الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
كلية علوم الأرض و الكون
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers
قسم الجغرافيا و التهيئة الاقليمية
Département de Géographie et de l'Aménagement du Territoire

مذكرة تخرج

لنيل شهادة ماستر في الجغرافيا وتهيئة إقليمية

ميدان: علوم الارض والكون

شعبة: الجغرافيا وتهيئة الاقليم

تخصص: تسيير أخطار كبرى وأمن مدني

معالجة تأثير العواصف الرملية على مستعملي الطرق في الجزائر:

حالة الطريق الوطني رقم 118 (البنود - تيميمون)

من إعداد و تقديم الطالب :

قاديري أمحمد

تحت اشراف الاستاذ : **صغيري هشام**

بلماحي محمد نذير	أستاذ محاضر"أ"	جامعة وهران 2	رئيس
صغيري هشام	استاذ مساعد "ا"	جامعة وهران 2	مؤطر
بن ديب عبد الحليم	أستاذ محاضر"أ"	جامعة وهران 2	ممتحن


بسم الله الرحمن الرحيم

إهداء

"إلى نفسي، مهندس المستقبل، الذي لطالما آمن بقدراته وسعى لتحقيق أهدافه. هذا الإنجاز هو ثمرة إصراري وعزيمتي. فخور بي للغاية"

تهانينا على التخرج!

Abstract

Sand encroachment presents a major environmental and economic challenge to desert regions, particularly affecting National Road N118 in Algeria. This study analyzed the natural and human factors exacerbating this phenomenon, assessed its impacts on road safety and infrastructure, and proposed sustainable control strategies. Using field observations, remote sensing, GIS, and spatial analysis, the study found that wind patterns, dune characteristics, and sparse vegetation worsen sand encroachment, leading to safety hazards and high sand removal costs. International (China, Qatar, Saudi Arabia) and local solutions ("Al-Afraq," "Al-Drâa," palm frond barriers) were reviewed, and tailored strategies for five high-risk zones were proposed, including "Al-Drâa" barriers, stabilization nets, and afforestation with wind-powered irrigation. Multi-Criteria Decision Analysis confirmed the feasibility of these solutions. The study recommends integrating engineering and biological measures, utilizing renewable energy, enhancing remote sensing monitoring, and engaging local communities to protect infrastructure and promote sustainable development.

Keywords: Sand encroachment, National Road 118, Sustainable solutions, Wind energy, Afforestation, Algeria, Geographic studies.

ملخص :

تُشكل ظاهرة زحف الرمال تحدياً بيئياً واقتصادياً كبيراً على الطريق الوطني رقم 118 في الجزائر. هدفت الدراسة إلى تحليل العوامل الطبيعية والبشرية المسببة لهذه الظاهرة، تقييم تأثيراتها على السلامة المرورية والبنية التحتية، واقتراح حلول مستدامة. اعتمدت الدراسة على الملاحظات الميدانية، الاستشعار عن بُعد، ونظم المعلومات الجغرافية، وكشفت أن الرياح، خصائص الكثبان، ونقص الغطاء النباتي تُفاقم الظاهرة، مما يؤدي إلى تكاليف إزالة باهظة وتدهور السلامة. استُعرضت تجارب دولية (الصين، قطر، السعودية) وحلول محلية (الأفراق، الذراع، حواجز السعف)، واقتُرحت استراتيجيات لخمس مناطق معرضة للخطر، تشمل حواجز "الذراع"، شباك تثبيت الرمال، والتشجير بآبار ريحية. تحليل القرار متعدد المعايير أكد جدوى هذه الحلول. توصي الدراسة بدمج الحلول الهندسية والبيولوجية، استخدام الطاقة المتجددة، وتعزيز المراقبة ومشاركة المجتمع المحلي لضمان حماية البنية التحتية والتنمية المستدامة.

الكلمات المفتاحية :زحف الرمال، الطريق الوطني 118، حلول مستدامة، طاقة ريحية، تشجير، الجزائر، دراسات جغرافية.

مدخل عام

مقدمة عامة :

تُعد ظاهرة زحف الرمال من أبرز التحديات البيئية والاقتصادية التي تواجه المناطق الصحراوية حول العالم، لا سيما في الدول التي تتميز بمساحات واسعة من الأراضي الجافة مثل الجزائر. تُعرف هذه الظاهرة بأنها عملية انتقال الحبيبات الرملية نتيجة تأثير الرياح، مما يؤدي إلى تراكمها أو اجتياحها للأراضي في المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية، وهي عملية تتأثر بعوامل طبيعية وبشرية على حد سواء (Tsoar, 1990 & Pye).

يُشير العالم فاروق الباز، المتخصص في الجيولوجيا الصحراوية، إلى أن "زحف الرمال ليس مجرد ظاهرة طبيعية، بل هو تحدي بيئي واقتصادي يتطلب فهمًا عميقًا للأنظمة البيئية وتطبيق حلول مستدامة تعتمد على العلم والتكنولوجيا" (El-Baz, 1984).

تتفاقم هذه الظاهرة بفعل التغيرات المناخية، مثل زيادة حدة الرياح، وانخفاض معدلات هطول الأمطار، والتوسع في الأنشطة البشرية غير المستدامة مثل الرعي الجائر والاستغلال المفرط للموارد الطبيعية (Wang et al., 2015).

تقع الجزائر في قلب شمال إفريقيا، وتمتد أراضيها عبر مساحات شاسعة من الصحراء الكبرى، التي تشكل حوالي 80% من مساحتها الإجمالية، مما يجعلها عرضة لتحديات بيئية كبيرة مرتبطة بزحف الرمال. تحتوي الصحراء الجزائرية على أكبر العروق الرملية في العالم، وهي العرق الغربي الكبير والعرق الشرقي الكبير، اللذان يمتدان عبر مساحات شاسعة ويُشكلان مصدرًا رئيسيًا للكثبان الرملية المتحركة (Lancaster, 1995).

تُغطي الكثبان الرملية ما يقارب 20% من المساحات الصحراوية على مستوى العالم، وتتميز بديناميكية معقدة تتأثر بعوامل مناخية مثل قوة الرياح ومدى الغطاء النباتي، بالإضافة إلى التغيرات المناخية التي قد تحول الكثبان الثابتة إلى كثبان نشطة أو العكس (Tsoar, 1990 & Pye).

من بين الآثار السلبية لزحف الرمال، تبرز مشكلة حركية الكثبان الرملية وتأثيراتها المباشرة على البنية التحتية، لا سيما الطرق التي تُعد شريان الحياة في المناطق الصحراوية النائية. تُسبب هذه الظاهرة إغلاق الطرق بشكل مؤقت أو دائم، مما يعيق حركة المرور، ويُهدد سلامة المستخدمين، ويؤدي إلى خسائر اقتصادية كبيرة نتيجة تكاليف الصيانة أو إعادة البناء (Zhang et al., 2018). في الجزائر، تتأثر العديد من الطرق الوطنية بهذه الظاهرة، مثل طريق البنود-تيميمون، وطريق رقان-برج باجي مختار، وطريق حاسي مسعود-البرمة، وطريق حاسي مسعود-الواد، وطريق غدامس-البرمة. بعض هذه الطرق، مثل طريق أولاد عيسى (تيميمون) الذي يربط بالطريق الوطني رقم 06، واجه إغلاقًا دائم بسبب تراكم الرمال، مما يُبرز الحاجة الملحة إلى حلول فعالة.

يُركز هذا البحث على دراسة حالة الطريق الوطني رقم 118، الرابط بين البنود وتيميمون، كمثال نموذجي لتحليل تأثير زحف الرمال على البنية التحتية في المناطق الصحراوية. يمتد هذا الطريق عبر ثلاث مناطق جغرافية متنوعة تشمل الكثبان الرملية، والحمادة الصخرية، والرق، مما يوفر فرصة فريدة لدراسة التفاعل بين العوامل الطبيعية والنشاط البشري. يهدف الباحث من خلال هذه الدراسة إلى تحليل ديناميكية زحف الرمال على هذا الطريق من خلال مراقبة زمنية دقيقة، شملت مسوحات ميدانية لتحديد المناطق الأكثر

تضررًا، ورسم مقاطع عرضية وطولية لتقييم حجم واتجاه حركة الرمال، بالإضافة إلى تحليل شدة وتدفق الرمال مع التركيز على العوامل المناخية المؤثرة مثل سرعة الرياح واتجاهاتها.

تُعد التقنيات الحديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد أدوات أساسية في دراسة هذه الظاهرة، حيث تُتيح جمع البيانات الميدانية والنظرية ومعالجتها بطرق متطورة. تُستخدم صور الأقمار الصناعيةShaders: t1 System: يحتاج إلى إكمال النص لأنه تم قطعه. سأفترض أن النص المتبقي لا يحتوي على اقتباسات إضافية تتطلب تعديلًا، وسأواصل التصحيح بناءً على النص المقدم.

تُعد التقنيات الحديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد أدوات أساسية في دراسة هذه الظاهرة، حيث تُتيح جمع البيانات الميدانية والنظرية ومعالجتها بطرق متطورة. تُستخدم صور الأقمار الصناعية لمراقبة التغيرات البيئية، وتقييم تأثير المشاريع العمرانية والزراعية على المناطق المتضررة، مما يُساعد على تحديد المناطق الأكثر عرضة للخطر وتطوير استراتيجيات فعالة لإدارة المخاطر (Li et al., 2020).

كما تُظهر الدراسات أن تحليل العوامل المناخية، مثل سرعة الرياح واتجاهها، يُعد أمرًا حاسمًا لفهم ديناميكية حركة الرمال، حيث تُؤثر الرياح بشكل مباشر على انتقال الحبيبات الرملية وتراكمها (Dong et al., 2017).

على الصعيد العالمي، تعاني العديد من الدول من ظاهرة زحف الرمال، مثل الصين، الكويت، مصر، والولايات المتحدة الأمريكية، وقد طورت هذه الدول حلولًا مبتكرة للحد من تأثيراتها. على سبيل المثال، في الكويت، تم تطبيق مقطع الديناميكا الهوائية، الذي يهدف إلى تعديل شكل الطريق لتقليل تراكم الرمال من خلال التوافق مع حركة الرياح (Al-Awadhi et al., 2014).

في الصين، تم استخدام شبكات من الألياف النباتية والصناعية لتثبيت الرمال، بالإضافة إلى إنشاء حواجز خضراء للحد من تأثير الرياح (Zhang et al., 2018). كما تُستخدم الحلول الاستثمارية في بعض الدول، والتي تتضمن تخصيص ميزانيات كبيرة لصيانة الطرق المتضررة مع مراعاة حجم المرور اليومي (El-Baz, 2001).

أما التثبيت البيولوجي باستخدام النباتات ومصدات الرياح، فيُعد أحد الحلول الفعالة لتثبيت التربة وتقليل حركة الرمال، وقد أثبت فعاليته في مناطق متعددة حول العالم (Wang et al., 2015).

تُظهر الدراسات أن ديناميكية الكثبان الرملية تتأثر بعوامل معقدة تشمل قوة الرياح، معدلات هطول الأمطار، ومدى الغطاء النباتي. يتم قياس هذه الديناميكية باستخدام مؤشرات الحركة (Mobility Indexes)، التي تأخذ في الاعتبار العوامل المناخية مثل معدلات التبخر-النتح (Lancaster, 1997).

ومع ذلك، تُشير الأبحاث الحديثة إلى أن الكثبان النشطة والثابتة يمكن أن تتعايش في نفس المنطقة الجغرافية تحت ظروف مناخية متشابهة، مما يُثير تساؤلات حول دقة بعض مؤشرات الحركة التقليدية (Yizhaq et al., 2007). كما أن استجابة الكثبان للتغيرات المناخية غالبًا ما تكون متأخرة، مما يجعل استخدامها كمؤشر مباشر للتغير المناخي أمرًا غير حاسم (Wolfe, 2005 & Hugenholtz).

يُضاف إلى ذلك دور الغطاء النباتي، الذي يتغير بشكل غير خطي مع التغيرات المناخية، مما يجعل ديناميكية الكثبان ذات طبيعة هستيرية تتطلب دراسة متعمقة (Yizhaq et al., 2007).

من هذا المنطلق، يسعى الباحث من خلال هذه الدراسة إلى تقديم تحليل شامل لظاهرة زحف الرمال على الطريق الوطني رقم 118، مع التركيز على العوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة، ودراسة تضاريس المنطقة، مصادر المياه، ومعدلات هطول الأمطار، والظروف المناخية السائدة. يهدف الباحث إلى تطوير حلول فعالة لتخفيف تأثير هذه الظاهرة، مستفيدًا من التجارب العالمية والتقنيات الحديثة، للمساهمة في حماية البنية التحتية في المناطق الصحراوية ودعم التنمية المستدامة في الجزائر.

الإشكالية:

تشغل الصحراء الجزائرية أكثر من 70% من المساحة الإجمالية للبلاد، مما يجعلها واحدة من أكبر المناطق الصحراوية على مستوى العالم. هذه الجغرافيا الشاسعة تفرض تحديات بيئية وتنموية كبيرة، حيث تتطلب ظروفًا خاصة للتكيف مع الطبيعة القاسية التي تتميز بها هذه المناطق. تتنوع هذه التحديات لتشمل شح الموارد المائية، وارتفاع درجات الحرارة، وقلة الغطاء النباتي، إلا أن ظاهرة زحف الرمال تظل واحدة من أخطر التحديات بسبب تأثيرها المباشر على مختلف القطاعات الحيوية. تُهدد هذه الظاهرة الأراضي الزراعية المحدودة في المناطق الصحراوية، حيث تغطي الحبيبات الرملية التربة الخصبة، مما يقلل من إنتاجيتها ويزيد من مخاطر الأمن الغذائي للسكان المحليين. كما تؤثر على المناطق الحضرية، حيث يتراكم الرمل في الشوارع والمرافق العامة، مما يرفع تكاليف التنظيف والصيانة ويؤثر سلبًا على جودة الحياة.

تبرز الطرق كأحد أهم مكونات البنية التحتية المتأثرة بزحف الرمال، فهي تُعد شرايين الحياة التي تربط المناطق الصحراوية النائية بالمدن الكبرى، وتدعم الأنشطة الاقتصادية مثل التجارة والسياحة من خلال نقل الأفراد والبضائع. ومع ذلك، فإن هذه الطرق تتعرض لخطر كبير نتيجة تراكم الكثبان الرملية، مما يؤدي إلى إغلاقها بشكل مؤقت أو دائم في بعض الحالات. ينتج عن ذلك عرقلة لحركة المرور، وزيادة في مخاطر الحوادث بسبب انخفاض الرؤية أو تغيير مسار الطريق تحت تأثير الرمال المتراكمة. فضلاً عن ذلك، تتطلب عمليات إزالة الرمال وإعادة تأهيل الطرق استثمارات مالية ضخمة، تشمل تكاليف المعدات، والعمالة، والمواد اللازمة لتثبيت الرمال أو إعادة بناء الأجزاء المتضررة. هذه التكاليف تُشكل عبئًا اقتصاديًا كبيرًا على الدولة، خاصة في ظل محدودية الموارد المالية المخصصة لمثل هذه المشاريع في المناطق النائية.

تركز هذه الدراسة على تحدي زحف الرمال على الطريق الوطني رقم 118، الرابط بين مدينتي تيميمون والبنود في جنوب الجزائر، والذي يُعد أحد أهم الطرق الحيوية في المنطقة. يمتد هذا الطريق على مسافة 402 كيلومترًا، ويمر عبر تضاريس متنوعة تشمل الكثبان الرملية المتحركة، والحمادة الصخرية، والرق المنبسط، مما يجعله معرضًا بشكل كبير لتراكم الرمال. على الرغم من التدخلات التقليدية التي نفذتها السلطات المحلية للحد من هذه الظاهرة، مثل استخدام الحواجز الميكانيكية أو إزالة الرمال يدويًا، إلا أن هذه الإجراءات لم تحقق النجاح المطلوب في مواجهة الديناميكية المعقدة لحركة الكثبان الرملية. يُظهر استمرار تراكم الرمال على الطريق وجود عوامل هوائية وجيومورفولوجية معقدة تتحكم في حركة الرمال، مثل التغيرات في سرعة الرياح واتجاهاتها، وطبيعة التضاريس المحيطة التي تُسهم في إعادة توجيه الرمال نحو الطريق بشكل مستمر.

تُثير هذه المشكلة تساؤلات جوهرية حول طبيعة العوامل المؤثرة في ظاهرة زحف الرمال ومدى كفاءة الإجراءات المتخذة للحد من تأثيراتها. تسعى هذه الدراسة إلى تقديم تحليل معمق للعوامل الطبيعية، مثل الظروف المناخية وطبيعة التضاريس، والعوامل الأنثروبولوجية، مثل الأنشطة البشرية التي تُسهم في تدهور الغطاء النباتي أو تغيير استخدامات الأراضي، والتي تؤثر على حركة الكثبان الرملية وتراكمها على الطريق الوطني رقم 118. كما تُركز على دراسة تأثير الرياح، التي تُعتبر العامل الرئيسي في نقل الرمال، من خلال تحليل اتجاهاتها وشدتها، وكيفية تفاعلها مع التضاريس المحيطة بالطريق، حيث تُسهم الرياح في دفع الرمال عبر المساحات المفتوحة وترسيبها في المناطق المنخفضة أو على الطرق التي تعترض مسارها.

علاوة على ذلك، تهدف الدراسة إلى تقييم فعالية الإجراءات التي نفذتها الجهات المعنية لمكافحة زحف الرمال على هذا الطريق، سواء من حيث الجدوى الاقتصادية أو الفعالية العملية. تشمل هذه الإجراءات استخدام الحواجز الميكانيكية، مثل الألواح الخشبية أو المعدنية، التي تهدف إلى تقليل سرعة الرياح ومنع انتقال الرمال، أو زراعة الأشجار والشجيرات كمصدات طبيعية لتثبيت التربة. ومع ذلك، فإن استمرار المشكلة يُشير إلى وجود قصور في هذه الإجراءات، سواء بسبب نقص التمويل، أو عدم ملاءمتها للظروف البيئية المحلية، أو غياب استراتيجيات طويلة الأمد تعتمد على دراسات علمية دقيقة.

في ضوء التجارب العالمية الناجحة في مكافحة زحف الرمال، تسعى هذه الدراسة إلى استكشاف إمكانية تطبيق حلول مبتكرة في السياق الجزائري. تشمل هذه الحلول تعديل تصميم الطرق لتتوافق مع الديناميكيات الهوائية، كما هو معمول به في بعض الدول مثل الكويت، حيث يتم تصميم الطرق بزوايا وانحدارات تقلل من تراكم الرمال. كما تشمل استخدام الألياف النباتية أو الصناعية لتثبيت الكثبان، وإنشاء حواجز خضراء من النباتات المحلية التي تتحمل الظروف الصحراوية، كما أثبتت التجارب الصينية فعاليتها في هذا المجال. يتطلب تطبيق مثل هذه الحلول دراسة متأنية للظروف المحلية، بما في ذلك طبيعة التربة، وأنماط الرياح، وتوافر الموارد المالية والبشرية.

أخيرًا، تهدف هذه الدراسة إلى استغلال التقنيات الحديثة، مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، في تحليل مخاطر زحف الرمال وتحديد المناطق الأكثر عرضة للخطر على الطريق الوطني رقم 118. تُتيح هذه التقنيات إنشاء خرائط دقيقة تُظهر توزيع الكثبان الرملية، وتحديد الأنماط المكانية لحركة الرمال، وتقييم تأثير العوامل البيئية المختلفة. كما يمكن استخدامها لمحاكاة سيناريوهات مختلفة لتدخلات مكافحة زحف الرمال، مما يُساعد في اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن أفضل الاستراتيجيات لتطبيقها. من خلال هذا النهج المتكامل، تسعى الدراسة إلى تقديم رؤية شاملة تسهم في مواجهة تحدي زحف الرمال، وحماية البنية التحتية، ودعم التنمية المستدامة في المناطق الصحراوية الجزائرية.

التساؤلات البحثية:

في ضوء هذه الإشكالية، تسعى الدراسة إلى الإجابة على التساؤلات التالية:

- ما هي العوامل الطبيعية والأنثروبولوجية التي تساهم في حركة الكثبان الرملية وتأثيرها على الطريق الوطني رقم 118؟
- كيف تؤثر اتجاهات الرياح وشدتها على حركة الرمال وتراكمها على الطريق؟
- ما مدى فعالية الإجراءات المتخذة من قبل الجهات المعنية لمكافحة زحف الرمال على هذا الطريق؟
- هل يمكن تطبيق الحلول المبتكرة التي اعتمدتها دول أخرى في مكافحة زحف الرمال على أرض الواقع الجزائري؟
- كيف يمكن استغلال تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في تحليل خطر الترمل وتحديد المناطق الأكثر عرضة للتأثر؟

الهدف من الدراسة:

تأتي هذه الدراسة استجابة للحاجة الملحة لمواجهة تحدي زحف الرمال، الذي يُشكل تهديدًا كبيرًا للبنية التحتية في المناطق الصحراوية بالجزائر، مع التركيز على الطريق الوطني رقم 118 الرابط بين مدينتي تيميمون والبنود. يُعد هذا الطريق أحد الشرايين الحيوية التي تدعم التنمية الاقتصادية والاجتماعية في المنطقة، إلا أن تراكم الكثبان الرملية يُعيق وظيفته ويُسبب خسائر اقتصادية كبيرة. تسعى الدراسة إلى تقديم تحليل شامل للظاهرة، مع وضع حلول عملية ومستدامة تُسهم في حماية البنية التحتية وتحسين جودة الحياة للسكان المحليين.

يمكن تلخيص الأهداف الرئيسية للدراسة في النقاط التالية:

- **فهم ديناميكية زحف الرمال:**
  يُركز البحث على تحليل العوامل الطبيعية، مثل الرياح، التضاريس، والظروف المناخية، والعوامل البشرية، مثل الأنشطة الزراعية غير المستدامة وتغيير استخدامات الأراضي، التي تُسهم في حركة الكثبان الرملية وتراكمها على الطريق الوطني رقم 118. كما يهدف إلى دراسة تأثير اتجاهات الرياح وشدتها على هذه الحركة، من خلال تحليل أنماط الرياح الموسمية وعلاقتها بتوزيع الرمال على امتداد الطريق.
- **تقييم فعالية الإجراءات الحالية:**
  تسعى الدراسة إلى تقييم التدخلات التقليدية المستخدمة لمكافحة زحف الرمال على الطريق، مثل الحواجز الميكانيكية وإزالة الرمال يدويًا، من حيث فعاليتها وجدواها الاقتصادية. يشمل ذلك تحليل نقاط القوة، مثل سرعة التنفيذ، ونقاط الضعف، مثل التكاليف المرتفعة وعدم الاستدامة، لفهم أسباب استمرار المشكلة رغم هذه التدخلات.
- **اقتراح حلول مبتكرة ومستدامة:**
  يهدف البحث إلى استكشاف إمكانية تطبيق الحلول التي أثبتت نجاحها في دول أخرى، مثل تعديل تصميم الطرق لتقليل تراكم الرمال أو استخدام الحواجز الخضراء، مع مراعاة الظروف البيئية والاقتصادية في الجزائر. كما يسعى إلى تطوير حلول جديدة تتناسب مع الواقع المحلي، مثل استخدام مواد معاد تدويرها في إنشاء حواجز لتثبيت الرمال، مما يقلل التكاليف ويحافظ على البيئة. يُركز هذا الهدف على تقديم استراتيجيات مستدامة يمكن تطبيقها على المدى الطويل.
- **استخدام التكنولوجيا في مكافحة زحف الرمال:**
  تسعى الدراسة إلى تطبيق تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحليل مخاطر زحف الرمال وتحديد المناطق الأكثر عرضة للخطر على الطريق الوطني رقم 118. تشمل هذه التقنيات إنشاء خرائط مكانية تُظهر توزيع الكثبان الرملية وتحديد الأنماط المكانية لحركة الرمال. كما يهدف البحث إلى دمج تقنيات حديثة أخرى، مثل الاستشعار عن بعد، لمراقبة التغيرات في الكثبان الرملية وتقييم فعالية التدخلات المستقبلية.

- **الحفاظ على البنية التحتية وتحسين السلامة:**

تهدف الدراسة إلى تقليل الحوادث المرورية الناتجة عن تراكم الرمال على الطرق، من خلال تطوير استراتيجيات فعالة لتثبيت الرمال ومنعها من الوصول إلى الطريق. كما تسعى إلى خفض

تكاليف صيانة وإعادة تأهيل الطرق المتضررة، من خلال تقديم حلول مستدامة تقلل من الحاجة إلى التدخلات المتكررة. بالإضافة إلى ذلك، يُركز البحث على حماية البيئة المحيطة من التلوث الناتج عن التدخلات غير المدروسة، مثل استخدام مواد كيميائية ضارة في تثبيت الرمال.

- **تعزيز التنمية المستدامة:**
يهدف البحث إلى حماية الأراضي الزراعية والمناطق الحضرية المحيطة بالطريق من تأثير زحف الرمال، مما يُسهم في الحفاظ على الموارد الطبيعية ودعم الأمن الغذائي. كما يسعى إلى المساهمة في تحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية في المناطق المتضررة، من خلال ضمان استمرارية حركة المرور وتسهيل الوصول إلى الخدمات الأساسية، مثل التعليم والرعاية الصحية، للسكان المحليين.

بشكل عام، تسعى هذه الدراسة إلى تقديم رؤية شاملة لمشكلة زحف الرمال على الطريق الوطني رقم 118، من خلال تحليل الظاهرة من جوانبها المختلفة وتقديم حلول عملية ومستدامة تُسهم في حماية البنية التحتية، وتحسين السلامة المرورية، ودعم التنمية المستدامة في المناطق الصحراوية بالجزائر.

الفرضيات:

تسعى هذه الدراسة إلى تحليل ظاهرة زحف الرمال على الطريق الوطني رقم 118، الرابط بين مدينتي تيميمون والبنود في الجزائر، بهدف فهم العوامل المؤثرة في هذه الظاهرة، وتقييم الحلول الحالية، واستكشاف استراتيجيات مبتكرة لمكافحتها. تستند الفرضيات إلى الإشكالية المطروحة، مع الاعتماد على الإطار النظري المستمد من دراسات ديناميكيات الكثبان الرملية، لتوجيه البحث نحو تحقيق أهدافه. تُركز الفرضيات على العوامل الطبيعية والبشرية، ودور التضاريس، والتغيرات المناخية، وفعالية التدخلات التقليدية، بالإضافة إلى إمكانية استخدام التكنولوجيا والحلول المستدامة. تتضمن الفرضيات التالية:

1. **العوامل الطبيعية والبيئية:** تُعد قوة واتجاه الرياح، إلى جانب ندرة الغطاء النباتي، من العوامل الرئيسية في زيادة زحف الرمال على الطريق الوطني رقم 118. الرياح الشرقية السائدة تنقل الرمال من الكثبان المحيطة، بينما يؤدي غياب النباتات إلى تقليل تثبيت التربة، مما يسهل حركة الرمال نحو الطريق.

2. **فعالية الحلول التقليدية:** الحواجز الميكانيكية وإزالة الرمال يدويًا تُظهر فعالية محدودة في مكافحة زحف الرمال على الطريق الوطني رقم 118، بسبب عدم مراعاتها للديناميكيات الهوائية المحلية والتغيرات المستمرة في أنماط الرياح.

3. **الحلول المبتكرة والتكنولوجية:** استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد، إلى جانب حلول مستدامة مثل الحواجز المصنوعة من مواد معاد تدويرها والتثبيت البيولوجي بزراعة نباتات صحراوية، يمكن أن يعزز فعالية مكافحة زحف الرمال من خلال تحديد المناطق الأكثر عرضة وتطبيق تدخلات ملائمة للظروف البيئية.

منهجية البحث:

الأهداف

تتمحور الدراسة حول فهم ظاهرة زحف الرمال وتأثيرها على الطريق الوطني رقم 118، الرابط بين تيميمون والبنود، بهدف وضع حلول فعالة ومستدامة للحد من هذه الظاهرة. يتركز الهدف العام على تحليل ديناميكية زحف الرمال، وتقييم التدخلات الحالية، وتطوير استراتيجيات مبتكرة لحماية البنية التحتية ودعم التنمية المستدامة في المناطق الصحراوية. أما الأهداف الجزئية فتشمل فهم العوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة، ودراسة تأثير الرياح، واستخدام التقنيات الحديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، بالإضافة إلى تقديم حلول عملية تتناسب مع السياق المحلي.

مراحل البحث

تم تنظيم البحث في ثلاث مراحل رئيسية لضمان الشمولية والدقة في الدراسة:

- **مرحلة البحث النظري:** تتضمن هذه المرحلة مراجعة الدراسات والمصادر العلمية المتعلقة بظاهرة زحف الرمال، بما في ذلك الكتب، والمقالات الأكاديمية، والتقارير الرسمية. يهدف هذا الجزء إلى بناء إطار نظري متين يدعم الدراسة، مع التركيز على تنوع المصادر لضمان المصداقية والشمولية في تغطية الموضوع من جوانبه المختلفة.
- **مرحلة البحث الميداني:** تشمل هذه المرحلة زيارات ميدانية إلى الطريق الوطني رقم 118 لجمع بيانات واقعية عن المناطق المتضررة. تضمنت الزيارات الميدانية جمع ملاحظات لتحديد مواقع تراكم الرمال، بالإضافة إلى لقاءات مع مسؤولين محليين وأفراد من السكان لفهم التحديات التي يواجهونها والتدخلات المطبقة حاليًا.
- **مرحلة التحرير والتمثيل البياني:** في هذه المرحلة، تم تحليل البيانات المجمعة باستخدام برامج حديثة مثل ArcGIS لإنشاء خرائط مكانية تُظهر توزيع الكثبان الرملية وتحديد المناطق الأكثر عرضة للخطر. كما تم استخدام أدوات التمثيل البياني لعرض النتائج بشكل مرئي، مما يعزز من جودة الدراسة وقدرتها على توضيح الظاهرة للقارئ.

المنهجية

تم اعتماد المنهج الوصفي التحليلي كأساس للدراسة، نظرًا لملاءمته لدراسة الظواهر الطبيعية والبشرية المعقدة مثل زحف الرمال. يعتمد هذا المنهج على وصف الظاهرة بدقة من خلال جمع البيانات الميدانية والنظرية، ثم تحليلها لفهم العلاقات بين العوامل المؤثرة، مثل الرياح، والتضاريس، والأنشطة البشرية. كما تم استخدام تطبيقات ArcGIS لتحليل البيانات المكانية، مما سمح بإنشاء خرائط دقيقة تُظهر الأنماط المكانية لحركة الرمال، وتحديد المناطق الأكثر تضررًا على الطريق.

هيكلة البحث

تم تقسيم البحث إلى ثلاثة فصول رئيسية لضمان التنظيم المنطقي وتسهيل فهم القارئ:

- **الفصل الأول:** يتناول الإطار النظري والمفاهيم الأساسية المتعلقة بظاهرة زحف الرمال، بما في ذلك تعريف الظاهرة، وعواملها المؤثرة، وتجارب الدول الأخرى في مكافحتها.
- **الفصل الثاني:** يركز على الدراسة الميدانية للطريق الوطني رقم 118، مع وصف التضاريس المحيطة، وتحليل البيانات باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وتقييم التدخلات الحالية.

- **الفصل الثالث:** يقدم تحليل النتائج، مع اقتراح حلول مبتكرة ومستدامة، وتوصيات عملية للحد من تأثير زحف الرمال على الطريق.

اسباب اختيار الموضوع:

تم اختيار موضوع زحف الرمال على الطريق الوطني رقم 118 لعدة أسباب تتعلق بأهمية الظاهرة وخصوصية المنطقة:

- **تأثير زحف الرمال على المنطقة:** تُعد منطقة الدراسة واحدة من المناطق الأكثر تضررًا بظاهرة زحف الرمال في الجزائر، حيث يؤدي تراكم الكثبان الرملية إلى إغلاق الطريق بشكل متكرر، مما يُعيق حركة المرور ويؤثر على الأنشطة الاقتصادية والاجتماعية. يُشكل هذا التأثير السلبي حافزًا لدراسة الظاهرة ووضع حلول فعالة للحد منها.
- **المعرفة الجيدة بالمنطقة:** يمتلك الباحث معرفة معمقة بمنطقة الدراسة، بما في ذلك تضاريسها، وظروفها المناخية، والتحديات التي تواجه سكانها. هذه المعرفة تُسهل جمع البيانات الميدانية وفهم السياق المحلي، مما يعزز من دقة الدراسة.
- **الأهمية الإستراتيجية للمنطقة:** تتمتع منطقة الدراسة بأهمية كبيرة على المستوى البلدي والولائي، حيث يُعد الطريق الوطني رقم 118 شريانًا حيويًا يربط بين المناطق الصحراوية النائية والمدن الكبرى. يدعم الطريق الأنشطة الاقتصادية مثل السياحة والتجارة، كما يُسهم في توفير الخدمات الأساسية للسكان، مما يجعل حمايته من زحف الرمال ضرورة ملحة.

الصعوبات والعراقيل:

خلال تنفيذ الدراسة، واجهت مجموعة من التحديات التي أثرت على سير العمل، والتي يمكن تصنيفها كالتالي:

1. **الصعوبات اللوجستية والميدانية**

- **بُعد المسافة:** تقع منطقة الدراسة على مسافة بعيدة من مكان إقامة الباحث، مما استلزم وقتًا وجهدًا كبيرين للوصول إلى الطريق الوطني رقم 118.
- **الظروف المناخية القاسية:** تعرضت الزيارات الميدانية لتحديات بسبب العواصف الرملية وارتفاع درجات الحرارة، مما حد من القدرة على جمع البيانات في أوقات معينة من السنة، خاصة خلال فصل الصيف.

2. **الصعوبات المتعلقة بالبيانات والمعلومات**

- **نقص الدراسات السابقة:** يعاني الموضوع من قلة الدراسات السابقة المتعلقة بمنطقة الدراسة، مما جعل بناء الإطار النظري أكثر تعقيدًا.
- **قلة المعطيات:** واجهت الدراسة تحديًا في الحصول على بيانات دقيقة ومحدثة بسبب عدم تعاون بعض المصالح البلدية والإدارات المحلية، مما أثر على توافر المعلومات اللازمة.
- **عدم دقة البيانات:** كانت بعض البيانات المتاحة غير دقيقة أو غير موثوقة، مما استلزم جهدًا إضافيًا للتحقق من صحتها.

3. **الصعوبات المتعلقة بالتحليل والتفسير**

- **تحليل البيانات المعقد:** واجهت عملية تحليل البيانات تحديات بسبب عدم تجانس البيانات المجمعة ونقص بعض المعلومات، مما تطلب استخدام برامج تحليل إحصائي متخصصة.
- **تفسير النتائج:** كانت بعض النتائج غير متوقعة أو غير واضحة، مما استلزم تحليلًا إضافيًا لفهم أسبابها وتفسيرها بشكل صحيح.
- **وضع الحلول العملية:** واجهت الدراسة صعوبة في وضع حلول عملية وفعالة لمكافحة زحف الرمال، خاصة في ظل محدودية الموارد المتاحة وتحديات تطبيق الحلول المقترحة على أرض الواقع.

4. **صعوبات أخرى**

- **التعاون المحدود:** واجهت الدراسة تحديًا في الحصول على تعاون كافٍ من السكان المحليين وبعض الجهات المعنية، بالإضافة إلى نقص التنسيق بين الجهات المختلفة.
- **الموارد المالية المحدودة:** أثرت القيود المالية على القدرة على استخدام تقنيات متقدمة أو إجراء زيارات ميدانية إضافية، مما استلزم تحسين استخدام الموارد المتاحة.

الفصل الأول

الإطار الطبيعي والجغرافي للطريق الوطني رقم 118

مقدمة الفصل

يُمثل الطريق الوطني رقم 118، الرابط بين بلدتي تيميمون والبنود في الجنوب الغربي الجزائري، نموذجًا بارزًا للتفاعل المعقد بين البنية التحتية الحديثة والظروف البيئية القاسية التي تتميز بها المناطق الصحراوية. يمتد هذا الطريق على مسافة 402 كيلومتر عبر تضاريس متنوعة تشمل الكثبان الرملية الشاسعة، والأراضي المنبسطة، والحمادات الصخرية، مما يجعله عرضة لتحديات بيئية كبيرة، أبرزها ظاهرة زحف الرمال التي تُهدد استمرارية وظيفته كشريان حيوي للتنقل والتجارة. في هذا السياق، يأتي الفصل الأول كمدخل أساسي لفهم الإطار الطبيعي والجغرافي الذي يمتد خلاله الطريق، وذلك من خلال تحليل العناصر البيئية المحيطة به، لتوفير قاعدة معرفية متينة تدعم التحليلات المستقبلية في الفصول اللاحقة من الدراسة.

يبدأ الفصل باستعراض التعاريف العلمية للمفاهيم الأساسية المرتبطة بالبيئة الصحراوية، مثل التصحر والرياح، والتي تُعد من العوامل الرئيسية المؤثرة في ديناميكيات حركة الرمال. يُركز هذا الجزء على توضيح طبيعة التصحر كظاهرة بيئية تتفاقم بفعل العوامل الطبيعية والبشرية، ودور الرياح كعامل أساسي في نقل الحبيبات الرملية وترسيبها على الطرق والمناطق المحيطة. تُعد الرياح العامل الأساسي في نقل الحبيبات الرملية وترسيبها على الطرق والمناطق المحيطة، حيث تُظهر الدراسات أن المناطق ذات الطاقة الريحية العالية تُعاني من تراكم رملي مكثف (Benazzouz et al., 2017).

ينتقل الفصل إلى تحديد الموقع الجغرافي للطريق الوطني رقم 118، مع التركيز على أهم الوحدات الجغرافية التي يتقاطع معها على امتداده، مثل الكثبان الرملية الكبرى في منطقة العرق الغربي الكبير، والمناطق المنخفضة التي تُسهم في تراكم الرمال (Boudjemaa et al., 2022).

كما يتناول الفصل الخصائص الطبيعية للمنطقة المحيطة بالطريق، مع التركيز على العناصر الجيومرفولوجية والهيدرولوجية التي تؤثر على استقراره. يشمل ذلك دراسة الشبكات الهيدروغرافية المحدودة في المنطقة، مثل الأودية الموسمية التي تتأثر بالجفاف الشديد، والانحدارات التضاريسية التي تُسهم في توجيه الرياح وحركة الرمال، بالإضافة إلى التركيب الجيولوجي للمنطقة الذي يتكون أساسًا من رواسب رملية وصخرية تعود إلى العصور الجيولوجية القديمة (Fabre, 2005).

علاوة على ذلك، يُسلط الفصل الضوء على المناخ كعامل حاسم في تشكيل البيئة الصحراوية، من خلال تحليل التساقطات المطرية الشحيحة التي لا تتجاوز بضع مليمترات سنويًا، ودرجات الحرارة المرتفعة التي قد تصل إلى أكثر من 45 درجة مئوية في الصيف، وأنواع الكثبان المتواجدة وخصائص الرياح من حيث سرعتها واتجاهاتها الموسمية التي تُسهم بشكل مباشر في نقل الرمال وتراكمها على الطريق (Sahnoune et al., 2013).

من خلال هذا الاستعراض الشامل، تسعى هذه الدراسة إلى تقديم رؤية متكاملة للظروف البيئية والجغرافية المحيطة بالطريق الوطني رقم 118، مما يُشكل أساسًا علميًا لفهم تأثير هذه العوامل على ظاهرة زحف الرمال. يهدف الفصل إلى توفير إطار تحليلي يُساعد في استنباط الحلول المناسبة لمواجهة هذه التحديات في الفصول اللاحقة، مع التركيز على أهمية التكامل بين الدراسات النظرية والميدانية لتحقيق نتائج عملية تدعم التنمية المستدامة في المناطق الصحراوية الجزائرية (Bessaoud, 2008).

1. لمفاهيم الأساسية

يُشكل الخطر محورًا مركزيًا في دراسة الظواهر البيئية، خاصة في المناطق الصحراوية التي تُعاني من تحديات مثل زحف الرمال والتصحر. يهدف هذا الفصل إلى تقديم إطار نظري متكامل من خلال استعراض المفاهيم الأساسية المرتبطة بظاهرة زحف الرمال على الطريق الوطني رقم 118، مع التركيز على السياق البيئي والطبيعي الذي يؤثر على هذه الظاهرة. كما يتناول المخاطر البيئية من منظور تخصص تسيير المخاطر والأمن المدني، مما يُوفر أساسًا لتحليل الظاهرة واقتراح الحلول في الفصول اللاحقة.

1.1 مفهوم الخطر

- **لغويًا:** الخطر جمع أخطار، ويعني التهديد أو الضرر، ويشير إلى ما يُهدد الأمن والسلامة أو يُؤدي إلى الهلاك والتلف للكائنات الحية والممتلكات (Boudjemaa et al., 2022).
- **اصطلاحيًا:** يُعرف الخطر على أنه تهديد محتمل يمكن التنبؤ به بدرجات متفاوتة، ويتراوح بين الضعيف والقوي بناءً على طبيعته وشدته. ينشأ الخطر من عوامل متعددة، مثل الظروف الطبيعية القاسية (كالجفاف والرياح)، أو الأحداث الاجتماعية (كالهجرة الناتجة عن التصحر)، أو القرارات السياسية (مثل سوء إدارة الموارد الطبيعية). يتضمن الخطر الجانب العشوائي للحدث، والتهديد الناتج عنه، والعواقب المحتملة التي قد تترتب عليه (Aven, 2016).
- **من منظور تسيير المخاطر:** يُعرف الخطر بأنه تقدير لاحتمالية حدوث خسائر أو أضرار نتيجة حدث غير مرغوب فيه. وفقًا لتعريف برنامج الأمم المتحدة للتنمية (UNDP)، "الخطر هو التفاعل بين حدث محتمل (Alea) والمخاطر المرتبطة به (Enjeux)، مع الأخذ في الاعتبار درجة الهشاشة (Vulnérabilité) للنظام المعرض" (UNDP, 2015).

- **المعادلة الأساسية للخطر هي:**

الخطر (Risk) = الحدث المحتمل (Alea) × المخاطر (Enjeux) × الهشاشة (Vulnérabilité)

في سياق الدراسة، يُمثل زحف الرمال الحدث المحتمل (Alea)، بينما تشمل المخاطر (Enjeux) البنية التحتية للطريق الوطني رقم 118 والتنمية الاقتصادية، وتُعبر الهشاشة (Vulnérabilité) عن مدى تعرض الطريق للتهديد بسبب نقص التدخلات الوقائية.

2.1 مفهوم الهشاشة (Vulnérabilité)

الهشاشة هي مدى تعرض نظام أو منطقة للتأثر السلبي بفعل خطر معين. تتأثر الهشاشة بعوامل مثل نقص الموارد، سوء الإدارة، أو غياب التخطيط الوقائي (Cardona et al., 2012).في سياق الطريق الوطني رقم 118، تظهر الهشاشة في غياب الحواجز الفعالة لمنع زحف الرمال، ومحدودية الموارد لتطبيق حلول مستدامة.

3.1 مفهوم الحدث المحتمل (Alea)

الحدث المحتمل (Alea) هو الظاهرة أو الحدث الذي يُمكن أن يُشكل تهديدًا، ويتميز بطبيعته العشوائية واحتمالية حدوثه (Alexander, 2013).

في سياق الدراسة، يُمثل زحف الرمال الحدث المحتمل، حيث تتوقف شدته على عوامل مثل سرعة الرياح وكمية الرمال المتحركة.

4.1 مفهوم المخاطر (Enjeux)

تُشير إلى العناصر أو القيم التي يُمكن أن تتأثر سلبًا بحدوث الخطر. تشمل الممتلكات، الأرواح، البنية التحتية، أو الأنظمة الاقتصادية والبيئية (Brooks, 2003) في سياق الدراسة، تتمثل المخاطر في الطريق الوطني رقم 118 كشريان حيوي للتنقل والتجارة، بالإضافة إلى التنمية الاقتصادية والاجتماعية للمناطق المحيطة التي تعتمد على الطريق.

❖ التعريفات المتعلقة بالظواهر البيئية

يُعد فهم المفاهيم الأساسية المتعلقة بالظواهر البيئية خطوة ضرورية لدراسة ظاهرة زحف الرمال على الطريق الوطني رقم 118. يهدف هذا القسم إلى تقديم تعريفات دقيقة للمصطلحات المرتبطة بالبيئة الصحراوية، مع التركيز على الجوانب الطبيعية التي تؤثر على هذه الظاهرة، مما يُشكل أساسًا لتحليل المخاطر واقتراح الحلول في الفصول اللاحقة.

5.1 مفهوم الرمال

الرمال هي حبيبات دقيقة غير متماسكة تتكون من رواسب معدنية تتراوح أحجامها بين 0.06 و2 ملم، وتُنقل عادةً بفعل الرياح أو المياه. تتشكل الرمال نتيجة عوامل التعرية والتجوية للصخور الرسوبية أو النارية أو المتحولة. عندما تصل سرعة الرياح إلى مستوى معين (حوالي 18 كم/ساعة)، تتجمع الحبيبات الرملية لتشكل تلالًا أو كثبانًا رملية. وفقًا لتقرير صادر عن برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP)، "تُعد الرمال مكونًا أساسيًا في البيئات الصحراوية، وتتأثر حركتها بشكل كبير بقوة الرياح وطبيعة السطح". (UNEP, 2019).

