مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الهندسية المدنية والمعمارية

مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 48 . العدد 3

1448 هـ - 2026 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص **المدير المسؤول عن المجلة**

أ. د. وليد حمادة	**رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الإنسانية**
د.نعيمة عجيب	**رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية**

د.محمد فراس رمضان	عضو هيئة التحرير
د. مضر سعود	عضو هيئة التحرير
د. ممدوح عبارة	عضو هيئة التحرير
د. موفق تلاوي	عضو هيئة التحرير
د. طلال رزوق	عضو هيئة التحرير
د. أحمد الجاعور	عضو هيئة التحرير
د. الياس خلف	عضو هيئة التحرير
د. روعة الفقس	عضو هيئة التحرير
د. محمد الجاسم	عضو هيئة التحرير
د. خليل الحسن	عضو هيئة التحرير
د. هيثم حسن	عضو هيئة التحرير
د. أحمد حاج موسى	عضو هيئة التحرير

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

سورية . حمص . جامعة حمص . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

. موقع الإنترنت : www.homs-univ.edu.sy

. البريد الالكتروني : journal.homs-univ.edu.sy

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة حمص

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
- طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
- **اذا كان الباحث طالب دراسات عليا:**

يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقته على النشر في المجلة.

- **اذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:**

يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.

- **اذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :**

يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.

- **اذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :**

يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.

- **يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):**

عنوان البحث . . ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1- مقدمة

2- هدف البحث

3- مواد وطرق البحث

4- النتائج ومناقشتها .

5- الاستنتاجات والتوصيات .

6- المراجع.

- **يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسـبة لكليات (الآداب – الاقتصـاد– التربية – الحقوق – السياحة – التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):**
- عنوان البحث . . ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1. مقدمة.
2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
3. أهداف البحث و أسئلته.
4. فرضيات البحث و حدوده.
5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
7. منهج البحث و إجراءاته.
8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
9. نتائج البحث.
10. مقترحات البحث إن وجدت.
11. قائمة المصادر والمراجع.

7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:

أ- قياس الورق 17.5×25 B5.

ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 – يمين 2.5- يسار 2.5 سم

ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8

ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20

ـ كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي ـ العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.

ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.

8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.

9- تقديم أي بحث للنشـر في المجلة يدل ضـمناً على عدم نشـره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.

10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة ـ الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة ـ سنة النشر ـ وتتبعها معترضة (–) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة ـ دار النشر وتتبعها فاصلة ـ الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة.

وفيما يلي مثال على ذلك:

–MAVRODEANUS, R1986– **Flame Spectroscopy**. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

ـــ بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة ـــ المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة ـــ أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.

مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases **Clinical Psychiatry News** , Vol. 4. 20 – 60

ج. إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و التقيد بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة حمص

1. **دفع رسم نشر (50000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.**
2. **دفع رسم نشر (200000) ل.س مئة الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .**
3. **دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .**
4. **دفع مبلغ (15000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.**

المحتوى

اسم البحث	اسم الباحث	الصفحة
التقييم المستقبلي لإدارة الموارد المائية في المنطقة الواقعة شمال سد محردة ضمن حوض العاصي الأوسط	د.م. كنان الأحمد	34-11
مقارنة أداء نزع النترات غيري التغذية التقليدية و نزع النترات ذاتية التغذية الغير تقليدية في الإزالة الثالثية للنترات من مياه الصرف الصحي	د. نبراس حمدان	60-35
دراسة تأثير نوع التربة على استجابة الأبنية خلال زلزال شباط 2023 باستخدام طريقتي العناصر المحيطية والعناصر المحدودة	د. ريم خرتش	88-61
الصلبة النفايات لنقل الأمثل المسار إختيار المعلومات نظم باستخدام الجغرافية (GIS) - حالة دراسة محافظة طرطوس	م .قمر حموي د .عابر محمد	122-89

التقييم المستقبلي لإدارة الموارد المائية في المنطقة الواقعة شمال سد محردة ضمن حوض العاصي الأوسط

د.م. كنان الاحمد: عضو هيئة تعليمية بكلية الهندسة المدنية - جامعة حمص

الملخص

تم في هذا البحث تقييم واقع إدارة الموارد المائية في حوض العاصي الأوسط في الجمهورية العربية السورية باستخدام نموذج WEAP21 لمحاكاة التوازن المائي بين العرض والطلب لقطاعي الري والتجمعات السكانية. اعتمدت الدراسة على تحليل شامل للمعطيات المناخية والهيدرولوجية والزراعية والسكانية، وتم بناء عدد من السيناريوهات المستقبلية شملت السيناريو المرجعي والنمو السكاني وسيناريو الجفاف وسيناريو تحسين كفاءة شبكات الري ومياه الشرب إضافة إلى سيناريو استثمار السدود المقترحة. أظهرت نتائج السيناريو المرجعي أن إجمالي الاحتياج المائي الصافي بلغ نحو 228.5 مليون م^3 سنوياً، مقابل عجز مائي قدره نحو 77.1 مليون م^3، ما يعكس اختلالاً واضحاً في التوازن المائي. وفي سيناريو النمو السكاني ومع ارتفاع عدد السكان من 450 ألف نسمة إلى نحو 746 ألف نسمة بعام 2035 بمعدل نمو سنوي 3.43% ارتفعت احتياجات مياه الشرب من 18 إلى 29.9 مليون م^3 بنهاية فترة الدراسة ، وتضاعف عجز مياه الشرب ليصل إلى 44.1 مليون م^3 سنوياً. كما بيّن سيناريو الجفاف، والمتمثل بانخفاض الوارد المائي بنسبة 15% لمدة ثلاث سنوات، ارتفاع العجز المائي إلى 117.2 مليون م^3 مقارنة بـ 56.5 مليون م^3 في الحالة الطبيعية. في المقابل، أظهر سيناريو استثمار سدّي قسطون وأفاميا بنسبة 50% من سعتهما التخزينية الى تخفيض العجز المائي بنحو 42.8%، وبين سيناريو تحسين كفاءة الري إلى 85% وخفض فاقد شبكات الشرب إلى 25%، قدرة واضحة على تقليص العجز إلى نحو 39.8 مليون م^3. وتؤكد نتائج الدراسة أن تحسين كفاءة إدارة الطلب المائي ورفع كفاءة البنية التحتية يشكلان الخيار الأكثر فاعلية لتحقيق الاستدامة المائية في حوض العاصي الأوسط.

الكلمات المفتاحية: إدارة الموارد المائية ، حوض العاصي الأوسط ، WEAP21

Future Assessment of Water Resources Management in the Area North of Mhardeh Dam within the Middle Orontes River Basin

Dr.Kinan Alahmad: Faculty Member at the Faculty of Civil Engineering, Homs University

Abstract

This study evaluates the current status of water resources management in the Middle Orontes Basin in the Syrian Arab Republic using the WEAP21 model to simulate the water balance between supply and demand for both irrigation and domestic sectors. The analysis was based on an integrated assessment of climatic, hydrological, agricultural, and demographic data. Several future scenarios were developed, including the reference scenario, population growth scenario, drought scenario, irrigation and domestic water network efficiency improvement scenario, in addition to the proposed dam investment scenario. The results of the reference scenario indicated that the total net water demand reached approximately 228.5 million m³ per year, compared to a water deficit of about 77.1 million m³, reflecting a clear imbalance in the water balance. Under the population growth scenario with the population increasing from 450,000 to approximately 746,000 by the year 2035 at an annual growth rate of 3.43% domestic water demand increased from 18 to 29.9 million m³ by the end of the study period and the domestic water deficit doubled to reach 44.1 million m³ annually. The drought scenario, represented by a 15% reduction in water inflow over three consecutive years, showed an increase in the agricultural water deficit to 117.2 million m³ compared to 56.5 million m³ under normal conditions. In contrast, the dam investment scenario for Qastoon and Afamia dams at 50% of their storage capacity resulted in a reduction of the water deficit by approximately 42.8%. Furthermore, the scenario of improving irrigation efficiency to 85% and reducing domestic water network losses to 25% demonstrated a significant reduction in the water deficit to about 39.8 million m³. The results confirm that improving water demand management efficiency and upgrading infrastructure efficiency represent the most effective approach to achieving water sustainability in the Middle Orontes Basin.

Key Words: Water Resources Management, Middle Orontes Basin, WEAP21.

1- المقدمة:

تواجه الجمهورية العربية السورية تحدّيات مائية متفاقمة تهدّد أمنها المائي وقدرتها على تحقيق التنمية المستدامة في مختلف القطاعات الحيوية. فقد أدّت التغيّرات المناخية المتسارعة وتزايد تواتر موجات الجفاف في حوض العاصي الاوسط وانخفاض معدلات الهطل المطري إلى انخفاض واضح في الموارد المائية السطحية والجوفية على حدّ سواء. كما ساهم النمو السكاني المتزايد واحتياجات الاراضي الزراعية المقرون بالاستخدام التقليدي وغير الكفوء للمياه في زيادة الضغط على الموارد المائية المتاحة إلى حدود حرجة. هذا الواقع أفرز مجموعة من الإشكالات المرتبطة بتراجع إنتاجية الأراضي الزراعية وارتفاع كلفة تأمين مياه الشرب فضلاً عن تزايد التهديدات البيئية المرتبطة بتدهور التربة ونوعية المياه. كما دفع هذا الوضع إلى إعادة التفكير في منهجيات إدارة المياه التقليدية والبحث عن أدوات علمية وتقنية قادرة على دعم القرار وترشيد استخدام المياه خاصة في القطاعات الأكثر استهلاكًا مثل الزراعة، ومن بين هذه الأدوات تبرز منهجية إدارة الطلب والتزويد بالمياه كنظام تقييم المياه وتخطيط التكيف

(water evaluation and adaptation planning) المستخدم عالميًا في تقييم السيناريوهات المستقبلية للطلب والعرض.

وفي ضوء ذلك بات من الضروري تطوير دراسات علمية متخصصة تدرس واقع إدارة المياه في المنطقة وتحلل أسباب العجز المائي ومستقبل الموارد المتاحة وتقترح حلولًا قائمة على أسس علمية وتقنية قابلة للتطبيق بما يضمن تحقيق الأمن المائي واستدامة التنمية في البلاد.

2- مبررات البحث:

تتبع مبرّرات هذا البحث من خطورة الوضع المائي الراهن في حوض العاصي الاوسط حيث تتزايد مظاهر الإجهاد المائي عامًا بعد عام نتيجة مجموعة من العوامل الطبيعية والبشرية فتصاعد الطلب على المياه بالتزامن مع محدودية الموارد وارتفاع نسب الهدر في شبكات الري والإمداد مما يجعل من العجز المائي تهديدًا استراتيجيًا يتجاوز البعد البيئي

ليطال الأمن الغذائي والاقتصاد الوطني والاستقرار الاجتماعي. لذلك تبرز الحاجة الملحّة إلى بحث علمي قادر على تقييم البدائل والسياسات المختلفة قبل تطبيقها على أرض الواقع وتحديد التحديات الحقيقية التي تواجه إدارة المياه واقتراح حلول مبنية على أسس علمية حديثة تساعد صانعي القرار في وضع خطط فعّالة ومستدامة.

3- هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى تحليل واقع إدارة المياه وتقييم مستويات العرض والطلب ورصد العجز المائي ودراسة دور سياسات إدارة الطلب على المياه في الحد من الهدر ورفع كفاءة الاستخدام. كما يسعى البحث إلى اقتراح مجموعة من الحلول والسياسات المبنية على الأدوات العلمية الحديثة وتقنيات إدارة المياه بما فيها نماذج المحاكاة والتخطيط المائي من أجل المساهمة في رسم صورة أوضح لمستقبل الموارد المائية وتمكين صانعي القرار من بناء خطط واستراتيجيات مستدامة تحقق الأمن المائي وتدعم التنمية الاقتصادية والاجتماعية.

4- طرائق البحث والمنهجية:

اعتمد هذا البحث منهجًا علميًا لتقييم توازن المياه بين الموارد المتاحة وبين متطلبات الري واحتياجات التجمعات السكانية من خلال تمثيل دقيق لمصادر المياه وتوزيعها على القطاعات المختلفة. تم الاستعانة ببرنامج (WEAP21) حيث تم تقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل الجدول (2) استناداً إلى المعطيات المناخية وخصائص التربة وأنماط الزراعة ثم يحاكي كفاءة نظم الري وتوزّع المياه عبر الدورات الزراعية المختلفة مع إمكانية تقييم أثر التغيرات المناخية. وفيما يتعلق بالتجمعات السكانية يوفّر WEAP21 نموذجاً لحساب الطلب المنزلي بناءً على عدد السكان ومعدلات الاستهلاك الفردي ونمو السكان إضافة إلى تحليل كفاءة شبكات التزويد ونسب الفاقد. ومن خلال الدمج بين هذين البعدين يتيح البرنامج تقييم أولويات التخصيص المائي وتحديد حالات العجز المحتملة مما يساعد في وضع سياسات مستدامة تحقق توازناً بين متطلبات التنمية الزراعية واحتياجات المجتمعات المحلية.(1)

5- الدراسات المرجعية :

تُظهر الدراسات التالية فاعلية نموذج WEAP21 كأداة متكاملة لتحليل التوازن المائي ودراسة سيناريوهات العرض والطلب تحت ظروف النمو السكاني والتغير المناخي وتحسين كفاءة الإدارة المائية. وقد أسهمت دراسة ناغبور في الهند في توجيه هذا البحث نحو اعتماد سيناريوهات تعكس النمو السكاني والتدخلات الإدارية كوسيلة للحد من العجز المائي بينما دعمت دراسة حوض نهر ناشي في إثيوبيا منهجية تحليل الفجوة الموسمية بين العرض والطلب وهو ما تم أخذه بعين الاعتبار عند تقييم العجز في الأشهر الجافة ضمن منطقة الدراسة. كما وفّرت دراسات حوض النيل الأزرق الأعلى وإسطنبول إطارًا تحليليًا لتأثيرات التغير المناخي والنمو السكاني والري الأمر الذي ساعد في تصميم سيناريو الجفاف وسيناريو النمو السكاني والري في هذا البحث وتمت الاستفادة من البحث الاخير بتطبيق نموذج WEAP21 و مابيا على حوض العاصي الأوسط مع دمج واقعي للمعطيات المحلية الزراعية والسكانية وتحليل خيارات عملية لتقليص العجز المائي بما يدعم اتخاذ القرار المائي في المنطقة.

5-1- في منطقة ناغبور بالهند التي تعتمد على خزان بنش وأنهار فينا وكانهان وتشهد نمواً سكانياً وصناعياً متسارعاً يقود إلى توتر واضح في تخصيص المياه بين الريف والمدينة تمت الاستعانة بنموذج WEAP21 لمحاكاة الطلب حتى عام 2040 بدراسة أربعة سيناريوهات رئيسية. أظهر السيناريو المرجعي أن الطلب سيصل بنهاية الدراسة إلى 4.14 مليار م³ مع استمرار النمو الحالي في حين ارتفع الطلب بشكل كبير في سيناريو النمو المرتفع ليبلغ 6.93 مليار م³ نتيجة زيادة 5% سنوياً في السكان. أما سيناريو انخفاض الهطول المطري فقد رفع الطلب الحالي إلى 5.10 مليار م³. وفي المقابل اظهر سيناريو التدخلات الحكومية (الترشيد) قدرة على خفض الطلب إلى 3.81 مليار م³ بحلول 2040 عبر تقليل الاستهلاك. كما كشفت النتائج أن القيمة الاكبر للعجز المائي تتركز في مدينة ناغبو مع توقع عجز يصل إلى 1.32 مليار م³ في السيناريو المرجعي مما

يعزز الحاجة لتطبيق سياسات إدارة الطلب وتحسين البنية المائية للحد من الأزمات المستقبلية.(2)

5-2- قدمت دراسة لتقييم إمكانات المياه السطحية وتخصيص الطلب المائي في حوض نهر ناشي باستخدام نموذج تقييم وتخطيط المياه (WEAP21) تحليلاً متكاملاً للموارد المائية في الحوض الواقع في إثيوبيا. وأشارت النتائج إلى أن الجريان السطحي السنوي يبلغ 1.197 مليار متر مكعب بينما يبلغ الطلب الكلي 328.35 مليون متر مكعب في سنة الأساس (2019) مما يؤشر إلى توازن إيجابي حاليًا.

تم محاكاة سيناريوهين مستقبليين رئيسيين: الأول يتعلق بتوسع الري بنسبة 3.9% سنوياً حيث يتوقع ارتفاع الطلب على مياه الري من 0.301 مليون متر مكعب إلى 0.984 مليون متر مكعب بحلول عام 2050. أما السيناريو الثاني فقد ركز على التباين المناخي وكشف أن الموارد المائية قد تنخفض إلى 0.267 مليار متر مكعب في السنوات شديدة الجفاف مقارنة بـ 1.197 مليار متر مكعب في السنوات الطبيعية.

أبرزت الدراسة وجود فجوة موسمية بين العرض والطلب حيث يظهر عجز مائي خلال الأشهر الجافة على الرغم من وجود فائض في الأشهر الماطرة. تُؤكد هذه النتائج على الحاجة إلى تبني استراتيجيات إدارة مرنة تشمل تحسين التخزين وترشيد الاستخدام لضمان تلبية الطلب المتزايد في ظل التقلبات المناخية. (4)

5-3-تُقدم دراسة الطلب والعرض المائي تحت سيناريوهات التنمية المائية المستقبلية وتغير المناخ في حوض النيل الأزرق الأعلى تحليلاً متكاملاً لتقييم التوازن المائي في الحوض. حيث أظهرت النتائج أن الفترة الحالية تشهد توازنًا بين العرض والطلب على مياه الري إلا أن سيناريو تغير المناخ RCP4.5 وRCP8.5 كشف عن وجود عجز مائي في الري يتراوح بين 213 و611 مليون متر مكعب. وأرجعت الدراسة أسباب هذه الفجوة إلى تزامن تأثيرات تغير المناخ على توفر المياه مع التوسع في المشاريع الزراعية. وخلصت الدراسة إلى ضرورة تعزيز إدارة الموارد المائية لزيادة العرض المائي وترشيد الطلب لتقليل العجز المائي المتوقع مما يبرز الحاجة إلى تبني سياسات مائية مستدامة لمواجهة التحديات المستقبلية في الحوض. (5)

5-4- تُعنى دراسة أكالين وآخرون بتقييم الوضع المائي المستقبلي لمدينة إسطنبول إحدى أكبر المدن العالمية من حيث الكثافة السكانية والتحديات المائية. اعتمدت الدراسة على نموذج WEAP لمحاكاة الإمكانات المائية المستقبلية تحت سيناريوهات متعددة شملت تغيرات في هطول الأمطار ودرجات الحرارة وزيادة الطلب بسبب النمو السكاني وتأثيرات التغير المناخي.

كشفت النتائج أن موارد المدينة المائية الحالية بما في ذلك نقل المياه من أحواض مجاورة مثل ميلين ويشيلتشاي لن تكون كافية لتلبية الطلب المستقبلي خاصة في سنوات الجفاف الشديد وأوصت الدراسة بضرورة اتباع نهج متكامل يجمع بين مصادر مائية إضافية وتحسين كفاءة الشبكة وترشيد الاستهلاك وتحديد أولويات التخصيص حيث تُمنح الأولوية القصوى لمياه الشرب تليها الاحتياجات البيئية ثم القطاعات الاقتصادية الأخرى.(3)

5-5- تم تطوير نموذج متكامل لإدارة الموارد المائية في منطقة سهل الغاب الواقعة ضمن حوض العاصي الأوسط في محافظة حماة والتي تمتد من سد محردة إلى بوابات القرقور وتبلغ مساحتها المروية نحو 88 ألف هكتار. وتعتمد المنطقة في مواردها المائية بشكل رئيس على بحيرة سد محردة إلى جانب الآبار والينابيع ما يجعلها عرضة لضغوط مائية متزايدة في ظل التغير المناخي وارتفاع الطلب على المياه.

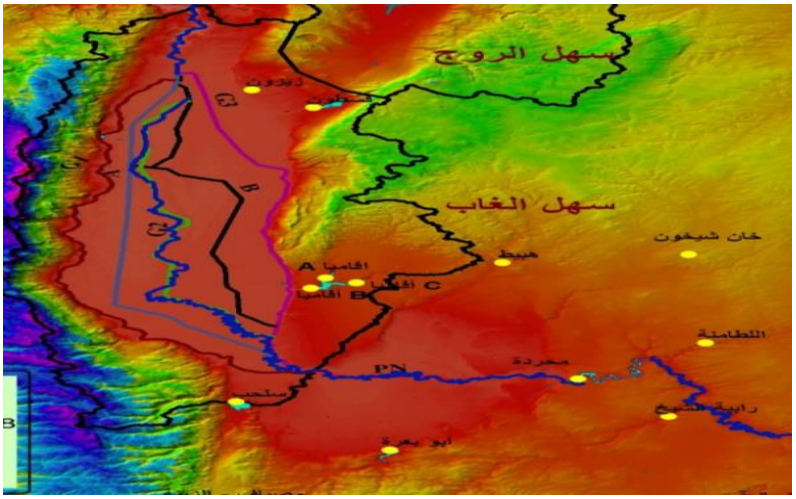
اعتمدت الدراسة على بناء نموذج محاكاة متكامل باستخدام برنامج WEAP21 بالاقتران مع نموذج MABIA لمحاكاة إدارة مياه الري وتقدير الطلب المائي الزراعي والسكني. كما جرى توظيف نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحديد المواقع المثلى لإنشاء خزانات مائية لحصاد مياه الأمطار. واستند التحليل إلى بيانات مناخية وهيدرولوجية وزراعية مع إعداد عدة سيناريوهات مستقبلية حتى عام 2040 شملت النمو السكاني وتحسين كفاءة الري والتوسع في المساحات المروية إضافة إلى سيناريو الجفاف.

أظهرت نتائج المحاكاة أن سيناريو النمو السكاني يؤدي إلى ارتفاع الطلب المائي المنزلي ليصل إلى 32.14 مليون متر مكعب في نهاية فترة الدراسة. كما بيّنت النتائج أن رفع كفاءة الري يسهم في تقليص العجز المائي السنوي بحوالي 20 مليون متر مكعب. وأظهر سيناريو التوسع الزراعي زيادة في العائد الاقتصادي قُدّرت بنحو 68 مليار ليرة سورية

مقارنة بالسيناريو المرجعي. في المقابل كشف سيناريو الجفاف عن آثار سلبية واضحة تمثلت في زيادة العجز المائي وتراجع الإنتاج الزراعي وانخفاض العائد الاقتصادي بنحو 240 مليار ليرة سورية.(9)

6- منطقة البحث:

تقع منطقة الدراسة ضمن اراضي حوض العاصي الأوسط في الشمال الغربي للجمهورية العربية السورية في ريف محافظة حماة ضمن الأراضي الواقعة بين شمال سد محردة وجنوب جسر الشغور في ادلب . وسهل الغاب هو عبارة عن سهل منبسط خصب يقع في المثلث بين محافظات (حماه، وأدلب، واللاذقية) حيث يحده محافظة إدلب شمالاً، ومدينة مصياف جنوباً وسلسلة الجبال الساحلية غرباً التي يصل ارتفاعها إلى (1500m) ومدينة محردة وجبل الزاوية بارتفاع (600m) شرقاً يمتد سهل الغاب الذي كان مليئاً بمعظمه بالمياه قبل التجفيف لمسافة حوالي (80 Km) طولاً وبين 10– 20 كم، ويخترقه نهر العاصي من الشمال إلى الجنوب يمتد سهل الغاب بمساحة قدرها حوالي (141) ألف هكتار ويبين الشكل(1) منطقة تواجد المشروع.



الشكل (1) : خريطة حوض العاصي (مبينا عليها موقع منطقة الدراسة)

7–الية توزيع المياه في منطقة المشروع :

المصدر الأساسي من المياه هو سد محردة الواقع على نهر العاصي والينابيع والابار المغذية لمنطقة الدراسة.

وبمتابعه مجرى نهر العاصي نجد عدة قنوات ري رئيسية في منطقة الدراسة وهي :

القناة G1 : يبلغ التدفق التصميمي لهذه القناة 5.09 m^3/sec وتروي الأراضي الزراعية الواقعة في زمام القناة وتبلغ مساحتها (9325 hec).

القناة G2: يبلغ التدفق التصميمي لهذه القناة 14.72 m^3/sec ويروي الأراضي الزراعية الواقعة في زمام القناة وتبلغ مساحتها (19780 hec).

