إختيار المسار الأمثل لنقل النفايات الصلبة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) – حالة دراسة محافظة طرطوس

م. قمر حموي اشراف : د.عابر محمد

ملخص البحث:

تتناول هذه الدراسة تقييم كفاءة منظومة نقل النفايات الصلبة في محافظة طرطوس من خلال تحليل المسارات الحالية ومقارنتها بالمسارات المُحسَّنة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) .اعتمدت الدراسة على تحليل شبكة الطرق عبر برنامج ArcGIS لتحديد المسار الأمثل لنقل النفايات من تسع محطات نقل رئيسية (بما في ذلك طرطوس، صافيتا، القدموس، أرواد، وغيرها) إلى مركز المعالجة المتكامل في "وادي الهدة". تم حساب مؤشرات الأداء التشغيلي والبيئي، بما في ذلك المسافة المقطوعة، الزمن، استهلاك الوقود، انبعاثات CO_2 ، والتكاليف التقريبية للنقل. أظهرت النتائج أن استخدام المسارات المُحسَّنة قلل إجمالي المسافة المقطوعة من 367.3 كم إلى 272.7 كم (توفير 94.6 كم)، والزمن من 349.3 دقيقة إلى 259 دقيقة، واستهلاك الوقود من 48.42 لتر إلى 36.36 لتر، ما أسفر عن توفير في التكاليف بلغ 132,620 ليرة سورية لكل دورة نقل، وتقليل انبعاثات CO_2 بمقدار 32.32 كغ. تؤكد الدراسة على أهمية توظيف أدوات التحليل المكاني في تحسين كفاءة أنظمة إدارة النفايات الحضرية، وتُوصي بتبني نماذج مُحسَّنة قائمة على البيانات لتعزيز الكفاءة الإقتصادية وتقليل الأثر البيئي.

الكلمات المفتاحية :نظم المعلومات الجغرافية(GIS) ، نقل النفايات،تحسين المسارات، استهلاك الوقود، انبعاثات CO_2 ، التكاليف التشغيلية.

Comparative Analysis for determining the optimal route for solid waste transportation using Geographic information systems (GIS) : A case study of Tartous governorate

Abstract

This study evaluates the efficiency of the solid waste transportation system in Tartous Governorate by analyzing existing routes and comparing them with optimized routes using Geographic Information Systems (GIS). The research employed road network analysis through ArcGIS software to determine the most waste transport routes from nine major transfer stations (including Tartous, Safita, Al-Qadmus, Arwad, and others) to the "Wadi Al-Hada" Integrated Solid Waste Treatment Centre. Operational and environmental performance indicators were calculated, including travel distance, time, fuel consumption, CO_2 emissions, and approximate transportation cost. The results showed that using optimized routes reduced the total travel distance from 367.3 km to 272.7 km (a saving of 94.6 km), travel time from 349.3 minutes to 259 minutes, and fuel consumption from 48.42 liters to 36.36 liters. This led to a cost saving of 132,620 Syrian pounds per transport cycle and a reduction of 32.32 kg in CO_2 emissions. The study highlights the importance of utilizing spatial analysis tools to enhance the efficiency of urban waste management systems and recommends adopting data-driven optimized models to improve economic efficiency and minimize environmental impacts.

Keywords: Solid waste management, Geographic Information Systems (GIS), route optimization, fuel consumption, CO_2 emissions, operational cost, Tartous.

1-المقدمة:

تُعد إدارة النفايات الصلبة من أبرز التحديات البيئية واللوجستية التي تواجه المدن والمناطق الريفية على حد سواء، حيث يُنظر إليها كمؤشر رئيسي على كفاءة الإدارة المحلية وجودة الحياة في سوريا (المصري وخليل، 2020). ومع استمرار التحديات الناتجة عن الأزمات السابقة، أصبح تحسين كفاءة منظومة جمع ونقل النفايات ضرورة ملحة، خاصة في المحافظات ذات الكثافة السكانية العالية مثل محافظة طرطوس (صوان، 2019).

تُعتمد حاليًا في محافظة طرطوس منظومة مركزية لنقل النفايات، تقوم على جمع النفايات من مختلف المناطق ونقلها مباشرة إلى مركز المعالجة في "وادي الهدة" مع وجود محطات ترحيل غير مُحسَّنة مع عدم وجود تخطيط مكاني دقيق للمسارات. يؤدي هذا إلى ارتفاع تكاليف التشغيل، وزيادة استهلاك الوقود، وانبعاثات غازات الدفيئة (محمد، 2018). بالإضافة إلى الضغط على البنية التحتية للطرق نتيجة التنقّل المتكرر لشاحنات النقل عبر مسافات طويلة.

في هذا السياق، تبرز نظم المعلومات الجغرافية كأداة تحليلية قوية لتحسين تخطيط إدارة النفايات، من خلال دمج البيانات المكانية والسماتية لتحديد المواقع المثلى لمحطات الترحيل، وتحليل الشبكات لإختيار المسارات الأكثر كفاءة (Banar & Çokaygil, 2021; Malczewski, 2020).

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الأداء التشغيلي والبيئي لنظام نقل النفايات في محافظة طرطوس، من خلال مقارنة المسارات الحالية مع المسارات المُحسَّنة باستخدام GIS، وتحليل التوفير المالي والبيئي الناتج عن اختصار المسافات، استهلاك الوقود، والانبعاثات(Esri, 2021).

2- هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى:

- تقييم الوضع الحالي لمسارات نقل النفايات الصلبة من محطات الترحيل إلى موقع التخلص النهائي في وادي الهدة(Araba & Al-Sabbagh, 2020) .
- اقتراح مسارات مُحسَّنة باستخدام تحليل شبكة النقل في برنامج نظم المعلومات الجغرافية(GIS) (Banar & Çokaygil, 2021) .
- حساب التوفير المالي والبيئي الناتج عن اختصار المسافات، استهلاك الوقود، والانبعاثات الكربونية(Malczewski, 2020).
- مقارنة بين نتائج النظام الحالي والمسارات المحسّنة من حيث المسافة، الزمن، الإنبعاثات والتكاليف(Khan & Kumar, 2023).
- تقديم توصيات لدعم اتخاذ القرار نحو نظام معالجة أكثر كفاءة، سواء مركزي أو لامركزي(الرفاعي، 2021).

3 -أهمية البحث:

تبرز أهمية هذا البحث من خلال:

- يسهم البحث بدعم صنّاع القرار في اختيار نظام إدارة نفايات فعّال (Esri, 2021) .
- يوفر البحث أساسًا كميًا يساعد الجهات المحلية في اتخاذ قرارات أكثر استنارة، مقارنة بالأساليب التقليدية(المصري وخليل، 2020) .
- إثبات فعالية أدوات نظم المعلومات الجغرافية في تحسين إدارة البنى التحتية الخدمية، ولا سيما في مجال إدارة النفايات(Banar & Çokaygil, 2021).
- الإسهام في تحسين الواقع البيئي والخدمي بمحافظة طرطوس خاصة في ظل التحديات الحالية(Araba & Al-Sabbagh, 2020).
- الإسهام في الأدبيات العلمية: يُعدّ من أوائل الدراسات التي تُطبّق تحليل المسارات المثلى في إدارة النفايات بالسياق السوري(صوان، 2019)، باستخدام بيانات ميدانية حقيقية وهو ما يُعدّ نموذجًا يمكن تعميمه في باقي المحافظات السورية.

4-عرض وتقييم الواقع الراهن لنقل النفايات في محافظة طرطوس إلى وادي الهدة:

تُعتمد في محافظة طرطوس حاليًا منظومة نقل مركزية للنفايات الصلبة، تُنقل من تسع محطات ترحيل رئيسية إلى مركز المعالجة المتكامل في وادي الهدة(مجلة جامعة طرطوس للعلوم الهندسية، 2024). أظهر التقييم الميداني وتحليل البيانات المتاحة أن هذه المنظومة تعاني من عدة تحديات تشغيلية، أبرزها طول المسافات المقطوعة بين بعض المحطات والمركز، وارتفاع استهلاك الوقود، وتكرار المسارات، وضعف التخطيط المكاني لحركة الشاحنات(المصري وخليل، 2020). كما يسهم تباين حالة شبكة الطرق في زيادة التكاليف التشغيلية والانبعاثات الكربونية. وتُعد هذه المعطيات أساسًا لتحليل وتحسين شبكة النقل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، بما يحقق كفاءة أكبر في التكاليف والوقت ويحدّ من الأثر البيئي.

