

Sustainability Strategy to Protect Sebha-Brack Road from Sand Encroachment

Mohamed Alsbhaw¹, Mohammed Inweer^{2*}

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sebha University, Libya

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Wadi Alshatti University, Libya

ARTICLE HISTORY

Conference date:

23 November 2024

Online 12 March 2025

KEYWORDS

Sustainability;

Field analysis;

Desert areas;

Sand encroachment;

Sebha-Brack road.

ABSTRACT

Sebha-Brack road in Libya faces major challenges due to sand encroachment, a phenomenon that threatens infrastructure and public safety. This study aims to compare traditional techniques such as using plants as natural barriers with modern engineering solutions to protect the road from sand encroachment. Through comprehensive research, surveys, and field analysis, we seek to find sustainable solutions that balance cost, effectiveness, and environmental impact. The study also includes field analysis and surveys of travellers, government agencies, and engineers to evaluate the best ways to protect the road in the long term.

إستراتيجية الاستدامة لحماية طريق سبها براك من زحف الرمال

محمد السبهاوي¹، محمد انوير^{2*}

الكلمات المفتاحية	المخلص
الاستدامة	يواجه طريق سبها براك في ليبيا تحديات كبيرة بسبب زحف الرمال، وهي ظاهرة تهدد البنية التحتية والسلامة العامة، تهدف هذه الدراسة إلى مقارنة التقنيات التقليدية باستخدام النباتات كحواجز طبيعية مع الحلول الهندسية الحديثة لحماية الطريق من زحف الرمال من خلال إجراء بحث شامل واستبيانات وتحليل ميداني للعثور على حلول مستدامة توازن بين التكلفة والفعالية والتأثير البيئي، تشمل الدراسة أيضا تحليلا ميدانيا واستبيانات للمسافرين والجهات الحكومية والمهندسين لتقييم أفضل الطرق لحماية الطريق على المدى الطويل.
التحليل الميداني	
المناطق الصحراوية	
زحف الرمال	
طريق سبها-براك	

الأحزمة الخضراء واحدة من الحلول التقليدية التي تم تبنيها منذ عقود لمكافحة زحف الرمال. تعتمد هذه الطريقة على زراعة صفوف من الأشجار والشجيرات على جانبي الطريق لتقليل سرعة الرياح ومنع الرمال من التراكم على الأسطح المعبدة. هذه الطريقة ليست فعالة فقط في تقليل زحف الرمال ولكنها تساهم أيضا في تحسين البيئة المحيطة بالطريق من خلال تثبيت التربة وزيادة الغطاء النباتي [3]. ومع ذلك فمن العيوب الرئيسية لهذه الوسيلة هو الوقت الطويل الذي تحتاجه الأشجار لتنمو بشكل كافٍ بالإضافة إلى الحاجة إلى كميات كبيرة من المياه في المناطق الصحراوية القاحلة [4]. تقليدياً، تم استخدام العديد من النباتات والشجيرات لتثبيت الكثبان الرملية ومنع وصول الرمال إلى الطرق. تعد أشجار الأكاسيا والتمرهندي والكاكازوارينا من الأشجار القادرة على العمل كحواجز للرياح وتثبيت الرمال المتحركة [5].

استخدام الوسائل الحديثة لمكافحة زحف الرمال: مع تقدم التكنولوجيا ظهرت وسائل حديثة أكثر فعالية وسرعة في مكافحة زحف الرمال فعلى

المقدمة

يُعد زحف الرمال أو عملية حركة وتراكم الرمال على الطرق والبنية التحتية الأخرى مشكلة رئيسية في المناطق القاحلة وشبه القاحلة مثل ليبيا وخاصة على طريق سبها براك، الشكل (1). يمكن أن يؤدي تراكم الرمال إلى انسداد الطرق وخلق ظروف قيادة خطيرة ويتطلب صيانة مستمرة ومكلفة [1]، يتأثر مدى خطورة هذه الظاهرة بعدة عوامل مثل الغطاء النباتي ونوع التربة والأنشطة البشرية. يعد زحف الرمال من أكبر التحديات البيئية والهندسية التي تواجه الطرق في المناطق الصحراوية، حيث تؤدي هذه الظاهرة إلى تراكم الرمال على الطرق مما يسبب العديد من المشاكل مثل تقليل كفاءة الطرق وزيادة احتمالية الحوادث ورفع تكاليف الصيانة [2]. تم استخدام وسائل تقليدية وحديثة في العديد من الدول التي تتعرض لمثل هذه الظاهرة وذلك للحد من زحف الرمال وحماية الطرق الحيوية كطريق سبها براك في ليبيا.

استراتيجيات الاستدامة لحماية طريق سبها براك من زحف الرمال استخدام التقنيات التقليدية والحديثة: تعد الوسائل الطبيعية مثل زراعة

*Corresponding author: m.inweer@wau.edu.ly

https://doi.org/10.63318/waujpas.sp1FCRTA-2024.13

تهدف هذه الورقة إلى استكشاف الأساليب التقليدية والحديثة لمكافحة زحف الرمال على طول طريق سبها براك من خلال إجراء دراسات ميدانية واستبيانات وتحليل تفصيلي للتقنيات المختلفة، نسعى لتحديد استراتيجية مستدامة وفعالة من حيث التكلفة لحماية الطريق على المدى الطويل.

