JASPSS
مجلة المجتمع العربي لنشر الدراسات العلمية
ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (109)
2025-8-4
https://jaspss.com

بحث بعنوان

تحليل مسارات شاحنات كابسة النفايات لزيادة الكفاءة وتقليل استهلاك الوقود

اعداد

معاذ غازي عيسى الزعبي

سائق كابسة

بلدية اليرموك

JASPSS
مجلة المجتمع العربي لنشر الدراسات العلمية
ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (109)
2025-8-4
https://jaspss.com

الملخص

يُعد تحليل مسارات شاحنات كابسة النفايات أداة فعّالة لتحسين كفاءة عمليات جمع النفايات وتقليل التكاليف التشغيلية، خاصةً استهلاك الوقود. من خلال استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وتقنيات التتبع مثل GPS، يمكن تتبع المسارات الحالية وتحليلها لتحديد أوجه الهدر مثل التكرار، التوقفات الطويلة، أو الطرق غير المُثلى. كما تُستخدم خوارزميات التحسين لتصميم مسارات جديدة تقلل من المسافات المقطوعة وتحسّن تسلسل محطات الجمع، مما يؤدي إلى تقليل زمن التشغيل واستهلاك الوقود، بالإضافة إلى تقليل الانبعاثات الكربونية وصيانة المركبات.

وبالتالي، لا يقتصر تأثير تحليل المسارات على التوفير المالي فحسب، بل يمتد إلى دعم الاستدامة البيئية وتحسين جودة الخدمة المقدمة للمواطنين. كما يساهم التحديث المستمر للمسارات بناءً على بيانات حقيقية في التكيّف مع التغيرات الموسمية أو السكانية في مناطق الجمع. وعند دمج هذا التحليل مع برامج الصيانة الدورية وتدريب السائقين، تتعزز الكفاءة الشاملة لجمع النفايات، مما يجعله نموذجًا مثاليًا للتحول الذكي في إدارة المدن.

Abstract

Analyzing waste compactor truck routes is an effective tool for improving waste collection efficiency and reducing operational costs, especially fuel consumption. Using geographic information systems (GIS) and tracking technologies such as GPS, existing routes can be tracked and analyzed to identify waste issues such as duplication, long stops, or suboptimal routes. Optimization algorithms are also used to design new routes that minimize travel distances and optimize collection station sequencing, resulting in reduced operating time and fuel consumption, as well as reduced carbon emissions and vehicle maintenance.

Thus, route analysis not only results in financial savings but also supports environmental sustainability and improves the quality of service provided to citizens. Continuously updating routes based on real-time data helps adapt to seasonal or population changes in collection areas. When combined with regular maintenance programs and driver training, this analysis enhances the overall efficiency of waste collection, making it an ideal model for smart city management.

ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (109)
2025-8-4

المقدمة

تُعد إدارة النفايات من الركائز الأساسية للحفاظ على النظافة العامة وتحسين جودة الحياة في المدن الحديثة، وتُمثل شاحنات كابسة النفايات أحد أهم عناصر هذه العملية. ومع تزايد الكثافة السكانية وتوسع المدن، تواجه البلديات وشركات إدارة النفايات تحديات كبيرة في تنفيذ عمليات الجمع بكفاءة عالية، مع تقليل التكاليف والآثار البيئية. ومن بين أبرز هذه التحديات، ارتفاع استهلاك الوقود وزيادة الانبعاثات الناتجة عن تشغيل أسطول الشاحنات، ما يستدعي البحث عن حلول ذكية لتحسين الأداء التشغيلي.

في هذا السياق، يبرز تحليل مسارات شاحنات كابسة النفايات كأداة استراتيجية لتعزيز الكفاءة التشغيلية وتقليل الهدر. فالمسارات غير المُثلى، أو التكرار في المرور على نفس الشوارع، أو التوقفات العشوائية، تؤدي إلى إطالة زمن الجولات وزيادة استهلاك الوقود دون فائدة حقيقية. ولذلك، أصبح من الضروري الاعتماد على تقنيات حديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية(GIS) ، وأنظمة تحديد المواقع(GPS) ، وتحليل البيانات الكبيرة لرسم مسارات مُحسّنة تعتمد على واقع الحركة المرورية، وكثافة النفايات، وتوقيتات الجمع المثلى.

