دار المنظومة
DAR ALMANDUMAH
الرواد في قواعد المعلومات العربية

العنوان:	مخاطر الانهيارات الأرضية وقابلية التعرض لها في وادي ظهر غرب صنعاء - اليمن باستخدام نظم المعلومات الجغرافية
المصدر:	مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية
الناشر:	جامعة الكويت - مجلس النشر العلمي
المؤلف الرئيسي:	مجوحان، صالح أحمد
مؤلفين آخرين:	الجبلي، عارف محمد(م. مشارك)
المجلد/العدد:	س43, ع165
محكمة:	نعم
التاريخ الميلادي:	2017
الشهر:	أبريل
الصفحات:	203 - 235
رقم MD:	809058
نوع المحتوى:	بحوث ومقالات
اللغة:	Arabic
قواعد المعلومات:	EcoLink, HumanIndex
مواضيع:	المخاطر الجيولوجية، الانهيارات الأرضية، نظم المعلومات الجغرافية، وادي ظهر، اليمن
رابط:	http://search.mandumah.com/Record/809058

© 2021 دار المنظومة. جميع الحقوق محفوظة.
هذه المادة متاحة بناء على الإتفاق الموقع مع أصحاب حقوق النشر، علما أن جميع حقوق النشر محفوظة. يمكنك تحميل أو طباعة هذه المادة للاستخدام الشخصي فقط، ويمنع النسخ أو التحويل أو النشر عبر أي وسيلة (مثل مواقع الانترنت أو البريد الالكتروني) دون تصريح خطي من أصحاب حقوق النشر أو دار المنظومة.

البحوث والدراسات

مخاطر الانهيارات الأرضية وقابلية التعرض لها في وادي ظهر غرب صنعاء - اليمن باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

م. صالح أحمد مجوحان*
د. عارف محمد الجبلي**

ملخص:

منطقة الدراسة الواقعة غرب مدينة صنعاء تتصف بمقومات سياحية واقتصادية عالية، وهي في الوقت نفسه منطقة توسع حضري مستقبلي، وقد تطلب الأمر إجراء هذه الدراسة وإعداد خرائط الأخطار Hazard Map وخرائط المخاطر Risk Map للانهيارات الأرضية بمقياس رسم يتناسب مع مساحة المنطقة وموضوع الدراسة. تمت الاستعانة بنظم المعلومات الجغرافية (GIS)؛ حيث قسمت المنطقة إلى خلايا Pixel، مساحة الخلية (١٢٥) م^{٢}، وبواسطة المرئيات الفضائية والخرائط الجيولوجية والطبوغرافية. ومن خلال التفسير البصري والموجه، تم تعرف قيمة ميول المنحدرات والتباين التضاريسي ونوعية الصخور واتجاهات وكثافة الشقوق ومتوسط السقوط المطري السنوي، والحالة الزلزالية والأنشطة البشرية المساهمة في عدم استقرارية المنحدرات. وقد استخلصت مستويات خريطة أخطار الانهيارات الأرضية، وكانت نسبة الخطر العالي جداً Very High والعالي High نحو (٥٦,١٤٪)، وبينت الدراسة أنواع الانهيارات المحتملة بحسب مستويات الأخطار، ففي المستوى العالي جداً يحتمل حدوث التساقط الصخري Rock Fall والانقلاب الكتلي Toppling والدحرجة Rolling في المستوى الذي يليه، وحدوث الانزلاقات المستوية

* باحث في المخاطر الجيولوجية، وزارة النفط والمعادن، هيئة المساحة الجيولوجية والثروات المعدنية اليمنية، اليمن.
** هيئة المساحة الجيولوجية والثروات المعدنية اليمنية، اليمن.

Planer Slide في المستوى المتوسط، وكل هذه الأنواع من الانهيارات السريعة والمدمرة. وبوساطة هذه النظم المعلوماتية تم إنتاج خريطة قابلية التعرض من جرد المكونات المادية والبشرية في المنطقة، وتحديد درجة الحساسية لها، وتعرف ضعف المجتمع وهشاشته في مواجهة هذه الأخطار، كما تم حساب مستويات المخاطر، وتحديد الأضرار البشرية والمادية المتوقع حدوثها بشكل كلي.

١ – مقدمة:

تتوزع معظم المدن اليمنية ضمن النطاقات التضاريسية العالية والمعقدة، منها (صنعاء – تعز – المكلا – إب)؛ حيث لعبت العوامل الجيولوجية والحركات الباطنية العنيفة، وكذلك عمليات التعرية والمناخ القديم والحديث، دوراً في تحديد جيومورفولوجية المنحدرات الجبلية، وهو ما انعكس بدوره على استقرارية المنحدرات الصخرية، ونشاط ظاهرة الانهيارات الأرضية، خاصة على منحدرات حوض صنعاء (العبيدي، ٢٠٠٣).

تقع منطقة الدراسة (وادي ظهر) ضمن حوض صنعاء الذي يعد حوضاً تكتونياً انهدامياً، تحيط به مرتفعات عالية ذات تعقيدات تضاريسية وجيولوجية، ويقدر ارتفاع هذه المنحدرات عن مستوى منخفض حوض صنعاء بنحو ١٠٠٠ متر، خاصة في الجزء الغربي من الحوض، وتتعدد أنواع الصخور والتراكيب الجيولوجية والمظاهر التضاريسية في هذه المنطقة.

إن وادي ظهر (منطقة الدراسة) يقع غرب مدينة صنعاء، وضمن التوسع الحضري الذي تشهده مدينة صنعاء؛ حيث بلغ هذا التوسع أقصاه في الوقت الحاضر، وقدرت مساحة المدينة عام ١٩٧٣ بنحو (٩,١) كيلومتر مربع، بينما وصلت مساحتها عام ٢٠٠٧ إلى نحو (٢٣٥) كيلو متراً مربعاً (غزوان، ٢٠٠٩). هذا التوسع في الغالب غير مدروس، وعلى منحدرات ضعيفة يحتمل حدوث انهيارات أرضية فيها.

إن الغرض من هذه الدراسة التعرف والكشف عن احتمالية حدوث الانهيارات الأرضية في منطقة الدراسة من خلال تقييم استقرارية هذه المنحدرات، وإعداد

خريطة أخطار الانهيارات الأرضية Hazard Map باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، وتحديد المكونات البشرية والمادية التي يمكن أن تتعرض لهذه المخاطر؛ من خلال إعداد خريطة التعرض Vulnerability Map لهذه المكونات، وتصنيف درجة حساسية كل مكون بحسب مستويات الأخطار المحتملة التي تم تحديدها في خريطة الأخطار، ومن ثم يمكن تحديد مستويات خريطة المخاطر Risk Map وتحديد قيمة الأضرار والخسائر التي سوف تلحق بهذه المكونات نتيجة احتمالية حدوث الانهيارات الأرضية المحتملة في هذه المنطقة.

وقد اعتمدت هذه الدراسة مصطلح الأخطار (Hazard) ومصطلح المخاطر (Risk).

٢ – مشكلة الدراسة:

إن استمرار التوسع العمراني والحضري بشكل عشوائي دون الأخذ بعين الاعتبار المواصفات الهندسية المقبولة لهذا التوسع، سوف يؤدي إلى زيادة حجم الكوارث خاصة في مدن العالم الثالث، من هذا المنطلق فإن مشكلة الدراسة تكمن في حدوث توسع عمراني وحضري لمدينة صنعاء باتجاه منطقة الدراسة، دون إجراء أي دراسة لاحتمالية حدوث أخطار الانهيارات الأرضية، إضافة إلى أن منطقة الدراسة تمتلك خصائص طبيعية وبشرية تسهم في حدوث هذه الأخطار، وتتوزع عليها مكونات مادية وبشرية مهمة تعرضها لمخاطر الانهيارات؛ مما سوف يسبب خسائر وأضراراً كبيرة.

٣ – هدف الدراسة:

تهدف الدراسة إلى تحقيق الآتي:

٣–١: بناء قاعدة معلومات رقمية وإنتاج خرائط أخطار الانهيارات الأرضية Hazard Map، وخرائط قابلية التعرض Vulnerability Map، وخريطة المخاطر Risk Map لمنطقة الدراسة.

٣–٢: تعرف قيمة الأضرار والخسائر المحتملة من أخطار الانهيارات الأرضية؛ لكي يتخذ أصحاب القرار احتياطاتهم إزاء ذلك، وخاصة أن المنطقة تشهد تفاعلاً اقتصادياً وحضرياً.

٤ – آلية عمل الدراسة:

تمت الاستعانة بنظم المعلومات الجغرافية (GIS) في تنفيذ هذه الدراسة وإعداد خرائط أخطار الانهيارات الأرضية، وخريطة التعرض للمكونات المادية والبشرية، وكذلك إعداد خريطة المخاطر بمقياس رسم ١:٥٠٠٠٠، ويعد هذا المقياس مناسباً والعمل به حديثاً على المستوى الوطني. تم تعرف الظواهر المتعلقة بإنتاجية الخرائط المطلوبة؛ من خلال التفسير البصري للمرئيات الفضائية Google earth (2011)؛ لفصل الظواهر بدقة عالية نظراً لتداخل الوضع الحضري مع الأنشطة الزراعية في المنطقة، وتحديد مكونات التعرض المادي والبشري، وقد قسمت منطقة الدراسة إلى خلايا Pixel مساحة كل خلية (١٢٥)م^{٢}، واعتمدت الدراسة أيضاً في بعض المعلومات على الخريطة الطبوغرافية مقياس رسم ١:٥٠٠٠٠، والخريطة الجيولوجية مقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠، وكذلك نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM)، إضافة إلى البيانات المتعلقة بمنطقة الدراسة من الجهات الرسمية، والأبحاث العلمية المعنية بهذا الخصوص، والعمل الميداني والمختبري الذي رافق إجراء هذه الدراسة، وفق الخطوات الآتية:

٤–١– خريطة أخطار الانهيارات الأرضية:

لتقييم أخطار الانهيارات الأرضية عدة طرق وأساليب يستخدمها الباحثون، وذلك بما يتناسب مع طبيعة المنطقة، وكذلك وسائل البحث وهدف الدراسة والإمكانات المادية، إضافة إلى مقياس رسم الخريطة المطلوب تنفيذها، هذه الدراسة استعانت بمنهجية (LPI) عند دراسة المخاطر في بعض مناطق اليمن من قبل البنك الدولي (٢٠٠٩)، وكان الباحث ضمن الفريق الميداني، وقد أجرى الباحث بعض التعديلات بما يتناسب مع خصوصية منطقة الدراسة ومقياس رسم الخريطة، وتم تقييم أخطار الانهيارات الأرضية للمنطقة على النحو الآتي:

- فصل الوحدات الصخرية لمنطقة الدراسة بعد مراجعة الخريطة الجيولوجية مقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠، وتم ذلك بوساطة المرئية الفضائية، والتأكيد الميداني لتصحيح عملية فصل الوحدات الصخرية.