المنهجية

تعرض طريق سبها براك الصحراوي إلى مشكلة زحف الرمال وهي ظاهرة بيئية تواجه الطرق في المناطق الصحراوية مما يسبب تدهور البنية التحتية وصعوبة الحركة، يهدف هذا الجزء من البحث إلى استكشاف استراتيجيات الاستدامة التي يمكن تطبيقها لحماية الطريق من زحف الرمال مما يعيق النقل ويزيد من تكاليف الصيانة، ويعد هذا الطريق من الطرق الحيوية المتعرضة بشكل مستمر لظاهرة زحف الرمال، تم استخدام منهجية متعددة الجوانب تشمل التحليل الميداني والاستبيانات وتحليل البيانات البيئية ويهدف البحث إلى:

1. تحليل أسباب زحف الرمال على طريق سبها براك.
 2. استكشاف استراتيجيات الاستدامة المناسبة لحماية الطريق.
 3. تقديم توصيات قابلة للتنفيذ لتقليل تأثير زحف الرمال
- تتضمن هذه الدراسة تحليلاً مقارناً بين الأساليب التقليدية والحديثة لحماية الطرق من زحف الرمال، وقد تم التركيز على طريق سبها براك الممتد لمسافة 70 كيلومتر والذي يتعرض بشكل مستمر لزحف الرمال كما سبق ذكره، وتشمل المنهجية الخطوات التالية:-

1. الدراسة الميدانية: تم تقسيم الطريق إلى عشرة مقاطع بطول 5 كيلومترات لدراسة مدى زحف الرمال وتم فحص العوامل التي تساهم في حركة الرمال مثل سرعة الرياح ونوع التربة والغطاء النباتي وارتفاع كل مقطع ومن تم استخدام هذه الملاحظات لتحديد أفضل استراتيجيات التخفيف.
2. مقارنة الأساليب التقليدية: حيث تم تحليل الأشجار والنباتات مثل الأكاسيا والكازوارينا والأثل والغضا والساليكورنيا بناءً على احتياجاتها المائية وظروف الزراعة وعمرها الافتراضي الموضحة في الجدول (2)، كذلك تم حساب تكلفة زراعة هذه النباتات ورعايتها مع الأخذ في الاعتبار عوامل مثل توفر المياه وظروف التربة والعمالة.
3. مقارنة الأساليب الحديثة: حيث تم تحليل الأدوات الحديثة مثل السياج الرملي والأقمشة الجيولوجية والمثبتات البوليمرية من حيث الفعالية والتكلفة والتأثير البيئي وتم قياس الوقت المطلوب لتركيب هذه الأدوات وصيانتها بالإضافة إلى عمرها الافتراضي.
4. الاستبيانات: تم إجراء استبيانات لعدة مجموعات مستخدمة للطريق وتشمل:

- المواطنون والمسافرون: ركزت الأسئلة على تصورهم لسلامة الطريق وتأثير زحف الرمال والأساليب المفضلة لديهم للتخفيف من هذه الظاهرة.
- الجهات الحكومية (وزارة البنية التحتية والشرطة): تم الاستفسار عن جهودهم في صيانة الطريق والموارد المخصصة لمكافحة زحف الرمال.

سبيل المثال، استخدام مصدات الرياح الصناعية التي تُصنع من مواد متقدمة مثل الألياف الزجاجية أو البلاستيك القوي والتي تعمل كحواجز في مواجهة الرياح القوية. كما تشمل التقنيات الحديثة الحواجز الاصطناعية كالسياج الرملي والمواد المثبتة للتربة القائمة على البوليمرات وكذلك تصاميم الطرق المبتكرة التي تمنع تراكم الرمال [6]. هذه الوسيلة تم استخدامها بنجاح في العديد من الدول مثل الإمارات العربية المتحدة حيث ساهمت في تقليل تراكم الرمال بشكل كبير على الطرق الحيوية [7]. بالإضافة إلى ذلك ظهرت تقنيات حديثة مثل المواد المثبتة للتربة التي تعتمد على رش مواد كيميائية صديقة للبيئة على التربة الصحراوية لتثبيتها ومنع حركتها بفعل الرياح، ولكل من هذه الأساليب مزاياه وعيوبه وتختلف فعاليتها بناءً على عدة عوامل كالمناخ والتضاريس وتوفر الموارد.



الشكل 1: زحف الرمال على طريق سبها براك

يتعرض طريق سبها براك وهو طريق رئيسي يربط بين المناطق الوسطى والجنوبية من ليبيا لتأثيرات زحف الرمال بسبب قربه من الصحراء الكبرى، وتوجد عدة عوامل تساهم في زحف الرمال على طول هذا الطريق منها الرياح القوية في المنطقة وقلة الغطاء النباتي وضعف الصيانة [8]. وتصبح المشكلة أكثر حدة خلال المواسم الجافة حيث تزداد سرعة الرياح وتقل رطوبة التربة مما يزيد من تأكلها وبالتالي حركة الرمال.

