مجلة كلية الآداب جامعة بورسعيد
https://jfpsu.journals.ekb.eg/

P-ISSN: 2356-6493 E-ISSN:2682-3551

التغيرات الجيومورفولوجية للكثبان الرملية وأخطارها على المحميات الطبيعية في المملكة العربية السعودية باستخدام تقنيات الجيوانفورماتكس

هاني إبراهيم محمد مصطفى

طالب ماجستير بقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية

كلية الآداب، جامعة بورسعيد

hany.elnagar.gis@gmail.com

أ.د/ صابر أمين سيد دسوقي

أستاذ الجيومورفولوجيا، كلية الآداب جامعة بنها

أ.د/ أحمد إبراهيم محمد صابر

أستاذ الهيدروجيومورفولوجيا والخرائط، كلية الآداب، جامعة بورسعيد

أ.م.د/ منال سمير شلبي متولي

أستاذ الجيومورفولوجيا ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد المساعد

كلية الدراسات الأسيوية العليا، جامعة الزقازيق

10.21608/jfpsu.2025.414637.1472

تاريخ الإرسال : ٢٠٢٥/٨/١٨م **تاريخ القبول :** ٢٠٢٥/٩/٢٠م

تاريخ النشر : ٢٠٢٥/١٠/٧م

This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0). http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

التغيرات الجيومورفولوجية للكثبان الرملية وأخطارها على المحميات الطبيعية في المملكة العربية السعودية باستخدام تقنيات الجيوانفورماتكس

مستخلص

يتناول هذا البحث دراسة التغيرات الجيومورفولوجية للكثبان الرملية وتقييم الأخطار المترتبة عليها في المحميات الطبيعية بالمملكة العربية السعودية، وذلك من خلال تبنّي منهجية علمية تعتمد على توظيف تقنيات متقدمة تشمل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وتقنيات الاستشعار عن بُعد .(RS) وقد استندت الدراسة إلى تحليل المرئيات الفضائية للأعوام ١٩٨٦، ١٩٨٧، و٢٠٢٣م، بالإضافة إلى استخدام طبقات جيومكانية أساسية دعمت عمليات التحليل المكاني والزماني المتعددة.

ركزت الدراسة على استعراض الخصائص العامة للمحميات الطبيعية في المملكة، مع تسليط الضوء على أبرز العوامل المؤثرة في حركة الكثبان الرملية، والتي تشمل العوامل المناخية، والخصائص التضاريسية، والغطاء النباتي. كما تناولت بالتحليل أنماط الكثبان الرملية وأنواعها وتوزيعها الجغرافي في عدد من المحميات المختارة، وهي: محمية التيسية، ومحمية نفود العريق، ومحمية مجامع الهضب، ومحمية عروق بني معارض.

وقد اختُتم البحث بدراسة الأخطار المترتبة على حركة الكثبان الرملية من خلال عرض نماذج متعددة لهذه الأخطار، مع مناقشة أبرز الاستراتيجيات المقترحة ووسائل الحماية الممكنة للحد من ظاهرة زحف الرمال وآثارها السلبية على النظم البيئية والبنية التحتية داخل هذه المحميات.

الكلمات المفتاحية: التغيرات الجيومورفولوجية، الكثبان الرملية، المحميات الطبيعية، زحف الرمال، الجيوانفورماتكس.

Geomorphological Changes of Sand Dunes and Their Risks to Natural Reserves in the Kingdom of Saudi Arabia Using Geoinformatics Techniques

Abstract

This study investigates the geomorphological changes of sand dunes and evaluates the associated risks within nature reserves in the Kingdom of Saudi Arabia. A scientific methodology was adopted, employing advanced techniques such as Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS). The analysis was based on satellite imagery from the years 1986, 1987, and 2023, in addition to essential geospatial datasets that supported various spatial and temporal analyses.

The research highlights the general characteristics of natural reserves in the Kingdom, with a focus on the key factors influencing sand dune dynamics, including climatic conditions, topographic features, and vegetation cover. Furthermore, it examines the patterns, types, and spatial distribution of sand dunes across selected reserves, namely: Al-Taysiyah Reserve, Nafud Al-'Urayq Reserve, Mujam'at Al-Hudub Reserve, and 'Uruq Bani Ma'arid Reserve.

The study concludes by assessing the hazards resulting from sand dune movement through different hazard models, while also discussing proposed strategies and potential protective measures to mitigate sand encroachment and its negative impacts on ecosystems and infrastructure within these reserves.

Keywords: Geomorphological changes, sand dunes, nature reserves, sand encroachment, geoinformatics.

مقدمة:

تُعد الكثبان الرملية من الظاهرات الجيومورفولوجية البارزة في البيئات الجافة وشبه الجافة، إذ تتكوّن نتيجة لترسيب المواد المنقولة بواسطة الرياح عند انخفاض سرعتها، ويتباين الشكل العام للكثبان الرملية وأحجامها وخصائصها الفيزيائية تبعاً لجملة من العوامل، من أبرزها سرعة الرياح، واتجاهاتها السائدة، وطبيعة المصدر الرملي، بالإضافة إلى الصفات المورفومترية لحبيبات الرمال وتأثير التضاريس والأشكال الأرضية على تكوين وتطور رواسب الكثبان الرملية (Hermas et al ,2019).

ويُلاحظ أن للكثبان الرملية أنماطاً مختلفة من حيث الانحدار، والامتداد، والمظهر السطحي، مما يجعل منها سجلاً طبيعياً يعكس الخصائص الديناميكية للرياح من حيث شدّتها، واتجاهها، ومدى تكرار هبوبها في المنطقة محل الدراسة، ومن هذا المنطلق، فإن دراسة هذه الأشكال، سواء كانت ناتجة عن عمليات النحت الريحي أو عن عمليات الإرساب، تتطلب تحليلاً دقيقاً للمعطيات المناخية، ولا سيما بيانات سرعة الرياح واتجاهاتها، مع مقارنتها بمحاور واتجاهات الكثبان الرملية، وأبعادها، وتوزيعها الجغرافي، وخصائص الرواسب المكونة لها (محسوب، ١٩٩٧).

وتشكل الكثبان الرملية تحديًا بيئيًا وإنمائيًا كبيرًا في العديد من دول العالم، لاسيما في المناطق الجافة مثل شبه الجزيرة العربية، وتكمن خطورة الكثبان الرملية في قدرتها على التحرك بفعل الرياح لمسافات طويلة، مما يؤدي إلى زحف الرمال باتجاه المناطق السكنية والزراعية والبنية التحتية، بما في ذلك الطرق وشبكات الطاقة، مسببة أضرارًا بيئية واقتصادية واجتماعية واسعة النطاق (Al-Harthi, 2002).

أولاً: منهجية دراسة الكثبان الرملية:

تهدف إلي دراسة التغيرات الجيومورفولوجية للكثبان الرملية وأخطارها على المحميات الطبيعية فى المملكة العربية السعودية، وذلك من خلال رصد ومتابعة التغيرات الزمانية والمكانية التي طرأت علي الكثبان الرملية ببعض المحميات الطبيعية بالمملكة العربية السعودية خلال الفترة (١٩٨٦: ٢٠٢٣ م) ولمدة ٣٧ عامًا وذلك باستخدام التقنيات الحديثة مثل تقنيات الاستشعارعن البعد ونظم المعلومات الجغرافية، وما تضيفه هذه

التقنيات من مميزات في رصد ومتابعة تغيرات سطح الأرض، والشكل (١) يوضح المنهجية المتبعة في الدراسة، وقد استخدم في دراسة الكثبان الرملية المرئيات الفضائية من سلسلة الأقمار الصناعية لاندسات (Landsat series) والتي تغطي مناطق المحميات الطبيعية، حيث تم استخدام مرئيات فضائية من القمر الصناعي لاندسات ٥ في أعوام ١٩٨٦ و ١٩٨٧م، كما تم استخدام مرئيات فضائية من القمر الصناعي لاندسات ٨ في عام ٢٠٢٣ م جدول (١) يوضح نوعية المرئيات الفضائية المستخدمة في الدراسة ودقتها المكانية والزمانية، وقد خضعت جميع المرئيات الفضائية المستخدمة في الدراسة إلى مراحل من المعالجة باستخدام برامج جيومكانية متخصصة ومنها (ERDAS IMAGINE) و (ArcGIS).

كما تم استخدام المرئيات الفضائية نوعية (Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer) أو ما يطلق عليه اختصاراً (ASTER)، وما يوفره هذا القمر من نماذج ارتفاعات رقمية (Digital Elevation Model- DEM) تغطي سطح الأرض، وبدقة تصل إلي ٣٠ متراً، وتفيد هذا النماذج في دراسة الإرتفاعات الرقمية للمحميات الطبيعية المختارة، والانحدارات، واتجاهات الانحدار وغيرها من النماذج والتي تم الاستفادة منها في دراسة التراكمات والكثبان الرملية بالمحميات.

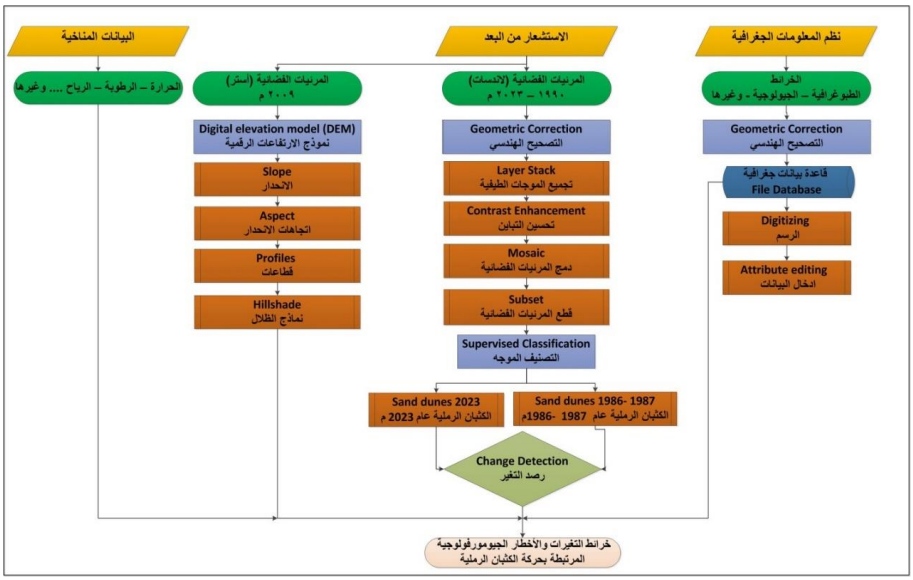
جدول (١) المرئيات الفضائية المستخدمة في الدراسة

المنطقة	القمر الصناعي	نوع المستشعر	عدد الأطياف	عدد المرئيات	رقم المرئية	تاريخ الالتقاط
محمية عروق بن معارض	لاندسات ٥	TM	٧ موجات طيفية	٤ مرئيات	١٦٥-٤٦	١٩٨٧/١١/٠٣
					١٦٥-٤٧	١٩٨٧/١١/٠٣
					١٦٦-٤٦	١٩٨٧/١١/١٠
					١٦٦-٤٧	١٩٨٧/١١/١٠
	لاندسات ٨	OLI	١١ موجة طيفية	٤ مرئيات	١٦٥-٤٦	٢٠٢٣/٠٦/٢٣
					١٦٥-٤٧	٢٠٢٣/٠٦/٢٣
					١٦٦-٤٦	٢٠٢٣/٠٦/٢٢
					١٦٦-٤٧	٢٠٢٣/٠٦/٢٢
محمية مجامع الهضب	لاندسات ٥	TM	٧ موجات طيفية	مرئية	١٦٧-٤٥	١٩٨٧/٠١/٠١
	لاندسات ٨	OLI	١١ موجة طيفية	مرئية	١٦٨-٤٠	٢٠٢٣/٠٦/٢٩
محمية التيسية	لاندسات ٥	TM	٧ موجات طيفية	٢ مرئية	١٦٨-٤١	١٩٨٦/٠٥/١٣
					١٦٨-٤٠	١٩٨٦/٠٥/١٣
	لاندسات ٨	OLI	١١ موجة طيفية	٢ مرئية	١٦٨-٤١	٢٠٢٣/٠٦/٢٨
					١٦٨-٤٠	٢٠٢٣/٠٦/٢٨
محمية نفود عريق	لاندسات ٥	TM	٧ موجات طيفية	٢ مرئية	١٦٨-٤٢	١٩٨٦/٠٩/٠٢
					١٦٨-٤٣	١٩٨٦/٠٩/٠٢
	لاندسات ٨	OLI	١١ موجة طيفية	٢ مرئية	١٦٨-٤١	٢٠٢٣/٠٦/٢٨
					١٦٨-٤٠	٢٠٢٣/٠٦/٢٨

المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على المرئيات الفضائية المستخدمة.

تم إنشاء قاعدة بيانات جيومكانية (Geospatial Database) للكثبان الرملية، تضم جميع الظاهرات التي ترتبط بموضوع الدراسة بالمنطقة مثل (الخرائط الطبوغرافية، الجيولوجية، وغيرها)، وقد مرت المعالجة بعدة مراحل ، كما تم الاعتماد على البيانات المناخية (الحرارة، الرطوبة، الرياح وغيرها) التي توفرها المحطات المناخية المنتشرة في

المملكة في دراسة العلاقة بين هذه العناصر المناخية وانتشار وتوزيع الرواسب والكثبان الرملية بالمحميات.



المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على المنهجية المستخدمة في الدراسة.

شكل (١) المنهجية المستخدمة لرصد التغيرات والأخطار الجيومورفولوجية المرتبطة بحركة الرمال بالمحميات الطبيعية

ثانياً: الخصائص العامة للمحميات الطبيعية:

تُعد المملكة العربية السعودية من الدول الرائدة في تبنّي فكرة إنشاء وحماية المحميات الطبيعية، وقد تجسد هذا التوجّه في إنشاء اللجنة الوطنية للحفاظ على الحياة الفطرية وتطويرها عام ١٩٨٦م، بهدف إقامة المناطق المحمية وصونها كجزء من استراتيجية شاملة لمعالجة أوضاع البيئة في المملكة.(Abuzinada, 2003)

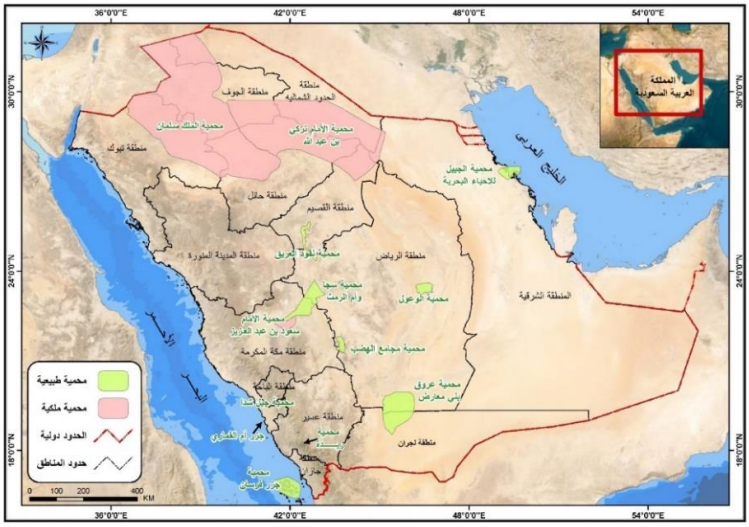
يدير المركز الوطني لتنمية الحياة الفطرية (الهيئة السعودية للحياة الفطرية (SWA) جميع المناطق المحمية الخمسة عشر والتي تمثل ٨٥٣٩٣.٦ كم٢ لعام ٢٠١٨م ويخطط المركز الوطني لتنمية الحياة الفطرية (SWA)، لتعيين مناطق محمية إضافية بحلول عام ٢٠٣٠، والتي ستغطي أكثر من ١٧٪ من الأراضي و١٠٪ من

الخطوط البحرية والساحلية (Ministry of Environment Water & Agriculture (MEWA, 2017).

شهدت المملكة العربية السعودية تحوّلاً جوهريًا في إدارة المحميات الطبيعية بعد عام ٢٠١٨م، تمثل في إعادة هيكلة ودمج عدد من المحميات المتجاورة ضمن كيانات أوسع ذات نظام بيئي متكامل، مع تحويلها إلى محميات ملكية تتمتع بنظام إدارة خاص يشرف عليه مجلس المحميات الملكية، والذي أُنشئ خصيصًا لتنظيم هذه المحميات وتطويرها بما يحقق أهداف المحافظة على الحياة الفطرية وتنشيط السياحة البيئية.

تمتلك المملكة العربية السعودية واحدة من أكبر شبكات المحميات الطبيعية في المنطقة، حيث تغطي هذه المحميات ما يقارب ١٠٪ من إجمالي مساحة المملكة، وتشمل نطاقات بيئية متنوعة من الصحارى الجافة إلى المناطق الجبلية والسهول الساحلية(Al-Saadon, 2012). وقد شهدت هذه الشبكة توسعًا ملحوظًا منذ عام ٢٠١٨، عقب الإعلان عن المحميات الملكية، التي جاءت ضمن الاستراتيجية الوطنية للحفاظ على التنوع البيولوجي وتعزيز الاستدامة البيئية.

ويجرى تشغيل هذه المناطق المحمية بواسطة جهاز اداري وفني يشمل منسقا علميا لكل محمية ورئيسا لفريق الجوالين اللذين يقومون بمهمة المراقبة الأرضية لرصد الاحياء الفطرية في المحمية ومنع المخالفات والتجاوزات ويعاونهم في ذلك فريق المراقبة الجوية، كما اعدت الهيئة الوطنية للحياة الفطرية (المركز الوطني لتنمية الحياة الفطرية) بالتعاون مع الاتحاد العالمي لصون الطبيعة (IUCN) خطة وطنية لمنظومة المناطق المحمية تهدف إلى اقامة شبكة وطنية من المناطق المحمية يصل عددها الى ١٠٣ منطقة تمثل كافة النظم البيئية البرية والبحرية الموجودة في المملكة وتهدف بصورة رئيسية الى الحفاظ على التنوع الأحيائي فيها، ويمكن تصنيف المحميات الطبيعية بالمملكة العربية السعودية التى تم تناولها فى هذه الدراسة طبقاً لتوزيعها الجغرافي (شكل٢) و(جدول٢) يوضح التوزيع الجغرافي ومساحة كل محمية وتاريخ إنشائها.



المصدر: وزارة البيئة والمياه والزراعة.

شكل (٢) التوزيع الجغرافي للمحميات الطبيعية والملكية

جدول (٢) الخصائص العامة للمحميات الطبيعية في المملكة العربية السعودية

م	اسم المحمية	سنة الاعلان/م	المنطقة	المساحة (كم²)	النسبة %
١	محمية جبل شدا الأعلى	٢٠٠١	الباحة	٦٨,٦٠	٠,٠٣
٢	محمية سجا وام الرمث	١٩٩٥	مكة المكرمة	٦٥٢٨,٢٠	٢,٥٣
٣	محمية الامام تركي بن عبد الله الملكية (التيسية سابقا)	٢٠١٨	حائل والجوف والحدود الشمالية والقصيم والشرقية	٩١٥٠٦,٩٤	٣٥,٤٥
٤	محمية نفود العريق	١٩٩٥	القصيم	٢٠٣٦,١٠	٠,٧٩
٥	محمية عروق بنى معارض	١٩٩٣	نجران	١٢٧٨٧	٤,٩٥
٦	محمية مجامع الهضب	١٩٩٢	الرياض	٢٢٥٦,٤٠	٠,٨٧
٧	محمية جرف ريدة	١٩٨٩	عسير	٩,٣٣	٠,٠٠٣
٨	محمية الوعول	١٩٨٨	الرياض	١٨٤٠,٩٠	٠,٧١
٩	محمية الامام سعود بن عبد العزيزالملكية (محازة الصيد سابقا)	٢٠١٨	مكة المكرمة	٢٥٥٣	٠,٩٩
١٠	محمية الملك سلمان الملكية (تشمل محمية الخنفة والطبيق وحرة الحرة سابقا)	٢٠١٨	حائل وتبوك والجوف	١٣٠٦٩٥,٣٠	٥٠,٦٤
١١	محمية جزر فرسان	١٩٨٩	جازان	٥٤٠٨	٢,١
١٢	محمية الجبيل للأحياء البحرية		الشرقية	٢٤١٠,٦٠	٠,٩٣
١٣	محمية جزر أم القمارى	١٩٨٨	مكة المكرمة	٤,٣٠	٠,٠٠١
	الإجمالي			٢٥٨١٠٤,٦٧	١٠٠

المصدر: اعداد الطالب اعتمادا على طبقات رقمية باستخدام برنامج ArcGIS وزارة البيئة والمياه والزراعة بالمملكة العربية السعودية.

يتضح من الجدول (٢) ان عدد المحميات ١٣ محمية طبيعية وملكية موزعة على مختلف المناطق الإدارية، بمساحة إجمالية تقدر بحوالي ٢٥٨,١٠٤.٦٧ كم²، حيث تغطي بذلك ١٠٠٪ من مساحة المحميات ، وتُعد محمية الملك سلمان الملكية الأكبر مساحة، إذ تغطي ٥٠.٦٤٪ من إجمالي المساحة، تليها محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية بنسبة ٣٥.٤٥٪ أما أصغر المحميات فهي محمية جزر أم القماري ومحمية جرف ريدة، بمساحات تقل عن ١٠ كم² لكل منهما.

وقد تنوّعت سنوات الإعلان عن هذه المحميات، حيث بدأت منذ عام ١٩٨٨ بأولى المحميات (مثل الوعول وجزر أم القماري)، واستمرت حتى عام ٢٠١٨ مع إعلان محميات ملكية ذات مساحات واسعة، وتمتد هذه المحميات عبر معظم مناطق المملكة، ما يعكس التوجه الوطني لحماية التنوع البيولوجي والبيئي على نطاق واسع، وقد تم اختيار عدد اربع محميات كدراسة حالة للمحميات التى تتعرض لخطر الكثبان الرملية وهى محميات (محمية التيسية و محمية نفود العريق ومحمية مجامع الهضب و محمية عروق بني معارض).

ثالثاً: العوامل المؤثرة في حركة الكثبان الرملية:

تعد حركة الرمال سواء عن طريق زحف الكثبان الرملية بأشكالها وأحجامها أو في شكل حركة وإثارة لحبيبات الرمال من العمليات الهوائية السائدة في بعض المحميات الطبيعية بالمملكة وذلك لوقوعها ضمن النطاق الصحراوي الجاف، ومن العوامل المؤثرة فيها المناخ، التضاريس، الغطاء النباتي (محسوب، ١٩٩٤)، وفيما يلي عرض لهذه العناصر.

١- العوامل المناخية:

تعد العوامل المناخية من العوامل المؤثرة في حركة الرمال ومعدلاتها وتعد درجة الحرارة والرطوبة والأمطار والرياح من أهم هذه العناصر، وتتميز المحميات الطبيعية بوقوعها في النطاق الصحراوي الجاف معظم فترات العام، وتوفر هذه الظروف موارد دائمة تأخذ منها الرياح حمولتها، ويمكن القول بأن هذه الموارد تتمثل في المفتتات المجواه من الصخور الجيولوجية المنتشرة بالمحميات الطبيعية، كما أن ارتفاع درجة الحرارة طوال العام

تلعب دوراً رئيسياً في نشأة وزيادة الأخطار الجيومورفولوجية المرتبطة بالرمال، حيث تعمل الحرارة المرتفعة على وجود الرمال في حالة مفككة طوال الوقت مما يساعد على حركتها بفعل الرياح، حيث يؤدي الارتفاع في درجات الحرارة المقترنة بالجفاف إلي تفكك التربة والصخور وتصبح مهيأة للتذرية (الزاملي، ٢٠٠٩، ص ١٣٩)، كما أن ارتفاع الحرارة خلال نصف السنة الصيفي تعمل على تكسر الانزيمات وتوقف العمليات الحيوية للنباتات وبالتالي هلاكها تماماً مما يساعد على حركة الرمال (الدسوقي، ٢٠٠٠/أ، ص ٢٤٦). وتبين من دراسة درجات الحرارة في المحميات الطبيعية أن درجات الحرارة تتباين من فصل لآخر، ويرجع هذا التباين إلى أنه في فصل الصيف تسيطر على المملكة العربية السعودية الكتلة المدارية القارية الجافة، حيث تستقر الأحوال الجوية، ويكون المناخ شديد الحرارة وجاف، أما في فصلي الربيع والخريف فتسيطر الكتل الهوائية البحرية القطبية والقارية الاستوائية، وعندئذ تهب العواصف الشديدة وتنشط الرياح المثيرة للأتربة والغبار والرمال، والتي تسهم في توفير الرمال والمواد الدقيقة اللازمة لتكوين الكثبان الرملية.