- تقييم الخصائص الصخرية من خلال دراسة قوة التحمل Intact Rock Strength والشقوق، وكذلك الاطلاع على الأبحاث والدراسات المعنية بخصوص تصنيف مقاومة الصخور في البيئات الجيولوجية المختلفة، وفاعليتها في مخاطر الانهيارات الأرضية، والرجوع إلى سجل الأحداث السابقة من هذه الانهيارات المسجلة رسمياً بوساطة الجهات المعنية.
- تسجيل الشقوق والصدوع (الانقطاعات) لمنطقة الدراسة، وإعداد خريطة توزع هذه الانقطاعات وتحديد كثافتها.
- تحديد مستويات الانحدار لمنطقة الدراسة بواسطة (DEM)، وقد صنفت هذه المستويات إلى الآتي: (١٠° >) منخفض جداً، (١٠°–٢٠°) منخفض، (٢٠°–٣٠°) متوسط، (٣٠°–٤٠°) عالٍ، (٤٠° <) عالٍ جداً.
- تعيين مناطق التضاريس العالي في المنطقة وبوساطة الخريطة الطبوغرافية ١:٥٠٠٠٠، وكذلك (DEM)؛ حيث تم إعداد خريطة التباين التضاريسي لكل خلية (١٢٥)م^{٢}.
- تحديد استخدامات الأرض التي تسهم في حدوث الانهيارات الأرضية، كشق الطرقات على المنحدرات الجبلية، وعمليات التحجير والاستصلاح الزراعي وكثافة آبار المياه.
- بوساطة البيانات الرسمية لكميات الأمطار السنوية من قبل هيئة البحوث الزراعية، تم تعرف ثلاثة مستويات من متوسط السقوط المطري السنوي للمنطقة؛ حيث تعد هذه المتوسطات عالية التأثير.
- تقييم الحالة الزلزالية للمنطقة وفق الدراسات والأبحاث المعنية السابقة بهذا الخصوص.

إن إعداد خريطة أخطار الانهيارات الأرضية وفق هذه المعايير، التي تمت موازنة تأثيرها على تحديد مستويات الأخطار المحتملة – قد راعى العديد من المناهج المتبعة في دراسة أخطار الانهيارات الأرضية، وأعطت العوامل

الجيولوجية والزلزالية وسجل الأحداث السابقة نحو (٤٥٪) من التقييم، ودراسة المنحدرات بـ (٣٥٪)، والأمطار(١٠٪)، وتأثير الإنسان (١٠٪).

٤-٢- خريطة قابلية التعرض:

منطقة الدراسة ذات خصوصية عالية؛ إذ إنها تعد امتداداً حضرياً لمدينة صنعاء عاصمة اليمن، وفيها من أهم المعالم التاريخية والسياحية في اليمن (دار الحجر)، كما تعد منتجعاً سياحياً لسكان العاصمة صنعاء، إضافة إلى أن المنطقة تعد من أهم الأودية الزراعية في حوض صنعاء، ويعمل معظم سكانها في هذا النشاط. لقد تم تصنيف المكونات المادية والبشرية في المنطقة (سكان، مساكن، مدارس، مواقع سياحية وأثرية، طرقات، مياه، زراعة، رعي)، وتحديد حساسية كل مكون وتأثره من أخطار الانهيارات الأرضية، ومن ثم تم إعداد خريطة التعرض لهذه المكونات، وتحديد خمسة مستويات من حساسية التأثير وإمكانية التعرض، وعلى النحو الآتي: أراض صخرية غير مستخدمة (منخفض جداً)، أراض زراعية موسمية (منخفض)، أراض زراعية مروية، آبار مياه ومضحات (متوسط – عال)، مبان وطرق ومدارس ومواقع أثرية وتجمعات سكانية (عال جداً)، مع مراعاة هشاشة هذه المكونات وضعفها، منها طبيعة المباني من حيث عدد السكان ونوعية البناء ودرجة مقاومته لاحتمالات الانهيارات الأرضية.

٤-٣- خريطة المخاطر:

أعدت خريطة المخاطر Risk Map وفق المعادلة الآتية: (Hazard*Vulnerability = Risk)، ومن خلال الجدول (١) يشير العمود الأول إلى مستويات أخطار الانهيارات الأرضية Hazard level، والعمود الثاني يوضح مستويات حساسية تعرض المكونات المادية والبشرية Vulnerability Level، والعمود الثالث يمثل مقدار المخاطر Risk level. **مثال على ذلك**: إذا كانت منطقة معينة تقع في المستوى العالي من الأخطار (العمود الأول)، وقابلية التعرض لهذه المنطقة نفسها متوسط المستوى (العمود الثاني)، لذا تعد المنطقة في المستوى المتوسط من المخاطر.

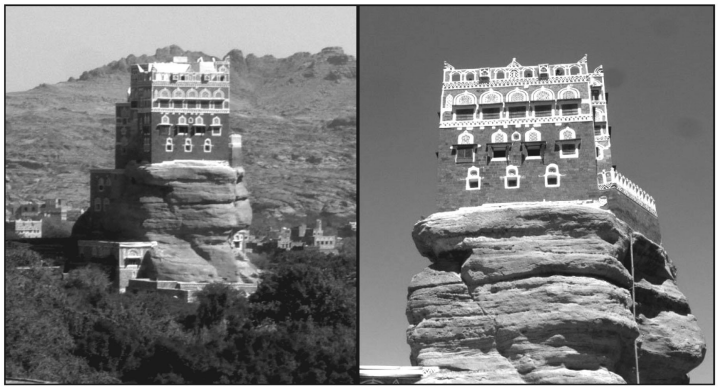
الجدول (١)
طريقة حساب مستويات المخاطر من واقع مستويات الأخطار وقابلية التعرض

العمود ١ الأخطار	العمود ٢ قابلية التعرض	العمود ٣ المخاطر	العمود ١ الأخطار	العمود ٢ قابلية التعرض	العمود ٣ المخاطر
عال جداً Very high	عال جداً	عال جداً	متوسط Medium	منخفض	منخفض
	عال	عال		منخفض جداً	منخفض جداً
	متوسط	متوسط	منخفض Low	عال جداً	منخفض
	منخفض	منخفض		عال	منخفض
	منخفض جداً	منخفض		متوسط	منخفض
عال High	عال جداً	عال		منخفض	منخفض جداً
	عال	عال		منخفض	منخفض جداً
	متوسط	متوسط	منخفض جداً Very low	عال جداً	منخفض جداً
	منخفض	منخفض		عال	منخفض جداً
	منخفض جداً	منخفض جداً		متوسط	منخفض جداً
متوسط Medium	عال جداً	متوسط		منخفض	منخفض جداً
	عال	متوسط		منخفض	منخفض جداً
	متوسط	منخفض			

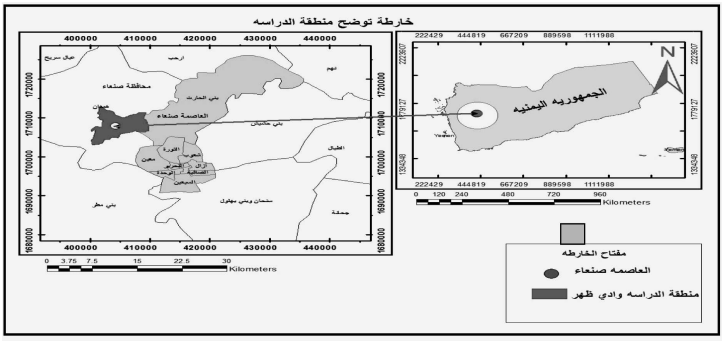
* الجدول من عمل الباحث مأخوذ من مصفوفة حساب قيمة المخاطر عن (Koko, C, 2004)

٥ – منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة (وادي ظهر) إلى الغرب من مدينة صنعاء عاصمة الجمهورية اليمنية، تشمل إدارياً جزءاً من مديرية همدان محافظة صنعاء، وكذلك جزءاً من مديرية بني الحارث – أمانة العاصمة، تقدر مساحة المنطقة بنحو (٥٠,٣)كم^{٢}. ومن أهم القرى في هذا الوادي قرية القابل وقرى وادي ظهر ودار الحجر الذي يعد من أهم المعالم السياحية الجيولوجية والأثرية في اليمن. الشكلان (١–٢).



الشكل (١) – دار الحجر، وادي ظهر، مديرية همدان، محافظة صنعاء



الشكل (٢) – منطقة الدراسة وموقعها من عاصمة الجمهورية اليمنية صنعاء

٦ – أخطار الانهيارات الأرضية:

تعتبر الانهيارات الأرضية من العمليات الجيولوجية الخطرة، تحدث في فترة زمنية قصيرة وسريعة، تسبب أضراراً بشرية ومادية (السفاريني، ٢٠٠٩). ترتبط هذه الظاهرة بعدد من العوامل الطبيعية والبشرية، من ذلك نوع الصخور، والتراكيب الجيولوجية، والزلازل، وكميات الأمطار، والتباين التضاريسي، والشكل المورفولوجي وتأثير الإنسان في زيادة الأحمال على المنحدرات، وكذلك عمليات القطوع والتفجيرات لغرض الإنشاءات والطرق (Masannat, 2009).