لطالما استخدمت ليبيا النباتات لمكافحة زحف الرمال. ففي مناطق مثل سبها تم بذل جهود منذ الستينيات لزراعة الأشجار والشجيرات المحلية على طول الطرق السريعة [9]. حققت هذه الجهود بعض النجاح في تخفيف المشكلة لكن نقص المياه والصيانة بالإضافة إلى المناخ الصحراوي القاسي أدت إلى تدهور هذه الحواجز الخضراء بمرور الوقت، من ناحية أخرى أثبتت الحلول الحديثة فعاليتها من حيث المتانة والأداء، فعلى سبيل المثال تم تركيب السياج الرملي والحواجز الاصطناعية في عدة مناطق وأعطت نتائج متفاوتة [10]. بالرغم من أن هذه الحلول أكثر تكلفة إلا أنها تقدم حماية فورية وتتطلب كميات أقل من الماء مقارنة بالطرق التقليدية القائمة على النباتات. ومع ذلك يبقى التأثير البيئي لهذه المواد واستدامتها على المدى الطويل موضوعاً يستدعي الدراسة.

أهمية الصيانة: يجب تحسين بنية الطريق باستخدام طبقات مقاومة للتآكل وتقليل تأثير حركة المركبات على الرمال المحيطة.
النتائج المتوقعة: تقليل تآكل الطريق وزيادة عمرها الافتراضي.
6. الكيلومتر 30 - غياب مصدات الرياح الصناعية
الوضع الحالي: الموقع يعاني من كثافة الرياح التي تؤدي إلى تراكم الرمال على الطريق.

أهمية الصيانة: تعتبر هذه المنطقة مستعجلة، ويجب تركيب مصدات رياح صناعية فعالة.

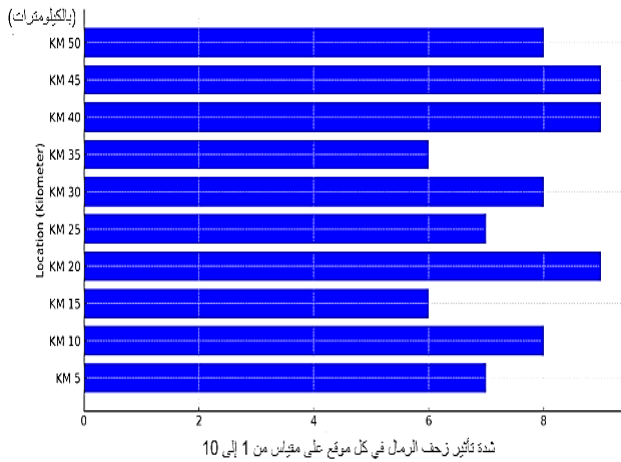
النتائج المتوقعة: تقليل تراكم الرمال بشكل كبير وزيادة فعالية حركة المرور.
7. الكيلومتر 35 - عدم استقرار التربة
الوضع الحالي: التربة غير مثبتة بشكل جيد، مما يجعل الرمال تتحرك بسهولة نحو الطريق.

أهمية الصيانة: يجب تطبيق تقنيات تثبيت التربة الكيميائية لتحسين استقرار الأرض ومنع حركة الرمال.

النتائج المتوقعة: استقرار التربة سيقبل من زحف الرمال بشكل ملحوظ.
8. الكيلومتر 40 - وجود كتبان رملية قريبة

الوضع الحالي: توجد كتبان رملية تتحرك تدريجياً باتجاه الطريق.
أهمية الصيانة: هذه النقطة حرجة ويجب اتخاذ إجراءات فورية تشمل إزالة الكتبان الرملية أو تثبيتها.

النتائج المتوقعة: تقليل التراكم المستمر للرمل وزيادة سلامة الطريق



الشكل 2: التحليل الميداني لأسباب زحف الرمال على طريق سها براك

الكيلومتر 45 - تآكل الأرض بفعل الرياح
الوضع الحالي: الرياح القوية تساهم في تآكل الأرض، مما يزيد من خطر تراكم الرمال على الطريق.

أهمية الصيانة: يجب استخدام حلول طويلة الأمد تشمل تثبيت التربة وإنشاء حواجز طبيعية.

النتائج المتوقعة: تقليل تأثير الرياح على التربة وتحسين استدامة الطريق.
10. الكيلومتر 50 - قرب الطريق من مسار الوادي

الوضع الحالي: الطريق قريب من وادي يحمل الرمال مع الرياح القوية.
أهمية الصيانة: يمكن إنشاء حاجز مائي أو جدار لحماية الطريق من تدفق الرمال مع الرياح.

