Journal of Nature, Life and Applied Sciences (JNSLAS) • Vol 9, Issue 3 (2025) • P: 38 – 14
https://journals.ajsrp.com/index.php/jnslas
ISSN: 2522-3356 (Online) • ISSN: 2522-3356 (Print)

Monitoring Sand Encroachment on Highways in the Qassim Region Using Remote Sensing and Geographic Information Systems

Ms. Fidaa Sulaiman Al-Omar*, Prof. Mohammed Ibrahim Al-Dughairi
College of Languages and Humanities | Qassim University | KSA

Received: 17/05/2025
Revised: 03/06/2025
Accepted: 22/06/2025
Published: 15/09/2025

* Corresponding author: alomar.fidaaa@gmail.com

Citation: Al-Omar, F. S., & Al-Dughairi, M. I. (2025). Monitoring Sand Encroachment on Highways in the Qassim Region Using Remote Sensing and Geographic Information Systems. *Journal of natural sciences, life and applied sciences, 9*(3), 14 – 38. https://doi.org/10.26389/AJSRP.M190525

2025 © AISRP • Arab Institute for Sciences & Research Publishing (AISRP), United States, all rights reserved..

• **Open Access**

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) license

Abstract: Sand encroachment is one of the most prominent environmental challenges affecting the infrastructure of land roads in the Kingdom of Saudi Arabia, as it leads to traffic disruption and increased accidents. The highways connecting Al-Qassim with Hail, Al-Qassim with Riyadh, and Al-Qassim with Al-Madinah Al-Munawarah are exposed to varying degrees of sand encroachment. This study aims to employ remote sensing RS and geographic information systems GIS to monitor and analyze sand encroachment along these roads during the period from 2014 to 2024, and to identify the most threatened areas, and propose effective solutions to reduce the impact of the phenomenon on the roads. The study adopted several scientific methodologies, including the spatial analytical method to monitor the geographical distribution of the phenomenon, the mathematical method to measure the spectral indices (NDSI, NDVI, BSI), the historical method to track temporal changes, and the descriptive analytical method to analyze the differences between the roads. The results revealed a relative decrease in the spread of sand dunes and soil exposure during the period from 2014 to 2024. Where the NDSI values ranged between (−0.43 to 0.70) in 2014, and decreased to (−0.51 to 0.55) in 2024, indicating a decrease in the extent of sand dune spread. BSI values also decreased from (−0.04 to 0.64) to (−0.01 to 0.58), indicating a decrease in the degree of soil exposure. The results showed that the Al-Qassim Riyadh road is the most affected, followed by the roads to Hail and Al-Madinah, and that the areas with low vegetation cover recorded the highest rates of sand encroachment. Areas that witnessed a significant increase in encroachment included Nafud Al-Sir and Al-Quwara, compared to more stable areas such as the Jabal Tumayyah area. In light of these results, the study recommends planting vegetation barriers on both sides of the highways, especially in areas with weak vegetation cover, establishing mechanical barriers in the areas most affected by sand encroachment, and implementing regular monitoring programs using remote sensing and geographic information systems to track sand movement and take appropriate preventive measures.

Keywords: sand encroachment, highways, Qassim, NDSI, BSI, NDVI.

رصد زحف الرمال على الطرق السريعة بمنطقة القصيم باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

أ. فداء سليمان العمر *، الأستاذ الدكتور/ محمد إبراهيم الدغيري
كلية اللغات والعلوم الإنسانية | جامعة القصيم | المملكة العربية السعودية

المستخلص: يعد زحف الرمال من أبرز التحديات البيئية التي تؤثر على البنية التحتية للطرق البرية في المملكة العربية السعودية، حيث يؤدي إلى تعطيل الحركة المرورية، وزيادة الحوادث. وتتعرض الطرق السريعة الواصلة بين القصيم وحائل، القصيم والرياض، والقصيم والمدينة المنورة، لدرجات متفاوتة من زحف الرمال. تهدف هذه الدراسة إلى توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد RS ونظم المعلومات الجغرافية GIS لرصد وتحليل زحف الرمال على امتداد هذه الطرق خلال الفترة من 2014 إلى 2024، وتحديد المناطق الأكثر تهديداً، واقتراح حلول فعالة للحد من تأثير الظاهرة على الطرق. اعتمدت الدراسة عدة مناهج علمية، شملت المنهج التحليلي المكاني لرصد التوزيع الجغرافي للظاهرة، والمنهج الرياضي لقياس المؤشرات الطيفية (NDSI، NDVI، BSI)، والمنهج التاريخي لتتبع التغيرات الزمنية، والمنهج الوصفي التحليلي لتحليل الفروقات بين الطرق. أظهرت النتائج انخفاضًا نسبيًا في انتشار الكثبان الرملية وانكشاف التربة خلال الفترة من 2014 إلى 2024. حيث تراوحت قيم مؤشر NDSI بين (0.43 – إلى 0.70) في عام 2014، وانخفضت إلى (0.51 – إلى0.55) في عام 2024، مما يدل على تراجع في امتداد الكثبان الرملية. كما تراجعت قيم مؤشر BSI من (0.04 – إلى 0.64) إلى (0.01 – إلى 0.58)، مما يشير إلى انخفاض في درجة انكشاف التربة. وبينت النتائج أن طريق القصيم الرياض هو الأكثر تأثرًا، تليه طرق حائل والمدينة، وأن المناطق ذات الغطاء النباتي المنخفض سجلت أعلى معدلات للزحف الرملي. وتم تحديد مناطق شهدت زيادة ملحوظة في الزحف مثل نفود السر والقوارة، مقابل مناطق أكثر استقرارًا مثل منطقة جبل طمية. وفي ضوء هذه النتائج توصي الدراسة بزراعة حواجز نباتية على جانبي الطرق السريعة، لا سيما في المناطق ذات الغطاء النباتي الضعيف، وإنشاء حواجز ميكانيكية في المواقع الأكثر تأثرًا بزحف الرمال، وتطبيق برامج مراقبة دورية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لمتابعة حركة الرمال واتخاذ التدابير الوقائية المناسبة.

الكلمات المفتاحية: زحف الرمال، الطرق السريعة، القصيم، NDSI، BSI، NDVI .

1- المقدمة:

تعاني المملكة العربية السعودية كغيرها من مناطق العالم في الآونة الأخيرة من سرعة التغير في كثير من الظروف المناخية وما ينتج عن هذه التغيرات من اخطار بيئية، وتعتبر الكثبان الرملية واحدة من أكبر المشكلات التي تواجه عمليات التنمية في الكثير من البلدان الواقعة في المناطق الجافة وشبه الجافة. فالكثبان الرملية هي تراكم وتجمعات لحبيبات الرمل على شكل تلال أو هضاب بفعل الرياح تحت تأثير الجاذبية وتحدث عمليات زحف الرمال في الأراضي الجافة وشبه الجافة وتعد إحدى علامات تدهور الأراضي لأنها تؤدي إلى التصحر (آل زينه،2019). وتتحرك الكثبان الرملية في المناطق التي تفتقر إلى الغطاء النباتي بشكل واسع تبعاً لاتجاه الرياح، وتزحف هذه الكثبان نحو المناطق الحضرية مما يشكل تهديدًا للبنية التحتية وخاصة شبكة الطرق، ولمواجهة هذا الزحف الخطير يمكن الاستفادة من تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في رصده وتحليل أنماطه والتخطيط الأمثل لإدارته والحد من آثاره (الخليف، ونحاس،2021). وتعد حركة الكثبان وزحف الرمال بوجه عام نحو الطرق والأراضي المستصلحة والقرى من أهم الأخطار الجيومورفولوجية التي تتعرض لها منطقة الدراسة ويرجع ذلك إلى تعدد مصادر الرمال، وضخامة الإمداد الرملي لهذه التجمعات الرملية، وذلك نظراً لقوة الرياح، وجفاف السطح، وقلة الأمطار، وقلة الغطاء النباتي (سعيد، وعبد الحفيظ،2011).

يركز هذا البحث على دراسة ومقارنة زحف الرمال وتأثيراته على ثلاث طرق سريعة في القصيم، وهي الطرق الواصلة بين القصيم وحائل، القصيم والرياض، و القصيم والمدينة المنورة، وذلك لتقديم حلول لإدارة هذه المشكلة بالاستفادة من تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، وكما تتيح فرصاً واسعة لتوظيفها في دعم توجهات التنمية الوطنية بما يتماشى مع رؤية المملكة 2030 وبما أن مشكلة زحف الرمال تشكل تهديدًا بيئيًا كبيرًا ومعوقًا رئيسيًا للتنمية، يهدف هذا البحث إلى تسليط الضوء على كيفية استخدام البرمجيات المتخصصة لتحليل صور الأقمار الصناعية لتحديد المناطق المهددة بزحف الرمال، مما يسهم في وضع خطط استباقية للتخفيف من تأثير هذه الظاهرة وتحقيق تنمية مستدامة في المناطق المتضررة.

مشكلة الدراسة:

يعد زحف الرمال من أبرز التحديات البيئية التي تؤثر على البنية التحتية للطرق البرية في المملكة العربية السعودية، إذ يؤدي إلى تعطيل الحركة المرورية، وزيادة مخاطر الحوادث، وتقليص العمر الافتراضي للطرق. ففي أبريل 2015 شهدت منطقة القصيم عاصفة رملية شديدة تسببت في انعدام الرؤية الأفقية مما أسفر عن وقوع عدد من الحوادث المرورية حيث تلقت غرفة عمليات الهلال الأحمر بالقصيم 44 بلاغًا لحالات متفرقة شملت حوادث سير ودهس بالإضافة إلى حالات إغماء ومشكلات تنفسية (صحيفة المناطق،2015).

تتعرض الطرق البرية السريعة الواصلة بين القصيم وحائل، القصيم والرياض، والقصيم والمدينة المنورة إلى تأثير زحف الرمال، مما يستدعي دراسة مقارنة لتحديد مدى تأثر كل طريق بهذه الظاهرة، وتتباين تأثير زحف الرمال بين هذه الطرق الثلاث بسبب اختلاف الظروف الجغرافية والجيومورفولوجية. لذا تبرز الحاجة إلى دراسة مقارنة بين هذه الطرق لتحديد مدى تأثر كل منها بزحف الرمال.

تهدف هذه الدراسة إلى توظيف التقنيات الحديثة مثل الاستشعار عن بعد (RS)ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)لرصد زحف الرمال وتحديد المناطق الأكثر تهديداً على امتداد هذه الطرق، مما يسهم في تحديد الطرق الأكثر تأثراً ووضع استراتيجيات فعالة للحد من التأثيرات المحتملة وضمان استدامة هذه الطرق الحيوية.

الاهداف:

تسعى الدراسة لتحقيق الأهداف التالية:

1. رصد زحف الرمال باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في منطقة الدراسة.
2. إجراء مقارنة لزحف الرمال على الطرق السريعة في منطقة الدراسة خلال الفترة (2014-2024).

تم اختيار هذه الفترة الزمنية لأنها تمثل مدى زمني متوسطاً (عشر سنوات) يتيح تتبع وتحليل التغيرات المكانية والزمانية في أنماط زحف الرمال، مما يساعد على فهم الاتجاهات العامة وتقييم تطور الظاهرة وتأثيرها على البنية التحتية، خصوصًا شبكة الطرق السريعة.

3. تقديم بعض الحلول الفعالة للحد من حركة الكثبان الرملية والتقليل من آثارها السلبة في منطقة الدراسة.

التساؤلات:

تسعى الدراسة إلى الإجابة عن التساؤلات التالية:

1- كيف تساهم تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في الكشف عن زحف الرمال في منطقة الدراسة؟

2- ما هي أوجه الاختلاف في زحف الرمال على الطرق السريعة في منطقة الدراسة خلال الفترة الزمنية (2014-2024)؟

3- ماهي الحلول الفعالة للحد من حركة الكثبان الرملية في منطقة الدراسة؟

أهمية الدراسة:

تبرز أهمية الدراسة من خلال ما يلي:

- تسهم هذه الدراسة في تسليط الضوء على ظاهرة زحف الرمال على الطرق السريعة في منطقة القصيم، من خلال رصدها وتحليلها واقتراح سُبل لإدارتها، وذلك لسد الفجوة البحثية المتعلقة بهذه الظاهرة.
- اعتمدا الدراسة على توظيف تقنيات حديثة الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية(GIS) ، مما يوفر أدوات دقيقة لرصد وتحليل زحف الرمال مقارنة بالأساليب التقليدية.
- تتماشى هذه الدراسة مع مستهدفات رؤية السعودية 2030، لا سيما في محور البيئة والتنمية المستدامة، عبر تقديم حلول علمية للحد من تأثير زحف الرمال على البنية التحتية والطرق السريعة.
- تسهم الدراسة في دعم مبادرة السعودية الخضراء، التي تهدف إلى مكافحة التصحر وزيادة الغطاء النباتي، مما يساعد في الحد من زحف الرمال وتأثيراته السلبية على الطرق والمجتمعات.
- تساعد الدراسة على تقديم توصيات عملية لصناع القرار في مجال التخطيط البيئي بالمنطقة، بهدف تحسين إدارة وصيانة الطرق السريعة، مما يساهم في تقليل الحوادث وضمان انسيابية الحركة المرورية.

