	Sana'a University Journal of Human Sciences	مجلة جامعة صنعاء للعلوم الإنسانية
	Vol. 2 | No. 2 | Page 267 – 284 | 2023 |	https://jpurnals.su.edu.ye/jhs

التحليل المكاني لتأثير المنحدرات على طريق صنعاء – الحديدة

Spatial Analysis of the Impact of the Slopes on the Sana'a-Hodeida Road

حفيظة عبدالله علي قاسم

باحث – كلية الآداب والعلوم الإنسانية

جامعة صنعاء – اليمن

Hafida Abdulla Ali Qassim

Researcher - Faculty of Arts *and Humanities – Sana 'a University – Yémen*

ISSN : 2958-8677

الملخص:

يهدف هذا البحث إلى عمل خريطة رقمية لمستويات تأثير المنحدرات على الأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة والمتمثلة بتأثير الانهيارات الأرضية وتأثير السيول، لأنها تعد بيئة مناسبة لحدوثها بفعل عدد من القوى، والتي تؤدي إلى تضرر الطريق خاصة أثناء فترة سقوط الأمطار وخروجه عن الخدمة لبعض الوقت، وذلك من خلال تحليل الخصائص الطبيعية للطريق ومن ثم تحليل عناصر المنحدرات الواقع عليها وصولاً إلى عمل نموذج مكاني(Spatial Modeling) خاص بإنتاج خريطة مستويات تأثير المنحدرات على الأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة باستخدام طريقة المطابقة الموزونة (Weighed Overlay)، وذلك بالاعتماد على أربعة عوامل أو معايير تضم عناصر المنحدر وهي (درجة الانحدار، اتجاه الانحدار، شكل المنحدر وسرعة الجريان السطحي)، وعليه قسم هذا البحث مستويات خطورة المنحدرات على الأجزاء التي يمر عليها الطريق إلى خمسة مستويات وهي: مستويات الخطورة العالية والعالية جداً بنسبة بلغت (36.6%) من إجمالي طول الطريق، والمستوى متوسطة الخطورة والمستوى شبة المستوي (الأمنة) والأمنة جداً بنسبة (37.0%، 26.4%) على التوالي من إجمالي طول الطريق.

الكلمات المفتاحية:

النموذج المكاني – المطابقة الموزونة – مستويات الخطورة.

Abstract

This research aims at making a digital map of the levels of impact of slopes on the parts of the Sana'a-Hodeida Road, which are represented by the impact of landslides and the impact of torrents, because it is a suitable environment for a number of forces to occur, which cause damage to the road, especially during the period of rainfall and decommissioning for some time. The study analyzes the natural characteristics of the road, and then it analyzes the elements of the slopes on which it is located in order to make a Spatial Modeling of producing a map of the levels of impact of the slopes on the parts of the Sana'a-Hodeida Road. The (Weighed Overlay) method will be used, based on four factors or criteria comprising the elements of slope (slope degree, slope direction, slope shape and runoff velocity). Accordingly, this research divided the risk levels of slopes on the parts of the road to five levels, as follows: High and very high-risk levels (36.6%) of the total length of the road, medium risk level and semi-level (safe) and very safe level (37.0%, 26.4%), respectively of the total length of the road.

Keywords: Spatial Modeling - Weighted overlay - Risk Levels.

المقدمة:

تعد المنحدرات من أهم الأنظمة الجيومورفولوجية لأنها النظام الأكثر حساسية لأي تغيرات بيئية، وهي تعكس الخصائص الجيولوجية والعوامل المناخية والمائية (التوم، 2004، ص60)، ويعرف المنحدر بأنه سطح من الأرض ينحدر عن المستوى الافقي لسطحها بدرجة لا تزيد عن (40°)، وإذا ما زاد عن ذلك أصبح حافةً (Scarp) أو جرفاً (Cliff) (أبو

العينين، 1995، ص340)، وتعد المنحدرات الواقع عليها الطرق بيئة مناسبة لحركة المواد عليها بمساعدة عدد من القوى كالارتفاع العالي والانحدارات الجرفية وانتشار الصدوع وكثافة الفواصل والجاذبية الأرضية، مما يجعلها معرضة للخطر بشكل مستمر خاصة في أثناء سقوط الأمطار والتي تسهل من حركة المواد على المنحدرات وتزيد من سرعة جريان المياه عليها كلما زاد انحدارها، وقد تناول هذا البحث تأثير المنحدرات على الأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة والذي يعد الطريق الرئيس لليمن لارتباطه بميناء الحديدة، ولأهمية هذا الطريق الاستراتيجية والإنسانية كان لابد من دراسة التأثيرات عليه لتجنب المخاطر قدر الإمكان من خلال تحليل عناصر المنحدرات الواقع عليها الطريق عن طريق بناء نموذج مكاني (Spatial Modeling) واستخدام طريقة المطابقة الموزونة (Weighed Overlay)، وصولا إلى عمل خريطة مستويات خطورة المنحدرات على الأجزاء التي يمر عليها الطريق.

مشكلة البحث وأهدافه

يمتد معظم طريق صنعاء – الحديدة ضمن المرتفعات الجبلية الغربية ذات الانحدارات العالية؛ وعليه فأن الطريق يتعرض لظاهرة الانهيارات الأرضية وتأثير السيول أثناء سقوط الأمطار جراء تأثير تلك الانحدارات مما يؤدي إلى تضرره ومما قد يترتب عليه توقف حركة النقل، وقد تودي بحياة المسافرين أو مركباتهم أثناء سقوطها، كما أنها تعمل عائق في نقل البضائع وتأخر وصولها مما قد يؤدي إلى فسادها خاصة الخضروات والفواكه والاسماك، وأيضاً تكلف الدولة مبالغ عالية جراء إعادة صيانته بسبب ما خلفته تلك المواد المنهارة من أضرار.

وعليه يهدف هذا البحث إلى عمل خريطة مستويات تأثير المنحدرات على الأجزاء التي يمر عليها الطريق من خلال دراسة خصائصه الطبيعية وعن طريق تحليل زوايا المنحدرات واتجاهات المنحدرات ودرجة تقوسها وسرعة الجريان السطحي للأجزاء الوقع عليها الطريق من خلال بناء نموذج مكاني واستخدام طريقة المطابقة الموزونة لعمل خريطة مستويات خطورة المنحدرات على الأجزاء التي يمر عليها الطريق.

منهج البحث والبيانات المستخدمة فيه:

أعتمد هذا البحث على المنهج التحليلي لتحليل البيانات التي تم الحصول عليها من مصادرها المتعددة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS v.10.8) والاستشعار عن بعد (RS)، وتتمثل تلك البيانات في الآتي:

أ- **الصور الفضائية:** وتشمل (DEM-12.5m و Landsat 8 30m).

ب- **الخرائط:** وتشمل الجيولوجية، الطبوغرافية، التربة والغطاء النباتي.

ج- **بيانات: Shapefile** وتشمل بيانات توزيع القرى والتجمعات السكانية، التقسيم الإداري والبيانات المناخية.

د- **الدراسة الميدانية** تم فيها أخذ قياسات للمنحدرات، للشقوق والفواصل واتجاهاتها وكثافتها ولمجاري الأودية.

موقع طريق صنعاء – الحديدة:

يمتد طريق صـنعاء – الحديدة ضـمن المرتفعات الغربية لليمن ثم يمر بسـهل تهامة على ارتفاعات تتراوح ما بين (3000–20) متر بين خطي طول (″0 ′10 °44 – ″0 ′0 °43) شـرقاً وبين دائرتي عرض (″0 ′48 °14 – ″0 ′21 °15) شمالاً خريطة (1). بينما يمر الطريق إدارياً ضـمن مديرية معين (محافظة الأمانة) ومديريات بني مطر، الحيمة الخارجية، مناخة وصـعفان (محافظة صـنعاء) ومديرية بني سـعد (محافظة المحويت) ومديريات الضـحى، باجل والمراوعة (محافظة الحديدة) بمسـافة (202.1) كم (قاعدة بيانات الجهاز المركزي للإحصاء،2004).