النتائج المتوقعة: تقليل تراكم الرمال التحليل البيئي

المهندسون وأعضاء هيئة التدريس في الجامعات: هدفت الأسئلة الموجبة إليهم إلى فهم فعالية الأساليب المختلفة وإمكانية تحسينها.
5. تحليل البيانات: تم تحليل البيانات التي تم جمعها من الاستبيانات والدراسات الميدانية وتقديمها في جداول ورسوم بيانية ومخططات مقارنة لتوضيح أفضل الاستراتيجيات لحماية الطريق على المدى الطويل.

النتائج والمناقشة

التحليل البيئي

التحليل المنطقي والشامل للجدول التحليلي الميداني لمنطقة طريق سها براك الصحراوي (أسباب زحف الرمال على الطريق): يوضح الجدول (1) تحليلاً ميدانياً مفصلاً لأسباب زحف الرمال على طول طريق سها براك في عشرة مواقع رئيسية ويكشف عن عدة عوامل مهمة تؤدي إلى تراكم الرمال على الطريق وتؤثر على سلامة وكفاءة استخدامه. في هذا التحليل الشامل سنركز على النقاط المهمة والمستعجلة التي تحتاج إلى صيانة فورية مع توضيح الأسباب وراء زحف الرمال في كل منطقة.

1. الكيلومتر 5 - قلة الغطاء النباتي

الوضع الحالي: يظهر في هذا الموقع قلة الغطاء النباتي، ما يؤدي إلى سهولة تراكم الرمال على الطريق بسبب الرياح القوية.

أهمية الصيانة: يعتبر هذا الموقع من الأولويات في الصيانة، حيث يمكن معالجة المشكلة من خلال زراعة النباتات والشجيرات على جانبي الطريق لتقليل زحف الرمال.

النتائج المتوقعة: زراعة الغطاء النباتي سيقبل من حركة الرمال بشكل كبير.
2. الكيلومتر 10 - تأثير الرياح الشرقية

الوضع الحالي: الموقع يتعرض لرياح شرقية قوية تحمل الرمال من المناطق الصحراوية المجاورة نحو الطريق.

أهمية الصيانة: هنا، يجب استخدام مصدات رياح صناعية أو طبيعية مثل الأشجار أو الحواجز لتحويل مسار الرياح أو تقليل سرعتها.

النتائج المتوقعة: تركيب مصدات الرياح سيمنع تراكم الرمال ويقلل من ضرورة الصيانة المتكررة.

3. الكيلومتر 15 - نقص الحواجز الطبيعية

الوضع الحالي: لا توجد حواجز طبيعية مثل الأشجار أو التلال الصغيرة التي تساعد في تثبيت الرمال.

أهمية الصيانة: يعد هذا الموقع نقطة مستعجلة حيث يجب إنشاء حواجز طبيعية أو تركيب مصدات رياح لمنع الرمال من الوصول إلى الطريق.

النتائج المتوقعة: تقليل كبير في تراكم الرمال وزيادة في استدامة الطريق.
4. الكيلومتر 20 - الرياح الموسمية القوية

الوضع الحالي: هذا الموقع يتعرض لرياح موسمية قوية تؤدي إلى تجمع الرمال في مناطق منخفضة.

أهمية الصيانة: تحتاج هذه المنطقة إلى حلول طارئة تشمل تثبيت التربة واستخدام مصدات الرياح.

النتائج المتوقعة: تقليل كثافة الرمال وتحسين حركة المرور في فصل العواصف.

5. الكيلومتر 25 - حركة المركبات الثقيلة

الوضع الحالي: المركبات الثقيلة تؤدي إلى تحريك الرمال وجعلها أكثر عرضة للتطاير بفعل الرياح.

