



---

# بحوث قسم الجغرافيا والخرائط

---



## التقييم الجيومورفولوجي للأخطار الطبيعية على طريق وادي الريان-الوحدات

البحرية:دراسة تطبيقية باستخدام تقنيات الجيوماتكس.

إعداد

د. ناصر عبدالستار عبد الهادي نوح

أستاذ الجغرافيا الطبيعية المساعد-معهد البحوث والدراسات الاستراتيجية لدول حوض النيل- جامعة الفيوم

د.محمد الراوي دندراوي

أستاذ الجغرافيا الطبيعية المساعد-معهد البحوث والدراسات الأفريقية ودول حوض النيل- جامعة أسوان

### الملخص العربي

تقع منطقة الدراسة جنوب غرب محافظة الفيوم إلى الجنوب مباشرة من منخفض وادي الريان، وتمتد طويلاً من الجنوب الشرقي إلى الشمال الغربي، وتتفق حدودها الجنوبية والشمالية والشرقية مع خط تقسيم المياه بين الأودية الجافة التي تصب على جانبي محور طريق وادي الريان-الوحدات البحرية وتبلغ مساحتها حوالي ٢٤٩٠ كم<sup>٢</sup>

وتمتد طريق وادي الريان-الوحدات البحرية من منطقة الدير المنحوت(دير الأنبا مكاريوس الإسكندري) بوادي الريان حتى الكيلو ١٦٥ ماراً بالصحراء الغربية بطول ٨٠ كم.

وقد هدف البحث إلى دراسة التقييم الجيومورفولوجي للأخطار الطبيعية علي الطريق باستخدام تقنيات الجيوماتكس، والتي تتمثل في حركة الرمال وأخطار الانهيارات الصخرية، وأخطار التجوية الملحية، وأخطار الجريان السيلي؛ للتعرف على أسبابها وأنواعها وتوزيعها ودرجة خطورتها، وتجنب المخاطر الناجمة عنها.

واعتمد البحث في بعض أجزائه على المنهج التطبيقي النفعي من خلال الوصف والتفسير والتقييم والتشخيص، وأخيراً الرصد بالإضافة إلى استخدام الأساليب الكمية والإحصائية، عند دراسة الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة لتأكيد نتائج المشاهدات الحقلية.

وخلص البحث إلى العديد من المقترحات والتوصيات والتي يمكن من خلالها الحد من الأخطار الطبيعية على جانبي الطريق وكيفية مجابتهها، وتحديد العلاقة بين عناصر البيئة وأشكالها والعمليات الجيومورفولوجية التي تؤثر فيها ومدى الاستفادة منها.

**الكلمات المفتاحية:**التقييم الجيومورفولوجي-الأخطار الطبيعية-حركة الرمال-الانهيارات الصخرية-التجوية الملحية-الجريان السيلي.

---

**Abstract.**

The study area is located southwest of Fayoum Governorate, directly south of the Wadi al-Rayyan Depression. It extends from The southeast to The northwest, and its area is about 2,490 km<sup>2</sup>. Its southern, northern, and eastern borders coincide with the watershed dividing line between the dry valleys that flow on both sides of The axis of Wadi El Rayan Road Corridor-Al Wahat Al Bahariya Road.

Wadi El Rayan - Al Wahat Al Bahariya Road extends from the area of the carved monastery (The monastery of Anba Makaryus) in Wadi Al-Rayyan until kilometer 165, passing through the Western Desert, with a length of 80 km.

The research aimed to the geomorphological assessment of the natural hazards on the road, which are represented in the hazards of sand monement, Landslides, rock falls, Mass Movement, and the potential hazards of drainage basins and its networks; to learn about its causes, types, distribution, and degree of severity, and to avoid the hazards arising from it.

The research relied in some of its parts on the applied utilitarian approach through description, interpretation, evaluation and diagnosis, and finally monitoring in addition to the use of quantitative and statistical methods, in addition to the use of quantitative and statistical methods when studying the natural characteristics of the study area to confirm the results of field observations.

The research concluded with many proposals and recommendations through which natural hazards on the road can be reduced and how to confront them, determine the relationship between the elements and forms of the environment and The geomorphological processes that affect them and the extent of benefiting from them.

**Key words:** Geomorphological assessment - Natural hazards - Sand movement - Landslides.-Salt weathering-Flash flood

## مقدمة:

تتعرض الطرق في المناطق الجبلية للعديد من الأخطار الطبيعية، والتي تتباين من مكان إلى آخر على طول محاورها تبعاً للعوامل والعمليات التي تحدثها، كما تتباين درجة خطورتها وتأثيرها على المناطق التي تتعرض لها من موقع إلى آخر، حيث تمثل هذه الأخطار أحد الجوانب المهمة التي يجب دراستها عند إنشاء أي طريق أو منشأة أخرى أو أي مشاريع يتم إقامتها؛ فهي ذات أهمية في عملية التخطيط وتحسين البنية التحتية وإختيار المكان الأمثل عند إقامة أو إنشاء أي مشروع. وتمثل هذه الأخطار الطبيعية في حركة الرمال وأخطار الانهيارات الصخرية، وأخطار التجوية الملحية، وأخطار الجريان السيلي، وهذه الأخطار تؤدي إلى التدمير الجزئي على جانبي الطريق كما أنها تزيد من تكلفة الإنشاء وإعادة الصيانة والبناء قبل وبعد حدوثها، وأحياناً من الممكن تؤدي إلى إصابات وازهاق في الأرواح.

ولا يمكن تفادي هذه الأخطار الطبيعية بشكل دائم، ولكن نستطيع العمل على التقليل من أضرارها من خلال تحديد نوعها، وموقعها، وحجمها المتوقع، ودراسة أسبابها؛ ومن ثم بحث الأساليب والتقنيات الحديثة لمواجهةها.

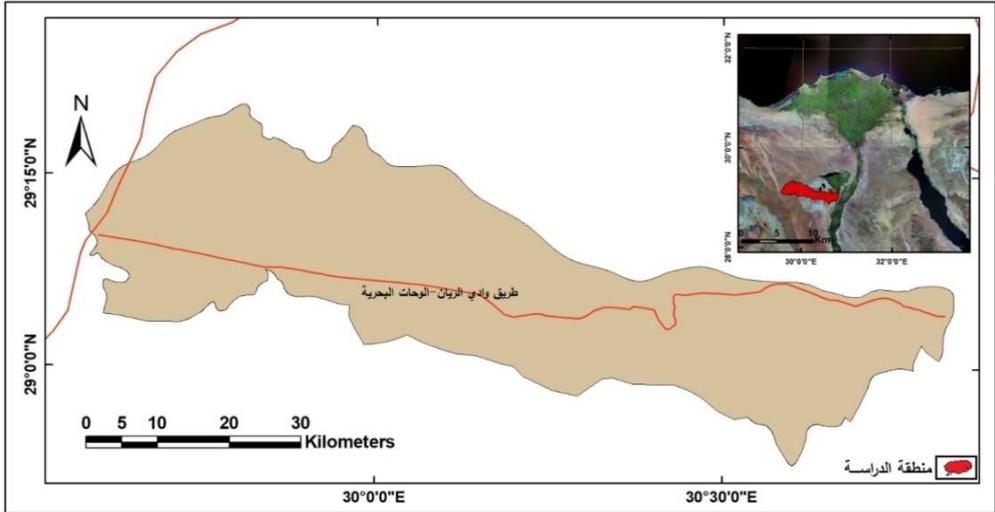
وللعوامل والعمليات الجيومورفولوجية دوراً مهماً في تحديد التقييم الجيومورفولوجي للأخطار الطبيعية، وتحديد النظام الأرضي ومدى قابليته للاستخدام الأمثل في النشاط البشري بمنطقة الدراسة، لما تتميز به تلك العمليات بعدم استقرارها، وديناميكيته المستمرة بالتغير والتطور سواء على المستوى القريب أو البعيد مما ينعكس بدوره على الأخطار الطبيعية الناتجة عنها وتأثير هذا التغير والتطور على الأنشطة البشرية المختلفة.

ويتمد الطريق في بعض قطاعاته بموازاة الحافات الجبلية التي تتألف من طبقات من الحجر الجيري وتتابعات من الحجر الرملي والمارل والطفل، وهذه الطبقات الصخرية تتعرض لعملية تقويض سفلي وبالتالي حدوث انهيار للطبقات العليا مما ينعكس بدوره على تعرض الكتل الصخرية للانفصال ومن ثم حدوث التساقط الصخري على جانبي الطريق، كما يمتد الطريق داخل الأودية الجافة الأمر الذي يؤدي إلى كثير من الانحناءات والتعرجات وبالتالي انعدام الرؤية في انحناءات الطريق وزحف الرمال مما يشكل خطورة على طول محور الطريق (علي، ٢٠٠٠، ص ٦).

## موقع منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة جنوب غرب محافظة الفيوم إلى الجنوب مباشرة من منخفض وادي الريان، ويمتد قطاع طريق وادي الريان-الوحدات البحرية بين دائرتي عرض ٢٤° و ٢٩°٠٤' و ٥٩°١١' شمالاً، وخطي طول ٤٤° و ٤٨°٢٩'، ٤٤° و ٤٨°٣٠' شرقاً، وتمتد منطقة الدراسة من الجنوب الشرقي إلى الشمال الغربي كما يتضح في شكل (١)، وتبلغ مساحتها حوالي ٢٤٩٠ كم<sup>٢</sup>، وتتفق حدود منطقة الدراسة الجنوبية والشمالية والشرقية مع خط تقسيم المياه بين الأودية التي تصب على طول محور الطريق.

وقد كان لهذا الموقع أثره الكبير في تعرض الطريق للعديد من الأخطار الطبيعية والتي يصل بعضها لحد الكوارث، وتعتبر حركة الرمال من أهم هذه الأخطار، تليها أخطار السقوط الصخري والانهيالات الأرضية، وأخطار حركة المواد والهبوط الأرضي والأخطار المحتملة لشبكات التصريف بمنطقة الدراسة.



المصدر: الخرائط الطبوغرافية ١/٥٠,٠٠٠، ١٩٨٩ مرئية فضائية من القمر الصناعي LANDSAT بدقة مكانية ٣٠م

## شكل (١) موقع منطقة الدراسة.

ويمتد طريق وادي الريان- الوحدات البحرية من منطقة الدير المنحوت (دير الأنبا مكاريوس الإسكندري) بوادي الريان حتى الكيلو ١٦٥ ماراً بالصحراء الغربية من الجنوب الشرقي إلى الشمال الغربي بطول ٨٠ كم، مشكلاً محوراً للتنمية الاقتصادية وإنشاء مجتمعات عمرانية جديدة تشكل مناطق جذب للسكان، حيث تمتلك منطقة الدراسة العديد من المقومات الطبيعية التي تؤهلها لتكون ضمن أولويات الدولة لاستغلالها مع الحفاظ عليها كمحمية طبيعية، حيث يعد

هذا الطريق ذو أهمية كبيرة حيث ساعد على سهولة الحركة والوصول بين محافظة الفيوم والوحدات البحرية وبالتالي سهولة حركة الرحلات السياحية والركاب فيما بينهما.

#### الدراسات السابقة:

معظم الدراسات السابقة ركزت على دراسة الأخطار الطبيعية على الطرق والتي تمثلت في أخطار حركة الرمال، والانحياالات الأرضية، وأخطار السقوط الصخري وحركة المواد والهبوط الأرضي، وأخطار الجريان السيلبي، وتقييم هذه الاخطار من خلال دراسة العوامل المؤثرة فيها، ومعالجتها والقدرة على التنبؤ بمحدوثها، وفيما يلي أهم الدراسات التي تناولت الأخطار الطبيعية على النحو التالي:-

#### ■ الدراسات العربية:

١. دراسة (صالح، ٢٠١٠): عن "الأشكال الرملية ومخاطرها بمنطقة الكوامل، سوهاج"، وتناولت دراسة أنواع الأشكال الرملية، وتوزيعها الجغرافي، والسمات المميزة لها، والوقوف على حركتها في المنطقة والحد من خطورتها.

٢. دراسة (حجاب، ٢٠١٣): عن "حركة المواد على منحدرات الحافة الشرقية لوادي النيل فيما بين وادي الطارف جنوبا ووادي الاحايوه شمالا دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية"، تناولت دراسة المنحدرات وخصائصها المورفومترية والمورفولوجية، وتم تصنيف أنواع الاخطار على المنحدرات باستخدام نموذجي (زاوية الوصول، زاوية الظل)، بهدف قياس سرعة حركة المواد على المنحدرات، وخلصت الدراسة إلى وضع تصور لوسائل مواجهة اخطار حركة المواد والتساقط الصخري.

٣. دراسة (السعدي، ٢٠١٤): الأخطار الطبيعية على القطاع الجنوبي الغربي من طريق رأس سدر /صدر الحيطان ( دراسة جيومورفولوجية،تناولت الدراسة ت العديد من الأخطار الطبيعية على طريق رأس سدر/ صدر الحيطان مثل السيول وحركة المواد وتعرجات الطريق وحركة الرمال، والتي تمثل خطورة حقيقة، والتي يمكن التغلب عليها من خلال إقامة السدود والهربات لتخزين المياه وإمكانية استغلالها في مجالات النشاط البشرى، وكذلك وضع علامات إرشادية وتحذيرية، وللتغلب على زحف الرمال على الطريق من خلال عمل صيانة وتطهير مستمر مع زراعة بعض الأشجار على جانبي الطريق، كمصدات من زحف الرمال.

٤. دراسة (سليمان, ٢٠١٤): عن "الأخطار الجيومورفولوجية للاهتيارات الأرضية في منطقة الحرم المكي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية" وتناولت الدراسة الأخطار الجيومورفولوجية المرتبطة بالانهيالات الأرضية وعلاقتها بالتنمية في المنطقة, وخلصت الدراسة إلى تحديد المناطق المهددة بحدوث حركة المواد على سفوحها ووضع الحلول المناسبة لكل منطقة على حدة.
٥. دراسة (أبورية, ٢٠١٦): عن "الأخطار الجيومورفولوجية في البر الغربي لمدينة الأقصر باستخدام التقنيات الجغرافية الحديثة" وتناولت الأخطار الجيومورفولوجية وأثرها على الأنشطة البشرية, وختتمت بتحديد أنواع هذه الأخطار على المنطقة وبعض المقترحات للحد منها.
٦. دراسة (متولي, ٢٠١٧): بعنوان "تكامل بيانات المراجعة الحقلية ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في إنتاج خريطة المنحدرات وأخطارها شمال غرب ثنية قنا: دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية", اعتمدت الدراسة على استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية GIS والاستشعار عن بعد RS بالتكامل مع الدراسة الحقلية في إنتاج خريطة المنحدرات وأخطارها, وخلصت الدراسة إلى رسم خريطة توضح درجات خطورة المنحدرات على الأنشطة البشرية وسبل الحماية.

#### ■ الدراسات غير العربية:

١. دراسة (Youssef, & Maerz, 2009): عن "تقييم مخاطر استقرار المنحدرات ووسائل التخفيف على الطريق السريع بالصحراء الشرقية أسوان- القاهرة، مصر" تناولت الدراسة، تقييم استقرار قطع الصخور من خلال تحديد العوامل التي تؤثر على استقرار المنحدرات على طول الطريق، وتحديد المناطق غير المستقرة، وخلصت الدراسة إلى تحديد أفضل طريقة للتخفيف من آثار عدم الاستقرار في المنحدرات على الطريق والتقليل منها إلى أدنى حد.
٢. دراسة (Zheng, 2009): عن "ميكانيكية حركة الرمال بواسطة الرياح" وتناولت الدراسة استخدام النمذجة النظرية والمحاكاة الحاسوبية لرصد حركة الرمال، والمشاكل البيئية المتعلقة بحركتها.
٣. دراسة (Yousef, etal., 2016): بعنوان "رسم خرائط القابلية للاهتيارات الأرضية باستخدام الغابة العشوائية، وشجرة الانحدار المعزز والتصنيف والانحدار والنماذج الخطية العامة والمقارنة لأدائهم في حوض وادي تايه، منطقة عسير، المملكة العربية السعودية، حيث هدفت الدراسة إلى إنتاج خرائط للاهتيارات الأرضية في حوض وادي تايه بمنطقة عسير باستخدام تقنيات النمذجة، وبالتحديد الغابة العشوائية (RF)، وتعزيز شجرة الانحدار (BRT)، وشجرة

- التصنيف والانحدار (CART)، واستخدام الخطة العام (GLM) لتحديد مواقع الانهيارات والتي بلغ عددها ١٢٥ موقعا.
٤. دراسة (Berhane., etal. 2021): بعنوان "رسم خرائط حساسية الانهيارات الأرضية وتقييم استقرار المنحدرات الصخرية باستخدام نسبة التردد والتحليل الحركي في جبال مجولات، شمال إثيوبيا" وتناولت هذه الدراسة أخطار الانهيارات الأرضية في جبل مجولات بأثيوبيا وخلصت الدراسة إلى انشاء خريطة لانهيارات الأرضية بالمنطقة بمثابة أداة أو دليل مهم لمزيد من تخطيط استخدام الأراضي ولمنع وتخفيف المخاطر المرتبطة بالانهيارات الأرضية.
٥. دراسة (Luu., etal., 2021) عنوان "تحليل حساسية أخطار الجريان السيلبي والانهيارات الأرضية للطريق الجبلي في فيتنام باستخدام النمذجة المكانية، تناولت هذه الدراسة مخاطر الجريان السيلبي والانهيارات الأرضية على الطرق في المناطق الجبلية بفيتنام وتوصلت الدراسة إلى انشاء خريطة للمناطق التي يمكن أن تحدث فيها الانهيارات الأرضية والسيول المفاجئة على الطريق والتي قد تزود السلطات المحلية بمعلومات مهمة لإدارة الكوارث.
٦. دراسة (Huqqani., etal., 2022): بعنوان "نمذجة رسم خرائط المناطق المعرضة للانهيارات الأرضية باستخدام أحدث نماذج التعلم الآلي" وتناولت الدراسة نمذجة لرسم خرائط القابلية للانهيارات الأرضية لجزيرة بينانج، ماليزيا باستخدام أحدث نماذج التعلم الآلي المستخدمة لإنشاء خرائط الحساسية للانهيارات الأرضية وتوصلت الدراسة إلى التعرف على العوامل المؤثرة على الانهيارات ومعالجتها والقدرة على التنبؤ بحدوثها.
٧. دراسة (Ardy&Archmad., 2023): بعنوان "رسم خرائط الحساسية للانهيارات الأرضية لممرات الطرق باستخدام التحليل الأحصائي للتقنية التي تعتمد على القمر الصناعي ونظم المعلومات الجغرافية" وتناولت الدراسة تخطيط حساسية الانهيارات الأرضية باستخدام التحليل الأحصائي ونظم المعلومات الجغرافية المقترن بالتقنية المعتمدة على القمر الصناعي (InSAR) المطبقة على ممر الطريق في غرب سولاويزي بإندونيسيا، وخلصت الدراسة إلى تصنيف معدلات الانهيار الأرضي وحساب مؤشر كثافة الانهيارات الأرضية بمنطقة الدراسة.
٨. دراسة (Zhang, etal., 2023): بعنوان "تقييم مخاطر شبكات الطرق المعرضة للانهيارات الأرضية في المناطق الجبلية-دراسة حالة في مقاطعة فنجاي Fengjie، الصين تناولت الدراسة مخاطر الانهيار الأرضية على شبكة الطرق بمقاطعة فنجاي، وخلصت الدراسة إلى

النتائج أهميه وضع استراتيجية للتخفيف من الانهيارات الأرضية، والتأهب، وخدمات الاستجابة للطوارئ، وإضافة روابط جديدة إلى شبكة الطرق الحالية.

#### أهمية البحث:

تأتي أهمية البحث من خلال التقييم الجيومورفولوجي للأخطار الطبيعية التي تؤثر على طريق وادي الريان-الوحدات البحرية والذي يربط محافظة الفيوم بالوحدات البحرية والدلتا الجديدة، مما يشكل خطراً على الحركة المرورية عليه، لذلك جاءت هذه الدراسة لدراسة كافة الضوابط والمحددات للأخطار الطبيعية لوضع بعض الحلول والمقترحات للحد من هذه الأخطار التي يتعرض لها الطريق، وكيفية مجابته.

#### أهداف البحث:

١. تحديد الأخطار الطبيعية بمنطقة الدراسة مع رسم الخرائط التي تتوزع عليها الأخطار على جانبي الطريق، لتفادي مواضع هذه الأخطار وتحديد أنسب المواقع لإقامة الانشطة المختلفة.
٢. دراسة وتحليل السمات الجيومورفولوجية المميزة للأشكال الرملية والعوامل والعمليات المسؤولة عن تشكيلها.
٣. الوقوف على حركة الكتلان الرملية والأخطار المرتبطة بها، ودراسة عمليات الانهيارات الصخرية وحركة المواد والهبوط الأرضي للتعرف على أسبابها وتجنب الأخطار الناجمة عنها وأثرها على الطريق.
٤. التعرف على العلاقة بين خصائص أحواض التصريف وشبكات المجاري وكثافة التصريف من ناحية، والجريان السيلي من ناحية أخرى بهدف تقدير درجة خطورة الأودية على الطريق.
٥. التقييم الجيومورفولوجي للأخطار الطبيعية باستخدام تقنيات الجيوماتكس للوصول إلى تحديد مناطق الأخطار، وطرق مواجهتها، وتحديد العلاقة بين عناصر البيئة وأشكالها والعمليات الجيومورفولوجية التي تؤثر فيها ومدى الاستفادة منها، من خلال رسم خريطة جيومورفولوجية لتحديد مناطق الأخطار وأنواعها ودرجة خطورتها التي يتعرض لها الطريق.
٦. وضع تصور مقترح للحلول التي من شأنها مجابهة الأخطار الطبيعية بالمنطقة، والحد من خطورتها وتجنب أثارها المدمرة على الطريق.

### تساؤلات البحث:

١. ما التقييم الجيومورفولوجي وسلوك الظواهر الجيومورفولوجية والأخطار الناجمة عنها بالمنطقة؟
٢. ما تأثير خطر حركة الرمال على الطريق؟ وهل يمكن وضع مجموعة من الضوابط يتم من خلالها الحد من حركة الكتلان الرملية السائدة؟
٣. ما مدى تأثير الانحدارات الشديدة للحافات في المنطقة على الاخطار التي يتعرض لها الطريق من حيث التساقط الصخري والانهيالات الأرضية؟
٤. ما المناطق الاكثر خطورة التي تتعرض للانهيالات الصخرية والتساقط الصخري وحركة المواد والهبوط الأرضي والتجوية الملحية والجريان السيلي؟
٥. هل يمكن وضع تصور مقترح للحلول التي من شأنها مجابهة الأخطار الطبيعية بالمنطقة، والحد من خطورتها وتجنب أثارها المدمرة على الطريق؟

### المناهج المستخدمة في البحث:

اعتمد البحث في بعض أجزائه على المنهج الأصولي للوقوف على العوامل والعمليات المتسببة في حدوث الانهيالات الأرضية وتراجع المنحدرات وتطورها، وكذلك حدوث أخطار حركة الرمال والجريان السيلي، وأُعيد أيضاً على منهج البحث التطبيقي من خلال الوصف والتفسير والتقييم والتشخيص، وأخيراً الرصد.

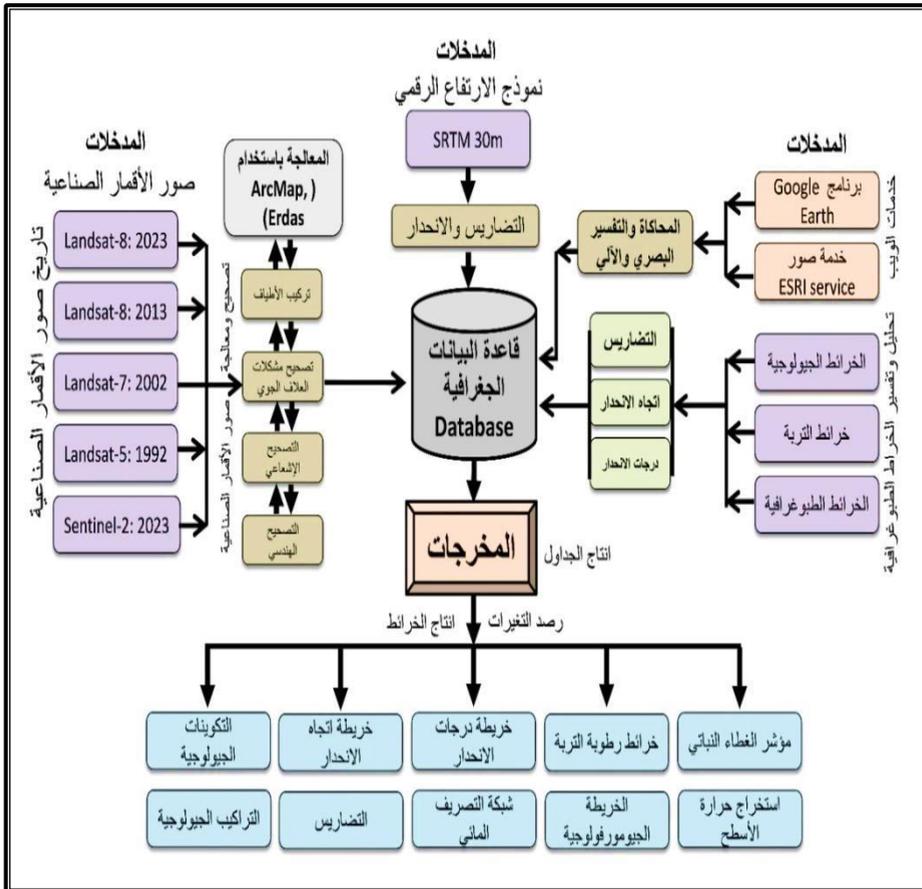
### الاساليب والتقنيات المستخدمة في البحث:

اعتمد البحث أيضاً على الأساليب الكمية والإحصائية عند دراسة الطريق بين وادي الريان والوحدات البحرية لتأكيد نتائج المشاهدات الحقلية، وهناك وسائل جغرافية أخرى، تنوعت ما بين الخرائط الطبوغرافية والخرائط الجيولوجية والمرئيات الفضائية وتحليلها برامج نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار من، منها:

- الخرائط الطبوغرافية: مقياس ١:٥٠,٠٠٠، الهيئة العامة للمساحة المدنية (المشروع الفنلندي).
- الخرائط الجيولوجية: خريطة مصر الجيولوجية ١: ٢٥٠,٠٠٠، وخرائط كونكو الجيولوجية ١: ٥٠٠,٠٠٠ لوحتي بني سويف، الوحدات البحرية، لتحديد مواقع التكوينات الجيولوجية وقياس مساحتها وتحديد وقياس الصدوع، ومواضع الطيات.
- استخدام التقنيات الجغرافية الحديثة في بناء قاعدة معلومات مكانية كاملة لمنطقة الدراسة لتحديد المناطق المهددة بالأخطار للحد من أضرارها من خلال:-

-إستخدام برنامج Arc Gis 10.8 في دراسة الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف ورسم الخرائط واشتقاق بيانات تمثل الخصائص المكانية للمظاهر الأرضية، وتقييم ملاءمتها، وتقدير مستويات مخاطرها، وكذلك-المعالجة الكمية، والكارتوجرافية للبيانات، وإعداد الرسوم البيانية باستخدام برنامج Spss. v29.

-كما اعتمد البحث على العديد من بيانات الاستشعار عن بعد، منها المرئيات الفضائية لأقمار (Landsat-8, Sentinel-2) للسنوات من (١٩٩٢ إلى ٢٠٢٣)، كذلك تم الاعتماد على خدمة صور الويب (ESRI Imagery) وعلى الصور الرادارية من نوع (SRTM) بدقة ٣٠ متراً، وقد تمت عملية المعالجة الرقمية للمرئيات باستخدام برامج أهمها ( ERDAS Imagine)، وذلك لعمل التصحيح الإشعاعي (Radiometric Correction) وتركيب الأطياف بأدوات (Layer Stack) وعمل التحسينات المكانية كما يوضحها شكل (٢).



شكل (٢) نموذج model يوضح مراحل معالجة المرئيات الفضائية الخاصة بمنطقة الدراسة

وبعد تجهيز وإعداد المرئيات الفضائية لمنطقة الدراسة تم القيام بالعمل الميداني لمعظم أجزاء منطقة الدراسة لجمع المعلومات الحقلية، للوصول إلى أدق النتائج الممكنة من خلال تفسير المرئيات الفضائية المعدة في المدة السابقة.

#### الدراسة الميدانية:

تمثل الدراسة الميدانية أهم ركائز البحث الجيومورفولوجي لمنطقة الدراسة وذلك لدراسة ورصد مواقع حركة الرمال على الطريق، ودراسة مواقع الانهيارات الصخرية وتحديد أنواعها، والتعرف على المنحدرات الأرضية وتحديد مواقعها وعمل بعض القياسات للمنحدرات على جانبي الطريق، كما تعد الدراسة الميدانية هنا مصدراً أساسياً للقياسات المورفومترية للأشكال الرملية والكتل الصخرية المتساقطة، وتم عمل القطاعات الميدانية على واجهة الحافات للتعرف على أنماط حركة السقوط الصخري على المنحدرات الرئيسية على جانبي الطريق، وتسجيل البيانات الميدانية لخصائص الرواسب المرتبطة بالأشكال الجيومورفولوجية، وجمع العينات المتساقطة والمنزلة وقياس أبعادها المختلفة والتقاط الصور الفوتوغرافية التوضيحية

#### محتوى البحث:

يتناول البحث التقييم الجيومورفولوجي للأخطار الطبيعية على طريق وادي الريان- الوحات البحرية، والتي تشمل أخطار حركة الرمال، والانهمالات الصخرية وأخطار التجوية الملحية، بالإضافة إلى أخطار الجريان السيلي، و طرق الحماية وبعض الحلول والمقترحات، وذلك على النحو التالي:-

أولاً: أخطار حركة الرمال على الطريق.