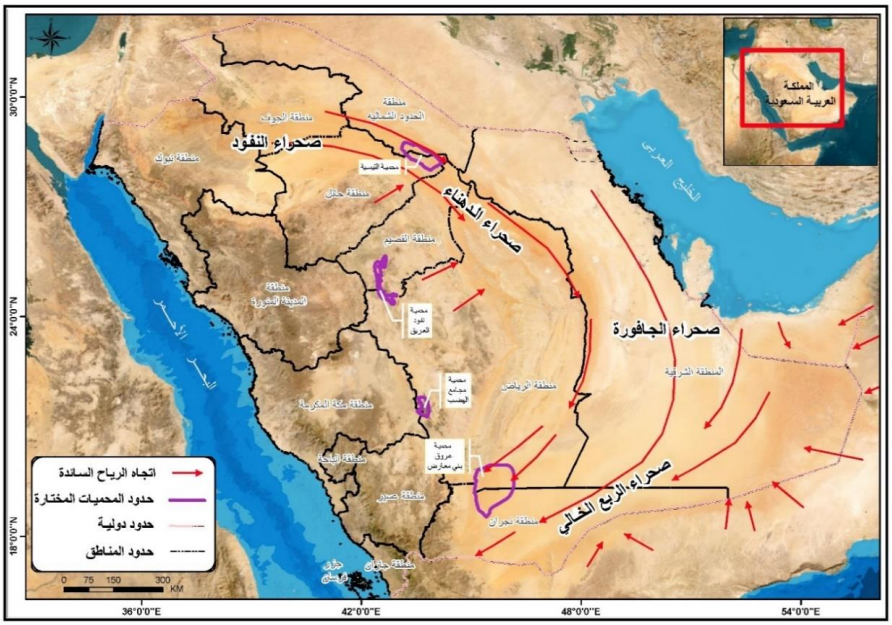
كما تؤثر الرطوبة النسبية على حركة الكثبان الرملية، حيث تعمل الرطوبة المرتفعة على تشبع أسطح الكثبان الرملية بالمياه مما يقلل من حركة الرمال المنقولة، كما أن تشبع أسطح التربة بالرطوبة يؤدي إلى نمو النباتات التي تعمل على إعاقة حركتها، وتتميز المحميات الطبيعية بانخفاض معدلات الرطوبة النسبية، حيث يتراوح المتوسط السنوي للرطوبة النسبية ٤١.٥٪ ، ومع درجة الحرارة المرتفعة بالمحميات تتبخر الرطوبة بسرعة وتظل الرمال في حالة مفككة مما يسهل عمل الرياح.

تعد الرياح من أهم العوامل التي تؤثر بشكل عام على حركة الكثبان الرملية سواء من حيث سرعتها أو اتجاهها فكلما زادت سرعة الرياح زادت قدرتها على حمل كميات كبيرة من الرمال لمسافات أطول كما أن الرياح القوية والسريعة يمكنها إثارة الرمال والأتربة وحملها إلى مسافات تتناسب طردياً مع تلك السرعة، وتقدر سرعة الرياح القادرة على حمل الرمال الناعمة والغبار وتذريتها بـ ٢٠ كم فى الساعة وبالتالى تكوين الكثبان الرملية (الدسوقي، ١٩٨٨، ص ١٤٢)، أما سرعة الرياح القادرة على حمل وتحريك الرمال متوسطة الحجم فيجب أن تصل إلى ٣٥ كم / الساعة (العوضي، ١٩٨٩، ص ١٢). كما

أن وجود نظام رياح سائدة لفترة زمنية طويلة خلال العام يؤثر على شكل واتجاه الكثبان الرملية وحركتها، إذ تعمل الرياح على تفتيت سطح التربة ونقل حبيباتها مكونة ما يعرف بالتعرية الريحية والتي تعتبر من أهم مشاكل التربة في المناطق الجافة، بينما تغيرات اتجاه الرياح المختلفة هي المسئولة عن تنوع أشكال الكثبان الرملية (فراج، ٢٠١٢، ص ١٨١)، وتبين من الدراسة أن سرعة واتجاه الرياح بالمحميات تتباين في اتجاهاتها وسرعتها من منطقة لآخري كما سبق ذكره، مما أثر على طبيعة الرواسب الرملية في هذه المحميات، يعود نشأة وتطور الرواسب الرملية الحالية بالمحميات الطبيعية الى عوامل مورفوجينية ومورفوديناميكية ساهمت في تشكيلها، كتفاعلات وأنظمة الرياح القديمة السائدة بالمملكة العربية السعودية، ومصادر الرمال، والتغيرات المكانية والمحلية التي أثرت على الرمال أثناء نموها، كالخصائص الجيولوجية والجيومورفولوجية والتغيرات الكيميائية، فقد ساهم النظام القديم للرياح الشمالية السائدة خلال الرباعي المتأخر (late quaternary period) من عصر البلايستوسين وعصر الهولوسين في تراكم وتشكل الكثبان في نفود بريدة، والقبابية في نفود الثويرات، والطولية في المظهور والنباك في السر (Aldughairi, 2011)، بينما تزامن تراكم الكثبان الطولية الحمراء في النفود في فترات جافة خلال البلايستوسين تحت تأثير الرياح الجنوبية الغربية، كما تزامن نمو وتراكم الرمال الحمراء المصفرة في نفود الدهناء إلي الفترات الجافة السائدة تحت تأثير الرياح الشمالية الشرقية (الدغيري، ٢٠١٢)، وبذلك تكون الكثبان الرملية المنتشرة بالمملكة العربية السعودية تتفق مع الاتجاهات الرئيسية التي تهب منها الرياح طول العام، ونتيجة لهذا تأخذ محاور الأشكال الرملية نفس اتجاه الرياح السائدة والتي كانت وراء تشكيلها، بمعني أنها تتمشي مع اتجاه الرياح السائدة كما تبين من دراسة الشكل (٣) والذي يوضح اتجاه الرياح السائدة بالمملكة واتفاقها مع النمط الشكلي للكثبان الرملية بالمملكة.

وتتعرض المحميات الطبيعية المدروسة إلي كميات قليلة من الأمطار، وتختلف كمياتها من فصل لآخر ومن محمية لآخري، وتؤثر الأمطار على الكثبان الرملية بشكل مباشر وغير مباشر، ففي حالة حدوث أمطار تسقط الأمطار على سطوح الكثبان تتسرب في الطبقة السطحية (حوالى ٣٠ سم) مما يؤدى إلى تماسك حبيبات الرمال طول فترة

بقاء المياه ومن ثم تقل قدرة الرياح على إزالتها ونقلها مما يترتب عليه انخفاض معدل حركتها، ولكن إذا هبت رياح قوية (٤٠ كم/ الساعة فأكثر) من الاتجاهات السائدة وتكون محملة بالرمال الخشنة فإنها تستطيع نحت الطبقة السطحية الرطبة في فترة زمنية قصيرة وتنقل ما تحتها من رمال جافة، كما أن الأمطار التي تسقط على الكثبان تؤدى إلى نمو بعض الأعشاب الصحراوية وخاصة على الأجزاء السفلية من جوانب الكثبان حيث تزيد كمية المياه بسبب تسربها من رمال الكثبان، وتؤدى هذه الأعشاب إلى زيادة عرض الكثبان بسبب تراكم الرمال حولها، كما تؤدى أيضا إلى بطء معدل حركاتها بسبب تماسك حبيبات الرمال (الدسوقي، ٢٠٠٠/ب، ص ٢٤)، وتبين من دراسة الأمطار أن كميتها تتباين من منطقة لآخري ومن فترة لآخري، ولكن بصفة عامة تقل فرص سقوط الأمطار في معظم المحميات الطبيعية إلا في بعض الأحيان التي تحدث بها السيول نتيجة ظروف مناخية متطرفة.

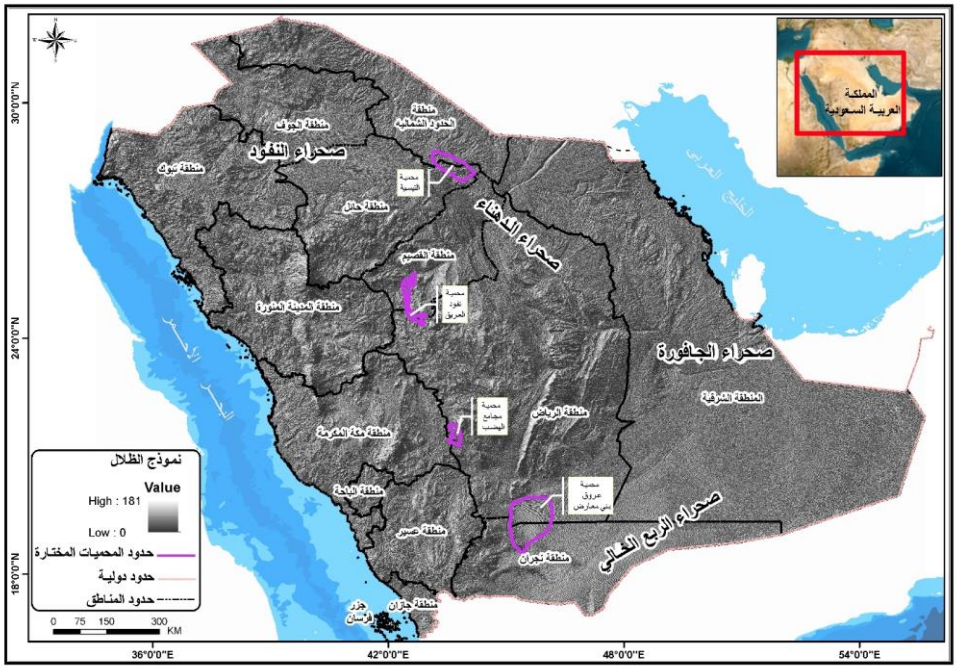


المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على الدراسات السابقة (Fryberger, S.G., Ahlbrandt, T.S., 1979) وباستخدام برامج (ArcGIS).

شكل (٣) اتجاه الرياح السائدة بالمملكة العربية السعودية

٢- **التضاريس:**

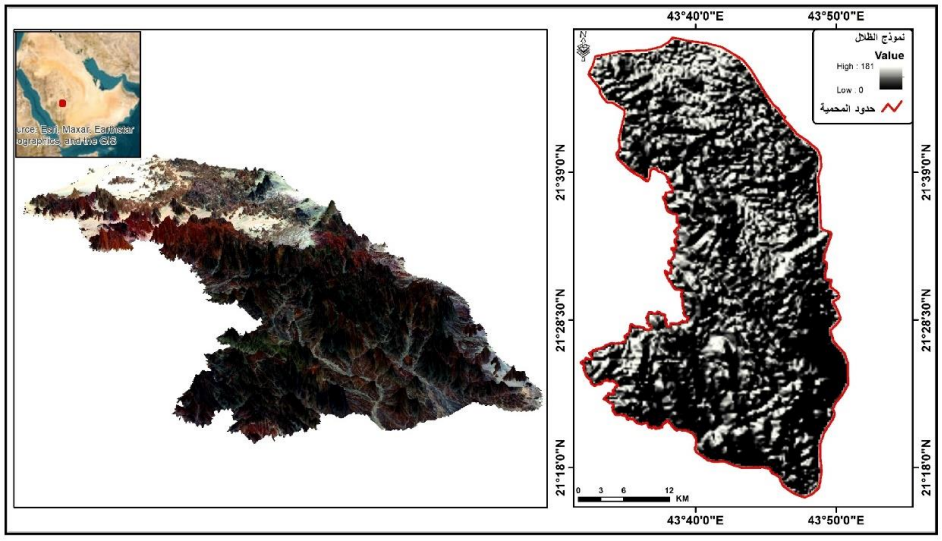
تلعب العوامل التضاريسية والطبوغرافية دوراً مهما في تكوين ونشأة الرواسب الرملية حيث تؤثر في تحديد النطاقات الرملية في شبه الجزيرة العربية، فالكثبان الرملية لا تتكون فوق المناطق المرتفعة (الغنيم، ٢٠٠٥، ص ٢١٩)، وتؤثر التضاريس بالسلب أو الايجاب على معدلات حركة الرمال، ففي بعض الأحيان يؤدي الاختلاف في طبوغرافية وتضاريس سطح الأرض إلي انخفاض في سرعة الرياح أو تحويل اتجاهها، مما يترتب عليه ترسيب الرمال لتكون بعض الأشكال مثل النباك والكثبان الرملية ، وهناك فئة من الكثبان الرملية تتكون نتيجة اعتراض عائق طبوغرافي (مناطق مرتفعة) للرياح وحركة الرمال وعليه تترسب الرمال وتتراكم على جانبي هذا العائق سواء في اتجاه الرياح (الكثبان الصاعدة) أو منصرف الرياح (الكثبان الهابطة)، وأيضا تلعب بعض الظاهرات الجيومورفولوجية المحلية دوراً مهما في إعاقة الكثبان الرملية عن مسارها الطبيعي، حيث تعمل على تبعثر الرواسب الرملية على جانبيها أو احتجازها أمامها على هيئة كثبان صد، وبالتالي تقلل من معدلات الحركة للكثبان الرملية، كما يؤثر الانحدار فتلعب درجة الانحدار المتماشية مع منصرف الرياح دوراً في زيادة معدلات حركة الكثبان بينما السطح المنحدر بشكل معاكس لاتجاه منصرف الرياح يعيق من حركة الكثبان، وتتسم المحميات الطبيعية بصفة عامة بوقوعها في المناطق التضاريس البسيطة كما تتسم باستواء سطحها وقليلة الارتفاع شكل (٤)، وهذه التضاريس بالرغم من أنها بسيطة ولكنها يمكن أن تعرقل حركة الكثبان الرملية حتي تتحرر منها، كما أن هناك بعض المناطق المنخفضة في المحميات تعمل عل تجميع مياه الأمطار وبالتالي ظهور بعض النباتات التي تمثل عقبة في مسار الرياح وتكون كثبان النباك.



المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على معالجة (DEM) وباستخدام برامج (ArcGIS, Erdas).

شكل (٤) نموذج الظلال للمملكة العربية السعودية

وتعد محمية مجامع الهضب جزء من عروق السبيع، يتراوح ارتفاع المحمية بين ٨١٤ و١٣٢٥ متراً فوق مستوي سطح البحر، وتتميز المحمية بأنها شديدة التضرس والوعورة حيث تنتشر بها الجبال العالية مثل جبل السكة (١١٣٤ متر فوق مستوي سطح البحر) في الجزء الشمالي من المحمية، وجبل السمار (١٢٨٣ متر فوق مستوي سطح البحر) في وسط المحمية، وتتكون المحمية من الاندسايت والجرانيتات والتي تتميز بانتشار الصدوع بها، كما توجد بعض المناطق قليلة الوعورة والانحدار خاصة في الاجزاء الشمالية وبعض المناطق صغيرة المساحة في الجنوب، مما ساعد على تكون الرواسب الرملية بالمحمية في شكل فرشات رملية أو ما يطلق عليه الكثبان الصاعدة والتي تتكون من الرمال والحصباء نموذج الظلال للمحمية ومجسم ثلاثي الأبعاد شكل (٥).

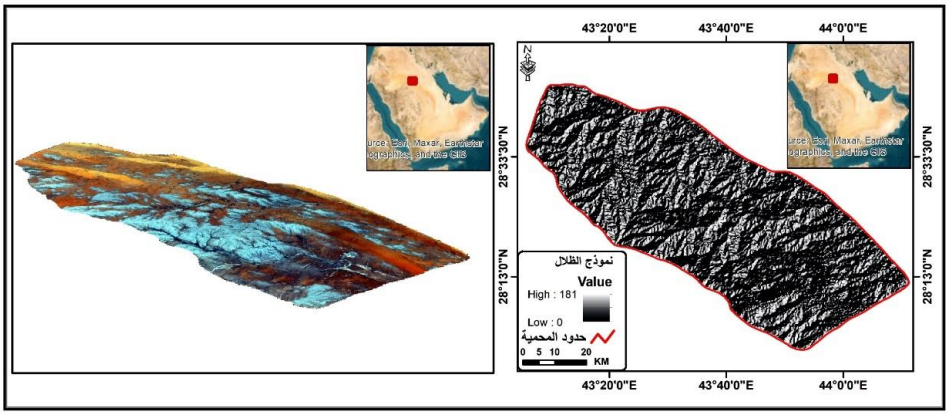


نموذج الظلال **مجسم ثلاثي الأبعاد**

المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على معالجة (DEM) المستخرج من المرئيات الفضائية نوعية أستر باستخدام برامج (ArcGIS, Erdas).

شكل (٥) نموذج الظلال ومجسم ثلاثي الأبعاد لمحمية مجامع الهضب

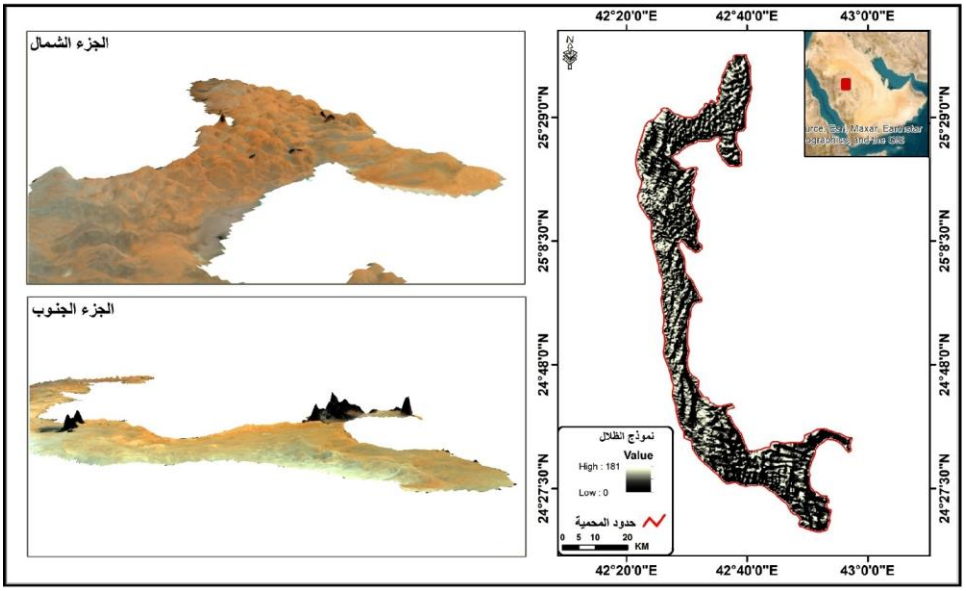
ويتراوح الارتفاع بمحمية التيسية بين ٥١٨ و٧٠٦ متراً فوق مستوي سطح البحر، ويتميز سطح المحمية بالاستواء فيما عدا المناطق التي تقطعها الأودية فتتميز بالتضرس والوعورة النسبية شكل (٦)، وقد ساعد هذا على نشأة وتكون الكثبان الرملية بالمحمية.



المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على معالجة (DEM) باستخدام برامج (ArcGIS, Erdas).

شكل (٦) نموذج الظلال لمحمية التيسية ومجسم ثلاثي الأبعاد

ويتراوح ارتفاع محمية نفود العريق ما بين ٧٢٤و١٣٥٦ متراً فوق مستوي سطح البحر، ويقل ارتفاعها عن ما يحيطها من مناطق، وقد ساعد ذلك على تلقي المحمية للرواسب من المناطق المجاورة، ويتميز سطح المحمية بالاستواء فيما عدا الاجزاء الجنوبية من المحمية والتي تتميز بتضرسها ووعورتها كما يتبين من دراسة شكل نموذج الظلال ومجسم ثلاثي الابعاد للمحمية شكل (٧)، وقد ساعد هذا على نشأة وتكون الكثبان الرملية بالمحمية.

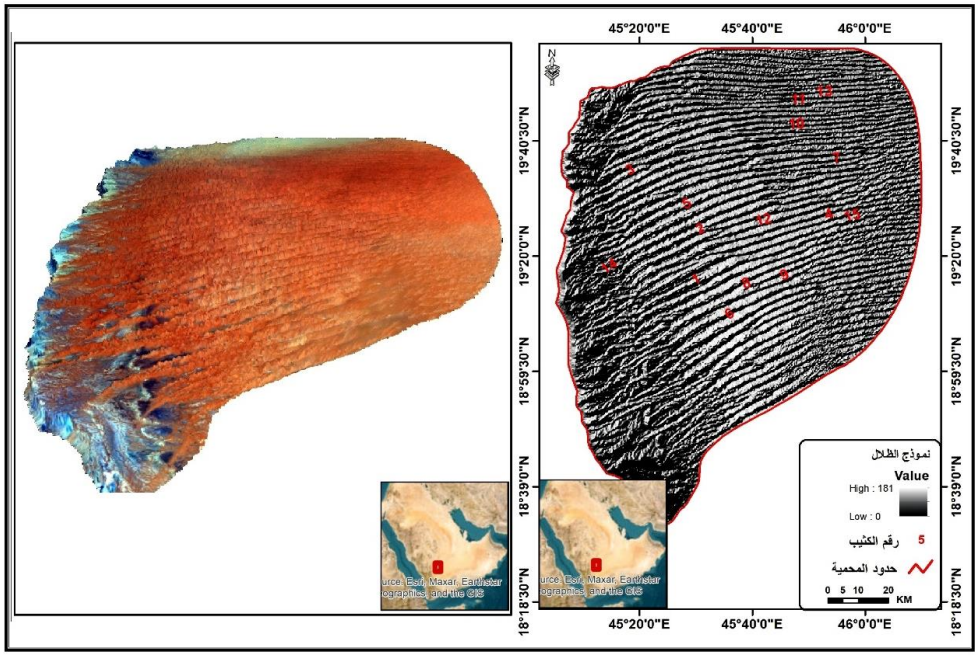


المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على معالجة (DEM) وباستخدام برامج (ArcGIS, Erdas).

شكل (٧) نموذج الظلال لمحمية نفود العريق ومجسم ثلاثي الأبعاد

ويتراوح ارتفاع محمية عروض بني معارض ٦٢٥و١٠٧٢ متراً فوق مستوي سطح البحر، وعلى الرغم من ذلك إلا أن منسوب سطح المحمية يقل عن منسوب المناطق المجاورة لها وخاصة المناطق الغربية حيث جبال طويق والدرع العربي، فالمنطقة بصفة عامة تعد حوضاً يميل نحو الشمال الشرقي والشرق بمعدل متر واحد لكل كيلومتر (الوليعي، ٢٠٠١)، وتمثل المنطقة مصرف طبيعي لأودية المناطق المجاورة من أمثلة أودية نجران، حيونة، أديعة، كيان والتي كانت تمثل أنهاراً في الفترات المطيرة، وتجري هذه الأودية من جبال الطويق في الغرب لتصب في منطقة المحمية في الشرق، وكانت تعمل

هذه الأودية على نقل المفتتات الصخرية من الحجر الرملي ومن منطقة الدرع العربي المنتشر في غرب المنطقة، ومن عمليات التجوية في المناطق الجبلية المجاورة إلي منطقة المحمية، كما يتميز سطح المحمية باستواء سطحها وانبساطها وقلة تضرسها، مما ساعد على عمليات الإرساب سواء النهري أو الرملي كما يتبين من الشكل (٨).



المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على معالجة (DEM) باستخدام برامج (ArcGIS, Erdas).

شكل (٨) نموذج الظلال لمحمية عروق بني معارض (اليمن) ومجسم ثلاثي الأبعاد (اليسار)

يتضح من دراسة الخصائص التضاريسية للمحميات الطبيعية أن هناك علاقة واضحة بين الانحدار الطوبوغرافي وتوزيع الكثبان الرملية داخل تلك المحميات، فقد تبين أن الكثبان الرملية تتركز بصفة أساسية في المناطق المنخفضة، التي تُعد أكثر عرضة لاستقبال الرمال المنجرفة من المناطق المجاورة ذات المناسيب الأعلى، والتي تعمل كمصادر للرمال المنقولة بواسطة الرياح، ويُعزى ذلك إلى أن الاختلاف في الارتفاع يؤدي إلى تسريع عملية سفي الرمال (Aeolian Deposition) باتجاه المنخفضات، مما

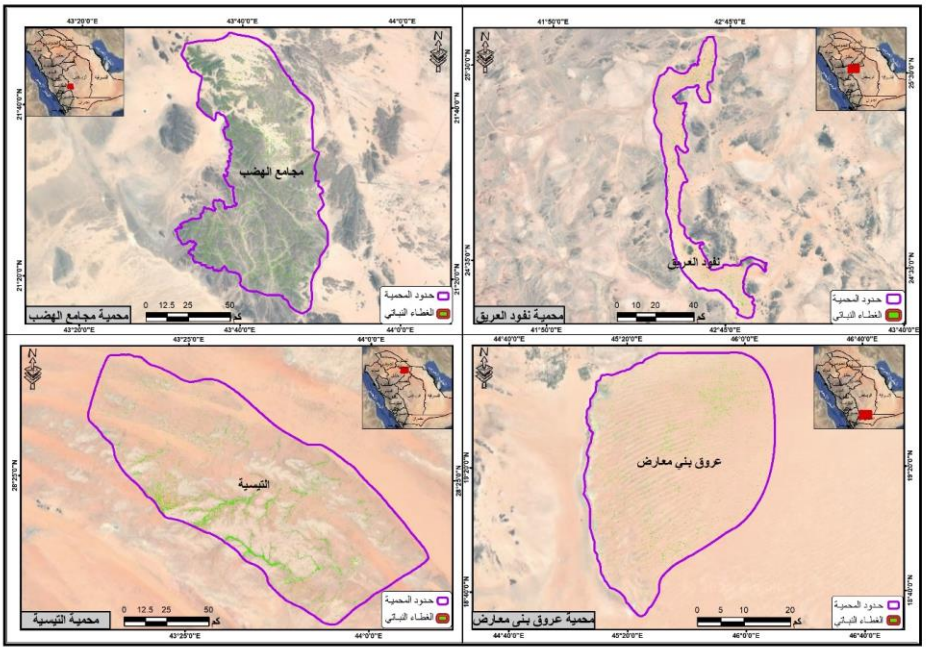
يجعلها نقاط ترسيب رئيسية.