خريطة (1): موقع طريق صنعاء – الحديدة

المصـدر: عمل الباحثة اعتمادا على قاعدة بيانات الجهاز المركزي للإحصـاء، 2004، باسـتخدام برنامج (ArcGIS v.10.8).

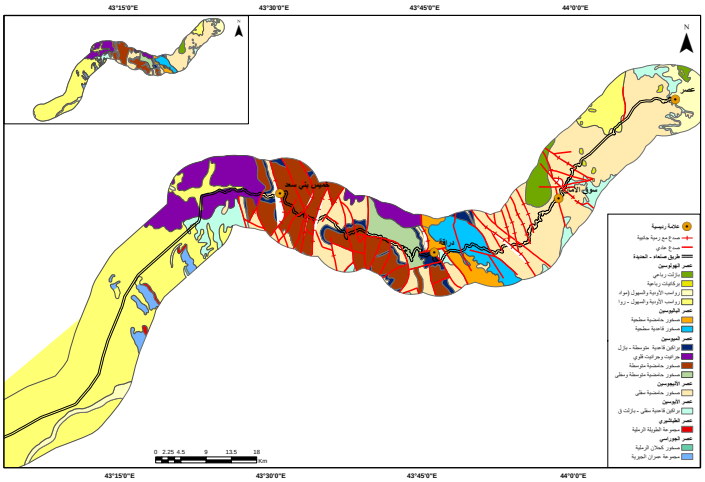
الخصائص الطبيعية لطريق صنعاء – الحديدة

ترتبط جيولوجية اليمن وشـبة الجزيرة العربية بالتركيب الإقليمي للدرع العربي – النوبي، وكذلك الصفيحة العربية؛ وعليه تأثرت الأجزاء التي يمر عليها طريق صـنعاء – الحديدة بالتطورات المختلفة التي تعرضـت لها خلال العصـور الجيولوجية المتعاقبة، وخاصـة تلك الأحداث المتعلقة بانفلاق البحر الأحمر وبالتطور الخسـفي لخليج عدن، ويظهر ذلك جليا من خلال ملاحظة الصـدوع والفوالق والشـقوق التي أثرت عليه والتي غالبا تكون اتجاهاتها موازية للإتجاه العام لانفتـاح البحر الأحمر أو خليج عـدن كمـا تنوعـت التكوينات الصـخرية التي تمرها عليها تلك الأجزاء (السامعي، 2010، ص35 ,Mattash and Buda 1994, p18;).

وبناءً على تلك الاحداث فأن الأجزاء التي يمر عليها طريق صـنعاء – الحديدة تحتوي على عدد كبير من الصـدوع وقد بلغ مجموعها (41) صـدعاً، بنوعين صـدوع عادية وصـدوع مع رمية جانبية، وتتباين في اتجاهاتها وأطوالها، وكذلك في مقدار رمياتها، وكثافة توزيعهـا خريطـة (2)، وقـد بلغ مجموع أطوالهـا (252.0) كم، ويكثر تواجد الصدوع على الطريق بداءً من بعد متنه حتى خميس بني سـعد أي في الأجزاء الوسـطى منه والتي تمر على المرتفعات لجبلية العالية لجبال بني مطر وجبال حراز والتي تأثرت بانفتاح البحر الأحمر بشـكل أكبر لقربها منه كما تأثرت بأخدود خليج عدن في الزمن الجيولوجي الثالث، حيث تظهر الصـدوع موازية للبحر الأحمر، والبعض الآخر موازياً لخليج عدن (قاسـم، 2020، ص27)، أما التكوينات الصـخرية للأجزاء التي يمر عليها طريق صـنعاء– الحديدة فيعود معظمها إلى حقبة الحياة الحديثة بعصـريها الثلاثي والرباعي بنسـبة بلغت (99.36%) من إجمالي طول الطريق، وأيضـاً إلى

حقبة الحياة المتوسطة (الجوراسي والطباشيري) بنسبة قليلة جداً بلغت (0.64%) من إجمالي طول الطريق خريطة (2).

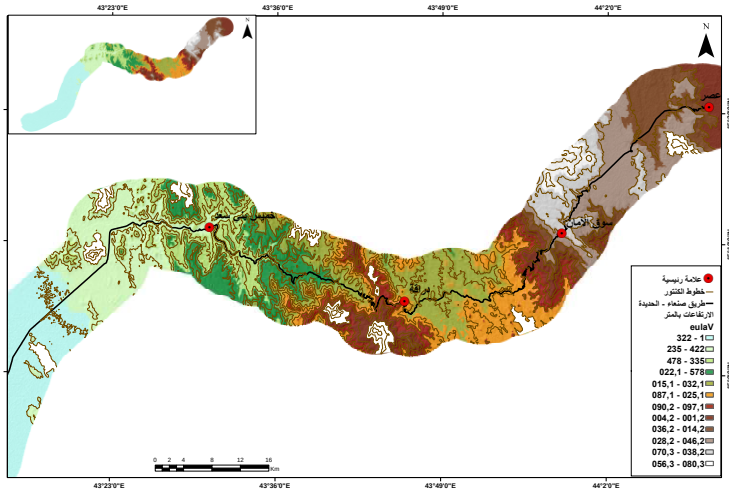
خريطة (2): جيولوجية الأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة



المصـــــدر: عمل الباحثة اعتماداً على الخريطة الجيولوجية بمقياس 1: 250000 (1991، Sheet Sana'a and Al Hudaydah، Hannover)، باستخدام برنامج (ArcGIS v.10.8).

يمتد طريق صـــنعاء – الحديدة ضـــمن اقليم المرتفعات الغربية لليمن وأيضاً إقليم سهل تهامة حسب تقسيم آغا والذي قسم المحافظات الشمالية من اليمن إلى خمسة أقاليم تضاريسية (إغا، 1983، ص53)، وعليه تتميز الأجزاء التي يمر عليها الطريق بتفاوت كبير في طبوغرافيتها بين المناطق ذات الارتفاعات العالية حيث إقليم المرتفعات الغربية والمناطق المنخفضـــة حيث إقليم ســـهل تهامة، وقد بلغ أعلى ارتفاع مر علية الطريق (2900) متر في سوق الأمان (مديرية بني مطر)، بينما بلغ أدنى ارتفاع (20) متر في مدينة الحديدة، ويحتوي الطريق على العديد من التعرجات (الانحناءات) والتي يرجع ســببها إلى وعورة الأجزاء التي يمر عليها الطريق، بالإضافة إلى تقاطعه مع العديد من الأودية والبعض منها يسير على امتداد جوانبها مثل وادي القليد، ووادي شـــذب، ووادي اريد، ووادي عاصـــم ووادي القصـــبة مما زاد من انحناءات الطريق لمسايرته لمجاري الأودية وأيضاً وادي ضيق الأعوام ووادي الخبا وادي ســـردود، ووادي البداحة ووادي ناقة.

خريطة (3): تضاريس الأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة



المصـــــدر: عمل الباحثة اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM-12.5m)، باســـتخدام برنامج (ArcGIS v.10.8).

وبناءً على تنوع الارتفاعات الأجزاء التي يمر عليها طريق صـــنعاء – الحديدة تنوع المناخ ما بين مناخ المناطق المرتفعة في جزئه الشـــرقي ومناخ المناطق الســـاحلية في جزئه الغربي حيث تنخفض درجة الحرارة وترتفع كمية الأمطار في الأجزاء الشرقية منـــه وعلى العكس من ذلـك ترتفع درجـة الحرارة

وتنخفض كمية الأمطار في الأجزاء الغربية منه، وقد بلغ المعدل السنوي العام لدرجات الحرارة في تلك الأجزاء خلال الفترة الممتدة من (1979– 2020)[1] حوالي (24.1°)، ومعدل الأمطار (1.60) ملم، أما سرعة الرياح فهي خفيفة بشكل عام والتي ترجع لطبوغرافية الأجزاء التي يمر عليها الطريق وقد بلغ المعدل العام لسرعتها (0.66م/ث) خلال نفس الفترة جدول (1).

