

الأخطار الجيومورفولوجية للانهايات الأرضية في منطقة الحرم المكي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

إعداد

د / محمد فؤاد عبد العزيز سليمان

أستاذ مساعد الجغرافية الطبيعية بكلية التربية بالعريش

جامعة قناة السويس

المخلص :

عادة تظهر دلالات الأخطار قبل حدوث الكوارث والتي تحدث في المناطق ذات التجمعات البشرية الكثيفة ، وتنشأ هذه الاخطار بطبيعة الحال نتيجة مشكلات مناخية أو جيولوجية أو بشرية على سطح الأرض ، وسوف تهتم الدراسة بالأخطار الجيومورفولوجية في منطقة الحرم المكي المرتبطة بالانهيارات الأرضية وعلاقتها بالتنمية في المنطقة ، و نظراً لأن الهدف من الدراسة يتمثل في عملية تقييم حركة المواد والنجاح في توقع مكان الحدث والمتمثل هنا في تحديد المناطق المهددة بحدوث حركة للمواد على سفوحها ووضع الحلول المناسبة لكل منطقة على حدة ، فقد تم تحديد منطقة الحرم المكي بمدينة مكة المكرمة حيث تشهد هذه المنطقة نشاطا في التنمية سواء بإقامة العمران أو إقامة الطرق وذلك عن طريق هدم الجبال ، ومن ثم تتنوع الأخطار الجيومورفولوجية الناتجة عن ذلك ، وحيث إن نظم المعلومات الجغرافية توفر أساليب دقيقة في تحليل البيانات المكانية فقد تم عمل قاعدة بيانات متكاملة لمنطقة الدراسة تحتوي على طبقات تعد هي الأساس بجانب العمل الميداني في تحديد درجات الخطورة إضافة إلى إبراز الجانب السلبي للتدخلات البشرية وكيفية مواجهتها مع تحديد الطرق المثلى لدرء هذه الاخطار . وسوف تتم الدراسة من خلال عدة نقاط وتشمل الاتي :

- دراسة السمات الطبيعية لمنطقة الحرم المكي (الجيولوجية والتضاريسية والزلازل والمناخية) .
- دراسة منحدرات منطقة الحرم المكي .
- نموذج لدراسة أخطار الانهيارات الأرضية .
- درجات خطورة الانهيارات الأرضية في منطقة الحرم المكي .
- طرق مواجهة خطر الانهيارات الأرضية في منطقة الحرم المكي .

مفتاح الكلمات : الاخطار الجيومورفولوجية – حركة المواد- الانهيارات الأرضية – التدخلات البشرية .

اهداف الدراسة :

تم تحديد هدف نهائي للدراسة وهو استنتاج خريطة بدرجات خطورة الانهيارات الأرضية لمنطقة الحرم المكي يمكن الوصول إليه من خلال عدة أهداف ثانوية وهي :

- دراسة السمات الطبيعية لمنطقة الحرم المكي (الجيولوجية - التضاريس- الزلازل - المناخ)
- تطبيق نموذج جديد لدراسة أخطار الانهيارات الأرضية
- عمل خريطة بطرق مواجهة أخطار الانهيارات الأرضية لكل منطقة على حدة .

جدول (1) نوع البيانات وأهدافها التي استخدمت في البحث

نوع البيانات	الهدف	المصدر
خرائط طبوغرافية	استنتاج خطوط الكنتور ومنها خريطة الارتفاعات وخرائط اتجاه الانحدار وخرائط ظلال السفوح	وزارة البترول والثروة المعدنية ، إدارة المساحة الجوية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية
صور أقمار نوع Land sat TM5 2010	دقة تصل الى 30 متر	http://www Landsat.org
خرائط جيولوجية	دراسة التكوينات الجيولوجية والبنية الجيولوجية	Geologic map of the makkah Quadrangle sheet 2ID.KSA.1989
عمل ميداني	استخدمت اليوصله والمزودة بإبرة الانحدارات واستخدم جهاز GPS	تحديد أماكن الانحدارات وأماكن القطاعات وتم إجراء الدراسة على 27 قطاع وكذلك علاقة الانحدارات بمناطق التنمية البشرية والتقاط الصور الفتوغرافية

المصدر : من عمل الباحث

مراحل البحث :

(1) مرحلة جمع وإدخال ومعالجة البيانات :

هي المرحلة الأساسية في بناء أى نظام معلومات جغرافي، وقد تمثلت المهمة الرئيسية في إدخال البيانات بصورها المختلفة المرسومة والمصورة أو المجدولة للكمبيوتر والتعامل مع برنامج Arc Gis 9,3. وقد تم إدخال خريطة أساس رقمية لمنطقة الحرم المكي . وتم إجراء العمل الميداني وعمل 27 قطاع ومرفق نوع البيانات التي تم إدخالها للدراسة جدول (1).

(2) مرحلة تخزين واسترجاع البيانات :

تمثلت مهمة هذه المرحلة في تخزين البيانات الجغرافية من مصادرها المختلفة مع ربطها ببعضها البعض ليسهل إخراجها على شكل طبقة أو طبقات عند الحاجة .

(3) مرحلة معالجة وتحليل البيانات:

تمثلت هذه المرحلة في تغيير نمط ومستوى البيانات وإزالة أخطاء الإدخال وتحديث البيانات بالإضافة إلى استخراج نموذج الارتفاعات الرقمية وإيجاد الخرائط المجسمة والانحدارات فضلاً عن إجراء بعض العمليات الحسابية مثل تحديد المساحات أو المسافات وغيرها .

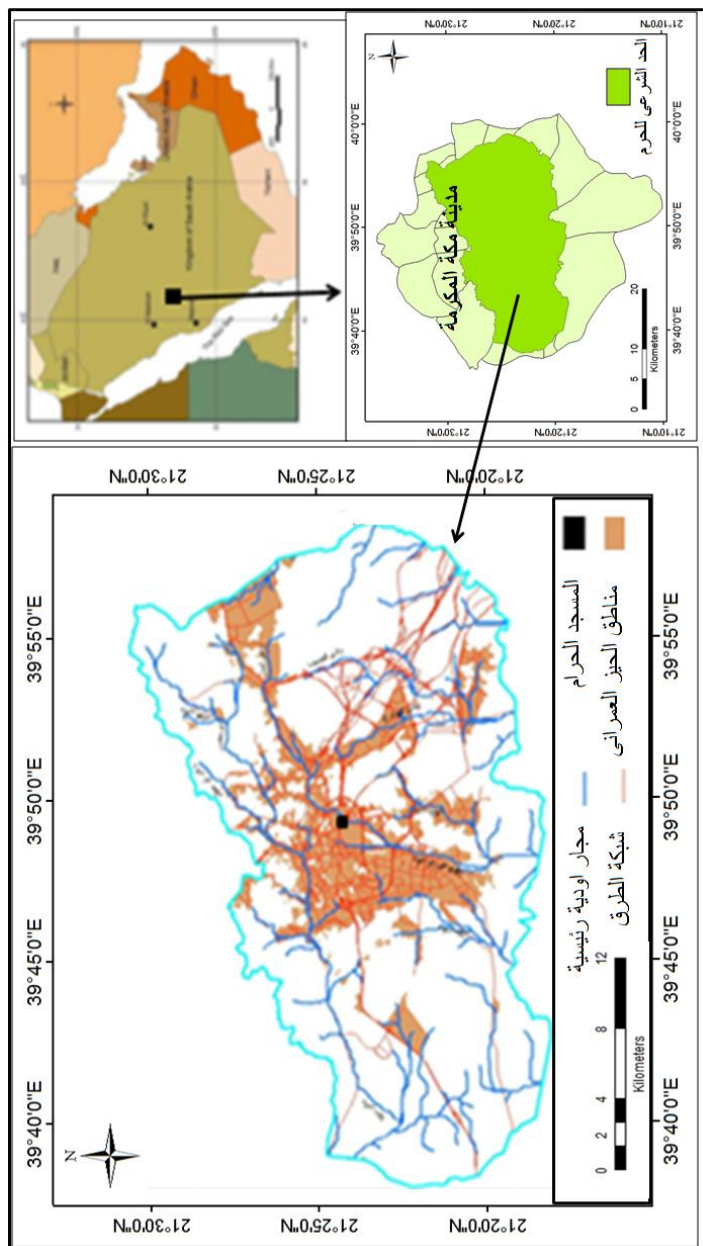
(4) مرحلة عرض وتقديم البيانات :

وهي عبارة عن عرض كل أو بعض من البيانات الأصلية في قاعدة البيانات بأنماط مختلفة إضافة إلى الإخراج النهائي للخرائط التفاعلية .