القناة G3: يبلغ التدفق التصميمي لهذه القناة 23.377 m^3/sec ويروي الأراضي الزراعية الواقعة في زمام القناة وتبلغ مساحتها (35210 hec).

القناة G4: يبلغ التدفق التصميمي لهذه القناة 1.3 m^3/sec ويروي الأراضي الزراعية الواقعة في زمام القناة وتبلغ مساحتها (2100 hec).(7)

كما يوضح الجدول (1) تدفقات نهر العاصي الوسطية خلال اشهر السنة عند مدخل سد محردة .

الجدول (1): تدفقات نهر العاصي عند مدخل سد محردة بواحدة m3 /sec (6) :

الشهر	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
التصريف m3 /sec	4.7	5.15	5.64	6.66	19.11	13.12	10.14	5.48	6.23	8.08	6.6	4.95

8- بناء النموذج في برنامج (WEAP21) :

تمثل مرحلة بناء النموذج الهيدرولوجي باستخدام برنامج WEAP21 خطوة جوهرية في توصيف الخصائص المناخية والفيزيائية لمنطقة الدراسة، إذ استدعى ذلك إعداد نموذج اعتباري متكامل يعكس الواقع الهيدرولوجي بدقة. وتقع المنطقة ضمن نطاق المناخ المتوسطي الذي يتسم بشتاء بارد وغزير الأمطار وصيف حار وجاف في حين يتخلل الفصلين الانتقاليين تباين ملحوظ في الظروف الجوية الأمر الذي يمنح النظام المناخي طابعاً ديناميكياً يستوجب أخذه في الحسبان عند تقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل.

يكشف التحليل المناخي المستند إلى القياسات المأخوذة من محطات الرصد المنتشرة في منطقة الدراسة عن تباين طفيف لدرجات حرارة الهواء. ففي محطة الجيد يبلغ المتوسط السنوي لدرجة حرارة الهواء نحو 17.7° بينما تتدرج القيم الدنيا والعظمى بين 10.7° و24.3°. وتقدّم محطة الكريم نمطاً حرارياً مشابهاً بمتوسط حرارة سنوي يناهز 17.8° ،

وتتراوح التغيرات الحرارية للهواء بين 10.6° و24.1°. وفي حواش الغاب وحورات عمورين تظهر قيم حرارة للهواء أعلى نسبياً حيث يتراوح المتوسط السنوي بين 18° و18.1° وتتقلب الدرجات الدنيا والعظمى بين 11° و24.6°. أما محطة عين الكروم فتسجل متوسط حرارة الهواء السنوية 18.4° في حين تبدي محطة محردة متوسط حرارة سنوي يقارب 18°.

وتمثّل الرطوبة النسبية أحد العناصر الحاكمة في حساب الاحتياجات المائية نتيجة تأثيرها المباشر في معدلات التبخر–نتح. وتُظهر القياسات أن المنطقة تتسم برطوبة سنوية متوسطة تتراوح بين 60% و65% مع تذبذب موسمي واضح يتراوح بين قيم منخفضة تقارب 40–46% في أشهر الجفاف وقيم مرتفعة تصل إلى 82–85% وذلك تبعاً لاختلاف المحطة المناخية. وتبرز محطة الجيد والكريم وحواش الغاب كمستويات رطوبة أعلى نسبياً مقارنة بمحطتي محردة وحورات عمورين الأكثر جفافاً.

كما يُعد السطوع الشمسي عاملاً رئيسياً في التحكم بمعدلات التبخر–نتح المرجعي حيث تسجل محطات المنطقة متوسطاً سنوياً يتراوح بين 7 و7.6 ساعات من الإشعاع الشمسي يومياً.

ويُظهر تحليل الأمطار عند احتمال 75% تبايناً مكانياً كبيراً بين محطات الرصد ، إذ تتصدر محطة عين الكروم المشهد بهطول سنوي يقارب 999 مم مما يعكس موقعها الطبوغرافي الأكثر تعرضاً للمنخفضات الجوية. أما محطتا الجيد والكريم فيسجل كل منهما هطولاً متوسطاً بحدود 517–529 مم سنوياً في حين تتراجع القيم في حواش الغاب وحورات عمورين إلى نحو 379 مم. وتُعد الهطولات المطرية في محطة محردة الاقل في الحوض بهطول يقارب 299 مم فقط .(6)

يتسم الحوض الزراعي بسهل الغاب والذي تنطبق عليه تسمية حوض بالمعنى العلمي كونه منطقة منخفضة والانصباب المائي فيها يتجه نحو المركز من الهضاب والجبال المحيطة وخصوصاً الصخرية منها (جبل الزاوية– الشيخ غضبان – جبال مصياف) بتدرج واضح في خصائص التربة ناتج عن اختلافات في الانحدار وشدة عمليات الحت والترسيب. فعند الشريط الطرفي للمساحة الزراعية من منطقة الدراسة تنتشر ترب رسوبية

حطامية خشنة القوام ذات تركيبة غير متجانسة نتجت عن الترسيب السريع لمواد منقولة من الصخور الأم القريبة وغالباً ما تملأ نهايات الأودية والمجاري السيلية. ويعقب هذه الطبقة نحو الداخل ترب مارلية غضارية حمراء منشأها بركاني محلي، وتغطي المنطقة الواقعة بين المنسوبين 200 و300 متر. وفي المناطق المحيطة بالمحور المركزي حول نهر العاصي لمنطقة الدراسة تنتشر ترب رسوبية غضارية رملية ناعمة رمادية المظهر. أما في الأجزاء المحورية من الحوض الزراعي عند مسار نهر العاصي فتسود الترب اللحقية المغمورة الداكنة الغنية بالمادة العضوية .

يُفسر هذا التدرج من القوام الخشن في الأطراف إلى الترب الدقيقة في المركز الحاجة المتباينة للري بين المواقع المختلفة، إذ تتطلب الأراضي الطرفية عدداً أكبر من الريات مقارنة بالأجزاء المركزية التي تتمتع بقدرة أكبر على الاحتفاظ بالماء.(10)

تضم المنطقة انواع مختلفة من المحاصيل الأساسية ويعد (القمح، الفول السوداني) من المحاصيل الأكثر انتشاراً وفق الخطة الزراعية الحالية. وقد جرى إدخال التركيب المحصولي والدورات الزراعية المقترحة ضمن نموذج الدراسة بهدف تقدير الاحتياجات المائية وتحقيق توافق أكبر بين المعطيات المناخية وخصائص التربة من جهة وبين احتياجات كل محصول من جهة أخرى.

وبالنسبة لكميات مياه الري تم وضع التركيب المحصولي للمساحات المزروعة والدورة الزراعية المقترحة للأراضي بالتوزيع الموضح بالجدول(2) .(7)

الجدول (2): التركيب المحصولي للأراضي المروية

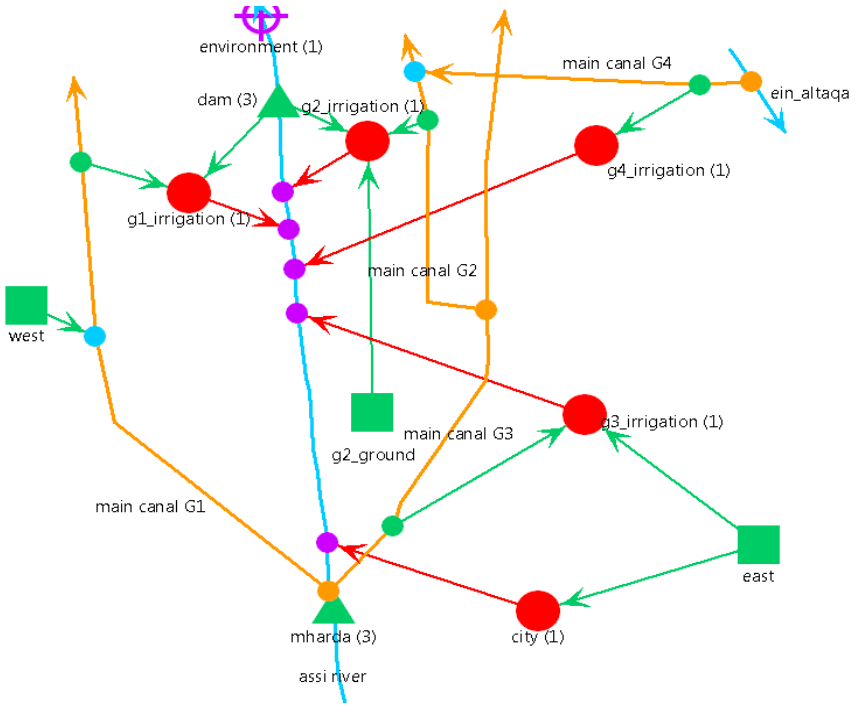
محاصيل	المساحة %	احتياج الهكتار من الماء (m^3/hec)
قمح	50	2275
كمون	5	1694
شعير	10	843

فول سوداني	30	5183
خضار صيفية	5	6150

يوضح الجدول (3) والشكل (2) التمثيل التخطيطي للمشروع في واجهة الرسم

الجدول (3) : الشكل ومايمثله من استخدام في البرنامج المذكور

الشكل	الوظيفة
	منطقة تمثل أراضي زراعية أو تجمعات سكانية
	قناة جر مياه رئيسية
	خط استجرار مياه من قناة الري الرئيسية
	نهر العاصي
	الرواجع من مواقع الاحتياج المائي
	مياه جوفية
	سد محردة جنوبا – سدة لتجميع المياه شمالا



الشكل (2) : المخطط العام لمنطقة الدراسة

نجد من الشكل (2) أن نهر العاصي يعبر منطقة الدراسة من الجنوب باتجاه الشمال والممثل بالعنصر التخطيطي ( ) وبتتبع مسار النهر نجد عليه سد محردة الممثل بالعنصر التخطيطي ( ) و نجد قنوات ري رئيسية على مجرى نهر العاصي في منطقة الدراسة تقوم بسحب المياه وهي قنوات الري الرئيسية (G1_G2_G3) وأيضا القناة (G4) التي تأخذ المياه من نبع عين الطاقة وتم تمثيل القنوات بالعنصر التخطيطي ( ) وتروي هذه الاقنية الأراضي الزراعية في زمامها بمساحات تقدر ب (2000 ، 35000) هكتار والمتمثلة بالعنصر ( ) أما العنصر التخطيطي ( ) فيمثل خط استجرار مياه من قناة الجر الرئيسية وبالإضافة للمياه السطحية يتم ري هذه المساحات من المياه الجوفية المتمثلة بالعنصر ( ) والتي تم تقدير الحجم القابل للاستثمار فيها عن طريق ابار المراقبة الموجودة وقيمة المعطائية المائية للحامل المائي والذي يتنوع بين الجوراسي والكريتاسي والباليوحين والمساحة التقريبية لكل حامل جوفي .كما تم مراعاة تأمين مياه الشرب للتجمعات السكانية (11) والممثلة بالعنصر التخطيطي (city) من عقدة

المياه الجوفية (east) ويتم تصريف رواجع التجمعات السكانية والزراعية الى نهر العاصي عن طريق العنصر الرسومي ( ) .

9-السيناريوهات :

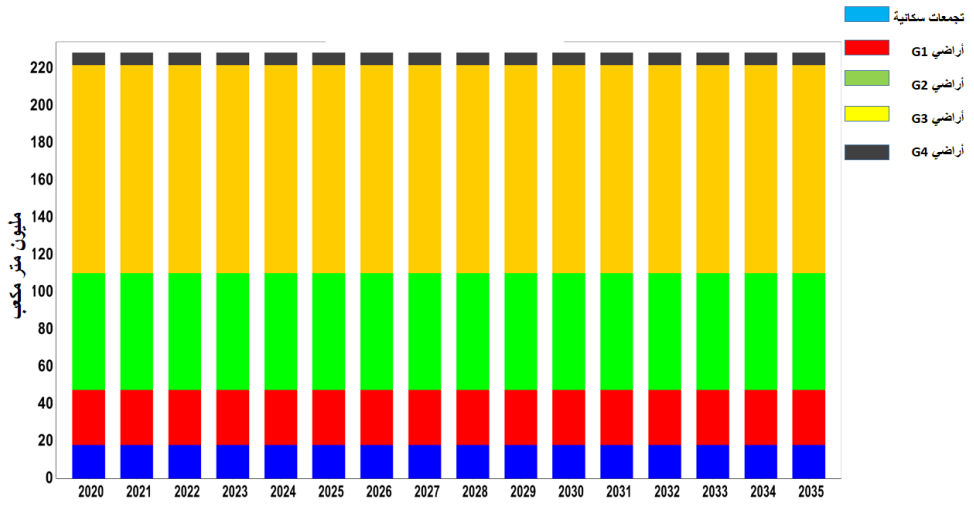
يعرف السيناريو على انه وصف تفصيلي ومنهجي لمسار او حالة مستقبلية محتملة لنظام مائي ما انطلاقا من الوضع الحالي ووصولا الى وضع مستقبلي. وهو أداة تحليلية استكشافية تهدف لفهم كيفية تفاعل النظام المائي مع سلسلة من الاحداث او السياسات والاجابة على سؤال (ماذا لو).

ويعد برنامج (WEAP21) احد الأدوات البرمجية المتخصصة في تقييم وتخطيط المياه على مستوى الاحواض ويتيح النمذجة القائمة على السيناريوهات مما يجعله أداة قوية لمحاكاة السياسات البديلة ،كما يقدم تقييما للمشاكل المائية في نظام شامل ومتكامل بين الاحتياج والتزويد وبين نوعية المياه وكميتها وبين اهداف التطوير الاقتصادي والقيود البيئية.

9-1- السيناريو المرجعي :

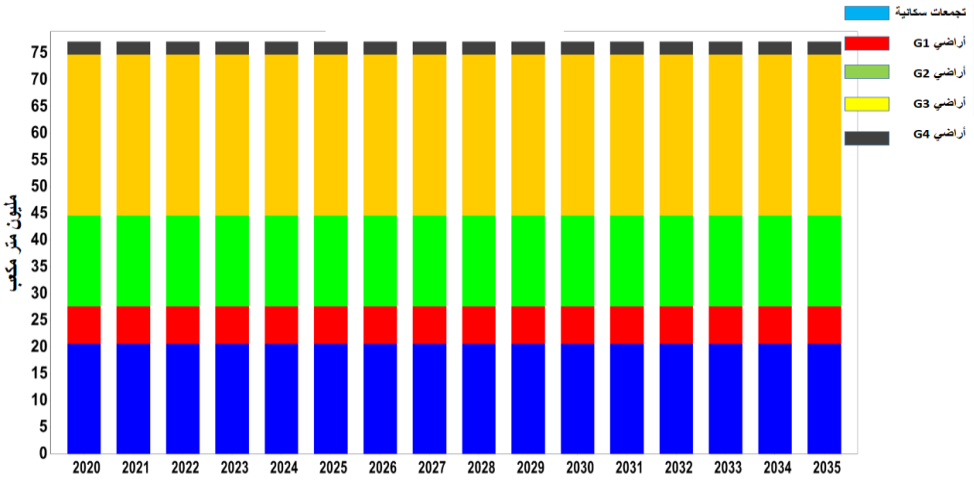
هو تصور كمي ونوعي للنظام المائي كما سيعمل في المستقبل اذا استمرت جميع الظروف والسياسات الحالية دون أي تغيير ويعمل كخط أساس ونقطة مقارنة يقاس بها السيناريوهات الأخرى.

وباستعراض الشكل (3) نجد ان قيمة الاحتياج الصافي في منطقة الدراسة لكامل مواقع الاحتياج المواقع المائية (تجمعات سكانية_ أراضي زراعية) بلغت نحو (228.5) مليون متر مكعب سنويا.



الشكل (3) : الاحتياج المائي الصافي لمواقع الطلب المائي (بواحدة مليون متر مكعب)

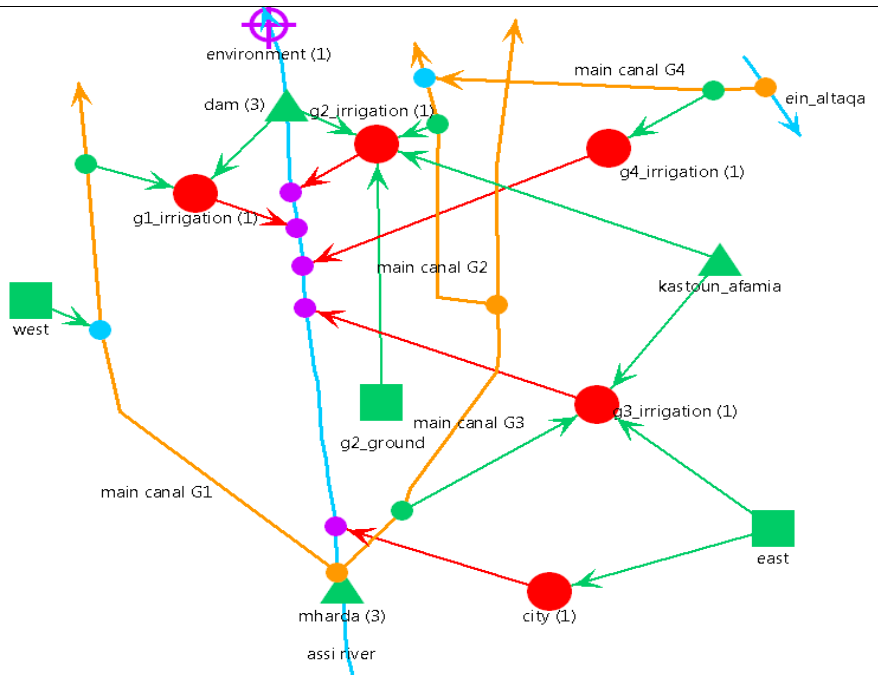
كما بلغت قيمة العجز المائي في منطقة الدراسة بنحو (77.1) مليون متر مكعب سنويا ، كما هو موضح بالشكل (4).



الشكل (4) : العجز المائي لمواقع الطلب المائي (بواحدة مليون متر مكعب)

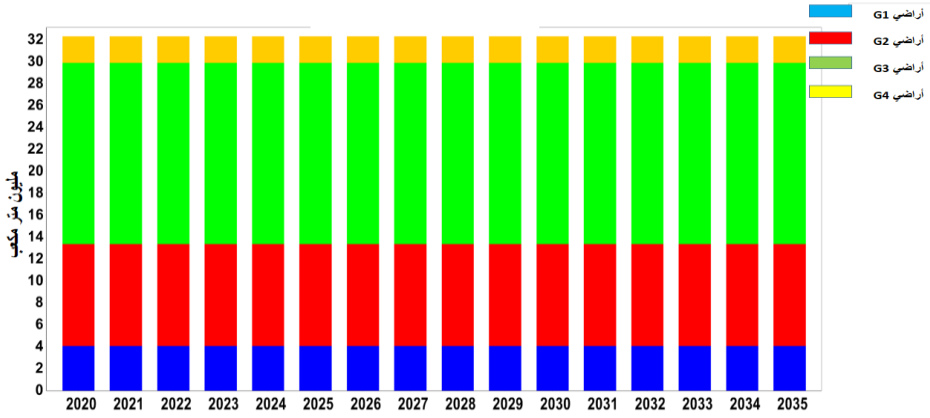
9-2- سيناريو استثمار سد قسطون وإفاميا :

نتيجة العمل على تأهيل المنطقة تم دراسة هذا السيناريو كأحد الخيارات الفعالة لمواجهة التغيرات المناخية وتخفيف العجز المائي في المنطقة المدروسة بفرض استثمار مياه السدود بنحو 50% ، ويوضح الشكل (5) مخطط توزيع المياه في حال تطبيق السيناريو.



الشكل (5) : المخطط المائي في حال استثمار السدود المقترحة

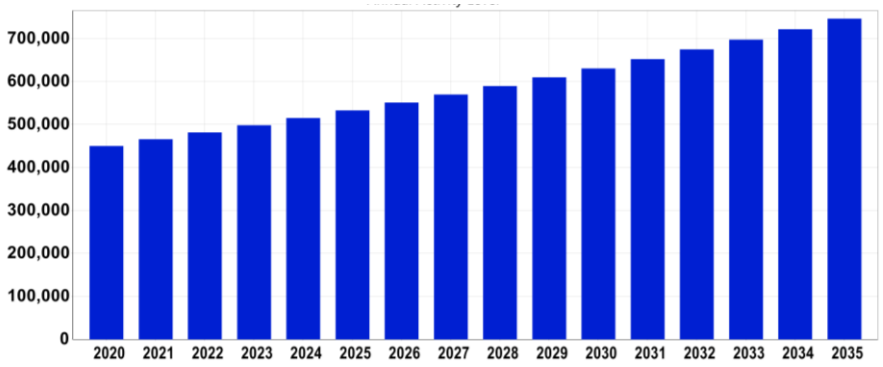
بإفتراض استثمار 50 % من حجم التخزين للسدود المقترحة نجد أن العجز المائي في الأراضي الزراعية انخفض ليصل الى (32.3) مليون متر مكعب سنويا كما هو موضح بالشكل (6).



الشكل (6) : العجز المائي للأراضي الزراعية في حال استثمار السدود المقترحة

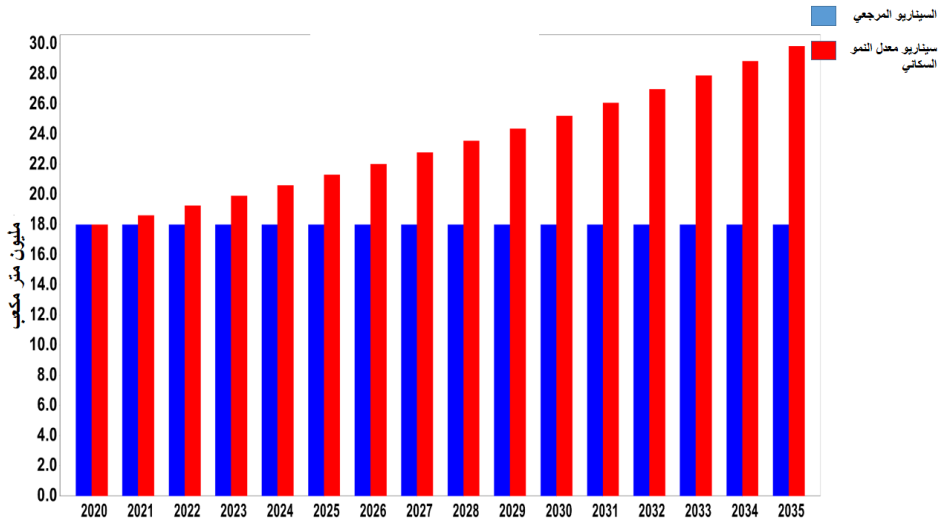
9-3- سيناريو معدل النمو السكاني:

تم في هذا السيناريو دراسة تأثير زيادة عدد السكان على الواقع المائي الحالي حيث يقدر عدد السكان الحالي في منطقة الدراسة نحو (450000) نسمة ليصل بنهاية فترة الدراسة لـ(746294) نسمة بمعدل نمو سكاني (3.43%) كما هو موضح بالشكل (7). (8)



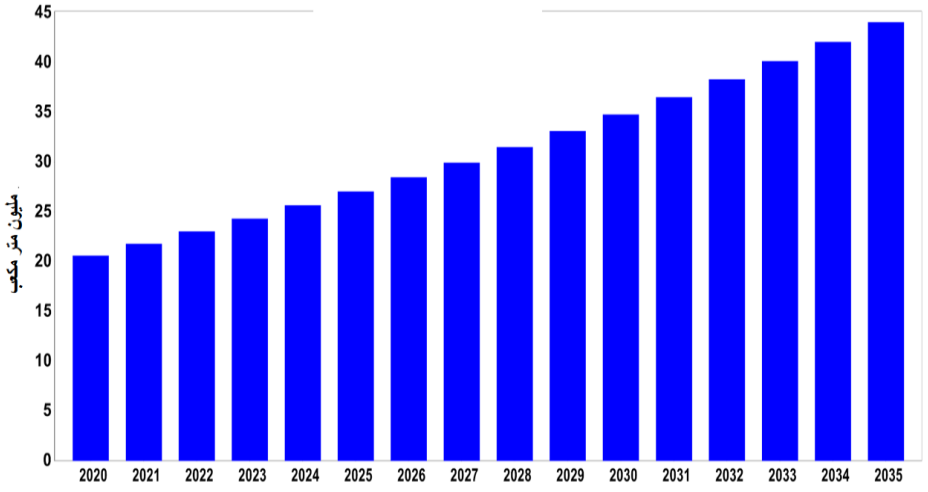
الشكل (7): التغير في عدد السكان للتجمعات السكانية في سيناريو معدل النمو السكاني

حيث بلغت قيمة الاحتياج المائي الصافي للتجمعات السكانية في بداية الدراسة /18/ مليون متر مكعب وفي السنة الأخيرة للدارسة بلغت الكمية /29.9/ مليون متر مكعب الشكل (8).