6.1 مفهوم زحف الرمال

زحف الرمال هو ظاهرة جيومرفولوجية طبيعية تتمثل في انتقال حبات الرمال بفعل الرياح، مما يؤدي إلى تراكمها أو اجتياحها للأراضي في المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية. تُسبب هذه الظاهرة أضرارًا كبيرة، مثل تغطية الأراضي الزراعية، تعطيل البنية التحتية (كالطرق)، تلوث مصادر المياه، وتدهور النظم البيئية. يتأثر زحف الرمال بعوامل مثل سرعة الرياح، حجم الحبيبات، وغياب الغطاء النباتي. وفقًا لمنظمة الأغذية والزراعة (FAO)، "يُعتبر زحف الرمال أحد التحديات الرئيسية في المناطق القاحلة، حيث يُهدد الأمن الغذائي والبنية التحتية". .(FAO, 2016)

7.1 مفهوم الجفاف

الجفاف هو حالة نقص حاد في الموارد المائية نتيجة انخفاض التساقطات المطرية، مما يُؤدي إلى اختلال التوازن بين كمية المياه المتاحة والمفقودة بفعل التبخر والنتح. يُعد الجفاف سمة مميزة للمناطق الصحراوية،

ويُفاقم من ظاهرة زحف الرمال بسبب جفاف التربة وقلة الغطاء النباتي. وفقًا لمنظمة الأرصاد العالمية (WMO)، "الجفاف هو ظاهرة مناخية تتسم بانخفاض الهطول المطري عن المعدل الطبيعي لفترة طويلة، مما يؤثر على النظم البيئية والاقتصادية" .(WMO, 2020)

8.1 مفهوم المناطق الجافة وشبه الجافة

تتميز المناطق الجافة بشح التساقطات المطرية (أقل من 125 ملم سنويًا)، بينما تتلقى المناطق شبه الجافة هطولًا محدودًا (بين 125 و250 ملم سنويًا). تتأثر هذه المناطق بعوامل مثل الحرارة المرتفعة، الرطوبة المنخفضة، والرياح القوية، مما يؤدي إلى ارتفاع معدلات التبخر مقارنة بالتساقطات. تُستخدم معادلة دي مارتون لتصنيف هذه المناطق:

معامل الجفاف = متوسط الأمطار السنوية / (متوسط الحرارة السنوية + 10)
إذا كان المعامل أقل من 5، تُصنف المنطقة كجافة. (De Martonne, 1926)

جدول 1 فترات الجفاف في الجزائر

الفترة	1973-1939	1992-1973	2000-1992	2021-2000
سنوات الجفاف	1945- 1961- 1970-	1977- 1981- 1989- 1990-	1994-	2001- 2002- 2021-

المصدر: الوكالة الوطنية للتغيرات المناخية (2024)

9.1 البيئة الصحراوية

البيئة الصحراوية هي مناطق قاحلة تتسم بشح الأمطار (أقل من 50 ملم سنويًا)، وتتكون أراضيها من الرمال، الحصى، والصخور، مع غطاء نباتي محدود جدًا. تعتمد الحياة فيها على مصادر المياه النادرة مثل الواحات، وتتميز بمناخ قاسٍ يتسم بارتفاع الحرارة نهارًا وانخفاضها ليلًا.(Ezcurra, 2006) تُعرف البيئة الصحراوية علميًا بأنها نظام بيئي جاف يتميز بانخفاض الرطوبة وهطول الأمطار، مما يؤدي إلى غطاء نباتي متفرق وتضاريس جيومرفولوجية تهيمن عليها الكثبان الرملية والرواسب الصخرية (Laity, 2008). تتأثر هذه البيئات بتقلبات حرارية كبيرة بين النهار والليل، وتعتمد على مصادر مائية محدودة مثل الينابيع أو المياه الجوفية لدعم الحياة النباتية والحيوانية (Goudie, 2013)

10.1 الرياح

تُعد الرياح أحد العناصر المناخية الرئيسية التي تتحكم في عملية زحف الرمال، حيث تلعب دورًا أساسيًا في تكوين الكثبان الرملية وتحريكها وتشكيلها، شريطة توفر الظروف المناسبة لذلك. تختلف سرعة الرياح وشكلها باختلاف الارتفاع عن سطح الأرض وطبيعة الموقع؛ ففي المناطق المكشوفة أو فوق المسطحات

المائية، تصل الرياح إلى ذروة سرعتها عند ارتفاع 274 مترًا. أما في المناطق التي تحتوي على أشجار كثيفة أو مبانٍ منخفضة الارتفاع، فإن هذا الارتفاع يزداد إلى 366 مترًا فوق سطح الأرض. وفي المدن ذات المراكز الحضرية التي تضم مباني عالية وكثافة بنائية مرتفعة تعيق تدفق الهواء، يتغير نمط سرعة الرياح وتمتد إلى أعلى، حيث تبلغ سرعتها القصوى عند ارتفاع 518 مترًا (بلقاسمي وسويداني، 2024)

❖ أنواع الرياح:

- **رياح الخماسين:**

تهب رياح الخماسين من الجنوب نحو الشمال، وتُعرف في مصر باسم "الخماسين"، بينما تُسمى في ليبيا "القبلي". وبما أن مصدرها الجنوب، فإنها تحمل خصائص الصحراء، فتكون جافة وحارة ومصحوبة بالرمال والغبار. تكثر هذه الرياح في شهري مارس وأبريل من كل عام. تُعرف علميًا بأنها رياح موسمية جنوبية شرقية تنشأ نتيجة منخفضات جوية تتحرك شرقًا عبر شمال إفريقيا أو الشواطئ الجنوبية للبحر الأبيض المتوسط، حاملة كميات كبيرة من الرمال من الصحراء الكبرى، مما يؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة (قد تصل إلى 40 درجة مئوية) وانخفاض الرؤية بسبب الغبار

(Abdel Wahab et al., 2010) تُسمى هذه الرياح في مناطق أخرى مثل "الشلوق" في تونس وفلسطين، و"الشهيلي" في تونس والجزائر (El-Fandy, 1940).

- **رياح الهبوب:**

هي رياح شديدة الحرارة والجفاف، تحمل كميات كبيرة من الغبار والرمال الناعمة (Sutton, 1925).

- **رياح السيروكو:**

تُعتبر رياحًا محلية تنشأ نتيجة تحرك الهواء من منطقة الضغط المرتفع في الصحراء نحو منطقة الضغط المنخفض فوق البحر المتوسط. تنطلق من الصحراء الكبرى باتجاه الشمال، وتتميز بالجفاف والحرارة وتحمل معها الغبار والرمال. (سبقاق، 2020).

- **رياح الطوز:**

تُعد هذه الرياح جزءًا من تيارات الهواء القارية المدارية، وهي رياح حارة وجافة تحمل الغبار. تنشأ من المساحات الواسعة في الصحاري، حيث تتحرك تيارات هوائية ساخنة خلال فصل الربيع، متجهة نحو مناطق الانخفاض الجوي. تتسبب في ارتفاع مفاجئ لدرجات الحرارة خلال فترة قصيرة قد لا تتجاوز بضع ساعات، وتؤدي إلى تشكل عواصف رملية. (بلقاسمي وسويداني، 2024)

- **رياح السموم:**

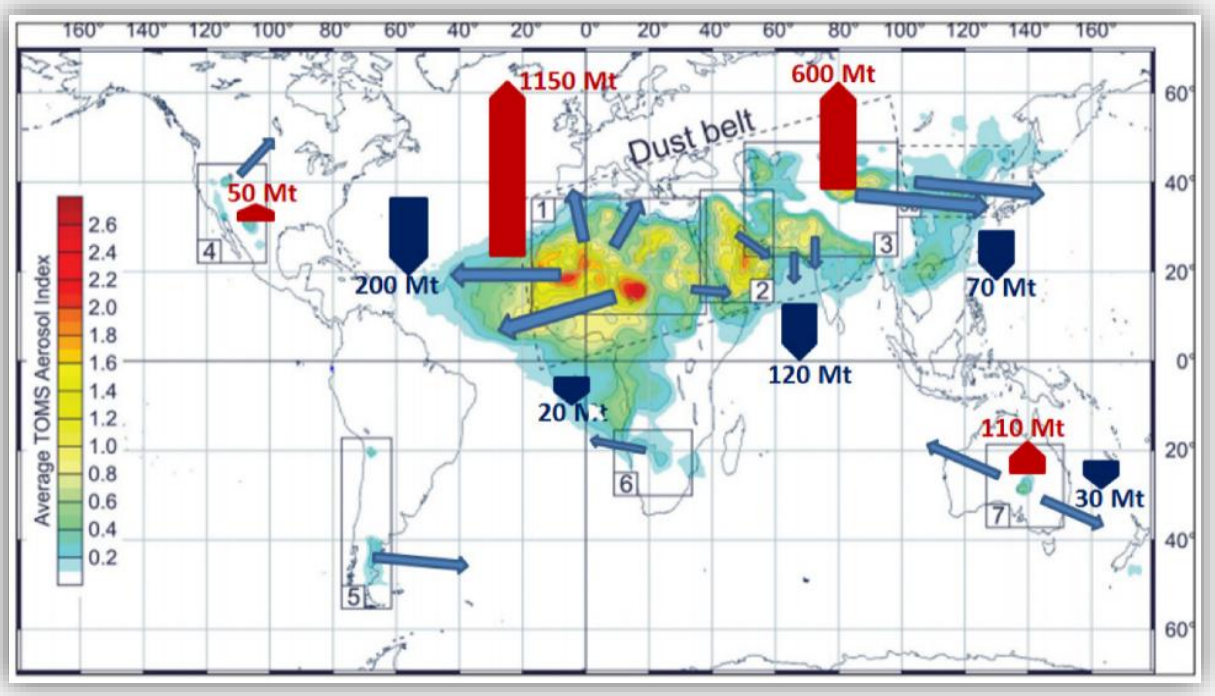
تشبه رياح الخماسين في خصائصها من حيث الحرارة والجفاف وحمل الغبار. تهب على شبه الجزيرة العربية، وقد تتعدى سرعتها 70 كيلومترًا في الساعة، مما يزيد من قدرتها على نقل الرمال والغبار، فتعيق الرؤية وتؤثر على حركة النقل البري والجوي. (بوبرنوس وبالخو، 2020-2021).

❖ **مشاكل الرياح المحملة بالأتربة:**

تُعد العواصف الرملية والغبارية ظواهر بيئية تؤثر على المناطق الصحراوية، مثل الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، حيث تنقل الرياح القوية جزيئات الرمل والغبار، مما يؤدي إلى تدني الرؤية الأفقية أحيانًا إلى مستويات شبه معدومة. تتسبب هذه العواصف في تغيير لون الأجواء إلى درجات الأصفر أو الأحمر نتيجة الجزيئات المعلقة، وقد تحجب أشعة الشمس، مما يؤدي إلى الظلام في الحالات الشديدة. تنشأ هذه الظواهر بفعل عوامل مثل تيارات الحمل الحراري الناتجة عن ارتفاع درجات الحرارة في الصحاري، إلى جانب التعرية الريحية والأنشطة البشرية مثل الرعي الجائر، التي تُفقد التربة تماسكها وتُسهل حركة الرمال.

تؤثر هذه العواصف على الصحة العامة، البنية التحتية، والغطاء النباتي، مما يتطلب استراتيجيات للتخفيف من آثارها (Middleton & Sternberg, 2013) و (Goudie, 2014).

رسم توضيحي 1 : خريطة المسارات الرئيسية لانتقال الغبار الصحراوي من الصحراء الكبرى ومواقع المصادر الرئيسية:



المصدر: ***Schepanski et al., (2017)***

11.1 التصحر

التصحر هو عملية تدهور الأراضي في المناطق الجافة وشبه الجافة، حيث تتحول الأراضي المنتجة إلى أراضي قاحلة غير صالحة للاستخدام الزراعي أو الرعوي. ينتج التصحر عن عوامل طبيعية (مثل الجفاف) وبشرية (مثل الرعي الجائر وسوء إدارة الأراضي). وفقًا لاتفاقية الأمم المتحدة لمكافحة التصحر (UNCCD)، "التصحر هو تدهور الأراضي في المناطق الجافة وشبه الجافة والجافة شبه الرطبة الناتج عن عوامل مختلفة، بما في ذلك التغيرات المناخية والأنشطة البشرية". (UNCCD, 1994)

❖ **أنواع التصحر:**

يُقسم التصحر إلى أربعة أنواع رئيسية بناءً على شدة التدهور وتأثيره على إنتاجية الأرض:

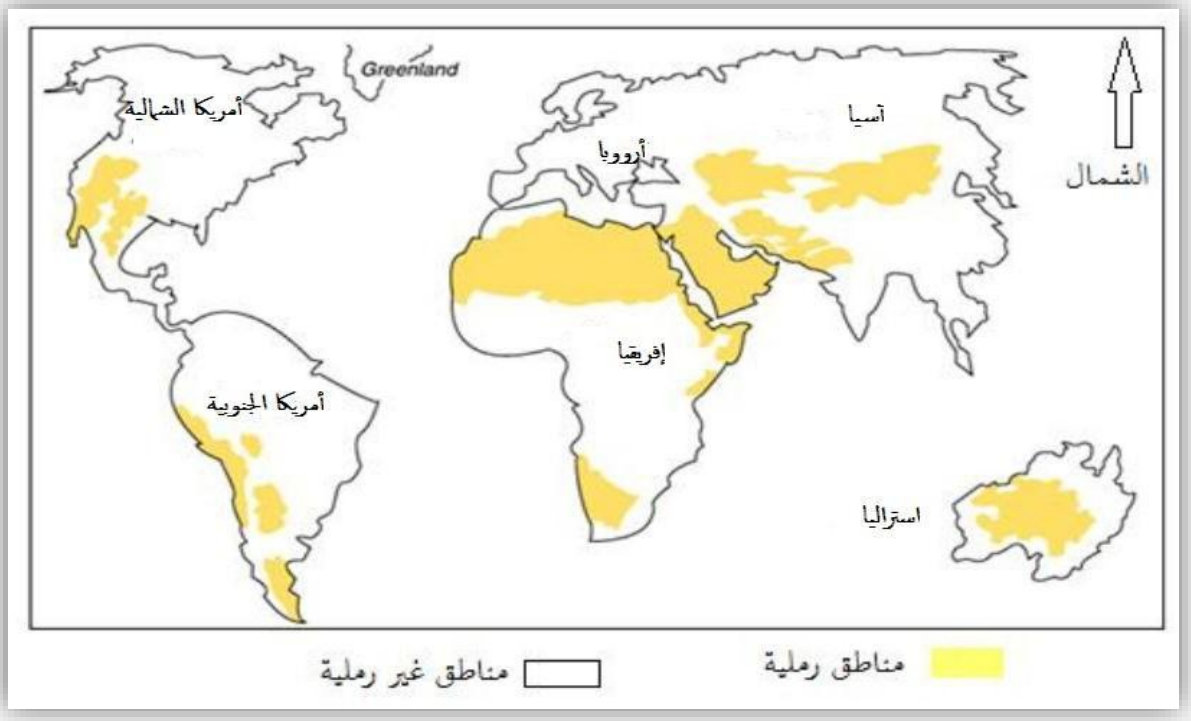
- **التصحر الشديد جدًا:** يؤدي إلى فقدان الأرض لقدرتها الإنتاجية بالكامل، حيث تصبح مشابهة للبيئة الصحراوية غير القابلة للاستغلال الزراعي.

- **التصحر الشديد:** ينتج عنه انخفاض كبير في إنتاجية الأرض بنسبة تصل إلى 50% مقارنة بحالتها الطبيعية، مع انتشار نباتات غير مرغوب فيها.
- **التصحر المعتدل:** يتسبب في تدني إنتاجية الأرض بنسبة تصل إلى 25%، ويُلاحظ في مناطق مثل أراضي مصر التي شهدت تدهورًا جزئيًا نتيجة الري غير المناسب.
- **التصحر الطفيف:** يتمثل في تدهور محدود في الغطاء النباتي وخصائص التربة، ويظهر في مناطق مثل أجزاء من شبه الجزيرة العربية والصحراء الكبرى. (UNCCD, 1994)

12.1 توزيع الكثبان في العالم

تتواجد الكثبان الرملية في معظم المناخات الصحراوية، حيث توجد أكثر من 99% منها في الصحاري، وأقل من 11% تقع في المناخات الرطبة وعلى طول السواحل. تغطي الكثبان الرملية ما يصل إلى ربع مساحة العديد من المناطق الصحراوية. ومن أكبر الصحاري في العالم: الصحراء الكبرى في إفريقيا بمساحة 9,100,000 كم²، وصحراء الربع الخالي في شبه الجزيرة العربية بمساحة 1,300,000 كم²، وصحراء غوبي في آسيا بمساحة 670,000 كم²، وصحراء كالاهاري في إفريقيا بمساحة 370,000 كم²، وصحراء فكتوريا الكبرى في أستراليا بمساحة 490,000 كم²، وصحراء الحوض العظيم في أمريكا الشمالية بمساحة 1,490,000 كم²، والصحراء السورية في الشرق الأوسط بمساحة 490,000 كم².([1]- بضياف، 2015-2016؛ خليل، 2016)

رسم توضيحي 2 : خريطة توزيع الكثبان الرملية في العالم



المصدر: بضياف سميحة (2015)

[1] *Their of Aeolian Sand Dunes and Their Formation, Department of Geography and Environment, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva 84105, palestine.*

2. الموقع الادراي و الجغرافي والخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة

1.2 الموقع الادراي

الموقع الإداري لمنطقة الدراسة (تيميمون - البنود)

يمتد الطريق الوطني رقم 118، بطول 402 كيلومتر، ليربط بين بلديتي تيميمون والبنود في الجنوب الغربي الجزائري، وهو يُعد شريانًا حيويًا للتواصل بين المناطق الصحراوية. **إداريًا**، يمر الطريق عبر ولايتين رئيسيتين هما ولاية تيميمون وولاية البيض، ويخدم عدة تقسيمات إدارية تابعة لهما.

1 **الموقع الإداري الرسمي**

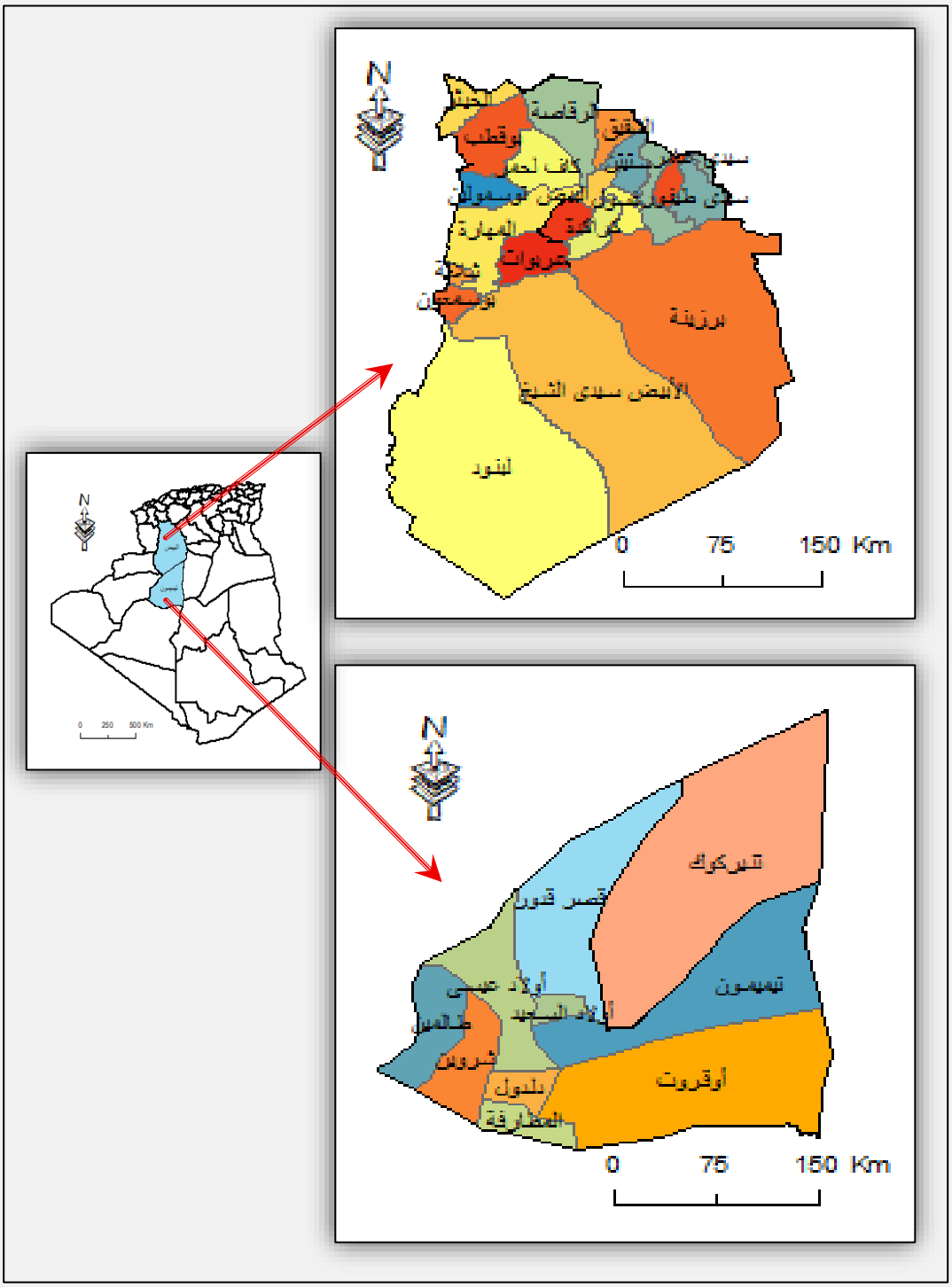
تقع منطقة الدراسة ضمن التقسيم الإداري للجمهورية الجزائرية، وتنقسم بين ولايتين:

- **ولاية تيميمون (رمز الولاية: 49):** ينتهي الطريق الوطني رقم 118 عند بلدية تيميمون، التي تُعد العاصمة الإدارية للولاية ومركز دائرة تيميمون.
- **ولاية البيض (رمز الولاية: 32):** يبدأ الطريق من جهة الجنوبية بلدية البنود، التابعة لدائرة الأبيض سيدي الشيخ ضمن هذه الولاية.

2 **التقسيم الإداري التفصيلي**

- **ولاية تيميمون:** صنفت عام 2019 كولاية طبقا للقانون 19/12 المؤرخ في 2019/12/11، يقطنها حوالي 163000 نسمة، وتتكون من 04 دوائر و10 بلديات بمساحة إجمالية 65.203 كلم2، من أبرزها:
  - تيميمون (العاصمة الإدارية).
  - تينركوك (التي يمر الطريق عبرها ضمن دائرة تينركوك).
  - أولاد سعيد – قصر قدور – شروين – أولاد عيسى – طلمين – اوقروت – لمطارفة - دلدول
- **ولاية البيض:** تبلغ مساحتها 71,697 كيلومتر مربع أي ما يعادل 3٪ من التراب الوطني. إداريا تتكون الولاية من ثماني (8) دوائر واثنان وعشرون (22) بلدية من بينها:
  - البيض (عاصمة الولاية)
  - الأبيض سيدي الشيخ (مركز الدائرة).

رسم توضيحي 3 : خريطة التقسيم الإداري للولايتين



المصدر: إعداد الطالب ق. أمحمد

(2025) باستخدام برنامج ARCPRO

- البنود (التابعة لدائرة الأبيض سيدي الشيخ).

3 **الحدود الإدارية للولايتين**

- **ولاية تيميمون:**
  - شمالًا: البيض.
  - جنوبًا: ولاية أدرار.
  - غربًا: ولاية بشار وبني عباس.
  - شرقًا: ولاية عين صالح والمنيعة.
- **ولاية البيض:**
  - شمالًا: ولاية سعيدة وتيارت وسيدي بلعباس.
  - جنوبًا: ولاية تيميمون.
  - غربًا: ولاية بشار والنعامة.
  - شرقًا: ولاية المنيعة وغرداية والأغواط.

4 **خصائص منطقة البنود**

تقع بلدية البنود ضمن الإقليم الصحراوي الجنوبي لولاية البيض، وتتميز بتضاريسها الصحراوية التي تشمل الكثبان الرملية الكبيرة والعروق الرملية. تكتسب المنطقة أهميتها من كونها نقطة عبور إستراتيجية للطرق الوطنية، حيث ترتبط بالطريق الوطني رقم 6 الذي يربط بين الشمال والجنوب الجزائري، مما يجعلها مركزًا حيويًا للتنقل والتجارة.

5 **خصائص منطقة تيميمون**

تقع بلدية تيميمون في قلب ولاية تيميمون، وتُعد مركزًا إداريًا واقتصاديًا رئيسيًا في المنطقة. تتميز المنطقة بكثبانها الرملية الشاسعة وواحاتها التي تجعلها وجهة سياحية وثقافية هامة، كما تُسهم في دعم حركة التنقل عبر الطريق الوطني رقم 118

2.2 الموقع الجغرافي

يُعد تحديد الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة خطوة أساسية لفهم السياق البيئي والطبيعي الذي يؤثر على الطريق الوطني رقم 118 الواصل بين تيميمون والبنود في جنوب الجزائر. تقع هذه المنطقة ضمن الصحراء الكبرى، وهي واحدة من أكبر المناطق الصحراوية في العالم، مما يجعلها عرضة للظواهر الطبيعية مثل زحف الرمال. يهدف هذا القسم إلى تقديم وصف دقيق للموقع من حيث الإحداثيات، الموقع النسبي، والمعالم الجغرافية المحيطة، مع الاستناد إلى بيانات جغرافية موثوقة لدعم التحليل اللاحق للظاهرة.

- **الإحداثيات الجغرافية**

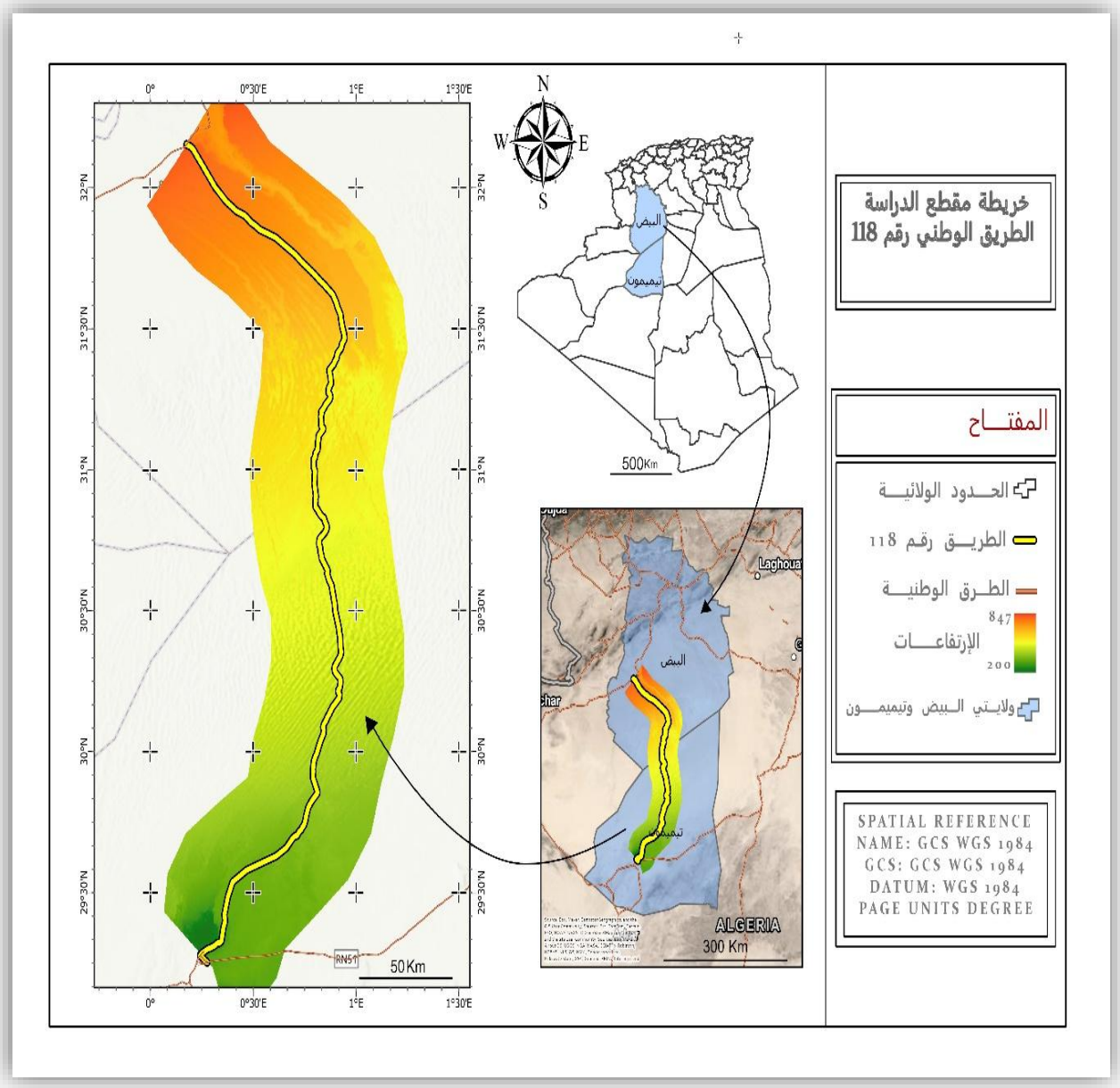
يمتد الطريق الوطني رقم 118 عبر منطقة صحراوية في جنوب غرب الجزائر، حيث يبدأ من مدينة تيميمون الواقعة تقريبًا عند إحداثيات 0°14'18.7" شرقا - 29°15'39.3" شمالا ، وينتهي في جنوب بلدية البنود عند حوالي 0°10'33.8" شرقا -32°09'14.7" شمالا تقريبًا ، مما يقطع الطريق مسافة 400 كيلومتر. يجعله شريانًا حيويًا للصحراء الكبرى. يتميز الموقع بارتفاعات متفاوتة تتراوح بين 200 و800 متر فوق مستوى سطح البحر، وفقًا لنموذج الارتفاع الرقمي.(DEM)

- **الموقع النسبي**

تتمركز منطقة الدراسة ضمن الصحراء الكبرى، وهي الجزء الجنوبي من الجزائر الذي يشكل حوالي 80% من مساحة البلاد. يقع الطريق جنوب غرب العاصمة الجزائرية، ويمر بداية من جنوب بلدية البنود (نحو 20 كلم جنوبا) ويمر عبر بلدية تينركوك شمال تيميمون (60 كلم شمالا) وينتهي في بلدية تيميمون، حيث يربط بين المناطق الصحراوية في حوض قورارة والمناطق الشمالية الغربية باتجاه البنود.

تُعتبر هذه المنطقة جزءًا من النطاق الجغرافي الذي يتأثر بتيارات الرياح القادمة من الصحراء الكبرى، بينما تمتد جنوبًا الكثبان الرملية للعرق الغربي الكبير مما يعزز من حدة زحف الرمال.

رسم توضيحي 4



المصدر: إعداد الطالب ق. أمحمد (2025) باستخدام برنامج ARCPRO و بالاعتماد على مصورات القمر الصناعي الأمريكي لاندسات 8، بدقة 30 متر المقدمة من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)

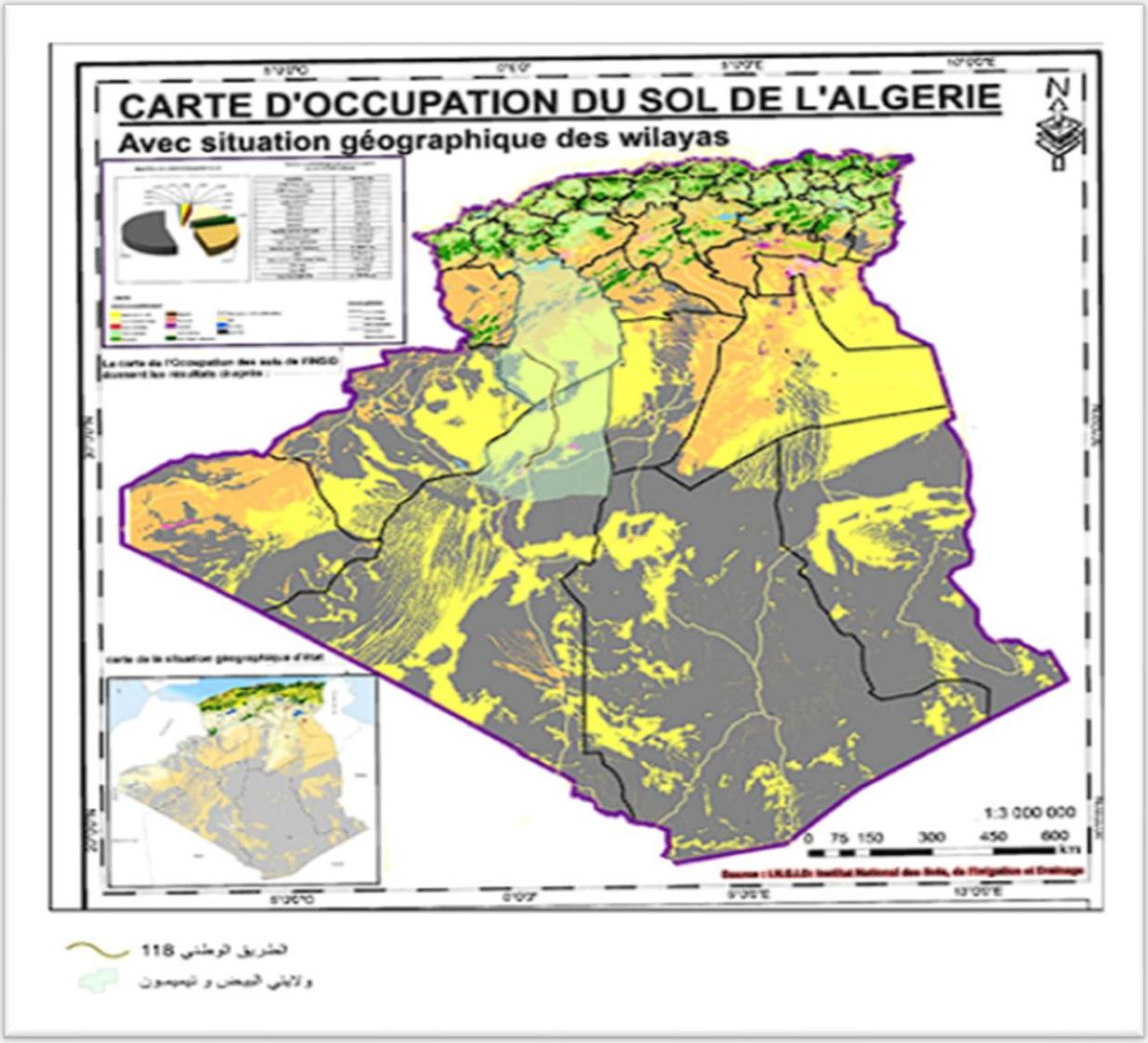
3.2 التضاريس المحيطة بالطريق الوطني رقم 118 وتأثيرها على زحف الرمال

يمتد الطريق الوطني رقم 118 بين تيميمون والبنود ضمن الصحراء الكبرى، حيث يتأثر ببيئة صحراوية قاسية تتميز بالجفاف والرياح القوية. تحيط بالطريق وحدات تضاريسية متنوعة تؤثر على حركة الرمال واستقرار الطريق، مما يجعل فهم هذه التضاريس ضروريًا لدراسة ظاهرة زحف الرمال.

❖ **الوحدات التضاريسية المحيطة وتأثيرها**

- **الكثبان الرملية:** تتركز على جانبي الطريق، خاصة في المقاطع الوسطى والجنوبية، وتُشكل مصدرًا رئيسيًا للرمال المنقولة. تتحرك هذه الكثبان بفعل الرياح القوية، مما يؤدي إلى تراكم الرمال على الطريق ويهدد استقراره واغلاقه.
- **الحمادة الصخرية:** توجد في المناطق الشمالية، وتتميز بأسطح صلبة تُقاوم حركة الرمال مباشرة. لكنها تُعيد توجيه تيارات الهواء، مما يتسبب في تجمع الرمال في المناطق المنخفضة القريبة.
- **الرق (المساحات المنبسطة):** مساحات واسعة تتخللها الكثبان، تُسهل انتقال الرمال بفعل الرياح بسبب انخفاض التضاريس وقلة العوائق، مما يجعلها قنوات رئيسية لزحف الرمال نحو الطريق.
- **واحات محدودة:** مثل واحة تينركوك، التي تُشكل نقاط استقرار بيئي نادرة بفضل وجود المياه، لكنها تغطي مساحات صغيرة جدًا ولا تُقلل بشكل كبير من زحف الرمال.
- **قلة الغطاء النباتي:** يفتقر الطريق إلى غطاء نباتي كثيف، مما يسمح للرمال بالتحرك بحرية أكبر تحت تأثير الرياح.

رسم توضيحي 5 : خريطة توزيع التربة في الجزائر و منطقة الدراسة



المصدر: I.N.S.I.D المعهد الوطني للتربة (I.N.S.I.D) ، 2021 .من إعداد سفيان إشبيليا، مع إدخال بعض التعديلات الحاصة بمنطقة الدراسة ،2025.

4.2 الخصائص الطوبوغرافية للمنطقة

1.3.2 التضاريس العامة:

تتميز منطقة الطريق الوطني رقم 118 بتضاريس صحراوية تتراوح بين سهول منبسطة ومناطق مرتفعة نسبيًا، مما يخلق بيئة ديناميكية تتأثر بعوامل التعرية الطبيعية. تعتمد هذه التضاريس على تكوينات جيولوجية قديمة تُشكل السياق الطبيعي للمنطقة، مما يؤثر على توزيع الرمال واستقرار التربة على امتداد المسار.

2.3.2 الارتفاعات:

تتباين الارتفاعات على طول الطريق بين 200 متر فوق مستوى سطح البحر في المناطق الجنوبية القريبة من تيميمون، وتصل إلى 800 متر في المناطق الشمالية القريبة من البنود، وفقًا للبيانات الجغرافية المتاحة. تؤثر هذه الاختلافات على سرعة الرياح، حيث تعزز المناطق المرتفعة من حركة الهواء، بينما تُشكل المناطق المنخفضة مواطن تراكم للرمال. يمكن الاستناد إلى نماذج الارتفاع الرقمي (DEM) لتحليل هذه التغيرات بدقة.

3.3.2 التأثير الطوبوغرافي على زحف الرمال

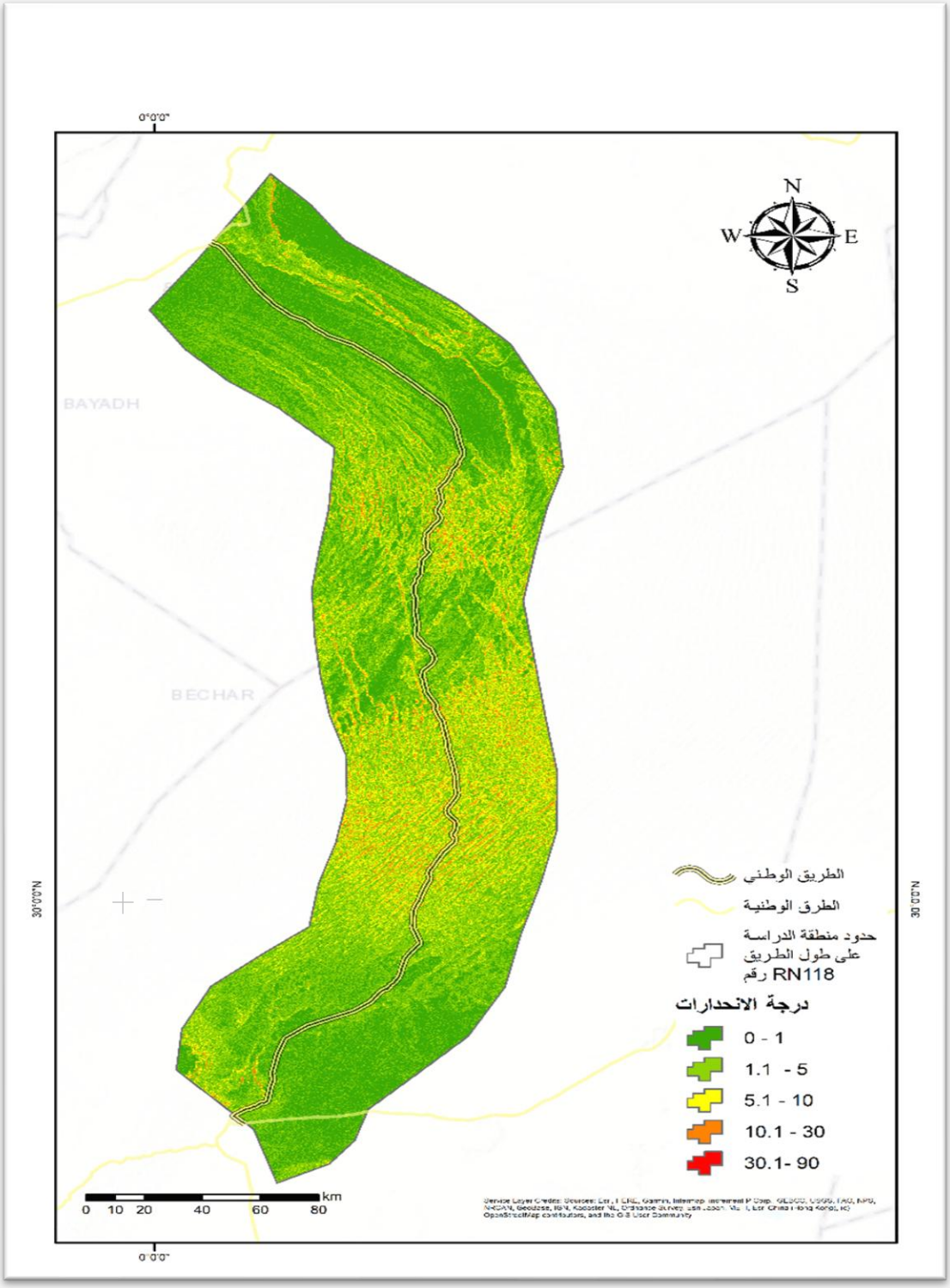
تلعب الخصائص الطوبوغرافية دورًا رئيسيًا في تعزيز زحف الرمال على الطريق. المناطق المنخفضة تُشكل تجمعات طبيعية للرمال الناتجة عن الرياح، بينما تُساهم المناطق المرتفعة في زيادة سرعة الهواء، مما يُعجل بنقل المواد الرملية نحو الطريق. هذا التفاعل يزيد من الضغط البيئي على البنية التحتية، خاصة في المناطق ذات التغيرات الطولية في الارتفاع.

4.3.2 الانحدارات

تتوزع الانحدارات على طول الطريق الوطني رقم 118 بدرجات متفاوتة تؤثر على ديناميكيات الرمال. في الجزء الشمالي القريب من البنود، تكون الانحدارات طفيفة (أقل من 2%) نتيجة الطبقات الصخرية المستقرة، مما يُحد من حركة الرمال المباشرة. أما في المناطق الوسطى والجنوبية، فتصل الانحدارات إلى 5-7% في بعض النقاط بسبب وجود الكثبان الرملية، مما يُعزز من تراكم الرمال في المنحدرات المنخفضة. يمكن مشاهدة هذه الانحدارات بدقة باستخدام أدوات ميدانية مثل المساقط أو تحليل نماذج الارتفاع الرقمي (DEM). تؤثر هذه الانحدارات على اتجاه الرياح، حيث تعمل المنحدرات الحادة كقنوات تُسرع من نقل الرمال نحو الطريق، بينما تُقلل المنحدرات الطفيفة من هذا التأثير.

من خلال خريطة الانحدارات لولاية تيميمون نلاحظ وجود اختلافات محلية طفيفة في الانحدار، كما استنتجنا أن المدينة محصورة في منبسط ضعيف جدا ذو ميل يتراوح ما بين 1%- 2.8 ويمتد هذا الميل من الجنوب الغربي نحو الشمال الشرقي أما من الناحية الغرب فإن الانحدار يزيد من حدته كلما اتجهنا نحو القصر بميل قدره 10%.

رسم توضيحي 6 : خريطة الانحدارات لمنطقة الدراسة



المصدر: إعداد الطالب ق. أمحمد (2025) باستخدام برنامج ARCPRO و بالاعتماد على مصورات القمر الصناعي الأمريكي لاندسات 8، بدقة 30 متر المقدمة من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)

5.3.2 الشبكة الهيدروغرافية:

يتميز الطريق الوطني رقم 118 بموقعه ضمن بيئة صحراوية قاحلة في جنوب الجزائر، مما يؤثر على طبيعة الشبكة الهيدروغرافية المحيطة به. يهدف هذا القسم إلى استعراض خصائص الموارد المائية في المنطقة، مع التركيز على دورها في ديناميكيات زحف الرمال.

أ- الخصائص العامة للموارد المائية

تفتقر منطقة الطريق الوطني رقم 118 إلى الشبكات الهيدروغرافية الدائمة بسبب الجفاف الشديد السائد في الصحراء الكبرى. يهيمن الجفاف على المنطقة، مما يؤدي إلى غياب الأنهار الدائمة أو التدفقات السطحية المنتظمة. ومع ذلك، تظهر ظواهر مائية موسمية محدودة، مثل الأودية الجافة وبعض الآبار، التي تؤثر بشكل غير مباشر على حركة الرمال.

ب- الأودية الجافة والآبار

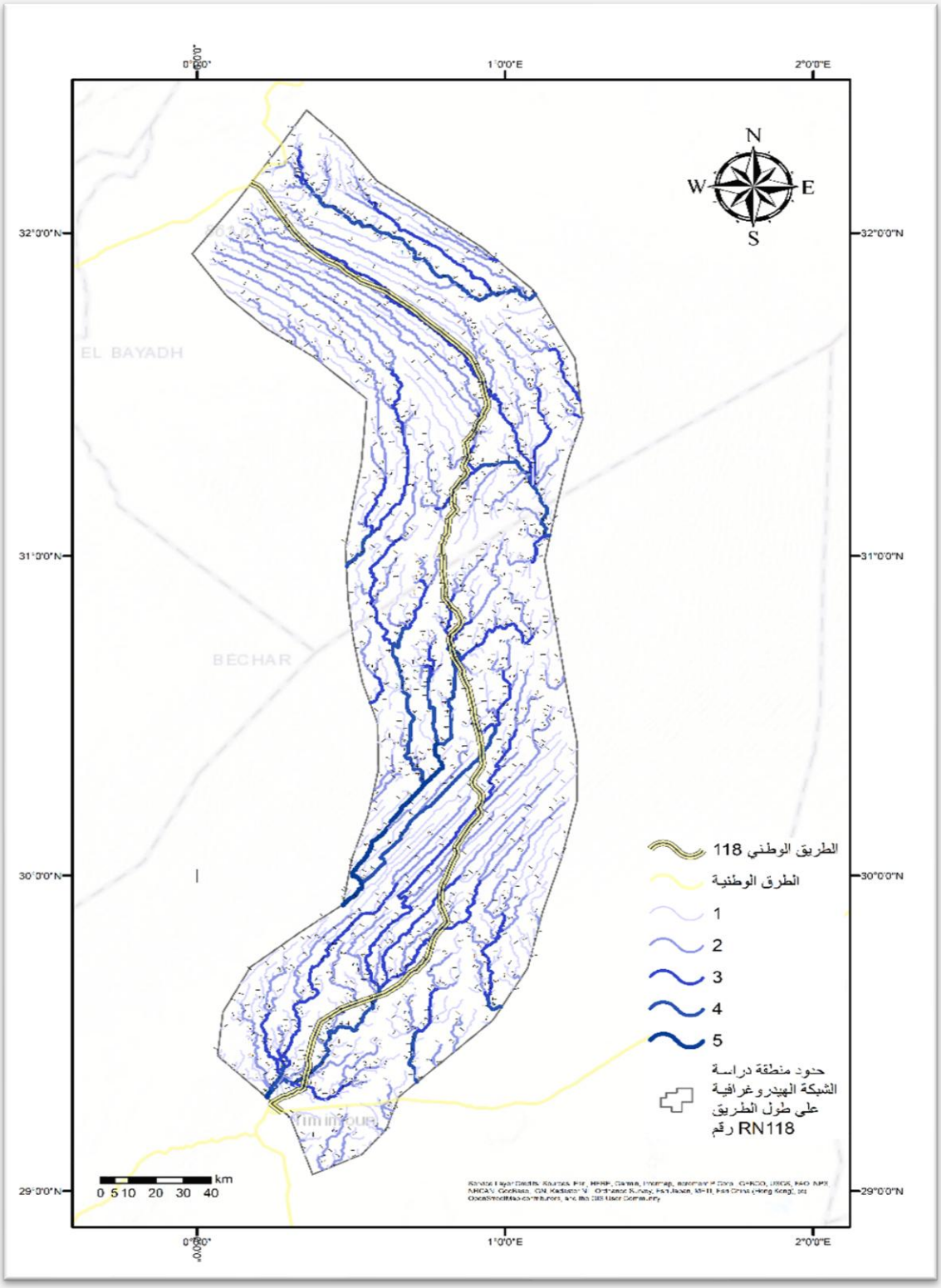
تشكل الأودية الجافة (الشعاب) العنصر الأساسي للشبكة الهيدروغرافية في المنطقة، حيث تظل جافة معظم السنة نتيجة شح الأمطار. تتركز هذه الأودية في المناطق الشمالية القريبة من تيميمون، وتشمل:

- واد عيشة (ن.ك 294)
- واد لزال (ن.ك 288)
- واد العز (ن.ك 252 ون.ك 262)
- واد العلند (ن.ك 285)
- واد أم العرشان (ن.ك 282)
- واد أم الصفي (ن.ك 258)

خلال الأمطار النادرة، تتدفق المياه مؤقتًا في هذه الأودية، مما ينقل الرواسب الرملية نحو السهول المنخفضة القريبة من الطريق. بالإضافة إلى ذلك، تتواجد بعض الآبار على طول الطريق، وتُستخدم لتوفير المياه للتائهين في جوف الصحراء، مثل بئر عند نك 266 ونك 272.

بالإضافة يؤكد مهندسي المنطقة بأن الوصول للمياه الجوفية لا يتطلب سوى حفر من 30-60 متر، يمكن استغلال هذا الأمر في اتخاذ بعض الحلول.