موقع المدينة المقدسة :

تقع جنوب الحجاز على بعد ٤٦٠ كم جنوب المدينة المنورة و ٧٣ كم شرق جدة و ٩٨ كم غرب الطائف . وترتفع المدينة نحو ٣٦٠ م عن مستوى سطح البحر على دائرة عرض ٢١ درجة و ٢٥ دقيقة شمالاً وخط طول ٣٩ درجة و ٤٩ دقيقة شرقاً . ويحدها من الشمال المدينة المنورة ومن الشرق نجد ومن الغرب جدة ومن الجنوب عسير . وبتحديد منطقة الحرم المكي فى المدينة نجد انها تقع فى القسم الجنوبي الشرقى من المدينة بين دائرتي عرض 16° 21 و 21° 32 وخطي طول 37 39° و 56 39° كما يتضح من شكل (1) . حيث تم تحديد حدود الحرم الشرعى اعتمادا على دراسة

(معراج نواف ، محمد البارودي ، 2004 ، ص 26) فى دراستهم للأسس الجيولوجية ودورها فى نشأة مظاهر السطح لمنطقة الحرم المكى .



شكل (١) موقع منطقة الدراسة

أولاً : السمات الطبيعية لمنطقة الحرم المكي

تهتم هذه الدراسة بالتكوينات الجيولوجية والبنية الجيولوجية وكذلك التضاريس والزلازل فضلاً عن دراسة الجوانب المناخية.

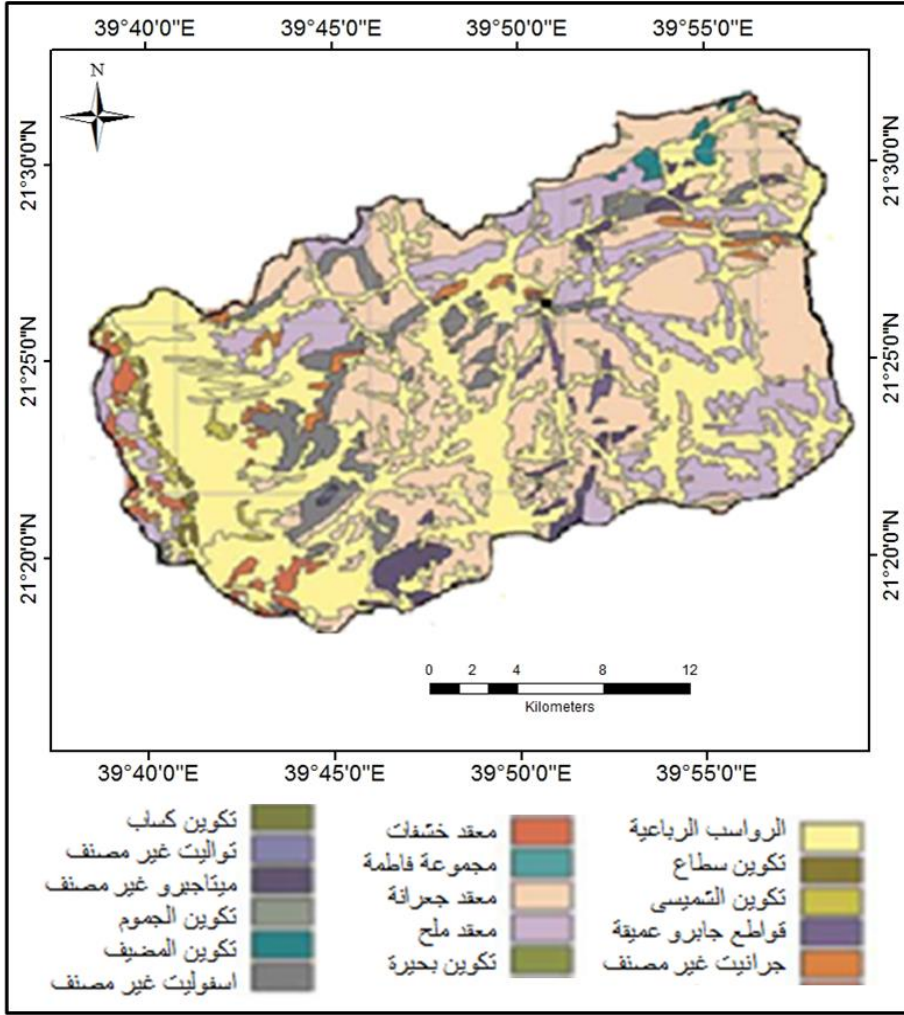
1- التكوينات الجيولوجية بمنطقة مكة المكرمة

تقع منطقة الدراسة ضمن الجزء الجنوبي من منطقة الحجاز في الجزء الغربي الأوسط من الدرع العربي، الذي تهيمن عليه أنواع مختلفة من الصخور من عصر ما قبل الكامبري (Greenwood et al. 1976, p 77) كما يتضح من شكل (2) و تعد التكوينات الجيولوجية هي المادة الخام التي يسهل تحريكها بفعل الجاذبية الأرضية. وتلعب خصائص الصخور دوراً مهماً في حجم الانزلاق الصخري وطبيعته ، وتتمثل أهم خصائصها في نسيجها الصخري ودرجة تماسكها وبنيتها وشكل المفتتات وكثافتها ودرجة مساميتها . وتتعرض الكتل المنزلقة للتفتت أثناء انزلاقها ، حيث تبدو الكتلة الواحدة كما لو كانت عدة كتل منزلقة متجاورة مما يؤدي إلى زيادة الخطورة على مساحة أكبر للمراكز العمرانية المتجاورة لتلك العمليات (طه جاد ، 1990 ، ص141) وتتنمى صخور منطقة الحرم المكي من عصر ما قبل الكامبري إلى الزمن الرابع والتي يمكن أن نوجزها فيما يأتي :

- صخور ما قبل الكامبري :

تعد صخور ما قبل الكامبري في مجملها لآبا تحولية ذات طبيعة بركانية تتدرج من حيث تركيبها من البازلت إلى الريوليت بالإضافة إلى الصخور الرسوبية المتحولة المنتشعبة بثاني أكسيد الكربون، وتتكون هذه الصخور من تكوينات مجموعة فاطمة وتكوين الشميسى ومعقد جعرانة ومعقد ملح .

مجموعة فاطمة



After : Geologic map of the makkah Quadrangle sheet

شكل (2) التكوينات الجيولوجية في منطقة الحرم المكي

توجد مجموعة الصخور هذه في مناطق متناثرة في منطقة الدراسة . وهي تعلق مجموعة سمران ومحقونات الديوريت فيها. ويحوي الجزء السفلي من مجموعة

فاطمة رصيص القاعدة يعلوه بركانيات أنديزيتية وفلسية. وفي الجزء الأوسط منها طبقات من الرخام الستروماتوليتي والحجر الرملي الأحمر الناعم والخرين الأحمر كما يوجد تتابع من الإجنميريت في الجزء العلوي من المجموعة. فُدر عمر بركانيات مجموعة فاطمة بوساطة نظائر الروبيديوم والسترونشيوم بـ 675 + 17 مليون سنة (Duyverman et al. 1982. P28) و 688 + 30 مليون سنة (Dar byshire et al. 1983, p 88).

معقد ملح :

يتكون من الديوريت والكوارتز ديوريت بشكل عام وقد تعرض للاندفاعات الباطنية الأحدث عمراً والمتمثلة في معقد جعرانة مما أدى الى قلة مقامة لعوامل التعرية ويتواجد في مناطق منى والمزدلفة وساحل العدل (مرزا والبارودي ، 2004 ، ص184)

معقد جعرانة :

يشكل المناطق الجبلية المرتفعة في المنطقة ومنها جبل الثور وجبل النور وأحذب ويتكون من مجموعة من الصخور الصلبة وقد قسمت بعض الدراسات هذا المعقد إلى معقدات ثانوية وهي تونالبت منى ومعقد النور ومعقد ثبير ومعقد شب (sahi,1987 ,p15)

تكوينات الزمن الثالث :

تضم تكوينات الزمن الثالث مجموعة من التكوينات أقدمها مجموعة الشمسي وتكوين بحرة وهي كما يأتي :

تكوين الشميسي : ويتوزع في أماكن متفرقة من منطقة الدراسة وخاصة عند منطقة منى و يعلو هذا التكوين الصخور الكامبرية المتميزة بعدم توافق بينما تعلو تدفقات البازلت التابعة لتكوين سيتا تكوين الشميسي بشكل متوافق. تعقيد توزيع تكوين الشميسي ويتراوح بين 74 إلى 183م. ويتكون من ثلاثة أجزاء . يتكون الجزء السفلي الذي سمكه 64 م من حجر رملي وطفال صفحي ثانوي وأغطية من هيماتيت الأوليت يتراوح سمكها 0.9 إلى 1.1 م بالقرب من القاعدة بينما يبلغ سمك الجزء الأوسط 13.4 م ويتكون من غطائين من هيماتيت و يتراوح سمكها من 4.6م إلى 1.5م، يفصل بينها 7.3م من الحجر الرملي الذي يتحول تدريجياً إلى حجر غريني. أما الجزء العلوي فيصل سمكه إلى 64م ويغلب عليه الطفل

الصفحي والحجر الغريني وبعض طبقات الصخور الفتاتية البركانية والتي يصل سمكها إلى 5.6م. وهناك طبقات من الحجر الكلسي تحتوي على رخويات حيوانية وفروع صفائحية عند القمة. والجزء السفلي من التكوين مجوى بشكل عام ويتباين سمكه جانبياً بشكل كبير من 15 إلى 76م. ويتراوح سمك الجزء الأوسط للتكوين بين 8م و 15م. أما الجزء العلوي فيتراوح سمكه بين 51 و 92م وفيه تباين بسيط من حيث الخصائص الليثولوجية فيما عدا طبقات الحجر الكلسي التي تنمو محلياً عند قمة التكوين وهو يعود إلى عصر الأليجوسين. (Spencer and , p 125 Vincent, 1984).