إن لموقع اليمن الجيولوجي المحاط في جزأيه الغربي والجنوبي بحافات بنائية (تكتونية توسعية) تشمل البحر الأحمر وخليج عدن – انعكاساً على الحالة الزلزالية والبركانية، وانتشار الصدوع النشطة والتراكيب المتعددة، وأدت الانبثاقات البركانية – خلال العصور الوسطى والحديثة – إلى تشكل مرتفعات جبلية عالية ومعقدة التضاريس، يزيد ارتفاعها على ٣٠٠٠ متر عن سطح البحر، وقد أسهم ارتفاع كمية السقوط المطري السنوي، في انتشار ظاهرة الانهيارات الأرضية في هذا البلد.

بدأ الاهتمام الرسمي بمخاطر الانهيارات الأرضية في اليمن بعد حدوث زلزال ذمار عام ١٩٨٢، وقد رافق هذا الزلزال حدوث انهيارات أرضية متعددة سببت أضراراً كبيرة. وتفاعل الاهتمام بشكل أكبر نهاية عام ٢٠٠٥ عند حدوث تساقط كتل صخرية على قرية الظفير غرب مدينة صنعاء، وأدى هذا الحدث إلى وفاة (٦٤) نسمة، وتهدم أكثر من ٢٠ مبنى سكنياً. وقد تمثل هذا الاهتمام في دراسة ظاهرة الانهيارات الأرضية من قبل هيئة المساحة الجيولوجية والثروات المعدنية، التي حددت خلال الأعوام ٢٠٠٦–٢٠١٢ نحو (٥٠٠) موقع يحتمل حدوث انهيارات أرضية فيها، وأخرى حاصلة (YGSMRB).

٦–١– تقييم أخطار الانهيارات الأرضية في منطقة الدراسة:

إن دراسة الخصائص الطبيعية والبشرية لمنطقة الدراسة تسهم في تقييم أخطار الانهيارات الأرضية، وتحديد مستويات هذه الأخطار المحتملة وتوزعها الجغرافي للمنطقة، ولاسيما أن هذه الخصائص التي تتميز بها المنطقة تسببت في حدوث العديد من الانهيارات الأرضية السابقة. إن هذه الدراسة سوف توضح دور العوامل الطبيعية (الجيولوجية والجيومورفولوجية والمناخية والزلزالية) المساهمة في حدوث أخطار الانهيارات الأرضية، على النحو الآتي:

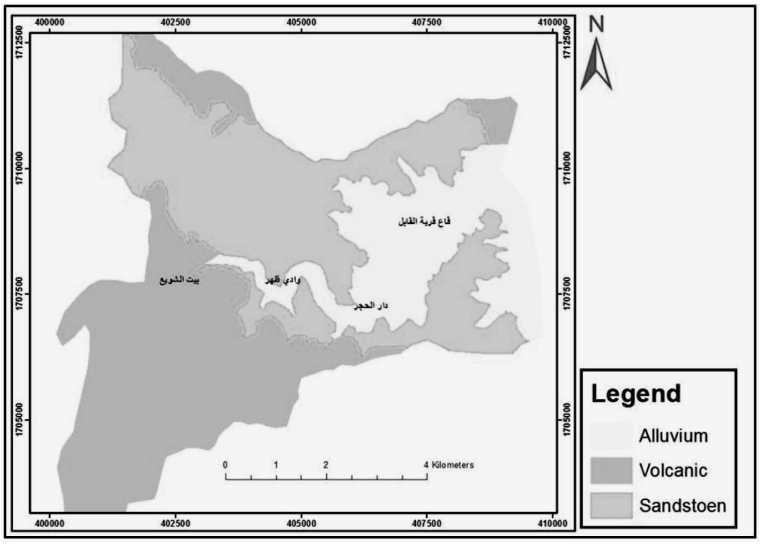
٦–١–١– الوحدات الصخرية:

تتوزع في وادي ظهر (منطقة الدراسة) العديد من المكاشف الصخرية. الشكل (٣)؛ حيث يظهر الحجر الرملي بشكل كبير على منطقة الدراسة، وتقدر

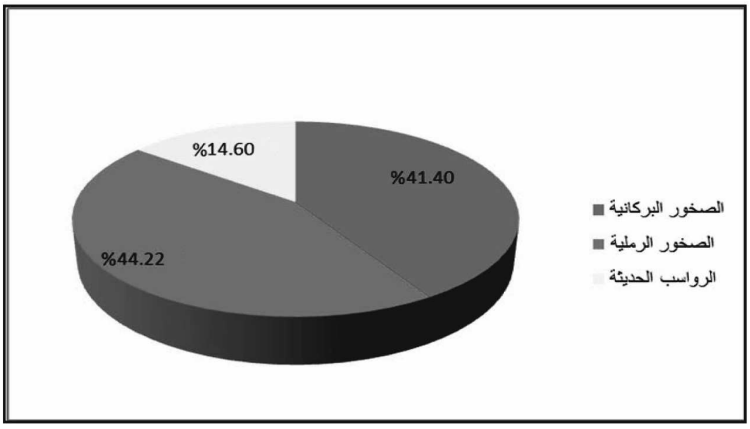
مساحة هذا المكشف بنحو (٤٤,٢٢٪) من المساحة الإجمالية للمنطقة، الشكل (٤). ويعود عمر هذه الصخور إلى العصر الكريتاسي، وتسمى مجموعة الصخور الطويلة الرملية Tawilah Group، وهي تظهر على شكل طبقات متعاقبة من الرمل الأبيض المصفر والكونجلوميرات والطين وطبقات أخرى ذات حبيبات خشنة رملية حمراء وقليل من الطين والغرين، وفي المكاشف الصخرية السفلية لحواف وادي ظهر، تظهر الفحوصات المخبرية لعينات صخرية ضعف مقاومة هذه الصخور Intact rock strength، بحسب تصنيف SSI (Massanat, 2011)، وتتصف المكاشف الوسطى من منحدرات هذه الصخور بالحبيبات الرملية الخشنة إلى ناعمة بيضاء مصفرة متوسطة المقاومة، وهي تقع بين (١٦ و ٢٢) MPa، وفي الجزء العلوي صخور رملية بنفسجية أكثر مقاومة، وهي تقع بين (٣٧ و ٤٢) MPa، وقد سببت وجود كتل صخرية بارزة آيلة للسقوط. أوضحت دراسة العبيدي ومجوحان (٢٠٠٧) للمنطقة المجاورة التي حدث فيها انهيار أرضي عام٢٠٠٥، أن الجزء العلوي من مكاشف الصخور الرملية مصدر انطلاق الكتل الصخرية، بسبب خصائص الصخور الهندسية وأنظمة الشقوق الموجودة فيها، إضافة إلى مسامية الصخور وتشبعها بالمياه؛ مما يزيد من وزنها، ويسبب تساقط الكتل الصخرية وانقلابها.

تنتشر في الجزء الغربي والجنوبي من منطقة الدراسة صخور البازلت المصمت ضمن بركانيات اليمن الثلاثية؛ حيث تنكشف على هيئة عمدانية وكتلية مشققة، وتتميز بلون أسود ونسيج مصمت دقيق التحبب، وتتوزع في مناطق بعيدة عن وجود السكان والأنشطة الاقتصادية.

تظهر الرواسب الوديانية الحديثة على قاع منطقة الدراسة التي تنتشر فيها الأراضي الزراعية، وتتألف من الحصى والطين والغرين (الخريطة الجيولوجية، ١:٢٥٠٠٠٠، لوحة صنعاء). ويشير سجل الانهيارات الأرضية السابقة إلى حدوث عدد من الانهيارات الصخرية في الحجر الرملي في المنطقة المجاورة لمنطقة الدراسة، بينما ينخفض إلى أقل من ذلك في الصخور البركانية، وفي منطقة الدراسة تتوزع أحداث تساقط الصخور على حواف منخفض الوادي (YGSMR).



الشكل (٣) – الوحدات الصخرية بمنطقة الدراسة



الشكل (٤) – النسبة المئوية لكل وحدة صخرية من إجمالي مساحة منطقة الدراسة

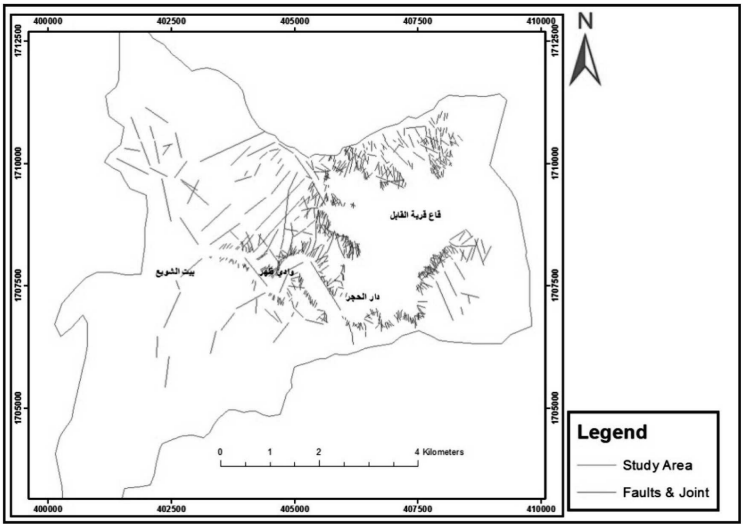
٦-١-٢- الشقوق:

تمت دراسة الشقوق في منطقة الدراسة بوساطة المرئيات الفضائية، ورسم خطوط وامتدادات هذه الشقوق التي كانت واضحة على مكاشف الصخور

الرملية، وغير واضحة على الصخور البركانية، ومن ثم رسمت شبكة من الشقوق، الشكل (٥)، تظهر أنها تأخذ الشكل التكتوني في اليمن، ويمكن تقسيم اتجاهاتها إلى مجموعتين: الأولى تتجه نحو الشمال الشرقي بين درجتي (٣٥ °و ٤٥ °)، والثانية تتجه نحو الشمال الغربي بين درجتي (٣٣٥ °و٣٤٥ °)؛ أي أن الأولى موازية لخليج عدن، والثانية للبحر الأحمر، اللذين يمثلان منطقة توسع بنائي مستمر للصفيحة العربية التي تتجه في حركتها نحو الشمال الشرقي، وسببت حدوث مناطق الضعف المختلفة على الصخور اليمنية، ومنها منطقة الدراسة.

