An Experimental Study on the Effect of Stray Currents Generated by Roads and Railways on the Corrosion of Oil Pipelines Using the Loss Weight Method and Remote Sensing Techniques

Dr. Tarek Aiashee*

(Received 2 / 4 / 2026. Accepted 14 / 5 / 2026)

□ ABSTRACT □

Corrosion of oil pipelines is among the most critical phenomena that threaten the integrity of petroleum transport systems and directly affect the infrastructure, often resulting in severe economic losses. Given the location of oil pipelines beneath or near roadways and railways, the stray currents generated by the movement of vehicles and trains can significantly accelerate corrosion processes.

This study presents an experimental investigation of the influence of stray currents produced by roads and railways on the corrosion of oil pipelines. Samples were taken from oil transport pipeline connecting the Banias and Tartous oil estuaries, installed near roads and railway lines. The corrosion rate was calculated using the weight-loss method, due to the importance of geomatics and remote sensing techniques in the field, a digital spatial corrosion risk map was produced according to pipeline proximity to roads and railways. Results showed that samples buried near roads and railways corroded three times faster than those buried farther away. The generated digital map enables decision makers to identify critical pipeline sections, monitor them periodically, and taking preventive measures to avoid leakage incidents.

Keywords: Corrosion of Oil Pipelines, Stray Currents, Weight-loss Method, Remote-Sensing Techniques.

Copyright **:**Latakia University journal (formerly Tishreen) -Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Researcher; General Organization of Remote Sensing; Coastal Branch; Latakia, Syria.**
Email: tarek.aiashee@gmail.com

دراسة عملية لتأثير التيارات الشاردية الناتجة عن الطرق والسكك الحديدية على تآكل أنابيب النفط باستخدام طريقة الوزن المفقود وتقنيات الاستشعار عن بعد

د. طارق عياشي*

(تاريخ الإيداع 2 / 4 / 2026. قُبِل للنشر في 14/ 5 / 2026)

□ ملخّص □

يُعدّ التآكل من أخطر الظواهر التي تهدّد سلامة أنابيب نقل النفط، ويُشكّل تهديدًا مباشرًا للبنية التحتية للطاقة، حيث يؤدي إلى تسربات قد تسبّب كوارث بيئية، وخسائر اقتصادية فادحة. ونظراً لموقع أنابيب النفط غالبًا تحت أو قرب الطرق والسكك الحديدية، فإن التيارات الشاردية الناتجة عن حركة المركبات والقطارات قد تُسهم في تسريع عمليات التآكل.

تم في هذه الدراسة إجراء دراسة عملية لتأثير التيارات الشاردية الناتجة عن حركة المركبات فوق الطرق والقطارات على السكك الحديدية، على تآكل أنابيب النفط، حيث تم أخذ عينات من معدن أنبوب النفط الواصل بين مصبي بانياس وطرطوس النفطيين، وزراعتها بالقرب من الطرق والسكك الحديدية لمدة عامين، ثم حُسب معدل التآكل بطريقة الوزن المفقود، ونظراً لأهمية استخدام الجيوماتية وتقنيات الاستشعار عن بعد في هذا المجال، تم إنتاج خارطة رقمية لمؤشر الخطر المكاني للتآكل في أنبوب النفط المدروس تبعاً لقربها من الطرق والسكك الحديدية، وقد أظهرت النتائج أن العينات المزروعة بالقرب من الطرق والسكك الحديدية تتآكل بمعدل أسرع بثلاثة أضعاف من العينات المزروعة بعيداً عنها، كما أن الخارطة الرقمية المنتجة، تمكن أصحاب القرار من تحديد النقاط الأكثر خطورة في الأنبوب ومراقبتها بشكل دوري، واتخاذ الاحتياطات اللازمة لمنع حدوث التسرب.

الكلمات المفتاحية: تآكل أنابيب النفط – التيارات الشاردية – الوزن المفقود – تقنيات الاستشعار عن بعد.

حقوق النشر : مجلة جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* **باحث –الهيئة العامة للاستشعار عن بعد – فرع المنطقة الساحلية – اللاذقية – سورية.**
Email: tarek.aiashee@gmail.com

مقدمة:

التآكل في أنابيب نقل النفط هو عملية تدهور كيميائي أو كهروكيميائي تؤدي إلى فقدان المادة المعدنية من جدار الأنبوب نتيجة تفاعلها مع البيئة المحيطة، سواء كانت تربة، مياه جوفية، أو تيارات كهربائية خارجية. ويعتبر التآكل أحد أخطر التهديدات التي تواجه البنية التحتية للطاقة، إذ يُقدّر أن نحو 25% من حوادث تسرب النفط عالميًا تُعزى مباشرة إلى التآكل [1]. ومن بين أشكال التآكل، يُعد التآكل الناتج عن التيارات الشاردية (Stray Current Corrosion) من أكثر الأنواع تدميرًا، خاصة في المناطق الحضرية أو القريبة من البنية التحتية الكهربائية مثل السكك الحديدية وشبكات الترام الكهربائي.

يُسبب التآكل خسائر اقتصادية هائلة، إذ تُقدر التكاليف العالمية السنوية للتآكل بنحو 2.5 تريليون دولار أمريكي، أي ما يعادل 3–4% من الناتج المحلي الإجمالي العالمي. وفي قطاع النفط والغاز وحده، تصل التكاليف إلى مئات المليارات سنويًا بين صيانة وقائية، وإصلاحات طارئة، وتعويضات بيئية [1,2].

أما الأضرار البيئية، فتتمثل في تلوث التربة والمياه الجوفية بالهيدروكربونات السامة، مما يؤدي إلى تدمير النظم البيئية لعقود. وقد تؤدي الانفجارات الناتجة عن التسرب إلى وفيات وإصابات بشرية، كما حدث في كارثة سان برونو التي أودت بحياة 8 أشخاص، أو كارثة لاغوس في نيجيريا في عام 2004 التي قُتل فيها أكثر من 250 شخص جراء انفجار أنبوب نفط مُهترئ [3].

تصبح مشكلة تآكل أنابيب النفط بفعل التيارات الشاردية في سوريا، أمراً بحاجة لحل، خاصة مع وجود أنابيب نفطية تمر قرب طرق حيوية أو خطوط سكك حديدية قديمة قد تُعاد تأهيلها مستقبلاً، مما يزيد من احتمالية تسرّب التيارات الشاردية للأنابيب وتشكيل خلايا تآكل تسبب اهتراء الأنابيب وحدوث التسرب. لذلك كان لابد من دراسة تأثير التيارات الشاردية الناتجة عن حركة الآليات على الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية، ومعرفة مقدار التآكل الذي تسببه، وتحليل النتائج باستخدام تقنيات حديثة، كتقنيات الاستشعار عن بعد والأنظمة الرافدة له كنظام المعلومات الجغرافي GIS، واستنتاج خريطة للمناطق الأكثر عرضة للتآكل بتأثير التيارات الشاردية، مما قد يقلل الخطر ويتيح لأصحاب القرار باتخاذ الإجراءات المناسبة للحد من التآكل.