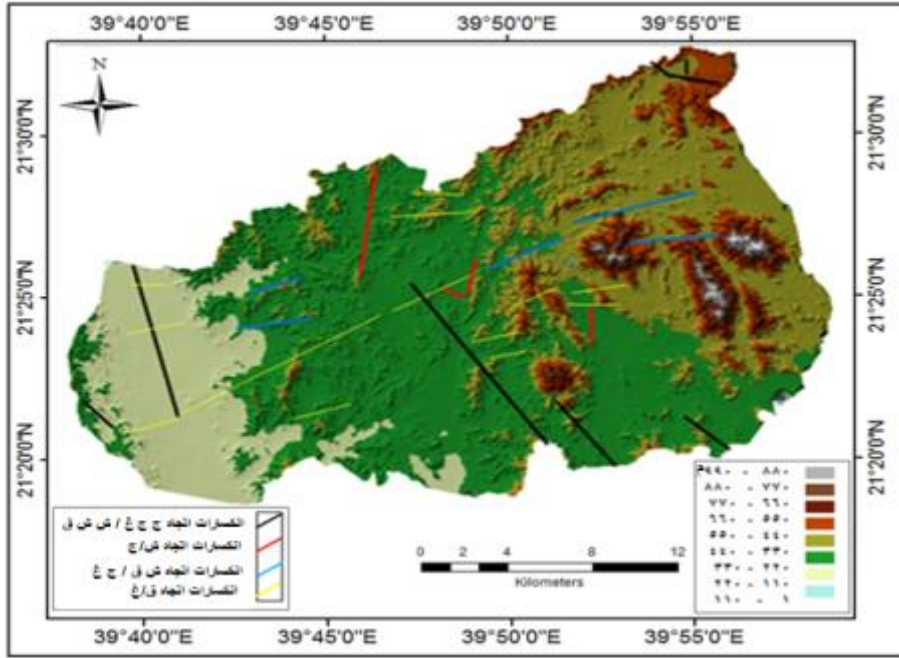
تكوين بحرة : يتألف من طين رملي أخضر وصخر غريني وصخر جيرى ناعم أبيض، ويتخلل الطين طبقة من الجبس سمكها 3 أمتار ويتألف الحجر الجيري من أحافير يرجع تاريخها إلى عصر الميوسين المبكر (Andreieff,) p 53 (1983).

- تكوينات الزمن الرابع :

تغطي الرواسب الرباعية مساحات واسعة من منطقة الحرم المكي ويتكون من رواسب الحصى والغرين وفي جنوب المنطقة تنتشر الرمال التي تذررها الرياح وتكثر الرواسب الغرينية المروحية والمدرجة في أحواض الصرف ، كما تتراكم الرواسب على منحدرات سفوح الجبال حيث تكون في كثير من الأماكن مخاريط فتات واسعة. وتعد الرمال الغرينية والحصباء في طبقات الوديان من أحدث الرواسب حيث يملأ طمي الوادي طبقات القنوات التي تكون مجاري الوديان ويتكون من الرمل والحصباء غير المتماسكة وتختلف سماكة الطمي ودرجة فرزه وحجم وشكل الرواسب اختلافاً كبيراً من موضع لآخر فيكون طمي المجاري العليا غير الناضجة للأودية الرئيسية رفيعاً ويعتبر هذا الطمي غير نقي. وهو يتكون من حصى وشظايا في حجم الجلمود وطبقات متداخلة من الرمل الحصى (Smith, 1980 p 123) وعلى النقيض يعتبر طمي الألسنة السفلي للوديان الرئيسية سميكاً ويتكون من حصباء نقية إلى حد ما ورمل ناعم إلى متوسط الخشونة.

البنية الجيولوجية :

تلعب البنية الجيولوجية دوراً مهماً للمنحدرات حيث إن ميل الطبقات ودرجة نفاذية ومسامية الصخور تساعد علي حدوث التشققات الصخرية وبالتالي سهولة تفككه وسقوطه إلى حضيض المنحدر , وتعد البنية من أهم العوامل المؤثرة في تحديد نوع وسرعة حركة المواد علي المنحدرات , فالطبقات المائلة في اتجاه المنحدر ذاته تعمل علي تسهيل نحت وتحرك المواد علي سطحه , كما تسهم درجة النفاذية والمسامية في تسرب المياه خلال تكويناته , وهذان العاملان يعدان من أهم ضوابط حدوث الانزلاقات الأرضية التي تهدد الأنشطة البشرية المتاحة بالقرب من المنحدرات , و يتحدد حجم الكتل الساقطة أو المنزلة من فوق المنحدر على أساس نوع الصخر ونظامه (محمد صبري محسوب، 1998 ، ص145) وبدراسة البنية الجيولوجية في منطقة الحرم المكي كما يتضح من شكل (3) تتوزع الانكسارات داخل منطقة الدراسة في معظم المناطق باتجاهات مختلفة ، وتسود الاتجاهات الشمالية الشرقية وشرق الشمالية الشرقية المتعامد على اتجاه البحر الاحمر التي يعود لعصر ما قبل الكامبري ، اما صدوع شمال الشمال الغربى الموازية لاتجاه البحر الاحمر فهى معاصرة لانفتاح هذا البحر ومن ثم تعود للزمن الثالث الجيولوجى (مرزا والبارودى ، 2004 ، ص27)



المصدر : مرزا والبارودي ، 2004 ، ص 27 ، - بتصرف من الباحث

شكل (3) توزيع الانكسارات وعلاقتها بالفئات التضاريسية في منطقة الحرم المكي

3- الأحوال المناخية بمنطقة الدراسة:

تتميز البيئة المناخية في منطقة الحرم المكي بالجفاف، حيث الصيف الحار الجاف والشتاء المعتدل الممطر ، ووصل معدل المطر السنوي الى 30.7 ملم في محطة مكة ، و سادت اتجاهات الرياح الشمالية على مدار العام، وتصل سرعة الرياح إلى 55 كم/ ساعة أو تزيد ، ويوضح جدول (2) الخصائص المناخية لمنطقة الحرم المكي .

جدول (2) خصائص بعض العناصر المناخية بمحطة مكة للفترة من 1980 - 2010 م .

المتوسط السنوي	يناير	فبراير	أكتوبر	سبتمبر	أغسطس	يوليو	يونيو	مايو	أبريل	مارس	فبراير	يناير	مجموع
30.7	25.4	28.4	32.1	34.9	35.5	35.8	35.7	34.3	30.8	27.1	24.4	23.9	درجة الحرارة
6.1	5.0	5.0	5.4	5.9	6.1	5.9	5.9	6.7	6.9	7.2	6.9	5.9	سرعة الرياح
124.2	27.6	26.4	16.2	3	8.3	2.5	-	1.1	12	5.2	1.6	20	المطر

المصدر : مصلحة الأرصاد الجوية ، بيانات غير منشورة ، جدة ، المملكة العربية السعودية.

الحرارة : تعد الحرارة من أهم عناصر المناخ لما لها من تأثير مباشر على عناصر المناخ الأخرى وهذه المناطق تتميز بدرجات حرارة مرتفعة صيفاً ومنخفضة شتاءً وتتنخفض درجة الحرارة بفعل عامل الارتفاع ونتيجة لاختلاف درجات الحرارة أثناء الليل والنهار تؤدي إلى تمدد الصخور وانكماشها وهذا يؤدي بدوره إلى خلخلة أجزائها وتفتتها ، وبصفة عامة تتميز المملكة العربية السعودية بارتفاع درجات الحرارة فيها في معظم أيام السنة، بسبب موقعها في النطاق المداري وشبه المداري ، وينعكس الوضع ذاته على منطقة الحرم المكي حيث يعتبر شهر يوليو من أكثر شهور السنة ارتفاعاً لدرجات الحرارة المسجلة حيث سجل 35.8 درجة مئوية بينما يمثل شهر يناير أقل الشهور حرارة وسجل 23.9 درجة مئوية . بمتوسط عام لدرجة الحرارة وصل إلى 30.7 درجة مئوية ، ويرجع ارتفاع الحرارة إلى مجموعة من العوامل منها قوة أشعة الشمس بسبب تعامدها على وسط المملكة العربية السعودية في فصل الصيف وطول النهار وشفاء الجو ونوعية الرياح القارية الجافة التي تهب على شمال شرق أو غرب المملكة في فصل الصيف. إضافة إلى ذلك يعتبر سطح المنطقة خالي من النبات الطبيعي .