جدول (1): معدلات درجة الحرارة وكمية الأمطار وسرعة الرياح للأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة

رقم	المحطة	الفترة	ارتفاع المحطة (بالمتر)	احداثيات المحطات		المعدل السنوي لكل محطة		
				دائرة عرض	خط طول	الحرارة (درجة مئوية)	الأمطار (ملم)	سرعة الرياح (م/ث)
1	الكدن	1979–2020	190	15.25	43.25	28.7	1.4	0.6
2	وادي ملح	1979–2020	800	15.25	43.5	25.0	2.6	0.2
3	جبل بني أحمد	1979–2020	1200	15.25	43.75	20.8	3.7	0.2
4	سوق الأمان	1979–2020	2920	15.25	44	18.4	3.2	0.3
5	جبل الكولة	1979–2020	2560	15.25	44.25	18.1	1.0	0.6
6	باجل	1979–2020	30	15	43	30.4	0.5	1.7
7	الجر	1979–2020	150	15	43.25	29.7	1.0	0.7
8	وادي سهام	1979–2020	440	15	43.5	26.8	1.6	0.2
9	مناخة	1979–2020	1600	15	43.75	23.5	1.5	0.1
10	وادي عظم	1979–2020	1560	15	44	20.6	1.6	0.1
11	الحديدة	1979–2020	20	14.75	43	30.7	0.4	2.1
12	هديمة	1979–2020	100	14.75	43.25	30.3	0.7	0.8
13	بني الحارث	1979–2020	2200	15.5	44.25	17.5	0.6	0.9
14	قاع المنقب	1979–2020	2600	15.5	44	17.4	2.5	0.6
المعدل السنوي العام لجميع المحطات						24.1	1.6	0.7

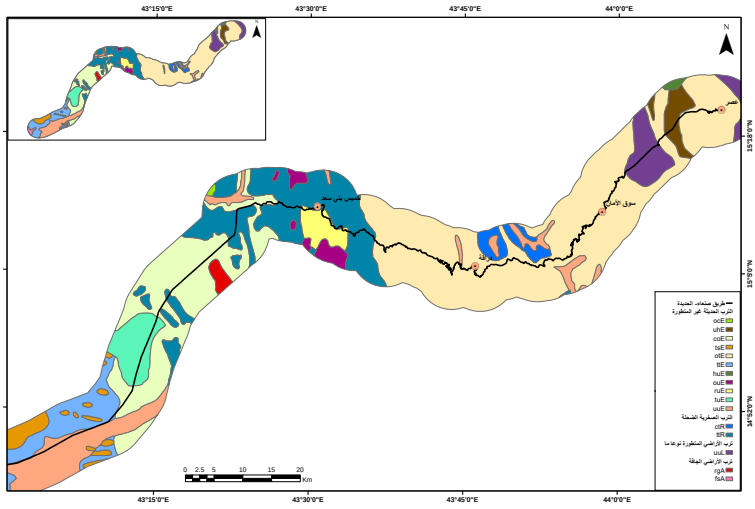
[1] – تم الحصول على المعدلات السنوية العامة لكلاً من درجة الحرارة، كمية الأمطار وسرعة الرياح من موقع المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية المتوسطة المدى (ECMWF)، للفترة من (1979–2020) وموزعة (14) محطة بالقرب من الأجزاء التي يمر عليها الطريق.

المصـــــدر: عمل الباحثة اعتماداً على موقع المركز الأوروبي للتنبؤات الجويـة المتوســطـة المـدى (ECMWF)، للفترة من (1979– 2020).

وتتميز ترب الأجزاء التي يمر عليها الطريق بأنها متماثلة في القاعدة الصـــخرية؛ وعليه فإن الترب المســـيطرة عليها من نماذج متماثلة (آغا، 1983، ص486)؛ لذا تتكون تربتها من مفتتات الصـــخور البركانية الثلاثية الناتجة عن عوامل التجوية في المرتفعات الجبلية، وعوامل التعرية المائية عند مجاري الأودية والمنخفضـــات، وتغطي الترب الحديثة اغلب الأجزاء التي يمر عليها الطريق وبنسبة (84.6%) من إجمالي طول الطريق والتي تتميز بأنها ترب غير سـميكة أو التي تفتقد إلى الأفقين (B.C) (المشـرقي وآخرون، 2006، ص19) وذلك بسـبب الميل، يليها الترب الصـخرية الضـحلة بنسـبة (11.4%)، وترب الأراضـي المتطورة نوعاً ما بنسـبة (4.0%) خريطة (4).

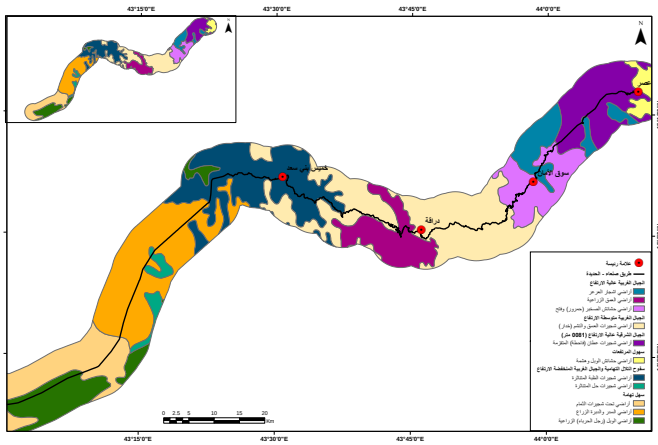
أما الغطاء النباتي يتميز بانتشاره بشكل متجانس مع الأقاليم التضاريسية، حيث يمر الطريق على خمسة أقاليم نباتية ضمن اقليمين تضاريسيين وذلك بالاعتماد على عامل الارتفاع عن سـطح البحر للطريق هما النباتات في المناطق عالية الارتفاع بمسافة (111.4) كم وبنسـبة (52.5%) من إجمالي طول الطريق والنباتات في المناطق المنخفضة بمسافة (100.6) كم وبنسـبة (47.5 %) من إجمالي طول الطريق خريطة (5)، وقد بلغ مؤشر كثافة الغطاء النباتي (NDVI)[2] كأعلى قيمة (0.59) وأدنى قيمة (−0.15).

خريطـة (4): أنواع الترب للأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة



المصـــــدر: عمل الباحثة اعتمادا على الخريطة التي أعـدتها الهيئـة العـامـة للبحوث والإرشـــاد الزراعي (2006)، بمقياس رســـم 500000/1، باســـتخدام برنامج (ArcGIS v.10.8).

خريطة (5): تصـــنيف النبات الطبيعي للأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة



[2] – تم حساب مؤشر كثافة الغطاء النباتي (NDVI) من صورة القمر الصناعي (LANDSAT 8) باستخدام القناتين (4 و5) لعام 2020/5/26.

المصـــدر: عمل الباحثة اعتمادا على الخريطة التي أعدها المجلس الأعلى لحماية البيئة وهيئة البحوث الزراعية عام (1990) م، بمقياس 1: 500000، باستخدام برنامج (ArcGIS v.10.8).