الدراسة المرجعية:

هناك العديد من الدراسات التي تناولت تأثير التيارات الشاردية على تآكل الأنابيب، نذكر منها:

1- وفي عام 2015، قام Cue G وآخرون، بإجراء دراسة تحليلية عددية لتقييم تأثير التيارات الشاردية المستمرة على تآكل الأنابيب المدفونة، من خلال بناء نموذج رياضي ومحاكاته باستخدام برنامج BEASY، مع دراسة تأثير عدد من المتغيرات الهندسية والتشغيلية شملت زاوية تقاطع خطوط الأنابيب، ومسافة التقاطع، والمسافة الفاصلة بين الأنابيب المتوازية، وعمق الأنود، وشدة تيار خرج الأنود، والمقاومة النوعية للتربة. أظهرت النتائج أن وجود تقاطع بين خطوط الانابيب يؤثر بشكل واضح في جهد التآكل للأنابيب المحمية وغير المحمية، في حين لم يكن لزاوية التقاطع أو عمق الأنود تأثير معنوي واضح، كما بينت الدراسة أن انخفاض مقاومة التربة وزيادة تيار خرج الأنود يؤديان إلى تفاقم ظاهرة التآكل، بينما يسهم زيادة التباعد بين الأنابيب المتوازية في تقليل شدة التآكل [4].

2-أجرى Xinhua Wang وآخرون، في عام 2019، تجربة مخبرية لدراسة تآكل فولاذ X80 المغطى بثلاث طبقات من البولي إيتيلين في محلول كلوريد الصوديوم معرض لتيار شاردي DC، فاستخدموا اختبارات كهروكيميائية ومجهرية ثلاثية الأبعاد لتحليل مواقع التآكل وفصل الطلاء (disbondment)، فتوصلوا إلى أنه عند كثافة تيار تصل إلى 100 A/m^2، تحرك الجهد إلى قيمة أكثر إيجابية في منطقة الأنود، وتظهر تجاويف تآكل أعمق مع زيادة التيار، كما أدى التيار إلى فصل الطلاء عند الكاثود، مما قد يضعف فعالية العزل [5].

3- كما صمم Zhang Y وآخرون، في عام 2019، محاكاة عددية باستخدام عناصر منتهية (Finite Element) لدراسة توزيع الجهد والتيار على أنابيب مدفونة في التربة، تحت تأثير التيارات الشاردية DC، حيث قاموا بتحليل تأثير مقاومة التربة، والجهد الخارجي، وتصميم الأنبوب، فوجدوا أن انخفاض مقاومة التربة يؤدي إلى زيادة التآكل، وأن الأنابيب المحمية بأقطاب تضحية (أنودات) تتعرض لتآكل أقل من الأنابيب غير المحمية، ويعود ذلك إلى أن الأنود المضحي يتآكل بدلاً من الأنبوب، إذ يزوده بالإلكترونات ويحافظ عليه في حالة كاثودية تقلل من تفاعلات الأكسدة المسببة للتآكل. [6].

4- كما استخدم Zhongtian Li وآخرون، في عام 2020، نمذجة ثلاثية الأبعاد (COMSOL) لدراسة التوزّع المكاني لكثافة التيارات الشاردية الناتجة من أنظمة تأريض HVDC، وتحليل كيف تؤثر بارامترات مثل موصلية التربة، وزاوية التقاطع بين مسار الأنبوب والكابل، إضافة إلى المسافة الفاصلة بينهما، وموقع الأنبوب، على التآكل، فوجدوا أن زيادة تقارب الأنبوب من الكابل أو اتخاذ بعض زوايا التقاطع الحرجة يؤدي إلى زيادة كثافة التيار الشارد وبالتالي ارتفاع نسبة التآكل، في حين أن انخفاض موصلية التربة يقلل من شدة التداخل الكهربائي [7].

5- وفي عام 2021، صمم Wang Chengtao وآخرون، نموذجاً احتمالياً يستخدم تحليل مونت كارلو لتوقع معدل تآكل النقر (pitting) في الأنابيب، تحت تأثير التيارات الشاردية المتغيرة ديناميكيًا، حيث أخذوا بعين الاعتبار العديد من البارمترات مثل موقع المركبة، والتيارات، وخصائص التربة، فتبين أن النموذج يتيح تقديرًا أكثر واقعية للمناطق المعرضة للتآكل، ويوفر أداة قوية لتقييم المخاطر في بيئات السكك الكهربائية القريبة من الأنابيب [8].

6- اقترح Kang Sin Jae وآخرون، في عام 2021، استخدام ترسبات كلسية (كربونات الكالسيوم + هيدروكسيد المغنيسيوم) كي تشكّل حاجزًا كهربائيًا عند مواقع دخول التيار (الكاثود) للأنبوب في التربة، كما قاموا بتحليل هذه الترسبات باستخدام SEM وXRD، ونفذوا اختبارات كهروكيميائية، من بين التركيبات، كانت طبقة كربونات الكالسيوم الأكثر فعالية في تقليل التيار الداخل والتآكل، مما يجعل ترسيبها استراتيجية واقية قابلة للتطبيق [9].

7- وفي المؤتمر الدولي السادس لعلوم الحاسب، الذي تم في عام 2023، شارك الباحثان Guangwei Guo وXinyan Zhang بدراسة حول إنشاء نموذج محاكاة للعوامل المؤثرة على الأنابيب المدفونة بالقرب من مترو أنفاق، والمعرضة لتأثير التيارات الشاردية، وقد أظهرت المحاكاة أن مضاعفة تيار الجر (traction current) أو مقاومة السكة يؤدي إلى زيادة تذبذب جهد الأنبوب، وأن التربة غير المتجانسة تؤثر بشكل كبير على توزيع الجهد مما قد يزيد من مناطق التآكل [10].

8- وفي عام 2024، قام Syed Tirmiz وآخرون، بتقييم المسار الأمثل لخطوط أنابيب النفط والغاز باستخدام نظام المعلومات الجغرافية (GIS) في باكستان، بحيث يكون بعيداً عن العوامل التي تشكل خطر تآكل، كالطرق والسكك الحديدية والأنهار والمثيلات المائية، وأماكن الانحناء والمخاطر الجيولوجية، قدمت الدراسة منهجية قائمة على نظم المعلومات الجغرافية لتحديد أكثر الطرق فعالية من حيث التكلفة والأمثل لخطوط الأنابيب مع مراعاة العوامل البيئية، فتبين أن GIS أداة فعالة في تقييم التضاريس وتحليل المخاطر، وتساعد في تقدم عملية صنع القرار عند حدوث الكوارث ووجود المخاطر [11].

9- كما قام Zakowski K وآخرون، في عام 2025، بمراجعة لأساليب التقييم الميداني لمخاطر التآكل الناتج عن التيارات الشاردية من نظم السكك الحديدية DC، تركز على كيفية استخدام قياس الجهد، تحليل التذبذبات الزمنية، مراقبة الجهد الأرضي لتحديد مواقع الأقطاب الأنودية والكاثودية، أكّدت الدراسة على أهمية التشخيص المنتظم ومراقبة الجهد لتقليل مخاطر التآكل، وأوصت بتطبيق أنظمة حماية مبكرة بناءً على هذا التشخيص [12].

10- في عام 2025، قام Liang H وآخرون بإجراء دراسة شاملة لدور التيارات الشاردية الناتجة عن خطوط السكك الكهربائية على الأنابيب المدفونة، حيث قاموا بتحليل حالات الحوادث، ومدى تأثير خصائص الأنبوب والتربة والجهد وجهد العزل على التآكل، كما اقترحوا تدابير وقائية مثل الحماية الكاثودية، وتحسين العزل، وأنظمة التصريف، وتقنيات الكشف المبكر، وأظهرت الحاجة إلى استراتيجية متعددة الطبقات (حماية + مراقبة) للوقاية الفعّالة من التآكل الناتج عن التيارات الشاردية [13].