وانطلاقًا من هذا التقييم الميداني للواقع الراهن، تم توظيف أدوات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحليل شبكة الطرق في المحافظة، وتحديد المسارات المثلى لشاحنات نقل النفايات بين محطات الترحيل ومركز المعالجة في وادي الهدة.

5-الأسس والمعايير لإعتماد المسار الأمثل لسير الشاحنات المخصصة لنقل النفايات.

قبل البدء في اقتراح المسارات وحسابها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية(GIS) ، من الضروري تحديد مجموعة من الأسس والمعايير التي تُبنى عليها عملية اختيار المسار الأمثل، وذلك لضمان تحقيق الكفاءة التشغيلية وتقليل الأثر البيئي والاقتصادي. **وقد تم في هذه الدراسة اعتماد المعايير التالية:**

1- المعيار الزمني: اختيار المسار الذي يحقق أقل زمن ممكن لرحلة الشاحنة بين محطة الترحيل ومركز المعالجة في وادي الهدة، مما يساهم في زيادة عدد الرحلات اليومية وتقليل تراكم النفايات(Malczewski, 2020).

2- معيار المسافة: اختصار المسافة المقطوعة إلى الحد الأدنى الممكن، بما يؤدي إلى خفض استهلاك الوقود وتكاليف النقل(Banar & Çokaygil, 2021).

3- **معيار استهلاك الوقود:** يُعد استهلاك الوقود من أهم المؤشرات التشغيلية والاقتصادية، إذ يرتبط بشكل مباشر بالتكاليف والانبعاثات الغازية، لذلك تم اعتماد المسار الذي يحقق أقل استهلاك ممكن للوقود(Khan & Kumar, 2023).

4- **معيار حالة الطريق والسلامة:** أخذ حالة الطرق بعين الاعتبار من حيث الازدحام والوعورة والانحدارات لتجنب المسارات الخطرة أو غير المناسبة لحركة الشاحنات الثقيلة(صوان، 2019).

5- **المعيار البيئي:** تجنّب المرور عبر المناطق السكنية الكثيفة أو القريبة من المواقع الحساسة بيئيًا (كمحميات أو مناطق زراعية)، للحد من التلوث الهوائي والضوضائي(Araba & Al-Sabbagh, 2020).

6- **معيار التكاليف التشغيلية:** يعتمد على دمج عدة عوامل تشمل استهلاك الوقود والزمن المستغرق والصيانة الدورية المرتبطة بحالة الطريق وطول المسار(Esri, 2021).

7- **المعيار الاجتماعي:** تقليل الأثر السلبي على المجتمع المحلي، كالإزعاج أو المرور بالقرب من المدارس والمستشفيات والمراكز الحيوية داخل المدن(الرفاعي، 2021).

من خلال اعتماد هذه المعايير مجتمعة، تم استخدام أدوات التحليل الشبكي في برنامج ArcGIS Network Analyst لإجراء تحليل متعدد المعايير(Multi-Criteria Analysis) لتحديد المسار الأمثل الذي يوازن بين الجوانب الإقتصادية، البيئية، والإجتماعية، وبما يحقق أعلى كفاءة تشغيلية ممكنة لمنظومة نقل النفايات في محافظة طرطوس(Malczewski, 2020) .

6-استخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية(GIS) لحساب المسار الأمثل والمسار الحالي لشاحنات نقل النفايات من جميع محطات الترحيل إلى مركز المعالجة المتكامل في وادة الهدة.

تُعد عملية نقل النفايات من محطات الترحيل إلى مركز المعالجة النهائي من أهم مراحل منظومة إدارة النفايات الصلبة، حيث تمثل هذه المرحلة الجزء الأكبر من التكاليف التشغيلية للمنظومة ، وقد تصل إلى أكثر من 70% من إجمالي التكاليف . ولذلك فإن اختيار المسار

الأمثل لنقل النفايات يُعد عاملاً حاسماً في تحقيق الكفاءة الإقتصادية والتشغيلية والإستدامة البيئية للنظام.

ومع تطور تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، أصبح بالإمكان تحليل الشبكات الطرقية وتحديد أفضل المسارات.

في هذا السياق، تم استخدام برنامج ArcGis وتحديداً أداة Network Analyst لتحليل شبكة الطرق في محافظة طرطوس، وتصميم المسار الأمثل لشاحنات نقل النفايات من جميع محطات الترحيل إلى مركز المعالجة المتكامل في وادي الهدة . سمح هذا التحليل بدمج بيانات متنوعة، بما في ذلك خريطة الطرق، مواقع المحطات، وتقييدات الحركة، مما ساعد على اقتراح حلول مرنة وقابلة للتطبيق تسهم في: (Esri, 2021).

1 – اختصار الزمن والتكاليف المتعلقة بنقل النفايات.

2 –تحسين كفاءة أسطول الشاحنات المخصصة لنقل النفايات وتنظيم جولاتها.

3 –تقليل الإنبعاثات الناتجة عن عمليات النقل.

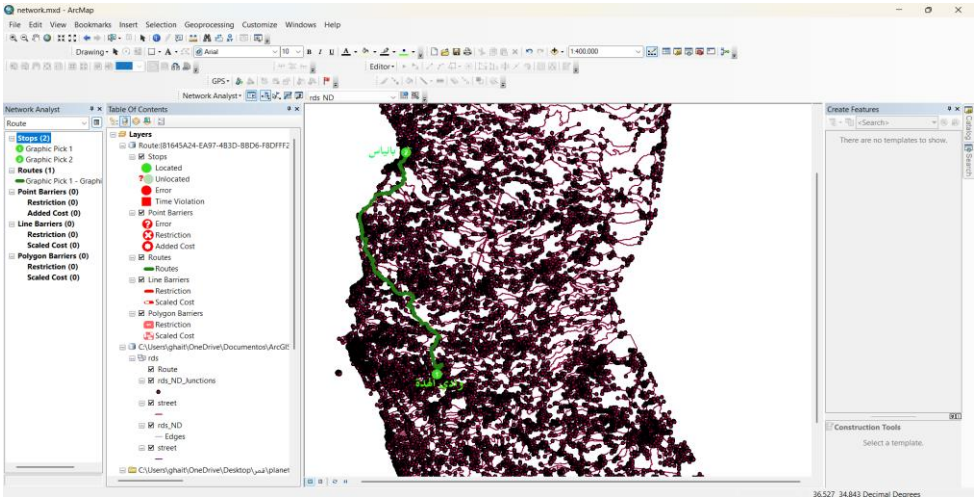
4 – تجنب المناطق الحساسة بيئياً أو اجتماعياً أثناء التنقل ضمن المدن والتجمعات السكانية الأخرى.

وبالتالي، يُعد تطبيق أدوات نظم المعلومات الجغرافية في تصميم شبكات نقل النفايات خطوة أساسية نحو إدارة ذكية ومبنية على البيانات ، وهو ما يتوافق مع المعايير العالمية في مجال إدارة النفايات بطريقة مستدامة وفعالة.

6-1 حساب المسار الأمثل لشاحنات نقل النفايات من محطات الترحيل التسعة إلى مركز المعالجة المتكامل في وادي الهدة:

سوف نستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحقيق هذا التخطيط الذكي. وسنقوم بحساب المسار الأمثل بين كافة محطات الترحيل ووادي الهدة كل محطة على حدة كما هو موضح بالآتي:

1-المسار الامثل بين محطة ترحيل بانياس و وادي الهدة:



الآن في كل مسار أمثل لمحطة ترحيل ما و وادي الهدة ينتج لدينا إحداثيات جغرافية مبنية على نظام ال GPS لكيفية اختيار هذا المسار مع كافة البيانات اللازمة من :

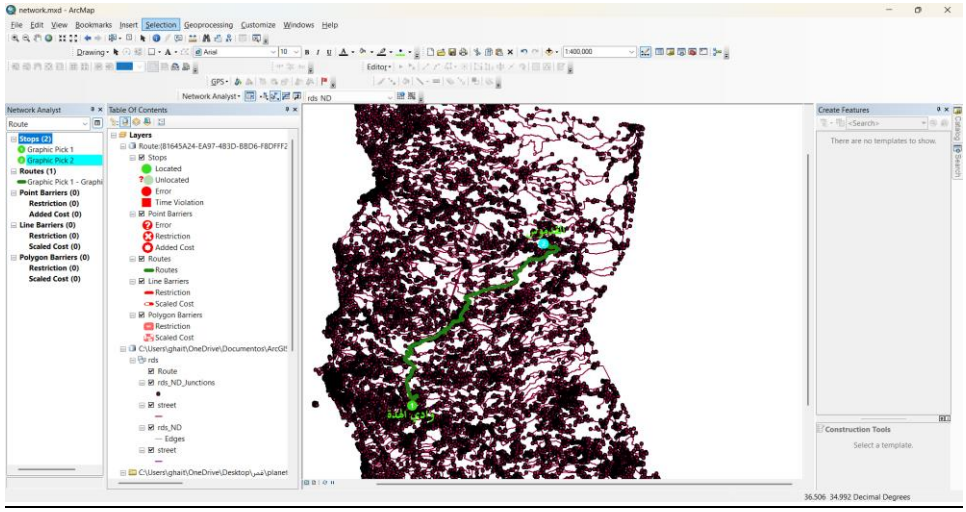
- طول شارع في منطقة معينة.
- استدارة الاتجاهات.
- الزمن الكلي لقطع هذا المسار.
- المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر .

* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار:

المسافة المقطوعة 56 كم

الزمن الكلي 18 دقيقة

2-المسار الامثل بين محطة ترحيل القدموس ووادي الهدة:

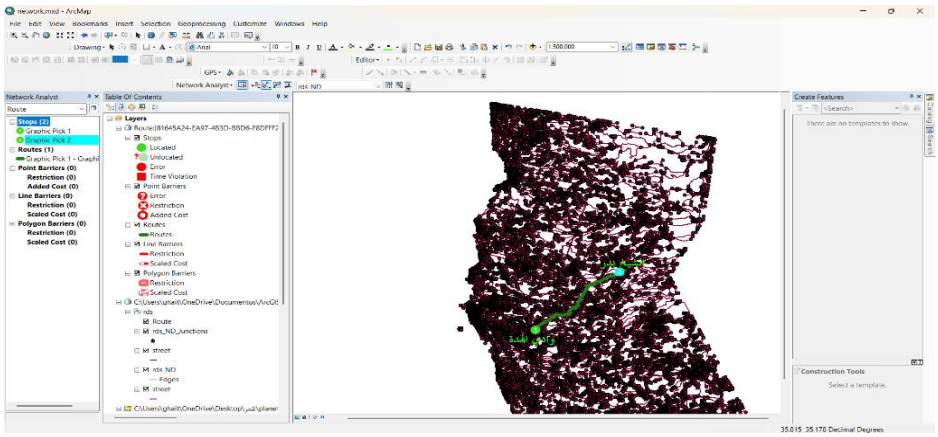


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار :

المسافة المقطوعة 56 كم

الزمن الكلي 48 دقيقة

3-المسار الامثل بين محطة ترحيل الشيخ بدر ووادي الهدة:

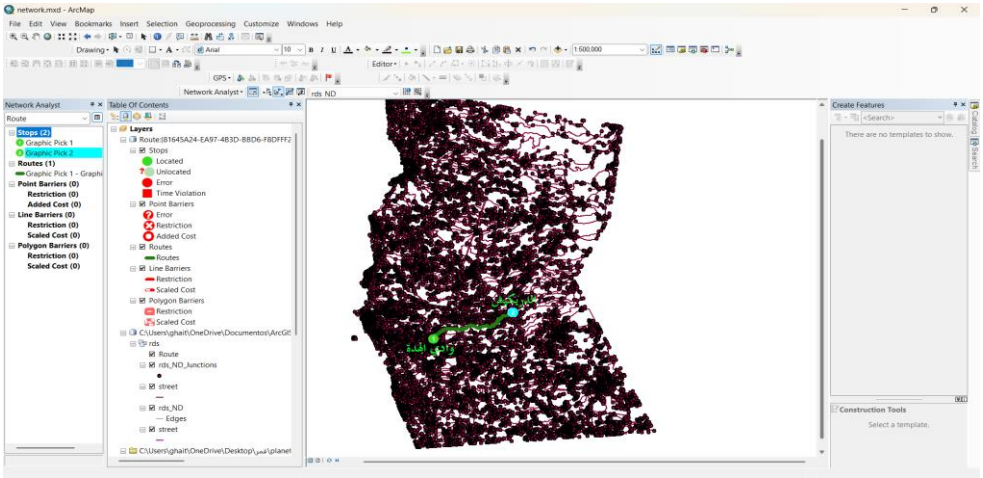


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار :

المسافة المقطوعة 27 كم

الزمن الكلي 23 دقيقة

4-المسار الامثل بين محطة ترحيل الدريكيش ووادي الهدة:

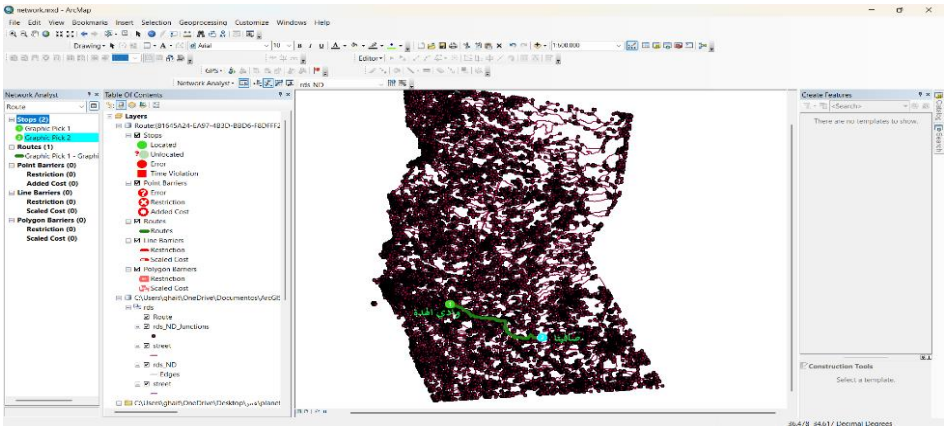


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار :

المسافة المقطوعة 19.7 كم

الزمن الكلي 17 دقيقة

5-المسار الامثل بين محطة ترحيل صافيتا ووادي الهدة:

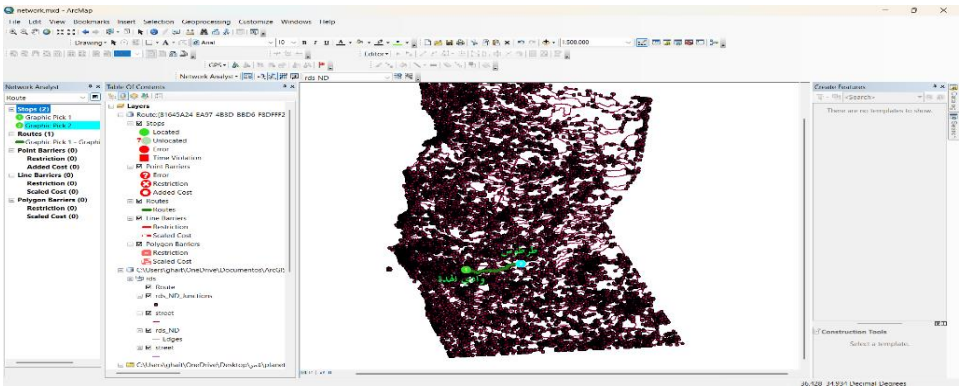


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار :

المسافة المقطوعة 25 كم

الزمن الكلي 21 دقيقة

6-المسار الامثل بين محطة ترحيل طرطوس ووادي الهدة:

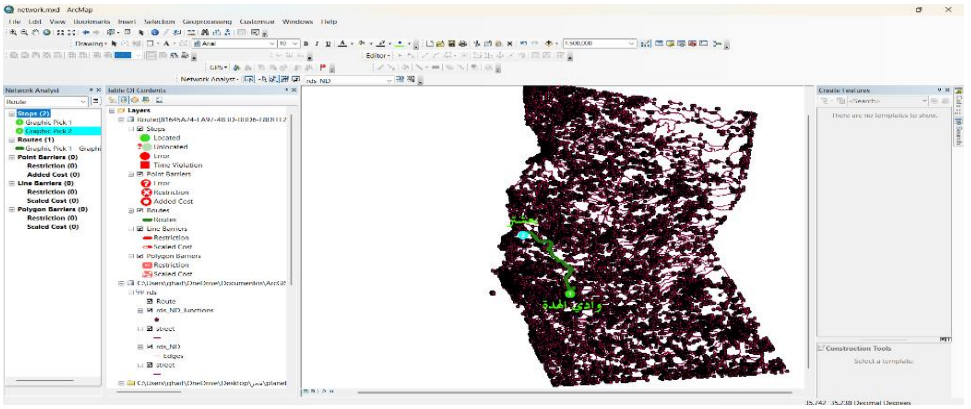


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار :

المسافة المقطوعة 12.3 كم

الزمن الكلي 10 دقيقة

7-المسار الامثل بين محطة ترحيل بعشتر ووادي الهدة:

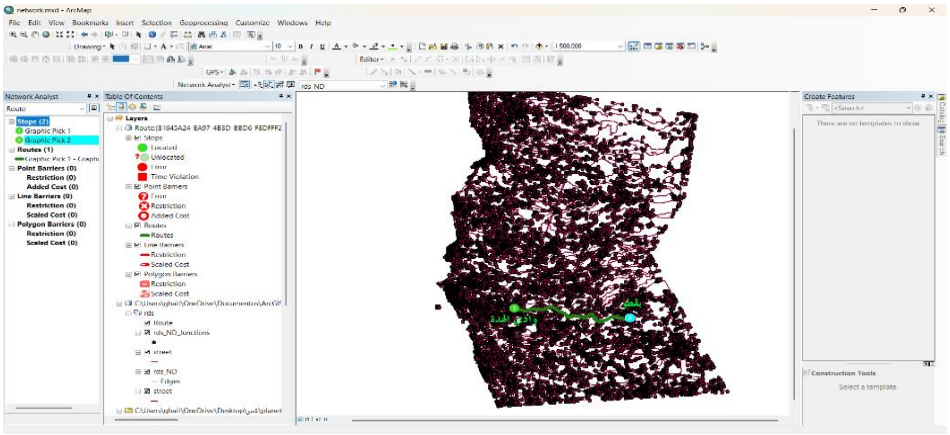


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار :

المسافة المقطوعة 27 كم

الزمن الكلي 23 دقيقة

8-المسار الامثل بين محطة ترحيل بقطو ووادي الهدة:

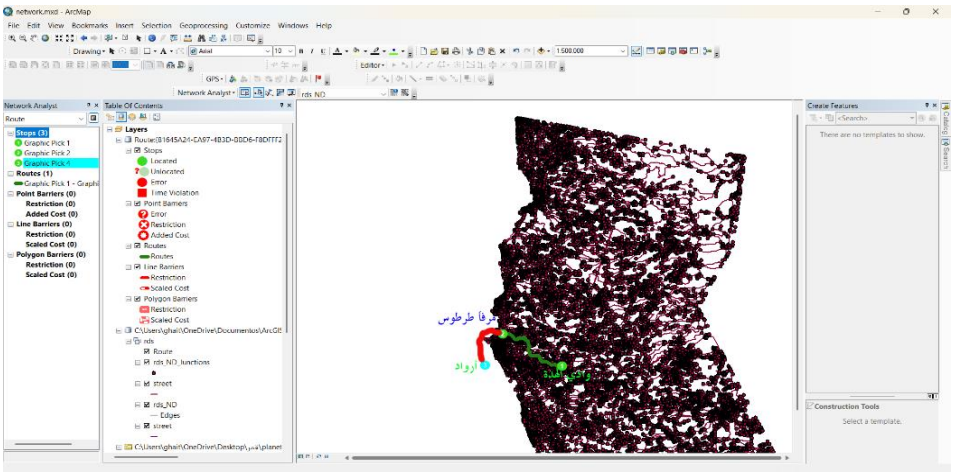


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار :

المسافة المقطوعة 28 كم

الزمن الكلي 24 دقيقة

9-المسار الامثل بين محطة ترحيل أرواد ووادي الهدة:



* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار_مع الأخذ بعين الإعتبار أن جزيرة أرواد يوجد فيها خصوصية بحرية من حيث نقل هذه المحطات أولا من الجزيرة الى الميناء و ثانياً من الميناء الى وادي الهدة.

سنقوم أولا بإظهار المسافة البحرية و التي هي بالخط الأحمر و البالغ طولها 3.8 كيلومتر تقطعها السفينة خلال نصف ساعة.

الآن سنظهر المسافة و الزمن من الميناء إلى وادي الهدة:

المسافة المقطوعة 17.9 كم

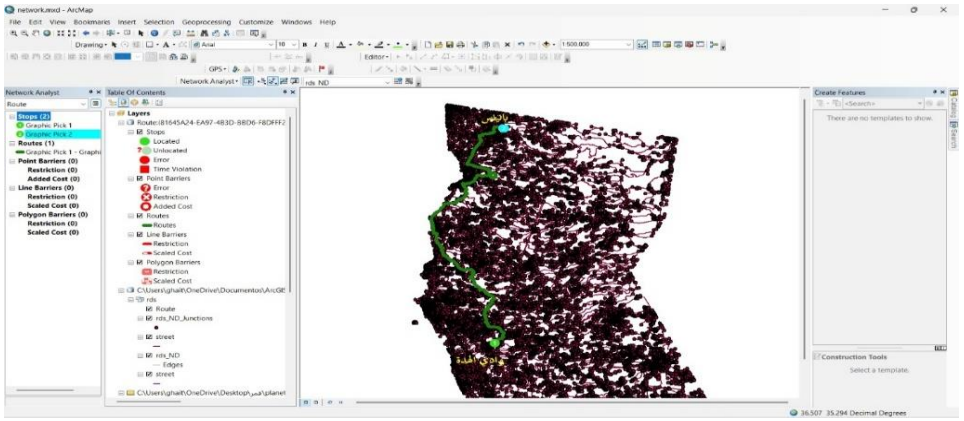
الزمن الكلي 15 دقيقة

الآن المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار:

المسافة المقطوعة 21.7 كيلومتر و الزمن الكلي 45 دقيقة.

2-6 حساب المسار الحالي لشاحنات نقل النفايات من محطات الترحيل التسعة إلى مركز المعالجة المتكامل في واد الهدة:

1-المسار الحالي بين محطة ترحيل بانياس ووادي الهدة:

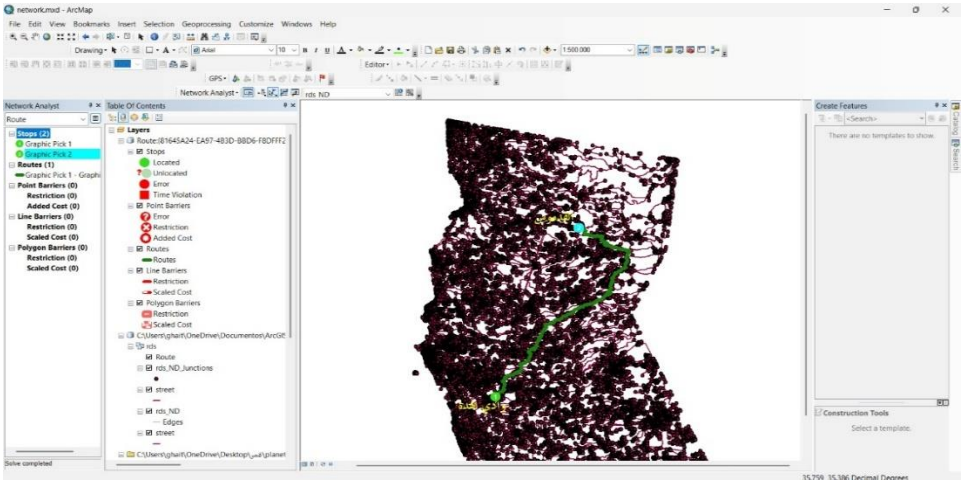


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار :

المسافة المقطوعة 91 كم

الزمن الكلي 78 دقيقة

2-المسار الحالي بين محطة ترحيل القدموس ووادي الهدة:

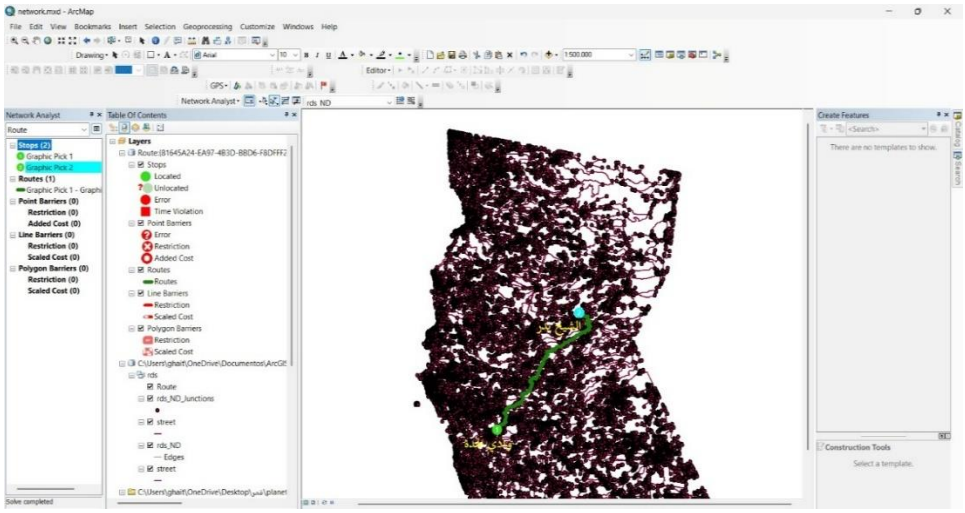


*المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار:

المسافة المقطوعة 69 كم

الزمن الكلي 59 دقيقة

3-المسار الحالي بين محطة ترحيل الشيخ بدر ووادي الهدة:

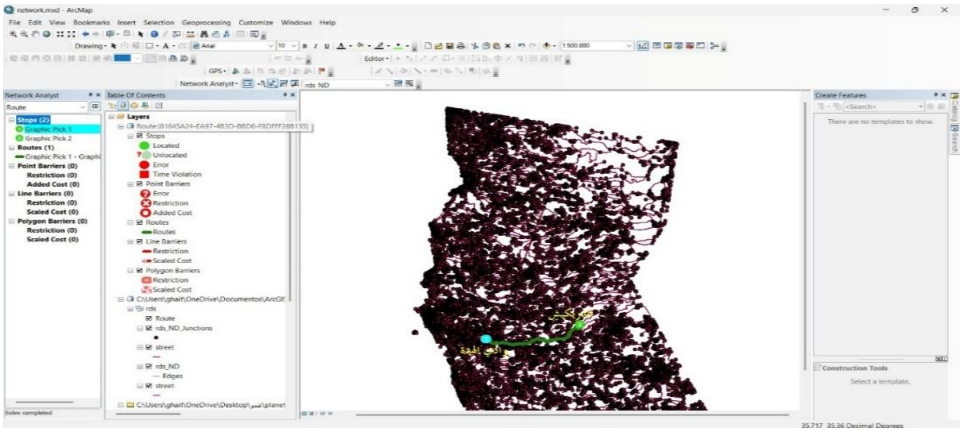


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار:

المسافة المقطوعة 38 كم

الزمن الكلي 32.5 دقيقة

4-المسار الحالي بين محطة ترحيل الدريكيش ووادي الهدة:

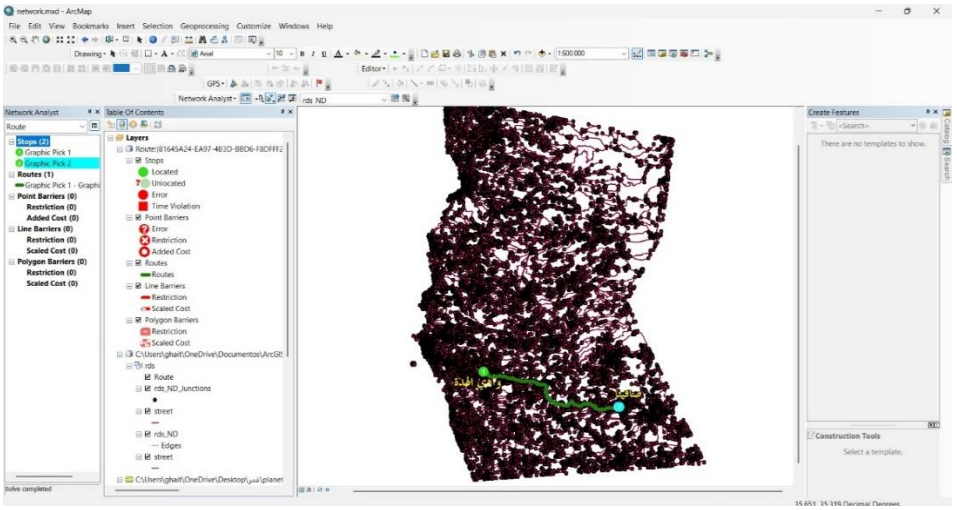


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار:

المسافة المقطوعة 22 كم

الزمن الكلي 18.8 دقيقة

5-المسار الحالي بين محطة ترحيل صافيتا ووادي الهدة:

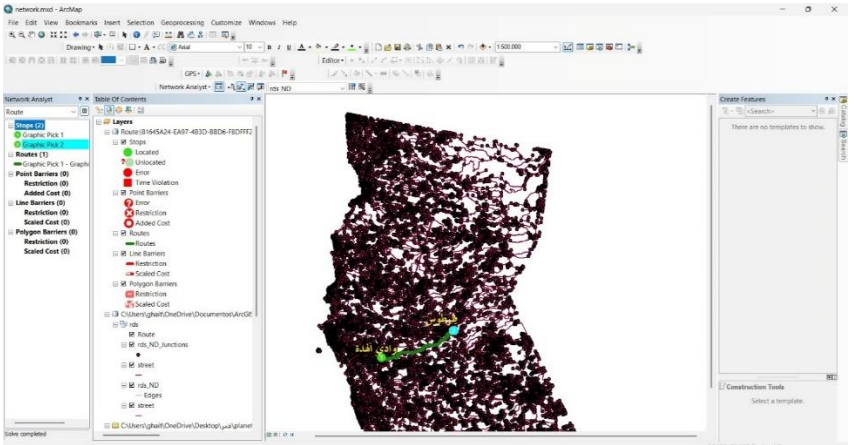


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار:

المسافة المقطوعة 33 كم

الزمن الكلي 28 دقيقة

6- المسار الحالي بين محطة ترحيل طرطوس ووادي الهدة:

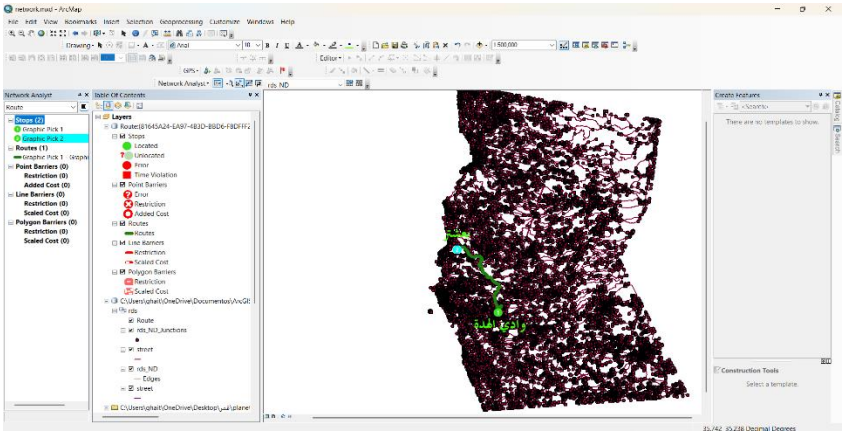


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار:

المسافة المقطوعة 19 كم

الزمن الكلي 16 دقيقة

7- المسار الحالي بين محطة ترحيل بعشتر ووادي الهدة:

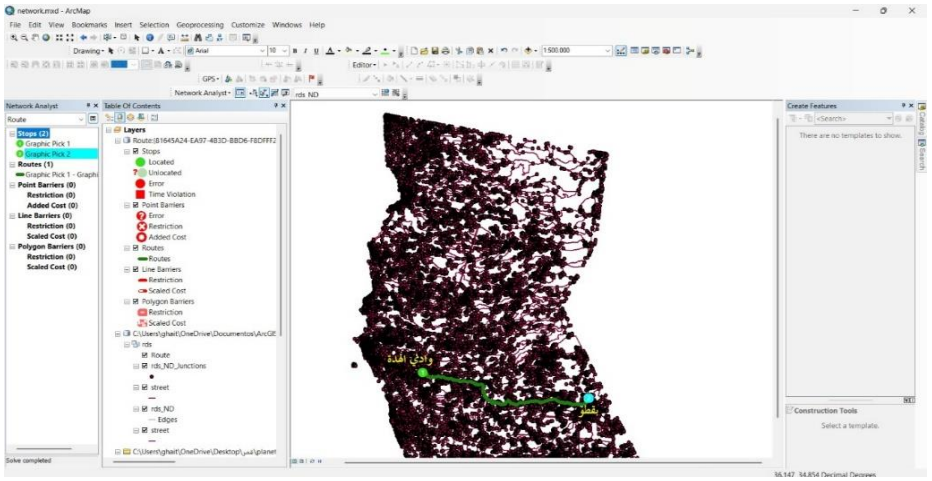


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار:

المسافة المقطوعة 29.5 كم

الزمن الكلي 24.8 دقيقة

8- المسار الحالي بين محطة ترحيل بقطو ووادي الهدة:

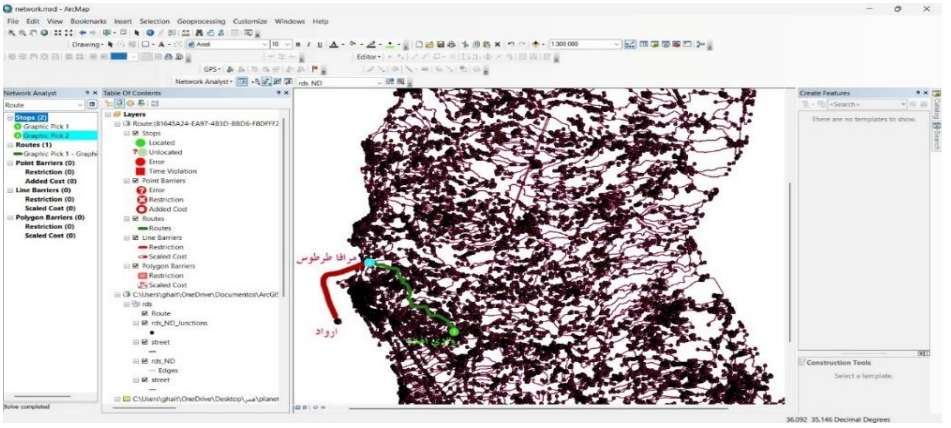


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار:

المسافة المقطوعة 36 كم

الزمن الكلي 30.8دقيقة

9- المسار الحالي بين محطة ترحيل أرواد ووادي الهدة:



* المسافة بواحدة كيلو متر والزمن: 25 كيلومتر و الزمن 21.4 دقيقة حتى الميناء.

مع احتساب المسافة البحرية التي هي بالخط الأحمر و البالغ طولها 4.8 كيلومتر تقطعها السفينة خلال 40 دقيقة تصبح: المسافة الكلية 29.8 كيلومتر و الزمن 61.4 دقيقة.

6-3 حساب الوفر في التكاليف المالية ، الزمن والمسافة المقطوعة:

1-بانياس – وادي الهدة:

المسار الحالي:

- لحساب كمية المازوت المستهلكة لقطع مسافة 91 كيلومتر، نستخدم التناسب البسيط:

بما أن 20 لترًا من المازوت تكفي لقطع مسافة 150 كيلومترًا تقريباً.

فإن استهلاك x لتر لمسافة 91 كيلومترًا يكون:

لتر X= (20×91) ÷150=12.13

إذًا، ستحتاج الشاحنة إلى حوالي 12.13 لترًا من المازوت لقطع هذه المسافة.

ولحساب التكاليف الإجمالية نضرب كمية المازوت في سعر اللتر:

التكاليف الإجمالية =12.13×11000=133430 ليرة سورية.

إذًا، تكلفة 12.13 لترًا من المازوت بسعر 11,000 ليرة سورية لكل لتر هي حوالي 133,430 ليرة سورية.

- مقدار انبعاثات CO_2 (كغ)= كمية الوقود المستهلكة(لتر) ×2.68 =12.13×2.68=32.964 كغ.

بالمسار الامثل:

لحساب استهلاك المازوت لمسافة 56 كيلومترًا، نستخدم التناسب التالي:

بما أن 20 لترًا من المازوت تكفي لقطع مسافة 150 كيلومترًا

فإن استهلاك x لتر من المازوت لقطع مسافة 56 كيلومترًا يكون:

لتر X=(20×56) ÷150=7.47

إذًا، ستحتاج الشاحنة إلى حوالي 7.47 لترًا من المازوت لقطع هذه المسافة.

ولحساب التكاليف الإجمالية، نضرب كمية المازوت في سعر اللتر:

التكاليف = 11000×7.47= 82170 ليرة سورية.

إذًا، تكلفة 7.47 لترًا من المازوت بسعر 11,000 ليرة سورية لكل لتر هي حوالي 82,170 ليرة سورية.

- مقدار انبعاثات CO_2 (كغ)= كمية الوقود المستهلكة(لتر) ×2.68

=7.47×2.68=20.0196 كغ.

المعيار	المسار الحالي	المسار الأمثل (باستخدام GIS)
المسافة (كم)	91كيلومتر	56 كيلومتر
الزمن المقدر (دقيقة)	78 دقيقة	48 دقيقة
كمية الوقود المستهلك (لتر)	12.13 لتر	7.47 لتر
مقدار انبعاث غاز CO2	32.5084	20.0196
حالة الطريق	مزدحمة ووعرة	أقل ازدحاما
تكلفة النقل التقريبية (ل.س)	133.430 ليرة سورية	82.170 ليرة سورية

2- القدموس – وادي الهدة:

المعيار	المسار الحالي	المسار الأمثل (باستخدام GIS)
المسافة (كم)	69كيلومتر	56 كيلومتر
الزمن المقدر (دقيقة)	59 دقيقة	48 دقيقة
كمية الوقود المستهلك (لتر)	9.2 لتر	7.47 لتر
مقدار انبعاث غاز CO2	24.656	20.0196

حالة الطريق	مزدحمة ووعرة	أقل ازدحاما
تكلفة النقل التقريبية (ل.س)	101.200 ليرة سورية	82.170 ليرة سورية

3- الشيخ بدر – وادي الهدة:

المعيار	المسار الحالي	المسار الأمثل (باستخدام GIS)
المسافة (كم)	38كيلومتر	27 كيلومتر
الزمن المقدر (دقيقة)	32.5 دقيقة	23دقيقة
كمية الوقود المستهلك (لتر)	5.07 لتر	3.6 لتر
مقدار انبعاث غاز CO2	13.5876	9.648
حالة الطريق	مزدحمة ووعرة	اقل ازدحاما
تكلفة النقل التقريبية (ل.س)	55.770ليرة سورية	39.600 ليرة سورية

4- الدريكيش – وادي الهدة:

المعيار	المسار الحالي	المسار الأمثل (باستخدام GIS)
المسافة (كم)	22كيلومتر	19.7 كيلومتر
الزمن المقدر (دقيقة)	18.8دقيقة	17دقيقة
كمية الوقود المستهلك (لتر)	2.93 لتر	2.63 لتر
مقدار انبعاث غاز CO2	7.8524	7.0484
حالة الطريق	مزدحمة ووعرة	اقل ازدحاما
تكلفة النقل التقريبية (ل.س)	32.230ليرة سورية	28.930ليرة سورية

5- صافيتا – وادي الهدة:

المعيار	المسار الحالي	المسار الأمثل (باستخدام GIS)
المسافة (كم)	33كيلومتر	25 كيلومتر
الزمن المقدر (دقيقة)	28دقيقة	21دقيقة
كمية الوقود المستهلك (لتر)	4.4 لتر	3.33 لتر
مقدار انبعاث غاز CO_2	11.792	8.9244
حالة الطريق	مزدحمة ووعرة	اقل ازدحاما
تكلفة النقل التقريبية (ل.س)	48.400ليرة سورية	36.630 ليرة سورية

6- طرطوس – وادي الهدة:

المعيار	المسار الحالي	المسار الأمثل (باستخدام GIS)
المسافة (كم)	19كيلومتر	12.3 كيلومتر
الزمن المقدر (دقيقة)	16 دقيقة	10دقيقة
كمية الوقود المستهلك (لتر)	2.53 لتر	1.64 لتر
مقدار انبعاث غاز CO_2	6.7804	4.3952
حالة الطريق	مزدحمة ووعرة	اقل ازدحاما
تكلفة النقل التقريبية (ل.س)	27.830ليرة سورية	18.040 ليرة سورية

7- بعشتر – وادي الهدة:

المعيار	المسار الحالي	المسار الأمثل (باستخدام GIS)
المسافة (كم)	29.5كيلومتر	27 كيلومتر
الزمن المقدر (دقيقة)	24.8 دقيقة	23دقيقة

كمية الوقود المستهلك (لتر)	3.39 لتر	3.6 لتر
مقدار انبعاث غاز CO2	9. 852	9.648
حالة الطريق	مزدحمة ووعرة	اقل ازدحاما
تكلفة النقل التقريبية (ل.س)	43.230ليرة سورية	39.600 ليرة سورية

8- بقطو – وادي الهدة:

المعيار	المسار الحالي	المسار الأمثل (باستخدام GIS)
المسافة (كم)	36كيلومتر	28 كيلومتر
الزمن المقدر (دقيقة)	30.8 دقيقة	24دقيقة
كمية الوقود المستهلك (لتر)	4.8 لتر	3.73 لتر
مقدار انبعاث غاز CO2	12.864	9.9964
حالة الطريق	مزدحمة ووعرة	اقل ازدحاما
تكلفة النقل التقريبية (ل.س)	52.800ليرة سورية	41.030 ليرة سورية

9- أرواد – وادي الهدة:

المعيار	المسار الحالي	المسار الأمثل (باستخدام GIS)
المسافة (كم)	29.8كيلومتر	21.7 كيلومتر
الزمن المقدر (دقيقة)	61.4 دقيقة	45دقيقة
كمية الوقود المستهلك (لتر)	3.97 لتر	2.89 لتر
مقدار انبعاث غاز CO2	10.6396	7.7452
حالة الطريق	مزدحمة ووعرة	اقل ازدحاما
تكلفة النقل التقريبية (ل.س)	43.670ليرة سورية	31.790 ليرة سورية

جدول حساب التوفير الكلي بالزمن و المسافة بواحدة كيلو متر و صرف الوقود و التكاليف:

المعيار	المسار الحالي	المسار الأمثل (باستخدام GIS)	الفرق
المسافة (كم)	367.3 كيلومتر	272.7 كيلومتر	94.6 كيلومتر
الزمن المقدر (دقيقة)	349.3 دقيقة	259 دقيقة	90.3 دقيقة
كمية الوقود المستهلك (لتر)	48.42 لتر	36.36 لتر	12.06 لتر
مقدار انبعاث غاز CO2	129.7656 كغ	97.4448 كغ	32.3208 كغ
حالة الطريق	مزدحمة ووعرة	اقل ازدحاما	
تكلفة النقل التقريبية (ل.س)	532.620 ليرة سورية	400.000 ليرة سورية	132.620 ليرة سورية

جدول(1) حساب التوفير الكلي بالزمن و المسافة بواحدة كيلو متر و صرف الوقود والتكاليف

6-4 التطابق بين المسارين(المسارات الجزئية التي يتطابق فيها المساران، أي المسار المتبع حالياً مع المسار الأمثل المقترح):

على الرغم من الفروق الواضحة في إجمالي المسافة والزمن بين المسار الحالي والمسار الأمثل، فإن التحليل المكاني كشف عن وجود أجزاء طرقية مشتركة بين المسارين في معظم

المحطات، خصوصًا في المناطق القريبة من مركز المعالجة في وادي الهدة أو عند المرور عبر الطرق الرئيسية المعبدة ذات الكفاءة العالية.

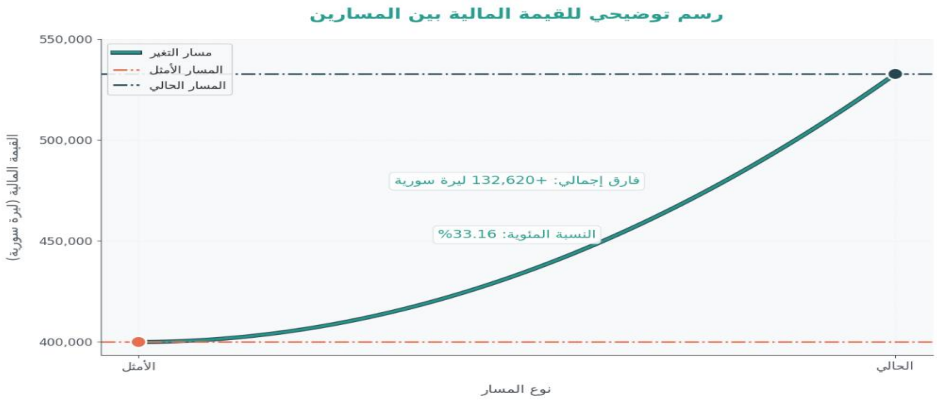
فعلى سبيل المثال، في مسار طرطوس ← وادي الهدة، يتطابق المساران تمامًا في الجزء الممتد من مدخل بلدة الدريكيش وحتى مركز المعالجة، نظرًا لعدم وجود طرق بديلة أكثر كفاءة في تلك المنطقة الجبلية. وبالمثل، في مسار صافيتا← وادي الهدة، يشترك المساران في القسم المارّ عبر وادي الحصين، حيث تُعدّ هذه الطريق الوحيدة الممكنة بسبب التضاريس المحيطة،حتى في حالة جزيرة أرواد، يتطابق الجزء البري (من الميناء إلى وادي الهدة) في كلا المسارين، إذ لا توجد بدائل عملية للوصول إلى المركز.

هذا التطابق يدلّ على أن النظام الحالي ليس غير فعّال بالكامل، بل يحتوي على عناصر جيّدة يمكن البناء عليها. كما يُظهر أن نموذج التحسين المقترح لا يسعى إلى تغيير كل شيء، بل يركّز على تحسين النقاط الحرجة فقط (مثل تجنّب الطرق الوعرة أو غير المباشرة)، مما يعزز واقعية الحلول وقابليتها للتطبيق الفوري .

اسم محطة الترحيل	طول المسار الحالي (كم)	طول المسار الأمثل (كم)	طول المقطع المتطابق (كم)	نسبة التطابق (%)	ملاحظات
بانياس	91	56	18	31.0%	تطابق في الجزء القريب من الطريق الرئيسي الساحلي
القدموس	69	56	20	36.2%	تطابق ضمن المقطع الواصل إلى الطريق العام باتجاه الدريكيش

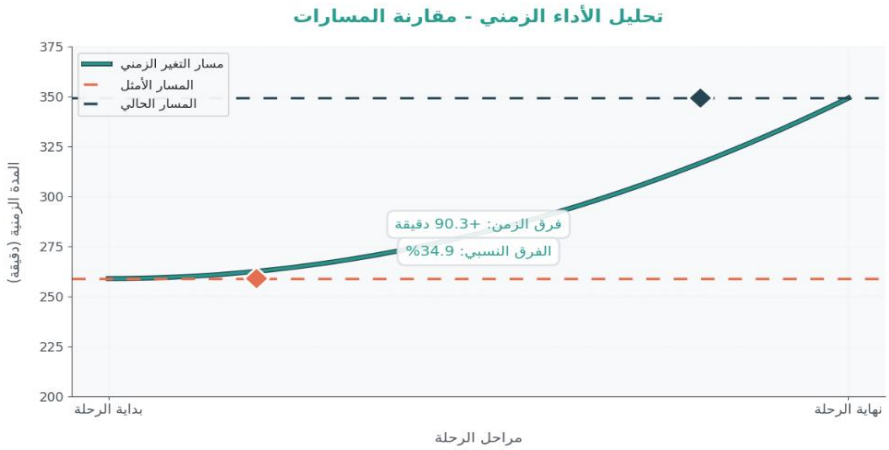
الشيخ بدر	38	27	10	37.0%	تطابق في الطريق المؤدي إلى وادي الهدة
الدريكيش	22	19.7	8	36.3%	تطابق في الجزء الأوسط من الطريق المحلي
صافيتا	33	25	9	36.0%	تطابق في محور صافيتا – الهدة
طرطوس	19	12.3	6	31.5%	تطابق في مقطع الطريق الصناعي المؤدي للمعالجة
بعشتر	29.5	27	11	37.2%	تطابق ضمن المقطع الريفي قبل مركز المعالجة
بقطو	36	28	12	33.3%	تطابق في مقطع طريق فرعي مشترك
أرواد	29.8	21.7	8	26.8%	التطابق يقتصر على المقطع البري بعد الميناء

المنحنيات البيانية التوضيحة:



الشكل (1) القيمة المالية بين المسارين الحالي والأمثل

الشكل (2) تحليل كفاءة استهلاك الوقود



الشكل (3) تحليل الأداء الزمني

الشكل (4) مقارنة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بين المسار الحالي والمسار الأمثل

6-5 الجدوى البنية التحتية لتطبيق المسارات المُحسَّنة:

من المهم توضيح أن المسارات المثلى التي تم اقتراحها باستخدام تحليل شبكة الطرق في برنامج ArcGIS لا تتطلب شق طرق جديدة ولا أي استثمارات في تحسين البنية التحتية. فقد اعتمد التحليل حصريًّا على الشبكة الطرقية الحالية المعتمدة في محافظة طرطوس، مع إعادة توجيه حركة الشاحنات عبر طرق موجودة أصلاً لكنها غير مستغلة في النظام الحالي بسبب غياب التخطيط المكاني.