حدود الدراسة:

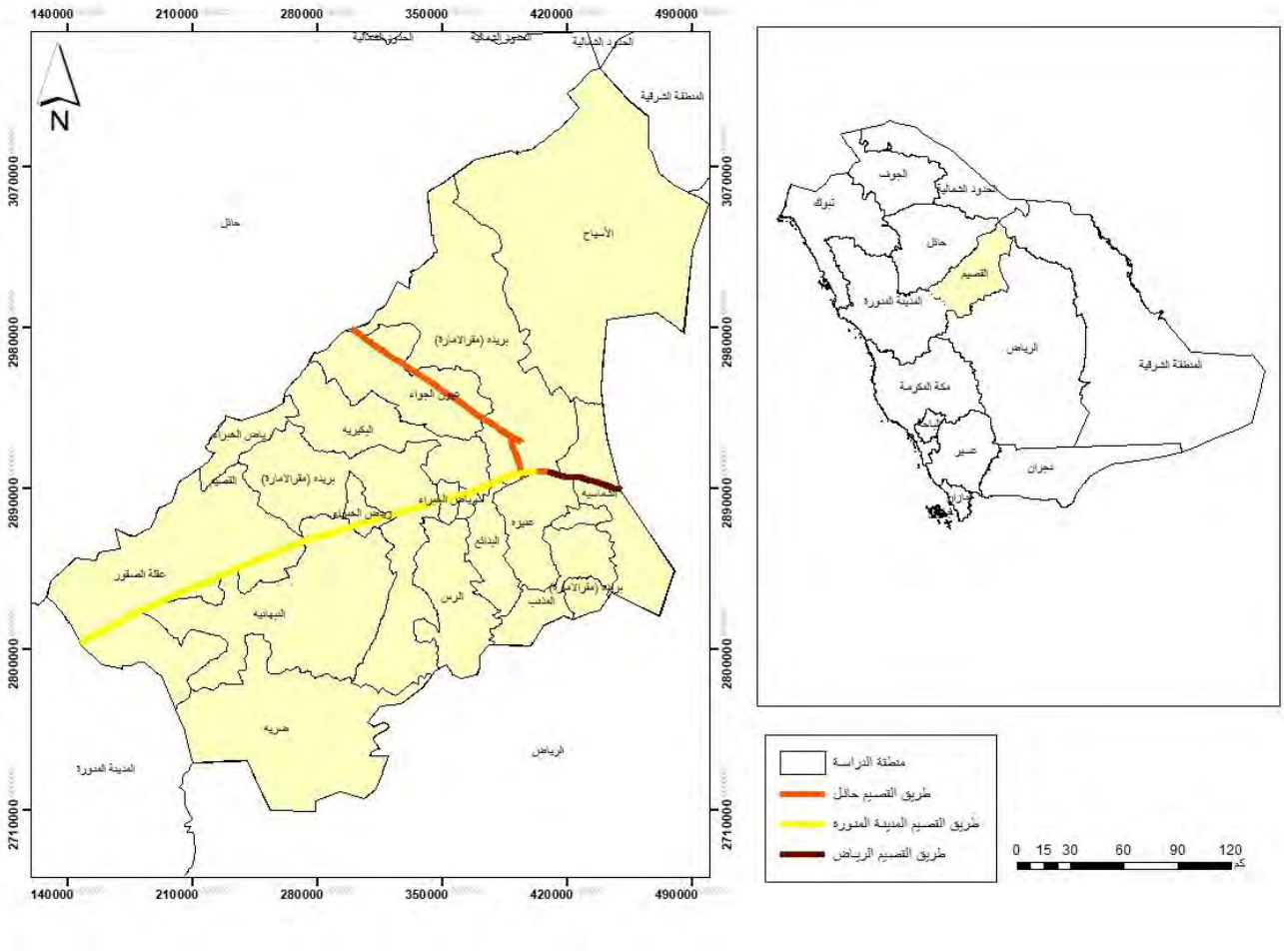
- **الحدود الموضوعية:** تركز هذه الدراسة في رصد زحف الرمال وذلك ضمن نطاق الطرق السريعة للقصيم باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية.
- **الحدود المكانية:** الطرق السريعة في منطقة القصيم وتشمل طريق القصيم وحائل، القصيم والمدينة المنورة، والقصيم والرياض.
- **الحدود الزمانية:** تغطي هذه الدراسة فترة زمنية مدتها عشر سنوات (2014- 2024) حيث تم اختيار هذه المدة لكونها فترة زمنية متوسطة كافية لرصد التغيرات وتحليل الاتجاهات بشكل دقيق لرصد زحف الرمال على الطرق السريعة في منطقة القصيم.

منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة في منطقة القصيم في الوسط الشمالي من المملكة العربية السعودية كما يوضح الشكل (1)، ويحدها من الشرق المنطقة الشرقية ومن الشرق والجنوب منطقة الرياض، ومن الشمال منطقة حائل والحدود الشمالية، ومن الغرب منطقتا المدينة المنورة وحائل، تتميز المنطقة بموقعها الجغرافي الذي يتوسط شمال المملكة العربية السعودية مما جعل معظم الطرق البرية التي تربط شبة الجزيرة العربية تمر عبرها، وتتبع لها إداريا 13 محافظة (غرفة القصيم، 2020، ص24). تقع فلكياً بين دائرتي العرض 45"24'26° و 40"28'18°شمالاً، وبين خطي الطول 40"41'09° و 25"44'41° شرقاً.

ويبلغ أقصى امتداد لها من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي أكثر من 400كم، كما يبلغ أقصى امتداد لها من الجنوب إلى الشمال قرابة300 كم²، واستناداً للخريطة الإدارية المعتمدة لمنطقة القصيم فإن مساحتها تصل نحو 73,000 كم²، وتمثل نحو 3.7% من مساحة المملكة، وهي بذلك تأتي في المرتبة الحادية عشرة من حيث المساحة بالنسبة إلى بقية المناطق الإدارية في المملكة (الزهراني،2007).

وقد قدر عدد سكان منطقة القصيم عام 2022م بنحو 1.336.179 نسمة أي ما يعادل 4.15% من اجمالي سكان المملكة وتحتل منطقة القصيم في المرتبة السابعة من حيث عدد السكان مقارنة بمناطق المملكة الأخرى (الهيئة العامة للإحصاء،2022).

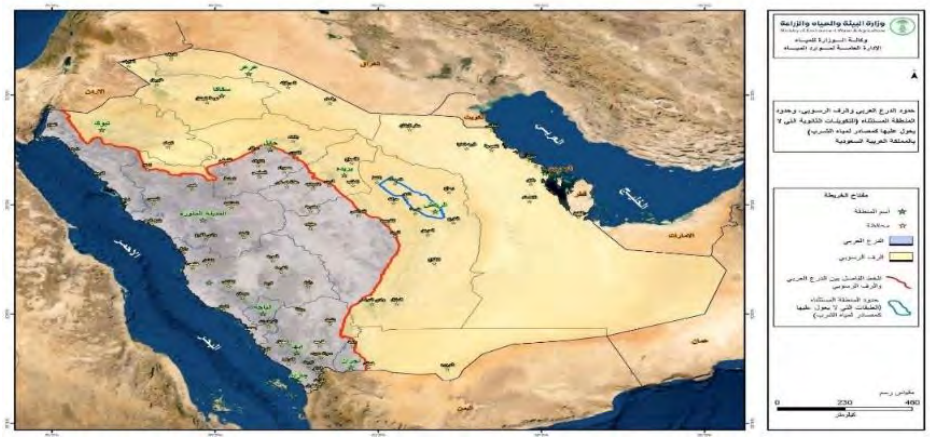


الشكل (1): منطقة الدراسة

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على وزارة الشؤون البلدية والقروية لعام 2019م باستعمال برنامج Arc Map

تمثل شبكة الطرق السريعة في منطقة القصيم محورًا حيويًا في الربط بين مختلف مناطق المملكة. وتظهر نتائج القياس باستخدام نظم المعلومات الجغرافية المسافات من مدينة بريدة إلى حدود منطقة القصيم في اتجاه الطرق الثلاث السريعة وقد بلغت المسافة نحو حدود القصيم باتجاه الرياض حوالي 45.6 كيلومتراً، ونحو حدودها باتجاه المدينة المنورة حوالي 262.4 كيلومتراً، في حين بلغت المسافة نحو الحدود الشمالية باتجاه حائل حوالي 118.2 كيلومتراً. ويعتبر الطريق السريع الذي يمر عبر منطقة القصيم ويصل إلى مدينة الرياض هو الرابط الأكثر أهمية في نظام الطرق السريعة في المملكة العربية السعودية، بينما تتمثل الطرق السريعة المهمة الأخرى طريق القصيم-المدينة المنورة في جهة الغرب، والقصيم-حائل في جهة الشمال، وهذا يبرز إحدى السمات الخاصة بمنطقة القصيم من حيث أنها تعتبر المعبر الوحيد الذي يربط شرق المملكة والدول المجاورة بالمدن المقدسة (وزارة الشؤون البلدية والقروية،2019).

يختلف الامتداد الجيولوجي والطبيعة الجغرافية في القصيم كما في الشكل (2). حيث يمر طريق القصيم المدينة المنورة في جزء من مساره عبر الدرع العربي، هو منطقة واسعة من الصخور التي تعود في معظمها إلى عصر ما قبل الكمبري، وهي أساساً صخور نارية متحولة تغطيها اللابات البركانية الحديثة (الوليعي،1429، ص.35). هذا الاختلاف في التركيب الجيولوجي ينعكس على مدى انتشار الرمال وتأثيرها على الطريق، حيث تكون المناطق الواقعة داخل الدرع العربي أقل عرضة لزحف الرمال مقارنة بالمناطق الصحراوية بسبب الطبيعة الصخرية للدرع العربي.



شكل (2) حدود الدرع العربي والرف الرسوبي في المملكة.

المصدر: وزارة البيئة والمياه والزراعة (2023).

اما تضاريس منطقة القصيم فتتميز بسطح هضبي متدرج، والذي تحدده حافات صخرية من شرقها إلى غربها، وتحتضن بينها بحاراً رملية متباينة مثل نفود الثويرات، والمظهور وكذلك نفود الغميس، ومن الظواهر المؤثرة في حركة الرمال بالمنطقة وادي الرمة حيث يخلف نماذج لإرسابات فيضيه، ويحفه عدد من الظواهر الريحية، كالأوشحة الرملية والنباك، إضافة لكثبان طويلة كرمال بريدة، واليتيمة، والجراد، ويمتد مجراه حتى يُطمر عند نفود العفجة، وبعدها يكمل مسيرته حتى يُطمر بفعل كثبان الثويرات القبابية، ورمال المظهور الطولانية بالقرب من بلدة النبقية (الدغيري،2013).

كما تغطي منطقة القصيم جزءاً من هضبة نجد تلك الهضبة التي لا تخلو بعض أجزائها من جبال تكون متسلسلة تارة، ومنفردة أحياناً. ويغلب على جبال القصيم في القطاع الغربي من المنطقة في مظهرها الجيولوجي تكوينات بازلتية وجرانتية(الجخيدب،2008). وهذه الارتفاعات تشكل حواجز طبيعية تؤثر في حركة الرياح، مما يساهم في احتجاز الرمال أو تغيير مساراتها. كما تساعد هذه الجبال في تكوين مناطق ظل للرياح، مما يُحفز ترسيب الرمال على جوانبها.

ولا يختلف مناخ القصيم عن مناخ وسط الجزيرة العربية، إذا تقع ضمن النطاق الجاف الذي يتميز بشدة الجفاف وقلة الأمطار، كما تتميز بارتفاع الحرارة صيفاً، وانخفاضها شتاءً، حيث يبلغ متوسط درجة الحرارة في الصيف حوالي 36 درجة مئوية، وفي الشتاء 20 درجة مئوية، ويسود في المنطقة الرياح الشمالية الشرقية والشمالية الغربية التي تهب في فصل الشتاء، بالإضافة إلى الرياح الجنوبية الغربية والجنوبية الشرقية صيفاً (غرفة القصيم،2020).

تؤثر عناصر المناخ بشكل مباشر على حركة وزحف الرمال في منطقة القصيم، حيث تُعد درجة الحرارة المرتفعة سبباً في زيادة تفكك التربة السطحية وجفافها، مما يجعلها أكثر قابلية للنقل بالرياح. أما الرياح، فتُعد العامل الأساسي في نقل الرمال، خصوصاً الرياح الشمالية والشمالية الغربية التي تسود خلال فصلي الشتاء والربيع، وتتميز بسرعات قد تصل إلى أكثر من 20 كم/س، ما يزيد من قدرة الرياح على تحريك الرمال وتشكيل الكثبان الرملية، خاصة في المناطق المكشوفة ضعيفة الغطاء النباتي. كما أن العواصف الرملية تزداد تكراراً خلال المواسم الانتقالية، ما يُسهم في تسارع عملية الزحف الرملي وتراكمه على الطرق والمنشآت المجاورة(Labban & Butt, 2021) .

2- الإطار النظري:

المصطلحات:

- الكثبان الرملية:

الكثيب الرملي (جمع كثبان) في الجغرافيا الطبيعية، هي كتل من الرمال تحركها الرياح ثم تلقيها هنا وهناك. تكثر الكثبان الرملية عادة في المناطق الصحراوية، حيث الرمال التي تجرفها الرياح فتغطي مساحات كبيرة من الأرض، ويطلق على المناطق الشاسعة من الكثبان المنتشرة في منطقة الصحاري اسم بحار الرمال ويزحف كثير من الكثبان عبر الأراضي ويتم هذا بفعل الرياح التي تنقل حبات الرمال من أحد جوانب الكثيب وتضعها على الجانب الآخر (البتانوني ،1995).

- التصحر:

التصحر هو عملية هدم أو تدمير للطاقة الحيوية للأرض والتي يمكن أن تؤدي في النهاية إلى ظروف تشبه ظروف الصحراء وهو مظهر من التدهور الواسع للأنظمة البيئية التي تؤدي إلى تقلص الطاقة الحيوية للأرض المتمثلة في الإنتاج النباتي والحيواني ومن ثمة التأثير في إعالة

الوجود البشري، وهو من الاثار السلبية الناتجة عن زحف الكثبان الرملية حيث يعتبر عملية هدم وتدمير للطاقة الحيوية للأرض ويتسبب في الفقر والنزوح والهجرة (علي واخرن،2022).

- زحف الرمال:

زحف الرمال هو انتقال حبيبات الرمال من منطقة إلى أخرى بفعل الرياح، مما يؤدي إلى تراكمها في مناطق معينة وتأثيرها السلبي على الزراعة والمباني والبنية التحتية (أبو الخير،1984).

- حواجز الرمال:

عبارة عن حواجز تقام في الأماكن التي تهب منها الرياح والرمال، وتعمل على التخفيف من سرعة الرياح وافقادها القدرة على الانحراف، وكذلك الحد من لزحف الرمال التي تتراكم على هذه الخطوط، مكونا بذلك حاجزاً طبيعياً من الهضاب الرملية الهدف منه حماية كل ما وراء هذه الخطوط(الحارثي،2004).

- التثبيت البيولوجي:

وهي عملية مكملة للتثبت الميكانيكي عن طريق إقامة غطاء شجري أو شجيري فوق الكثبان الرملية حيث تعمل الجذور على تماسك حبيبات الرمال وتحسين الخواص الفيزيائية للتربة وتوفير ظروف مناخية مناسبة(نوير،2009).

النظريات:

تعد البحار الرملية من أبرز المعالم الجيومورفولوجية التي نشأت نتيجة التغيرات المناخية خلال الزمن الرابع، حيث ظهرت العديد من النظريات لتفسير آلية تكوّن الرمال وزحفها عبر الزمن ومن أبرز هذه النظريات:

1- نظرية التغيرات المناخية الدورية:

تفترض هذه النظرية أن نشأة البحار الرملية في الربع الخالي والنفود الكبير تعود إلى فترات الجفاف المتعاقبة التي حدثت خلال العصر البلايستوسين، حيث لم تتراكم الرمال دفعة واحدة، بل ازدادت تدريجيًا بعد كل فترة جفاف تالية هذا التراكم التدريجي أدى إلى توسع مساحات الرمال مع مرور الزمن(الوليعي،1417).

2- نظرية إعادة التشكيل بفعل التعرية والنقل:

تشير بعض الدراسات إلى أن الرمال تعرضت لعمليات إعادة تشكيل كاملة خلال الزمن الرابع نتيجة التعرية المستمرة والنقل بواسطة الرياح والمياه، مما أدى إلى تكون البحار الرملية الحالية(الوليعي،1417).

3- نظرية تكوين البحار الرملية بفعل التصحر:

تفترض بعض الدراسات أن تكوين البحار الرملية كان مرتبطًا بظروف بيئية قاسية، حيث أدت فترات الجفاف الشديد إلى زيادة معدلات التعرية وتراكم الرمال في مناطق واسعة خصوصًا في الصحراء الكبرى وشبه الجزيرة العربية(الوليعي،1417).