نستنتج مما سبق أن الكثير من الباحثين درس تأثير التيارات الشاردية الناتجة عن الطرق والسكك الحديدية على تآكل أنابيب النفط والغاز بأساليب مختلفة، وأظهروا أثر هذه التيارات على الأنابيب، واقترحوا الحلول المناسبة ضمن إمكانيات وموارد عالية، لذلك كان لابد من دراسة تأثير هذه التيارات على أنابيب النفط في سوريا، وتوضيح أثرها على التآكل، واستخدام تقنيات حديثة لإظهار مناطق الخطر كتقنيات الاستشعار عن بعد، واقتراح حلول تناسب إمكانياتنا المحدودة للتغلب على هذه الظاهرة بأقل التكاليف.

أهمية البحث وأهدافه:

1- على الصعيد العلمي:

تكمن أهمية هذا البحث في أنه يجمع بين الدراسة العملية التجريبية الحقلية كطريقة الوزن المفقود المستخدمة عالمياً لحساب معدل التآكل، واستخدام تقنيات متطورة كتقنيات الاستشعار عن بعد، مما يشكل مساهمة منهجية جديدة في هذا النطاق، وتقدم فائدة علمية كبيرة من خلال إنتاج خرائط رقمية تعطي مؤشر للمناطق الأكثر عرضة للتآكل، كما أنه يقدم توصيات وحلول هندسية علمية لحماية الأنابيب من التآكل بتأثير التيارات الشاردية.

2- على الصعيد التطبيقي:

يُعدّ هذا البحث ذو فائدة مباشرة لجهات اتخاذ القرار في قطاع النفط والبنية التحتية في سوريا، في مجال الصيانة الوقائية، إذ يوضح تأثير التيارات الشاردية على تآكل أنابيب النفط من خلال التجارب الحقلية، يوفّر خريطة مخاطر مكانية تُحدّد المناطق الأكثر عرضة للتآكل الناتج عن التيارات الشاردية، باستخدام أدوات متاحة (مثل

ArcGIS 10.5)، مما يُمكّن أصحاب القرار من اتخاذ الاحتياطات اللازمة لمنع حدوث التآكل والتسرب، مما يوفر الجهد والوقت والمال، ويمنع فقد المنتجات، وحدوث الكوارث.

أهداف البحث:

يهدف هذا البحث إلى:

1- دراسة تأثير التيارات الشاردية الناتجة عن حركة الآليات على الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية على تآكل أنابيب نقل النفط، بطريقة عملية تجريبية وحساب معدل التآكل باستخدام طريقة الوزن المفقود.

2- إنتاج خارطة رقمية للمناطق المعرضة للتآكل بتأثير التيارات الشاردية الناتجة عن الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية.

3- إنتاج خارطة مؤشر الخطر المكاني للتآكل بتأثير التيارات الشاردية الناتجة عن الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية.

طرائق البحث ومواده:

مواد البحث ومواردة:

1- عينات فولاذية من أنبوب النفط نوع X52، متوفرة في الشركة السورية لنقل النفط في بانياس.

2- ميزان الكتروني حساس دقته g0.001، متوفر في الشركة السورية لنقل النفط في بانياس.

3- برنامج الاكسل Excel.

4- صورة فضائية للمنطقة التي تغطي مصبي بانياس وطرطوس النفطيين، تم الحصول عليها من الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، فرع المنطقة الساحلية.

5- برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS 10.5 وملحقاته.

طرائق البحث:

1- تجهيز عينات من معدن أنبوب النفط وزراعتها في مناطق قريبة من الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية، وفي مناطق بعيدة عنها لمقارنة النتائج، وذلك لمدة عامين.

2- حساب معدل التآكل في العينات المزروعة بطريقة الوزن المفقود.

3- تحليل نتائج التآكل للعينات المزروعة ومقارنة النسب التآكلية للمناطق القريبة والبعيدة عن الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية.

4- الاستعانة بتقنيات الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافي GIS، في إعداد خارطة رقمية لأنبوب نقل النفط الواصل بين مصبي بانياس وطرطوس النفطيين، مع الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية، الواقعة في حرم أنبوب النفط الذي يحدد عالمياً بـ 500m من الجانبين.

5- إعداد خارطة رقمية تمثل مؤشر الخطر المكاني للتآكل في أنبوب النفط المدروس تبعاً لقربها من الطرق والسكك الحديدية، باستخدام أدوات التحليل المكاني التي يتيحها نظام المعلومات الجغرافي GIS.

النتائج والمناقشة:

حالة دراسية: أنبوب نقل النفط الواصل بين مصبي بانياس وطرطوس النفطيين

تم في هذا البحث دراسة تأثير التيارات الشاردية الناتجة عن حركة الآليات على الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية على تآكل أنبوب نقل النفط الواصل بين مصبي بانياس وطرطوس النفطيين، وذلك عن طريق زراعة عينات من الأنبوب نفسه في مناطق قريبة من الطرق والسكك والحديدية ومقارنتها بعينات مزروعة في مناطق بعيدة عنها.

مواصفات الانبوب المدروس:

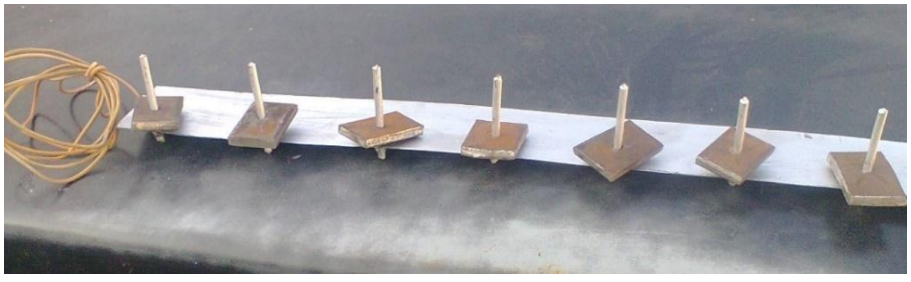
إن طول خط الأنبوب الواصل بين مصبّي بانياس وطرطوس النّفطيين هو بحدود 35 كم، وهو مدفون في التّربة على عمق 1m، وقطره 24 إنش، وهو مصنوع من مجموعة من الأجزاء طول كل جزء منها حوالي 12 متر. الأنبوب مصمّم حسب مواصفات ASTM، وهو من الفولاذ الكربوني له التّركيب الكيميائي الموضح في الجدول (1).

الجدول (1): التركيب الكيميائي للعينات المدروسة

الكبريت (S)	الفوسفور (P)	المنغنيز (Mn)	الكربون (C)	طريقة صنع الأنابيب	ASTM Spec
0.03	0.03	1.25	0.28	لحام على البارد	5L X52

تحضير العينات:

تم الحصول على قطع من الأنبوب المدروس، من الشركة السورية لنقل النفط في بانياس، وتم قصها وتقطيعها إلى قطع صغيرة على شكل متوازي مستطيلات، ومن ثم جلخها وتنظيف سطوحها، كما تم وضع ثقب في كل منها، كما تم تجهيز قاعدة من معدن الأنبوب نفسه بطول متر تقريباً وعرض12 cm، وقد نفر منها 8 قضبان، تم لحامها على القاعدة، لوضع العينات فيها، بحيث يتم أخذ 8 قراءات من كل موقع تلافياً لأي خطأ، كما تم وصل كبل نحاسي بطول متر إلى القاعدة، وذلك لوصل العينات مع علب الحماية المهبطية الموجودة على طول الخط المدروس، وتم تقسيم العينات إلى مجموعات، يتم تمييزها بأحرف انكليزية A وC وG ، ولكل حرف 8 عينات، مثلاً A1 وA2 و A3 و .... وA8، ويظهر الشكل (1) القاعدة مع الكبل النحاسي مع العينات.