ثانياً: أخطار الانهيارات الصخرية على الطريق.

ثالثاً: أخطار التجوية الملحية على الطريق.

رابعاً: أخطار الجريان السيلي على الطريق.

خامساً: التقييم الجيومورفولوجي للأخطار الطبيعية على الطريق والمسار الأنسب للطريق.

سادساً: طرق الحماية وبعض الحلول والمقترحات.

وفيما يلي دراسة تفصيلية للأخطار الطبيعية بمنطقة الدراسة وذلك على النحو التالي :-  
**أولاً: أخطار حركة الرمال:**

تشكل حركة الرمال خطراً واضحاً على طريق وادي الريان-الوحدات البحرية حيث يتعرض الطريق لزحف الرمال ونقل كمية كبيرة منها تحت تأثير الرياح الشمالية والشمالية الشرقية السائدة بمنطقة الدراسة معظم أوقات السنة. ويساعدها في ذلك ظروف الجفاف السائدة وانتظام هبوب الرياح مع انتظام سرعتها، وتتعدد الأشكال الرملية بمنطقة الدراسة وفقاً لطبوغرافية السطح، وطبيعة الانحدار، وسرعة واتجاه الرياح، الأمر الذي انعكس بدوره على حركة وانتقال الرواسب الرملية من مكان، وتجميعها في مكان آخر متضمنة أشكال مختلفة، منها الرمال المسطحة والتي تعرف بفرفشات الرمال، والرمال المتجمعة بشكل غير منتظم والرمال المترامية في أشكال جيومورفولوجية منتظمة عرفت بالكتبان الرملية (التركاماني، ٢٠٠٨، ص ١٣٢).

ويتأثر طريق وادي الريان-الوحدات البحرية بحركة وزحف الكتبان الرملية وسفي الرمال لأن اتجاه زحف الكتبان الرملية يكون موازاً لاتجاه الطريق، مما يزيد من درجة الخطورة على الطريق، وتعتمد عملية حركة وزحف الرمال إلى حد كبير على قوة الرياح ومدى جفاف السطح وتفكك حبيباته وانعدام مظاهر الغطاء النباتي، وتمثل هذه الحركة خطورة شديدة على حركة سير المركبات والأفواج السياحية القادمة من الفيوم إلى الوحدات البحرية، وفيما يلي عرض لأهم العوامل المؤثرة في حركة الرمال، ودراسة أخطارها وتحديد المناطق المعرضة للخطورة.

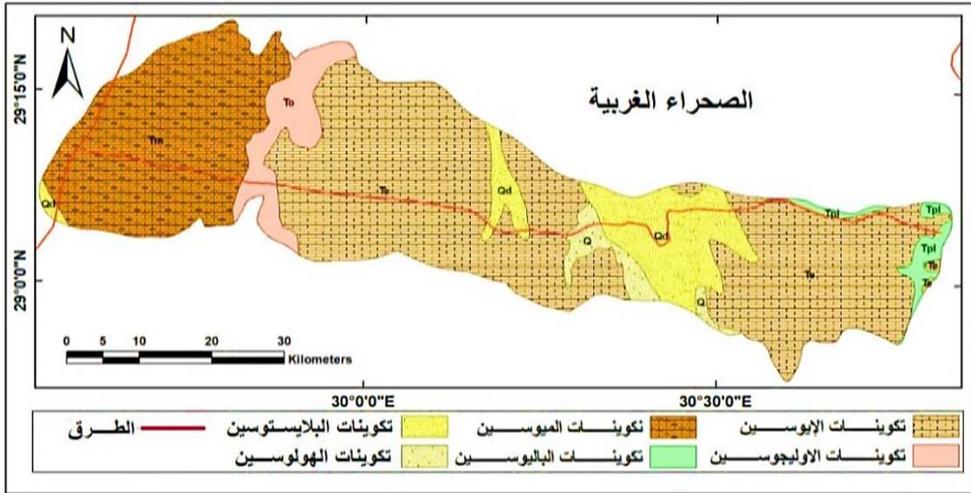
### ١-العوامل المؤثرة على حركة الرمال:

تتمثل العوامل المؤثرة على حركة الرمال في العامل الجيولوجي، والعامل المناخي، والجفاف، وندرة الغطاء النباتي، وتوفر مصدر للرمال، وفيما يلي دراسة تفصيلية لكل منها:-

**أ:العامل الجيولوجي:** تشمل أنواع الصخور السائدة بمنطقة الدراسة وتركيبها الصخري الذي يساعد على تحديد وفهم العوامل والعمليات التي أسهمت في نشأة العديد من الظواهر الجيومورفولوجية وتكوين المنحدرات بما تتضمنه تلك التكوينات من مواد مختلفة، أثرت في مدى استجابة مواد المنحدرات لعمليات التجوية والتعرية. وتتميز منطقة الدراسة بالتنوع الشديد في مكوناتها الصخري والتي يغلب عليها تكوينات الحجر الرملي والحجر الجيري والكونجولوميرات ورواسب المارل والطفلة والحصى والرمل، كما تتنوع التراكيب الجيولوجية ما بين صدوع وطيات وفواصل وكلها من مظاهر الضعف الصخري التي ساهمت في إضعاف سطح المناطق المرتفعة أمام

عوامل التعرية. ويمكن تتبع التوزيع الجغرافي للتكوينات الجيولوجية حسب التسلسل الزمني من الأقدم إلى الأحدث على النحو التالي:-

**-تكوينات عصر الإيوسين:** تشغل هذه التكوينات مساحة كبيرة من منطقة الدراسة تقدر بحوالي ١٣٧٦,٣ كم<sup>٢</sup> بنسبة ٥٤,٢% من مساحة المنطقة, وتشمل: **تكوين وادي الريان** الذي يتألف من الحجر الرملي الجيري ذات اللون البني الداكن يحتوي على حفريات النيموليت متداخل مع عروق الجبس والطفل والرمال الطفلي في نطاق خط تقسيم المياه (Kusky, etal., p.83), وتكوين بركة قارون الذي يتكون من الحجر الرملي الأصفر والرمادي شبه الصلب المتداخل مع ترسيبات الطفلة الرمادية, وبعض تكوينات الحجر الجيري مع بعض التداخلات من طبقات الطفلة ويختلف سمك تكوين بركة قارون من مكان إلى آخر بالمنطقة, ويبلغ أقصى سمك له ٧٥م (AlMenoufy & Shreif., 2021, p.5), وتكوين قصر الصاغة الذي يتألف من طبقات من الطين الرملي, والمارل, والحجر الرملي, والصخر الزيتي مع عروق الجبس والحجر الجيري الرملي الأحفوري, ويتكون من طبقات غير متوافقة بسمك ١١ م, والتي تبدأ بتكتل شبه مدمج من حصى الحجر الرملي, يليه بعض تكوينات المارل الرملي, والحجر الرملي والصخر الزيتي الرملي (Zalat, 1995, p.228).

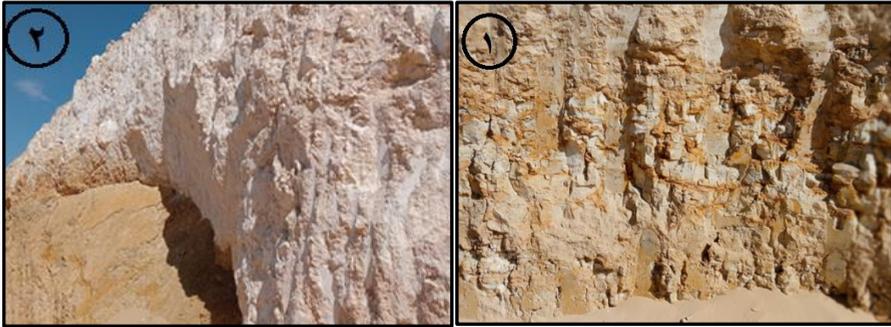


المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على خريطة كونكو مقياس ١/٥٠٠,٠٠٠ عام ١٩٨٧، الخريطة الجيولوجية ١/٥٠٠,٠٠٠، الأطلس الجيولوجي لشمال الصحراء الغربية ١/٥٠٠,٠٠٠ عام ٢٠٠٥. شكل (٣) التكوينات الجيولوجية السطحية بمنطقة الدراسة.

-تكوينات عصر الأوليجوسين(صخور البازلت والديوريت):تشغل مساحة تقدر بحوالي ١١٧,٨ كم<sup>٢</sup>, وتشمل تكوينات جبل قطراني وتتألف هذا التكوينات من الحجر الرملي مع تداخلات من الطين والطفل وتحتوي على كمية كبيرة من الأخشاب المتحجرة صخور البازلت والديوريت(Said,1962,p.103), وترتكز تكويناته فوق تكوين قصر الصاعقة, وقد صاحبت هذه التكوينات تكوين جبل قطراني وتحتوي على كميات من الاخشاب المتحجرة وبقايا الحيوانات الفقارية(Kusky,etal.,2011,p.84).

-تكوينات الميوسين:تغطي مساحة تقدر بحوالي ٥٩٧,٨ كم<sup>٢</sup> من مساحة المنطقة, وتتألف تكويناته من الصخور البازلتية والتي نتجت عن الحركات الأرضية العنيفة, كما تتكون من الأشجار المتحجرة والحجر الصواني وأصداف المياه العذبة, وترتكز تكوينات الميوسين فوق تكوينات الاوليوجوسين.

-تكوينات الباليوسين: تشكل هذه التكوينات مساحات صغيرة من منطقة الدراسة كما هو واضح من خلال الخريطة الجيولوجية شكل(٣) وتشكل هذه التكوينات مساحة تقدر بحوالي ٤٥,٨ كم<sup>٢</sup> بنسبة ١,٨% من جملة مساحة المنطقة تتكون من الحجر الرملي البحري والجيري الغني بالحفريات وبعض أصداف المحاريات, وتظهر في شكل ضروس وتوئات صخرية من الحجر الرملي كما يتضح في صورة (١).



المصدر:الدراسة الميدانية للباحثين, ناظرا إلى الشمال الغربي.

صورة(١) بعض تكوينات الميوسين على الحافات المطلة على الطريق,صورة (٢) تكوينات عصر الباليوسين بالقطاع الاوسط على الجانب الشمالي للطريق.

-تكوينات البلايوسين:تغطي مساحة تقدر بحوالي ٢٨٣,٧ كم<sup>٢</sup>, وهي عبارة عن رواسب سطحية خشنة تتألف من الحصى والحصباء والجلاميد وبعض الغطاءات الرملية القليلة السمك،

كما تتألف من قطع من الحجر الجيري المختلطة في كثير من الأحيان بطبقات الشيرت متماسكة بخليط من الرمال مع تداخلات من الطين والصلصال (Gameil, et al., 2016, p.49).

- **تكوينات الهولوسين:** تتألف من ركامات السفوح وتوزع على شكل بقع صغيرة عند أقدام المنحدرات، وتشغل مساحة صغيرة تقدر بحوالي ٦٧,٩ كم<sup>٢</sup> كما في شكل (٣)، وهي عبارة عن رواسب طباقية مشتقة في الغالب من المنحدرات المجاورة، وتتميز رواسبها بأقطارها الدقيقة والمتجانسة في الحجم وتنتشر على شكل كتبان وفرشات رملية ونباك على جانبي الطريق مما يشكل خطراً طبيعياً على الطريق.

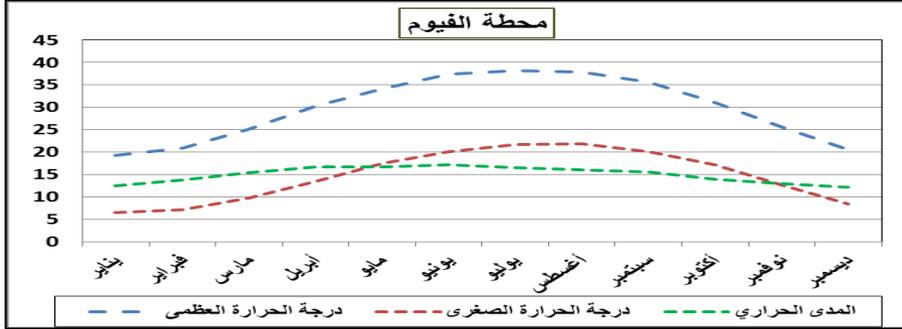
وساهمت العوامل البنوية في إضعاف سطح المناطق المرتفعة بمنطقة الدراسة أمام عوامل التعرية، فهناك العديد من الصدوع والفواصل والشقوق ذات الاتجاهات المتباينة والتي أثرت على الشكل العام لمنطقة الدراسة، كما كان لها دور واضح في التحكم في اتجاه محاور الكتبان الرملية وحركة الرمال على جانبي الطريق.

**ب - العامل المناخي:** يساهم العامل المناخي في نشأة وتطور العديد من الظواهر الجيومورفولوجية، فلكل عنصر من عناصر المناخ دوره الفاعل في تحديد العملية الجيومورفولوجية ومدى فعاليتها سواء كان ذلك بشكل مباشر أو غير مباشر، إلا أن فاعلية هذه العناصر تتوقف على نوعية التكوينات الجيولوجية وبنيتها، وخصائص الأحواض، وشبكة التصريف بها. وتساهم درجة الحرارة خلال فصل الصيف في سرعة تبخر الرطوبة التي قد تتكاثف علي أسطح الكتبان الرملية، الأمر الذي يجعلها جافة ومفككة، وهذا يساعد بدوره علي حركة الرمال مما يشكل خطراً طبيعياً على الطريق.

ويوضح الشكل (٤) معدلات درجة الحرارة في منطقة الدراسة ما بين عامي ١٩٨١ م ، ٢٠١٨ م، ومن دراسته اتضح أن المتوسط الشهري لدرجة الحرارة العظمى في منطقة الدراسة وصل إلى ٢٩,٧ درجة، ويعتبر شهر يناير أقل شهور السنة من حيث درجة الحرارة ١٩,٣ درجة، ثم تبدأ درجة الحرارة في الارتفاع التدريجي إلى أن تصل أقصى معدلاتها في فصل الصيف وخاصة شهر يوليو حيث يبلغ أقصى درجة حرارة عظمى خلال شهر يوليو ٣٨,٢ درجة.

وتساعد درجة الحرارة على نشاط التجوية الميكانيكية من خلال تمدد وانكماش الصخور نتيجة لارتفاع درجة الحرارة وانخفاضها بالإضافة إلى اختلاف نسب تمدد وانكماش المعادن داخل

الصخر الواحد مما يؤدي إلى حدوث تشقق وتفتت للمواد الصخرية وتكوين الرواسب المفككة التي تنقلها الرياح وترسبها بالقرب من الطريق مما يشكل خطراً طبيعياً.

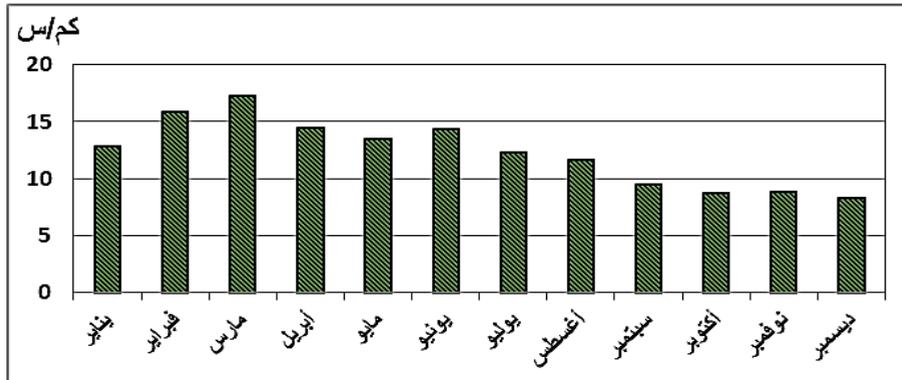


المصدر: الهيئة العامة للأرصاد الجوية محطة القيوم خلال الفترة (٢٠١٨-١٩٨١).

شكل (٤) متوسط درجة الحرارة الصغرى والحرارة الكبرى والمدى الحراري بمنطقة الدراسة.

**-الرياح:** من العناصر المناخية التي تؤدي دوراً فاعلاً في العمليات الجيومورفولوجية وعلى وجه الخصوص عمليات التعرية من خلال سرعتها حيث تساهم في عملية إزالة الرواسب المفككة الناتجة عن عمليات التجوية ونقلها إلى أماكن أخرى.

وتهب الرياح من جميع الاتجاهات ولكن تتفاوت نسبة هبوبها من من اتجاه إلى آخر حيث تعد الرياح الشمالية والشمالية الشرقية هي السائدة بمنطقة الدراسة والتي تساهم بدورها في حمل الرواسب وحركة الرمال وتجميعها في منطقة الدراسة، وتشكيل الأنماط الرملية المختلفة بما المتمثلة في الكثبان الرملية بأنواعها المختلفة التمجوجات الرملية والفرشات الرملية والنباك، كما أنها مسؤولة عن توجيه محاور الكثبان الرملية حيث تتفق إتجاهات محاورها مع إتجاهات الرياح.



المصدر: بيانات الأرصاد الجوية بمحطة علوم البحار (٢٠٠٥-١٩٩٥)

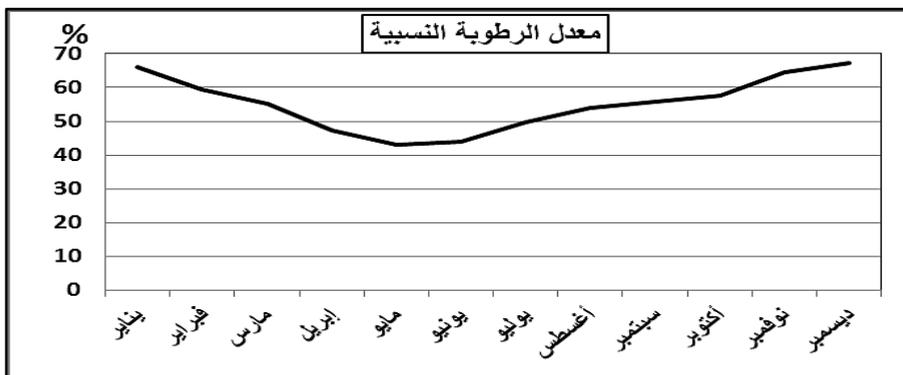
شكل (٥) معدل سرعة الرياح بمنطقة الدراسة.

تتباين سرعة الرياح من شهر لآخر خلال العام فبلغت أقصاها خلال شهر مارس بمعدل ١٧,٣ كم/س كما يتضح في شكل (٥)، أما أقل معدل خلال السنة كان خلال شهر ديسمبر ٨,٣ كم/س، حيث أن تأثير الرياح يكون أكثر شدة وقوة خاصة في حالة ارتفاع درجة الحرارة وزيادة معدل التبخر، فهي عنصر من عناصر التبادل الحراري الرأسي والأفقى وذات تأثير كبير على الأنشطة الاقتصادية المختلفة.

وتكمن أهمية الرياح في أنها المسؤولة عن تكوين وحركة الرمال وتجميعها في مساحات شاسعة حيث تختلف نسب هبوبها من فصل إلى آخر حيث تزداد نسب هبوب الرياح الشمالية والشمالية الشرقية خلال فصل الصيف وهذا يتفق مع الاتجاه العام للكثبان الرملية بمنطقة الدراسة، في حين تزداد نسب الرياح الجنوبية والجنوبية الغربية في فصل الشتاء، وهذا التباين في الاتجاه يعمل على إيجاد أشكال إرسابية مختلفة في أماكن متباعدة على طول الطريق.

**-الرطوبة والتبخر:** هناك علاقة عكسية واضحة بين معدل التبخر وقيم الرطوبة النسبية فانخفاض قيمة الرطوبة النسبية في الهواء تؤدي إلى ارتفاع معدلات التبخر وبالتالي زيادة معدل الجفاف، وهذا يعمل على استمرار الرمال في حالة مفككة مما يسهل تحريكها فتظل خطراً طبيعياً على منطقة الدراسة.

وينخفض معدل الرطوبة النسبية بمنطقة الدراسة حيث بلغ المتوسط السنوي ٥٥,٣%، ويرتفع خلال فصل الشتاء نتيجة انخفاض درجة الحرارة، ووصل أعلى معدل له خلال شهر ديسمبر ٦٧,٢%، وينخفض تدريجياً ليصل ادناه خلال شهر مايو بنسبة ٤٣,١% كما في شكل (٦).



المصدر: الهيئة العامة للأرصاد الجوية بمصر محطة الفيوم خلال الفترة (١٩٩٨-١٩٦٠).

شكل (٦) معدل الرطوبة النسبية بمنطقة الدراسة

أما معدل التبخر فيرتفع خلال شهور فصلي الخريف والشتاء نتيجة انخفاض درجة الحرارة وارتفاع الرطوبة النسبية، بينما يرتفع خلال فصل الصيف، وترواحت قيمه ما بين ٣,٢ مم في شهر يناير، ١١ مم في شهر يوليو بمتوسط سنوي قدره ٧,١ مم، ويؤثر انخفاض الرطوبة النسبية على قلة الغطاء النباتي والذي بدوره يساعد على نشاط الرياح فتصبح أكثر حركة للرمال مما يعرض الطريق لخطورة سفى الرمال على نطاق واسع والأضرار بالحركة على الطريق من جهة، وبجالة الرؤيا على الطريق أثناء العاصفة الرملية من جهة أخرى .

**-ندرة الأمطار:** لا يختلف معدل سقوط الأمطار في منطقة الدراسة عن أي إقليم صحراوي جاف. فكمية الأمطار تتميز بندرتها حيث لا تزيد عن عدة ملليمترات في السنة، فقد بلغ متوسط معدل سقوطها السنوي ٨,٦ مم، وهي كمية قليلة للغاية تؤثر على إضعاف حالة اندماج حبيبات التربة والرواسب السطحية مما يجعلها أكثر قابلية للحركة داخل منطقة الدراسة فتشكل خطراً طبيعياً على الطريق.

#### ج - الجفاف وندرة الغطاء النباتي:

تعتبر منطقة الدراسة من المناطق الصحراوية شديدة الجفاف ونتيجة لذلك نشط عامل الرياح وساهم في نشأة العديد من الأشكال الرملية بمنطقة الدراسة في ظل الجفاف من جهة وندرة الغطاء النباتي من جهة أخرى والذي يرتبط بعلاقة عكسية مع الرياح، حيث تقوم الرياح بإرساب حملتها من الرمال على جانبي الطريق نتيجة لانخفاض منسوب السطح، وندرة الغطاء النباتي وهذا ما يزيد من قدرتها على عمليتي النحت وسفى الرمال وارسابها.

وتساهم النباتات خاصة الطرفاء والأثل والرطريط الأبيض والغرد بدور كبير في تكوين حقول النباك على جانبي الطريق حيث تعمل على تصيد الرمال وتحديد مواضع ترسيبها واحتجاز الرمال المتحركة مع الهواء عن طريق فروعها وأوراقها التي تصد الرمال السافية، ومن ثم تمثل العامل الرئيس في عمليات تشكيل النباك بمنطقة الدراسة.

**د-توفر مصدر للرمال:** يتوقف توفر مصدر الرمال بمنطقة الدراسة على مصادر خارجية تتمثل في: الرمال الناتجة عن حفر منخفض القطارة، بالإضافة إلى المفتتات المشتقة من الهضبة الميوسينية شمالي الصحراء الغربية، ومصادر داخلية تتمثل في: نوع وخصائص التكوينات الصخرية بالحافات المحيطة به، والرواسب المفككة الناتجة عن نشاط عمليات النحت التي تعمل على تفكك الصخور ونقلها من مصادرها وترسيبها في عدة أنماط للأشكال الرملية، وكذلك الأودية المنحدرة على

حواف منطقة الدراسة حيث تمتلأ بطونها من الرمال من سطح الهضاب المجاورة للترسب على الطريق في شكل مجموعة من الكتبان الطولية والكتبان الهلالية والأشكال الرملية الأخرى.

## ٢- حركة الرمال على الطريق

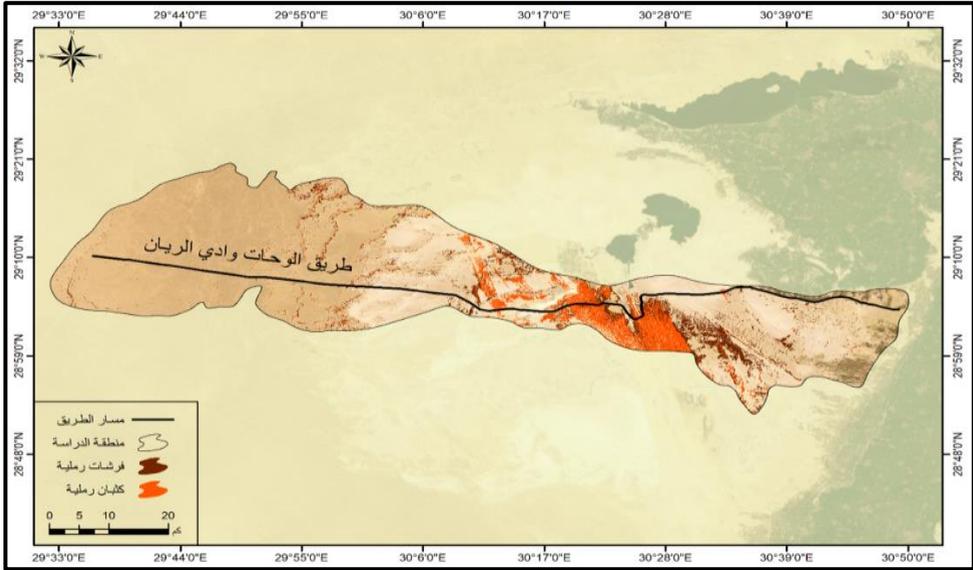
هناك نوعان من حركة الرمال على جانبي الطريق، النوع الأول عملية سفي الرمال أو الانسياب الرملي أي حركة أو زحف الحبيبات الرملية فوق أسطح الكتبان، والفرشات الرملية حيث تنتقل الحبيبات الرملية سواء عن طريق الزحف أو القفز أو التعلق وذلك من مصادر تتوفر بها التكوينات الرملية إلى مناطق أخرى تتوفر فيها مقومات الارساب عندما تصل سرعة الرياح ٥,٥م/ في الثانية، والنوع الثاني هو زحف الكتبان الرملية وتتمثل في انتقال الحبات الرملية من مكان إلى آخر في اتجاه منصرف الرياح عن طريق الزحف والقذف مع التيارات العالية السرعة والتي تعمل على إزالة الرمال من الكساح وارسابها على الصباب (صالح، ٢٠١٠، ص ٤٠٦) عندما تزيد سرعة الرياح عن ٩م/ في الثانية.



المصدر: الدراسة الميدانية للباحثين، ناظرا إلى الغرب.

صورة (٣)، (أ، ب، ج)، أشكال الزحف الرملي على جانبي طريق وادي الريان-الوحدات البحرية. ومن خلال الدراسات الميدانية وفحص وتحليل المرئيات الفضائية للقمر الصناعي Sentinel-2 اتضح أن مساحة الفرشات الرملية على جانبي طريق وادي الريان-الوحدات

البحرية نحو ١٤١,٥ كم<sup>٢</sup> وبلغ إجمالي مساحة مواضع الكثبان الرملية بأشكالها المتنوعة نحو ٥٠,٦ كم<sup>٢</sup>، ويزداد تركز الكثبان الرملية على الطريق في النطاق الموازي لوادي الريان كما يتضح في شكل (٧)، حيث تظهر الكثبان الرملية منتشرة حول الطريق تجاورها فرشاة رملية يتراوح سمكها ما بين ٦-٢٢ سم.

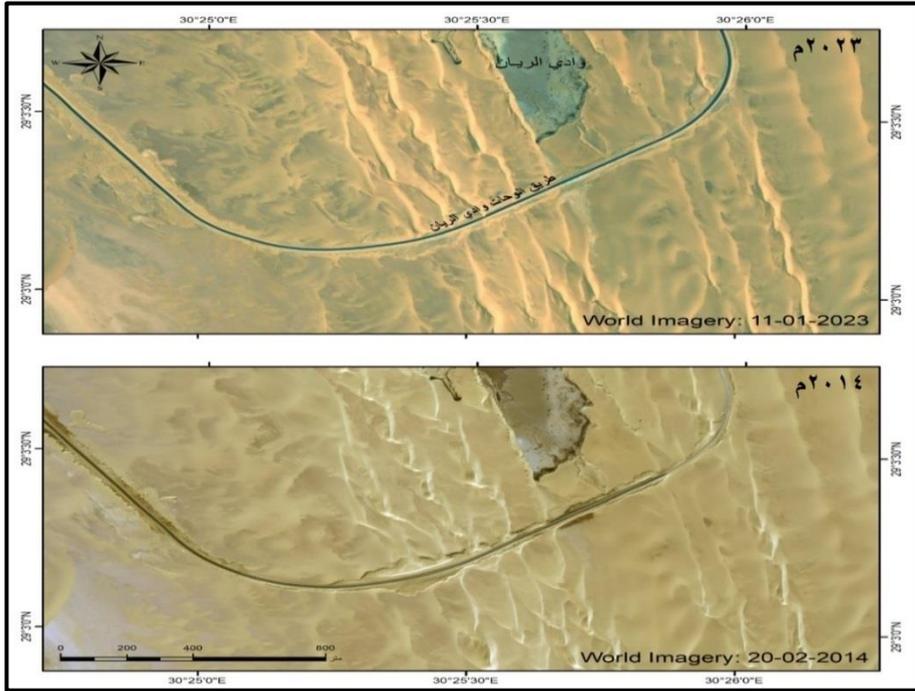


المصدر: من عمل الباحثين باستخدام برنامج Arcgis10.8 اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة dem (٣٠م)، والمرئيات الفضائية Sentinel-2، ٢٠٢٣، والخرائط الطبوغرافية ١/٥٠,٠٠٠، عام ١٩٨٩

#### شكل(٧) التوزيع الجغرافي للكثبان والفرشاة الرملية بالمنطقة

واتضح من تحليل حركة الرمال على الطريق وجود تراكم الكثبان الرملية على جانبي الطريق ووجود حركة مستمرة لها. وقد تم حساب حركة بعض الكثبان الرملية المنتشرة في المنطقة خلال ثلاث فترات زمنية متتالية من الأقمار الصناعية للسنوات ٢٠١٤م و ٢٠١٨م و ٢٠٢٣م ووجد أن متوسط حركة الكثبان الرملية بلغت نحو ٤,١ متر خلال العام حيث تزيد معدلات حركة الرمال بشكل واضح في القطاع الشرقي والقطاع الأوسط من الطريق حيث يمتد الطريق متعامداً مع اتجاه الرياح السائدة مما أدى إلى قطع الطريق بشكل مستمر بسبب تراكم الرمال فوقه خاصة خلالي فصلي الربيع والشتاء كما يتضح في شكل (٨).