- تصنيف الكثبان الرملية:

تختلف أنواع الكثبان الرملية كما تختلف أشكالها وخصائصها الجيومورفولوجية من مكان إلى آخر، نتيجة لاختلاف العوامل المؤثرة في تشكيلها وتطورها، ويمكن تمييز نمطين أو نوعين من الكثبان الرملية هما:

1- الكثبان الحرة:

هي كثبان طليقة، لا يرتبط تكوينها بحواجز طبوغرافية ظاهرة، وتعكس خصائص الرياح السائدة.

2- الكثبان المقيدة:

وهي على العكس من الكثبان الحرة، تتشكل في ظل تأثير عدد من العوامل منها: الحواجز الطبوغرافية، والغطاء النباتي، وشواطئ بعض البحيرات والسباخ (العوضي والدغيري،2017).

أشكال الكثبان الرملية:

- الكثبان العرضية:

وهي التي تمتد في وضع متعامد مع اتجاه الرياح، وينحدر الكثيب العرضي انحدارا هينا في جانبه المواجه للرياح بزاوية تتراوح بين 5-12درجة. وتبدو أسافل المنحدر في هذا الجانب مقعرة بعض الشيء، أما الجانب المظاهر للرياح فإنه ينحدر في البداية انحدارا شديدا، ثم يتلو ذلك انحدار هين نوعا بزاوية تتراوح بين 30 – 33 درجة، وتستمر الرياح في حمل الرمال من الجانب المواجه لها وإرسابها في الجانب المظاهر لها مادام الكثيب في دور التكوين(جودة،2003). كما ذكرت دراسة(الضبيحي،2020) تتواجد الكثبان العرضية في نفود الثويرات في منطقة الدراسة.

- الكثبان الهلالية (البرخان):

أكثر الأشكال انتشارا هي التي تصبح محاورها عمودية على اتجاه الرياح السائدة وتنشأ هذه الأشكال بفعل الرياح ذات الاتجاه الواحد وهذا النمط يشمل مدى واسعا من الأشكال الهلالية المعروفة والتي عادة تسمى برخان(عمار،2017). وتنتشر بعض الكثبان الرملية الهلالية في الأجزاء الشمالية والوسطى من نفود الثويرات(الضبيحي،2020).

- الكثبان الطولية (السيوف):

تتكون من تراكمات رملية مستطيلة تمتد في اتجاه مواز لاتجاه الرياح، ويتطور هذا الكثيب من الكثيب الهلالي، عندما يتغير اتجاه الرياح يبدأ أحد ذراعيه بالاستطالة مع اتجاه الرياح؛ ليكون الكثبان الطولية الذي يعد شكلها النهائي محصلة لرياح ثنائية الاتجاه، إحداها تكون رياحاً ذات اتجاه ثابت والأخرى رياحاً جانبية متعامدة عليها(المحسن،2013). تتشكل الكثبان الرملية الطولية نمطا بارزاً لرمال الدهناء في الأجزاء الشمالية من وادي الأجردي في منطقة الدراسة(الدغيري،2012).

- الكثبان القبابية:

عبارة عن كثبان رملية في شكل دائري أو شبه دائري أو بيضاوي متباينة في أحجامها وتتشكل الكثبان الرملية القبابية نتيجة تعدد اتجاهات الرياح السائدة، وتعتبر هي النمط السائد في شمال مدينة الزلفي(الضبيحي،2020).

الدراسات السابقة:

هدفت دراسة الدغيري (2012) بعنوان: (الأنماط المورفولوجية والتوزيعات اللونية للكثبان في صحراء الدهناء شمال منطقة القصيم)، الى معرفة أشكال الكثبان الرملية السائدة والاختلافات المكانية واللونية للرمال وأسباب تباينها الأمر الذي سيسهل فهماً أفضل في دراسة تراكماتها الحالية والقديمة في وسط المملكة العربية السعودية، وتناولت الدراسة بيانات العمل الميداني المكثف واستخلاص عينات سطحية خلال مواقع مختلفة لهذه الكثبان وتحليلها معمليا إضاقة الى استخدام تقنيات وأساليب الاستشعار عن بعد لتهيئة وتحليل واستخلاص البيانات من الصور الجوية التي تغطي رمال الدهناء، وأظهرت نتائج الدراسة ان هناك تغيراً تدريجياً في اتجاه كثبان صحراء الدهناء ناحية الشمال الشرقي، وأن النمط الطولي المتمازج مع كثبان متحولة ذات محاور شمالية شرقية هو النمط المورفولوجي السائد. اما في وادي الأجردي فكان النمط القبابي النجمي هن السائد، وهناك تركيزاً واضحاً في حمرة الكثبان الطولية في جهة الشمال الغربي من الدهنا.

هدفت دراسة ناصر آل زينه (2019) وعنوانها: (مراقبة زحف الرمال والتنبؤ بحركتها باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، في محافظة بدر، بمنطقة المدينة المنورة)، إلى مراقبة زحف الرمال وتحديد اتجاهاتها وتقييم اضرارها على المناطق السكنية (في محافظة بدر) باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد وتحليل الصورة الفضائية من القمر الصناعي لاندسات(Landsat TM) ، وأظهرت النتائج زيادة في عمليات زحف الرمال بمقدار ١٥٠متر مربع سنوي خلال الفترة بين عام ٢٠١٢ إلى عام ٢٠١٦ في منطقة بدر، وايضاُ أن منطقة الدراسة بشكل عام تتعرض لخطر كبير من زحف الرمال ، واوصت الدراسة حماية المنشآت الحيوية بالمحافظة من أخطار حركة الكثبان الرملية باستخدام وسائل تثبيت الكثبان الرملية المناسبة للمنطقة وتطوير الوسائل والطرق المستخدمة في عمليات مواجهة حركة الكثبان الرملية، والتنسيق والتعاون بين الجهات الحكومية ذات العلاقة المباشرة بمشكلة الانسياق الرملي لوضع خطط مستقبلية موحدة للحد من مشكلة زحف الرمال.

هدفت دراسة محمود عبيد (2019) وعنوانها: (تقدير ومراقبة الزحف الرملي على واحة القطيف باستخدام القياسات الحقلية ومرئيات الاستشعار عن بعد)، إلى رصد حركة الرمال عليها في السنوات الأخيرة بطرق مختلفة، وعلاوة على ذلك توفير قاعدة من المعلومات تكون بداية لدراسات مستقبلية عن الواحة في هذا المجال. لتحقيق أهداف الدراسة فقد اعتمد الباحث على ثلاث وسائل، تحليل البيانات الخاصة بالرياح في الفترة المحصورة بين عام 1991 وعام 2011، القياس الحقلي المباشر لمناطق مختلفة ومختارة من الواحة، تحليل لقطات لاندسات Landsat– 5TM في الفترة من 1985و 2017 كما استخدمت مرئيات سبوت 2017m 2.5 Spot-5. وتوصلت الدراسة إلى ان الرياح الشمالية هي الرياح السائدة التي تهب على واحة القطيف، لذا تعتبر الجهة الشمالية هي أكثر الجهات التي يحدث منها انسياق وهبوب الرمال على الواحة، يصل معدل الانسياق الرملي السنوي على المنطقة 11.06 م/3 متر عرضي خلال فترة رصد العناصر المناخية على الواحة(1991-2011م).وأوصت ضرورة تكثيف الدراسات عن زحف الرمال بواحة القطيف، يجب توخي الحذر عند انشاء المخططات العمرانية والتوسع الزراعي بالمنطقة، فيجب أن يسبق ذلك دراسات للحد من الزحف الرملي، ضرورة انشاء مركز دراسات للعواصف الرملية، تعرض التحليل والمعاجلة لتفادي الآثار البيئية السلبية على الواحة.

تناولت دراسة فرحان الجعيدي (2020) وعنوانها: (مراقبة زحف الرواسب الرملية الريحية على الأدوية المنحدرة باتجاه نفود الدهناء باستخدام مرئيات" LANDSAT" متعددة التواريخ)، بيانات القمر الصناعي الأمريكي لاندسات لمراقبة زحف الرواسب الرملية الريحية في وسط المملكة العربية السعودية للفترة من 1985-2019م وذلك بتطبيق أساليب المعالجة الرقمية. حيث استخدم أسلوب المؤشر الأفضل لاختيار

مركب النطاقات OIF دوراً مهما في تميز الرواسب الرملية الريحية عن الصخور الجيرية التي تقطعها الاودية. توصلت الدراسة إلى تقدير المعدل السنوي لزحف الرواسب الرملية في منطقة الدراسة بحوالي 29.79م/سنه من عام 1985-2019، واستدل من ذلك ان المنطقة شهدت بعد عام 2000م زحفاً للرمال يصل تقريباً الى نسبة60% مقارنة بنهاية فترة الثمانينات والتسعينات الميلادية من القرن الماضي والتي لا تتجاوز 40%.

هدفت دراسة كل من جيهان الخلف وفاتن نحاس (2021) وعنوانها: (توظيف التقنيات الجغرافية الحديثة في تحديد المناطق المهددة بزحف الرمال على الطرق الرئيسية حول مدينة الرياض)،إلى تحديد المناطق المهددة بزحف الرمال عبر تحديد اتجاهها ومدى أضرارها على شبكة الطرق الرئيسية بمدينة الرياض، واستخدمت هذه الدراسة التقنيات الجغرافية الحديثة من نظم المعلومات الجغرافية وبرمجيات تحليل صور الأقمار الصناعية الاستشعار عن بعد خلال الفترة من 1985إلى 2018م، وقد أظهرت النتائج تحديد مناطق تواجد الكثبان الرملية، وأمكن أيضاً حصر المناطق المهددة من شبكة الطرق الرئيسية في نطاقات محددة على بدايات شبكة الطرق لكل من طريق مكة المكرمة و يليها طريق مطار الملك خالد، و طريق القصيم المدينة المنورة. وأوصت الدراسة الى اهمية توظيف التقنيات الجيومكانية لتحديد تلك المواقع المهددة بالخطر، والحد من الرعي الجائر والذي كان نتيجة لزيادة أعداد الأبل وزيادة أسعارها في السوق، ومنع عمليات الاحتطاب للنباتات والشجيرات النامية في المنطقة وذلك باتخاذ الجهات المسؤولة وضع الأنظمة والتشريعات والقوانين والعقوبات الرادعة، واهمية استخدام وسائل تثبيت الكثبان.

تناول دراسة إبراهيم بكري (2022) وعنوانها: (زحف الكثبان الرملية وأثره على طريق العقير- الهفوف بالمملكة العربية السعودية باستخدام الاستشعار عن بعد)، حركة الكثبان الرملية على طريق العقير-الهفوف بواحة الأحساء بالمملكة العربية السعودية باستخدام تطبيقات الأقمار الصناعية والتحليل المكاني داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية بغرض تقدير حركة الكثبان الرملية في الفترة من 2001حتى 2019 م. وكذلك دراسة أحجام الرمال والآثار الناجمة عن زحف الرمال وطرق التثبيت للحد من تلك الحركة. وقد توصلت الدراسة إلى وجود ارتباط وثيق بين خصائص البيئة الطبيعية لمنطقة الدراسة ممثلة في مظاهر السطح – المناخ – النبات الطبيعي، وانتشار الكثبان ومعدلات حركتها على الطريق. وقد تباينت معدلات زحف الرمال السنوية تبعًا لاختلاف كل من (موقع القطاعات المختارة للعينات محل الدراسة، مظاهر السطح، وجود النبات الطبيعي، تباين أحجام الكثبان الرملية، تباين أحجام حبات الرمل)، حيث بلغت متوسطات حركة الكثبان 6.2 م/سنة خلال الفترة من 2001-2013، وبلغت 9.5 م/سنة خلال الفترة من 2013-2019 ، كما بلغت 11.1م/سنة خلال الفترة من 2013-2018.وتوصى الدراسة بضرورة التوسع في عمليات تثبيت الكثبان بواحدة من الطرق المناسبة الصديقة للبيئة مثل التثبيت الميكانيكي والبيولوجي، مع ضرورة زراعة سياج شجري حول الطريق للحد من سرعة الرياح ومعدلات نقل الرواسب.

هدفت دراسة نورة الشهري (2024) وعنوانها: (جيومورفولوجية الكثبان الرملية وأثرها على الأنشطة البشرية في جنوب شرق مدينة جدة، المملكة العربية السعودية)، إلى معرفة الخصائص المورفولوجية للكثبان الرملية في منطقة الدراسة، من حيث أنواعها وعوامل نشأتها وتغيراتها الزمنية والمكانية، والتنبؤ بحركتها وتقييم نشاطها المورفوجيني خلال الفترات المختلفة وإبراز الأضرار الناجمة عنها باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. اعتماداً على الصور الجوية عالية الدقة لفترات مختلفة والزيارات الحقلية. واتبعت الدراسة المنهج التاريخي ومنهج التحليلي الوصفي. وأثبتت الدراسة أن للعوامل الطبيعية وخاصة الأحوال المناخية الجافة ووقوع المنطقة ضمن المناخ الجاف الصحراوي، قد ساهم في عملية تدهور التربة وتعريتها ونقلها بفعل الرياح، ومن ثم تكوين الكثبان الرملية. وتبين أن للعمليات المورفوديناميكية السائدة في منطقة الدراسة الأثر البالغ في تكوين الكثبان الرملية. وتوصي الدراسة إلى ضرورة التركيز على الدراسات الجيومورفولوجية والمتابعة المستمرة للتغيرات البيئية في المنطقة وتطويرها باستخدام التقنيات والأساليب الحديثة وحماية المنشآت الحيوية من أخطار حركة الكثبان الرملية عن طريق وسائل تثبيتها التي تتناسب مع الظروف المحلية.

دراسة برادهان وآخرون (Pradhan, et al., 2018) وعنوانها :(تقييم مخاطر الكثبان الرملية في منطقة سبها، ليبيا باستخدام صور Landsat 8، MODIS، ومحرك جوجل إيرث) تناولت الدراسة تقييم مخاطر الكثبان الرملية في منطقة سبها الواقعة في الجنوب الغربي من ليبيا باستخدام صور Landsat 8، MODIS، ومحرك Google Earth Engineهدفت هذه الدراسة إلى تقييم المخاطر الناتجة عن الكثبان الرملية من خلال تحليل مجموعة من العوامل المؤثرة مثل الارتفاع، هطول الأمطار، نوعية التربة، اتجاه الرياح، والغلاف الأرضي.توصلت الدراسة إلى أن الجزء الجنوبي من منطقة الدراسة لديه فرصة أكبر لحدوث الكثبان الرملية مقارنة بالجزء الشمالي، في حين أن أعلى منطقة للمخاطر تقع في الجزء الأوسط حيث تتواجد الأراضي الحضرية و الزراعية .أظهرت النتائج أن أكثر من 200 كم² من منطقة الدراسة تقع ضمن مناطق عالية وعالية جدًا المخاطر بسبب زحف الكثبان الرملية.