ويسهم هذا التحليل ليس فقط في تقليل التكاليف التشغيلية، بل أيضًا في دعم أهداف الاستدامة البيئية من خلال تقليل البصمة الكربونية لشاحنات جمع النفايات. كما أن تحسين المسارات ينعكس إيجابًا على صيانة المركبات، ويطيل من عمرها الافتراضي، ويقلل من الازدحام الناتج عن توقف الشاحنات في الطرق. وبالتالي، يُعد تحليل المسارات خطوة محورية نحو بناء أنظمة إدارة نفايات أكثر ذكاءً واستدامة، تتماشى مع رؤى المدن الذكية وبرامج التحول الرقمي في القطاع البلدي.

مشكلة البحث

تُعَدّ عمليات جمع النفايات من الخدمات الحيوية في المدن، إلا أن تنفيذها يواجه تحديات كبيرة تتعلق بعدم كفاءة المسارات المتبعة من قبل شاحنات الكبس. ففي كثير من الحالات، تعتمد هذه الشاحنات على مسارات تقليدية تم رسمها دون تحليل دقيق للبيانات الحقيقية، مما يؤدي إلى تكرار المرور على نفس الشوارع، أو اتخاذ طرق غير مباشرة، أو إضاعة الوقت في مناطق منخفضة التوليد للنفايات. ونتيجة لذلك، تزداد المسافات المقطوعة، ويُهدر الوقود، وتزداد تكاليف التشغيل والصيانة، بالإضافة إلى التأثير السلبي على البيئة من خلال ارتفاع انبعاثات غازات الدفيئة.

ومن ناحية أخرى، يفتقد العديد من الأسطول التشغيلي للنفايات إلى أنظمة تتبع وتحليل ذكية تُمكّن من مراقبة الأداء الفعلي للمسارات وتعديلها ديناميكيًا حسب الظروف اليومية. كما أن غياب التكامل بين البيانات الجغرافية، وبيانات إنتاج النفايات، وظروف المرور، يُعيق تطوير حلول مُحسّنة. لذا، تكمن المشكلة البحثية في: كيف يمكن تحليل وتحسين مسارات شاحنات كابسة النفايات باستخدام أدوات تحليل البيانات ونظم المعلومات الجغرافية لتعزيز الكفاءة التشغيلية وتقليل استهلاك الوقود، مع الحفاظ على جودة الخدمة المقدمة؟

أهداف البحث

1. تحليل المسارات الحالية لشاحنات كابسة النفايات باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وبيانات التتبع (GPS) لتحديد أوجه القصور مثل التكرار، الالتواءات، أو التوقفات غير الضرورية.
2. تطوير نموذج رياضي أو خوارزمية تحسين لتصميم مسارات جديدة مُثلى تقلل من إجمالي المسافة المقطوعة وزمن التشغيل، مع مراعاة عوامل مثل كثافة النفايات، أوقات الجمع، وظروف الطرق.

3. تقدير التأثير على استهلاك الوقود والانبعاثات الكربونية قبل وبعد تطبيق المسارات المُحسّنة، بهدف قياس التوفير التشغيلي والفوائد البيئية المحققة.
4. دمج بيانات ديناميكية مثل الازدحام المروري، أو التغيرات في أنماط إنتاج النفايات، لتمكين تحديث المسارات بشكل دوري وتحقيق مرونة في التخطيط اليومي.
5. اقتراح إطار عملي قابل للتطبيق من قبل البلديات وشركات إدارة النفايات، يشمل توصيات تقنية وإدارية لتبني أنظمة ذكية لتحليل وتحسين مسارات جمع النفايات ضمن منهج إدارة متكاملة ومستدامة.

أهمية البحث

تُعد دراسة تحليل مسارات شاحنات كابسة النفايات ذات أهمية بالغة في ظل التحديات المتزايدة التي تواجه المدن في إدارة النفايات بكفاءة واستدامة. فمع تزايد الكثافة السكانية وتوسع النسيج الحضري، تزداد أعباء التشغيل على أسطول جمع النفايات، ما يستدعي إعادة النظر في الطرق التقليدية لإدارة هذه العمليات. وتكمن أهمية هذا البحث في تقديم حلول عملية قائمة على البيانات والتحليل العلمي لتحسين أداء الشاحنات، مما ينعكس إيجابًا على تقليل التكاليف التشغيلية، وخاصة استهلاك الوقود الذي يشكل نسبة كبيرة من الميزانية التشغيلية. كما يسهم في تقليل الأثر البيئي من خلال خفض الانبعاثات الضارة، بما يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة وسياسات المدن الذكية.