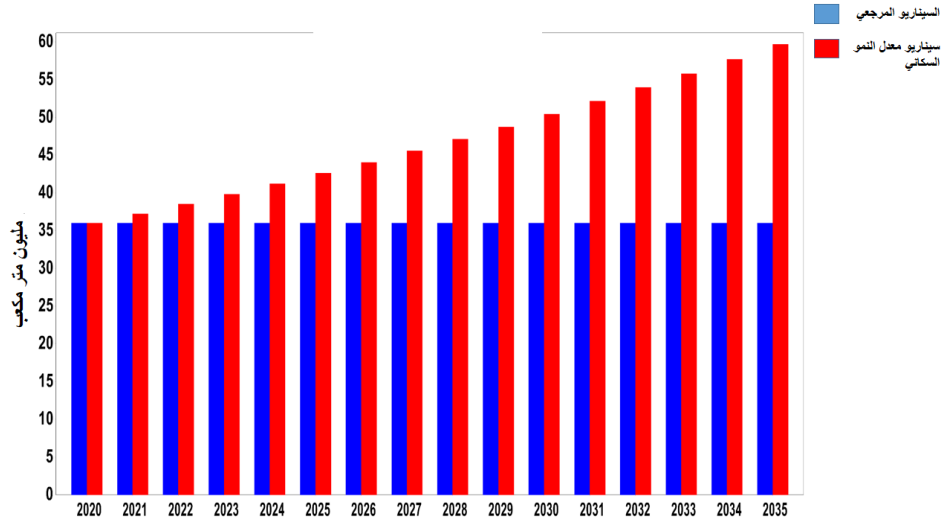


الشكل (8): التغير في الاحتياج المائي الصافي للتجمعات السكانية بين السيناريو المرجعي ومعدل النمو السكاني

نجد أنه بتطبيق هذا السيناريو ازداد قيمة العجز المائي في مناطق التجمعات السكانية حيث بلغ في في السنة الأولى /20.6/ مليون متر مكعب وفي السنة الأخيرة /44.1/ مليون متر مكعب كما هو موضح في الشكل (9).



الشكل(9): التغير في العجز المائي للتجمعات السكانية نتيجة سيناريو معدل النمو السكاني



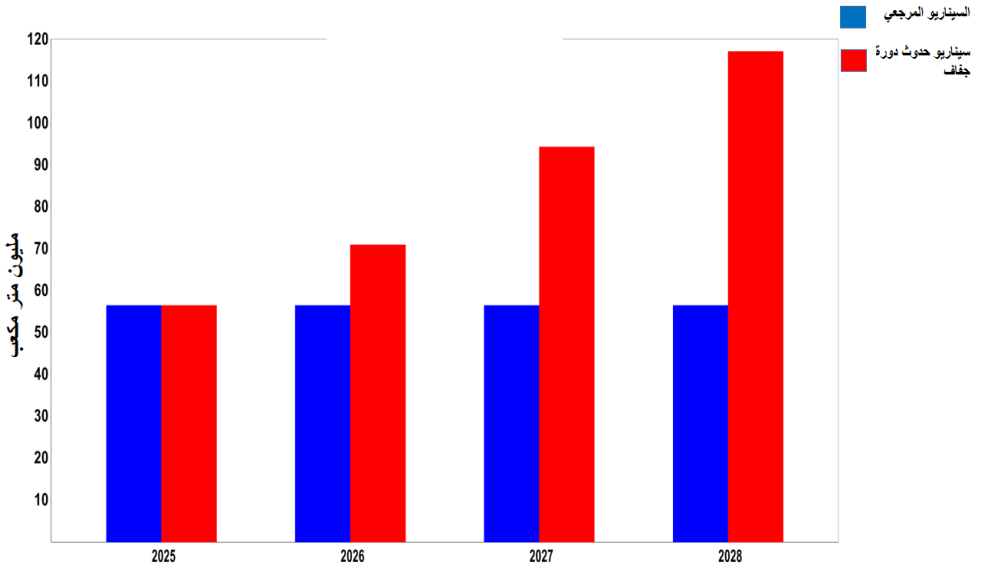
الشكل(10): مقارنة بين السيناريو المرجعي وسيناريو معدل النمو السكاني من حيث متطلبات التزويد

بتطبيق هذا السيناريو ازدادت قيم متطلبات التزويد في مناطق التجمعات السكانية حيث بلغت في السنة الأولى /36/ مليون متر مكعب وفي السنة الأخيرة /59.7/ مليون متر مكعب وذلك مع الاخذ بعين الاعتبار الضياعات بشبكات مياه الشرب بنحو (50%) كما

هو موضح في الشكل (10) وتم تقدير الضياعات بالاعتماد على الدراسات المرجعية (8) والمؤسسات المعنية بالمنطقة.

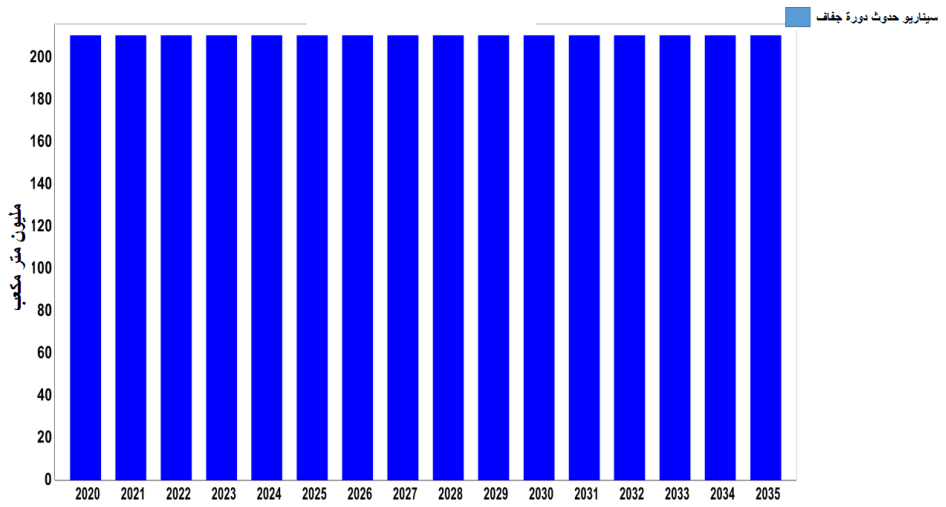
9-4- سيناريو حدوث دورة جفاف:

بتزايد حدة التحديات المائية حيث تتحول ندرة المياه من خطر محتمل الى واقع ملموس ، يبرز هذا السيناريو كحالة بالغة الأهمية لمعرفة تاثير انخفاض الوارد المائي من سد الرستن الى سد محردة بحدود 15% سنويا ولمدة 3 سنوات على المنطقة.



الشكل (11) : مقارنة بحجم العجز المائي بين السيناريو المرجعي وحدوث دورة جفاف للأراضي الزراعية

نلاحظ من الشكل (11) أن قيمة العجز المائي ازدادت نتيجة انخفاض قيمة التصريف لنهر العاصي وبلغت (117.2) مليون متر مكعب في نهاية دورة الجفاف بعام 2028 بينما كانت في السنوات العادية (56.5) مليون متر مكعب للأراضي الزراعية .



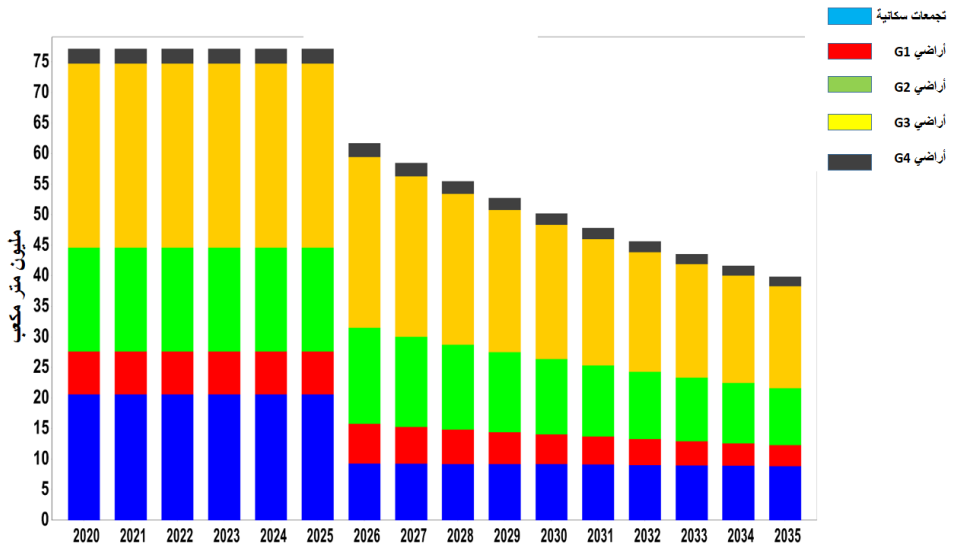
الشكل (12) : الاحتياج المائي الصافي للأراضي الزراعية

باستعراض الشكل (12) نجد أن قيمة الاحتياج المائي الصافي للأراضي الزراعية (210.5) مليون متر مكعب .

9-5- سيناريو زيادة كفاءة شبكة الري والشرب:

في هذا السيناريو تم دراسة تحسين كفاءة شبكة الري والشرب في منطقة الدراسة حيث تصبح قيمة الفواقد لمياه الشرب 25% بعد أن كانت 50% وذلك من العام 2026 بالإضافة لزيادة كفاءة شبكة الري من 75 % الى 85% بشكل تدريجي ابتداء من العام 2026.

وباستعراض الشكل(13) نجد ان قيمة العجز المائي انخفضت في كافة مواقع الاحتياج المائي من (77.1) مليون متر مكعب الى (39.8) مليون متر مكعب بنهاية الدراسة.



الشكل (13) : العجز المائي لكل مواقع الاحتياج المائي في منطقة الدراسة

10- النتائج :

1. أظهرت نتائج السيناريو المرجعي أن إجمالي الاحتياج المائي الصافي في منطقة الدراسة بلغ نحو 228.5 مليون م^3 سنوياً، في حين بلغ العجز المائي الحالي حوالي 77.1 مليون م^3 سنوياً ما يعكس وجود اختلال واضح في التوازن بين العرض والطلب.
2. بين سيناريو استثمار سدّي قسطون وأفاميا بنسبة 50% من سعتهما التخزينية أن العجز المائي للأراضي الزراعية انخفض إلى نحو 32.3 مليون م^3 سنوياً مما يؤكد الدور الحيوي للتخزين السطحي في تعزيز الإمدادات المائية.
3. أظهر سيناريو النمو السكاني مع ارتفاع عدد السكان من 450 ألف نسمة إلى نحو 746 ألف نسمة وبمعدل نمو سنوي 3.43% . زيادة احتياجات مياه الشرب

من 18 إلى 29.9 مليون م^3 سنوياً وارتفاع عجز مياه الشرب من 20.6 إلى 44.1 مليون م^3 سنوياً في ظل فاقد شبكات بلغ 50%.

4. بيّن سيناريو الجفاف والمتمثل بانخفاض الوارد المائي بنسبة 15% لمدة ثلاث سنوات متتالية ارتفاع العجز المائي للأراضي الزراعية ليصل إلى 117.2 مليون م^3 مقارنة بـ 56.5 مليون م^3 في الحالة الطبيعية ما يدل على تأثر كبير في النظام المائي أمام التغيرات المناخية.
5. أظهر سيناريو تحسين كفاءة الري والشرب من خلال خفض فاقد شبكات الشرب إلى 25% ورفع كفاءة الري إلى 85%. انخفاض العجز المائي إلى نحو 39.8 مليون م^3 بنهاية مدة الدراسة وهو ما يبرهن أن إدارة الطلب ورفع الكفاءة التشغيلية يمثلان الخيار الأكثر واقعية لتحقيق الاستدامة المائية.

11- المراجع:

المواقع الالكترونية:

WWW.WEAP21.ORG−1

المراجع الأجنبية :

2- Deshkar, Joshi, Assessment of future water demands in the Nagpur Metropolitan Region using the WEAP model , Journal of Water and Climate Change Vol 16 No 4 ,2025

3- Ertürk, Mertoğlu, Akalın, Assessing the future water potential of Istanbul and the need for inter-basin water transfer and the trade-offs for water allocation , Water Supply Vol 25 No 4,2025

4- Sime,Asrat, Feyessa, Modeling surface water potential and allocating water demand in the Nashe River watershed using water evaluation and planning , Water Practice & Technology Vol 20 No 3,2025.

5- Takele, Gebrie, Engida, Water demand and supply under future water development and climate change scenarios in the upper Blue Nile basin , Water Supply Vol 24 No 12 ,2024.

المراجع العربية:

6-الشركة العامة للدراسات المائية، مشروع تحديث دراسة حوض العاصي ،مرحلة ثانية ،2016.

7− الاحتياجات المائية للخطة الزراعية في حوض العاصي ، 2009 .

8−خزام ، بشرى . ترشيد استخدام الموارد المائية في حوض العاصي الأعلى ، رسالة دكتوراه في الهندسة المائية ، جامعة حمص، 2008

9− الاحمد ، كنان، رسالة دكتوراه بعنوان (إدارة الموارد المائية السطحية في سهل الغاب من سد محردة إلى بوابات القرقور)، كلية الهندسة المدنية ،جامعة حمص .2025

10−مشروع اغروبوليس. وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي. 2007

11−برنامج التنمية المتكاملة للغاب ،2011

مقارنة أداء نزع النترات غيري التغذية التقليدية و نزع النترات ذاتية التغذية الغير تقليدية في الإزالة الثالثية للنترات من مياه الصرف الصحي

اعداد : د.نبراس حمدان

الملخص :

يهدف هذا البحث إلى تقييم أداء نظامين حيويين لنزع النترات من مياه الصرف الصحي المعالجة ثانوياً، هما النظام غيري التغذية المعتمد على مصدر كربون عضوي خارجي، ونظام نزع النترات ذاتي التغذية باستخدام مفاعل كلس/كبريت، وذلك تحت ظروف مخبرية مضبوطة باستخدام مياه تركيبية.

شملت الدراسة تحليل تأثير ثلاثة عوامل تشغيلية رئيسية هي: تركيز النترات الداخل، وزمن المكث الهيدروليكي، ودرجة الحرارة.

أظهرت النتائج أن النظام غيري التغذية حقق كفاءة إزالة مرتفعة عند التراكيز المنخفضة والمتوسطة للنترات، إلا أن أداؤه تراجع عند التراكيز المرتفعة نتيجة محدودية الكربون العضوي ، كما أظهر حساسية واضحة للتغيرات الحرارية ، وبالمقابل أظهر مفاعل كلس/كبريت استقراراً تشغيلياً أعلى عبر مختلف الظروف، إذ حافظ على كفاءة جيدة حتى عند التراكيز المرتفعة للنترات، وبين قدرة أكبر على تحمل الانخفاض الحراري بفضل طبيعة البكتريا ذاتية التغذية ودور الحجر الكلسي في ضبط الحموضة. كما أظهرت النتائج أن زيادة زمن المكث حسنت أداء النظامين، إلا أن الاستجابة كانت أسرع في النظام غيري التغذية بينما احتاج النظام ذاتي التغذية إلى زمن أطول نسبياً للوصول إلى أعلى كفاءة.

من الناحية البيئية والتشغيلية تميز النظام غيري التغذية بارتفاع إنتاج الحمأة وحاجته المستمرة لمصدر كربون خارجي ومراقبة دقيقة للظروف اللاهوائية، بالمقابل تميز مفاعل كلس/كبريت بانخفاض إنتاج الحمأة واستقرار الوسط الحيوي، وغياب الحاجة لإضافة كربون خارجي، وتشير النتائج إلى أن مفاعل الكلس/ كبريت يمثل خياراً أكثر استدامة وملاءمة للمعالجة الثالثية للنترات، خاصة في المياه منخفضة المحتوى الكربوني أو الظروف التشغيلية المتقلبة. وتوفر هذه الدراسة أساساً عملياً يساعد في اختيار تقنية نزع النترات الأنسب وفقاً لظروف التشغيل المحلية واحتياجات محطات المعالجة.

كلمات مفتاحية: النترات، بكتريا ذاتية التغذية، بكتريا غيرية التغذية، مياه الصرف

Comparative Evaluation of Conventional Heterotrophic and Non-Conventional Autotrophic Denitrification for Tretiary Nitrate removal from Wastewater

Abstract:

This study evaluates the performance of two biological systems for tertiary nitrate removal from secondary-treated wastewater : a conventional heterotrophic denitrification reactor requiring an external organic carbon source, and a non-conventional sulfur-limestone autotrophic denitrification reactor. Laboratory experiments were conducted using synthetic wastewater under controlled conditions to examine the effects of three operational parameters: influent nitrate concentration, hydraulic retention time (HRT), and temperature.

The heterotrophic system achieved high removal efficiency at low and moderate nitrate loads, however, its performance declined at higher concentration due to carbon limitation and increased sensitivity to temperature fluctuation. In contrast, the sulfur-limestone reactor exhibited greater operational stability across all tested conditions, maintaining effective nitrate removal even at elevated influent concentrations and lower temperatures, owing to the characteristics of sulfur-oxidizing autotrophic bacteria and the buffering capacity of limestone.

Increasing the HRT improved the performance of both systems, although the heterotrophic reactor responded more rapidly while the autotrophic system required a longer retention time to reach optimal efficiency. From an

environmental and operational perspective, the heterotrophic system produced more sludge and required continuous carbon dosing and strict anaerobic control, whereas the sulfur–limestone reactor generated significantly less sludge, maintained a stable biological environment, and did not require external carbon addition.

Overall, the comparative analysis indicates that the sulfur–limestone autotrophic system represents a more stable and sustainable option for tertiary nitrate removal, particularly in low-carbon wastewater or under variable operational conditions. These findings provide a practical basis for selecting the most appropriate denitrification technology according to local treatment requirements.

Keywords: nitrates, heterotrophic Bacteria, Autotrophic Bacteria, Wastewater.

1. المقدمة :

أصبحت إزالة النترات من مياه الصرف الصحي المعالجة ثانوياً ضرورة بيئية وصحية ملحة نظراً لما تسببه التراكيز المرتفعة من النترات من مشكلات خطيرة مثل الإثراء الغذائي للمسطحات المائية (Eutrophication) ، تدهور جودة المياه الجوفية، والمخاطر الصحية المرتبطة باستخدام هذه المياه لأغراض الشرب أو الري [1]، وبسبب التحول الواسع في تطبيق المعالجة الثانوية في محطات المعالجة، غالباً ماتبقى النترات بتراكيز مرتفعة في المياه الخارجة مما يستدعى اعتماد تقنيات معالجة ثالثية فعالة.

تعد عملية نزع النترات غيرية التغذية (Heterotrophic Denitrification) من أكثر الطرق التقليدية شيوعاً في المعالجة الثالثية حيث تعتمد على استخدام بكتريا غيرية التغذية وتقوم باختزال النترات إلى غاز النتروجين بوجود مصدر كربون عضوي خارجي[2] مثل الميتانول أو أستيات الصوديوم وعلى الرغم من كفاءتها العالية إلا أن هذه الطريقة تعاني من عدة تحديات تشغيلية وبيئية أبرزها الحاجة المستمرة لإضافة مصادر كربون عضوية، زيادة إنتاج الحمأة الحيوية، الحساسية العالية للتغيرات الحرارية والتشغيلية، وارتفاع الكلفة التشغيلية على المدى الطويل[3].

في المقابل برزت في السنوات الأخيرة تقنيات غير تقليدية تعتمد على نزع النترات ذاتي التغذية (Denitrification Autotrophic) مثل المعالجة بمفاعل كلس/ كبريت والتي تستخدم بكتريا قادرة على استهلاك مركبات لاعضوية مثل الكبريت كمصدر للإلكترونات[4]، مع الاستفادة من الحجر الكلسي كمصدر للكربون اللاعضوي وكعامل منظم لقيم الـ pH

وتتميز هذه التقنيات بانخفاض إنتاج الحمأة وعدم الحاجة لإضافة مصادر كربون عضوية، واستقرار تشغيلي أفضل[4]، مما يجعلها خياراً واعداً للمعالجة الثالثية خاصة في مياه الصرف منخفضة المحتوى الكربوني.

ورغم توفر العديد من الدراسات التي تناولت كل من النظامين بشكل منفصل إلا أن الدراسات المقارنة المباشرة بين نزع النترات غيري التغذية (التقليدية) ونزع النترات ذاتي التغذية باستخدام مفاعل كلس/كبريت (غير تقليدي) لاتزال محدودة، خاصة فيما يتعلق بتقييم تأثير العوامل التشغيلية الأساسية تحت نفس ظروف التشغيل.

ومن هنا تنبع أهمية هذه الدراسة التي تهدف إلى إجراء مقارنة منهجية بين النظامين من خلال دراسة تأثير تركيز النترات الداخل، درجة الحرارة، وزمن المكث الهيدروليكي على كفاءة إزالة النترات والاستقرار التشغيلي لكل النظام.

2.هدف البحث:

يهدف البحث إلى إجراء تقييم مقارن بين نزع النترات غيري التغذية (**الطريقة التقليدية**) ونزع النترات ذاتي التغذية باستخدام مفاعل كلس/كبريت (**الطريقة غير تقليدية**)كمعالجة ثالثية لمياه الصرف الصحي المعالجة ثانوياً، وذلك تحت نفس ظروف التشغيل ويمكن تلخيص أهداف البحث بمايلي:

1. دراسة تأثير تركيز النترات الداخل على كفاءة إزالة النترات في كلا النظامين.
2. تقييم أثر درجة الحرارة على أداء واستقرار نزع النترات غيري التغذية وذاتي التغذية.
3. دراسة تأثير زمن المكث الهيدروليكي (HRT) على كفاءة إزالة النترات لكلا النظامين.

إجراء مقارنة شاملة بين النظامين من حيث الكفاءة و الاستقرار التشغيلي و الأثر البيئي وبالتالي تحديد النظام الأنسب للتطبيق العملي في محطات معالجة مياه الصرف، خاصة في الظروف المحلية ذات المحتوى الكربوني المنخفض.

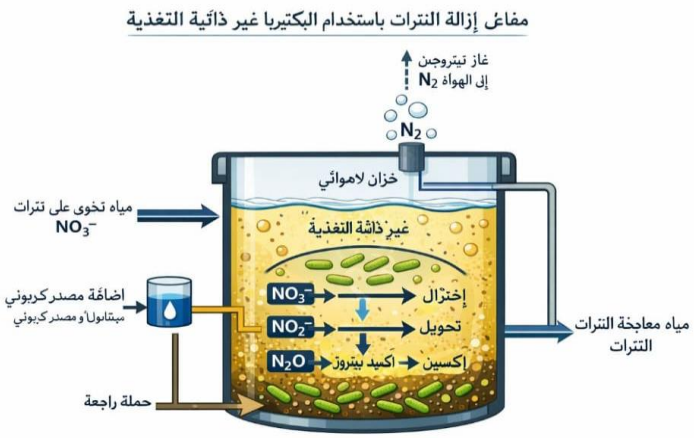
3. المواد وطرائق الدراسة:

تم تصميم الدراسة على أساس مقارنة مباشرة بين نظامين للمعالجة الثالثية لإزالة النترات، هما نظام نزع النترات غيري التغذية ونظام نزع النترات ذاتي التغذية باستخدام مفاعل كلس/كبريت، تم تشغيل النظامين تحت نفس المتغيرات التشغيلية لضمان صحة المقارنة مع تثبيت باقي العوامل الغير مدروسة.