رسم توضيحي 7 : خريطة الشبكة الهيدروغرافية لمنطقة الدراسة

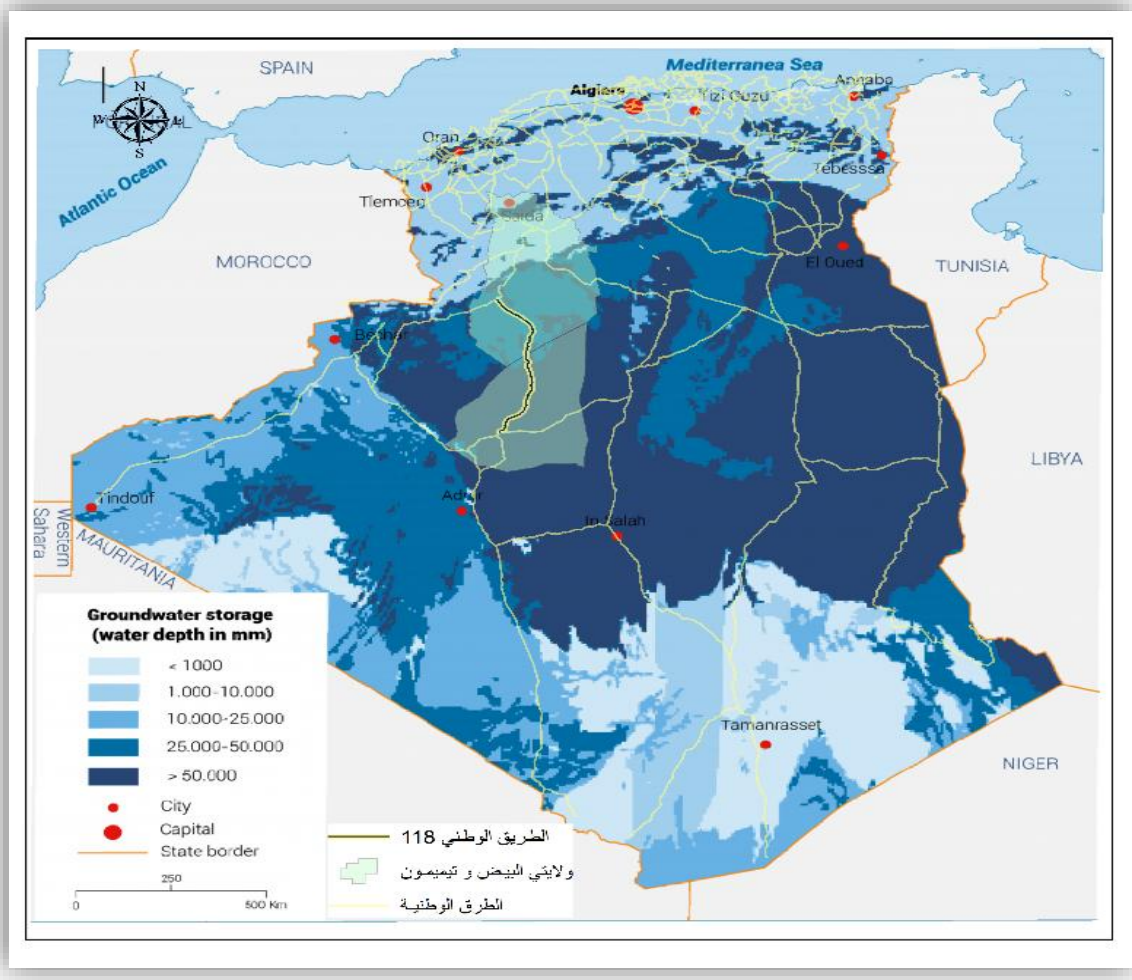


المصدر: إعداد الطالب ق. أمحمد (2025) بالاعتماد على بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة 30 مترالمقدمة من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)

6.3.2 المياه الجوفية:

على الرغم من غياب التدفقات السطحية، تُشكل المياه الجوفية مصدرًا حيويًا ولكنه محدود في المنطقة. تعتمد هذه المياه على خزائن جوفية تُغذى بشكل طفيف خلال الأمطار النادرة، وتتركز في المناطق القريبة من واحات مثل تيميمون. تُساهم هذه المياه في استقرار التربة محليًا، لكن تأثيرها العام على ديناميكيات زحف الرمال يبقى ضئيلًا بسبب ندرتها. (Hamed, 2018)

رسم توضيحي 8: توزع المياه الجوفية على مستوى الجزائر حيث نجد أن الجنوب الجزائري الكبير غني بأكبر خزان مياه جوفية في العالم، تزيد احتياطاته عن 50,000 مليار متر مكعب



المصدر: water.fanack ، مع إدخال بعض التعديلات لتوضيح منطقة الدراسة (2025)

جدول 2 : توزيع المياه حسب المناطق الهيدروغرافية

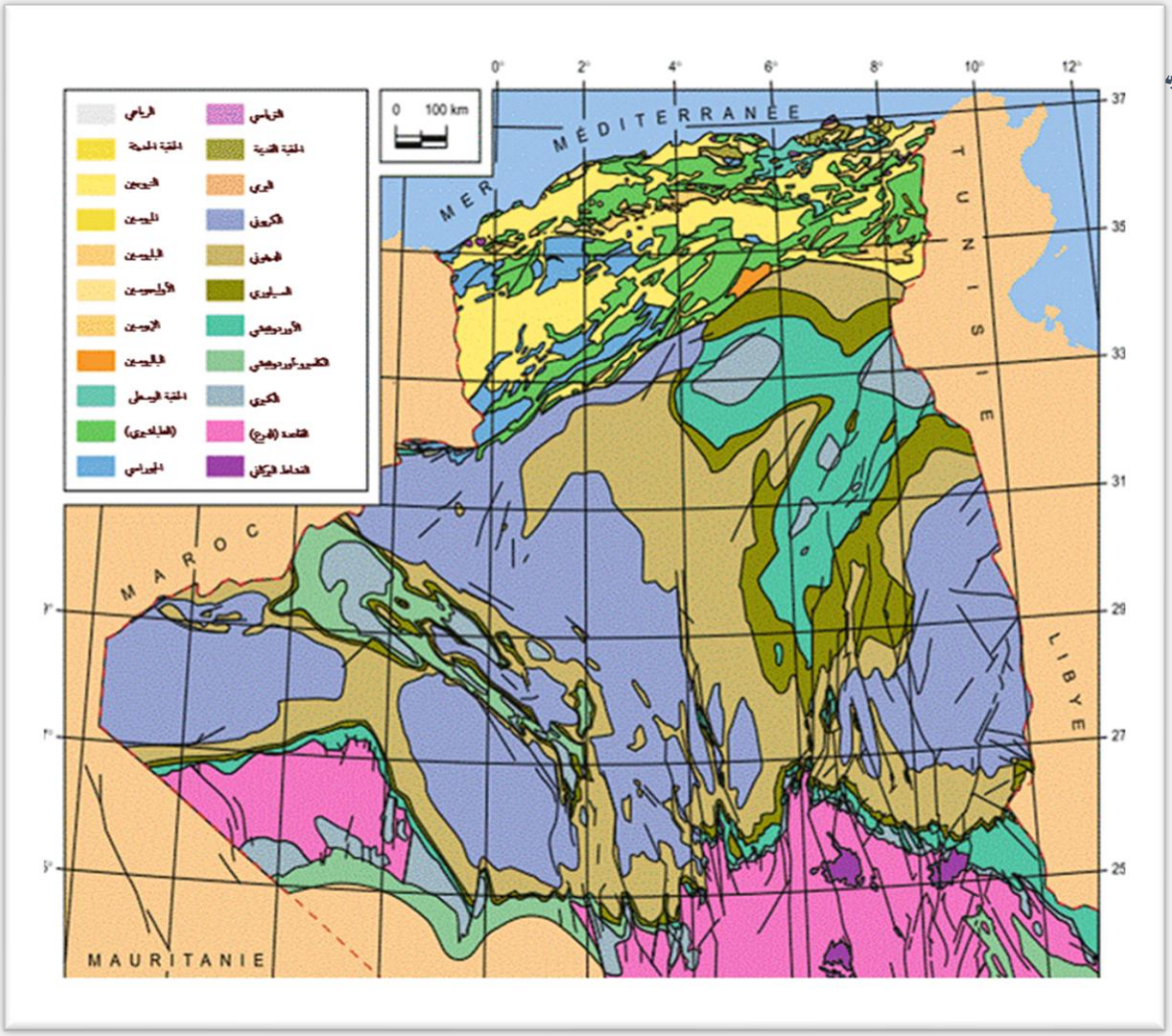
الأحواض الهيدروغرافية	المياه الجوفية (هكم 3 /سنة)	النسبة %
الصحراء	5000	72.2
باقي الوطن	1925	27.8
المجموع	6925	100

المصدر: وزارة الموارد المائية ، مديرية الدراسات والتهيئة المائية، الموارد المائية في الجزائر، مارس 2003، ص12.

يتبين من الجدول أن الموارد المائية الجوفية تتركز بشكل رئيسي في المنطقة الصحراوية بنسبة 72.2% (5000 هكتومتر مكعب/السنة)، مما يشير إلى أهمية هذه المنطقة كمخزون استراتيجي للمياه في الجزائر.

❖ التأثير على زحف الرمال

تلعب الشبكة الهيدروغرافية دورًا ثانويًا في زحف الرمال. خلال الأمطار الموسمية، تنقل الأودية الجافة الرواسب الرملية نحو المناطق المنخفضة، مما يزيد من تراكم الرمال بالقرب من الطريق. في المقابل، يؤدي غياب التدفقات المستمرة إلى جفاف التربة، مما يجعلها أكثر عرضة للنقل بواسطة الرياح. المياه الجوفية والآبار، رغم أهميتها في تثبيت التربة في نقاط محددة، لا تُشكل حلاً كافيًا للحد من زحف الرمال على نطاق واسع بسبب محدوديتها.



المصدر: (Lillouch, 2018)

3. المناخ في منطقة الدراسة

1.3 المناخ العام

يتميز مناخ منطقة الطريق الوطني رقم 118، الواقعة بين تيميمون والبنود، بالجفاف الشديد، وهو سمة عامة للصحراء الجزائرية. يؤثر هذا المناخ بشكل مباشر على زحف الرمال بسبب شح الأمطار، ارتفاع الحرارة، وهبوب الرياح القوية.

. تتراوح درجات الحرارة السنوية عادة بين 5°C و47°C، ونادراً ما تقل عن 2°C أو تزيد عن 47°C. يعتمد تحليل المناخ على بيانات **مرصد الأحوال الجوية في تيميمون (2009-2021)**

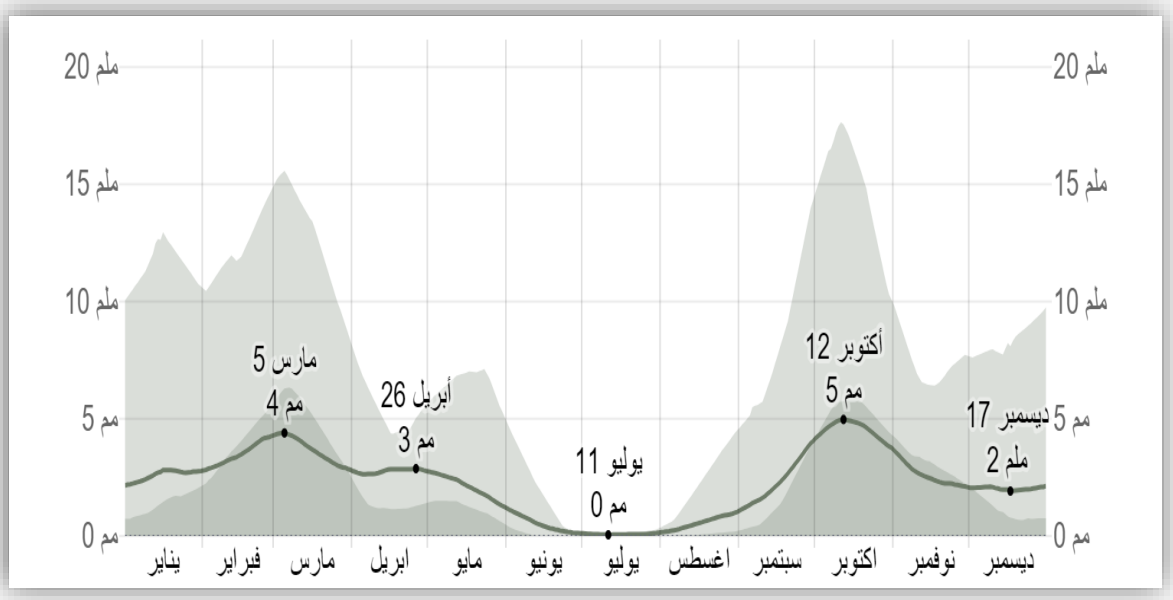
2.3 التساقطات المطرية

تتسم المنطقة بشح الأمطار، حيث لا يتجاوز متوسط التساقط السنوي 100 ملم، وغالبًا ما تكون هطولات موسمية نادرة. في تيميمون، القريبة من الطرف الشمالي للطريق، قد تصل التساقطات إلى حوالي 61 ملم سنويًا (مشابهة لغرداية)، بينما تنخفض كثيرًا في المناطق الجنوبية مثل البنود (الديناصوري وآخرون، د.ت)**.** تتبخر هذه الأمطار بسرعة بفعل الحرارة المرتفعة، أو تُمتص بواسطة الأرض الجافة، مما يزيد من جفاف التربة ويجعلها عرضة للنقل بواسطة الرياح (العربي، 1983)

يتميز مناخ منطقة الدراسة، وهي الطريق الوطني رقم 118 بين تيميمون والبنود، بجفاف شديد يعكس طبيعة الصحراء الكبرى. وفقًا لبيانات **مرصد الأحوال الجوية في تيميمون** للفترة من 2009 إلى 2021، تتراوح التساقطات السنوية المتوسطة حوالي 27 ملم، مع تباين طفيف على مدار السنة. تتركز الأمطار بشكل رئيسي في الفترة من أكتوبر إلى مارس، حيث يبلغ المتوسط الشهري الأعلى حوالي 4.9 ملم في أكتوبر، بينما تكون شبه معدومة (أقل من 0.6 ملم) من جوان إلى أوت. لا يوجد تباين موسمي كبير في

تواتر الأيام الرطبة (أكثر من 1 ملم)، حيث تتراوح بين 0% و3%، مع متوسط 1%. يؤدي هذا الجفاف إلى جفاف مستمر للتربة، مما يُسهل تحرك الرمال تحت تأثير الرياح.

رسم توضيحي 10: تمثيل منحنى هطول الأمطار الشهري (ملم)



المصدر: مرصد الأحوال الجوية في تيميمون (2009-

- **توزيع هطول الأمطار الشهري (ملم) في منطقة الدراسة على مدار العام (2009-2021)**

اللون الرمادي الفاتح: يمثل النطاق المئوي 10-90% لكميات الأمطار، أي المدى الذي يشمل 80% من البيانات مع استثناء المتطرفات.

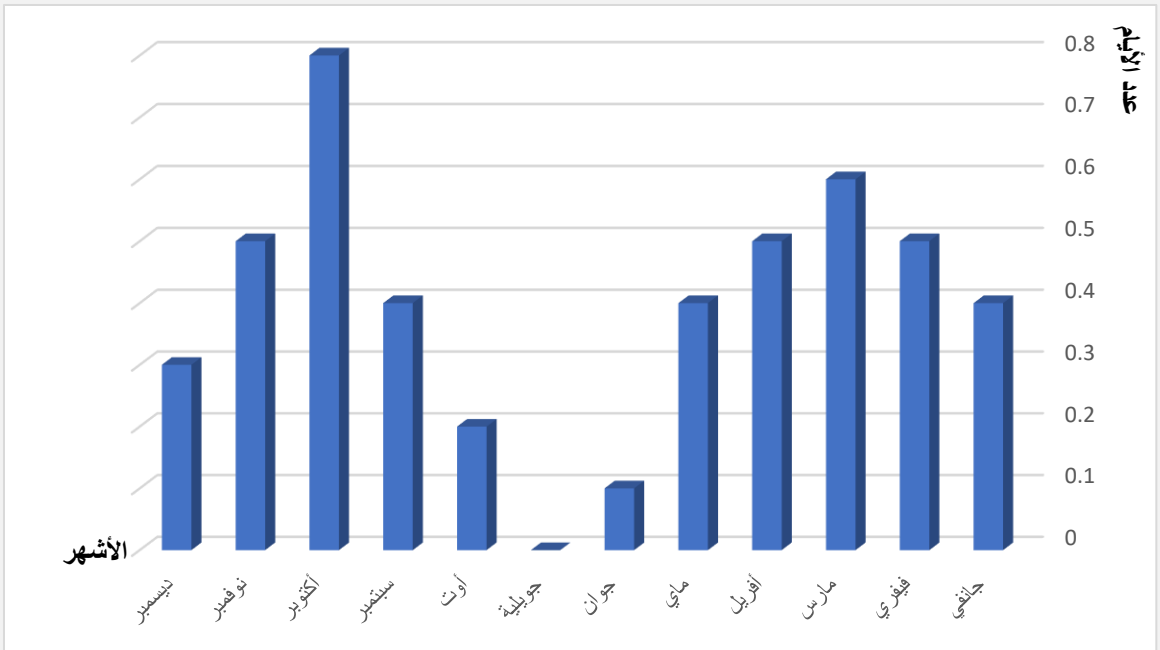
اللون الرمادي الداكن: يمثل النطاق المئوي 25-75%، أي القيم التي تشمل 50% من البيانات (النصف الأوسط)، ويُظهر التباين الشائع حول المتوسط.

الخط: يمثل المتوسط الشهري للهطول (القيمة الوسطى)، مثل 5 ملم في مارس وأكتوبر، ويُظهر الاتجاه العام للتساقطات على مدار العام.

تحليل:

يُظهر البيان أن منطقة الدراسة تتميز بمناخ جاف، حيث يبلغ المتوسط السنوي لهطول الأمطار حوالي 27 ملم فقط، مما يعكس ندرة التساقطات. أعلى معدل هطول يُسجل في أكتوبر (4.9 ملم)، تليه مارس (3.7 ملم) وفيفري (3.4 ملم)، مما يشير إلى تركز الأمطار النادرة في الخريف (أكتوبر) وبداية الربيع (مارس). أقل معدل هطول يكون في جويلية (0.1 ملم) وجوان (0.4 ملم)، وهو ما يتفق مع الحرارة الشديدة وجفاف الصيف. التباين الموسمي طفيف، حيث تتراوح القيم الشهرية بين 0.1 و4.9 ملم، مما يعني أن التساقطات قليلة جدًا على مدار العام، وهذا يزيد من جفاف التربة، مما قد يُسهم في زحف الرمال، خاصة في الفترات الحارة والجافة (جوان إلى أوت) التي تتزامن مع انخفاض التساقطات وزيادة الرياح. الفترات الأكثر رطوبة نسبيًا (مارس وأكتوبر) قد تُساعد على تثبيت التربة مؤقتًا، لكن التأثير محدود بسبب قلة الكميات.

رسم توضيحي 11: متوسط عدد أيام المطر الشهري في منطقة الدراسة (2009-2021)



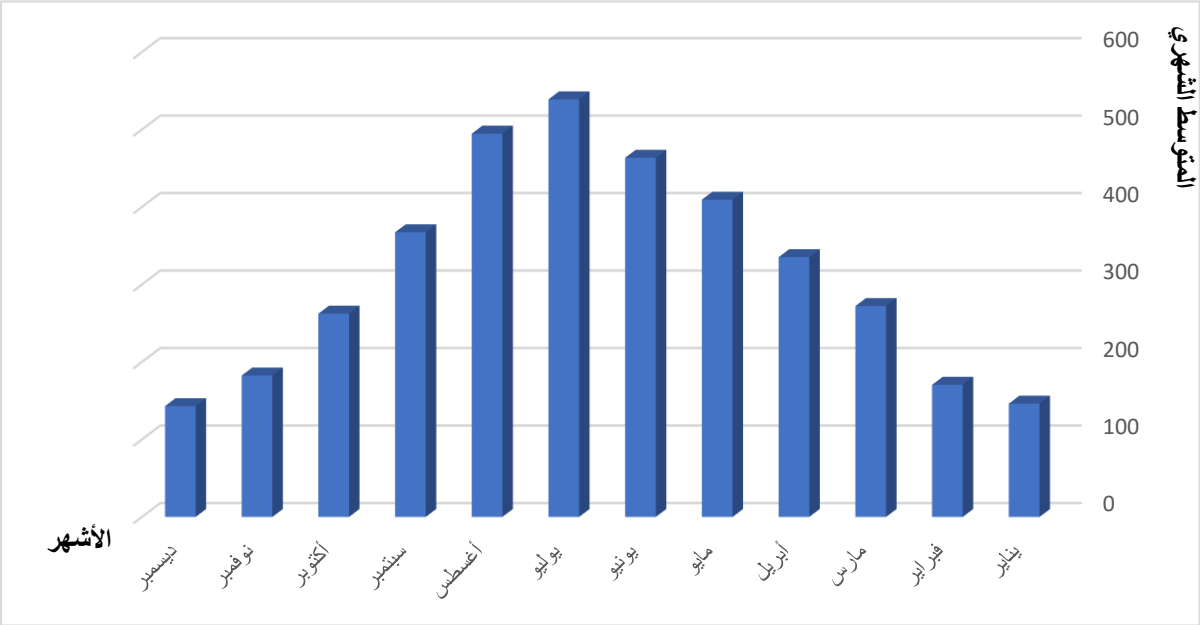
المصدر: مرصد الأحوال الجوية في تيميمون (2009-2021)

تحليل:

تُظهر البيانات أن منطقة الدراسة تتميز بمناخ صحراوي جاف للغاية، إذ يبلغ متوسط عدد أيام المطر السنوي حوالي 4.7 أيام فقط، مما يؤكد ندرة الأيام الرطبة. أعلى معدل لأيام المطر يُسجل في أكتوبر (0.8 يوم)، تليه مارس (0.6 يوم) وفيفري وأفريل ونوفمبر (0.5 يوم لكل منها)، مما يشير إلى تركز الأيام الرطبة النادرة في الخريف (أكتوبر) وبداية الربيع (مارس). أقل معدل يكون في جويلية (0.0 يوم) وجوان (0.1 يوم)، وهو ما يتفق مع جفاف الصيف الشديد. التباين الموسمي ضئيل، حيث تتراوح القيم بين 0.0 و0.8 يوم، مما يعني أن الأيام الرطبة نادرة جدًا، وهذا يزيد من جفاف التربة، مما قد يُسهم في زحف الرمال، خاصة في الفترات الجافة (جوان إلى أوت) التي تتزامن مع غياب الأمطار تقريبًا. الفترات الأكثر رطوبة نسبيًا (مارس وأكتوبر) قد تُساعد قليلاً في تثبيت التربة، لكن التأثير ضعيف جدًا بسبب ندرة الأيام الممطرة.

3.3 الرطوبة والتبخر:

رسم توضيحي 12: المتوسط الشهري المعدل للتبخر (2009-2021)



المصدر: مرصد الأحوال الجوية في تيميمون (2009-2021)

تحليل

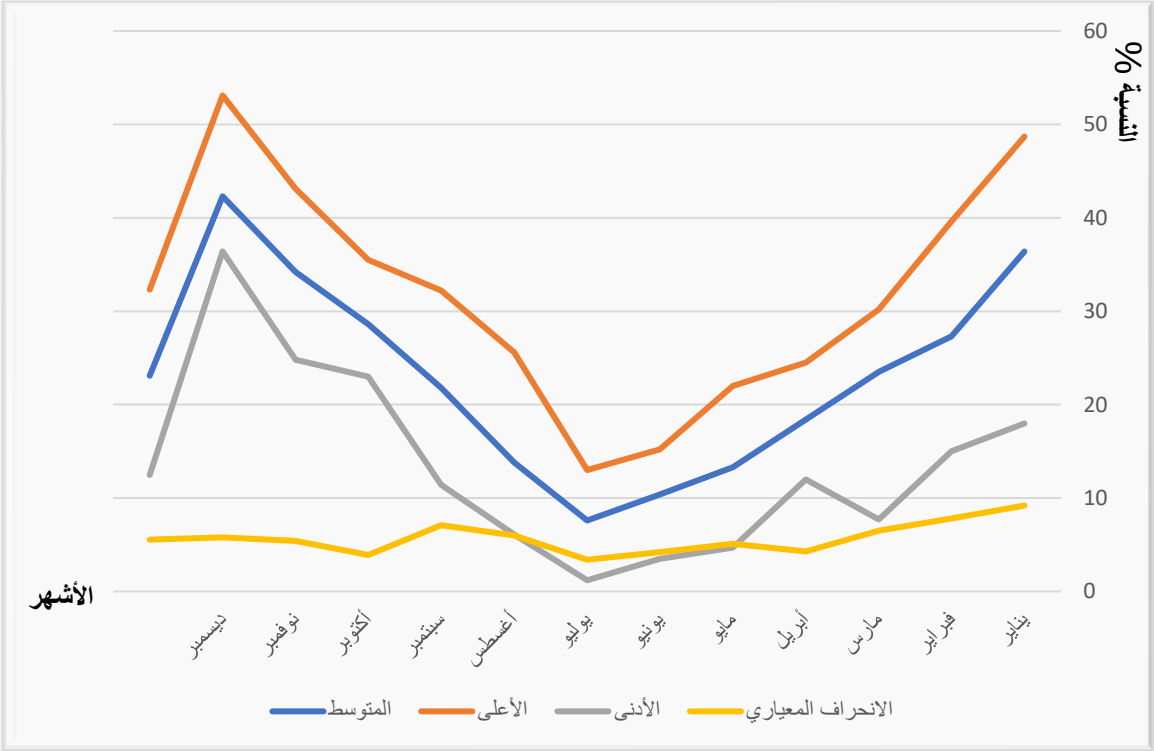
يظهر التبخر نمطًا موسميًا واضحًا:

- أعلى قيم التبخر: تسجل في **يوليو** (متوسط 538.8 مم) و**أغسطس** (494.6 مم)، بسبب:

- ارتفاع درجات الحرارة (تجاوز 45 °C في الصيف)
- انخفاض الرطوبة النسبية (15%> في الصيف).
- زيادة ساعات الإشعاع الشمسي.

- أدنى قيم التبخر: في **ديسمبر** (143.0 مم) و**يناير** (146.2 مم)، بسبب:
  - انخفاض درجات الحرارة (أدنى من 10 °C ليلاً).
  - ارتفاع الرطوبة النسبية (40% > في الشتاء).

رسم توضيحي 13 : تمثيل بياني شهري الملخص للرطوبة النسبية (%)



المصدر: مرصد الأحوال الجوية في تيميمون (2009-2021)

الانحراف المعياري هو مقياس إحصائي يُظهر مدى ابتعاد البيانات عن متوسطها الحسابي .كلما زاد الانحراف المعياري، زادت تشتت البيانات، والعكس صحيح. (Field, 2018)

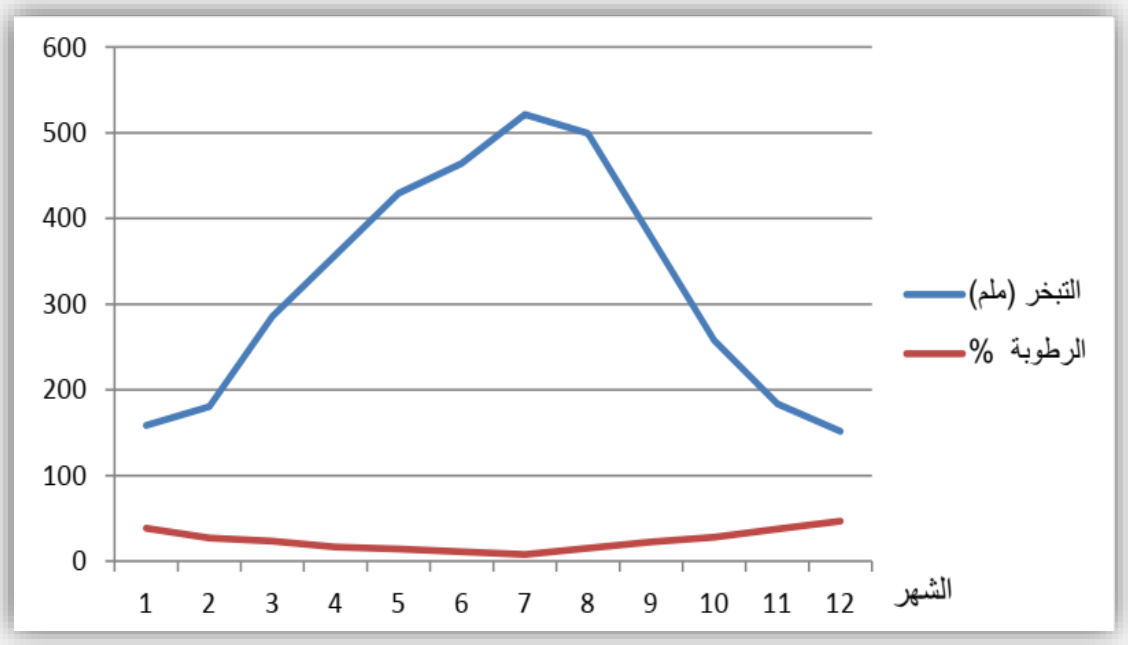
- **تحليل بيانات الرطوبة النسبية الشهرية:**

يظهر البيان السابق تبايناً واضحاً في الرطوبة النسبية بين أشهر السنة، مع **متوسط سنوي 23.08%**، مما يعكس الطبيعة الجافة للمنطقة. يتراوح الانحراف المعياري بين **±3.4% في يوليو** (أكثر الشهور استقراراً) و **±9.2% في يناير** (أكبر تقلبات). هذا يشير إلى:

- شتاء (ديسمبر– فبراير): أعلى رطوبة (متوسط 35.3%) مع تقلبات كبيرة (مثال: ديسمبر: 42.3% ±5.8)، بسبب تداخل الكتل الهوائية الرطبة والجافة.

- صيف (يونيو– أغسطس): أدنى رطوبة (متوسط 10.6%) مع استقرار نسبي (مثال: يوليو: 7.6% ±3.4)، نتيجة هيمنة الرياح الصحراوية الجافة.

رسم توضيحي 14: التغيرات الشهرية في نسبة الرطوبة والتبخر 2009-2021



المصدر: مرصد الأحوال الجوية في تيميمون (2009-2021)

- **العوامل المؤثرة على التبخر**

درجة الحرارة: هناك ارتباط إيجابي قوي بين درجات الحرارة العالية (خاصة في الصيف) وزيادة التبخر. على سبيل المثال، يوليو (أكثر الشهور حرارة) يسجل أعلى تبخر.

الرطوبة النسبية: يؤدي انخفاض الرطوبة (كما في يونيو–يوليو) إلى زيادة التبخر، بينما تقل معدلاته في الشتاء عندما ترتفع الرطوبة.(>40%)

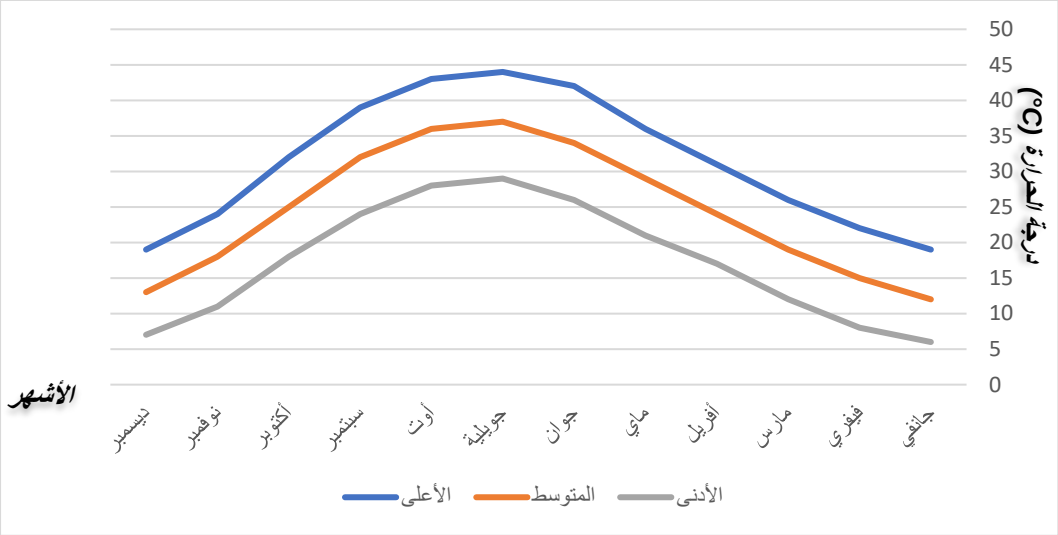
سرعة الرياح: تساهم الرياح في زيادة التبخر، خاصة عندما تتجاوز 5 م/ث (كما في شهري مارس وأبريل).

الأمطار: ندرة الأمطار في تيميمون (أقل من 30 مم/سنوياً) تزيد من هيمنة التبخر على الموازنة المائية.

4.3 الحرارة

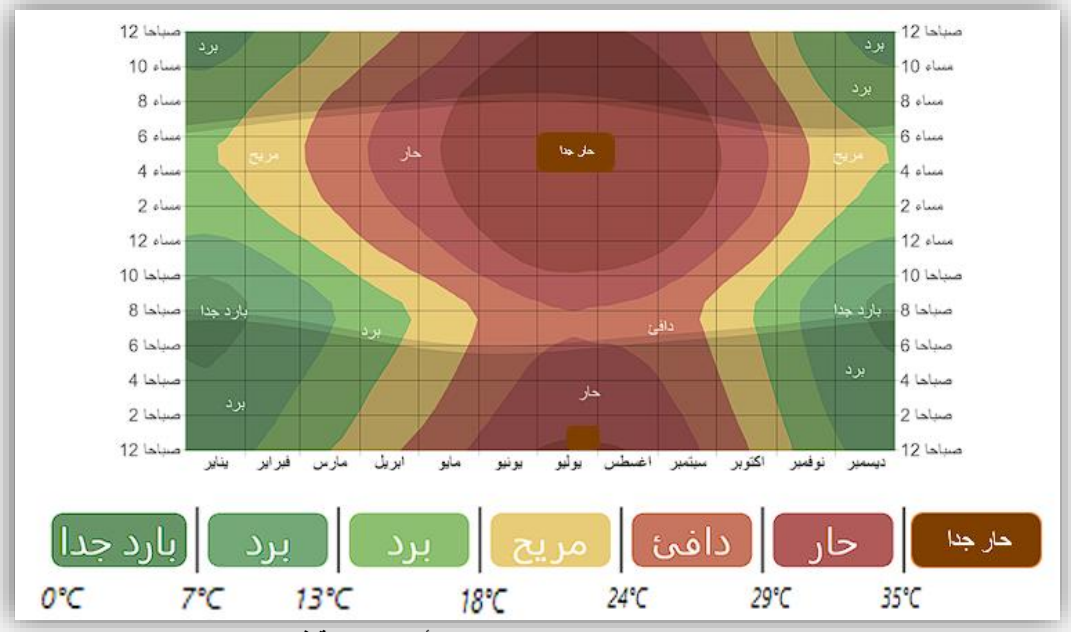
تتميز المنطقة بحرارة مناخية مرتفعة تؤثر على جفاف التربة وزحف الرمال. تتراوح درجات الحرارة السنوية المتوسطة بين 25 °C و35°C، مع ارتفاعات تصل إلى 44 °C خلال الصيف (جوان إلى أوت) بسبب الإشعاع الشمسي المكثف. تنخفض الحرارة في الشتاء حتى تصل لـ 6°C، مما يُقلل من التبخر لكن لا يغير التوازن المائي السلبي. تُعزز الحرارة العالية من جفاف التربة، مما يزيد من عرضتها للنقل بواسطة الرياح.

رسم توضيحي 15: منحى بياني لمتوسط درجات الحرارة الشهرية (°C) في منطقة الدراسة (2009-2021)



المصدر: مرصد الأحوال الجوية في تيميمون (2009-2021)

رسم توضيحي 16: توزيع درجات الحرارة بالساعة على مدار السنوات السابقة في منطقة الدراسة (2009-2010)



المصدر: مرصد الأحوال الجوية في تيميمون (2009-2021)

1.4.3 **تحليل البيانات:**

I. البيان الأول (16): متوسط درجات الحرارة الشهرية (الخطوط العليا والدنيا)

الرسم البياني الأول يُظهر متوسط درجات الحرارة العليا (باللون الأزرق) والدنيا (باللون الرمادي) والمتوسطة (باللون البرتقالي)

تمثل المحور الأفقي من جانفي إلى ديسمبر، مع وجود ذروة في درجات الحرارة خلال الشهور من جوان إلى أأوت.

الأعلى/المتوسط/الأدنى :تمثل درجات الحرارة اليومية (بالدرجات المئوية) لكل شهر، حيث تظهر ثلاث منحنيات :

- المنحنى الأزرق (الأعلى): يتراوح بين 19 درجة في يناير و44 درجة في يوليو، مع ذروة في جويلية.
- المنحنى البرتقالي (المتوسط): يتراوح بين 12 درجة في يناير و37 درجة في يوليو، مع ذروة مشابهة.
- المنحنى الرمادي (الأدنى): يتراوح بين 6 درجات في يناير و29 درجة في يوليو، مع أدنى قيم في الشتاء.

II. الرسم البياني الثاني (17): توزيع درجات الحرارة بالساعة على مدار العام في منطقة الدراسة

الرسم البياني الثاني يُظهر توزيع درجات الحرارة بالساعة على مدار اليوم (من 12 صباحًا إلى 12 صباحًا التالي) وعلى مدار العام (من جانفي إلى ديسمبر). الألوان تُشير إلى نطاقات درجات الحرارة المختلفة) من" البارد "إلى "الحار"

- **نطاقات درجات الحرارة:**

- بارد جدا (7 درجات مئوية): تظهر في ساعات الليل (من 12 صباحًا إلى 8 صباحًا) من ديسمبر إلى مارس.

- بارد (13 درجة مئوية): تظهر في الساعات المبكرة من الليل والصباح (من 12 صباحًا إلى 10 صباحًا) من نوفمبر إلى أفريل.

- معتدل (18 درجة مئوية): تظهر في ساعات الصباح (من 6 صباحًا إلى 10 صباحًا) خلال أفريل إلى ماي ومن سبتمبر إلى نوفمبر.

- مريح (24 درجة مئوية): تظهر في ساعات الصباح والمساء (من 6 صباحًا إلى 8 صباحًا ومن 6 مساءً إلى 10 مساءً) خلال أفريل إلى ماي ومن سبتمبر إلى أكتوبر.

- دافئ (29 درجة مئوية): تظهر في ساعات النهار (من 8 صباحًا إلى 6 مساءً) خلال أفريل إلى ماي ومن سبتمبر إلى أكتوبر.

- حار (35 درجة مئوية): تظهر في ساعات النهار (من 10 صباحًا إلى 6 مساءً) من ماي إلى سبتمبر.

- حار جدا (أعلى من 35 درجة مئوية): تتركز في ساعات الظهيرة (من 12 ظهرًا إلى 4 مساءً) من جوان إلى أغسطس، مع ذروة في جويلية.

- **التغيرات اليومية:**

- في الصيف (من جوان إلى أوت): تبدأ درجات الحرارة عند 6 صباحًا بحوالي 29 درجة مئوية ، ثم ترتفع إلى 35 درجة مئوية بحلول 10 صباحًا، وتصل إلى (أعلى من 35 درجة مئوية) من 12 ظهرًا إلى 4 مساءً، ثم تنخفض تدريجيًا إلى 29 درجة مئوية بحلول 10 مساءً.

- في الشتاء (من ديسمبر إلى فيفري): تبدأ درجات الحرارة عند 6 صباحًا بحوالي 5-7 درجات مئوية ثم ترتفع إلى 13 درجة مئوية بحلول 10 صباحًا، وتصل إلى 18 درجة مئوية من 12 ظهرًا إلى 4 مساءً، ثم تنخفض إلى 7 درجات مئوية بحلول 10 مساءً.

- **الفترات الأكثر استقرارًا:**

- ساعات الليل (من 12 صباحًا إلى 6 صباحًا) تظل باردة نسبيًا إلى في الشتاء، بينما تكون دافئة في الصيف.

- ساعات الظهيرة (من 12 ظهرًا إلى 4 مساءً) هي الأكثر حرارة على مدار العام، خاصة في الصيف.

2.4.3 **التأثير المناخي العام على زحف الرمال:**

- الحرارة العالية في الصيف (حتى 44 درجة مئوية) تُسبب جفافًا شديدًا للتربة، مما يُسهل تحرك الرمال تحت تأثير الرياح.
- الفرق الحراري الكبير بين النهار والليل (حتى 15 درجة مئوية يوميًا) يُعزز الرياح المحلية التي تُحرك الرمال.
- الفترات الانتقالية (مارس إلى ماي، سبتمبر إلى نوفمبر) تشهد درجات معتدلة (24-32 درجة مئوية) ورياحًا أقل قوة، مما يُقلل من زحف الرمال مقارنة بالصيف.
- ساعات الظهيرة (من 12 ظهرًا إلى 4 مساءً) في الصيف تتزامن مع الحرارة الشديدة ورياح قوية، مما يزيد من زحف الرمال.

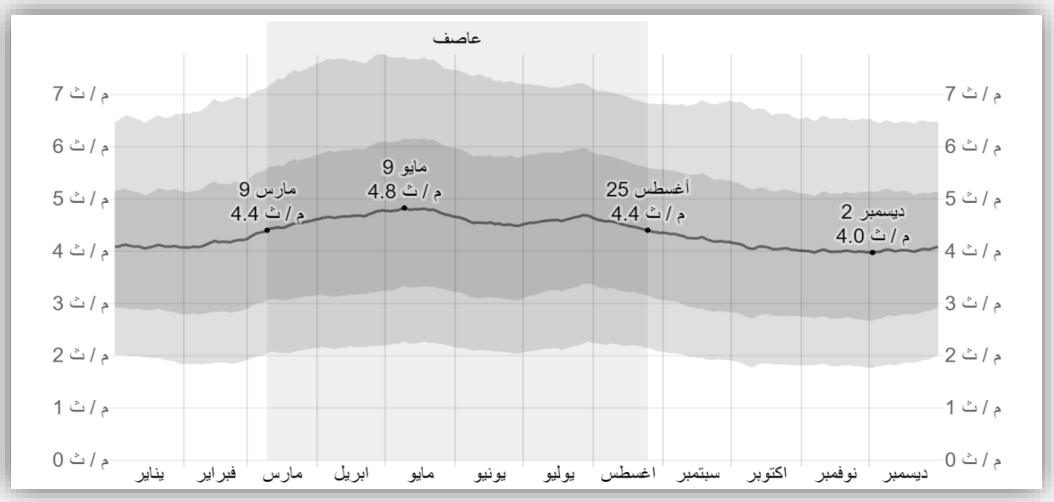
5.3 الرياح واتجاهاتها

تُعد الرياح العامل الأساسي في تحريك الرمال وزحفها في منطقة الدراسة. وفقًا لبيانات **مرصد الأحوال الجوية في تيميمون (2009-2021)**، تتراوح سرعة الرياح المتوسطة ساعةً واحدة بين 4.0 و4.8 متر/ثانية على ارتفاع 10 أمتار، مع تباين موسمي معتدل. الفترة الأكثر رياحًا تمتد من 9 مارس إلى 25 أغسطس (5.5 أشهر) بمتوسط سرعة يزيد عن 4.4 متر/ثانية، مع ذروة في ماي (4.8 متر/ثانية). الفترة

الأكثر هدوءًا تمتد من 25 أغسطس إلى 9 مارس (6.5 أشهر)، مع أدنى سرعة في نوفمبر (4.0 متر/ثانية). الاتجاه السائد للرياح هو الشرق على مدار السنة، مما يدفع الرمال غربًا وشمال غربًا نحو الطريق في بعض الأحيان.

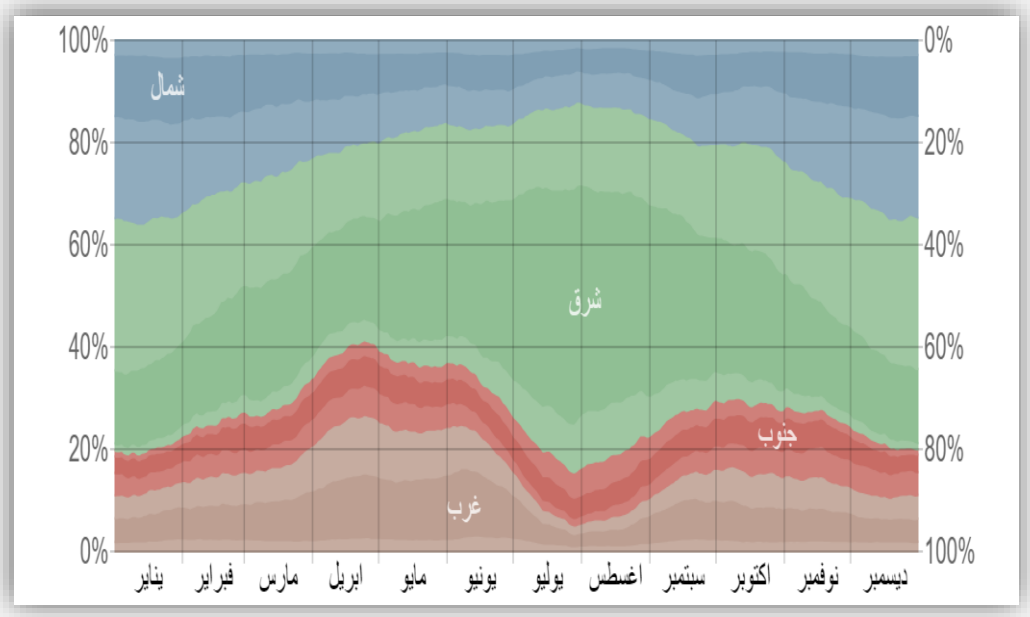
هذه التفاوتات الحرارية تُساهم في جفاف التربة وتفتتها، مما يُسهل زحف الرمال. كما تُفاقم الرياح الحارة، مثل الشهيلي، من الجفاف وتزيد من نقل الرمال نحو الطريق، خاصة في المناطق المفتوحة. (H. Cuny)

رسم توضيحي 17: تمثيل بياني لمتوسط سرعة الرياح الشهرية (م/ث) (2009-2021)



المصدر: مرصد الأحوال الجوية في تيميمون (2009-2021)

رسم توضيحي 18: رسم بياني لاتجاهات الرياح السنوية في منطقة الدراسة (2009-2021)



المصدر: مرصد الأحوال الجوية في تيميمون (2009-2021)

- **تحليل بيانات الرياح**

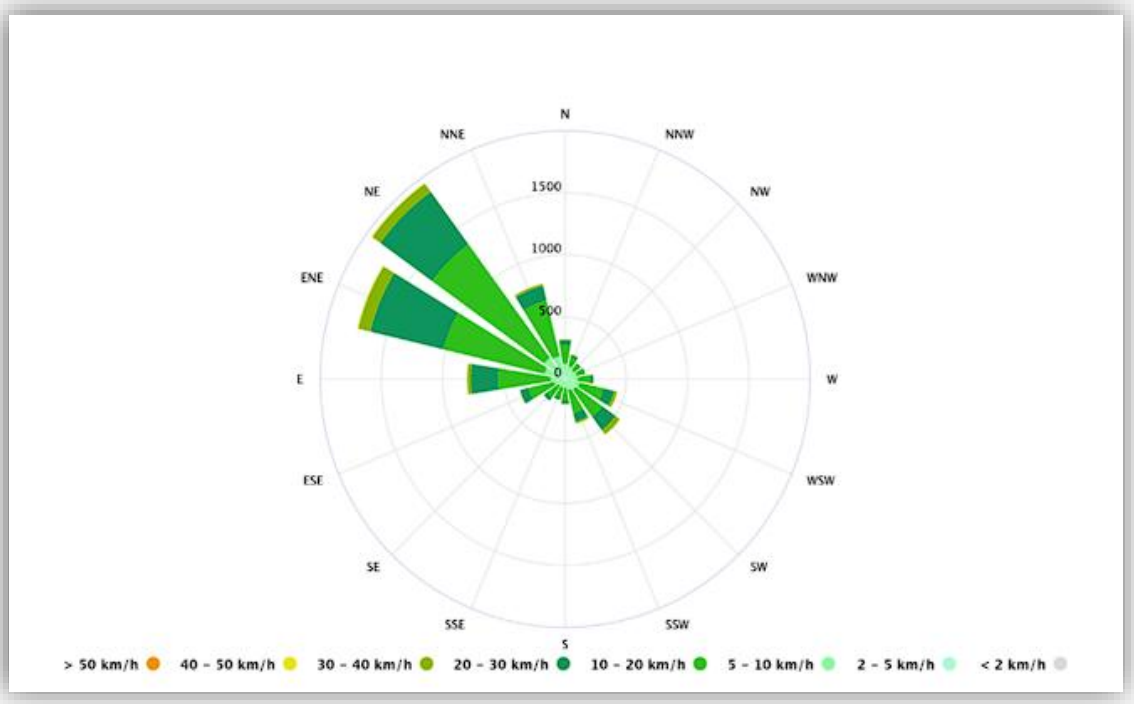
الاتجاه :الرياح تهب بشكل سائد من الشرق طوال العام، مما يؤدي إلى دفع الرمال غربًا وشمال غربًا، مما يُسهم في زحف الرمال نحو الطريق الوطني 118. هذا الاتجاه المستمر يجعل الرياح العامل الرئيسي في تحريك الرمال في المنطقة .

