسين الكفاءة. من خلال تدفق البيانات المتكامل ونظام التحفيز الفعال، يسهم التطبيق في تحسين كفاءة الجمع،

تقليل المكبات العشوائية، وتعزيز مشاركة مجتمعية نشطة، مما يؤكد على أهميته كأداة حيوية لتحقيق إدارة نفايات مستدامة.

إن هذا الحل، على الرغم من تركيزه على معالجة تحديات محددة في سياق المدن الليبية، يحمل في طياته إمكانات هائلة للتكيف والتطبيق في أي بيئة حضرية مماثلة تواجه تحديات مماثلة في إدارة النفايات. نوصي بمواصلة البحث والتطوير، مع التركيز على مرحلة التقييم التجريبي (Pilot Testing) في بيئة واقعية لجمع البيانات حول معدلات المشاركة، كفاءة الجمع، وتأثيره على تقليل المكبات العشوائية. إن تبني مثل هذه الحلول الذكية القائمة على المجتمع ليس مجرد خيار، بل ضرورة ملحة نحو بناء مدن أنظف، أكثر صحة، وأكثر استدامة للأجيال القادمة.

المراجع:

[1]. Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions. 2021, United Nations Environment Programme: Nairobi.

[2]. MAHAJAN, R.I.N.N.I.E., Health Impact of Solid Waste Management in Developing Countries: A Review. Current World Environment. 2023.

[3]. Burning Opportunity: Clean Household Energy for Health, Sustainable Development, and Wellbeing of Women and Children. 2016, World Health Organization (WHO): Geneva, Switzerland.

[4]. Rakshit Jakhar, L.S., Katarzyna Styszko, A Comprehensive Study of the Impact of Waste Fires on the Environment and Health. Sustainability 2023. 15.(19)

[5]. What is the Circular Economy? 2016; Available from: https://www.weforum.org/agenda/2016/01/what-is-the-circular-economy./

[6]. Assembly, U.N.G., Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. 2015, United Nations: New York.

[7]. Bank, W., What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. 2018, World Bank: Washington, DC.

[8]. Rotich, K.H.Z., Yongsheng; Dong, Jun, Municipal solid waste management challenges in developing countries – Kenyan case study. Waste Management, 2006. 26(1): p. 92-100.

[9]. Nartey, A.K.N., Patrick, Solid Waste Management Practices in Ghana: Challenges and Prospects. African Journal of Current Medical Research, 2020. 4.(1)

[10]. Gebril, A.O., Omran, A., Pakir, A. H. K., & Aziz, H. A., Municipal solid waste management in Benghazi (LIBYA): Current practices and challenges. Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ), 2010. 9(9): p. 1289-1296.

[11]. Malik, N.K.A.A., Sabrina Ho; Manaf, Latifah Abd, Community participation on solid waste segregation through recycling programmes in Putrajaya, in International Conference on Environmental Forensics 2015 (iENFORCE2015). 2015. p. 10-14.

[12]. Bastos, D., Fernández-Caballero, A., Pereira, A., & Rocha, N. P. , Smart City Applications to Promote Citizen Participation in City Management and Governance: A Systematic Review. Informatics, 2022. 9.(4)

[13]. Pardini, K., Sforza, A., & Ciuonzo, D., A Smart Waste Management Solution Geared towards Citizens. Sensors, 2020. 20.(10)

[14]. Abdullah, N.A., Ola A.; Abdullah, Rosni, IoT-Based Smart Waste Management System in a Smart City, in International Conference on Recent Trends in Information and Communication

Technology (IRICT 2018). 2019, Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC). p. 364-371.
[15]. Ahmed, K.D., Mithilesh Kumar; Kumar, Ajay; Dubey, Sudha, Artificial intelligence and IoT driven system architecture for municipality waste management in smart cities: A review. Measurement: Sensors, 2024. 36.
[16]. Anagnostopoulos, T.Z., A.; Kolomvatsos, K.; Medvedev, A.; Amirian, P.; Morley, J.; Hadjiefthymiades, S, Challenges and opportunities of waste management in IoT-enabled smart cities: A survey. IEEE Transactions on Sustainable Computing, 2017. 2(3): p. 275-289.
[17]. Neves, F.T.N., Miguel de Castro; Aparicio, Manuela, The impacts of open data initiatives on smart cities: A framework for evaluation and monitoring. Cities, 2020. 106.