3.1 مفاعل نزع النترات غيري التغذية:

تم استخدام مفاعل حيوي مخبري لنزع النترات غيري التغذية يعمل في ظروف لاهوائية الموضح بالشكل()، يتألف المفاعل من عمود زجاجي أسطواني الشكل يعمل بالجريان العمودي ومجهز بنظام تغذية مستمرة، ولتأمين مجتمع ميكروبي غني بالبكتريا غيرية التغذية تم استخدام حمأة منشطة مأخوذة من محطة معالجة صرف صحي ثم إخضاعها لمرحلة تكييف تدريجية على النترات ومصدر الكربون العضوي (أسيتات الصوديوم) لضمان سيادة البكتريا غيرية التغذية وتم الحفاظ على ظروف لاهوائية صارمة من خلال إبقاء تركيز الأوكسجين المذاب أقل من 0.2 mg/l وضبط الـ pH

ضمن المجال 8–7إضافة إلى تثبيت نسبة C/N بين 6–4 وهي شروط موثقة في الدراسات لضمان نمو مجتمع



ميكروبي فعال في نزع النترات[5]

مفاعل إزالة النترات باستخدام البكتريا غيرية التغذية

وتم العمل على مراحل:

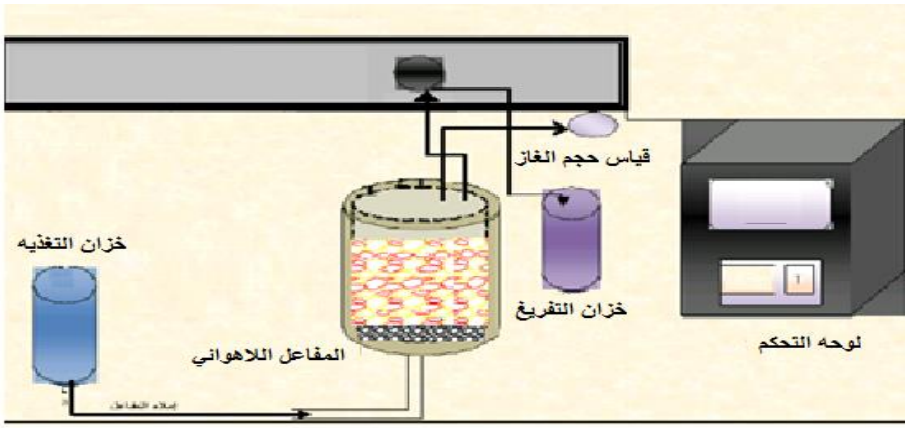
1. التحكم بتركيز النترات الداخل مع تثبيت (درجة الحرارة– زمن المكث)
2. التحكم بدرجة الحرارة مع تثبيت (زمن المكث – تركيز النترات الداخل)
3. التحكم بزمن المكث مع تثبيت (تركيز النترات الداخل– درجة الحرارة)

إضافة إلى مراقبة إنتاج الحمأة الحيوية لتقييم الاستقرار التشغيلي والأثر البيئي لعملية المعالجة.

3.2 مفاعل نزع النترات ذاتي التغذية (كلس/ كبريت):

تم استخدام مفاعل لاهوائي مخبري لنزع النترات ذاتي التغذية الموضح بالشكل()، يتألف من عمود أسطواني زجاجي يعمل بالجريان من الأسفل إلى الأعلى لتفادي انسداد الوسط الحشوي، تم حشو المفاعل بطبقة دعم من الحصى تعلوها طبقة من مزيج الكبريت والحجر الكلسي بنسبة حجمية ثابتة1:1 وهي نسبة موثقة في الأدبيات الحديثة[6] حيث أظهرت

هذه النسبة توفر توازناً مناسباً بين توفر الإلكترونات من الكبريت وقدرة الحجر الكلسي على ضبط الحموضة مما يضمن استقرار الوسط الحيوي وكفاءة إزالة مرتفعة .



مفاعل إزالة النترات باستخدام البكتريا ذاتية التغذية

يتم إزالة النترات بتحويلها إلى غاز النتروجين وفق المعادلة التالية

$$1.06NO3^{-} + 1.11S + 0.3CO2 + 0.78H2O \rightarrow 0.5N2 + 1.11SO4^{-2} + 1.16H^{+} + 0.06C5H7O2N \quad (1)$$

حيث يتحول النترات إلى غاز النتروجين وبذلك يتم التخفيض للنترات بيولوجياً

ومن معاينة المعادلة السابقة نجد زيادة في الكبريتات، وزيادة في شوارد الهيدروجين أي زيادة حموضة الوسط ولكي تستمر البكتريا في عملها يتم إضافة الحجر الكلسي($CaCO3$) والذي يعدل الوسط من جهة ويخفض الحموضة، ويعتبر مصدراً للكربون اللاعضوي للبكتريا ذاتية التغذية من جهة أخرى وفق المعادلة التالية[7]:

$$CaCO_3 + H^{+} \rightarrow Ca^{+2} + HCO^{-3} \quad (2)$$

ولتأمين مجتمع ميكروبي غني بالبكتريا ذاتية التغذية تم الحفاظ على ظروف ناقصة الأوكسجين تماماً بحيث يكون DO قريباً من الصفر وتم إخضاع المفاعل لمرحلة تكييف تدريجية على النترات لضمان سيادة البكتريا الكبريتيه القادرة على أكسدة الكبريت واختزال النترات وتم ضبط درجة الحموضة بين 7-8 [8-9]

وبغرض المقارنة الصحيحة تم العمل على نفس المراحل للمفاعل غيري التغذية وذلك كما يلي:

1. التحكم بتركيز النترات الداخل مع تثبيت (درجة الحرارة– زمن المكث)
2. التحكم بدرجة الحرارة مع تثبيت (زمن المكث – تركيز النترات الداخل)
3. التحكم بزمن المكث مع تثبيت (تركيز النترات الداخل– درجة الحرارة)

كما تمت مراقبة تركيز الكبريتات الناتجة لتقييم الاستقرار التشغيلي والأثر البيئي لعملية المعالجة.

3.3 **المياه التركيبية:**

تم استخدام مياه تركيبية بتراكيز وفق الجدول(1) وذلك بحسب ماورد في الدراسة [10]

الجدول(1) يوضح تركيب المياه المستخدمة في الدراسة

اسم المركب	$Na_2S_2O_3.5H_2O$	KH_2PO_4	KNO_3	$NAHCO_3$	NH_4CL	$MgCL_2.6H_2O$
التركيز mg/l	500	4.4	86	100	3.92	0.03

تم استخدام مياه تركيبية لمحاكاة خصائص مياه الصرف الصحي المعالجة ثانوياً، وذلك بهدف توفير وسط تجريبي ثابت يمكن التحكم فيه بدقة، من حيث تركيز النترات والعناصر المغذية، لضمان ثبات الظروف التشغيلية خلال مراحل الدراسة، ويعد استخدام المياه التركيبية خطوة شائعة في الدراسات المخبرية الخاصة بنزع النترات لأنها تقلل من التباين الكبير الموجود في مياه الصرف الحقيقية، وتسمح بتقييم تأثير المتغيرات التشغيلية بشكل معزول وموثوق، كما أن تركيب المياه المستخدمة في هذه الدراسة يتوافق مع ما ورد في الأدبيات الحديثة، التي تعتمد مزيجاً من الأملاح الأساسية لضمان نمو مجتمع ميكروبي مستقر قبل الإنتقال إلى مياه الصرف الحقيقية [11–12]

4.النتائج والمناقشة:

4.1 تأثير تركيز النترات الداخل:

باعتبار درجة الحرارة C°25 وزمن المكث hr6

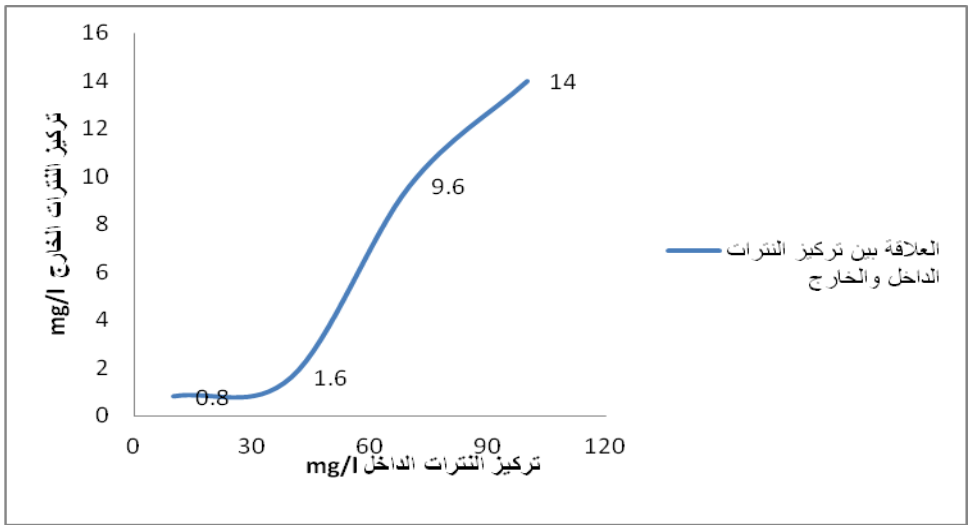
4.1.1 نزع النترات غيري التغذية:

من أجل تراكيز داخلة mg/l(10−40−70−100) تم قياس تراكيز النترات الخارج بعد المعالجة ومن ثم حساب كفاءة المعالجة عند كل تركيز فكانت النتائج كما في الجدول(2):

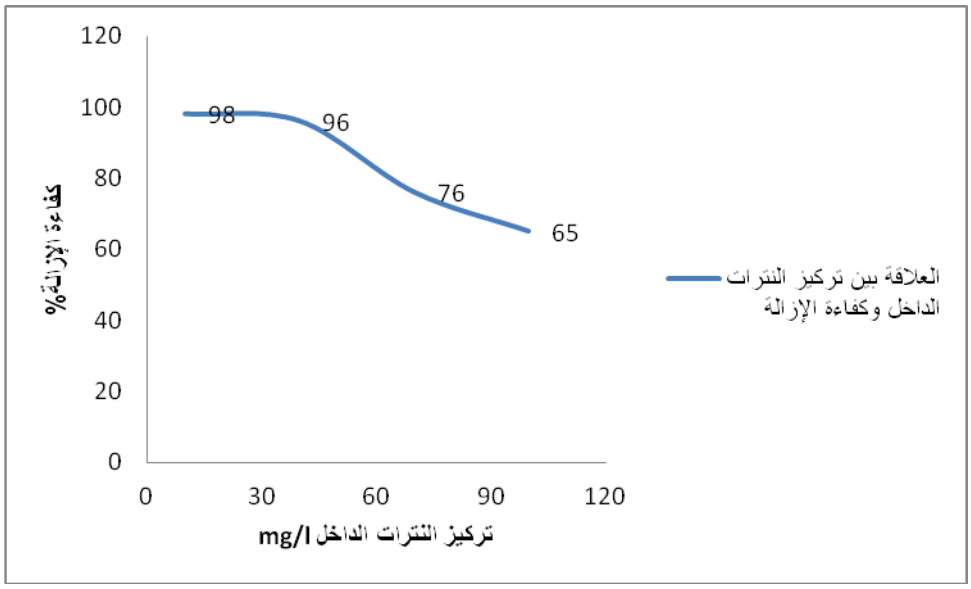
الجدول(2): تأثير التركيز الداخل على كفاءة المعالجة% بالطريقة التقليدية

تركيز النترات الداخل mg/l	10	40	70	100
تركيز النترات الخارج mg/l	0.8	1.6	9.6	14
كفاءة المعالجة %	98	96	76	65

والتمثيل البياني للجدول السابق تجلى بالشكلين (1)،(2) التاليين:



الشكل(1) : العلاقة بين تركيز النترات الداخل وتركيز النترات الخارج بالمعالجة التقليدية



الشكل(2): العلاقة بين تركيز النترات الداخل وكفاءة المعالجة% بالطريقة التقليدية

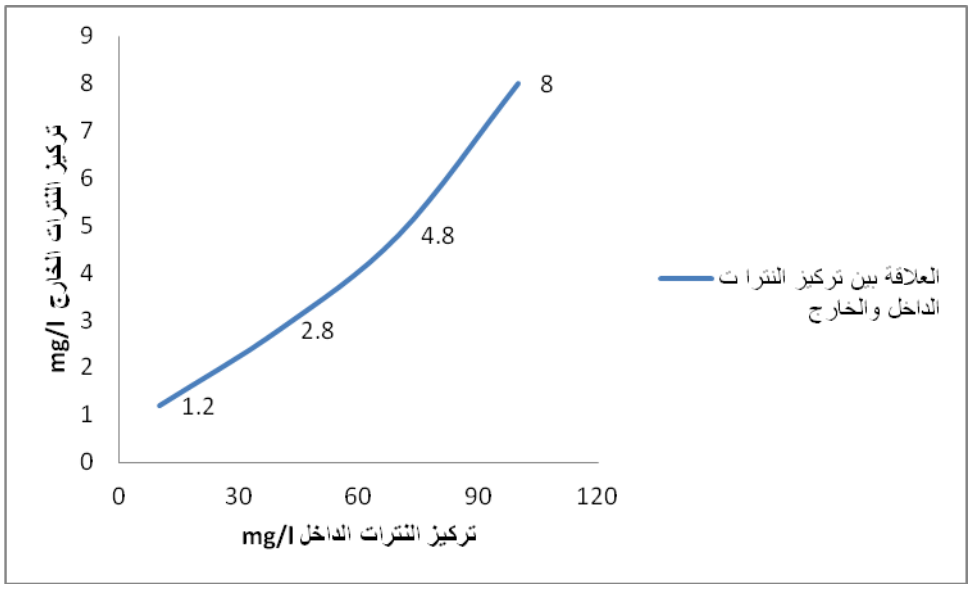
4.1.2 نزع النترات ذاتي التغذية:

من أجل تراكيز داخلة mg/l(10–40–70–100) تم قياس تركيز النترات الخارج بعد المعالجة ومن ثم حساب كفاءة المعالجة عند كل تركيز فكانت النتائج المدونة في الجدول(3):

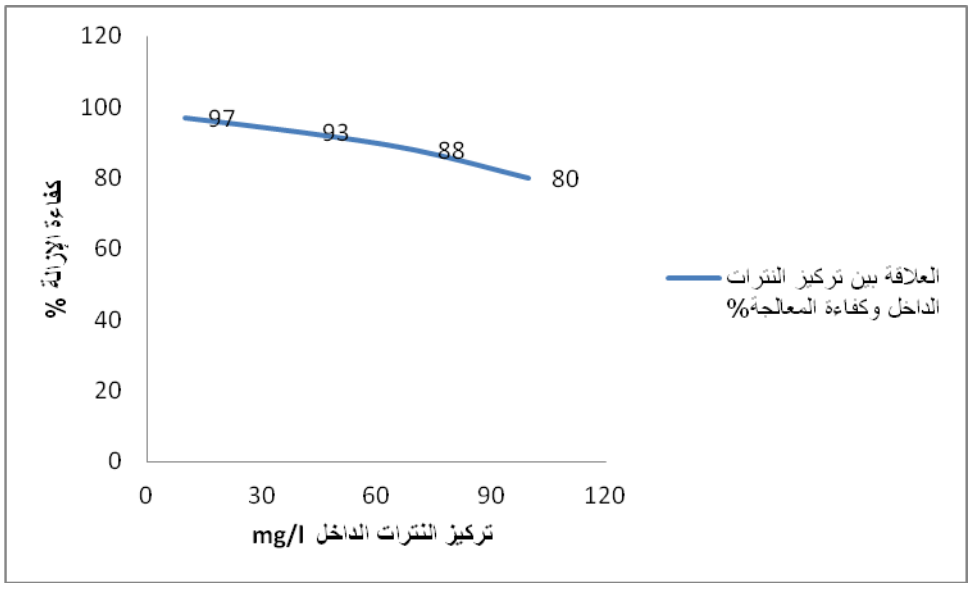
الجدول(3): تأثير تركيز النترات الداخلة على كفاءة المعالجة% بالطريقة الغير تقليدية

تركيز النترات الداخل mg/l	10	40	70	100
تركيز النترات الخارج mg/l	1.2	2.8	4.8	8
كفاءة المعالجة %	97	93	88	80

والتمثيل البياني للجدول السابق تجلى بالشكلين (3)،(4) التاليين:



الشكل(3) : العلاقة بين تركيز النترات الداخل وتركيز النترات الخارج بالمعالجة الغير تقليدية



الشكل(4): العلاقة بين تركيز النترات الداخل وكفاءة المعالجة% بالطريقة الغير تقليدية

4.1.3 مقارنة وتحليل:

تظهر النتائج أن نزع النترات غيرية التغذية و ذاتية التغذية يحقق كفاءة مرتفعة، عند التراكيز المنخفضة والمتوسطة، إلا أن انخفاض الكفاءة لنزع النترات غيري التغذية عند التركيز 100 mg/l يعود إلى عدم كفاية نسبة C/N وازدياد النواتج الوسيطة [5]، وهو سلوك لم يلاحظ في المفاعل كلس/ كبريت حيث أظهر تطوراً أفضل في الكفاءة عند التراكيز المرتفعة نسبياً لأن البكتريا ذاتية التغذية تعتمد على الكبريت كمصدر للإلكترونات ولاتتأثر بنقص الكربون العضوي، إضافة إلى دور الحجر الكلسي في ضبط الحموضة واستقرار الوسط الحيوي و عدم الحاجة لمصدر كربون عضوي، وهذا مايجعله أكثر ملائمة للتعامل مع التغيرات المفاجئة في نوعية المياه الداخلة [8]

4.2 تأثير درجة الحرارة:

باعتبار التركيز الداخل للنترات 40 mg/l وزمن المكث 6 hr

4.2.1 نزع النترات غيري التغذية:

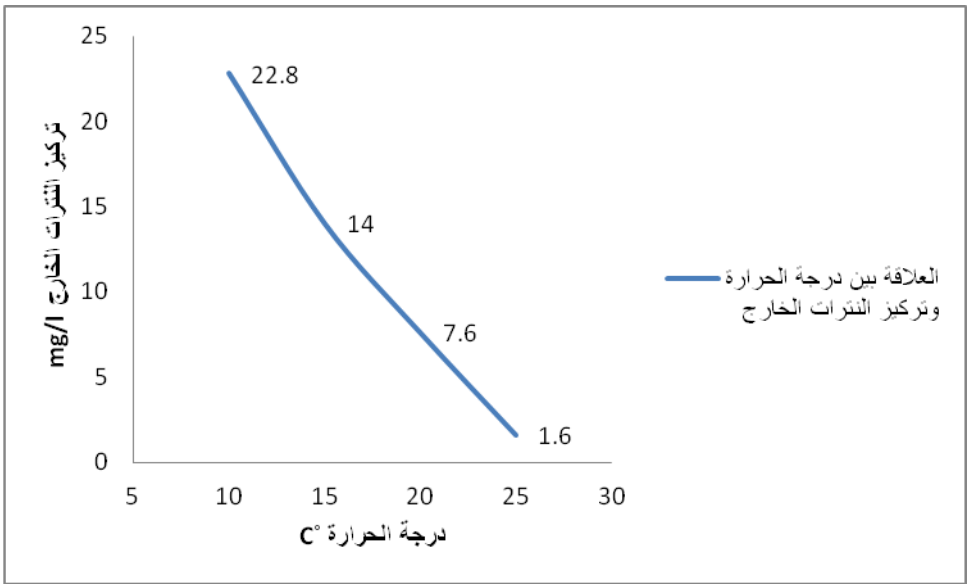
تم الاختبار على درجات الحرارة التالية (25-20-15-10)C°

وتم قياس تركيز النترات الخارج بعد المعالجة وكفاءة المعالجة عند كل درجة حرارة فكانت النتائج المدونة في الجدول(4):

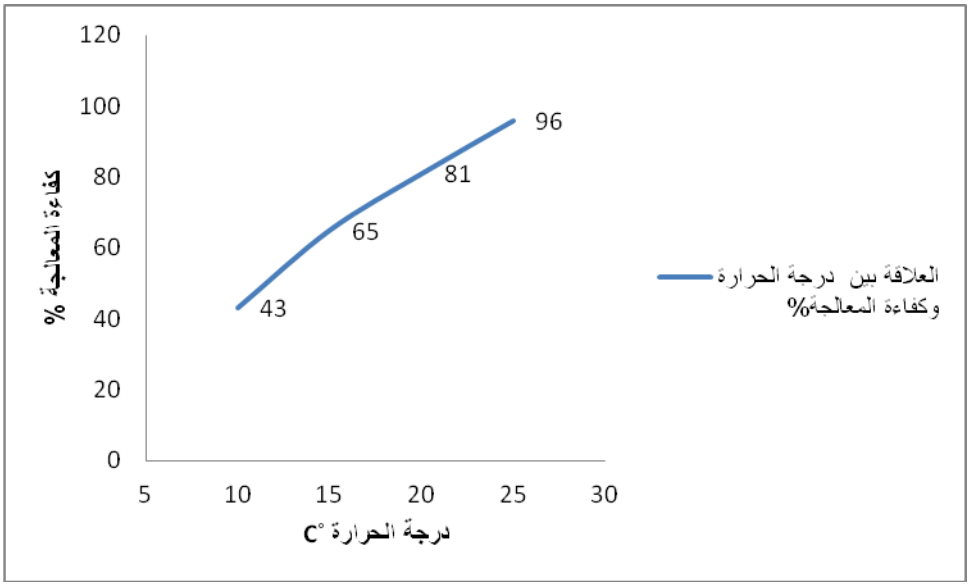
الجدول(4): تأثير درجة الحرارة على كفاءة المعالجة% بالطريقة التقليدية

درجة الحرارة C°	25	20	15	10
تركيز النترات الخارج mg/l	1.6	7.6	14	22.8
كفاءة المعالجة %	96	81	65	43

والتمثيل البياني للجدول السابق تجلى بالشكلين (5)،(6) التاليين:



الشكل(5): العلاقة بين درجة الحرارة وتركيز النترات الخارج بالطريقة التقليدية



الشكل(6): العلاقة بين درجة الحرارة وكفاءة المعالجة% بالطريقة التقليدية

4.2.2 نزع النترات ذاتي التغذية:

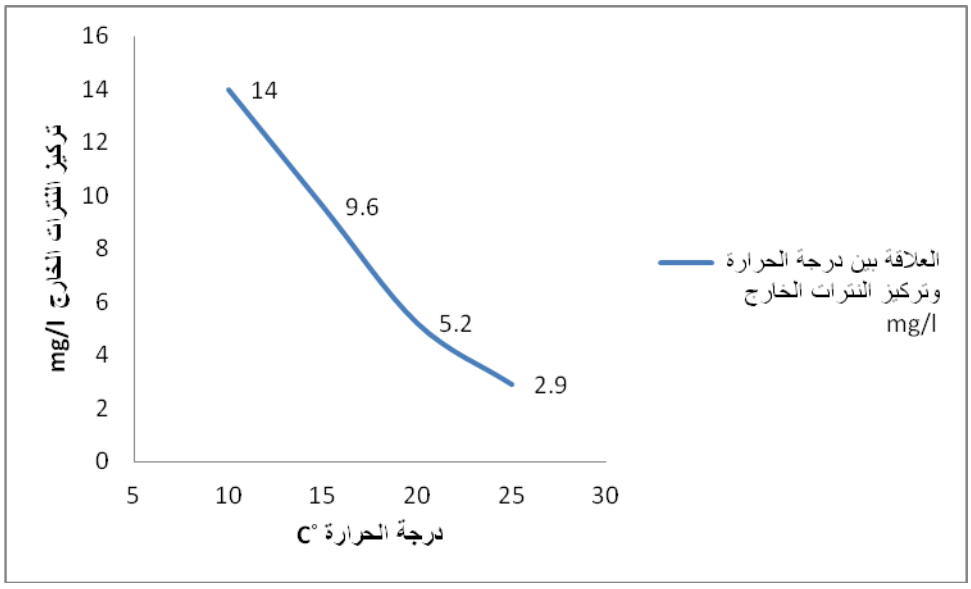
تم الاختبار على درجات الحرارة التالية C° (25-20-15-10)

وتم قياس تركيز النترات الخارج بعد المعالجة وكفاءة المعالجة عند كل درجة حرارة فكانت النتائج المدونة في الجدول (5):

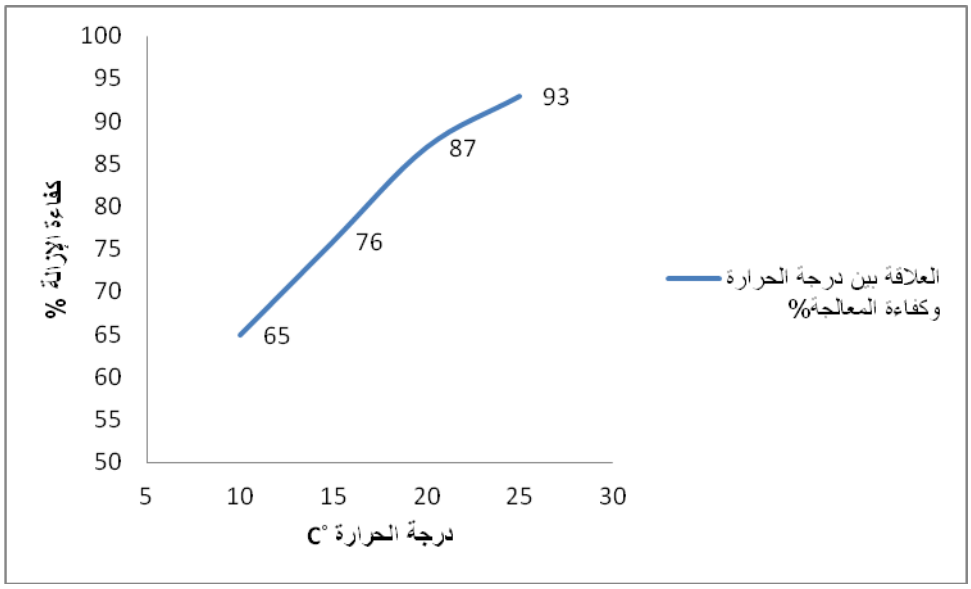
الجدول(5) تأثير درجة الحرارة على كفاءة المعالجة بالطريقة الغير تقليدية

درجة الحرارة C°	25	20	15	10
تركيز النترات الخارج mg/l	2.9	5.2	9.6	14
كفاءة المعالجة %	93	87	76	65

والتمثيل البياني للجدول السابق تجلى بالشكلين (7)،(8) التاليين:



الشكل (7) العلاقة بين درجة الحرارة وتركيز النترات الخارج بالطريقة الغير تقليدية



الشكل(8) العلاقة بين درجة الحرارة وكفاءة المعالجة % بالطريقة الغير تقليدية

4.2.3 مقارنة وتحليل:

تؤكد النتائج الحساسية العالية للبكتريا غيرية التغذية تجاه درجة الحرارة، حيث ينخفض النشاط الميكروبي بشكل ملحوظ عند درجات الحرارة المنخفضة وهذا يؤدي إلى بطء معدل اختزال النترات [13]، ولوحظ أن المفاعل

كلس/كبريت أظهر استقراراً أعلى لأن البكتريا ذاتية التغذية الكبريتيه تمتلك قدرة أفضل على العمل ضمن مجال حراري أوسع وأن وجود الحجر الكلسي يساهم في الحفاظ على ثبات الوسط وتقليل تأثير التغيرات الحرارية على نشاط البكتريا [14] وبالتالي يتميز باستقرار تشغيلي أفضل مما يعزز إمكانية تطبيقه في الظروف المناخية المحلية الأكثر برودة.