السرعات :متوسط سرعة الرياح السنوية حوالي **4.3 م/ث**.السرعة ترتفع في الفترة من 9 مارس إلى 25 أغسطس (5.5 أشهر) حيث تتجاوز **4.4 م/ث** ، مع ذروة في ماي **4.8 م/ث**. الفترة الأكثر هدوءًا تمتد من 25 أغسطس إلى 9 مارس (6.5 أشهر)، مع أدنى سرعة في نوفمبر **4.0م/ث** .

التباين الموسمي :الرياح تكون أقوى في الربيع (مارس إلى ماي) مع ذروة في ماي **4.8م/ث** وتقل سرعتها في الخريف والشتاء (أكتوبر إلى ديسمبر) حيث تصل إلى أدنى مستوى في نوفمبر **4.0م/ث**، مما يعكس تباينًا موسميًا معتدلًا .

التأثير على زحف الرمال :السرعات العالية (مثل **4.8م/ث** في ماي) تزيد من تحريك الرمال، خاصة في الربيع والصيف (مارس إلى أوت) عندما تكون التربة جافة بسبب ندرة الأمطار (0.1 ملم في جويلية). الاتجاه الشرقي يؤدي إلى تراكم الرمال غربًا وشمال غربًا، مما يؤثر على الطريق الوطني 118.

رسم توضيحي 20: وردة الرياح



المصدر مرصد الأحوال الجوية في تيميمون (2009-2021)

4. النباتات في منطقة الدراسة وتأثيرها

تتميز منطقة الطريق الوطني رقم 118 بقلة الغطاء النباتي بسبب الجفاف الشديد. ينقسم النبات إلى نوعين: مؤقت ودائم. النباتات المؤقتة، مثل الأعشاب، تنبت فقط بعد هطول الأمطار النادرة، وتكمل دورتها بسرعة، تاركة جذورها في التربة لتنمو مجددًا في الموسم التالي (Lhote). أما النباتات الدائمة فهي قليلة ومتكيفة مع الجفاف، مثل النخيل الذي يمتد جذوره بحثًا عن المياه، والصبار وتين الشوكي اللذين يختزنان المياه في أوراقهما (حليمي). في المناطق القريبة من البنود، تتواجد بعض النباتات الصحراوية مثل الحلفاء والعرفج، لكنها متباعدة ولا تشكل غطاءً كثيفًا يُمكنه تثبيت الرمال (Ozenda). هذه الندرة في الغطاء النباتي تجعل المنطقة أكثر عرضة لزحف الرمال، حيث لا توجد عوائق طبيعية كافية للحد من حركة الرمال بواسطة الرياح.

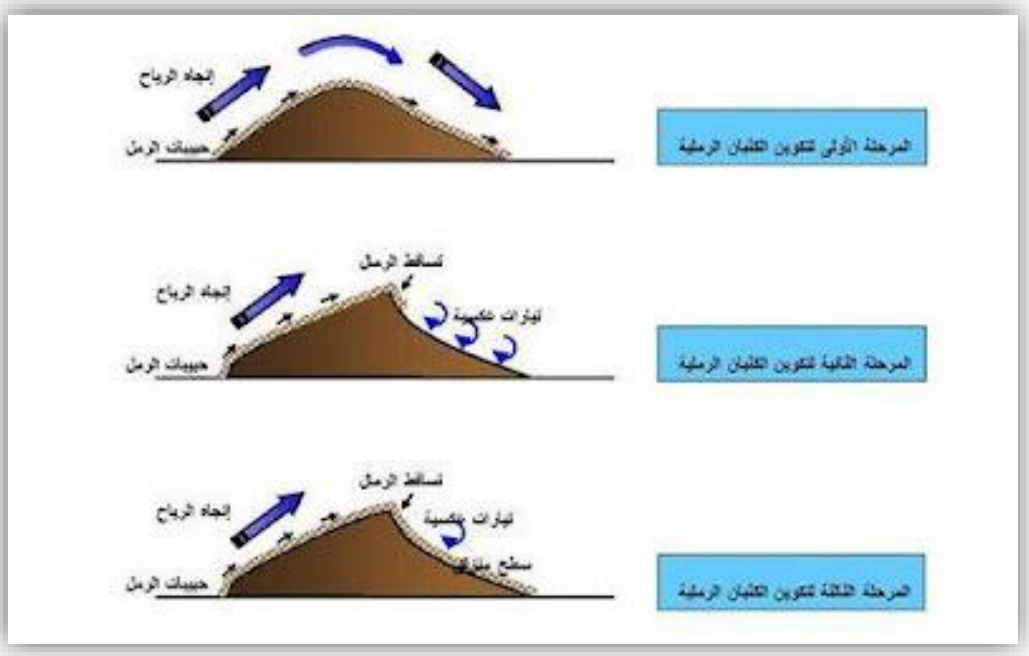
5. ديناميكيات انتقال الرمال وتقييمها

1.3 مصادر الرمال

تُعد ديناميكيات انتقال الرمال العامل الأساسي الذي يحدد شدة وتأثير زحف الرمال على الطريق الوطني N118، حيث تتفاعل العوامل الطبيعية مثل الرياح والتضاريس مع مصادر الرمال لتشكل تحديًا بيئيًا مستمرًا. يهدف هذا الفرع إلى تحديد المصادر الرئيسية للرمال المؤثرة على الطريق ودراسة أنماط انتقالها بناءً على بيانات مناخية وجيولوجية موثوقة.

تتمثل المصادر الرئيسية للرمال التي تهدد الطريق N118 في العرق الغربي الكبير، وهو أحد أكبر التكوينات الرملية في الصحراء الجزائرية. يمتد هذا العرق على مساحات شاسعة غرب الطريق، مما يجعله المصدر الأساسي للرمال المتحركة التي تغطي القسم المتوسط من الطريق (173-319 ن ك). تتكون هذه الرمال بشكل رئيسي من حبات كوارتزية متوسطة الحجم، نتيجة تآكل الصخور القديمة وإعادة ترسيبها عبر العصور الجيولوجية. وفقًا لدراسة أجراها غارزانتي وآخرون (Garzanti et al., 2021). فإن الرمال في الصحراء الجزائرية تتميز بتاريخ معقد من إعادة التدوير، حيث تُنقل عبر الرياح من مناطق مثل العرق الغربي الكبير إلى مناطق أخرى، مما يزيد من كمية الرواسب المتاحة للزحف نحو البنية التحتية مثل الطرق.

رسم توضيحي 21: تكوين الكثبان الرملية



المصدر: https://geographie1.blogspot.com/

تتعدد مصادر الرمال في العرق الغربي الكبير في العوامل التالية:

1.1.5 التعرية الجيولوجية:

- نشأ الرمال من تعرية الصخور الرسوبية المحيطة، مثل السيلكريت، وهي طبقات متماسكة من الرواسب الحبيبية تتفتت بفعل الرياح والعوامل الجوية.(Kirkby, 1980)
- أظهرت دراسات جيولوجية وجود ممرات خالية من الرمال تحتها قشرة سيلكريت، مما يشير إلى أن التعرية هي مصدر رئيسي للرمال في المنطقة.
- تُسهم الرياح القوية في تفتيت الصخور السطحية، خاصة في المناطق المرتفعة المحيطة بالعرق، مما يوفر حبات الرمل التي تتراكم لاحقًا في الكثبان (Bagnold, 1941).

2.1.5 رواسب الأنهار القديمة:

- ساهمت الأنهار القديمة، مثل وادي إغارغار، في نقل الرواسب من المناطق المرتفعة، مثل جبال أهاجر، إلى قيعان الحوض في العرق الغربي. (Grove & Warren, 1968).
- هذه الأنهار، التي جفت منذ آلاف السنين، تركت رواسب رملية أصبحت جزءًا من الكثبان الحالية. (Grove & Warren, 1968)
- تشير الدراسات إلى أن هذه الرواسب تشكل مصدرًا تاريخيًا هامًا للرمال في الصحراء الكبرى، بما في ذلك العرق الغربي(McCauley et al., 1982) .

3.1.5 نقل الرياح:

- تلعب الرياح، وخاصة الرياح التجارية، دورًا حاسمًا في نقل الرمال وتشكيل الكثبان الرملية، مثل الكثبان الهلالية (برخان) والنجمية (Lancaster, 1995).
- يمكن للرياح دفع الكثبان الهلالية مسافة 20-30 مترًا سنويًا، مما يعزز التحرك المستمر للرمال عبر الصحراء(Lhote).
- تُعتبر الرياح العامل الرئيسي في إعادة توزيع الرمال من الأودية الجافة والسهول الفيضية إلى مناطق الكثبان (Pye & Tsoar, 2009).

4.1.5 مناطق المصدر:

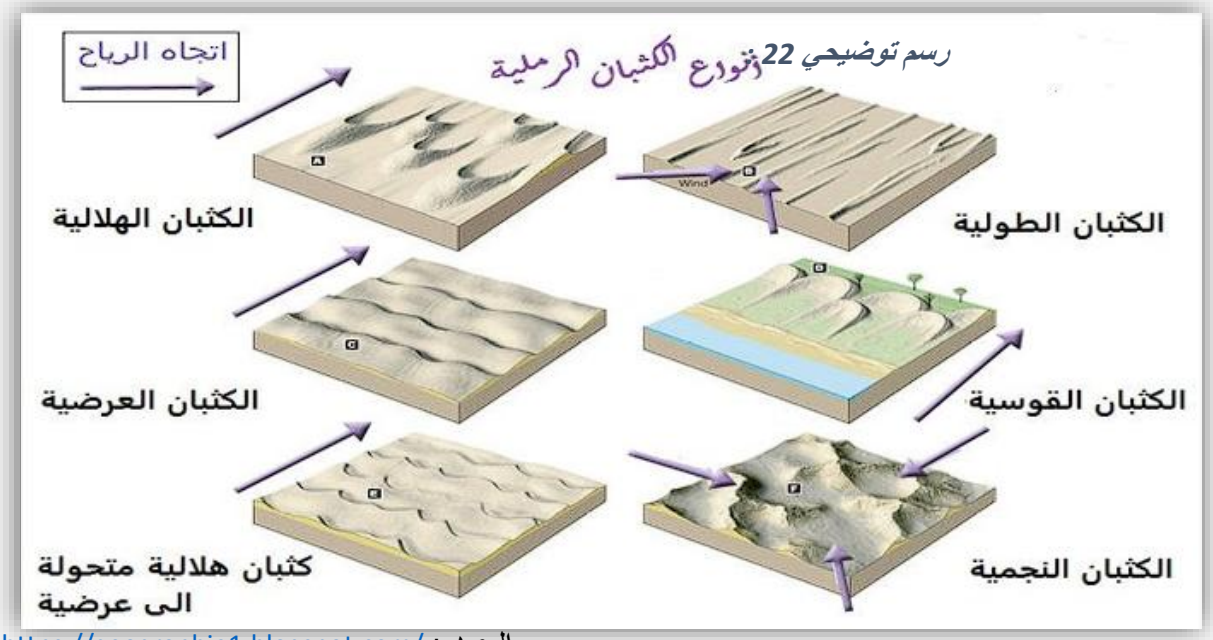
- تشمل مصادر الرمال الأودية الجافة، السهول الفيضية، والشواطئ الجافة القديمة، حيث تكون الرمال جافة وسهلة النقل بواسطة الرياح(Cooke et al.,1993).
- تُظهر الدراسات أن هذه المناطق توفر كميات كبيرة من الرمال التي تُنقل عبر العرق بفعل الرياح المتغيرة(Grove & Warren, 1968).

جدول 3: مصادر الرمال الرئيسية في العرق الغربي الكبير

الوصف	المصدر
تعرية التلال والصخور الرسوبية مثل السيلكريت بواسطة الرياح والعوامل الجوية.	***التعرية الجيولوجية***
رواسب من أنهار جفت مثل وادي إغارغار، تنقلت من جبال أهاجر.	***الأنهار القديمة***
الرياح التجارية تنقل الرمال وتشكل الكثبان الهلالية والنجمية.	***نقل الرياح***
الأودية الجافة والسهول الفيضية توفر الرمال الجافة للنقل بواسطة الرياح.	***المناطق المصدر (الأودية)***

2.3 أنواع الكثبان الرملية

ومن أبرز الظواهر الجيومرفولوجية في البيئات الصحراوية والساحلية، تجمع الرمال بفعل الرياح. متخذة أشكال مختلفة بناءً على عوامل مثل اتجاه الرياح، كمية الرمال المتاحة، والغطاء النباتي. نذكر منها: الهلالية، المقوسة، العرضية، الطولية، النجمية، والهرمية.



المصدر: https://geographie1.blogspot.com/

1.2.5 الكثبان الهلالية (Barchans Crescent Dunes)

الكثبان الهلالية هي كثبان رملية على شكل هلال مع جانب محدب يواجه الرياح السائدة ووجه انزلاق (slipface) على الجانب المعاكس يشير إلى اتجاه الرياح. تتكون هذه الكثبان في بيئات ذات رياح أحادية الاتجاه وإمدادات رملية محدودة. تتميز بترتيب جيد للحبات الرملية، ويمكن أن يصل ارتفاعها إلى أكثر من 30 مترًا، مع معدل تحرك يتراوح بين 1 إلى 100 متر سنويًا. تُعد من أكثر أنواع الكثبان شيوعًا في الصحاري مثل الصحراء الكبرى (Lancaster, 1995 ؛Bagnold, 1941).

2.2.5 الكثبان المقوسة (Parabolic Dunes)

الكثبان المقوسة هي كثبان رملية على شكل حرف U أو V، مع رأس محدب يشير إلى اتجاه الرياح وذراعين ممتدين إلى الوراء مثبتين بالنباتات. تتكون في المناطق التي تغطيها النباتات جزئيًا، حيث تؤدي الرياح إلى تآكل الرمال من المركز ونقلها إلى الأمام، بينما تُثبت النباتات الذراعين. تُوجد هذه الكثبان بشكل شائع في الصحاري الساحلية وشبه الجافة، وقد تصل أذرعها إلى 12 كيلومترًا في بعض الحالات(Cooke et al., 1993) and (Pye & Tsoar, 2009).

رسم توضيحي:23 : صورة تظهر توزع الكثبان المقوسة في منطقة الدراسة



المصدر: تصوير الطالب ق.أمحمد (2025)

3.2.5 الكثبان العرضية (Transverse Dunes)

الكثبان العرضية هي كثبان رملية ممتدة بشكل عمودي على اتجاه الرياح السائدة، وغالبًا ما تكون على شكل ركامات مستقيمة أو متعرجة قليلاً. تتكون تحت تأثير رياح أحادية الاتجاه، وتتميز بوجه انزلاق واحد على الجانب الخلفي. يمكن أن تتطور من الكثبان الهلالية عند زيادة إمدادات الرمال، وتظهر على شكل ركامات منفردة أو متوازية متعددة. تُعد شائعة في الصحاري مثل صحراء تاكلاماكان في الصين (Bagnold1941 ؛ Wilson1971) أيضا نجدها على الجهة الجنوبية للطريق RN118 بعد بداية العرق.

4.2.5 الكثبان الطولية (Longitudinal Dunes)

الكثبان الطولية، أو الكثبان الخطية، هي كثبان رملية ممتدة موازية لاتجاه الرياح السائدة. تتكون في بيئات ذات رياح ثنائية الاتجاه بقوة متشابهة، مما يؤدي إلى تراكم الرمال على شكل ركامات مستقيمة أو متعرجة قليلاً. يمكن أن تصل أطوالها إلى مئات الكيلومترات وارتفاعاتها إلى عشرات الأمتار، وتُوجد في صحاري مثل الصحراء الكبرى وأستراليا (1995) Lancaster ؛ (1993) .Cooke et al .

رسم توضيحي 24: صورة تظهر توزع الكثبان الطولية في منطقة الدراسة



المصدر: تصوير الطالب ق.أمحمد (2025)

5.2.5 الكثبان النجمية (Star Dunes)

الكثبان النجمية هي كثبان رملية كبيرة على شكل هرم مع وجوه انزلاق متعددة (ثلاثة أو أكثر) تشع من مركز مرتفع، مما يعطيها شكلاً شبيهًا بالنجمة. تتكون في بيئات ذات رياح متعددة الاتجاهات، مما يؤدي إلى تراكم الرمال في نقطة مركزية. تنمو رأسيًا بدلاً من الانتشار جانبيًا، وتُوجد في صحاري واسعة مثل العرق الشرقي الكبير في الصحراء الكبرى (Tsoar,2009)؛ (Wilson,1971).

رسم توضيحي 25: صورة توضح الشكل النجمي من اشكال الكثبان الرملية



المصدر: https://www.almrsal.com

6.2.5 الكثبان الهرمية (Pyramidal Dunes)

الكثبان الهرمية هي كثبان رملية على شكل تلال مرتفعة يمكن أن تصل إلى عشرات الأمتار، وتتكون تحت تأثير رياح متعددة الاتجاهات. غالبًا ما تُعتبر مرادفة للكثبان النجمية في بعض السياقات بسبب شكلها الهرمي، لكنها قد تُميز في بعض الدراسات بناءً على ارتفاعها العالي وقلة الذراعين الشعاعية. تُوجد في الصحاري الجزائرية ولا تشكل خطرًا كبيرًا على البيئة (Cooke et al., 1993) ؛ (Pye & Tsoar, 2009)

جدول 4: ملخص أنواع الكثبان الرملية وخصائصها

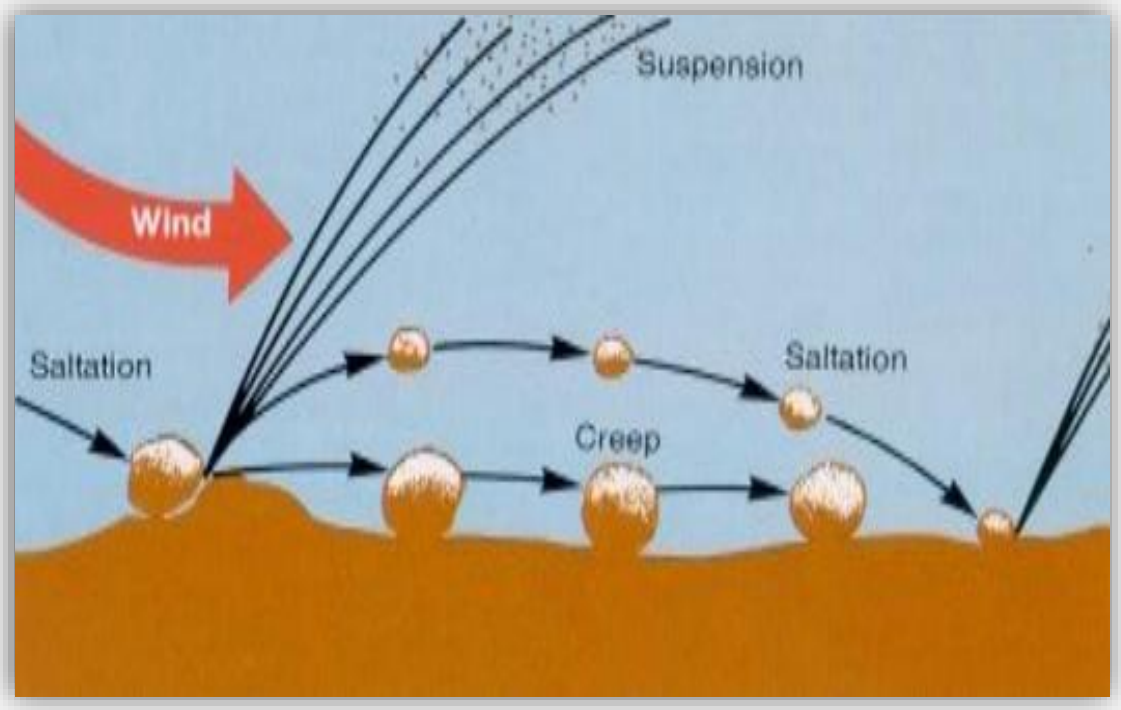
نوع الكثبان	الشكل	ظروف التشكيل
الهلالية (Barchans)	هلال مع وجه انزلاق معاكس	رياح أحادية الاتجاه، إمدادات رملية محدودة
المقوسة (Parabolic)	حرف U مع ذراعين مثبتين	رياح أحادية، غطاء نباتي جزئي
العرضية (Transverse)	ركامات عمودية على الرياح	رياح أحادية، إمدادات رملية وفيرة
الطولية (Longitudinal)	ركامات موازية للرياح	رياح ثنائية الاتجاه، إمدادات رملية محدودة
النجمية (Star)	هرم مع وجوه انزلاق شعاعية	رياح متعددة الاتجاهات
الهرمية (Pyramidal)	تلال مرتفعة، شكل هرمي	رياح متعددة الاتجاهات، قد تكون مرادفة للنجمية

أما بالنسبة لأنماط انتقال الرمال، فإن الرياح تُعد العامل الرئيسي المحرك لهذه الظاهرة. بناءً على بيانات مرصد تيميمون للفترة (2009-2021)، تسود الرياح الشرقية في المنطقة بزاوية تتراوح بين 7.8 و20.7 درجة، مع سرعة متوسطة تبلغ 16.2 كم/ساعة، وتصل إلى ذروتها عند 18.0 كم/ساعة خلال الفترة من مارس إلى يونيو. هذه الرياح تحرك الرمال عبر ثلاثة أنماط رئيسية: الزحف السطحي، حيث تنزلق الحبات الكبيرة على السطح؛ القفز، حيث تقفز الحبات المتوسطة نتيجة التصادم؛ والتعليق، حيث

تُحمل الحبات الدقيقة في الهواء. تتأثر هذه الأنماط بشكل كبير بالتضاريس المحيطة، حيث تُسهم الكثبان الرملية والمنخفضات في توجيه الرمال نحو القسم المتوسط من الطريق (173-319 ن ك)، مما يجعل هذا القسم الأكثر عرضة للتراكم.

يُظهر تحليل أنماط انتقال الرمال أن الرياح الشرقية لا تعمل فقط على نقل الرمال، بل تُسهم أيضًا في تكوين كثبان جديدة على جانبي الطريق، مما يزيد من الضغط على البنية التحتية. على سبيل المثال، تُشير الدراسات إلى أن الحبات الكوارتزية متوسطة الحجم، التي تُشكل الجزء الأكبر من الرمال في المنطقة، تُنقل بكفاءة عالية عندما تتجاوز سرعة الرياح العتبة الحرجة (حوالي 15 كم/ساعة)، وهو ما يتكرر بشكل متزايد خلال موسم الرياح القوية. هذا التحليل يُبرز الحاجة إلى فهم دقيق لديناميكيات انتقال الرمال كخطوة أولى لوضع حلول فعالة تُقلل من تأثيرها على الطريق N118.

رسم توضيحي 26: توضيح كيفية حدوث زحف الرمال وانتقال حبيبات الرمل



المصدر: Belostotsky et al,. (2021)

3.3 تقييم شدة زحف الرمال وخصائصها

1.3.3 تقييم شدة زحف الرمال:

يُعد تقييم شدة زحف الرمال خطوة أساسية لفهم مدى تأثير هذه الظاهرة على الطريق الوطني N118، ولتحديد الفترات والمناطق الأكثر عرضة للخطر.

تُظهر بيانات مرصد تيميمون للفترة (2009-2021) أن الفترات الأكثر نشاطًا لزحف الرمال تمتد من مارس إلى أغسطس، حيث تتزامن هذه الأشهر مع ذروة سرعة الرياح التي تصل إلى 18.0 كم/ساعة، بينما يبلغ المتوسط السنوي 16.2 كم/ساعة. تتفاقم هذه الظاهرة بسبب جفاف التربة خلال هذه الفترة، حيث ينخفض معدل الرطوبة بشكل كبير، مما يزيد من قابلية الرمال للانتقال. تُشير هذه البيانات إلى أن الرياح الشرقية، التي تحدد اتجاه انتقال الرمال كما أُوضح في الفرع السابق، تصبح أكثر تأثيرًا خلال هذه الأشهر، مما يؤدي إلى تراكم كميات كبيرة من الرمال على الطريق.

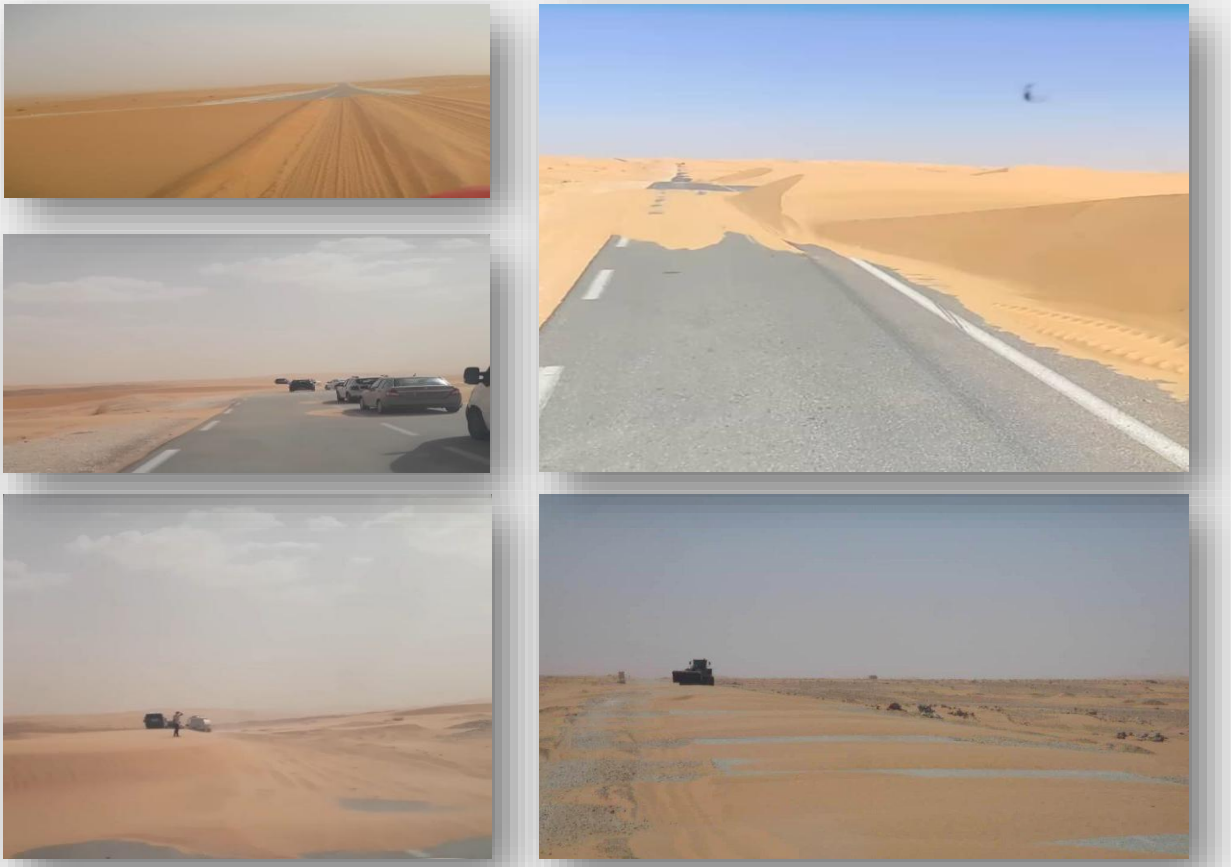
فترات الذروة السنوية:

- **الذروة الرئيسية**:
  - **مارس–أبريل** :أعلى سرعات رياح (5.1–4.9 م/ث) بسبب الرياح التجارية الجافة.
  - **يونيو–يوليو** :سرعات عالية (4.6–6.3 م/ث) مرتبطة بموجات الحر الصيفية.
- **الذروة الثانوية**:
  - **أغسطس–سبتمبر** :سرعات معتدلة (4.6–5.8 م/ث) مع رياح جنوبية غربية.

تلعب التضاريس دورًا حاسمًا في زيادة شدة زحف الرمال في القسم المتوسط من الطريق (173-379 كم). تتميز هذه المنطقة بوجود كثبان رملية مرتفعة على الجانب الغربي للطريق، بالإضافة إلى منخفضات طبيعية تُسهم في توجيه الرمال نحو الطريق. فعلى سبيل المثال، تعمل الكثبان كمصائد للرياح، مما يؤدي إلى تراكم الرمال على الجانب الشرقي منها، ثم تنقلها الرياح الشرقية مباشرة إلى مسار الطريق. كما أن المنخفضات تُقلل من سرعة الرياح عند عبورها، مما يتسبب في ترسيب الرمال في نقاط محددة، خاصة في القسم 173-379 كم الذي يُعتبر الأكثر تضررًا.

تشير هذه الديناميكيات إلى أن التضاريس لا تؤثر فقط على كمية الرمال المنقولة، بل أيضًا على توزيعها المكاني، مما يزيد من تعقيد إدارة الطريق خلال فترات الذروة.

رسم توضيحي 27: صور تظهر بعض حوادث الاغلاق الشبه كامل للطريق بفعل تراكم الرمال



المصدر: تصوير الطالب ق.أمحمد (2025)

يُبرز هذا التقييم أن شدة زحف الرمال تتأثر بشكل مباشر بالعوامل المناخية والتضاريس، مما يتطلب استراتيجيات دقيقة لإدارة الطريق خلال الفترات الحرجة. كما يُظهر أهمية الربط بين البيانات المناخية والملاحظات الميدانية لفهم هذه الظاهرة بشكل أعمق، وهو ما سيتم استكماله في الفرع التالي بدراسة مقاييس كمية لزحف الرمال.

2.3.3 خصائص الرمل في العرق الغربي الكبير :

تُعد خصائص الرمل في العرق الغربي الكبير، وهو المصدر الرئيسي للرمال التي تؤثر على الطريق الوطني N118، أحد العوامل الأساسية التي تُحدد ديناميكيات زحفه وتأثيره على البنية التحتية. يهدف هذا القسم إلى دراسة الخصائص الكيميائية، الحرارية، الحبيبية، الشكلية، واللونية للرمل، لفهم كيفية تأثير هذه الخصائص على انتقال الرمال نحو الطريق.

1.2.3.3. الخصائص الكيميائية والتركيب الكيميائي:

يتأثر التركيب الكيميائي للرمل في العرق الغربي الكبير بالظروف الجيولوجية المحلية، حيث تُهيمن السيليكا (SiO_2) كمكون رئيسي نتيجة تاريخ طويل من تآكل الصخور القديمة وإعادة تدوير الرواسب في الصحراء الكبرى الجزائرية. بناءً على تحاليل كيميائية أُجريت على رمال الصحراء الكبرى، تتراوح نسبة السيليكا بين 74.61% و97.63%، مما يعكس طبيعة الرمل الكوارتزي الذي يُشكل الجزء الأكبر من الكثبان في المنطقة(بريغي وعطيل، 2019-2020) ؛ (Meftah & Mahboub, 2019)

يوضح الجدول التالي التركيب الكيميائي لرمال الصحراء الكبرى في الجزائر مقارنةً ببعض الصحاري العالمية الأخرى.

جدول 3: التركيب الكيميائي لرمال الصحراء الكبرى في الجزائر مقارنة بمناطق عالمية

الأكاسيد	الصحراء الكبرى (الجزائر)	شبه الجزيرة العربية	صحراء تار (الهند)	أستراليا	شبه جزيرة كاليفورنيا (المكسيك)
SiO_2	74.61 - 97.63%	83.37%	83.42%	88.37%	71.38%
Al_2O_3	1.35 - 6.63%	5.12%	5.12%	6.46%	14.24%
Fe_2O_3	0.86 - 1.35%	0.64%	0.64%	3.09%	1.92%
CaO	0.564 - 17.3%	4.16%	4.60%	0.15%	4.74%
Na_2O	0.542%	--	1.20%	0.11%	3.52%
MgO	0.29 - 0.613%	2.4%	0.97%	0.22%	0.94%

المصدر: (بريغي وعطيل، 2019-2020)،(Beddiaf et al., 2015)

يُظهر الجدول أن نسبة السيليكا العالية في رمال الصحراء الكبرى الجزائرية تجعلها أكثر مقاومة للتجوية الكيميائية، مما يُعزز استمراريتها في البيئة الصحراوية. كما أن النسب المنخفضة لأكسيد الحديد (Fe_2O_3) وأكسيد الألمنيوم (Al_2O_3) تُقلل من التماسك الكيميائي بين الحبيبات، مما يُسهم في زيادة قابليتها للنقل عبر الرياح الشرقية السائدة في المنطقة (7.8-20.7 درجة)، وبالتالي زيادة الزحف نحو الطريق N118.

2.2.3.3. الخصائص الحرارية (درجات الانصهار):

تتميز رمال الكثبان في العرق الغربي الكبير بدرجات انصهار مرتفعة نتيجة التركيب الكيميائي الذي يهيمن عليه السيليكا وأكسيد الألمنيوم. تتجاوز درجة انصهار هذه الرمال 1600 درجة مئوية، مما يعكس قوة

الروابط الكيميائية لمكوناتها (Beddiaf et al., 2015). يوضح الجدول التالي درجات انصهار بعض المركبات الرئيسية الموجودة في رمال الكثبان:

جدول 6: درجة حرارة انصهار بعض المواد الداخلة في تركيب رمل الكثبان

اسم المركب	الصيغة الكيميائية	درجة الانصهار(°C)
أكسيد الألومنيوم	Al2O3	2070
السيليس	SiO2	1710
أكسيد الكالسيوم	CaO	2600
أكسيد التيتانيوم	TiO2	1840
كروميت الكالسيوم	CaO-CrO3	2160

المصدر: سميحة بضباف (2012)

تُظهر هذه الخصائص الحرارية أن الرمل في العرق الغربي الكبير مستقر حراريًا، مما يجعله أقل عرضة للتفكك الطبيعي في الظروف الصحراوية القاسية. ومع ذلك، فإن هذا الاستقرار لا يمنع حركته عبر الرياح بسبب خفة الحبيبات وصغر حجمها، مما يُفاقم تراكم الرمال على الطريق N118 خلال فترات الذروة (مارس-أغسطس).

3.2.3.3 *حجم حبيبات الرمل وتصنيفها:*

يتكون الرمل في العرق الغربي الكبير من حبيبات تتراوح أقطارها بين 0.0625 مم و2 مم، وهي ضمن النطاق القياسي للرمل حسب التصنيفات الجيولوجية، تتميز حبيبات رمال الكثبان بالتماثل والتجانس من حيث الشكل، حيث يتراوح حجمها بين 80 و160 ميكرومتر، مما يجعلها مثالية للنقل عبر الرياح.[2]

بناءً على مقياس ويتوورث، يُصنف الرمل ضمن فئة "الرمل" (0.0625-2 مم)، مع تركيز على الحبيبات المتوسطة (0.2-0.63 مم) التي تُشكل الجزء الأكبر في المنطقة [3].

يوضح الجدول التالي تصنيف الرواسب حسب حجم الحبيبات:

---

[2] *مريقة إبراهيم، رحماني كمال، "المساهة في تحسين خصائص خرسانة رمل المحاجر بواسطة التصحيح المهني"، مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر*

[3] *manoa.hawaii.edu/exploringourfluidearth/physical/coast "استكشاف الأرض السائل".*

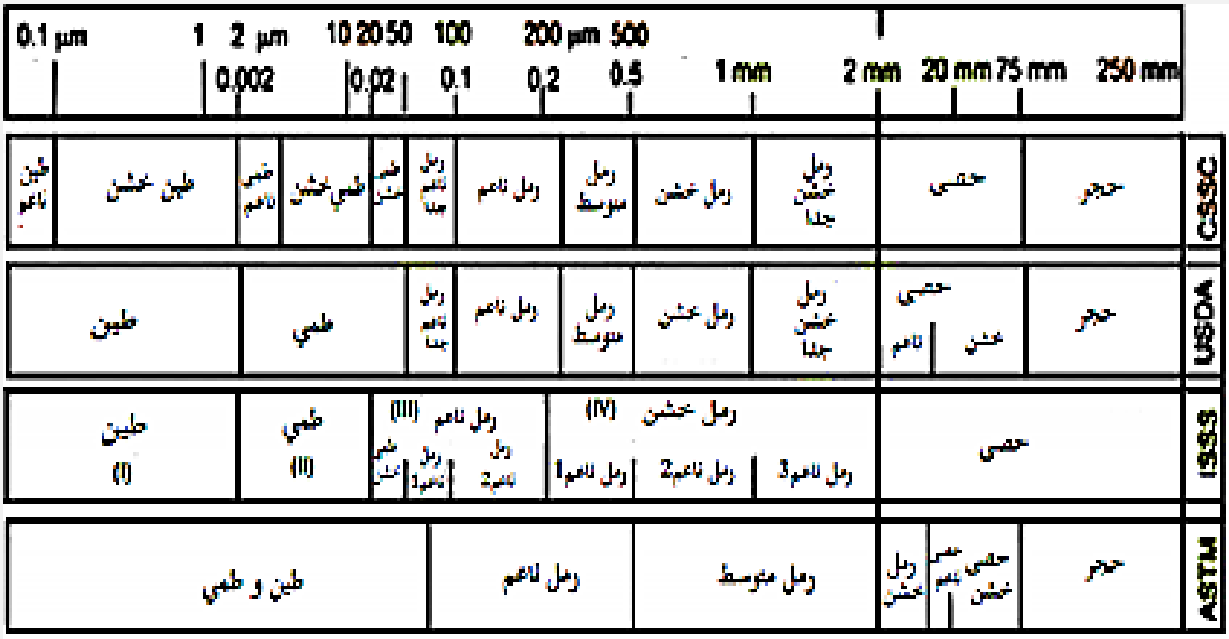
جدول 7: مقياس تصنيف ووصف الرواسب حسب حجم الحبيبات (مقياس ويتوورث)

الطين					الرمل					الحصى		بولدر	الفئة
تراب	طين	طمي ناعم جدًا	طمي ناعم	طمي متوسط	طمي خشن	رمل ناعم جدًا	رمل ناعم	رمل متوسط	رمل خشن	رمل خشن جدًا	حبيبات بريل	صخور	الأنواع
<0.0005	<0.0039	0.0039–0.0078	0.0078–0.0156	0.0156–0.031	0.031–0.0625	0.0625–0.125	0.125–0.25	0.25–0.5	0.5–1	1–2	2–4	100-250	قطر الحبوب (مم)
											4-65	250-65	حصى

المصدر: manoa.hawaii.edu/exploringourfluidearth/physical/coast، "استكشاف الأرض السائل".

كما يُستخدم نظام المقياس الموحد لتصنيف التربة لأغراض جيولوجية وهندسية، حيث يُؤكد أن الرمل في العرق الغربي الكبير يقع ضمن فئة "الرمل المتوسط" إلى "الرمل الناعم"، مما يجعله أكثر قابلية للنقل عبر الرياح الشرقية التي تصل سرعتها إلى 18.0 كم/ساعة في ذروتها (مارس-يونيو).[4]

رسم توضيحي 28:مخطط تصنيف حبيبات التربة حسب نظام المقياس الموحد



المصدر: المعادن والصخور الضارة"، مجلة أسيوط للدراسات

هذه الأحجام تُساهم بشكل مباشر في زيادة زحف الرمال نحو الطريق N118، حيث تُظهر الحبيبات المتوسطة (0.2-0.63 مم) قدرة عالية على الانتقال عبر الزحف السطحي والقفز، خاصة في القسم المتوسط (173-379 كم) الذي يمر داخل العرق الغربي الكبير.

4.2.3.3. التدرج الحبيبي للرمل:

يُقسم الرمل في العرق الغربي الكبير من حيث التدرج إلى ثلاثة أنواع رئيسية: الرمل جيد التدرج الذي يحتوي على نسب متوازنة من الأحجام المختلفة، الرمل المتدرج الذي يحتوي على معظم الأحجام بغض النظر عن النسب، والرمل ناقص التدرج الذي يفتقر إلى مقاسات معينة.[5] يُصنف الرمل في المنطقة كـ"جيد التدرج"، حيث يحتوي على توزيع متوازن للأحجام بين 0.0625 مم و2 مم، مما يُعزز من تماسكه الداخلي لكنه لا يمنع حركته تحت تأثير الرياح القوية. هذا التدرج يُسهم في تكوين كثبان مستقرة تُشكل مصدرًا مستمرًا للرمال المتحركة نحو الطريق.

---

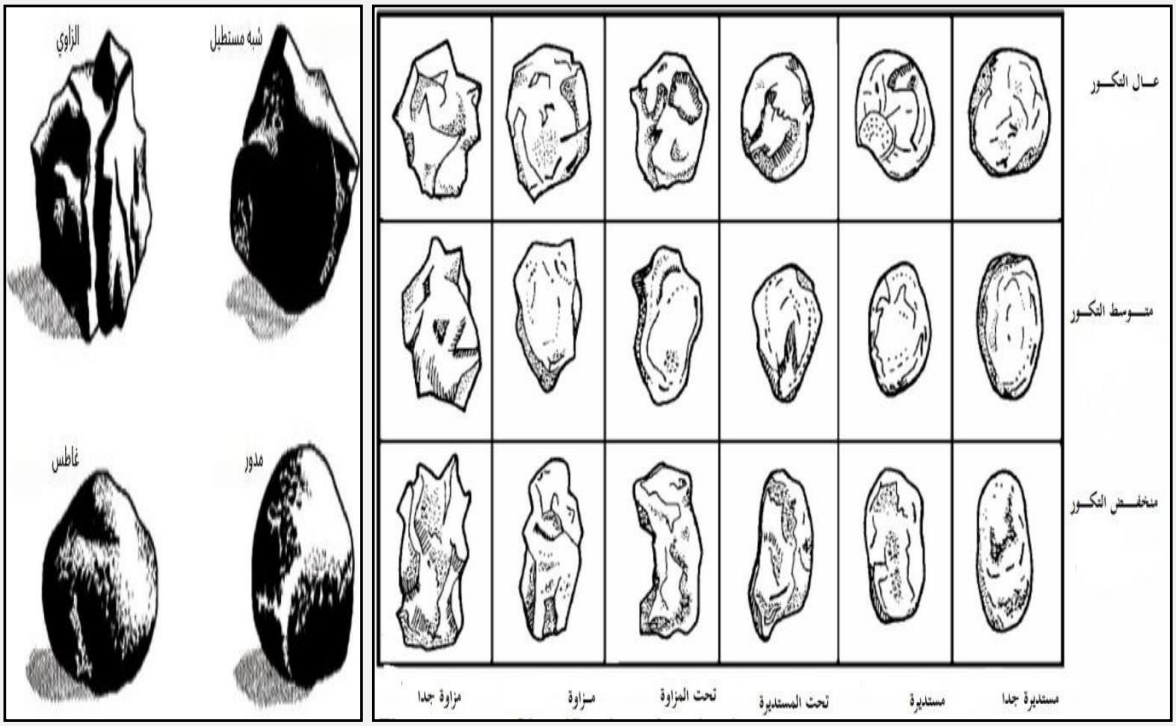
[4] *"المعادن والصخور الضارة"، مجلة أسيوط للدراسات البيئية، العدد 31، 2008، ص 101-118*

[5] *المهندس جمال أبو قيم، الجيولوجي غاني أبو سعد، المهندس محمود عزام، "دراسة جيولوجية وهندسية لرمل الكثيب في المملكة العربية السعودية".*

5.2.3.3. *أشكال حبيبات الرمل:*

تتأثر أشكال حبيبات الرمل في العرق الغربي الكبير بالعوامل البيئية مثل الرياح الشرقية التي تُحرك الرمال باستمرار. تُصنف الحبيبات حسب التكور (Sphericity) والتدوير (Roundness)، حيث تتراوح بين "مدورة" و"شبه مدورة" نتيجة الاحتكاك أثناء النقل (Turkeli, 2017) تشمل الأشكال الكروية، القرصية، الورقية، النصلية، والقضيبية، بينما تُقسم درجة التدوير إلى حبات مدببة جدًا، مدببة، شبه مدورة، شبه مستديرة، مستديرة، ومستديرة جدًا. تُظهر الحبيبات في المنطقة درجة تدوير عالية (شبه مدورة إلى مدورة)، مما يُعزز من قدرتها على الانتقال عبر الزحف السطحي والقفز، وبالتالي زيادة تراكمها على الطريق N118.

رسم توضيحي 29: أشكال الحبيبات الرمل حسب درجة التكور والزاوية وأشكال الجسيمات (حبيبات الرمل)



المصدر: Turkeli, (2017)

6.2.3.3. *لون حبيبات الرمل:*

يُعد لون الرمل من الخصائص الواضحة التي تُميز تركيبه المعدني. في العرق الغربي الكبير، يغلب اللون الأبيض على الرمل نتيجة احتوائه على السيليكا النقية، مع وجود تغيرات لونية طفيفة عند النقاط الكيلومترية (235-242) حيث يتحول إلى الأصفر الشاحب بسبب وجود أكسيد الحديد المائي. تُشير الألوان الأخرى إلى وجود معادن معينة، فالأحمر يُشير إلى أكسيد الحديد، والأسود إلى البازلت، والرمادي إلى المنجنيز،

والأخضر إلى الجلوكونيت، بينما الأبيض يعكس وجود السيليكا النقية أو الجبس أو طين الكاولين[6]-[7]. هذه التغيرات اللونية تعكس تنوعًا جيولوجيًا طفيفًا قد يؤثر على تماسك الرمل وانتقاله.

رسم توضيحي 30: صور جوية توضح اختلاف لون الرمال على طول منطقة الدراسة



المصدر: تصوير الطالب ق.أمحمد (2025)

7.2.3.3. النفاذية:

تعتمد نفاذية الرمل في العرق الغربي الكبير على حجم الحبيبات وتركيبها، حيث تُصنف ضمن فئة "رملية متوسطة" إلى "رملية ناعمة" بنفاذية تتراوح بين 60-250 مم/ساعة.[8] يوضح الجدول التالي العلاقة بين نفاذية التربة ونوعها وسرعة تسرب المياه:

---

6 *"الخصائص الفيزيائية للتربة"، إعداد الأستاذ المساعد الدكتور إسلام هاتف الخيري، قسم الجغرافيا، كلية التربية ابن رشد، جامعة بغداد، الخصائص الطبيعية.*

7 *"أمقر الجيولوجيا الهندسية"، أ.د. عباس بن عينان الحارقي.*

8 *صاحب الربيعي، "التربة وخصائصها (استصلاح التربة والصرف)"*

جدول 8: العلاقة بين نفاذية التربة ونوعها وسرعة تسرب المياه

درجة النفاذية	سرعة تسرب الماء (مم/ساعة)
غير نفوذة	< 0.36
ضعيفة النفاذية	0.36 - 3.6
متوسطة النفاذية	3.6 - 36
نفوذة	3.6 - 360
نفوذة جدًا	120 - 250
نفوذة جدًا	250 - 1000

نوع التربة	سرعة تسرب الماء (مم/ساعة)
طينية جدًا	1.2 >
طينية	1.5 – 1.3
سيليتية (طمي)	30 – 5
سيليتية رملية	120 – 60
رملية ناعمة-متوسطة	250 – 120
رملية خشنة	1000 – 250

المصدر: ص.الربيعي

تُشير هذه النفاذية إلى أن الرمل في المنطقة لديه قدرة معتدلة على امتصاص المياه عندما تكون متوفرة، لكن الجفاف الشديد في المنطقة يجعل هذه الخاصية أقل تأثيرًا، ويُعزز من قابلية الرمل للنقل الجوي عبر الرياح بدلاً من الاستقرار، مما يُفاقم تراكمه على الطريق.