الشكل (1): القاعدة الحديدية مع الكبل النحاسي مع العينات

كما تم قياس أبعاد كل العينات وحساب مساحة سطوحها، ويظهر الجدول (2) أبعاد العينة A7 وA8 ومساحة سطحها.

الجدول (2): أبعاد العينة A7 وA8 ومساحة سطحها

العينة	طول العينة cm	العرض cm	السماكة cm	مساحة الوجهين (cm2)	مساحة الجوانب (cm2)	مساحة السطح المعرض للتآكل (cm2)
A7	5.8	3.43	0.792	39.788	14.62032	54.40832
A8	5.8	3.35	0.792	38.86	14.4936	53.3536

وزن العينات قبل الزراعة:

بعد أن تم قص العينات وتجهيزها وترقيمها، تم وزن العينات على ميزان دقيق يعطي أوزان من رتبة أجزاء من الألف من الغرام (ثلاثة أرقام بعد الفاصلة)، وهو موجود في الشركة السورية لنقل النفط في بانياس.

زراعة العينات:

تم زرع العينات بالتعاون مع الفنيين في الشركة السورية لنقل النفط، حيث تم اختيار ثلاث مواقع هي:

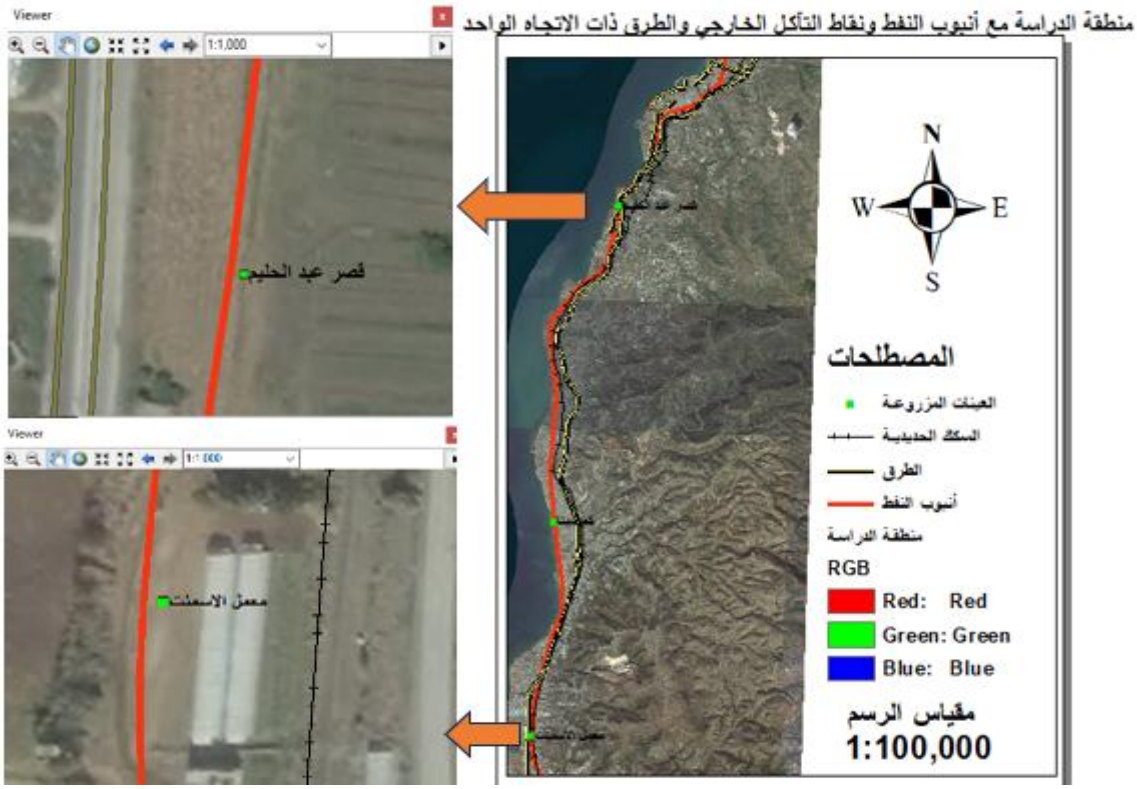
- قرب قصر عبد الحليم في بانياس حيث تكون المسافة قريبة جداً من الطرق ذات الاتجاه الواحد وهي بحدود 35m.
- قرب معمل الاسمنت في طرطوس حيث تكون المسافة قريبة جداً من السكك الحديدية وهي بحدود 47m، كما أنها قريبة من الطرق ذات الاتجاه الواحد وهي بحدود 138m.
- كفرسيتا حث تكون المسافة بعيدة عن الطرق ذات الاتجاه الواحد وهي بحدود 800m وبعيدة عن السكك الحديدية وهي بحدود 920m.

ويظهر الجدول (3) استمارة للنقاط التي تم زراعة العينات فيها مع موقع النقطة وقربها من الطرق والسكك الحديدية.

الجدول (3): استمارة للنقاط مع العوامل المسببة للتآكل في كل نقطة

موقع النقطة	رمز النقطة	المسافة بينها وبين الطرق	المسافة بينها وبين السكك الحديدية	العينات المحمية
قصر عبد الحليم	A	35m	502m	A8 -....-A2 -A1
معمل الاسمنت	C	47m	138m	C8 -.....-C2 -C1
كفرسيتا	G	800m	920m	G8 -.....-G2 -G1

كما تم الاستعانة بتقنيات الاستشعار عن بعد لتحديد أماكن زراعة العينات، من صورة فضائية ونظام المعلومات الجغرافي GIS، فتم إعداد خارطة رقمية لأنبوب نقل النفط المدروس مع الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية على نظام الـ GIS، وتم تحديد أماكن الزراعة على الخارطة مع الصورة الفضائية لمنطقة الدراسة، ويظهر الشكل (2) صورة فضائية لمنطقة الدراسة مع شريحة لأنبوب النفط المدروس ونقاط زراعة العينات بمقياس



1:100000 مع مقاطع مكبرة بمقياس 1:1000.

الشكل (2): صورة فضائية لمنطقة الدراسة مع شريحة لأنبوب النفط المدروس ونقاط زراعة العينات بمقياس 1:100000 مع مقاطع مكبرة بمقياس 1:1000

حيث يظهر في الشكل (2) صورة فضائية لمنطقة الدراسة، وقد رسم أنبوب النفط المدروس باللون الأحمر، والطرق ذات الاتجاه الواحد باللون الأصفر، والسكك الحديدية باللون الأسود، ونقاط العينات باللون الأخضر، بمقياس رسم (1:100000)، مع مقاطع مكبرة لموقعي قصر عبد الحليم حيث يظهر قربه من الطرق ذات الاتجاه الواحد، وموقع معمل الاسمنت حيث يظهر قربه من السكك الحديدية، بمقياس الرسم (1:1000).

ثم تم الحفر في المناطق المذكورة سابقاً، لعمق 1 متر تقريباً، وكانت جميع المواقع بالقرب من علب الحماية المهبطية، الموجودة على الخط المدروس، وذلك كي يتم ربط العينات المزروعة مع الحماية المهبطية التي تحمي أنبوب النفط المدروس من التآكل.