ويختلف هذا المعدل من فترة زمنية إلى أخرى وفقاً لاتجاه وسرعة الرياح السائدة، وأبعاد الكثبان الرملية المختلفة، وطبوغرافية قاع المنخفض، ودرجة الانحدار، والمناخ الجاف، وندرة الغطاء النباتي، وتوفر مصدر الرمال.



المصدر: من عمل الباحثين باستخدام برنامج Arcgis10.8 اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة dem (م٣٠)، والمرئيات الفضائية Sentinel-2، ٢٠٢٣، والخرائط الطبوغرافية ١/٥٠,٠٠٠. عام ١٩٨٩

شكل(٨) التغيرات في حركة الكثبان الرملية حول الطريق خلال في الفترة(٢٠٢٣-٢٠١٤)

وتنتشر الأشكال الرملية وتتحرك داخل الطريق مما تؤدي إلى ردم وقطع الطريق الأمر الذي يستلزم رفع كميات الرمال المترسبة، وقد تم قياس الرمال المتراكمة ووجد أنها تتراكم داخل عرض الطريق بمعدل ١,٥م في بعض القطاعات، ٢م في قطاعات أخرى لمحور الطريق خاصة القطاع الأوسط، مما يتسبب في مشكلة فجائية لحركة المركبات المارة وعقولة حركة السير على الطريق، كما يتضح في صورة (٣).

وتتأثر قطاعات الطريق المختلفة بزحف وسفي الرمال بدرجات متفاوتة طبقاً لمدى قرب الطريق أو بعده عن الأشكال الرملية المختلفة التي تشكل خطراً على حركة النقل متأثرة بمهبوب الرياح الشمالية والشمالية الغربية، ويمكن تصنيف أخطار زحف الرمال على الطريق بمنطقة الدراسة إلى قطاعات مختلفة طبقاً لدرجة الخطورة كما في شكل (٩)، وذلك على النحو التالي:-

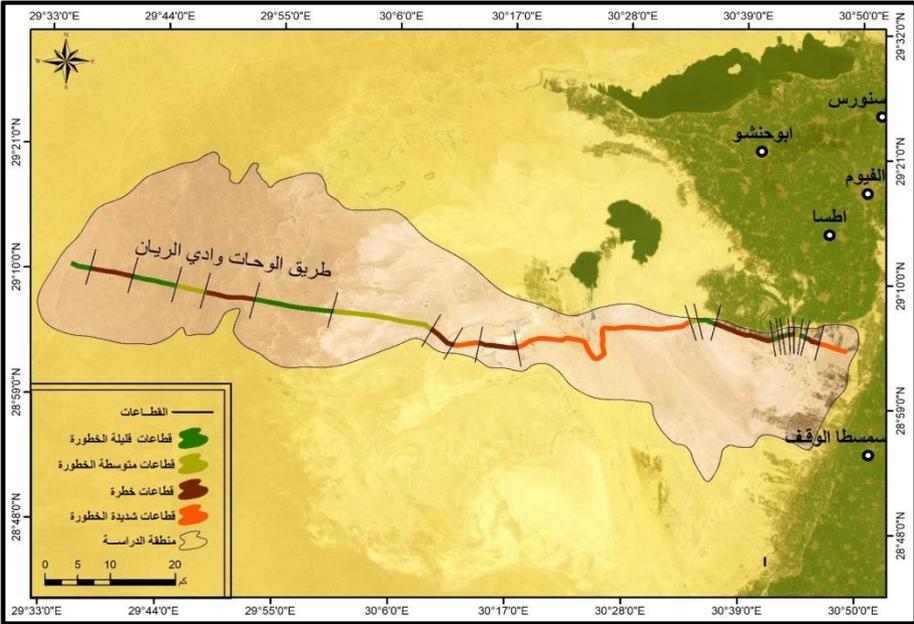
١-قطاعات شديدة الخطورة: يبلغ عددها ثمانية قطاعات بطول ١٩ كم بنسبة ٣١,٧% من إجمالي أطوال الطريق وتتركز هذه القطاعات في النطاق الشرقي عند بداية الطريق بمنطقة الدير

المنحوت, وكذلك النطاق الأوسط من الطريق حيث تتعرض هذه القطاعات لحركة الرمال مما يتعذر حركة السيارات على الطريق مما يسبب خطورة أثناء القيادة.

٢- **قطاعات خطيرة:** ويبلغ عددها أربعة عشرة قطاعاً بطول ٢١ كم بنسبة ٣٥% من إجمالي أطوال الطريق, وتتعرض هذه القطاعات إلى تيارات هوائية صاعدة تثير الأتربة والرمل على الطريق أثناء هبوب العواصف الرملية, فتؤدي إلى تغطيته بالكامل بالرمل مما يعيق مستوى الرؤية خاصة عند منحنياته.

٣- **قطاعات متوسطة الخطورة:** ويبلغ عددها أربعة قطاعات بطول ١٢ كم بنسبة ٢٠% من إجمالي أطوال الطريق حيث ان ترسيب الرمال على هذه القطاعات قليل للغاية, وبالتالي تتميز بخطورتها المنخفضة.

٤- **قطاعات قليلة الخطورة:** يبلغ عددها خمسة قطاعات وهذه القطاعات بعيدة عن مسار حركة الأشكال الرملية مع قلة سرعة الرمال مما أدى إلى انخفاض خطورتها ويبلغ مجموع أطوالها ٨ كم بنسبة ١٣,٣% من إجمالي أطوال الطريق وتقع هذه القطاعات في النطاق الغربي من الطريق حيث تستقر بها الرمال, وتتوقف حركة الزحف والانسياب الرملي على الطريق.



المصدر: من عمل الباحثين باستخدام برنامج Arcgis10.8 اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة dem (٣٠م), والمرئيات الفضائية Sentinel-2, ٢٠٢٣, والخرائط الطبوغرافية ١/٥٠,٠٠٠, ١٩٨٩ شكل(٩) التوزيع المكاني لدرجات أخطار زحف الرمال على الطريق بمنطقة الدراسة

## ثانياً: أخطار الانهيارات الصخرية.

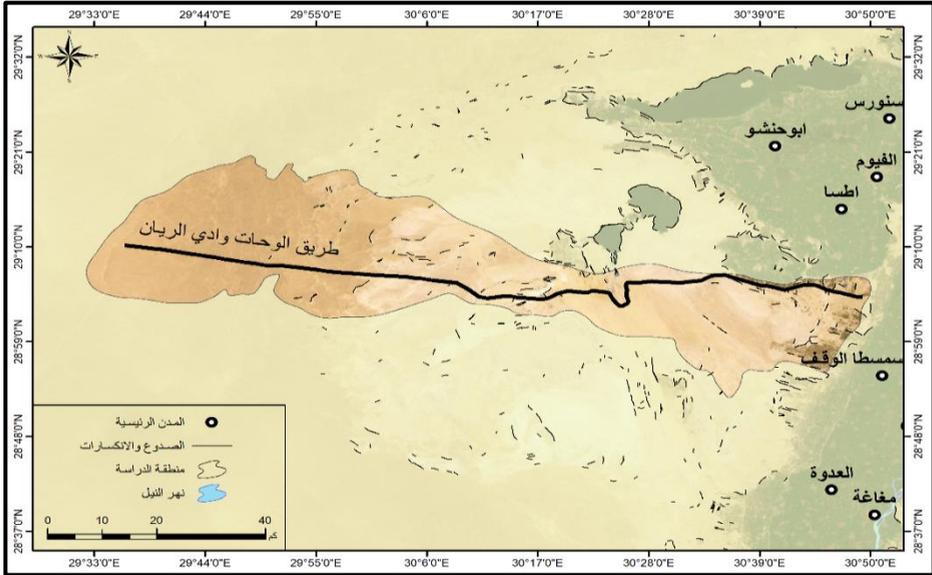
تعرف عمليات الانهيارات الصخرية بحركة الكتل الصخرية والمفتتات الرسوبية من أعالي المنحدرات إلى حضيضها، وتتمثل تلك العمليات في السقوط الصخري والانزلاقات الصخرية (Agrawal&Dixit, 2023, p.1)، ويتشابه كل منهما في حركتها السريعة الفجائية وإن كانت عملية السقوط الصخري أكثر فجائية وسرعة من أي نوع آخر من الانهيارات الصخرية، حيث تنحدر الكتل الصخرية من أعالي الحافات الصخرية باتجاه حضيض السفوح مرتظمة بالأرض دون احتكاكها بسطح السفح ويتحكم في ذلك إنحدار السطح ورطوبته وغيرها من العوامل الأخرى (محسوب، وأرياب، ١٩٩٨، ص ١٤٣). وتتسم المنحدرات بشكل عام بعدم الاستقرار، فهي دائماً معرضة للتغير والانهيار بشكل متكرر وبدرجات متفاوتة مما تنتج عنها أخطار على الطريق موضوع الدراسة حيث تهدد الكتل المنزلقة بإحجامها المختلفة الصغيرة والمتوسطة والكبيرة أجزاء كثيرة على جانبي محور الطريق مما يشكل خطورة على حركة النقل.

وتتنوع العوامل والعمليات المؤثرة على الانهيارات الصخرية وتشكيل المنحدرات إلا أنها تتحدد بشكل أساسي في التركيب الصخري، والبنية الجيولوجية، والعامل المناخي، والعامل الطبوغرافي، ودرجة انحدار السطح، العمليات الجيومورفولوجية المتمثلة في عملي التجوية والتعرية، والغطاء النباتي، والانشطة البشرية المختلفة، وفيما يلي دراسة لكل منها على النحو التالي:-

**أ- التركيب الصخري:** يعد نوع وتركيب الصخر من أهم العوامل التي ساهمت في تشكيل المنحدرات وحدوث الانهيارات الصخرية، حيث يتحكم التركيب الصخري في حجم وشكل الكتل الصخرية والمفتتات التي تنفصل عنها. كما يؤثر ميل الطبقات الصخرية ودرجة صلابتها وعلاقتها باتجاه انحدار السفوح وارتفاع كثافة الشقوق والفواصل على نوع حركة المواد على الحافات وزيادة نشاط عملية التساقط الصخري والانزلاقات الصخرية نتيجة تأثرها بالتفكك الميكانيكي الذي يعمل على تحطم أجزاء من صخور المنحدرات وتساقطها بفعل الجاذبية الأرضية. ويختلف مقدار تأثر الصخور بعوامل التجوية على نوع الصخر أو تركيبه المعدني ونسيجه أي حجم الحبيبات التي يتكون منها الصخر ونظام تكتلها وكذلك كثرة الملامح والتراكيب الجيولوجية والفواصل والأسطح الطباقية وغيرها حيث تساعد التجوية على ضعف الاتصال بين الكتل الصخرية الخارجية وبين صخور المنحدر، الأمر الذي يهدد استقرارية وثبات هذه الكتل مما يتسبب في انفصالها وسقوطها نتيجة لزيادة قوى الجاذبية الأرضية.

ب-العامل البنيوي: ساهمت البنية الجيولوجية بما تمثله من ميل للطبقات الصخرية قليلة التماسك والفتاتية، وما تحويه من تراكيب جيولوجية في نشأة وتشكيل المنحدرات حول الطريق من خلال اضطراب في تتابع واستمرارية ومناسيب التكوينات الجيولوجية والطبقات الصخرية وبخاصة إذا رافق ذلك تشققات أو مفاصل صخرية على سطح المنحدرات مما يقلل من تماسك واستقرار الصخور في مواضعها؛ وذلك لأنها تساعد- مع أسطح الانفصال الطبقي- في فصل الكتل الصخرية وفقد قوة تماسكها وسقوطها أسفل المنحدرات، وتزايد اتساعها في مناطق الحافات الشديدة الانحدار نتيجة لعدم ارتكاز الكتل الصخرية للأجزاء الأمامية منها (Pinto, et al, 2008, p.535).

كما أثرت البنية الجيولوجية على التلال المنفرقة والمتقطعة خاصة التي تشرف بجوانبها المرتفعة على الطريق، فبعض تكوينات هذه المرتفعات تتكون من طبقات صخرية صلبة تتكون من الحجر الجيري متعاقبة مع طبقات صخرية لينية كالصخور الطينية والطفل والمارل مما يساعد على عدم استقرار المنحدرات واختلال توازن هذه الطبقات ومن ثم تعرضها للسقوط والانحيار على طول محور طريق وادي الريان-الوحدات البحرية.

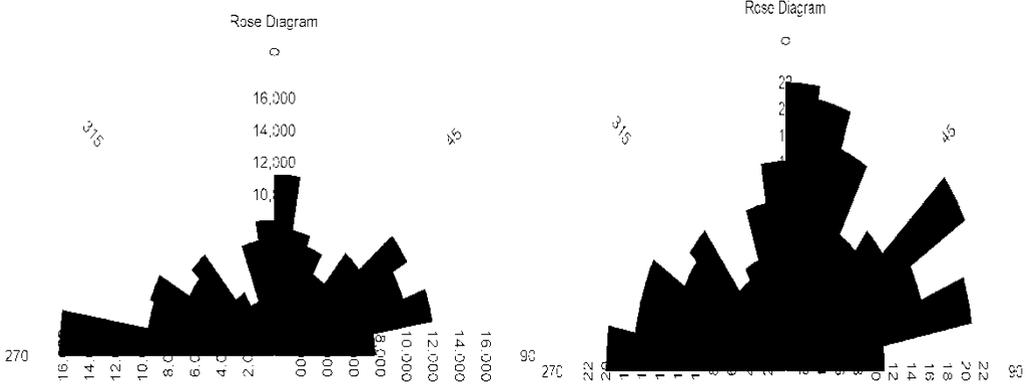


المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على صور القمر الصناعي لاندسات-8 وباستخدام برنامج PCI Geomatica

### شكل ( ١٠ ) التوزيع الجغرافي للصدوع بمنطقة الدراسة

وقد اتضح من خلال الدراسة الميدانية للمنطقة أن الفواصل تظهر في الصخور الجيرية ويتراوح طولها ما بين عدة مليمترات ومئات الأمتار (Holmes, 1992, p.103)، وتأخذ اتجاهات

تتشابه إلى حدٍ كبيرٍ مع اتجاهات الصدوع، مما يدل على ارتباط نشأتها بتلك الصدوع كما في شكلي (١٠)، (١١).



المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على نتائج الشكل (٩) وباستخدام برنامج Rockworks

شكل (١١) وردة اتجاهات الصدوع طبقاً لأطوال الصدوع، وطبقاً لتكرار الصدوع بالمنطقة.

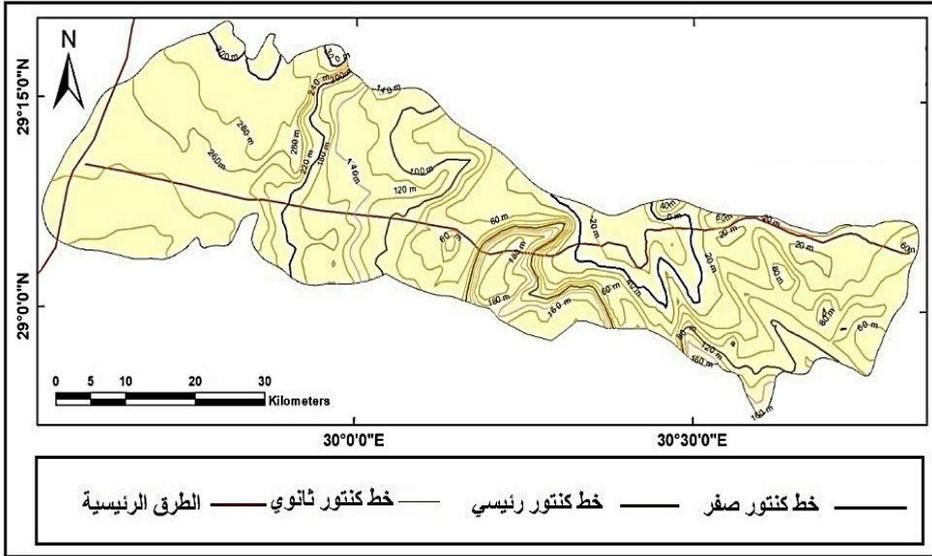
كما أن الفواصل ذات الاتجاه الشمال الشرقي/ الجنوب الغربي، والصدوع الشرقية/ الغربية تعد من أكثر الملامح شيوعاً في منطقة الدراسة والذي انعكس بدوره في تشكيل شبكات الأودية وملاحظتها المورفولوجية العامة والتي أثرت على مسار امتداد الطريق وحكمت محاوره.

**ج- العامل المناخي:** ساهم العامل المناخي بدور كبير في نشاط عملية الانهيارات الأرضية بمنطقة الدراسة من خلال ارتفاع درجة الحرارة وارتفاع المدى الحراري الذي يؤدي إلى تشقق الصخور وتفتتها من خلال توالي عمليتي التمدد والانكماش الأمر الذي يؤثر بدوره على أضعاف الصخور وقلة تماسكها، ومع زيادة قوة الجاذبية الأرضية تفقد التكوينات الصخرية لاستقرارها وانزلاقها باتجاه المنحدرات على جانبي الطريق. كما يؤثر زيادة معدل التبخر في نشاط عمليات التجوية الفيزيائية حيث ترواحت قيمه ما بين ٣,٢ مم في شهر يناير، ١١ مم في شهر يوليو بمتوسط سنوي قدره ٧,١ مم. كما تساهم الرطوبة النسبية والتي وصل متوسطها ٥٥,٣%، في زيادة فعالية عمليات الإذابة لصخور الحجر الجيري وتكوين فجوات صخرية على واجهة المنحدرات وبروز بعض الطبقات على هيئة أشرطة غائرة في الكتل الصخرية في المواضع الضعيفة بنيوياً والتي تصبح أقل مقاومة لقوى الضغط الواقع عليها فتتهار تلك الكتل على المنحدرات المطلة على طريق وادي الريان-الوحدات البحرية.

وتؤثر سرعة الرياح واتجاهاتها أيضاً في تشكيل المنحدرات على جانبي الطريق من خلال نحت الطبقات اللينة على وجه المنحدرات وبروز تلك الطبقات على هيئة أشرطة غائرة في الكتل الصخرية كما تقوم بنقل المواد الدقيقة الناتجة عن عملية التجوية بمواضع التقويض السفلي على منحدرات الحافة .

**د-العامل الطبوغرافي:** يعد العامل الطبوغرافي أحد أهم العوامل المؤثرة في تحديد نطاق التعرية ونقل الفتات الصخرية على سطح المنحدرات شديدة الانحدار, حيث تساعد عوامل النقل المختلفة على زحف الفتات الصخرية الناتجة عن ازالة نواتج عمليات التجوية على منحدرات الحافة بشكل مستمر بسبب صغر أحجامها وضعف بنيتها.

ويتحكم العامل الطبوغرافي في زوايا السطوح المنحدرة ، ففي مناطق السطوح الشديدة الانحدار تنزل نواتج التجوية أولاً بأول بواسطة عوامل النقل المختلفة وتتكشف باستمرار أسطح جديدة من الصخر لعمليات التجوية، أما في الانحدارات الخفيفة، فتبقى نواتج التجوية في مكانها لمدة طويلة وتتراكم حتى تصل لارتفاع ٥٠ متر أو أكثر مما يجعلها تحمي الصخر الذي تحتها من التعرض للعوامل الجوية (Skinner&Porter, 1987, P.215).



المصدر:-من عمل الباحثين اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي DEM من صور STRM بدقة مكانية ٣٠م من بوابة land viewer باستخدام برنامج ArcGIS 10.3  
شكل (١٢) مناسيب الأرتفاع بمنطقة الدراسة.

كما يعد العامل الطبوغرافي العامل الأهم في نشأة الانهيارات الأرضية لما يسببه من جاذبية أرضية مسؤولة عن نقل المواد الصخرية من المناسيب الأعلى إلى المناسيب الأدنى, حيث تتراوح مناسيب الأرتفاع بمنطقة الدراسة ما بين ٢٠ م و ٢٨٠ م, كما يتضح في شكل (١٢).

**هـ- أثر عامل الانحدار السطح:** تعد دراسة المنحدرات إحدى الوسائل المهمة اللازمة للتعرف على درجة خطورة التساقط الصخري والانزلاق الصخري وحركة المواد المفككة, حيث تؤثر درجة انحدار السطح على تحديد نوع عملية الانهيارات الصخرية, وغالباً ما تحدث هذه العملية على طول أمتداد الطريق بمنطقة الدراسة, ويزداد عندها مقدار تأثير الجاذبية الأرضية, والتي تساهم بدورها مع الانحدار العام لسطح المنحدرات في تحريك الكتل الصخرية من مواضعها وعدم استقرارها على طول المنحدرات شديدة الانحدار, وفيما يلي دراسة أثر انحدار سطح الأرض على عملية الانهيارات الصخرية, من خلال دراسة الخصائص العامة للمنحدرات والتي تتناول تحليل الزوايا وتحليل التقوس على النحو التالي :-

**١- تحليل زوايا سفوح منحدرات الحافة الرئيسية:** تم قياس ثمانية قطاعات موزعة على طول الحافة المطلة على الطريق وذلك لإيضاح الصورة التي توجد عليها, والتعرف على العوامل التي ساعدت على تطورها ووصولها إلى شكلها الحالي, إلى جانب دراسة أنواع الانهيارات الصخرية على المنحدرات ميدانياً وبالتالي تحديد درجة الخطورة , وقد تم توزيع القطاعات على طول أمتداد الطريق بحيث تكون ممثلة لمعظم التكوينات الجيولوجية والليثولوجية للصخور, وتم تحليل هذه القطاعات من عدة جوانب أهمها التوزيع التكراري لزوايا الانحدار والزوايا الشائعة وتصنيف تلك الزوايا إلى مجموعة من الفئات حسب درجة انحدارها (دسوقي, ١٩٩٠, ص ١٩٦). وقد قسمت القطاعات التضاريسية بمنطقة الدراسة حسب تقسيم (young, 1972, p.4) إلى عدة وحدات شكلية منها ماهو مستقيم ويضم فئة قسم الدرجات العظمى وقسم الدرجات الدنيا, والقسم العادي (المستقيم), ويوضح الجدول (١), والشكل (١٣) بعض الخصائص العامة للمنحدرات والتي يمكن تحليلها فيما يلي:-

- بلغ الطول الكلي للمنحدرات للقطاعات المقاسة ١٩٤٥ م بمتوسط ٢٤٣,١ م مما يشير إلى تشتت القيم حول متوسطها وبلغ الانحراف المعياري  $\pm 62,1$  م, حيث تراوحت أطوال القطاعات ما بين ١٦٠ م في القطاع رقم (٦), و ٣٣٠ م في القطاع رقم (١), ويرجع هذا التباين الواضح في

الأطوال إلى تأثر هذه القطاعات بسمك الطبقات الصخرية وبالصدوع والفواصل الشقوق، وتفاوت درجة تأثرها بعملية التجوية والتعرية .

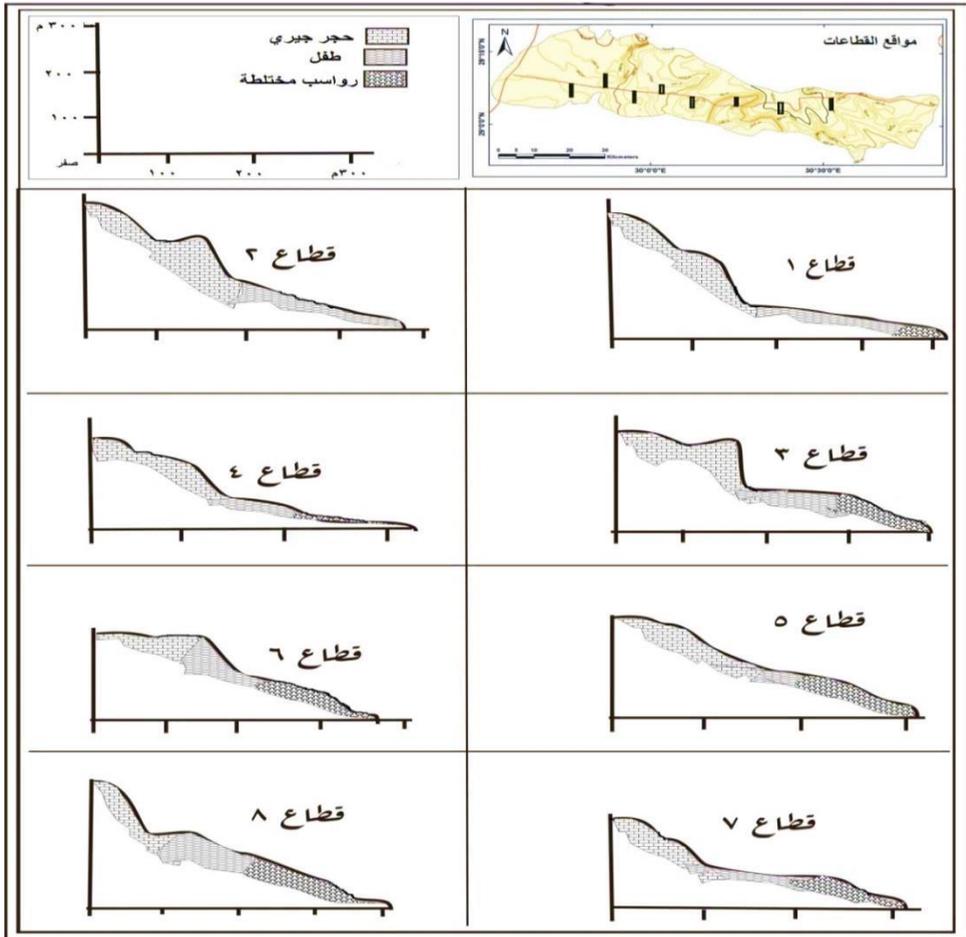
-بلغ المتوسط العام لزوايا الانحدار  $27,8^{\circ}$  مما يدل على أن انحدارات منطقة الدراسة تقع ضمن الانحدارات الشديدة حسب تصنيف (Young, 1972) حيث تقع حوالي 38% من أعداد القطاعات ضمن هذه الفئة، في حين يقع تقع 50% من أعداد القطاعات ضمن فئة الانحدارات الشديدة جداً وهذا يزيد من خطورتها على الطريق، وقد اقتصر عدد القطاعات ذات الانحدارات فوق المتوسطة بنسبة 13% من العدد الكلي للقطاعات.

جدول(١) الخصائص المورفومترية للقطاعات الميدانية للمنحدرات على جانب الطريق

رقم القطاع	الطول الكلي للقطاع	أطوال الأجزاء المكتنفة	عدد الزوايا	مجموع الزوايا	متوسط زاوية انحدار القطاع	فئة الانحدار تبعاً لتصنيف يالغ	الأطوال الجديدة	الأطوال القديمة	نسبة التسقيف	شكل المنحدر
١	٣٣٠	٦٤	١٨	٣٦٩	٢٠,٥	شديد	١٧٥	١١٥	١,٥	محدب
٢	٣٠٥	٥٥	١٦	٥٤٢	٣٣,٩	شديد جداً	١٥٠	١١٠	١,٤	محدب
٣	٢٦٠	٤٥	١٩	٦٢٨	٣٣,١	شديد جداً	١٦٥	١٠٥	١,٦	محدب
٤	١٩٠	٤٨	١٧	٥٥٠	٣٢,٣	شديد جداً	١١٠	١٢٢	٠,٩	مقعر
٥	٢١٠	٥٢	١٩	٤٩٠	٢٥,٨	شديد	١١٢	٨٥	١,٣	محدب
٦	١٦٠	٥٥	١٦	٦١٠	٣٨,١	شديد جداً	٨٥	٦٥	١,٣	محدب
٧	١٨٠	٦٢	٢١	٣٨٠	١٨,١	فوق المتوسط	١١١	١١٠	١,٠١	مستقيم
٨	٣١٠	٨٥	٢٢	٤٦١	٢٠,٩	شديد	١٢٣	١٣٥	٠,٩١	مقعر
المجموع	١٩٤٥	٤٦٦	١٤٨	٤٠٣٠	---	---	١٠٣١	٨٤٧	٩,٢٩	----
المتوسط	٢٤٣,١	٣٠,٥٨	١٨,٥	٥٠٣,٨	٢٧,٨	شديد	١٢٩	١٠٦	١,٢٦	محدب
أ.معياري	٦٢,١	١١,٧	٢,١	٩٠,٧	٦,٩	----	٢٩,٢	٢٠,٤	٠,٢٥	----
م.اختلاف	26%	20%	11%	18%	25%	----	23%	19%	20%	----

المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على الدراسة الميدانية

-تتباين متوسطات انحدار القطاعات بمنطقة الدراسة حيث تراوحت قيم الانحدار ما بين 18,1 في القطاع رقم (٧)، و 38,1 في القطاع رقم (٦) بمتوسط 27,8 مما يشير إلى تشتت متوسطات زوايا الانحدار حول متوسطها، وبلغ الانحراف المعياري 6,9، وبلغ معامل الاختلاف 25% مما يوضح وجود اختلافات قليلة بين انحدار القطاعات نتيجة لاختلاف عوامل التعرية والتجوية وتأثير الحركات التكتونية على منطقة الدراسة.



المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على الدراسة الميدانية

شكل ( ١٣ ) القطاعات الميدانية لمنحدرات الحافة على جانبي الطريق.