بما أن غالبية هذه الشقوق في الصخور الرملية تمت دراستها حقلياً، واستخلاص بعض الخصائص الهندسية لها، ونجد طول معظمها يزيد على (٢٠) متراً، وإن أكثر من (٥٠٪) من هذه الشقوق تبلغ المسافة البينية بينها أكثر من (١) متر، وإن نحو (٥٠٪) يزيد انفتاحها على (٠,٥) متر، ومعظم المواد المليئة صلبة يزداد حجمها على (٥) ملم، كما تم تعرف حالة توافر المياه في هذه الشقوق، ووجدت أنها في حالة مشبعة Damp، إلا أنه سجل وجود مياه جارية في بعض الشقوق بفعل الصرف الصحي للمجمعات السكنية، كما في منحدر قرية طيبة.

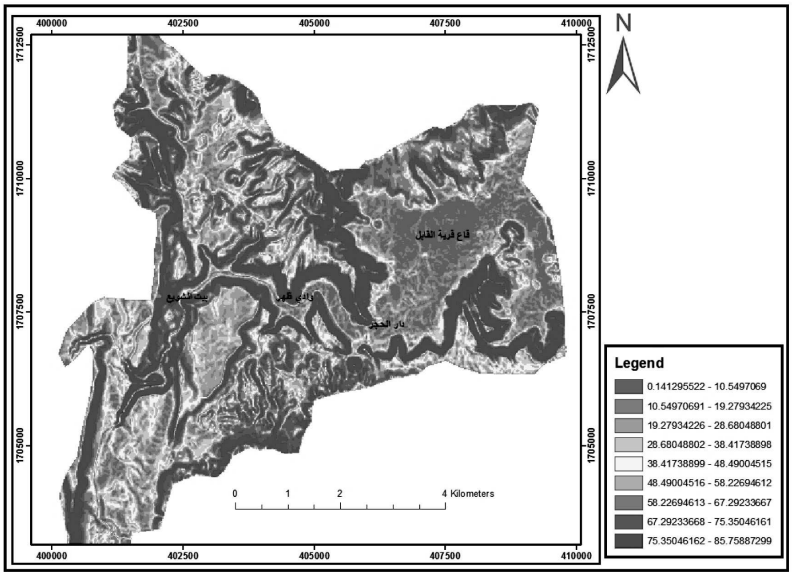
إن معظم أسطح الشقوق التي رصدت في منطقة الدراسة تقع بين فئتين من حالة التموج، وكل منهما تعد ضعيفة التموج، وتشير البيانات إلى أن نحو (٦٦٪) من المواقع المدروسة ملساء Smooth، وبقية البيانات تقع في حالة الحزوز Slickensided. وهذه الخصائص الهندسية للانقطاعات المدروسة تجعلها مساهمة في عدم استقرارية المنحدرات الصخرية.



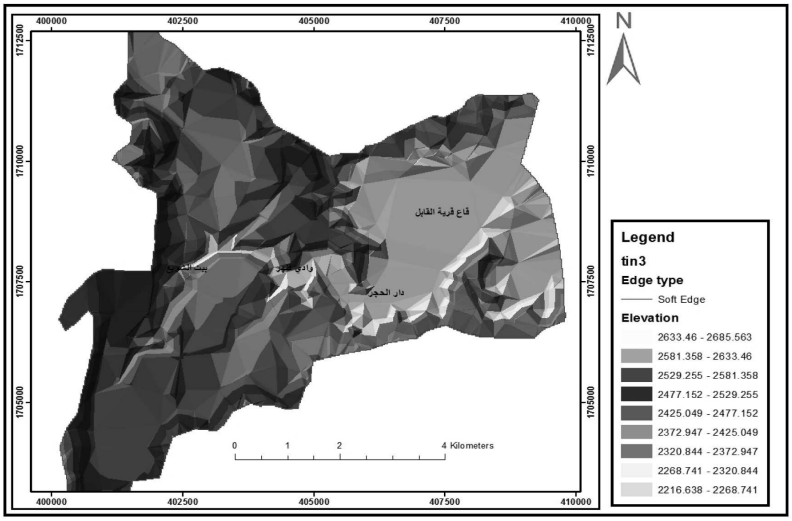
الشكل (٥) – الشقوق والصدوع في منطقة الدراسة

٦–١–٣– المنحدرات:

تحدث حركة الكتل الصخرية والانهيارات الأرضية المختلفة على المنحدرات الجبلية ذات الانحدار العالي؛ حيث تتغلب قوى الجاذبية الأرضية على قوى التماسك والثبات لمكونات المنحدر (محسوب، ٢٠٠١). وتأخذ منطقة الدراسة في المجمل العام طابع الانحدار العالي الذي يزيد على (٤٠°)، والشكلان (٦–٧)، خاصة على الصخور الرملية والبركانية، وتصل أقصى درجة الانحدار على حواف وادي ظهر وتسمى جيومورفولوجياً شرفة الأجراف، ويقصد بها الجزء البارز من السفوح، الذي يطل على الأجزاء السفلية من المنحدر، ويحدث هذا النوع من المنحدرات بسبب ضعف الطبقات الصخرية السفلية (الدليمي، ٢٠٠٥)، وهو ما أوضحته الفحوصات المخبرية للعينات الصخرية للمنطقة. وتوجد أسفل هذه الحواف معظم القرى والتجمعات السكانية، في الوقت نفسه يبلغ أقصى حد للتباين التضاريسي في هذه الحواف مع المنخفض الزراعي؛ إذ نجد مقدار فارق الارتفاع بين (١٤٠–١٨٠م/ ٢٥٠م^{٢})، وتقل درجة الانحدار وفوارق الارتفاع في منخفض الوادي عند الرواسب الوديانية الحديثة.



الشكل (٦) – فئات الانحدار في منطقة الدراسة



الشكل (٧) – مجسم ثلاثي الأبعاد يوضح التباين التضاريسي للمنطقة

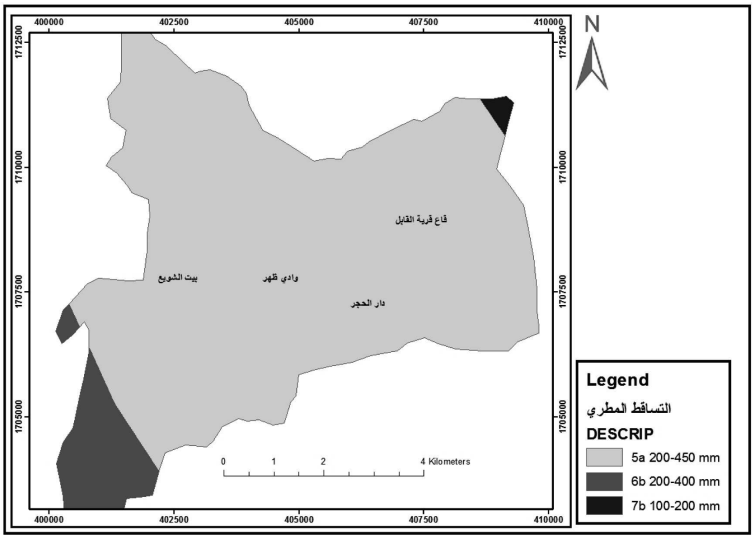
٦-١-٤- الزلازل:

غالباً ما يصاحب حدوث الزلازل انهيارات وانزلاقات صخرية وطينية تتسبب في حدوث دمار للبنى التحتية وقتل وتشريد للسكان، وتعوق هذه الانهيارات حركة إدارة الكارثة بسبب قطع الطرقات والكهرباء وغيرها من عمليات الطوارئ والإنقاذ، ناهيك عن دور الزلازل الخفيفة والمتوسطة في إخلال توازن المنحدرات، وظهور شقوق بسيطة تتسرب من خلالها المياه إلى الطبقات الطينية الزلقة؛ مما يسبب انزلاقات أرضية متعددة. وقد تناول العديد من الباحثين زلزالية اليمن، من هؤلاء العيدروس (١٩٩٧)؛ إذ قام بإعداد الخريطة الزلزالية التكتونية لليمن، وحددت الخريطة نطاقين للفاعلية الزلزالية: النطاق الأول البحري، والثاني اليابسة وقسم النطاق الثاني إلى الهضبة اليمنية التي تقع فيها منطقة الدراسة ونطاق منطقة حضرموت (العيدروس، ١٩٩٧).

إن دراسة البنك الدولي لتحديد مستويات المخاطر الزلزالية في اليمن قد استندت إلى عوامل، منها: السجل التاريخي للأحداث الزلزالية، وتحديد مناطق الفوالق والشقوق والوضع التركيبي والصخري، وخريطة التربة والتفسير الأولي للخرائط الزلزالية والمغناطيسية الجوية، ومن ثم جعلت منطقة الدراسة في المستوى العالي من الخطورة الزلزالية (World Bank, 2011).

٦-١-٥- الأمطار:

تشير البيانات المناخية الرسمية من هيئة البحوث الزراعية اليمنية، الشكل (٨)، إلى وقوع منطقة الدراسة بين ثلاثة مستويات متقاربة من متوسط السقوط المطري السنوي، حيث يغطي نحو (٨٠٪) من منطقة الدراسة متوسط سنوي بين (٢٥٠ و ٤٥٠) ملم/السنة، وتعد هذه نسبة مساهمة في احتمالية حدوث أخطار الانهيارات الأرضية، ولاسيما أن هذه الأمطار موسمية، وتحدث في فترات متباعدة وبزخات كبيرة، تعمل على غسل المنحدرات وتقويض الصخور وتبلل الأطيان الزلقة.