التحليل والمناقشة

يتمثل تأثير الانحدارات على الأجزاء التي يمر عليها طريق صـــنعاء – الحديدة بتأثير الانهيارات الأرضـــية وتأثير الســـيول والتي تؤدي إلى تضـــرر الطريق أثناء فترة سقوط الأمطار، لأن الانحدارات تعد بيئة مناســـبة لحدوثها وذلك بفعل عدد من القوى، فقوة الجاذبية (Gravitation) تعمل على تحريك المفتتات على سفوح المنحدرات بمساعدة المياه الجارية والأمطار وقوة الدفع الناتجة عن تصادم الصخور بعضها ببعض والاهتزازات الناتجة عن حركة الســـيارات على الطرق القريبـة من المنحـدرات، كمـا تعمـل قوة أخرى على مقاومة الحركة وتتمثل في قوة رد الفعل (Upward Reaction Force) تساعدها قوى مقاومة أخرى هي الاحتكاك (Friction) بين المواد الصـــخرية والمنحدر وتماسك المواد الصـــخرية (Cohesion) (محسـوب، 1997، ص110)، ولدراســـة تأثير الانحدارات على حدوث ظاهرة الانهيارات الأرضـــية والســـيول على الأجزاء التي يمر عليها طريق صـــنعاء – الحديدة فقد تم الاعتمـاد على نموذج الارتفـاع الرقمي (DEM 12.5m) والدراســـة الميدانية وباســـتخدام برنامج (ArcGIS v.10.8) لتحليل عناصـــر المنحدرات والمتمثلة بتأثير زوايا الانحدار، اتجاه الانحدار، شـكل المنحدر وســـرعة الجريان الســـطحي وذلك من خلال الآتي:

1. تحليل تأثير زوايا الانحدار

بينت العديد من الدراســـات مثل دراســـة (Yalcin,2009, p5; Dahal et al, 2008, p316)، أن زاوية الانحدار تعُد أكثر عناصر المنحدر تأثيراً في حدوث الانهيارات الأرضـية والسـيول في أي منطقة خاصة زاوية الانحدار ما بين (29˚ –90˚)، لذا تم تصـنيفها وعمل المدرج التكراري لتحديد عدد تكرارها موضحة فيما يأتي:

أ- تصنيف درجات الانحدار:

تم تصـــنيّف درجات الانحدار في الأجزاء التي يمر عليها طريق صـــنعاء – الحديدة إلى خمس فئات مقاســة بالدرجات، وقد تم اختيار تلك الفئات لتتناسـب مع طبوغرافيـة تلـك الأجزاء، وذلـك بـالاعتمـاد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM 12.5m) باســـتخدام برنامج (ArcGIS v.10.8)، على النحو الآتي:

1. انحدار شـــبه مســـتوي: Level to Almost Slope

هو انحـدار مســـتوي إلى خفيف تتراوح درجـة انحدارها ما بين (0˚ – 9˚)، وتنتشـر هذه الفئة بنسـبة (47.6) من إجمالي طول الطريق، خريطة (6).

2. انحدار خفيف Gentle Slope

تتميز هـذه المنحـدرات بتـدني نســـبـة أجزائهـا المكشـــوفة العليا عن أجزائها المغطاة بالهشـــيم أمام عمليات التجوية، وتتراوح درجة انحداره ما بين (9˚– 18˚)، وتنتشـر حول الأودية المنحدرة التي يمر عليها الطريق بنسبة (30.2%) من إجمالي طول الطريق.

3. انحدار متوسط Moderate Slope

تتراوح درجة انحداره ما بين (18˚ – 27˚)، وتنتشر هذه الفئة بشكل متفرق على الأجزاء التي يمر عليها الطريق خاصة في المرتفعات التابعة لجبال الحيمة وحراز بنسبة (15.6%) من إجمالي طول الطريق.

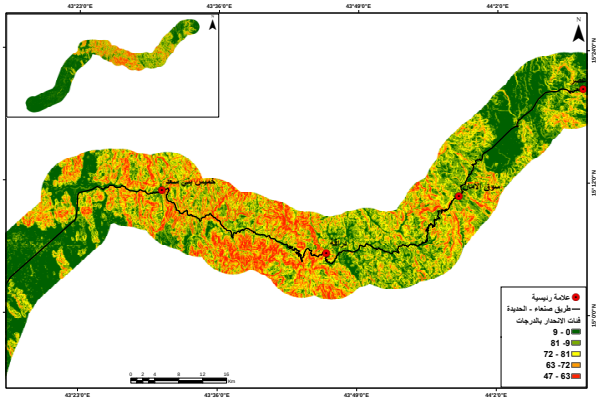
4. انحدار شديدة Steep

تتراوح درجة انحداره ما بين (27° – 36°)، وتنتشر هذه الفئة بشكل كبير حيث المرتفعات الجبلية العالية التي يمر عليها الطريق بنسبة (6.0%) من إجمالي طول الطريق صورة (1).

5. انحدار شديد جداً (الجرفية) Very Steep

تتراوح درجة انحداره ما بين (36˚ – 74˚)، وتنتشر هذه الفئة بشكل متفرق حيث القمم الجبلية العالية والجروف الراسية والحافات والأودية الصدعية والخوانق المتأثرة بالصدوع بنسبة (0.7%) من إجمالي طول الطريق.

خريطة (6): فئات الانحدار في الأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة



المصدر: عمل الباحثة اعتمادا على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM 12.5m)، باستخدام برنامج (ArcGIS v.10.8).

وتعد الأجزاء التي تقع ضمن الفائتين الأخيرتين أكثر أجزاء المنحدرات عرضة لأخطار الانهيارات الأرضية واخطار السيول على طريق صنعاء – الحديدة، فالانحدار يعد العامل الأهم والأكثر تأثيراً في نشأت وتطور الانهيارات وسرعة تدفق السيول، وقد ذكر (Moradi et al, 2012, p6718) أن معظم الانهيارات الأرضية تحدث على درجة الانحدار ما بين (30˚–50˚)، بينما صنفه (Ramakrishnan et al, 2002, p193) بأنه يعد عاملاً مهماً عند تحديد نطاقات مخاطر الانهيارات الأرضية لما يسببه من جاذبية أرضية مسؤولة عن نقل المواد الصخرية من المناسيب الأعلى إلى المناسيب الأدنى، وتعتمد الجاذبية على فارق الارتفاع إضافة إلى كتلة الجسم، مما ينعكس في سرعة المواد المنقولة مع تزايد كل من انحدار السطح وكتلة المواد المنقولة (سلامة، 2004، ص152)، وقد اتضح من الدراسة الميدانية للمنحدرات التي تم قياسها على الطريق بأن زوايا انحدارها تراوحت ما بين (5°–90°).

صورة (1): المنحدرات على نقيل مناخة

المصدر: الدراسة الميدانية بتاريخ 2022/9/15.

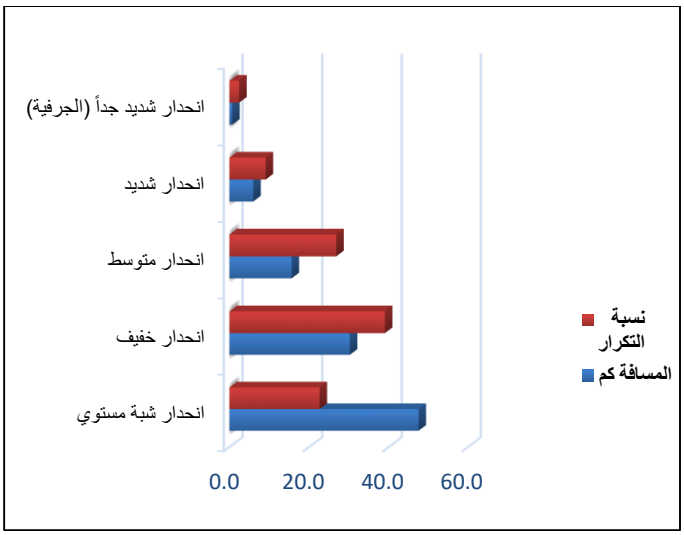
المصدر: الدراسة الميدانية بتاريخ 2022/9/15.

ب- التوزيع التكراري لزوايا الانحدار لجميع المنحدرات:

يمتاز المدرج التكراري لدرجات الانحدار لجميع المنحدرات في الأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة بأنه وحيد المنوال وهو الشكل الذي يميز المنحدرات في الأقاليم المناخية شبه الجافة كما ذكر (Young,1972,p168)، ومن الشكل (1) يتبين أن المنحدرات شبة المستوية والخفيفة مثلت أكبر نسبة تكرار حيث بلغت (61.7%) من إجمالي التكرارات، ويكثر تواجدها على المصاطب الصخرية ومجاري الأودية والقيعان والمناطق المنخفضة بدًا من باجل حتى مدينة الحديدة، ويرجع ارتفاع نسبة تكرارها إلى تعرض السطح لعمليات حت شديد مما أدى إلى تمزيق السطح، ولحركات الرفع أثر في زيادة نسبة التكرار مما ظهرت أسفل المرتفعات ووسطها وفي الجزء القممي، بينما بلغت المنحدرات المتوسطة الشدة المرتبة الثانية بنسبة تكرار بلغت (26.8%)، لأن المساحة ظهرت متصلة ببعضها حيث ظهرت على معظم المرتفعات، وهي تعد نتاجًا لعمليات التعرية ولتراجع المنحدرات عن شكلها الأصلي الذي يعتبر الانحدار القائم هو الشكل الأصلي للمنحدر، والمنحدرات الشديدة والشديدة جداً والجرفية بلغت نسبة تكرارها (11.5%)، ويكثر تواجدها على الأجزاء التي تعرضت للصدوع وتظهر على جوانب الخوانق.