الرياح : تتميز سرعة الرياح في المنطقة بالبطء لأنها تقع في منطقة محاطة برؤوس جبلية ضمن تلال المدرج إلى جبال الحجاز، وبالتالي يؤدي ذلك إلى بطء حركة الهواء. ولكن ترتفع معدلات السرعة في أواخر الشتاء وفي فصل الربيع كما ترتفع في آخر الصيف. و تنخفض معدلات السرعة في

فصل الشتاء وفصل الخريف وأول الصيف . يبلغ المعدل السنوي لسرعة الرياح في محطة مكة 6.1 كم/س . ويبلغ أعلى معدل لسرعة الرياح 7.2 كم/س وقد سُجل في شهر مارس ، حيث تتكون في فصل الربيع كتلة هوائية مدارية على صحراء أفريقيا الكبرى وجنوب شبه الجزيرة العربية على الربع الخالي، وعندما تمر الكتلة الهوائية البحرية التي مصدرها المحيط الأطلسي والبحر المتوسط ينشأ عن مرور الكتلتين إندفاع العواصف الرملية من الربع الخالي إلى شمال المملكة وهي الرياح المعروفة باسم السموم. (الشريف ، 1987م، ص 95) يليه من حيث معدلات السرعة شهرا فبراير وأبريل بمعدل 6.9 كم/س . ويرتفع معدل سرعة الرياح كذلك في شهر مايو الربيعي وشهر أغسطس الصيفي حيث يبلغ المعدل 6.7 كم/س و 6.1 كم/س في كل منهما على التوالي . وتنخفض معدلات السرعة عن المعدل السنوي فيما عدا هذه الأشهر ، فيبلغ معدل السرعة 5.9 كم/س في كل من شهر يناير ويونيو ويوليو وسبتمبر. ويبلغ المعدل 5.4 كم/س في شهر أكتوبر، فيما ينخفض معدل السرعة إلى 5 كم/س في كل من شهري نوفمبر وديسمبر.

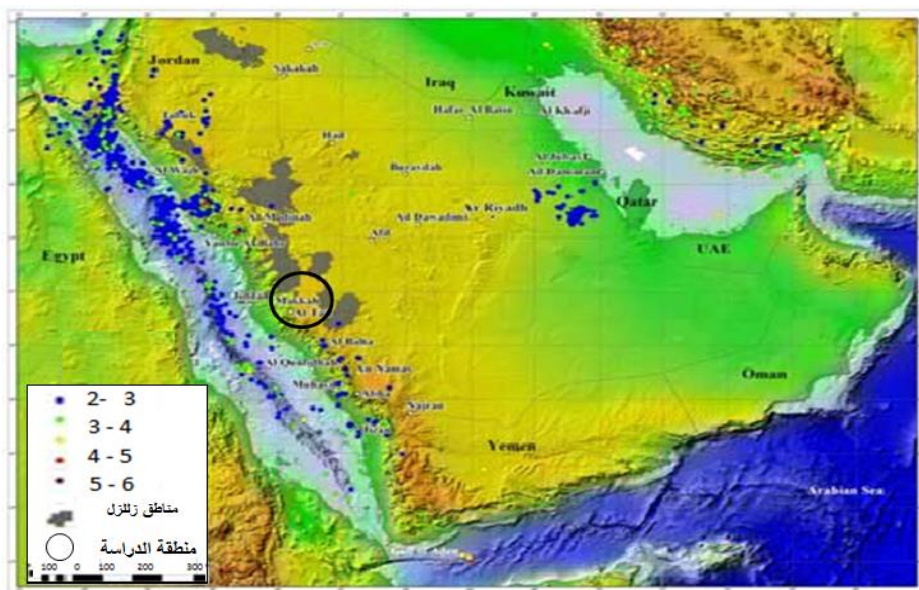
المطر : يعتر المطر أحد الأسباب التي تؤدي إلى الانهيارات والانزلاقات الأرضية بصفة عامة نتيجة لتأثير الصخور بالعديد من الشقوق والفواصل فعندما تنتشعب هذه الصخور بمياه الأمطار أو الضباب الكثيف المشبع ببخار الماء ، يؤدي إلى تقليل وإضعاف قوى التماسك والاحتكاك بين أسطح التلامس للكتل الصخرية وتعمل أيضاً على غسل وإذابة المواد اللاصقة في الصخور وتكوين مادة غروية تسهل عملية انزلاق الصخور أو التربة ، كما أن وجود بعض الطبقات الطينية التي توجد عليها الكتل الصخرية المعرضة للسقوط تساعد على حدوث الانهيارات ، و بدراسة المطر في مدينة مكة وجد أنها تتسم بالندرة والتذبذب والمحلية والعنف. وهذه الأوصاف هي من سمات الأمطار الصحراوية فمن جانب الندرة وبالنظر إلى كميات الأمطار و متوسطاتها السنوية والشهرية نجد أن معدل المطر السنوية كان 124.4 ملم وتهطل الأمطار في مكة المكرمة بصورة محلية جداً وذلك لتباين التضاريس الداخلية وفق النظام الحامل للسحب حيث إنه لا يصل إلى مكة إلا وقد أفرغ جزءاً كبيراً من حمولته في مسيرته الطويلة و تتركز الأمطار في فصلي الخريف والشتاء، بخاصة في أواخر الخريف وأوائل الشتاء إذ يبلغ معدل شهر أكتوبر 16.2 ملم ونوفمبر 26.4 ملم ومعدلاً ديسمبر ويناير 27.6 ملم و 20 ملم على الترتيب،

ويقل الهطول في الربيع. ولا يحدث بنسبة تذكر في وسط الصيف. ويذكر هنا أن أمطار الصيف لا تنتج من منخفضات بحر متوسطة، إنما من توغل الرياح الجنوبية الغربية الرطبة أحياناً.

4- الزلازل :

الزلازل من احدى الظواهر الطبيعية التي تصيب بقاعاً عديدة من الأرض بصورة دورية ومنتظمة تقريباً وتصيب مواقع أخرى بصورة مفاجئة مسببة في كلتا الحالتين الكوارث والدمار إذا كانت شدتها كبيرة ، وإذا صادفت ووقعت بؤرتها تحت مناطق مأهولة بالسكان. أو بمعنى اخر هي ارتعاش وتحرك وتموج عنيف لسطح الارض يعقب ذلك تحرر الطاقة من الغلاف الصخري وهذه الطاقة تتولد نتيجة لإزاحة عمودية أو أفقية بين صخور الأرض عبر الصدوع التي تحدث لتعرضها المستمر للتقلصات والضغط الكبيرة. فالزلازل الأرضية تولد أمواجاً طولية وأمواجاً عرضية والتي تتراكم فيما بينها بالقرب من القشرة الارضية فتزداد سعتها مما يولد قوى تززع استقرار الصخور على المنحدرات فتؤدي إلى حصول الانهيارات الأرضية أو إلى انزلاق المنحدرات. والهزات الأرضية يصاحبها العديد من الشقوق والانهيارات الأرضية وتساقط الكتل الصخرية أو تهيبتها لحدوث التساقط وانطلاقها نحو الأسفل بكتل متفاوتة الحجم والشكل والوزن تنطلق من المرتفعات والسفوح بفعل القوى الرأسية والأفقية للموجات الزلزالية في مناطق البؤر السطحية للزلازل والمناطق المجاورة أو في تلك المناطق التي تصلها الموجات الزلزالية المدمرة بحسب قوة الزلزال ووحدة التضاريس وتأثير قوى الجاذبية الأرضية وبعض العوامل الأخرى وأن التأثير غير المباشر للموجات الزلزالية تؤدي إلى خلخلة الكتل الصخرية والترربة غير المستقرة مما يؤدي إلى إضعاف مستويات الإسناد في الحواف والمنحدرات الجبلية ، وتشير السجلات الزلزالية التاريخية والحديثة بمنطقة مكة المكرمة خلال الفترة من 640 م إلى عام 2003م إلى إن المنطقة سبق وتعرضت لنشاطات زلزالية عبر التاريخ فقد دلت هذه الدراسة على أن مستوى النشاط الزلزالي في المنطقة البحرية أعلى منه في اليابسة ، ففي خلال الفترة من 1965 م إلى ديسمبر 2003 م أمكن تسجيل 1016 حدث زلزالي تتراوح أقدارها أقل من 1 إلى ، 6.7 تمرأت (76%) من هذه الزلازل حول الصدع الرئيسي للبحر الأحمر بينما نصيب منطقة اليابسة (24) من الأحداث

المسجلة وجميعها ذات عمق بؤري ضحل. في منطقة مكة المكرمة و بدراسة العلاقة بين مقدار الزلازل و تكراريتها تم تحديد قيمة اليايسة (و التي قدرت قيمتها ب (1.25) و هذه القيمة أعلى من الواحد الصحيح مما يدل على أن احتمالية حدوث هذه الزلازل ترجع إلى نشاط صناعي مثل التفجيرات أو حدوث عدم توازن في الطبقات الصخرية بالمنطقة لوجود مناجم أو سحب للمياه الجوفية بنسبة كبيرة و عالية (سعد العمرى ، 2005 ، ص 12) كما يتضح من شكل (5).



