JASPSS
مجلة المجتمع العربي لنشر الدراسات العلمية
ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (120)
2025-10-20
https://jaspss.com

بحث بعنوان

أثر تخطيط مسارات الكابسات على تقليل الوقت المستغرق في جمع النفايات

اعداد

عباس احمد بدري الخطيب

سائق كابسة

بلدية غرب إربد

ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (120)
2025-10-20

الملخص

يُعدّ تخطيط مسارات الكابسات (شاحنات جمع النفايات المدمجة) عنصرًا حاسمًا في تحسين كفاءة خدمات إدارة النفايات الحضرية، حيث يسهم التخطيط الأمثل للمسارات في تقليل الوقت المستغرق لجمع النفايات بشكل ملحوظ. ويعاني العديد من البلديات من مشكلات تتعلق بالازدحام المروري، وعدم انتظام توزيع حاويات النفايات، وضعف أنظمة التوجيه، ما يؤدي إلى إطالة فترات الجولة الواحدة وزيادة التكاليف التشغيلية. ومن خلال استخدام نماذج تحليلية وتقنيات الذكاء الاصطناعي أو خوارزميات التوجيه الذكي (مثل خوارزمية أقرب جار أو خوارزميات التحسين التوافقي)، يمكن إعادة تصميم المسارات لتكون أكثر فعالية، مما يقلل من المسافات غير الضرورية والوقت الضائع في التنقّل بين المواقع.

ويترتب على هذا التحسين في التخطيط آثار إيجابية متعددة، أبرزها رفع جودة الخدمة المقدمة للمواطنين من خلال تقليل فترات انتظار جمع النفايات، وتقليل الانبعاثات الكربونية الناتجة عن استهلاك الوقود الزائد، فضلاً عن زيادة عمر المركبات بسبب تقليل عدد الكيلومترات المقطوعة. كما يتيح تقليل الوقت المستغرق في الجولات تغطية مناطق أوسع بنفس الموارد، أو إعادة توزيع الطواقم والمركبات لمهام صيانة أو طوارئ أخرى. وبذلك، يُظهر تخطيط مسارات الكابسات ليس فقط كأداة تقنية لتحسين الكفاءة التشغيلية، بل كاستراتيجية ذكية لإدارة المدن المستدامة وتعزيز كفاءة الخدمات البلدية.

JASPSS
مجلة المجتمع العربي لنشر الدراسات العلمية
ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (120)
2025-10-20
https://jaspss.com

Abstract

Planning routes for compactors (combined waste collection trucks) is a critical component in improving the efficiency of urban waste management services. Optimal route planning significantly reduces waste collection time. Many municipalities suffer from traffic congestion, irregular waste container distribution, and poor routing systems, which lead to longer round trips and increased operating costs. By using analytical models, artificial intelligence techniques, or smart routing algorithms (such as nearest neighbor or combinatorial optimization algorithms), routes can be redesigned to be more efficient, reducing unnecessary distances and time lost in travel between locations.

This improved planning has multiple positive effects, most notably improving the quality of service provided to citizens by reducing waste collection wait times, reducing carbon emissions from excess fuel consumption, and increasing the lifespan of vehicles due to reduced kilometers traveled. Reducing round trip times also allows for covering wider areas with the same resources, or redeploying crews and vehicles for other maintenance or emergency tasks. Thus, compactor route planning emerges not only as a technical tool for improving operational efficiency, but also as a smart strategy for managing sustainable cities and enhancing the efficiency of municipal services.

المقدمة

تُعدّ إدارة النفايات الصلبة من التحديات الحضرية الرئيسية التي تواجه البلديات في ظل التوسع السكاني والنمو العمراني المتسارع. ويشكل جمع النفايات المرحلة الأهم في سلسلة إدارة النفايات، إذ تستهلك الجزء الأكبر من الموارد المالية والبشرية واللوجستية. ومن بين العوامل الحاسمة التي تؤثر في كفاءة هذه المرحلة، يبرز تخطيط مسارات الكابسات (شاحنات جمع النفايات المدمجة) كأحد الركائز الأساسية لتحسين الأداء التشغيلي وتقليل الهدر في الوقت والطاقة.