ومما سبق فإن الانحدارات المتوسطة والشديدة والجرفية غطت أكثر من ثلث مساحة الأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة بنسبة بلغت (38.3%) من إجمالي طوله، ويدل ذلك على إن تأثر المنحدرات التي يمر عليها الطريق بعمليتي التجوية والتعرية قليلة لأن صخورها عبارة عن صخور ثلاثية والتي تتميز بالصلابة العالية، لذا فإن هذه المنحدرات مازالت في طور التطور وبالتالي فهي عرضة بشكل كبير لاخطار الانهيارات الأرضية واخطار السيول.

شكل (1): المدرج التكراري لزوايا الانحدار لجميع المنحدرات



المصدر: عمل الباحثة اعتمادا على جدول (2).

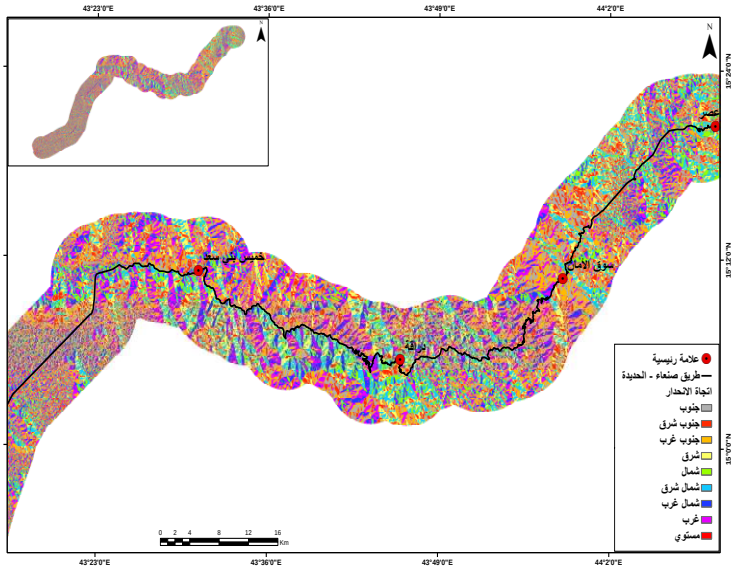
2. تحليل تأثير اتجاه الانحدار:

يبين اتجاه الانحدار مدى مواجهة المنحدر لأشعة الشمس، وحركة الرياح وسقوط الأمطار أي أنه يشير إلى اتجاه الانحدار والعوامل المؤثرة فيه (Yalcin, 2009,p6)، فالمنحدرات المواجهة لأشعة الشمس تزداد بها نشاط عمليات التجوية الميكانيكية (العزاوي، 2021، ص22) مما يترتب على ذلك تحديد اتجاه حركة الانهيارات الأرضية وحركة السيول والأماكن المعرضة للأخطار الواقعة في اتجاه المنحدر، أي أن معرفة اتجاه المنحدر يساعد في التنبؤ في اتجاه حركة المواد الأرضية التي تحدث ضمن المناطق التي تظهر

ضمن هذه المنحدرات، ولاسيما في المناطق التي تسقط فيها الأمطار لفترات طويلة.

وقد تم تصـــنيف خريطة اتجاه الانحدار للأجزاء التي يمر عليها طريق صـــنعاء – الحديدة في برنامج (ArcGIS v.10.8) اعتمـاداً على نموذج الارتفـاع الرقمي (DEM 12.5m)، حيث قام بتصـــنيفها إلى تسعة اتجاهات مختلفة، خريطة (7)، وتتباين اتجاهات المنحدرات في الأجزاء التي يمر عليها الطريق نتيجة لحركات الرفع التكتونية والتصـدعات وأيضـاً لعمليات الحت الشـــديد التي تعرضـــت لها تلك الأجزاء، كما يتضـــح أيضًـــا من خريطة (7) أن الأجزاء التي يمر عليها الطريق تنحدر باتجاه الغرب والشـــمال الغربي والجنوب الغربي بمسـافة بـــــ (108.7) كم وبنسـبة (51.3%) من إجمـالي طولـه، ويكثر تواجـدهـا على المرتفعـات الجبليـة التي يمر عليهـا الطريق وهو يتبع الاتجاه العام لانحدار المرتفعات الغربية لليمن حيث تنحدر باتجاه الغرب، إذ يتعرض هذا الجزء لكميات أمطـار أكبر لأن الريـاح الغربيـة والجنوبيـة الغربيـة المحملة بالأمطار تصـــطدم بالمرتفعات الغربية المطلة على سـهل تهامة فتسـقط حمولتها عليها مما يزيد من احتمالية حدوث الانهيارات الأرضـــية على الطريق، بينما الاتجاه الشرقي أقل مسافة بنسبة (7.73%) من إجمالي طوله، وينشـــط في هذا الجزء عملية التجوية الكيميائية لارتفاع الرطوبة لأنها تعد منطقة ظليه لا تتعامد عليها الشـــمس وهذا أيضًـــا ما توصـــل اليه (Gomeza and Kavzoglu, 2005, p16) في دراستهم.

خريطة (7): اتجاه المنحدرات في الأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة



المصدر: عمل الباحثة اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM 12.5m)، بـاســـتخـدام برنـامج (ArcGIS v.10.8 v.10.4.1).

3. تحليل تأثير أشكال المنحدرات Curvature Slope Analysis

يعرّف يونج التقوس بأنه معامل التغير في زاوية الانحدار مع المســـافة الأرضـــية في اتجاه الانحدار الحقيقي ويعبر عنـه بـالـدرجـات لكـل (100) متر (Young, 1972, p)، أي هو انحدار أو ميل السطح في اتجاه المنحدر (بريك، 1433هـــــ، ص118)، ويمكن تصـــنيف منحدرات الأجزاء التي يمر عليها طريق صـــنعاء – الحديدة من خلال تغير مقدار زوايا الانحدار خلال المنحدر نفسه مكونه بذلك تقوس، وهو ذو أهمية في معرفة أشـــكال المنحدرات الســـائدة في الأجزاء التي يمر عليها الطريق، ويتم تحديد المناطق

التي تحصـــل بها تقوس، ومقدار التقوس من خلال المعادلة الاتية (عبدالحسين، 2017، ص118):

$$\text{معدل التقوس} = \frac{\text{مقدار الزاوية السفلي – مقدار الزوية العليا لنفس المنحدر}}{\text{المسافة الأرضية بينهما}}$$

ويرجع أهمية التقوس بأنه يوضـح دور التعرية في الأجزاء التي يمر عليها طريق صـــنعاء – الحديدة وأثرها في تكون المنحدرات ومورفولوجية الصخور التي تتكون منهـا المنطقـة وعلى اتجـاه الجريـان واتجـاه الانهيار ومكان الترســـيب ويتكون التقوس من ثلاثة أنواع، وقد تم دراســـتها من نموذج الارتفاع الرقمي خريطة (8).

أ- **الانحدار المحدب:Convex Slope**

يتميز بأن الانحدار بطيء في قمته، وتزداد شدة الانحدار في اتجاه أسفل المنحدر، فعندما يتغير الانحدار البسـيط إلى انحدار شـديد في أتجـاه الانحـدار إلى الأســـفل، فـأن منطقـة الاتصال بينهما تكون منطقة تغيير واضحة في انحدار سـطح الأرض مكونة الانحدار المحدب (أبو العينين، 1995، ص341)، وتظهر قيمة بـالموجـب، ويترافق هـذا النوع من أشـــكـال المنحدرات مع المنحدرات الشديدة والشديدة جداً نتيجة لسيادة الصـخور الصـلبة المقاومة لعوامل التعرية، ويمر الطريق عبر هذه الشـكل بنسـبة (25.0%) من إجمـالي طولـه، خريطـة (8)، ويعد هذا النوع من أشـــكال المنحدرات أشـــد خطورة لأن التعرية لازالت قائمة بشـــدة مما يجعـل تلـك الأجزاء أكثر عرضـــــة لحـدوث الانهيارات الأرضية.