- شكلت الأطوال المحدبة في القطاعات المقاسة نحو ١٢٦٥ م بنسبة ٦٥% من جملة تقوس القطاعات, في حين بلغت الأطوال المقعرة حوالي ٥٠٠ م بنسبة ٢٥,٧% من جملة أطوال القطاعات, وبلغت أطوال الأشكال المستقيمة ١٨٠ م بنسبة ٩,٣% من إجمالي القطاعات المقاسة بمنطقة الدراسة.

- بلغت النسبة العامة لتحذب القطاعات المقاسة ١,٢٦ مما يشير إلى اتخاذ منحدرات المنطقة الشكل المحدب حيث بلغت العناصر المحدبة نسبة ٦٢,٥% من جملة القطاعات المقاسة, وتراوحت نسبة التشعب ما بين ٠,٩ في القطاع رقم (٤) , و ١,٦ في القطاع رقم (٣).

ومن خلال دراسة فئات زوايا الانحدار والزوايا الشائعة والزوايا الحدية الدنيا والعليا يتضح من شكل (١٤)، وجدول (٢) الآتي:-

- تأتي فئة الانحدارات الهينة (صفر-٩°) في المرتبة الأخيرة بين فئات الانحدارات على الحافة حيث بلغت المسافة الأرضية التي شغلها ٣١٥ م بنسبة ١٢,٨%.

- جاءت فئة الانحدارات المتوسطة (١٠-٢٤°) في المرتبة الثالثة حيث بلغت المسافة الأرضية التي شغلها ٤٨١ م بنسبة ٢٤,٧%.

- تقع فئة الانحدارات الشديدة (٢٥-٣٩°) في المرتبة الثانية من حيث طول المسافة الأرضية للقطاع، حيث بلغت المسافة الأرضية لها ٥٥٤ متر بنسبة ٢٨,٥% من إجمالي المسافات التي تم قياسها كما يتضح في شكل (١٤).

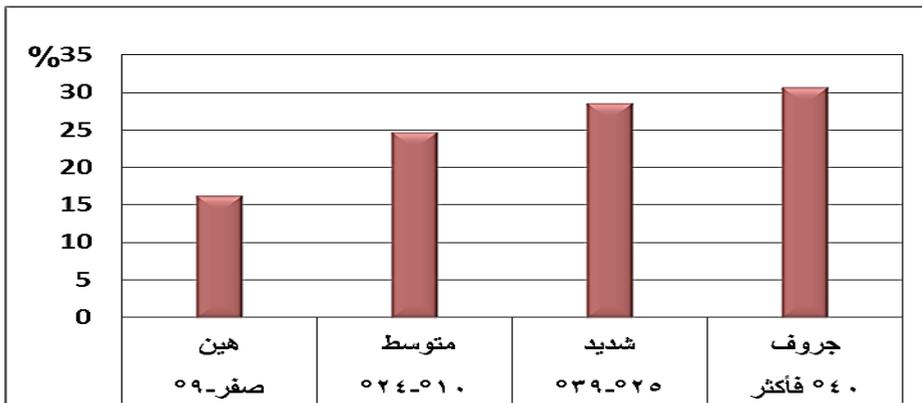
- جاءت الجروف (٤٠° فأكثر) في المرتبة الأولى من حيث طول المسافة الأرضية للقطاع، وبلغت المسافة الأرضية بها ٥٩٥ م بنسبة ٣٠,٦% من جملة المسافات الأرضية المقاسة.

جدول ( ٢ ) فئات زوايا الانحدار والزوايا الشائعة والزوايا الحدية الدنيا والعليا.

الزاوية الحدية العليا	الزاوية الحدية الدنيا	الزاوية الشائعة			% من المجموع الكلي	الطول بالمتر	صفة الانحدار	مدى الفئة
		% من إجمالي المسافة	المسافة	الدرجة				
٥٩	صفر	٤,٤%	٨٥	٥١	١٦,٢	٣١٥	هين	صفر-٩°
٥٢٤	٥١٠	٨,٣%	١٦٢	٥٢٤	٢٤,٧	٤٨١	متوسطة	٥٢٤-٥١٠
٥٣٨	٥٢٥	١٢,٩%	٢٥١	٥٣٥	٢٨,٥	٥٥٤	شديدة	٥٣٩-٥٢٥
٥٩٠	٥٤٠	١٤,٩%	٢٩٠	٥٦٥	٣٠,٦	٥٩٥	جروف	٥٤٠ فأكثر
---	---	٤٠,٥%	٧٨٨	---	١٠٠	١٩٤٥	---	---

الجدول من عمل الباحثين بناءً على القياسات الميدانية.

- تتوزع زوايا الانحدار في أربع فئات تتميز كل منها بوجود زوايا شائعة، ففي المجموعة الأولى برزت الزاوية ٥١° كزاوية شائعة، وبلغت نسبة ما تشغله من أطوال ٨٥ م بنسبة ٤,٤% من إجمالي المسافات المقاسة، بينما برزت الزاوية ٥٢٤° كزاوية شائعة للمجموعة الثانية، والزاوية ٥٣٥° كزاوية شائعة للمجموعة الثالثة، والزاوية ٥٦٥° كزاوية شائعة بالنسبة للمجموعة الرابعة، وتظهر الزوايا الشائعة في المناطق التي تتكون من الرواسب الدقيقة متوسطة الخشونة التي يتكون منها ظهر بعض مخاريط الهشيم.



المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على الجدول (٢)

شكل (١٤) التوزيع التكراري لزوايا الانحدار منحدرات الحافة على الطريق.

-ترواحت الزوايا الحدية العليا بين ( $90^{\circ}$ - $9^{\circ}$ ) لأدنى فئة وأعلى فئة في الفئات الأربع لزوايا الانحدار، في حين ترواحت الزوايا الحدية الدنيا ما بين ( $40^{\circ}$ - $0^{\circ}$ ) لفئات زوايا الانحدار للقطاعات المقاسة.

٢- تحليل زوايا التقوس: تم دراسة درجات تقوس المنحدرات طبقاً لطريقة عبد الرحمن وآخرون (Abdelrahman, et al., 1980-1981, p.p.31-34)، وتهدف دراسة التقوس

إلى التعرف على شكل المنحدرات من حيث التحذب والتقعر والاستقامة وأي هذه الأشكال الأكثر شيوعاً ودلالاتها الجيومورفولوجية، ومن الجدول (٣) والشكل (١٥) يتضح لنا الآتي:-

-بلغت نسبة المنحدرات المحدبة والمقعرة  $93,97\%$  من جملة الأطوال لتقوس المنحدرات، حيث مثلت نسبة العناصر المحدبة  $48,13\%$  والعناصر المقعرة  $45,84\%$ ، أما الأجزاء المستقيمة فكانت نسبتها  $6,3\%$ ، ويرجع سيادة العناصر المحدبة عن المقعرة إلى أن الحافة المطللة على جانبي الطريق تفردت بمجموعة من العوامل ساهمت في زيادة مقاومتها لعمليات النحت والتقويض.

-شغلت الانحدارات الهينة ( $10^{\circ}$ - $1^{\circ}$ ) للمنحدرات المحدبة والمقعرة المرتبة الأولى بنسبة  $37,6\%$  من جملة أطوال الأقسام بالمنطقة، حيث بلغت نسبة  $18,9\%$  من العناصر المحدبة، ونسبة  $9,03\%$  من إجمالي المسافات، في حين بلغت هذه النسبة  $8,6\%$  من العناصر المقعرة، ونسبة  $18,7\%$  من إجمالي المسافات الكلية.

-شغلت فئة التقوس ( $30^{\circ}$ - $20^{\circ}$ ) للمنحدرات المحدبة والمقعرة نسبة  $13,38\%$  من جملة أطوال الأقسام بالمنطقة، حيث بلغت نسبة  $14,15\%$  من العناصر المحدبة، ونسبة  $6,98\%$  من إجمالي

المسافات، في حين بلغت هذه النسبة ١٣,٩% من العناصر المقعرة، ونسبة ٦,٤% من إجمالي المسافات الكلية.

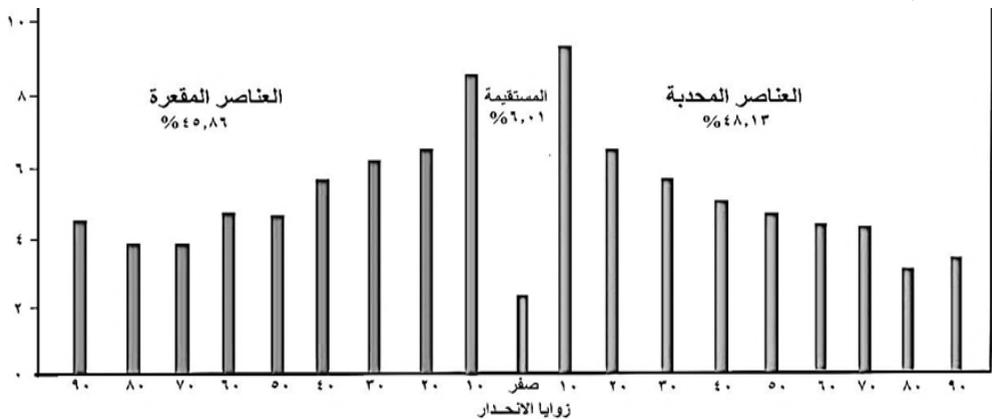
جدول (٣) فئات التقوس والنسبة المئوية لأشكالها على منحدرات الطريق بمنطقة الدراسة.

العناصر المحدبة									الشكل
٠١٠+	٠٢٠+	٠٣٠+	٠٤٠+	٥٠٠+	٥٦٠+	٥٧٠+	٥٨٠+	٥٩٠+	الفئات بالدرجات
١٧٥,٦	١٣٥,٨	١١٠,١	٩٨,١	٩٢,٤	٩٠,٣	٨٦,٦	٦٨,٤	٧٩,٢	مج الطول بالمتر
٩,٠٣	٦,٩٨	٥,٦٦	٥,٠٤	٤,٧٥	٤,٦٤	٤,٤٥	٣,٥١	٤,٠٧	مج الطول %
العناصر المقعرة									الشكل
٠٩٠-	٠٨٠-	٠٧٠-	٠٦٠-	٠٥٠-	٠٤٠-	٠٣٠-	٠٢٠-	٠١٠-	الفئات بالدرجات
٨٨,١	٥٩,٤	٦٩,٣	٨١,٢	٩٣,٣	٩٨,٦	١١٠,٤	١٢٤,١	١٦٧,٤	مج الطول بالمتر
٤,٥٣	٣,٠٣	٣,٥٦	٤,١٧	٤,٧٩	٥,٠٦	٥,٧	٦,٤	٨,٦	مج الطول %

المجدول من عمل الباحثين بناءً على تحليل التقوس للقطاعات الميدانية.

-شكلت فئة الانحدارات المتوسطة (٣١°-٦٠°) نسبة ٤١,٧% من العناصر المحدبة، ٢٠,١% من إجمالي المسافات المقاسة، في المقابل وصلت هذه النسبة إلى ٤٣% من العناصر المقعرة، ١٩,٧٢% من إجمالي المسافات المقاسة.

-شغلت فئة الانحدارات الشديدة (٦١°-٩٠°) نسبة ٣٤,٧% من إجمالي العناصر المحدبة، ١٦,٧% من إجمالي المسافات المقاسة، ٣٣,٤% من إجمالي العناصر المقعرة، ١٥,٣% من إجمالي المسافات المقاسة.



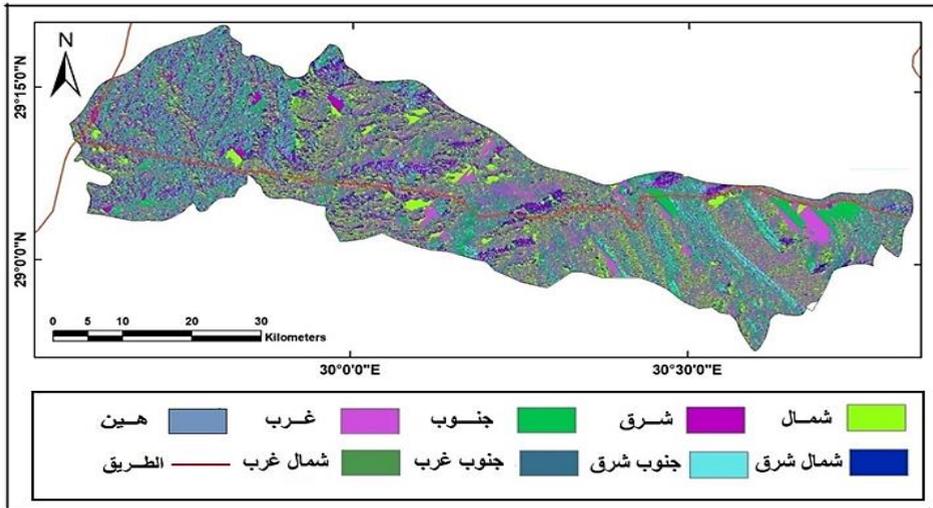
شكل (١٥) أطوال فئات التقوس بمنطقة الدراسة.

-وصلت نسبة تقوس الأجزاء المستقيمة ٦,٠٣% من إجمالي الأجزاء المقاسة.

-وصلت نسبة التقوس إلى ١,٠٥ مما يدل على سيادة الأشكال الانحدارية المحدبة على الإشكال الانحدارية المقعرة.

يتضح مما سبق أن المنحدرات الشديدة بلغت مسافات الأرضية ٦,٢٢٢,٥ م بنسبة ٣٢% من جملة المسافات الأرضية المقاسة, وهذا يساعد بدوره على حدوث عمليات الانهيارات الصخرية تلك العملية المستمرة على طول امتداد الحافة على جانبي الطريق. ومن خلال الدراسة الميدانية اتضح أن المنحدرات المحدبة مرتفعة بالنسبة للمنحدرات المقعرة نتيجة لتباين تأثير المنحدرات لعوامل التعرية المختلفة, بالإضافة إلى نظام الفواصل والشقوق التي تؤثر على تطور وارتفاع المنحدرات وكذلك أحجام الكتلة المنفصلة عنها, إذ تبدو تلك الكتل غير منتظمة الشكل ومحدودة الحجم كلما ظهرت نظم فواصلها شبه متعامدة بينهما مسافات صغيرة, في حين تبدو هذه الكتل منتظمة الشكل كلما كانت نظم فواصلها متعامدة بينها مسافات كبيرة. وبالتالي تساهم الجاذبية الأرضية بدور فاعل في تحريك تلك المواد المفككة والمنفصلة نحو أدنى المنحدرات.

**٣- اتجاه الانحدار:** تتوزع اتجاهات الانحدار في منطقة الدراسة على جميع الاتجاهات الأصلية والفرعية, وتباين هذه الاتجاهات فيما بينها في المساحة فهناك اتجاهات تتفق مع نشأة منطقة الدراسة وبالتالي تأثيرها على حركة المواد باعتبارها أحد الأخطار الطبيعية التي يتعرض لها طريق وادي الريان الودحات البحرية.



المصدر: من اعداد الباحثين اعتماداً على المرئيات الفضائية (DEM + LandSat 8)

شكل (١٦) اتجاهات الانحدارات بمنطقة الدراسة

ومن خلال تحليل شكل (١٦)، وجدول (٤) لدرجة واتجاهات الانحدار بمنطقة الدراسة، أتضح أن المناطق هيئة الأنحدار تمثل مساحة قليلة للغاية مقارنة بالنسبة لبقية فئات درجات الأنحدار سواء كانت المتوسطة أو الشديدة، فهناك مساحة قدرها ١٩٤ كم<sup>٢</sup> تتراوح بين صفر إلى ١٠ درجات وذلك بنسبة ٧,٨ % من إجمالي مساحة المنطقة البالغة ٢٤٩٠ كم<sup>٢</sup>، ومن ثم تتسم منطقة الدراسة بشدة انحدارها بسبب تأثير العوامل التكتونية وعملية التجوية والتعرية. فهناك نحو ٣٧% من المساحة يزيد درجة انحدارها عن ٤٠ درجة وذلك بمساحة تقدر بنحو ٩٢١ كم<sup>٢</sup>.

جدول (٤) توزيع مساحات درجة واتجاه الانحدار من المساحة الاجمالية لمنطقة الدراسة

مساحات اتجاهات الانحدار			مساحات درجة الانحدار		
%	المساحة (كم <sup>٢</sup> )	اتجاه الانحدار	%	المساحة (كم <sup>٢</sup> )	فئة درجة الانحدار (درجة)
٧,٦	١٨٨	هين	٧,٨	١٩٤	٠ - ١٠
١٦,١	٤٠١	شمال	١٢,٢	٣٠٤	١١ - ١٥
١٢,٨	٣١٩	شمال شرق	٨,٧	٢١٦	١٦ - ٢٠
١٣,٧	٣٤٢	شمال غرب	١٢,٦	٣١٥	٢١ - ٢٥
٩	٢٢٥	جنوب شرق	٨,٩	٢٢١	٢٦ - ٣٠
١٢,٣	٣٠٦	جنوب	١٢,٨	٣١٩	٣١ - ٣٥
٨,٨	٢١٨	جنوب غرب	١٢,١	٣٠١	٣٦ - ٤٠
٨,٥	٢١١	غرب	٨,٨	٢١٩	٤١ - ٥٠
١١,٢	٢٨٠	شرق	١٦,١	٤٠١	٥٠ فأكثر
١٠٠	٢٤٩٠	المجموع	١٠٠,٠	٢٤٩٠	المجموع

المصدر: من حساب الباحثين اعتماداً على خريطة الارتفاعات الرقمية DEM اعتماداً على شكل (١٠).

ومن خلال تحليل خريطة مساحات و اتجاهات الانحدار لسطح الأرض بمنطقة الدراسة، اتضح أن اتجاه الانحدار ناحية الشمال يبلغ مساحته ٤٠١ كم<sup>٢</sup> وذلك بنسبة ١٦,١% من مساحة المنطقة البالغة ٢٤٩٠ ألف كم<sup>٢</sup>، يليه اتجاه الانحدار نحو الشمال الغربي بإجمالي ١٤,٧% وذلك بمساحة ٣٤٢ كم<sup>٢</sup>، أما اتجاه الانحدار نحو الغرب هو الاقل بنسبة ٨,٥% فقط بمساحة تبلغ ٢١١ كم<sup>٢</sup>، مما يدل على أن معظم مساحة منطقة الدراسة ذات انحدارات مرتفعة، وي الأمر الذي يتعكس بدوره على الانهيارات الصخرية على جانبي الطريق.

و-العمليات الجيومورفولوجية: تعد التجوية بشقيها الميكانيكي والكيميائي من أهم العمليات الجيومورفولوجية التي تساهم في تشكيل المنحدرات، وتوفير المفتتات والكتل الصخرية المتحركة على جانبي الطريق، حيث تعمل على تفكك وتفتت أو تحلل الصخور عند السطح أو القرب منه فيتغير حالة الصخر الأصلي من حالته المتماسكة ككتلة واحدة إلى حالة غير متماسكة في شكل

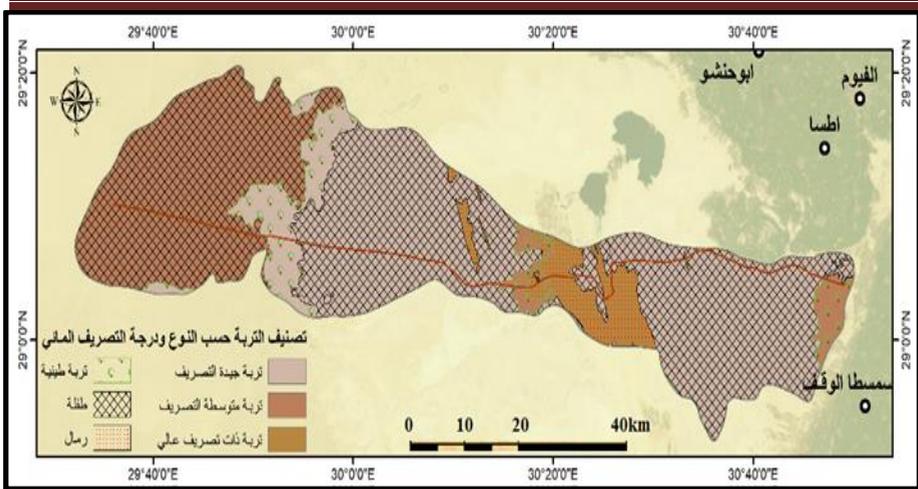
أجزاء صغيرة مفككة أو متحللة (Adamou, et al, 2021, p.2), ومن خلال الدراسة الميدانية لوحظ أن صخور منطقة الدراسة تبدو على هيئة طبقات متتابعة ومتباينة السمك تتخللها مواد طينية ومواد حطامية ناتجة عن التجوية الميكانيكية أثرت على عملية الانهيارات الأرضية.

كما ساعدت التجوية على تمدد وتقلص التكوينات الصخرية للمنحدرات فتزيد من اتساع الشقوق بها مما يؤدي إلى انشطارها وتفلقها وبالتالي تعرضها للسقوط بفعل الجاذبية الأرضية, وتتراكم نتيجة لذلك أسفل المنحدرات تاركة جوانبها الصخرية عارية وهذه العمليات تكشف باستمرار أسطح متجددة لتأثير عمليات التجوية وخاصة التجوية الميكانيكية وقد لاحظ الباحثان أثناء الدراسة الميدانية انتشار ظاهرة التفلق والانشطار على الأجزاء العليا للمنحدرات القريبة من الطريق, كما سجلت هذه الظاهرة أسفل المنحدرات عند بداية الطريق.

وقد أدت ظروف الجفاف بمنطقة الدراسة إلى زيادة نشاط عملية التجوية خاصة الميكانيكية منها والتي ينتج عنها تكون مجموعة من الرواسب المفككة فوق السفوح ذات الانحدارات الشديدة والتي تشكل خطراً على جانبي الطريق, حيث تتفاوت أحجام تلك الفتات عليها والتي تتميز في الغالب بأكبر أحجامها. أما السفوح ذات الانحدارات الخفيفة والمتوسطة فلا تمثل تلك الفتات خطراً على الطريق والتي تتميز في الغالب بصغر أحجامها مع الانحدار البطيء لمنحدر السفح يؤدي ذلك إلى الاستقرار النسبي لها وبالتالي انعدام خطورتها.

وهناك عدة عوامل تؤثر في عملية التجوية منها العامل المناخي والملاح الطبوغرافية لسطح الأرض ونوع الصخر وأثره على التجوية من خلال التنوع المعدني وتباين الخصائص الكيماوية والطبيعية للمعادن التي تدخل في تركيبه مما يحدد قابليتها للتجوية وكذلك نتاج هذه العملية (سلامة، ٢٠٠٤، ص ١١٩).

ز- **عامل التربة:** يمكن تصنيف التربة بمنطقة الدراسة من حيث درجة التصريف المائي ودرجة قوامها، إلى تربة جيدة الصرف وتمتد في الجزء الشرقي والأوسط من الطريق، وهذا النطاق يسود فيه التربة الطفالية إلى جانب التربة الرملية، وتوجد التربة متوسطة الصرف في الجزء الغربي من الطريق، تسود فيه أيضاً التربة الطفالية، وتوجد التربة ذات الصرف العالي في جزء صغير في وسط الطريق بالقرب من وادي الريان وهي تربة طينية كما يتضح في شكل (١٧).

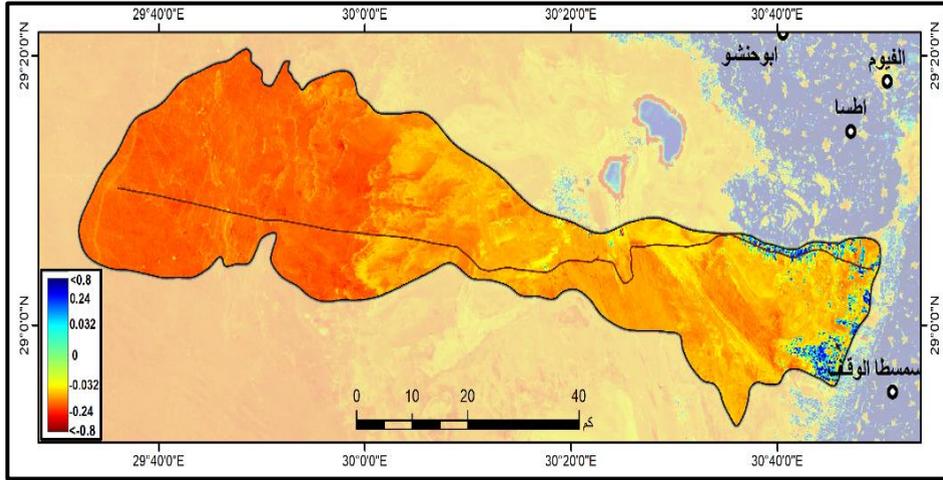


المصدر: عمل الباحثان اعتماداً على خرائط التربة من بوابة USGS و FAO

### شكل (١٧) تصنيف التربة حسب قوامها ودرجة تصريفها للمياه منطقة الدراسة

وبتطبيق مؤشر الرطوبة (NDMI) تظهر القيم منحصرة بين (-١ إلى ١)، حيث تدل القيم السالبة والتي تقترب من (-١) على التربة القاحلة، وتدل القيم التي تنحصر (صفر إلى ٠,٤) التربة المشبعة بالماء، وتدل القيم الموجبة التي تنحصر بين (٠,٤ إلى ١) على التربة غير المشبعة بالمياه (Water Stress). ويتضح من تحليل مؤشر رطوبة (NDMI)<sup>(١)</sup> التربة في منطقة الدراسة كما في شكل(١٨) أنها تقل في الجزء الشمالي من الطريق نتيجة لبعده عن المياه الأرضية وعن وادي الريان، وتزداد رطوبة التربة بالقرب من البحيرات وأراضي السهل الفيضي حول بحيرة قارون ووادي الريان في الجزء الشرقي من الطريق ويعد مؤشر الرطوبة من العوامل الهامة في درجة الخطورة خاصة الزحف الرملي حيث أن جفاف التربة يؤثر على جفاف الكثبان الرملية وهذا يساعد على زيادة حركتها وبالتالي زيادة خطورتها على الطريق.

(١) يستخدم مؤشر الرطوبة (Moisture index) في تصنيف التربة إلى فئات حسب رطوبتها مما يساعد في التعرف على التربة الجافة والرطبة ومع تقدم التقنيات الحديثة والتصوير الفضائي بالأقمار الصناعية بالموجات الطيفية المختلفة أمكن تقسيم التربة إلى فئات حسب درجات رطوبتها ويسمى هذا المؤشر بمؤشر فروق الرطوبة الطبيعي Normalized Difference Moisture Index واختصاره (NDMI). ويمكن التعرف على رطوبة التربة من أطراف القمر الصناعي (Sentinel-2) باستخدام الطيف رقم (B8A) وهو طيف الأشعة القريبة تحت الحمراء الضيقة والطيف رقم (B11) وهو طيف الأشعة القريبة تحت الحمراء القصيرة (SWIR)، وبتطبيق هذه المعادلة  $(B8A - B11) / (B8A + B11)$ ، يمكن الحصول على مؤشر فروق رطوبة التربة (NDMI) وبالتالي يمكن تحديد محتوى الماء للغطاء النباتي ومراقبة حالات الجفاف (Taloor, et al., 2021, P.5)



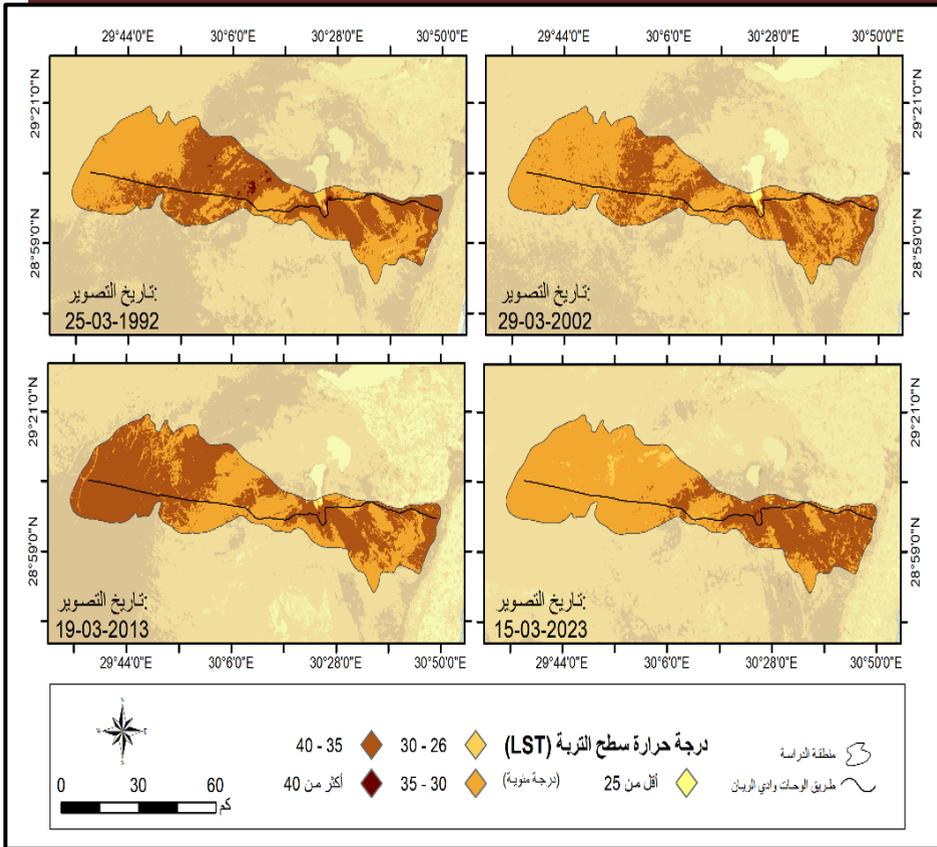
المصدر: - من عمل الباحثين اعتماداً على المرئيات الفضائية للقمر الصناعي Sentinel-2 من بوابة (sentinel-hub.com) ١١ مارس ٢٠٢٤

#### شكل (١٨) مؤشر الرطوبة (NDMI) منطقة الدراسة

أما بالنسبة لدرجة حرارة سطح التربة فقد تبين من تحليل شكل (١٩) اختلاف درجات حرارة الأسطح<sup>(٢)</sup> (LST): في منطقة الدراسة والتي منها حرارة سطح التربة حيث انحصرت حرارة سطح تربة المنطقة في مارس ١٩٩٢ بين (١٦ إلى ٤٦ درجة مئوية)، أما في مارس ٢٠٠٢ فقد انحصرت درجات حرارة سطح التربة بين (٢٥ إلى ٤٠ درجة مئوية)؛ وفي مارس ٢٠١٣ فقد انحصرت بين درجات الحرارة بين (١٧ إلى ٤٥ درجة مئوية) وانحصرت في مارس ٢٠٢٣ بين (١٢ إلى ٤٥ درجة مئوية) مما يفسر مدى اختلاف ارتفاع درجات الحرارة بسطح التربة بالمنطقة شمالاً وجنوباً وذلك بسبب اختلاف استخدام الأرض على جانبي الطريق.