دراسة جوميز وآخرون (Gomez, et al., 2018) وعنوانها: (اكتشاف المناطق المعرضة لاختراق الرمال باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية في نواكشوط، موريتانيا) تناولت الكشف عن المناطق المعرضة لزحف الرمال في نواكشوط باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) .هدفت الدراسة إلى تطوير مؤشر الضعف لتقييم المناطق الأكثر عرضة لزحف الكثبان الرملية في المدينة بناءً على تحليل بيانات الاستشعار عن بعد مثل صور Sentinel 2وSentinel 1 اعتمد المؤشر على الخصائص

الجغرافية والبيئية للمنطقة، مثل اتجاه الرياح، شدة الرياح، نوعية التربة، الارتفاع، واستخدامات الأراضي من خلال هذا التحليل، توصلت الدراسة إلى أن أكبر مناطق الضعف تقع في الجزء الشمالي الشرقي من نواكشوط، حيث الظروف البيئية المحلية تؤدي إلى زيادة تعرض هذه المناطق لزحف الرمال. كما أظهرت النتائج زيادة التأثير في الجزء الشرقي والشمالي الشرقي من المدينة، مما يشير إلى ضرورة اتخاذ تدابير وقائية لتقليل تأثير زحف الرمال على السكان والبنية التحتية.

يتضح من استعراض الدراسات السابقة تعدد الأساليب والتقنيات المستخدمة في رصد وتتبع زحف الرمال، سواء باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد أو القياسات الحقلية أو التحليل المكاني في بيئات نظم المعلومات الجغرافية. كما اعتمدت هذه الدراسات على مناهج متعددة، مثل المنهج التحليلي، والمنهج التاريخي، والمنهج الوصفي. وبالرغم من تنوع البيئات المدروسة، فإن النتائج أكدت وجود ارتباط وثيق بين الخصائص الجغرافية لكل منطقة وشدة تأثرها بزحف الرمال. كما تبين أن هناك قسماً كبيراً من الدراسات السابقة التي تم عرضها تتشابه مع الدراسة الحالية من حيث استخدام بعض الوسائل الحديثة لتقييم ورصد الكثبان الرملية، مما يعكس أهمية هذه الأدوات في فهم الظاهرة والتعامل معها.

ولمزيد من الإيضاح، يُبيّن الجدول التالي مقارنة بين الدراسات السابقة والدراسة الحالية

جدول (1) مقارنه الدراسات السابقة بالدراسة الحالية

الدراسة	المنطقة	الفترة الزمنية	البيانات / المؤشرات	أبرز النتائج	الفارق مع الدراسة الحالية
آل زينه (2019)	بدر (المدينة المنورة)	2012–2016	Landsat TM، NDVI، NDSI، LST	زيادة 150 م²/سنة بزحف الرمال	لم تتناول الطرق
الجعيدي (2020)	نفود الدهناء	1985–2019	Landsat OIF	تقدير المعدل السنوي للانسياق الرملي 29.79 م	ركز على الأودية، وليس الطرق
الخلف ونحاس (2021)	الرياض	1985–2018	Landsat شبكة طرق، PCA، NDVI، NDSI	تم حصر المناطق المهددة، وكان أخطرها طريق مكة المكرمة	لم تستخدم كشف التغير الزمني
بكري(2022)	طريق العقير–الهفوف	2001–2019	Landsat Sentinel-2	تباين في معدل الزحف 6.2–11.1 م/سنة	ركز على طريق واحد فقط، واستعملت الدراسة الميدانية
الدراسة الحالية	طريق القصيم وحائل طريق القصيم والرياض طريق القصيم والمدينة المنورة	2014–2024	Landsat، شبكة طرق، NDVI، NDSI، BSI	انخفاضًا نسبيًا في انتشار الكثبان الرملية و انكشاف التربة أن طريق القصيم الرياض هو الأكثر تأثرًا، تليه طرق حائل والمدينة المنورة	

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على الدراسات السابقة المذكورة

ومن خلال هذا الجدول، يتبين أن الدراسة الحالية تنفرد بعدة جوانب، منها التركيز على رصد زحف الرمال على الطرق السريعة في القصيم باستخدام مؤشرات كمية مكانية(NDVI/NDSI/BSI) ، وتغطية زمنية تمتد من عام 2014 حتى 2024، مما يسهم في تطوير فهم أعمق لهذه الظاهرة ووضع استراتيجيات فعالة للحد من آثارها، وبالتالي تُعد هذه الدراسة استكمالاً وتطويرًا نوعيًا لما سبقها من أبحاث.

جمع البيانات ومصادرها:

لتحقيق أهداف الدراسة تم جمع بيانات تشمل المرئيات الفضائية لمنطقة الدراسة خلال شهر أغسطس لعام 2014 وعام2024 من موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS) والبيانات الجغرافية المتعلقة بالطرق السريعة الثلاث وتشمل طريق القصيم وحائل، القصيم

والرياض، القصيم والمدينة المنورة من قاعدة بيانات OpenStreetMap(OSM) تساعد هذه البيانات في تحليل زحف الرمال حيث تم اختيارها لتكون متوافقة مع تقنيات نظم المعلومات الجغرافية وفيما يلي تفاصيل البيانات المستخدمة في الدراسة:

البيانات الأولية:

- المرئيات الفضائية:

تم استخدام المرئيات الفضائية من القمر الصناعي Landsat-8وLandsat-9(Level-2) نظرًا لما توفره من دقة مكانية تبلغ 30 مترًا، بالإضافة خضعت لعمليات تصحيح إشعاعي وجوي وهندسي مسبقاً بواسطة وكالة USGS تضمن هذه المعالجة دقة عالية في الانعكاسات السطحية وتساعد في تحسين موثوقية التحليل الطيفي (USGS,2022). تم تنزيل سبع مرئيات فضائية لتغطية منطقة الدراسة بشكل كامل وقد تم اختيار المرئيات الملتقطة خلال شهر أغسطس لعام 2014 و2024 وذلك لكونه من أشهر فصل الصيف التي تتميز بظروف جوية أكثر استقرارًا مما يسهم في تمييز الكثبان الرملية بوضوح مع غياب تأثير الغطاء النباتي. تم تحميل المرئيات من المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)عبر الموقع الرسمي بصيغة تتناسب مع معايير المعالجة والتحليل في نظم المعلومات الجغرافية. وللتحقق من دقتها المكانية، أُجريت مقارنة بصرية دقيقة بين المعالم الثابتة (كالطرق والتقاطعات والخطوط الزراعية) الظاهرة في مرئيات Landsat ومواقعها في الطبقة المرجعية عالية الدقة(World Imagery Basemap) ضمن بيئة ArcMap، باستخدام أداة القياس(Measure Tool) وأظهرت النتائج تطابقًا شبه تام، إذ كانت الفروقات ضمن حدود بيكسل واحد (أي أقل من 30 مترًا)، مما يعكس توافقًا مكانيًا عالي الدقة ويُعزز موثوقية التحليل المكاني في الدراسة.

- بيانات (Shapefile):

تم الحصول على بيانات الطرق السريعة وحدود منطقة الدراسة (Shapefile)من قاعدة بيانات OpenStreetMap (OSM)عبر موقع Geofabrik، والذي يوفر بيانات جغرافية محدثة بصيغ مناسبة للتحليل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.

البيانات الثانوية:

- بيانات الموقع الجغرافية للطرق السريعة في القصيم (وزارة الشؤون البلدية والقروية).

3- منهجية الدراسة:

من أجل تحقيق أهداف الدراسة تم الاعتماد على المناهج التالية:

المنهج التحليل المكاني وهو الذي يستخدم لتحليل التشابهات والاختلافات المكانية لإبرازها (مصلحي،1984). تم اعتماد المنهج في هذه الدراسة بشكل أساسي لرصد المناطق المتأثرة بزحف الرمال على الطرق السريعة المختلفة في منطقة الدراسة، وتحليل التوزيع الجغرافي لهذه الظاهرة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، مما يساعد في تحديد مواقع التأثر بدقة وتقييم مدى انتشار الرمال على الطرق.

المنهج الرياضي يعنى بقياس المتغيرات وتحليل العلاقات بين الظواهر باستخدام الأدوات والنماذج الإحصائية والرياضية، ويستخدم في الدراسات التي تتطلب دقة في القياس ووضوحًا في النتائج (عليان، وغنيم،2010). اعتماد لحساب المؤشرات الطيفية مثل

- مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI:

مؤشر "NDSI" Normalized difference sand index قائم على ناتج قسمة كثافة نطاق الأشعة تحت الحمراء القصيرة والأشعة الحمراء من المرئية الفضائية، حيث يستخدم في الكشف عن وجود الكثبان الرملية والرمال الزاحفة.

ويحسب من المعادلة الرياضية التالية:

$$NDSI = SWIR2-R / SIR2+R$$

حيث إن:

SWIR2 :هي الأشعة تحت الحمراء القصيرة والتي تحتل النطاق (band7:2.08-2.35 µm).

R : هي الأشعة الحمراء (band 3: 0.63-0.069 µm) من الطيف الكهرومغناطيسي (صالح وآخرون،2020).

$$NDSI =(B7-B3) / (B7+B3)$$

- مؤشر اختلاف الغطاء النباتي NDVI:

يعد من أحد أشهر التقنيات المستخدمة لاستخراج مناطق تواجد النبات الطبيعي، وتتراوح قيم مؤشر الغطاء النباتي بين (-1،1) فكلما زادت قيمة مؤشر الغطاء انباتي واقتربت من 1 صحيح زادت كثافة الغطاء النباتي، وكلما قلت فيمة مؤشر الغطاء النباتي واقتربت من-1 انعدم الغطاء النباتي (الزبيدي،2015).

يحسب مؤشر اختلاف الغطاء النباتي من خلال المعادلة التالية:

$$NDVI = NIR-R / NIR+R$$

حيث ان:

NIR: الأشعة تحت الحمراء القريبة (Band 4: 0.76-0.90 µm).

R: الاشعة الحمراء (band 3: 0.63-0.069 µm) (Meeragandhi et al.2015).

$$NDVI =(B5-B4) / (B5+B4)$$

- مؤشر التربة المكشوفة BSI:

يجمع بين النطاقات الزرقا والحمراء والأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) والأشعة تحت الحمراء القصيرة الموجة (SWIR) لالتقاط الاختلافات في التربة. حيث يتم استخدام نطاقات SWIR والنطاقات الحمراء لتحديد التركيب المعدني للتربة، بينما يتم استخدام النطاقات الزرقاء وتحت الحمراء القريبة NIR لتعزيز وجود الغطاء النباتي. يستخدم هذا المؤشر لرسم خرائط التربة وتحديد كثافة المحاصيل ويحسب من خلال المعادلة التالية: (بوبكر واجالي،2023).

$$BSI = (Red+SWIR)-(NIR+Blue) / Red+SWIR)+(NIR+Blue)$$

حيث ان:

R : هي الأشعة الحمراء (band 4: 0.63-0.069 µm)

SWIR :هي الأشعة تحت الحمراء القصيرة الموجة (band6:1.55-1.75 µm).

NIR: الأشعة تحت الحمراء القريبة (Band 5: 0.85-0.88 µm).

Blue: الاشعة الزرقاء (band 2: 0.45-0.51 µm). (Diek et al .2017)

$$BSI = (B6+B4-B5+B2) / (B6+B4+B5+B2)$$

تتراوح قيم هذا المؤشر بين (1، -1) وتم تصنيفه بناء على مدى تغطية النبات للتربة والتي تعتبر ابسط طريقة لتحديد نوع الغطاء الأرضي والتي على أساسها قسمت الخريطة الى نوعين من غطاء الأرض. حيث أن القيمة الإيجابية هي التي تمثل الترب المكشوفة والسالبة هي الترب الغير المكشوفة. (بوبكر واجالي،2023).

وذلك لقياس مدى انتشار الرمال وكثافة الغطاء النباتي وتعرية التربة في المناطق المحيطة بالطرق السريعة في منطقة الدراسة.

كما تم اعتماد المنهج التاريخي في هذه الدراسة نظرًا لأهمية تتبع زحف الرمال خلال الفترة المدروسة، حيث يساعد هذا المنهج في تحليل مدى التغير في امتداد الرمال وتأثيرها على الطرق السريعة عبر الزمن. يركز المنهج التاريخي على دراسة أحداث وظواهر تمت في الماضي ومازالت تحدث في الحاضر ليقوم بتحليل وتفسير بيانات ومعلومات (عليان، وغنيم،2010).

المنهج الوصفي التحليلي وهو دراسة الظاهرة كما هي على الواقع، ووصفها وصفاً دقيقاً ويعبر عنها كيفاً بتوضيح خصائصها (عتلم،2018). وتم اعتماد المنهج في وصف تأثير زحف الرمال على الطرق السريعة في منطقة الدراسة وتحليل الفروقات بينها بناءً على نتائج التحليل المكاني والتاريخي، مما يسهم في تقديم توصيات علمية فعالة للتعامل مع هذه الظاهرة.

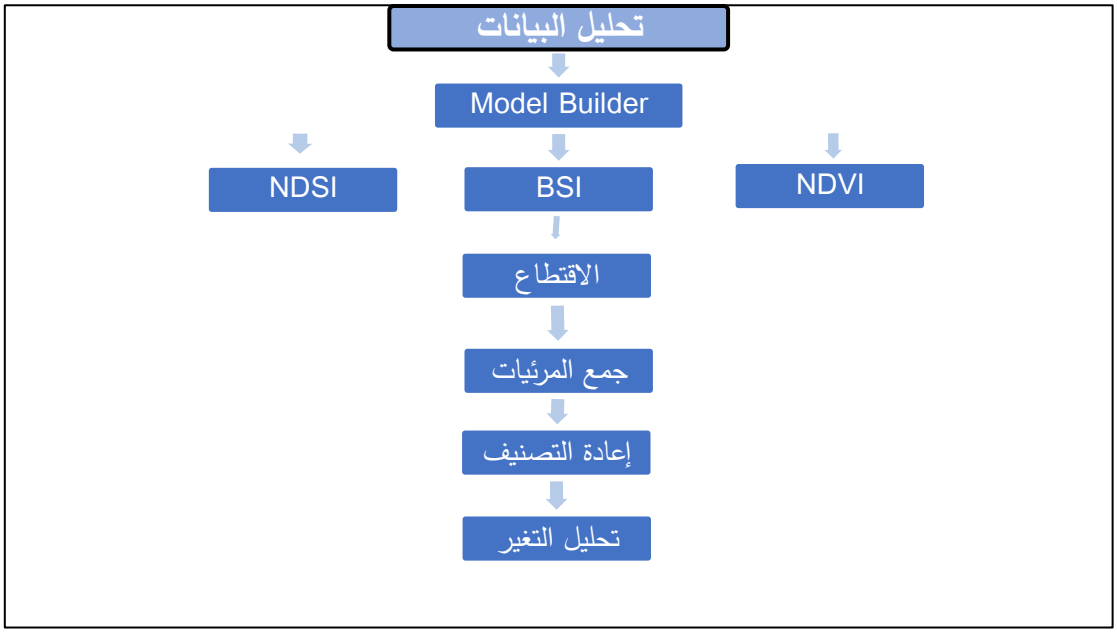
تحليل البيانات:

يعد تحليل البيانات خطوة أساسية في دراسة زحف الرمال، حيث يساهم في فهم مدى تأثير زحف الرمال على الطرق السريعة في منطقة الدراسة، اعتمد هذا التحليل على معالجة البيانات المكانية المستمدة من تقنيات الاستشعار عن بعد.