كما تبيّن أن العديد من المحميات تتخللها شبكات أودية، تمثل هي الأخرى مناطق خفض طوبوغرافي نسبي، وهو ما يزيد من قابليتها لتراكم الرمال بفعل الانحدار الحاد من المناطق المرتفعة المحيطة، ويُعد فهم هذه العلاقة بين التضاريس وحركة الرمال أمرًا ضروريًا لتفسير أنماط انتشار الكثبان ووضع استراتيجيات فعالة لإدارة الأخطار المرتبطة بها، خاصة في ظل التوسع في استخدامات الأرض ضمن النطاقات المحمية.

٣- الغطاء النباتي:

يؤثر الغطاء النباتي على حركة الرمال، فالمطر القليل الذي يسقط على المحميات يتسرب بسرعة داخل الرمال ولهذا يجري حفظه من التبخر، وهذه الظاهرة تفسر غني المناطق الرملية بالنباتات المعمرة التي تتحمل الفترات الطويلة من الجفاف، ويؤدي وجود غطاء نباتي ذو خصائص فسيولوجية على تثبيت الرمال ومن ثم نشأة وتكون أشكال رملية مرتبطة به مثل كثبان النباك (كليو،١٩٨٦)، وتتمتع المحميات الطبيعية بالمملكة العربية السعودية بوجود غطاء نباتي جيد بصفة عامة، حيث تنتشر العديد من أنواع الأشجار والشجيرات المعمرة، والتي أثرت في حركة الرمال وتكون الكثبان الرملية بها، حيث ساعدت أودية محمية التيسية على تكوين الكثبان الرملية بالمحمية، وتنتشر في هذه الأودية بعض أنواع الأشجار والشجيرات والنباتات والتي تعمل على تثبيت الرمال ومن ثم نشأة وتكون أشكال رملية مرتبطة بها، ويؤثر التدخل البشري في حركة الرمال بالمحميات، حيث أدي حاجة القبائل البدوية وشبه البدوية الي الاحتطاب والرعي الجائر الي تدهور الغطاء النباتي في اجزاء من المحميات المدروسة، وبالتالي زيادة فاعلية حركتها وسفيها وزيادة خطورتها، ويتضح ذلك من خلال عمل مؤشر الغطاء النباتي شكل (٩) و (١٠) للمحميات المدروسة NDVI (Normalized difference Vegetation Index) حيث تبين ضعف الغطاء النباتي داخل هذه المحميات، من خلال الحصول على متوسط مساحة الغطاء النباتي لعام ٢٠٢٤ فى المحميات المدروسة، فبلغت مساحة الغطاء النباتي فى محمية التيسية ١٣٤ كم^2 بنسبة ٣.١٩٪ من مساحة المحمية، وبلغت ٧٢ كم^2 بمحمية نفود العريق بنسبة ٣.٦٪ من مساحة المحمية، وبلغت ٥٣ كم^2 فى

محمية مجامع الهضب بنسبة ٤.٤٪ من مساحة المحمية، وبلغت ٢٦٧ كم² بنسبة ٢.١٪ من مساحة المحمية، مما يعني حاجة هذه المحميات الى زيادة نسبة الغطاء النباتي بها لتثبيت الرمال ومكافحة زحف الرمال داخل المحمية.



المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على منصة GoogleErath Engine.

شكل (٩) مؤشر الغطاء النباتي NDVI داخل المحميات المختارة

أ- محمية عروق بني معرض **ب-محمية مجامع الهضب**

المصدر: البوابة الالكترونية للمركز الوطنى لتنمية الحياة الفطرية عام ٢٠٢٤.

شكل (١٠) الغطاء النباتي داخل بعض المحميات بالمملكة العربية السعودية

رابعاً: أنواع الكثبان الرملية وتوزيعها.

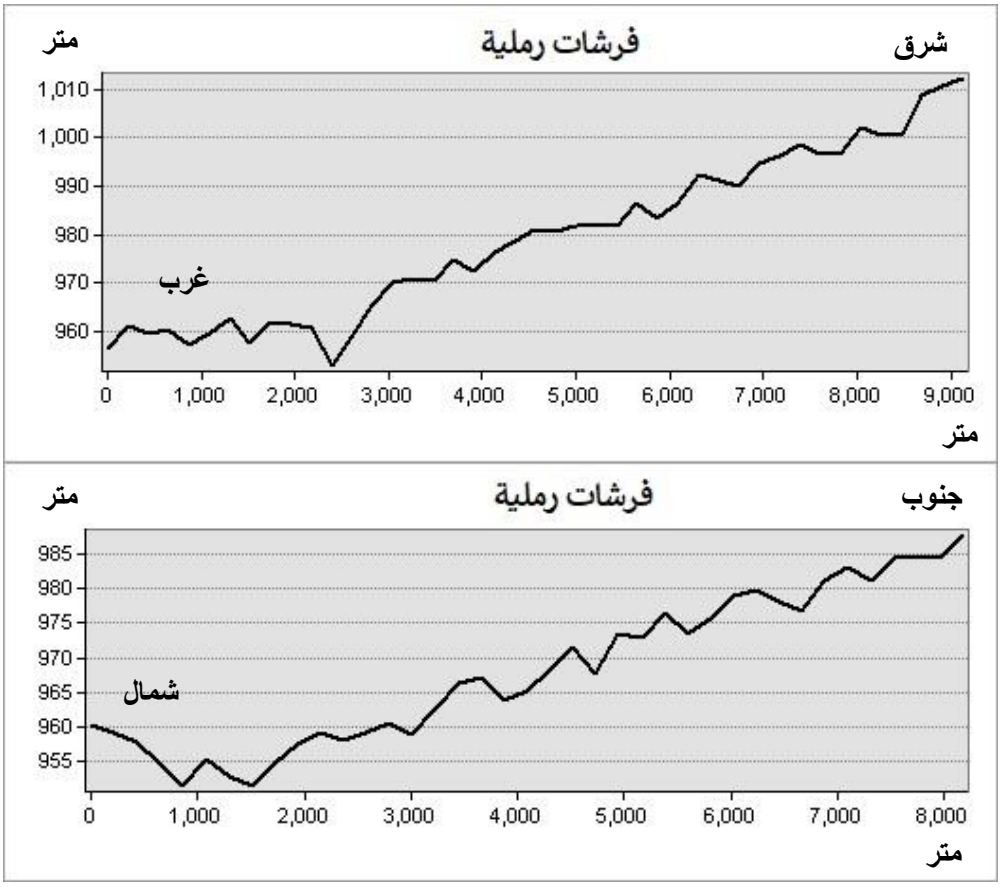
تشغل الرواسب الرملية بالمملكة العربية السعودية مساحات واسعة تقدر بنحو ثلث مساحتها، خاصة في الجزء الرسوبي، إذ تتركز قرابة (٩٠٪) من مجمل ارسابات الرمال في أربعة بحار رملية رئيسية وهي صحراء الربع الخالي جنوباً، صحراء النفود الكبير شمالاً، صحراء الدهناء والنفود في الوسط، وصحراء الجافورة شرقاً، وتختلف تلك البحار فيما بينها في تكوينها وجيومورفولوجيتها، كما توجد بعض الرواسب الرملية الصغيرة المتناثرة فوق الغطاء الرسوبي شرق المملكة، وكذلك فوق أجزاء من الدرع العربي والتي أصبحت بيئات مناسبة لتكوين الكثبان الرملية، وتنتشر الرواسب الرملية في المحميات الطبيعية التى تناولتها الدراسة وهي محميات (مجامع الهضب و التيسية و نفود عريق و عروض بني معارض)، وتعد الرواسب الرملية في هذه المحميات جزء من بحار الرمال، وفيما يلي دراسة تفصيلية للرواسب الرملية في كل محمية على حدة.

١. محمية مجامع الهضب:

تنتشر في محمية مجامع الهضب الفرشات الرملية أو ما يطلق عليها الكثبان الصاعدة والتي تتكون من الرمال والحصباء، وتعود هذه الرواسب إلي الرباعي (Quaternary Period)، وتغطي هذه الرواسب المناطق المنخفضة من المحمية وتغطي التلال السفلي من الجروف، كما تغطي مصبات الأودية بالمحمية، كما يتبين من القطاعات التضاريسية لهذه الفرشات شكل (١١) و (١٢)، ويتراوح سمك هذه الفرشات في الاجزاء الشمالية ما بين ٢٥ إلي ٥٠ متراً، ويقل سمك هذه الفرشات في الأجزاء الجنوبية مقارنة بالاجزاء الشمالية، ويرجع تكون هذه الفرشات الرملية إلي عدد من الأسباب منها انخفاض مستوي سطح المناطق التي تتكون عليها الفرشات الرملية مقارنة بالمناطق المجاورة لها، فهي بذلك تمثل منطقة ترسيب لعمليات التجوية لتكوينات الاندسايت والجرانيتات والتي يعد الكوارتز جزء منها ويعد المكون الرئيسي في الرواسب الرملية، كما تعد الأودية الطبيعية بالمحمية مثل أودية الحمل والفرشة جزء من عملية تكوين الفرشات الرملية بالمحمية، كما يسود بالمحمية المناخ شديد الجاف طوال العام، وذلك لوقوع المحمية في الأجزاء الداخلية من المملكة العربية السعودية، حيث يزيد المعدل السنوي لدرجات الحرارة عن ٢٥°م، كما

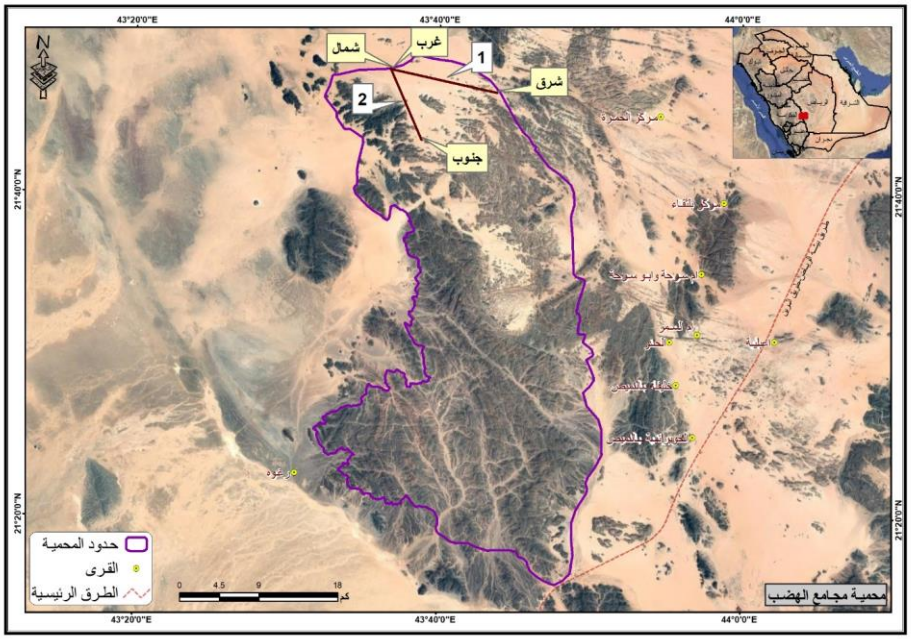
أن المدي الحراري السنوي يزيد على ١٣°م، مما ساعد على زيادة معدلات التجوية وبالتالي زيادة معدلات ترسيب الفرشات الرملية، كما ساعدت الرياح الشمالية السائدة معظم العام على تكوين وترسيب الرمال داخل المحمية على شكل فرشات رملية، حيث تقوم هذه الرياح بحمل الرمال من المصادر المختلفة وخاصة بحار الرمال المنتشر في الشمال، لترسيبها داخل المحمية حيث تعمل المناطق المرتفعة بالمحمية كمصدات لهذه الرياح فتعمل المناطق المرتفعة على كسر حدة هذه الرياح وتقليل سرعتها وبالتالي ترسيب حمولتها من الرمال في الاجزاء المنخفضة من المحمية.

يتبين من تحليل المرئيات الفضائية لمنطقة محمية مجامع الهضب في أعوام ١٩٨٧ و ٢٠٢٣ م، أن الفرشات الرملية قد بلغت مساحتها بمنطقة المحمية ٢١١.٩ كم^{٢} وذلك عام ١٩٨٧ م جدول (٣) وشكل (١٣) و(١٥) وبذلك تمثل مساحتها ١٧.٦٪ من جملة مساحة المحمية، في حين بلغت مساحتها ١٨٠.٣ كم^{٢} عام ٢٠٢٣ م، وبذلك تقلص نسبتها إلي ١٥٪ من جملة مساحة المحمية، وبمقدار تناقص بلغ ٣١.٦ كم^{٢} خلال الفترة (١٩٨٧: ٢٠٢٣ م) ولمدة ٣٦ عام، أي بمعدل ٠.٩ كم^{٢} سنوياً، وهو معدل مرتفع ويرجع ذلك إلي شدة الرياح التي تهب على المحمية، ويتبين من دراسة التغيرات التي طرأت على المحمية خلال فترة الدراسة والتي تبلغ ٣٦ عام شكل (١٤)، أن مساحة الفرشات الرملية التي ازيلت بفعل الرياح قد بلغت ٤٣.١ كم^{٢}، أي مايعادل ٣.٦ % من جملة مساحة المحمية، وتتركز هذه المناطق في الاجزاء الشمالية الغربية وفي المناطق الشرقية من المحمية ، وقد يرجع ذلك إلي اختلاف في اتجاهات الرياح، في حين بلغت مساحة الزيادة في مساحة الفرشات الرملية ١١.٥ كم^{٢}، أي مايعادل ١٪ من جملة مساحة المحمية، وتتركز هذه المناطق في الأجزاء الشمالية من المحمية شكل (١٤)، ويرجع ذلك فعل الرياح الشمالية السائدة طول العام، والتي تعمل على زيادة تراكم الرمال في الاجزاء الشمالية.



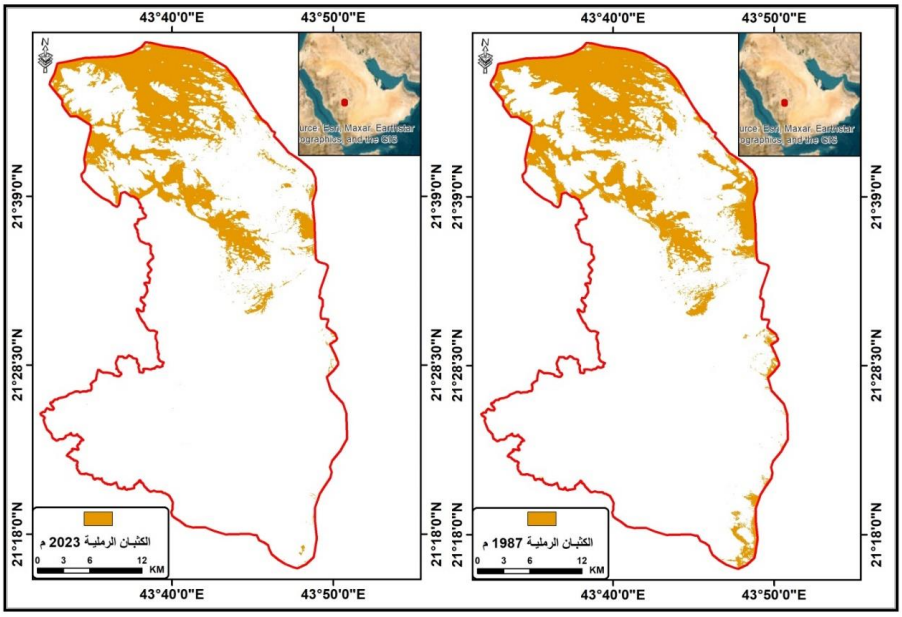
المصدر: من عمل الطالب باستخدام نموذج الارتفاعات الرقمية ، دقة ٣٠م.

شكل (١١) بعض القطاعات العرضية للفرشات الرملية بمحمية مجامع الهضب



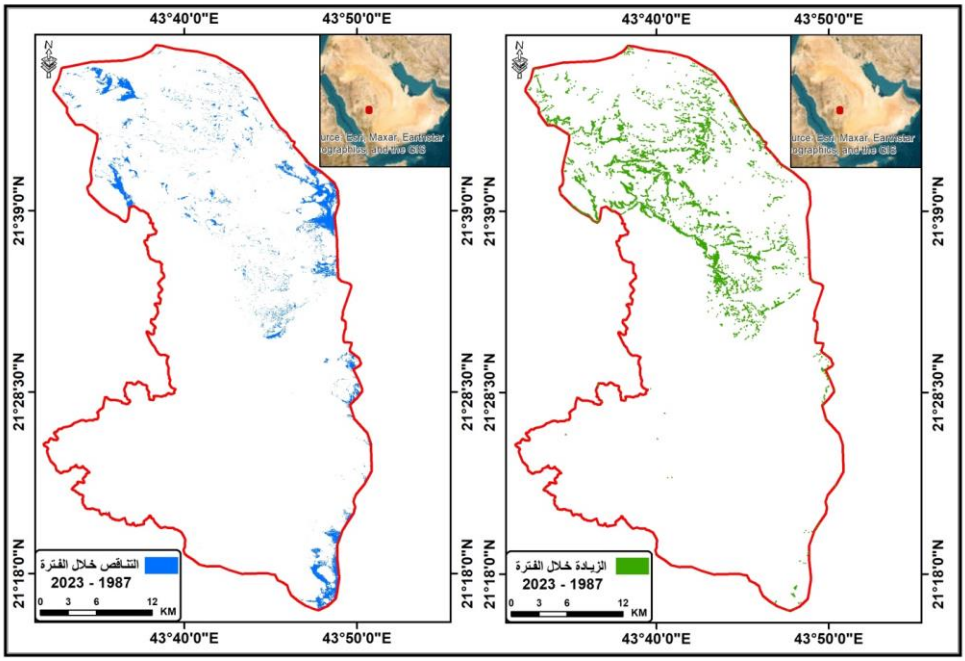
المصدر: من عمل الطالب باستخدام برامج (ArcGIS).

شكل (١٢) القطاعات العرضية بمحمية مجامع الهضب



المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على معالجة المرئيات نوعية لاندسات وباستخدام برامج (ArcGIS, Erdas).

شكل (١٣) الكثبان الرملية بمحمية مجامع الهضب عام ١٩٨٧ وعام ٢٠٢٣



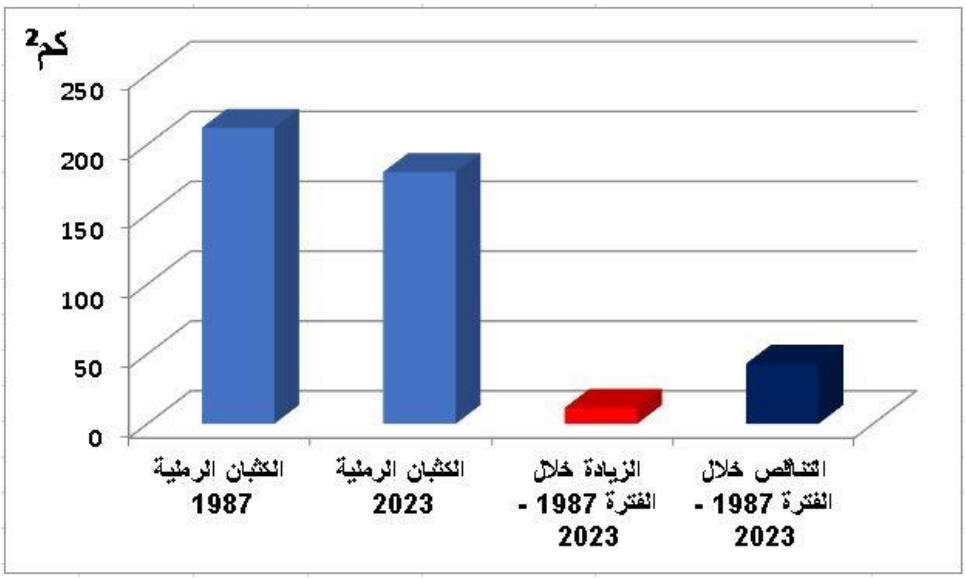
المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على معالجة المرئيات نوعية لاندسات وباستخدام برامج (ArcGIS, Erdas).

شكل (١٤) التغير في مساحة الكثبان الرملية بمحمية مجامع الهضب خلال الفترة (١٩٨٧: ٢٠٢٣ م)

جدول (٣) الكثبان الرملية بمحمية مجامع الهضب خلال الفترة ١٩٨٧: ٢٠٢٣ م

مجامع الهضب	المساحة (كم مربع)	النسبة (%)
الكثبان الرملية ١٩٨٧	٢١١,٩	١٧,٦
الكثبان الرملية ٢٠٢٣	١٨٠,٣	١٥,٠
الزيادة خلال الفترة ١٩٨٧ ـ ٢٠٢٣	١١,٥	١,٠
التناقص خلال الفترة ١٩٨٧ ـ ٢٠٢٣	٤٣,١	٣,٦
المساحة الكلية للمحمية	١٢٠٥,٨	٪١٠٠

المصدر: من عمل الطالب من خلال معالجة المرئيات نوعية لاندسات وباستخدام برامج (ArcGIS, Erdas).



المصدر: من عمل الطالب باستخدام جدول (٣).

شكل (١٥) الكثبان الرملية بمحمية مجامع الهضب خلال الفترة ١٩٨٧: ٢٠٢٣ م

٢. محمية التيسية:

تقع محمية التيسية داخل نطاق محمية الأمام تركي بن عبد الله الملكية حاليا وهى تمثل جزء من صحراء الدهناء، وتقع صحراء الدهناء في وسط المملكة العربية السعودية، وتمتد على شكل قوس محدب من الشمال إلي الجنوب وينصف شبه الجزيرة العربية، وهي صحراء رملية حمراء، عبارة عن شريط رملي ضيق يتراوح عرضه بين ٤٠ و ٨٠ كم، ليربط بين بحر رمال النفود في الشمال وبحر رمال الربع الخالي في الجنوب، ويصل امتدادها قرابة ١٢٠٠ كم، كما يتبين من دراسة القطاعات العرضية شكل (١٧) و (١٨)، وتتكون محمية التيسية من تكوين العرمة والذي يعود إلى عصر الطباشيري العلوي وهو عبارة عن حجر كلسي يحتوي على المارل والدولومايت والكوارتز، كما تنتشر الرمال المتكونة بفعل الرياح في مناطق متفرقة بالمحمية والتي تعود إلى العصر الرباعي (quaternary period)، وقد ساعد استواء السطح وقلة التضرس في نشأة وتكون الكثبان الرملية بالمحمية، كما ساعدت أودية المنطقة المنتشر بها أنواع مختلفة من الأشجار والشجيرات والنباتات على تثبيت الرمال ومن ثم نشأة وتكون أشكال رملية مرتبطة بها. كما يسود المحمية المناخ شديد الجاف طوال العام، مما ساعد على زيادة معدلات التجوية

وبالتالي زيادة معدلات ترسيب الفرشات الرملية، كما ساعدت الرياح الشمالية الغربيه السائدة معظم العام على تكوين وترسيب الرمال داخل المحمية على شكل كثبان رملية طولية وفرشات رملية متفرقة، حيث تقوم هذه الرياح بحمل الرمال من المصادر المختلفة وخاصة بحار الرمال المنتشر في الشمال لترسيبها داخل المنطقة.