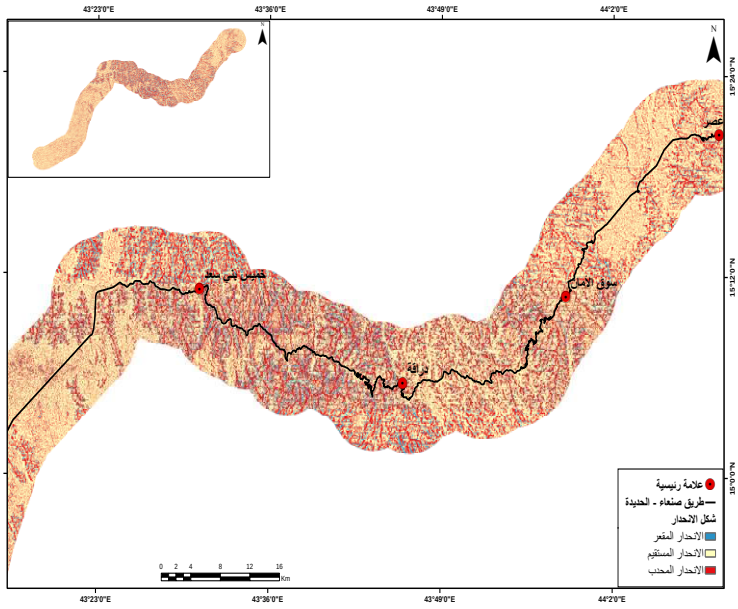
ب- **الانحدار المقعر Concave Slope:**

يتميز هذا النوع من الانحدارات بأنها شديدة الانحـدار في قمتهـا، ومعتدلـة في وســـطها ونهـايتهـا (الديلمي، 2012، ص150) فعندما يتغير الانحدار الشـديد إلى انحدار بسـيط في اتجـاه المنحـدر إلى الأســـفـل، فـأن منطقـة الاتصـــال بينهما منطقة تغيير واضـــحة في انحدار سـطح الأرض مكونة الانحدار المقعر، وتظهر قيمة بالسالب (التوم، 2004، ص71)، يترافق هذا النوع من أشـــكال المنحدرات مع المنحدرات المتوســـطة، ويمر الطريق عبر هذا النوع من المنحـدرات بنســـبـة (7.7%) من إجمـالي طولـه، ويعد هذا النوع من أشـــكـال المنحدرات أقل خطورة من الســـابق لأن عوامل التعرية قد أثرة فيها وقللت من حدته وعلية تكون الأجزاء التي تمر عبر هذا النوع أقل عرضـــــة لأخطار المنحدرات.

ج- **الانحدار المستقيم Symmetrical Slope:**

يتكون هذا الشـــكل من المنحدرات في المناطق ذات زوايا الانحدار الثابتة على امتداد القطـاع الطولي للمنحدرات، ونوع التقوس يكون منتظم ودرجة التقوس تســـاوي (صـــفر)، يمر الطريق عبر هذا النوع من الانحدار بنســـبة (67.3%) من إجمالي طوله، ويعد هذا النوع من الانحدارات أقل شدة من السابق لأن عوامل التعرية قد خفت من حدته.

خريطة (8): أشكال المنحدرات في الأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة



المصـــدر: عمل الباحثة اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM 12.5m)، باســـتخدام برنـامج (ArcGIS v.10.8).

4. تحليل تأثير الانحدار على ســـرعة الجريان السطحيRunflow

تعكس سرعة الجريان معدل الانحدار، لأن سرعة الجريـان تزيـد مع زيـادة الانحـدار والعكس، إذ تجري المياه جرياناً ثابتاً من المناطق المرتفعة إلى المنخفضة بفعل الجاذبية الأرضـية (علاجي، 2010، ص135)، وقد تم تحليل تأثير سـرعة الجريان السـطحي للمجاري المائية [3] على طريق صـــنعاء – الحديدة بالاعتماد على عامل الانحدار بتقسـيمها إلى ثلاث فئات خريطة (9) وهي كالآتي:

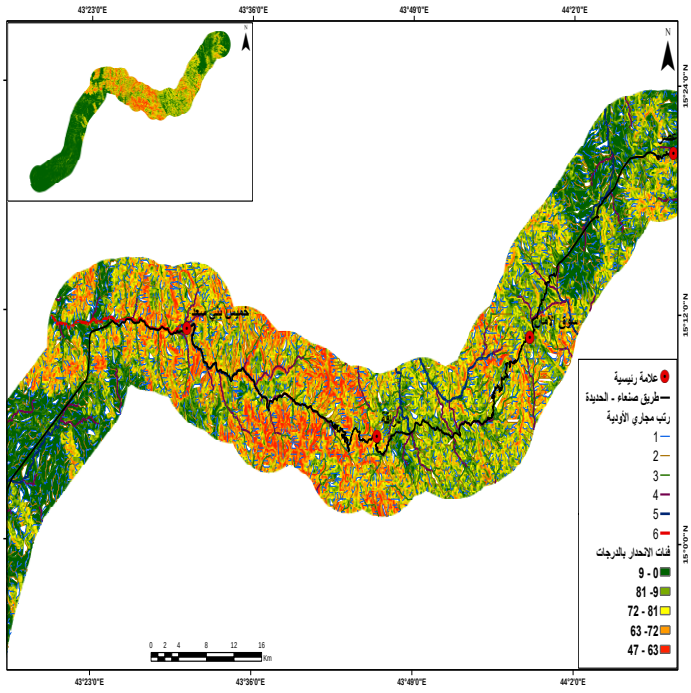
–**المجاري المائية عالية الجريان:** يقع معظمها على المرتفعـات الجبليـة لجبـال منـاخـة وبني إسماعيل وصعفان على المنحدرات التي تتراوح درجة انحدارها ما بين (27° – 74°) بنســـبة (3.1%) من إجمالي أطوال المجاري المائية.

–**المجاري المائية متوســـطة الجريان:** تغطي معظم منحدرات الأجزاء الوســطى من الطريق والقادمة من جبل المنار وجبل ورخان (مديرية الحيمة الخارجية) وأيضـــاً القادمة من جبل قيهمة وجبل قيهامة، وجبل على وجبل الطبل (مديرية بني ســـعد)، على انحدارات تتراوح ما بين (9° – 27°) بنســـبـة (28.8%) من إجمالي أطوال المجاري.

–**المجاري المائية منخفضـــة الجريان:** تغطي معظم **الأجزاء** التي يمر عليها الطريق حيث المنحدرات الهينة على انحدارات تتراوح ما بين (0° – 9°) بنســـبة (68.0%) من إجمالي أطوال المجاري.

[3] – وقد تم استخراج شبكة مجاري الأودية في الأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة من نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM 12.5m) باستخدام برنامج (ArcGIS) وبـ (Con 100)، وصنفت رتب شبكة الأودية في الأجزاء التي يمر عليها الطريق بحسب طريقة (Strahler, 1945)، وعليه تضم ست رتب وقد بلغ عددها (1392) مجرى ومجموع أطوالها (448.2) كم.

خريطة (9): توزيع مجاري الأودية على المنحدرات الواقع عليها طريق صنعاء – الحديدة



المصـــــدر: الباحث اعتماداً على خريطة (6) وخريطة شبكة مجاري الأودية.