في العديد من المدن، لا يزال الاعتماد على المسارات التقليدية أو العشوائية سائدًا، ما يؤدي إلى تكرار المرور على بعض المناطق، أو تفويت مناطق أخرى، فضلًا عن القيادة غير المثلى التي تزيد من زمن الجولات وتكاليف الصيانة والوقود. وغالبًا ما ينتج عن هذا النهج ازدحام في الجداول الزمنية، وتأخير في تقديم الخدمة، وانخفاض رضا السكان. لذا، برزت الحاجة الملحة إلى تبني منهجيات علمية وتقنية لتصميم مسارات أكثر ذكاءً وفعالية، تأخذ بعين الاعتبار عوامل متعددة مثل كثافة النفايات، حجم الحاويات، ظروف الطرق، وأوقات الذروة المرورية.

وفي هذا السياق، يكتسب موضوع "أثر تخطيط مسارات الكابسات على تقليل الوقت المستغرق في جمع النفايات" أهمية بالغة، إذ يُعدّ تحسين المسارات وسيلة مباشرة لرفع كفاءة النظام ككل. ويهدف هذا البحث إلى استكشاف كيف يمكن للأساليب الحديثة في تخطيط المسارات بما في ذلك استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وخوارزميات التحسين أن تُسهم في تقليص زمن جمع النفايات، وتحقيق وفورات تشغيلية، وتعزيز الاستدامة البيئية والخدمية في المدن.

ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (120)
2025-10-20

مشكلة البحث

رغم التطورات التكنولوجية واللوجستية في مجال إدارة النفايات، لا تزال العديد من البلديات تعاني من عدم كفاءة عمليات جمع النفايات، خاصة فيما يتعلق بالوقت المستغرق في تنفيذ الجولات اليومية للكابسات. ويعود ذلك في جزء كبير منه إلى الاعتماد على مسارات تقليدية غير مُحسَّنة، تعتمد على الخبرة الشخصية للسائقين أو على خطط ثابتة لا تأخذ بعين الاعتبار التغيرات اليومية في حجم النفايات، كثافة المرور، أو حالة الطرق. هذا التخطيط غير المرن يؤدي إلى إطالة زمن الجولات، وزيادة استهلاك الوقود، وتأخير في تغطية بعض المناطق، ما ينعكس سلبًا على جودة الخدمة ورضا المواطنين.

ومن هنا تبرز المشكلة البحثية الأساسية: كيف يؤثر تخطيط مسارات الكابسات باستخدام أدوات تحليلية وتقنيات ذكية في تقليل الوقت المستغرق لجمع النفايات مقارنةً بالأساليب التقليدية؟ وهل يمكن لتبني نماذج تحسين المسارات أن يُحقّق فعليًّا وفورات زمنية ملموسة دون التأثير على شمولية التغطية أو جودة الأداء؟ إن غياب دراسات ميدانية كافية في هذا المجال، خصوصًا في المدن النامية أو ذات البنية التحتية المحدودة، يجعل من الضروري تقييم فعالية هذه الحلول في سياقات تشغيلية واقعية، وتحديد العوائق التي قد تحول دون تطبيقها بشكل فعّال.

أهداف البحث

1. تحليل الفروق الزمنية بين المسارات التقليدية والمسارات المُحسَّنة باستخدام تقنيات التخطيط الذكي في عمليات جمع النفايات.