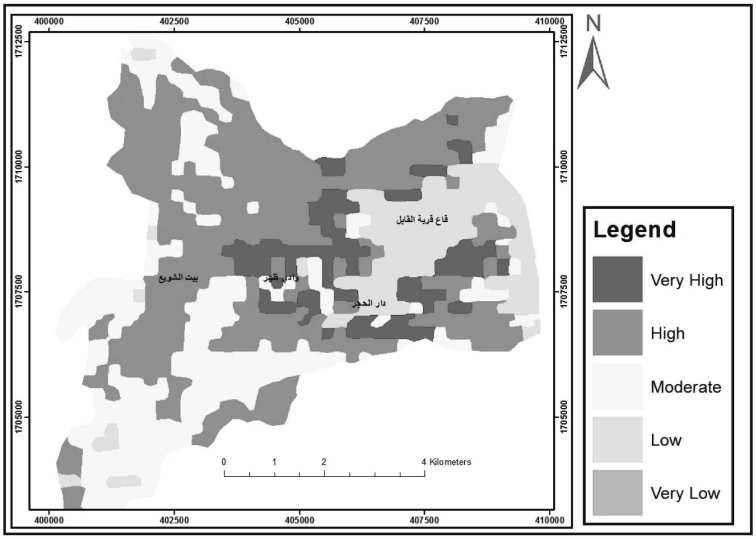


الشكل (٨) – متوسط كمية الأمطار السنوي لمنطقة الدراسة

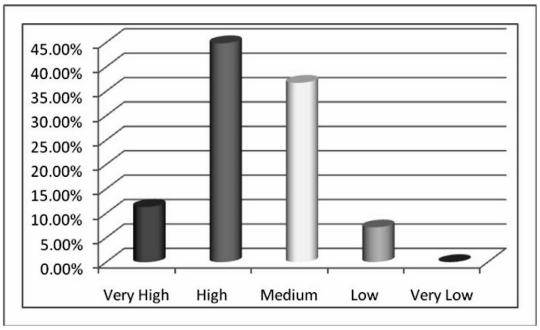
٦-٢- خريطة أخطار الانهيارات الأرضية في منطقة الدراسة:

سبق توضيح كيفية إعداد هذه الخريطة في آلية الدراسة. إن معايير تقييم احتمالية حدوث مخاطر الانهيارات الأرضية من خلال البيانات التي اشتقت منها الخريطة، قد وضحت مستويات الاحتمالية. الشكل (٩)؛ حيث نجد أن المناطق الجرفية شديدة الانحدار، والتباين التضاريسي، وتباين مقاومة الصخور وكثافة الشقوق، التي تمثل الحواف والشرفات الصخرية على وادي ظهر، تعد المستوى العالي جداً من الخطورة Very High بنسبة (١١,٣٠٪) من المساحة الإجمالية للمنطقة. ولمعرفة نوع الانهيار المحتمل في هذا المستوى، تم إدخال البيانات الميدانية لقيم اتجاهات وميول الشقوق والمنحدرات عبر الحاسوب وتحليلها بوساطة برنامج Rockwor99، وبينت احتمالية حدوث تساقط صخري Rock Fall ينتشر عادةً في المنحدرات شديدة الميل ذات الشقوق العمودية. أما المستوى العالي High من الأخطار فقد أخذ الخصائص السابقة نفسها، مع

ضعف فاعلية العامل المؤثر مقارنة بالسابق، وينتشر في المناطق المجاورة للمستوى الأعلى، وتقدر نسبة هذا المستوى بـ (٤٤,٨٤٪) من المساحة الإجمالية، وتشير البيانات المدخلة إلى معرفة نوع الانهيار المحتمل في هذا المستوى باحتمالية حدوث انقلاب Toppling كتل صخرية ودحرجة Rolling، إضافة إلى بعض الانزلاقات الإسفينية. بينما نجد المستوى المتوسط ينتشر في مناطق الهضاب والمنحدرات المتوسطة في منطقة الدراسة، بنسبة (٣٦,٧٣٪) من المساحة الإجمالية، وتتوزع فيه الانزلاقات الدورانية والزحف الصخري. ونجد منطقة السهل الرسوبي والفيضي للوادي في المستوى المنخفض بنسبة(٧,١٢٪) من المساحة الإجمالية. الشكل (١٠).



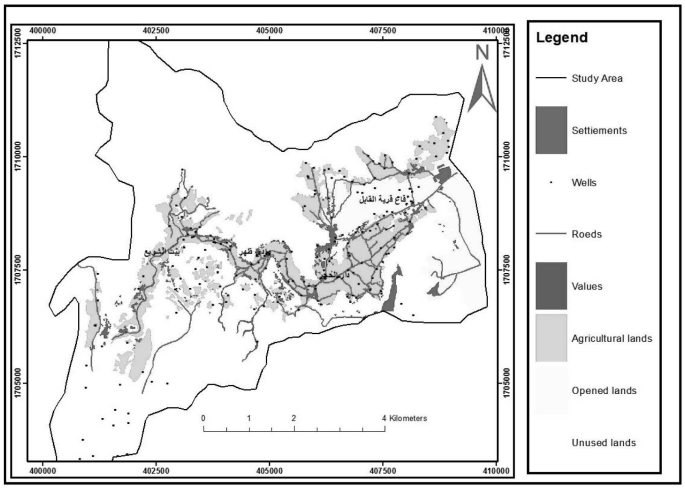
الشكل (٩) – مستويات خريطة أخطار الانهيارات الأرضية في المنطقة



الشكل (١٠) – النسبة المئوية لمستويات أخطار الانهيارات الأرضية في المنطقة

٧ – تقييم قابلية التعرض:

تتحكم في قابلية التعرض عدة عوامل؛ من ذلك المستويات العالية والمتوسطة من خريطة أخطار الانهيارات الأرضية، وكثافة السكان ومقدار وعيهم واستعدادهم لمواجهة هذه المخاطر، إضافة إلى توافر وسائل الإنذار المبكر وأجهزة مراقبة تحرك المنحدرات، وتقنية الاتصالات، وإدراة المخاطر. إن تقييم قابلية التعرض للمكونات المادية والبشرية لمنطقة الدراسة، يأتي من خلال الجرد لجميع هذه المكونات في منطقة الدراسة، لغرض معرفة قابليتها للتعرض، الشكل (١١).



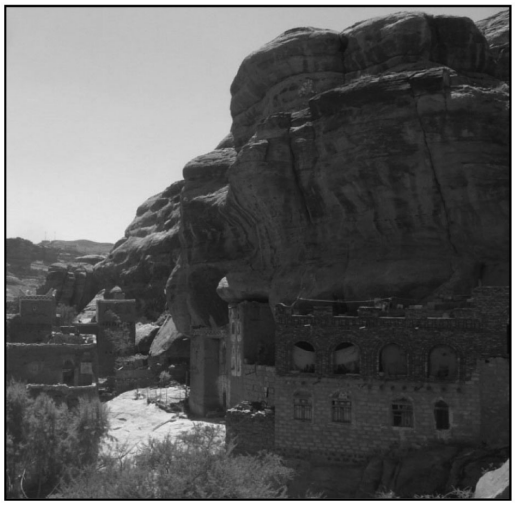
الشكل (١١) – جرد المكونات المادية والبشرية لمنطقة الدراسة

إن معرفة خصائص هذه المكونات تعطي نتائج أكثر دقة في تحديد حجم الأضرار والخسائر المتوقعة، لذا فإن الدراسة قد انتهجت أسلوب معرفة الخصائص لكل مكون على حدة، وهو على النحو الموضح فيما يأتي:

٧-١- السكان والمساكن:

يعد هذا المكون من أهم المكونات حساسية للتعرض؛ حيث إن وجود التجمعات السكانية في مستوى الخطر العالي أو المتوسط، يعتبر في أعلى مستويات خريطة المخاطر، خاصة إذا لم تتوافر وسائل الحد والتخفيف من أخطار الانهيارات الأرضية، كالتنبؤ المبكر، وثقافة المجتمع بهذه الأخطار، وطبيعة البناء المقاوم للكتل الصخرية المنهارة، ووسائل المعالجات والتدخلات الهندسية في المنحدرات الجبلية.

تتوزع التجمعات السكانية والمحالّ والمباني المتناثرة في منطقة الدراسة أسفل المنحدرات الصخرية التي تطل على الوادي الزراعي، الشكل (١٢)، وتعد قرية القابل السياحية والأثرية أهم هذه التجمعات السكانية. الجدول (٢) وجاءت هذه التجمعات وعدد السكان والأسر وعدد المساكن بحسب نتائج آخر تعداد نفذ في اليمن عام ٢٠٠٤.



الشكل (١٢) – توزع المباني أسفل الحافات الصخرية وفي الجروف

إن معظم المباني السكنية في منطقة الدراسة تتكون من طابقين وأكثر، خاصة في القرى القديمة كقرية القابل والقرى المجاورة، وتكون مادة البناء – في الغالب – من الحجر المحلي للطابق الأرضي، أما الطوابق العلوية وتكون من الطين أو الياجور (طين محروق) أو مادة البلك، وفي الآونة الأخيرة – بعد تحسن المعيشة نتيجة الزراعة النقدية في المنطقة – بدأ انتشار مبان حديثة (كونكريت)، وهي من أحجار البناء التي تتميز بها اليمن. أما منطقة التوسع العمراني القادم من مدينة صنعاء نحو منطقة الدراسة، فالبناء يأخذ الطابع الحضري، منه الفلل والمباني المستقلة والواسعة التي تتضمن منتزهات وغيرها.