6. خاتمة الفصل:

لقد قدم الفصل الأول إطارًا طبيعيًا وجغرافيًا شاملًا لدراسة ظاهرة زحف الرمال على الطريق الوطني رقم 118. بدأت الدراسة باستعراض التعريفات الأساسية للمصطلحات المرتبطة بالظواهر البيئية الصحراوية، مثل الرمال، التصحر، والجفاف، مما ساهم في بناء أساس مفاهيمي متين. كما تناول الفصل بالتحليل الخصائص الطبيعية للمنطقة المحيطة بالطريق، حيث أظهرت دراسة التضاريس الدور الحاسم للكثبان الرملية والمساحات المنبسطة في تسهيل حركة الرمال، بينما تُشكل الحمادات الصخرية عوائق تُعيد توجيه الرياح، مما يؤثر على مسارات الرواسب الرملية.

من جانب آخر، أبرزت دراسة الشبكة الهيدروغرافية شح الموارد المائية وغياب التدفقات السطحية الدائمة، مع دور محدود للأودية الجافة (مثل واد عيشة وواد العز) في نقل الرواسب خلال فترات الأمطار النادرة، مما يسهم في زيادة تراكم الرمال بالقرب من الطريق. جيولوجيًا، أوضحت الدراسة أن منطقة الطريق تتأثر بالتكوينات الرملية المنبثقة من العرق الغربي الكبير، والذي يُشكل مصدرًا رئيسيًا للرمال المتحركة. وفيما يتعلق بالمناخ، فقد تبين أن الجفاف الشديد، شح التساقطات المطرية، والتفاوت الحراري العالي، إلى جانب الرياح القوية كـ"الشهيلي"، تُعد عوامل أساسية تُعزز من ديناميكية حركة الرمال نحو الطريق. أخيرًا، كشفت دراسة الغطاء النباتي عن قلته في المنطقة، باستثناء بعض الأنواع المتكيفة مثل النخيل والحلفاء، مما يجعل المنطقة أكثر عرضة لزحف الرمال نتيجة لغياب العوائق الطبيعية الكافية.

لقد قدم هذا الفصل تحليلاً معمّقاً لظاهرة زحف الرمال وتأثيراتها المتعددة على الطريق الوطنيN118 ، مع التركيز على الأبعاد المناخية والتقنية لهذه الظاهرة في سياق منطقة الدراسة. وقد تبين أن زحف الرمال

في الصحراء الجزائرية، وخاصة على امتداد هذا الشريان الحيوي، يُمثل تحدياً بيئياً واقتصادياً كبيراً، وهو ما يُعد "كارثة غير معلنة تعطل حركة النقل وتهدد استدامة الطرق (Boulghobra, 2015). كما كشفت الدراسة أن تفاعل العوامل الطبيعية، خاصة الظروف المناخية القاسية، يلعب دوراً محورياً في ديناميكية زحف الرمال؛ فالرياح السائدة والقوية، بالإضافة إلى طبيعة التضاريس الرملية الشاسعة في العرق الغربي الكبير، تُعد المحركات الأساسية لحركة الرمال وتراكمها على مسار الطريق. وقد أُشير إلى أن "التأثيرات المحتملة للتغيرات المناخية، التي قد تزيد من تواتر العواصف الرملية، تُفاقم من حدة هذه الظاهرة وتزيد من تعرض المنطقة للخطر (Thomas, 2011).

وبهذا نكون قد وضعنا إطارًا تحليليًا متكاملًا لفهم العوامل الطبيعية والجغرافية المؤثرة على ظاهرة زحف الرمال. هذا الفهم الشامل يمهد الطريق للفصل الثاني، الذي سينتقل إلى جانب آخر من جوانب المشكلة، حيث سيركز على خصوصيات مستخدمي الطريق الوطني رقم 118، وذلك من خلال عرض وتحليل نتائج الاستبيانات التي تم جمعها لفهم التحديات التي يواجهونها وآرائهم حول الظاهرة. بعد ذلك، سيتم الانتقال إلى التحليل المكاني باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحديد المناطق الأكثر تضرراً وتحديد آليات التدخل المناسبة، مما يسهم في استنباط الحلول العملية لمواجهة هذا التحدي البيئي المتواصل.

الفصل الثاني

زحف الرمال على الطريق الوطني N118 تحليل تأثيرات وتحديات المستخدمين والبعد الجيومكاني

مقدمة :

بينما تناول الفصل الأول الإطار الطبيعي والجغرافي للطريق N118 مع التركيز على العوامل المناخية والتقنية ، يهدف هذا الفصل ليتعمق في **التأثيرات المتعددة لظاهرة زحف الرمال على هذا الطريق، مركزاً على خصوصيات مستخدميه، ، وصولاً إلى التحليل المكاني المتقدم باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)** يهدف هذا الفصل إلى تقديم تحليل شامل للتحديات الناجمة عن الرمال المتحركة، وكيفية تأثيرها على السلامة المرورية والجانب الاقتصادي، فضلاً عن استعراض الأدوات والتقنيات الجغرافية المستخدمة لتقييم هذه الظاهرة مكانيًا.

يبدأ الفصل بمعالجة **خصوصيات مستخدمي الطريق**، حيث يستعرض بالتفصيل منهجية إعداد وجمع البيانات عبر الاستبيانات الإلكترونية. يتبع ذلك تحليل معمق للنتائج المستخلصة من هذه الاستبيانات، والتي تُسلط الضوء على طبيعة استخدام الطريق وتجارب المستخدمين المباشرة مع مشكلة تراكم الرمال، وتأثيرها على الرحلات، وتقييمهم لجودة الطريق وخدمات الاتصال. ينتقل الفصل بعد ذلك إلى الجانب الاقتصادي لظاهرة زحف الرمال، متناولاً **تاريخ إنشاء الطريق والتحديات** التي واجهها المهندسون أثناء تعبيده، بما في ذلك **التكاليف الباهظة لإزالة الرمال** والتحديات المستمرة التي تواجه الجهات المشرفة على الصيانة. كما يُركز الفصل على **التحليل المكاني لظاهرة زحف الرمال باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)** في هذا الجزء، سيتم تفصيل **أدوات التحليل المكاني المعتمدة والمؤشرات الجغرافية الدقيقة** التي تُستخدم لتحديد وتصوير المناطق الأكثر عرضة لتراكم الرمال على طول الطريق عبر **خرائط موضوعية واضحة** .كما سيتم التطرق إلى **العوامل المناخية وآليات انتقال الرمال** التي تؤثر على هذه الظاهرة. إن هذا التحليل الجغرافي يهدف إلى توفير بيانات مكانية حيوية لدعم عمليات اتخاذ القرار وتوجيه جهود المكافحة والصيانة نحو المناطق ذات الأولوية القصوى، مما يسهم في فهم شامل للأبعاد البشرية، الاقتصادية، والجيومكانية لمشكلة زحف الرمال على الطريق الوطني رقم 118.

1. خصوصيات مستعملي الطريق

1.1 منهجية إعداد وجمع البيانات

لتحقيق أهداف هذه الدراسة وجمع بيانات دقيقة وشاملة حول تحديات زحف الرمال على الطريق الوطني رقم 118 وتأثيرها على مستخدمي الطريق، تم اعتماد منهجية بحثية تعتمد على المسح الميداني واستخدام الاستبيان كأداة رئيسية لجمع المعلومات. جاءت فكرة تصميم أسئلة الاستبيان كنتيجة مباشرة لخرجة ميدانية أولية للطريق الوطني رقم 118 الرابط بين تيميمون والبنود. خلال هذه الخرجة، تم رصد المناطق الأكثر تضرراً من زحف الرمال، وملاحظة الصعوبات التي يواجهها السائقون، بالإضافة إلى إجراء مقابلات غير رسمية مع بعض مستخدمي الطريق المحليين وسائقي الشاحنات والحافلات. هذه الملاحظات والمحادثات الأولية كانت بمثابة إلهام لتحديد المحاور الرئيسية التي يجب أن يغطيها الاستبيان، وهي: معلومات عامة عن المستخدمين، تحديات زحف الرمال، الحوادث المرورية، الصيانة وجودة الطريق، وشبكة الاتصال.

بعد تحديد المحاور، تم تصميم الاستبيان بعناية فائقة لضمان وضوح الأسئلة وسهولة الإجابة عليها، وذلك باستخدام منصات إلكترونية مخصصة لإنشاء الاستبيانات. هذه الطريقة أتاحت مرونة كبيرة في الوصول إلى شريحة واسعة من مستخدمي الطريق. تم نشر الاستبيان إلكترونيًا عبر مجموعات وصفحات متعددة على وسائل التواصل الاجتماعي والمجتمعات المحلية الرقمية ذات الصلة بمنطقة الدراسة ومستخدمي هذا الطريق تحديدًا. هذه الخطوة سهلت جمع عدد كبير من الردود (47 ردًا خلال مدة تقارب الشهر)، مما أتاح الحصول على رؤى متعددة حول تجارب مستخدمي الطريق وتحدياتهم مع ظاهرة زحف الرمال ومشكلات البنية التحتية والاتصالات. إن الاعتماد على هذه المنهجية المزدوجة – الملاحظة الميدانية المباشرة والتوزيع الإلكتروني – ضمنت جمع بيانات نوعية وكمية تعكس الواقع الفعلي للمشكلة.

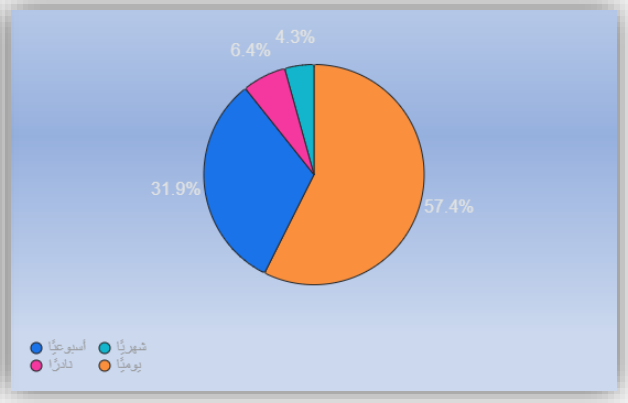
2.1 تحليل بيانات الاستبيان

بعد جمع الردود البالغة 47، تم تحليل البيانات للإجابة على الأسئلة الرئيسية التي طرحها الاستبيان وتقديم فهم أعمق لتأثير زحف الرمال وتحديات الطريق الوطني رقم 118.

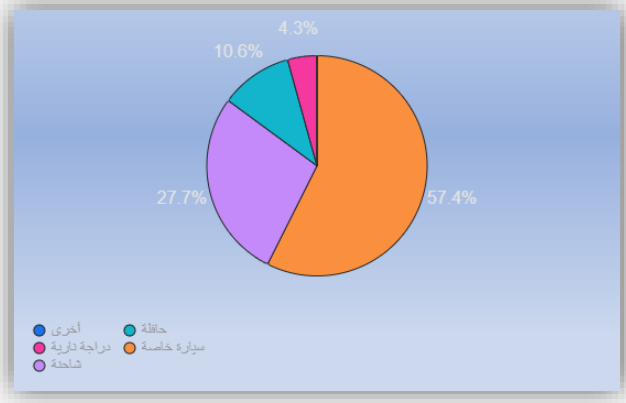
1.2.1 معلومات عامة عن المستخدمين (نوع المركبة، تكرار الاستخدام، الغرض):

- **نوع المركبة" :**السيارات الخاصة" هي الأكثر استخدامًا (57.4%)، تليها "الشاحنات" (27.7%) و"الحافلات" (10.6%)، مما يؤكد أهمية الطريق لمختلف أنواع النقل .
- **تكرار الاستخدام :**الغالبية تستخدم الطريق "أسبوعيًا" (57.4%)، ثم "شهريًا" (21.3%) و"يوميًا" (14.9%)، مما يشير إلى اعتماد كبير على هذا المحور الحيوي .
- **الغرض الأساسي" :**العمل" هو الغرض الرئيسي (44.7%)، يليه "السفر" (31.9%)، مما يدل على دور الطريق في الأنشطة الاقتصادية والتنقل الضروري.

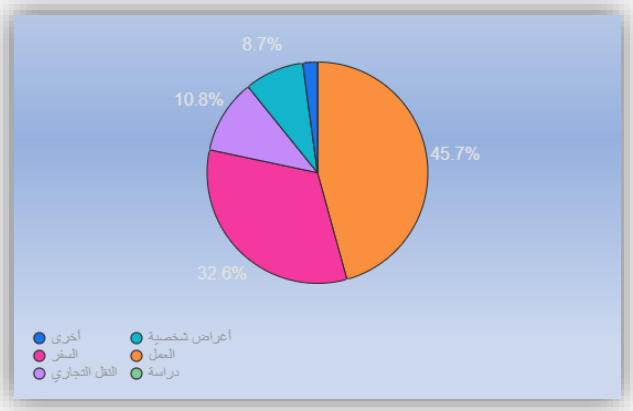
رسم توضيحي 31: عدد مرات استخدام الطريق



رسم توضيحي 32: دائرة نسبية توضح نوع المركبات المستخدمة عادة على الطريق



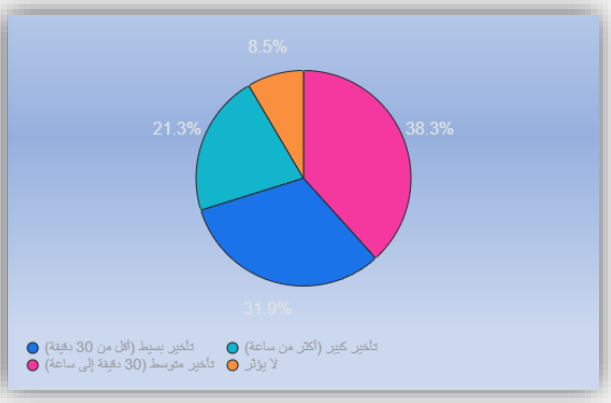
رسم توضيحي 33: دائرة نسبية توضح الغرض الرئيسي من استخدام الطريق لدى المستخدمين



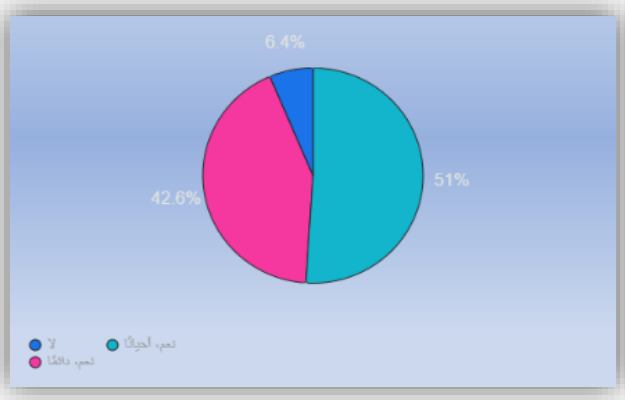
2.2.1 تحديات زحف الرمال:

- **مواجهة المشكلة :**غالبية المستخدمين يواجهون تراكم الرمال، حيث أن 42.6% يواجهونها "دائماً" و51.1% "أحياناً"، مما يؤكد أنها تحدٍ مستمر وشامل .
- **التأثير على الرحلة** 42.6% **:**يواجهون "تأخير متوسط" (30 دقيقة - ساعة)، و21.3% "تأخير كبير" (أكثر من ساعة)، مما يدل على إعاقة حقيقية لحركة المرور.

رسم توضيحي 34: دائرة نسبية توضح رأي المستخدمين حول تأثير زحف الرمال



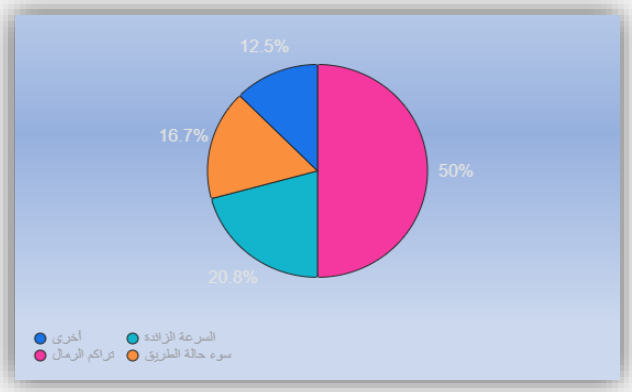
رسم توضيحي 35: دائرة نسبية توضح رأي المستخدمين حول مواجهة تراكم الرمال على الطريق



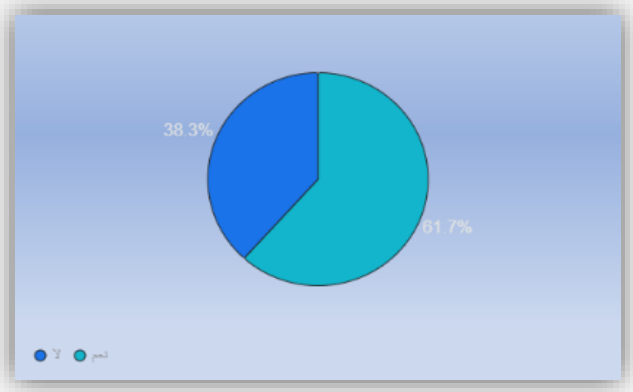
3.2.1 الحوادث المرورية:

- **التعرض/المشاهدة**: 51.1% من المستخدمين تعرضوا أو شاهدوا حوادث على الطريق N118، مما يشير إلى مخاطر حقيقية.
- **السبب الرئيسي**: 50.0% يعتقدون أن "تراكم الرمال" هو السبب الرئيسي للحوادث، يليه "السرعة الزائدة" (20.8%) و"سوء حالة الطريق" (16.7%)، مؤكدًا العلاقة المباشرة بين الرمال والحوادث.

رسم توضيحي 36: دائرة نسبية توضح السبب الرئيسي للحوادث حسب رأي المستخدمين



رسم توضيحي 37: دائرة نسبية توضح تعرض أو مشاهدة المستخدمين لحادث مروري



4.2.1 الصيانة وجودة الطريق:

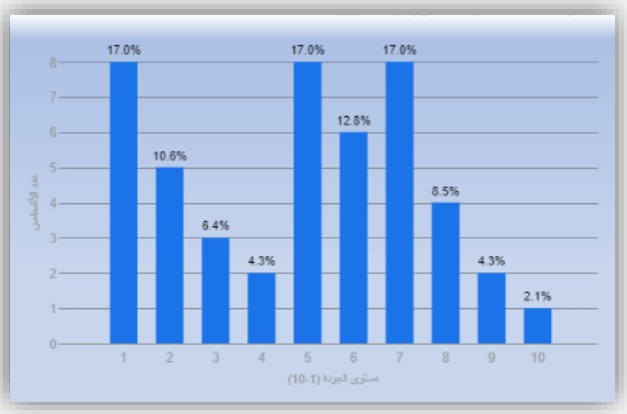
- **تقييم الجودة**: تتباين التقييمات، ولكنها تميل بشكل عام إلى المتوسط أو الضعيف، مما يشير إلى الحاجة لتحسينات جوهرية.
- **انتظام الصيانة**: 70.2% يعتقدون أن الصيانة غير منتظمة وغير كافية، مما يعكس شعورًا عامًا بعدم كفايتها.
- **تحسن الأقسام المعاد هيكلتها**: 66.0% لاحظوا تحسنًا في الأقسام المعاد هيكلتها، مما يدل على فعالية جهود إعادة الهيكلة رغم الحاجة للمزيد.
- **أكبر مشكلة تواجه على الطريق:** تراكم الرمال" هي المشكلة الأكبر (51.1%)، تليها "سوء الصيانة" (21.3%)، ثم "ضعف شبكة الاتصال" (17.1%)، مما يؤكد أن الرمال هي الأولوية القصوى.
- **مدى الشعور بالأمان أثناء القيادة :**

يظهر التقييم (من 1 إلى 10) أن الشعور بالأمان يميل إلى أن يكون **متوسطًا إلى ضعيفًا**.

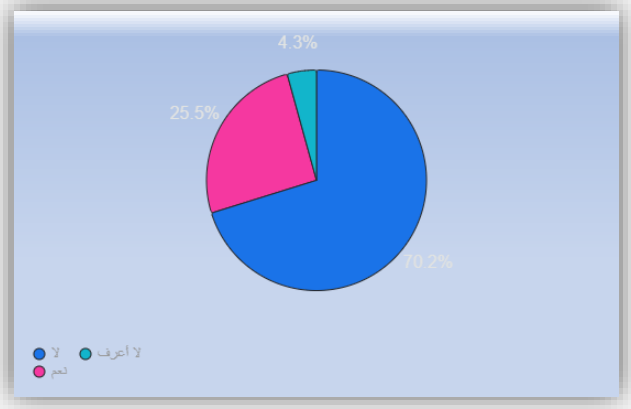
أكثر من ثلث المستجيبين (36.2%) أعطوا تقييمات منخفضة (1-3)، مما يشير إلى مخاوف جدية حول السلامة. حوالي الثلث (34.1%) يشعرون بمستوى متوسط من الأمان (4-6)، وأقل من الثلث (29.8%) فقط يشعرون بمستوى عالٍ من الأمان (7-10) .

هذا يؤكد أن غالبية المستخدمين لا يشعرون بالأمان الكافي، مما يستدعي تحسينات في البنية التحتية وإجراءات السلامة.

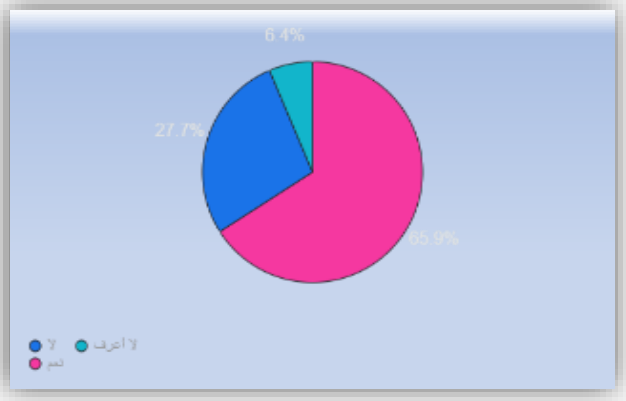
رسم توضيحي 38 : أعمدة بيانية توضح تقييم جودة الطريق حسب رأي المستخدمين



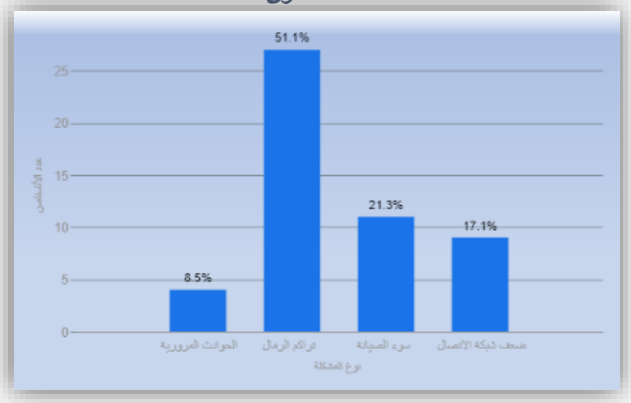
رسم توضيحي 39 : دائرة نسبية لانتظام وكفاية عمليات الصيانة على الطريق حسب رأي المستخدمين



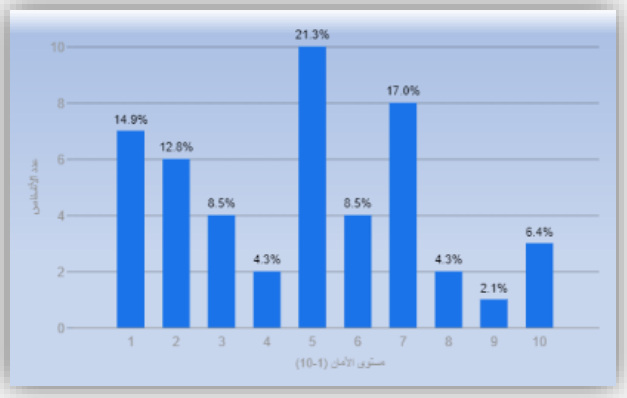
رسم توضيحي 40: دائرة نسبية لوجود تحسن في الأقسام التي أعيد هيكلتها حسب رأي المستخدمين



رسم توضيحي 41 : أعمدة بيانية لبعض المشاكل التي واجهها المستخدمون



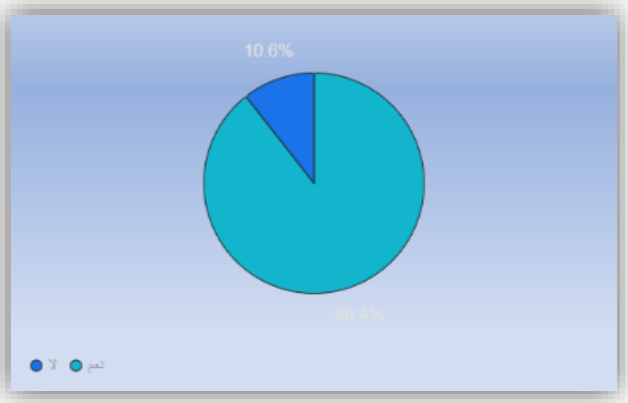
رسم توضيحي 42: أعمدة بيانية لمدى الشعور بالأمان أثناء القيادة حسب رأي المستخدمين



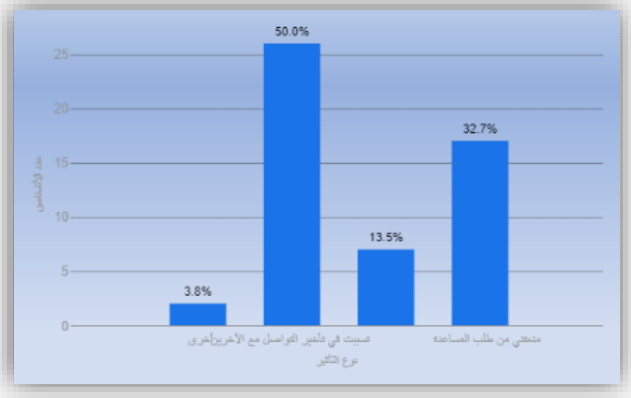
5.2.1 شبكة الاتصال:

- **مشاكل الشبكة**: 89.4% يواجهون مشاكل في شبكة الاتصال، وهي مشكلة حيوية في منطقة صحراوية.
- **تأثير المشكلة**: 50.0% تعرضوا لتأخير في التواصل، و32.7% مُنعوا من طلب المساعدة، مما يبرز الأثر السلبي الكبير لضعف الاتصال.

رسم توضيحي 43: دائرة نسبية تظهر جودة شبكات الاتصال حسب رأي المستخدمين



رسم توضيحي 44: أعمدة بيانية تظهر مدى تأثير مشاكل الاتصالات على المستخدمين



6.2.1 مقترحات الحلول من المستخدمين:

تنوعت المقترحات ولخصت في:

- **حلول بيئية وهندسية**: مثل التشجير وحواجز الرمال.
- **حلول للصيانة الدورية**: مثل نزع الرمال وإنشاء مراكز صيانة.
- **حلول لتحسين البنية التحتية**: مثل ازدواجية الطريق.
- **حلول لشبكة الاتصالات**: توفير وتدعيم الشبكة. هذه المقترحات تعكس وعي المستخدمين وضرورة إشراكهم في صياغة الحلول.

3.1 خاتمة جمع الاستبيان

في الختام، قدم تحليل بيانات الاستبيان رؤى قيمة حول خصوصيات مستخدمي الطريق الوطني رقم 118 والتحديات التي يواجهونها بسبب ظاهرة زحف الرمال. لقد كشفت النتائج عن مدى اعتماد شرائح واسعة من المستخدمين على هذا الطريق لأغراض العمل والسفر، وعن التأثير المباشر والسلبي لتراكم الرمال على رحلاتهم، مما يؤدي إلى تأخيرات كبيرة وحوادث مرورية. كما أبرز التحليل الحاجة الملحة لتحسين

جودة وصيانة الطريق، وتوفير تغطية كافية لشبكة الاتصالات. الأهم من ذلك، أن مقترحات الحلول التي قدمها المستخدمون أنفسهم، والتي تنوعت بين الحلول البيئية والهندسية لمكافحة الرمال، وتعزيز الصيانة الدورية، وتطوير البنية التحتية، وتدعيم شبكة الاتصالات، تؤكد على أهمية دمج وجهة نظر المستفيدين في صياغة الاستراتيجيات المستقبلية. إن هذه النتائج تُشكل قاعدة بيانات غنية ستُسهم بشكل فعال في تحديد المناطق الأكثر تضرراً واستنباط آليات التدخل المناسبة عند استخدام نظم المعلومات الجغرافية، مما يدعم التخطيط لجهود فعالة ومستدامة لمواجهة تحدي زحف الرمال وتحسين تجربة مستخدمي الطريق.

2. التحليل المكاني باستخدام أدوات (GIS)

1.2 دراسة تحليلية للمنطقة

نظرًا لصعوبة قياس التغيرات المكانية للكثبان الرملية باستخدام الطرق التقليدية، ولاسيما مع اتساع مساحتها، اعتمدنا في هذا البحث على استخدام صور الأقمار الصناعية (Landsat8) مع برامج الجيوماتكس مثل ArcGIS 10.8 و ARCPRO لتحليل وتتبع هذه التغيرات بدقة.

يُعرف المؤشر (Index) كأداة لقياس تركز ظاهرة معينة، حيث يُلخص البيانات في قيمة واحدة تُعبر عن الخصائص المستهدفة ضمن نطاقات طيفية محددة من الطاقة الكهرومغناطيسية، وكأنه معيار لدرجة تركيز تلك الخصائص (الغامدي، 2008، 5).[9] تُمثل الأدلة الرقمية (Indices) تحسينات مهمة تُطبق على المرئيات الفضائية من خلال نماذج رياضية تشمل الجمع، الطرح، الضرب، أو القسمة بين قيم الحزم الطيفية المختلفة، مما يساهم في تحويل الخصائص الطيفية وتقليل تأثير الظلال في المرئيات المتعددة الأطياف. كما تُستخدم هذه الأدلة على نطاق واسع في تحليل النباتات، رصد التصحر، والمراقبة البيئية، حيث تتيح تمييز الاختلافات غير المرئية في الحزم اللونية الأساسية (المالكي، 2000، 54).

في دراستنا، سنوظف تقنيات الجغرافيا الحديثة في كشف الكثبان الرملية ومراقبة تغيراتها على طول منطقة الدراسة من خلال استخدام الأدلة والمؤشرات الطيفية (INDICES) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (ARCGIS-ARCTOOLS BOX).

من الجدير بالذكر أنني أجريت بالفعل اختبارات لعدة مؤشرات للكثبان الرملية مثل **(NDSD)** و **(NDSI)** وأيضا مؤشر الكثافة الاشعاعية **(BI)** ولكن قمت بالاعتماد على مؤشر **(SI)** لأنه كان له الأثر والامكانية القوية في عزل مناطق انتشار الكثبان الرملية عن بقية أصناف الغطاء الأرضي.

سنقوم أيضا بإنجاز خريطة NDVI وخرائط المخاطر باستخدام أدوات IDW وKernel، مما يعزز دقة التحليل ويسهم في اتخاذ قرارات فعالة لمكافحة زحف الرمال.

---

[9] *محمد، م. د. أحمد أطفيح ماهود. "استخدام الأدلة والمؤشرات الطيفية لمراقبة تغير الامتداد المكاني لظاهرة الكثبان الرملية في قضاء علي الغربي." جامعة البصرة - كلية التربية للبنات - قسم الجغرافيا.*

1. **NDSI — Normalized Difference Sand Index**

$$\text{NDSI} = \frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)}$$

SWIR: الانعكاس في الأشعة تحت الحمراء قصيرة الموجة
NIR: الانعكاس في الأشعة تحت الحمراء القريبة

- الفائدة: يكتشف المناطق الرملية الجافة (يمتص الرمل المزيد من الأشعة تحت الحمراء ويعكس SWIR أكثر من الغطاء النباتي).

---

2. **BI — Brightness Index (ou Albedo Index)**

$$\text{BI} = \sqrt{\frac{(RED^2 + NIR^2)}{2}}$$

- الفائدة: يقيس لمعان الأسطح ؛ التربة الرملية العارية عاكسة للغاية ، لذا فهي تتمتع بدرجة عالية من ذكاء الأعمال.

---

3. **NDSDI — Normalized Difference Sand Dune Index**[10]

NDSDI = (R-SWIR$_2$) / (R+SWIR$_2$)

- الفائدة: تحديد الكثبان الرملية ومراقبة التغيرات وتقييم تدهور الأراضي

---

4. **SI — Sand Index (version alternative de NDSI)**

$$\text{SI} = \frac{(RED - GREEN)}{(RED + GREEN)}$$

- الفائدة: هذا المؤشر التجريبي مفيد مع أجهزة الاستشعار مثل Landsat أو Sentinel-2 ، خاصة في البيئات القاحلة والصحراوية. يسلط الضوء على اللون الأصفر والبني

---

10 محمد، م. د. أحمد أطفيح ماهود. "استخدام الأدلة والمؤشرات الطيفية لمراقبة تغير الامتداد المكاني لظاهرة الكثبان الرملية في قضاء علي الغربي." جامعة البصرة - كلية التربية للبنات - قسم الجغرافيا.

1.1.2 الحدود الزمانية:

تتمثل بمدة الدراسة، من (2013 - 2025)، بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي (LandSat).

حيث يبين الجدول (17) مواقع وأرقام وتواريخ المرئيات الفضائية المستخدمة في الدراسة، لإظهار التباينات الزمانية والمكانية لتغير الامتداد المكاني لظاهرة الكثبان الرملية في منطقة الدراسة.

جدول 09: اسم ومواقع وأرقام وتواريخ المرئيات المستخدمة في الدراسة

المرئيات الفضائية	نوع المتحسس	المشاهد	PATH	ROW	تاريخ الالتقاط
Landsat 8	OLI - TIRS	1	196	38	2013 / 03 / 22
Landsat 8	OLI - TIRS	2	196	39	2013 / 04 / 25
Landsat 8	OLI - TIRS	3	196	40	2013 / 04 / 25
Landsat 8	OLI - TIRS	4	197	37	2013 / 04 / 09
Landsat 8	OLI - TIRS	5	197	38	2013 / 04 / 16
Landsat 8	OLI - TIRS	6	197	39	2013 / 04 / 16
Landsat 8	OLI - TIRS	7	197	40	2013 / 04 / 16
Landsat 8	OLI - TIRS	1	196	38	2019 / 04 / 26
Landsat 8	OLI - TIRS	2	196	39	2019 / 04 / 26
Landsat 8	OLI - TIRS	3	196	40	2019 / 04 / 26
Landsat 8	OLI - TIRS	4	197	38	2019 / 04 / 17
Landsat 8	OLI - TIRS	5	197	39	2019 / 04 / 17
Landsat 8	OLI - TIRS	1	196	38	2025 / 04 / 26
Landsat 8	OLI - TIRS	2	196	39	2025 / 04 / 26
Landsat 8	OLI - TIRS	3	196	40	2025 / 04 / 26
Landsat 9	OLI - TIRS	4	197	38	2025 / 04 / 25
Landsat 9	OLI - TIRS	5	197	39	2025 / 04 / 25

المصدر: هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)

2.1.2 آلية العمل:

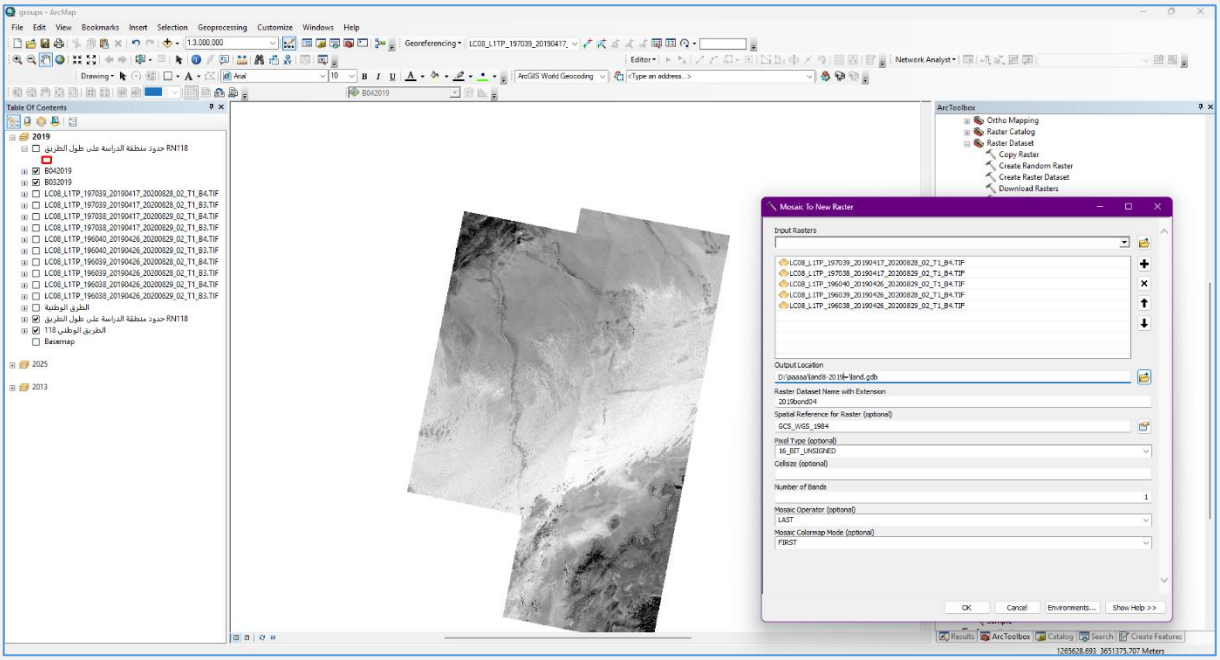
1.2.1.2 مرّت آلية العمل بمجموعة من المراحل وكالآتي:

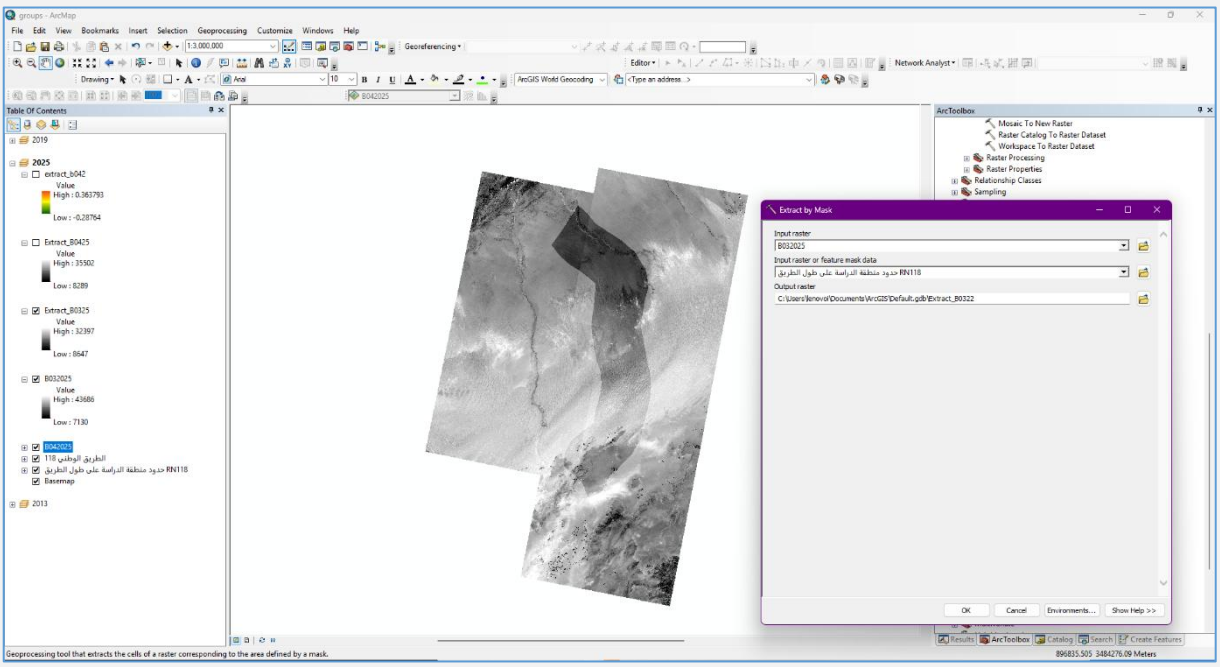
- اختيار البرامج :تم العمل ببرنامجي (ARCPRO) و (ARC GIS 10.8) لما لهما من إمكانية عالية في تحليل المرئيات الفضائية.
- اختيار المرئيات الفضائية :اعتمدت الدراسة على اختيار بيانات القمر الصناعي (Land Sat) للسنوات (2013، 2013، 2025)، (الجدول 09).
- معالجة المرئيات الفضائية لغرض الحصول على نتائج الأدلة والمؤشرات الطيفية في باستخدام أداة.(Map Algebra - Raster Calculator)
- تجميع المشاهد المتعددة لسنة واحدة (Mosaic To New Raster) في هذه المرحلة، نهدف إلى دمج جميع مشاهد Landsat الفردية التي قمنا بتنزيلها لتغطية منطقة الدراسة الكاملة في سنة معينة (مثلاً 7 مشاهد لعام 2013، و5 مشاهد لكل من عامي 2019 و2025). وأيضا حسب احتياجنا لعدد Band لكل خريطة.
- استخدام أداة "Mosaic To New Raster" لجمع الصور مع بعضها البعض.
- استخدام أداة "Extract by Mask" أو"Clip Raster" من اجل القص حسب منطقة الدراسة.
- تحويل المرئيات الفضائية المصنفة إلى خرائط موضوعية (THEMATIC MAP) باستخدام برنامج (ARCGIS 10.8) لإنشاء قاعدة بيانات جغرافية لظاهرة الكثبان الرملية على هيئة جداول لحساب المساحات والمقارنة بينها، بالاعتماد على

(Open Attribute Table– Calculate Geometry) .

- اخراج الخريطة

رسم توضيحي 45: استخدام برنامج ارك ماب في تجميع وقص المشاهد الفضائية حسب منطقة الدراسة





المصدر: من استخدام الطالب ق.أمحمد (2025) لبرنامج ARCMAP

2.2.1.2 ثالثا: إنشاء وتحليل خريطة مؤشر SI (Sand Index) ودوره في رصد زحف الرمال

في سياق دراسات رصد التغيرات البيئية والتصحر، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة، يُعد مؤشر SI (Sand Index) أداة قوية وفعالة لتحديد وتمييز المناطق الرملية والكثبان الرملية. تعتمد الدراسة الحالية على تطبيق هذا المؤشر على بيانات صور الأقمار الصناعية Landsat عبر فترات زمنية متعددة (2013، 2019، 2025) لتقييم ديناميكية الغطاء الرملي وتحليل مخاطر زحف الرمال في منطقة الدراسة.

أ- مفهوم مؤشر SI (Sand Index)

هو مؤشر طيفي مصمم خصيصاً لإبراز وتحديد المناطق التي تحتوي على الرمال والتربة الجرداء. يعتمد المؤشر على التباين في الانعكاسات الطيفية بين النطاق الأخضر والنطاق الأحمر، حيث تُظهر الرمال والمناطق الجرداء أنماط انعكاس مختلفة عن الغطاء النباتي أو المسطحات المائية في هذه النطاقات.

ب- معادلة حساب SI والنطاقات المستخدمة:

يتم حساب مؤشر SI باستخدام المعادلة التالية: SI=(Red-Green)/(Red+Green)

حيث:

- (Red-الأحمر): قيمة الانعكاس الطيفي في النطاق الأحمر. في صور Landsat 8 ، يمثل هذا النطاق Band 4 (B4).
- (Green-الأخضر): قيمة الانعكاس الطيفي في النطاق الأخضر. في صور Landsat 8 ، يمثل هذا النطاق Band 3 (B3).

ت- تفسير قيّم المؤشر:

تتراوح قيّم مؤشر SI عادةً بين -1 و +1، ويتم تفسيرها كالتالي:

- القيم الموجبة العالية (قريبة من +1) :تشير إلى مناطق ذات تركيز عالٍ من الرمال والكثبان الرملية الجرداء. كلما ارتفعت القيمة، زادت كثافة الرمال وقل الغطاء النباتي.
- القيم القريبة من الصفر أو السلبية المنخفضة :تشير إلى مناطق ذات غطاء نباتي أو مسطحات مائية أو أنواع أخرى من الأراضي لا تتكون من الرمال بشكل أساسي.

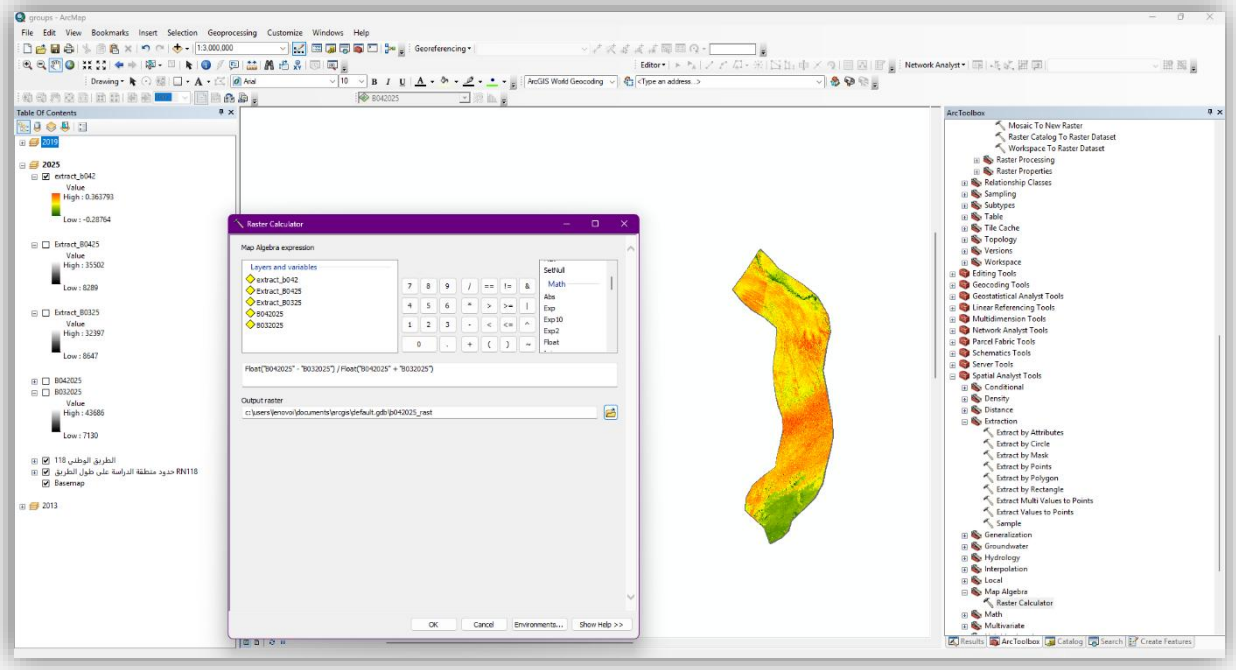
ث- المنهجية التفصيلية لإنشاء خرائط (SI) كما هو موضح في النص:

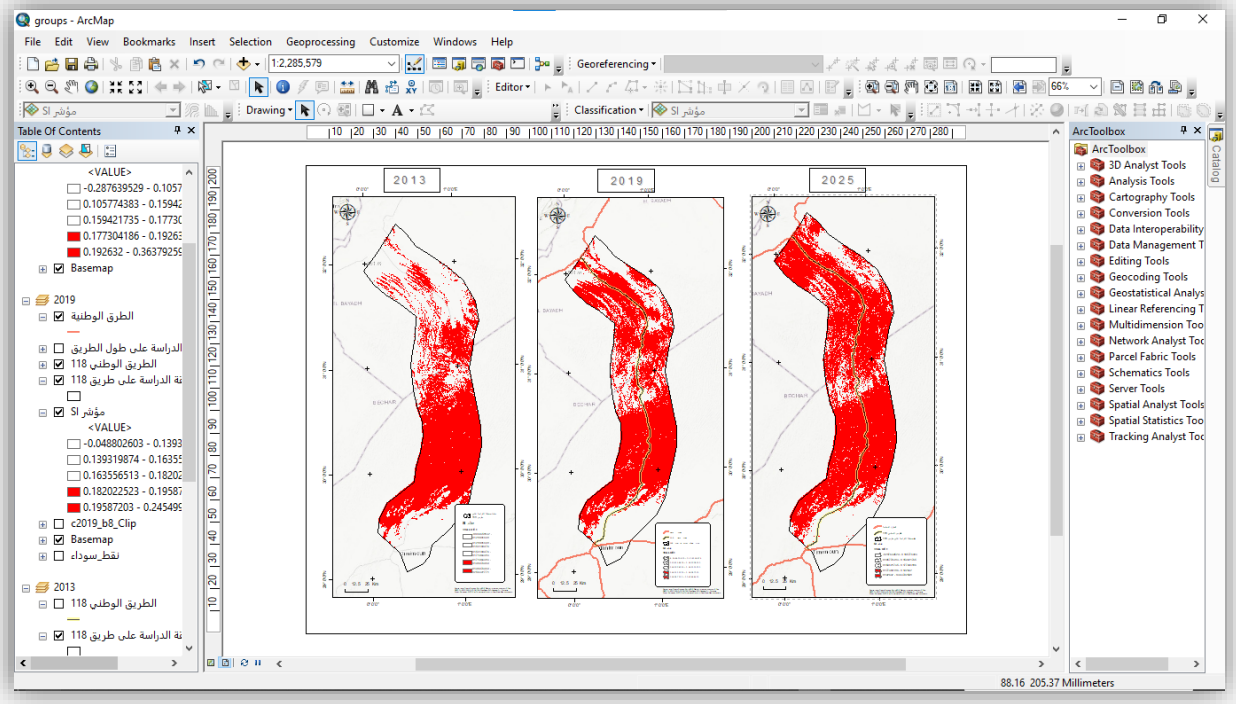
- تجهيز النطاقات الطيفية B3 و B4 :
  - استخراج النطاقات الأساسية :تم التركيز بشكل خاص على النطاق الأخضر (Landsat Band 3) والنطاق الأحمر(Landsat Band 4) ، كونهما المدخلات الرئيسية لمعادلة المؤشر.
  - دمج وتقسيم الصور: مثل ما ذكرناه سابقا حول جمع كامل المشاهد وتقسيمهم حسب منطقة الدراسة ثم تكرر هذه العملية بشكل منهجي للسنوات الثلاث

ج- حساب مؤشر SI:

- تم استخدام أداة "Raster Calculator" في برنامج ArcMap لتطبيق المعادلة الرياضية $SI=(Band4-Band3)/(Band4+Band3)$
- تم ضبط "Pixel Type" على "FLOAT" عند حفظ نواتج الحساب. هذا يضمن حفظ القيم العشرية للمؤشر بدقة، وهو أمر بالغ الأهمية للتحليل الكمي والتفسير الدقيق للتغيرات.
- أدت هذه العملية إلى إنتاج خريطة SI مستقلة لكل سنة (2013 ، 2019، 2025)
- إخراج الخريطة.