من خلال دراسة المرئيات الفضائية نوعية لاندسات لعام ٢٠٢٣م ونموذج الارتفاعات الرقمية للمحمية تبين تواجد نوعين رئيسيين من الكثبان وهما الكثبان الطولية والفرشات الرملية شكل (٢١)، وتتركز الكثبان الرملية الطولية في الأجزاء الشمالية الغربية والشرقية من المحمية، وتأخذ اتجاه شمالي غربي إلي جنوب شرقي، ويتراوح أطوال الكثبان الرملية الطولية بالمحمية بين ٣٥و٤٨ كم، في حين يتراوح عرضها بين ٢.٨و٥.٥ كم، في حين يتراوح متوسط ارتفاع الكثيب بالمحمية ١٣: ١٨ متراً شكل (١٦)، وتتميز الكثبان الرملية الطولية بالمحمية باللون الأصفر، وقد يرجع ذلك إلي طبيعية بيئة التكوين ومصدر الرمال المتكونة منها الكثبان الطولية، فمن المرجح أن تكون هذه الرمال منقولة من بحار الرمال التي تحيط بالمحمية من الشمال والشرق والغرب.

فرشات رملية

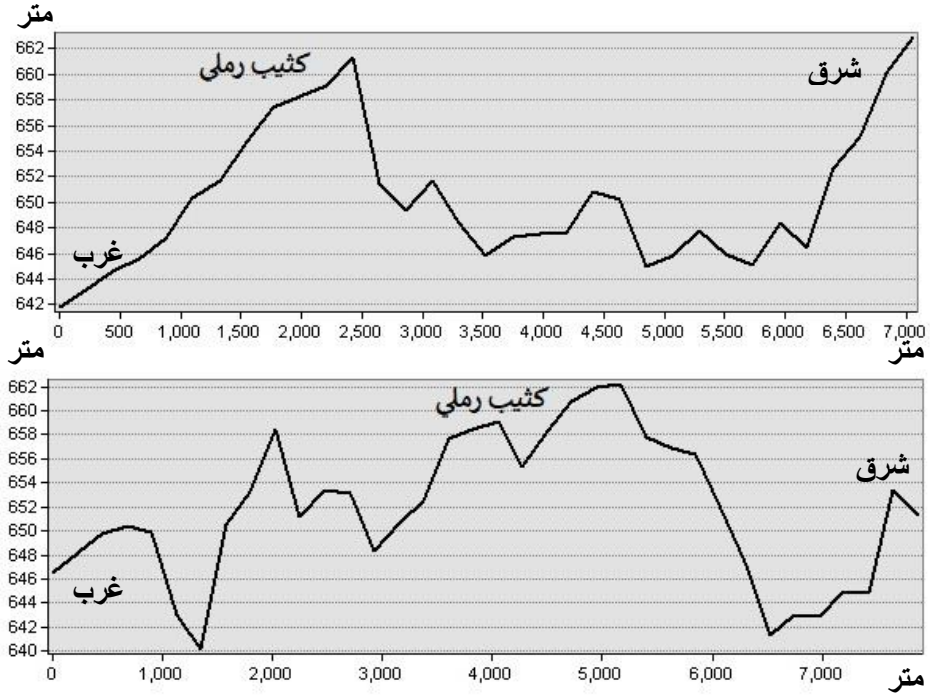
المصدر: الزيارة الميدانية عام ٢٠٢١م

شكل (١٦) الفرشات الرملية

في حين تتكون الفرشات الرملية من مساحات صغيرة من الرمال متناثرة هنا وهناك في المحمية، وترتبط هذه المساحات بالوديان الرئيسية والسهول، أو تكون عبارة عن رواسب رملية تذري في اتجاه التلال السفلي من الجروف، كما توجد في المناطق البينية بين الكثبان الطولية، أو تتواجد الفرشات الرملية علي شكل أكوام رملية متراكمة في كنف بعض الشجيرات المنتشرة بالمحمية، وذك نتيجة اعتراضها مسار هبوب الرياح المحملة بالرمال مثبطة قدرتها على النقل ومجبرة لها على ترسيب تلك الحمولة، مشكلة بذلك مايطلق عليه النباك الرملية، وتتميز هذه الظاهرة بأن شكلها يشبه المثلث يشير رأسه إلي اتجاه منصرف الرياح. وتتميز الرمال التي تكون الفرشات الرملية بصفة عامة باللون الأصفر المائل إلي الحمرة، وقد يكون ذلك نتيجة أنها تكونت من تجوية صخور المحمية، كما تتميز الفرشات الرملية بسطح مستوي أو مموج تموجاً لطيفاً، وقد يظهر على هذه السطوح تموجات رملية ونباك، ويتراوح سمك هذه الفرشات بين عدة سنتميترات وأكثر من متر، ويتوقف هذا السمك على طبيعة سطح الأرض الذي تم فوقها عملية الترسيب، ويتراوح انحدار هذه الاسطح بين صفر و ٢°، كما أن بعض السطوح يتراوح انحدارها بين ٣و٨°، ويوجد غطاء قليل السمك من الرمال الخشنة الحبيبات على سطوح الغطاءات الرملية، حيث قامت الرياح بحمل الرمال الناعمة والمتوسطة الحجم تاركة الحبيبات الخشنة التي لم تقدر على حملها على هيئة طبقة رقيقة تحمي ما تحتها من رمال أقل حجماً.

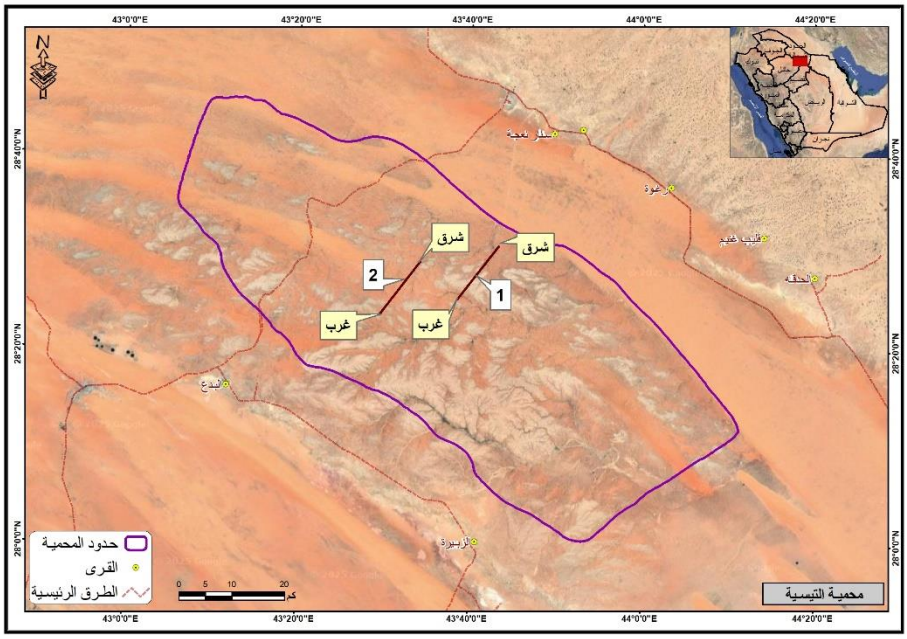
يتبين من تحليل المرئيات الفضائية لمنطقة محمية التيسية في أعوام ١٩٨٦ و ٢٠٢٣ م شكل (١٩)، أن مساحة الرواسب الرملية قد بلغت بمنطقة المحمية ٢١٥٦.٨ كم^{٢} وذلك عام ١٩٨٦ م جدول (٤) وشكل (٢٢)، وبذلك تشغل مساحة نصف مساحة المحمية (٥٠.٥٪ من جملة مساحة المحمية، في حين بلغت مساحتها ١٥١٧.٣ كم^{٢} عام ٢٠٢٣ م، وبذلك تقلص نسبتها إلي ١٥٪ من جملة مساحة المحمية، وبمقدار تناقص بلغ ٦٣٩.٥ كم^{٢} خلال الفترة (١٩٨٦: ٢٠٢٣ م) ولمدة ٣٧ عام، أي بمعدل ١٧.٣ كم^{٢} سنوياً، وهو معدل مرتفع ويرجع ذلك إلي شدة الرياح التي تهب على المحمية يضاف إلي ذلك استواء سطحها مما يساعد على زيادة فاعلية الرياح بالمحمية، ويتبين من دراسة التغيرات التي طرأت على المحمية خلال فترة الدراسة والتي تبلغ ٣٧ عام شكل، أن

مساحة الرواسب الرملية التي ازيلت بفعل الرياح قد بلغت ٧٨٦.٣ كم^{٢}، أي مايعادل ١٨.٤٪ من جملة مساحة المحمية، وتتركز هذه المناطق في الاجزاء الشمالية الغربية وفي المناطق الشرقية من المحمية شكل (٢٠)، وقد يرجع ذلك إلي اختلاف في اتجاهات الرياح، في حين بلغت مساحة الزيادة في الرواسب الرملية خلال نفس الفترة ١٤٦.٨ كم^{٢}، أي مايعادل ٣.٤٪ من جملة مساحة المحمية، وتتركز هذه المناطق في المناطق الجنوبية الشرقية من المحمية وفي بعض المناطق المتفرقة من المحمية شكل، ويرجع ذلك إلي طبيعية الرياح الشمالية السائدة بالمحمية طول العام.



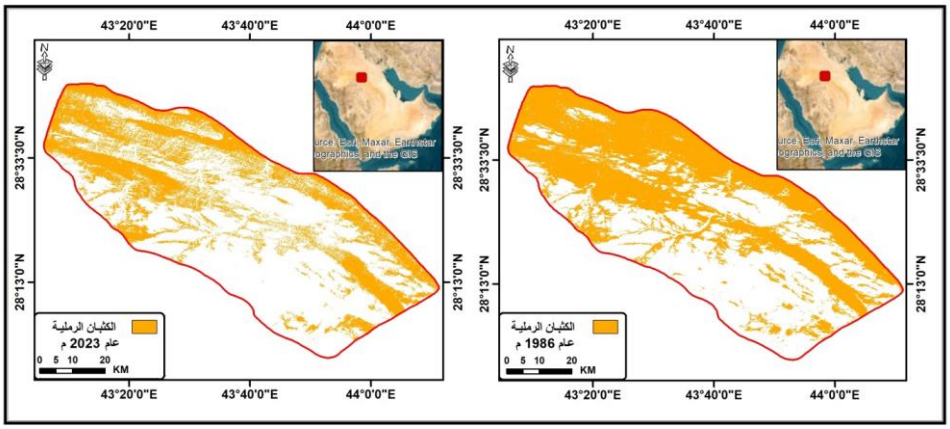
المصدر: من عمل الطالب باستخدام نموذج الارتفاعات الرقمية ، دقة ٣٠م.

شكل (١٧) بعض القطاعات العرضية للكثبان الطولية بمحمية التيسية



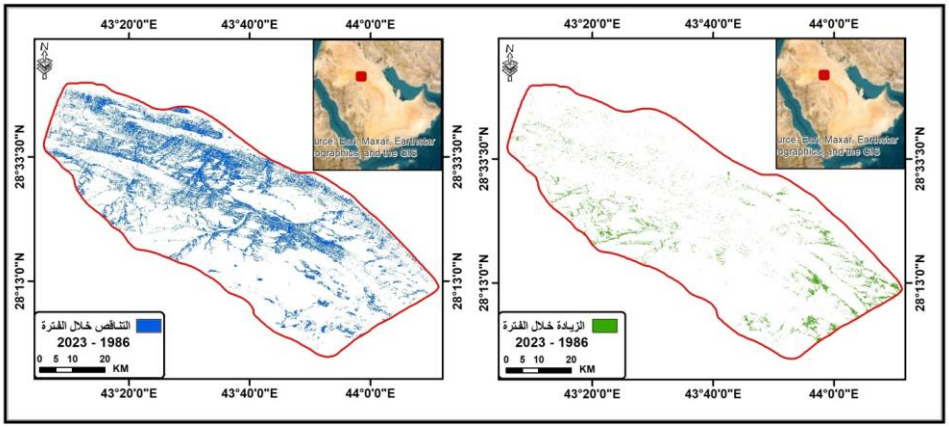
المصدر: من عمل الطالب باستخدام برامج (ArcGIS).

شكل (١٨) القطاعات العرضية بمحمية التيسية



المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على معالجة المرئيات نوعية لاندسات وباستخدام برامج (ArcGIS, Erdas).

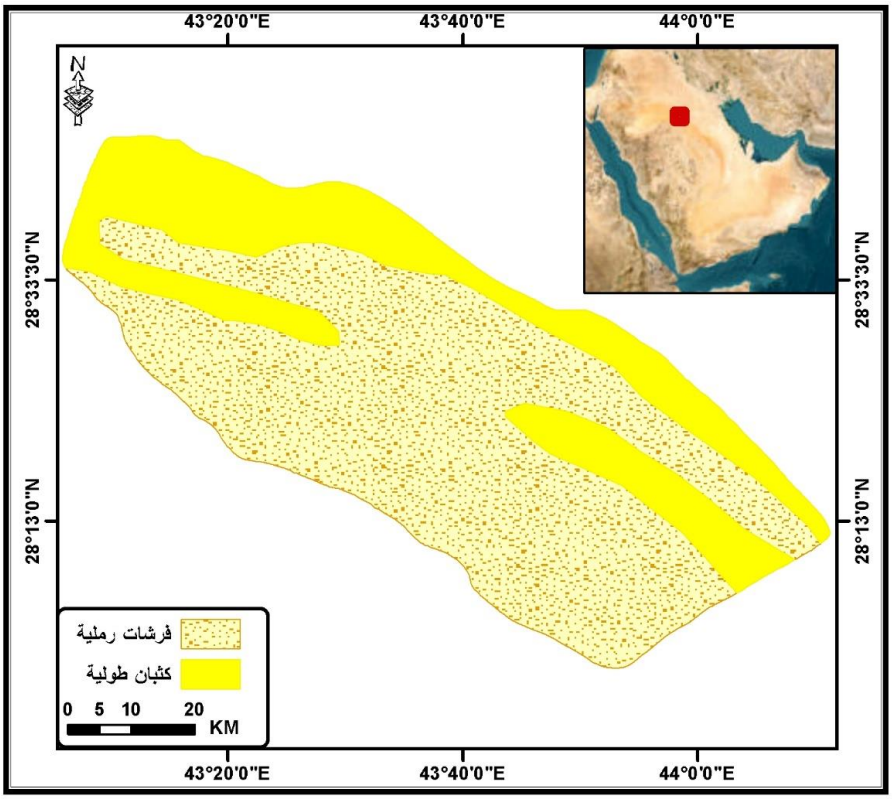
شكل (١٩) الكثبان الرملية بمحمية التيسية عام ١٩٨٦ وعام ٢٠٢٣



المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على معالجة المرئيات نوعية لاندسات وباستخدام برامج (ArcGIS, Erdas).

شكل (٢٠) التغير في مساحة الكثبان الرملية بمحمية التيسية

خلال الفترة (١٩٨٦: ٢٠٢٣ م)



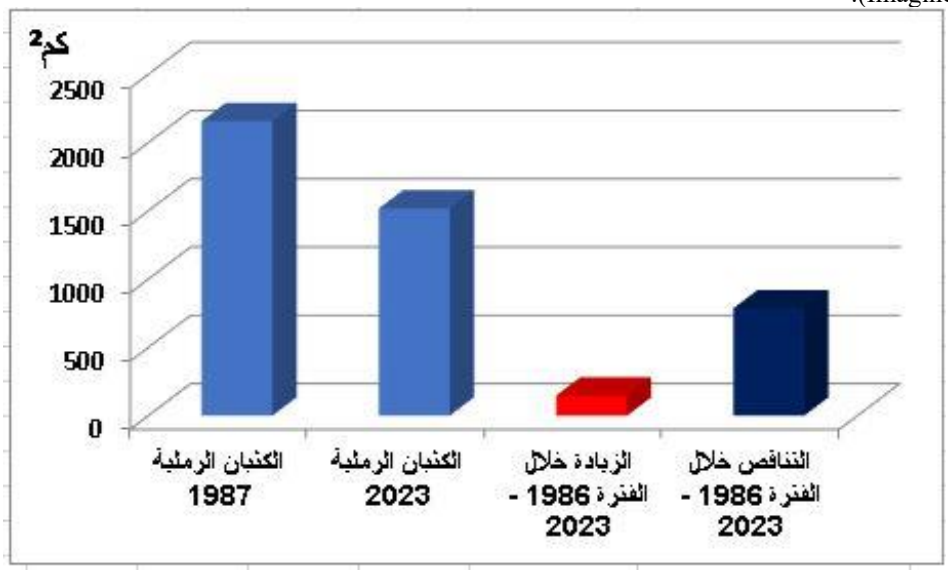
المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على معالجة المرئيات نوعية لاندسات وباستخدام برامج (ArcGIS, Erdas).

شكل (٢١) انواع الرواسب الرملية بمحمية التيسية

جدول (٤) الكثبان الرملية بمحمية التيسية خلال الفترة ١٩٨٧: ٢٠٢٣ م

محمية التيسية	المساحة (كم مربع)	النسبة (%)
الكثبان الرملية ١٩٨٦	٢١٥٦,٨	٥٠,٥
الكثبان الرملية ٢٠٢٣	١٥١٧,٣	٣٥,٥
الزيادة خلال الفترة ١٩٨٦ ـ ٢٠٢٣	١٤٦,٨	٣,٤
التناقص خلال الفترة ١٩٨٦ ـ ٢٠٢٣	٧٨٦,٣	١٨,٤
المساحة الكلية للمحمية	٤٢٧٢,٢	١٠٠٪

المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على معالجة المرئيات نوعية لاندسات وباستخدام برامج (ArcGIS, Erdas Imagine).



المصدر: من عمل الطالب باستخدام جدول (٤).

شكل (٢٢) الكثبان الرملية بمحمية التيسية خلال الفترة ١٩٨٦: ٢٠٢٣ م

٣. محمية نفود العريق

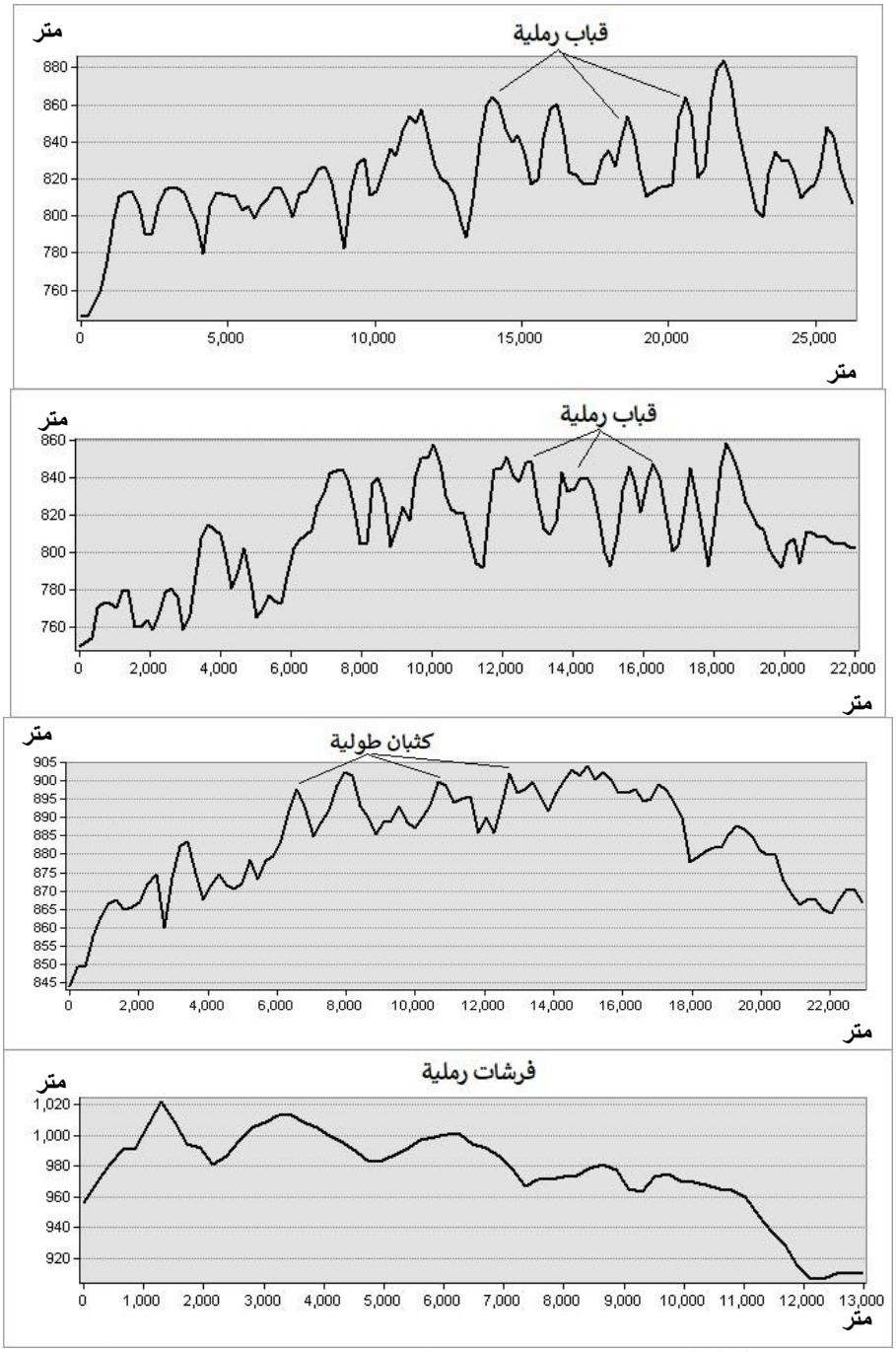
تعني النفود الرمال الكثيفة الصعبة المرور، تسفيها الرياح فتؤلف كثباناً مسلسلة (كحالة، ١٩٤٤)، وتنتشر في المملكة العربية السعودية العديد من النفود منها نفود الثويرات، السبلة، السر، الشقيقة، الملحة، القنفدة، العريق، الغامي، والسياريات، المظهور، البلدان، وتشترك جميع هذه النفود بصفات عامة متشابه من حيث مظهرها العام واشكالها الجيومورفولوجية الفريدة من نوعها أمثال القباب الرملية والكثبان الهلالية والمنخفضات الواحية التي تنحصر بينها، تعد محمية نفود العريق أحد أنواع النفود التي تنتشر بالمملكة

وهي جزء من صحراء النفود، وهي عبارة عن حوضاً يميل من الشمال إلي الجنوب، وتتسم المحمية بإنخفاضها مقارنة عن ما يحيطها من مناطق، وقد ساعد ذلك على تلقي المحمية الترسيبات من المناطق المجاورة لها، كما يتميز سطح المحمية بالاستواء فيما عدا الاجزاء الجنوبية والتي تتميز بتضرسها ووعورتها، كما تبين من دراسة القطاعات العرضية شكل (٢٣) و (٢٤)، وقد ساعد هذا على نشأة وتكون الكثبان الرملية بالمحمية، وتتكون المحمية بصفة عامة من الرمال المتكونة بفعل الرياح فيما عدا المنطقة الجبلية في جنوب المحمية والتي تتكون من تكوين حلبان.

ومن خلال دراسة المرئيات الفضائية نوعية لاندسات ونموذج الارتفاعات الرقمية يمكن تقسيم الكثبان الرملية بالمحمية إلي ثلاثة أنواع رئيسية، النوع الأول منطقة القباب وتقع في شمال المحمية شكل(٢٧)، وتتصف هذه القباب بأنها تشبه حوائط متينه من الرمال يبلغ ارتفاعها بين ١٢٠ و ٨٠ متراً وأحيانا أكثر من ذلك، ويتضح من المرئيات الفضائية بان هذه الكتلة الضخمة من الرمال قد قطعت بشدة بحيث أصبحت تشكل جبالا ضخمة ومعزولة من الرمال تقع بينها شبكة من المنخفضات العميقة، ويتراوح عرض هذه المنخفضات ما بين ٥٠ و٧٠٠ متر، أما أعماقها فتختلف من مكان إلي آخر، وقد تصل بعض أجزائها إلي القاعدة الصخرية أو تلك المغطاة بالحصي، وما عدا ذلك فان ارضية تلك المنخفضات تغطيها في العادة طبقة خفيفة من الرمال أو ترب تكونت من الرمل الطيني الذي نشأ محليا، وغالباً ما تأخذ هذه القباب شكلا بيضويا يتراوح طول محوره بين ١و٢ كم، كما توجد هناك بعض القباب الرملية التي تأخذ شكلا دائرياً بقطر بين ٧٠٠ و١٠٠٠ متر، بالاضافة إلي ذلك هناك بعض القباب الرملية التي تشكل سلاسل شبه جبلية رملية باتجاه طولي، حيث يبلغ امتدادها عشرة كيلومترات على الأقل. وتتميز سفوح هذه القباب الرملية بالانحدار الشديد بشكل عام، وتتكون تلك السفوح من تجمعات سميكة من الرمال عليها نباتات صحراوية بشكل مبعثر، مما يساعد على ثباتها ومنع سفي الرمال من تلك القباب نحو المنخفضات المجاورة لها، وتوجد فوق كل قبة من هذه القباب الرملية مساحة مستوية تشكلت فوقها بعض الكثبان الرملية المتحركة والتي يتراوح ارتفاعها بين ٥و١٠ متر، وقد تأخذ هذه الكثبان الشكل الهلالي.