<http://www.earthquake.usgs.gov>

شكل (4) درجات خطورة الزلازل في منطقة الدراسة وكذلك المملكة العربية السعودية

ثانيا : تحليل قطاعات المنحدرات

يهدف التحليل المورفومتري لقطاعات المنحدرات إلى إبراز بعض الخصائص المورفولوجية لمنحدرات منطقة الدراسة، بالإضافة إلى دراسة الخصائص الانحدارية، ومعدلات التقوس التي تفيد في معرفة المناطق التي تزيد بها خطورة الانهيارات الأرضية حيث تنشط في المناطق ذات الانحدارات المقعرة والتي تؤثر فيها الجاذبية الأرضية بصورة كبيرة وقد تم تحليل قطاعات المنحدرات في منطقة الدراسة بوجه عام، ثم على مستوى الوحدات

المورفومترية المختلفة وذلك من خلال دراسة العناصر التالية :-

1- التوزيع الجغرافي للمنحدرات.

2- الخصائص المورفومترية العامة لقطاعات المنحدرات.

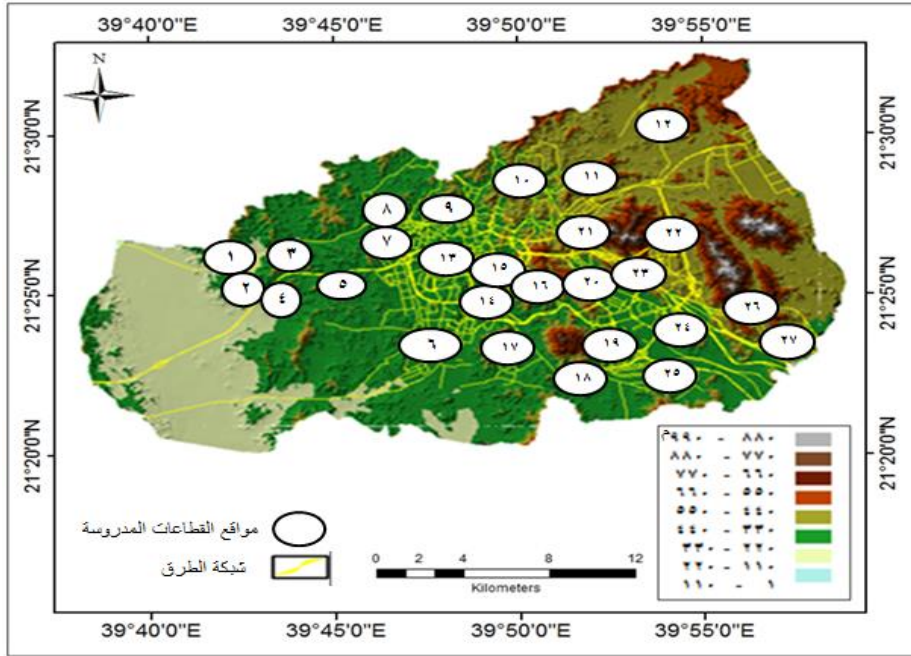
3- معامل الاستقرار أو الأمان .

4- سرعة حركة المواد على المنحدرات.

ويمكن تتبع ذلك على النحو التالي :

(1) التوزيع الجغرافي للمنحدرات.

يوضح شكل (5) توزيع القطاعات المدروسة حيث روعي في اختيار هذه القطاعات أن تكون ممثلة لمعظم أنواع الصخور في المنطقة وأن تكون ممثلة لمعظم الوحدات الجيورفولوجية المنتشرة في المنطقة مثل الأودية والكتل الجبلية ، فضلا عن ذلك أن تكون منتشرة في معظم أنحاء منطقة الدراسة . ونظرا للقدسية الدينية للمكان وصعوبة القياس المباشر فضلا عن شدة المنحدرات وارتفاعها بصورة كبيرة ، وصعوبة استخدام الطرق التقليدية في القياس و عدم دقتها ، فقد تم قياس المنحدرات باستخدام جهاز المحطة المساحية الشاملة Total Station ، وتعتبر هذه الطريقة من أحدث الطرق وأكثرها دقة في قياس المنحدرات الشديدة الانحدار ، كما تم توقيع القطاعات في أماكنها على اللوحات الفضائية باستخدام جهاز نظام توقيع الأحداث العالمية GPS كما يتضح من شكل (6) .



المصدر : من عمل الباحث اعتماداً على الدراسة الميدانية وتم تحديد المواقع باستنا GP
 شكل (5) توزيع القطاعات التضاريسية المقاسة في العمل الميداني وعلاقتها بالتضاريس وشبكة الطرق في منطقة الحرم المكي

2- الخصائص المورفومترية العامة لقطاعات المنحدرات:

تم قياس 27 قطاعاً ميدانياً بلغ مجموع أطوالها 14550 متراً ، بمتوسط طول حوالي 539 متر للقطاع الواحد و بلغ المعدل العام لزوايا انحدار القطاعات بمنطقة الحرم المكي حوالي 29.7° ، وبذلك تقع المنطقة ضمن فئة الانحدار الشديد الذي يتراوح بين (19° - 30°) تبعاً لتصنيف " Young .

2- الخصائص المورفومترية العامة للمنحدرات

أ- تحليل زوايا الانحدار.

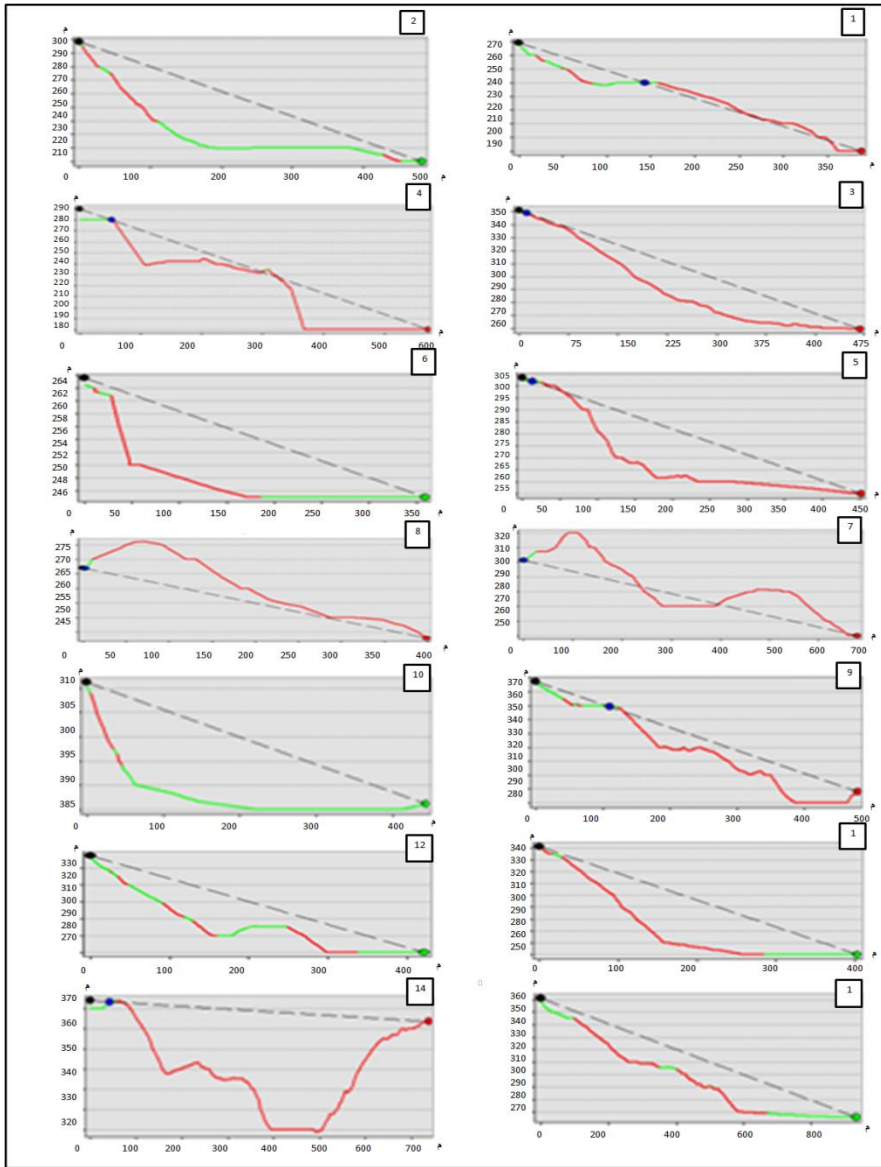
تم تقسيم زوايا الانحدار إلى سبع فئات تبعاً لتقسيم Young 1972 لزوايا الانحدار والذي يعتمد على توضيح الخصائص العامة للانحدار ، وقد اعتمدت الدراسة على استخدام هذا التقسيم بعد تعديله والذي استخدمته العديد من الدراسات السابقة (Abd Elrahman, 1981, p 36) (إمبابي