تشمل عملية تحليل البيانات مراحل محددة باستخدام Model Builder تبدأ باستخراج المؤشرات التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI ومؤشر التربة المكشوفةBSI واختلاف الغطاء النباتي NDVI وثم الاقتطاع لحدود منطقة الدراسة وبعد ذلك جمع المرئيات الفضائية وإعادة تصنيف ناتج المؤشرات الطيفية وبعدها حساب تحليل التغير، باستخدام برنامج Arc Map 10.4 لتحليل والمعالجة الذي يوفر أدوات متقدمة لتحديد مدى انتشار الرمال وتحليل تأثيرها على شبكة الطرق السريعة، واقتراح الحلول المناسبة للحد منها وذلك وفق النحو التالي:

- التحليل والمعالجة المرئيات الفضائية لغرض الحصول على نتائج الأدلة والمؤشرات الطيفية باستخدام أداة Map Algebra-Raster (Calculator).
- اقتطاع المرئيات الفضائية باستخدام shapefile لحدود منطقة القصيم في برنامج Arc Map باستخدام الأداة (Extract by Mask).
- جمع المرئيات الفضائية أجريت عملية جمع المشاهد الخاصة بمنطقة الدراسة وتمت هذه المرحلة بضم اللوحات المتجاورة التي تغطي منطقة الدراسة في لوحة واحدة من خلال أداة (Mosaic to New Raster).

- إعادة تصنيف ناتج المؤشرات الطيفية حيث تم تصنيف القيم إلى 3 فئات لكي يساعد في تسهيل تحليل البيانات وتفسيرها وإمكانية التمييز باستخدام الأداة (Reclassify).
- تحليل التغير
- تحويل التصنيف المؤشر من RasterإلىVector الى نوع مضلع (Polygon) باستخدام أداة(Raster to Polygon) .
- استخراج فئة الرمال ذات التغطية العالية تم استخدام أداة (Select) لاستخراج الفئة الخاصة بالزحف الرملي ذات الكثافة العالية بناءً على قيمة التصنيف وتم إنشاء طبقة مستقلة تمثل فقط مناطق الرمال ذات الكثافة العالية.
- تحليل التغير أجريت عملية مقارنة بين الفترة (2014-2024) باستخدام أداة (Erase) لتحديد المناطق التي شهدت تغيرًا في الامتداد الرملي (تزايد-تناقص-استقرار).



شكل (3) نموذج لتحليل بيانات الدراسة

المصدر: عمل الباحثة

تم التحقق من نتائج التصنيف بأسلوب غير مباشر، من خلال استخدام صور فضائية عالية الدقة من منصةGoogle Earth ، وذلك بمقارنة مخرجات التصنيف البصري والآلي مع المعالم الجغرافية الظاهرة في الصور الجوية لنفس الفترات الزمنية. كما تم الرجوع إلى دراسات سابقة تناولت نفس المنطقة ومناطق ذات ظروف بيئية مشابهة، بهدف التأكد من توافق نتائج التصنيف مع الأنماط المعروفة مسبقًا للتغيرات المكانية.

4- التحليل والمناقشة:

- رصد التغير للكثبان الرملية في منطقة القصيم خلال الفترة (2014-2024):

ان توظيف التقنيات الجغرافية الحديثة مكنت من تحديد تواجد وانتشار الكثبان الرملية في منطقة القصيم، بالاعتماد على مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI وهو مؤشر يستخدم لرصد توزع الكثبان الرملية ومتابعة تغير مساحتها مع مرور الزمن. حيث تم تصنيف الكثبان الرملية إلى 3 فئات وهي تغطية رملية منخفضة، تغطية رملية متوسطة وتغطية رملية عالية، حيث تزداد مساحتها في مناطق ويتقلص في أخرى، وتم الاعتماد ايضاً على مؤشر التربة المكشوفة BSI لمساعدته في التمييز بين الاسطح المكشوفة مقارنه بالأسطح الغطاء مما يعزز دقة التحليل، وتبعاً للمدة الزمنية التي اعتمدتها الدراسة تم دراستها على فترتين حسب المرئيات المستخدمة كالاتي:

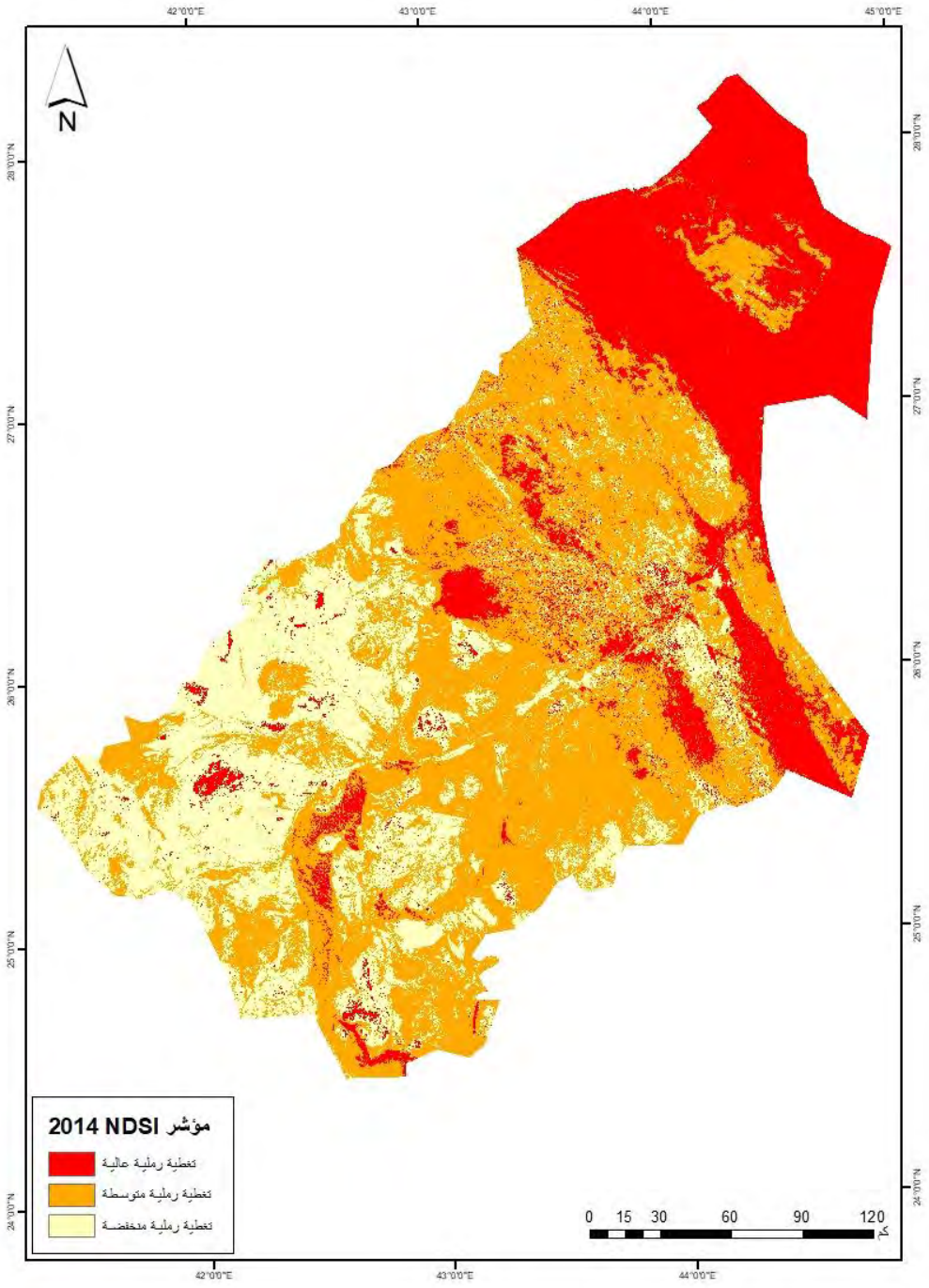
- توزيع الكثبان الرملية في منطقة القصيم لعام 2014:

باستخدام مرئيات Landsat 8 تمكن من تحليل توزيع الكثبان الرملية في منطقة الدراسة، يتبين من شكل (4) ناتج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSIلعام 2014 ان هناك تبايناً في انتشار الكثبان الرملية، ومن خلال تحليل الشكل تمكن من معرفة مواقع انتشار الكثبان وتوزيعها على النحو التالي:

تتركز المناطق ذات التغطية الرملية العالية في الجزء الشمالي الشرقي من منطقة الدراسة، وتبلغ مساحتها نحو18362،53كم^2. كما ذكر في دراسة (الدغيري،2012) هناك تغير تدريجي في اتجاه محاور الكثبان ناحية الشمال الشرقي في منطقة الدراسة وكذلك تغير مورفولوجي

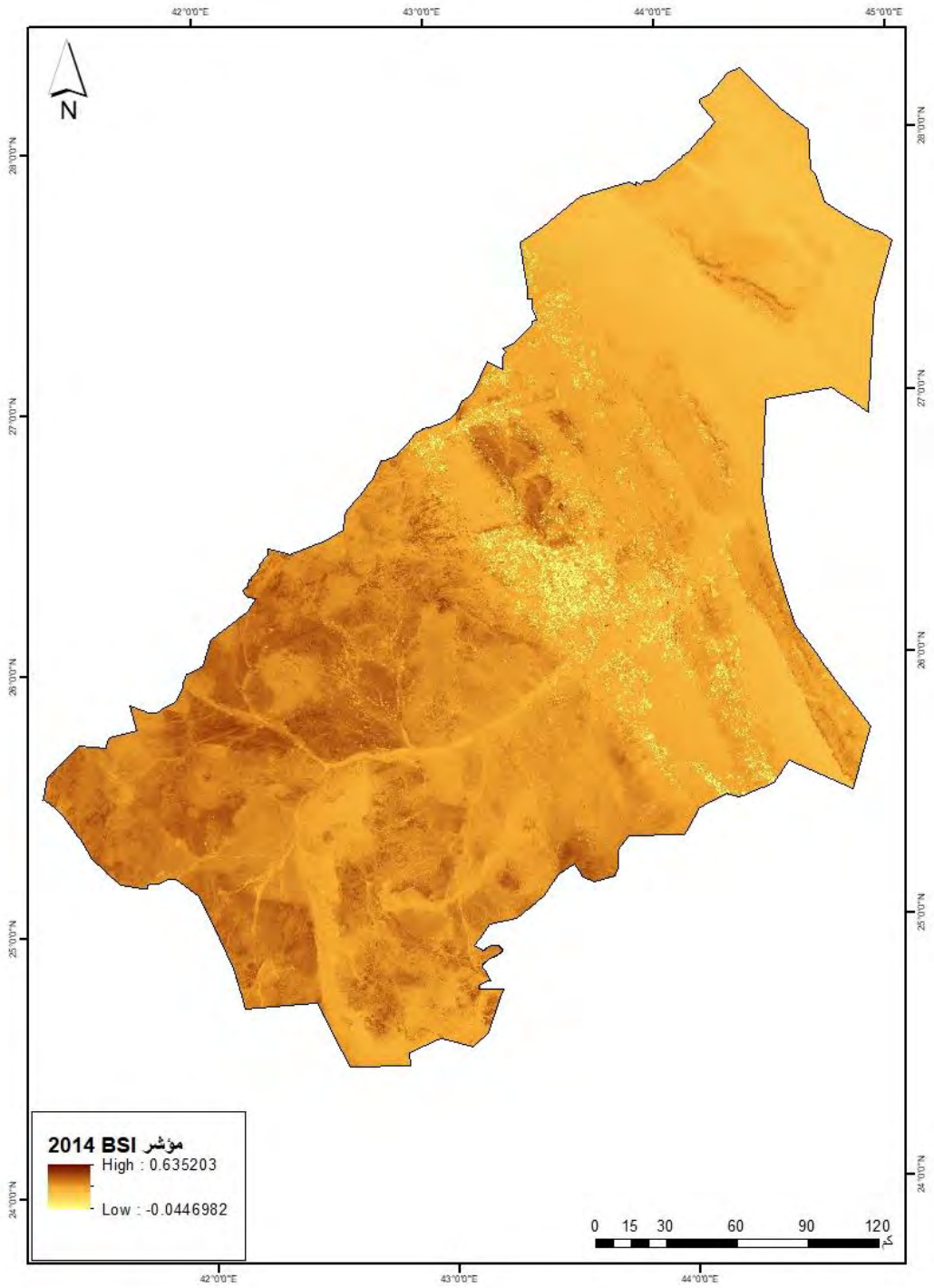
للكثبان الطولية بالقرب من مجرى وادي الأجردى حيث يبدو النمط الطولي المتمازج مع كثبان متحولة ذات محاور شمالية شرقية، وهي اقل الأنواع انتشار وتميل إلى الابتعاد عن المراكز العمرانية، أما المناطق ذات التغطية الرملية المتوسطة تنتشر بشكل واسع في وسط وجنوب المنطقة مما يعكس انتقال الرمال، والمناطق ذات التغطية الرملية المنخفضة تنتشر على المساحات الجنوبية والغربية من المنطقة ويتضح ذلك مع ما اشارت إلية دراسة(العسبلي وآخرون،2024)من ان الاتجاه نحو الجنوب في منطقة القصيم يرتبط بزيادة في غنى القشرة بالمواد الحيوية. مما يعزز بأن القشرة الحيوية تسهم في تقليل انتشار الكثبان الرملية من خلال تثبيت التربة وتحسين خصوبتها، واظهر ناتج مؤشر الكثبان الرملية NDSI لعام 2014 القيمة تتراوح بين0.43- إلى 0.70.

وباستخدام نفس المرئيات الفضائية (Landsat 8) تم تحليل مؤشر التربة المكشوفة BSI لعام 2014، ويتضح من شكل (5) أن توزيع التربة المكشوفة يختلف من حيث الكثافة والمساحة في منطقة الدراسة، ويتراوح قيمة مؤشر BSI لعام 2014 بين 0.04- إلى 0.63.حيث تشير القيم العالية للمؤشر إلى مناطق ذات نسبة عالية من التربة المكشوفة والتي تتركز بشكل ملحوظ في اتجاه طريق القصيم المدينة المنورة، وهذه المناطق تتسم بندرة الغطاء النباتي وارتفاع معدلات التعرية، في حين القيم المتوسطة يشير إلى وجود كثبان رملية كما في نفود الدهناء ونفود المظهور ونفود السر، أما القيم المنخفضة يدل على ارتفاع نسبة الغطاء النباتي.



الشكل (4) ناتج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI 2014م.

المصدر: من عمل الباحثة باستعمال Arc Map اعتماداً على مرئية LandSat8 لعام2014م.