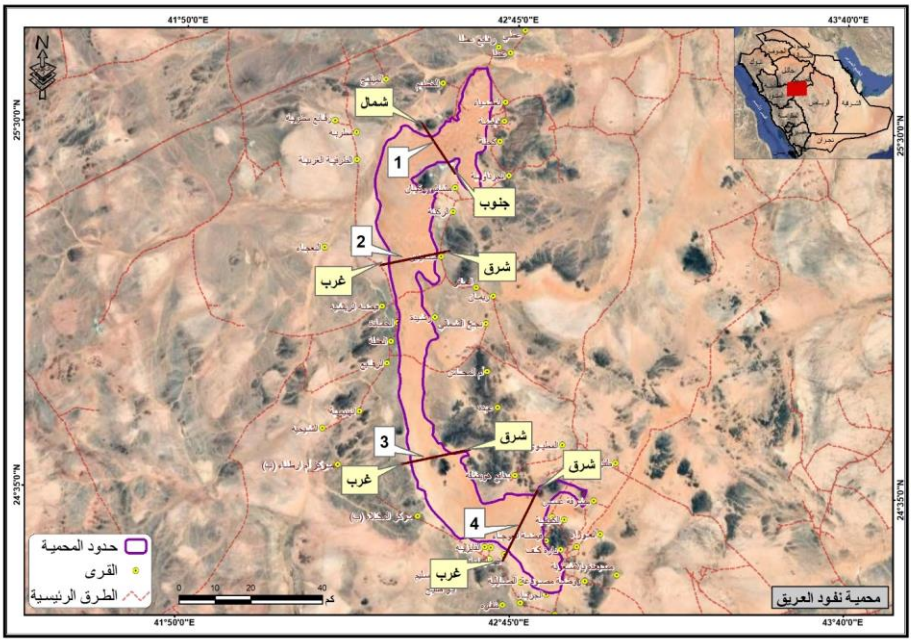
أما النوع الثاني فهي الكثبان الرملية الطولية المعقدة، وهي عبارة عن كثبان رملية مستطيلة الشكل، وتتميز بقمم حادة ضيقية سيفية تفصل بينها مناطق بينية، ويعد هذا النمط من أبز الأشكال السائدة في محمية نفود العريق، وتمتد من منطقة القباب في الشمال إلي منطقة الفرشات الرملية التي تقع في الجنوب، ويتراوح أطوال الكثبان الرملية الطولية بالمحمية بين ١٨و٣٠ كم، في حين يتراوح عرضها مابين ٠.٥: ١.٢ كم، في حين يتراوح متوسط ارتفاع الكثيب بالمحمية ٢٠: ٣٠ متراً، ويشغل هذا النوع المساحة الأكبر في المحمية، أما النوع الثالث فهي الفرشات الرملية وهي عبارة عن مسطحات رملية شبه مستوية أو متموجة، والتي تغطي المنطقة الممتدة من منطقة الكثبان الرملية وحتي الحدود الجنوبية للمحمية، وهي فرشات رملية قليلة السمك مقارنة بالأشكال الأخري شكل، وفي بعض الآحيان يتكون عليها كثبان طولية أو قباب رملية قليلة الارتفاع.

يتبين من تحليل المرئيات الفضائية لمحمية نفود العريق في أعوام ١٩٨٦ و ٢٠٢٣ م شكل (٢٥)، أن مساحة الرواسب الرملية بمنطقة المحمية قد بلغت ١٤٨٩.٣ كم^{٢} وذلك عام ١٩٨٧ م جدول (٥) وشكل (٢٨)، وبذلك تشغل الرواسب الرملية مساحة مايزيد عن ثلثي مساحة المحمية (٧٣.١٪ من جملة مساحة المحمية)، في حين بلغت مساحتها ١٣٨٦.٧ كم^{٢} عام ٢٠٢٣ م، وبذلك تقلص نسبتها إلي ٥٪ من جملة مساحة المحمية، وبمقدار تناقص بلغ ١٠٢.٥ كم^{٢} خلال الفترة (١٩٨٧-٢٠٢٣ م) ولمدة ٣٦ عام، أي بمعدل ٢.٨ كم^{٢} سنوياً، وهو معدل متوسط ويرجع ذلك إلي طبيعية الرياح التي تهب على المحمية، ويتبين من دراسة التغيرات التي طرأت على المحمية خلال فترة الدراسة والتي تبلغ ٣٦ عام، أن مساحة الرواسب الرملية التي ازيلت بفعل الرياح قد بلغت ١٨٠.٧ كم^{٢}، أي مايعادل ٨.٩٪ من جملة مساحة المحمية، وتتركز هذه المناطق في الاجزاء الشمالية والجنوبية من المحمية، وقد يرجع ذلك إلي اختلاف في اتجاهات الرياح، في حين بلغت مساحة الزيادة في مساحة الرواسب الرملية ٧٨.٢ كم^{٢}، بنسبة ٣.٨٪ من جملة مساحة المحمية، وتتركز هذه المناطق في مناطق متفرقة من المحمية شكل (٢٦)، ويرجع ذلك إلي طبيعية الرياح السائدة بالمحمية طول العام.



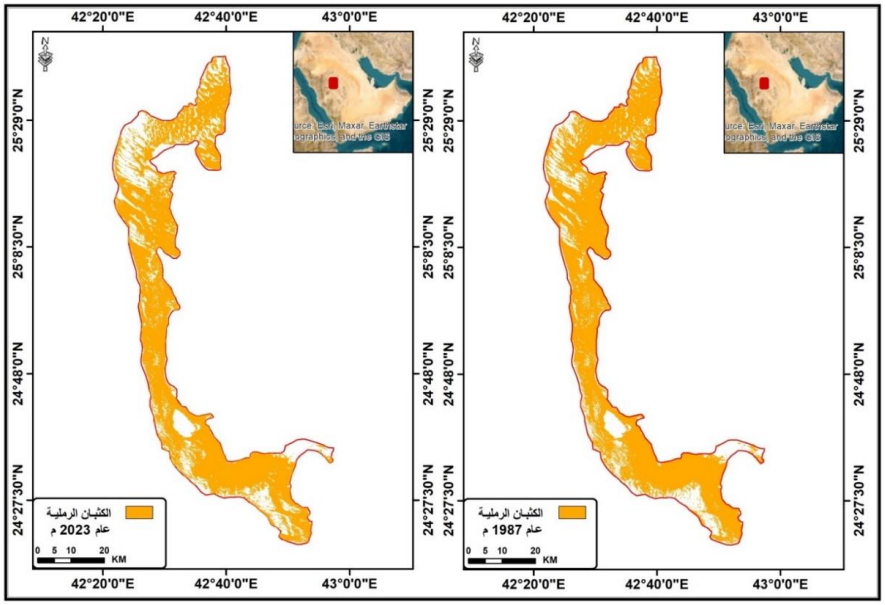
المصدر: من عمل الطالب باستخدام نموذج الارتفاعات الرقمية ، دقة ٣٠م.

شكل (٢٣) بعض القطاعات العرضية للأشكال الرملية بمحمية نفود العريق



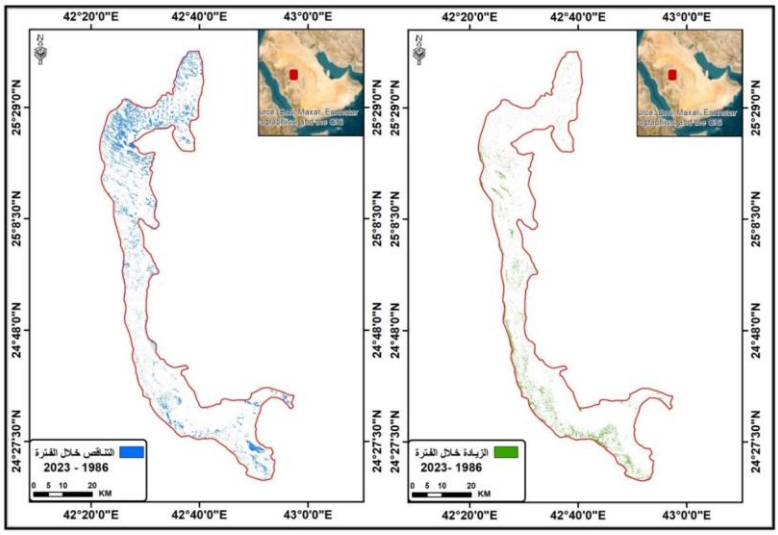
المصدر: من عمل الطالب باستخدام برامج (ArcGIS).

شكل (٢٤) القطاعات العرضية بمحمية نفود العريق



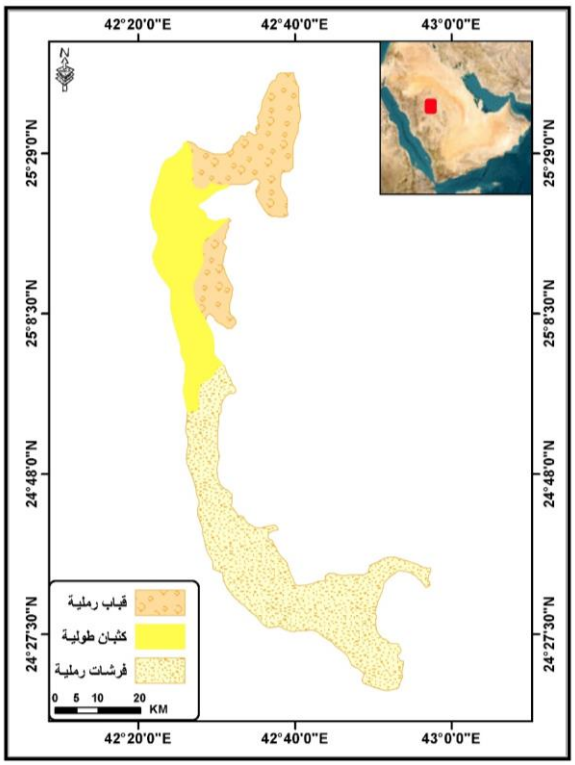
المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على معالجة المرئيات نوعية لاندسات وباستخدام برامج (ArcGIS, Erdas).

شكل (٢٥) الكثبان الرملية بمحمية نفود العريق عام ١٩٨٦ وعام ٢٠٢٣



المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على معالجة المرئيات نوعية لاندسات وباستخدام برامج (ArcGIS, Erdas).

شكل (٢٦) التغير في مساحة الكثبان الرملية بمحمية نفود العريق خلال الفترة (١٩٨٦: ٢٠٢٣ م)



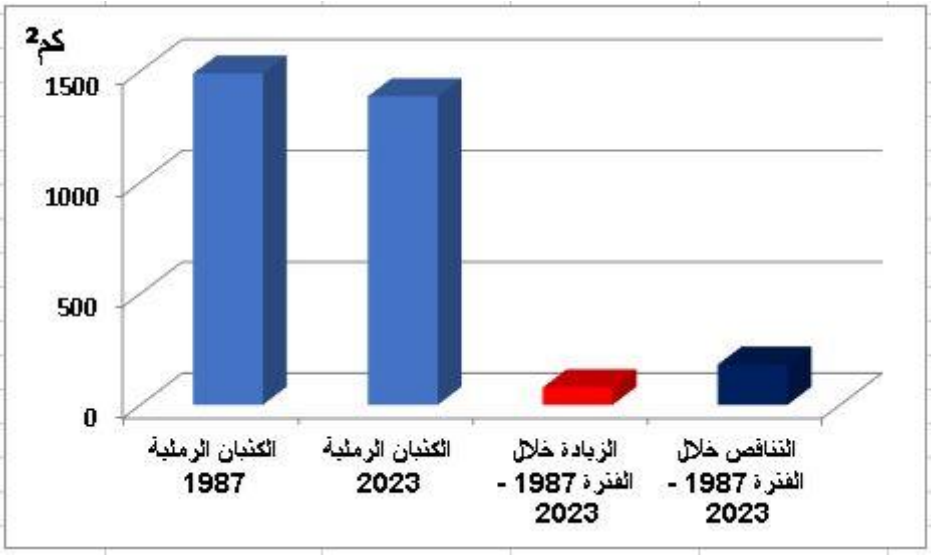
المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على المرئيات الفضائية وباستخدام برامج (ArcGIS, Erdas).

شكل (٢٧) أشكال الرواسب الرملية بمحمية نفود العريق

جدول (٥) الكثبان الرملية بمحمية نفود العريق خلال الفترة ١٩٨٧: ٢٠٢٣ م

محمية نفود العريق	المساحة (كم مربع)	النسبة (%)
الكثبان الرملية ١٩٨٦	١٤٨٩,٣	٧٣,١
الكثبان الرملية ٢٠٢٣	١٣٨٦,٧	٦٨,١
الزيادة خلال الفترة ١٩٨٦ ـ ٢٠٢٣	٧٨,٢	٣,٨
التناقص خلال الفترة ١٩٨٦ ـ ٢٠٢٣	١٨٠,٧	٨,٩
المساحة الكلية للمحمية	٢٠٣٦,١٣	١٠٠

المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على معالجة المرئيات نوعية لاندسات وباستخدام برامج (ArcGIS, Erdas).



المصدر: من عمل الطالب باستخدام جدول (٥).

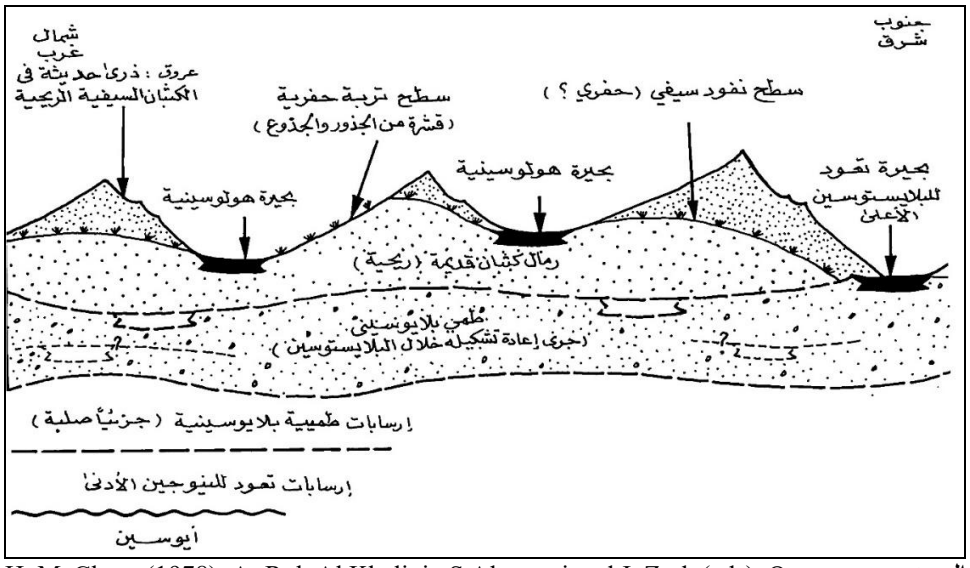
شكل (٢٨) الكثبان الرملية بمحمية نفود العريق خلال الفترة ١٩٨٧: ٢٠٢٣ م

٤. محمية عروق بني معارض

تمثل محمية عروق بني معارض جزء من صحراء الربع الخالي التي تقع فى الجزء الجنوبي الشرقي من المملكة العربية السعودية، وتقع المحمية في الجزء الغربي منها، وتغطي مساحة تقدر ١٢.٨ ألف كم^{٢} وتمثل نحو ٢٪ من صحراء الربع الخالي، والتي تتراوح سماكة الرمال فيها ما بين ١٥٠ و ٣٠٠ م (Powers et al., 1966)، ويحتوي الربع الخالي علي الكثبان الرملية تشمل البارخان والطولية والنجمية ولكن القسم الأكبر هو من الكثبان الطولية بشكل رئيسي حيث يتراوح طولها بين ١٥٠ و ٢٥٠ كم وبتباعد ٢و٦

كم، وتفصلها مناطق متداخلة تتكون من السبخات والنتوءات الصخرية وبعض المستنقعات الصغيرة (Kumar and Mahmoud, 2011)، ويرجح سبب التسمية للربع الخالي إلي أن المنطقة تكاد أن تكون فارغة من الحياة البشرية، وذلك بسبب درجة الحرارة العالية جداً، وندرة هطول الأمطار وقلة الأراضي الصالحة للزراعة، وقلة المياه، ولذلك فإنه يطلق عليها في اللغة العربيه اسم "الربع الخالي"، الذي يعني خلوه من الحياة، والمنطقة عبارة عن أشكال طبيعية من الكثبان الرملية التي جعلت من الصعوبة بمكان للبشر العيش والتنقل خلالها، فهي تعرف بصحراء الرمال العظيمة (الشرقاوي، ٢٠١٥، ص ٤). وتنقسم صحراء الربع الخالي إلي مناطق منها العروق المعترضة في شرق الربع الخالي، والدكاكة وعروق الموارد والقعاميات في جنوب الربع الخالي، وشقة الخريطة ورملة يام ورملة دهم في الجزء الجنوبي الغربي منه وعروق بني معارض وبني حمران وعروق الرملية في غرب الربع الخالي، والطراعيز والحبكه والكرسوع والسنام في الوسط والشمال (الوليعي، ٢٠٠١، ص ١٢).

ويذكر مكلور (McClure, 1978) أن التوزيع الحالي للكثبان الرملية والرمال الريحية بمحمية عروق بني معارض التى تمثل جزء من الربع الخالى بجنوب المملكة، قد تأثر بالفترات المطيرة والجافة خلال العصور القديمة خاصة عصر البلايستوسين وعصر الهولوسين، في الشكل (٢٩) يبين قطاع طبقي من أرسابات الزمن الرابع في جنوب غرب الربع الخالي، ويلاحظ من خلاله توزيع البحيرات التابعة للبلايستوسين الأعلي والهولوسين (الوليعي، ٢٠٠١)، ويعكس تقريباً الطمي التابع للبلايوسين مما يوحي بأن إعادة تشكيل الطمي وذريه في مكانه نتج عنه الفرشات الرملية والكثبان الرملية والعروق والزبائر الموجودة حالياً، كما أشار إلى أن الكثبان الخطية الأحدث تقع فوق الكثبان الخطية الأقدم. كما أن يذكر فنسنت (Vincent, 2008) أن المناخ القديم لشبه الجزيرة العربيه تعرض لتقلبات مناخية وفترات مطيرة وجفاف مما ساعد على تكون الكثبان الرملية في الصحراء المنتشرة بشبه الجزيرة العربيه ومنها الربع الخالي.



المصدر: H. McClure, (1978), Ar Rub Al Khali, in S.Al-sayari and J. Zotl, (eds), Quaternary Period in Saudi Arabia, (Vol.1), PP. 252-263, Springer-Verlag, New York.

شكل (٢٩) مقطع طبقي لارسابات الزمن الرابع لمحمية عروق بني معارض بجنوب غرب الربع الخالي

وتتكون المحمية من الكثبان الرملية الطولية أو ما يطلق عليها أسم العروق وهي الأكثر انتشاراً في صحراء الربع الخالي، وتم استخدام المرئيات الفضائية نوعية لاندسات (Landsat) في عامي ١٩٨٧ م و٢٠٢٣م، في رصد التغيرات المورفومترية للكثبان الرملية خلال فترة ٣٦ سنة، كما تم استخدام نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) المستخرج من المرئيات الفضائية نوعية أستر (ASTER) وذلك لدراسة ارتفاع الكثبان وسمكها وخصائصها بالمحمية بالإضافة إلى الخرائط الجيولوجية والطبوغرافية وغيرها من الخرائط.

وتتكون محمية عروق بني معارض من رواسب رملية رياحية بالإضافة إلي الحصاء من الحجر الرملي ومن الكوارتز التي تعود إلي الرباعي (quaternary period)، (الخرائط الجيولوجية ١٩٦٣م)ويتراوح ارتفاع المحمية بين ٦٢٥و١٠٧٢ متراً فوق مستوي سطح البحر، ويقل عن منسوب المناطق المجاورة لها خاصة المناطق الغربية، حيث تعد المنطقة حوضاً يميل نحو الشمال الشرقي والشرق بمعدل متر واحد لكل

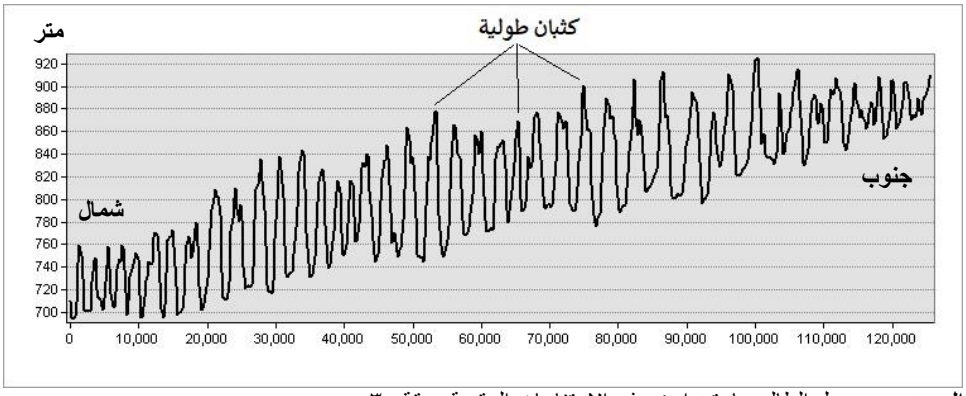
كيلومتر، وبذلك تمثل المنطقة مصرف طبيعي لأودية المناطق المجاورة، وتعمل على نقل المفتتات الصخرية من الحجر الرملي ومن منطقة الدرع العربي المنتشر في غرب المنطقة، ومن عمليات التجوية في المناطق الجبلية المجاورة إلي المحمية، كما يتميز سطح المحمية بأستواء سطحه وانسباطه وقلة تضرسه، مما ساعد على عمليات الإرساب سواء النهري أو الرملي. وتتميز المحمية بمناخها شديد الجاف، حيث تصل أقصي درجة حرارة إلى ٤٦ ^{0}م في شهور الصيف، في حين تصل إلي إدني درجة حرارة في فصل الشتاء حيث تصل إلي (– ٢ ^{0}م)، ويزيد المعدل السنوي لدرجات الحرارة عن ٢٥ ^{0}م، كما أن المدي الحراري السنوي يزيد عن ١٣ ^{0}م، ويزيد ذلك من تجوية الصخور وبالتالي زيادة المفتتات وزيادة فعل الرياح وترسيبها بالمنطقة، كما ساعد نظام الرياح السائد في المنطقة على تكون الكثبان الرملية الطولية بالمحمية، حيث يهب على المحمية نوعين من الرياح منها الرياح الشمالية والتي تهب من الشمال الشرقي إلي الجنوب الغربي وهي الرياح السائدة طوال العام، والتي تتفق مع المحاور الطولية للكثبان وتعمل علي تكوينها، والنوع الثاني هي الرياح الموسمية التي تهب من الجنوب الغربي بين يونيو وأغسطس (Farrant et al., 2015). كما تتميز المحمية بانها الجزء الأكثر خضرة في الربع الخالي، وتنتشر في المحمية العديد من الأشجار والشجيرات (Saudi Geological Survey, 2011).

تتميز الكثبان الطولية بالمحمية بكثافتها العالية وشكلها المثالي شكل (٣٣)، وخاصة في الأجزاء الغربية من المحمية، يوضح قطاع عرضي في الجزء الغربي من الكثبان الطولية بالمحمية، ويتبين من القطاع ان الكثبان الرملية تتميز بالارتفاعات الشديدة، في حين يتبين من الشكل (٣١) قطاع عرضي في الجزء الشرقي من المحمية، ويتبين منه أن الارتفاعات تقل بصورة واضحة مقارنة عن القطاع الغربي، حيث تتميز الأجزاء الشرقية بالتداخل بين الكثبان الرملية وتتعقد ويختفي الوضوح بين الكثبان وبعضها وذلك لكثافة الفرشات الرملية، كما تتميز الكثبان الرملية الطولية بالمحمية بأن الحافات الرملية متوزاية بعضها البعض، وتكون الأرض الفاصلة بينها مغطاة بالرمال وإن كان يبرز منها أحياناً بقع حصوية.