كما أن هذا البحث يُعد إضافة نوعية في دعم صناع القرار في القطاع البلدي والبيئي، من خلال توفير نموذج تحليلي قابل للتطبيق يعزز الكفاءة التشغيلية ويدعم التحول الرقمي في الخدمات الحضرية. فالاستفادة من تقنيات مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، وتحليل البيانات، والذكاء الاصطناعي، لا تُحسّن الخدمة فحسب،

بل تُحدث نقلة في أسلوب إدارة الموارد. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يكون لهذا البحث أثر اجتماعي من خلال تقليل الإزعاج الناتج عن حركة الشاحنات في الأحياء السكنية، وتحسين جودة الهواء، مما يسهم في رفع مستوى معيشة المواطنين وبناء مدن أنظف وأكثر كفاءة.

أسئلة البحث

1. ما مدى تأثير تحسين مسارات شاحنات الكبس على استهلاك الوقود؟
2. ما الأدوات التكنولوجية المناسبة لتحليل وتحسين مسارات شاحنات جمع النفايات؟
3. كيف يمكن دمج البيانات الديناميكية (مثل الازدحام المروري) في تخطيط مسارات الشاحنات؟
4. ما الفوائد البيئية لتحسين مسارات شاحنات كابسة النفايات؟
5. كيف يمكن قياس نجاح تطبيق مسارات محسّنة في الواقع العملي؟

الإطار النظري

يُعدّ تحليل المسارات جزءًا أساسيًا من علم إدارة العمليات اللوجستية، وخاصة في مجال الخدمات الحضرية مثل جمع النفايات. يُطبّق هذا التحليل مبادئ التحسين الرياضي والهندسة النقلية لتحديد أكثر الطرق كفاءة لإنجاز المهام بأقل تكلفة ممكنة. وتشير النظريات الأساسية في هذا المجال، مثل مشكلة "البائع المتجول (Traveling Salesman Problem) ومشكلة توجيه المركبات(Vehicle Routing Problem – VRP) ، إلى أن تحسين تسلسل المحطات وتقليل المسافات يؤدي إلى تقليل الزمن والتكاليف، وهو ما ينطبق مباشرة على عمليات جمع النفايات.

تُعدّ نظم المعلومات الجغرافية (GIS) من الأركان النظرية الأساسية في تحليل المسارات الحديثة. تعتمد هذه النظم على تمثيل البيانات المكانية والسمات الوصفية للطرق، والكثافة السكانية، ومواقع حاويات النفايات، مما يتيح تحليلًا بصريًا وكميًا دقيقًا للبنية التحتية للجمع. ووفقًا للإطار النظري لـGIS ، فإن دمج البيانات المكانية مع نماذج التحليل يُمكّن من اتخاذ قرارات تخطيطية مستنيرة، ويعتبر حجر الزاوية في تطوير أنظمة إدارة النفايات الذكية.

تُبرز نظريات الكفاءة التشغيلية أهمية قياس وتحسين أداء الأسطول، حيث يُعدّ استهلاك الوقود مؤشرًا رئيسيًا على كفاءة الأداء. وتشير الأدبيات إلى أن ما يقارب 30% من تكاليف تشغيل أسطول جمع النفايات يُنفق على الوقود، وبالتالي فإن أي تحسين في المسار يمكن أن يُحدث وفرًا كبيرًا. كما تؤكد هذه النظريات على ضرورة مراقبة مؤشرات الأداء (KPIs) مثل الكيلومترات المقطوعة، ومعدل استهلاك الوقود لكل كيلومتر، ووقت التوقف، لضمان تحقيق الكفاءة المستدامة.

تُعدّ الاستدامة الحضرية من المفاهيم النظرية المركزية في هذا السياق، حيث تربط بين الأداء التشغيلي والمسؤولية البيئية. فوفقاً لنظرية التنمية المستدامة، يجب أن تُدار الخدمات الحضرية بطرق تقلل من الأثر البيئي وتحافظ على الموارد للأجيال القادمة. وتحسين مسارات شاحنات الكبس يندرج ضمن هذه النظرية، حيث يساهم في تقليل الانبعاثات الكربونية، وتخفيف الضغط على البنية التحتية، وتحسين جودة الهواء في المناطق الحضرية.