وعاشور 1983 ، عاشور 1986 ، صابر أمين 1987 ، محمد رمضان (1987) وقد قسمت زوايا الانحدار إلى أربع فئات فقط (انحدارات خفيفة – متوسطة – شديدة – جروف) لكي تظهر الاختلافات فيما بين منحدرات المنطقة . وكانت النتائج كما في جدول (4)

جدول (3) التوزيع التكراري لفئات زوايا الانحدار وإجمالي أطوالها للقطاعات المدروسة

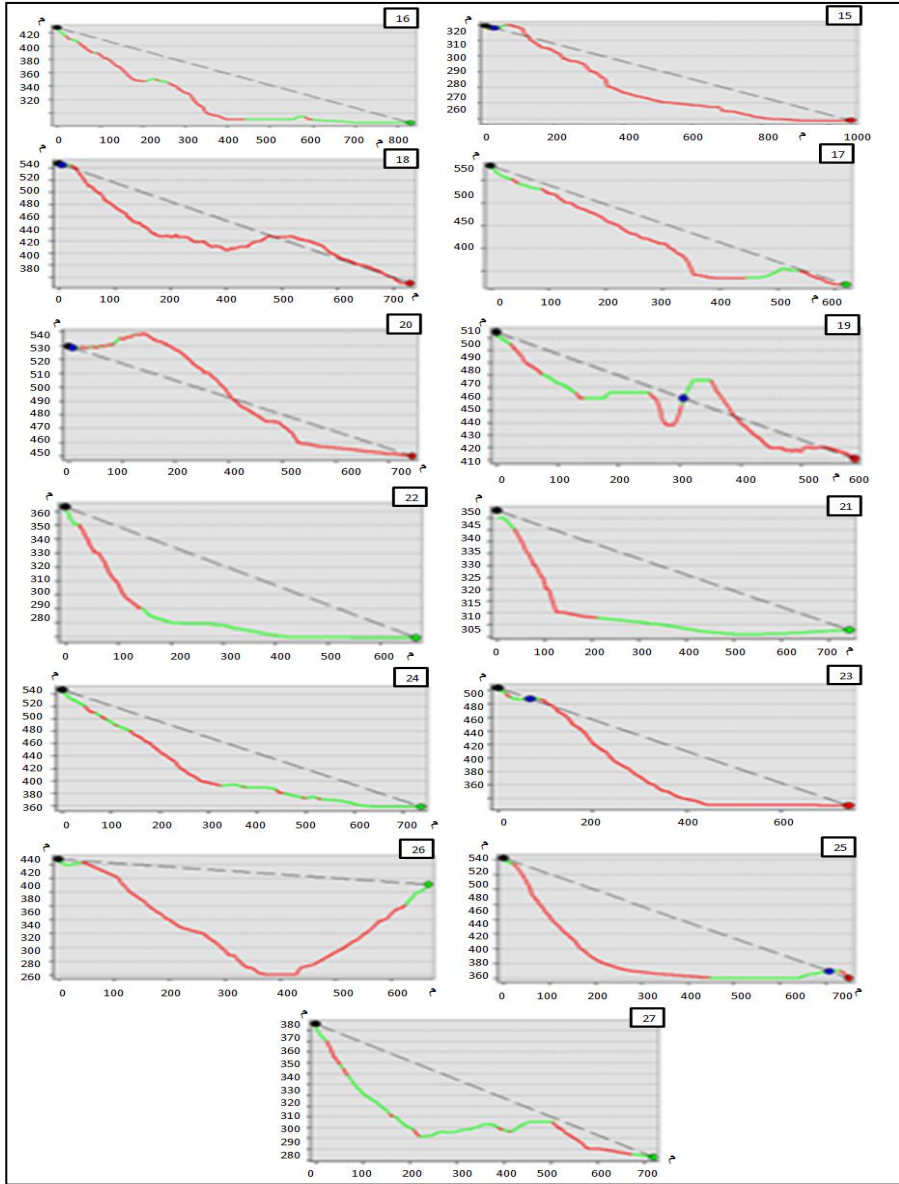
تبعاً للتقسيم المعدل			تبعاً لتقسيم Young			
% من طول القطاعات	المسافة بالمتر	طبيعة الانحدار	% من طول القطاعات	المسافة بالمتر	طبيعة الانحدار	فئات الانحدار
11.48	1670	خفيف	1.6	232.4	مستوى	2 – 0
			3.5	509.3	خفيف	5 – 3
			6.38	928.3	متوسط نوعاً	10 – 6
19.04	2770	متوسط	9.05	1316.5	متوسط	18-11
			9.99	1453.5	شديد	30-19
18.83	2739.8	شديد	18.83	2739.8	شديد جداً	45-31
50.65	7369.5	جروف	50.65	7369.5	جروف	أكثر من 45
%100	14550		%100	14550		الإجمالي

المصدر : من عمل الباحث اعتماداً على الدراسة الميدانية في الفترة من 2013/5/1 الى 2013/5/16



المصدر : من عمل الباحث اعتمادا على الدراسة الميدانية في الفترة من 2013/5/1 الى 2013/5/6

شكل (6 - أ) القطاعات التضاريسية المقاسة في منطقة الحرم المكي



شكل (6 - ب) القطاعات التضاريسية المقاسة في منطقة الحرم المكي

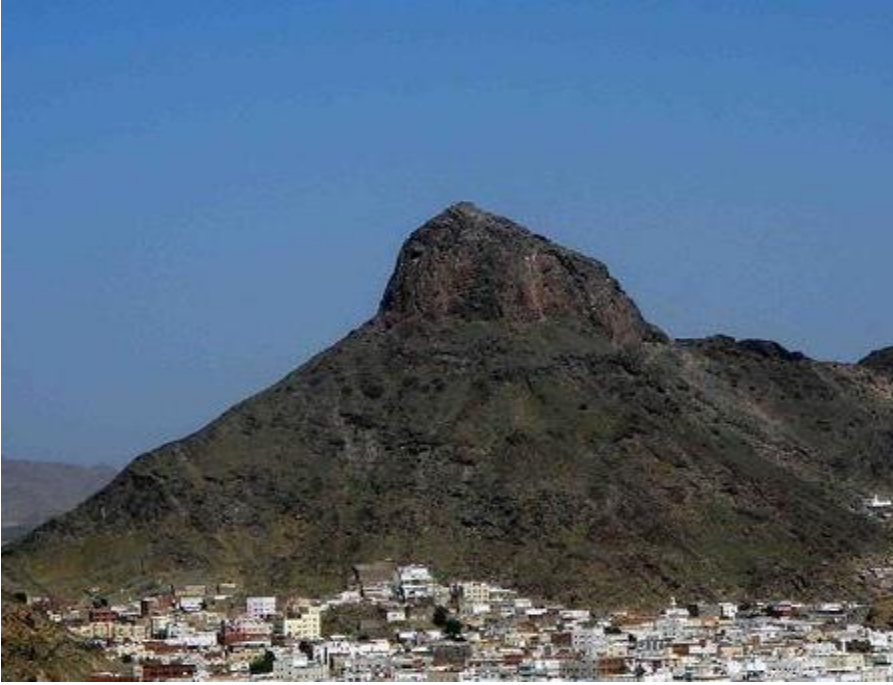
من خلال جدول (3) يتضح أن المنحدرات الشديدة والجروف تمثل أكثر من 50% من أطوال المنحدرات المقاسة بصفة عامة نتيجة لكثرة الانكسارات في منطقة الدراسة ، بينما كانت نسبة الانحدارات المتوسطة تصل الى 19.04 % من جملة القطاعات المقاسة بينما كانت الانحدارات الخفيفة تشكل نحو 11.48% من جملة القطاعات المقاسة وهي تمثل المراوح الفيضية وأسطح التعرية وهي بطبيعة الحال تمثل مناطق قليلة الخطورة من حيث الانهيارات الأرضية ، وبدراسة الزوايا الشائعة في منطقة الدراسة كما يتضح من جدول (4)