بدراسة الكثبان الطولية الرملية بمحمية عروق بني معارض يتبين أنها تتباعد عن بعضها البعض بمسافات تتراوح مابين ٠.٨و ١.٤ كم، ويؤثر كل كثيب على الآخر بتأثيره على سرعة الرياح واتجاهها، فكلما قصرت المسافة بين كثيبين كان التغير في سرعة الرياح واتجاهها أكبر (إمبابي وعاشور، ١٩٨٥)، وتزداد الكثافة كلما اتجهنا شرقاً مما يعني صغر المسافات الفاصلة بين الكثبان وبالتالي زيادة فرص وقوع بعضها في ظلال بعض، والشكل العام للقطاعات العرضيه للكثبان بالمحمية أقرب ما يكون للمثلث المتساوي الساقين شكل (٣٠) و (٣١) و (٣٢)، كما يلتقي جانبا كل كثيب في قمة حادة تمتد عادة بشكل غير مستقيم تماماً وإنما متعرجة، وذلك بسبب التغير الموسمي في اتجاه الرياح السائدة، كما أن قمم الكثبان ينخفض منسوبها في بعض المواضع بسبب الإزالة بواسطة الرياح المعاكسة ولذلك تبدو كأنها عبارة عن قمم منفصلة عن بعضها (الدسوقي، ١٩٩٢، ص ٢٤٩).

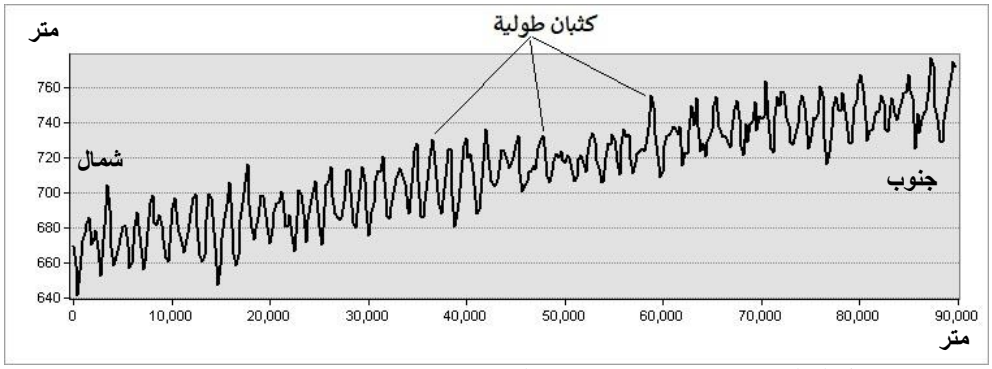
تأخذ الكثبان الطولية بالمحمية اتجاه عام من الجنوب الغربي إلي الشمال الشرقي كمؤشر على اتجاه الرياح الموسمية السائدة في هذه المنطقة، كما تتميز الكثبان بكثرة تعرجها ولها قمم متعددة، ويتميز انحدار الجوانب المواجهة للرياح بأنه لطيف إلي متوسط (صفر: ٢٠ درجة)، بينما يكون انحدار الجوانب المظاهرة للرياح شديدة نسبياً (٢٨: ٣٣ درجة)، كما تتميز بعدم انتظام الانحدارات على سطوح الكثبان الطولية، وتتميز الكثبان الرملية بالمحمية بزيادة الارتفاع في الغرب، وتقل بالتدريج كلما اتجهنا إلي الشرق، كما تزيد الكثافة بالاتجاه إلي الشرق حيث تتداخل الكثبان فيما بينها وتزداد تعقيد، وقد تم رصد الأبعاد المورفومترية لعدد ١٥ كثيب طولي جدول (٦)، وتراوح اطوالها مابين ٩٠.٩ كم للكثيب رقم (١٥) و ١١٦.٢ كم للكثيب رقم (١)، في حين يتراوح أقصي سمك للكثبان مابين ٤٨ متراً للكثيب رقم (٩) و ١٦٧ متراً للكثيب رقم (٧)، وتراوح متوسط عرض الكثبان المدروسة في عام ٢٠٢٣ م مابين ٣٤٢٠.٤ متراً للكثيب رقم (٩) و ٢٠١٥ متراً للكثيب رقم ٢، في حين بلغ متوسط عرض الكثبان عام ١٩٨٧ م مابين ٣١١٧.٨ متراً للكثيب رقم (٩) و ١٨٧٦.٢ متراً للكثيب رقم (١٥)، وقد تراوح الفروق بين متوسط عرض الكثبان مابين عامي (١٩٨٧: ٢٠٢٣) مابين ٢٩.٦ متراً للكثيب رقم (١٠) و ٣٨٥.٦

متراً للكثيب رقم (٨)، ويرجع السبب في ذلك إلي الاختلافات التي طرأت على اتجاه الرياح السائدة بالمحمية طول فترة الدراسة، مما أثر في عرض الكثبان الرملية بالمحمية، كما يتبين أن هناك اختلاف في مقدار الفارق العرضي من كثيب لآخر وذلك لاختلاف اتجاه وقوة الرياح من منطقة لآخري.



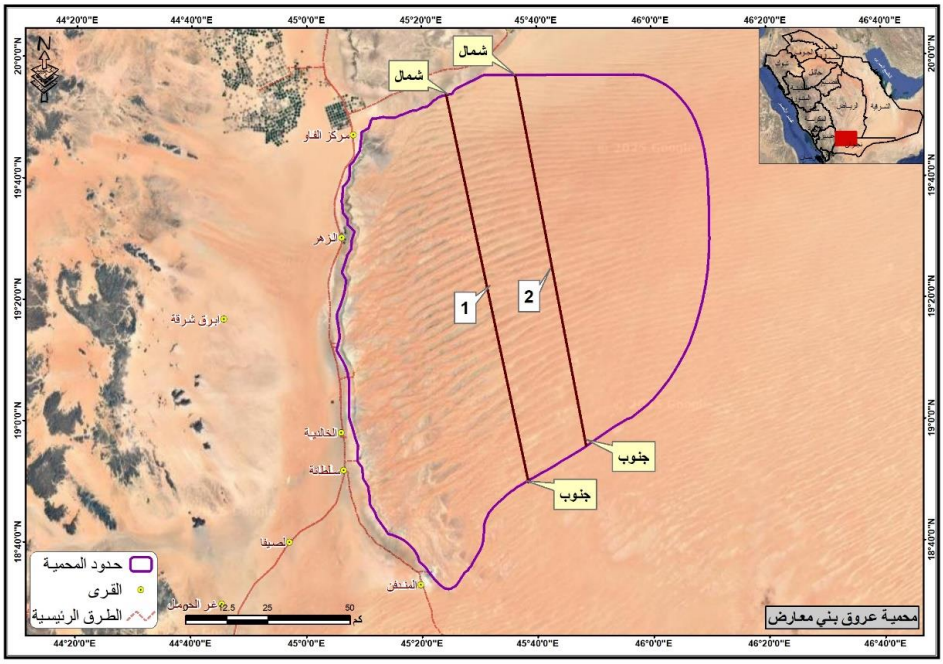
المصدر: من عمل الطالب باستخدام نموذج الارتفاعات الرقمية ، دقة ٣٠م.

شكل (٣٠) قطاع عرضي رقم (١) للكثبان الرملية الطولية بالجزء الغربي لمحمية بني معارض



المصدر: من عمل الطالب باستخدام نموذج الارتفاعات الرقمية ، دقة ٣٠م.

شكل (٣١) قطاع عرضي رقم (٢) للكثبان الرملية الطولية بالجزء الشرقي لمحمية بني معارض



المصدر: من عمل الطالب باستخدام برامج (ArcGIS).

شكل (٣٢) القطاعات العرضية بمحمية عروق بني معارض

المصدر: الزيارة الميدانية عام ٢٠٢١م.

شكل (٣٣) الكثبان الطولية بمحمية عروق بني معارض

جدول (٦) الأبعاد المورفومترية للكثبان الرملية الطولية المختارة

رقم الكثيب	الطول (كم)	أقصي سمك للكثيب (متر)	عرض الكثيب ٢٠٢٣ (متر)	عرض الكثيب ١٩٨٦ (متر)	الفرق في العرض (متر)
١	١١٦,٢	٩٧	٢١٧٧,١	١٩٩٦,٨	١٨٠,٣
٢	١١٥,٩	٦٠	٢٠١٥,٠	١٨٥٧,٤	١٥٧,٦
٣	١١٠,٦	٧٧	٢٠٥٤,٦	١٩٤٣,٦	١١١,٠
٤	١١٠,٥	٧٥	٢٤٥١,٦	٢٣٨٢,٠	٦٩,٦
٥	١٠٩,٢	١٠٦	٢٢١٣,٢	٢٠٥٩,٢	١٥٤,٠
٦	١٠٨,٣	٧٦	٣٢٠٥,٨	٣٠٧١,٠	١٣٤,٨
٧	١٠٨,٠	١٦٧	٢١٤٦,٤	١٩٩٨,٣	١٤٨,١
٨	١٠٧,٩	١٠٩	٢٤٠٠,٧	٢٠١٥,١	٣٨٥,٦
٩	١٠٥,١	٤٨	٣٤٢٠,٤	٣١١٧,٨	٣٠٢,٦
١٠	١٠٤,٧	١٤٢	٢٢٠٤,٠	٢١٧٤,٤	٢٩,٦
١١	٩٩,٣	٨٠	٢٣١٠,٤	٢٠٨٢,٥	٢٢٧,٩
١٢	٩٨,٦	٧٥	٢٢٩١,٥	٢٠٨١,٦	٢٠٩,٩
١٣	٩٣,٠	٦٧	٢٧٨١,٣	٢٦٩٠,٧	٩٠,٦
١٤	٩٢,١	٨٤	٢٣٨٤,٩	٢٠٢٢,٧	٣٦٢,٢
١٥	٩٠,٩	٩٦	٢٢٠٨,٣	١٨٤٦,٢	٣٦٢,١

المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على تحليل المرئيات الفضائية المستخدمة.

خامساً: الأخطار المرتبطة بحركة الكثبان الرملية

لقد اعتمدت الدراسة الحالية لتقدير كميات حركة الرمال واتجاهاتها على الدراسات السابقة التي غطت بعض المناطق من المملكة العربية السعودية كمؤشر على زحف الرمال بالمحميات، وتعتبر حركة الرمال ظاهرة ديناميكية بيئية مهمة تفوق في أهميتها ظاهرة زحف الكثبان الرملية، وذلك لأن خطورة حركة الرمال تكمن في قدرة حبيباته على التحرك قفزاً أو زحفاً على السطح عندما تصل سرعة الرياح إلي ٥.٤ م / ثانية، علاوة على قدرة الحبيبات على التحرك لمسافات أطول وتأثيرها على مساحات أكبر مما يفعله الزحف الجماعي للكثبان، والذي عادة ما يكون محدود التأثير ولا تظهر آثاره بوضوح إلا إذا ازدادت سرعة الرياح عن ٩ متر/ ثانية (أبو الخير، ١٩٨١).

بينت العديد من الدراسات التي قامت على تقدير كميات حركة الرمال واتجاهاته في مختلف مناطق المملكة العربية السعودية، ومن الدراسات الرائدة في هذا المجال دراسة

"أبو الخير عام ١٩٨١م" عن زحف الرمال بمنطقة الأحساء، حيث تشتهر منطقة الأحساء بالزراعة منذ القدم ولكن واجهتها مشكلة زحف الرمال على الأماكن الزراعية، وقد طمر جزء كبير من الواحة خلال مئات السنين الماضية، وقد وصل تراكم الرمال في هذه القرى إلى ٢٠ متراً بمعدل زحف سنوي يقدر ب ٢٥ متراً، وكان الناس يضطرون للاتجاه جنوباً هرباً من الزحف الرملي المستمر، وتمثل الكثبان الهلالية المظهر الرئيس المتميز في هذه المنطقة، وقد تلتحم هذه الكثبان مكونة حواجز رملية متعرجة ومتوازية، ويزيد ارتفاع معظمها على ٢٥ متراً، وتعد صحراء النفود الواقعة شمالي المملكة العربيه السعودية ورمال الجافورة المتاخمة لواحة الأحساء المصدرين الرئيسين للرمال في هذه المنطقة، ويخضع معدل الزحف الرملي بواحة الأحساء لعدة عوامل منها سرعة الرياح، واتجاهها، ومدة هبوبها، واختلاف أقطار الحبيبات الرملية الزاحفة، ورطوبة التربة، والتباين في حجم الكثبان الرملية، وكثافة الغطاء النباتي، وكمية الرمال الموجودة في المنطقة، وقد رصدت دراسة حركة الرمال في المنطقة لمدة خمسة أشهر من (فبراير: يونيو) في عام ١٩٨٠م، وتبين أن هناك نوعين من الزحف الرملي، النوع الاول هو حركة الرمال أي حركة وزحف حبيبات الرمل فوق أسطح الكثبان والفرشات الرملية عندما تصل سرعة الرياح إلى ٥.٥ متراً في الثانية، والنوع الثاني هو زحف الكثبان والحوائط الرملية التي تبدء آثارها في الوضوح عندما تزيد سرعة الرياح عن تسعة أمتار في الثانية.

كما أثبتت الدراسة أن خطورة حركة الرمال أكثر خطورة من زحف الكثبان والحوائط الرملية، وذلك لقابلية الرمال للحركة عند السرعة البطيئة نسبياً، وقدرتها على قطع مسافات أطول من تلك التي تقطعها الكثبان، وقدرت الدراسة أن حوالي نصف مليون طن من الرمال قد زحفت خلال فترة الدراسة في المنطقة الشمالية، كما بلغ متوسط حركة الرمال خلال فترة الدراسة ٤.٥ متراً، كما يزيد متوسط الزحف السنوي للكثبان في هذه المنطقة على ٢٥ متراً. كما أن هناك مجموعة من الكثبان الرملية الصغيرة تزحف بمعدل يزيد على ٥٢ متراً في السنة، ويقل هذا المعدل عند الأطراف الشمالية للواحة بشكل واضح، إذ يتروح معدل الزحف بين ٣ و٤ أمتار في العام، وذلك لارتفاع حجم الكثبان الرملية نتيجة اصطدامها بمصدات الرمال التي وضعها المزارعون للحد من زحف الكثبان

(أبو الخير، ١٩٨١، ١٩٨٤).

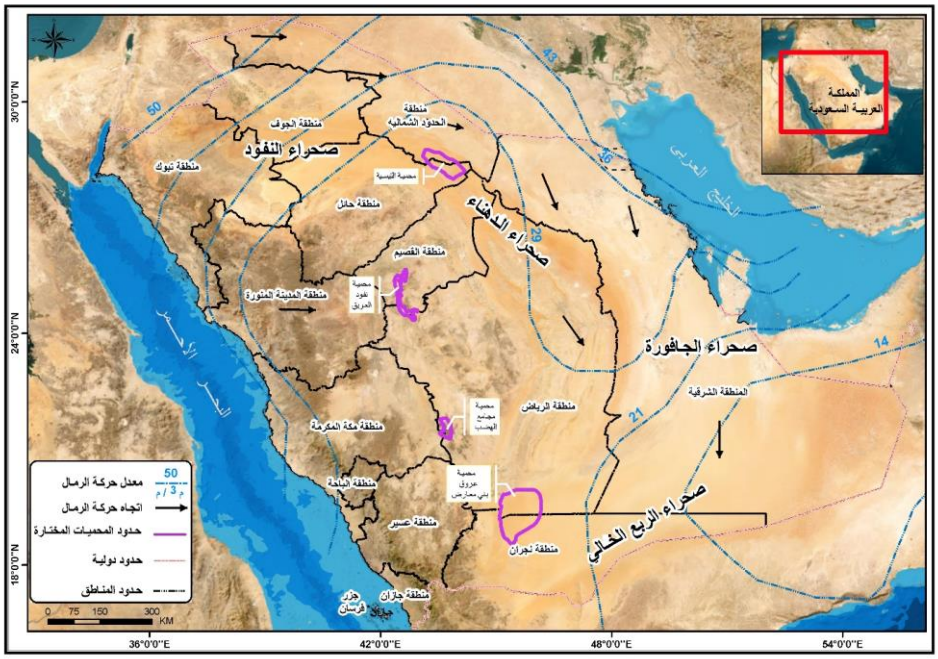
وقام فرايبرجر وزملاؤه (Fryberger, et al., 1984, pp. 413- 431) بدراسة رمال الجافورة من أجل تقدير كمية ما يتحرك من الرمال وما يزحف منها، ورمال الجافورة رمال مستطيلة يبلغ عرضها من ٣٠: ٢٥٠ كم على طول ساحل الخليج العربي حتى تنتهي جنوباً برمال الربع الخالي، وتمتد رمال الجافورة من منطقة رياح قوية في الشمال إلي منطقة رياح ضعيفة في الجنوب، ويمكن تقسيم رمال الجافورة إلى عدة أقسام فالجزء الشمالي من الرمال قرب مدينة الجبيل يحتوي على فرشات رملية، وحفر تذرية، وكثبان معكوسة، وسباخ، وهذه المنطقة هي منطقة التذرية القوية، والجزء الأوسط هو منطقة النقل التي يمر من خلالها معظم الرمال المهاجرة من الشمال إلي الجنوب، ويوجد في هذا الجزء فرشات رملية غبر ناضجة، وكثبان متناثرة هنا وهناك، مع بعض أنواع المختلفة من الكثبان، والسباخ، والجزء الجنوبي يمتد من شرق مدينة الهفوف نحو الجنوب إلى الربع الخالي، وهذا الجزء من المنطقة هي منطقة إرساب رغم أن هناك حركة نقل نحو الجنوب ولكنها ليست مستمرة، وفي هذا الجزء تنمو الكثبان الرملية إلى أحجام هائلة متلاصقة لبعضها. وتعكس هذه المناطق الثلاث (مناطق التذرية والنقل والإرساب) تناقص قوة الرياح نحو الجنوب، وظهر من الدراسة أن معدل حركة الرمال السنوي لكل متر عرضي يتراوح بين مترين مكعبين في السباخ، و٢٩ متراً مكعباً في قمم الكثبان الرملية، ومتوسط حركة الرمال السنوي لكل متر عرضي هو ١٨ متراً مكعباً، وهو كاف لتغطية مساحة ١٠٠ كم برمال سمكها متر واحد في خلال ٥٥٠٠ سنة، أما زحف الكثبان الرملية فمعدل زحفها يتراوح بين ٣: ٢٣ متراً خلال فترة الدراسة التي جرت بين (أبريل: أكتوبر) من عام ١٩٨٠م.

وذكر بدر (Badr, 1989, PP.1-25) بأن هناك نوعين من حركة الرمال في منطقة رمال الجافورة هما حركة الرمال وزحف الكثبان، ويتباين معدل حركة الرمال بين الوحدات الجيومورفولوجية المختلفة خلال العاصفة الواحدة، ففي المنطقة الشرقية عموماً يتم تسجيل حركة رمال ضخمة خلال أشهر الصيف (يونيو، يوليو، أغسطس)، وفي بعض الأحيان يتم تسجيل أعلي معدل للانسياق الرملي خلال أشهر الربيع، وأعلى معدل سنوي

لحركة الرمال لكل متر عرضي يوجد في الكثبان الهلالية (١٢٢٠٠٠ كجم) ، وفي الكثبان المعكوسة ذات الغطاء النباتي الجزئي (٢٩٠٠٠ كم)، وتحل الفرشات الرملية ذات الغطاء النباتي المركز الأخير (٨٢٠ كجم)، وفي منطقة حركة الرمال هناك حركة بسيطة للرمال بسبب ارتفاع مستوي الماء الباطني فيها، كما أثبتت الدراسة بأن الاتجاه الرئيسي لحركة الرمال في المنطقة الشرقية هي من الشمال للجنوب، ومن الشمال الغربي إلي الجنوب الشرقي خلال أشهر الصيف، وفي بعض أيام فصل الشتاء تتحرك كميات هائلة من الرمال من الجنوب الشرقي إلي الشمال الغربي عندما تهب رياح قوية من ذلك الاتجاه، أما حركة الكثبان والحوائط الرملية فهي صغيرة نسبياً وتعتمد بشكل رئيسي على قوة الرياح، ونوع وحجم الكثبان، ويكون معدل زحف الكثبان الرملية أعلى في شهور الصيف عن باقي أشهر السنة، وقدرت معدل حركة الكثبان الهلالية السنوي بين ١٠: ١٥ متراً، والكثبان المعكوسة والقبابية بين ٨ : ١٢ متراً.

وفي دراسة بريد وزملائها (Breed, et al., 1979, PP. 374) قدرت متوسط إمكانية حركة الرمال في بحار الرمال الشمالية بالمملكة العربية السعودية يبلغ ٣٤.٩ متر مكعب لكل متر عرضي، وهو مقدار كبير إذا ما قورن بما في معظم المناطق الصحراوية الأخرى في أنحاء العالم، كما اقدرت أن أعلي معدلات حركة رمال تحدث في مواقع من صحراء النفود والدهناء والربع الخالي، ويمكن أن تحدث في فصل الربيع أو أوائل الصيف حسب الموقع، وفي مواقع كثيرة على امتداد الخليج العربي يكون موسم إمكانات حركة الرمال العالية مصحوباً برياح قوية شمالية أو شمالية غربية معروفة محلياً برياح (الشمال). وفي أثناء هذا الموسم فإن الرياح قد تهب ليومين أو ثلاثة بسرعة ٤١– ٤٨ كم بالساعة، ثم تتناقص إلي ٢٤– ٣١ كم بالساعة لأيام عديدة أخرى تحت سماء خالية من السحب. وفي بحار الرمال الشمالية فإن إمكانات حركة الرمال العالية تحدث في شهر أبريل عند بدنة وشهر مايو في القيصومة، وشهر يونيو في الظهران، ومعظم حركة الرمال الكامنة في بحار الرمال الشمالية تحدث في مواسم معينة بالتحديد، وليست موزعة بالتساوي على شهور السنة، وفي الربع الخالي تحدث إمكانات حركة الرمال العالية في شرق المملكة في شهر مارس، وفى جنوب شرق المملكة فإن أعلي إمكانات حركة الرمال

تحدث في يوليو ما يعادل ٢١.٤ متر مكعب لكل متر عرضي) وذلك أثناء الرياح الموسمية الجنوبية الغربية، ولا شك أن إمكانات حركة الرمال شرق المملكة تبلغ ١٤.٣ متر مكعب لكل متر عرضي و تشير إلي أن الربع الخالي لا تكون الرياح بنفس قوتها كما في النفود شكل (٣٤).



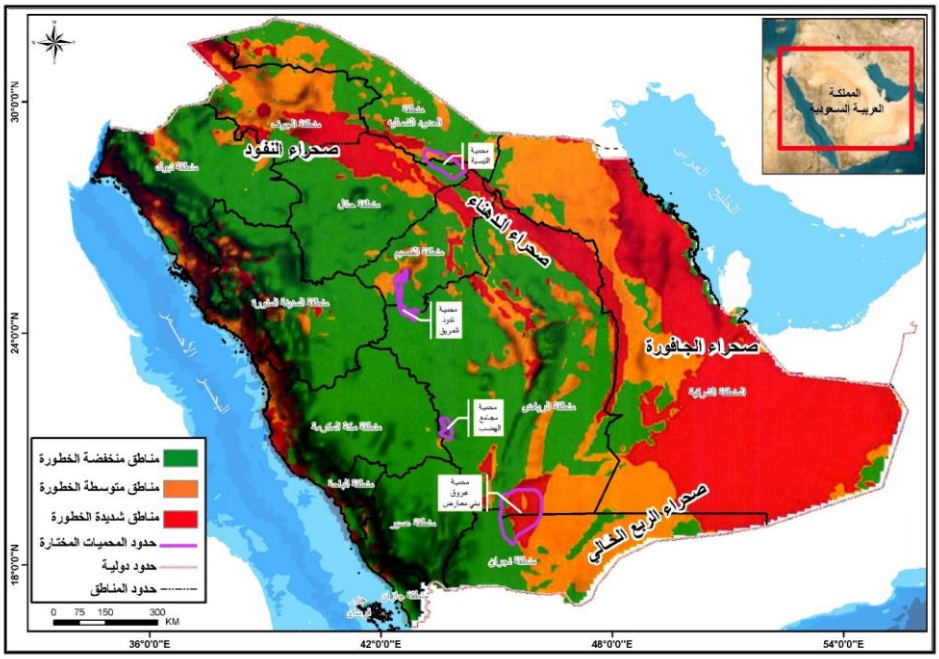
المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على دراسة (Fryberger, S.G., et al., 1984) وباستخدام برامج (ArcGIS).

شكل (٣٤) معدل واتجاه حركة الرمال بالمملكة العربية السعودية

بناءً على الدراسات السابقة وموقع المحميات الطبيعية التي ينتشر بها الرواسب الرملية، يتبين أن كلما اتجهنا إلي الشمال زاد معدل حركة الرمال ويقل كلما اتجهنا إلي الجنوب، حيث يبلغ معدل حركة الرمال في شمال المملكة إلي ٤٥ متر مكعب لكل متر عرضي، بينما يصل إلي ٢١ متر مكعب لكل متر عرضي في الجنوب، وهذا يتفق مع الدراسة الحالية حيث تبين من دراسة تغير الكثبان الرملية في المحميات أن محمية التيسية يزيد بها معدلات حركة الرمال، حيث تقع المحمية في شمال شرق المملكة حيث معدلات حركة الرمال تصل إلي ٢٩ متر مكعب لكل متر عرضي، بينما تقل معدلات الحركة في

محميتي نفود العريق ومجامع الهضب، ويرجع ذلك إلي وقوع هذه المحميات وسط المملكة حيث انخفاض معدلات حركة الرمال نتيجة انخفاض معدلات سرعة الرياح وطبيعية المحميات، بينما تقل بمحمية عروق بني معارض حيث تصل إلي ٢١ متر مكعب لكل متر عرضي، حيث تقع هذه المحمية جنوب المملكة.