على سبيل المثال، المسار المحسّن من بانياس إلى وادي الهدة يستخدم جزءًا من طريق بانياس–القدموس ثم ينحرف عبر طريق معبد يرتبط بمنطقة الدريكيش، وهو طريق حكومي معبد ولا يحتاج إلى أي تأهيل. وبالمثل، في حالة جزيرة أرواد، يعتمد المسار الأمثل على نفس المرفق البحري الحالي (المرسى–الجزيرة)، ما يعني أن التحسين يقتصر على الجزء البري فقط، والذي يمر عبر طرق رئيسية معبدة.

وبناءً عليه، فإن تنفيذ المسارات المُقترحة لا يترتب عليه أي تكاليف استثمارية (كشق طرق أو إنشاء جسور)، بل يقتصر على تعديل سلوك السائقين وتوفير خرائط رقمية موجهة، ما يجعل التوصيات قابلة للتطبيق الفوري وبتكاليف أقل.

7-الإستنتاجات:

1-فعالية النظم اللامركزية في المناطق الكثيفة سكانيًا:

أظهرت الدراسة أن النظام اللامركزي يتمتع بمرونة وكفاءة أعلى في المدن الرئيسية مثل طرطوس وصافيتا وبانياس، حيث تتركز كميات كبيرة من النفايات، يقلل هذا النظام من الحاجة إلى نقل النفايات لمسافات طويلة، مما ينعكس إيجابًا على التكاليف التشغيلية وتقليل الضغط على شبكة وعلى نقاط الترحيل المركزية وتحسين الاستجابة المحلية

. (Araba & Al-Sabbagh, 2020)

2-دور نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في تحسين الكفاءة التشغيلية:

كان لإستخدام برنامجArcGISدور محوري في تحسين كفاءة منظومة النقل، من خلال:

- إعادة توزيع محطات الترحيل بناءً على تحليل المعايير المكانية (الكثافة السكانية، القرب من الشبكة الطرقية، الإبتعاد عن المناطق الحساسة).
- تحديد المسارات المثلى لشاحنات نقل النفايات، مما قلل المسافة الإجمالية المقطوعة من 367.3 كم إلى 272.7 كم، أي بتوفر بلغ 94.6 كم لكل دورة نقل(Banar & Çokaygil, 2021).

3-خفض التكاليف والإنبعاثات الناتجة عن النقل:

أدت إعادة تقييم المسارات باستخدام تحليل الشبكات في GIS إلى تقليل استهلاك الوقود، وبالتالي خفض التكاليف المالية وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون، ما يدعم توجه الإدارة البيئية المستدامة(Khan & Kumar, 2023).

4- توفير مالي وبيئي ملموس: أظهرت الحسابات أن تطبيق المسارات المُحسَّنة باستخدامGIS يودي إلى:

- تقليل استهلاك الوقود من 48.42 لتر إلى 36.36 لتر، بفارق 12.06 لتر لكل دورة.
- خفض التكاليف التشغيلية من 532,620 ليرة سورية إلى 400,000 ليرة سورية، أي وفر مالي قدره 132,620 ليرة سورية.
- تقليل انبعاثات CO_2 من 129.77 كغ إلى 97.44 كغ، مما يُعدّ إسهامًا مباشرًا في تقليل البصمة الكربونية لمنظومة النفايات(Malczewski, 2020).

5-تحسين الأداء الزمني والخدمي:

اختصار الزمن الإجمالي لعمليات النقل من 349.3 دقيقة إلى 259 دقيقة (توفير 90.3 دقيقة)، ما يُسهم في زيادة عدد الدورات اليومية الممكنة، وبالتالي تحسين جودة الخدمة وتقليل تراكم النفايات في المدن(Esri, 2021).

6-أهمية دمج معايير متعددة لاتخاذ القرار:

أظهر استخدام نموذج AHP (التحليل الهرمي متعدد المعايير) فاعليته في مقارنة البدائل بين النظامين من خلال مراعاة البعد الاقتصادي والبيئي والإجتماعي، مما عزز دقة القرار النهائي(Malczewski, 2020).

8-التوصيات:

1-اعتماد نظم المعلومات الجغرافية (GIS) كأداة أساسية في تخطيط إدارة النفايات الصلبة:

يُوصى باستخدام GIS لتحليل المسارات، بما يقلل التكاليف، الزمن، استهلاك الوقود، والإنبعاثات الناتجة عن عمليات نقل النفايات (Banar & Çokaygil, 2021).

2-اعتماد نظام دعم القرار القائم علىGIS:

إنشاء نظام مكاني متكامل لتحليل الشبكات وتحديد المسارات المثلى، يشمل:

- تحليل الشبكات لتحديد المسارات المثلى.
- نظام تتبع آني(GPS) لشاحنات النقل لتحسين المراقبة والكفاءة.

3-استخدام نموذجAHP في اتخاذ القرار:

لتقييم المسارات البديلة لشاحنات نقل النفايات بطريقة موضوعية وشفافة، مع مراعاة معايير مرتبطة مباشرة بالمسار مثل التكاليف، الزمن، استهلاك الوقود والإنبعاثات الكربونية (Malczewski, 2020).

4- البدء بتنفيذ المسارات المُحسَّنة فورًا:

نظرًا لأن تحسين المسارات لا يتطلب استثمارات ضخمة، يُوصى بتطبيق المسارات المثلى باستخدام GISالتي تم تحديدها على الفور لما يحقق من توفير فوري في:

- التكاليف التشغيلية (بنسبة تصل إلى 25%).
- استهلاك الوقود.

- الزمن والإنبعاثات الكربونية(Khan & Kumar, 2023).

9-المراجع:

1- المصري، فادي، &خليل، ندى .(2020) .دور نظم المعلومات الجغرافية في تحسين إدارة النفايات في المدن السورية .المجلة العربية للبيئة المستدامة، 12(1)، 15-29.

2-صوان، حسان (2019). "تحليل نظم الترحيل في إدارة النفايات الصلبة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية حالة دراسية من الساحل السوري." مجلة التخطيط العمراني.

2-محمد، أحمد (2018). "استخدام نظم المعلومات الجغرافية في التخطيط العمراني وإدارة الخدمات." مجلة الجغرافيا التطبيقية.

4- مجلة جامعة طرطوس للعلوم الهندسية. (2024). واقع إدارة النفايات الطبية في محافظة طرطوس.

5- الرفاعي، سعاد (2021). "مقارنة بين الحلول المركزية واللامركزية في إدارة النفايات." مجلة البحوث البيئية والتنموية.

6 - Banar, M., & Çokaygil, Z. (2021). Application of GIS and AHP for municipal solid waste landfill site selection: A case study in Konya, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 193(3), 1–17. https://doi.org/10.1007/s10661-021-08943-0

7 - Malczewski, J. (2020). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science, 34(1), 1–30. https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1676430

8 - Esri. (2021). How GIS Improves Solid Waste Management. Retrieved from: https://www.esri.com

9 -Araba, A., & Al-Sabbagh, M. (2020). Feasibility of decentralized waste management in coastal Syrian cities. Journal of Environmental Engineering and Science, 15(3), 210–218. https://doi.org/10.1139/jees-2019-0088