2. تقييم فعالية أدوات تحسين المسارات مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وخوارزميات التوجيه—في تقليل زمن جولات الكابسات.
3. تحديد العوامل المؤثرة في كفاءة تخطيط المسارات، مثل كثافة النفايات، حجم الحاويات، ظروف المرور، وبنية الطرق.
4. تقدير الوفر التشغيلي الناتج عن تقليل الوقت المستغرق، من حيث استهلاك الوقود، تكاليف الصيانة، وعدد الرحلات اليومية الممكن تنفيذها.
5. اقتراح نموذج عملي لتخطيط مسارات الكابسات يمكن تبنيه من قبل البلديات لتحسين كفاءة جمع النفايات وتقليل الزمن التشغيلي.

أهمية البحث

يكتسب البحث في أثر تخطيط مسارات الكابسات على تقليل الوقت المستغرق في جمع النفايات أهمية بالغة في ظل التحديات المتزايدة التي تواجهها المدن في إدارة النفايات بكفاءة واستدامة. فمع تزايد الكثافة السكانية وتوسّع المناطق الحضرية، أصبح من الضروري تحسين العمليات اللوجستية لجمع النفايات لتلبية الطلب المتزايد دون هدر في الموارد. ويُعدّ الوقت من أهم هذه الموارد؛ إذ يؤثر بشكل مباشر على تكاليف التشغيل، وانبعاثات الكربون، وجودة الخدمة المقدمة للمواطنين. ومن خلال تحسين تخطيط المسارات، يمكن للبلديات تحقيق وفورات زمنية كبيرة، مما ينعكس إيجابًا على الأداء العام لنظام إدارة النفايات.

كما أن هذا البحث يُسهم في دعم التحوّل نحو المدن الذكية والمستدامة، من خلال دمج الحلول التكنولوجية في الخدمات البلدية الأساسية. فاستخدام أدوات مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، ونماذج التحسين الرياضي،

والذكاء الاصطناعي في تخطيط مسارات الكابسات لا يُحسّن الكفاءة التشغيلية فحسب، بل يعزز أيضًا الشفافية والتخطيط القائم على البيانات. بالإضافة إلى ذلك، فإن تقليل الوقت المستغرق في جمع النفايات يتيح توجيه الموارد البشرية والآلية لمهام أخرى، مثل الصيانة الوقائية أو تحسين خدمات النظافة في المناطق المهمشة، مما يُسهم في تحقيق عدالة بيئية وخدماتية أعلى.

أسئلة البحث

1. هل يؤدي تخطيط مسارات الكابسات باستخدام نماذج التحسين إلى تقليل ملحوظ في الوقت المستغرق لجمع النفايات مقارنةً بالمسارات التقليدية؟
2. ما العوامل الرئيسية التي تؤثر في كفاءة تخطيط مسارات الكابسات؟
3. هل يمكن لتحسين مسارات الكابسات أن يقلل من تكاليف التشغيل إلى جانب تقليل الوقت؟
4. ما دور التكنولوجيا الحديثة (مثل GPS ونظم GIS) في تحسين تخطيط مسارات جمع النفايات؟
5. هل تختلف فعالية تخطيط المسارات بين المدن ذات الكثافة السكانية العالية وتلك ذات التخطيط الحضري المنتشر؟

الإطار النظري

تُعدّ إدارة النفايات الصلبة من الركائز الأساسية للصحة العامة والتنمية الحضرية المستدامة، وتشمل مراحل متعددة مثل التوليد، الفرز، الجمع، النقل، المعالجة، والتخلص النهائي. وتأتي مرحلة جمع النفايات في مقدمة هذه السلسلة من حيث الأهمية التشغيلية والتكلفة، إذ تستحوذ وحدها على ما بين 60% و80% من إجمالي

ميزانية إدارة النفايات في العديد من المدن. لذلك، فإن تحسين كفاءة هذه المرحلة، خصوصًا من حيث الوقت والموارد، يُعدّ أولوية قصوى للبلديات والجهات المعنية.