إزالة العينات ووزنها:

بعد مضي ستة أشهر على زراعة العينات في التربة، تم إزالة عينتين من كل منطقة من التربة، وتنظيفها، ووزنها، لتتكرر العملية بعد مضي عام كامل حيث تم إزالة عينتين أخرتين، وبعد عام ونصف تم إزالة عينتين، ليتبقى عينتين تم إزالتهما بعد عامين، حيث كانت المرحلة الأخيرة.

وفي كل مرحلة تم فيها إزالة العينات من التربة، كان يتم تنظيفها من التربة والعوالق ونواتج التآكل، وذلك كما يلي [14]:

1. غسل العينات بالماء لإزالة التربة عنها.
2. تجفيف العينات بواسطة أشعة الشمس.
3. غسل العينات بحمض كلور الماء الممدد بنسبة (1:3) باستخدام فرشاة بلاستيكية.
4. غسيل العينات بالماء لإزالة أثار الحمض.
5. تجفيف العينات مرة أخرى بشكل جيد بوضعها في الشمس.

وبعد عملية التنظيف يتم وزن العينات بواسطة الميزان الالكتروني الذي دقته 0.001gr، ثم يتم حساب نسب التآكل للتأكد من سير العملية بشكل صحيح.

نتائج تآكل العينات بعد عامين من الزراعة:

تم حساب فرق الوزن بالعلاقة:

$\Delta w = w1 - w0$ حيث $w0$ هو وزن العينات قبل الزراعة و $w1$ هو وزن العينات بعد عامين من الزراعة.

كما تم حساب معدل التآكل مقاساً بـ ملغ/ سم2 خلال عامين، وذلك بالعلاقة: $\text{معدل التآكل} = \frac{1000 \times \Delta w}{S}$

حيث: Δw فرق الوزن والذي يدل على الكمية المتآكلة، S مساحة السطح المعرض للتآكل.

ثم تم حساب معدل سماكة التآكل مقاساً بالسنتيمتر خلال عامين، وذلك بالعلاقة:

$$\text{معدل سماكة التآكل} = \frac{\text{معدل التآكل}}{1000 \times 7.85}$$

حيث 7.85 تمثل كثافة معدن الأنبوب.

ثم تم حساب معدل سماكة التآكل مقاساً بالميلليمتر خلال عامين، وذلك بضرب العلاقة بالعدد 10.

كما تم حساب النسبة المئوية للتآكل بالعلاقة:

$$\text{النسبة المئوية للتآكل} = \frac{\text{معدل سماكة التآكل}}{\text{سماكة الانبوب}} \times 100$$

ثم تم حساب المتوسط الحسابي للنسبة المئوية لتآكل العينات الموجودة في نفس الموقع، لتمثل النسبة المئوية النهائية للتآكل في ذلك الموقع. ويظهر الجدول (4) نتائج تآكل العينات المزروعة بعد عامين.

الجدول (4): نتائج تآكل العينات المزروعة بعد عامين

الموقع	العينة	الوزن قبل الزرع (g)	الوزن بعد عامين من الزرع (g)	مساحة السطح المعرض للتآكل (cm2)	فرق الوزن (g)	معدل سماكة التآكل (مم/ سنة)	نسبة التآكل (%)	المتوسط الحسابي لنسبة التآكل (%)
قصر عبد الحليم	A7	123.546	121.107	54.40832	2.439	3.518974672	44.4315	44.4712599
	A8	120.848	118.452	53.3536	2.396	3.525272896	44.51102	
معمل الاسمنت	C7	112.62	109.875	66.5984	2.745	3.235550704	40.85291	40.80562231

	40.75833	3.228059869	2.415	58.728	108.643	111.058	C8	
16.05996671	15.43706	1.222615474	0.762	48.92544	108.826	109.588	G7	كفرسيتا
	16.68287	1.321283253	0.918	54.54016	123.212	124.13	G8	

وبالتالي نجد أنه بعد زراعة العينات لمدة عامين في التربة، في عدة مواقع، وربطها بالحماية المهبطية الموجودة على خطوط أنابيب النفط، كانت نسب التآكل كما في الجدول (5).

الجدول (5): نسب التآكل بعد زراعة العينات في التربة لمدة عامين

الموقع	قصر عبد الحليم	معمل الاسمنت	كفرسيتا
النقطة	A	C	G
البعد عن الطرق (m)	35	138	800
البعد عن السكك الحديدية (m)	502	47	920
نسبة التآكل%	44.5	41	16

النتائج والمناقشة:

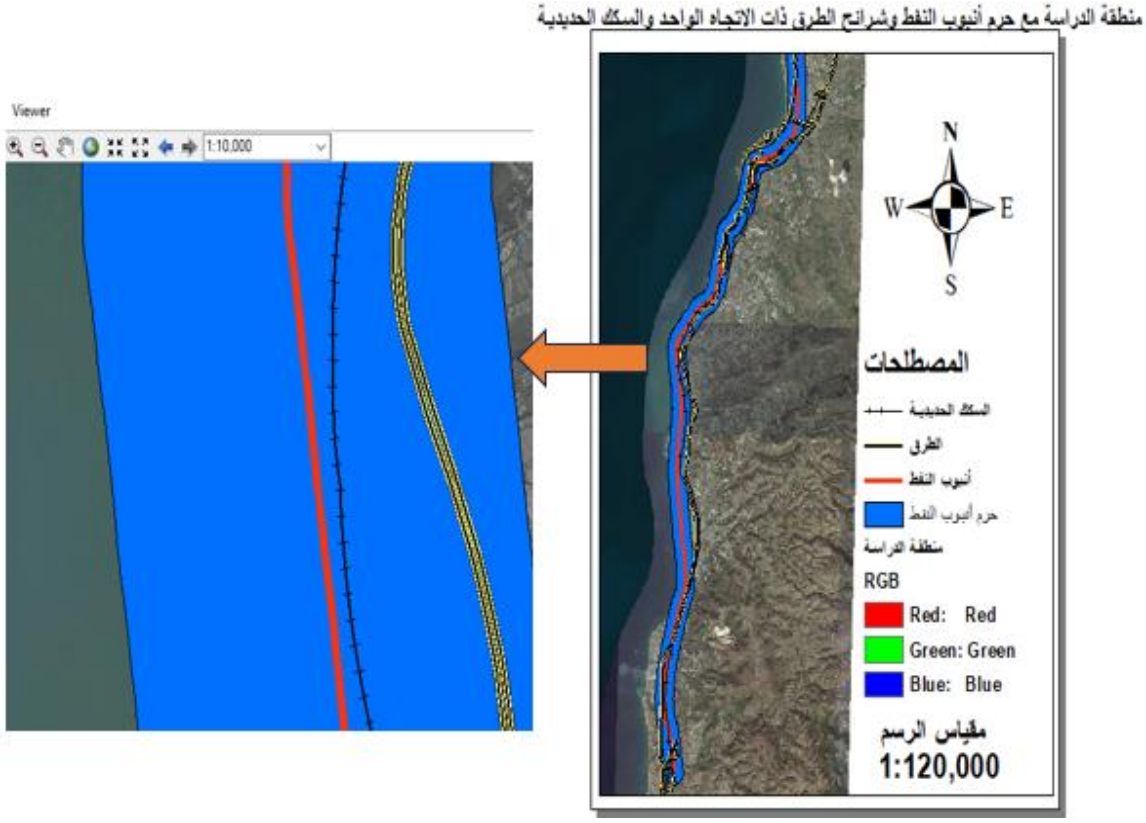
نجد من الجدول (5) أن أعلى نسبة تآكل كانت في منطقة قصر عبد الحليم حيث كانت نسبة التآكل 44.5%، حيث يظهر تأثير التيارات الشاردية الناتجة عن حركة الآليات على الطرق ذات الاتجاه الواحد بشكل كبير على تآكل العينات، كما أن نسبة التآكل في العينة C المزروعة في معمل الاسمنت، كانت عالية بسبب قربها الشديد من السكك الحديدية وقربها من الطرق، وهي أقل من نسبة التآكل في العينة A، بسبب الحركة القليلة للقطارات في هذه المنطقة، وكون المسافة عن الطرق أبعد من المسافة في منطقة قصر عبد الحليم، فكانت نسبة التآكل أقل نوعا ما، أما في منطقة كفرسيتا البعيدة عن الطرق والسكك الحديدية، فكانت نسبة التآكل قليلة حوالي 16%، وهي أقل من التآكل في منطقتي قصر عبد الحليم ومعمل الاسمنت بكثير، حيث أن نسبة التآكل في المناطق القريبة على الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية تزيد بنسبة حوالي 3 أضعاف عن التآكل في المناطق البعيدة عن الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية.