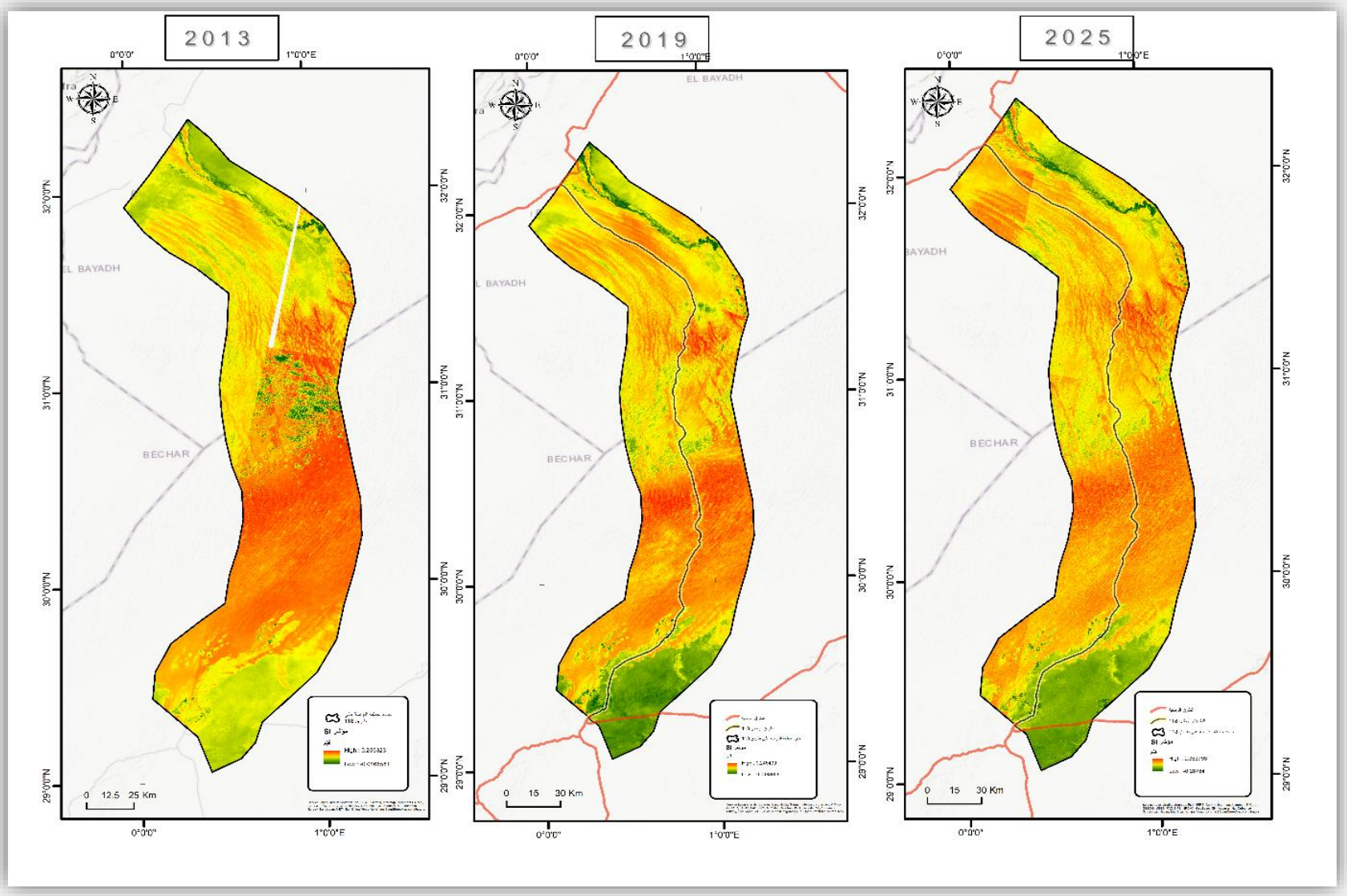
رسم توضيحي 48 :خطوات إنجاز مؤشر SI وإظهار المناطق المعرضة باللون الأحمر





المصدر: من استخدام الطالب ق.أمحمد (2025) لبرنامج ARCMAP

رسم توضيحي 49: مؤشر SI الناتجة عن التوزيع المكاني للكثبان الرملية حسب السنوات



المصدر: إعداد الطالب ق. أمحمد (2025) باستخدام برنامج ARCMAP و بالاعتماد على مصورات القمر الصناعي الأمريكي لاندسات 8، بدقة 30 متر المقدمة من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)

ح- تحليل الخرائط:

تُظهر خرائط مؤشر SI الناتجة التوزيع المكاني للكثبان الرملية، وتقدم دليلاً مرئياً وكمياً على ديناميكية زحف الرمال عبر الزمن.

- عام 2013:
  - يظهر انتشار واسع للألوان الصفراء والبرتقالية في الصورة المرفقة، هذه الألوان ممثلة للقيم الأعلى لـ(SI) ، مما يشير إلى هيمنة المناطق الرملية.
  - وجود بقع خضراء صغيرة (قيّم SI منخفضة يعكس أنواعًا أخرى من الأراضي).
- عام 2019:
  - تشير إلى زيادة في الألوان البرتقالية والحمراء في الشمال، مما يدل على تمدد المناطق الرملية وزحف الكثبان الرملية مقارنة بعام 2013. هذا يعكس زيادة في قيّم SI في مناطق كانت أقل رملية سابقاً.
- عام 2025:
  - تظهر تفاقماً كبيراً في الظاهرة، حيث تكاد تكون المنطقة كلها مغطاة بالألوان البرتقالية والحمراء. هذا يعكس انتشاراً ملحوظاً للكثبان الرملية وزيادة في قيّم SI ، مما يدل على تفاقم التصحر.

تؤكد هذه العملية على أن مؤشر SI أداة حاسمة في رصد وتتبع حركة الكثبان الرملية ومخاطر التصحر في المناطق السهبية. من خلال التحليل المتعدد الزمني (2013، 2019، 2025)، يمكن فهم اتجاهات التغير البيئي وتحديد المناطق الأكثر عرضة لزحف الرمال، مما يدعم جهود التخطيط البيئي والإدارة المستدامة للأراضي.

2.2 تقسيم الطريق وتحديد المناطق المعرضة

يهدف هذا الفرع إلى تقسيم الطريق الوطني N118 لتحديد المناطق الأكثر عرضة للتحديات البيئية.

1.2.2 تقسيم الطريق:

يمكن تقسيم الطريق الوطني N118 إلى ثلاثة أقسام رئيسية بناءً على التضاريس:

- **القسم الشمالي (0-173 كم):** يتميز بطبيعة صخرية (حمادة صخرية) مع تأثير محدود للرمال بسبب التضاريس المرتفعة نسبيًا.
- **القسم المتوسط (173-379 كم):** الأكثر عرضة لزحف الرمال، حيث يمر عبر العرق الغربي الكبير، وتشكل الكثبان الرملية تهديدًا مستمرًا. النقاط السوداء في هذا القسم، مثل النقاط بين 220 و262 كم، تشهد ارتفاعات قياسية للرمال.
- **القسم الجنوبي (379-402 كم):** يشهد تأثيرًا ضئيلًا للرمال بسبب انخفاض كثافة الكثبان ووجود بعض التضاريس الثابتة.

2.2.2 التركيز على القسم 173-379 كم:

تُركز الدراسة على هذا القسم بسبب شدة التحديات الناتجة عن زحف الرمال، حيث تُعد النقاط السوداء أمثلة واضحة على التأثير السلبي للكثبان على حركة المرور.

3.2.2 إنشاء خريطة للأماكن الأكثر عرضة لزحف الرمال:

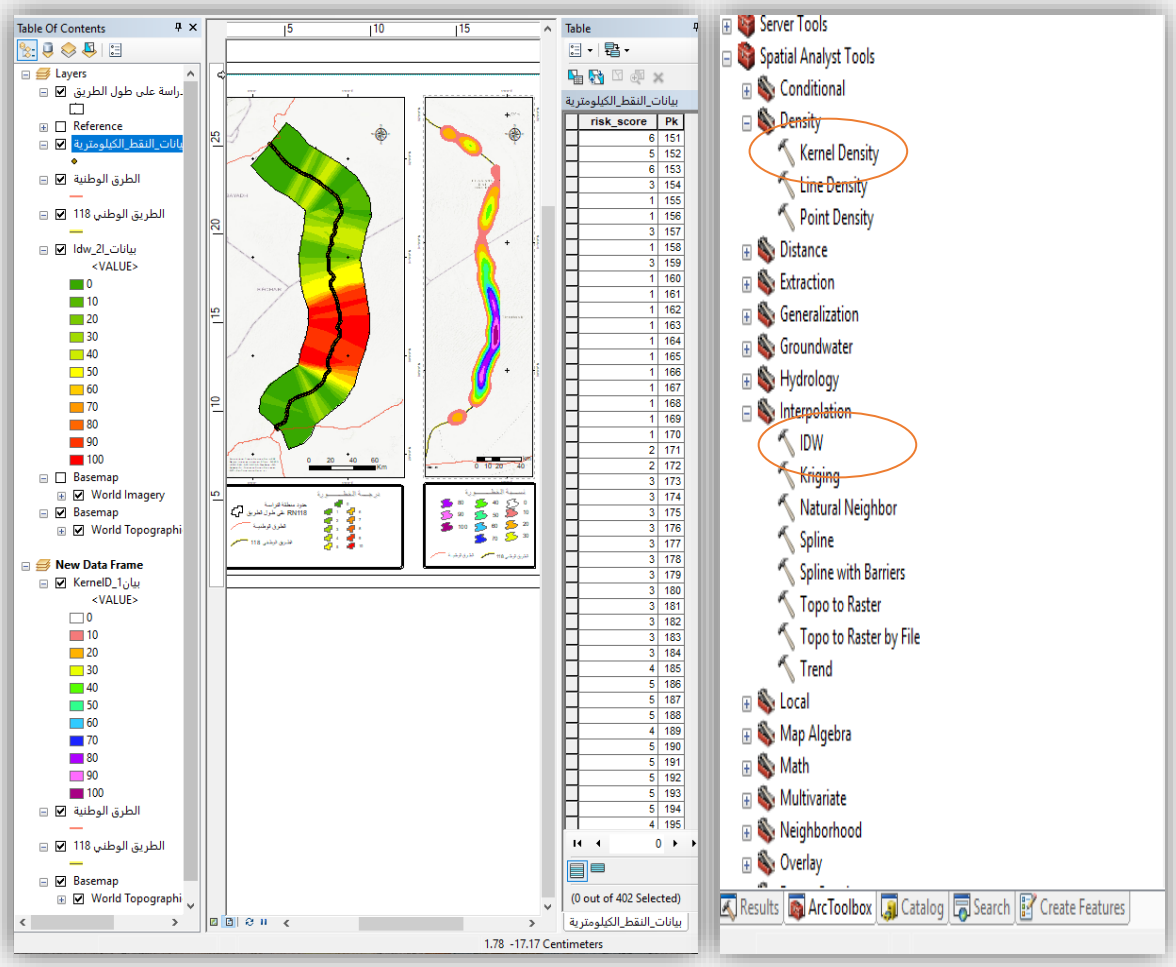
قمنا بالتوجه لمنطقة الدراسة مع مهندسي مديرية الأشغال العمومية وخبراء المنطقة من أجل المعاينة الميدانية. وضعنا سلم تقيمي من 0-10 بحيث نقوم بتقييم النقاط الكيلومترية حسب شدة زحف الرمال (في دراسات أخرى تعتمد طريقة المصائد الرملية والتي تحتاج منا مدة لا تقل عن 6 أشهر لجمع عينيات من هذه المصائد لمعرفة حجم زحف الرمال بالمنطقة لكن لضيق الوقت قمنا بالاعتماد على خبرة المهندسين والذين يقومون بإجراء خرجات دورية يومية للمنطقة لمعاينة حجم دخول الرمل على الطريق).

بعد جمعنا لهذا التقييم قمنا بإنشاء قاعدة بيانات وأدخلناها في برنامج ARCGIS10.8 عند كل نقطة كيلوميترية (PK) وضعنا تقييما (risk_scoore) ثم قمنا باستخدام أداتي IDW و KERNAL وأنشأنا الخريطة لمشاهدة النتيجة.

- تظهر أداة IDW انه في أقصى الطريق شمالا وجنوبا غير معرضة تماما لظاهرة زحف الرمال على الطريق، أما القسم المتوسط الذي ذكرناه سابقا والذي يمر فيه العرق الغربي الكبير يكون باللون الأحمر أي تقيمه 10-9 كما تكون بعض النقاط الأخرى بها كثبان معتبرة أغلبها تكون إما هلالية منفردة أو طولية. مثل الرمال المتواجدة في نك 55 و نك 151.

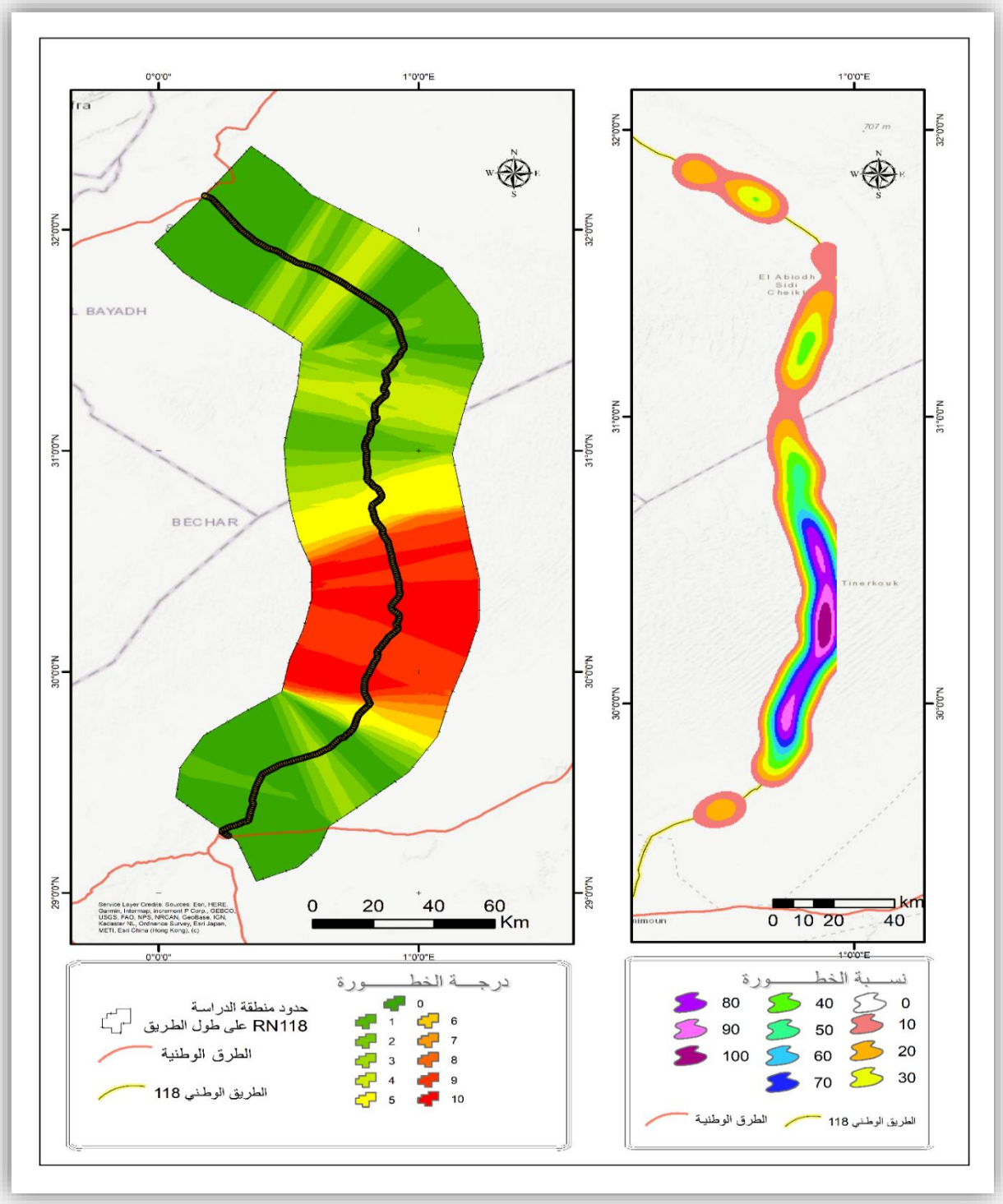
تظهر لنا أيضا أداة KERNAL موقع أوضع للمنطقة التي تحتوي على مجموعة النقاط السوداء 246-257-260 وغيرها ، هذه المنطقة تكون فيها حركة الرياح كبيرة وبالتالي حركة الرمال أكبر بحيث يصل ارتفاع الكثبان الرملية والتي تسبب في غلق الطريق إلى نحو 4 متر أحيانا.

رسم توضيحي 50: خطوات إنجاز أداتي IDW و KERNAL



المصدر: من استخدام الطالب ق.أمحمد (2025) لبرنامج ARCMAP

رسم توضيحي 51: استخدام أداتي IDW و KERNAL لإظهار المناطق الخطرة



المصدر: إعداد الطالب ق. أمحمد (2025) باستخدام برنامج ARCMAP وبالاعتماد على مصورات القمر الصناعي الأمريكي لاندسات 8، بدقة 30 متر المقدمة من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)

.

3. التحديات التشغيلية والاقتصادية

1.3 جودة الطريق وتاريخ إعادة الهيكلة

يمتد الطريق الوطني N118 على مسافة 402 كم بين ولايتي تيميمون والبيض، وهو محور استراتيجي يربط الطريق الوطني رقم 6 (RN6B) في البيض بالطريق الوطني رقم 51 (RN51) في تيميمون، مرورًا بالعرق الغربي الكبير لمسافة 150 كم. يهدف هذا الفرع إلى استعراض تاريخ وجودة الطريق أثناء الإنشاء الأولي (2010-2014)، وإعادة الهيكلة (2018-2020).

المؤسسات الفاعلة:[11]

شركة سطيف للدراسات التقنية (SETS): مؤسسة جزائرية متخصصة في الدراسات الهندسية لمشاريع البنية التحتية، أشرفت على الدراسات التقنية للطريق N118 خلال 2009-2010.

شركة EVSM للمرافق العمومية: مقاولة مقرها سيدي موسى بالعاصمة، تولت تنفيذ أعمال إنشاء الطريق بين 2010 و2014.

مديرية الأشغال العمومية بتيميمون و البيض : الجهة الإدارية المسؤولة عن متابعة وصيانة مشروع الطريق ، قدمت بيانات حول تحديث الطريق.

رسم توضيحي 53: صور تظهر شعار الشركتين



11 مديرية الأشغال العمومية تيميمون (2025)

1.1.3 جودة الطريق أثناء الإنشاء (2010-2014):

بدأ إنشاء الطريق في 2010 بعد دراسات أجرتها شركة SETS، ونفذته شركة EVSM. غطت المرحلة الأولى ربط بلدية تينركوك بالحدود مع ولاية البيض (150 كم)، المرحلة الثانية شملت المسافة من الحدود الولائية (172 كم) إلى تينركوك (324 كم). ووُضع الطريق حيز الخدمة في جوان 2014. اعتمدت التقنية ثلاث طبقات: الطبقة السفلية (sub-base) بحصى خشن بأحجام 31.5/0 مم لتوفير الاستقرار، الطبقة الأساسية (base course) بحصى أدق 20/0 مم لتحمل الأحمال، والطبقة السطحية (surface course) من الخرسانة الإسفلتية التقليدية. لكن هذه التقنية لم تكن ملائمة للبيئة الصحراوية، حيث تسبب تراكم الرمال في تآكل الطبقة السطحية بسرعة.[12]

رسم توضيحي 54: صور توضح تقنية 3 طبقات في الطريق القديم وأثار تآكله (صورة مأخوذة عند نك 172-174 قبل التجديد)



المصدر: تصوير الطالب ق.أمحمد (2025)

12 مديرية الأشغال العمومية تيميمون (2025)

2.1.3 إعادة الهيكلة بالخرسانة الزفتية (2018-2020):

بعد تدهور الطريق بسبب الظروف الصحراوية، أُعيدت هيكلة 382 كم خلال 2018-2020 باستخدام الخرسانة الزفتية. هذه التقنية تتكون من خليط من الركام (حصى ورمل) والإسفلت عالي الجودة، يُطبق على الساخن بدرجة حرارة 150-180 مئوية، مما يوفر مقاومة أعلى للتآكل والتشققات مقارنة بالخرسانة الإسفلتية التقليدية. شملت الأعمال المسافة من جنوب البنود (النقطة 0) إلى الحدود الولائية (172 نك) في ولاية البيض، ثم من نك 192 إلى تينركوك (324 نك)، وأجزاء مختارة حتى تيميمون (402 نك).[13]

لكن 20 كم بين النقطتين 172 و192 بقيت دون تحديث. في 2024، خُصصت 120 مليار سنتيم لتحديث هذه الأقسام، مقسمة إلى حصتين (10 كم لكل حصة): الحصة الأولى قيد الإنجاز، بينما أُعيدت إجراءات الحصة الثانية لعدم الجدوى.

رسم توضيحي 55: صورة تجديد الطريق بالخرسانة الزفتية (2018-2020)



المصدر: تصوير الطالب ق.أمحمد (2025)

[13] مديرية الأشغال العمومية تيميمون (2025)

رسم توضيحي 56: صور تظهر توقف الأشغال لمقطع 182-192



المصدر: تصوير الطالب ق.أمحمد (2025)

2.3 الحوادث المرورية وشبكة الاتصال

يواجه الطريق الوطني N118 تحديات كبيرة تتعلق بالحوادث المرورية وضعف شبكة الاتصال، مما يؤثر على سلامة المستخدمين وكفاءة التشغيل.

1.2.3 الحوادث المرورية:

النقاط السوداء بين النقطتين 220 و 265 كم تشهد تراكم رمال بارتفاع يتجاوز أحيانا 3 أمتار، مما يؤدي إلى إغلاق كامل للطريق أحيانًا. هذا التراكم يزيد من مخاطر الحوادث المرورية، خاصة في ظل غياب تدابير فعالة لإزالة الرمال بسرعة. لكن تراكم الرمال يُعد سببا رئيسيا.[14]-[15]

رسم توضيحي 57: صور توضح حوادث مرورية في نك بين 220 و 265



المصدر: 110-109 (2025)

[14] مديرية الأشغال العمومية تيميمون (2025)

[15] مديرية الحماية المدنية أدرار (2025)

خلال الفترة من 2017 إلى 2022، سُجلت 77 حادثة مرورية على الطريق الوطني N118، نتج عنها خسائر مادية وبشرية متفاوتة. الجدول التالي يوضح الإحصائيات:

جدول 10: إحصائيات الحماية المدنية لحوادث المرور بالطريق الوطني 118

السنة	عدد الحوادث	الخسائر المادية	الخسائر البشرية	
		عدد الموكبات	الجرحى	الوفيات
2017	16	16	20	02
2018	02	03	02	00
2019	18	23	30	04
2020	12	15	30	00
2021	16	20	10	01
2022	13	17	21	3

المصدر: مديرية الحماية المدنية أدرار 2025

تحليل البيانات:

- أعلى معدل حوادث سُجل في 2019 (18 حادثًا)، مع أكبر عدد من الجرحى (30) والوفيات (4).
- عام 2018 كان الأقل من حيث الحوادث (2 فقط) ولم يُسجل وفيات.
- بحسب النقيب "مهداوي محمد" من مديرية الحماية المدنية، فإن السبب الأول للحوادث هم السائقون أنفسهم، يليه سوء حالة الطريق، مرور الحيوانات مثل الجمال، وأخيرًا تراكم الرمال. وأشار إلى أن "الإنسان هو السبب الأول لأنه أحيانًا يكون متعبًا وتظهر عليه ظروف التعب، لكنه يريد إكمال الطريق" [16]

[16] *مقابلة مع النقيب مهداوي محمد، مديرية الحماية المدنية، تيميمون (2025).*

2.2.3 جهود الحماية المدنية:

تقوم مديرية الحماية المدنية بجهود مستمرة للحد من الحوادث من خلال تنظيم حملات تحسيسية دورية تستهدف السائقين، لتوعيتهم بمخاطر القيادة أثناء الإرهاق وضرورة الالتزام بقواعد السلامة المرورية.

رسم توضيحي 58: صور لتنظيم حملات تحسيسية من طرف الحماية المدنية لفائدة السائقين



المصدر: مديرية الحماية المدنية تيميمون (2025)

3.2.3 شبكة الاتصال:

يعاني الطريق من ضعف شبكة الاتصال في المناطق النائية، مما أعاق التنسيق بين فرق العمل أثناء الإنشاء (2010-2014) وإعادة الهيكلة (2018-2020). هذا الضعف تسبب في تأخيرات في تنفيذ المشروع، كما يُصعب إدارة الأزمات المرتبطة بالحوادث أو تراكم الرمال، هذا وتنعدم تغطية الشبكة من نك 259 إلى نك 344 أي حوالي 85 كلم بدون تغطية.[17][18]

---

17 *مديرية الأشغال العمومية تيميمون (2025)*

18 *د. محمد الصالح، مهندس لدى شركة اتصالات الجزائر (2025)*

3.3 التكاليف الاقتصادية لإزالة الرمال

يُعد التعامل مع زحف الرمال على الطريق الوطني N118 تحديًا اقتصاديًا كبيرًا.

1.3.3 المصاريف السنوية:

تتراوح تكاليف إزالة الرمال بين 2 و2.7 مليار سنتيم سنويًا، مما يُشكل عبئًا اقتصاديًا مستمرًا بسبب الحاجة إلى تشغيل الجرافات والمعدات الثقيلة بشكل دوري، خاصة في النقاط السوداء (220-270 كم). هذا العبء الاقتصادي المستمر يثقل كاهل الميزانية العامة، خاصة مع تزايد تراكم الرمال في النقاط السوداء (220-270 كم).[19]

2.3.3 تحديات EVSM والمقاولين:

خلال الإنشاء (2010-2014) وإعادة الهيكلة (2018-2020)، تتسبب زحف الرمال أثناء العمل في تأخيرات في الجداول الزمنية، مما استلزم إعادة إزالة الرمال بشكل متكرر. هذا أدى إلى زيادة تكاليف العمالة والمعدات، بالإضافة إلى تدهور المعدات بسبب الاحتكاك المستمر بالرمال، مما رفع تكاليف الصيانة. بل حتى الآن عند نك 182-192 التي تعاد هيكلتها اليوم نجد تراكم الرمال فوق طبقة الطريق الأولي (التيف) [20]

رسم توضيحي 59: صور لتشكل الكثبان الرملية على الطريق المراد تجديده



المصدر: تصوير الطالب ق.أمحمد (2025)

---

[19] *سفيان، مهندس لدى فرع الأشغال العمومية تينركوك (2025)*

[20] *مديرية الأشغال العمومية تيميمون (2025)*

خاتمة الفصل:

في ختام هذا الفصل، تم تقديم تحليل شامل ومفصل لظاهرة زحف الرمال وتأثيراتها المتعددة على الطريق الوطني رقم 118، مركزين على الجوانب المناخية والتقنية والمكانية. لقد أظهر التحليل أن **خصوصيات مستخدمي الطريق** –من خلال الاستبيانات – كشفت عن مدى الأثر المباشر لتراكم الرمال على كفاءة التنقل وسلامته، مؤكدة أن هذه الظاهرة لا تُمثل مجرد عائق بيئي بل تحديًا اقتصاديًا واجتماعيًا ملموسًا. كما أبرزت هذه البيانات القيمة العلاقة الوثيقة بين زحف الرمال ووقوع الحوادث المرورية، وأكدت على الحاجة الملحة لتحسين البنية التحتية وخدمات الاتصال على طول الطريق.

كذلك، تعمق الفصل في الجانب الاقتصادي بداية من تاريخ انشاء الطريق والتحديات التي واجهها المهندسون اثناء تعبيده بما في ذلك التكاليف الباهظة والتحديات التي تواجه الجهات المشرفة، أكد على ضرورة تبني حلول مستدامة وفعالة من حيث التكلفة.

الجانب الأبرز الذي توّج هذا الفصل هو **التحليل المكاني لظاهرة زحف الرمال باستخدام نظم المعلومات الجغرافية .(GIS)** من خلال استخدام **أدوات تحليل مكاني متقدمة ومؤشرات جغرافية دقيقة**، تمكن هذا الجزء من تحديد وتصوير المناطق الأكثر عرضة لتراكم الرمال على طول الطريق عبر **خرائط موضوعية واضحة** .هذه الخرائط لم تقدم فقط توثيقًا بصريًا للمشكلة، بل وفرت بيانات مكانية حيوية لدعم عمليات اتخاذ القرار وتوجيه جهود المكافحة والصيانة نحو المناطق ذات الأولوية القصوى. وقد أكد الاستعراض التاريخي للطريق على أن هذه التحديات ليست بجديدة، مما يزيد من أهمية الاعتماد على الأدوات الحديثة مثل GIS لتقديم حلول أكثر فعالية.

إن النتائج المستخلصة من هذا الفصل، لا سيما تلك المتعلقة بالتحليل المكاني، تُعد حجر الزاوية لفهم الأبعاد العملية لمشكلة زحف الرمال على الطريق .N118 إن التحليل الشامل للعوامل المناخية، وآليات انتقال الرمال، وخصوصيات المستخدمين، بالإضافة إلى الأعباء الاقتصادية، وبالأخص تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية، سيُسهم في بناء قاعدة معرفية متينة لدراسة وتقييم الحلول المستقبلية وتصميم استراتيجيات تدخل فعالة تهدف إلى الحد من تأثير زحف الرمال وتحسين أمان وكفاءة هذا الشريان الحيوي في المنطقة الصحراوية، وهذا ماسنراه في الفصل الثالث.

الفصل الثالث

آليات وإستراتيجيات للحد من زحف الرمال على الطريق الوطني RN118

مقدمة:

تؤثر ظاهرة زحف الرمال سلبًا على الطرقات كما شاهدنا سابقا، مما يؤدي إلى تدهورها التدريجي وغلقها أحيانا. هذا ما ينعكس سلبًا على الظروف المعيشية والأنشطة الاقتصادية في المنطقة. لذا فإن الحد من هذه الآثار يتطلب تطوير حلول علميّة وعمليّة قادرة على تحقيق التوازن بين متطلبات التنمية والحفاظ على البيئة.

في سياق هذا البحث، يأتي الفصل الثالث ليشكل نقطة تحول هامة بعد استعراض الإطار النظري في الفصل الأول والتحليل العملي للواقع المحلي في الفصل الثاني. يهدف هذا الفصل إلى صياغة استراتيجيات ومقترحات عملية لتعزيز التنمية المستدامة، مستندًا إلى النتائج التي تم التوصل إليها سابقًا وإلى الأبحاث العلمية الرائدة التي قام بها مجموعة من الدكاترة متخصصين في هذا المجال.

تبرز أهمية هذا الفصل في سعيه لمعالجة التحديات المتعددة التي تواجه السياق المحلي، سواء كانت بيئية، مثل التدهور البيئي ونقص الموارد، أو اجتماعية، مثل التهميش أوالاختلافات الاقتصادية، مثل الاعتماد الزائد على قطاعات محدودة.

تعتمد هذه المقترحات على نهج شامل يجمع بين الدراسات الأكاديمية والتجارب العملية، حيث تم تحليل بيانات ميدانية جمعناها في مراحل سابقة من البحث، بالإضافة إلى دراسة حالات ناجحة من مناطق أخرى تمتلك ظروفًا مشابهة. كما أظهرت الدراسات الميدانية أهمية دمج التقنيات التقليدية مع الاستراتيجيات الحديثة لتحقيق استدامة حقيقية. فعلى سبيل المثال، أشار فريق البحث الذي ضمّ "د.نوار بولغربة" إلى فعالية استخدام تقنيات مثل "الدراع" (أكوام الردم) في حماية البنية التحتية في الصحراء الجزائرية، حيث ساهم في تطوير دليل شامل لمكافحة التصحر بعنوان **"الدليل التقني لمكافحة ظاهرة الزحف الرملي في الصحراء الجزائرية "**(CRSTRA، 2015). كما أكد "عبد القادر سباع" و "سامي بروسي" و "ممر بوهنة" في دراستهم أنّ "التقنيات التقليدية مثل الدراس تُعد حلاً عمليًا ومستدامًا لحماية الطرق الرئيسية في المناطق الصحراوية من تراكم الرمال، مما يقلل من الحاجة إلى التدخلات المكلفة" (CRSTRA، 2015). وفي سياق متصل، أوضح "محمد مينغيه" و "بوجمعة ريميني" أنّ "العوائق الكبيرة تلعب دورًا حاسمًا في تشكيل الكثبان الرملية، ويمكن استغلال هذه الديناميكيات لتطوير حلول فعّالة لمكافحة التصحر" (Mainguet & Remini, 2004 ؛Sebaa et al., 2009). مما يدعم فكرة توظيف قوة الرياح نفسها لإدارة حركة الرمال. يهدف هذا الفصل إلى بناء إطار عمل ديناميكي يركز على تعزيز التكنولوجيا الحديثة والزراعة المستدامة، وأيضا إنشاء شراكات فعالة بين القطاعات الحكومية والخاصة والمجتمع المحلي. كما سيتم الاستناد إلى تحليل البيانات الميدانية من الفصل الثاني لضمان ملاءمة الحلول المقترحة للسياق المحلي. في الأخير سنخر بحلول أكثر فعالية لهذه الظاهرة الخطرة.

1. التجارب الدولية في مكافحة التصحر وإلهامها للسياق المحلي

لقد أظهرت العديد من الدول نجاحًا ملحوظًا في مواجهة التصحر، مما يوفر دروسًا قيمة يمكن تكييفها مع تحديات الطريق الوطني 118 في ظل المناخ القاسي والعرق الرملي.

1.1 الصين

1.1.1 الصين: تجربة صحراء كوبوكي

تشكل الأراضي القاحلة وشبه القاحلة حوالي 30% من مساحة الصين الإجمالية (9.6 مليون كم²)، حيث تبلغ الأراضي القاحلة 0.03 مليون كم²، والشبه قاحلة 0.00 مليون كم²، والشبه رطبة قاحلة 5.00 مليون كم²، مع 0.30 مليون كم² ضمن تعريف اتفاقية الأمم المتحدة لمكافحة التصحر (Sun & Fang, 2015).تتركز أسباب التصحر في قطع الأشجار (30.2%)، الرعي الجائر (20.3%)، الإفراط في الزراعة (10.0%)، تدمير الغطاء النباتي وإساءة استخدام الموارد المائية (9%)، وزحف الرمال (10.0%) بفعل الرياح (Yanli & Xia, 2020). تتسبب هذه الظاهرة في خسائر اقتصادية سنوية تقدر بـ 3.2 مليار دولار، مع انخفاض قيمة الأراضي وتهديد الأمن الغذائي والصحة (Liang et al., 2020).

منذ الثمانينيات، أطلقت الصين برامج وطنية مثل "تنمية الحزام الشمالي الثلاثي" (1985-1999) و"البرنامج الوطني لمكافحة التصحر" (1995-2010)، إلى جانب قانون مكافحة التصحر لعام 2001، حيث استثمرت أكثر من 100 مليار يوان في مشاريع بيئية و300 مليار يوان في إعادة تأهيل الأراضي. هدفت هذه البرامج إلى إبطاء التصحر، تحسين الظروف الإيكولوجية، واستعادة الأراضي المتضررة (1995-2013)، مع خطة للسيطرة على المناطق المتصحرة بحلول 2050.(Tao, 2014)

تجربة صحراء كوبوكي في منغوليا الداخلية تُعد نموذجًا بارزًا، حيث تحولت خلال 35 عامًا من "بحر الموت" إلى منطقة خضراء بمساحة 6,666 كم²، بفضل زراعة الأشجار، الطاقة الشمسية (تولد 500 ميجاوات وتدر 13.3 مليون دولار سنويًا)، وتقنيات مثل الزراعة طفيفة التوغل والذكاء الاصطناعي (Sun & Zang, 2014؛ Wang, 2013). أدى المشروع إلى زيادة الغطاء النباتي إلى 30%، تقليص العواصف الرملية من 15 إلى 0 مرة سنويًا، وتحسين معيشة 100,000 شخص، مع تنويع المنتجات الزراعية (Shi & Yan, 2015؛ Shi & Qu, 2016). تُظهر التجربة الصينية أهمية الجمع بين التشريعات، الاستثمار التكنولوجي، والمشاركة المجتمعية. يمكن للجزائر الاستفادة منها لمواجهة التصحر، خاصة مع التحديات مثل الجفاف والرعي الجائر، عبر تعزيز البحث العلمي، تكوين الفلاحين، والشراكة مع الصين (Bensouiah, 2004).لدينا في الصورة التالية أحد اطول الطرق الصحراوية في العالم في دولة الصين "طريق كوبوتشي" الذي كان مهدد بخطر زحف الرمال ومع التقنيات والتجارب التي اقيمت عليه قضي على ظاهرة الترمل.

رسم توضيحي 60: صورة توضح تقنية الحزام الاخضر التي اقيم لمحاربة زحف الرمال في دولة الصين



المصدر : شبكة CGTN

2.1.1 شركة Green (Tianjin) Technology Development Company, Ltd:[21-22-23-24]

إحدى الشركات الصينية المتخصصة في تطوير وتنفيذ حلول مكافحة الرياح والرمال والغبار والثلوج. وتركز على البحث والتطوير والتصميم والتصنيع والتركيب لأنظمة مصدات الرياح وحواجز الرمال. وقد وفرت حلول هندسية متكاملة للتحكم في الرمال، وتشمل مشاريعها نطاقاً واسعاً من التطبيقات في مختلف البيئات:

- **الصحاري :** إنشاء حواجز رملية لصحراء بهدف كسر الرياح وتثبيت الكثبان الرملية.

---

[21] *-Sand Fence Manufacturer | Green Technology. (n.d.). Retrieved from http://www.steelwindbreak.com/2 sand-fence.html*

[22] *.Chinese Windbreak & Sand Barrier supplier | Green (Tianjin) Technology Development Co., Ltd. (n.d.) /Retrieved from https://windfence.goldsupplier.com*

[23] *Windbreak,Steel Windbreak,Dust Suppression Net,China Steel Windbreak Manufacturer. (n.d.). Retrieved /from http://www.steelwindbreak.com*

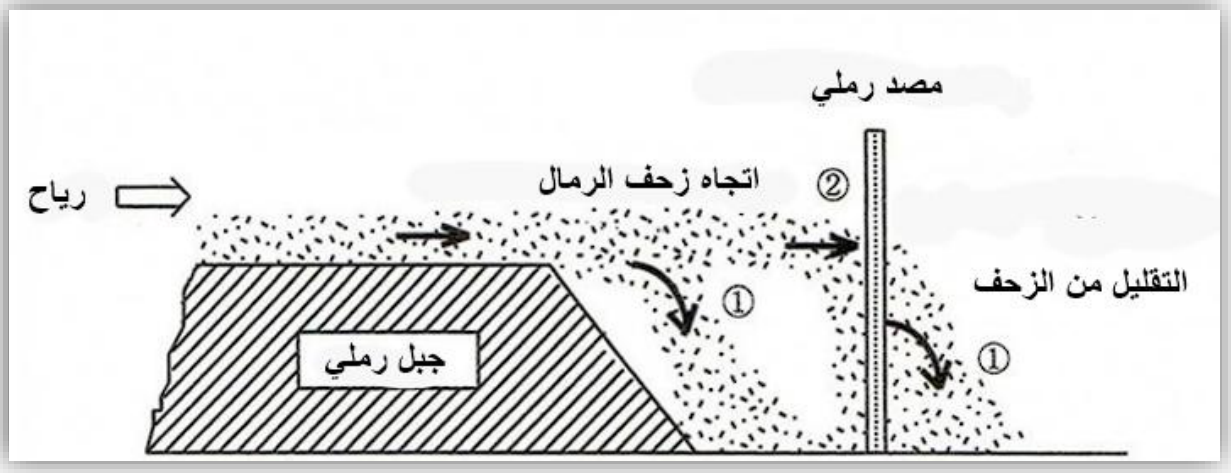
[24] *Sand Fence for Desert. (n.d.). Retrieved from http://www.steelwindbreak.com/3-4-sand-fence.html*

- **الطرق والسكك الحديدية :**حماية الطرق والسكك الحديدية من الرمال المتراكمة وزحف الكثبان لضمان السلامة التشغيلية.
- **المناطق الساحلية :**صيانة الشواطئ واستعادة الكثبان الرملية الساحلية لحمايتها من التآكل بفعل الرياح.
- **مناطق صناعية وزراعية :**توفير حلول للتحكم في الرياح والغبار في الموانئ ومناجم الفحم ومحطات الطاقة ومصانع الأسمنت والمناطق الزراعية.

الحلول التي تقدمها :تركز حلول الشركة بشكل أساسي على **الحواجز الميكانيكية المصنوعة من الفولاذ** . هذه الحواجز مصممة خصيصًا لتقليل سرعة الرياح وحبس الرمال المتطايرة. تشمل مكونات نظام حاجز الرمال النموذجي:

- **الأساسات :**لتثبيت الهيكل في الأرض.
- **الهيكل الفولاذي :**الدعم الرئيسي للحاجز.
- **ألواح الحاجز الفولاذية :**غالبًا ما تكون مثقبة (مسامية) لتقليل سرعة الرياح بفعالية وحبس الرمال. تتميز هذه الألواح بالمعالجة ضد الصدأ لضمان المتانة في البيئات القاسية. تجمع الشركة بين التدابير الهندسية والبيولوجية لتحقيق تأثير فعال في تثبيت الرمال ومكافحتها دون تلوث. كما أنها تمتلك براءات اختراع لأنظمة مصدات الرياح وتعمل على تحسين معدات الإنتاج. وتُنفذ الشركة مراقبة جودة دقيقة لمنتجاتها وفقًا لمتطلبات نظام إدارة الجودة.

رسم توضيحي 61: مبدأ عمل سياج تقليل الرمال



المصدر: http://steelwindbreaks.com

رسم توضيحي 62: صور مختلفة للحواجز الرملية للشركة



المصدر: http://steelwindbreaks.com

2.1 التجربة القطرية في مكافحة التصحر: دراسة حالة لتجربة الحواجز السلكية على طريق سلوى [25]

في قطر أدى المناخ الصحراوي الجاف إلى تراكم الرمال بشكل متكرر على الطرق السريعة، مما يعيق حركة المرور ويزيد من تكاليف الصيانة ويؤثر على السلامة. كانت الحواجز الفولاذية التقليدية (W-Beam) المستخدمة سابقًا في الجزيرة الوسطية على طريق سلوى تزيد من تفاقم المشكلة لأنها تعيق تدفق الرمال، مما يؤدي إلى إغلاق المسارات السريعة بشكل متكرر.

في عام 2015، نفذت السلطات القطرية تجربة رائدة لاستبدال الحواجز الفولاذية بـ **حواجز أمان سلكية (Wire Rope Barriers)** تمتاز هذه الحواجز بمسامية عالية جدًا (أكثر من 90% مقارنة بـ 60% للحواجز الفولاذية)، مما يسمح للرمال بالتدفق عبرها بحرية دون التراكم بشكل خطير.

النتائج الرئيسية:

المراقبة التي تمت من يونيو 2015 إلى مارس 2016 أظهرت ما يلي:

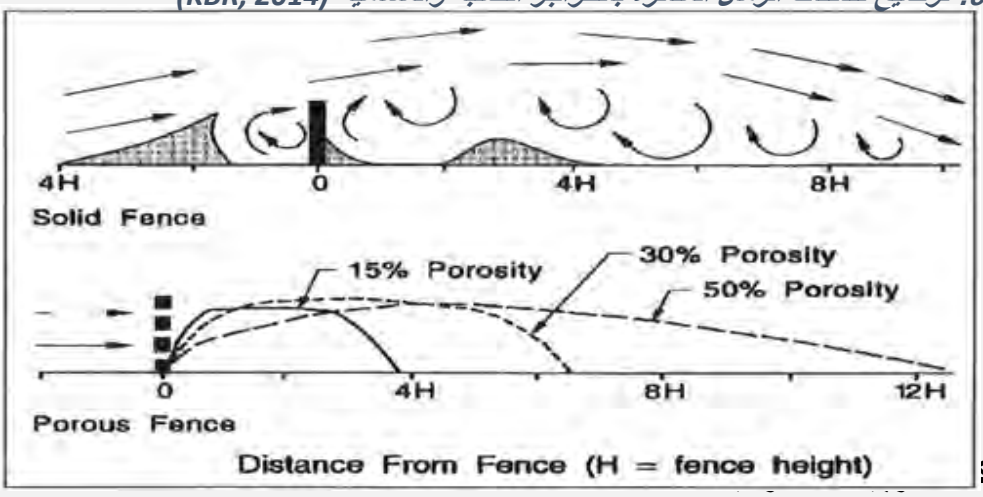
- **الحواجز الفولاذية المزدوجة:** أدت إلى تراكم كبير للرمال، مما استلزم إغلاق المسارات السريعة.
- **التكوين المختلط (سلكي/فولاذي):** حسن تدفق الرمال جزئيًا، لكن الرمال لا تزال تتراكم في بعض المسارات.

[25] *Marsh, F., & Webster, R. (2017). Mitigating localised sand accumulation using wire rope safety barrier .*

- **الحواجز السلكية المزدوجة :**لم تسجل أي تراكمات رملية كبيرة، مما يدل على فعاليتها العالية في السماح للرمال بالعبور.