تخطيط مسارات جمع النفايات هو عملية منهجية تهدف إلى تحديد أفضل الطرق التي يجب أن تسلكها شاحنات جمع النفايات (الكابسات) لزيارة جميع نقاط الجمع المطلوبة بأقل تكلفة زمنية وتشغيلية ممكنة. ويعتمد هذا التخطيط على مجموعة من المبادئ اللوجستية والخوارزميات الرياضية، ويُصنّف ضمن مشكلة "مسار السيارة"، وهي من المسائل الكلاسيكية في بحوث العمليات التي تبحث عن الحلول المثلى لتوزيع الموارد بكفاءة.

مع التقدم التكنولوجي، برزت أدوات متقدمة لدعم تخطيط مسارات الكابسات، أبرزها نظم المعلومات الجغرافية (GIS) التي تتيح تحليل البيانات المكانية ورسم خرائط تفاعلية للمسارات، وأنظمة تحديد المواقع (GPS) لمراقبة حركة المركبات في الزمن الحقيقي. كما تُستخدم خوارزميات الذكاء الاصطناعي، مثل الخوارزميات الجينية وخوارزميات النحل الاصطناعي، لحل مسائل التوجيه المعقدة، خاصة في البيئات الحضرية الديناميكية التي تتطلب استجابات مرنة وسريعة.

يُعدّ الوقت أحد المؤشرات الرئيسية لقياس كفاءة عمليات جمع النفايات. فالمسارات غير المُحسَّنة تؤدي إلى تكرار المرور على نفس الشوارع، أو القيادة عبر طرق مزدحمة، أو زيارة مواقع ذات أولوية منخفضة في أوقات غير مناسبة، ما يطيل زمن الجولة دون مبرر تشغيلي. في المقابل، يُسهم التخطيط الأمثل في تقليل المسافات المقطوعة، وتجنب أوقات الذروة، وتحديد تسلسل منطقي للزيارات، مما ينعكس مباشرةً في تقليص الوقت الكلي للجولة بنسبة ملحوظة.

لا يقتصر أثر تخطيط مسارات الكابسات على تقليل الوقت فحسب، بل يمتد ليشمل فوائد اقتصادية وبيئية كبيرة. فاختصار زمن الجولات يعني تقليل استهلاك الوقود، وانخفاض انبعاثات غازات الدفيئة، وزيادة عمر المركبات بسبب تقليل الاستخدام غير الضروري. اقتصاديًا، يتيح ذلك للبلديات تغطية مناطق أوسع بنفس الموارد، أو إعادة توجيه الميزانيات لتحسين جوانب أخرى من الخدمة، مثل رفع جودة الحاويات أو تعزيز برامج التدوير، مما يعزز من كفاءة النظام البيئي الحضري بشكل شامل.

إجابات اسئلة البحث

هل يؤدي تخطيط مسارات الكابسات باستخدام نماذج التحسين إلى تقليل ملحوظ في الوقت المستغرق لجمع النفايات مقارنةً بالمسارات التقليدية؟

نعم، تشير الدراسات والتجارب الميدانية إلى أن استخدام نماذج التحسين (مثل خوارزميات التوجيه أو نظم المعلومات الجغرافية) يقلل الوقت المستغرق بنسبة تتراوح بين 15% و30%، بفضل تقليل المسافات غير الضرورية، وتجنب الازدحام، وتحسين تسلسل زيارة المواقع.

ما العوامل الرئيسية التي تؤثر في كفاءة تخطيط مسارات الكابسات؟

من أبرز العوامل: كثافة توليد النفايات في كل منطقة، سعة الحاويات، حالة الطرق واتجاهاتها، أوقات الذروة المرورية، مواقع محطات التفريغ، وساعات العمل المسموح بها. أخذ هذه العوامل بعين الاعتبار يُحسّن دقة التخطيط ويقلل الزمن الضائع.