لذلك عند تصميم مسار خطوط أنابيب نقل النفط، يجب الابتعاد عن خطوط الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية والتقيد بتعليمات الأمان لمد خطوط أنابيب نقل النفط، حيث أن حرم أنبوب النفط 500m، من كل جانب للتقليل قدر الإمكان من تأثير العوامل المسببة للتآكل في أنابيب نقل النفط.

تحليل النتائج باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافي GIS:

تلعب تقنيات الاستشعار عن بعد والأنظمة الرافدة له، دوراً كبيراً في عملية الإدارة السليمة لتآكل أنابيب النفط، حيث يشكل نظام المعلومات الجغرافية GIS، أداة قوية في تحليل البيانات واستخلاص النتائج، ويوفر مستودع آمن للبيانات.

تم إنشاء خارطة رقمية لأنبوب نقل النفط المدروس، وتم إنشاء شرائح خطية للطرق والسكك الحديدية على نظام المعلومات الجغرافي ArcGIS 10.5، ومن ثم تم إنشاء Buffer حول أنبوب النفط المدروس على نظام المعلومات الجغرافية GIS، على مسافة 500m، وهو حرم أنبوب النفط، لمعرفة النقاط القريبة من الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية. ويظهر الشكل (3) صورة فضائية لمنطقة الدراسة مع شرائح الطرق والسكك الحديدية مع حرم أنبوب النفط المدروس بمقياس رسم 1:120000، مع مقطع مكبر لجزء من الأنبوب بمقياس رسم

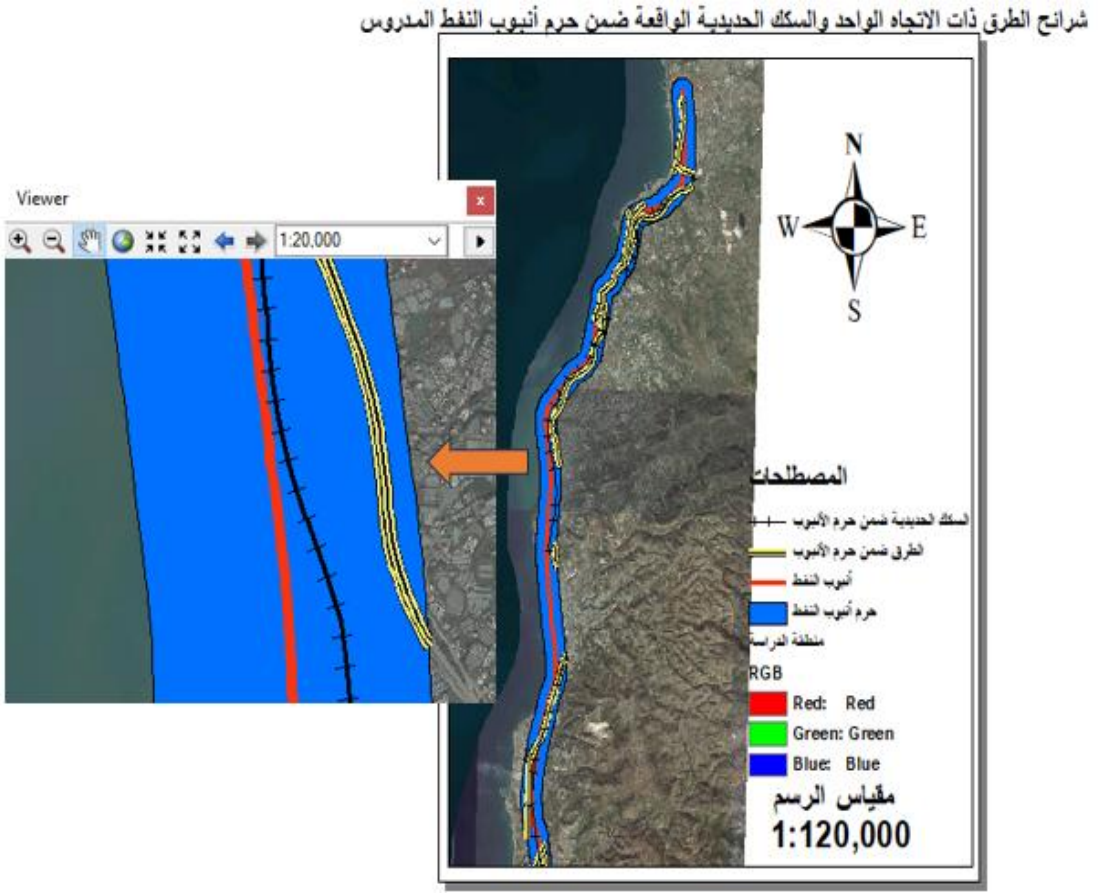


.1:10000

الشكل (3): صورة فضائية لمنطقة الدراسة مع شرائح الطرق والسكك الحديدية مع حرم أنبوب النفط المدروس بمقياس رسم 1:120000، مع مقطع مكبر لجزء من الأنبوب بمقياس رسم 1:10000

حيث يظهر الشكل (3) حرم أنبوب النفط باللون الأزرق حول أنبوب النفط المدروس وهو على مسافة 500m منه، ويظهر أنبوب النفط باللون الأحمر، كما تظهر شريحة الطرق ذات الاتجاه الواحد باللون الأصفر، وشريحة السكك الحديدية باللون الأسود، كما يظهر الشكل مقطع مكبر لأحد أجزاء الأنبوب بمقياس 1:10000، حيث يظهر في المقطع المكبر قرب الأنبوب المدروس من السكك الحديدية والطرق ذات الاتجاه الواحد، وهي ضمن حرم أنبوب النفط، مما سيؤدي إلى تآكل في أنبوب نقل النفط.