- يوضح الشكل (2) تحليلاً ميدانياً لأسباب زحف الرمال على طريق سبها براك كالتالي:
- الخطوط الأفقية تمثل المواقع المدروسة من الطريق (بالكيلومترات).
- الأعمدة تمثل شدة تأثير زحف الرمال في كل موقع على مقياس من 1 إلى 10 حيث يمثل الرقم 10 أعلى تأثير.
- الوسائل القديمة والحديثة المستخدمة في حماية الطرق من زحف الرمال: تهدف هذه الورقة إلى مقارنة الوسائل القديمة والحديثة المستخدمة في حماية الطرق من زحف الرمال مع التركيز على المزايا والعيوب والتكلفة والاستدامة لكل منها. تم استخدام منهجية تحليلية تشمل مراجعة الأدبيات وتقييم المشاريع الحالية والمقالات مع الخبراء المحليين وتشمل كذلك تحليل الوسائل التقليدية والحديثة لحماية الطرق من زحف الرمال.
- مقارنة المزايا والعيوب لكل وسيلة.
- تقييم التكلفة والاستدامة للوسائل المختلفة: تم تحليل بعض المشاريع الحالية التي تستخدم الوسائل التقليدية والحديثة في حماية الطرق من زحف الرمال وذلك من خلال دراسة تقارير الأداء والمقالات مع المسؤولين حيث أجريت مقابلات مع خبراء محليين في مجال البنية التحتية والبيئة للحصول على رؤى واضحة حول فعالية الوسائل المختلفة.
- الوسائل التقليدية وتشمل:
- الوسائل الطبيعية كزراعة الأحزمة الخضراء واستخدام الأشجار والشجيرات كحواجز طبيعية كما هو مبين بالشكلين (3،4).
- المزايا: تكلفة منخفضة، تحسين البيئة المحلية.
- العيوب: وقت طويل للنمو، صيانة دورية.
- التكلفة: منخفضة نسبياً.
- الوسائل الهندسية التقليدية كالحواسر الرملية لكسر قوة الرياح. المزايا: سهولة التنفيذ، تكلفة مبدئية منخفضة.
- العيوب: صيانة متكررة، فعالية محدودة.
- التكلفة: منخفضة إلى متوسطة.
- الاستدامة: متوسطة
- الوسائل الحديثة كمصدات الرياح الصناعية وهي حواجز مصنوعة من مواد حديثة مثل البلاستيك المقوى.
- المزايا: فعالية عالية، لا تتطلب صيانة متكررة.
- العيوب: تكلفة مبدئية عالية، تأثير بيئي محدود.
- التكلفة: مرتفعة.
- الاستدامة: عالية.
- المواد المثبتة للتربة: وتشمل مواد كيميائية لتثبيت التربة.
- المزايا: فعالية عالية، تقليل زحف الرمال بشكل كبير.
- العيوب: تكلفة مبدئية مرتفعة، تأثير بيئي غير معروف على المدى الطويل.
- التكلفة: مرتفعة.
- الاستدامة: متوسطة إلى عالية.
- المقارنة بين الوسائل التقليدية والحديثة
- المزايا والعيوب:-
- الوسائل التقليدية: تتميز بتكلفتها المنخفضة وسهولة التنفيذ لكنها تتطلب صيانة دورية وفعاليتها محدودة على المدى القصير.

الجدول 1: التحليل الميداني لمنطقة طريق سبها براك الصحراوية

ت	الموقع	أسباب زحف الرمال	الملاحظات الميدانية	النتائج المتوقعة
1	كلم 5	قلة الغطاء النباتي	تراكم الرياح بسهولة بسبب الرياح القوية	زيادة التراكم خلال فترة العواصف الرملية
2	كلم 10	الرياح الشرقية	انتقال الرمال من الكثبان الغربية نحو الطريق	اختفاء الطريق تحت الرمال سريعاً
3	كلم 15	نقص الحواجز الطبيعية كالأشجار	لا توجد أحزمة خضراء لحماية الطريق	الحاجة إلى زراعة الأشجار
4	كلم 20	رياح قوية موسمية	تجمع الرمال في المناطق المنخفضة	انسداد الطريق
5	كلم 25	حركة المركبات الثقيلة	سهولة تحرك الرمال إلى الطريق مع اهتزاز الأرض	زيادة تآكل الطريق وتراكم الرمال
6	كلم 30	عدم وجود حماية صناعية	كثافة عالية للرياح	الحاجة إلى تركيب مصدات رياح صناعية
7	كلم 35	عدم استقرار التربة	انتقال الرمال بسبب عدم تبات التربة	الحاجة إلى التثبيت الكيميائي
8	كلم 40	وجود كثبان رملية قريبة من الطريق	الكثبان تتحرك باتجاه الطريق	تراكم كثيف للرمال في فصل الصيف
9	كلم 45	تآكل الأرض الطبيعية بفعل الرياح	تضخم مشكلة الرمال المتحركة	الحاجة إلى حلول طويلة الأمد
10	كلم 50	قرب الطريق من مسار الوادي	انتقال الرمال من الوادي إلى الطريق	إنشاء حاجز من المباني لتقليل انتقال الرمال

الجدول 2: خصائص بعض أنواع الأشجار المستخدمة كمصدات للرمال

النوع	الفائدة	العمر	ظروف المعيشة	الاحتياجات المائية	الجودة
طلح	تثبيت التربة	30-50 سنة	الجفاف والحرارة العالية	قليل	عالية
كازورينا	تثبيت التربة	40-50 سنة	الجفاف والتربة الفقيرة	متوسط	ممتازة
اثل	تثبيت التربة	100 سنة	الجفاف والتربة المالحة	قليل	ممتازة
غضا	تثبيت الرمال	80 سنة	الجفاف	قليل جداً	ممتازة
ساليكورنيا	تثبيت التربة الساحلية	3-5 سنوات	تربة ومياه مالحة	متوسط إلى مرتفع	جيدة

تم تحليل البيانات التي تم جمعها من الاستبيانات والدراسات الميدانية وتقديمها في جداول مقارنة لتوضيح أفضل الاستراتيجيات لحماية الطريق على المدى الطويل كالتالي:

يوضح الجدول (3) تحليل نتائج إجابات المواطنين حول مشكلة زحف الرمال على طريق سها براك ويظهر بوضوح أن غالبية المستخدمين يواجهون تحديات كبيرة مرتبطة بزحف الرمال، حيث أفاد أكثر من 75% من المشاركين بأنهم يعانون من مشاكل مستمرة نتيجة تراكم الرمال مما يؤثر على سلامة القيادة ويزيد من مخاطر الحوادث، كما أن معظم المشاركين لاحظوا أن الإجراءات الحالية غير كافية لمواجهة المشكلة حيث رأى 60% أن هناك حاجة ماسة لتحسين التدابير المتخذة، كما أظهرت الإجابات أن المواطنين يؤيدون بشكل عام فرض رسوم مالية على مستخدمي الطريق لتمويل الصيانة المستمرة، وأبدى 70% من المشاركين استعدادهم لدفع رسوم تتراوح بين 1 إلى 3 دينار ليبي. وفيما يتعلق بالحلول المقترحة هناك تفضيل واضح للجمع بين الوسائل التقليدية مثل زراعة الأحزمة الخضراء والوسائل الحديثة مثل مصدات الرياح الصناعية مع اقتراحات بإشراك المجتمعات المحلية في جهود الصيانة، وبشكل عام تعكس الإجابات قلقاً واسع النطاق من تأثير زحف الرمال على الحياة اليومية وتظهر استعداد المواطنين للمساهمة في الحلول إذا كانت شفافة وفعالة.



الشكل 3: استخدام شجرة الأثل لتثبيت الرمال



الشكل 4: استخدام الأشجار لحماية تثبيت الرمال حول طريق معبد في الصين

- الوسائل الحديثة: تتميز بفعاليتها العالية وقلة الحاجة للصيانة لكن تكلفتها المبدئية مرتفعة وقد يكون لها تأثيرات بيئية غير معروفة.
- التكلفة:-
- الوسائل التقليدية أكثر تكلفة على المدى الطويل بسبب الصيانة المتكررة.
- الوسائل الحديثة تكون مكلفة في البداية لكنها قد تكون أكثر اقتصادية على المدى البعيد.
- الاستدامة:-
- تعتبر الوسائل الطبيعية مثل زراعة الأحزمة الخضراء أكثر استدامة بيئياً.
- تتفاوت استدامة الوسائل الحديثة حسب نوع المادة المستخدمة وتكنولوجيا التنفيذ.

الجدول 3: استبيان آراء المواطنين حول مشكلة زحف الرمال على طريق سها- براك

الإجابة	السؤال
أكثر من 3 مرات	كم مرة تستخدم الطريق خلال الأسبوع؟
نعم	هل تواجه مشاكل متكررة بسبب زحف الرمال
بيطاً حركة السير ويجعل القيادة خطيرة	كيف تؤثر عليك هذه المشاكل؟
غير كافية	هل ترى أن الإجراءات الحالية لمعالجة هذه المشكلة كافية؟
زراعة الأشجار	ما الحلول التي تراها مناسبة لتقليل زحف الرمال؟
لا مانع بشرط أن تكون معقولة	ما رأيك في فكرة فرض رسوم مالية لتنظيف الطريق؟

يوضح الجدول (4) نتائج إجابات الاستبيان الموجه إلى الجهات ذات الخبرة مثل المهندسين وأعضاء هيئة التدريس في الجامعات وتكشف عن توافق عام بين الخبراء حول التحديات الكبيرة التي يفرضها زحف الرمال على طريق سها براك. أكثر من 80% من المشاركين أشاروا إلى أن زحف الرمال يشكل تهديداً كبيراً للبنية التحتية ويزيد من تكاليف الصيانة. كما تم التأكيد على أن الوسائل التقليدية مثل زراعة الأشجار فعالة على المدى الطويل ولكنها تحتاج إلى وقت طويل لتظهر نتائجها بينما الوسائل الحديثة مثل مصدات الرياح الصناعية تعتبر أكثر فعالية على المدى القصير، وأشار غالبية العظمى من الخبراء (95%) إلى الحاجة لتطوير تقنيات جديدة لمكافحة زحف الرمال مثل استخدام مواد أكثر كفاءة لتثبيت التربة أو تقنيات ذكية للتنبؤ بحركة

دراسة حالة طريق سها براك بناء على الأسئلة الموجهة من خلال الاستبيان، ويهدف هذا الاستبيان إلى جمع البيانات حول تجربة المواطنين فيما يتعلق بمشكلة زحف الرمال على الطريق وتقييم آرائهم حول الحلول المحتملة مثل فرض رسوم مالية واستخدام الوسائل المختلفة للحماية. شملت الدراسة جمع البيانات حول عدد المركبات المستخدمة للطريق يومياً وتكاليف الصيانة الحالية وتأثير زحف الرمال على الطريق. تم إجراء استبيانات مع مستخدمي الطريق ومقابلات مع المسؤولين المحليين للحصول على آراء وملاحظات حول فرض الرسوم واستخدامها في صيانة الطريق. تم تحليل البيانات المالية والبيئية لتقديم تقديرات دقيقة لتكاليف الصيانة والحماية وكيفية تمويلها من خلال الرسوم المفروضة. تحليل البيانات (نتائج الاستبيان):