الجدول (٢)

عدد السكان والأسر والمساكن في قرى ومحالّ منطقة الدراسة

م	القرية	عدد الحارات	السكان	إجمالي الأسر	إجمالي المساكن
١	القابل	٣٠	١٥٥٦٤	٢٠٣٦	٢١٤٦
٢	وادي ظهر	٢٣	٧٨٤٤	٩٦٢	٨٤٦
	إجمالي سكان منطقة الدراسة		**٢٣٤٠٨**	**٢٩٩٨**	**٢٩٩٢**

المصدر: الجهاز المركزي للإحصاء، بيانات منشورة، التعداد العام للسكان والمساكن المنشآت، ٢٠٠٤.

ولاحظت الدراسة الحقلية وضع احترازات لبعض المباني من مخاطر الانهيارات، وتبين من خلال الاستبانة الموزعة على عينة من السكان أن هذه المباني السكنية لأصحاب رؤوس أموال، لديهم معرفة بمخاطر الانهيارات الأرضية من خلال زياراتهم للخارج، وتعرفهم مخاطر الانهيارات الأرضية، وارتفاع كلفة التأمين على هذه المباني الكبيرة عند العمل بالتأمين مستقبلاً، وحول استعداد المواطنين – خاصة الأصليين – لهذه المناطق لمواجهة أخطار الانهيارات الأرضية المحتملة، التي يتكرر حدوثها عليهم في أوقات مختلفة، كانت الإجابة للغالبية أنه ليس لديهم أي استعداد، أو وضع تصور مستقبلي لمواجهة هذه الأخطار، ويعزون ذلك إلى أن هذه الأمور ترجع إلى قدرة الله، وأنه الحافظ لهذه القرى منذ مئات السنين، ومن ثم فإن أي تدخل منهم قد يساعد في حدوث

الانهيارات؛ كونهم أصبحوا يعتمدون على التقنيات، وليس على الله. من خلال الاستبانة تبين أن غالبية السكان الذين لديهم توجه ببناء مساكن جديدة، قد انصرفوا عن مناطق أسفل المنحدرات، تجنباً للانهيارات الأرضية عليها، خاصة بعد انهيار منطقة الظفير، نهاية عام ٢٠٠٥، الذي قتل فيه نحو ٦٤ نسمة. وحول دور الحكومة المركزية في إيجاد تدخلات ومعالجات هندسية للمنحدرات الصخرية كي يتم درء الخطر، أجاب المختصون في هيئة المساحة الجيولوجية بأنهم معنيون فقط بإجراء دراسة تقييم استقرارية المنحدرات الصخرية واقتراح المعالجات المناسبة لها، وعلى الجهات المعنية – كوزارة الأشغال العامة والسلطة المحلية – تنفيذ هذه المعالجات، ووجه السؤال نفسه إلى هذه الجهات، إلا أنهم يفيدون بعدم وجود مخصصات مالية لمواجهة هذه المعالجات، كما أفادوا بأنه لايوجد صندوق لمواجهة الكوارث في البلاد. وحول موضوع مراعاة مهندسي التخطيط الحضري عند إجراء وتنفيذ مخططاتهم العمرانية – أخطار الانهيارات الأرضية، أكدوا أنهم يتخذون كل الأساليب الفنية لجعل المناطق التي تشير خصائصها الجيولوجية والتضاريسية إلى إمكانية حدوث انهيارات أرضية فيها – مناطق مفتوحة (غير سكنية)، إلا أن ارتفاع أسعار الأراضي في العاصمة صنعاء، وازدحام السكن فيها، جعل غالبية المواطنين ذوي الدخل المحدود يتجهون لشراء هذه المنحدرات والبناء فيها دون مراعاة التصاميم والدراسات الهندسية، إضافة إلى ضعف قدرة الدولة في إدارة هذه المناطق.

٧-٢- المناطق الأثرية:

يقع في منطقة الدراسة (دار الحجر) التي تعد من أهم المعالم السياحية الجيولوجية والأثرية، تم بناء هذه الدار على عمود صخري من الحجر الرملي، تشكل بفعل الشقوق التي تمتاز بها المنطقة، وكذلك عوامل التعرية خاصة. وتشير المصادر إلى أن تصميم الدار تم على أنقاض معبد قديم، في القرن الثامن عشر الميلادي، يأخذ تصميماً معمارياً فنياً مميزاً. يرتاد هذا المعلم السياحي عدد كبير من السياح من الداخل والخارج (اللهبي، ٢٠١٤، ص٣٧٨). وادي ظهر يمتاز بأنه واد زراعي، إضافة إلى أن الشكل المورفولوجي له جعل منه أهم

متنفس سياحي لسكان العاصمة صنعاء، خاصة في أيام المناسبات والأعياد، وينتشر مرتادو المنطقة على شرفات مرتفعات الوادي من الجهة الجنوبية؛ حيث يكون المنظر رائعاً، ولاسيما في فصلي الربيع والصيف.

٧-٣- الطرقات:

إن شبكة الطرق في منطقة الدراسة تعد من الطرق الثانوية التي تربط التجمعات السكانية المنتشرة في منطقة الدراسة، وخاصة وادي ظهر، بمدينة صنعاء الواقعة جنوبها، ومدينة عمران الواقعة شمالها. معظم هذه الطرق ترابية تمتد أسفل الحافات الصخرية دون عملية الشق والقطع، ماعدا مناطق محدودة في أعالي وادي ظهر. بعض الطرق الرئيسية في المنطقة تتخذ المجرى الرئيسي للوادي ممراً لها، تنغلق عند موسم الأمطار، وهذا يزيد من فاعلية قابلية التعرض؛ حيث إن معظم الانهيارات تحدث في أثناء مواسم سقوط الأمطار، والطريق غير الآمنة بسبب السيول تتسبب في صعوبة إدارة المخاطر والطوارئ والإنقاذ.

٧-٤- الزراعة ومضخات المياه:

تعد الزراعة النشاط الرئيسي لسكان هذه المنطقة، وتتميز بأنها زراعة مروية، ومعظم المحاصيل فيها نقدية، حيث تنتشر زراعة المشمش والبلس والعنب والتفاح، وزراعة القات التي غطت حالياً مناطق واسعة من المنطقة، وقد ساعد القرب من مدينة صنعاء على التسويق السريع والمربح. وتأتي أنشطة التجارة والعمل السياحي في المرتبة الثانية، ولا سيما أن المنطقة – بحسب نتائج الاستبانة – تشهد تشتتاً في الملكية الزراعية بسبب الزيادة في عدد السكان، وصعوبة استصلاح أراض زراعية جديدة، وكلفة هذا الاستصلاح إذا تم في نطاق المكاشف الصخرية.

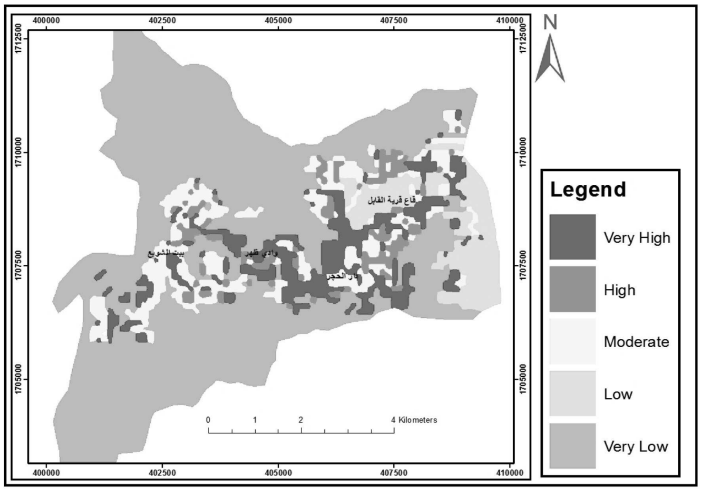
إن مصدر المياه الرئيسي أصبح حالياً هو الخزانات الجوفية، بعد أن نضبت الينابيع التي كانت المنطقة تمتاز بها. وتشير البيانات الخاصة بحصر الآبار الارتوازية في حوض صنعاء لعام ٢٠٠٢، إلى وجود نحو (١٨٩) بئراً، يتوزع معظمها على المكاشف الصخرية الرملية والرواسب الحديثة، بمتوسط

عمق الآبار بين (٢٥٠ و ٣٠٠) متر، ومستوى المياه بين (١٥٠–٢١٠) أمتار (NWRA). يستغل معظم مياه هذه الآبار في الزراعة، خاصة زراعة القات، وتعد تكاليف حفر هذه الآبار كبيرة، وكذلك قيمة معدات ومضخات المياه. من خلال العرض السابق يوضح الجدول (٣) تصنيف حساسية هذه المكونات المادية والبشرية لمنطقة الدراسة.

الجدول (٣)

تصنيف حساسية المكونات وقابلية تعرضها لأخطار الانهيارات الأرضية

م	قابلية التعرض	المكونات المادية والبشرية
١	عال جداً	ضحايا بشرية وتدمير مبان سكنية ومدارس ومضخات مياه وأراض زراعية بشكل كلي.
٢	عال	تدمير للطرق والمضخات والأراضي الزراعية والمنشآت الحيوية بشكل جزئي.
٣	متوسط	تدمير جزئي للأراضي الزراعية الموسمية.
٤	منخفض	تدمير المناطق الرعوية.
٥	منخفض جداً	لايوجد (أراض غير مستخدمة)



الشكل (١٣) – مستويات خريطة قابلية تعرض المكونات المادية والبشرية

الشكل (١٣) يوضح مستويات قابلية تعرض المكونات المادية والبشرية، ودرجة حساسيتها، وهو ما تبينه تفاصيل الجدول (٣)؛ حيث نجد المستوى عالي الحساسية حيثما تنتشر الكثافة السكانية العالية والمباني الكثيفة ذات الطوابق الأكثرمن (٢)، والمباني ضعيفة المقاومة (شعبية)، وفي القرى الكبيرة التي تشمل مواقع أثرية ومدارس ومنشآت مهمة، إضافة إلى ضعف المكون البشري وهشاشته. ويتوزع المستوى العالي بجوار الأول حيث أطراف القرى والمحالّ عندما تقل الكثافة السكانية وعدد المباني، وتكون المباني جديدة أقوى من مباني مراكز القرى. يجاور المستوى المتوسط أيضاً المستوى الثاني؛ حيثما يقع في أطراف القرى الأنشطة الاقتصادية في المنطقة، من أهمها المزارع، ومن ثم يمكن أن تترتب قيمة الحساسية من داخل القرى والمحال السكانية، ثم أطراف هذه القرى، ثم مخارجها حيث الزراعة الدائمة، وتتحدد في نطاق قاع قرية القابل ووادي ظهر وبعض المناطق ذات الاستصلاح الزراعي الحديث.