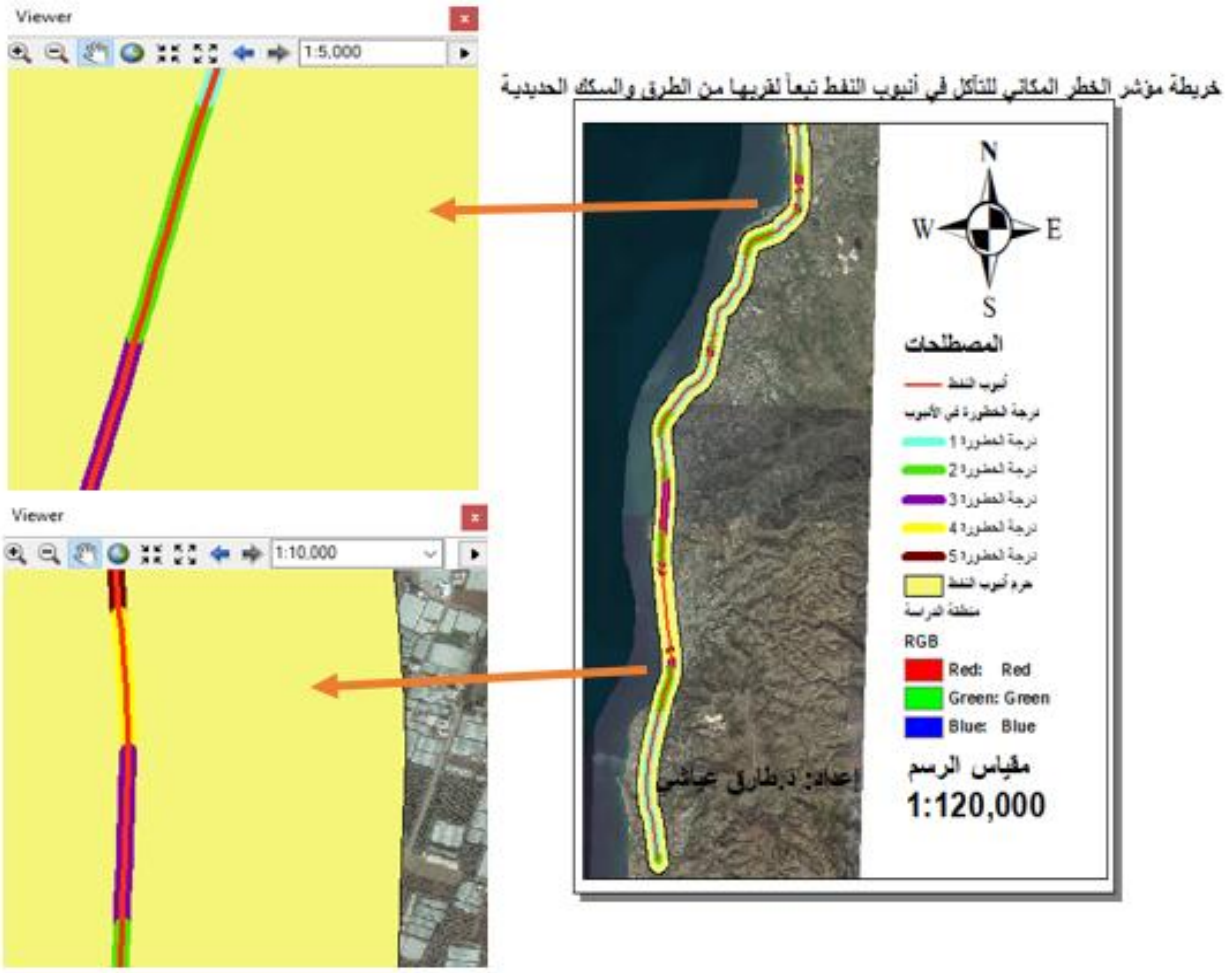
وبفضل أدوات التحليل المكاني التي يتيحها نظام الـ GIS، تم تحديد كافة الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية الموجودة ضمن حرم أنبوب النفط، حيث يظهر الشكل (4) شرائح الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية الواقعة ضمن حرم أنبوب النفط المدروس.



الشكل (4): شرائح الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية الواقعة ضمن حرم أنبوب النفط المدروس

حيث يظهر من الشكل (4) أن هناك أجزاء كبيرة من الأنبوب المدروس بالقرب من الطرق والسكك الحديدية، مما يجعلها عرضة بشكل كبير للتآكل.

إنتاج خارطة مؤشر الخطر المكاني الناتج عن تأثير الطرق والسكك الحديدية: تم تحليل المناطق الخطرة في الأنبوب والأكثر عرضة للتآكل، فتم إعادة تصنيفها حسب قربها من الطرق والسكك الحديدية، فالمناطق القريبة حتى 100 متر تعتبر مناطق عالية الخطورة، ومن 100 إلى 200 متر فهي أقل خطورة، ومن 200 إلى 300 أقل، وهكذا حتى الوصول إلى 500 متر، فتم تحليل مقاطع الانبوب على نظام الـ GIS وإعادة تصنيفها تبعا لقربها من الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية، حيث يظهر الشكل (5) خريطة توضح مؤشر الخطر المكاني للتآكل تبعاً لقربها من الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية بمقياس رسم1:120000، مع مقاطع مكبرة لأجزاء من الأنبوب بمقياس رسم 1:5000، ومقياس رسم 1:100000.



الشكل (5): خريطة مؤشر الخطر المكاني للتآكل تبعاً لقربها من الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية بمقياس رسم 1:120000، مع مقاطع مكبرة لأجزاء من الأنبوب بمقياس رسم 1:5000، ومقياس رسم 1:100000

يظهر في الشكل (5) تحليل وتصنيف لمقاطع أنبوب النفط المدروس تبعاً لقربه من الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية، حيث تم تصنيف خطورة العرضة للتآكل إلى 5 درجات، فالمناطق الأكثر خطورة تم إعطاءها الدرجة 1، والأقل خطورة تم إعطاءها الدرجة 5، وذلك وفق الجدول (6) الذي يوضح درجات الخطورة على طول أنبوب النفط المدروس.

الجدول (6): درجات الخطورة على طول أنبوب النفط المدروس

درجة الخطورة	البعد عن الطرق والسكك الحديدية (m)
درجة الخطورة 1	0-100
درجة الخطورة 2	100-200
درجة الخطورة 3	200-300
درجة الخطورة 4	300-400
درجة الخطورة 5	400-500

تظهر في الشكل (5) المناطق التي درجة خطورتها 1 باللون الأزرق الفاتح، والمناطق التي درجة خطورتها 2 باللون الأخضر، والمناطق التي درجة خطورتها 3 باللون البنفسجي، والمناطق التي درجة خطورتها 4 باللون الأصفر، والمناطق التي درجة خطورتها 5 باللون البني، في حين يظهر أنبوب النفط باللون الأحمر، وحرم أنبوب النفط باللون الأصفر الفاتح.

كما يتضح من الشكل (5) أن هناك مقاطع كبيرة من الأنبوب عرضة للتآكل بتأثير قربها من الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية، ويجب على أصحاب القرار اتخاذ التدابير المناسبة لحماية هذه الأجزاء من التآكل، وذلك عن طريق رفع تيار الحماية المهبطية وضمان استمراريتها على الخط، وباستخدام وسائل عزل خارجي للأنابيب بمواد بوليميرية فعالة، تضمن ألا يكون للتيارات الشاردية الناتجة عن حركة الآليات على الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية، تأثير في التآكل في أنابيب نقل النفط.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1- تُعد التيارات الشاردية الناتجة عن الطرق والسكك الحديدية ذات الاتجاه الواحد من العوامل التي تساهم بشكل رئيسي في تسريع تآكل أنابيب النفط المدفونة، حيث سجّلت المناطق الواقعة على مسافة أقل من 500 متر من هذه البنية التحتية معدلات تآكل تفوق المعدل الطبيعي بثلاثة أضعاف.

2- طريقة الوزن المفقود تُعد أداة موثوقة وفعالة لتقييم شدة التآكل، ونتائجها تتوافق مع التوقعات النظرية والدراسات الدولية، مما يجعلها خيارًا عمليًا للباحثين في السياقات المماثلة.