الجدول 4: استبيان الأسئلة المقترحة الموجهة إلى الجهات ذات الخبرة في صيانة الطرق حول مشكلة زحف الرمال على طريق سها- براك

الإجابة	السؤال
صعوبة التنبؤ بمعدلات الزحف وتكاليف الصيانة	ما هي أبرز التحديات التقنية التي تواجهونها في مواجهة زحف الرمال؟
زراعة الأشجار	ما هي الوسائل الأكثر فاعلية في حماية الطريق من زحف الرمال؟
نعم	هل تعتقد أن زراعة الأشجار حل مستدام؟
غير كافية	هل ترى أن الإجراءات الحالية لمعالجة هذه المشكلة كافية؟
نعم	هل هناك حاجة لتطوير تقنيات جديدة لمقاومة زحف الرمال؟
مفيد جدا	ما رأيك في إشراك المجتمع المحلي في جهود حماية الطريق؟

الإجابة	السؤال
صعوبة التنبؤ بمعدلات الزحف وتكاليف الصيانة تؤدي إلى إغلاق أجزاء من الطريق مما يزيد من احتمال وقوع الحوادث خاصة في فترات الليل وأثناء العواصف أكثر من 10 مرات في السنة	ما هي أبرز التحديات التقنية التي تواجهونها في مواجهة زحف الرمال؟ كيف تؤثر مشكلة زحف الرمال على السلامة المرورية؟
نعم	كم مرة يتم الإبلاغ عن حوادث مرورية بسبب الرمال المتراكمة؟ هل يتم إغلاق الطريق بشكل متكرر بسبب تراكم الرمال؟
نشر الدوريات لتوجيه السائقين ووضع الإشارات التحذيرية وفي بعض الحالات يتم إغلاق الطريق 3-1 ساعات	ما هي الإجراءات التي تتخذها الجهات الأمنية من أجل سلامة مستخدمي الطريق؟ ما هو الوقت اللازم لإعادة فتح الطريق المغلق بسبب الرمال؟
باستعمال الإشارات المرورية والإعلان عبر وسائل الإعلام المحلية لا	كيف يتم إبلاغ السائقين بإغلاق الطريق؟ هل يتم استخدام الأجهزة الحديثة كالكاميرات وأجهزة الاستشعار لمراقبة الطريق أثناء العواصف الرملية؟

الرمال. هناك أيضاً اتفاق واسع على أهمية التنسيق بين الجهات الأمنية والخدمية، حيث يعتبر هذا التنسيق أساسياً لضمان استجابة فعالة وسريعة في حالات الطوارئ، أخيراً يرى الخبراء أن استخدام التكنولوجيا الحديثة مثل الكاميرات وأجهزة الاستشعار لمراقبة الطريق خلال العواصف الرملية يمكن أن يساهم في تحسين السلامة وتقليل الحوادث.

1. 75% من المستخدمين يواجهون مشاكل متكررة بسبب زحف الرمال.
2. 60% من المستخدمين يرون أن الإجراءات الحالية غير كافية.
3. 80% من المشاركين يقترحون استخدام حواجز طبيعية مثل الأشجار والشجيرات

الخلاصة

تتطلب حماية طريق سبها براك من زحف الرمال توازناً بين الأساليب التقليدية والحديثة، و في حين أن الأساليب التقليدية القائمة على النباتات أكثر استدامة وصديقة للبيئة إلا أنها تحتاج إلى كميات كبيرة من المياه والمتابعة وهو أمر صعب في البيئات القاحلة، من ناحية أخرى تقدم التقنيات الحديثة مثل السياج الرمي والمثبتات البوليمرية حماية فورية ولكن تكاليفها مرتفعة ولها تأثيرات بيئية محتملة.

التوصيات

1. زراعة الأحزمة الخضراء: زراعة الأشجار والشجيرات على جانبي الطريق لتقليل تأثير الرياح.
2. استخدام الحواجز الصناعية: تركيب حواجز رملية ومصدات الرياح في المناطق الأكثر عرضة للزحف.
3. الصيانة الدورية: تنفيذ برامج صيانة دورية للطريق لضمان إزالة الرمال المتراكمة.
4. التوعية المجتمعية: نشر الوعي بين السكان المحليين حول أهمية الحفاظ على البيئة المحيطة بالطريق
5. دمج الحلول، يمكن استخدام مزيج من الحلول التقليدية والحديثة لتحقيق أفضل النتائج كالتجمع بين السياج النباتي والبوليمرات المثبتة للتربة.
6. البحث المستمر وإجراء المزيد من الدراسات لتطوير حلول جديدة وتقييم تأثير الحلول الحالية على المدى الطويل.