4.3 تأثير زمن المكث:

باعتبار تركيز النترات الداخل = 40mg/l، درجة الحرارة 25 C°

4.3.1 نزع النترات غيري التغذية :

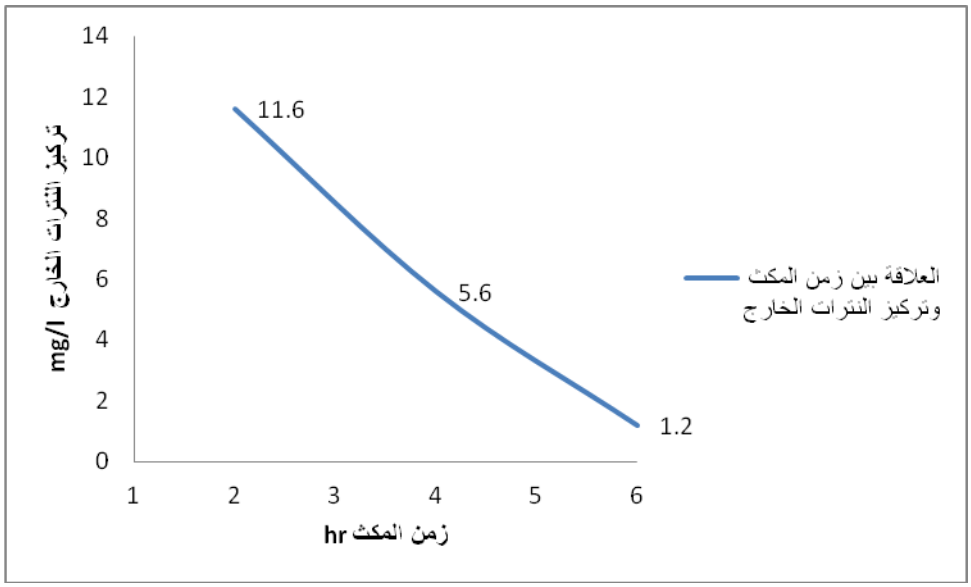
تم الاختبار على الأزمنة التالية hr (2-4-6)

وتم قياس تركيز النترات الخارج عند كل زمن وحساب كفاءة المعالجة % فكان النتائج المدونة بالجدول(6):

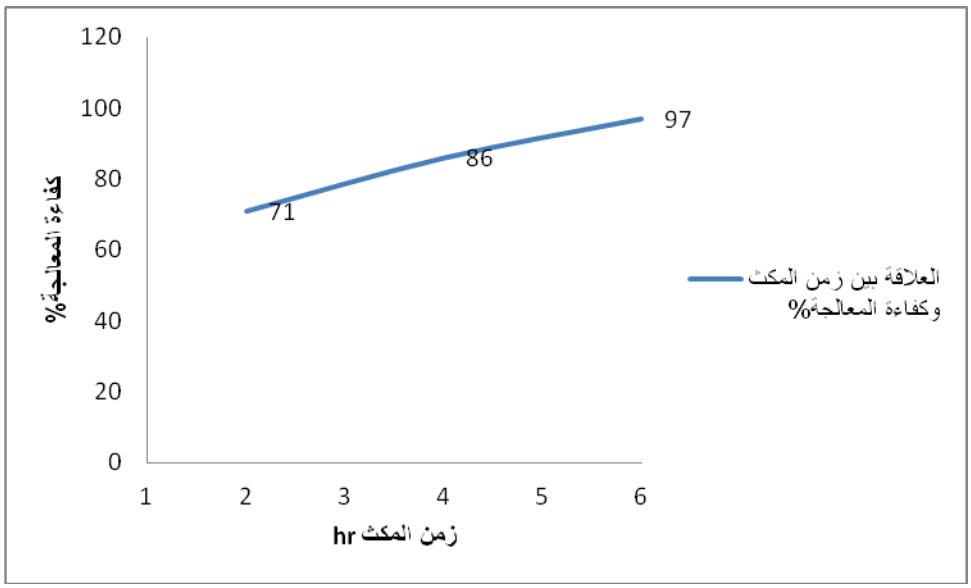
الجدول(6): تأثير زمن المكث على كفاءة المعالجة% بالطريقة التقليدية

زمن المكث hr	2	4	6
تركيز النترات الخارج mg/l	11.6	5.6	1.2
كفاءة المعالجة%	71	86	97

والتمثيل البياني للجدول السابق تجلى بالشكلين (9)،(10) التاليين:



الشكل(9): العلاقة بين زمن المكث وتركيز النترات الخارج بالطريقة التقليدية



الشكل(10): العلاقة بين زمن المكث وكفاءة المعالجة% بالطريقة التقليدية

4.3.2 نزع النترات ذاتي التغذية:

تم الاختبار على الأزمنة التالية hr (2-4-6-8)

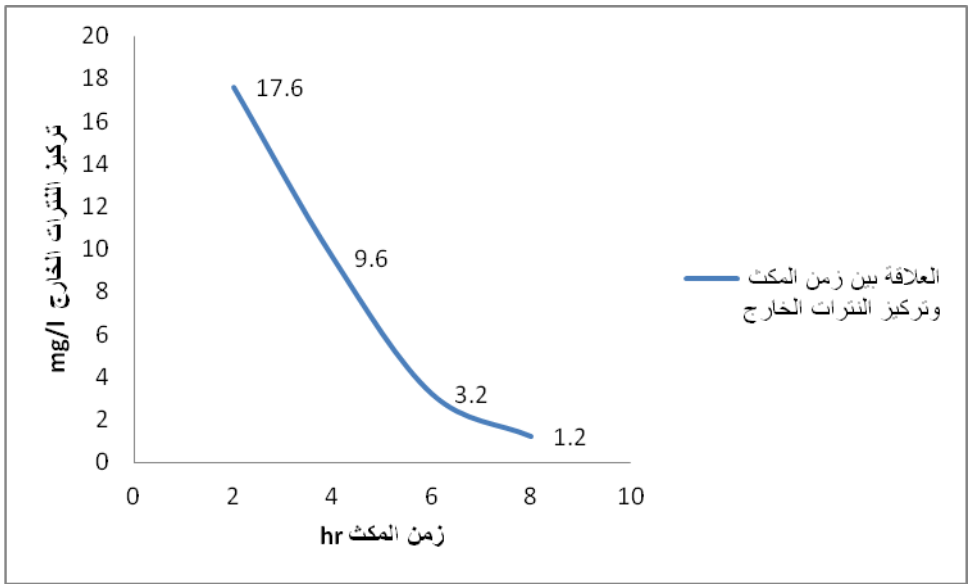
تمت إضافة تجربة إضافية عند زمن مكث 8 ساعات بهدف تقييم أداء النظامين عند زمن أطول والتحقق من إمكانية تحقيق تحسن إضافي في كفاءة الإزالة.

وتم قياس تركيز النترات الخارج عند كل زمن وحساب كفاءة المعالجة % فكانت النتائج المدونة بالجدول(7):

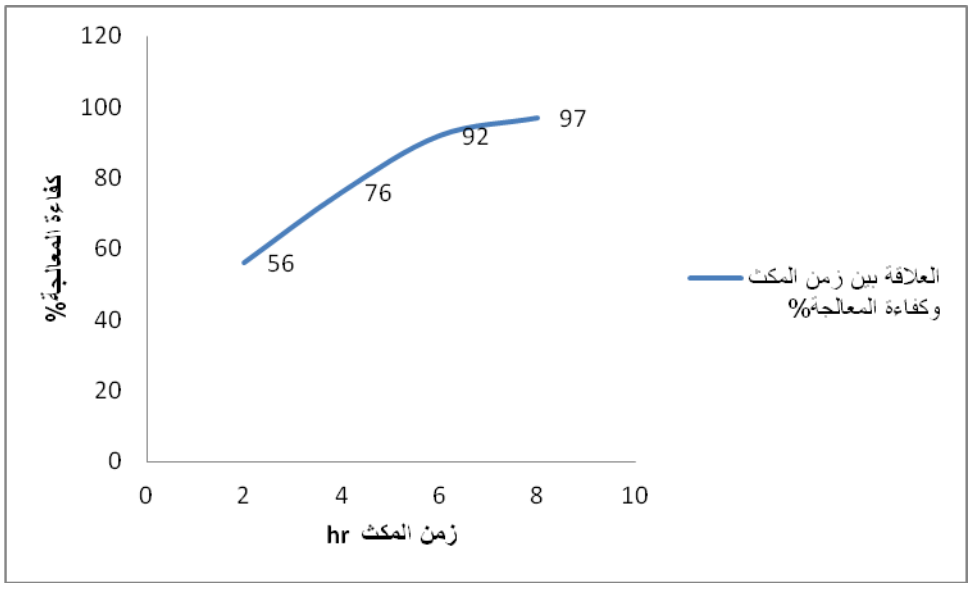
الجدول(7): تأثير زمن المكث على كفاءة المعالجة% بالطريقة الغير تقليدية

زمن المكث hr	2	4	6	8
تركيز النترات الخارج mg/l	17.6	9.6	3.2	1.2
كفاءة المعالجة%	56	76	92	97

والتمثيل البياني للجدول السابق تجلى بالشكلين (11)،(12) التاليين:



الشكل (11):العلاقة بين زمن المكث وتركيز النترات الخارج بالطريقة الغير التقليدية



الشكل(12) العلاقة بين زمن المكث وكفاءة المعالجة% بالطريقة الغير تقليدية

4.3.3 مقارنة وتحليل:

يمكن تفسير تحسن كفاءة نزع النترات في كلا النظامين مع زيادة زمن المكث بأن إطالة زمن بقاء المياه داخل المفاعل تمنح البكتريا وقتاً أطول لإتمام عملية الاختزال، مما يقلل من تراكم النواتج الوسيطة ويزيد من معدل التحويل النهائي للنترات. إلا أن النظام غيري التغذية يستجيب بسرعة أكبر لزيادة زمن المكث بسبب اعتماده على مسارات أيضيه سريعة عند توفر الكربون العضوي[15]، في حين يحتاج النظام ذاتي التغذية إلى زمن أطول نسبياً نظراً لبطء معدل الأكسدة الكبريتيه مقارنة بالمسارات غيرية التغذية. ومع ذلك يبقى النظام ذاتي التغذية أكثر استقراراً على المدى الطويل نتيجة ثبات مصدر الإلكترونات وعدم الحاجة لإضافة كربون خارجي [16]

4.4 الاعتبارات البيئية والتشغيلية:

4.4.1 المفاعل غيري التغذية:

يعد إنتاج الحمأة الحيوية أحد أبرز التحديات التشغيلية في نظام نزع النترات غيري التغذية، إذ يؤدي الاعتماد على مصادر الكربون العضوي الخارجية إلى زيادة النمو الميكروبي وبالتالي ارتفاع كمية الحماة المتولدة فحسب الدراسة [17] يتراوح إنتاج الحمأة بين $gr_{vss}/gr(0.6-0.4)$ ممايستلزم عمليات معالجة إضافية ورفع الكلفة التشغيلية. كما

أن هذا النظام حساس لتقلبات نسبة C/N حيث يؤدي أي نقص في الكربون العضوي إلى انخفاض في كفاءة الإزالة، بينما يؤدي الفائض إلى زيادة الحمل العضوي غير المرغوب [5].

إضافة إلى ذلك يتطلب النظام مراقبة دقيقة لمستويات الأوكسجين المذاب ودرجة الحموضة لضمان بقاء الظروف لاهوائية مناسبة لنشاط البكتريا غيرية التغذية مما يزيد من متطلبات التشغيل اليومية [13]

4.4.2 المفاعل ذاتي التغذية:

يتميز نظام نزع النترات ذاتي التغذية باستخدام مفاعل كلس/كبريت بانخفاض كبير في إنتاج الحمأة الحيوية مقارنة بالنظام غيري التغذية فحسب الدراسة[18] إذ يتراوح إنتاج الحمأة بين $gr_{vss}/gr(0.15-0.05)$ نظراً لاعتماد البكتريا ذاتية التغذية على مصادر غير عضوية للإلكترونات والكربون مما يقلل من النمو الميكروبي الزائد [9]، كما يساهم وجود الحجر الكلسي في ضبط الحموضة ومنع الانخفاض الحاد في الـ pH الناتج عن أكسدة الكبريت وهو مايحافظ على استقرار الوسط الحيوي ويحد من التقلبات التشغيلية، أما الزيادة في تركيز الكبريتات فهي متوقعة وفق آلية التفاعل، لكنها تبقى ضمن الحدود البيئية المسموح بها، خاصة مع قدرة الكلس على ترسيب جزء منها على شكل أملاح غير ذائبة مما يقلل من مخاطرها المحتملة [8]

4.5 مقارنة شاملة بين النظامين وتحديد الخيار الأنسب للتطبيق العملي:

تكشف النتائج التجريبية أن كلا النظامين قادران على تحقيق إزالة فعالة للنترات ضمن ظروف التشغيل المختلفة، إلا أن الفروقات في السلوك التشغيلي والأثر البيئي تجعل لكل منهما مجالاً تطبيقياً مميزاً. فقد أظهر نظام نزع النترات غيري التغذية كفاءة مرتفعة وسرعة في الإزالة عند التراكيز المنخفضة والمتوسطة إضافة إلى قدرته على الوصول إلى إزالة شبه كاملة بزمن مكث قصير نسبياً، غير أن هذا الأداء يبقى معتمداً بشكل مباشر على توفر مصدر كربون عضوي خارجي بنسبة C/N مناسبة، ما يجعله أكثر حساسية للتقلبات في نوعية المياه ودرجات الحرارة، فضلاً عن إرتفاع إنتاج الحمأة ومايرافقه من متطلبات تشغيلية وبيئية إضافية.

في المقابل أثبت نظام نزع النترات ذاتي التغذية باستخدام كلس /كبريت استقراراً تشغيلياً أعلى خاصة عند التراكيز المرتفعة للنترات أو في درجات الحرارة المنخفضة، حيث حافظ على كفاءة إزالة جيدة دون الحاجة لأي إضافات من الكربون العضوي. كما تميز بانخفاض كبير في إنتاج الحمأة واقتصر أثره البيئي على زيادة معتدلة في تركيز الكبريتات حيث بقيت ضمن الحدود المسموح بها، وهو مايعكس الاستدامة التشغيلية وملاءمته للظروف ذات المحتوى الكربوني المنخفض.

وبناءً على ذلك فإن المقارنة الشاملة تشير إلى أن النظام غيري التغذية مناسب في الحالات التي تتوفر فيها مصادر كربون عضوية وإمكانيات تشغيلية كافية، بينما يمثل النظام ذاتي التغذية باستخدام مفاعل كلس/كبريت الخيار الأكثر ملائمة للتطبيق العملي في محطات معالجة مياه الصرف خصوصاً في البيئات التي تتسم بانخفاض المحتوى الكربوني أو التغيرات المفاجئة في نوعية المياه، نظراً لاستقراره التشغيلي وأثره البيئي الأقل.

5.الاستنتاجات:

بناءً على النتائج التجريبية والتحليل المقارن بين نزع النترات غيري التغذية (الطريقة التقليدية) ونزع النترات ذاتي التغذية باستخدام مفاعل كلس/كبريت (الطريقة غير تقليدية) يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية:

1. أظهرت نتائج الدراسة أن كلا نظامي نزع النترات غيري التغذية وذاتي التغذية باستخدام مفاعل كلس/كبريت قادران على تحقيق إزالة فعالة للنترات عند التراكيز المنخفضة والمتوسطة مما يؤكد إمكانية استخدامهما كمعالجة ثالثية لمياه الصرف الصحي المعالجة ثانوياً
2. عند التراكيز المرتفعة حتى 100 mg/l انخفضت كفاءة النظام غيري التغذية بشكل واضح نتيجة محدودية نسبة C/N وتراكم النواتج الوسيطة، في حين حافظ النظام ذاتي التغذية على كفاءة أعلى بفضل اعتماده على الكبريت كمصدر للإلكترونات وعدم حاجته لمصدر كربون عضوي خارجي
3. بينت النتائج أن زيادة زمن المكث الهيدروليكي أدت إلى تحسين كفاءة الإزالة في كلا النظامين، إلا أن النظام غيري التغذية حقق إزالة شبه كاملة بزمن مكث أقصر، مقابل متطلبات تشغيلية أعلى شملت الحاجة المستمرة لإضافة الكربون وارتفاع إنتاج الحمأة.
4. احتاج النظام ذاتي التغذية زمناً أطول للوصول إلى إزالة شبه كاملة لكنه تميز بانخفاض كبير في إنتاج الحمأة وبساطة أكبر في التشغيل، مما يجعله خياراً مناسباً في البيئات ذات الموارد التشغيلية المحدودة

5. أظهرت الدراسة أن النظام غيري التغذية أكثر حساسية لانخفاض درجات الحرارة، حيث تراجعت كفاءة الإزالة بشكل ملحوظ في الظروف الباردة، بينما احتفظ مفاعل كلس/كبريت بكفاءة مقبولة ضمن المجال المدروس، مما يعزز ملاءمته للمناخات الباردة.
6. من الناحية البيئية، اقتصر الأثر الجانبي للنظام ذاتي التغذية على إنتاج الكبريتات التي بقيت ضمن الحدود المسموح بها، في حين شكل تراكم الحمأة في النظام غيري التغذية تحدياً بيئياً وتشغيلياً يتطلب معالجة إضافية.
7. تشير النتائج الإجمالية إلى أن نظام نزع النترات ذاتي التغذية باستخدام مفاعل كلس/كبريت يمثل خياراً واعداً ومستداماً للمعالجة الثالثية، خاصة في مياه الصرف منخفضة المحتوى الكربوني أو في الظروف التشغيلية المتقلبة.
8. يبقى النظام غيري التغذية مناسباً في الحالات التي تتوفر فيها مصادر كربون عضوية وإمكانيات تشغيلية كافية، مع ضرورة مراعاة تحديات الحمأة والكلفة التشغيلية.
9. تؤكد هذه الدراسة أن اختيار تقنية نزع النترات الأنسب يجب أن يستند إلى تقييم متكامل للجوانب التشغيلية والبيئية والاقتصادية وليس إلى كفاءة الإزالة فقط بما يدعم اتخاذ القرار الهندسي السليم في محطات معالجة مياه الصرف الصحي.

6. **التوصيات:**

1. استخدام مفاعل كلس/كبريت في مياه الصرف منخفضة المحتوى الكربوني بسبب استقراره وقلة متطلباته التشغيلية.
2. اعتماد نزع النترات غيري التغذية عند توفر مصدر كربون عضوي مع ضرورة ضبط نسبة C/N
3. ينصح بزيادة زمن المكث في المفاعل ذاتي التغذية للوصول إلى أعلى كفاءة إزالة خاصة عند التراكيز المرتفعة.
4. ضرورة مراقبة إنتاج الحمأة في النظام غيري التغذية ووضع خطة لمعالجتها لتقليل الأثر البيئي.
5. متابعة تراكيز الكبريتات في مفاعل كلس/كبريت لضمان بقائها ضمن الحدود المسموح بها
6. إجراء اختبارات مستقبلية على مياه صرف حقيقية لتأكيد النتائج المخبرية وتقييم الأداء في ظروف تشغيلية أكثر تعقيداً.

6.المراجع:

1 Camargo, j.A., Alonso, A.(2006). Ecological and toxicological effects of ingoranic nitrogen pollution in aquatic ecosystems. Environment international.

2 Tchobanoglous, G., Burton, F., Stensel, H.(2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse

3 Rocca CD, Belgiorno V, Meric S.(2007).Heterotrophic / autotrophic denitrification (HAD) of drinking water :prospective use for permeable reactive barrier. Desalination. 2007;210(1-3):194-204

4 Zhang, T.C., Lampe, D.G.(1999). Sulfur-limestone autotrophic denitrification processes. Water Research.

5 Zhang, Y., Chen, L.,Zhao,H.(2020). Influence of C/N ratio on heterotrophic denitrification performance and microbial enrichment. Journal of Environmental.Chemical Engineering, 8(5), 104260

6 Oh, S. E., Silverstein, J.(2011). Sulfur-limestone autotrophic denitrification: Effect of S/L ratio and nitrate loading. Bioresource Technology, 102(3),2080-2087

7 Zheng Wang, et al.(2018) Comparison of heterotrophic and autotrophic denitrification processes for nitrate removal from phosphorus-limited surface water. Environmental pollution;238:562-572

8 Li, X.,Wang, S.,Zhou, Y.(2022). Enhanced autotrophic denitrification using sulfur-limestone reactors: Microbial enrichment, pH buffering, and sulfate generation. Bioresource Technology, 351,127054

9 Chen, Q., Li, X., Huang, J.(2023). Microbial community development and operational stability in sulfur-based autotrophic denitrification systems. Journal

of Environmental Management, 336,117658.

10 Ruihua LI, Yulin Yuan, Xinmin Zhan, Bo liu.(2014) Phosphorus removal in a sulfur-limestone autotrophic denitrification (SLAD) biofilter. Environmental Science and pollution Research;21:972-978

11 Zhao, Y., Chen. L., Wang, s.(2021). Synthetic wastewater as a controlled medium for evaluating denitrification performance under variable operational condition. Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(4), 105684.

12 Li, X., Huang, J., Zhou, Y.(2023). Performance evaluation of sulfur-limestone autotrophic denitrification using synthetic wastewater with controlled nitrate loading. Bioresource Technology, 368,128268.

13 Wang, Y., Liu, S., Zhang, T.(2021). Operational challenges of heterophic denitrification: Effects of dissolved oxygen and carbon dosage on nitrate removal. Bioresource Technology, 320, 124350

14 Chen, Q., Li, X., Huang, J.(2023). Thermal and operational stability of sulfur-based autotrophic denitrification systems and the role of limestone buffering. Journal of Environmental Management, 336, 117658.