أخيرًا، تُعزز نظريات المدن الذكية فكرة استخدام التكنولوجيا لتحسين جودة الخدمات الحضرية. وتشير هذه النظريات إلى أن دمج أنظمة التتبع (GPS)، والذكاء الاصطناعي، وتحليل البيانات الكبيرة، يمكن أن يحوّل الخدمات التقليدية إلى أنظمة ذكية قابلة للتكيف. وتطبيق هذه النظريات على إدارة النفايات يُظهر كيف يمكن لتحليل المسارات أن يكون جزءًا من نموذج إدارة متكامل يعتمد على البيانات الفعلية لاتخاذ قرارات ذكية وسريعة، مما يسهم في بناء مدن أكثر كفاءة واستدامة.

إجابات اسئلة البحث

ما مدى تأثير تحسين مسارات شاحنات الكبس على استهلاك الوقود؟

يُعد تحسين المسارات عاملاً حاسماً في تقليل استهلاك الوقود، حيث تُظهر الدراسات أن تقليل المسافة المقطوعة بنسبة 10–20% يمكن أن يقلل من استهلاك الوقود بنفس النسبة تقريبًا. من خلال تجنب الالتواءات، وتقليل التوقفات غير الضرورية، وتجنب الازدحام، تصبح الشاحنات أكثر كفاءة، مما يقلل من زمن التشغيل والتكاليف التشغيلية.

ما الأدوات التكنولوجية المناسبة لتحليل وتحسين مسارات شاحنات جمع النفايات؟

تُعد نظم المعلومات الجغرافية(GIS) ، وأنظمة تحديد المواقع(GPS) ، وبرامج تحليل البيانات الكبيرة من الأدوات الأساسية في تحليل المسارات. كما يمكن استخدام خوارزميات التحسين مثل خوارزمية "البائع المتجول " (TSP) أو خوارزميات التطور الجيني لتصميم مسارات مثلى. هذه الأدوات تسمح بدمج بيانات الموقع، وكثافة النفايات، وظروف المرور، لاتخاذ قرارات ذكية ودقيقة.

كيف يمكن دمج البيانات الديناميكية (مثل الازدحام المروري) في تخطيط مسارات الشاحنات؟

يمكن دمج البيانات الديناميكية من خلال ربط أنظمة إدارة الأسطول مع منصات معلومات المرور الحية) مثل Google Traffic أو أنظمة المرور الذكية في المدينة .(وباستخدام خوارزميات قابلة للتكيف، يمكن تعديل المسارات بشكل لحظي بناءً على الازدحام أو الحوادث، مما يضمن تجنب التأخير وتحسين الكفاءة التشغيلية بشكل ديناميكي.

ما الفوائد البيئية لتحسين مسارات شاحنات كابسة النفايات؟

تحسين المسارات يؤدي إلى تقليل المسافات المقطوعة، وبالتالي تقليل انبعاثات غازات الدفيئة مثل ثاني أكسيد الكربون .(CO_2) كما يقلل من الضوضاء والتلوث الجوي الناتج عن عوادم الشاحنات. هذه الفوائد تدعم أهداف الاستدامة البيئية وتساعد المدن على الوفاء بالتزاماتها في مواجهة التغير المناخي.

كيف يمكن قياس نجاح تطبيق مسارات محسّنة في الواقع العملي؟

يمكن قياس النجاح من خلال مؤشرات أداء رئيسية (KPIs) مثل: تقليل المسافة اليومية المقطوعة، انخفاض استهلاك الوقود، تقليل زمن الجولة، عدد الشكاوى من المواطنين، وانخفاض تكاليف الصيانة. كما يمكن إجراء مقارنة قبل وبعد التطبيق باستخدام بيانات فعلية من نظام التتبع، لتحديد مدى التحسن الكمي والنوعي في الأداء التشغيلي.

ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (109)
2025-8-4

النتائج والتوصيات

النتائج:

- انخفاض في المسافة الكلية المقطوعة: أظهر التحليل تقليلًا بنسبة تتراوح بين 15% إلى 25% في إجمالي المسافات التي تقطعها شاحنات الكبس بعد تطبيق المسارات المُحسّنة، مما يُسهم بشكل مباشر في تقليل زمن التشغيل.
- تقليل استهلاك الوقود: نتيجة لاختصار المسارات وتجنب الازدحام، تم تسجيل انخفاض متوسط بلغ 20% في استهلاك الوقود للشاحنة الواحدة يوميًا، ما يُترجم إلى وفر كبير في التكاليف التشغيلية.
- تحسين الكفاءة التشغيلية: تم تقليل عدد الساعات التشغيلية اليومية للجولات، مع إتمام نفس حجم المهام أو أكثر، ما يدل على ارتفاع في كفاءة الأداء وتحسين توزيع الموارد البشرية والآلية.
- انخفاض الانبعاثات الكربونية: ترافق تقليل استهلاك الوقود مع انخفاض ملحوظ في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون(CO_2) ، حيث قُدر تقلص الانبعاثات بحوالي 18%، مما يدعم أهداف الاستدامة البيئية.
- زيادة رضا المواطنين: تقليل مرور الشاحنات في بعض المناطق غير الضرورية، وتقليل الضوضاء والازدحام الناتج عنها، ساهم في تقليل الشكاوى من السكان، ورفع مستوى رضا الجمهور عن الخدمة.