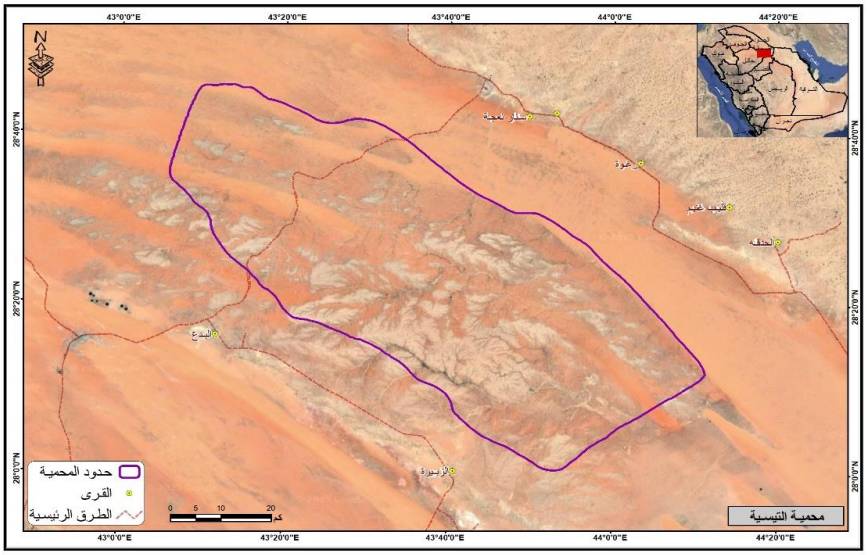
بدراسة مواقع المحميات الطبيعية وخريطة أخطار زحف الرمال بالمملكة العربية السعودية شكل (٣٥) (خطيب وعلمي ٢٠١٥ م)، يتبين أن محمية التيسية داخل نطاق محمية الأمام تركي بن عبد الله الملكية حاليا، تقع في مناطق تتدرج من شديدة الخطورة وتمثل ٩ % إلي متوسطة وتمثل ٢٥٪ ومنخفضة الخطورة وتمثل ٦٦٪ من مساحة المحمية، أما محمية نفود العريق فتقع في مناطق متوسطة وتمثل ١٦٪ إلي منخفضة الخطورة وتمثل ٨٤٪ من مساحة المحمية، ومحمية مجامع الهضب في مناطق منخفضة الخطورة ، أما فيما يخص محمية عروق بني معارض فتقع في مناطق تتدرج من شديدة الخطورة وتمثل ٧١.٥٪ إلي متوسطة وتمثل ٧.٣٪ ومنخفضة الخطورة وتمثل ٢١.٢٪ من مساحة المحمية، وهذا يتفق مع ما توصلت إليه الدراسة الحالية، وبناءً على ما سبق يتضح أن المحميات الطبيعية تتدرج في الخطورة وذلك لاختلاف طبيعية الموقع وقوة واتجاه الرياح وطبيعية السطح وغيرها من العوامل.



المصدر: من عمل الطالب بالاعتماد على خرائط أخطار زحف الرمال وباستخدام برامج (ArcGIS, Erdas).

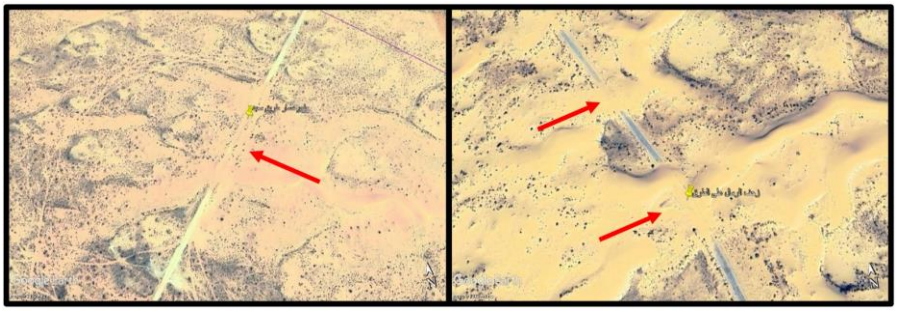
شكل (٣٥) معدلات خطورة زحف الرمال في المملكة العربية السعودية

فيما يخص محمية التيسية الواقعة داخل نطاق محمية الأمام تركي بن عبد الله الملكية، فقد تم تصنيف جزء منها على أنها شديدة الخطورة خاصة الجزء الشرقي من المحمية، وبناءا على ذلك فالقرى والطرق الموجودة فى شرق المحمية تتعرض لدرجة شديدة من عمليات زحف الرمال شكل (٣٦) ، يتضح تأثر المحمية بزحف الرمال من خلال الزحف الواضح على الطرق الموجودة داخل المحمية شكل (٣٧)،مما قد يؤثر على قدرة فرق الحماية البيئية على الوصول لبعض مناطق الرصد، ويعرقل تنفيذ خطط إدارة الموارد، ما يتطلب تدخلًا بيئيًا يعتمد على إعادة تأهيل الغطاء النباتي بالمحمية، ويلاحظ ايضا من خلال الصور العالية الدقة المأخوذة من جوجل ايرث زحف الكثبان الرملية على المنشأت داخل المحمية، من خلال مقارنة التغير الحاصل على احد المنشأت بالاستعانة بصورة لعام ٢٠١٥ وصورة لعام ٢٠٢٤ يتبين حجم الضرر الذى لحق بالمبنى من خلال زحف الرمال الواضح على المبنى شكل (٣٨) ، كذلك من مظاهر زحف الرمال على الأسيجة المصممة لحماية الحيوانات والمواقع الأثرية داخل المحمية شكل (٣٩) و (٤٠).



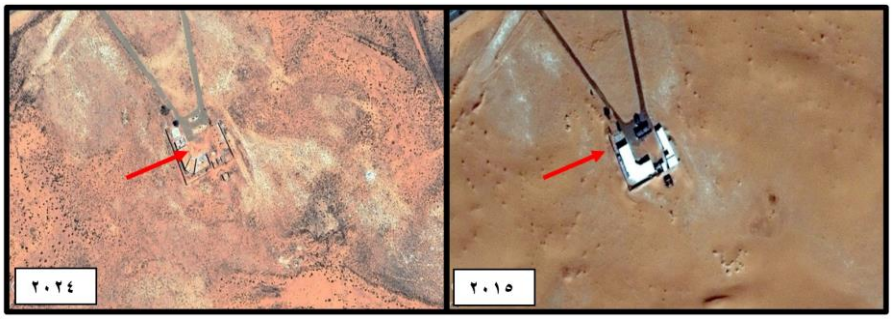
المصدر: من عمل الطالب باستخدام برامج (ArcGIS) ٢٠٢٤.

شكل (٣٦) الطرق المؤدية للمحمية



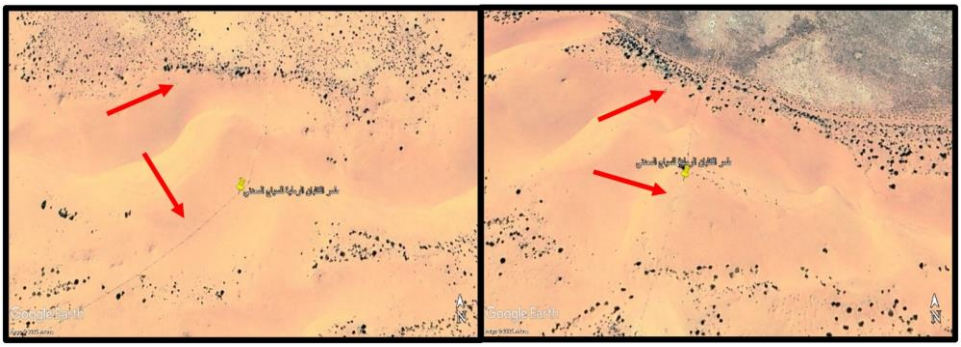
المصدر: صور برنامج جوجل ايرث عام ٢٠٢٤.

شكل (٣٧) زحف الرمال على الطرق داخل محمية التيسية



المصدر: صور برنامج جوجل ايرث.

شكل (٣٨) زحف الرمال على المنشأت داخل محمية التيسية



المصدر: صور برنامج جوجل ايرث عام ٢٠٢٤.

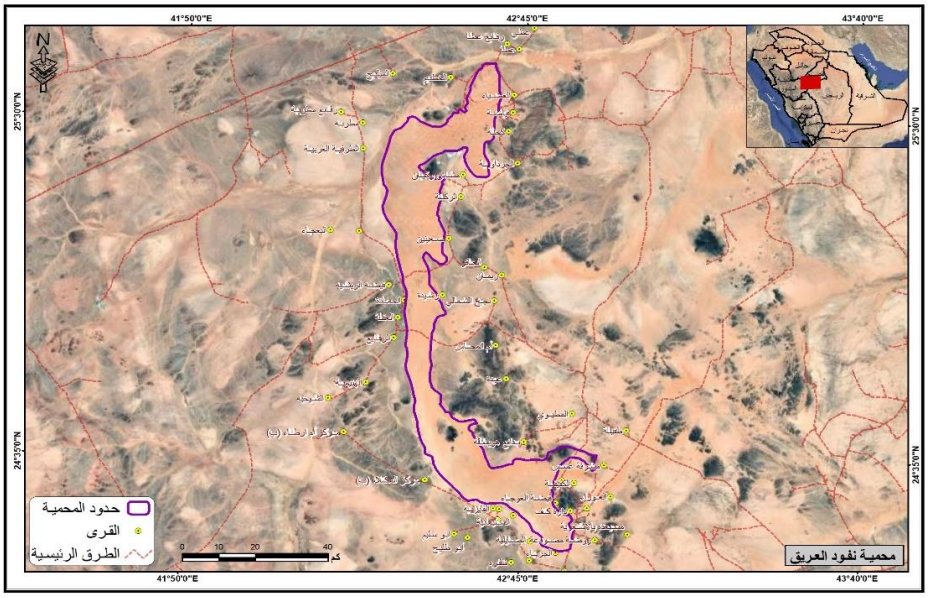
شكل (٣٩) زحف الرمال على الأسيجة المعدنية داخل محمية التيسية

المصدر: صور برنامج جوجل ايرثعام ٢٠٢٤.

شكل (٤٠) زحف الرمال على الأسيجة المعدنية داخل محمية التيسية

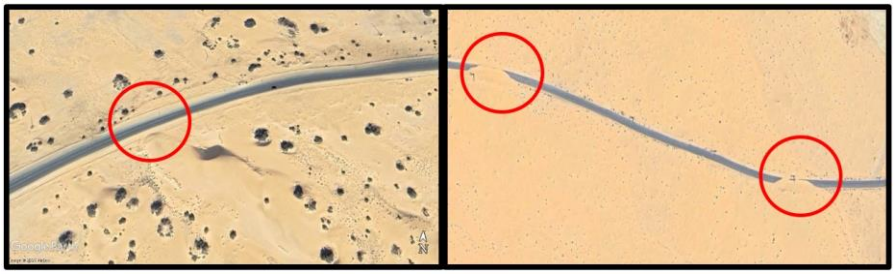
وبالنسبة لمحمية نفود العريق فقد تم تصنيف الاجزاء الشمالية من المحمية على انها متوسطة الخطورة بناء على الدراسة السابقة وبالتالى فالقرى وشبكة الطرق الموجودة في شمال المحمية تتعرض الى خطورة متوسطة من زحف الرمال شكل (٤١)، كما يتبين من دراسة المرئيات الفضائية عالية الدقة لعام ٢٠٢٣م التي يوفرها برنامج Google Earth pro ، حيث تبين زيادة معدلات زحف الرمال على مواقع كثيرة تم رصدها داخل المحمية، منها زحف الرمال على الطرق الاسفلتية والمعبدة شكل (٤٢).

وكذلك تم رصد زحف الرمال على مواقع الغطاء النباتي الطبيعي، مكونة ظاهرة النباك والتى تتكون عندما تعترض الشجيرات الصحراوية مثل العوسج والأرطي وهى من المجتمعات النباتية السائدة فى المحمية حركة الرياح المحملة بالرواسب الرملية، وتحجزها وبالتالى ترسب حمولتها حول تلك الشجيرات، ومع تكرار هذه العملية يؤدي ذلك على طمر النباتات والشجيرات ومن ثم موتها (الموسوي ، ٢٠٢٢)، وهى مصدر هام للحيوانات للحصول على الغذاء داخل المحمية، ومع مرور الزمن تتكسر سيقان هذه النباتات وبالتالى يسهل تذرية الرمال المرسبة مرة أخري بواسطة الرياح شكل (٤٣)، كما تم رصد بعض قيعان المياه المعرضة لزحف الكثبان الرملية عليها شكل (٤٤)، وهى مصدر شرب الحيوانات داخل المحمية.



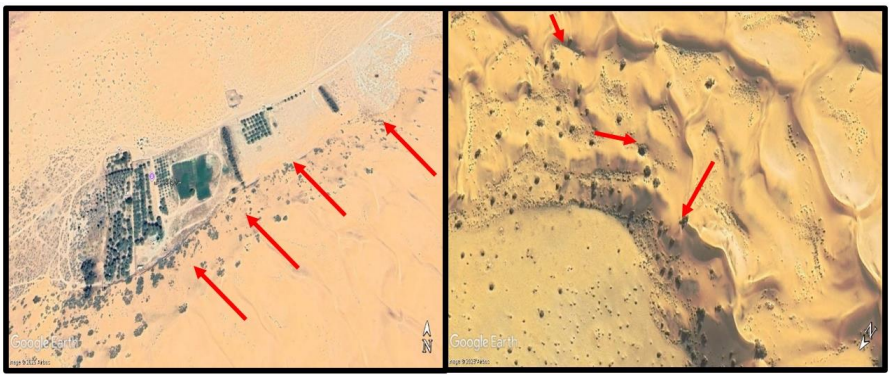
المصدر: من عمل الطالب باستخدام برامج (ArcGIS) عام ٢٠٢٤.

شكل (٤١) الطرق المؤدية لمحمية نفود العريق



المصدر: صور برنامج جوجل ايرث عام ٢٠٢٤.

شكل (٤٢) زحف الرمال على الطرق بمحمية نفود العريق



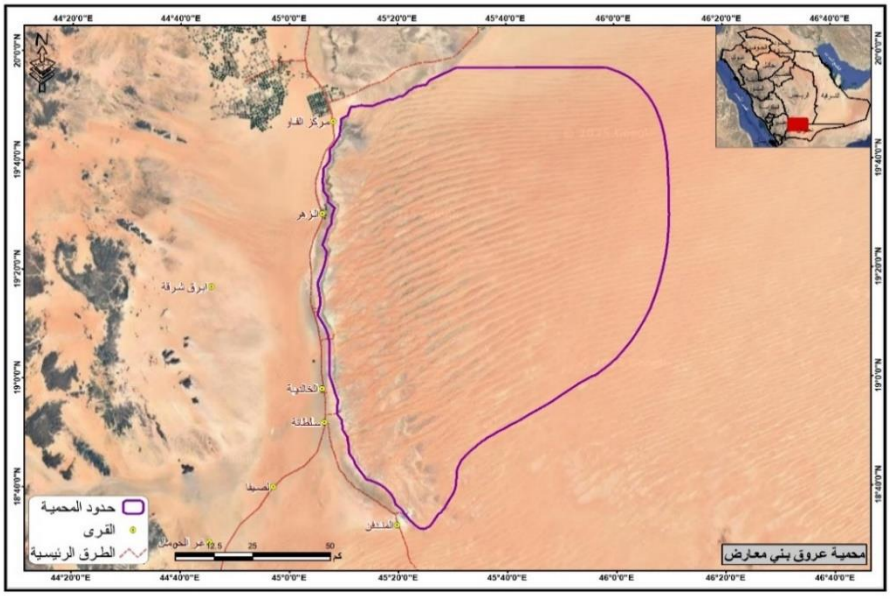
المصدر: صور برنامج جوجل ايرث عام ٢٠٢٤.

شكل (٤٣) زحف الرمال على الغطاء النباتي الطبيعي والمزارع بمحمية نفود العريق

المصدر: صور برنامج جوجل ايرث عام ٢٠٢٤.

شكل (٤٤) زحف الرمال على العيون المائية بمحمية نفود العريق

وبالنسبة لمحمية عروق بني معارض فقد تم تصنيفها على انها شديدة الخطورة وخاصة الاجزاء الغربية من المحمية التى تتفق مع اتجاه الرياح السائدة لذلك فان القرى وشبكة الطرق التى تقع فى غرب المحمية تتعرض لخطورة شديدة من زحف الرمال شكل(٤٥)، كما يتبين من الصور الميدانية للمحمية شكل (٤٦) حيث تم رصد زيادة معدلات زحف الرمال على الطرق المؤدية للمحمية ، وكذلك بعض الطرق الترابية داخل المحمية، وكذلك تم رصد زحف الرمال على مواقع الغطاء النباتي الطبيعي مما أدى الى حدوث عملية طمر لكثير من الغطاء النباتي داخل المحمية شكل (٤٧) و (٤٨)، وتكوين كثبان النباك، مهددا مصدرا مهما لغذاء الحيوانات المتواجدة بالمحمية مثل الوعول وغزال الريم والنعام.

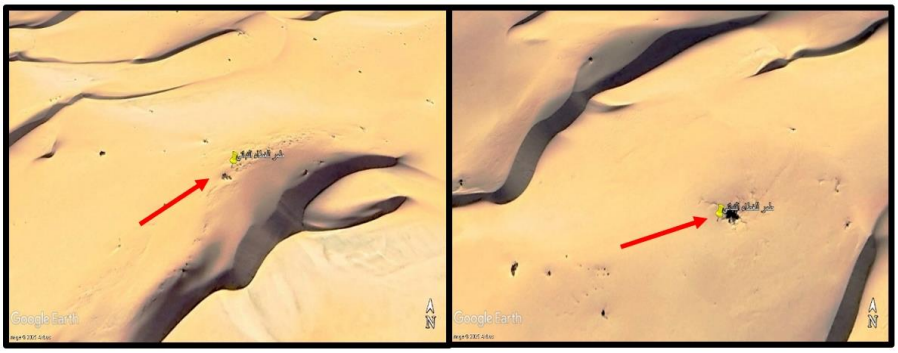


المصدر: من عمل الطالب باستخدام برامج (ArcGIS).

شكل (٤٥) الطرق المؤدية للمحمية عروق بني معارض

المصدر: الزيارة الميدانية عام ٢٠٢٤م

شكل (٤٦) زحف الرمال على الطرق محمية عروق بني معارض



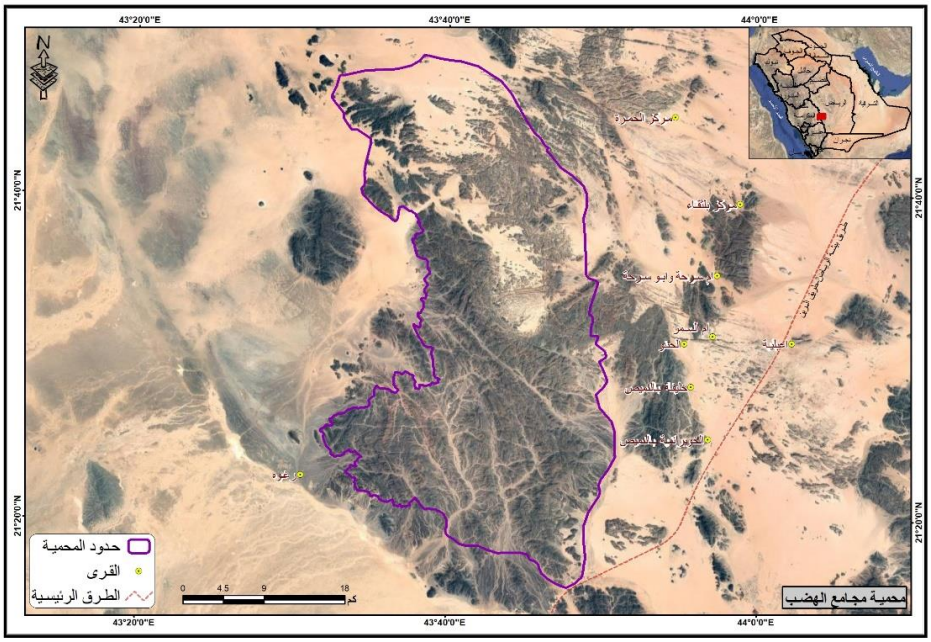
المصدر: صور برنامج جوجل ايرث عام ٢٠٢٤.

شكل (٤٧) زحف الرمال على الغطاء النباتي الطبيعي بمحمية عروق بني معارض

المصدر: الزيارة الميدانية عام ٢٠٢٤م

شكل (٤٨) زحف الرمال على الغطاء النباتي بمحمية عروق بني معارض

وبالنسبة لمحمية مجامع الهضب فمن خلال توقيع شبكة الطرق ومواقع القرى المحيطة بالمحمية ، لدراسة خطورة الرواسب الرملية شكل(٤٩)، تبين ان هناك بعض القرى وأجزاء من شبكة الطرق يتم طمرها بالرمال، كما يتضح لنا ان الرواسب الرملية لمحمية مجامع الهضب لا تمثل خطورة كبيرة على القرى وشبكة الطرق المحيطة بالمحمية سوى مساحات ليست بالكبيرة فى شمال المحمية، وذلك لوقوعها فى ظل مناطق المرتفعة بالمحمية، حيث تم تصنيفها على انها منخفضة الخطورة.



المصدر: من عمل الطالب باستخدام برامج (ArcGIS) عام ٢٠٢٤.

شكل (٤٩) الطرق المؤدية للمحمية.

سادساً: طرق الحماية من زحف الرمال:

تُعد الكثبان الرملية من أبرز المشكلات البيئية التي تواجه المناطق الجافة وشبه الجافة، حيث تساهم في تهديد البنية التحتية، وتعرية التربة، والتأثير على الأنشطة الزراعية والاقتصادية، مما يستدعي تدخلات فعالة لإدارتها والحد من آثارها السلبية، وقد طورت العديد من الدول، خاصة ذات البيئات الصحراوية، استراتيجيات متعددة للتحكم في حركة

الرمال وتثبيت الكثبان، وفيما يلى نتناول هذه الطرق وهى كالتالي:

١- الطرق الميكانيكية: -

تعتمد هذه العملية أساساً على التخفيف من سرعة الرياح فوق سطح الرمال إلي الحد الذي لاتستطيع فيه تحريك الرمال، وتنقسم الوسائل الميكانيكية إلى قسمين وهما تدابير أولية لمنع أو تقليل حركة الكثبان أو تثبيتها وبالتالي منع حدوث الخطر، وآخر تستخدم باعتبارها تدابير مستخدمة لإزالة الرمال المتجمعة على الطرق أو المنشآت أو المزارع وذلك نتيجة تعرض المصالح البشرية لخطر زحف الرمال، ومن هذه الطرق ما يلي:

أ- إقامة الحواجز والسياجات: وهي عبارة عن حواجز أولية تقام في الأماكن التي تهب منها الرياح والرمال وتعمل على التخفيف من سرعة الرياح وافقادها القدرة الانجرافية، وكذلك الحد من زحف الرمال شكل (٥٠)، ويجب أن يكون تصميم ارتفاع الحواجز والسياجات مناسب والإ تعرضت للردم، كما أن السياجات لابد أن تكون بها فتحات مصممة بطريقة علمية بحيث تسمح للرياح بالمرور عبرها مما يضعف قوتها أمام تلك السياجات (Al-Awadhi, 2007).

المصدر: الزيارة الميدانية عام ٢٠٢١م

شكل (٥٠) الحواجز بمحمية عروق بني معارض.

وخلفها، ويجعلها تطرح ما تحمله من الرمال، ويحدث معظم التراكم على الجانب المحجوب عن الرياح أو مع اتجاه هبوبها، ويتم وضعها على مسافة ٥٠ متراً بعكس اتجاه الرياح من الموقع، وقد تبين أن استخدام السياجات ذات النسيج المتداخل المفتوح المصنوعة من

الخيش أو سعف النخيل أو العشب، توفر مقاومة كافية للريح للتحكم في حركة الكثبان.