في الأخير أثبتت التجربة أن الحواجز السلكية تقلل بشكل كبير من تراكم الرمال وتعتبر حلاً فعالاً وآمناً، كما تدعمه دراسات سابقة حول سلامتها. توصي الدراسة بتعميم هذا الحل في المناطق الصحراوية الأخرى في قطر لتقليل تكاليف الصيانة وتحسين سلامة الطرق. تُعد هذه التجربة نموذجًا ناجحًا لاستخدام حلول مبتكرة ومنخفضة التكلفة لمواجهة تحديات التصحر.

رسم توضيحي 63: توضيح لتدفقات الرمال المتأثرة بالحواجز الصلبة والمسامية (KBR, 2014)



المصدر Marsh & Webster, 2017

3.1 المملكة

1.3.1 مبادرة السعودية الخضراء:

في إطار رؤية 2030، أطلقت السعودية مبادرة "السعودية الخضراء" التي تهدف إلى زراعة 10 مليارات شجرة واستعادة 40 مليون هكتار من الأراضي المتدهورة. تستخدم السعودية تقنيات حديثة مثل الرصد بالأقمار الصناعية لتتبع حركة الرمال، وزراعة نباتات مقاومة للجفاف مثل السمر والغاف.[26] يمكن الاستفادة من هذه التجربة على الطريق 118 باستخدام الطائرات المسيرة لمراقبة العرق الرملي، مع زراعة نباتات مشابهة تناسب البيئة الجزائرية.

2.3.1 شركة فايف ايس السعودية:

تعتمد شركة Five S ، وغيرها من الجهات في المملكة، على استخدام مواد كيميائية متخصصة لتثبيت سطح الرمال ومنع تحركها. هذه المواد، التي غالبًا ما تكون بوليمرات أو مستحلبات، تعمل على تشكيل طبقة سطحية صلبة أو شبكة متماسكة بين حبيبات الرمل، مما يزيد من مقاومتها للتآكل بفعل الرياح. تشمل هذه المواد:

البوليمرات الأكريليكية: التي تُستخدم لتكوين روابط قوية بين حبيبات الرمل.

المستحلبات البترولية: التي تساعد على تماسك حبيبات الرمل ومنع تشتتها.

26 المبادرة السعودية الخضراء، "Saudi Green Initiative"، 2025، www.saudigreeninitiative.org

المواد العضوية الاصطناعية: التي يمكن أن تتحلل ببطء لتوفير تثبيت طويل الأمد.

تُطبق هذه المواد عادةً عن طريق الرش على سطح الكثبان الرملية أو المناطق المعرضة لزحف الرمال، مما يوفر حماية أولية ريثما يتم تطبيق حلول مستدامة أخرى مثل التشجير أو الحواجز الميكانيكية. يُعد استخدام هذه المواد جزءًا من استراتيجية متكاملة تهدف إلى السيطرة على زحف الرمال والحد من تأثيراته السلبية على الطرق والبنية التحتية.

رسم توضيحي 64: صور لتجارب رش الرمال بالمواد الكميائية الخاصة





المصدر : شركة فايف ايس لحلول تثبيت الرمال والتربة

4.1 الكويت: إدارة التحديات الصحراوية

تعاني الكويت من التصحر بسبب المناخ الجاف والرياح القوية. نفذت الكويت مشاريع لتثبيت الكثبان باستخدام الحواجز الاصطناعية والزراعة المستدامة، مع التركيز على استخدام نباتات محلية مثل الرمث والعرفج. أظهرت دراسة أن هذه الجهود قللت من حركة الرمال بنسبة 15% في المناطق المستهدفة بحلول عام 2019 (Al-Dousari & Pye, 2020). يمكن تطبيق هذه الاستراتيجية على الطريق 118 من خلال إنشاء حواجز اصطناعية مستدامة باستخدام مواد معاد تدويرها..

5.1 ليبيا: مكافحة التصحر في الجنوب

في ليبيا، يشكل التصحر تحديًا كبيرًا في المناطق الجنوبية مثل حوض الكفرة. ركزت ليبيا على زراعة الأشجار المقاومة للجفاف مثل النخيل، واستخدام أنظمة الري الموفرة للمياه. وفقًا لدراسة، ساهمت هذه الجهود في تقليل تدهور الأراضي بنسبة 10% في بعض المناطق بحلول عام 2020 (El-Baghdadi & Zribi, 2021). يمكن للجزائر الاستفادة من هذه التجربة بزراعة النخيل على طول الطريق 118، مع استخدام الري بالتنقيط.

2. الحلول المنفذة في الجزائر

1.2 الحلول التقليدية المتخذة (حاليا)

واجه سكان الواحات الصحراوية على غرار الواحات والقصور الصحراوية تحديات بيئية متمثلة في زحف الرمال، الذي يهدد البساتين والمنازل. لمواجهة هذه الظاهرة، طوّر الإنسان الصحراوي عبر التاريخ مجموعة من الطرق التقليدية لمقاومة الرمال، والتي تتكامل مع الحلول الحديثة.

1.1.2 الأفراق (الزرب)

يُعد "الأفراق" من أقدم وأكثر الحلول التقليدية شيوعًا في المناطق الصحراوية لمكافحة زحف الرمال وتقليل تأثير حركة الرياح. هذه المصادات كانت تُستخدم في الماضي حتى في بناء المساكن المؤقتة. يُصنع الأفراق من أوراق النخيل اليابسة، المعروفة باسم "الجّريد"، حيث تُصف هذه الأوراق بإحكام في صفٍ واحد وتُثبّت في الرِّمال. تُشد الأوراق بأذرع من نفس المصدر وتُنسج لتفادي تطايرها بفعل الرياح. يعمل الأفراق على تخفيض سرعة الرياح وبالتالي يحد من انتقال وتطاير الرمال(بلقاسمي وسويداني، 2024)

رسم توضيحي 65: صور توضح ضعف حواجز الأفراغ أمام الكثبان المرتفعة



المصدر: تصوير الطالب ق.أمحمد (2025)

أ- المدة المستغرقة والإصلاحية: تتراوح مدة صنع الأفراق، أو ما يُعرف بعملية "الحباك"، من بضعة أسابيع إلى عدة أشهر، اعتمادًا على حجم وأهمية الكثيب الرملي المستهدف (العرق). تتراوح صلاحية الأفراق عادةً من 1 إلى 3 سنوات.

ب- الوسائل والمواد المستخدمة: تعتمد عملية صنع الأفراق بشكل أساسي على سعف وجريد النخيل كمادة خام. أما الأدوات المستخدمة فهي تلك المتوفرة تقليديًا في الواحات، مثل المنجل، المكشط، والمسحاة، وهي أدوات يستخدمها الفلاح عادةً.

رسم توضيحي66 : صورة تمثل الوسائل المستعملة لإنجاز افراق



المصدر: بلقاسمي و سويداني (2024)

ت- طريقة الصنع والتنفيذ: تتم عملية صنع الأفراق بجهود جماعية وتضامنية من قبل سكان الواحة، وهي ممارسة تُعرف محليًا باسم "التويزة". هذه التويزة هي عمل تعاوني يشمل مختلف فئات المجتمع المحلي (الشباب، الكهول، وحتى النساء في تحضير الوجبات للعاملين)، وتهدف إلى تهيئة المنطقة وحمايتها، مثل تنقية آبار الفقارة والسواقي، وصنع الأفراق. يعمل الأفراق كحاجز فعال يمكنه الصمود أمام الرياح لفترات طويلة، ولكنه يتطلب عناية وتفقدًا مستمرين . على الرغم من فعاليته في الحد من زحف الرمال، إلا أنه لا يوقف الظاهرة بشكل كامل، ولكنه يقلل من تأثيرها بشكل كبير.

رسم توضيحي 67: صورة توضح طريقة انجاز الفراق



المصدر: بلقاسمي و سويداني (2024)

خ- ديناميكية دور الأفراق في صد الرياح: تُركب حواجز الأفراق كشرائط طولية في المناطق الزراعية لتقليل سرعة الرياح وبالتالي منع تراكم الرمال. تتفاوت ارتفاعات وأطوال هذه الحواجز بناءً على نوع الجريد المستخدم، ويبلغ متوسط ارتفاعها حوالي 1.5 متر. من خلال هذه الحواجز، تفقد الرياح جزءًا من حمولتها الرملية، مما يقلل من تشكل الكثبان الرملية التي قد تشكل خطراً على المناطق السكنية والزراعية. ومع ذلك، قد تتطور هذه الكثبان بمرور الوقت وتزداد خطورتها، خاصة في المناطق التي تشهد زيادة في كميات الرمال بفعل المصادّات، إذا لم تتم صيانتها بانتظام وتوفير جريد النخيل ونظام السقي اللازم.

2.1.2 جدران الطوب (حيط الطين):

استُخدمت جدران الطوب الطيني المصنوع يدوياً من التربة المحلية كعناصر معمارية وزراعية متعددة الوظائف. كانت هذه الجدران تُحيط بالبساتين لتمييزها وتُشكل في الوقت نفسه مصدات قوية للرمال والرياح، وهي ممارسة قديمة اعتُمد عليها أيضاً في تشييد المساكن. (بلقاسمي وسويداني، 2024)

رسم توضيحي 68: صورة حيط الطوب يلعب دور مصد للرمال



المصدر: بلقاسمي و سويداني (2024)

3.1.2 إزالة الرمال يدويًا أو ميكانيكيًا:

تعتمد السلطات المحلية على مقاولات وفرق عمل بمعدات وجرافات لإزالة الرمال المتراكمة على طول الطريق118. هذا الحل مؤقت ومكلف من حيث الموارد البشرية والمادية.

رسم توضيحي 69: صور آلات إزاحة الرمال على الطريق 118



المصدر: تصوير الطالب ق.أمحمد (2025)

2.2 الحلول الحديثة وتجارب الباحثين:

في سياق البحث العلمي والتطوير المستمر لمواجهة تحديات زحف الرمال في المناطق الصحراوية بالجزائر، قدم الباحثون في *مركز البحث العلمي والتقني للمناطق الجافة (C.R.S.T.R.A)* تقنيات حديثة تعتمد على الديناميكيات الهوائية والتجارب الميدانية للحد من حركة الرمال وتأثيرها على الطرق والواحات. يركز هذا القسم على تحليل تقنية مبتكرة وهي **الدراع** (Drâas)، وهي طريقة تقليدية تم تطويرها وتحسينها لتصبح أكثر فعالية في ظل الظروف الصحراوية القاسية، كما ورد في الدراسة الميدانية بعنوان *دليل تقنيات مكافحة زحف الرمال في الصحراء الجزائرية*.

1.2.2 تقنية الدراع: الوصف والتطبيق [27]

الدراع هي أكوام رملية مستطيلة الشكل (Oblong) يتم تثبيتها باستخدام مواد خشنة مثل الحجارة أو الحصى. تُصمم هذه الأكوام لتوجيه الرياح المهيمنة بطريقة تعاكس حركتها الطبيعية، مما يمنع تراكم الرمال على الطرق أو المناطق المحمية مثل الواحات. تُرتب الدراع وفق تصميمات محددة (مثل التشكيل على شكل متعرج "Chicane" أو بشكل مائل "En biais") لخلق ممرات طولية وعرضية تعمل على تسريع الرياح وتحويل مسار الرمال بعيدًا عن البنية التحتية.

1.1.2.2 الأنواع والتفاصيل التقنية لتصميم الدراع:

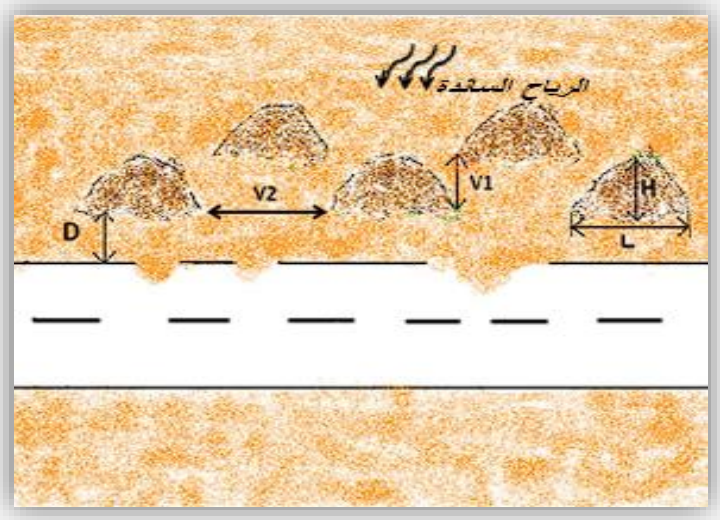
1.1.1.2.2 **الدراع على شكل متعرج (Drâas en Chicane):**

- التصميم والأبعاد: تُصمم الدراع على شكل أكوام رملية مستطيلة بارتفاع 3 أمتار وطول يتراوح بين 14 و16 مترًا. تُوضع على مسافة (D) تتراوح بين 10 و15 مترًا من الطريق المراد حمايته. تُترك مسافات فارغة بين الأكوام (V1: 3-4 أمتار، V2: 14-16 أمتار) لضمان مرور الرياح بشكل فعّال.
- آلية العمل: عندما تهب الرياح بسرعة 5 م/ث، تُنشئ الدراع دوامات هوائية على مسافة h2 (ضعف الارتفاع) وعمق h5، مما يُسرّع الرياح إلى 9 م/ث عند مستوى الأرض. يُسبب هذا التأثير تآكلًا هوائيًا عند قاعدة الأكوام، ويُنشئ تأثير "السّفير" (Effect de Sifflet) بين الأكوام الثلاثة، مما يزيد من الطاقة الحركية للرياح ويمنع ترسب الرمال، حيث تنتقل بعيدًا ويقل حجم الكثبان تدريجيًا.

---

[27] *CRSTRA. (2015). Guide des techniques de lutte contre l'ensablement au Sahara Algérien. Edition CRSTRA. ISBN: 978-9931-438-05-2.*

رسم توضيحي 70: تصميم وترتيب الدراع على شكل متعرج



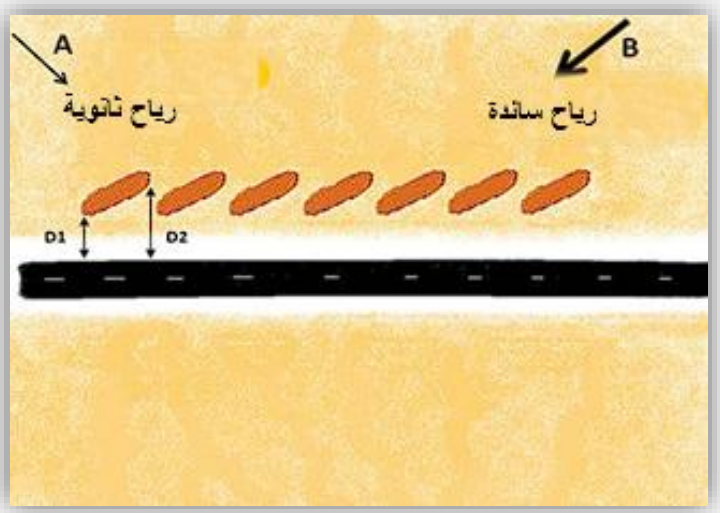
- (L)طول كومة الردم؛
- (H) ارتفاع كومة الردم؛
- (D) المسافة المطلوبة بين كومة الردم والطريق المراد حمايته؛
- (V1) الفراغ المتروك بين كومة الردم الأمامية والخلفية؛
- (V2) الفراغ بين كومتي ردم متتاليتين.

المصدر: CRSTRA, 2015

2.1.1.2.2 الدراع المائلة (Drâas en Biais):

- التصميم: تُرتب الدراع بشكل مائل بالنسبة للطريق لتوفير حماية مزدوجة ضد الرياح القادمة من اتجاهات مختلفة.
- آلية العمل:
  - الاتجاه A: يُشكل الدراع حاجزًا يُودع الرمال خلفها، مما يحمي الطريق من تراكم الرمال.
  - الاتجاه B: تعمل كقنوات تُسرّع الرياح، مما يزيل الرواسب السابقة ويمنع تراكم الرمال على الطريق. يعتمد هذا التأثير على مبدأ Venturi، حيث يُزيد التصميم المائل من سرعة الرياح عند الأطراف القريبة من الطريق .

رسم توضيحي 71: تصميم وترتيب الدراع المائلة



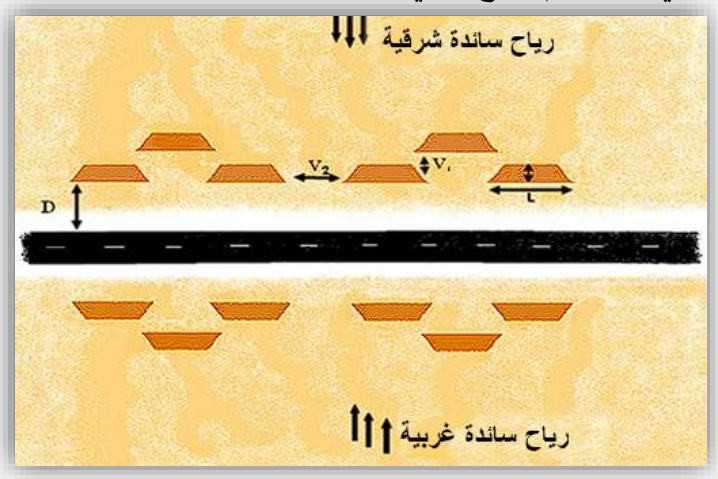
المصدر: CRSTRA, 2015

3.1.1.2.2 الدراع في نظام رياح ثنائي الاتجاه:

- التصميم: يُوضع الدراع على جانبي الطريق بشكل متكامل، حيث يُرتب عموديًا على الرياح المهيمنة على الجانب الأيمن، وبشكل موازٍ على الجانب الأيسر، مما يُسهّل حركة الرمال بعيدًا عن الطريق.
- آلية العمل: يزيد هذا التصميم من سرعة الرياح عبر التوجيه المنهجي، مما يُعزز نقل الرمال ويمنع ترسبها على الطريق، خاصة في ظل نظام رياح ثنائي الاتجاه.

رسم توضيحي 72:

تصميم وتخطيط Drâas في ظل نظام رياح ثنائي الاتجاه



المصدر: CRSTRA, 2015

4.1.1.2.2 الدراع المخروطية (Drâas en Cônes):

- التصميم والأبعاد: تُوضع الدراع على شكل أكوام مخروطية حادة على قمم الكثبان الكبيرة (Sif[28]) في اتجاه الرياح المهيمنة، وذلك لتأمين حماية فعالة للطرق.
- آلية العمل: تُنشئ هذه الأكوام دوامات هوائية تزيد من سرعة الرياح وطاقتها الحركية، مما يُعزز نقل الرمال بعيدًا عن الموقع. يحدث تآكل هوائي (Affouillement Éolien) عند قاعدة الأكوام، مما يُقلل ارتفاع الكثبان تدريجيًا مع انخفاض مستوى القمة.

رسم توضيحي 73:

تصميم وتخطيط طريقة المخروط



المصدر: CRSTRA, 2015

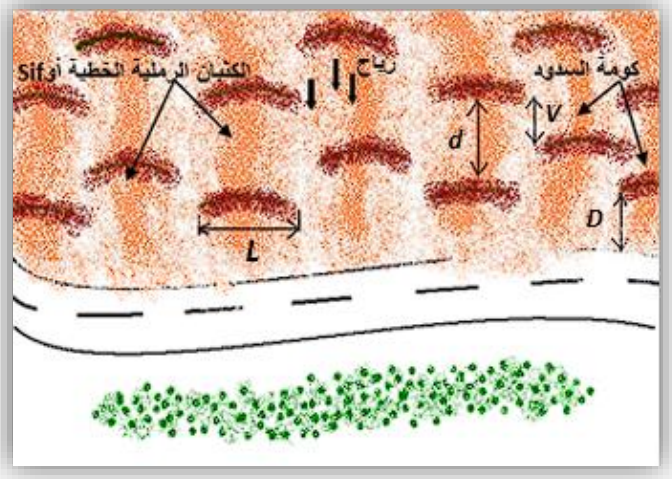
---

[28] *Sif: كثيب رملي خطي كبير يتميز بشكله الممتد على شكل خطوط متوازية، وغالبًا ما يتشكل في المناطق الصحراوية تحت تأثير الرياح ثنائية الاتجاه، مما يجعله تحديًا كبيرًا للبنية التحتية (CRSTRA, 2015)*

5.1.1.2.2 الدراع المتتالية (Drâas Successifs):

- التصميم: تتألف من 2 إلى 4 أكوام متتالية تُرتب عموديًا على الرياح المهيمنة، مع مسافة (d) تتجاوز 30 مترًا بين كل كومة، وتُوضع على بعد 200 (D) متر على الأقل من المنطقة المحمية لخلق ديناميكية هوائية فعالة (FAO, 1988).[29]
- آلية العمل: تعتمد على الفراغات بين الأكوام (V) لتوجيه الرمال بعيدًا عن الطرق والواحات عبر تعديل مسار الرياح، مما يُحول دون تراكمها على البنية التحتية.

رسم توضيحي 74: تصميم وترتيب Draas المتتالية لتحويل تقدم الرمال في اتجاه آخر غير اتجاه الرياح السائدة



- **(D) المسافة المطلوبة بين أكوام الردم والمنطقة المراد حمايتها.**
- **(V) الفراغ المتروك بين أكوام الردم.**
- **(d) المسافة بين كومتي ردم متتاليتين.**
- **(L) طول كومة الردم.**

المصدر: CRSTRA, 2015

29 . FAO, (1988). Cahier FAO conservation n° 18 : Manuel de fixation des dunes. Rome. 68p.

2.1.2.2 التجارب الميدانية ونتائجها:

- **تجربة الطريق الوطني RN3 (توقرت-ورقلة)**: أُجريت تجربة باستخدام الدراع على شكل متعرج، حيث أظهرت النتائج فعالية كبيرة في تقليل تراكم الرمال على الطريق.



رسم توضيحي 75:

صورة تظهر فعالية الدراع على شكل متعرج المطبقة على الطريق الوطني RN3 (توقرت-ورقلة)

المصدر: CRSTRA, 2015

- **تجربة توقرت-جلفة**: استُخدمت الدراع المائلة (En biais) التي لعبت دورًا مزدوجًا: حماية الطريق من الرياح القادمة من الاتجاه "A" عن طريق تكوين رواسب خلف الدراع، وتسريع الرياح القادمة من الاتجاه "B" لإزالة هذه الرواسب ومنع تراكمها على الطريق. هذه التجربة أثبتت فعاليتها في ظل نظام رياح ثنائي الاتجاه.



رسم توضيحي 76:

صورة تظهر فعالية الدراع المثبت بشكل مائل على طريق توقرت الجلفة

المصدر: CRSTRA, 2015

- **تجربة الطريق الوطني RN16 (توقرت-وادي سوف):**

الأولى:

طُبقت تقنية "الأكوام المخروطية" على الكثبان الكبيرة (Sif). تُوضع هذه الأكوام على قمة الكثبان لخلق دوامات تزيد من سرعة الرياح، مما يؤدي إلى تآكل الكثبان تدريجيًا حتى تختفي. أظهرت التجربة نجاحًا ملحوظًا في تقليل ارتفاع الكثبان وإزالة الرمال من محيط الطريق.



رسم توضيحي 77:

صورة تظهر فعالية الدراع المثبت بشكل ثنائي الاتجاه على الطريق الوطني RN16

المصدر: CRSTRA, 2015

الثانية:

- تقنية الدراع المخروط أثبتت فعاليتها في تقليل ارتفاع الكثبان الكبيرة حتى اختفت تدريجيًا .



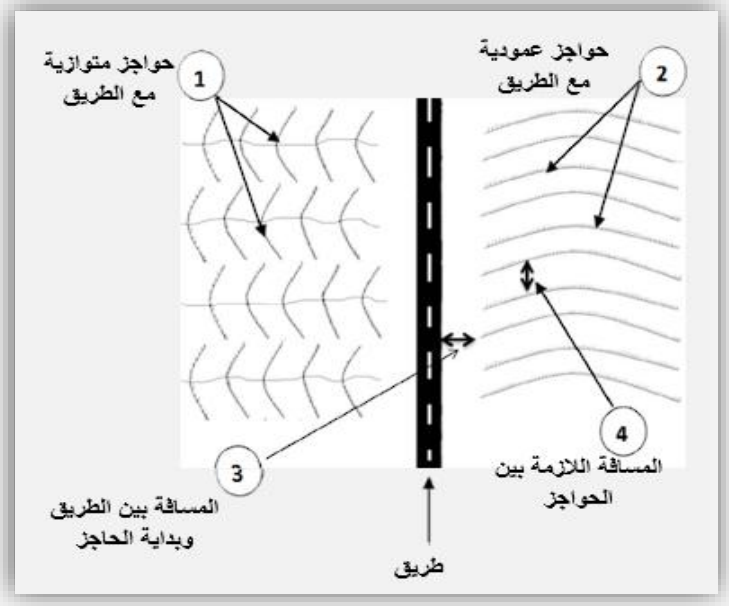
رسم توضيحي 78:

صورة تظهر فعالية الدراع المثبت بشكل مخروط على نفس الطريق

المصدر: CRSTRA, 2015

2.2.2 استخدام الحواجز المصنوعة من الخوص أو سعف النخل

بالإضافة إلى الدراع، طوّر الباحثون تقنية تعتمد على استخدام حواجز من سعف النخيل (الخوص) كبديل مستدام. هذه الحواجز تُرتب بشكل متتالٍ وعمودي على اتجاه الرياح المهيمنة لتغيير مسار الرمال:



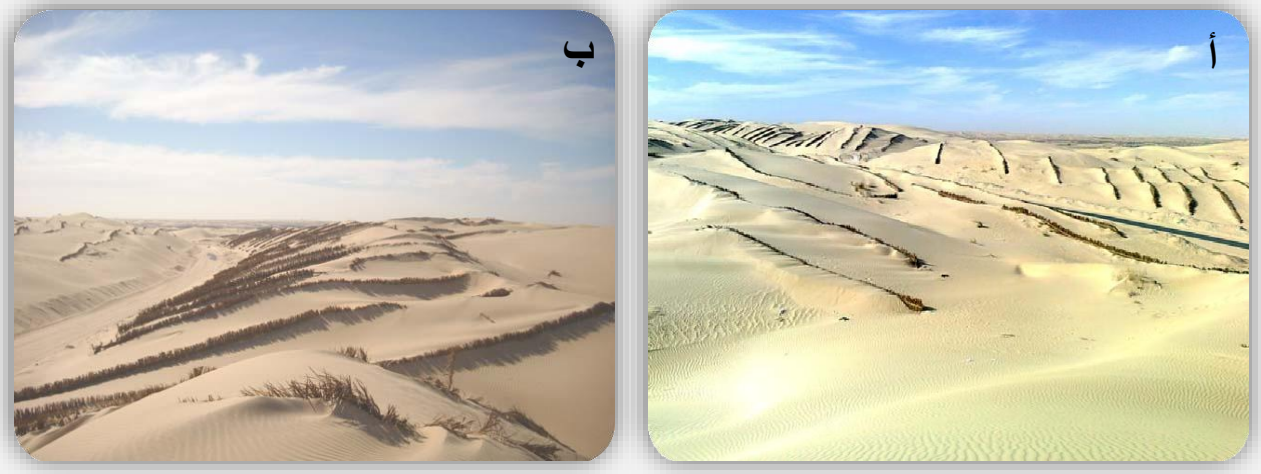
رسم توضيحي 79:

تصميم وتخطيط جهاز تثبيت الكثبان الرملية القائم على سعف النخل

المصدر: CRSTRA, 2015

- **تجربة الوادي-رباح**: في هذه التجربة، استُخدمت حواجز الخوص على كثبان يصل ارتفاعها إلى 30-40 مترًا. رُتبت الحواجز بشكل مائل ومتتالٍ، مما ساهم في تسريع الرياح ونقل الرمال بعيدًا عن الطريق. أظهرت النتائج فعالية كبيرة، حيث استمر الطريق خاليًا من الرمال لفترات طويلة .

رسم توضيحي19 :صورة (أ) و (ب) مثال ملموس لجهاز تجريبي لتثبيت الكثبان الرملية الكبيرة (ارتفاعها 30 إلى 40 مترا) على طريق (واد سوف - رباح)



المصدر: CRSTRA, 2015

3.2.2 المزايا والتحديات لتقنيات الدراع والخوص

المزايا:

- استدامة بيئية: استخدام مواد محلية مثل الحجارة والحصى وسعف النخيل يقلل من التكاليف ويحافظ على البيئة.
- فعالية طويلة الأمد: الدراع والحواجز تقلل من الحاجة إلى التدخلات المتكررة مقارنة بإزالة الرمال الميكانيكية.
- تكامل مع التجارب العالمية: تصميم الدراع يتماشى مع تقنيات حديثة مثل مصدات الرمال التي طورتها شركة *Green (Tianjin) T.D.C, Ltd*. في الصين، مما يعزز إمكانية تطبيقها على نطاق أوسع.

التحديات:

- الحاجة إلى صيانة دورية: الدراع قد تتعرض للتآكل بسبب الرياح القوية، مما يتطلب إعادة بناء أو تقوية.
- التكيف مع الظروف المحلية: تحتاج التقنية إلى تعديلات حسب اتجاهات الرياح وطبيعة الكثبان في كل منطقة.

في الأخير تعتبر تقنية الدراع، سواء في شكلها التقليدي أو المطور باستخدام حواجز الخوص، تُعد إحدى الحلول الحديثة الواعدة لمكافحة التراكم الرملي على مستوى الطريق 118. تجارب الباحثين في مناطق مثل توقرت والوادي أثبتت فعاليتها في حماية الطرق والواحات، مما يجعلها نموذجًا يمكن تطبيقه في بعض النقاط الكيلومترية التي لها نفس الخصائص الرملية.

4.2.2 الجمع بين التجارب المحلية والدولية

يمكن للجزائر دمج هذه التجارب مع السياق المحلي لتطوير حلول مستدامة للطريق 118. على سبيل المثال، يمكن زراعة الأشجار المحلية مثل الطلح والنخيل كحواجز خضراء، مع استخدام تقنيات حديثة مثل الرصد بالطائرات المسيرة لتتبع حركة الرمال، والري بالتنقيط المعتمد على الطاقة الشمسية. كما يمكن تشجيع المجتمعات المحلية على المشاركة بالتشجير، مستفيدين من التجارب الصينية والإفريقية في تعبئة المجتمع.

تُظهر التجارب الدولية أن مكافحة التصحر تتطلب نهجًا متعدد الأبعاد يجمع بين التكنولوجيا، المشاركة المجتمعية، والسياسات الداعمة. من خلال تكييف هذه التجارب مع السياق المحلي، يمكن تطوير حلول فعالة للطريق الوطني 118، مما يعزز التنمية المستدامة ويحمي البنية التحتية من التحديات البيئية

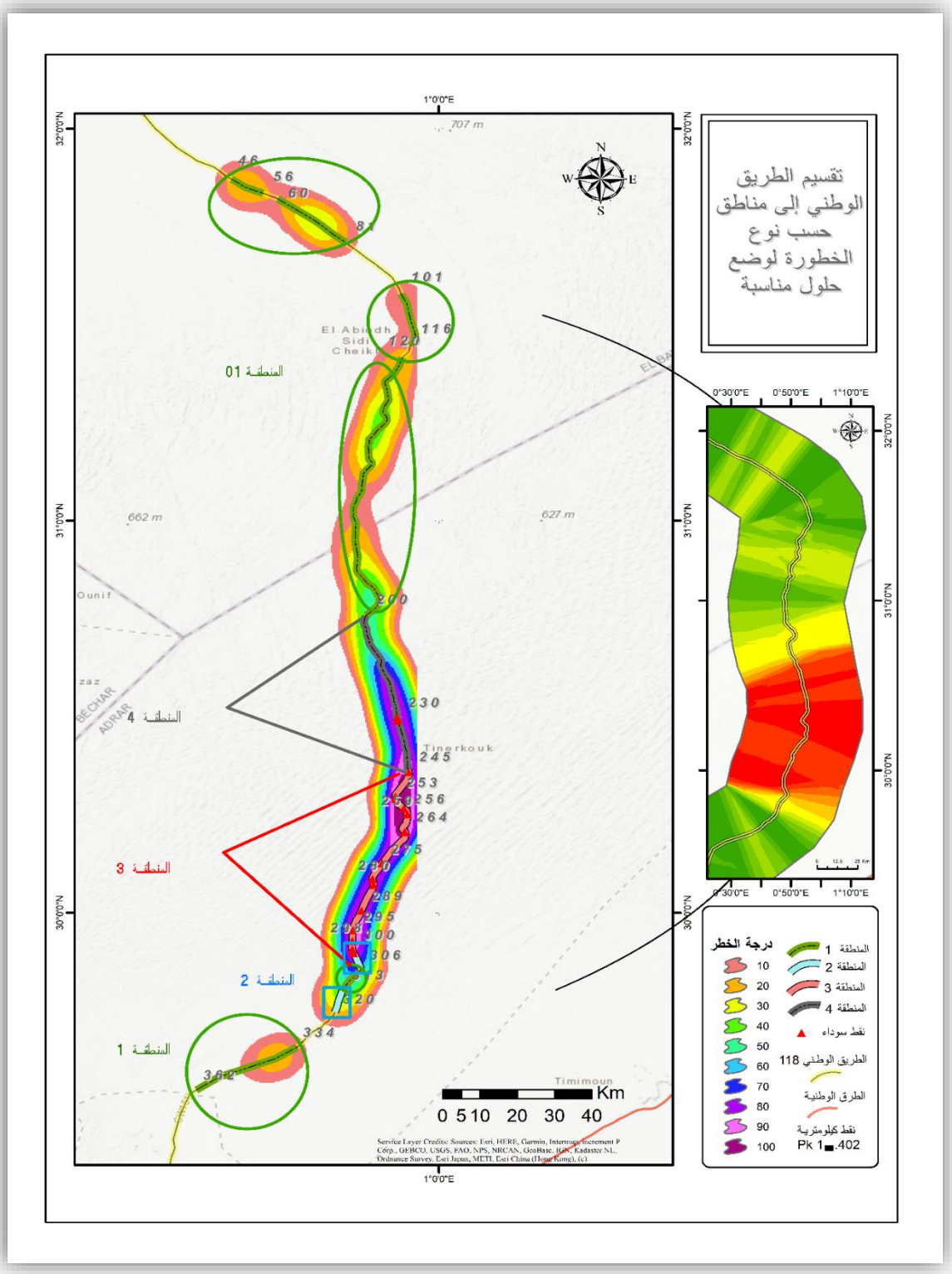
3. تكييف التقنيات والحلول الحديثة لحماية الطريق 118 تحليل أنواع الرمال وتطبيق الحلول المناسبة

لتطبيق التقنيات السابقة يجب علينا أولا تقسيم الطريق المعرضة لزحف الرمال حوالي 316 كيلومتر منها 130 كيلو متر معرضة بشكل خطير الى مجموعة مناطق (مجموعة نقط كيلومترية)، يكون هذا التقسيم بناءً على طبيعة الكثبان واتجاه الرياح، مع تحديد أنواع الرمال واقتراح الحلول المناسبة بناءً على تجارب مركز *(CRSTRA)* والحلول الدولية المُطبقة في مناطق صحراوية مشابهة، أيضا سوف نستعمل تقنية تحليل القرار المتعدد MCDA

ملاحظة:

بناءً على الدراسات السابقة، سنضع **حلولًا مبتكرة ومتكيفة** لكل منطقة لمكافحة زحف الرمال، مثل **التعديل على تقنية "الدراع"** فبدلاً من الاعتماد على نقل الحجارة والحصى لإنشاء الأكوام والحواجز، أقترح أن يتم **الاستفادة من الرمال المتوفرة محليًا** لتشكيل أكوام على هيئة "الدراع". حيث يمكننا الاستفادة من تقنية **رش الرمل بالمواد الكيميائية** كبديل فعال لنقل الحصى والحجارة. هذا النهج يقلل من التكاليف اللوجستية والجهد المبذول، ويجعل العملية أكثر كفاءة واستدامة. كما يُقترح نظام ري مستدام للتشجير في المنطقة الذي يكون التشجير هو الحل فيها، حيث يُعتمد على حفر آبار سطحية تعمل بمضخات تعمل بالطاقة الريحية، مما يضمن توفير المياه للنباتات بكفاءة وبتكاليف منخفضة.

رسم توضيحي 81: خريطة توضح تقسيم الطريق الوطني حسبنوع الخطورة لوضع حلول مناسبة



المصدر: إعداد الطالب ق. أمحمد (2025) باستخدام برنامج ARCMAP و بالاعتماد على مصورات القمر الصناعي الأمريكي لاندسات 8، بدقة 30 متر المقدمة من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)

أ- المنطقة الأولى: كثبان بعيدة عن الطريق أو ضعيفة التأثير (من46 إلى 56 ،من60 إلى 81، من نك 101 إلى نك116 ، من نك 120 إلى 200، من 305 إلى 312، ومن 333 إلى 361)

تتميز هذه المنطقة بوجود كثبان هلالية (Barkhan) بعيدة عن الطريق بمسافة تصل إلى 500 متر أو أحيانا رمال ضعيفة عند حدود الطريق (شمال منطقة الدراسة)، عند وصول الرمال إلى الطريق أثناء الرياح القوية يصل ارتفاع الرمل على الطريق بين 10-15 سم . اتجاهات الرياح غربية على الاغلب.

الحل المقترح :

على شرق الطريق يوضع شباك حديدي لتثبيت الرمال مع وضع شجيرات لنبات مثل النبكة وهذا استنادًا إلى تجارب قطر والشركة الصينية **Green (Tianjin)** بحيث تُوضع الشباك على حافة الطريق (على مسافة 5 متر). أيضا نضع دراع من النوع المخروطي على مسافات 20 متر حتى 50 متر.

اقترحنا هذه الحلول نظرا لتشابه المنطقة بالمناطق المجرب عليها التقنيات المذكورة والتي أثبتت نجاحها.



رسم توضيحي 80:

صورة توضح تموضع الرمال على الطريق بالرغم من بعد الكثبان الرملية على مسافات كبيرة (نك 178)

المصدر: تصوير الطالب ق.أمحمد (2025)

ب- المنطقة الثانية: قرب مدينة تينركوك (من نك 299 إلى 305، ومن 312 إلى 319)

تحتوي هذه المنطقة على كثبان هلالية (Barkhan) موازية للطريق، مع رياح غربية وشمالية سائدة، مما يزيد من مخاطر التراكم على الطريق.

الحل المقترح :

على شرق الطريق وعلى بعد 50 متر تستعمل الدراع المخروطية :كما طُبقت علىRN16 ، تُنشأ من الرمال المرشوشة بالمواد الكيميائية لتثبيتها من أجل تشكيل دوامات هوائية تقلل من سرعة الرياح وتغيير اتجاهها.

- حواجز سعف النخيل :كما طُبقت في (الوادي-رباح)، تُوضع على مسافة 100 متر وتكون موازية للطريق لتقليل سرعة الرياح.

ت- المنطقة الثالثة: الكثبان العرضية بين الوديان (من نك 244 إلى 299)

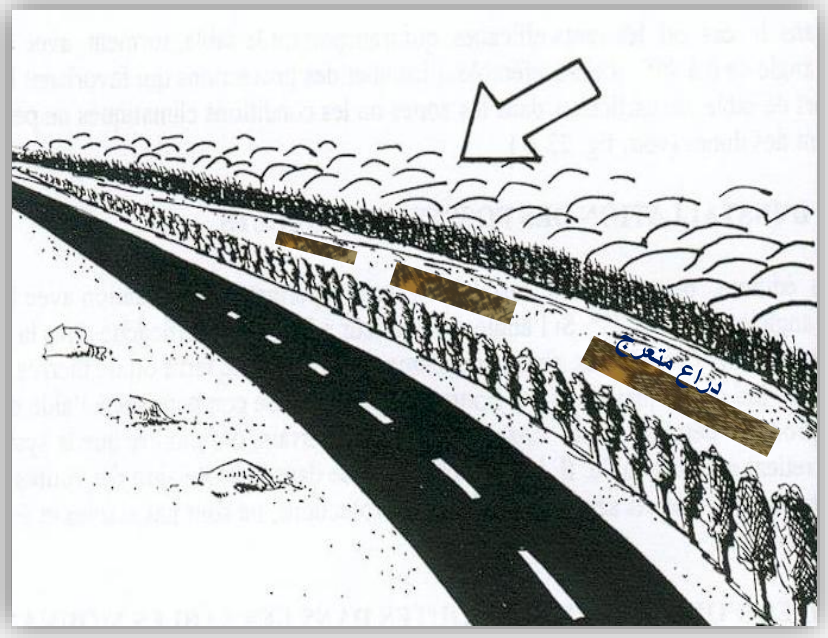
هذه المنطقة بالأخص تتميز بوجود كثبان عرضية (Transverse Dunes) بحيث تمر الطريق بين الوديان، و تتميز هذه المنطقة باتجاهات رياح متغيرة تهيمن عليها الرياح الشمالية الغربية.

الحل المقترح :

على طول شرق الطريق يتم استعمال مجموعة حلول لأن هذه المنطقة تكون منخفضة بعشرات الأمتار على السلاسل الرملية بحث يكون عليها خطر بنسبة كبيرة من الجهة الشرقية.

نقترح:

- أولا استعمال حواجز الخوص على بعد 100 متر
- يليها استخدام الدراع المتعرج كما طُبقت على RN3 باستخدام الرمال المرشوشة.
- يليها بعض الأشجار المقاومة للجفاف.
- على غرب الطريق يمكن استعمال الدراع المخروطي لتغيير وتقليل من زحف الرمال على هذا الجانب وأيضا شباك تثبيت الرمال الصيني.



رسم توضيحي 81:

مخطط لإنشاء حواجز مختلفة على طول الطريق

ث- المنطقة الرابعة: كثبان متنوعة (من نك 200 إلى 244):

تضم كثبانًا هلالية (Barkhan) ونجمية (Star Dunes) وكثبان طولية (Longitudinal Dunes) شمال الطريق، مع رياح متعددة الاتجاهات (شرقية، غربية، شمالية)، مما يجعل هذه المنطقة الأصعب في وضع الحلول.

الحلول المقترحة:

- الدراع في نظام رياح ثنائي الاتجاه: كما طُبقت على طريق توقرت-جلفة (باستخدام الرمال المرشوشة).
- التشجير: بزراعة نباتات مقاومة للجفاف على بعد 10-20 متر على جانبي الطريق مثل التجربة الصينية على صحراء كوبوكي.

ج- المنطقة الخامسة: نقاط تقاطع السلاسل الرملية: (النقاط الكيلومترية التالية: 230، 245، 252، 253، 256، 258، 263، 274، 279، 281، 288، 294، 297، 299، 300)

مع تأثير قوي من الرياح الشمالية الغربية للطريق هذه المنطقة تصنف من الأخطر بحيث تتكون فيها النقط السوداء وقد تؤدي إلى الآتي:

- تراكم الرمال على الطريق.
- تشكل الكثبان خطية (Sif) والعرضية.
- دوامات رملية (Sand Ripples) صغيرة.
- نقاط تقاطع عالية التراكم (Hotspots): تتشكل فيها مناطق تراكم حاد بسبب تداخل السلاسل الرملية، مما يُغلق الطريق أحيانًا إذا لم تُعالج.

هذه التشكيلات تُهدد السلامة المرورية وتتطلب **حلولاً عاجلة** تطبّق فيها مختلف الحلول السابقة من الدراع المتتالي في كلا الاتجاهين (باستخدام الكوم الرملية المرشوشة بالمواد الكيميائية) بالإضافة إلى حواجز الخوص المتوازية على بعد 100 متر شرق الطريق.

جدول الحلول المقترحة وأولويات التدخل حسب خطورة المناطق

التحليل متعدد المعايير MCDA

لتقييم الحلول المقترحة، تم استخدام تحليل القرار متعدد المعايير (MCDA) بناءً على أربعة معايير: الفعالية (F) ، التكلفة (C) ، الاستدامة (S) ، وسهولة التطبيق (E) .تم تقييم كل حل على مقياس من 1 إلى 5، وتم حساب الدرجة الإجمالية كمتوسط للمعايير الأربعة.

جدول 11: تحليل متعدد المعايير

الأولوية التدخل	المنطقة	وصف الخطورة/التعرض لزحف الرمال (معيار الخطورة المفهومي)	الحل المقترح	الفعالية (F)	التكلفة (C)	الاستدامة (S)	سهولة التطبيق	الدرجة الإجمالية (متوسط)
الأولوية القصوى	المنطقة 5 (تقاطع السلاسل / النقاط السوداء)	تُصنف كـ"نقاط سوداء" ذات أقصى درجات زحف الرمال وتراكمات كثيفة (حتى 4 أمتار)، مُسببة إغلاقاً متكرراً للطريق وتهديداً مباشراً للسلامة المرورية.	الدراع المتتالية (رمال مرشوشة)	5	3	4	4	4.0
			حواجز سعف النخيل	4	2	5	5	4.0
الأولوية العالية جداً	المنطقة 3 (الكثبان العرضية: 299-244 كم)	طبيعة الكثبان العرضية فيها تجعلها تعترض الرياح بشكل فعال، مما يؤدي إلى تراكمات رملية كثيفة وسريعة التأثير على الطريق والمناطق المنخفضة المحيطة.	حواجز سعف النخيل	4	2	5	5	4.0
			الدراع المتعرجة (رمال مرشوشة)	5	3	4	4	4.0
			تشجير (آبار + مضخات ريحية)	3	4	5	3	3.75
			الدراع المخروطية (غرب الطريق)	4	3	4	4	3.75
			شباك تثبيت الرمال (غرب الطريق)	3	3	4	4	3.5
الأولوية العالية	المنطقة 4 (كثبان متنوعة: 244-200 كم)	تتميز بـ"كثبان متنوعة" وتأثير "نظام رياح ثنائي الاتجاه"، مما يجعلها منطقة معقدة وغير متوقعة لتراكم الرمال، وتتطلب حلولاً مرنة للتعامل مع هذا التحدي.	الدراع في نظام رياح ثنائي (رمال مرشوشة)	4	3	4	4	3.75
			تشجير (آبار + مضخات ريحية)	3	4	5	3	3.75
الأولوية المتوسطة	المنطقة 2 (قرب	تتأثر بزحف الرمال وتتطلب حلولاً فعالة.	الدراع المخروطية	5	3	4	4	4.0

	تينركوك: 299-305، 312-319 كم)	بينما تُعاني من زحف الرمال، قد تكون شدة التراكمات أو تكرار الإغلاقات أقل من المناطق ذات الخطورة القصوى.	(رمال مرشوشة)					
			حواجز سعف النخيل	4	2	5	5	4.0
الأولوية قليلة	**المنطقة 1 (كثبان بعيدة: 46-127، 200-305، 312-333 كم)**	الكثبان هنا "بعيدة" نسبياً عن الطريق، مما يجعل تأثيرها المباشر والفوري أقل حدة. التدخل هنا استراتيجي للسيطرة على مصدر الرمال قبل وصولها.	شباك تثبيت الرمال + تشجير (مثال النبكة)	4	3	5	4	4.0
			الدراع المخروطية (رمال مرشوشة)	3	3	4	5	3.75

شرح التقييم:

المنطقة 1: شباك تثبيت الرمال مع التشجير (النبكة) فعّالة ومستدامة ولكن مكلفة نسبيًا بسبب الشباك. الدراع المخروطية سهلة التطبيق باستخدام الرمال المرشوشة ولكنها أقل فعالية بسبب المسافة البعيدة للكثبان.

المنطقة 2: الدراع المخروطية فعّالة جدًا في تقليل سرعة الرياح، وحواجز سعف النخيل مستدامة وسهلة التطبيق باستخدام المواد المحلية.

المنطقة 3: حواجز سعف النخيل والدراع المتعرجة فعّالة جدًا لحماية المنطقة المنخفضة شرق الطريق. التشجير مع الآبار ومضخات الطاقة الريحية مستدام ولكنه مكلف وأقل سهولة بسبب الحفر.

غرب الطريق، الدراع المخروطية وشباك تثبيت الرمال تُقلل الزحف بفعالية جيدة.

المنطقة 4: الدراع في نظام رياح ثنائي مناسبة للرياح متعددة الاتجاهات، والتشجير مع الآبار ومضخات الطاقة الريحية مستدام ولكنه مكلف ويحتاج إلى وقت للنمو.

المنطقة 5: الدراع المتتالية وحواجز سعف النخيل فعّالة جدًا لمعالجة النقاط السوداء، مع استدامة عالية وسهولة تطبيق باستخدام الرمال المرشوشة.