يوضح الجدول (5) نتائج إجابات الاستبيان الموجه إلى الجهات الخدمية مثل الشرطة ووزارة المرافق، حيث توافقت الإجابات على أن زحف الرمال على طريق سبها براك الشاطئ يمثل تحدياً كبيراً يؤثر على سلامة المرور والبنية التحتية، فقد أكد أكثر من 90% من المشاركين أن تراكم الرمال يؤدي إلى حوادث مرورية وان إغلاق الطريق بشكل متكرر خلال العواصف الرملية يسبب عبثاً إضافياً على الجهات الأمنية لضمان سلامة المستخدمين، وأشارت الجهات الخدمية إلى أن التنسيق بين الجهات الأمنية والمرافق العامة يتم بشكل جيد، حيث يتم تنظيف الطريق عادة خلال 1 إلى 3 ساعات بعد العواصف ومع ذلك أبدت هذه الجهات بعض القلق من التحديات اللوجستية المتعلقة بتوفير المعدات الحديثة في الوقت المناسب مثل أجهزة الاستشعار والكاميرات التي لا تُستخدم بشكل واسع حالياً، ولكن هناك خطط مستقبلية لتطبيق هذه التقنيات لتعزيز مراقبة الطريق أثناء العواصف، كذلك أظهرت الإجابات أن الرمال المتراكمة تؤثر سلباً على كفاءة المرافق العامة مثل الكهرباء والاتصالات مما يعيق تقديم الخدمات بشكل مستمر، بشكل عام تشير الإجابات إلى وجود خطط طوارئ فعالة لمواجهة زحف الرمال ولكن هناك حاجة لتعزيز استخدام التكنولوجيا وتحسين الاستجابة السريعة للتعامل مع هذه الظاهرة بشكل أفضل. تبين أن الأنماط المناخية مثل الرياح الشمالية القوية والجافة هي السبب الرئيسي لزحف الرمال في هذه المنطقة كما أظهرت التحليلات الجغرافية أن المناطق الأكثر عرضة للزحف هي المناطق ذات التضاريس المنخفضة، وواضح التحليل الميداني أن معظم مواقع زحف الرمال على طريق سبها براك تحتاج إلى تدخلات عاجلة تشمل زراعة النباتات وتركيب مصدات للرياح وتثبيت التربة كيميائياً. بعض المناطق مثل الكيلومترات 20، 30، و40 تعاني من مشاكل حادة بسبب العواصف الرملية والكثبان القريبة مما يتطلب صيانتها عاجلاً، يعد زحف الرمال على طريق سبها براك مشكلة بيئية وهندسية تتطلب استراتيجيات مستدامة للحماية ومن خلال التحليل الميداني والاستبيانات تم تحديد أن الحواجز الطبيعية مثل زراعة الأشجار والشجيرات يمكن أن تكون حلاً فعالاً، وأظهرت ردود المواطنين والمهندسين تفضيلاً للتجمع بين النباتات والأدوات الحديثة فيما ركزت أغلب الجهات الحكومية على

- [2] Mohammad et al., 2021 { The Impact of Sand Encroachment on Road Infrastructure in Arid Regions} Journal of Desert Studies mohammad.research@desertstudies.com
- [3] Khalil et al., 2019 {Green Belts as a Sustainable Solution for Desert Road Protecti Environmental Science and Technology Journal : khalil.studies@envtech.org
- [4] Al-Sharif et al., 2020 {Challenges of Watering Systems for Green Belt Projects in Arid Regions} Journal of Environmental Solutions alsharif.env@environ.com
- [5] الطاهر، أ. (2017). "حلول مستدامة بالنباتات لمكافحة زحف الرمال". مجلة حماية البيئة، 15(1)، 56-67.
- [6] الجوهرى، س. وآخرون. (2020). "التقنيات الحديثة لمكافحة التصحر". مجلة حماية البيئة
- [7] Jones & Smith, 2020 {Wind Barriers for Sand Control: A Modern Engineering Solution} International Journal of Engineering Innovation jones.research@engineering.com
- [8] Ben Youssef, K., et al. (2022). "Historical Overview of Sand Encroachment Control in Libya." Journal of Arid Regions, 18(3), 45-52.
- [9] Khalifa, N., et al. (2021). "Evaluating the Effectiveness of Sand Fences in Arid Regions." Journal of Desert Engineering, 14(2), 67-75.
- [10] Fadhl, R. (2019). "Environmental Challenges Facing Infrastructure in Libya." Libyan Infrastructure Studies, 8(1), 99-115.
7. التعاون مع المجتمعات المحلية وإشراكها في جهود التثبيت والصيانة لضمان استدامة الحلول.
8. إدارة المياه: يجب استكشاف تقنيات الري الفعالة لدعم النباتات في المناطق القاحلة.

Author Contributions: "All authors have made a substantial, direct, and intellectual contribution to the work and approved it for publication."

Funding: "This research received no external funding."

Data Availability Statement: "No data were used to support this study."

Conflicts of Interest: "The authors declare that they have no conflict of interest."

Acknowledgments: "The authors would like to express their appreciation to the Faculty of Engineering, Wadi Alshatti University, Brack-Libya, for their support during the study."

References

- [1] عبدالقادر، م. (2018). "أثر زحف الرمال على الطرق في ليبيا". مجلة أبحاث الصحراء، 10(2)، 123-130.