جدول (4) الزوايا الشائعة وأطوالها بالقطاعات المقاسة حسب طبيعة انحدارها

طبيعة الانحدار	النطاق الأول		النطاق الثاني		النطاق الثالث		النطاق الرابع	
	الطول بالدرجة	الطول بالمتر	الطول بالدرجة	الطول بالمتر	الطول بالدرجة	الطول بالمتر	الزوايا بالدرجة	الزوايا بالدرجة
خفيف	8	14	8	17	9	22	9	26
متوسط	13	25	14	26	15	28	15	36
شديد	39	31	35	31	39	26	38	26
جروف	76	29	69	26	62	27	69	29

المصدر : من عمل الباحث اعتمادا على الدراسة الميدانية

من دراسة الجدول السابق يتضح أن الزوايا الانحدارية الشائعة في المناطق خفيفة الانحدار هي 8 و 8 و 9 و 9 درجات بينما سادت الزوايا الانحدارية 13 و 14 و 15 و 15 درجة وسادت الزوايا الانحدارية في الانحدارات الشديدة الانحدار 39 و 35 و 39 و 38 درجة في حين سادت درجات انحدارات الجروف 76 و 69 و 62 و 69 درجة . مما سبق يمكن القول إن مواضع الزوايا الشائعة بالانحدارات الشديدة والجروف تعد أكثر المواضع خطراً في حالة وجود استقرار بشري بجوارها ، بسبب عدم استقرار الكتل الصخرية على تلك المنحدرات ، وسوف يتضح ذلك تاليا .



صورة (1) توضح جبل النور في منطقة الحرم المكي وطبيعية الانحدارات الشديدة وعلاقتة بالعمران

ب- دراسة معدلات التقوس :

تم حساب نسبة التحدب والتقوس بقسمة المسافات الأرضية للعناصر المحدبة على نسبة أطوال المسافات الأرضية للعناصر المقعرة فإذا زاد الناتج عن الواحد الصحيح دل ذلك على سيادة العناصر المحدبة والعكس صحيح ويفيد ذلك في معرفة العوامل المشكلة للمنحدرات , Doornkamp, J., & King, C., (1971, p.138) و يعبر عن التقوس بالدرجات لكل 100 متر و يمكن حسابه بالمعادلة الآتية :-

$$CR = \frac{A1 - A2}{D} \times 100$$

حيث أن

CR = معدل التقوس 0 A1 = درجة الانحدار عند أحد طرفي عنصر
التقوس 0

$A2 =$ درجة الانحدار عند الطرف الآخر للعنصر D هي المسافة الأرضية للعنصر

0 (Young, 1974, P, 16) وتشير القيم الموجبة الناتجة من تطبيق المعادلة إلى المنحدرات المحدبة ، بينما تشير القيم السالبة إلى المنحدرات المقعرة ، وتشير القيمة صفر إلى عدم التغير في درجة الانحدار ، ولا يظهر هذا الناتج إلا إذا تتابعت مسافتان أرضيتان بنفس درجة الانحدار. كما يتضح من جدول (6)

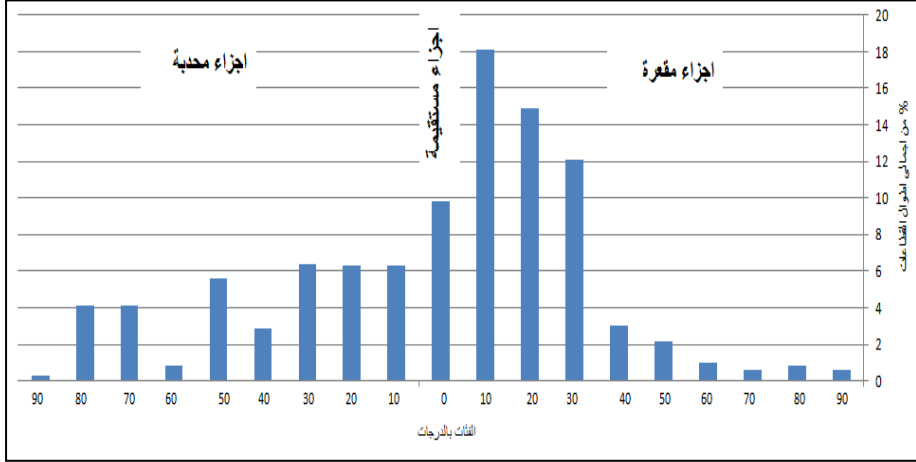
جدول (5) فئات معدلات تقوس منحدرات منطقة الدراسة

القسم المستقيم	العناصر المحدبة										الشكل
	المجموع	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	
1424.4	5376.3	920.3	917	931	421	816	119	596	611	45	الطول بالمتر
9.79	36.95	6.32	6.30	6.39	2.89	5.60	0.81	4.09	4.10	0.30	مج الطول %
	العناصر المقعرة										الشكل
	المجموع	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	
	7749.3	88	117	85	145	317	445	1751	2165	2636	الطول بالمتر
	53.26	0.61	0.81	0.58	0.99	2.18	3.05	12.05	14.88	18.11	مج الطول %

المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على الدراسة الميدانية خلال المدة من 2013/5/1 الى 2013/5/16

يتضح من جدول (5) وشكل (7) ان العنصر المستقيم يشكل نحو 9.17% من جملة الأطوال المقاسة في حين كان مجموع العناصر المقعرة والمحدبة معا نحو 90.21% من جملة الأطوال وان زادت نسبة العناصر المقعرة بدرجة كبيرة لتصل الى 53.26% من جملة الاطوال المقاسة بينما كانت نسبة العناصر المحدبة 36.95% من جملة أطوال القطاعات ، وكانت النسبة بين العناصر المحدبة والمقعرة 1 : 1.4 ويشير ذلك إلى تطور منطقة الدراسة ووصولها الى مرحلة النضج. ويشير ذلك إلى زيادة خطر الانهيارات الارضية في المنطقة حيث إن العناصر المقعرة تكون متأثرة بالجاذبية الأرضية بصورة أكبر من العناصر المحدبة . كما شكلت الانحدارات من فئة (1 – 30) أكبر نسبة أطوال مقاسة سواء في الانحدارات المقعرة أو المحدبة حيث بلغ

نسبتها في المقعرة نحو 45.04% من اجمالي أطوال القطاعات وكانت نسبتها في الانحدارات المحدبة نحو 19.01% من إجمالي أطوال القطاعات .



المصدر : من اعداد الباحث اعتمادا على بيانات جدول (5)

شكل (7) نسب اطوال فئات النفوس بمنطقة الدراسة

ج- معامل الاستقرار أو الأمان:

تؤثر قوتان على مناطق المنحدرات المعرضة لحركة المواد هما؛ القوة المحفزة التي تحرك المواد الأرضية إلى أسفل المنحدر، و القوى المقاومة التي تعارض القوى المحفزة لحدوث حركة المواد على المنحدر، وعند تغلبها على معامل وزن المواد الموجودة تتحول إلى قوة جانبية (التماسك الداخلي ، الاحتكاك) ويوضح جدول (6) معامل الاحتكاك لأنواع مختلفة من الصخور ، وبهذا ينتج معامل الاستقرار أو الأمان ولذلك فإن ثبات أي منحدر يعتمد علي معامل الأمان (SF) (1) لهذا المنحدر وهو النسبة بين القوى المحفزة (DF) والقوى المقاومة (RF) وتم صياغة معامل الأمان في عدد من المعادلات منها؛
معامل الأمان = ظل زاوية الاحتكاك الداخلي / ظل زاوية انحدار المنحدر

Yingbin, et.al, 2012, p. 21

(1) معامل الامان اقل من (1) المنحدر غير مستقر ،(1-1.025) المنحدر شبه مستقر،(1.25-1.5) المنحدر متوسط الاستقرار ، اكثر من 1.5 المنحدر مستقر.