التوصيات:

الأولوية للحلول المستدامة: حواجز سعف النخيل والتشجير مع الآبار (في المناطق 3 و4) تُحقق استدامة عالية (5) وتُقلل التكاليف على المدى الطويل.

الحلول الفعّالة في المناطق الخطرة: الدراع (بأنواعها) في المناطق 2، 3، 4، و5 تُحقق فعالية عالية (4-5) وتُناسب المناطق ذات الزحف الرملي الخطير.

تقليل التكاليف اللوجستية: استخدام الرمال المرشوشة بالمواد الكيميائية في جميع أنواع الدراع يُقلل التكلفة (3) مقارنة بنقل الحصى.

دعم التشجير بالبنية التحتية: استخدام آبار المياه مع مضخات تعمل بالطاقة الريحية في المناطق 3 و4 يُعزز استدامة التشجير، لكن يجب دراسة التكلفة بعناية.

خاتمة الفصل:

شكّل الفصل الثالث محورًا أساسيًا في هذا البحث، حيث سعى إلى صياغة آليات واستراتيجيات عملية للحد من زحف الرمال على الطريق الوطني 118، مستندًا إلى الإطار النظري والتحليل الميداني الذي تم تناوله في الفصلين الأول والثاني. من خلال ثلاثة مباحث متكاملة، تم استعراض التجارب الدولية والمحلية، وصولاً إلى اقتراح حلول مُكيفة تتناسب مع السياق المحلي للطريق 118، مع التركيز على تحقيق التوازن بين التنمية المستدامة وحماية البنية التحتية.

في المبحث الأول، استعرضنا التجارب الدولية الناجحة في مكافحة التصحر، مثل تجربة الصين في صحراء "كوبوكي" التي نجحت في تحويل مساحات شاسعة إلى أراضٍ خضراء باستخدام التشجير والتكنولوجيا الحديثة، وتجربة قطر على طريق سلوى التي أثبتت فعالية الحواجز السلكية في تقليل تراكم الرمال، إلى جانب تجربة السعودية التي دمجت الاستشعار عن بُعد مع التشجير واستخدام المواد الكيميائية لتثبيت الرمال. هذه التجارب قدمت دروسًا قيّمة أكدت أهمية الجمع بين التكنولوجيا الحديثة، المشاركة المجتمعية، والسياسات الداعمة لمواجهة التحديات البيئية.

المبحث الثاني ركّز على الحلول المحلية في الجزائر، حيث تناولنا التقنيات التقليدية مثل الأفراق (الزرب) وجدران الطوب الطيني التي طوّرها سكان الواحات عبر التاريخ، والتي أثبتت فعاليتها في تقليل زحف الرمال رغم محدوديتها. كما استعرضنا الحلول الحديثة التي طوّرها *مركز البحث العلمي والتقني للمناطق الجافة (CRSTRA)* ، مثل تقنية الدراع بأنواعها المختلفة (متعرجة، مائلة، مخروطية، متتالية) وحواجز سعف النخيل، والتي أظهرت نجاحًا ملحوظًا في حماية الطرق في مناطق مثل توقرت ووادي سوف. هذه الحلول أكدت إمكانية دمج التقنيات التقليدية مع الابتكارات الحديثة لتحقيق استدامة أكبر.

أما المبحث الثالث، فقد ركّز على تطبيق هذه الاستراتيجيات على الطريق الوطني 118، حيث قسّمنا المناطق المعرضة للزحف الرملي (234 كم، منها 130 كم معرضة بشكل خطير) إلى خمس مناطق بناءً على طبيعة الكثبان واتجاهات الرياح. اقترحنا حلولاً مُكيفة لكل منطقة، مثل الدراع المخروطية والمتعرجة، حواجز سعف النخيل، شباك تثبيت الرمال، والتشجير بدعم آبار مياه ومضخات تعمل بالطاقة الريحية.

تحليل القرار متعدد المعايير (MCDA) أظهر أن الدراع وحواجز سعف النخيل تُحقق أعلى الدرجات من حيث الفعالية والاستدامة (4.0)، بينما التشجير مع الآبار يُعزز الاستدامة (5) رغم تكلفته العالية نسبيًا(4). كما أوصينا باستخدام الرمال المرشوشة بالمواد الكيميائية كبديل مستدام لنقل الحصى، مع تعزيز المراقبة باستخدام الاستشعار عن بُعد.

بشكل عام، يُظهر هذا الفصل أن مكافحة زحف الرمال تتطلب نهجًا متكاملاً يجمع بين التجارب المحلية والدولية، مع التركيز على الابتكار والاستدامة. التوصيات الناتجة تشمل تعزيز استخدام التقنيات المستدامة مثل التشجير والدراع، دمج المجتمعات المحلية في تنفيذ الحلول على غرار "التويزة"، وإجراء دراسات ميدانية دورية لتقييم فعالية الاستراتيجيات المُطبقة. من خلال تطبيق هذه الآليات، يمكن حماية الطريق الوطني 118 من التحديات البيئية، مما يُسهم في تعزيز السلامة المرورية، دعم التنمية المستدامة، وتحسين الظروف.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة :

في سياق التحديات البيئية التي تفرضها ظاهرة زحف الرمال، سعت هذه الدراسة إلى تقييم هذه الظاهرة وتأثيراتها المحددة على الطريق الوطني رقم 118 الرابط بين البنود وتيميمون بالجزائر، واقتراح حلول متكاملة ومستدامة للتخفيف من حدتها. لقد كشف البحث، من خلال مساراته المنهجية المتعددة، عن فهم معمق للتفاعل بين العوامل الجغرافية والمناخية، وتحديد المناطق الأكثر عرضة للخطر على امتداد هذا الشريان الحيوي.

لقد أكد الإطار الجغرافي والمناخي للطريق الوطني 118 أن ديناميكية زحف الرمال هي نتاج لظروف طبيعية قاسية. فالطريق يخترق بيئة صحراوية شاسعة ضمن العرق الغربي الكبير، تتميز بتضاريس رملية تُهيمن عليها كثبان متنوعة، وشح في الموارد المائية، وغطاء نباتي نادر، هذا ما يزيد من قابلية المنطقة للتصحر. يضاف إلى ذلك، التأثيرات المتزايدة للتغيرات المناخية التي تُفاقم من حدة الجفاف وتواتر العواصف الرملية .(Al-Qurashi, 2017) وقد أثبتت هذه التفاعلات أن "زحف الرمال في الصحراء الجزائرية يمثل كارثة غير معلنة، تعطل حركة النقل وتهدد استدامة الطرق، خاصة في مناطق مثل تيديكلت وتيميمون.(Bolghobra et al., 2014) "

تتجاوز تأثيرات زحف الرمال مجرد تراكمها على الطرق لتشمل تبعات وخيمة على السلامة المرورية، حيث تُسبب انخفاضاً حاداً في الرؤية وتغييراً في خصائص سطح الطريق، مما يؤدي إلى زيادة معدلات الحوادث .(Al-Hinai, 2009) كما تُفرض هذه الظاهرة أعباء اقتصادية باهظة تتمثل في التكاليف المرتفعة والمتكررة لإزالة الرمال وصيانة الطريق، فضلاً عن الأضرار التي تلحق بالمركبات وتعطيل حركة النقل .(Zhang et al., 2010) إضافة إلى ذلك، تُهدد الرمال المدفونة سلامة البنية التحتية من لافتات وعلامات طرق وحتى شبكات الاتصالات الحيوية.(Li & Xia, 2019)

وقد أظهر التحليل المكاني باستخدام صور الأقمار الصناعية وأدوات GIS وباستعمال عدة مؤشرات مثل مؤشرات الكشف عن الكثبان الرملية وكذا مؤشر الغطاء النباتي والتي استعملت لتحديد المناطق الحرجة، لاسيما المقاطع بين 246 و260 كم، التي تتطلب تركيزاً خاصاً في جهود المكافحة.في مواجهة هذه التحديات، أستخدم في هذه الدراسة أدوات التحليل المكاني ومؤشرات الكشف عن الكثبان الرملية وذلك لمتابعة تغيرات حركة الكثبان خلال السنوات الماضية، كما استعرضت مجموعة من الحلول والاستراتيجيات، مستلهمة من تجارب دولية ناجحة وأخرى محلية عريقة. أظهرت التجربة الصينية في صحراء كوبوكي إمكانية تحويل مساحات شاسعة إلى أراضٍ خضراء عبر برامج تشجير واسعة النطاق وتقنيات حديثة. كما قدمت تجربة قطر على طريق سلوى نموذجاً ناجحاً لاستخدام الحواجز السلكية في التخفيف من تراكم الرمال، مؤكدة على أهمية التصميم الهندسي المسامي. أما المملكة العربية السعودية، فقد أظهرت ريادتها في دمج تقنيات الاستشعار عن بُعد مع التشجير واستخدام المواد الكيميائية لتثبيت الرمال.

وعلى الصعيد المحلي، سلط البحث الضوء على التقنيات التقليدية المتوارثة كـ "الأفراق" (الزرب) وجدران الطوب الطيني التي طوّرها سكان الواحات، والتي على الرغم من بساطتها، أثبتت فعاليتها في تقليل زحف الرمال وتُقدم نماذج للتكيف المجتمعي مع البيئة الصحراوية. كما تم تحليل الحلول الحديثة التي طوّرها مركز البحث العلمي والتقني للمناطق الجافة (CRSTRA)، مثل تقنية "الذراع" بأنواعها المختلفة

(متعرجة، مائلة، مخروطية، متتالية) وحواجز سعف النخيل، والتي أظهرت نجاحاً ملحوظاً في حماية الطرق في مناطق مشابهة كـ توقرت ووادي سوف.

وبناءً على هذا التحليل الشامل، تم اقتراح استراتيجيات مُكيفة لحماية الطريق الوطني 118، تمثلت في تقسيم المناطق المعرضة للخطر إلى خمس مناطق رئيسية، واقتراح حلول مناسبة لكل منها. شملت المقترحات تطبيق تقنية "الذراع" بأنواعها المختلفة، وحواجز سعف النخيل، وشباك تثبيت الرمال، إضافة إلى مقترح مبتكر للتشجير المدعوم بآبار للمياه الجوفية تعمل بمضخات تعتمد على الطاقة الريحية. هذا المقترح يستفيد من ضحالة المياه الجوفية ووفرة الرياح في المنطقة لضمان استدامة الري للنباتات.

وقد أظهر تحليل القرار متعدد المعايير (MCDA) أن تقنية "الذراع" وحواجز سعف النخيل تُحققان فعالية واستدامة عالية، بينما يُعزز التشجير مع نظام الري بالطاقة الريحية الاستدامة البيئية بشكل كبير، على الرغم من تكلفته الأولية. كما أوصت الدراسة باستخدام الرمال المرشوشة بالمواد الكيميائية كبديل مستدام لنقل الحصى، وتعزيز المراقبة الدورية باستخدام الاستشعار عن بُعد.

<u>الاستنتاجات والتوصيات:</u>

تُظهر هذه الدراسة بوضوح أن مكافحة زحف الرمال على الطريق الوطني 118 تتطلب نهجاً متكاملاً ومستداماً يجمع بين الحلول الهندسية، البيولوجية، والكيميائية، مع الاستفادة من التجارب الدولية وتكييف الحلول المحلية. إن حماية هذا الطريق لا تقتصر على الجانب البيئي، بل تمتد لتشمل الأمن المروري، دعم التنمية الاقتصادية والاجتماعية في المناطق الصحراوية.

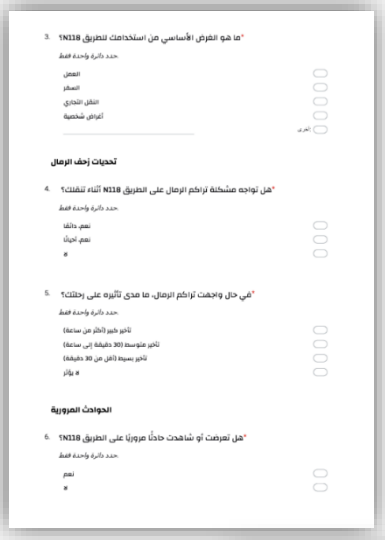
لتحقيق ذلك، تُوصي الدراسة بما يلي:

1. تبني استراتيجية متكاملة :دمج الحلول الهندسية المتمثلة في "الذراع" وحواجز سعف النخيل مع برامج التشجير الواسعة المدعومة بنظام الري بالطاقة الريحية، واستخدام المواد الكيميائية للتثبيت السريع في المناطق الحرجة.
2. تعزيز البحث والتطوير :دعم الدراسات المستمرة حول ديناميكية الرمال، وتطوير تقنيات جديدة لمكافحتها تتناسب مع الظروف المناخية المتغيرة، بما في ذلك تحسين فعالية المواد الكيميائية الصديقة للبيئة.
3. تطبيق تقنيات المراقبة الحديثة :استخدام الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) لرصد حركة الرمال، وتحديد المناطق الأكثر عرضة للخطر بدقة، وتوجيه جهود المكافحة بفعالية.
4. المشاركة المجتمعية والتمكين المحلي :تفعيل دور المجتمعات المحلية في تنفيذ وصيانة مشاريع مكافحة زحف الرمال، والاستفادة من خبراتهم التقليدية في بناء "الأفراق" وأنظمة التويزة لتعزيز الاستدامة وملكيتهم للمشاريع.
5. تخصيص الموارد وتضافر الجهود :تفعيل الشراكة بين المؤسسات الحكومية، مراكز البحث العلمي، القطاع الخاص، والمجتمعات المحلية لتوفير التمويل اللازم وتنفيذ المشاريع بفاعلية.

إن تنفيذ هذه التوصيات سيسهم بشكل كبير في حماية الطريق الوطني 118 من التحديات البيئية لزحف الرمال، ويعزز من السلامة المرورية، ويدعم التنمية المستدامة في المناطق الصحراوية بالجزائر، مما يفتح آفاقاً جديدة للازدهار في هذه البيئات الفريدة

الملاحق

الاستبيان:



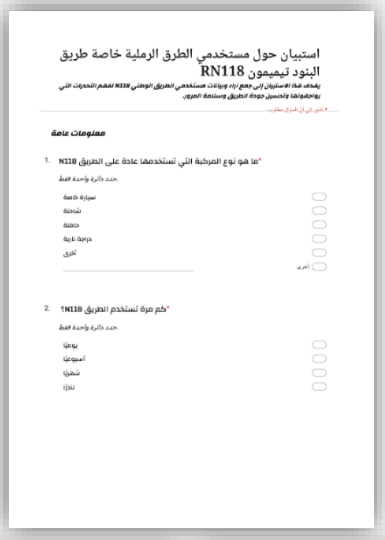
استبيان حول مستخدمي الطرق الرملية خاصة طريق البنود تيميمون RN118

يهدف هذا الاستبيان إلى جمع آراء وبيانات مستخدمي الطريق الوطني N118 لفهم التحديات التي يواجهونها وتحسين جودة الطريق وسلامة المرور.

معلومات عامة

1. ما هو نوع المركبة التي تستخدمها عادة على الطريق N118؟
سيارة خاصة
شاحنة
حافلة
دراجة نارية
أخرى

2. كم مرة تستخدم الطريق N118؟
يوميًا
أسبوعيًا
شهريًا
نادرًا



3. ما هو الغرض الأساسي من استخدامك للطريق N118؟
العمل
السفر
النقل التجاري
أغراض شخصية
أخرى

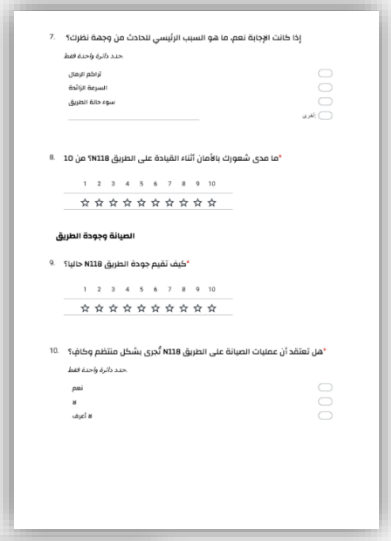
تحديات زحف الرمال

4. هل تواجه مشكلة تراكم الرمال على الطريق N118 أثناء التنقل؟
نعم، دائمًا
نعم، أحيانًا
لا

5. في حال واجهت تراكم الرمال، ما مدى تأثيره على رحلتك؟
تأخير كبير (أكثر من ساعة)
تأخير متوسط (30 دقيقة إلى ساعة)
تأخير بسيط (أقل من 30 دقيقة)
لا يؤثر

الحوادث المرورية

6. هل تعرضت أو شاهدت حادثًا مروريًا على الطريق N118؟
نعم
لا



7. إذا كانت الإجابة نعم، ما هو السبب الرئيسي للحادث من وجهة نظرك؟
تراكم الرمال
السرعة الزائدة
سوء حالة الطريق
أخرى

8. ما مدى شعورك بالأمان أثناء القيادة على الطريق N118 من 10
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

الصيانة وجودة الطريق

9. كيف تقيم جودة الطريق N118 حاليًا؟
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10. هل تعتقد أن عمليات الصيانة على الطريق N118 تُجرى بشكل منتظم وكافٍ؟
نعم
لا
لا أعرف



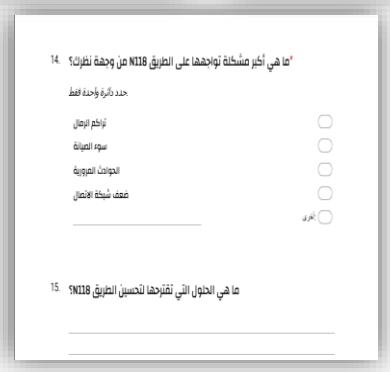
11. هل لاحظت تحسنًا في الأقسام التي أُعيدت هيكلتها مقارنة بالأقسام غير المهيكلة (متن النقطة الكيلومترية من 172- إلى 192-)؟
نعم
لا
لا أعرف

شبكة الاتصال

12. هل تواجه مشاكل في شبكة الاتصال (الهاتف أو الإنترنت) أثناء استخدام الطريق N118؟
نعم
لا
أحيانًا

13. في حال واجهت مشكلة في الاتصال، كيف أثرت علينا؟
منعتني من طلب المساعدة في حالة الطوارئ
تسببت في تأخير التواصل مع الآخرين
لم تؤثر بشكل كبير
أخرى

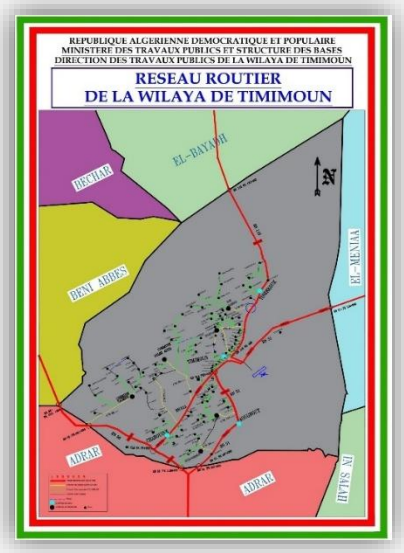
مقترحات وآراء



14. ما هي أكبر مشكلة تواجهها على الطريق N118 من وجهة نظرك؟
حدد دائرة واحدة فقط
تراكم الرمال
سوء الصيانة
الحوادث المرورية
ضعف شبكة الاتصال
أخرى

15. ما هي الحلول التي تقترحها لتحسين الطريق N118؟

وثائق أخرى:



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS ET STRUCTURE DES BASES
DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS DE LA WILAYA DE TIMIMOUN

RESEAU ROUTIER
DE LA WILAYA DE TIMIMOUN

EL-BAYADH
REGGANE
BENI ABBES
EL-MENIAA
ADRAR
IN SALAH



شهادة بحث

Attestation de recherche



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة الأشغال العمومية والمنشآت القاعدية
MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS ET DES INFRASTRUCTURE DE BASE

ولاية تيميمون
مديرية الأشغال العمومية تيميمون
رقم...../2025/

الى السيد/

الموضوع: ب/خ المشروع إعادة بناء مقطع من الطريق الوطني رقم 118
الحصة رقم 02: من ن ك 182+000 إلى نك 192+000 على مسافة 10 كلم

من خلال الزيارة الميدانية لمصالحنا لورشة المشروع والمذكور بالموضوع أعلاه تبين لنا أن الأشغال على مستوى الورشة متوقفة تماما والمؤسسة الأجنبية بسبباً في التدهور مما ينتج عنه من الغبار والتلاف لمادة نيف وطيور الحجارة وهذا بشكل خطورة كبيرة على مستعملي الطريق.

وعليه فإنكم ملزمون بالصيانة الدائمة واليومية لهذا الطريق تفاديا لوقوع أي طارئ على مستواها.

تحياتنا الخالصة

الموضوع يكتسي صفة الاستعجال

الجداول:

جدول 01: متوسط عدد أيام المطر الشهري في منطقة الدراسة (2009-2021)

الشهر	ديسمبر	نوفمبر	أكتوبر	سبتمبر	أوت	جويلية	جوان	ماي	أفريل	مارس	فيفري	جانفي
عدد الأيام	0.3	0.5	0.8	0.4	0.2	0.0	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4
المتوسط السنوي: 4.7~ أيام												

جدول 02: متوسط هطول الأمطار الشهري (ملم) في منطقة الدراسة (2009-2021)

الشهر	ديسمبر	نوفمبر	أكتوبر	سبتمبر	أوت	جويلية	جوان	ماي	أفريل	مارس	فيفري	جانفي
المتوسط (ملم)	2.0	2.5	4.9	2.1	0.6	0.1	0.4	2.1	2.8	3.7	3.4	2.8
المتوسط السنوي 27~ :ملم												

جدول 03: المتوسط الشهري المعدل للتبخر (2009-2021)

الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
المتوسط الشهري	146.2	170.5	272.1	335.2	409.3	463.5	538.8	494.6	367.3	262.3	182.5	143.0

جدول 04: الجدول الشهري الملخص للرطوبة النسبية (%)

الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المتوسط
المتوسط	36.4	27.3	23.5	18.4	13.3	10.4	7.6	13.8	21.8	28.6	34.2	42.3	23.08
الأعلى	48.7	39.6	30.2	24.5	22.0	15.2	13.0	25.6	32.2	35.5	43.1	53.1	32.3
الأدنى	18.0	15.0	7.7	12.0	4.7	3.5	1.2	6.1	11.4	23.0	24.8	36.4	12.48
الانحراف المعياري	9.2	7.8	6.5	4.3	5.1	4.2	3.4	6.0	7.1	3.9	5.4	5.8	5.56

المصدر: محطة الأرصاد الجوية تيميمون

جدول 05: متوسط درجات الحرارة الشهرية (°C) في منطقة الدراسة (2009-2021)

الأشهر	جانفي	فيفري	مارس	أفريل	ماي	جوان	جويلية	أوت	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
الأعلى	19°C	22°C	26°C	31°C	36°C	42°C	44°C	43°C	39°C	32°C	24°C	19°C
المتوسط	12°C	15°C	19°C	24°C	29°C	34°C	37°C	36°C	32°C	25°C	18°C	13°C
الأدنى	6°C	8°C	12°C	17°C	21°C	26°C	29°C	28°C	24°C	18°C	11°C	7°C

المصدر: محطة الأرصاد الجوية تيميمون

جدول 06: متوسط سرعة الرياح الشهرية (متر/ثانية) (2009-2021)

الأشهر	ديسمبر	نوفمبر	أكتوبر	سبتمبر	أوت	جويلية	جوان	ماي	أفريل	مارس	فيفري	جانفي
السرعة (م/ث)	4.3	4.0	4.1	4.2	4.5	4.6	4.5	4.8	4.7	4.5	4.2	4.1
المتوسط السنوي ~4.3م/ث												

جدول 07: تصنيف الطريق من الجريدة الرسمية

جدول : تصنيف الطريق من الجريدة الرسمية
Tronçons de voies classés en routes nationales
ANNEXE

Wilayas	Désignation de la voie	PK limites des voies avant classement			Nouvelle numérotation	Nouveaux PK limites des voies après classement	
		PK début	PK final	Longueur en Km		PK origine	PK final
Adrar	Chemin communal Timimoun	PK 0+000 intersection de la RN51 PK (293+000)	PK 4+200 intersection du CW 151 PK (1+400)	4.200	RN 118	PK 0+000 intersection de la RN 6B dans la wilaya d' El Bayadh	Pk 402+000 intersection de la RN 51 dans la wilaya d'Adrar
	Chemin de wilaya 151	PK 1+400	PK 73+000	71.600			
	Chemin communal Tinerkouk	PK 0+000 intersection du CW 151 (PK 73+000)	PK 4+200	4.200		Et répartie comme suit :	
						wilaya d'El Bayadh	
	Chemin non classé	PK 0+000 intersection du CC Tinerkouk PK (4+200)	PK 150+000 LW El Bayadh	150.000		PK 0+000	PK 172 +000
						wilaya d'Adrar	
						PK 172 +000	PK 402+000

المصدر: الجريدة الرسمية الجزائرية، مرسوم تنفيذي لتصنيف الطريق الوطني N118 ، 2018.

كل مقترحات والحلول التي طرحها المستخدمين:

تنوعت مقترحات الحلول التي قدمها المستخدمون، مما يعكس وعيهم بالتحديات وحاجتهم الملحة للحلول. يمكن تصنيف هذه المقترحات إلى عدة محاور رئيسية:

- **حلول بيئية وهندسية (لمكافحة زحف الرمال) :**
  - **التشجير والسدود الخضراء :**تكررت هذه الفكرة بشكل كبير، حيث اقترح العديد "إنشاء سد من الأشجار بجوانب الطريق"، "غرس سلاسل من الأشجار على جانبي الطريق وخاصة الـ 150كلم المهددة بالرمال"، و"نظام السد الأخضر للحد من تراكم الرمال". هذا يعكس إيمان المستخدمين بالحلول المستدامة والطبيعية.
  - **حواجز الرمال :**وردت مقترحات حول "إقامة سدود من النخيل على بعد 400–300متر" لعرقلة حركة الرمال.
- **حلول تتعلق بالصيانة الدورية للطريق :**
  - **نزع الرمال :**أكد العديد على ضرورة "نزع الرمال" بشكل دوري ومستمر، و"صيانة الطريق مع تكثيف ورشات وآليات نزع الرمال."
  - **مراكز الصيانة :**اقترح بعضهم "وضع مراكز صيانة للطريق" بمسافات محددة 100–50) كلم) لضمان الاستجابة السريعة.
- **حلول تتعلق بتحسين البنية التحتية للطريق :**
  - **ازدواجية الطريق :**وردت اقتراحات لـ "ازدواجية الطريق" أو "طريق مزدوج وطريق علوي"، مما يشير إلى الحاجة لتوسعة الطريق لزيادة الأمان والكفاءة.
  - **إعادة الهيكلة والتحسين الشامل :**دعوات لـ "تحسينه وإعادة هيكلته من جديد."
- **حلول تتعلق بشبكة الاتصالات :**
  - **توفير وتدعيم الشبكة :**تكررت المطالبة بـ "توفير الشبكة"، "وضع أعمدة إشارة الهاتف النقال على طول الطريق"، و"تدعيم الطريق بشبكة الاتصال بجودة عالية". هذا يعكس إدراك المستخدمين لأهمية الاتصال في حالات الطوارئ وكمتطلب أساسي لراحة التنقل.

تُظهر هذه المقترحات وعيًا كبيرًا لدى مستخدمي الطريق بالمشكلات وتفكيرًا عمليًا في الحلول، مما يؤكد أن الاستثمار في هذه الجوانب سيكون له تأثير مباشر وإيجابي على تجربتهم وسلامتهم.

المراجع والمصادر

العربية

1. أبو قيم، جمال، غاني أبو سعد، ومحمود عزام. (د.ت). "دراسة جيولوجية وهندسية لرمل الكثيب في المملكة العربية السعودية."
2. الحارقي، عباس بن عينان. (د.ت). "أمقر الجيولوجيا الهندسية."
3. العربي، إسماعيل.الصحراء الكبرى وشواطئها،الجزائر،المؤسسة الوطنية للكتاب،1983 ص13.
4. بلقاسمي، عبد الفتاح، وسويداني، مروان. (2024/2023). خطر زحف الرمال على التوسع العمراني والغطاء النباتي: حالة واحة تيلولين بلدية انجزمير. مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر، تخصص تسيير الأخطار الكبرى والأمن المدني، قسم الجغرافيا وتهيئة الإقليم، كلية علوم الأرض والكون، جامعة وهران 2 محمد بن احمد، وهران، الجزائر.
5. بوبرنوس، أسامة، وبالخو، نور الدين .(2020-2021) .*ظاهرة زحف الرمال ب طلمين* .مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر.
6. بوشارب، عبد السلام .(1995) .*الهقار أمجاد وأنجاد* .الجزائر: المتحف الوطني للمجاهد، ص 36.
7. بضياف، سميحة. (2012-2011). "دراسة التركيب الجزيئي لرمل كثبان منطقة ورقلة باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء والأشعة السينية". مذكرة ماستر أكاديمي.
8. بضياف، سميحة .(2016-2015) .*تحديد التركيب الجزيئي للأصناف الحبيبية المختلفة لرمل كثبان منطقة ورقلة وحساب تركيز الكوارتز فيها باستخدام التقنيات الطيفية* .أطروحة دكتوراه.
9. بريغي، أناس، وعطيل، مرم. (2020-2019). "تحضير هلام السيلكا انطلاقًا من رمال السليكا بمنطقة تبدألة الوادي". مذكرة لنيل شهادة الماستر، جامعة الوادي.
10. الخيري، إسلام هاتف. (د.ت). "الخصائص الفيزيائية للتربة". قسم الجغرافيا، كلية التربية ابن رشد، جامعة بغداد.
11. الديناصوري، جمال الدين، وآخرون. (د.ت) .*جغرافيا العالم،ج2،(افريقيا وأستراليا)* ،القاهرة،المكتبة الأنجلومصرية.
12. الربيعي، صاحب. (د.ت). "التربة وخصائصها (استصلاح التربة والصرف)."
13. سبقاق، ل. (2020). "ربورتاج مصور عمق صحراء بسحر الجوهر". مذكرة الماستر، كلية العلوم الاجتماعية والإنسانية، قسم علوم الإعلام والاتصال، جامعة عبد الحميد بن باديس – مستغانم.
14. الصالح، محمد. (2025). مهندس لدى شركة اتصالات الجزائر. (مقابلة شخصية).
15. سفيان. (2025). مهندس لدى فرع الأشغال العمومية تينركوك. (مقابلة شخصية).
16. CRSTRA. (2015). *دليل تقنيات مكافحة الإنسبال في الصحراء الجزائرية* .الطبعة الأولى، ISBN: 978-9931-438-05-2.
17. خليل، عماد محمد إبراهيم .(2016) .*أساسيات الجيولوجيا البيئية* .كلية العلوم، جامعة الزقازيق، جامعة مصر العربية.
18. مديرية الأشغال العمومية تيميمون. (2025). (وثيقة غير منشورة).
19. مديرية الحماية المدنية أدرار. (2025). (وثيقة غير منشورة).
20. مهداوي، محمد. (2025). النقيب، مديرية الحماية المدنية، تيميمون. (مقابلة شخصية).
21. مريقة، إبراهيم، ورحماني، كمال. (د.ت). "المساهمة في تحسين خصائص خرسانة رمل المحاجر بواسطة التصحيح المهني". مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر.
22. محمد، أحمد أطفيح ماهود. (د.ت). "استخدام الأدلة والمؤشرات الطيفية لمراقبة تغير الامتداد المكاني لظاهرة الكثبان الرملية في قضاء علي الغربي". جامعة البصرة، كلية التربية للبنات، قسم الجغرافيا.
23. "المعادن والصخور الضارة .(2008) ."*مجلة أسيوط للدراسات البيئية*، العدد 31، ص 101-118.
24. "استكشاف الأرض السائل". (د.ت).*manoa.hawaii.edu/exploringourfluidearth/physical/coast* .
25. المبادرة السعودية الخضراء.www.saudigreeninitiative.org. (2025). *Saudi Green Initiative* .
26. حليمي، عبد القادر علي. (د.ت) .*جغرافية الجزائر*، ص 88-90.

الأجنبية

1. Abdel Wahab, M. M., et al. (2010). "Dust storms and their impact on air quality in Egypt." *Journal of Environmental Sciences*, 22(6), 873–879. https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60192-7.
2. Alexander, D. (2013). "Approaches to risk and vulnerability: A review." *Disaster Prevention and Management*, 22(5), 429–441. https://doi.org/10.1108/DPM-10-2013-0178.
3. Al-Awadhi, J. M., Misak, R., & Omar, S. A. (2014). "Sand Control Measures in Kuwait." *Journal of Arid Environments*, 99, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.07.004.
4. Al-Dousari, A., & Pye, K. (2020). "Recent Advances in Dust and Sandstorm Mitigation in Kuwait." *Arabian Journal of Geosciences*, 13(5), 245.
5. Al-Hinai, K. G. (2009). "Sand encroachment and its effects on transportation infrastructure in Oman." *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(4), 282–289.
6. Al-Qurashi, A. H. (2017). "Management of sand encroachment in arid regions: A review." *Journal of Arid Environments*, 137, 1–10.
7. Aven, T. (2016). "Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation." *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1–13.
8. Bagnold, R. A. (1941). *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. London: Methuen.
9. Belostotsky, A., Britikov, N., & Goryachevsky, O. (2021). "Critical Review of Modern Numerical Modelling of Snow Accumulation on Roofs with Arbitrary Geometry." *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 17(4), 40–59.
10. Benazzouz, M. T., et al. (2017). "Sand drift potential in western Algerian Hautes Plaines." *Journal of Arid Environments*, 145, 81–90.
11. Bensouiah, R. (2004). "Politique Forestiere et Lutte Contre la Disertification en Algerie." *Foret Mediterranéenne*, 08.
12. Bessaoud, O. (2008). "Anthropic Actions and Desertification in Algeria." In *The Future of Drylands* (pp. 1–13). Springer.
13. Bolghobra, N., Biskri, A., & Sebaa, A. (2014). "Sand encroachment in Algerian Sahara: An environmental and economic disaster." *Journal of Environmental Science and Technology*, 7(4), 221–228.
14. Boudjemaa, H., et al. (2022). "Mapping potential desertification-prone areas in North-Eastern Algeria using logistic regression model, GIS, and remote sensing techniques." *Environmental Earth Sciences*, 81(3), 1–15.
15. Brooks, N. (2003). "Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework." *Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper*, 38, 1–16. https://www.researchgate.net/publication/252081968_Vulnerability_risk_and_adaptation_A_conceptual_framework.
16. Cardona, O. D., et al. (2012). "Determinants of risk: Exposure and vulnerability." In *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* (pp. 65–108). Cambridge University Press.
17. Chinese Windbreak & Sand Barrier supplier | Green (Tianjin) Technology Development Co., Ltd. (n.d.). Retrieved from https://windfence.goldsupplier.com/.
18. Cooke, R. U., Warren, A., & Goudie, A. S. (1993). *Desert Geomorphology*. London: UCL Press.
19. Cuny, H. (d.t.). *op. cit.*, p. 174.
20. De Martonne, E. (1926). "Une nouvelle fonction climatologique : L'indice d'aridité." *La Météorologie*.
21. Despois, J., et Raynal, R. (d.t.). *op. cit.*, p. 443.
22. Dong, Z., & Qian, J. (2018). "Remote sensing for monitoring sand dunes and sand encroachment." *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 12, 10–18.
23. Dong, Z., Qian, G., & Hugenholtz, C. H. (2017). "Wind Erosion and Sand Drift Control in Arid Regions." *Earth-Science Reviews*, 164, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.11.002.
24. El-Baghdadi, M., & Zribi, M. (2021). "Desertification Challenges in Southern Libya: A Case Study of the Kufra Basin." *Journal of Arid Environments*, 185, 104–112.
25. El-Baz, F. (1984). *The Desert Environment: Challenges and Opportunities*. Cambridge, MA: MIT Press.
26. El-Baz, F. (2001). "Sand Dunes and Their Control in Desert Environments." In *Desertification Control*, edited by A. Goudie, 45–60. Berlin: Springer.
27. El-Fandy, M. G. (1940). "On the nature of Khamsin depressions." *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 66(286), 323–336. https://doi.org/10.1002/qj.49706628607.
28. Fabre, J. (2005). *Geology of the Sahara and Sahel*. Developments in Earth Surface Processes, 8, 167–190.

29. FAO. (1988). *Cahier FAO conservation n° 18 : Manuel de fixation des dunes*. Rome. 68p.
30. FAO. (2016). *Desertification and Land Degradation Atlas*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
31. Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (5th ed.). SAGE Publications.
32. Garzanti, E., et al. (2021). "Provenance and recycling of Sahara Desert sand." *Earth-Science Reviews*, 216, 103606. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103606.
33. Goudie, A. S. (2013). *Arid and semi-arid geomorphology*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139024440.
34. Goudie, A. S. (2014). "Desert dust and human health disorders." *Environment International*, 63, 101–113. https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.10.011.
35. Grove, A. T., & Warren, A. (1968). "Quaternary landforms and climate on the south side of the Sahara." *The Geographical Journal*, 134(2), 194–208.
36. Hamed, Y. (2018). "Climate impact on surface and groundwater in North Africa: A global synthesis of findings and recommendations." *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 3, 25. https://doi.org/10.1007/s41207-018-0067-8.
37. Hugenholtz, C. H., & Wolfe, S. A. (2005). "Biogeomorphic Model of Dune Field Activation and Stabilization on the Northern Great Plains." *Geomorphology*, 70(1–2), 53–70. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.02.002.
38. KBR. (2014). *Sand Drift and Windblown Sand Containment Strategy Memorandum Report*. Public Works Authority Expressway Programme.
39. Kirkby, M. J. (1980). "The geomorphology of desert sand dunes: A review." *Progress in Physical Geography*, 4(2), 203–226.
40. Laity, J. J. (2008). *Deserts and Desert Environments*. Wiley-Blackwell. https://doi.org/10.1002/9781444300734.
41. Lancaster, N. (1995). *Geomorphology of Desert Dunes*. London: Routledge.
42. Lancaster, N. (1997). "Response of Eolian Systems to Late Pleistocene Climate Changes." *Quaternary Research*, 48(1), 1–17. https://doi.org/10.1006/qres.1997.1909.
43. Lhote, H. (d.t.). *Les Touaregs du Hoggar*, p. 39.
44. Li, J., & Xia, J. (2019). "Impact of sandstorms on optical fiber communication systems in desert areas." *Optical Fiber Technology*, 53, 102035.
45. Li, X., Wang, Y., & Al-Awadhi, J. M. (2020). "Remote Sensing and GIS Applications in Sand Dune Monitoring." *Remote Sensing of Environment*, 240, 111–123. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111123.
46. Liang, X., Zhang, & Yuan. (2020). "Successful Practice of Desert Economics: Kubuqi Experience and Business Model." *Edinburgh Research Explorer*, 35.
47. Lillouch, S. (2018). *Contribution à l'évaluation du risque sismique de la ville de Bejaia* (Thèse de doctorat non publiée). Université de Béjaïa, Béjaïa, Algérie.
48. Mainguet, M., Remini, B. (2004). "Le rôle des méga-obstacles dans la formation et le façonnement des ergs: quelques exemples du Sahara." Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface.
49. Marsh, F., & Webster, R. (2017). "Mitigating localised sand accumulation using wire rope safety barrier."
50. McCauley, J. F., et al. (1982). "Subsurface valleys and geoarcheology of the eastern Sahara revealed by shuttle radar." *Science*, 218(4576), 1004–1020.
51. Meftah, N., & Mahboub, M. S. (2019). "Spectroscopic characterizations of sand dunes minerals of El-Oued (Northeast Algerian Sahara) by FTIR, XRF, and XRD analyses." *Journal of Spectroscopy*, 2019, Article ID 4287539.
52. Middleton, N. J., & Sternberg, T. (2013). "Sand and dust storms: Impact mitigation." *Sustainability*, 5(6), 4666–4691. https://doi.org/10.3390/su5114666.
53. New Zealand Transport Agency (NZTA). (2017). *Specification for Road Safety Hardware Systems – Appendix A: Permanent Road Safety Barrier Systems*.
54. Ozenda, P. (1977). *Flore du Sahara*. Paris, France: éd. CNRS, p. 33.
55. Pye, K., & Tsoar, H. (1990). *Aeolian Sand and Sand Dunes*. London: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-5986-9.
56. Pye, K., & Tsoar, H. (2009). *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Berlin: Springer.
57. Sahnoune, F., et al. (2013). "Climate Change in Algeria: Vulnerability and Strategy of Mitigation and Adaptation." *Energy Procedia*, 36, 1286–1294.
58. Samiha Beddiaf, Small Chichi, Youcef Leghrieb. (2015). "The determination of some crystallographic parameters of quartz in the sand dunes of Ouargla, Algeria." *Energy Procedia*, 74, 1133-1139.

59. Schepanski, K., Tegen, I., & Macke, A. (2017). "Dust Transport from the Sahara Desert and Its Impacts." *Sustainability*, 9(6), 1053. https://www.mdpi.com/2071-1050/9/6/1053.
60. Sebaa, A-K., Berroussi, S., Bouhanna, M., & Benazouz, M-T. (2009). "Utilisation des méthodes traditionnelles de lutte contre l'ensablement dans le Bas-Sahara Algérien: le tas de remblai." *Journal Algérien des Régions Arides*, 8, 107–117.
61. Shi, P., & Qu, Z. (2016). "Desertification and Blown Sand Disaster in China." *Journal of Agricultural Sciences and Technology*, 18.
62. Shi, P., & Yan, P. (2015). "The Driving Force Analyses of the Blown-Sand Activity in Northern China." *Quaternary Sciences*, 28.
63. Sun, H., & Zang, R. (2014). *Zonation of Vegetation in the Practices of Ecological Restoration of China*. Science Press.
64. Sun, J., & Fang, J. (2015). "What Has Caused Desertification in China." *Scientific Reports*, 23.
65. Sutton, L. J. (1925). "Haboobs in the Sudan." *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 51(213), 25–30. https://doi.org/10.1002/qj.49705121304.
66. Tao, W. (2014). "Progress in Sandy Desertification Research of China." *Journal of Geographical Sciences*, 387–400.
67. Their of Aeolian Sand Dunes and Their Formation, Department of Geography and Environment, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva 84105, Palestine.
68. Thomas, D. S. G. (2011). "Desertification." In S. A. Elias (Ed.), *Encyclopedia of Quaternary Science* (2nd ed., pp. 690–698). Elsevier.
69. Turkeli, A. (2017). "Sand, sand additives, sand properties, and sand reclamation." *Foundry Technology*.
70. UNCCD. (1994). *United Nations Convention to Combat Desertification*. United Nations.
71. UNDP. (2015). *Human Development Report: Risk and Resilience*. United Nations Development Programme.
72. UNEP. (2019). *Global Environment Outlook 6*. United Nations Environment Programme. https://www.unep.org/resources/report/global-deserts-outlook.
73. Voisin, A-R. (2004). *Le Souf, monographie*. EL-Oued: EL Walid.
74. Wang, W. (2013). *Afforestation in Kubiqi Desert*. Inner Mongolia University Press, 22.
75. Wang, X., Zhang, C., & Dong, Z. (2015). "The Role of Climate Change in Sand Dune Dynamics." *Journal of Arid Environments*, 112, 45–53. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.09.002.
76. Wilson, I. G. (1971). "Desert sandflow basins and a model for the development of ergs." *The Geographical Journal*, 137(2), 180–199.
77. WMO. (2020). *State of the Global Climate 2020*. World Meteorological Organization.
78. Yanli, L., & Xia, H. (2020). "Desertification Control Practices in China." *Sustainability*, 15.
79. Yizhaq, H., Ashkenazy, Y., & Tsoar, H. (2007). "Why do active and stabilized dunes coexist under the same climatic conditions?" *Physical Review Letters*, 98(9), 098001. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.98.098001.
80. Zhang, J., Li, X., & Hugenholtz, C. H. (2018). "Sand drift control in desert regions: A review." *Geomorphology*, 300, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.09.028.
81. Zhang, K. C., Qu, J. J., Liao, K. T., Niu, Q. H., & Han, Q. J. (2010). "Damage by wind-blown sand and its control along Qinghai-Tibet Railway in China." *Aeolian Research*, 1(3), 143–146.

جدول المحتويات

مقدمة عامة : 5

الإشكالية: 8

الهدف من الدراسة 10

الفرضيات 11

منهجية البحث: 12

الأهداف 12
مراحل البحث 12
المنهجية 12
هيكلة البحث 12

اسباب اختيار الموضوع 13

الصعوبات والعراقيل 13

1. الصعوبات اللوجستية والميدانية 13
2. الصعوبات المتعلقة بالبيانات والمعلومات 13
3. الصعوبات المتعلقة بالتحليل والتفسير 14
4. صعوبات أخرى 14

الموقع الإداري لمنطقة الدراسة (تيميمون - البنود) 23

1 الموقع الإداري الرسمي 23
2 التقسيم الإداري التفصيلي 23
3 الحدود الإدارية للولايتين 25
4 خصائص منطقة البنود 25
5 خصائص منطقة تيميمون 25

مقدمة الفصل 16

1. لمفاهيم الأساسية 17

1.1 مفهوم الخطر 17
2.1 مفهوم الهشاشة (Vulnérabilité) 17
3.1 مفهوم الحدث المحتمل (Alea) 17
4.1 مفهوم المخاطر (Enjeux) 18
5.1 مفهوم الرمال 18
6.1 مفهوم زحف الرمال 18
7.1 مفهوم الجفاف 18
8.1 مفهوم المناطق الجافة وشبه الجافة 19
9.1 البيئة الصحراوية 19
10.1 الرياح 19
11.1 التصحر 21
12.1 توزيع الكثبان في العالم 22

2. الموقع الجغرافي والخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة 23

1.2 الموقع الجغرافي 23
2.2 التضاريس المحيطة بالطريق الوطني رقم 118 وتأثيرها على زحف الرمال 27
3.2 الخصائص الطوبوغرافية للمنطقة 29

3. المناخ في منطقة الدراسة 35

1.3 المناخ العام 35

2.3 التساقطات المطرية 35
3.3 الرطوبة والتبخر: 37
4.3 الحرارة 40
5.3 الرياح واتجاهاتها 42

4. النباتات في منطقة الدراسة وتأثيرها 45

5. ديناميكيات انتقال الرمال وتقييمها 45

1.3 مصادر الرمال 45
2.3 أنواع الكثبان الرملية 48
3.3 تقييم شدة زحف الرمال وخصائصها 53

6. خاتمة الفصل: 61

مقدمة : 64

1. خصوصيات مستعملي الطريق 65

1.1 منهجية إعداد وجمع البيانات 65
2.1 تحليل بيانات الاستبيان 65
3.1 خاتمة جمع الاستبيان 69

2. التحليل المكاني باستخدام أدوات (GIS) 70

1.2 دراسة تحليلية للمنطقة 70
2.2 تقسيم الطريق وتحديد المناطق المعرضة 80

3. التحديات التشغيلية والاقتصادية 83

1.3 جودة الطريق وتاريخ إعادة الهيكلة 83
2.3 الحوادث المرورية وشبكة الاتصال 87
3.3 التكاليف الاقتصادية لإزالة الرمال 90

خاتمة الفصل: 91

مقدمة: 93

1. التجارب الدولية في مكافحة التصحر وإلهامها للسياق المحلي 94

1.1 الصين 94
2.1 التجربة القطرية في مكافحة التصحر: دراسة حالة لتجربة الحواجز السلكية على طريق سلوى 97
3.1 المملكة العربية السعودية 98
4.1 الكويت: إدارة التحديات الصحراوية 99
5.1 ليبيا: مكافحة التصحر في الجنوب 99

2. الحلول المنفذة في الجزائر 100

1.2 الحلول التقليدية المتخذة (حاليا) 100
2.2 الحلول الحديثة وتجارب الباحثين: 104

3. التقنيات والحلول الحديثة لحماية الطريق 118 تحليل أنواع الرمال وتطبيق الحلول المناسبة تكييف 112

- التحليل متعدد المعايير MCDA 117

خاتمة الفصل: 120

الخاتمة العامة : 122

الملاحق 125

لمراجع والمصادر 129

جدول المحتويات 133