٨ – خريطة المخاطر:

إن معرفة قيمة المخاطر في منطقة الدراسة، وتقدير الأضرار، تأتي بعد إنتاج خريطة أخطار الانهيارات الأرضية وخريطة قابلية التعرض، وأظهرت خريطة المخاطر خمسة مستويات من المخاطر المتوقعة، الشكلان (١٤–١٥)، التي تتوزع مكانياً على النحو الآتي:

٨–١– مستوى مخاطر عال جداً:

قد يسبب هذا المستوى من المخاطر أضراراً كلية في المناطق التي يشملها، يتركز جغرافياً أسفل الحافات الصخرية الرملية التي تطل على وادي ظهر، يشمل مباني ومزارع ومضخات مياه وطرقات من بعض أجزاء قرى ومحال قرية القابل، وقرى حيدان وبيت العذري وحارة جنة وجسار وبحشان، وتقدر نسبة هذا المستوى بـ (٤,٠٩٪) من المساحة الإجمالية للمنطقة.

٨–٢– مستوى مخاطر عال:

إن المخاطر المتوقعة في هذا المستوى قد تسبب أضراراً جزئية لعدد من المزارع ومضخات المياه وطرق المناطق التي تتوزع في أجزاء من قرى قزعان

وبيت الشويع وبيت الجمل ودباس، وجزء من قرية القابل وثقبان وعلمان، وتقدر نسبة مساحة هذا المستوى بنحو (٧,٧٠٪) من المساحة الإجمالية.

٨-٣- مستوى مخاطر متوسط:

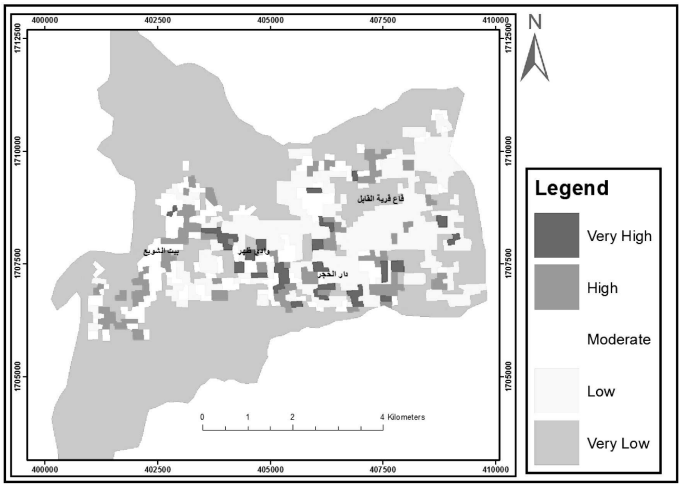
يتوزع هذا المستوى من المخاطر في أجزاء من وادي ظهر وثقبان والسهل الفيضي الزراعي للوادي، والمناطق الزراعية المنتشرة على طفوح الصخور البازلتية غرب منطقة الدراسة وجنوبها، وتقدر نسبة هذا المستوى بنحو (١٠,٩٢٪) من المساحة الإجمالية.

٨-٤- مستوى مخاطر منخفض:

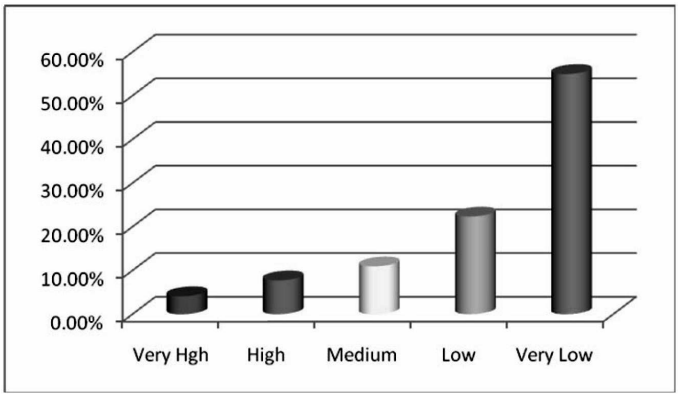
ينتشر هذا المستوى في المناطق المستوية (طينية - صخرية)، والزراعة فيها محدودة، وتبدو أراض قابلة للتوسع الحضري، وتقدر نسبة المستوى من المساحة الإجمالية بنحو (٢٢,٣٢٪).

٨-٥- مستوى مخاطر منخفض جداً:

يشمل هذا المستوى الأراضي الصخرية التي ينعدم فيها وجود السكان والأنشطة الزراعية والخدمية، وتقدر نسبته بنحو (٥٤,٩٤٪) من المساحة الإجمالية.



الشكل (١٤) - مستويات خريطة مخاطر الانهيارات الأرضية في المنطقة



الشكل (١٥) – النسبة المئوية لمستويات خريطة المخاطر

٩ – المناقشة والاستنتاجات:

في هذه الدراسة تمت الاستعانة بنظم المعلومات الجغرافية، برنامج (ArcGis9.3)، ومن خلاله تم إعداد خريطة أخطار الانهيارات الأرضية، وتحديد خمسة مستويات لاحتمالية هذه الأخطار، بعد ذلك جردت المكونات المادية والبشرية للمنطقة، وحددت حساسية هذه المكونات، ومن ثم أنتجت خريطة قابلية التعرض. وبوساطة مصفوفة حساب قيمة المخاطر من نتائج الخريطتين السابقتين، تم تعيين مستويات المخاطر، ويمكن توضيح أهم النتائج في الآتي:

٩–١: إن فاعلية معايير إعداد خريطة احتمالية حدوث الانهيارات الأرضية، أسهمت بشكل كبير في تحديد مستويات الخطورة؛ حيث نجد مناطق الحافات شديدة الميل وذات الكثافة العالية من الشقوق والتباين التضاريسي والانهيارات الأرضية السابقة، وتباين مقاومة الصخور للعوامل الخارجية، وتحتل المستويات العليا من الخطورة، وتشمل مناطق واسعة من منطقة الدراسة؛ حيث يمثل المستوى عال جدا Very High نسبة (١١,٣٪) وعال High (٤٤,٨٤٪) من إجمالي المساحة الكلية.

٩–٢: إن مناطق صخور البازلت التي تظهر على شكل طفوح معتدلة الانحدار وقليلة التباين التضاريسي، وكذلك منحدرات الصخور الرملية متوسطة

الميل، التي تتوزع جنوب منطقة الدراسة وغربها ووسطها، قد أعطت مستوى متوسطاً من الخطورة، بنسبة (٣٦,٧٣٪) من إجمالي المساحة الكلية.

٩-٣: تشير بيانات قيم اتجاهات وميول الشقوق والمنحدرات والعلاقات الهندسية بينها، إلى احتمالية حدوث التساقط الصخري في المستوى العالي جداً، والانقلاب الكتلي والدحرجة الصخرية في المستوى العالي، أما المستوى المتوسط فإن هناك احتمالية حدوث انزلاقات مستوية، وكل هذه الانهيارات تعد من الانهيارات الأرضية السريعة التي تسبب دماراً كبيراً.

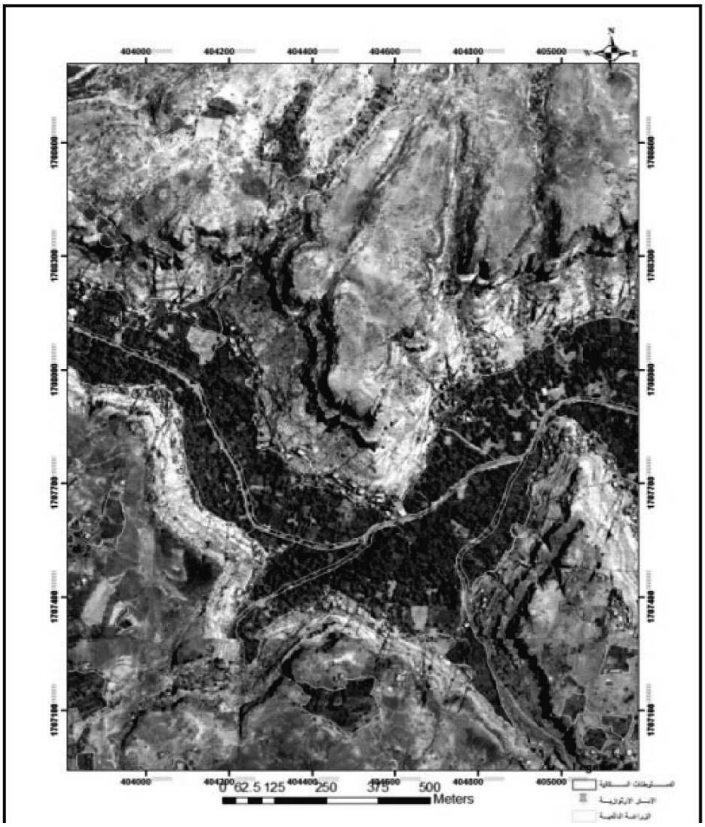
٩-٤: لقد مثل السهل الرسوبي الفيضي لوادي ظهر منطقة منخفضة الخطورة بالنسبة للانهيارات الأرضية، إلا أن هذه المنطقة تتلقى الصخور المنهارة من أعالي الحافات الصخرية، وقد تمت مراعاة ذلك في أثناء التحليل، من خلال حساب مسافة الأمان عن أقدام هذه الحافات الصخرية الرملية، التي يمكن تحديدها من خلال قيمة الارتفاع للمنحدرات، وكلما ارتفع المنحدر متراً واحداً رأسياً يكون مقدار الابتعاد عن قدم المنحدر بمسافة متر واحد أيضاً أفقياً.