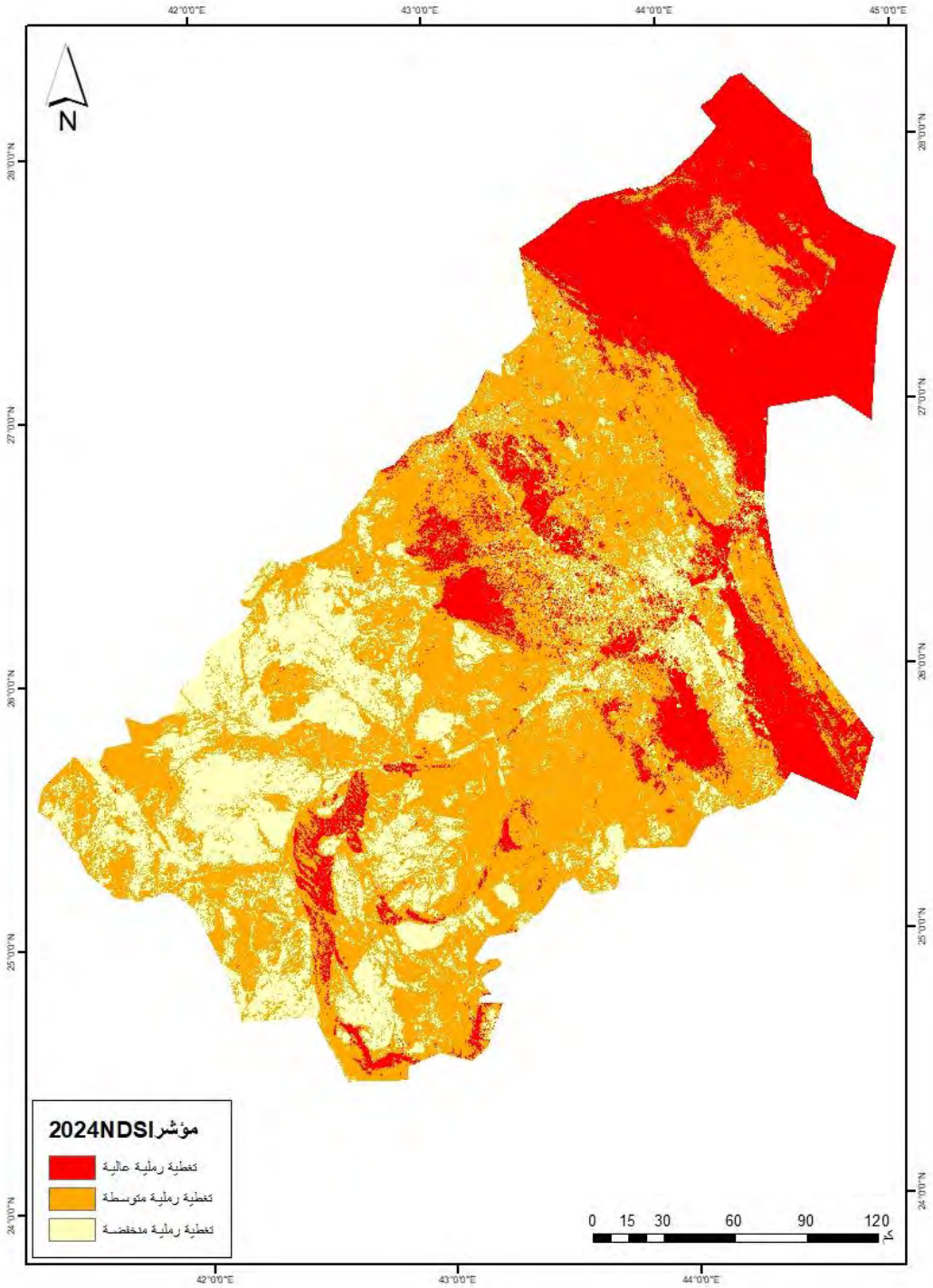
الشكل (5) ناتج مؤشر التربة المكشوفة BSI 2014م.

المصدر: من عمل الباحثة باستعمال Arc Map اعتماداً على مرئية LandSat8 لعام2014م.

- توزيع الكثبان الرملية في منطقة القصيم لعام 2024:

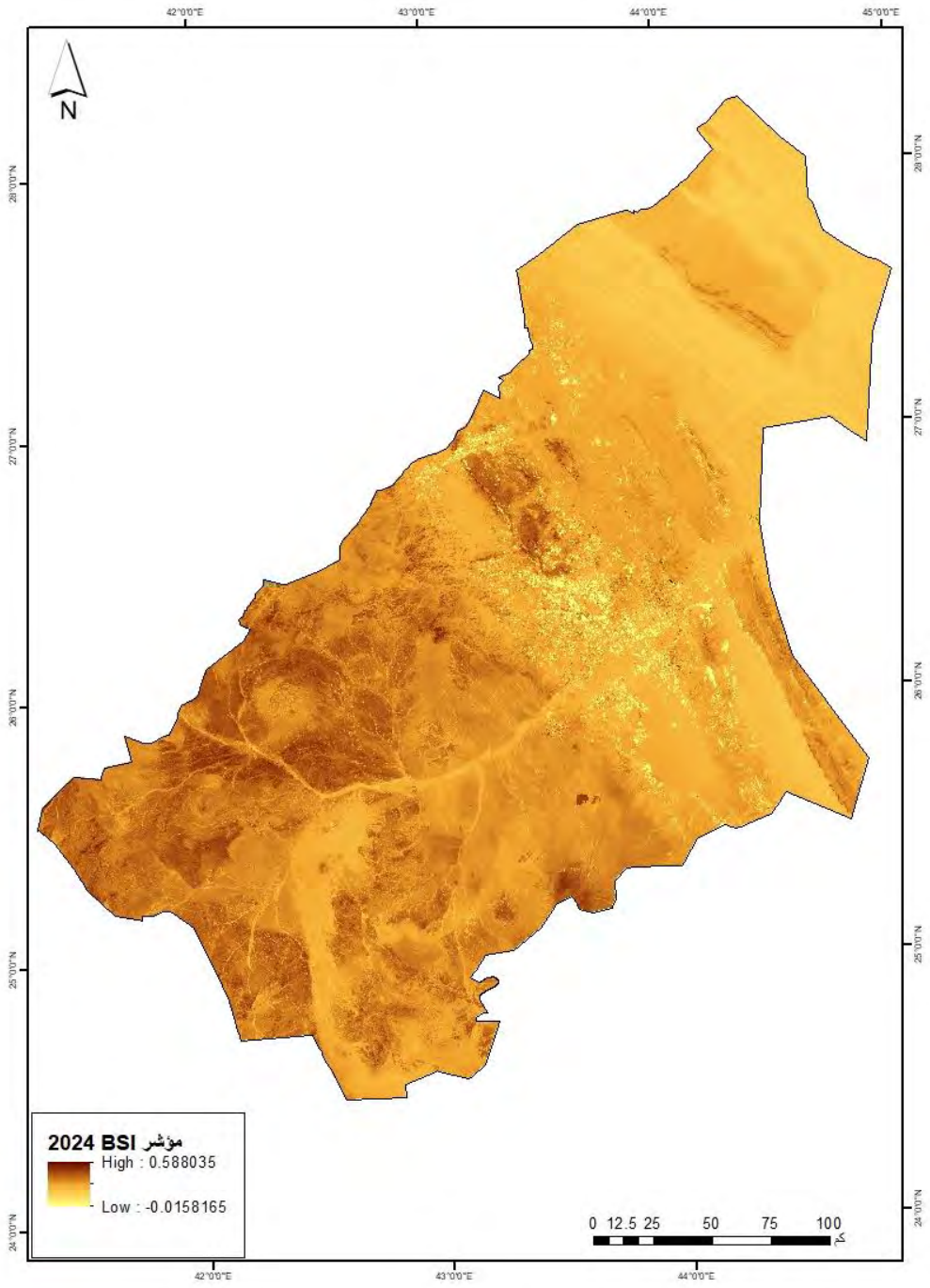
باستخدام مرئيات Landsat 8 .9 تمكن من تحليل توزيع الكثبان الرملية في منطقة الدراسة، يتضح من شكل (6) ناتج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSIلعام 2024 أن المناطق ذات التغطية الرملية العالية لا تزال متركزة في الأجزاء الشمالية والشرقية وتبلغ مساحتها نحو18486،42كم²، مع امتداد واضح للكثبان الرملية المتوسطة والمنخفضة في بقية المنطقة. هذه التغيرات ناتجة عن الغطاء النباتي إضافة إلى التأثيرات البشرية كالتوسع العمراني أو مشاريع مكافحة التصحر. وقد أظهر التحليل أن قيم مؤشر NDSIلعام 2024 تتراوح بين 0.51- إلى0.55. مما يشير إلى تحولات في الكثافة الرملية مقارنةً بعام 2014.

باستخدام مرئيات9. Landsat 8 تم تحليل مؤشر التربة المكشوفة BSI لعام 2024، يتضح من شكل (7) ناتج مؤشر التربة المكشوفة BSI لعام 2024أن قيمه المؤشر انخفضت تدريجي بين فترة الدراسة إذ تراوحت القيم بين 0.01- إلى 0.58مما يعكس تحسناً في الغطاء النباتي وانخفاض نسبي في امتداد الرمال، ومع ذلك تبقى التربة المكشوفة موجودة لكن بدرجة اقل.



الشكل (6) ناتج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI 2024م.

المصدر: من عمل الباحثة باستعمال Arc Map اعتماداً على مرئية LandSat8،9 لعام2024م.



الشكل (7) ناتج مؤشر التربة المكشوفة BSI 2024م.

المصدر: من عمل الباحثة باستعمال Arc Map اعتماداً على مرئية LandSat8،9 لعام2024م.

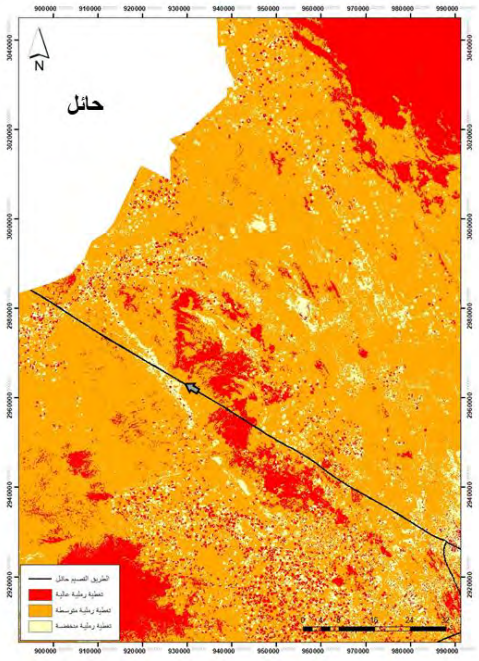
- توزع الكثبان الرملية على الطرق السريعة في منطقة الدراسة:

- طريق القصيم حائل:

يتضح من شكل (8) ناتج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI 2014 لطريق القصيم حائل مدى انتشار الرمال وتركيزها على امتداد الطريق السريع حيث تشير قيم تغطية رملية عالية تركز في وسط امتداد الطريق بمحافظة عيون الجواء ويظهر شكل (9) ناتج مؤشر اختلاف الغطاء النباتي 2014NDVI لطريق القصيم حائل ان منطقة تغطية الرمال العالية يقل فيها الغطاء النباتي ويتراوح نسبته0.26- إلى0.059. ويتضح ان التغطية الرملية المتوسطة تنتشر في المنطقة اما المناطق ذات التغطية الرملية المنخفضة تتركز في المناطق ذات الغطاء النباتي الكثيف وهي مناطق زراعية ويتراوح نسبه النبات فيه 0.21إلى0.60.

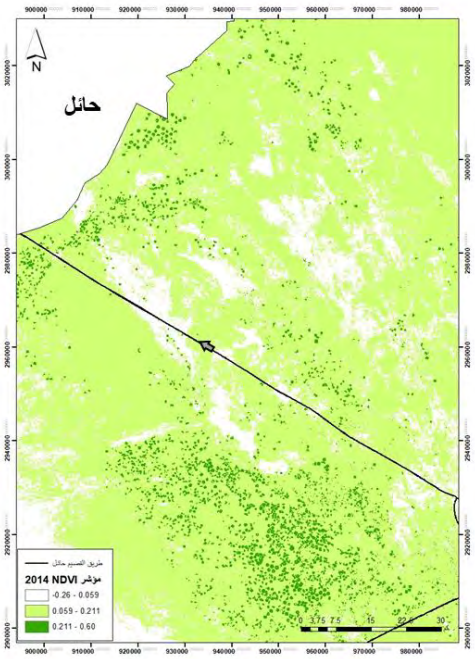
اما فيما يتعلق بالشكل (10) ناتج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية 2024NDSI لطريق القصيم حائل زاد توزع مناطق التغطية الرملية العالية حول الطريق مقارنه بعام 2014 وأيضا في غرب القوارة وهاذة المنطقة يقل فيها الغطاء النباتي كما يتضح في شكل (11) تعكس القيم المنخفضة ندرة الغطاء النباتي إلى زيادة احتمالية تعرض الطرق لزحف الرمال.

فلابد من التثبيت البيولوجي وهي وسيلة دائمة تعتمد على إقامة غطاء شجري فوق الكثبان الرملية ما يساعد على زيادة قوة التماسك بين حبيبات الرمال مثل شجر الأثل (بكري،2022).



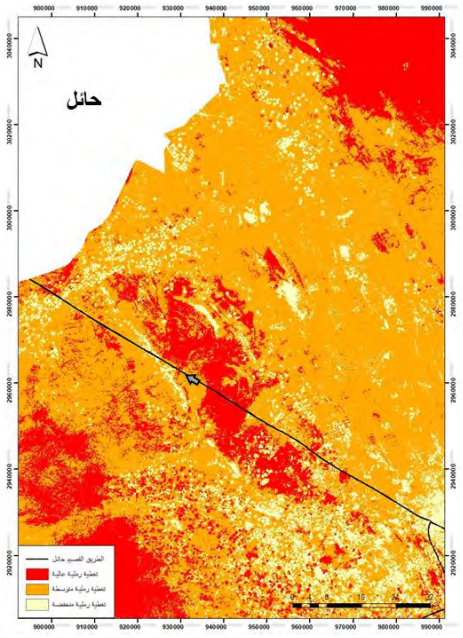
الشكل (8) ناتج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI 2014م لطريق القصيم حائل.

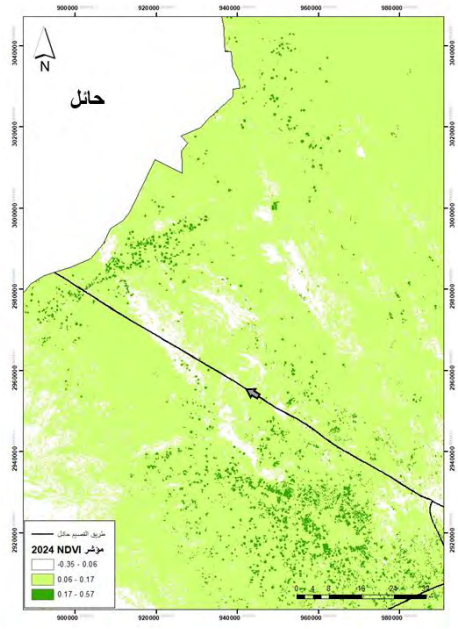
المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على مرئية LandSat8 لعام2014م والطرق السريعة .OpenStreetMap



الشكل (9) ناتج مؤشر اختلاف الغطاء النباتي NDVI 2014م لطريق القصيم حائل.