15 Huang, J., Wang, Y., Liu, S. (2020). Influence of hydraulic retention time on heterotrophic denitrification performance and microbial activity. Journal of Environmental Chemical Engineering, 8(6), 104564

16 Li, X., Chen, Q., Zhou, Y.(2021). Performance of sulfur-based autotrophic denitrification under varying hydraulic retention times: Implications for reactor stability. Bioresource Technology, 331, 125030

17 Zhang, T., Li, X., Wang, D.(2015). Performance and microbial characteristics of sulfur-based autotrophic denitrification. Journal of Environmental Sciences, 30,1-10

18 Oh, S. E., Silverstein, j.(2011). Sulfur-limestone autotrophic denitrification: Effect of S/L ratio and nitrate loading. Bioresource Technology, 102(3), 2030-2087

دراسة تأثير نوع التربة على استجابة الأبنية خلال زلزال شباط 2023 باستخدام طريقتي العناصر المحيطية والعناصر المحدودة

د. ريم خرتش
أستاذ مساعد، قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية بالرقة– جامعة الفرات

الملخص

في هذا البحث تمت دراسة تأثير نوع التربة على استجابات الأبنية تحت تأثير الزلازل، وذلك بمقارنة الإزاحة الطابقية والقوى الزلزالية. تم اعتبار ثلاثة محاور للدراسة. الأول يعتمد على نمذجة التربة وفق طريقة العناصر المحيطية ونمذجة الأساس وفق طريقة العناصر المحدودة ثم الربط بينهما باستخدام كود برمجي معد في بيئة MATLAB وذلك في مجال التواتر. في هذه المرحلة تمت نمذجة ثلاث أنواع من التربة وهي (S_B, S_C,S_D) حيث أظهرت النتائج أن التربة S_D أعطت أكبر معامل تضخيم زلزالي بنسبة 40% عند الذروة.

في المحور الثاني تم إجراء 72 تحليل طيف استجابة مع الأخذ بالاعتبار أنماط الاهتزاز باستخدام برنامج Robot Structural Analysis وذلك على ثمانية نماذج أبنية مختلفة عدد الطوابق تتراوح بين 2 طابق و14 طابق وهي موثوقة الأساسات، حيث تم اعتماد جدران القص كنظام إنشائي مقاوم للزلازل كونه الأكثر شيوعاً في التصميم. تم تطبيق 9 أطياف استجابة زلزالية حقيقية مختلفة أنواع التربة على هذه الأبنية. أعطت النتائج أن عدد الطوابق الحرج من أجل التربة الصلبة هو 6 طوابق والتربة المتوسطة هو 7 طوابق بينما أعطت الترب الرخوة استجابة عظمى من أجل 12 طابق.

تمت دراسة أثر صلابة الأساسات في المحور الثالث حيث تمت نمذجة الأبنية مع اعتبار الأساسات غير موثوقة. حيث تم إيجاد أثر صلابة التربة على تضخيم الانتقالات والإزاحة الطابقية حيث كانت نسب التضخيم بين 1%–16% على حسب صلابة التربة.

كلمات مفتاحية: طريقة العناصر المحيطية، طريقة العناصر المحدودة، مجال التواتر، أحمال زلزالية، الربط بين العناصر المحدودة والمحيطية، تأثير التربة

Analysis of Soil Type Effect on Building Response under February-2023 Earthquake Using Boundary Elements and Finite Elements Methods

Dr. Rim Khartash

Structural Engineering Department, Assistant Professor at Faculty of Civil Engineering in Raqqa- Al Furat University

Abstract

This paper discusses the effect of soil type on the behavior of the buildings under seismic event's data in terms of story drift and seismic force. Three stages of analysis were adopted. The first one used finite elements- boundary elements coupling in MATLAB environment under seismic loading. Where the soil was modelled by boundary elements and the foundation was modelled by finite elements. Three different soil type was analyzed (S_B, S_C,S_D). the results showed that soil type S_D has the most amplifying ratio in frequency domain which was 40% for the peak.

In the second stage Robot Structural Analysis Program was

used to perform 72 Response Spectra analysis of 8 fixed-base different height buildings under 9 different soil type seismic were done. The results showed that the critical number of stories that gave the maximum response in terms of seismic force and story drift for hard soils is 6 stories, the critical number of stories for medium soils was 7 stories, and the critical number of stories for soft soils was 12 stories.

In the third stage the foundation – soil stiffness was introduced to the supporting system of the building instead of fixed base. Again the analysis of the critical buildings under seismic events was performed in order to find out the effect on story drift, which increase about 1%−16% depending on soil type.

Keywords: Boundary elements method, Finite elements method, Frequency domain, Seismic load, FEM−BEM Coupling. Soil effect

1. Introduction

Soil type plays an important role during an earthquake. It is noticed that the buildings behave differently according to soil type under seismic loads. Seismic acceleration and Response Spectra also is affected highly with soil type. In this research soil type is studied comparatively in three directions: Finite elements – boundary elements coupling of foundation – soil model for three types of soil concerning 6 February Earthquake in Turkey 2023 since it has affected vast areas in Syria and the sites are very close to the borders so the soil type might be very similar. Yayladagi – soft soil (S_D: C_s=283 m/sec), Nurdagi –medium soil (S_C: C_s=599 m/sec), Malatya–hard soil (S_B: C_s=815 m/sec). Then an amplification spectrum of acceleration in frequency domain is obtained for each soil type. The critical number of stories is also studied for number of fixed base models under about nine seismic events in Turkey with different soil types in order to find out the critical number of stories that shows the maximum story drift for each soil type. The same models are analyzed considering the stiffness of the soil–foundation support and the amplification of story drift is predicted.

2. Research aim

During February 2023 Earthquake in Turkey the buildings behaved differently according to foundation soil. This research highlights the differences in response under different soil types. The study covers three aspects: the amplification of excitation in frequency domain, The critical number of stories for fixed based buildings that shows the

maximum response under an Earthquake, and the increase in story drift due to considering the soil–foundation stiffness in modeling.

3. Research Materials and methodology

3.1. Literature review

A lot of research was done in order to study structures' behaviour under seismic loading. Altarshah. E. et. al, [1] 2024 - studied the elevated water tanks under seismic loading in terms of nonlinear time history of El-Centro Earthquake,1940 scaled to Homs site. Taking into account water level in the tank. As a result the most dangerous case by design was the case of half full tank, where it forms the first plastic joint at the lowest base.

Turikieh. A, et.al, [2] 2025 - studied the behaviour of dual systems' RC buildings (Shear wall- Frames) under seismic loadings. Three models of dual systems with 10, 15 and 20 stories were analysed using performance based design procedure. The result shows that the performance based design procedure gives better design method than the traditional static linear methods.

Song. Q, et. al, [3] 2025 – studied the site effect on buildings behavior in Antakya and Kahraman Marash in Turkey under 6 Februray Earthquake. Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (H/V) statistical technique is used to decipher how site effects affect ground motion and damage using the strong motion records. Structures located in areas where the predominant frequency matches their natural frequency are

more prone to resonance effects. Most earthquake damage was due to the amplification of ground motion caused by soft soil conditions.

Başar. T, et. al, [4] 2025 – studied the behavior of masonary minarets under 6 Februray Earthquake in Kahraman Marash in Turkey. Two soil types were considered S_A, S_D the models were analyzed using finite element method in SAP2000 program. The results show that the soil type S_D gave the maximum displaement ratios.

3.2. Finite elements- Boundary elements coupling

It was proved that the seismic shear wave and seismic pressure wave will be decreased when crossing soft soils, [5]. On the other hand, the damping will be so trivial or negligible when crossing hard soils or rock. This was proved by using boundary element method –direct integration procedure in MATLAB environment. On the contrary, the soil effect on the response will be the opposite when reaching the building. Studying soil–foundation interaction using boundary element – finite element coupling proves that soft soils effect will be amplifying with a noticeable value in comparison with the hard soil,[6].

The studied model is a flexible, massive foundation settling in an elastic, isotropic and homogeneous soil medium. The foundation is subjected to a dynamic load which is better prescribed as free field acceleration in the frequency domain.

- **Soil modelling and analysis:**

Boundary Element equations:

$$HU = GP \qquad (3-1)$$

Where:

$$G^{ij} = \int_{\Gamma_j} u^* d\Gamma \qquad \hat{H}_{ij} = \int_{\Gamma_j} p^* d\Gamma \qquad (3-2)$$

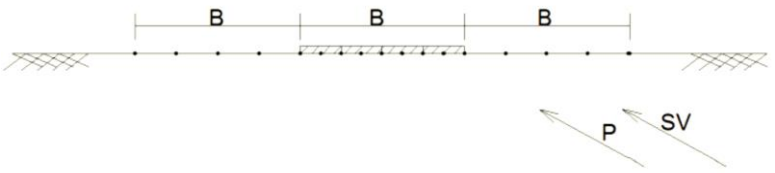


Fig.1 soil and foundation elements, [8]

Using these equations the parameters could be calculated on the boundary which is divided into M element while the problem is a plain strain problem.

The function u^* is a Green Function which is defined as in the Table.1. [7].

Table. 1 Green function, [7]

	Elastic Dynamic	Elastic Static
2D	$\frac{1}{2\pi} K_0\left(\frac{i\omega}{c} r\right)$	$-\frac{1}{2\pi}\ln(r)$
3D	$\frac{e^{\left(\frac{-i\omega}{c}\right)}}{4\pi r}$	$\frac{1}{4\pi}\frac{1}{r}$

Where G, H can be calculated for In-plane problem by using a principle solution:

$$u_{lk}^*(x,\xi;\omega) = \frac{1}{2\pi\rho c_2^{\,2}}\left(\psi\delta_{lk} - \chi r_{,l} r_{,k}\right) \qquad (3-3)$$

Where:

$$\psi = K_0\left(\frac{i\omega}{c_2}r\right) + \frac{c_2}{i\omega r}\left[K_1\left(\frac{i\omega}{c_2}r\right) - \frac{c_2}{c_1}K_1\left(\frac{i\omega}{c_1}r\right)\right] \qquad (3-4)$$

$$\chi = K_2\left(\frac{i\omega}{c_2}r\right) - \left(\frac{c_2}{c_1}\right)^2 K_2\left(\frac{i\omega}{c_1}r\right) \qquad (3-5),\ [8].$$

Where Bessel function is defined mathematically as:

$$K_0(z) = -\ln\frac{z}{2}I_0(z) - \gamma + \left(\frac{z^2/4}{(1!)^2}(1-\gamma)\right) + \left(\frac{(z^2/4)^2}{(2!)^2}\left(1+\frac{1}{2}-\gamma\right)\right) + \left(\frac{(z^2/4)^3}{(3!)^2}\left(1+\frac{1}{2}-\gamma\right)\right) +$$

$$+\left(\frac{(z^2/4)^4}{(4!)^2}\left(1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}-\gamma\right)\right) + \left(\frac{(z^2/4)^5}{(5!)^2}\left(1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}-\gamma\right)\right) + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3-6)$$

Where:

$$\gamma = 0.577215664 \qquad (3-7)$$

$$I_n(z) = \sum_{k=0}^{\infty}\frac{1}{k!(k+n)!}\left(\frac{z}{2}\right)^{2k+n} \qquad (3-8)$$

Where $\hat{H}^{ij}$ is calculated form Green Function because u^* is derived from p^*.

- **Foundation modelling and analysis:**

The foundation is divided into $\frac{M_c}{2}$ finite element where number of nodes is $N = \frac{M_c}{2} + 1$ where every finite element encounters two boundary elements on the soil surface. The foundation equations will be:

$$\begin{bmatrix} [K_{vv}] & [K_{v\theta}] \\ [K_{\theta v}] & [K_{\theta\theta}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{v\} \\ \{\theta\} \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} \{R\} \\ \{0\} \end{Bmatrix} \qquad (3-9)$$

Where $[K_{vv}]$ is $(2N \times 2N)$, $[K_{\theta\theta}]$ is $(N \times N)$, $[K_{\theta v}]$ is $(N \times 2N)$ and $[K_{v\theta}]$ is $(2N \times N)$

All of them represents the stiffness matrix of the foundation in the Frequency domain.

v : translation vector

θ : rotation vector

$\{R\}$: the friction stresses between soil and foundation.

- **Coupling between boundary elements and finite elements:**

In order to apply the compatibility condition between the displacement on the contact surface, every finite element node's displacement equals the displacement of the two boundary elements that this node is between, [7].

$$v_1^i = u_1^j = u_1^{j-1} \qquad (3-10)$$

$$v_2^i = u_2^j = u_2^{j-1} \qquad (3-11)$$

Applying the force equilibrium condition on the contact surface the force in each finite element node equals the result of the surface stresses of the two boundary elements that this node is between.

$$R_1^i = L_{j-1} p_1^{j-1} + L_j p_1^j \qquad (3-12)$$

$$R_2^i = L_{j-1} p_2^{j-1} + L_j p_2^j \qquad (3-13)$$

L_j : the length of element j

3.3. Soil – Foundation stiffness, [11] (FEMA 273)

Most of the designers considers the base of the structure as a fixed base. Which is very different of the fact because of the soil stiffness, which differs from soil to soil and plays a great role in supporting the buildings. Here is a simple calculation that considers the soil type in supports. Which is considered in the applications in order to make comparisons in seismic response between fixed supports and soil foundation stiffness for different soil types of several events.

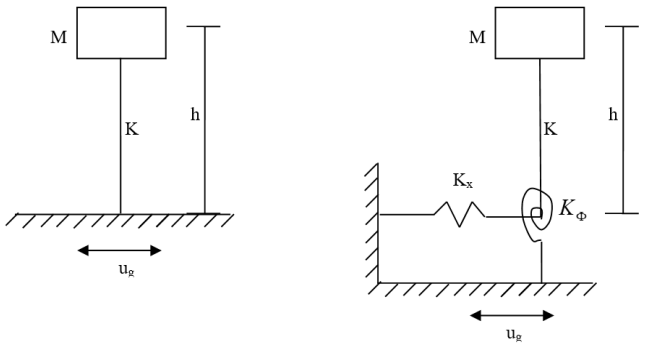


Fig. 2 soil and foundation stiffness representation, [11].

First of all it is needed to calculate the equivalent radius of the isolated foundation.

Table. 2 Equivalent radius of the foundation

Degree of Freedom				
	Translation	Rotation		Torsion
		About X Axis	About Y Axis	About Z Axis
Equivalent Radius	$\left[\frac{BL}{\pi}\right]^{1/2}$	$\left[\frac{BL^3}{3\pi}\right]^{1/4}$	$\left[\frac{B^3L}{3\pi}\right]^{1/4}$	$\left[\frac{BL\left(B^2+L^2\right)}{6\pi}\right]^{1/4}$

Then soil effect will be introduced by G – Soil long term shear modulus and v – Soil poison modulus.

Table. 3 Soil– Foundation stiffness

Degree of Freedom	K_0
Vertical Translation	$4GR$
Horizontal Translation	$\frac{8GR}{2-\nu}$
Torsional Translation	$\frac{16GR^3}{3}$
Rocking Rotation	$\frac{8GR^3}{3(1-\nu)}$

Most of soils behave nonlinearly where the shear modulus G degreases with the increase of shear strain. The shear wave velocity Cs decreases as well for large strains.

Table. 4 Long term soil shear modulus and shear wave velocity

PGA	≥ 0.3	$\geq 0.2 \& < 0.3$	$\geq 0.15 \& < 0.2$	≤ 0.1
G/G_0	0.42	0.49	0.64	0.81
C_s/C_{s0}	0.62	0.7	0.8	0.90

Where the primary shear modulus G_0 and the primary shear wave velocity C_{s0} are calculated for small strains. They are related with the equation: $G_0 = \rho . C_{s0}^{\ 2}$.

4. Applications and methods

4.1 Finite elements – boundary elements coupling in frequency domain

Three different soil-type events is considered: Yayladagi – soft soil (S_D: C_s=283 m/sec), Nurdagi –medium soil (S_C: C_s=599 m/sec), Malatya–hard soil (S_B: C_s=815 m/sec). The three events took place in February 2023 in Turkey, [10] (AFAD,2023) and have a similar epicenter distance.

The goal is to find out the movement values of the surface between the foundation and the soil according to three soil types listed in the Table.1. Considering isolated shallow foundation, which is divided into four finite elements, the soil surface under the foundation is divided into eight boundary elements. Where the boundary element equals half length of the finite element under the foundation and full length outside the foundation, therefore the soil surface outside the foundation is divided into four boundary elements on each side.

A boundary element code in MATLAB environment (Coupling.m) was used to calculate the interaction between a strip foundation and the soil in frequency domain under harmonic in-plane load using direct integration method – constant shape function since using the linear shape function does not enhance accuracy so much wile takes a huge programming effort.

Table. 5 Soil type parameters

Event 2023	Yayladagi	Nurdagi	Malatya
Parameter	S_D	S_C	S_B
v (Poisson)	0.3	0.25	0.2

E (kN/m^2)	2.82E+05	1.57E+06	3.11E+06
Density (kg/m^3)	1350	1750	1950
G (kN/m^2)	108461.5	628000	1295833
C_s (m/sec)	283.4464	599.0469	815.187
Damping	0.02	0.02	0.02

Then the soil-foundation interaction was studied considering unit impulse load $e^{i\omega t}$ impacted on the soil free surface in frequency domain for the frequency range noticed in 6 February -2023 Earthquake. Using the code (coupling.m) table.6. The amplification factor spectra for three soil types, table.5 under shear waves SV and Pressure waves SP were drawn.

Table.6 Coupling.m code flow in MATLAB

Coupling.m
% coupling at points under foundation
Cinput
for e=1:Nfr
% Form matrices of soil
GHmat
% Form matrices of foundation
Found
% solve them
Dipl
End
% Plot amplification spectrum in frequency domain
Vplot

The frequency content of February −2023 Earthquake can be ranged from zero to forty as it is shown in Figure. 3 which contains the Fast Fourier Transformation of Malatya event−2023. The procedure is to find out the amplification factor spectrum that results form finite elements−boundary elements coupling. This spectrum will be multiplied with fast Fourier transformation of the earthquake in frequency domain then it could be transform into time domain easily.

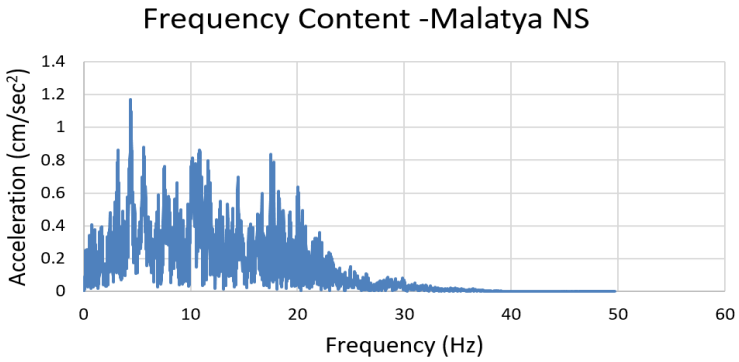


Fig. 3 FFT of Malatya event−2023, [10]

After applying the soil types the program will plot the amplification factor spectra for each soil type, Fig. 4. It is obvious that the softer soil will give the maximum amplification with a sinusoidal−like graph while the stiff soils will give a slight amplification of excitation with an exponential− like graph. the ratios are tabulated in Table.7

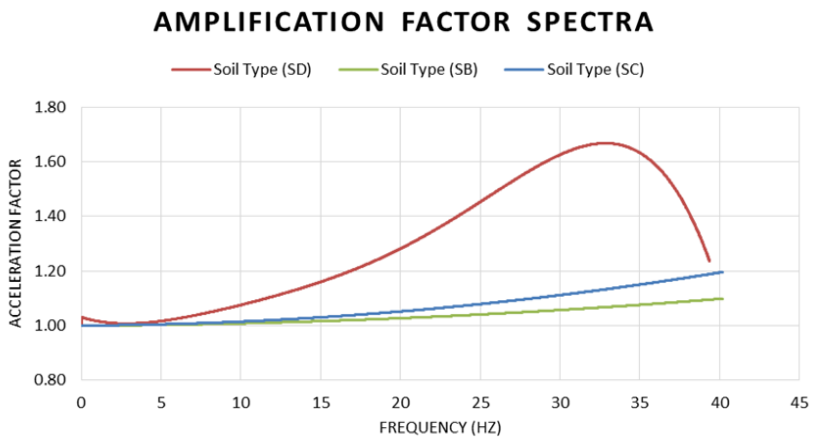


Fig. 4 Amplification factor spectra

Table. 7 Amplification factor spectra maximum values

Soil Type	S_D	S_C	S_B
Max. Value	1.667	1.2	1.1
Diff.	40%	16.67%	9.1%

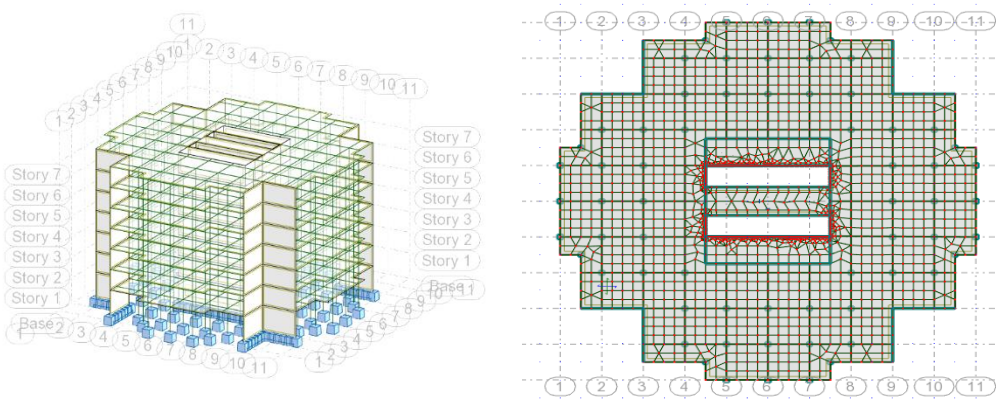
4.2 Fixed base model analysis

A fixed base symmetrical model of shear walls seismic resisting system is considered. It is analyzed using Robot Structural Analysis, (RSA, 2019). The number of stories was: (2-3-4-6-7-10-12-14) under number of Response Spectra for events which took place in Turkey. In terms of seismic force and storey drift, the critical number of stories that gave maximum response is different form soil type to another.

- **Model Description:**

The lateral load resisting system is shear wall since it is very popular in design. 40x40m area floors, ground floor height equals 4.2m while typical floor height equals 3.4m. Life load equals 3.0 kN/m2, flooring load equals 3.0 kN/m2. Shear wall thickness

25cm. 64 columns 65x65cm of concrete grade C25, Slab thickness equals 15cm- Concrete grade C20, Figure 5.



a b

Fig. 5 the analyzed model in Robot Structural Analysis: a- 3D view, b- Slab meshing

Table.8 shows the modal analysis results of all different stories models in terms of fundamental period and frequency. Sparce direct solver method were executed using Ritz-Lanczos algorithm of 45 vector. 90% of mass participation was achieved by 12-15 modes was enough since the plan is symmetrical.

Table. 8 Modal analysis results

No. Stories	Frequency (Hz)	Fundamental Period (sec)
2	8.86	0.11
3	6	0.17
4	4.48	0.22
6	2.95	0.34
7	2.46	0.41
10	1.59	0.63
12	1.27	0.79
14	1.05	0.96

- **Hard soil**

The models were analyzed under two events' response spectra – hard soils site, Table. 9 one of them took place in 1999 in Kocaeli near Istanbul and had a very destructive effect very near to epicenter with a PGA of 11.14 m/sec^2– soil type (S_B) –according to (ASCE 7-16) , [9] with shear wave velocity of 827m/sec. The other one took place in 2023 in Malatya in the south with a PGA of 6.78 m/sec^2– soil type (S_B) – according to (ASCE 7-16), [9] with shear wave velocity of 815m/sec.

Table. 9 Hard soil events parameters, [10] (AFAD, 2023)

Parameter	Malatya-2023	Kocaeli-1999
EVENT_DATE_YYYYMMDD:	20230206	19990817
EVENT_LATITUDE_DEGREE:	38.332	40.756
EVENT_LONGITUDE_DEGREE:	38.271	29.955
EVENT_DEPTH_KM:	6.89	15.9
MAGNITUDE_L_REFERENCE:	AFAD	AFAD
STATION_CODE:	4406	4101
STATION_ELEVATION_M:	1050	77
LOCATION:	Malatya_Yesilyurt_Turkiye	KOCAELI_MERKEZ
VS30_M/S:	**815**	**827**
SITE_CLASSIFICATION_EC8:	A	A
SITE_CLASSIFICATION_ASCE 7-16	B	B
EPICENTRAL_DISTANCE_KM:	**25.96**	**3.39**
UNITS:	cm/s^2	cm/s^2
PGA_CM/S^2:	**678.781**	**1114.294**

The scaled Response Spectra of both events shown in Figure. 6, [10] (AFAD, 2023) It is noticed that both of them are narrow spiked peak which coincides with very small periods.