ب – إنشاء مصايد للرمال: وذلك من خلال عمل مناطق متوازية أمام الهدف وعمودية على اتجاه الرياح ويراعى أن تكون بأتساع مناسب يفوق المسافة التى تقفزها حبة الرمال، هذا بالإضافة إلى زيادة عمقها بحيث يصعب على الرياح التقاط الرمال المتجمع فيها مرة أخرى فى حال هبوب الرياح بدرجة قوية ولكن يعاب على هذه الطريقة تكلفتها المرتفعة، كما تحتاج إلى صيانة دورية وإلا فقدت الهدف من إنشائها (محسوب، ٢٠٠٤، ص ١٥٠) ويعتمد العمر الإفتراضى لهذه الطريقة على كميات الرمال المتحركة وعمليات الصيانة الدورية.

ج – تصميم مصدات صغيرة فى شكل مربعات أو مستطيلات فوق سطح الكثيب وذلك لمنع حركتها باتجاه المناطق المطلوب حمايتها وتظهر فى شكل أعواد من الحطب أو سعف النخيل وتقوم باعتراض تحرك الرمال عن طريق التذرية ومن ثم يتوقف الكثيب، وتكون المسافة بين كل صفين من ١٠ إلى ٢٠ ضعف ارتفاع السور الحطبى، وتقدر فاعلية هذه الطريقة بخمس سنوات (محسوب، ١٩٩٨، ص ٣٢).

د – تحويل مسار الرياح بعيداً عن الهدف البشرى وذلك من خلال عمل أسوار بزاوية حادة على زاوية هبوب الرياح بحيث تعمل على تغير مسار الرياح بعيداً عن الهدف ويتم ذلك من خلال إنشاء سور أو سورين بزاوية حادة على اتجاه الرياح ولكن قد تتعرض هذه الأسوار للاقتلاع فى حالة هبوب رياح شديدة، لذا فعمرها الافتراضي قصير، ويعتمد على قوة سرعة الرياح وتستخدم هذه الطريقة باعتبارها طريقة مؤقتة لحماية الأهداف ذات المساحات الصغيرة.

هـ – الإزالة أو الإزاحة الميكانيكية العادية للكثبان باستخدام الجرافات والناقلات شكل (٥١) لإزالة الرمال المتراكمة، وتعد من الطرق الشائعة الاستخدام ولكنها أكثر تكلفة وتعالج آثار المشكلة لا مسبباتها.

المصدر: تقرير دراسة زحف الرمال على شبكة الطرق بالمملكة العربية السعودية ٢٠١٦م

شكل (٥١) طرق ميكانيكية مستخدمة فى المملكة لمواجهة زحف الرمال

٢- الطرق الكيميائية:-

تتمثل في رش زيوت البترول أو مثبتات التربة الرملية على سطح الكثيب بحيث تمثل طبقة سطحية تحمى ما تحتها من رمال من عمليات التعرية الهوائية ويتم تنفيذ هذه الطريقة برش الزيوت الإسفلتية الخفيفة أو زيت الشمع الثقيل أو النفط الخام عن طريق أجهزة خاصة تشبه أجهزة الرش المستخدم في الزراعة ورغم رخص هذه الطريقة وفعاليتها على الأقل لمدة زمنية تتراوح ما بين سنة واحدة وسنتين ولكنها غير مفضلة وذلك لقصر مدة فعاليتها وحاجتها إلى إعادة معالجة في مرحلة ثانية وقد يستعاض عن ذلك برش مواد كيماوية تختلط بالحبيبات الرملية فتؤدى إلى تماسكها وقد تم استخدم هذه الطريقة في مناطق كثيرة في البيئات الجافة شرقي الجزير ة العربية وفى الصين وفى صحارى ليبيا (محسوب ، ١٩٩٨) ويمكن استخدم هذه الطريقة على بعض الكثبان الطولية المتحركة التي تؤثر على الطرق داخل المحميات بصورة مباشرة وتقليل حركتها، ومن مسالب هذه الطريقة أنها تعمل على تلوث البيئة وفساد التربة.

تعد من الطرق الكيماوية الحديثة في تثبيت الكثبان استخدام خام البنتونايت، حيث حصلت جامعة الملك عبد العزيز ممثله في قسم هندسة التعدين كلية الهندسة على براءة اختراع عن ابتكارها لطرق تثبيت الكثبان الرملية باستخدام خام البنتونايت، حيث استخدم فريق البحث لعلاج الكثبان الرملية نسبة ٤٪ من مسحوق البنتونايت (خطيب وعلمي، ٢٠١٦)، ودلت النتائج على تحسن الخواص الهندسية للكثبان الرملية بعد علاجها، حيث أثبتت النتائج تحسن ثبات الكثبان الرملية ضد الرياح، ولم تعد تتحرك مع سرعة هواء

تصل إلي أكثر من ١٠٠ كم/ ساعة بدلاً من ١٠ كم/ ساعة وهي السرعة التي تحرك الكثبان الرملية وتؤدي إلي اثارة الغبار، كما أن هذا التحسن لم يتم فقط عند سطح الكثبان الرملية كما كان سابقاً، بل إمتد أيضاً إلي العمق، ما يهيئ التربة للاحتفاظ بالرطوبة الكامنة لمدة أطول نسبياً، بما يساعد كثيراً النباتات والأشجار في النمو واختراق الأعماق بالتربة.

كما تعد من الطرق الحديثة في تثبيت الرمال استخدام مادة البوليمرات، تقوم وزارة النقل باستخدام هذه الطريقة للحد من زحف الرمال على الطرق، وهو عبارة عن بوليمر مركز شكل (٥٢) يخفف بالماء ويرش على جانب الطريق المستهدف، وبعد فترة وجيزة يتبخر الماء وتبقي جزيئات البوليمر، وتتماسك حبيبات الكثبان الرملية مع جسيمات البوليمر ويتكون من ذلك نسيج متماسك صلب يمنع زحف الرمال ويقلل من تراكم الكثبان الرملية عليها، ومن مميزات هذه الطريقة عدم احتوائها على مواد كيميائية ضارة وليس لها آثار بيئية.

المصدر: تقرير دراسة زحف الرمال على شبكة الطرق ٢٠١٦م

شكل (٥٢) طرق كيميائية مستخدمة فى المملكة لمواجهة زحف الرمال

٣- الطرق البيولوجية:

تعد الطرق البيولوجية والتي تستخدم النباتات المتمثلة في زراعة الأشجار والنباتات المقاومة للتصحر والملوحة من أنجح الوسائل المستخدمة في منع حركة الكثبان الرملية بمختلف أحجامها وذلك بفاعلية طويلة الأمد، وإن كان من أهم مسالبها الحاجة إلى المياه والتربة الصالحة للنمو وهما من المكونات التي يندر وجودها في تلك المناطق الجافة (محسوب، ٢٠٠٤، ص ١٥٤)، ومن أهم أنواع الأشجار التي تستخدم بالمملكة للحماية

من زحف الرمال أشجار الآثل المحلي والكينا والأكاسيا والكازورينا والبوانسيانا وغيرها، وتعمل هذه الأشجار كمصدات للرياح شكل (٥٣)، ويتم زراعتها في خطوط متوازية على مسافات متقاربة، وتعد الأشجار الكثيفة التي يفوق معدل نموها معدل تحرك الرمال هي الوسيلة الأكثر فاعلية، وتعد الأشكال المختلفة من الغطاء النباتي التي تستخدم مثل العشب والشجيرات وغيرها من النباتات فعالة في تثبيت صفائح الرمال، حيث تحد جذورها من حركة الرمال وتحتجز أسطح أوراقها غير المستوية الرمل المتطاير فتمنعه من التحرك لاماكن أخري، وهى من الطرق التى تعمل عليها المملكة حاليا تماشيا مع رؤية المملكة ٢٠٣٠م ومبادرة السعودية الخضراء والتى تستهدف زراعة ١٠ مليار شجرة، كالتشجير فى أراضى الغطاء النباتي والمحميات الطبيعية والملكية.

المصدر:مشروع دراسة زحف الرمال على شبكة الطرق ٢٠١٦م

شكل (٥٣) طرق بيولوجية مستخدمة فى المملكة لمواجهة زحف الرمال

٤- التوأم الرقمي (Digital Twin):-

يمثل التوأم الرقمي (Digital Twin) تقنية مبتكرة رقمية Grieves, M. (2014) تتيح إنشاء نماذج افتراضية رقمية دقيقة تحاكي الواقع الفيزيائي للطرق والمناطق المحيطة بها، وفي سياق دراسة زحف الرمال على الطرق، يُستخدم التوأم الرقمي لمحاكاة التفاعل بين العوامل البيئية (كالرياح، وطبيعة التربة، والتضاريس) وسلوك حركة الرمال بمرور الزمن.

يساهم استخدام التوأم الرقمي في توفير منصة رقمية متكاملة تُمكِّن الباحثين وصناع القرار من مراقبة تطور الكثبان الرملية، وتقييم تأثيرها على البنية التحتية للطرق،

والتنبؤ بالمناطق الأكثر تعرضًا للزحف الرملي، مما يساعد في تصميم حلول وقائية أكثر دقة وكفاءة. كما يتيح التوأم الرقمي اختبار سيناريوهات متعددة لإجراءات التثبيت (مثل بناء الحواجز أو تنفيذ مشاريع التشجير) قبل تنفيذها ميدانيًا، مما يقلل من التكاليف ويرفع من فاعلية عمليات إدارة المخاطر.

وتبرز أهمية هذه التقنية بشكل خاص في المناطق الصحراوية بالمملكة العربية السعودية، حيث يتسم زحف الرمال بالتغير المستمر والتأثير المباشر على شبكات الطرق الحيوية. ومن خلال دمج بيانات الاستشعار عن بعد، وأنظمة المعلومات الجغرافية (GIS)، ونماذج المحاكاة البيئية داخل بيئة التوأم الرقمي، يمكن تحقيق إدارة ذكية ومتكاملة لمشكلة زحف الرمال بما يتماشى مع توجهات التحول الرقمي لرؤية المملكة ٢٠٣٠، وامكانية تطبيقها على المحميات المختارة.

٥- طائرات الدرون (drones):-

أصبحت طائرات الدرون (المسيّرات الجوية بدون طيار) أداة فعالة في رصد وتحليل حركة الكثبان الرملية، خاصة في البيئات الصحراوية والمحمية، لما توفره من بيانات عالية الدقة وسهولة في التغطية المتكررة لمواقع يصعب الوصول إليها ميدانيًا، وتُستخدم الدرونات لتصوير الكثبان من زوايا متعددة وإنشاء نماذج رقمية للسطح الأرضي (DSM) ونماذج الارتفاعات الرقمية(DEM) ، مما يساعد الباحثين على تتبع تحركات الكثبان وتقدير معدلات الزحف بدقة تصل إلى بضعة سنتيمترات، مما يتيح الفرصة للقائمين على المحميات ان تكون هذه اداة فاعلة فى الحفاظ على المحمية وادراتها وتنميتها تنمية مستدامة.

الخلاصة:

- تحقق المحميات التنمية المستدامة حيث تساعد على المحافظة على الموارد الطبيعية، وتم تأسيس هذه المحميات بجهود المركز الوطني لتنمية الحياة الفطرية، حيث استعانت المملكة بخبرة الاتحاد العالمي لصون الطبيعة (IUCN) في إعداد منظومة لحماية الحياة الفطرية.
- تطورت المحميات في المملكة العربية السعودية، ففي عام ٢٠١٨ تم دمج بعض المحميات المتجاورة لتكوين محميات طبيعية كبيرة وتم إعادة تسمية المحميات وتحويلها إلى محميات ملكية بأنظمتها الخاصة
- تتعدد العوامل المؤثرة على حركة الرمال سواء عن طريق زحف الكثبان الرملية بأشكالها وأحجامها أو في شكل انسياق وإثارة لحبيبات الرمال من العمليات الهوائية السائدة في بعض المحميات الطبيعية بالمملكة وذلك لوقوعها ضمن النطاق الصحراوي الجاف، ومن هذه العوامل المؤثرة المناخ، التضاريس، الغطاء النباتي.
- اعتمدت الدراسة على تقنيات الاستشعار عن بُعد والمرئيات الفضائية لرصد زحف الرمال، واستخدمت نظم المعلومات الجغرافية لبناء قاعدة بيانات للمحميات وربطها بالعلاقات المكانية، وأكدت النتائج فعالية ودقة هذه التقنيات في دراسة حركة الرمال.
- أظهرت الدراسة انتشار الرواسب الرملية في أربع محميات رئيسية بالمملكة هي (التيسية و مجامع الهضب و نفود العريق وعروق بني معارض)، مع تباين في معدلات زحف الرمال بينها نتيجة لاختلاف الموقع الجغرافي والظروف البيئية، كما بينت المقارنة مع الدراسات السابقة وجود تفاوت في حركة الرمال بين المحميات.
- تعاني المحميات الطبيعية في المملكة من زحف الرمال بمعدلات مختلفة، ما يتطلب استراتيجيات حماية متعددة تشمل الطرق البيولوجية والكيميائية والميكانيكية، وتعتمد المملكة أساسًا على الأساليب البيولوجية، مثل زراعة النباتات

المحلية والحواجز النباتية، ضمن جهود مكافحة التصحر والحفاظ على الغطاء النباتي (المركز الوطني لتنمية الغطاء النباتي ومكافحة التصحر، ٢٠٢٤).

- استخدمت المملكة الطرق الكيميائية لتثبيت الرمال بشكل محدود في مواقع خاصة كجوانب الطرق والمناطق العمرانية الحساسة، عبر رش مثبتات مؤقتة (هيئة تطوير المحميات الملكية، ٢٠٢٣). إلا أن الاعتماد عليها بقي محدودًا بسبب آثارها البيئية السلبية وارتفاع تكاليف صيانتها (مبادرة السعودية الخضراء، ٢٠٢٤).
- أهمية الاعتماد على التكنولوجيات الحديثة فى التعامل مع خطر زحف الكثبان الرملية مثل التوأم الرقمي ، طائرات الدرون.

المصادر والمراجع

المصادر:

١. المركز الوطني لتنمية الغطاء النباتي ومكافحة التصحر) .٢٠٢٤ .(تقرير حماية الغطاء النباتي ومكافحة التصحر في المملكة العربية السعودية .الرياض، السعودية.

٢. خطيب وعلمي (٢٠١٥): "دراسة ظاهرة زحف الرمال على شبكة الطرق بالمملكة العربيه السعودية وإيجاد الحلول للحد منها"، تقارير غير منشورة، المملكة العربيه السعودية.

٣. خطيب وعلمي (٢٠١٦): "دراسة ظاهرة زحف الرمال على شبكة الطرق بالمملكة العربيه السعودية وإيجاد الحلول للحد منها- وصف الوضع القائم لمشكلة زحف الرمال"، تقارير غير منشورة، تقرير المرحلة الأولي، وزارة النقل، الإدارة العامة للمواد والبحوث، المملكة العربيه السعودية.

1- https://earthexplorer.usgs.gov
2- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), United Nations, list of National Parks and Protected Areas, IUCN. , Gland, Switzerland and Cambridge, U.K., 1985.
3- Ministry of Environment Water & Agriculture (MEWA). National Environment Strategy. 2017. Available online: https://www.mewa.gov.sa/en/Ministry/initiatives/SectorStrategy/Pages/default.aspx (accessed on 7 March 2019).
4- Saudi Wildlife Authority (SWA). The National Strategy for Conservation of Biodiversity in the Kingdom of Saudi Arabia. 2010. Available online: http://www.swa.gov.sa/files/open-data/Regulation/National% 20Strategy.pdf (accessed on 10 October 2018).
5- The Saudi Geological Survey., 2011. Rub' al Khali- Great Sand Sea. Saudi Geological Survey.

المراجع العربية:-

١. أبو الخير، يحي محمد (١٩٨١):"زحف الرمال بواحة الإحساء"، وحدة البحث والترجمة، قسم الجغرافيا، جامعة الكويت، الجمعية الجغرافية الكويتية.

٢. الدسوقي، صابر أمين (١٩٨٨): "التحليل المورفومتري للكثبان الرملية الهلالية في الجزء الأدني من حوض وادي المساجد شمالي سيناء" المجلة الجغرافية المصرية، العدد ٢٠، القاهرة.

٣. الدسوقي، صابر أمين (١٩٩٢): "جيومورفولوجية الأشكال الرملية في حوض وادي الحاج والجدي بسيناء"، الجمعية الجغرافية المصرية، العدد ٢٤، القاهرة.

٤. الدسوقي، صابر أمين (٢٠٠٠/أ) : "الكثبان الطولية شرقي قناة السويس تحليل جيومورفولوجي" الجمعية الجغرافية المصرية، العدد ٣٥، القاهرة.

٥. الدسوقي، صابر أمين (٢٠٠٠/ب): "الأخطار الطبيعية في شبه جزيرة سيناء" المؤتمر السنوي الخامس لإدارة الأزمات والكوارث، وحدة بحوث الأزمات، كلية التجارة، جامعة عين شمس.

٦. الدغيري، أحمد عبد الله (٢٠١٢):"الأنماط المورفولوجية والتوزيعات اللونية للكثبان في صحراء الدهناء شمال منطقة القصيم"، مجلة العلوم العربية والإنسانية، جامعة القصيم، السعودية.

٧. الشرقاوي، محمد محمود علي (٢٠١٥): "جيومروفولجية الرواسب الرملية شرقي وجنوب شرقي الربع الخالي بالمملكة العربية السعودية"، رسائل جغرافية، جامعة الكويت، كلية العلوم الاجتماعية، قسم الجغرافيا.

٨. الزاملي، عايد جاسم (٢٠٠٩):"الأشكال الأرضية في الحافات المتقطعة للهضبة الغربية بين بحيرتي الرزازة وساوه"، مجلة تراث النجف، العدد ١.

٩. العوضي، جاسم، محمد (١٩٨٩): حركة الكثبان الهلالية في الكويت، الجمعية الجغرافية الكويتية، الكويت، العدد ١٢٧.

١٠.الغنيم، عبد الله يوسف (٢٠٠٥):"أشكال سطح الأرض في شبه الجزيرة العربية في المصادر العربيه القديمه"، منشورات وحدة البحث والترجمة، قسم الجغرافيا، جامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية.

١١.الموسوي، ظافر مندل عطية (٢٠٢٢): التحليل والنمذجة المكانية والرقمية للكثبان الرملية وآثارها البيئية فى محافظة ذى قار ووسائل الحد منها. الخليج العربي، مج ٥٠, ٣٤، ٥٤٣-٥٨٨.

١٢.الوليعي، عبد الله ناصر (٢٠٠١): صحراء الربع الخالي، موطن محمية عروق بني معارض، الهيئة الوطنية لحماية الفطرية وإنمائها- المملكة العربية السعودية.

١٣.إمبابي، نبيل سيد ، عاشور، محمود (١٩٨٣): "الكثبان الرملية في شبه جزيرة قطر"، الجزء الأول، مركز الوثائق والبحوث الإنسانية، جامعة قطر.

١٤.إمبابي نبيل سيد ، عاشور ، محمود (١٩٨٥): "الكثبان الرملية في شبه جزيرة قطر"، الجزء الثاني، مركز الوثائق والبحوث الإنسانية، جامعة قطر.

١٥.جودة، عبد الرحيم نصر(٢٠١٦): الحماية الدولية للبيئة البرية من أخطار التلوث، دار جامعة نايف للنشر.١

١٦.عبد الله، جاسم محمد (١٩٨٩): "حركة الكثبان الهلالية في الكويت"، وحدة البحث والترجمة، قسم الجغرافيا، جامعة الكويت، الجمعية الجغرافية الكويتية.

١٧.فراج، أبو بكر ، شعبان (٢٠١٢): "الأخطار الجيومورفولوجية في المنطقة بين بحيرة التمساح ورأس خليج السويس"، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة القاهرة.

١٨.كليو، عبد الحميد أحمد ، الشيخ، محمد اسماعيل (١٩٨٦):"نباك الساحل الشمالي في دولة الكويت- دراسة جيومورفولوجية"، اصدارات وحدة البحث والترجمة، قسم الجغرافيا، جامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية.

١٩.كحالة، عمر رضا (١٩٤٤):"جغرافية شبه جزيرة العرب"، دمشق.

٢٠.محسوب، محمد صبري (١٩٩٤): "سواحل مصر: بحث في الجيومورفولوجيا"، دار الثقافة للنشر والتوزيع، القاهرة.

٢١.محسوب، محمد صبري (١٩٩٧): "جيومورفولوجية الأشكال الأرضية"، الطبعة الأول، دار الفكر العربي للنشر والتوزيع، القاهرة.

٢٢.محسوب، محمد صبري (١٩٩٨): "جغرافية مصر الطبيعية- الجوانب الجيومروفولوجية"، دار الفكر العربي، القاهرة.

٢٣.محسوب، محمد صبري (٢٠٠٣): "القاموس الجغرافي: الجوانب الطبيعية والبيئية"، مطبعة الاسراء، القاهرة.

٢٤.محسوب، محمد صبري (٢٠٠٤): "الخريطة الكنتورية في الفهم الجيومورفولوجي"، دار الفكر العربي، القاهرة.

المراجع الأجنبية:-

1. Al Dughiri A., (2011): Late quaternary paleo-environmental reconstruction in the Burydah area, Center Saudi Arabia, PhD, thesis submitted to university of Leicester. UK.
2. Al-Harthi, A. (2002). Assessment of sand dune encroachment and its environmental impacts in Saudi Arabia. Journal of Arid Environments, 52(3), 267–279.
3. Al-Awadhi, J. M. (2007). Effectiveness of sand fences in controlling sand drift in arid environments. Journal of Arid Environments, 68(2), 272–283.
4. A. Abuzinada., 2003: The role of protected areas in conserving biological diversity in the kingdom of Saudi Arabia. J. Arid Environ.
5. Al-Saadon, K.H, 2012: Saudi Wildlife Authority,. Action Plan for Implementing the Convention on Biological Diversity's Program of Work on Protected Areas. Riyadh.
6. Bagnold, R. A., (1960): the Physics of Blown sand and Desert Dunes, Methuen and Co. Ltd., London.
7. Badr, T., (1989), Scientific means and studies used to stabilize dunes in the Eastern Region, in Y. Ablolkhair, et al., (eds.), Workshop on Desert Studies in the Kingdom of Saudi Arabia, 21-23 November, 1989, pp. 45-66, Center for Desert Studies, King Saud University, Riyadh.

8. Breed, C.; Fryberger, S.; Andrews, S.; McCauley, C.; Lennartz, F. Gebel, D.; and Horstman, K., (1979), Regional studies of sand sead; using Landsat (ERTS) Imagery, in E. McKee, (ed.), A Study of Global Sand Seas, pp. 305-398, U.S. Geological Survery Professional Paper 1052, United States Government Printing Office, Washington, D.C.
9. ElSayed Hermas , Omar Alharbi , Abdullah Alqurashi , Abdoul Jelil Niang , Khalid Al-Ghamdi , Motirh Al-Mutiry , and Abudeif Farghaly ,2019. Characterisation of Sand Accumulations in Wadi Fatmah and Wadi AshShumaysi, KSA, Using Multi-Source Remote Sensing Imagery, MDPI.
10. Fryberger, S.G., Ahlbrandt, T.S., 1979. Mechanisms for the formation of eolian sand seas. Zeitschrift fur Geomorphologie, vol. 23, No. 4, pp. 440- 460.
11. Farrant, A.R., Duller, G.A., Parker, A.G., Roberts, H.M., Parton, A., Knox, R.W. and Bide, T., 2015. Developing a framework of Quaternary dune accumulation in the northern Rub'al-Khali, Arabia. Quaternary International, 382, pp.132-144.Fryberger, Steven G., and Gary Dean. "Dune forms and wind regime." A study of global sand seas 1052 (1979): 137-169.
12. Grieves, M. (2014). *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*.
13. John Clark & Kathy Mac Kinnon, 1986: Managing Protected Areas in the Tropics, IUCN, Gland, Switzerland.
14. Kumar, A. and Abdullah, M.M., 2011. An overview of origin, morphology and distribution of desert forms, sabkhas and playas of the Rub'al Khali desert of the Southern Arabian Peninsula. Earth Science India (ESI), 4, pp.105-135.
15. McClure, H.A., (1978): Ar Rub'Al Khali. In Quaternary Period in Saudi Arabia (pp. 252-263). Springer Vienna.
16. Mathews, J. T., 1986 : World Resources, a Report by the World Resources Institute and the International Institute for Environment and Development, New York.
17. Powers, R.W., Ramirez, L.F., Redmond, C.D. and Elberg, E.L., 1966. Geology of the Arabian Peninsula. Geological survey professional paper, 560, pp.1-147.

18. STEVEN G. FRYBERGER*, ABDULKADER M. AL-SARI, THOMAS J. CLISHAMt, SYED A. R. RIZVI and KHATTAB G. AL-HINAI (1984), Wind sedimentation in the Jafurah sand seas, Saudi Arabia, Sedimentology, Vol. 31, pp.413- 431.
19. Udvardy, M.D.F , 1975: "A Classification of Bio-geographical Provinces of The World, IUCN". Occasional Paper No. 18, Gland, Switzerland.
20. Vincent, P., 2008. Saudi Arabia: an environmental overview. CRC Press.