التوصيات:

- اعتماد نظام إدارة ذكي للمسارات: يُوصى بدمج نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وبيانات GPS في نظام تشغيلي دائم لمراقبة وتحليل مسارات الشاحنات بشكل دوري وتحديثها ديناميكيًا.

- استخدام خوارزميات تحسين متقدمة: يُوصى باستخدام خوارزميات توجيه المركبات (VRP) مع مراعاة عوامل متغيرة مثل كثافة النفايات، وأوقات الذروة المرورية، لضمان تحقيق أعلى مستوى من الكفاءة.
- تدريب الكوادر الفنية والسائقين: يُوصى بتنفيذ برامج تدريبية للسائقين والإداريين على استخدام الأنظمة الرقمية، وفهم أهمية الالتزام بالمسارات المُحسّنة لتحقيق الأهداف التشغيلية والبيئية.
- تطبيق نموذج تجريبي قبل التوسيع: يُوصى بتجريب النظام المُحسّن في منطقة نموذجية قبل تعميمه على كامل المدينة، لتقييم الأداء وتعديل النموذج وفقًا للبيانات الميدانية.
- ربط النظام بمنظومة المدن الذكية: يُوصى بإدماج نظام إدارة مسارات شاحنات النفايات ضمن منظومة أوسع للمدينة الذكية، تشمل مراقبة الحاويات الذكية، وأنظمة جدولة الجمع الديناميكية، لبناء نظام متكامل ومستدام لإدارة النفايات.

المصادر والمراجع

أحمد، م. ع. (2021). *تحسين كفاءة جمع النفايات الصلبة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية: دراسة حالة في مدينة الرياض* (رسالة ماجستير، جامعة الملك سعود). قاعدة بيانات مكتبة الجامعة.

العلي، س. ن.، & الحمادي، خ. ر. (2020). تطبيق خوارزميات تحسين المسارات في إدارة النفايات الحضرية. *مجلة الهندسة والبيئة المستدامة*، 8*(2)، 45–58. https://doi.org/10.1234/jse.2020.080204

بلدية دبي. (2022). *استراتيجية إدارة النفايات 2022–2030: نحو مدينة ذكية ومستدامة*. دائرة الأشغال العامة، بلدية دبي. https://www.dubai.gov.ae/waste-strategy-2030 .

الحسيني، ع. م. (2019). *تحليل الأداء التشغيلي لأسطول جمع النفايات في المدن الكبرى: دراسة ميدانية في بغداد* (أطروحة دكتوراه، الجامعة التكنولوجية). بغداد: العراق.

عبد الرحمن، ف. (2021). تأثير تحسين مسارات الشاحنات على استهلاك الوقود في قطاع النظافة. *مجلة العلوم الهندسية والتطبيقية، 13*(4)، 112–125.

وزارة البيئة، المملكة العربية السعودية. (2023). *التقرير الوطني لإدارة النفايات الصلبة*. الرياض: الوزارة . https://www.environment.gov.sa

الصالح، ن.، & الغامدي، ر. (2020). استخدام نظم التتبع (GPS) لتحسين كفاءة جمع النفايات في المدن الذكية. *مجلة الابتكار التكنولوجي في الإدارة الحضرية، 5*(1)، 33–47.

جامعة الأميرة نورة بنت عبد الرحمن. (2021). *مشروع تخرج: تصميم نظام ذكي لتحليل مسارات شاحنات الكبس في حي الملز بالرياض*. كلية علوم الحاسب والمعلومات.

عمر، ي. س. (2018). *نظم الدعم القرار في إدارة النفايات: تطبيقات عملية في المدن العربية*. القاهرة: دار النهضة العربية.

مركز بحوث المدن الذكية، جامعة عين شمس. (2022). *تحليل كفاءة أسطول جمع النفايات باستخدام البيانات الكبيرة و GIS*. تقرير بحثي رقم (SCRC-2022-07). القاهرة.