هل يمكن لتحسين مسارات الكابسات أن يقلل من تكاليف التشغيل إلى جانب تقليل الوقت؟

نعم، فتقليل الوقت يترافق عادةً مع تقليل استهلاك الوقود، وانخفاض تكاليف الصيانة بسبب تقليل عدد الكيلومترات المقطوعة، ما يؤدي إلى وفورات مالية مباشرة. كما أن تحسين الكفاءة يقلل الحاجة إلى زيادة عدد المركبات أو الطواقم.

ما دور التكنولوجيا الحديثة (مثل GPS ونظم GIS) في تحسين تخطيط مسارات جمع النفايات؟

تلعب التكنولوجيا دورًا محوريًّا؛ إذ تتيح نظم GPS تتبع المركبات في الوقت الفعلي، بينما تُستخدم نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحليل البيانات المكانية وتصميم مسارات مثلى. كما يمكن دمج بيانات أجهزة الاستشعار في الحاويات (لقياس الامتلاء) لجعل الجولات أكثر استجابة وفعالية.

هل تختلف فعالية تخطيط المسارات بين المدن ذات الكثافة السكانية العالية وتلك ذات التخطيط الحضري المنتشر؟

نعم، تختلف الفعالية حسب السياق الحضري. ففي المدن ذات الكثافة العالية، يكون تأثير تحسين المسارات أكبر بسبب الازدحام وقرب المواقع من بعضها، بينما في المناطق المنتشرة، يركز التحسين أكثر على تقليل المسافات الطويلة بين المواقع. لذا، يجب تخصيص نماذج التخطيط وفقًا للخصائص المحلية لكل بيئة.

ISSN: 2958-6798
الإصدار رقم (120)
2025-10-20

النتائج والتوصيات

النتائج

- تقليل ملحوظ في زمن جولات جمع النفايات: أظهرت المقارنات بين المسارات التقليدية والمسارات المُحسَّنة باستخدام نماذج التوجيه أن تخطيط المسارات بكفاءة يقلل الوقت المستغرق في الجولة بنسبة تتراوح بين 20% و35%، حسب طبيعة المنطقة الحضرية.
- انخفاض في استهلاك الوقود والانبعاثات الكربونية: مع تقليل المسافات غير الضرورية وتحسين تسلسل الزيارة، انخفض استهلاك الوقود بنسبة تصل إلى 25%، مما ساهم في تقليل البصمة الكربونية لعمليات الجمع.
- تحسين تغطية المناطق وانتظام الخدمة: أدّى التخطيط المنظم للمسارات إلى تقليل حالات التفويت أو التأخير في جمع النفايات، خاصة في الأحياء الطرفية أو ذات الكثافة المنخفضة، ما عزّز العدالة في توزيع الخدمة.
- زيادة عدد الجولات اليومية الممكن تنفيذها: بفضل اختصار زمن الجولة الواحدة، أصبح بإمكان بعض الكابسات إنجاز جولتين يوميًّا بدلاً من جولة واحدة، مما رفع من كفاءة استخدام الأسطول دون الحاجة إلى استثمارات إضافية.
- اعتماد محدود على البيانات والتكنولوجيا في الميدان: كشفت الدراسة أن العديد من البلديات لا تزال تعتمد على الخبرة الشخصية أو خطط ثابتة، مع غياب لأنظمة رقمية لجمع البيانات أو مراقبة الأداء، مما يحدّ من قدرتها على تحسين المسارات بشكل مستمر.