تحليل النتائج

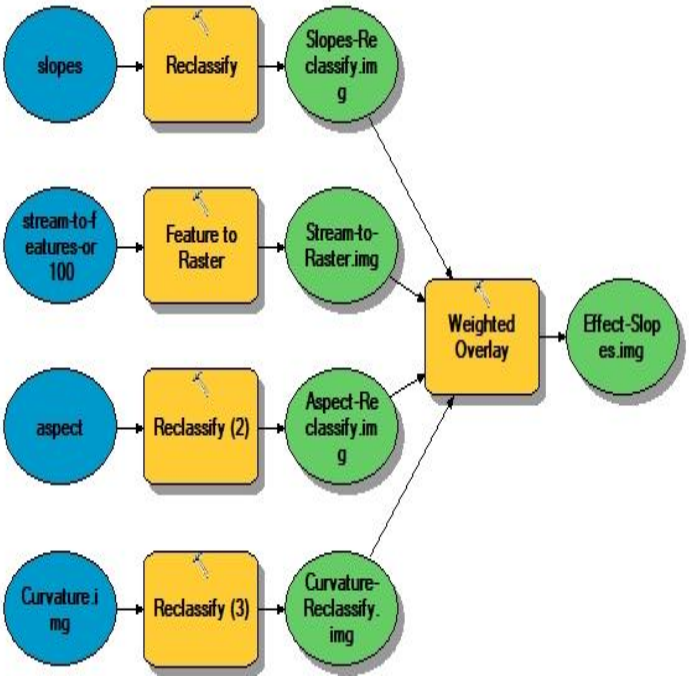
بناءً على ما سبق تم عمل خريطة مستويات تأثير المنحدرات على الأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة عن طريق بناء نموذج مكاني (Spatial Modeling) لأهم عناصـــــر المنحدرات الواقع عليها الطريق والمتمثلة بـــ (درجة الانحدار، اتجاه الانحدار، شـكل المنحدر وسـرعة الجريان السـطحي) من خلال تطبيق المطـابقـة الموزونـة (Weighted Overlay) شكل (2) لهذه العناصـر (العوامل) وأعطى قيمة وزنية لكل عامل منها بناءً على شـــدة تأثيره على الطريق جدول (2).

جدول (2): القيم الوزنية لتأثير عناصـــر المنحدرات الواقع عليها الطريق

عنصر المنحدر	القـيمـة الوزنية	الخطوات الإجرائية
درجة الانحدار	40	تم إعادة تصـــنيف خريطة (6) فئات الانحدار إلى (5) فئات.
اتجاه الانحدار	15	تم إعادة تصـــنيف خريطة (7) اتجاه الانحدار إلى (9) فئات.
شكل المنحدر	25	تم إعادة تصـــنيف خريطة (8) شكل المنحدر إلى (3) فئات.
سـرعة الجريان السطحي	20	تم عمل مسافة معيارية للمجاري المائية بمسافة (100) متر.

المصدر: الباحثة

شـــكل (2): بناء نموذج مســـتويات خطورة تأثير عنـاصـــر المنحـدرات على الأجزاء التي يمر عليها الطريق بـاســـتخـدام نموذج المطـابقـة الموزونـة (Weighted Overlay)



المصدر: الباحثة اعتمادا على جدول (2). وقد قسمت تأثير الانحدارات على الأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة إلى خمسة مستويات موضحة فيما يلي:

1. عالية الخطورة جداً

تمتد أجزاء الطريق في هذا المستوى ذات الخطورة العالية جداً بمسافة (22.3) كم وبنسبة (10.5%) من إجمالي طوله خريطة (10)، حيث المرتفعات الجبلية في سوق الأمان (مديرية بني مطر) وحول جبل المنار والخمس وبيت البوسى وسوق الصميل وخاصة على الانحناءات الشديدة في نقيل الحيمة وبعد مفحق (مديرية الحيمة الخارجية) وأيضاً على الانحناءات الشديدة في نقيل دراقة ونقيل مناخة، وحول باحل ووادي عاصم وباب العين حيث الأودية والحافات الصدعية (مديرية مناخة) وعلى جوانب وادي القصبة من اللكمة حتي جبل المعزم (مديرية صعفان) ومن الحرشاء حتى خميس بني سعد (محافظة المحويت) وجميعها تعد نطاقات خطرة تتكرر بها حدوث الانهيارات الأرضية والسيول بمختلف أنواعها والمتمثلة بالتساقطات والانزلاقات الصخرية مختلفة الاحجام، والتي قد تؤدي إلى انقطاع الطريق وخروجه عن الخدمة لبعض الوقت حتى يتسنى لفرق الصيانة رفع المواد المنزلقة على الطريق صورة (2)، وقد لوحظ من خلال الدراسة الميدانية أن كثير من الحافات حفرت المياه وسطها مسيلات فتصب مياهها وما تحمله على الطريق مباشرةً ليتعاظم تأثيرها معاً في هذه الأجزاء.

صورة (2) انهيار الكتل الصخرية على الطريق

المصدر: مركز صيانة طريق صنعاء – الحديدة.

2. عالية الخطورة

تمتد أجزاء الطريق ضمن هذا المستوى حيث المرتفعات العالية لجبال بني مطر، الحيمة وحراز (مناخة وصعفان) متقاربة مع أجزاء المستوى الأول بمسافة أكبر بلغت (55.3) كم جدول (3)، الا أن تأثره أقل مقارنة بالأجزاء الواقعة في المستوى الأول لأن تأثير عناصر المنحدرات معاً ضمن هذا المستوى أقل، فزوايا الانحدار بها تتراوح ما بين (24° – 35°)، وكلما زادت درجة الانحدار كلما زاد معها سرعة حركة المواد تحت تأثير الجاذبية الأرضية وأيضاً كمية المياه المتدفقة وسرعة الجريان السطحي على تلك المنحدرات مما يترتب عليه حدوث الانهيارات الأرضية والمتمثلة بالانزلاقات والتدحرج للكتل الصخرية مختلفة الأحجام صورة (3).

3. متوسطة الخطورة

تقع أغلب أجزاء الطريق ضمن هذا المستوى بمسافة (78.4) كم وبنسبة (37.0%) من إجمالي طول الطريق جدول (3)، والذي يتميز بانخفاض الخطورة فيه بشكل عام، كون تأثير عناصر المنحدرات على الطريق ضمن هذا المستوى متوسط مقارنة بالمستويات السابقة لأن درجة الانحدارات في هذا

المســـتوى تتراوح ما بين (13° – 24°) وبالتالي فأن تأثرها بالانهيارات أخف، الا أن تأثيرها يتعاظم مع التساقطات المطرية الكثيفة لأنه سوف يساعد على زحف كمية كبيرة من الصخور على الطريق.

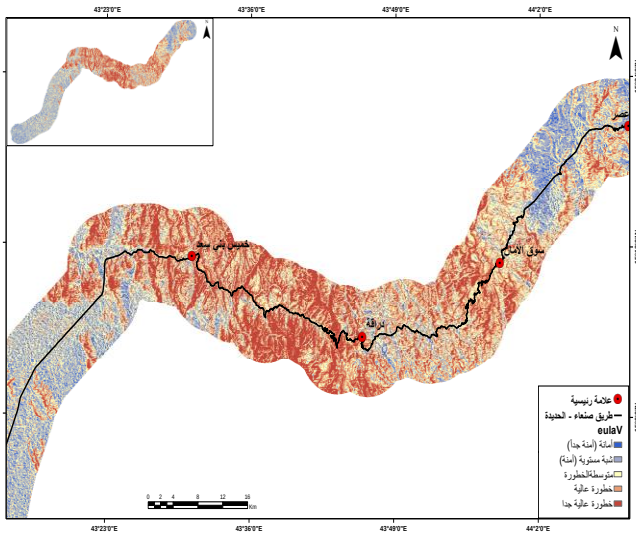
4. شبة مستوية (آمنة)

تتميز أجزاء الطريق الممتدة ضمن هذه المستوى بأنها أمنة لقلة الارتفاعات والانحدارات وقلة مجاري الأودية فيها، فهي تمتد عبر الأرضي المنبسطة خاصة في القيعان مثل قاع سهمان ومن بعد خميس بني سعد بمسافة (45.6) كم.