وقد ارتبط اختلاف درجات حرارة سطح التربة بعملية سقوط الأمطار ونمو الغطاء الخضري على جانبي الطريق مما يساعد في توضيح الاختلاف في توزيع درجات الحرارة على امتداد الطريق، الأمر الذي يؤكد أهمية وجود الغطاء النباتي في خفض درجات الحرارة وتقليل تدفق مياه السيول أثناء سقوط الأمطار في منطقة الدراسة.

(٢) يستخدم الطيف الحراري (Thermal band) في القمر الصناعي (Landsat-8) للتعرف على درجات حرارة الأجسام الأرضية مما يساعد في التعرف على أنواع التربة حسب رطوبتها وجفافها ومدى تأثير درجات الحرارة على خصائص التربة، كما يساعد في تحليل نسبة التبخر من الأسطح الأرضية مثل المياه والتربة (Yao, et.al., 2021, p.272)



المصدر: - من عمل الباحثين اعتمادا على الطيف رقم (١٠) في مرئيات الفضائية للقمر الصناعي landsat-8

شكل (١٩) اختلاف درجات حرارة التربة السطحية بالمنطقة في شهر مارس في لأعوام (١٩٩٢،

٢٠٠٢، ٢٠١٣، ٢٠٢٣)

**ح- الغطاء النباتي:** يعد الغطاء النباتي من العوامل ذات التأثير الفعال في العمل الجيومورفولوجي حيث أن له تأثير في حال وجوده في الحد من آثار التعرية الريحية والتعرية المائية مما يساعد على تماسك جزئيات التربة والتخفيف من شدة الجريان السطحي وزيادة تغذية خزان المياه الجوفي بالمياه. أما ندرة النبات الطبيعي كما هو الحال بمنطقة الدراسة فلها آثار سلبية بالتعرية المائية. فالمنحدرات الخالية من الغطاء النباتي تكون أكثر عرضة لعمليات التجوية والتعرية وبالتالي زيادة فعالية ونشاط العمليات الجيومورفولوجية المختلفة التي تساهم في تفكك وتشقق الكتل الصخرية على سطح المنحدرات وتعرضها لعملية التساقط والانزلاق الصخري.

وبدراسة مؤشر الغطاء النباتي<sup>(٣)</sup> بمنطقة الدراسة تنحصر القيم الناتجة من معادلة (NDVI) بين (-١ إلى ١)، حيث تتوافق القيم السلبية للمعادلة والتي تقترب من (-١) مع المناطق التي تغمرها المياه والمسطحات المائية. وتتوافق القيم القريبة من الصفر (-٠,١ إلى ٠,١) بشكل عام مع المناطق القاحلة من الصخور أو الرمال أو الثلج. تمثل القيم المنخفضة والموجبة التي تنحصر بين (٠,٢ إلى ٠,٤) النباتات متوسطة الكثافة النباتية وأوراقها متوسطة الاخضرار، بينما تشير القيم العالية التي تزيد عن (٠,٤ حتى ١) إلى النباتات الكثيفة ذات الأوراق شديدة الاخضرار (دندراوي، ونوح، ٢٠٢٢، ص ٢٥٥).

جدول (٥) تطور الغطاء النباتي في منطقة الدراسة ما بين (١٩٩٢ - ٢٠٢٣)

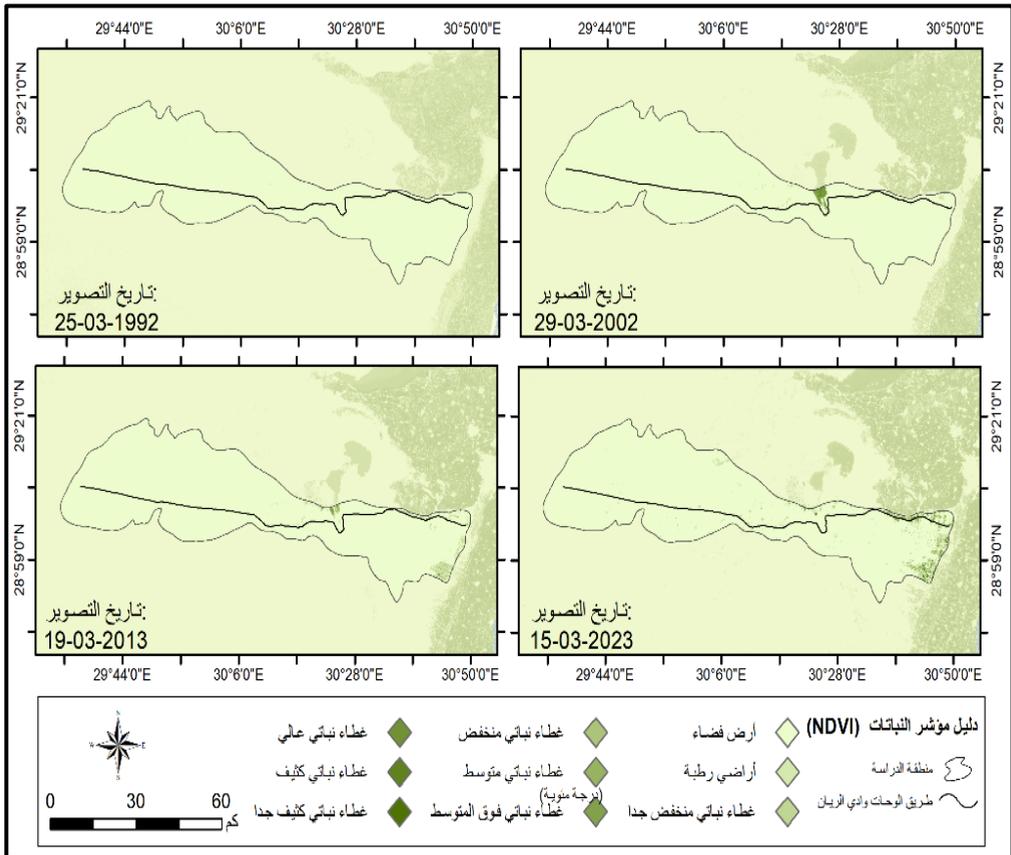
التصنيف	١٩٩٢		٢٠٠٢		٢٠١٣		٢٠٢٣	
	المساحة كم٢	النسبة %						
أرض قضاء	٢٤٩٤,٦	٩٩,٩٥	٢٤٧٦,٦	٩٩,٢٣	٢٤٤٨,٧	٩٨,١١	٢٣٨٨,٦	٩٥,٧٠
أراضي رطبة	١,١	٠,٠٤	٤,٨	٠,١٩	٢٨,٣	١,١٣	٥٨,٥	٢,٣٤
غطاء نباتي منخفض جدا	٠,٢	٠,٠١	١,٣	٠,٠٥	٨,٨	٠,٣٥	١٩,٩	٠,٨٠
غطاء نباتي منخفض	...	...	٨	٠,٣٢	٥,٤	٠,٢٢	١٠,٧	٠,٤٣
غطاء نباتي متوسط	...	...	٤,٩	٠,٢٠	٣,٥	٠,١٤	٨,٤	٠,٣٤
غطاء نباتي فوق المتوسط	...	...	٠,٣	٠,٠١	٠,٩	٠,٠٤	٥,٥	٠,٢٢
غطاء نباتي عالي	...	...	...	...	٠,٢	٠,٠١	٣,٢	٠,١٣
غطاء نباتي كثيف	...	...	...	...	٠,١	٠,٠٠	١,١	٠,٠٤
الإجمالي	٢٤٩٥,٩	١٠٠	٢٤٩٥,٩	١٠٠	٢٤٩٥,٩	١٠٠	٢٤٩٥,٩	١٠٠

المصدر: - من عمل الباحثين اعتمادا على المرئيات الفضائية للقمر الصناعي Landsat-8

ويتضح من تحليل تطور نمو الغطاء النباتي في منطقة الدراسة لفترات مختلفة بين عامي ١٩٩٢ حتى ٢٠٢٣ كما يتضح في جدول(٥)، شكل (٢٠)، وجود تطور كبير في المناطق الزراعية على امتداد الطريق حيث تبين ما يلي: -

(٣) مؤشر اختلاف الغطاء النباتي Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) يوضح الفرق الطبيعية في الغطاء النباتي، حيث يمكن من خلاله قياس الغطاء النباتي حسب درجات الأخضر. وهو مقياس لحالة صحة الغطاء النباتي بناءً على كيفية عكس النباتات للضوء عند أطوال موجية معينة. وباستخدام معادلة  $(NIR + Red) / (NIR - Red)$  التي يتم من خلالها حساب مؤشر اختلاف الغطاء النباتي (Gelybó, et.al., 2022, p.4).

- ظهرت عام ١٩٩٢ مساحات ضيقة للأراضي الزراعية والغطاء النباتي في المنطقة تقتصر على أطراف الطريق الشرقية بالقرب من السهل الفيضي بالفيوم.
- أما في عام ٢٠٠٢ فقد ظهرت مساحات جديدة من الأراضي الزراعية أضيفت إلى الأراضي القديمة على جانبي الطريق تتمثل في غطاءات نباتي منخفضة إلى متوسطة نسبتها ٠,٥٨ % من مساحة منطقة الدراسة.
- و في عام ٢٠١٣ تطورت مساحة الأراضي بشكل ملحوظ وظهر امتداد للأراضي الزراعية المخططة على امتداد الطريق مما يدل على الأهمية النسبية للطريق في الجانب الاقتصادي خاصة الزراعة أي اضيف ما نسبته ٠,٧٦ % من الأراضي للحيز الزراعي.
- وفي عام ٢٠٢٣ ظهرت توسعات للأراضي الزراعية على امتداد الطريق بلغت نسبتها نحو ١,١٦ % من مساحة المنطقة.



من عمل الباحثين اعتمادا على المرئيات الفضائية للقمر الصناعي Landsat8 من بوابة land viewer

شكل (٢٠) التغيرات في دليل مؤشر النباتات خلال الفترة (١٩٩٠ إلى ٢٠٢٠).

ط- دور الإنسان في عملية الانهيارات الصخرية: يقوم الإنسان بدور واضح في إحداث عمليات الانهيارات الصخرية من خلال الاجراءات الهندسية المرافقة لإنشاء الطريق موضوع الدراسة وممارسة عمليات الحفر والتعميق والقطع والتسوية لبعض أجزاء التلال والمحدبات البارزة (السعدي، ٢٠١٤، ص ٢٥٦)، حيث تساهم تلك العمليات في إحداث تغيرات واضحة في خصائص الصخور مما يؤدي إلى حدوث زيادة عملية الانهيارات الصخرية، مما يجعل منحدرات السفوح الجبلية، والتلية والهضبية عرضة لعمليات الانهيارات الصخرية، إذا ما تم أخذ التدابير اللازمة للحد منها والتي تشمل إقامة الدعامات الصناعية، لتثبيت السفوح المقطوعة، وإجراء أخرى كفيلة بحماية الطريق من عمليات الانهيارات الصخرية التي تنشأ على جانبي الطريق (اللهبي، ٢٠١٩، ص ٩١٢).

كما أن هناك أثر كبير لحركة المركبات من النقل الثقيل على الطريق موضوع الدراسة وأثرها في حدوث اهتزازات للمنحدرات وواجهاتها تؤدي إلى وصول الكتل الصخرية إلى مرحلة عدم التوازن وبالتالي انفصالها عن الحافة ثم سقوطها على جانبي الطريق (صالح، ٢٠٠٠، ص ٧٢).

وفيما يلي دراسة لأهم مظاهر الانهيارات الصخرية:

١- التساقط الصخري: هو أحد أشكال حركة الكتل الصخرية المفاجئة على المنحدرات شديدة الانحدار، ويحدث التساقط الصخري فوق المنحدرات الصخرية العارية شديدة الانحدار والتي يزيد انحدارها عن  $٤٠^\circ$  درجة، حيث تسقط الكتل الصخرية والمفتتات المتباينة الأحجام من مناطق الحافات الصخرية نحو أسفل المنحدر وتصدم بالأرض دون تعرضها للتدحرج أو الانزلاق بحدوث تراجع واضح للحوائط الصخرية المنحدرة (Senanayake, et al, 2024, p.1)، حيث تؤدي عملية التقويض الجانبي إلى زيادة ضغط الكتل الكبيرة على الرواسب الواقعة أسفل منها والتي تصبح أقل تماسكاً فتتهبط هذه الكتل (Sazid., 2019, pp.4-5) التي تنتشر على طول امتداد الحافة المطللة على الطريق. ويلاحظ أن المسافة التي تقطعها هذه الكتل الكبيرة في عملية سقوطها على جانبي الطريق في بعض قطاعات الطريق لا تزيد عن المتر الواحد بسبب كبير حجمها وثقلها الكبير ولكنها تزيد عن ذلك لتصل إلى ثلاثة أمتار على جانبي الطريق في قطاعات أخرى.

وتحدث هذه العملية نتيجة تضافر عمليتي التجوية والتعرية والتي تعمل معاً على تآكل الطبقات الصخرية اللينة أسرع من الطبقات الصلبة، ومن ثم تظهر الطبقات على شكل أسقف معلقة تحتل بعض أجزائها وتسقط وتستقر مكان سقوطها، أو تتدحرج أسفل الحافات على جانبي الطريق.

وقد تم قياس مجموعة من الكتل الصخرية المتساقطة في القطاعات المختلفة على جانبي الطريق من خلال الداسة الميدانية، ثلاثة قطاعات منها على الجانب الأيمن من الطريق وأثنان على الجانب الأيسر حيث بلغ إجمالي عدد الكتل الصخرية المقاسة ٥١ كتلة صخرية والتي تتباين أبعادها فيما بينها، حيث تراوحت أطوالها ما بين ٠,٣ م ، و ١,٨ م بمتوسط طول ١,٠٣ م، بانحراف معياري ٠,٥٦، ومعامل اختلاف ٥٤% مما يدل على وجود اختلاف بين اطوال الكتل الصخرية المتساقطة على جانبي الطريق والتي تم قياسها.

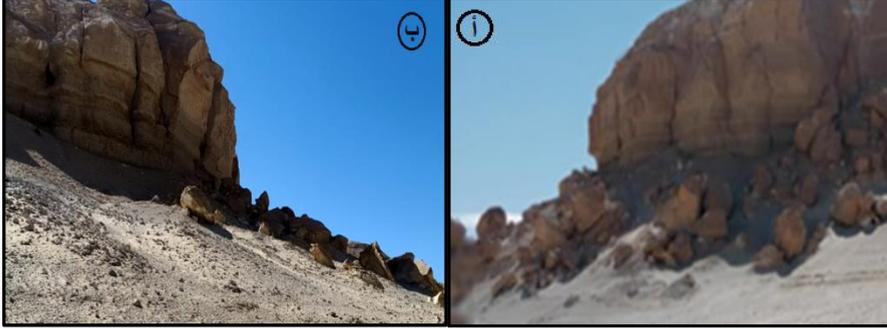
جدول(٦) التحليل المورفومتري للكتل الصخرية ودلالاتها الشكلية على جانبي الطريق.

مواقع الكتل الصخرية المتساقطة	عدد الكتل المقاسة	متوسط الطول (م)	متوسط العرض (م)	متوسط السمك (م)	متوسط الحجم (م <sup>٣</sup> )	حجم أكبر كتلة (م <sup>٣</sup> )	معامل الشكل	دلالة الشكل
القطاع الأول (الجانب الأيمن)	٤	١,٤	١,٢	٠,٨	١,١	١,٦	٠,٨٦	مستدير نسبياً
	٦	٠,٩	٠,٧	٠,٦	٠,٥	١,١	٠,٧٨	مستدير نسبياً
	٤	٠,٩	٠,٨	٠,٤	٠,٦	٠,٩	٠,٨٩	مستدير نسبياً
القطاع الثاني (الجانب الأيسر)	٥	١,١	٠,٩	٠,٣	٠,٥	٠,٩	٠,٨٢	مستدير نسبياً
	٣	٠,٩	٠,٦	٠,٤	٠,٤	٠,٨٩	٠,٦٧	شبه مستدير
القطاع الثالث (الجانب الأيمن)	٥	٠,٩	٠,٨	٠,٤	٠,٥	١,١	٠,٩٠	كامل الاستدارة
	٣	٠,٩	٠,٨	٠,٤	٠,٤	٠,٩	٠,٩٠	كامل الاستدارة
القطاع الرابع (الجانب الأيسر)	٦	١,١	٠,٨	٠,٦	٠,٦	١,١	٠,٧٣	مستدير نسبياً
	٣	٠,٩	٠,٧	٠,٥	٠,٤	٠,٩٩	٠,٧٨	مستدير نسبياً
القطاع الخامس (الجانب الأيمن)	٤	١,٢	٠,٩	٠,٨	٠,٧	١,١	٠,٧٥	مستدير نسبياً
	٣	١,٨	١,٦	١,٥	٠,٨	١,٢	٠,٩٠	كامل الاستدارة
	٥	٠,٣	٠,٢	٠,١	٠,٥	٠,٨	٠,٦٧	شبه مستدير
المتوسط	---	١,٠٣	٠,٨٣	٠,٥٧	٠,٥٨	١,٠٤	٠,٨٧	مستدير نسبياً
الانحراف المعياري	---	٠,٥٦	٠,٣٣	٠,٢١	٠,٢	٠,٢١	٠,١	----
معامل الاختلاف	---	٥٤%	٤٠%	٣٧%	٣٤%	٢٠%	١١%	----

المصدر: التحليل الاحصائي للقياسات الميدانية للباحثين

وقد تراوحت قيم عرض الكتل الصخرية ما بين ٠,٢ م ، و ١,٦ م ، بمتوسط عرض حوالي ٠,٨٣ م، بانحراف معياري ٠,٣٣، ومعامل اختلاف ٤٠%، مما يدل على وجود اختلاف طفيف بين عرض الكتل الصخرية المتساقطة، أما سمك الكتل الصخرية فقد تراوحت قيمه ما بين ٠,١ م ، و ١,٥ م، بمتوسط ٠,٥٧، بانحراف معياري ٠,٢١، ومعامل اختلاف ٣٧% كما في جدول (٦)، وقد تراوحت أحجام الكتل الصخرية ما بين ٣م٠,٦٥، و ٣م١,٣، وتراوحت حجم أكبر كتلة في المواقع المقاسة ما بين ٣م٠,٨٩، و ٣م١,٣، وهي كتل كبيرة الحجم يمكن أن تشكل خطورة في اعاقه الحركة على الطريق كما يتضح في صورة(٤).

ويدل معامل الشكل الذي بلغ متوسطه نحو ٠,٨٧، وتراوح قيمه ما بين ٠,٦٧، ٠,٩، على أن معظم الكتل الصخرية المتساقطة على الطريق أقرب إلى الاستدارة منها إلى الاستطالة حيث تأخذ جميعها الشكل المستدير نسبياً وكامل الاستدارة.



المصدر: الدراسة الميدانية للباحثين، ناظرا إلى الشمال الغربي.

صورة (٤) (أ، ب) حركة الكتل الصخرية كوحدة منزلقة نحو اسفل المنحدر على جانب الطريق.

٢- الانزلاق الصخري: هو حركة الكتل الصخرية كوحدة منزلقة ومنفصلة وغير متماسكة بشكل مفاجيء وسريع نحو أسفل المنحدر في حافات السفوح شديدة الانحدار، وقد تنفتت عند ارتطامها بسطح الأرض دون أن يصاحبها انهيار من الفتات الصخري، وتنزلق بشكل كتلة صخرية مائلة تتحرك على سطح انكساري مقوس بحركة دورانية على طول محور أفقي موازي للمنحدر الذي انفصلت عنه الكتلة الصخرية المنزلقة (Qu Sun, et al., 2017, P.1895).

كما يتضح في صورة (٥)، وصورة (٦)



المصدر: الدراسة الميدانية للباحثين، ناظرا إلى الشمال الغربي.

صورة (٥) الحافات الصخرية على أحد جانبي الطريق، صورة (٦) بعض الكتل الصخرية المعرضة للتساقط الصخري.

ويحدث الإنزلاق الصخري في المنحدرات الصخرية الحادة لعدم استقرار كتل صخور القاعدة التي يكثر بها الشقوق والفواصل وبتجاهات مختلفة والتي تضعف من قوة الربط بين جزيئات الصخر بزيادة وزنها، فتتفصل وتنزلق أسفل المنحدرات بفعل الجاذبية الأرضية.

وتحدث الانزلاقات الصخرية بمنطقة الدراسة على طول الحافات التي تقترب من طريق وادي الريان-الوحدات البحرية، ويرتبط حدوثها بهذه المنطقة بوجود رواسب الطفلة أسفل تكوينات الحجر الجيري، وتساعد الطفلة في ظل ظروف رطبة على تسهيل عملية الانزلاق حيث يتوقف حجم الكتل المنزلقة ونوعية الانزلاق سواء أمامي أو خلفي وسرعته أيضاً على كمية الرطوبة وعلى وجود نظم من الشقوق والفواصل.

**٣- حركة المواد المفككة:** تعد حركة المواد المفككة فوق المنحدرات من أكثر الأخطار الطبيعية شيوعاً وخطورة في المناطق الجافة خاصة على جانبي الطرق الجبلية، وتشير حركة المواد المفككة إلى مجمل عمليات نقل المواد الصخرية باختلاف أنواعها من الجلاميد والكتل الصخرية وركام الهشيم (Khanna & Dubey, 2021, P.994).

وتعمل حركة المواد على تخفيض وتسوية سطح الأرض بالإضافة إلى تغير شكل المنحدرات، ويرجع هذا التغير إلى عمليات التجوية المختلفة وإلى حدوث نقل المفتتات ورواسب التجوية فوق المنحدرات. وتعد دراستها الركيزة الأساسية للتعرف على أشكال السطح في أي منطقة والقاء الضوء على العوامل والعمليات التي ساهمت في حركة المواد من أعلى المنحدرات إلى أسفلها والتي تختلف معدلاتها حسب الخصائص الاستراتيجرافية والتركيبية لتكوينات منطقة الدراسة وظروفها المناخية بالإضافة إلى تأثير الجاذبية الأرضية وعمليات التجوية المختلفة وشكل انحدار سطح الأرض ومدى تشبع الرواسب بالمياه.

وتتحرك المواد المفككة على منحدرات الحافات المطلة على الطريق بسبب صغر أحجامها وعدم تجانسها مع ضعف بنيتها بشكل عام، وتتوقف سرعة تحركها على المسافة التي تقطعها ودرجة انحدار المنحدر.

وقد قاما الباحثان برصد حركة المواد المفككة والفتات الصخري على المنحدرات بمنطقة الدراسة كما يتضح في صورة (٧)، من خلال تجربة بسيطة في ثمانية مواقع وقد تمت التجربة في مايو ٢٠٢٣ واستمرت التجربة خمسة شهور حتى سبتمبر ٢٠٢٣، حيث قاما الباحثان بقياس حجم العينات الصخرية ودرجة انحدار المنحدر عند موقع أخذ العينة وقياس المسافة التي تحركتها الكتل الصخرية بعد انتهاء مدة التجربة بغرض تحليلها إحصائياً.



المصدر: الدراسة الميدانية للباحثين, ناظرا إلى الشمال الغربي.

#### صورة ( ٧ ) حركة المواد المفككة وبعض الكتل الصخرية على الطريق.

واتضح من إجراء هذه التجربة وكما يتضح في الجدول (٧) ما يلي:

- بلغ متوسط سرعة حركة رواسب العينات بمنطقة الدراسة ٠,٥ سم خلال مدة التجربة وهي خمسة شهور ,وتعد سرعة كبيرة نسبياً, ويرجع السبب في ذلك إلى قرب أخذ العينات من الحافات القريبة من الطريق حيث تمر بها المركبات من النقل الثقيل والتي تؤدي بدورها إلى حدوث اهتزازات وعدم استقرار بعض الكتل الصخرية على جوانب المنحدرات نتيجة ما يتولد عن هذه المركبات من اهتزازات على الطريق والأجزاء المجاورة مما يساعد بدوره على زيادة سرعة حركة المواد والمفتتات الصخرية فوق هذه المنحدرات بفعل الجاذبية الأرضية وتحت تأثير عوامل أخرى: منها زحف المفتتات وعملية الغسل المستمر بفعل الأمطار لتشغل الأجزاء الدنيا من منحدرات جوانب الحافة في نهاية المطاف.

-ترواحت مسافة حركة المواد خلال خمسة شهور ما بين ٠,١ سم, على منحدرات الجانب الشمالي الغربي للطريق, ٠,٨ سم على الجانب الشمالي للطريق, بمتوسط ٠,٥ سم, وانحراف معياري بلغت قيمته ٠,٢ سم.

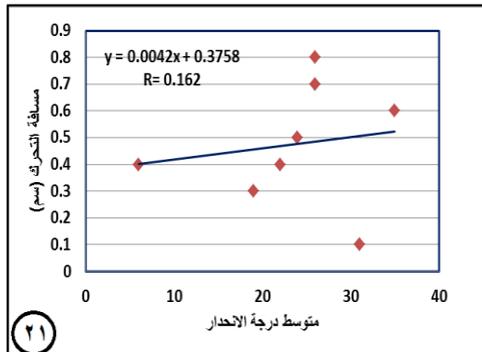
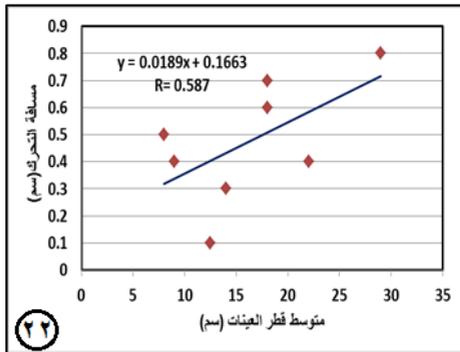
- ترواحت قيم متوسط درجة انحدار الحافات على جانبي الطريق ما بين ٥٦° على الحافة الواقعة على الجانب الشمالي للطريق , ٣٥° على الحافة الواقعة على الجانب الجنوب الشرقي للطريق.

جدول (٧) حركة المواد على منحدرات جانبي الطريق بمنطقة الدراسة.

متوسط قطر العينات (سم)	عدد العينات	متوسط درجة الانحدار	مسافة التحرك (سم) خلال خمسة أشهر	موقع العينات على المنحدرات
٢٢	٨	٥٢٢	٠,٤	على الجانب الجنوبي (١)
١٨	٨	٥٢٦	٠,٧	على الجانب الجنوبي (٢)
٩	١٠	٥٦	٠,٤	على الجانب الشمالي (١)
٢٩	١٢	٥٢٦	٠,٨	على الجانب الشمالي (٢)
١٨	١٢	٥٣٥	٠,٥	على الجانب الجنوبي الشرقي
١٢,٥	٩	٥٣١	٠,١	على الجانب الشمالي الغربي
٨	١٢	٥٢٤	٠,٥	على الجانب الشمالي الشرقي
١٤	٦	٥١٩	٠,٣	على الجانب الجنوبي الغربي
١٦,٣	٥٩,٦	٥٢٣,٦	٠,٥	المتوسط
٦,٥	٢,١	٨,١	٠,٢	الانحراف المعياري
%٤٠	%٢٢	%٣٤	%٤٠	معامل الاختلاف

المصدر: الدراسة الميدانية للباحثين.

- يلاحظ أن اتجاه الانحدار بين مسافة التحرك ودرجة الانحدار، يعكس وجود ارتباط بين متوسط درجة الانحدار ومسافة حركة الكتل الصخرية على المنحدرات كما يوضحه شكل (٢١)، كما يعكس تحليل الانحدار أيضاً أنه كلما زادت درجة الانحدار زاد معدل الحركة أي أنه كلما زادت درجة الانحدار درجة واحدة زادت درجة التحرك بمقدار ٣,٢ سم وهي حركة بطيئة نسبياً ولكنها قد تشكل خطورة على طول محور الطريق بمنطقة الدراسة لأنها قد تسبب تصادم وانزلاق السيارات عند سقوط الأمطار.



المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على جدول (٧)

شكل (٢١) تحليل الانحدار بين متوسط درجة الانحدار ومسافة تحرك الكتل الصخرية بمنطقة الدراسة، شكل (٢٢) تحليل الانحدار بين متوسط قطر العينة، ومسافة تحرك الكتل الصخرية بمنطقة الدراسة. - بلغ معامل الارتباط بين متوسط قطر العينات المدروسة ومسافة تحرك المواد على المنحدرات ٠,٥٨٧، كما يتضح في شكل (٢٢)، وهي علاقة طردية موجبة تعكس وجود ارتباط بين متوسط

قطر العينات ومقدار مسافة التحرك (سم) ، و حركة المواد على منحدرات جانبي الطريق بمنطقة الدراسة فكلما كانت متوسط قطر المواد كبير أثر بشكل واضح على سرعة المواد المتحركة على جوانب المنحدرات حيث أن معدل التغير ٠,٠١٨ ، وهذا يعني أنه كلما زاد قطر الكتلة الصخرية ستنبتراً واحداً فإنه تزيد مسافة تحركها على منحدرات جانبي الطريق، وبناء عليه فإن الكتلة الصخرية اذا وصل حجمها ٥٥ سم<sup>٣</sup> فإنها يمكن أن تتحرك لمسافة ١ سم / كل خمسة شهور، بمعدل تحرك سنوي يصل إلى ٢,٤ سم/ خلال العام وهذا بدوره يشكل خطراً طبيعياً على الطريق بمنطقة الدراسة .