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على مرئية LandSat8 لعام2014م والطرق السريعة OpenStreetMap.





الشكل (10) ناتج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI 2024م لطريق القصيم حائل.

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على مرئية LandSat8،9 لعام2024م والطرق السريعة OpenStreetMap.

الشكل (11) ناتج مؤشر اختلاف الغطاء النباتي NDVI 2024م لطرق القصيم حائل.

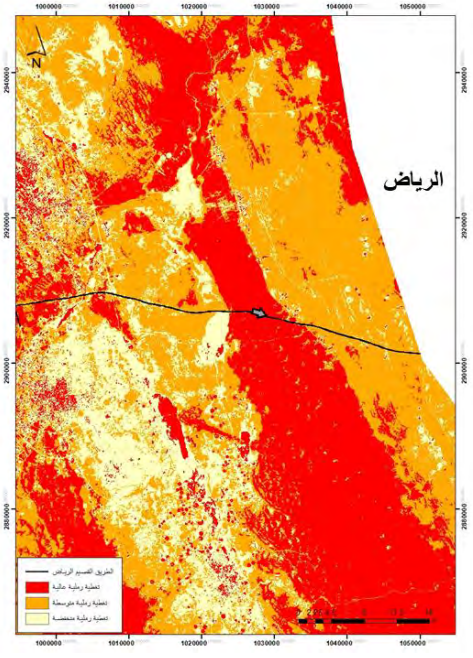
المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على مرئية LandSat8،9 لعام2024م والطرق السريعة OpenStreetMap.

- طريق القصيم الرياض:

يُظهر شكل (12) ناتج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI 2014 لطريق القصيم الرياض أن المناطق ذات التغطية الرملية العالية كانت تتركز بشكل رئيسي في وسط الطريق وهو امتداد لنفود السر الى نفود الطرفية من منطقة الدراسة، بينما أظهرت المناطق ذات التغطية الرملية المتوسطة انتشارًا واسعًا في غرب الطريق وهي سبخه العوشزية وشرق الطريق ام سدرة ، و أظهرت المناطق ذات التغطية الرملية المنخفضة في منطقة سبخه العويمض ويظهر شكل (13) ناتج مؤشر اختلاف الغطاء النباتي NDVI لعام 2014 لطريق القصيم الرياض تمثل الغطاء النباتي الكثيف في محافظة المذنب اما الغطاء النباتي المتوسط والقليل تركز على امتداد الطريق.

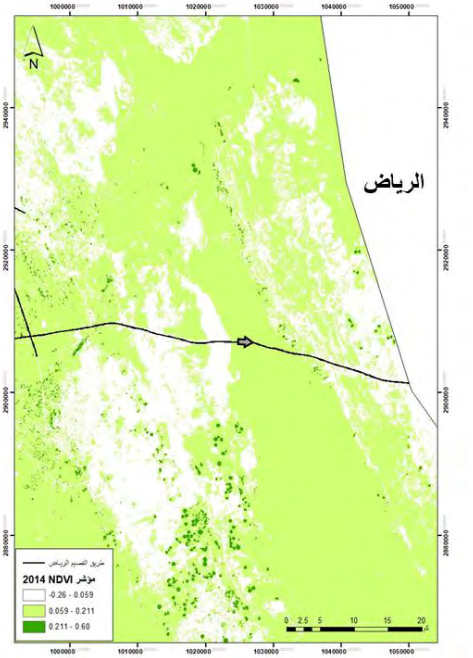
في المقابل، يعكس شكل (14) ناتج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI لعام 2024 لطريق القصيم الرياض تمدد واضح للمناطق ذات التغطية الرملية المتوسطة والمنخفضة في مناطق كانت سابقًا ذات كثافة رملية عالية، وهو ما يمكن ربطه بنتيجة زيادة الغطاء النباتي في نفود السر كما ذكر (الجخيدب،2008) تنمو في أجزاء نفود السرة أشجار الغضا. وقرب الطريق كما يتضح في شكل (15).

وقد أكدت دراسة (الضبيحي،2020) ان طرق القصيم الرياض السريع تتأثر بزحف الرمال خاصة في منطقة نفود الثويرات حيث تسببت العواصف الرملية خلال فبراير2020 في تراكم الرمال على الطريق مما أدى إلى انخفاض مستوى الرؤية وارتفاع احتمالية وقوع الحوادث.



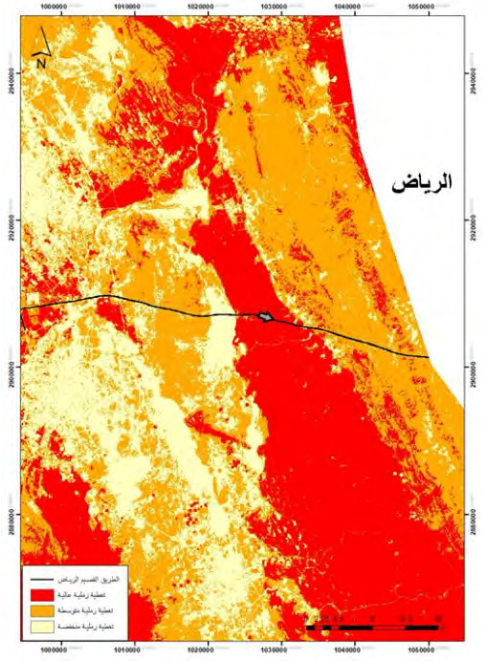
الشكل (12) ناتج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI 2014م لطريق القصيم الرياض.

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على مرئية LandSat8 لعام2014م والطرق السريعة OpenStreetMap.



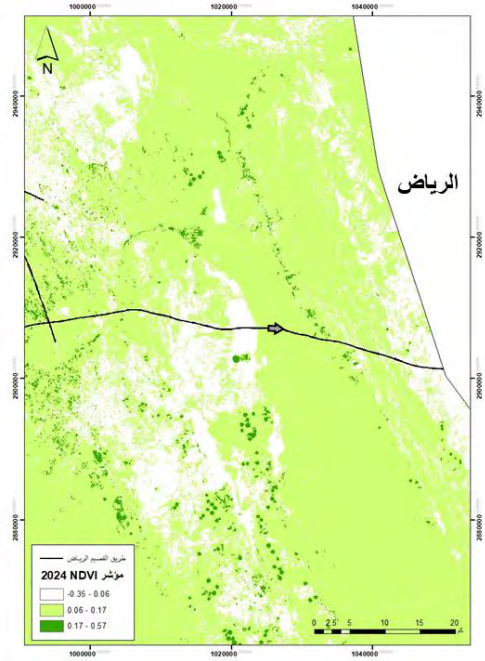
الشكل (13) ناتج مؤشر اختلاف الغطاء النباتي NDVI 2014م لطريق القصيم الرياض.

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على مرئية LandSat8 لعام2014م والطرق السريعة OpenStreetMap.



الشكل (14) ناتج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI 2024م لطريق القصيم الرياض.

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على مرئية LandSat8،9 لعام2024م والطرق السريعة OpenStreetMap.



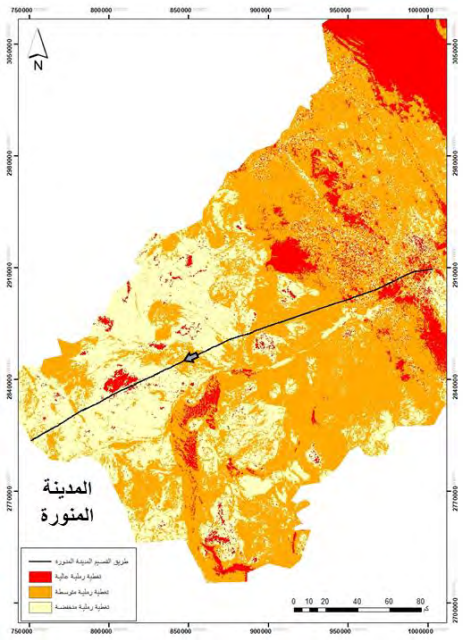
الشكل (15) ناتج مؤشر اختلاف الغطاء النباتي NDVI 2024م لطريق القصيم الرياض.

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على مرئية LandSat8،9 لعام2024م والطرق السريعة OpenStreetMap.

- طريق القصيم المدينة المنورة:

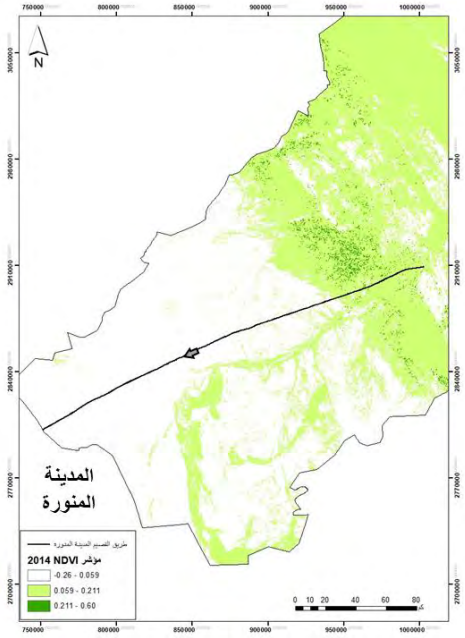
تتراوح قيم NDSI بين0.43- إلى 0.70 لعام2014، مما يدل على تواجد كثبان رملية بأحجام مختلفة بعض المناطق أظهرت قيمه منخفضة كما يوجد في الشكل (16) ناتج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI 2014 لطريق القصيم المديمة المنورة انتشار اكبر لمناطق تغطية الرملية المتوسطة والمنخفضة على امتداد الطريق مما يشير إلى وجود تربة مستقرة أو صخرية اما المناطق ذات التغطية الرملية العالية تتركز في بداية الطريق وهي منطقه نفود الغميس وقد ذكر(الجخيدب،2008)ان نفود الغميس هو ارساب رملي شمال وادي الرمة المنحصر بين مدن بريدة وعنيزة والبكيرية.

اما فيما يتعلق بناتج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI 2024 لطريق القصيم المدينة المنورة شكل (18) لم يحدث تغير كبير على المناطق ذات التغطية الرملية العالية لكن المناطق ذات التغطية الرملية المنخفضة قلت مقابل زيادة في المناطق ذات التغطية الرملية المتوسطة وتزامن هذا التغير مع ازدياد الغطاء النباتي في تلك المناطق كما يظهر الشكل (19) مما يعزز قدرتها على الحد من زحف الرمال.



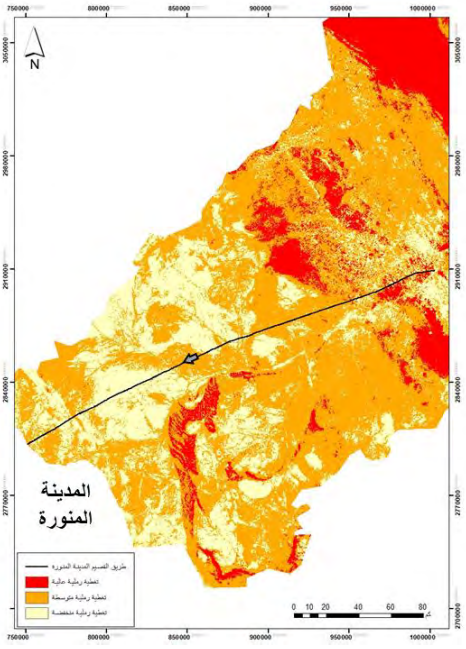
الشكل (16) ناتج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI 2014م لطريق القصيم المدينة المنورة.

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على مرئية LandSat8 لعام2014م والطرق السريعة OpenStreetMap.



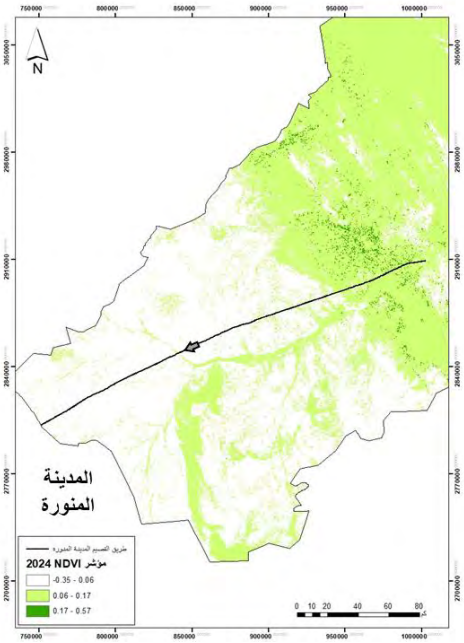
الشكل (17) ناتج مؤشر اختلاف الغطاء النباتي NDVI 2014م لطريق القصيم المدينة المنورة.

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على مرئية LandSat8 لعام2014م والطرق السريعة OpenStreetMap.



الشكل (18) ناتج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI 2024م لطريق القصيم المدينة المنورة.

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على مرئية LandSat8،9 لعام2024م والطرق السريعة OpenStreetMap.



الشكل (19) ناتج مؤشر اختلاف الغطاء النباتي NDVI 2024م لطريق القصيم المدينة المنورة.

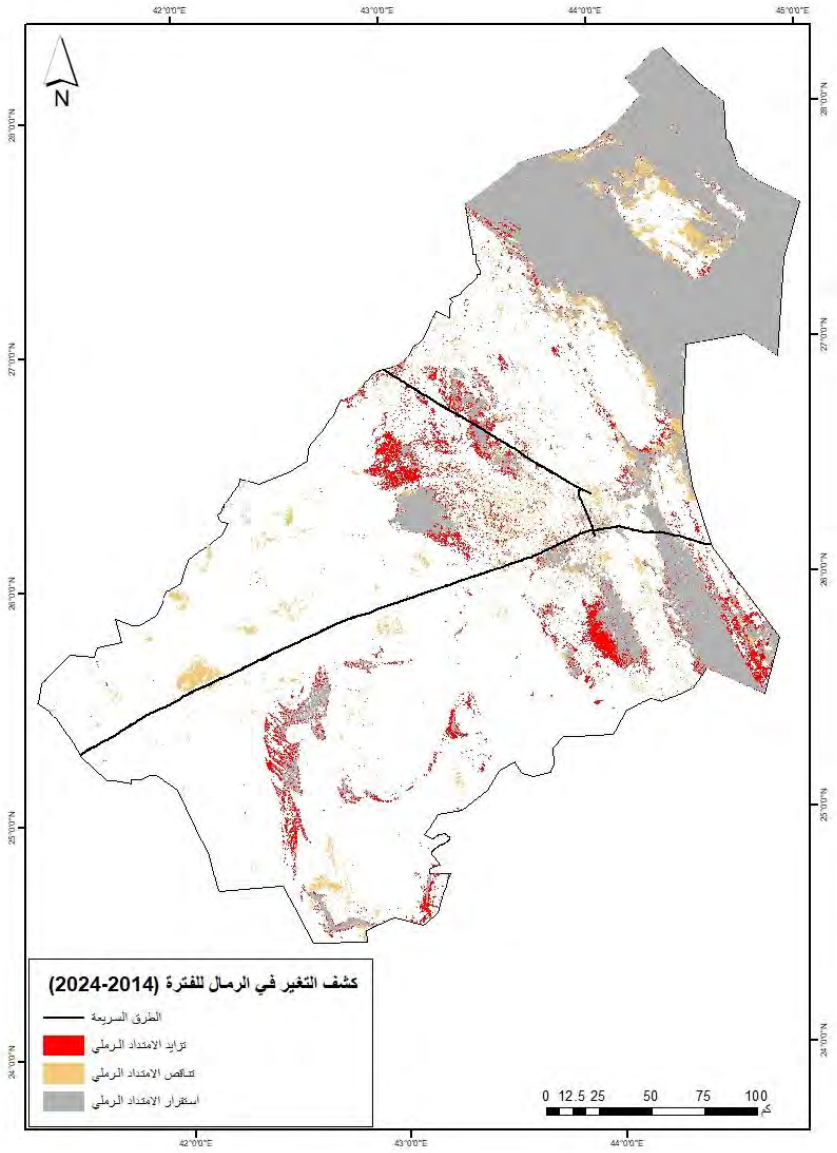
المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على مرئية LandSat8،9 لعام2024م والطرق السريعة OpenStreetMap.