5. مستوية (أمنة جداً)

أيضًـــا تتميز أجزاء الطريق الممتدة ضـــمن هذه المســـتوى بأنها أمنة جداً لخلوها من الارتفاعات والانحدارات ومجاري الأودية، وتمتد أجزاء الطريق ضمن هذا المستوى حيث الأرضي المنبسطة التي تكاد تخلو من الارتفاعات بنسبة (4.9%) من إجمالي طول الطريق.

خريطة (10): توزيع مستويات الخطورة على الأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة



المصدر: عمل الباحثة اعتماداً على شكل (2).

جدول (3): مسافة مستويات خطورة تأثير المنحدرات على الأجزاء التي يمر عليها طريق صنعاء – الحديدة

مستوى الخطورة	المسافة كم	%
عالية الخطورة جداً	22.3	10.5
عالية الخطورة	55.3	26.1
متوسطة الخطورة	78.4	37.0
شبة مستوية (أمنة)	45.6	21.5
مستوية (أمنة جداً)	10.4	4.9

المصدر: عمل الباحثة اعتماداً على خريطة (10).

صورة (3): تأثير عناصر المنحدرات على الطريق

المصـدر: الدراسـة الميدانية بتاريخ 2022 /9/15، ومركز صيانة طريق صنعاء – الحديدة.

التوصيات:

- عمل جدران ساندة للمنحدرات التي تتكرر بها الانهيارات الأرضية.
- إزالة الكتل الصخرية المتهيئة للانزلاق وأيضاً إزالة مفتتات المنحدرات الواقعة أعلى الطريق حتى لا تسقط عليه أثناء سقوط الأمطار.
- زيادة العبارات ذات السعة التصريفية الكبيرة لتصريف مياه السيول عبرها.
- عمل قنوات تصريف أسفل المنحدر لحماية الطريق من التآكل وتنظيفها من الرواسب والمفتتات التي تقع فيها.

المراجع

اولاً: المراجع العربية

[1] ابو العينين، أحمد، (1995)، "**اصول الجيومورفولوجيا دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض**"، الطبعة الحادية عشرة، مؤسسة الثقافة الجامعية، الإسكندرية، مصر.

[2] أغا، شاهر جمال، (1983)،"**جغرافية اليمن الطبيعية (الشطر الشمالي)**"، مكتبة الأنوار، دمشق.

[3] بريك، نهى بنت محمد أحمد، (1433هـ)، " **أشكال المنحدرات واستخداماتها في جبل فيفاء بمنطقة جازان**"، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة أم القرى، كلية العلوم الاجتماعية، قسم جغرافيا.

[4] التوم، صبري محمد، (2004)،"**مورفولوجية المنحدرات في الجزء الأعلى من حوض الرميمين وحوض تكالا دراسة في الجيومورفولوجية المناخية**"، مجلة الجامعة الإسلامية (سلسلة الدراسات الإنسانية) المجلد الثاني عشر، العدد الثاني، ص: 87-59يونيو.

[5] الخرباش، صلاح عبد الواسع والأنبعاوي، ومحمد إبراهيم، (1996)، " **جيولوجية اليمن**"، مركز عبادي للدراسات والنشر، صنعاء.

[6] الخليدي، عبد الولي وسخولته، بول، (1990)، " **البيئات النباتية الطبيعية للجزء الغربي في الجمهورية اليمنية**"، المجلس الأعلى لحماية البيئة، صنعاء.

[7] السامعي، عبده عبدالله حسن، (2010)، "**دراسة بتروجيولوجية وجيومورفولوجية البراكين الرباعية في اليمن؛ حقل مأرب – صرواح**"، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة صنعاء قسم علوم الأرض والبيئة.

[8] سلامة، حسن رمضان، (2004)، "**أصول الجيومورفولوجيا**"، الطبعة الأولى، دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة، عمان.

[9] عاشور، محمود محمد وآخرون، (2016)"**استخدام الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية مع الدراسة الحقلية لإنشاء وتحليل خريطة أخطار الانهيارات الأرضية في مرتفعات المدان وشهارة في اليمن**"، المجلة الجغرافية العربية، 67.

[10]عبد الحسين، حسين كاظم، (2017)، "**تحليل مخاطر جيومورفولوجية في منطقة بنجوين**"، اطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة المستنصرية، كلية التربية، قسم الجغرافيا، العراق.

[11]العزاوي، هبه محمد فياض، (2021)، " **نموذج جيومورفولوجي لتقدير حجم الجريان السطحي لحوض وادي إزيانة في محافظة أربيل**"، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة بغداد_ كلية التربية للبنات.

[12]عساج، عبد القادر، (1998)، "**مناخ اليمن دراسة في الجغرافيا المناخية**"، مركز عبادي للدراسات والنشر، صنعاء.

[13]على، أحمد عبدالسلام، (2000)، "**بعض الأخطار الطبيعية على الطرق البرية في شمال سلطنة عُمَان**

دراســـة في الجيمورفولوجيا التطبيقية"، دورية علمية محكمة تعنى بالحوث الجغرافية يصدرها قسم الجغرافيا بجامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية، 247.

[14]قاســـم، حفيظـة عبـدالله علي، (2020)، "**التحليـل المكـاني لمخـاطر الانهيـارات الأرضـــيـة في منطقـة حراز – محافظة صـــنعاء**"، رســـالة ماجســـتير غير منشـــورة، جـامعـة صـــنعـاء، كليـة الآداب والعلوم الإنسانية.

[15]قاعدة بيانات الجهاز المركزي للإحصاء، 2004.

[16]المجلس الأعلى لحمـايـة البيئـة، اليمن، (1990)، " **الخارطة الذباتية للجزء الغربي للجمهورية اليمنية**"، مقياس رسم 1:500000.

[17]محسوب، محمد صبري، (1997)، "**جيومورفولوجية الاشكال الأرضية**"، الطبعة الأولى، دار الفكر العربي، مصر.

[18]مركز صيانة طريق صنعاء – الحديدة.

[19]المشـــرقي، محمد حزام، وآخرون (2006)، " **النتائج الرئيســـة لدراســـة التربة والأراضـــي اليمنية وإنتاج الخارطة الوطنية**"، الهيئة العامة للبحوث والإرشـــاد الزراعي.

[20]مصلحة المساحة، صنعاء، (1998,86,85)، خرائط طبوغرافية مقياس رســـم 1:50000 طبعة بمديرية المساحة لما وراء البحار، المملكة المتحدة.

[21]موقع المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية المتوسطة المدى (ECMWF)، (https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-moda/levtype=sfc/)

[22]الهيئة العامة للبحوث والإرشـــاد الزراعي، (2006)، "**خريطة التربة**"، بمقياس رسم 1: 500000.

[23]هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USG).

ثانياً: المراجع الأجنبية

[1] Dahal, Ranjan Kumar, et al, (2008), GIS-based Weights-Of-Evidence Modelling Of Rainfall-Induced Landslides In Small Catchments For Landslide Susceptibility Mapping, Environ Geol, 54:311–324.

[2] Gomeza, H. and Kavzoglu, T., (2005), "Assessment of Shallow Landslide Susceptibility Using Artificial Neural Networks in Jabonosa River Basin, Venezuela", Engineering Geology 78,11-27.

[3] Moradi, Mehdi and et al, (2012), "GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping by AHP Method,A Case Study, Dena City, Iran", Journal of Basic and Applied, 2(7)6715-6723.

[4] Ramakrishnan,S.S and et al, (2002), "Landslide Disaster Management and Planning - A GIS based Approach", Institute of Remote Sensing, Anna University, Chennai-600 025, Tamilnadu, INDIA. Ph: 91-44-2352189.

[5] Robertson Group PLC,(1991),"Geological Map of Yemen " Scale:250000, :1 The Natural Resources Project Yemen.

[6] Yalcin, Ali, (2009), "GIS-based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons Of Results And Confirmations", ScinceDirect, Catena 72-1–12.

[7] Young, Anthony (1972), "Slopes", Oliver & Boyd – Edinburgh.

[8] Mattash M.A. and Buda, G.Y., (1994),"The Evolution of Yemen Basalt in Relation to the Rift Development and the Chemistry of its Mineral Constituents".