**٤- الهبوط الأرضي:** تحدث عملية الهبوط الأرضي نتيجة للإخلال بحالة التوازن الاستاتيكي للطبقات الأرضية السطحية، وقد تحدث هذه الحالة بشكل تدريجي محسوس أو بصورة فجائية في المنحدرات ذات التكوينات الصخرية الفتاتية الهشة عندما تتحرك على سطح مقوس بصورة دورانية إلى الورا والتي تبدأ بهبوط بسيط سرعان ما يتطور إلى هبوط تدريجي بشكل متوالي، نتيجة لظروف طبيعية مثل هبوط المناطق الكلسية نتيجة للآذابة تحت السطحية، وتكوين تكهفات وتجاويف تحتية تؤدي إلى هبوط وترييح للطبقات السطحية (Parise, 2022, P.201)، أو نتيجة للسحب الزائد للسوائل الجوفية من باطن الأرض حيث يحدث نقص في كميتها بالخزان الجوفي، ويؤدي هذا بدوره إلى زيادة قوة التحميل أو الإجهاد على الطبقات التحتية من خلال ما يعرف بإجهاد الجاذبية الناجم عن الحمولة الزائدة فوق الرواسب مما يؤدي إلى حركة بطيئة إلى أسفل وبالتالي هبوطها (التركمان، ٢٠٠٨، ص ٧٥).

وترجع عملية الهبوط الأرضي إلى عدة أسباب أهمها التشبع بالماء ثم الجفاف وبالتالي تعاقب تمدد وانكماش الصخور مما يؤثر على هبوط أجزاء كثيرة على طول الطريق وتشققه، بالإضافة إلى عمليات تفويض المنحدرات والتي تتكون معظمها من الصخور الجيرية التي تكثر بها الشقوق والفواصل أو التي تساعد على تسرب مياه الأمطار وحدوث تفكك حبيبي على طول امتداد هذه الشقوق وتكون أخاديد تنهار أسقفها على الطريق وبالتالي حدوث شقوق وتصدعات بها.

ومن خلال الدراسة الميدانية بمنطقة الدراسة تبين وجود أربع حالات للهبوط والالتواء الأرضي في مواضيع مختلفة على طول الطريق تعد بمثابة مطبات عميقة. كما لوحظ وجود العديد من الانكسارات العرضية والطولية بسبب عمليات الهبوط السريعة والمفاجئة مما يؤثر على عدم قدرة الطبقة الإسفلتية على الاحتفاظ بتماسكها ومن ثم تتكسر وتنفصل عن باقي أجزاء الطريق،

وتراوحت أبعاد الهبوط بمنطقة الدراسة ما بين ١,٤م - ٢,٨م, في حين تراوح عمق الهبوط ما بين ١١-٤٢ سم.

### تحليل استقرارية المنحدرات (معامل الإستقرار أو الأمان):

هناك قوتان تؤثران على مناطق المنحدرات المعرضة لحركة المواد ههما؛ القوة المقاومة التي تعارض القوى المحفزة لحدوث حركة المواد على المنحدر أسفل المنحدر، وعند تغلبها على معامل وزن المواد الموجودة تتحول إلى قوة جانبية (التماسك الداخلي) وبهذا ينتج معامل الأمان الذي يؤثر على مناطق المنحدرات التي تتعرض لحركة المواد الصخرية، ويعد معامل الأمان أحد المقاييس لمدى استقرارية المنحدرات التي تمت دراستها ميدانياً من خلال دراسة العلاقة ما بين زاوية الاحتكاك الداخلي المكونة للمنحدر ودرجة انحداره، ويمكن تحديد المعامل في المعادلة التالية:-

$$\text{معامل الأمان} = \text{ظل زاوية الاحتكاك الداخلي} / \text{ظل زاوية انحدار المنحدر}$$

(Yingbin, et al., 2012, P. 21)

وإذا كان ناتج المعادلة أقل من واحد صحيح يكون المنحدر غير مستقر، أما إذا كان الناتج يتراوح ما بين (١,٢٥-١) يكون المنحدر شبه مستقر، وإذا كان الناتج يتراوح ما بين (١,٢٥-١,٥٠) يكون المنحدر أقرب للاستقرار، وإذا كان أكثر من (١,٥٠) يكون المنحدر مستقر. ومن خلال القياسات الميدانية للقطاعات وتطبيق معادلة معامل الأمان اتضح أن قيم معامل الأمان تراوحت ما بين ٠,٥٧, ١٣٨ بمتوسط ٠,٨٥ مما يدل على أن معظم القطاعات التي تم قياسها غير مستقرة وهذا يعني أنها معرضة لعملية التساقط الصخري والانزلاق في أي لحظة. وقد قسمت القطاعات المدروسة ميدانياً إلى قطاعات غير مستقرة، وشملت قطاعات (٢, ٣, ٤, ٥, ٦)، وشكلت نسبة ٦٢,٥% من إجمالي القطاعات، أما القطاعات شبه المستقرة فشملت القطاعين (١, ٨)، وبلغت نسبتها ٢٥% من إجمالي القطاعات، في حين هناك قطاع واحد فقط (٧) يمثل القطاعات المتوسطة الأمان وشكل نسبة ١٢,٥% من إجمالي القطاعات المدروسة.

أُتضح من الجدول (٨) أن سرعة حركة المواد على المنحدرات على القطاعات الميدانية تراوحت ما بين ٤٢م/ثانية في القطاع رقم (٣)، ٥٧,٧م/ثانية في القطاع رقم (٨) بمتوسط ٤٦,٨م/ثانية، كما اتضح أن القطاعات الأكثر أماناً هي أقل القطاعات من حيث سرعة حركة المواد عليها حيث بلغت في القطاعات (٢,٣, ٤, ٥, ٦) على الترتيب (٤٦,٤م/ث، ٤٢م/ث، ٤٣,٤م/ث، ٤٥,١م/ث، ٤٦,٤م/ث). وتتباين الحركة على الطول المنحدر حسب درجة الانحدار، فهناك علاقة طردية ما بين نوع الحركة وحجم الرواسب ودرجة الانحدار، حيث تؤثر زيادة درجة الانحدار

على زيادة حركة المفتتات والرواسب فتتحول من الانحدار الهين إلى القفز على الانحدار المتوسط، السقوط الصخري في حالة الانحدار الشديد وبالتالي زيادة الخطورة على محور الطريق.

جدول (٨) معامل الأمان وسرعة حركة المواد بمنطقة الدراسة.

رقم القطاع	متوسط زاوية انحدار المنحدر	زاوية الأحتكاك	معامل الأمان	الاجزاء المكشوفة في القطاع بالمتر	سرعة حركة المواد/ث
١	٢٠,٥	٢١	١,٠٢	٦٤	٥٠,١
٢	٣٣,٩	٢٤	٠,٧١	٥٥	٤٦,٤
٣	٣٣,١	١٩	٠,٥٧	٤٥	٤٢
٤	٣٢,٣	٢٠	٠,٦٢	٤٨	٤٣,٤
٥	٢٥,٨	٢١	٠,٨٤	٥٢	٤٥,١
٦	٣٨,١	٢٤	٠,٦٣	٥٥	٤٦,٤
٧	١٨,١	٢٥	١,٣٨	٦٢	٤٩,٣
٨	٢٠,٩	٢١	١,٠١	٨٥	٥٧,٧
المتوسط	٣٧,٨	٢١,٩	٠,٨٥	٥٦,٥	٤٦,٨
أ.معياري	٧	٢	٠,٢٦	١٣,١	٥,٢
م.الاختلاف	١٨,٥	٩,١%	٣٠,٦%	٢٣,٢%	١١,١%

المصدر: الدراسة الميدانية للباحثين

ومن خلال تطبيق المعادلة التالية لسرعة حركة المواد م/ثانية:-

$$\text{سرعة الحركة م/ثانية} = \sqrt{\text{ارتفاع السطح المكشوف} \times \text{الجاذبية الأرضية}} \quad (\text{Tangjin, et al., 2023, P.5})$$

ثالثاً:- التجوية الملحية:

تعد التجوية الملحية أحد أهم الأخطار الطبيعية التي تعاني منها منطقة الدراسة، وتعرف بأنها عملية تفكك الصخور الناتجة عن الاجهادات المتتالية التي يحدثها نمو وإزدياد حجم بلورات الأملاح في المسافات البينية بالصخور مثل المسامات والفواصل والتشققات أو نتيجة للتفاعل الكيميائي بين الملح والصخر نتيجة مجموعة متنوعة من العوامل منها؛ درجة مسامية الصخور وحجم المسام وكمية ونوعية المواد اللاصقة وكذلك درجة الحرارة والضغط الجوي. فكلما كان النسيج خشناً كانت الحبيبات التي يتكون منها كبيرة وكان الصخر أكثر تأثراً بالتجوية الملحية عن ما لو كان دقيقاً لأن النسيج الخشن يسمح بتسرب المياه وتوغل المؤثرات الجوية المختلفة إلى داخل الصخر أكثر من النسيج الدقيق (Khodabandeh & Boissinot, 2022, p.628).

وتساهم عملية التجوية الملحية في هبوط الطريق وتشققه واتساع هذه الشقوق، وحدوث تنهدات في الطريق، نتيجة لزيادة معدلات التبخر مع ارتفاع درجة الحرارة التي تعمل بدورها على زيادة معدلات تبخر المياه الصاعدة من أسفل الطريق بالخاصة الشعرية لتبقى الأملاح متراكمة داخل الشقوق والمفاصل الموجودة في طبقة البيتومين، ومع تمدد البلورات الملحية وتميؤها تحدث ضغوط وإجهادات شديدة على شقوق مادة البيتومين يزيد اتساع الشقوق وحدوث هبوط بالطريق (محسوب، ١٩٩٨، ص ٨٧).

وللمسطحات المائية دور مهم في عملية التجوية الملحية وذلك لاحتوائها على نسبة عالية من الأملاح، الأمر الذي يجعل نشاط التجوية أقوى على قطاع الطريق القريب من بحيرة قارون، فالقرب أو البعد عن ساحل بحيرة قارون يعد عاملاً مؤثراً في مقدار تعرض الطريق للتشقق والهبوط وهذا يعتمد بدرجة كبيرة على خواص الأساس الصخري الذي ينشأ عليه الطريق، ونوعية الصخور والمواد المستخدمة في إنشائه.

أما عن الصخور المستخدمة في الرصف فيجب أن تكون صخوراً محلية لقدرتها على تحمل الظروف الجوية، وتكون صخوراً صلبة مقاومة للتكسر ولعوامل التعرية مثل الصخور النارية المتمثلة في البازلت والجابرو، وتجنب استخدام الصخور الرسوبية والمتحولة لأن الأولى تتفكك حبيباتها بسهولة من المواد اللاصقة كما أن الكوارتز لا يلتحم بسهولة، ولضمان جودة الرصف ومقاومته للهبوط والتشقق يجب أن يحتفظ الصخر ومسحوقه بالماء بخاصية التوتر السطحي، وأن يتماسك مع المواد اللاصقة مثل البيتومين والأسفلت (الطحلاوي، أحمد، ٢٠٠٤، ص ٥٨-٦٠).

ويتأثر طريق وادي الريان- الوحات البحرية بالتجوية الملحية مما يعرضه لخطورة كثرة الشقوق، فمع شدة الأشعاع الشمسي وارتفاع درجة الحرارة التي تصل اقصاها في فصل الصيف خلال شهر يوليو ٢٠٢٠م<sup>٥</sup>، ونتيجة لذلك تنشط عملية التبخر ويرتفع مستوى الماء الملحي تحت السطحي وبالتالي يقترب من سطح الطريق بواسطة الخاصية الشعرية فتكثر التشققات بطبقة البيتومين (المرسي، ٢٠٢٠، ص ٧٣)، علاوة على ذلك يتم استخدام مواد اسفلتية تتكون من رواسب أقل خشونة أو رواسب ناعمة مع قليل من المواد الاسفلتية مما يساعد على حدوث خلل بالطريق وحدوث تشققات كبيرة في بعض قطاعاته، وقد تم رصد حوالي ١,٢ كم من الطريق متأثر بدرجات كبيرة بمظاهر التجوية الملحية، ووجد في المسافة يوجد خمسة مناطق هابطة في مسافة لا تزيد عن ٣٠٠م، وكان متوسط اتساع الشقوق في إحدى المناطق الهابطة ١,٦ سم ومتوسط عمقها

١,٩ سم، وعدد الشقوق التي م قياسها ميدانياً ١٣٥ شقاً بكثافة ١,٣ شق/ م<sup>٢</sup>، ويرجع ذلك في الدرجة الأولى إلى رخاوة الأرض وفعل ارتفاع منسوب المياه الجوفية.

#### رابعاً: أخطار الجريان السيلبي بمنطقة الدراسة.

يمكن التعرف على أخطار الجريان السيلبي وأثرها على طريق وادي الريان-الوحدات البحرية من خلال دراسة أهم الخصائص المورفومترية، والهيدرولوجية لتلك الأحواض، حتى يمكن حساب الميزانية المائية وتحديد فائض الجريان المتبقي بعد حساب فواقد التبخر والتسرب من خلال تطبيق عدد من المعادلات الرياضية، ومن ثم تحديد أخطار الجريان السيلبي وأثرها على الطريق وتحديد مواضع هذه التأثيرات باستخدام تقنيات الجيوماتكس في معالجة موضوعات لهيدروجيومورفولوجي بهدف التعرف على أنسب الطرق لحمايتها أثناء حدوث الخطر في المستقبل، وسوف تتم دراسة ذلك من خلال دراسة العناصر التالية:-

#### ١- الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف:

اتضح من تحليل شبكة التصريف المائي في منطقة الدراسة والتي بلغ عددها اثني عشر حوضاً صغيرة المساحة كما يتضح في جدول (٩)، وشكل (٢١) أن أحواض التصريف بالمنطقة تراوحت مساحتها ما بين ٣٤,٩ كم<sup>٢</sup> كما في حوض رقم (٧)، و٥٩٩,٩٤ كم<sup>٢</sup> في حوض رقم (٨)، بمتوسط ٢٠٧,٥ كم<sup>٢</sup> وانحراف معياري ١٨٤,٨ كم<sup>٢</sup>، ومعامل اختلاف ٨٩,١%، مما يدل على أن هناك تفاوتاً كبيراً للغاية بين هذه الأحواض من حيث النشأة والتشكيل وعمليات النحت.

أما بالنسبة لابعاد الأحواض فقد تراوحت أطوالها ما بين ٧,٩٤ كم في حوض (٧)، ٢٨,٢ كم في حوض (١)، بمتوسط ١٨,٠٤ كم، في حين تراوحت قيم عرض الأحواض ما بين ٤,٢٣ كم في حوض (٤)، ٢٦,٥ كم في حوض (٨)، أما محيط الأحواض فقد تراوحت قيمه ما بين ٢٥,٤١ كم في حوض (٤)، ١٢٨,٢٩ كم في حوض (٨)، وتختلف أبعاد أحواض التصريف من حوض إلى آخر، مما يؤثر على مدة الجريان واحتمال زيادة التبخر والتسرب والتقليل من قوة التيار المائي وكميات الرواسب التي تحملها الأحواض.

أما الخصائص الشكلية لأحواض التصريف فتقارن بأشكال هندسية تتراوح ما بين الشكل المستدير والمستطيل والمثلث، وترجع أهمية دراستها لما لها من دلالات تتعلق بالعمليات الجيومورفولوجية التي ساهمت في تشكيل الحوض وتطوره التحاتي، واستخدامها كوسيلة في تفسير

وتوضيح مراحل التطور التي اعطت صورته الحالية (أبوراضي، ٢٠٠٦، ص١٢٣)، حيث تتخذ أحواض التصريف بمنطقة الدراسة أشكالاً مختلفة.

جدول (٩) الخصائص الهيدرولوجية لأحواض التصريف في منطقة الدراسة

رقم الحوض	مساحة الحوض كم <sup>٢</sup>	الطول كم	العرض كم	المحيط كم	معامل الاستدارة	معامل الاستطالة	اعداد المجاري	اطوال المجاري كم	كثافة التصريف كم <sup>٢</sup> /كم
١	٣١٥,٤٩	٢٨,٢	١٢,٥٤	٨٨,٨٨	٠,٥٠٢	٠,٧١١	٦١١	٧٩٩	٢,٥٣
٢	٢٧٦,٥١	٢٦,٧	١١,٥٥	٨٠,٥٤	٠,٥٣٥	٠,٧٠٢	٤٦٣	٥١١	١,٨٥
٣	٥٠٢,٢٧	٢٥,٨	٢٠,٩	١١١,٢٢	٠,٥٠٩	٠,٩٨١	٩٢٥	١١٢٢	٢,٢٣
٤	٣٦,٦٩	٧,٥٨	٤,٢٣	٢٥,٤١	٠,٧١٣	٠,٨٩٧	١٦٥	٢١٤	٥,٨
٥	٣٠٥,٠٣	٢٦,٩	١٤,٣	٨٣,٨١	٠,٥٤٥	٠,٧٣٢	٥٨٨	٦١٥	٢,٠١
٦	٥٩,٠٢	٩,٩	٤,٦٢	٣٣,٣٤	٠,٦٦٧	٠,٤٣٤	٢٣٤	٣١١	٥,٣
٧	٣٤,٩	٧,٩٤	٦,٢٧	٢٦,٢٦	٠,٦٣٦	٠,٨٣٩	١٨٩	٢١٠	٦
٨	٥٩٩,٩٤	٢٨,٦	٢٦,٥	١٢٨,٢٩	٠,٤٥٨	٠,٩٦٥	١٠٤٩	١٣٢٦	٢,٢
٩	٩٣,٩٥	١٣,٨٥	٥,٢٨	٤٤,٢٩	٠,٦٠٢	٠,٧٨٩	٢٧٨	٣٠٢	٣,٢
١٠	٦٠,٩١	١٣,٤	٤,٩٥	٤٢,٥٩	٠,٤٢٢	٠,٦٥٧	٢٣٩	٢٢٢	٣,٦
١١	١٥٦,٨٢	١٧,٢	٨,٢٥	٥٦,٦٠	٠,٦١٥	٠,٨٢٠	٣٨٩	٣٦٢	٢,٣
١٢	٤٨,٢٥	١٠,٥	٥,٤	٢٨,٦٨	٠,٧٣٧	٠,٧٤٧	٢١١	٢٩٨	٦,٢
المتوسط	٢٠٧,٥	١٨,٠٤	١٠,٤	٦٢,٥	٠,٥٧٨	٠,٧٧٢	٤٤٢	٥٢٤	٣,٦
أ. المعياري	١٨٤,٨	٨,١٨	٦,٨٦	٣٣,٦٩	٠,٠٩٥	٠,١٤٢	٢٨٣,٧	٣٥٨,٦	١,٦٥
م. الاختلاف	٥٨٩,١%	٤٥,٣%	٥٦,٥٩%	٥٣,٩%	١٦,٤%	١٨,٤%	٦٤,٢%	٦٨,٤%	٤٥,٨%

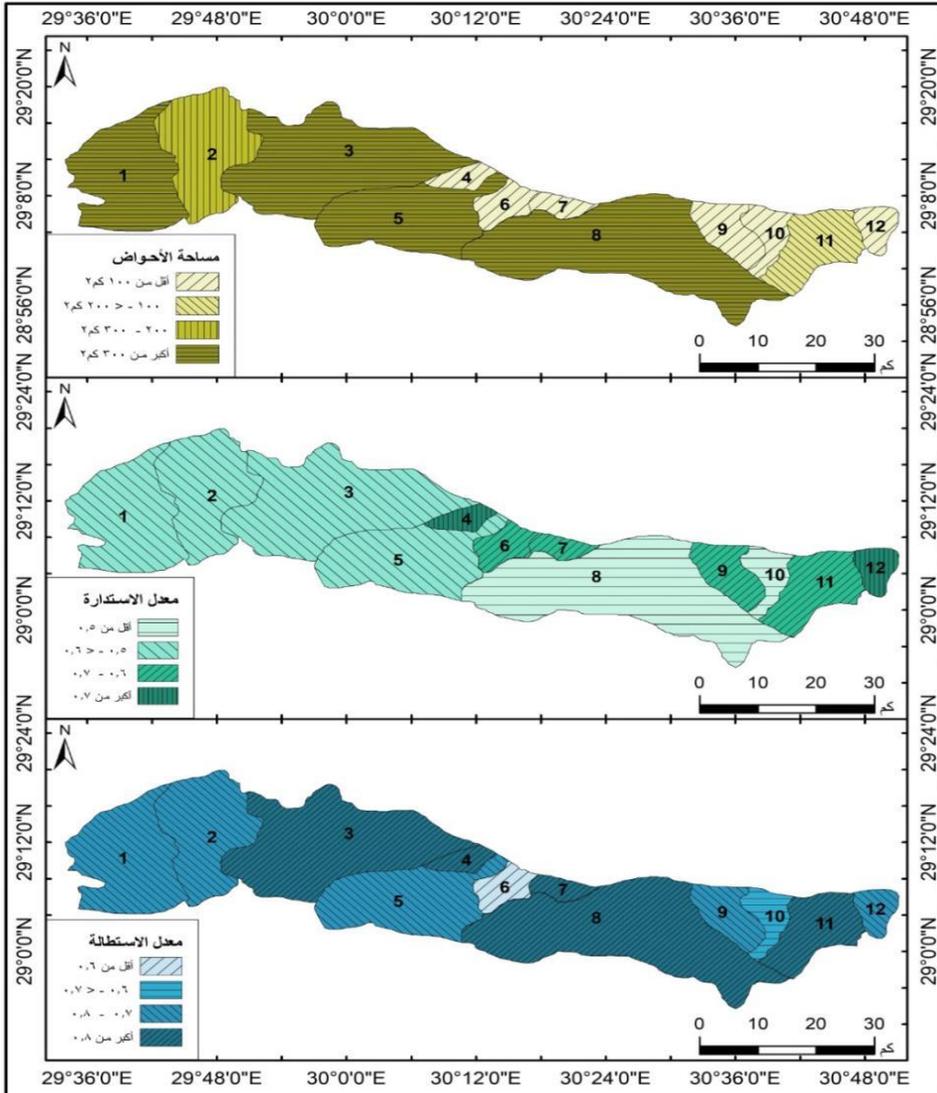
المصدر: من اعداد الباحثين اعتمادا على نتائج تطبيق المعاملات المورفومترية لأحواض التصريف وتطبيق برنامج Arc Gis 10.3.

وتباين المساحة المكونة للأجزاء المختلفة للحوض الواحد حسب شكله، مما يؤثر في كمية الأمطار المتجمعة والتي تساهم في تشكيل ملامح السطح بالمنطقة بمساعدة عامل الانحدار فتتدفق المياه حيث أن رخات المطر القوية وما يتبعها من زيادة مفاجئة في حجم التصريف تؤدي إلى حدوث فيضانات سيلية سريعة لها القدرة على تجمع المياه داخل المجاري المائية المتعامدة مع مسار الطريق مما يتسبب في مشكلات لقطع الطريق مستقبلاً.

ويشير معامل الاستدارة إلى نسبة تقارب أو تباعد شكل الحوض من الشكل الدائري المنتظم القيم المرتفعة تشير إلى اقتراب الحوض من الشكل الدائري، في حين تدل القيم المنخفضة على عدم انتظام وتعرج خطوط تقسيم المياه المحيطة بالحوض التصريفي وبالتالي بعده عن الشكل الدائري (سلامة، ١٩٨٢، ص٦).

ويتراوح معامل الاستدارة<sup>(١)</sup> بين ٠,٤٢٢ في حوض رقم (١٠)، ٠,٧٣٧ في حوض رقم (١٢)، أما المتوسط العام لمعدل الاستدارة في أحواض التصريف فقد بلغ ٠,٥٧٨ في منطقة الدراسة.

(١) تتخذ المعادلة الشكل التالي:  $Circularity\ ratio\ R_c = 4\pi A / P^2$



المصدر: اعتماداً على الجدول (٩).

شكل (٢١) مساحة الأحواض ومعدلي الاستدارة والاستطالة بأحواض التصريف بالمنطقة.

أما معامل الاستطالة<sup>(١)</sup> فيؤثر على طول المجاري المائية وأعدادها وخاصة التي تنتمي إلى الرتب الدنيا منها وأيضاً المجاري الرئيسية فيها ففي حالة انخفاض نسبة الاستطالة تميل الرتب الدنيا

حيث RC: معامل الاستدارة  $4JA$  : ٤ ط × مساحة الحوض

P2: مربع محيط الحوض (كم) (Makrari. et al., 2022, p.4)

(١) وتتخذ معادلة معامل الاستطالة الشكل التالي: -  $Elongation\ ratio\ Re = D/Lm$

إلى زيادة أطوالها وتقليل أعدادها أما في حالة ارتفاع هذه النسبة تميل مجاري هذه الرتب إلى تقليل أطوالها وزيادة أعدادها وطول المجرى الرئيسي مما يعمل على تناقص محتواه المائي عند مصبه بسبب طول المسافة التي يقطعها طول هذا المجارى (Lalduhawma., et al,2018,p.91) بالإضافة إلى تسرب وتبخر في مياهه , وقد تراوح معامل الاستطالة ما بين ٠,٤٣٤ في حوض رقم (٦) , ٠,٩٦٥ في حوض رقم (٨), وتميل معظم أحواض المنطقة إلى الاستطالة أكثر منها إلى الاستدارة حيث بلغ المتوسط العام لمعامل الاستطالة ٠,٧٧٢ ويرجع ذلك إلى سيادة النحت الرأسى لهذه الأحواض عند روافدها العليا وتأثرها بالصدوع والفواصل والشقوق.

أما أعداد المجاري في أحواض التصريف بمنطقة الدراسة فتؤثر في قمة التدفق وبالتالي ارتفاع معدل التصريف والجريان السطحي (Shekar & Mathew,2024,p.15), وقد بلغ عددها بأحواض التصريف بمنطقة الدراسة ٣٥٣٦ مجرى بمتوسط ٤٤٢ مجرى لكل حوض وتأثر أعداد المجاري بعدة خصائص جيومورفولوجية منها مساحة أحواض التصريف، وأبعادها فكلما زادت مساحة الأحواض وأبعادها زادت أعداد المجاري بما كما يتضح في شكل (٢٢).

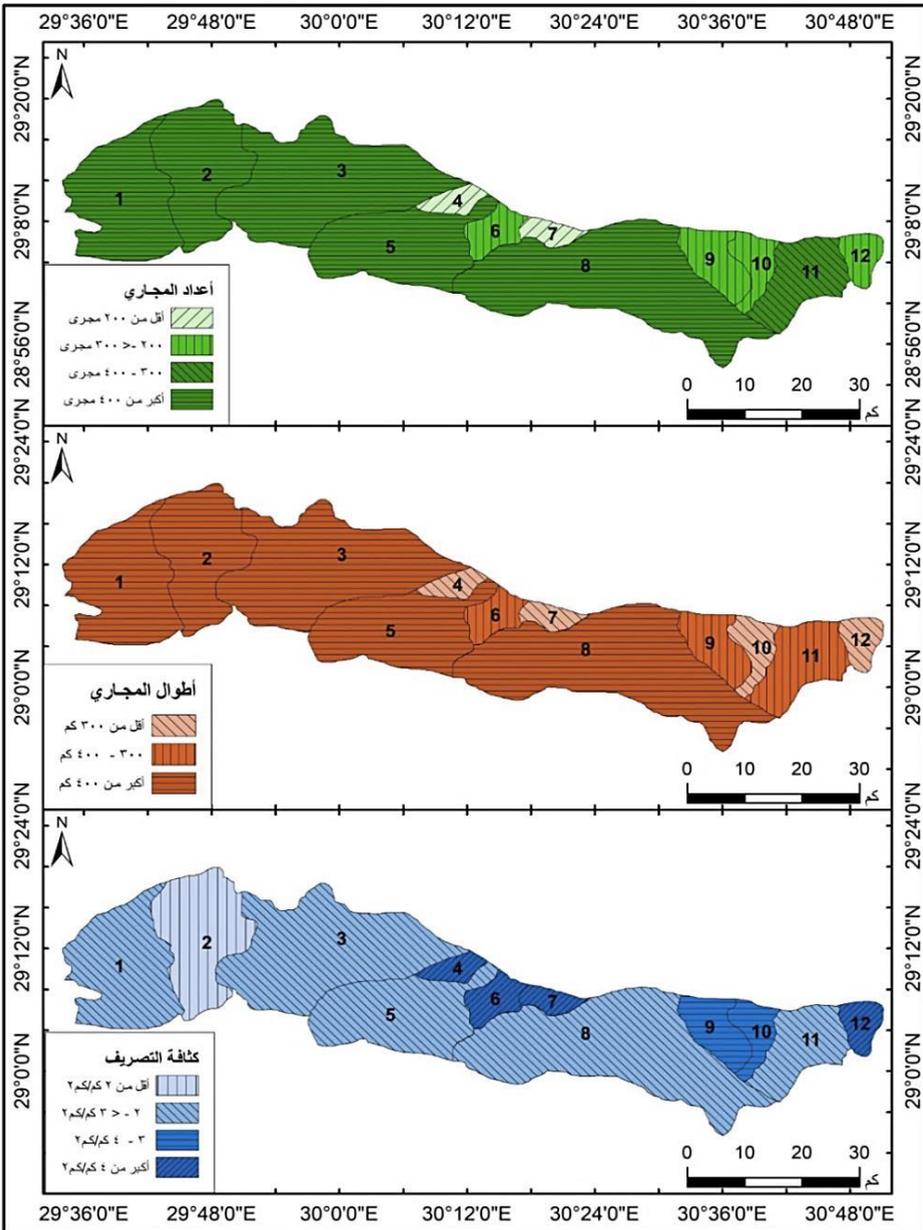
أما أطوال مجاري الأحواض فتؤثر بشكل كبير على خصائصها الهيدرولوجية، فهي تؤثر على سرعة حركة الماء ومن ثم حدوث الجريان السيلبي (Bogale,2021,p.4), وبلغ مجموع أطوالها ٤١٩٢ كم بمتوسط ٥٢٤ كم لكل حوض, يتأثر أعداد المجاري وأطوالها لمجموعة من العوامل أهمها كمية الأمطار وتركيزها وفعاليتها التي تسهم في تطور شبكة التصريف كما يؤثر نوع الصخر في أطوال وأعداد المجاري المائية من خلال درجة قابليتها للنحت.