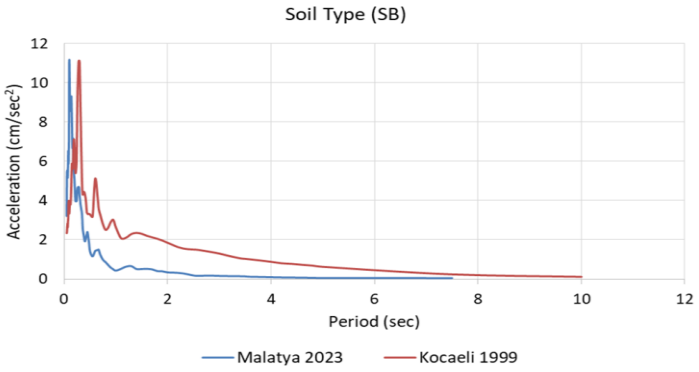


Fig.6 The scaled response spectra of hard soil events

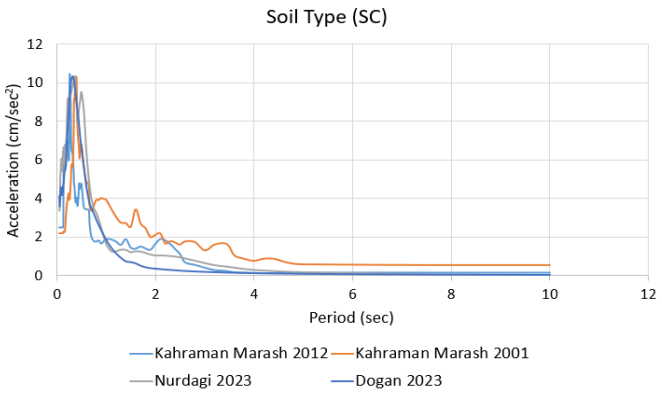


Fig.7 The scaled response spectra of medium soil events

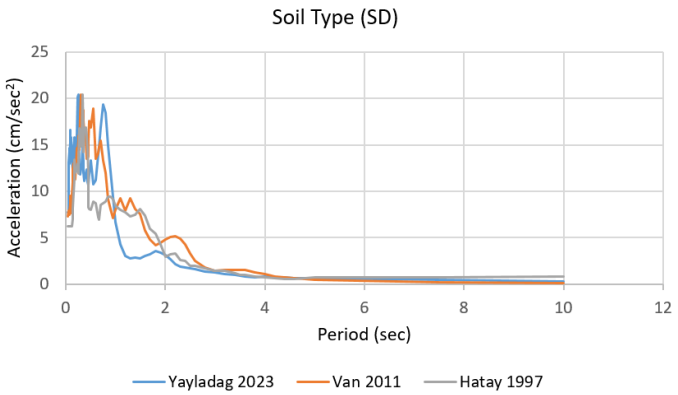


Fig.8 The scaled response spectra of soft soil events

- **Medium Soil**

The scaled Response Spectra of four different incident time seismic events on medium soil are shown in Figure. 7, [10] (AFAD, 2023) It is noticed that all of them are a little bit wider than hard soils events several peaks which coincides with higher periods and shifted to the right. Table.9 contains the four seismic events parameters. Their shear wave velocities ranges between 465−655 m/sec which locates in type S_C soil according to ASCSE 7−16, [9]. Despite the fact that they have different distances of epicenter their response spectra are very similar.

Table. 9 Medium soil events parameters, [10] (AFAD, 2023)

Parameters	Kahraman Marash – 2012	Kahraman Marash – 2001	Nurdagi– 2023	Doganshehir –2023
EVENT_DATE_YYYYMMDD:	2012091	2001062	2023020	20230206
EVENT_LATITUDE_DEGREE:	37.2838	37.193	37.304	37.898
EVENT_LONGITUDE_DEGRE	37.1398	36.225	36.92	37.957
EVENT_DEPTH_KM:	22.35	10.9	6.2	9.65
MAGNITUDE_L_REFERENCE:	AFAD	AFAD	AFAD	AFAD
STATION_CODE:	4606	4603	2712	4408
STATION_ELEVATION_M:	581	562	536	1215
LOCATION:	Kahrama	Kahrama	Gaziante	Doganshehir
VS30_M/S:	**485**	**465**	**599**	**655**
SITE_CLASSIFICATION_EC8:	B	B	B	B
SITE_CLASSIFICATION _ASCE 7-16	C	C	C	C
EPICENTRAL_DISTANCE_KM	**11.45**	**75.75**	**21.27**	**22.86**
UNITS:	cm/s^2	cm/s^2	cm/s^2	cm/s^2
PGA_CM/S^2:	**175.687**	**65.775**	**1035.03**	**118.648**

- **Soft soil**

The scaled response spectra of three different time events on soft soil are depicted in Figure.8, (AFAD, 2023) , [10] it is very clear that the Response spectra are shifted to the right with numerous peaks and much wider range in comparison with events on medium and hard soil. The seismic events parameters are tabulated in table. 10; Their shear wave velocities ranges between 283-304 m/sec which locates in type S_D soil according to ASCSE 7-16, [9]. it is noticed that they are all have a close and similar event depth.

Table. 10 Soft soil events parameters, [10] (AFAD, 2023)

Parameter	Yayladagi-	Van-	Hatay-1997
EVENT_DATE_YYYYMMDD	20230220	2011102	19970122
EVENT_LATITUDE_DEGRE	36.037	38.689	36.1852
EVENT_LONGITUDE_DEG	36.021	43.4657	35.9419
EVENT_DEPTH_KM:	**21.73**	**19.02**	**23**
MAGNITUDE_L_REFEREN	AFAD	AFAD	AFAD
STATION_CODE:	3147	6503	3102
STATION_ELEVATION_M:	419	1712	-
LOCATION:	Hatay_Yaylad		HATAY_MERKEZ_BAYINDI
VS30_M/S:	**283**	**292**	**304, (Kurtulus, et al 2021)**
SITE_CLASSIFICATION_ASCE 7-16	D	D	D
EPICENTRAL_DISTANCE_	**15.47**	**42.24**	**19.72**
UNITS:	cm/s^2	cm/s^2	cm/s^2
PGA_CM/S^2:	**57.522**	**445.801**	**485.448**

After proceeding analysis of different stories fixed base models under all the listed seismic events the maximum seismic force and story drift is tabulated in table.11. from which it is very clear that the events which have the same soil type gives the maximum response for the same number of stories, Fig. 9.

Table. 11 Soft soil events analysis results

Event	Soil Type	No. Stories	Period (sec)	Seismic Force (kN)	Max. Drift (mm)
Malatya 2023	S_B	6	0.34	18777.75	1.7
Kocaeli 1999	S_B	6	0.34	60508.56	5.8
Kahraman Marash 2012	S_C	7	0.41	5525.63	0.6
Kahraman Marash 2001	S_C	7	0.41	5133.24	0.68
Nurdagi 2023	S_C	7	0.41	105847.2	12.1
Doganshehir	S_C	7	0.41	8387.62	0.912
Yayladagi 2023	S_D	12	0.79	254797.3	42.8
Van 2011	S_D	12	0.79	35827.1	5.9
Hatay 1997	S_D	12	0.79	36078.68	5.7

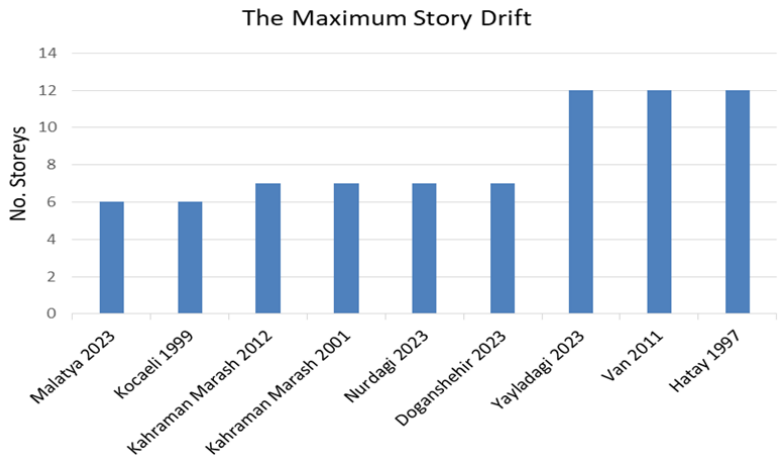


Fig.9 The critical number of stories for each seismic event

For better understanding of this behavior, the story drifts of all stories are drawn under three reference seismic events. Malatya 2023- Hard soil, Nurdagi 2023- Medium soil and Yayaldagi 2023- soft soil. The three events have a close distance of epicenter 25.96km, 21.27km and 15.74km respectively, [10] (AFAD 2023). It is very clear that the

hard and medium soils gives the maximum response in buildings of 6–7 stories. However, the soft soils gives the maximum response for higher buildings i.e. 12 stories.

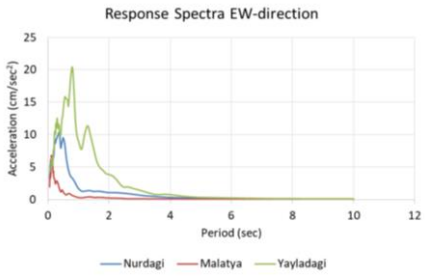


Fig.10 Yayladagi –Nurdagi– Malatya RS

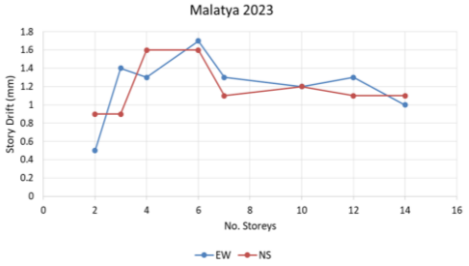


Fig 11. Story drift vs. No. stories of Malatya event

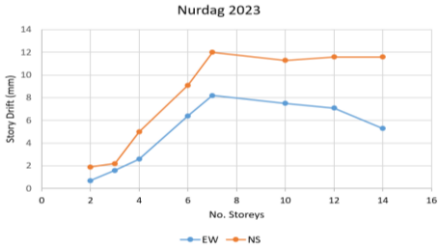


Fig 12. Story drift vs. No. stories of Nurdagi event

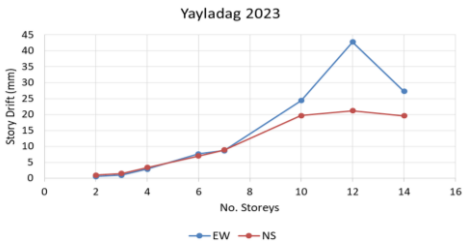


Fig 13. Story drift vs. No. stories of Yayladagi event

When inspecting 6 February 2023 pictures it is noticed in Nurdagi that the buildings around 6–7 stories were collapsed while the higher buildings remained stable, which matches the analysis results, Figure. 14.

Fig 14. Nurdagi after February Earthquake 2023, Aljazeera news

4.3 Considering foundation- soil stiffness analysis

At this stage, the critical models that showed the maximum response for each soil are analyzed again considering the foundation-soil stiffness as a support rather than fixed support, Fig.15. The foundation sizes are calculated and the equivalent radius of each. Then the stiffness is calculated including soil type through shear modulus of soil G and Passion's ratio. The nine different seismic events are applied. The hard and medium soils gave very slight amplification while it is very noticeable in soft soil, table. 12.

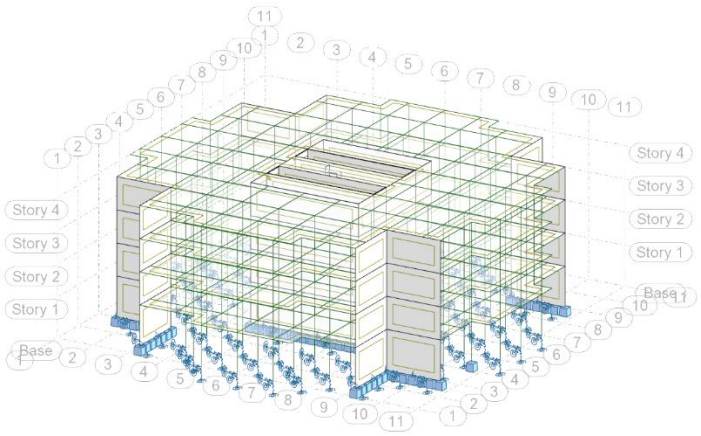


Fig.15 considering foundation – soil stiffness model

Table12. Amplification of story drift under different soil types

Event	Soil Type	Fixed Base	Flexible Base	Ratio %
Malatya 2023	S_B	1.7	1.72	101.18
Kocaeli 1999	S_B	5.8	5.91	101.90
Kahraman Marash	S_C	0.6	0.62	103.33
Kahraman Marash	S_C	0.68	0.71	104.41
Nurdagi 2023	S_C	12.1	12.45	102.89
Doganshehir 2023	S_C	0.912	0.932	102.19
Yayladagi 2023	S_D	42.8	50.05	116.94
Van 2011	S_D	5.9	6.81	115.42
Hatay 1997	S_D	5.7	6.48	113.68

5. Conclusion

- Finite elements- boundary elements coupling was proceeded in MATLAB environment for three seismic events of different soil types: Malatya 2023 (S_B), Nurdagi 2023 (S_C) and Yayladagi 2023 (S_D) showed very similar behavior for Type B and C and different behavior for type D. where the amplification factor spectra in frequency domain for hard and medium soil gave the exponential- similar function, and it gave a sinusoidal-similar shape function for soft soil. The Type B gave a maximum amplification ratio of 9.1% , Type C gave 16.67% while type D gave about 40% maximum amplification ratio.
- The analysis of 8 fixed based models of different number of stories between 2-14 under 9 seismic events in Turkey between 1997-2023 was performed in Robot Structural Analysis. The results of theses 72 analysis gave a hint of

the critical number of stories that gives the maximum response for each soil type.

- Seismic events on hard soils which have shear wave velocity between $815-827$m/sec gave the maximum story drift for buildings of 6 stories – fundamental period of 0.34 and frequency of 2.95Hz.
- Seismic events on medium soils which have shear wave velocity between $485-655$m/sec gave the maximum story drift for buildings of 7 stories – fundamental period of 0.41 and frequency of 2.46Hz.
- However, seismic events on soft soils which have shear wave velocity between $283-304$ m/sec gave the maximum story drift for buildings of 12 stories – fundamental period of 0.79 and frequency of 1.27Hz.
- When considering foundation soil stiffness in the modelling of the building the story drift would increase about $1\%-2\%$ for hard soils, $2-4\%$ for medium soils, and $13-16\%$ for soft soils. This increase should be taken in consideration since it can damage nonstructural components in the building such as cladding and cement partitions and walls. Which may cause a noticeable economic loss.

6. Future Work

- Analysis of seismic shear wave propagation through different soils modelled by finite element method using Plaxis computer program.
- Analysis of finite elements soil model interaction with finite element model foundation using Plaxis computer program under different seismic events with different soil types in terms of settlement.
- Analysis of finite elements soil model interaction with finite element model foundation using Plaxis computer program under different seismic events with different soil types in terms of liquefaction.
- Studying the response under seismic events of similar distance of epicenter.
- Studying the effect of depth of epicenter on the response of the structures and the soil structure interaction.

7. References

1. Altarsha.E, et. al, (2024). Nonlinear Dynamic Analysis Of A High Tank Taking Into Account The Effect Of Water Movement Within The Drum. Homs: Research Journal of Homs University.

2. Turikieh. A, et. al, (2025). *Comparison between Performance-Based Plastic Design and the Design Followed in Codes for RC Dual Systems (Frames - Shear Walls).* Homs: Research Journal of Homs University.

3. Song. Q, et. al, (2025). *Deciphering the site effect as one of reasons causing severe building damages in Kahramanmaraş and Antakya in February 6 2023 earthquakes, Turkey.* Germany: Environmental Earth Sciences.

4. Başar. T, et. al, (2025). *The Effects of Earthquake Reality on Historical Minarets, Evaluations Specific to the February 06, 2023 Kahramanmaraş Earthquake.* Turkey: Cultural Heritage and Science.

5. Khartash. R, Kadaan. A. (2013). *Stability Analysis of Numerical Integration Methods of Dynamic Analysis of Frames Using FEM.* Aleppo: Research Journal of Aleppo University, Vol.6 .

6. Khartash. R, Kadaan. A. (2014). *FEM-BEM Coupling of Foundations Soil Interaction Problem in the Frequency Domain.* Aleppo: Research Journal of Aleppo University, Vol.7.

7. ARFKEN. G. (1985). *Mathematical Methods for Physicists. Academic Press, INC. San Deigo.* USA: Inc. San Diego.

8. DOMINGUEZ. J. (1993). *Boundary Elements in Dynamics.* New York: Elsevier.

9. ASCE7-16. (2016). *American Society of Civil Engineering.* USA: ASCE.

10. *Disaster and Emergency Management Autority (AFAD).* Turkey: 2023.

11. FEMA273. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings.* Washington D.C: FEMA.

12. Flavora. N. I, et. al, (2023). *Calibration of the Extremum System: Preliminary Results for the February 6, 2023, Destructive Turkey Earthquake.* Russa: Voprosy Inzhenernoi Seismologii,.

13. Khose, V. et. al, (2011). *A Comparative Study of Design Base Shear for RC Buildings in Selected Seismic Design Codes.* Research Gate.

14. Kurtulus. C, et.al, *Investigation of Soil Characterization in Hatay Province in Turkey by Using Seismic Refraction, Multichannel Analysis of Surface Waves and Microtremor.* 2021: Earth Sciences Research Journal.

15. MathWorks. (2015). *MATLAB R2015a.*

16. Naji. D, A. C. (2020). *A Comparative Study on the VS30 and N30 Based Seismic Site.* Advances in Civil Engineering.

17. *Robot Structural Analysis.* (2019). USA: Autodesk.

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.

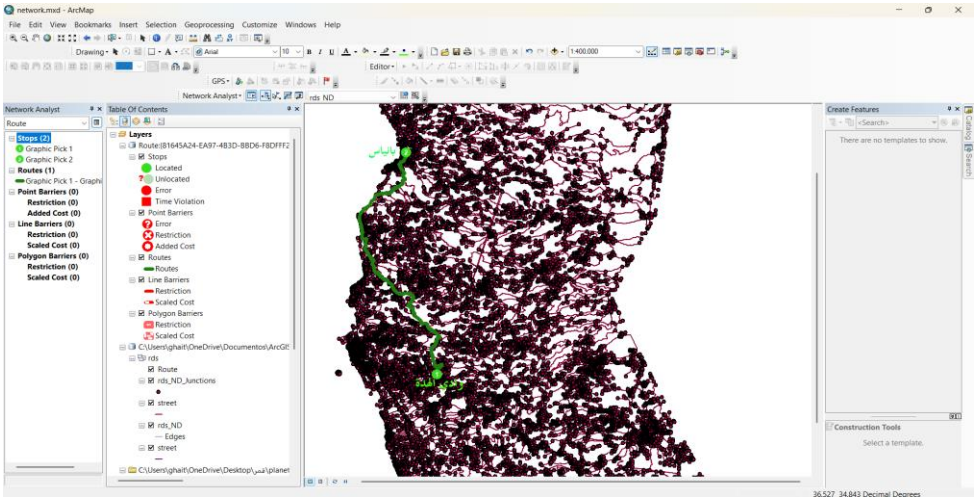
4 – تجنب المناطق الحساسة بيئياً أو اجتماعياً أثناء التنقل ضمن المدن والتجمعات السكانية الأخرى.

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 :

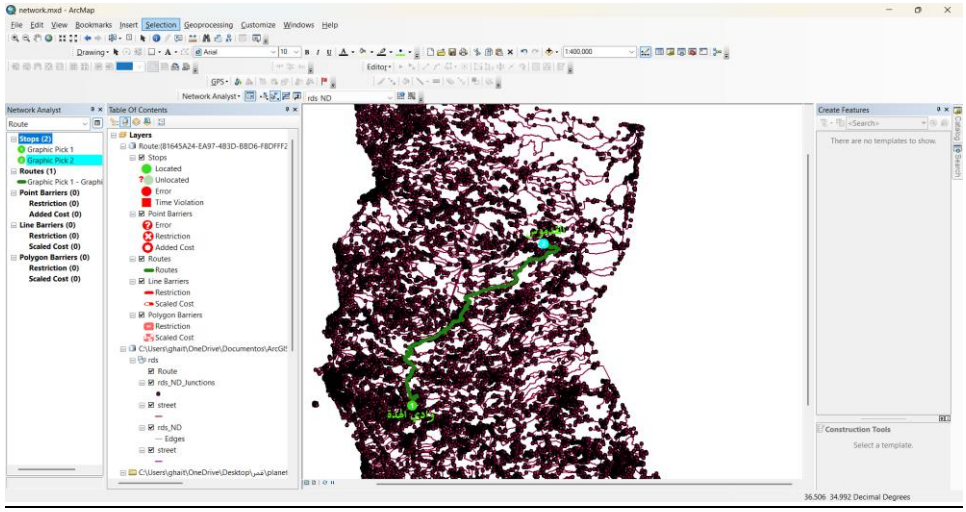
- طول شارع في منطقة معينة.
- استدارة الاتجاهات.
- الزمن الكلي لقطع هذا المسار.
- المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر .

* 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:

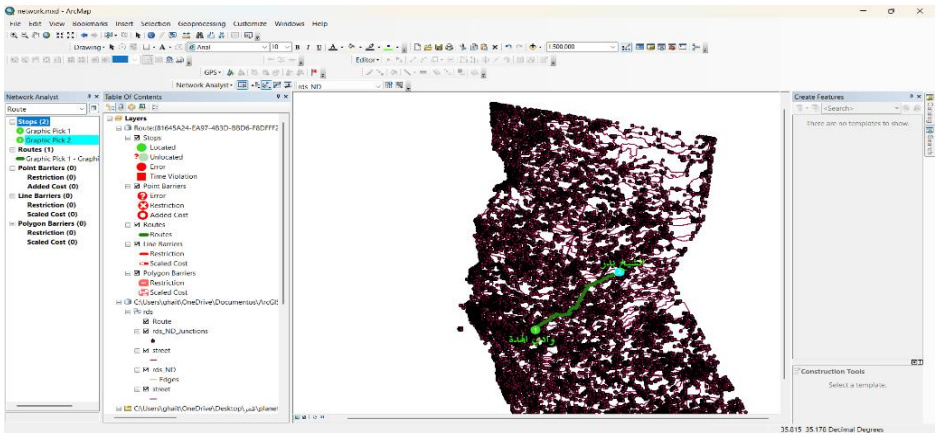


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار :

المسافة المقطوعة 56 كم

الزمن الكلي 48 دقيقة

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

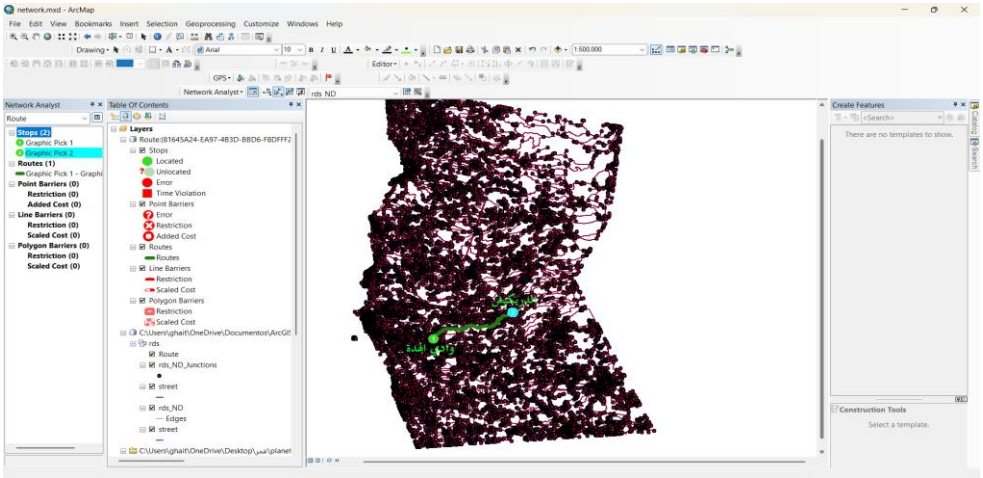


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار :

المسافة المقطوعة 27 كم

الزمن الكلي 23 دقيقة

4-المسار الامثل بين محطة ترحيل الدريكيش ووادي الهدة:

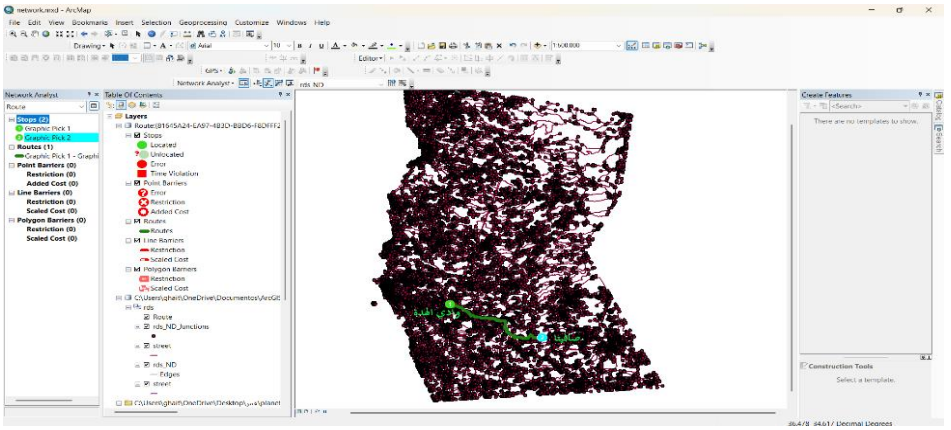


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار :

المسافة المقطوعة 19.7 كم

الزمن الكلي 17 دقيقة

5-المسار الامثل بين محطة ترحيل صافيتا ووادي الهدة:

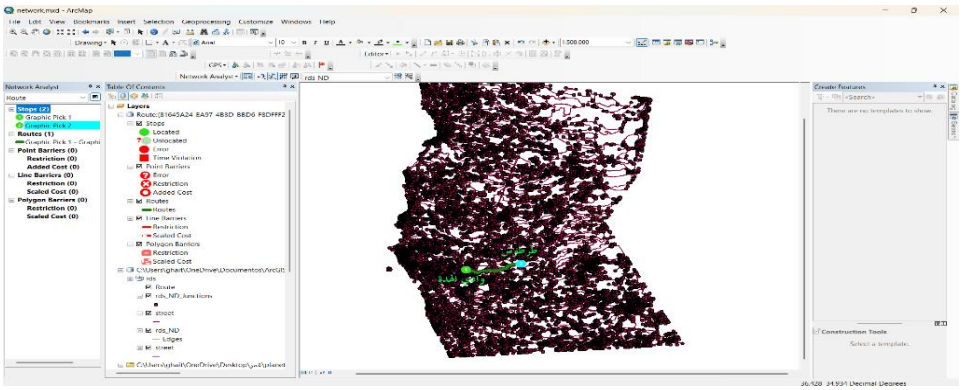


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار :

المسافة المقطوعة 25 كم

الزمن الكلي 21 دقيقة

6-المسار الامثل بين محطة ترحيل طرطوس ووادي الهدة:

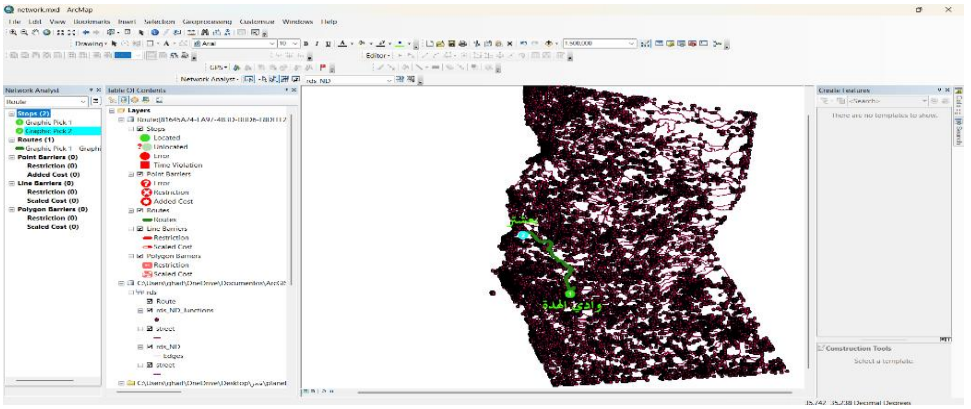


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار :

المسافة المقطوعة 12.3 كم

الزمن الكلي 10 دقيقة

7-المسار الامثل بين محطة ترحيل بعشتر ووادي الهدة:

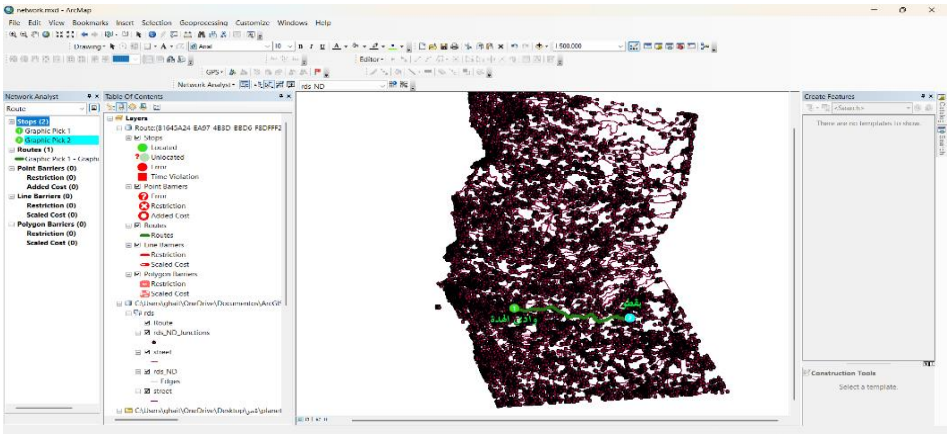


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار :

المسافة المقطوعة 27 كم

الزمن الكلي 23 دقيقة

8-المسار الامثل بين محطة ترحيل بقطو ووادي الهدة:

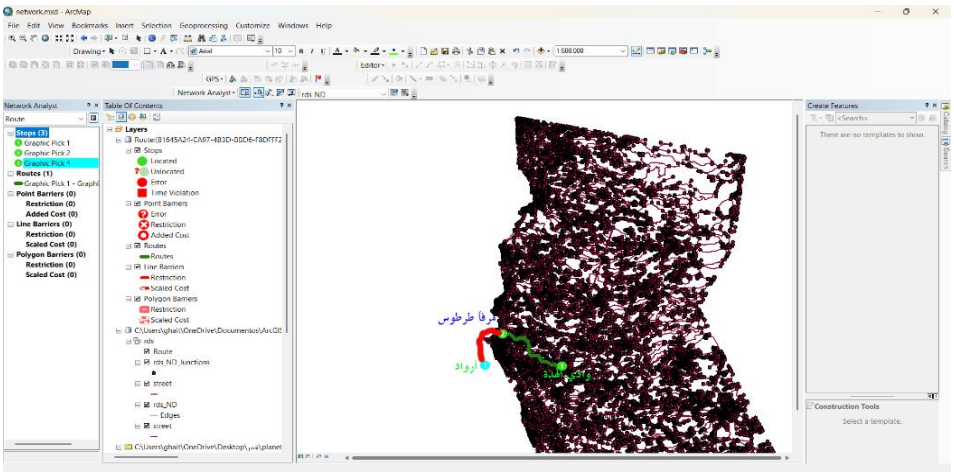


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار :

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

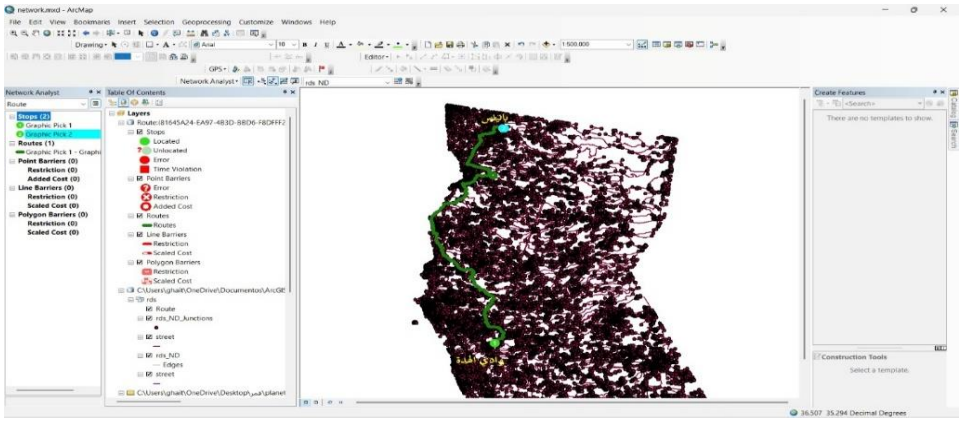
الزمن الكلي 15 دقيقة

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:

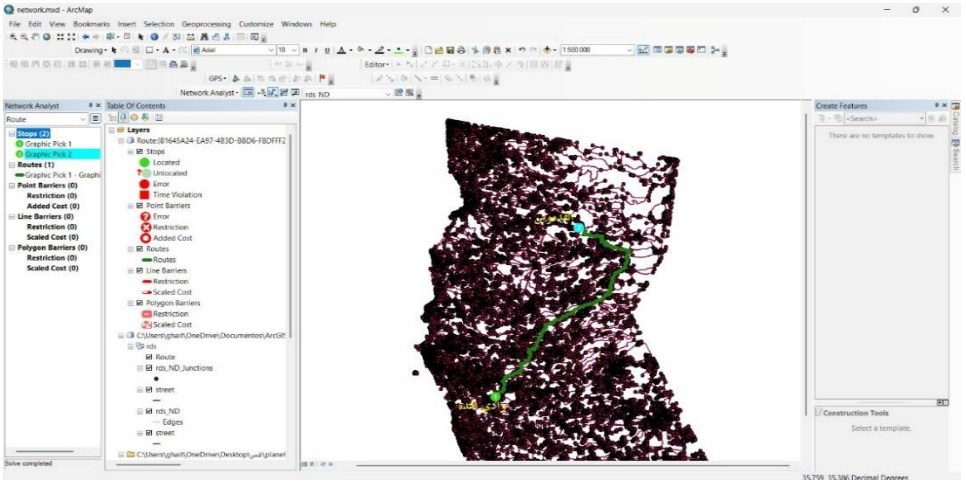


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار :

المسافة المقطوعة 91 كم

الزمن الكلي 78 دقيقة

2-المسار الحالي بين محطة ترحيل القدموس ووادي الهدة:

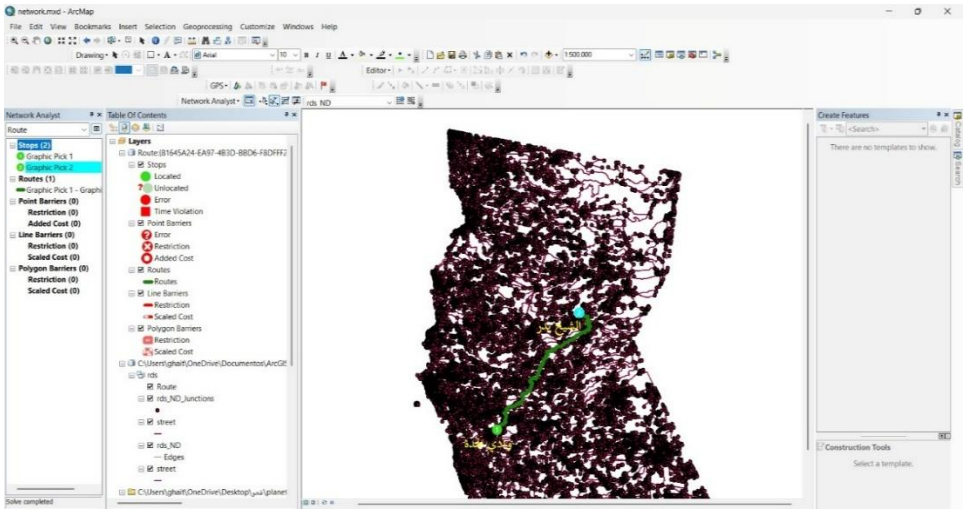


*المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار:

المسافة المقطوعة 69 كم

الزمن الكلي 59 دقيقة

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

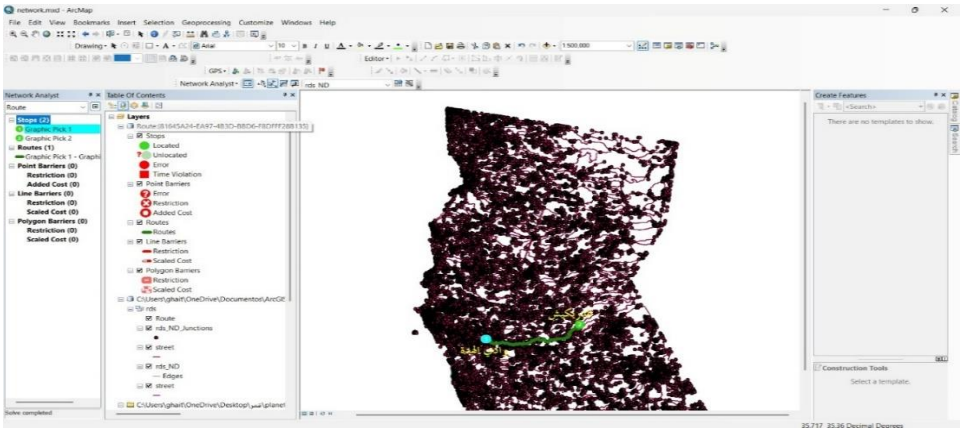


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار:

المسافة المقطوعة 38 كم

الزمن الكلي 32.5 دقيقة

4-المسار الحالي بين محطة ترحيل الدريكيش ووادي الهدة:

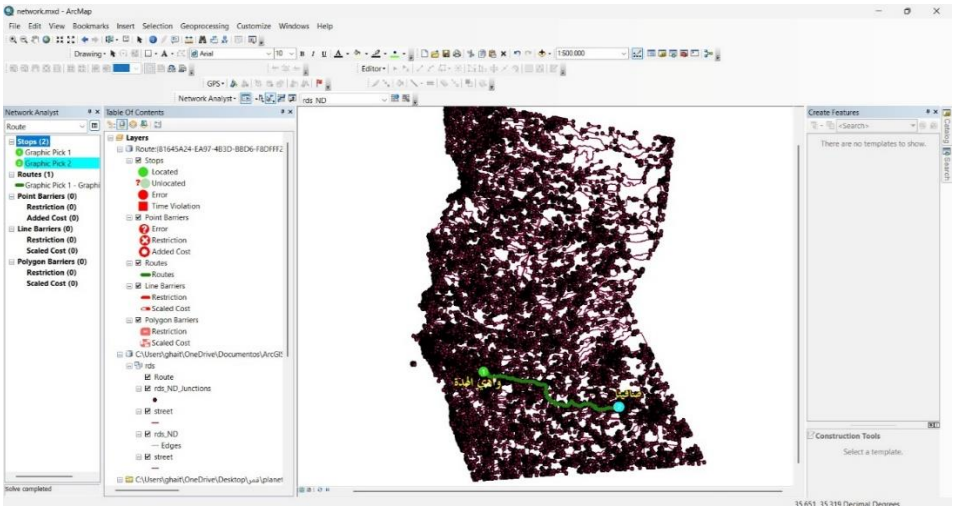


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار:

المسافة المقطوعة 22 كم

الزمن الكلي 18.8 دقيقة

5-المسار الحالي بين محطة ترحيل صافيتا ووادي الهدة:

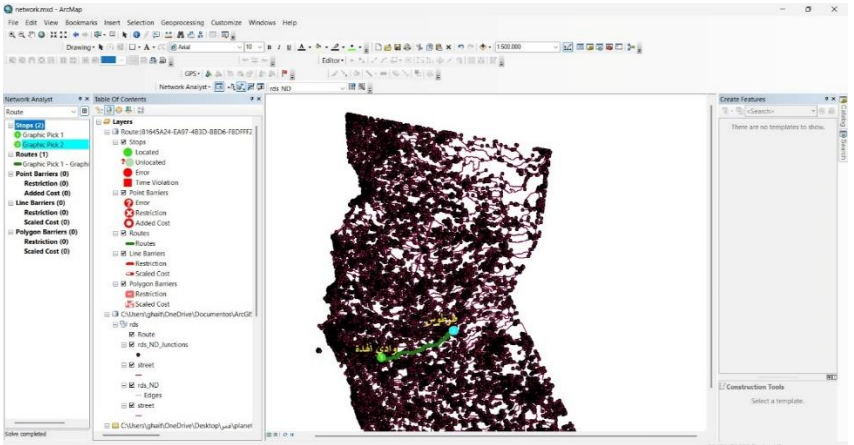


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار:

المسافة المقطوعة 33 كم

الزمن الكلي 28 دقيقة

6- المسار الحالي بين محطة ترحيل طرطوس ووادي الهدة:

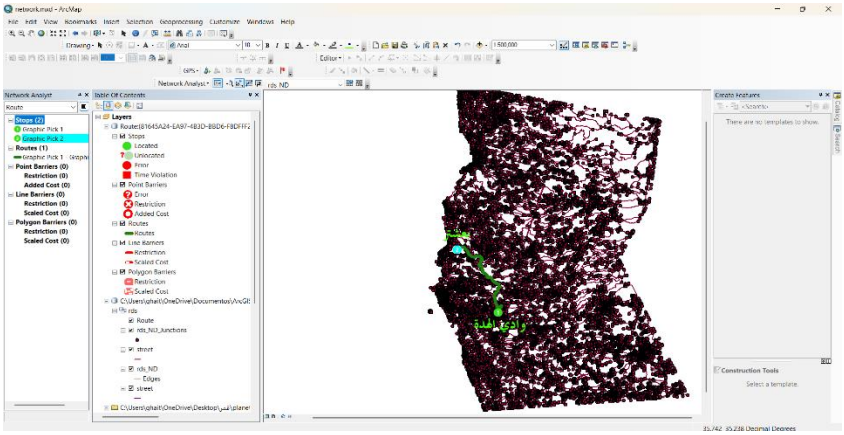


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار:

المسافة المقطوعة 19 كم

الزمن الكلي 16 دقيقة

7- المسار الحالي بين محطة ترحيل بعشتر ووادي الهدة:

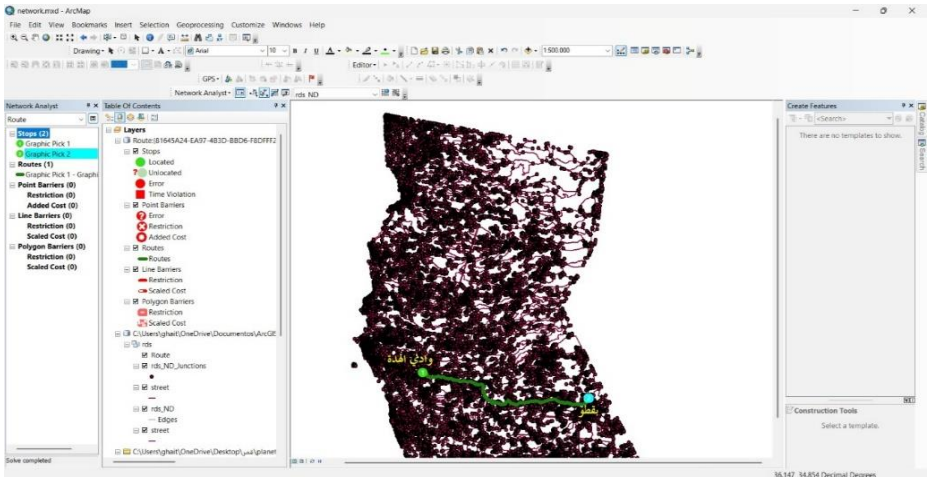


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار:

المسافة المقطوعة 29.5 كم

الزمن الكلي 24.8 دقيقة

8- المسار الحالي بين محطة ترحيل بقطو ووادي الهدة:

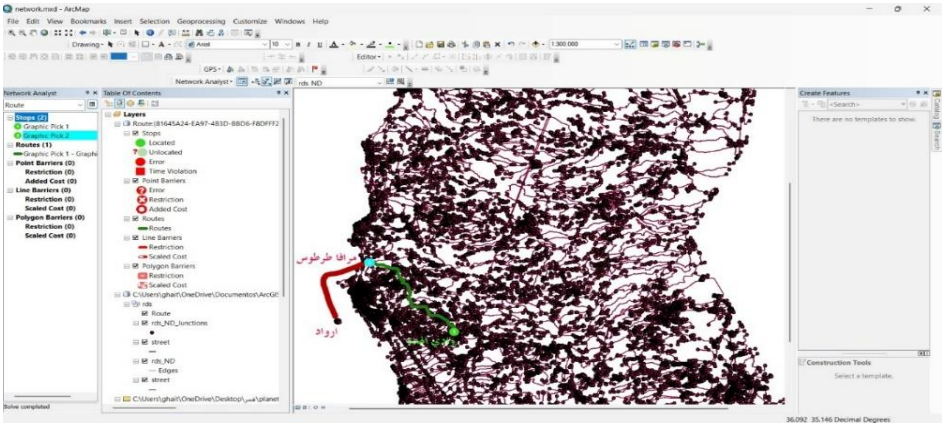


* المسافة المقطوعة بواحدة كيلو متر والزمن الكلي للمسار:

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.

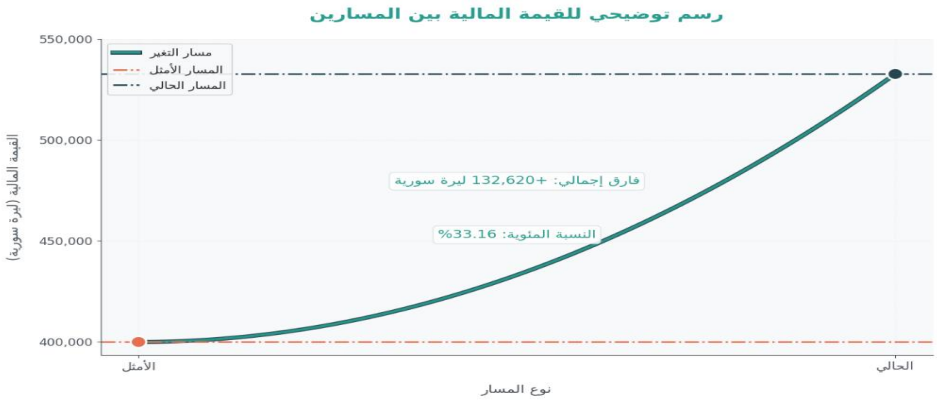
فعلى سبيل المثال، في مسار طرطوس ← وادي الهدة، يتطابق المساران تمامًا في الجزء الممتد من مدخل بلدة الدريكيش وحتى مركز المعالجة، نظرًا لعدم وجود طرق بديلة أكثر كفاءة في تلك المنطقة الجبلية. وبالمثل، في مسار صافيتا← وادي الهدة، يشترك المساران في القسم المارّ عبر وادي الحصين، حيث تُعدّ هذه الطريق الوحيدة 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

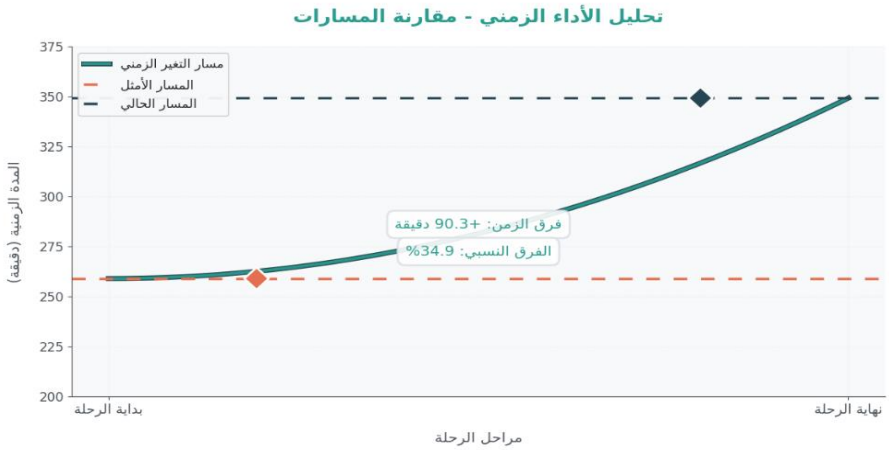
الشيخ بدر	38	27	10	37.0%	تطابق في الطريق المؤدي إلى وادي الهدة
الدريكيش	22	19.7	8	36.3%	تطابق في الجزء الأوسط من الطريق المحلي
صافيتا	33	25	9	36.0%	تطابق في محور صافيتا – الهدة
طرطوس	19	12.3	6	31.5%	تطابق في مقطع الطريق الصناعي المؤدي للمعالجة
بعشتر	29.5	27	11	37.2%	تطابق ضمن المقطع الريفي قبل مركز المعالجة
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