تحليل التغير في الامتداد الرملي في القصيم للفترة (2014 -2024)

يعكس شكل (20) ناتج من تحليل التغير في مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI للفترة بين عامي 2014 و2024، وتوضح الخريطة التوزيع المكاني لفئات التغير في الامتداد الرملي. تظهر مناطق تزايد الامتداد الرملي (باللون الأحمر) بشكل لافت على امتداد عدة مقاطع من الطرق السريعة، مثل طريق القصيم الرياض، حيث زادت الرمال في منطقة نفود السر، وطريق القصيم حائل في منطقة القوارة، وقد بلغت مساحة هذه المناطق حوالي 2687،80كم².

أما مناطق تناقص الامتداد الرملي (باللون البيج)، فتظهر في بعض الأجزاء مثل طريق القصيم المدينة المنورة، حيث حدث تراجع في الامتداد الرملي جنوبًا في منطقة جبل طمية، وتبلغ مساحة هذه المناطق نحو 2563،92كم².

في حين تمثل مناطق الاستقرار الرملي (باللون الرمادي) المواقع التي شهدت ثباتًا نسبيًا في التغطية الرملية خلال الفترة المدروسة، وغالبًا ما تتركز في المناطق البعيدة عن المسارات النشطة لحركة الرمال، وقد بلغت مساحتها حوالي 15798،62 كم².



الشكل (20) كشف التغير في الرمال للفترة (2014-2024م).

المصدر: من عمل الباحثة باستعمال Arc Map اعتماداً على مؤشر NDSI.

النتائج:

قدمت هذه الدراسة مجموعة من النتائج في ضوء تحقيق أهداف الدراسة، وهي على النحو الآتي:

- أظهرت نتائج مؤشر التوزيع المكاني للكثبان الرملية NDSI أن القيم تراوحت بين (0.43-إلى 0.70) في عام 2014، وفي عام 2024 بين (0.51- إلى 0.55) مما يشير إلى تراجع في شدة الامتداد الرملي القصوى. ورغم ذلك، سجلت فئة التغطية الرملية العالية زيادة طفيفة في المساحة بنسبة 0.67%، ويُعزى ذلك إلى اتساع نطاق الامتداد الرملي المتوسط إلى العالي على حساب التركز الشديد في مناطق محدودة خلال الفترة المدروسة (214-2024).
- أظهرت نتائج مؤشر التربة المكشوفة BSI ان القيم تراوحت بين (0.04- إلى 0.64) في عام 2014وبين (0.01- إلى 0.58) في عام 2024 ويشير هذا الانخفاض إلى تراجع في درجة انكشاف التربة مما يدل على انخفاض نسبي في امتداد الرمال في منطقة الدراسة.
- أظهرت نتائج التحليل المكاني باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لمؤشر NDSI أن طرق القصيم الرياض يشهد أعلى معدلات زحف رملي مقارنة بالطرق الأخرى، حيث كشفت قيم المؤشر أن امتداد الكثبان الرملية وانتشارها كان أكثر وضوحاً في امتداد نفود السر الى نفود الطرفية محاذاة طريق الرياض، يليه طريق حائل، ثم طريق المدينة المنورة، مما يشير إلى تفاوت التأثير بالزحف الرملي بحسب الموقع الجغرافي والظروف البيئية المحيطة بالطريق.
- اوضحت النتائج وجود علاقة عكسية بين مؤشر NDVI وNDSI أن المناطق ذات الغطاء النباتي المنخفض سجلت قيماً أعلى لمؤشر NDSI، مما يشير إلى أن انخفاض الغطاء النباتي يسهم في زيادة زحف الرمال نحو الطرق.
- أظهرت نتائج تحليل كشف التغير في الرمال زيادة في الزحف الرملي على طريق القصيم الرياض قرب نفود السر، وطريق القصيم حائل عند منطقة القوارة، حيث بلغت مساحة مناطق التزايد نحو 2687،80كم². في المقابل، شهدت بعض المناطق تناقصًا في الزحف الرملي، مثل طريق القصيم المدينة المنورة بالقرب من جبل طمية، وبلغت المساحة الإجمالية لمناطق التناقص نحو 2563،92كم² . كما لوحظت مناطق مستقرة لم يتغير فيها الغطاء الرملي، بمساحة تقارب 15798،62 كم².

التوصيات:

من خلال ما توصلت إليه الدراسة من نتائج فإنها توصي بما يلي:

- زراعة حواجز نباتية على جانبي الطرق السريعة للحد من حركة الكثبان الرملية، خاصة في المناطق التي تعاني من انخفاض في الغطاء النباتي.
- إنشاء حواجز ميكانيكية في المواقع الأكثر تأثرًا بزحف الرمال، للحد من انتقالها نحو الطرق.
- تطبيق مراقبة دورية لحركة الرمال باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، بهدف متابعة التغيرات واتخاذ الإجراءات الوقائية في الوقت المناسب.

قائمة المراجع:

أولاً: المراجع العربية

- أبو الخير، يحيى بن محمد شيخ. (1984). زحف الرمال بمنطقة الإحساء. رسائل جغرافية، الرسالة،64 3 - 31.
- آل زينه، ناصر بن سعيد جابر. (2019). مراقبة زحف الرمال والتنبؤ بحركتها باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، في محافظة بدر، بمنطقة المدينة المنورة. جامعة طيبة.
- البتانوني، كمال الدين حسن. (1995). قضايا التصحر في الوطن العربي، ندوة عن الاساليب الحديثة في تثبيت الكثبان الرملية لدول شمال افريقيا.
- بكري، إبراهيم سيد صابر. (2022). زحف الكثبان الرملية وأثره على طريق العقير - الهفوف بالمملكة العربية السعودية باستخدام الاستشعار عن بعد. حوليات آداب عين شمس.
- بوبكر، يوسف، اجبالي، صالح. (2023). تقييم التصحر من خلال تحليل مؤشري NDVI وBSI جنوب شرق طبرق، ليبيا. مجلة السلفيوم للعلوم والتقنية
- الجخيدب، مساعد عبد الرحمن. (2008). التفاعل السياحي مع المقومات والإمكانات المتاحة بمنطقة القصيم. الجمعية الجغرافية الكويتية وحدة البحث والترجمة. مج2008، ع، 333- 343.
- الجعيدي، فرحان حسين صالح. (2020). مراقبة زحف الرواسب الرملية الريحية على الأدوية المنحدرة باتجاه نفود الدهناء باستخدام مرئيات "LANDSAT"متعددة التواريخ. مجلة جامعة أم القرى للعلوم الاجتماعية، مج12،ع3. 382 – 347.

- جودة، جودة حسنين. (2003). الجومورفولوجيا علم أشكال سطح الأرض مع التطبيق بأبحاث في جيونورفولوجيا العالم العربي. دار المعرفة الجامعية.
- الحارثي، عباس عيفان. (2004). المخاطر الجيولوجية. جامعة الملك عبد العزيز.
- الخليف، جيهان عبد القادر، ونحاس، فاتن. (2021). توظيف التقنيات الجغرافية الحديثة في تحديد المناطق المهددة بزحف الرمال على الطرق الرئيسية حول مدينة الرياض. مجلة مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية، مج. 18، ع. 32، ص ص. 35-61.
- الدغيري، احمد عبد الله. (2012). الأنماط المورفولوجية والتوزيعات اللونية للكثبان في صحراء الدهناء شمال منطقة القصيم، مجلة العلوم العربية والإنسانية-المجلد6العدد1. جامعة القصيم.
- الدغيري، أحمد عبد الله. (2013). أدلة فيضان وادي الرمة بإقليم القصيم خلال الهولوسين أواسط المملكة العربية السعودية، مؤتمر الجغرافيا والتغيرات العالمة المعاصرة، جامعة طيبة، المدينة المنورة.
- الزبيدي، حليمه. (2015). تقييم حالة الجفاف باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد دراسة تطبيقية على المناطق الغربية لمحافظة الطائف بالمملكة العربية السعودية. مجلة جامعة السلطان قابوس للآداب والعلوم الاجتماعية،65. سلطنة عمان.
- الزهراني، عبد الله سالم. (2007). الموقع والمساحة ونطاق الإشراف الإداري، موسوعة المملكة العربية السعودية منطقة القصيم، المجلد12، الباب الأول، مكتبة الملك فهد الوطنية، الرياض، المملكة العربية السعودية.
- سعيد، سيد محمود مرسي، وعبد الحفيظ، أشرف يس (2011) .حركة الرمال غرب وجنوب غرب الغرق السلطاني باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية: دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية. مجلة كلية الآداب، ع21، 199-245.
- الشهري، نورة سعد. (2024). جيومورفولوجية الكثبان الرملية وأثرها على الأنشطة البشرية في جنوب شرق مدينة جدة، المملكة العربية السعودية. جامعة الملك عبد العزيز.
- صالح، عبد الرحيم عبد المطلب محمد، والقرني، سعيد بن محمد بن سعد، وبابكر، عباس الطيب. (2020). استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في تقييم مشروع حجز الرمال بواحة الأحساء .المجلة العلمية لجامعة الملك فيصل: العلوم الأساسية والتطبيقية، مج. 21، ع. 2، ص ص. 35-42.
- صحيفة المناطق. (2015, أبريل 3) .موجة غبار القصيم تخلف 44 بلاغ حوادث ودهس.https://almnatiq.net/?p=46213
- الضبيحي، مها بنت عبد الله. (2020). عقل نفود الثويرات: دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد (RS)ونظم المعلومات الجغرافية(GIS) . المجلة العربية لنظم المعلومات الجغرافية، مج13، ع2، 54-128.
- عبيد، محمود عبد العزيز أبو العينين. (2019). تقدير ومراقبة الزحف الرملي على واحة القطيف باستخدام القياسات الحقلية ومرئيات الاستشعار عن بعد. رسائل جغرافية، الرسالة474، 1-56.
- عتلم، موسى فتحي موسى. (2018). الجغرافيا الاقتصادية. مطابع جامعة المنوفية.
- العسبلي، منصور، والحربي، محمد، ونحاس، فاتن. (2024). تطبيق مؤشر التصحر بمنطقة القصيم باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد العدد العشرون الجزاء الأول.
- علي، انتصار، والمقصود، ماهر، ورفاعي، احمد. (2022). الأبعاد الاجتماعية والاقتصادية الناتجة عن زحف الكثبان الرملية في محافظة الوادي الجديد. مجلة الاقتصاد الزراعي والعلوم الاجتماعية المجلد 13 (5): 113 – 123.
- عليان رحبي مصطفى ,وغنيم عثمان حمد. (2010). أساليب البحث العلمي، الأسس النظرية والتطبيق العلمي. دار صفا للنشر والتوزيع.
- عمار، ميموني. (2017). دراسة مورفو ديناميكية الكثبان الرملية بمنطقة حاسي مسعود. جامعة قاصدي مرباح – ورقلة.
- العوضي، حمدينه، الدغيري، أحمد. (2017). الجومورفولوجيا "أسس نظرية وجوانب تطبيقية". جامعه القصيم.
- غرفة القصيم، 2020، التقرير السنوي، المملكة العربية السعودية.
- المحسن، إسباهيه يونس. (2013). الجيمورفولوجيا أشكال سطح الأرض، العلا للطباعة والنشر، جامعة الموصل.
- مصلحي، فتحي محمد. (1984). الجغرافية البشرية المعاصرة. دار الإصلاح. الدمام.
- نوير، بشير احمد. (2009). التجربة الليبية في تثبيت الكثبان الرملية. سوريا.
- الهيئة العامة للإحصاء،2022، المملكة العربية السعودية.
- وزارة البيئة والمياه والزراعة. (2023). خارطة حدود الدرع العربي والرف الرسوبي والمنطقة المستثناة في الرف الرسوبي[خريطة رقمية].
- وزارة الشؤون البلدية والقروية. (2019). برنامج مستقبل المدن السعودية: الرؤية العمرانية الشاملة لمدينة بريدة، وزارة الشؤون البلدية والقروية وبرنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية (الموئل). الرياض. السعودية.
- الوليعي، عبد الله ناصر. (1417). بحار الرمال في المملكة العربية السعودية. مكتبة الملك فهد الوطنية. الرياض.
- الوليعي، عبد الله ناصر. (1429). جيولوجية وجيومورفولوجية المملكة العربية السعودية. فهرسة مكتبة الملك فهد الوطني.

ثانياً: المراجع الأجنبية

- Diek, S., Fornallaz, F., Schaepman, M. E., & de Jong, R. (2017). Barest pixel composite for agricultural areas using Landsat time series. Remote Sensing, 9(12), 1245. https://doi.org/10.3390/rs9121245
- Geofabrik. (2025). *Download OpenStreetMap data extracts*." Retrieved from February 24, 2025, https://download.geofabrik.de
- Gomez, D., Salvador, P., & Sanz, J. (2018). Detecting areas vulnerable to sand encroachment using remote sensing and GIS techniques in Nouakchott, Mauritania. Remote Sensing, 10(10), 1541. https://doi.org/10.3390/rs10101541
- Labban, A. H., & Butt, M. J. (2021). Analysis of sand and dust storm events over Saudi Arabia in relation with meteorological parameters and ENSO. Arabian Journal of Geosciences, 14(1), 1–14. https://doi.org/10.1007/s12517-020-06291-w
- Meeragandhi, G., Arun, S., Parthiban, S., Thummala, N., & Christy, A. (2015). NDVI: Vegetation change detection using remote sensing and GIS – A case study of Vellore District. Procedia Computer Science, 57, 1199–1210. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415
- Pradhan, B., Moneir, A. A., & Jana, R. (2018). Sand dune risk assessment in Sabha region, Libya using Landsat 8, MODIS, and Google Earth Engine images. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 9(1), 1280–1305. https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1518880
- U.S. Geological Survey (USGS). (2022). Landsat Collection 2 Level-2 Science Products. U.S. Department of the Interior. Retrieved February 24, 2025, from https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-2-science-products
- U.S. Geological Survey (USGS). (2024). Landsat-8 and Landsat-9 satellite imagery. U.S. Department of the Interior. Retrieved February 24, 2025, from https://www.usgs.gov