وتعكس كثافة التصريف<sup>(٢)</sup> مدى الأمكانية المحتملة للمياه التي يمكن نقلها عبر الأحواض، كما تعكس خصائص الأحواض متضمنة نوع الصخر (التركمانى، ١٩٩٨، ص ٨١), وتوضح كثافة التصريف مدى تأثير الأحواض بعمليات التعرية المائية، وربط خصائص الصخور ومعدل التسرب ودرجة انحدار الأحواض بكثافة تصريفها (Hagos , et al., 2022, P.148), وتتراوح الكثافة التصريفية لأحواض التصريف بالمنطقة ما بين ١,٨٥ كم/كم<sup>٢</sup> في حوض رقم (٢), ٦,٢ كم/كم<sup>٢</sup> في

حيث أن Re: معامل الاستطالة ، D: قطر دائرة لها نفس مساحة الحوض (كم ٢) ،  
Lm: أقصى طول للحوض (Mahala.,2020,P.6)

(٢) تتخذ المعادلة الشكل التالي:-  
Drainage density Dd=  $\sum Lu / A$   
حيث Dd: كثافة التصريف كم/كم<sup>٢</sup> ،  $\sum Lu$ : مجموع أطوال المجاري المائية كم.  
A: مساحة الحوض (كم ٢) ( El-Fakharany , et al., 2021, P. 5).

حوض رقم (١٢)، بمتوسط ٣,٦ كم/كم<sup>٢</sup>، وانحراف معياري ١,٦٥، ومعامل اختلاف ٤٥,٨% مما يدل على وجود اختلافات قليلة بين كثافة التصريف لأحواض التصريف بالمنطقة.



المصدر: اعتمادا على الجدول (٩).

شكل (٢٢) أعداد وأطوال المجاري وكثافة التصريف بأحواض التصريف بمنطقة الدراسة.

## ٢- الخصائص الهيدرولوجية:

تهدف دراسة الخصائص الهيدرولوجية لأحواض التصريف بمنطقة الدراسة، إلى محاولة تحديد صافي الجريان ومدى تأثيره على المنطقة وقد تم الاعتماد على أكبر كمية مطر سقطت في يوم واحد بمنطقة الدراسة ٣٤,٨ مم سنة ١٩٩٤م لتقدير الحد الأقصى للجريان السيلبي الذي يمكن أن تتعرض له منطقة الدراسة، وبالتالي تقييم طرق الحماية لمواقع الطريق المعرضة لأخطار الجريان السيلبي، وفيما يلي دراسة لأهم الخصائص الهيدرولوجية لأحواض التصريف بمنطقة الدراسة:-

أ- زمن التباطؤ<sup>(١)</sup>: يعرف زمن التباطؤ بأنه الفترة الزمنية المحصورة بين بداية تولد الجريان السطحي ووصوله إلى بداية المجاري المائية، ويمثل الوقت الذي ترتفع فيه معدلات التسرب (Zhao, et al., 2023.P.7)، ومن خلال دراسة قيم زمن التباطؤ لأحواض التصريف بمنطقة الدراسة تبين أنه بلغ أدناه في وادي (٦) بمعدل ١,٧ دقيقة، بينما بلغ أقصاه في حوض وادي (٥)، ٧ بمعدل ١٢,٤ دقيقة، وبلغ المتوسط العام لزمن التباطؤ ٦,٥ دقيقة، وهو متوسط منخفض يشير إلى خطورة أحواض منطقة الدراسة، كما تدل قيم الانحراف المعياري ٢,٨٨، ومعامل الاختلاف ٤٤,٣% على وجود اختلافات قليلة لزمن التباطؤ بين أحواض التصريف نتيجة تباين المساحة الحوضية ونوع الصخور السطحية ودرجة انحدار السطح حيث تؤثر كبر المساحة الحوضية وقلة درجة انحدار السطح ووفرة الغطاء النباتي في زيادة معدل زمن التباطؤ وتأخر بداية الجريان السيلبي مما يسمح بزيادة الفاقد بالتسرب والتبخير وبالتالي تأخر الوصول إلى لقمة منحني التصريف، والعكس في حالة الاحواض صغيرة المساحة، شديدة الانحدار.

ب- زمن التركيز<sup>(٢)</sup> يعبر عن الفترة الزمنية الفاصلة بين بداية الجريان ووصول المياه لمصب الوادي (Almeida, 2014, p.667)، وقد بلغ المتوسط العام لزمن التركيز ١,٨ ساعة، بانحراف معياري  $\pm 0,87$ ، ومعامل اختلاف ٤٨%، وتراوح قيمه ما بين ٠,٩ ساعة في حوض وادي (٦) نظراً لقلّة طول وشدة انحداره، ٤,١ ساعة في حوض وادي (٨) نتيجة لطوله وبطء انحداره، وترجع

$$(١) \text{ زمن التباطؤ} = TL = KL(A0.3)/(Sa/Dd)$$

TL = زمن التباطؤ = A = مساحة حوض التصريف sa = متوسط الانحدار  
KL = 0.4 = معامل ثابت للصخور Dd = كثافة التصريف (Basu&Van Meter, 2017.P.2)

$$(٢) \text{ زمن التركيز} = Tc = L1.15/7700H0.38$$

TC = زمن التركيز = L = طول المجرى الرئيسي.

H = الفارق الرأسي بين وأدى نقطة بالحوض = ثابت (Sultan , 2022,p.5)

خطورة الأحواض وفقاً لهذا المعامل إلى قصر المدة التي تستغرقها المياه وبالتالي زيادة سرعة وصول مياه الجريان السيلبي إلى مخارج أحواض التصريف.

جدول (١٠) الخصائص الهيدرولوجية لأحواض التصريف في منطقة الدراسة

رقم الحوض	زمن التباطؤ (دقيقة)	زمن التركيز بالساعة	حجم التصريف (م <sup>٣</sup> /ثانية)	حجم السريان (الف/م <sup>٣</sup> )	سرعة جريان المياه (كم/س)	أحجام كمية المياه الساقطة (م <sup>٣</sup> )	إجمالي الفاقد في الاحواض (م <sup>٣</sup> )	صافي الجريان (م <sup>٣</sup> )	صافي الجريان بالمليون م <sup>٣</sup>
١	٥,٣	١,٥٨	١٧٦٧,٣	٤٣٩,٨	٤٤,٦	١٠٩٧٩١٠٠	٢٢٤٠١١٢,٨	٨٧٣٨٩٨٧,٢	٨,٧
٢	٧,٢	٢,٤١	١٦٥٤,٥	٣٠٠,٨	٦٤,٣	٩٦٢٢٢٠٠	١٦٩٣٣٨٠,٣	٧٩٢٨٨١٩,٧	٧,٩
٣	٦,٩	٢,٦٢	٢٢٢٩,٩	٥٨٦,٩	٦٧,٦	١٧٤٧٨٩٩٦	٣٥٦٦٣٩٤,٣	١٣٩١٢٦٠١,٧	١٣,٩
٤	٤,٧	٢,١١	٦٠٢,٦	١٤٣,٥	١٦	١٢٨٦٢٠٠	٢٦٠٥١٢,٨	١٠٢٥٦٨٧,٢	١
٥	١٢,٤	١,٢٣	١٧٣٧,٧	٣٥٢,١	٣٣,١	١٠٦١٥٠٤٤	٢١٦٨٩٥,٦	١٠٣٩٨١٤٨,٤	١٠,٤
٦	١,٧	٠,٩	٧٦٤,٤	١٩٧,٢	١٠,٩	٢٠٥٣٨٩٦	٤١٩٠٥٠,٠٣	١٦٣٤٨٤٥,٩	١,٦
٧	٦,٦	١,٣	٥٨٧,٨	١٤١,٢	١٠,٣	١٢١٤٥٢٠	٢٤٧٨٠٨,٤	٩٦٦٧١١,٦	٠,٩٦
٨	٣,٣	٤,١	٢٤٣٧,١	٦٧٦,٥	١١٧,٣	٢٠٨٧٧٩١٢	٤٢٥٩٧٣٢,٤	١٦٦١٨١٧٩,٦	١٦,٦
٩	٨	١,٢٢	٩٦٤,٤	١٩٢,٤	١٦,٩	٣٢٦٩٤٦٠	٦٦٧١٠٥,١	٢٦٠٢٣٥٤,٩	٢,٦
١٠	١١,٢	١,١٠	٤٩٥	١٤٨,١	١٤,٧	٢١١٩٦٦٨	٤٣٢٥١٥,٦	١٦٨٧١٥٢,٤	١,٧
١١	٦	٢,١	١٢٤٦	٢٢٤,٤	٣٦,١	٥٤٥٧٣٣٦	١١١٣٤٩٧,٣	٤٣٤٣٨٣٨,٧	٤,٣
١٢	٥,٢	١,٢	٦٩١,١	١٩٠,٢	١١,٦	١٦٧٩١٠٠	٣٤٢٥٩٥,٥	١٣٣٦٥٠٤,٥	١,٣
المتوسط	٦,٥	١,٨	١٢٦٤,٨	٢٩٩,٤	٣٧	٧٢٢١١١٩,٣	١٢٨٨٣٠٠	٥٩٣٢٨١٩,٣	٥,٩
أ.معياري	٢,٨٨	٠,٨٧	٦٥١,٥	١٧٣	٣١,١	٦٤٣٣٠٢٩	١٣٢٨٣٧٠	٥٢٤١١٤٣	٥,٢
م.اختلاف	٥٤٤	٥٤٨	٥١,٥	٥٧,٧	٥٨٤	٥٨٩	١٠٣	٥٨٨	٥٨٨

المصدر: من اعداد الباحثين اعتماداً على نتائج التحليل الهيدرولوجي بتطبيق المعاملات الهيدرولوجية.

**ج- حجم التصريف:** - عبارة عن حجم المياه التي تمر في مساحة كيلو متر مربع ، بالمتر المكعب في الثانية الواحدة (م<sup>٣</sup>/ثانية) (Clarence, 1984.p.5)، قد تبين من خلال تطبيق المعادلة<sup>(١)</sup> الخاصة بقياس حجم التصريف على أحواض منطقة الدراسة أن المتوسط العام لمعدل تصريف الأحواض ١٢٦٤,٨ م<sup>٣</sup>/ثانية، وانحراف معياري ٦٥١,٥ م<sup>٣</sup>/ثانية، وبلغ معامل الاختلاف ٥١,٥% مما يدل على وجود اختلافات قليلة في حجم تصريف الأحواض، وتراوح قيمه بين ٤٩٥ م<sup>٣</sup>/ثانية في حوض وادي (١٠)، و ٢٤٣٧,١ م<sup>٣</sup>/ثانية في حوض وادي (٨).

$$Q = \text{حجم التصريف}$$

$$Q = 99A^{0.5} = \text{حجم التصريف}$$

$$A = \text{مساحة الحوض (خضر، ١٩٩٧، ص ٣٦٨)}$$

**د-حجم السريان:** يفيد في التعرف على مقدار ما يمكن أن تصرفه شبكة التصريف للمياه عندما تزيد كمية الأمطار الساقطة عن كمية الفاقد خاصة الناتجة عن التسرب، بالإضافة إلى التعرف على مدى خطورة الأودية من خلال ما تجلبه من مياه نحو مخارجها، فكلما زاد معدل حجم السريان زادت خطورة تلك الأودية، وتطبيق معادلة حجم السريان<sup>(١)</sup> على أحواض التصريف بمنطقة الدراسة كما يتضح في جدول(١٠) بلغ إجمالي حجم سريان المياه للأحواض المدروسة ٣,٦ مليون م<sup>٣</sup> بمتوسط ٢٩٩,٤ الف/م<sup>٣</sup>, وقد تراوحت قيمه ما بين السريان ١٤١,٢ الف/م<sup>٣</sup> في حوض وادي (٧), ٦٧٦,٥ الف/م<sup>٣</sup> في حوض وادي (٨), وتدل قيم الانحراف المعياري ١٧٣ الف/م<sup>٣</sup>, ومعامل الاختلاف ٥٧,٧% على وجود اختلافات بين أحواض التصريف بالمنطقة نتيجة لاختلاف مساحة الأحواض وأبعادها، وتباين خصائصها الشكلية.

**ه-سرعة جريان المياه:** تفيد دراسة سرعة جريان المياه في تحديد درجة خطورة الأحواض من خلال معرفة الزمن الذي تقطعه المياه من المنبع إلى المصب، كما تعد انعكاساً لدرجة انحدار سطح حوض التصريف والذي يمثل الطرف الرئيسي الذي تعتمد عليه معادلة سرعة جريان المياه<sup>(٢)</sup>، وقد بلغ المتوسط العام لسرعة جريان المياه بأحواض التصريف المدروسة ٣٧ كم/س، بانحراف معياري قدره ٣١,١ كم/س، ومعامل اختلاف بلغ ٨٤% مما يشير إلى تباين قيم سرعة جريان المياه لأحواض التصريف بمنطقة الدراسة حيث تراوحت القيم بين ١٠,٣ كم/س في حوض وادي (٧), و ١١٧,٣ كم/س في حوض وادي (٨).

**و- أحجام كمية المياه الساقطة:** تتباين أحجام كمية المياه الساقطة على أحواض التصريف بمنطقة الدراسة من حوض إلى آخر حسب مساحة كل حوض، ويتم الحصول على حجم المياه الساقطة أثناء سقوط أكبر كمية مطر سجلت في يوم واحد وذلك من خلال المعادلة التالية:

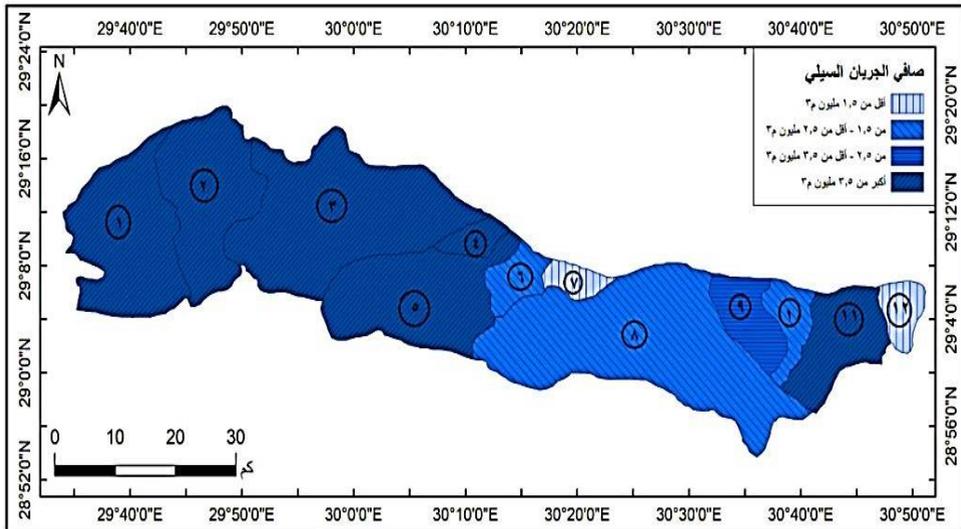
أحجام كمية المياه الساقطة = مساحة الحوض × أكبر كمية مطر سقطت في يوم واحد  
وقد بلغ مجموع الأمطار الساقطة على أحواض التصريف ٨٦٦٥٣٤٣١,٦ م<sup>٣</sup> بمتوسط ٧٢٢١١١٩,٣ م<sup>٣</sup> للحوض الواحد .  
وتراوحت كمية للمياه الساقطة ما بين ١٢١٤٥٢٠ م<sup>٣</sup> في حوض وادي (٧), ١٧٤٧٨٩٩٦ م<sup>٣</sup> في حوض وادي (٣).

(١) يمكن حساب حجم السريان من خلال المعادلة التالية ح = ١,٥ (ل ت ٠,٨٥)  
ح = حجم السريان، ل ت = مجموع أطوال المجاري (مركز التنمية والتخطيط التكنولوجي، ١٩٨٣).  
(٢) يمكن حساب سرعة جريان المياه من خلال المعادلة س = ط / ز حيث س = سرعة المياه، ط = طول الحوض، ز ت = زمن التركيز. (السلواي، ١٩٨٩، ص ١٠٢).

ز- **إجمالي الفاقد بالتبخر والتسرب:** تؤثر كمية الفواقد عن طريق التبخر والتسرب على بدء عملية الجريان ، الذي يمثل في هذه الحالة الفائض من المطر بعد هاتين العمليتين ، كما يمتد تأثيرهما إلى ما بعد تولد وبدء الجريان، حيث يؤثران على إمكانية استمرار الجريان في الروافد ووصوله إلى الوادي الرئيسي أو انقطاعه وعدم استمراره، كما تحددان مع العوامل الأخرى خصائص الجريان المختلفة خاصة كمية وسرعة الجريان (صالح، ١٩٨٩، ص١٩)، وتعد جملة الفاقد المائي هي المحصلة النهائية لإجمالي التبخر والتسرب (كمية التسرب أثناء زمن التباطؤ + كمية التسرب الثابتة) وعلى هذا الأساس يحدد صافي كمية الجريان الفعلية لأحواض التصريف. وقد بلغ إجمالي الفواقد المائية ١٥٤٥٩٦٠ م<sup>٣</sup> بمتوسط ١٢٨٨٣٠ م<sup>٣</sup> لأحواض التصريف بالمنطقة.

ح- **صافي الجريان:** يمثل صافي الجريان جملة ما تبقى من كمية المياه الساقطة داخل أحواض التصريف بعد استبعاد كمية الفواقد عن طريق التسرب والتبخر.

ومن خلال الجدول (١٠)، والشكل (٢٣) يتضح أن إجمالي صافي الجريان ٧٠,٩٦ مليون م<sup>٣</sup>، ويتراوح صافي الجريان بالنسبة لأحواض منطقة الدراسة بين ٠,٩٦ مليون م<sup>٣</sup> بحوض وادي (٧)، ١٦,٦ مليون م<sup>٣</sup> بحوض وادي (٨) بمتوسط ٥,٩ مليون م<sup>٣</sup> للحوض الواحد، وتشتد خطورة الأحواض كلما ارتفع صافي جريانها.



المصدر: اعتمادا على الجدول (١٠).

شكل (٢٣) صافي الجريان السيلبي لأحواض التصريف بمنطقة الدراسة.

## ٣-التقييم الجيومورفولوجي لخطورة الجريان السيلبي:-

تُعد دراسة تحديد درجة خطورة أحواض التصريف من الأهداف الرئيسية والمهمة في تحديد العوامل المؤثرة في حدوث الجريان السيلبي، والمحاولة للخروج بصورة معبرة عن كل حوض تصريف (Kefi, et al, 2020, p.1470)، وذلك لاختيار طرق الحماية المناسبة من خطر الجريان السيلبي على طول الطريق، وتعتمد الدراسة الحالية في تحديد درجة خطورة الأحواض على المعاملات المورفومترية والهيدرولوجية لأحواض التصريف من خلال معادلة درجة الخطورة<sup>(١)</sup>، حيث تشمل المعاملات المورفومترية والهيدرولوجية، وتتخلص هذه الطريقة في وضع المعاملات المستخدمة التي لها علاقة ارتباطية طردية مع خطورة الجريان السيلبي والتي كلما زادت قيم المتغير بها زادت درجة خطورة الأحواض. وقد تم تجميع درجات الخطورة للمتغيرات التي اعتمدت على دراسة الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية، والخروج بدرجة خطورة لكل حوض، وبناءً على ما سبق وبعد تطبيق المعادلة على أحواض التصريف تم تصنيف أحواض منطقة الدراسة حسب خطورة الجريان السيلبي إلى ثلاث فئات، كما يتضح في الشكل (٢٤):-

- أ-أحواض عالية الخطورة:تضم هذه الفئة حوضي (٣)،(٨) بنسبة ١٦,٦% من إجمالي الأحواض بمنطقة الدراسة وتتركز خطورة هذه الأحواض على محور الطريق.
- ب- أحواض متوسطة الخطورة: تضم هذه الفئة خمسة أحواض بنسبة ٤١,٧% من إجمالي الأحواض بمنطقة الدراسة، وتمثل في أحواض (١)،(٢)،(٣)،(٥)،(١١).
- ج-أحواض منخفضة الخطورة: تضم هذه الفئة خمسة أحواض بنسبة ٤١,٧% من إجمالي الأحواض بمنطقة الدراسة، وتمثل في أحواض (٤)،(٦)،(٧)،(٩)،(١٢)، ويرجع قلة خطورة هذه الأحواض إلى صغر مساحتها وقلة العرض الحوضي واستطالتها.

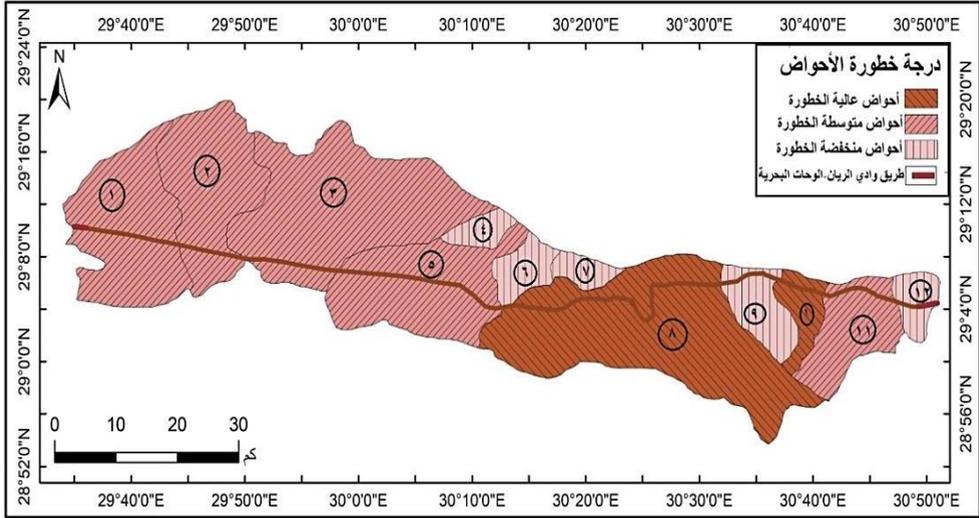
(١) يمكن حساب درجة خطورة الأحواض Hazard degree من خلال المعادلة التالية:-

$$4(X - X_{max})$$

$$(X_{min} - X_{max})$$

(Masoud, et al., 2024. p.21).

حيث تشير  $X$  قيمة المعامل المورفومتري لحوض التصريف  $X_{min}$  أقل قيمة للمعامل على مستوى الأحواض،  $X_{max}$  أكبر قيمة للمعامل في كل الأحواض،  $=4$  معامل ثابت، وتتراوح درجة الخطر من ١ (الأقل خطورة)، إلى ٥ (الأعلى خطورة) (Alqreai&Altuwajiri, 2023. p.9).



المصدر: اعتماداً على الجدول (١٠) .

شكل (٢٤) درجة خطورة أحواض التصريف بمنطقة الدراسة.

خامساً: التقييم الجيومورفولوجي للأخطار الطبيعية والمسار الأنسب للطريق.

يعد طريق وادي الريان - الواحات البحرية من الطرق الرئيسية التي تمثل شريان حيوي للحركة والنقل بمنطقة الدراسة إلا أنه معرض لمجموعة من الأخطار الطبيعية أهمها أخطار الزحف الرملي وأخطار الانهيارات الصخرية وأخطار السيول لذلك كان من الضروري التوجه نحو استخدام التقنيات الجغرافية الحديثة والتحليلات المكانية لتحديد مناطق الأخطار الطبيعية على طول مسار الطريق وتحديد القطاعات المهددة بهذه الأخطار مستقبلاً للحد من أخطارها.

وقد أتضح من تحليل جدول (١٠) درجات الخطورة على طريق وادي الريان - الواحات البحرية طبقاً لمجموعة من المعايير تأتي في مقدمتها أخطار الزحف الرملي على جانبي الطريق وأخطار السيول وتدفق المياه وتقاطعها على مسار الطريق، وكذلك التساقط الصخري، حيث يمر الطريق في مسارة بمجموعة من الأشكال الجيومورفولوجية التي تؤثر في سلامة الحركة على الطريق.

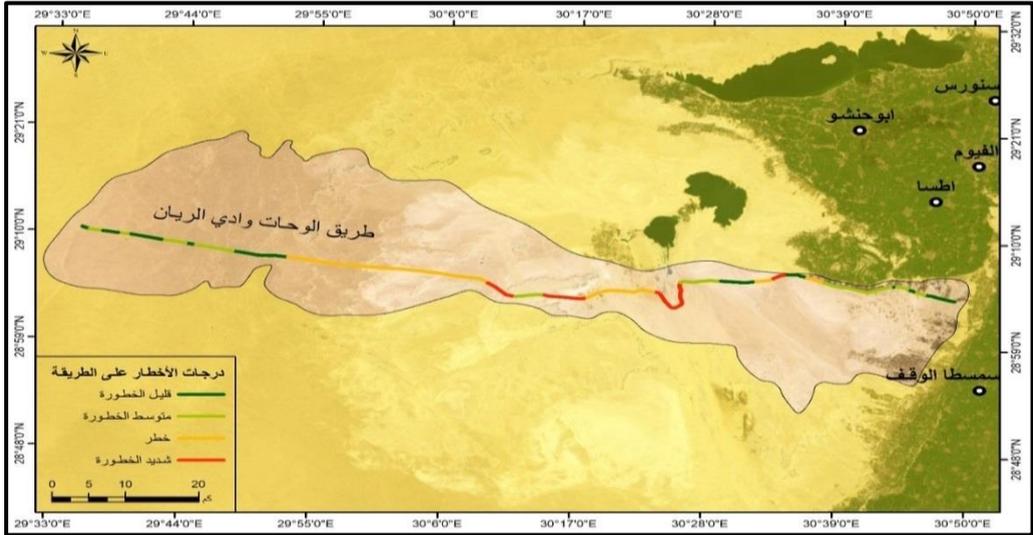
وقد تم تقسيم الطريق إلى أجزاء حسب درجة الخطر طبقاً لعدد المؤشرات التي تؤثر على الطريق ونسبتها من إجمالي طول الطريق كما يتضح في شكل (٢٥)، و جدول (١١)، فقد تباينت درجات الخطورة على طول محور الطريق فالأجزاء قليلة الخطورة بلغ مجموع أطوالها ١٦,٥ كم بنسبة

٢٠,٦% من إجمالي المسافة، في حين بلغ أطوال الأجزاء متوسطة الخطورة بـ ٢٢,٤ كم. من إجمالي طول الطريق البالغ ٨٠ كم، بنسبة ٢٨% من إجمالي المسافة. وبلغ أطوال الأجزاء ذات الخطورة العالية مسافة تقدر بحوالي ٢٨,٣ كم بنسبة ٣٥,٤% من إجمالي المسافة، أما الأجزاء ذات الخطورة الشديدة، فبلغ مجموع أطوالها ١٢,٨ كم بنسبة ١٦% من إجمالي المسافة، مما يشير إلى أهمية تبني استراتيجيات وتدابير للحد من هذه المخاطر وتحسين سلامة السير على الطريق وتحقيق الاستدامة في استخدامها.

#### جدول (١١) درجات الخطورة ومسافتها على طريق وادي الريان-الوحدات البحرية

النسبة %	المسافة كم	درجة الخطر
٢٠,٦	١٦,٥	قليل الخطورة
٢٨	٢٢,٤	متوسط الخطورة
٣٥,٤	٢٨,٣	خطر
١٦	١٢,٨	شديد الخطورة
١٠٠	٨٠	الإجمالي

المصدر: من عمل الباحثين اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة dem (٣٠م) وتحليل المرئيات الفضائية، Sentinel-2 ٢٠٢٣ والخرائط الطبوغرافية ١/٥٠,٠٠٠.