٩-٥: بلغ سكان منطقة الدراسة نحو (٢٣٤٠٨) أفراد، وقدر عدد المباني في هذه المنطقة بنحو (٢٩٩٢)، وعدد الأسر (٢٩٩٨) ومتوسط الأسرة في كل مبنى نحو (٧,٨) نسمة، بحسب آخر تعداد للجمهورية اليمنية ٢٠٠٤.

٩-٦: تمتلك المنطقة مقومات اقتصادية، منها مواقع السياحة الجيولوجية المتمثلة في دار الحجر ووادي ظهر، وكذلك قيمة اقتصادية زراعية؛ حيث قدر عدد المضخات المائية فيها بنحو (١٨٩) مضخة، وتوجد فيها شبكة طرق في الغالب ترابية تربطها بمدينة صنعاء.

٩-٧: تبين من الاستبانة الموزعة على شريحة من المواطنين أنه ليس لديهم أي استعداد لمواجهة حركة الكتل الصخرية (الانهيارات الأرضية)، وأنهم لم يحصلوا على توعية أو إرشادات حكومية حول هذا الموضوع، وأن الجهات الرسمية المختصة بتراخيص البناء لاتلزمهم مراعاة البناء أسفل المنحدرات الصخرية غير المستقرة.

٩-٨: إن خريطة قابلية التعرض وحساسية المكونات قد وضحت توزع المستوى العالي جداً من الحساسية على مراكز القرى والتجمعات السكانية الكثيفة سكانياً ومباني، والضعف في بنية المجتمع مادياً، ويليه المستوى العالي عند أطراف هذه القرى وفي المناطق السكنية المحدودة، ثم المستوى المتوسط عند الأراضي الزراعية، وتنعدم الحساسية في الأراضي منعدمة الاستخدام، ومعظمها صخرية، الشكل (١٦) أنموذجاً توضيحياً.



الشكل (١٦) – توضيح مبسط للمكونات المادية والبشرية للمنطقة – وادي ظهر

٩-٩: أظهرت خريطة المخاطر أن المناطق السكنية والاقتصادية الواقعة في المستوى العالي جداً من خريطة احتمالية الانهيارات الأرضية، تقع في مخاطر

عال جداً Very High؛ نتيجة ارتفاع قيمة هذه المكونات التي يمثلها وجود الإنسان. وقد تم جرد هذه المكونات والخسائر والأضرار الناجمة عن الانهيارات الأرضية في حالة وقوعها وبشكل كلي، وهو موضح في الجدول (٤).

الجدول (٤)

المكونات المادية والبشرية التي يمكن تضررها من مخاطر الانهيارات الأرضية

م	المكونات المادية والبشرية	العدد	تفاصيل
١	السكان	٣٣٢٢	نسمة
٢	المباني السكنية	٤٦٠	مبنى سكنياً
٣	المدارس	٥	حكومية
٤	المواقع الأثرية	١	دار الحجر
٥	مضخات المياه	٢٢	
٦	الطرقات	٤٠٣٥	متراً
٧	الأراضي الزراعية	٢٩١٢	متراً مربعاً

١٠ – الخاتمة:

تكتسب منطقة الدراسة أهمية كبيرة من الناحية الاقتصادية والسياحية، وهناك جزء منها ضمن العاصمة صنعاء؛ مما قد تشهد توسعاً حضرياً وعمرانياً مستقبلياً. إن هذه الدراسة قد كشفت أن نحو (٥٦,١٤٪) من المساحة تقع في المستويات العليا من احتمالية حدوث انهيارات أرضية فيها، وإن التوسع الحضري والعمراني نحو هذه المنطقة، دون إجراء دراسات بيئية وجيولوجية وهندسية مسبقة، يجعل من قابلية تعرض المكونات المادية والبشرية فيها مرتفعاً. إن حساب الأضرار المحتملة من هذه المخاطر الموضحة في نتائج الدراسة، يجعل من الأهمية إجراء المعالجات والتدخلات الهندسية لمنحدرات وادي ظهر، وتنفيذها من قبل الجهات الحكومية أو الداعمين، تجنباً لسقوط ضحايا بشرية وبأعداد كبيرة؛ نتيجة الكثافة السكانية في المنطقة الواقعة في المستوى العالي جداً من المخاطر، التي تبلغ (٣٣٢٢) نسمة، بنسبة تقدر

(١٤,١٩٪) من إجمالي السكان، ومبان سكنية بنسبة (١٥,٣٧٪) من إجمالي المباني، إضافة إلى تضرر مضخات مياه الشرب والزراعة وكذلك الأراضي الزراعية، التي تعد المصدر الرئيس لعيشهم، وإن من المهم أن تعمل الدولة على تحسين قواعد إدارة المخاطر؛ مثل الدفاع المدني والوحدات الصحية ومناطق الإيواء وغيرها، وهي معدومة في المنطقة. وإن كثافة عدد مضخات المياه تساعد في استنزاف المياه الجوفية للمنطقة؛ مما يعمل على إعادة نشاط للشقوق ومناطق الضعف؛ وهو ما يسهم في حدوث الانهيارات الأرضية. وتعد هذه الدراسة تعد إحدى وسائل الإنذار المبكر التي يفضل أن يؤخذ بالنتائج المستخلصة منها.

المراجع

أولاً – المراجع العربية:

- الخرباش، صلاح؛ الانبعاوي، إبراهيم. (١٩٩٦). جيولوجية اليمن. ط١. صنعاء. مركز عبادي للدراسات والنشر.
- الدليمي، خلف حسين. (٢٠٠٥). التضاريس الأرضية دراسة جيومورفولوجية عملية تطبيقية. ط١. عمان: دار صفاء للنشر.
- السفا ريني، غازي. (٢٠٠٩). مبادئ الجيولوجيا البيئية. ط ١. عمان: دار الفكر للنشر.
- العبيدي، مصطفى رشيد. (٢٠٠٢). **الخصائص الجيومورفولوجية البنائية لوادي ظهر شمال غرب صنعاء.** المجلة الجغرافية اليمنية. العدد١. ص ص ٢٦٦–٢٨٧.
- العبيدي، مصطفى رشيد. (٢٠٠٣)، **ظاهرة الانزلاق والتساقط الصخري وأثرها على التجمع السكني في منطقة مذبح منخفض صنعاء.** المجلة الجغرافية اليمنية. العدد ٢. ص ص ٣٤٢–٣٥١.
- العبيدي، مصطفى؛ مجوحان، صالح. (٢٠٠٩م). **التوزيع الجغرافي لانزلاق الكتل الصخرية في محافظتي عمران والمحويت شمال غرب اليمن.** مجلة كلية الآداب. جامعة صنعاء. المجلد ٣٢. العدد ٢. ص ص ١٧٦–١٨٩.
- العيدروس، أحمد. (١٩٩٧م). **الاعتبارات الزلزالية لليمن**، النشرة الجيولوجية. الجمعية الجيولوجية اليمنية. المجلد ٥. العدد ١٠. ص ص١٠–١٢.
- غزوان، علي أحمد. (٢٠٠٩). **التوسع الحضري لأمانة العاصمة صنعاء وأثره على الأراضي الزراعية.** رسالة ماجستير غير منشورة. جامعة صنعاء.

- اللهبي، ناجي علي. (٢٠١٤). **التصنيف الكمي لنماذج جيومورفولوجية متميزة في اليمن.** المجلة الجغرافية اليمنية. العدد٥. ص ص٣٦٠–٣٨٩.
- مجوحان، صالح بن أحمد. (٢٠٠٧). **الانهيارات الأرضية في مرتفعات المحويت عمران.** رسالة ماجستير. جامعة صنعاء. ص ص٢١٥–٢١٧.
- محسوب، محمد صبري. (٢٠٠١). الأطلس الجيومورفولوجي: معالجة للشكل والعملية. ط١. القاهرة: دار الفكر العربي.

ثانياً – البيانات الرسمية:

- الخريطة الجيولوجية مقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠. هيئة المساحة الجيولوجية اليمنية.
- الخريطة الطبوغرافية مقياس رسم ١:٥٠٠٠٠. مصلحة المساحة والسجل العقاري اليمنية.
- خريطة السقوط المطري. مقياس رسم ١:٥٠٠٠٠٠. الهيئة العامة للبحوث الزراعية اليمنية.
- بيانات السقوط المطري. بيانات غير منشورة، هيئة البحوث الزراعية اليمنية. ذمار.
- نتائج التعداد العام للسكان والمساكن والمنشآت ٢٠٠٤. بيانات منشورة. الجهاز المركزي للإحصاء. صنعاء.

ثالثاً – المراجع الإنجليزية:

- KoKo, C. Flentje, p. Chowdhury, R. (2004). Landslide qualitative hazard and risk assessment method and its reliability, Bull,Eng GEOL, Environ.63,149-165
- Masannat, Youssef, M. (2009). landslides and Rock Falls for Disaster Risk Management, Sana'a,17-21.
- Masannat, Youssef. M. (2011). Parametric Evaluation of the Stability of Natural Slopes, Jordan journal of Civil Engineering, Volumes, No3, Amman, Jorden, 402-405

- Al-Ubaidi M. R. and Al-kotbah A. M. (2003). The magnitudes of the paleostresses of Yemen faults in the sedimentary cover, Faculty of science Bulletin, Sana'a University, Vol. 16, 95-110.
- The World Bank. (2009). Hadramout and Al MaharaProbabilistic Risk Assessment, Technical Report,ProbbilisticHazard Analysis and Event Characterization, India.
- The World Bank. (2011). Yemen National probabilistic Risk Assessment, Technical Reference Manual A reportPrepared, India.