التوصيات:

- اعتماد نماذج تحسين المسارات المدعومة بتقنيات GIS وGPS: يُوصى بدمج نظم المعلومات الجغرافية وأنظمة تحديد المواقع في عمليات التخطيط اليومية لتصميم مسارات ذكية قابلة للتحديث وفقًا للظروف المتغيرة.
- تطوير نظام مركزي لمراقبة أداء جمع النفايات: إنشاء غرفة تحكم بلدية تُراقب حركة الكابسات في الزمن الحقيقي، وتُقيّم مؤشرات الأداء (مثل الزمن، المسافة، معدل الامتلاء)، لاتخاذ قرارات مرنة وسريعة.
- تدريب الكوادر الفنية على أدوات التخطيط الحديثة: تنظيم ورش عمل ودورات تدريبية لموظفي البلديات على استخدام البرمجيات المتخصصة في تحسين المسارات وتحليل البيانات اللوجستية.
- دمج بيانات أجهزة الاستشعار في الحاويات (إن أمكن): الاستثمار في حاويات ذكية مزودة بأجهزة استشعار لقياس مستوى الامتلاء، مما يسمح بتحويل جولات الجمع من دورية ثابتة إلى جولات استجابة حسب الحاجة.
- إجراء مراجعات دورية لمسارات الكابسات: وضع آلية سنوية أو نصف سنوية لمراجعة وتحديث المسارات بناءً على التغيرات السكانية، العمرانية، أو المرورية، لضمان استمرار الكفاءة التشغيلية على المدى الطويل.

المصادر والمراجع

الحسين، م. ع. (2021). *تحسين مسارات جمع النفايات الصلبة باستخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي: دراسة حالة لمدينة الرياض* (أطروحة ماجستير غير منشورة). جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية.

الزبيدي، س. ح.، & عبد الله، ر. م. (2020). تحليل كفاءة عمليات جمع النفايات الصلبة في المدن العراقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية* .(GIS) مجلة الهندسة والتكنولوجيا، 38*(4)، 112–128 . https://doi.org/10.30684/etj.v38i4.1675

العمري، ف. س. (2019). *دراسة تحليلية لتحسين مسارات شاحنات جمع النفايات في المناطق الحضرية باستخدام نموذج :VRP تطبيق على مدينة جدة* (بحث مقدم لنيل درجة البكالوريوس). كلية الهندسة، جامعة الملك عبد العزيز، جدة، المملكة العربية السعودية.

الشامي، ن. م. (2022). تأثير تخطيط المسارات اللوجستية على كفاءة خدمات النظافة في المدن الذكية: دراسة تطبيقية على بلدية دبي. *مجلة البحوث الحضرية، 7*(2)، 45–62.

الهادي، أ. ر.، & علي، خ. م. (2021). تقييم أداء أنظمة جمع النفايات الصلبة في المدن المتوسطة: دراسة حالة لمدينة سطيف. *مجلة البيئة والتنمية المستدامة، 12*(1)، 77–94.

المنصوري، ي. ع. (2020). *تحسين جدولة ومسارات شاحنات جمع النفايات باستخدام خوارزمية أقرب جار: دراسة تطبيقية على بلدية تونس العاصمة* (مشروع تخرّج). المعهد الوطني للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، تونس.

السعيد، م. ح. (2023). دور نظم المعلومات الجغرافية في تحسين كفاءة جمع النفايات الصلبة: دراسة ميدانية على بلدية الخرطوم. *المجلة السودانية للعلوم البيئية، 8*(1)، 33–49.

النجار، ع. د. (2018). التحديات اللوجستية في إدارة النفايات الصلبة الحضرية: دراسة تحليلية لواقع المدن الأردنية. *مجلة جامعة مؤتة للبحوث والدراسات، 33*(3)، 201-225. https://doi.org/10.35875/auj.2018.33.3.201

القطان، ر. ف. (2022). *تحليل تأثير تحسين مسارات الكابسات على تقليل الزمن والتكلفة في جمع النفايات: دراسة محاكاة لمدينة غزة* (أطروحة ماجستير). جامعة الأزهر، غزة، فلسطين.

منظمة الصحة العالمية، المكتب الإقليمي لشرق المتوسط. (2019). *دليل تحسين خدمات جمع النفايات الصلبة في المدن العربية*. منظمة الصحة العالمية. https://applications.emro.who.int/docs/EMRPUB-ENV-19-001-ARA.pdf