3- تعتبر تقنيات الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافي، من أهم وأفضل الوسائل لتحليل المعطيات المكانية واستخلاص النتائج، واستخدامها في عملية الإدارة السليمة لتآكل أنابيب النفط يعتبر في غاية الأهمية وطريقة فعالة للغاية.

4- أثبتت الدراسة أنه يمكن استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافي في تحديد الأماكن الأكثر عرضة للتآكل بتأثير التيارات الشاردية الناتجة عن الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية، مما يسمح لأصحاب القرار باتخاذ الاحتياطات اللازمة والتدابير الوقائية لمنع حدوث التآكل والتسرب.

5- ضرورة تعميم الدراسة لتشمل كافة أنابيب نقل النفط في سوريا، فيتم إنتاج خريطة رقمية للمواقع الخطرة في أنابيب نقل النفط والأكثر عرضة للتآكل بتأثير التيارات الشاردية الناتجة عن الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية.

التوصيات:

- **توصيات هندسية:**

1- عزل كهربائي إضافي أنابيب نقل النفط في المناطق الواقعة على مسافة أقل من 500 متر من الطرق ذات الاتجاه الواحد والسكك الحديدية، وذلك باستخدام طبقات عازلة عالة الجودة.

2- زيادة تيار الحماية المهبطية في المناطق الساخنة المحددة في الخارطة الناتجة عن نظم المعلومات الجغرافي GIS وتقنيات الاستشعار عن بعد.

3- إعادة توجيه مسارات أنابيب نقل النفط المستقبلية بعيداً عن البنية التحتية الكهربائية قدر الأمكان، أو ضمان وجود عازل ترابي مثل طبقة رمل جاف بين الأنبوب ومصدر التيار.

4- تركيب أقطاب أرضية في المناطق الأكثر خطورة، أي بالقرب من أماكن التقاطعات بين الأنبوب والطرق أو بين الأنبوب والسكك الحديدية، أو استخدام أنظمة لتحويل التيارات، وذلك لتوجيه التيارات الشاردية بعيداً عن الأنبوب.

- **توصيات إدارية وتشغيلية:**

1- اعتماد خريطة الخطر المكاني كأداة توجيهية لفرق الصيانة، لتقليل الاعتماد على الفحص العشوائي، وتركيز الجهود على المناطق عالية الخطورة.

2- دمج بيانات الاستشعار عن بعد (Sentinel, Landsat) في نظام مراقبة دوري (كل 3-6 أشهر)، لرصد المؤشرات المبكرة للتآكل، خاصة في المناطق البعيدة، والتي يصعب الوصول إليها ميدانياً.

3- إنشاء قاعدة بيانات رقمية تشمل مواقع الأنابيب، ومسارات البنية التحتية الكهربائية، ونتائج الفحوصات الدورية، ويمكن أن يتم ذلك بسهولة على نظام المعلومات الجغرافي GIS.

4- تدريب الكوادر الفنية على تفسير مؤشرات الاستشعار عن بعد، وربطها بالمخاطر التآكلية، كجزء من برامج السلامة التشغيلية للأنابيب.

- **التوصيات البحثية المستقبلية:**

1- توسيع نطاق الدراسة لتشمل محافظات سورية أخرى مثل حمص أو دير الزور، لبناء نموذج وطني لتقييم خطر التيارات الشاردية.

2- تطوير نموذج تنبؤي باستخدام الذكاء الاصطناعي لتقدير معدل التآكل.

3- دراسة تأثير التيارت المتناوبة الناتجة عن خطوط الطاقة الكهربائية المتوسطة والعالية الجهد، والتي قد تشكل خطراً كبيراً على تآكل أنابيب النفط.

4- اختيار مواد عازلة محلية الصنع أو منخفضة التكلفة مثل الخلطات البوليميرية المحسنة، لعزل الأنابيب ولحمايتها من التآكل.

References:

[1] H. Alobaydee, T. Abd Alrazzak , " Study of The Effect of Carbon Contents on The Corrosion Rate of Carbon Steels", * Journal of Technology and Engineering *, vol. 28, no.4, pp. 1–14, 2010. (in Arabic)

[2] W. Baeckmann, W. Schwenk, W. Prinz, *Handbook of Cathodic Corrosion Protection*, Theory and Practice of Electrochemical Protection Processes,Third Edition, USA: Gulf Publishing, 1997.

[3] E.O.Omadanisi and A.O.Eludoyin and A.T.Salami, "A multi-perspective view of the effects of a pipeline explosion in Nigeria", *Interntional Jornal of Disaster Risk Reducation*, vol. 7, pp. 68–77, 2014.

[4] G. Cui and Z. Li and C. Yang and M. Wang, " The influence of DC stray current on pipeline corrosion ", *Springer Nature Link*, vol. 13, pp. 135–145, 2015.

[5] X. Wang and Z. Wang and Y. Chen and X.Song and Y. Yang, " Effect of a DC Stray Current on the Corrosion of X80 Pipeline Steel and the Cathodic Disbondment Behavior of the Protective 3PE Coating in 3.5% NaCl Solution ", * Coatings *, vol. 9, no. 1, 2019.

[6] Y. Zhang and Q. Feng and L. Yu and C. Wu and S. Ng and X. Tang, "Numerical modelling of buried pipelines under DC stray current corrosion", *Journal of Electrochemical Science and Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 125–134, 2019.

[7] Z. Li and M. Niasar and M. Kavian and F. Wild, "Analysis of Stray Current Corrosion on Buried Pipeline due to HVDC Grounding Current", *2020 IEEE 29th International Symposiem on Industrial Electronics (ISIE)*, Delft, Netherlands, 2020.

[8] C. Wang and W. Li and Y. Wang, "A probabilistic□based model for dynamic predicting pitting corrosion rate of pipeline under stray current interference", *Journal of Pipeline Science and Engineering*, vol. 1, no. 3, pp. 339–348, 2021.

[9] S. Kang and M. Hong and J. Kim, "Method for Mitigating Stray Current Corrosion in Buried Pipelines Using Calcareous Deposits", *Materials*, vol. 14, no. 24, 2021.

[10] X. Zhang and G. Guo, "Simulation of Influencing Factors of Buried Pipeline Stray Current Interfered by Subway", * 6th International Conference on Computer Engineering (ICCIA)*, vol. 35, pp. 140-148, 2023.

[11] S.T. Tirmizi and S.R. Tirmizi and S.H. Tirmizi, "Optimal Route Assessment of Oil and Gas Pipelines using Geographic Information System (GIS)" , *International Journal of Geological and Geotechnical Engineering*, vol. 10, no. 1, 2024.

[12] K. Żakowski and M.Szociński and S. Krakowiak, "Assessment Methods for DC Stray Current Corrosion Hazards in Underground Gas Pipelines: A Review Focused on Rail Traction Systems", *Energies*, vol. 18, no. 21, 2025.

[13] H. Liang and Y. Wu and B. Han and N. Lin and J. Wang and Z. Zhang and Y. Guo, "Corrosion of Buried Pipelines by Stray Current in Electrified Railways: Mechanism, Influencing Factors, and Protection", *Applied Sciences*, vol. 15, no. 1, 2025.

[14] A. Sumayh and A. Dorieh and A. Shatha and K. Fatimah and A. Aljawharah and A. Fatimah and A. Razan," An Anomaly Detection Model for Oil and Gas Pipelines Using Machine Learning",*Computation*, vol. 10, no. 8, 2022.