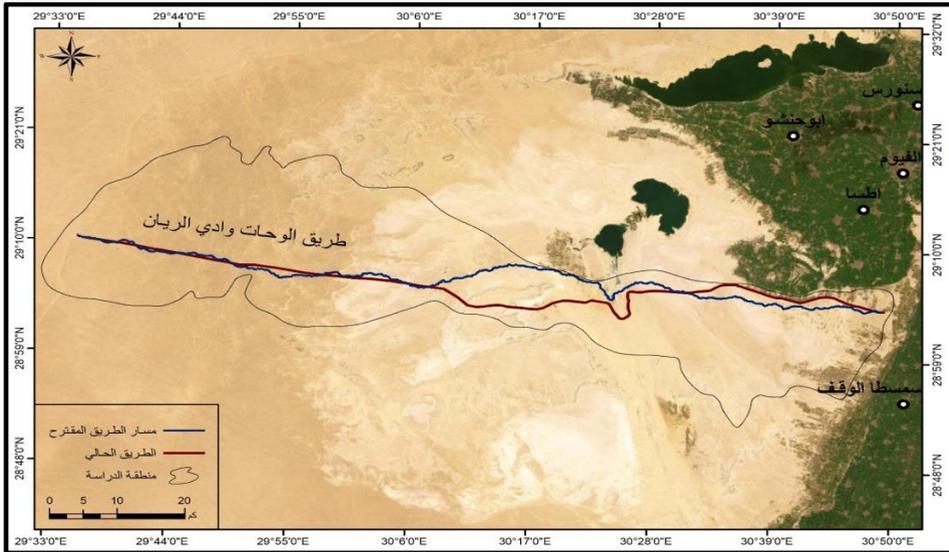


المصدر: من عمل الباحثين باستخدام برنامج Arcgis10.8 اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة dem (٣٠م)، والمرئيات الفضائية Sentinel-2 ٢٠٢٣، والخرائط الطبوغرافية ١/٥٠,٠٠٠. ١٩٨٩

#### شكل (٢٥) نطاقات درجات الأخطار التي تؤثر على طريق وادي الريان-الوحدات البحرية

وقد اعتمد البحث على مجموعة من الأدوات للتعرف على أفضل مسار لطريق وادي الريان-الوحدات البحرية للحد من الأخطار الطبيعية، ومقارنته بالموضع الحالي للطريق طبقاً لتصميم نموذج

Gis model, وإعداد قاعدة البيانات وتمثلها تلك الطبقات اللازمة لإعداد النموذج model وفقاً لمجموعة من المتغيرات والمعايير أهمها درجة الانحدار والاشكال الجيومورفولوجية ونوعية التربة والخصائص الجيولوجية وغيرها, ثم قياس المسار الأنسب من Spatial analysis tools, ثم أداة حساب تكلفة المسافة (Cost Distance), وأداة تكلفة وصلة العودة (Cost Back link) وأداة تكلفة المسار (Cost Path), ثم تصميم خرائط slope من خلال قائمة surface و إجراء عملية Fil وتحويل الطبقات المستخدمة من Vector إلى Raster من خلال أداة Feature to Raster, وبعد ذلك معيار التصنيف والوصول للنتائج النهائية واستخلاص أنسب الأماكن واختيار أفضل مسار صحيح للطريق الرئيسي والذي يؤمن أقصر طول كلي لشبكة الطرق المجاورة, وتوفير أقل تكلفة للانشاء والحد من الأخطار الطبيعية المختلفة وذلك من خلال استخدام أداة Reclassify ومقارنته بالطريق الحالي والمعروض للأخطار الطبيعية, كما يتضح في شكل (٢٦).



المصدر: من عمل الباحثين باستخدام برنامج Arcgis10.8 اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة dem

(٣٠م), والمرئيات الفضائية Sentinel-2, ٢٠٢٣, والخرائط الطبوغرافية ١/٥٠,٠٠٠, ١٩٨٩

شكل (٢٦) الملاءمة المكانية لاختيار المسار الأنسب لطريق وادي الريان- الودحات البحرية.

## سادساً: طرق الحماية وبعض الحلول والمقترحات.

## أ-الوسائل المقترحة لمواجهة حركة الرمال.

١-وضع حواجز دفاعية من البراميل الفارغة أو الألواح الخشبية أو المعدنية أو حوائط حجرية وتقام بشكل عمودي على اتجاه الرياح لتقليل سرعتها وتجميع الرمال أمامها وخلفها أو بزوايا حادة لتغيير اتجاه سير الرياح.

٢-تغطية أسطح الرمال بتربة طفيلية وهي طريقة بسيطة وغير مكلفة وتتم في بعض المواضع الكئيبية على الطريق, بالإضافة إلى اكتساح الرمال ونقلها إلى أماكن بعيدة بشكل دوري في بعض المواضع التي تنشط بها حركة الرمال.

٣- تحويل الطريق إلى المسافات البينية بين الكثبان والتي تقع إلى الشمال أو الجنوب من الجزء التي طغت عليه الكثبان ثم العودة مرة أخرى إلى الطريق الأصلي عندما يتخطى الكثيب أو الكثبان الجزء الذي طغت عليه.

٤-وضع علامات إرشادية للحد من سرعة المركبات عند قطاعات الطريق التي تتعرض لخطورة زحف الرمال بدرجات خطرة ومتوسطة الخطورة بصفة خاصة عند المنحنيات على طول الطريق.

## ب-الوسائل المقترحة لمواجهة الانهيارات الصخرية:

١-الاستفادة من التقنيات الجغرافية الحديثة المتمثلة في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والدمج بينها وبين الدراسة الميدانية, وتوظيف صور الأقمار الصناعية لتحديد الأثار الجيومورفولوجية الناتجة عن انشاء الطريق لمعالجتها من خلال رسم خريطة لمناطق التصدعات والهبوط الأرضي لتصبح في متناول المخططين والمهندسين المهتمين بإنشاء المشروعات الهندسية والعمرائية للخروج بمجموعة من الحلول لمواجهة الأخطار الطبيعية على الطريق موضوع الدراسة.

٢-الالتزام بالمقاييس العالمية في تصميم نطاق الأمان حول الطريق وعمل خرائط أحزمة الأمان والخطورة ودرجاتها حول الحافات الشديدة الانحدار على جانبي الطريق(الكياي), وآخرون, ٢٠١٨, ص (٢٤٤).

٣-وضع دعائم خرسانية عند أقدام المنحدرات على جانبي الطريق لتخفيف تأثير الذبذبات الناجمة عن حركة النقل الثقيل في الاجزاء المتاخمة للحافة الجبلية والناتجة عن عمل كسارات الجبال.

٤- إنشاء مجموعة من الجدران الصخرية والخرسانية الساندة لإجراء المعالجات في المناطق المعرضة للانهيارات الصخرية لتسهم في تدعيم الكتل الصخرية الآيلة للسقوط على جانبي الطريق.

٥- عمل حواجز مكعبة من الشبك المعدني على السطوح التي تتميز بنشاط عملية زحف الفتحات الصخرية وركام الهشيم، وتوضع هذه الحواجز في هرم مدرج لتحجز المواد الساقطة على مستويات مختلفة من الارتفاع (على، ٢٠٠٠، ص ٥٣).

٦- العمل على زيادة تلاحم وتماسك المواد المفككة، ومعالجة الشقوق والفواصل من خلال حقنها بمواد اسمنتية.

٧- تغيير أشكال وأبعاد المنحدرات من خلال تقليل درجات انحدارها بإزالة الفتحات الصخري والأحمال الزائدة حتى لا تكون عرضة لعمليات التساقط الصخري.

٥- إزالة المواد المفككة والتي تتمثل في ركام السفوح على جوانب الحافة المطلة على الطريق باستخدام البلدوزر أو تسويتها بجوار الحافة.

٨- توسيع الأماكن الضيقة وإزالة البروزات الشديدة من الطريق وعمل تفرعات جانبية له يمكن استخدام المركبات لها في الهروب عند حدوث الأخطار.

٩- العمل على تنظيم معدلات سحب المياه الجوفية والسوائل الأرضية لمنع حدوث عمليات هبوط أرضي شديدة في المناطق القريبة من الطريق.

١٠- إعداد دراسة جيدة للتربة في المناطق التي يمر بها الطريق ومعالجة الهبوط الذي يتحمل أن تتعرض له التربة.

### ج- الإجراءات التي يجب اتخاذها ضد خطر التجوية الملحية :

١- مراعاة جودة المواد المستخدمة عند انشاء الطرق حتى لا تتسرب المياه المالحة إلى البنية التحتية للطريق وبالتالي حدوث تآكل وهبوط وتقويض سفلي وانبعاجات ففي بعض مواضعه.

٢- وضع قطع صخرية صلبة ذات أحجام منتظمة يتراوح قطرها من ٢,٥ - ٥ سم مختلطة مع مواد رابطة أو لاحمة على صخور الأساس عند انشاء الطرق، و لامتصاص الذبذبات حتى يصبح السطح مرناً ويمتص الاهتزازات الشديدة وبالتالي عدم تشققه أو هبوطه نتيجة تأثره بالتجوية الملحية.

٣- مراعاة وضع الأحمال والكثافات المرورية في الاعتبار عند انشاء الطريق.

٤- القيام بالكشف الدوري على جودة الطريق ومدى تأثره بخطر التجوية الملحية ومعالجتها في المراحل الأولى للخطر.

٥- الاهتمام بجودة تنفيذ الطرق والاستعانة بأفضل الخبرات في مجال الطريق قبل التخطيط لإنشائها.

#### د- الإجراءات التي يجب اتخاذها ضد أخطار الجريان السيلبي.

١- انشاء مجموعة من السدود وفقاً لعدة معايير منها قدرة التحمل وطبوغرافية موقع السد ومراعاة حجم الجريان ويوجد نوعان من السدود أولهما سدود الأعاقبة المتعاقبة ويتم تصميمها على طول مجاري روافد الأودية تبني من أحد روافد المجرى بحيث لاتصل للجانب الآخر وذلك بالتبادل بين الجانبين مما يؤدي إلى جريان مائي بطيء ويتراوح ارتفاعها من متر إلى مترين (الشامي، ١٩٩٥، ص ٧٠)، وثانيهما السدود الحجرية التي تنشأ في الأجزاء الضيقة من الأودية للتحكم في الجريان والحد من سرعة المياه اثناء حدوث الجريان السيلبي.

٢- إقامة السدود الترابية على طول مجاري الروافد الثانوية والرئيسية التي تلتقي بالوادي الرئيسي وتغذيه بمياه الجريان مما يسهل منع تزايد قوة المياه وطاقاتها والتحكم في الخصائص الهيدرولوجية للأحواض، وتستخدم المواد المفككة المتوافرة بكميات كبيرة في قيعان الأودية في بناء هذه السدود دون استخدام أي مادة لاحمة كالأسمنت.

٣- حفر قنوات ومجاري طولية بموازاة الطريق حتى لاتصل المياه إلى الطريق في حالة فيضان المياه من المجاري المبطنة.

#### الخاتمة.

١. تتمثل الأخطار الطبيعية في منطقة الدراسة في حركة الرمال وأخطار الانهيارات الصخرية، وأخطار التجوية الملحية، والأخطار المحتملة عن شبكات أحواض التصريف، وهذه الأخطار لا يمكن تجنبها ولكن نستطيع العمل على التقليل من أضرارها من خلال تحديد نوعها، وموقعها، وحجمها المتوقع، ودراسة أسبابها؛ ومن ثم بحث الأساليب والتقنيات الحديثة لمواجهتها.

٢. تعد الرياح الشمالية والشمالية الغربية هي السائدة طول العام، وهذه الرياح هي المسؤولة عن تكوين وحركة الرمال بأشكالها المختلفة بمنطقة الدراسة.

٣. تعد الأشكال الرملية بأنماطها المختلفة من أهم ملامح السطح المميزة لمنطقة الدراسة، حيث تكونت في ظل ظروف بيئية متعددة توافرت جميعها في المنطقة، أهمها توافر مصادر الرمال المكونة للكثبان، والمناخ الجاف، وتعدد نظم الرياح السائدة، وطبيعة التضاريس المحلية.

٤. تؤثر حركة الرمال بمنطقة الدراسة على الطريق موضوع الدراسة.

٥. وجود ارتباط وثيق بين العوامل المؤثرة في نشأة الأشكال الرملية بمنطقة الدراسة ومعدلات حركتها على الطريق.
٦. تنوع العوامل والعمليات المؤثرة على الانهيارات الصخرية وتتمثل بشكل أساسي في العوامل الجيولوجية والمناخية والمنحدرات السطح وعمليات التجوية والغطاء النباتي.
٧. يحدث التساقط الصخري فوق المنحدرات الصخرية العارية شديدة الانحدار والتي يزيد انحدارها عن  $٤٠^\circ$  درجة، حيث تسقط الكتل الصخرية والمفتتات المتباينة الأحجام من مناطق الحافات الصخرية نحو أسفل المنحدر على جانبي الطريق بمنطقة الدراسة.
٨. يعد الانزلاق الصخري أحد مظاهر الانهيارات الأرضية بمنطقة الدراسة والذي يحدث في المنحدرات الصخرية الحادة لعدم استقرار كتل صخور القاعدة التي يكثر بها الشقوق والفواصل وباتجاهات مختلفة والتي تضعف من قوة الربط بين جزئيات الصخر بزيادة وزنها فتفصل وتنزلق أسفل المنحدرات بفعل الجاذبية الأرضية.
٩. تعد حركة المواد المفككة فوق المنحدرات من أكثر الأخطار الطبيعية شيوعاً وخطورة في الأراضي الجافة، وتشير إلى مجمل عمليات نقل المواد الصخرية باختلاف أنواعها من الجلاميد والكتل الصخرية وركام المهشيم.
١٠. تساهم عملية التجوية الملحية في هبوط الطريق وتشققه واتساع هذه الشقوق، وحدوث تنهدات في الطريق، نتيجة لزيادة معدلات التبخر مع ارتفاع درجة الحرارة التي تعمل بدورها على زيادة معدلات تبخر المياه الصاعدة من أسفل الطريق بالخاصة الشعرية لتبقى الأملاح متراكمة داخل الشقوق والمفاصل الموجودة في طبقة البيتومين.
١١. ختمت الدراسة بمجموعة من الوسائل والحلول التي يمكن الاستفادة منها لمواجهة الأخطار الطبيعية على طريق وادي الريان-الوحدات البحرية أهمها استخدام التقنيات الجغرافية الحديثة في التقييم الجيومورفولوجي للطريق وتحديد الآثار الجيومورفولوجية الناتجة عن انشاءه .

## المصادر والمراجع.

## ■ المصادر:

١. الخرائط الطبوغرافية مقياس ١:١٠٠,٠٠٠, إصدار هيئة المساحة العسكرية المصرية, ١٩٨٤.
٢. الخرائط الطبوغرافية مقياس ١: ٥٠,٠٠٠ إنتاج الهيئة المصرية للمساحة بالتعاون مع الوكالة الفنلندية للتنمية الدولية, طبعة ١٩٨٩
٣. الأطلس الجيولوجي لشمال الصحراء الغربية ١/٥٠٠,٠٠٠ عام ٢٠٠٥.
٤. الخريطة الجيولوجية مقياس ١ : ١٠٠,٠٠٠ إصدار المساحة الجيولوجية لوحدة بني سويف، لوحة درب عسعس, ٢٠٠٨.
٥. الهيئة المصرية العامة للبتترول, الخريطة الجيولوجية التي أصدرتها شركة كونكو كورال, ١/٥٠٠,٠٠٠ لوحة بني سويف, لوحة الوحدات البحرية ١٩٨٧.
٦. خرائط التربة من بوابة USGS وFAO مقياس ١ : ٥٠٠٠٠٠
٧. المرئيات الفضائية للقمر الصناعي Landsat-8 بدقة مكانية ٣٠ متراً، والقمر الصناعي Sentinel-2 بدقة مكانية ١٠ متراً
٨. نموذج الارتفاع الرقمي بدقة مكانية ٣٠ متراً، SRTM.
٩. خدمة الصور عالية الدقة Service imagery، بدقة ٥٠ سم، شركة ESRI.
١٠. الهيئة العامة للأرصاد الجوية المصرية: المعدلات المناخية لمحطات الأرصاد الجوية: تقارير غير منشورة من الفترة ١٩٧٠-٢٠٠٠، القاهرة .
١١. سيريل س فوكس، تقرير عن الظواهر الجيولوجية لمشروع وادي الريان، هيئة المساحة الجيولوجية , ١٩٥٩.
١٢. طاهر الحديدي، تقرير عن جيولوجية منطقة الفيوم ووادي الريان بالصحراء الغربية, ١٩٥١.

## ■ المراجع العربية:

١. أبوراضي، فتحى عبد العزيز(٢٠٠٦): الأصول العامة في الجيومورفولوجية علم دراسة يابس سطح الأرض (المناهج والأساليب, الجيومورفولوجيا, الإقليمية والتطبيقية)، الجزء الثاني، دار المعرفة الجامعية، الاسكندرية.
٢. أبورية، أحمد محمد(٢٠١٦): الاخطار الجيومورفولوجية في البر الغربي لمدينة الأقصر باستخدام التقنيات الجغرافية الحديثة، مجلة كلية الآداب , جامعة الفيوم، المجلد ٨، العدد ١٣ .

٣. التركماني، جودة فتحي (١٩٩٨): جيومورفولوجية أودية جبال الجزء الأوسط بمهضبة نجد، مجلة الانسانيات، كلية آداب دمنهور، جامعة الاسكندرية، العدد الأول.
٤. التركماني، \_\_\_\_\_ (٢٠٠٨): الجغرافيا التطبيقية أسس ومجالات وتطبيقات، الطبعة الثالثة، دار الثقافة العربية، القاهرة.
٥. الطحلاوي، محمد رجائي، أحمد، سامح سعد الدين (٢٠٠٤): مقدمة في الجيولوجيا العامة والهندسية"، مكتبة كلية الهندسة، جامعة أسيوط، العدد ٤٨.
٦. السلاوي، محمود سعيد (١٩٨٩) : هيدرولوجية المياه السطحية، الدار الجماهيرية للنشر والتوزيع والإعلان ، طرابلس.
٧. السعدي، عادل عبد المنعم (٢٠١٤): الأخطار الطبيعية على القطاع الجنوبي الغربي من طريق رأس سدر /صدر الحيطان ( دراسة جيومورفولوجية)،مجلة كلية الآداب والعلوم الإنسانية، - كلية الآداب والعلوم الإنسانية بالاسماعيلية، جامعة قناة السويس، العدد ٩.
٨. الكيالي، مني عبدالرحمن وآخرون (٢٠١٨): أخطار حركة السقوط الصخري وأثرها على الطريق الساحلي في منطقة عين السخنة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن البعد، مجلة كلية الآداب، جامعة الزقازيق.
٩. الشامي، إبراهيم ذكريا (١٩٩٥): التحكم في السيول الاستفادة من مياهها ودرء أخطارها، بحوث ندوة المياه في الوطن العربي، الجمعية الجغرافية المصرية، المجلد الأول، القاهرة.
١٠. اللهبي، احمد فليح، (٢٠١٩): تحليل جيومورفولوجي لمخاطر الأنزلاقات الأرضية على طريق خدران الجبلي شمالي العراق، مجلة مداد الآداب، عدد خاص.
١١. خضر، محمود محمد (١٩٩٧): الأخطار الجيومورفولوجية الرئيسية في مصر، مع التركيز على السيول في بعض مناطق وادي النيل، رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية الآداب ، جامعة عين شمس، القاهرة.
١٢. دسوقي، صابر أمين (١٩٩٠) : تحليل سفوح الجزء الأدنى من وادي الرشراش بالصحراء الشرقية، المجلة الجغرافية العربية تصدر عن الجمعية الجغرافية المصرية، العدد (٢٢)، القاهرة.
١٣. دندراوي. محمد الراوي، عبد الهادي، ناصر عبد الستار (٢٠٢٢): جيومورفولوجية البرك الملحية ( الخفوج) بمنطقة غرب شمالوط وأهميتها التطبيقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، مجلة كلية الآداب ، جامعة الفيوم، المجلد ٢٢، العدد ٢.

١٤. حجاب، محمود احمد (٢٠١٣): حركة المواد على منحدرات الحافة الشرقية لوادي النيل فيما بين وادي الطارف جنوبا ووادي الاحايوه شمالا دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية، الإنسانيات دورية علمية محكمة تصدرها كلية الآداب، جامعة دمنهور، الاصدار الثالث الملحق بالعدد ٤١.
١٥. سلامة، حسن رمضان(١٩٨٢): الخصائص الشكلية ودلالاتها الجيومورفولوجية، نشرة دورية محكمة يصدرها قسم الجغرافيا بجامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية، العدد(٤٣) الكويت.
١٦. سليمان، محمد فؤاد عبدالعزيز (٢٠١٤): الأخطار الجيومورفولوجية للانهيارات الأرضية في منطقة الحرم المكي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، المجلة العلمية بكلية الآداب، جامعة طنطا عدد(٢٧) ، الجزء الأول، طنطا.
١٧. صالح، كريم مصلح(٢٠٠٠): الأخطار الطبيعية على الجانب الشرقي لوادي النيل بين أولاد يحي جنوباً والاسلاموني شمالاً بسوهاج ،مجلة كلية الآداب بسوهاج العدد الثالث والعشرون، الجزء الأول.
١٨. \_\_\_\_\_(٢٠١٠): الأشكال الرملية ومخاطرها بمنطقة الكوامل(سوهاج)، مجلة الجمعية الجغرافية المصرية ، العدد السادس والخمسون، الجزء الثاني.
١٩. متولي، منال سمير شلي،(٢٠١٧): تكامل بيانات المراجعة الحقلية ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في إنتاج خريطة المنحدرات وأخطارها شمال غرب ثنية قنا: دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية،المجلة الجغرافية العربية، العدد ٦٩
٢٠. محسوب، محمد صبري، وأرباب، محمد إبراهيم (١٩٩٨): الأخطار والكوارث الطبيعية الحدث والمواجهة " معالجة جغرافية " دار الفكر العربي ، القاهرة.
٢١. علي، أحمد عبدالسلام (٢٠٠٠): بعض الأخطار الطبيعية على في شمال سلطنة عمان - دراسة في الجيومورفولوجية التطبيقية نشرة قسم الجغرافيا، بجامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية ، الجزء الثاني ، العدد ٢٤٧ ، الكويت.
٢٢. مركز التنمية والتخطيط التكنولوجي،(١٩٨٨): حماية مدينة ١٥ مايو من السيول ، التقرير الأول ، جامعة القاهرة.
- المراجع غير العربية:

1. Abdelrahman, et al., (1980): Some Geomorphological Aspects of Siwa Region, Bull, Soc., Geog. , D'Egypt . Vol 53-54. PP.17-41.

2. **Adamou, M., et al., (2021):** Weathering profiles developed on gneisses from Batchenga and Doua areas, central Cameroon: Climate and topography controls, *Journal of African Earth Sciences* 184.
3. **Agrawal, N & Dixit, J., (2023):** GIS-based landslide susceptibility mapping of the Meghalaya–Shillong Plateau region using machine learning algorithms, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Volume 82, article number 170, (2023).
4. **Almeida, I, et al., (2014):** Estimation on Time of Concentration of Overland Flow in Watersheds: A Review, São Paulo, UNESP, *Geociências*, V. 33, N. 4, pp.661–671.
5. **AlMenoufy, S & Shreif, A, (2021):** Benthic foraminifera and biostratigraphy of the Middle–Upper Eocene transition at Wadi Hitan area, Fayum, Egypt, *Arabian Journal of Geosciences*.
6. **Alqreai, F & Altuwaijri, H, (2023):** Assessing the Hazard Degree of Wadi Malham Basin in Saudi Arabia and Its Impact on North Train Railway Infrastructure, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*
7. **Ardy, A & Archmad, M., (2023):** Landslide Susceptibility Mapping for Road Corridors Using Coupled InSAR and GIS Statistical Analysis, *Natural Hazards Review*, V. 24, Issue 3
8. **Berhane, G, et al., (2021):** Landslide susceptibility mapping and rock slope stability assessment using frequency ratio and kinematic analysis in the mountains of Mgulat area, Northern Ethiopia, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* Volume 80, Issue 1.
9. **Bogale, A., (2021):** Morphometric analysis of a drainage basin using geographical information system in Gilgel Abay watershed, Lake Tana

---

Basin, upper Blue Nile Basin, Ethiopia, Applied Water Science 11:122

<https://doi.org/10.1007/s13201-021-01447-9>

10. **Clarence, J. (1984):** Applied Stream Sanitation, Willey, Michigan
11. **El-Fakharany, M., et al., (2022):** Flash flood hazard assessment and prioritization of sub-watersheds in Heliopolis basin, East Cairo, Egypt., Arabian Journal of Geosciences (2021) 14: 1693.
12. **Gameil, M, et al., (2016):** Lithofacies and biofacies characteristics and whales skeletons distribution in the Eocene rock units of Fayoum Area, Egypt Journal of African Earth Sciences 116.
13. **Gelybó, G, et al., (2022):** Effect of tillage and crop type on soil respiration in a long-term field experiment on chernozem soil under temperate climate, Soil and Tillage Research, Open Access, V. 216.
14. **Hagos, Y, et al., (2022):** Flood hazard assessment and mapping using GIS integrated with multi-criteria decision analysis in upper Awash River basin, Ethiopia, Applied Water Science (2022) 12:148  
<https://doi.org/10.1007/s13201-022-01674-8>
15. **Holmes, A., (1992):** principle of Physical Geology, 4th., Edition, Chapman's Hall, London.
16. **Huqqani, I., et al (2022):** Modeling of Landslide Susceptibility Mapping Using State-Of-Art Machine Learning Models, 8th International Conference on Engineering and Emerging Technologies, ICEET 2022 2022 8th.
17. **Kefi, et al, (2020):** Analysis of food damage and influencing factors in urban catchments: case studies in Manila, Philippines, and Jakarta, Indonesia, Natural Hazards (2020) 104:2461–2487.

18. **Khanna,R&Dubey, R,(2021):** Comparative assessment of slope stability along road-cuts through rock slope classification systems in Kullu Himalayas,Himachal Pradesh, India, Bulletin of Engineering Geology and the Environment (2021) 80:993–1017.
19. **Kusky,T,et al.,(2011):**Structural and Tectonic Evolution of El-Faiyum Depression, North Western Desert, Egypt Based on Analysis of Landsat ETM+, and SRTM Data, Journal of Earth Science, Vol. 22, No. 1, p. 75–100.
20. **Lalduhawma,K,et al,(2018):** GIS-based morphometric analysis of sub-watersheds at Tut river basin, Mizoram, Advances in Engineering Research, volume 178 87, Mizoram Science Congress 2018.
21. **Luu,Ch,et al., (2021):** Flash flood and landslide susceptibility analysis for a mountainous roadway in Vietnam using spatial modeling, Quaternary Science Advances,Volume 11.
22. **Mahala,A.,(2020):** The significance of morphometric analysis to understand the hydrological and morphological characteristics in two different morpho-climatic settings, Applied Water Science .
23. **Makrari.Sh .,et al.,(2022):**Assessment of the geomorphic indices in relation to tectonics along selected sectors of Borpani River Basin, Assam using Cartosat DEM data, Geosystems and Geoenvironment 1.
24. **Masoud,et al.,(2024):** Flash food prediction in Southwest Saudi Arabia using GIS technique and surface water models, Applied Water Science (2024) 14:61 <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02117-2>
25. **Parise,M.,(2022):** Sinkholes, Subsidence and Related Mass Movements, Treatise on Geomorphology (Second Edition,Volume 5.

- 
26. **Pinto,L,et al.,(2008)**: A Neogene giant landslide in Tarapacá, northern Chile: A signal of instability of the westernmost Altiplano and palaeoseismicity effects, *Geomorphology* 102.
27. **Qu Sun,Sh,et al.,(2017)**:Rockfall Hazard Assessment on Wangxia Rock Mass In Wushan (Chongqing, China),*Geotech Geol Eng* (2017)35:1895–1905,DOI 10.1007/s10706-017-0203-2.
28. **Sazid, M., (2019)**: Analysis of rockfall hazards along NH-15: a case study of Al-Hada road, *International Journal of Geo- engineering*, <https://doi.org/10.1186/s40703-019-0097-3>
29. **Senanayake ,I,et al.,(2024)**: Prediction of rockfall hazard in open pit mines using a regression based machine learning model, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences journal* homepage: [www.elsevier.com/locate/ijrmms](http://www.elsevier.com/locate/ijrmms).
30. **Shekar ,P& Mathew,A,(2024)**: Morphometric analysis of watersheds: A comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques, *Watershed Ecology and the Environment journal*.
31. **Skinner , B & Porter,S,.(1987)**:*Physical Geology* , John-wiley & Sons ,Newyork.
32. **Sultan,D, et al., (2022)**: Evaluation of lag time and time of concentration estimation methods in small tropical watersheds in Ethiopia, *Journal of Hydrology: Regional Studies* 40 .
33. **Taloor,A,et.al.,(2021)**: Retrieval of land surface temperature, normalized difference moisture index, normalized difference water index of the Ravi basin using Landsat data, *Applied Computing and Geosciences*,Volume 9,

34. **Tangjin, Y, et al.,(2023)**: Simulation analysis of rockfall movement characteristics with debris slope using Unity3D based on UAV remote sensing DSM: a case study of the G318 Highway on the Tibetan Plateau, Environmental Informatics and Remote Sensing Volume 11 - 2023 | <https://doi.org/10.3389/fenv.2023.1221915>.
35. **Van Meter, K & Basu, N.,(2017)**: Time lags in watershed-scale nutrient transport: an exploration of dominant controls, Environ. Res. Lett. 12 084017.
36. **Yao, Y, et al.,(2021)**: Soil salinization monitoring in the Werigan-Kuqa Oasis, China, based on a Three-Dimensional Feature Space Model with Machine Learning Algorithm. Remote Sensing Letters, 12
37. **Yingbin, Z., et al.,(2012)**: Numerical Simulation of Seismic Slope Stability Analysis Based on Tension-Shear Failure Mechanism, Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS&AGSSEA Vol.43.
38. **Young ,A.,(1972)**: Slopes , Oliver and Boyd ,Edinburgh.
39. **Youssef, A., & Maerz, N.,(2009)**: Slope Stability Hazard Assessment and Mitigation Methodology along Eastern Desert Aswan-Cairo Highway, Egypt, Journal of King Abdulaziz University, Earth Sciences <https://spc.kau.edu.sa/Content-320-EN-2732>.
40. **Youssef, M, A.,(2016)**: Landslide susceptibility mapping using random forest, boosted regression tree, classification and regression tree, and general linear models and comparison of their performance at Wadi Tayyah Basin, Asir Region, Saudi Arabia, Landslides (2016) V 13: P.P, 839-856

- 
41. **Zalat,A.,(1995):** Calcareous nannoplankton and diatoms from the Eocene/Pliocene sediments, Fayoum depression, Egypt, journal OfAfrican Earth Sciences. Vol. 70, Nos 3-4
42. **Zhang, Y.,et al.,(2023):** Risk assessment of roadway networks exposed to landslides in mountainous regions—a case study in Fengjie County, China, Landslides, Volume 20, Issue 7, Pages 1419 - 143
43. **Zhao,J,et al.,:(2023:** Interaction dynamics of multiple ecosystem services and abrupt changes of landscape patterns linked with watershed ecosystem regime shifts, Ecological Indicators 150.
44. **Zheng,X,(2009):**Mechanics of Wind-blown Sand Movements ,Springer Science &Business Media,p.309.