ويوضح جدول (7) نتائج معامل الأمان على طول القطاعات المدروسة ميدانياً الذي يوضح عدم استقرار أغلب القطاعات، وأمكن تقسيمها إلي:

جدول (6) معامل احتكاك وتماسك بعض أنواع الصخور

الرقم	جر رملي	جر جيري	بازلت	نيورائيت	فيضية	رواسب	حصى	حصى + سلت	الاستدارة رملي جيد	الاستدارة رملي رديء	رمل + سلت	رمل + طين	خليط من الرمل والطين والملت
درجة الاحتكاك	٢٠	٢٤	35	٣	٢٥	38	٣٤	٣٨	٣٧	٣٤	٣١	33	
التماسك Kpa	٥٨.١١	-	-	-	٢3	-	-	-	-	-	-	-	
بوند / بوصة التماسك كيلو نيوتن /سم ٢ KN/M2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5- 2	7.5- 1	5- 1.5

Shimelies, A., 2009, p. 24-25

رقم القطاع	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
معامل الامان	1.2	0.62	1.1	0.75	0.59	0.79	0.68	1	1	0.69	0.46	0.78	1.3	0.69
رقم القطاع	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
معامل الامان	0.71	0.79	0.74	0.79	1	0.59	0.36	0.79	0.48	0.45	0.45	0.45	0.39	

جدول (7) معامل الأمان للقطاعات المدروسة في منطقة الحرم المكي

المصدر : من عمل الباحث اعتمادا على قياسات العمل الميداني واستخدام معادلة (Yingbin, et.al, 2012, p. 21)

وبتحليل الجدول السابق كانت النتائج على النحو الآتى :

قطاعات بعيدة عن الاستقرار :

شملت القطاعات أقل من 0.5 وهي أرقام (11 ، 21 ، 23 ، 24 ، 25، 27) وتتسم هذه القطاعات بارتفاع متوسط درجة الانحدار؛ حيث تبدو المنحدرات شبه رأسية عارية من الرواسب مشرفة على الطرق والعمران بصورة مباشرة.

قطاعات غير مستقرة :

شملت القطاعات الأقل من 1 ، وهي تمثل أغلبية القطاعات المدروسة فى منطقة الحرم المكى حيث تتسم بكثرة الفواصل والشقوق واقتراب شكلها من المحدثات أو المقعرات وتكون واجهات رأسية فى معظم أجزائها .

قطاعات شبه مستقرة :

شملت القطاعات أكبر من 1 ، وتمثلت فى أربع قطاعات هي (1، 3 ، 8 ، 9، 13 ، 19) يرجع زيادة معامل الأمان لتراجع المنحدرات فى مناطق قياسها وانخفاض متوسط الانحدار العام للقطاع.

د- سرعة حركة المواد على المنحدرات

تم حساب سرعة حركة المواد على المنحدرات بإيجاد العلاقة بين عجلة الجاذبية والارتفاع الفعلي للسطح المكشوف باستخدام المعادلة التالية:

$$\text{سرعة الحركة م /ثانية} = 2V \times \text{الارتفاع النسبى} \times \text{الجاذبية الأرضية}$$

Kirkby, and Statham, I., 1975, p. 351-353

بتطبيق المعادلة السابقة على القطاعات الميدانية كانت النتائج كما يتضح من جدول (8) و جدول (9)

14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	رقم القطاع
50	90	60	90	75	90	30	70	18	50	110	90	90	80	الارتفاع النسبى م
	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	رقم القطاع
	100	180	180	180	140	80	45	90	100	160	150	100	60	الارتفاع النسبى م

جدول (8) الارتفاع النسبي القطاعات المدروسة في منطقة الحرم المكي
المصدر : من عمل الباحث اعتمادا على ان الارتفاع النسبي (الفرق بين اعلى
نقطة واقل نقطة على القطاع)

رقم القطاع	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
سرعة حركة المواد م/ثانية	39.6	42	42	46.4	31.3	18.7	37	24.2	42	38.3	42	34.3	42	31.3
رقم القطاع	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
سرعة حركة المواد م/ثانية	34.3	44.2	54.2	56	44.2	42	29.7	39.6	52.4	59.4	59.4	59.4	44.2	

جدول (9) سرعة حركة المواد على القطاعات المدروسة في منطقة الحرم
المكي

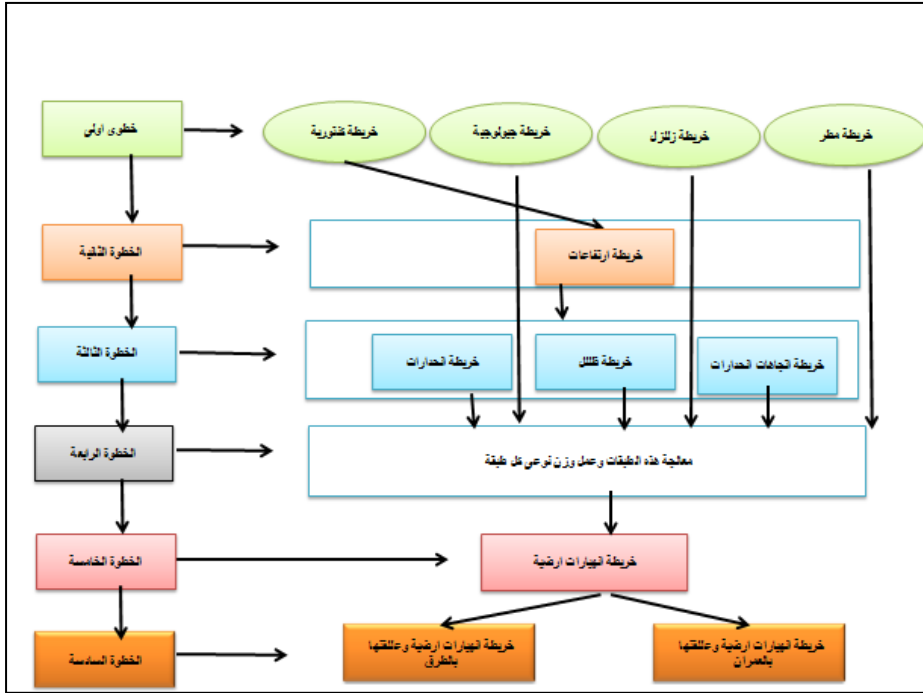
المصدر : من عمل الباحث اعتمادا على قياسات العمل الميداني واستخدام
معادلة (Kirkby, M., and Statham, I., 1975, p. 351-353)
الجاذبية الارضية = 9.80662 م / ثانية

تراوحت سرعة المواد علي المنحدرات بين 18.7م /ثانية في القطاع رقم
(6) ، وبين 59.4م/ثانية في القطاعات (24 ، 25 ، 26) وبذلك نجد أن
القطاعات الأكثر أماناً هي القطاعات الأقل سرعة في حركة المواد عليها
، حيث نجد معظم القطاعات التي يقل بها معامل الأمان وتزيد بها سرعة حركة
المواد هي قطاعات منطقة الجبوب الشرقي من منطقة الحرم المكي ، وبطبيعة
الحال تتنوع الحركة على المنحدر تبعا لعدة عوامل أبرزها درجة الانحدار
حيث هناك علاقة طردية بين حجم الرواسب ودرجة الميل ونوع الحركة ،
حيث كلما زادت درجة الانحدار تحولت حركة المفتتات من الزحف في حالة
الانحدار الهين إلي القفز في حالة الانحدار المتوسط، وأخيراً السقوط الصخري
في حالة الانحدار الشديد، ويعكس معدل حركة المواد درجة الخطورة التي
تتعرض لها الطرق والمنشآت في منطقة الحرم المكي ، مما يجعل من الأجزاء
البارزة عرضة للتساقط خاصة في وجود الفواصل والشقوق والاهتزازات
الناتجة عن حركة المركبات أو عن الاهتزازات الناتجة من عمليات هدم الجبال
المنتشرة في المنطقة .

ثالثا : نموذج دراسة أخطار الانهيارات الأرضية لمنطقة الحرم المكي

تم تصميم نموذج باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد لدراسة السفوح ، وتم تطبيقه على كل قطاع عرضي من القطاعات التي تم قياسها . و استخدام النماذج الحتمية تعتبر من الأساليب المناسبة لتقييم مواقع الخطورة ، ويقوم النموذج على أساس معالجة بيانات القياس الميداني مع بيانات الصور الفضائية والخرائط الطبوغرافية الرقمية باستخدام أساليب المعالجة المتوافرة في برنامج ARCGIS 9.3 وذلك من خلال وضع طريقة عمل محددة كما يتضح من شكل (8) . وقد اشتمل النموذج على الخطوات الآتية :

- 1- إدخال طبقات العوامل المؤثرة على الانهيارات الأرضية وتشمل طبقة خطوط الكنتور وكذلك إدخال طبقة الصخور الجيولوجية السطحية والبنية فضلا عن إدخال طبقة الزلازل وكذلك طبقة معدلات الامطار في المنطقة وهو ما تم دراسته في القسم الاول .
- 2- استخراج خريطة الارتفاعات الرقمية من تحليل خريطة الكنتور
- 3- معالجة طبقة الارتفاعات التي تم ادخالها الى البرنامج واستخراج عدة طبقات أخرى ومنها طبقة درجات الانحدار وطبقة ظل السفوح وكذلك طبقة اتجاه الانحدار .
- 4- عمل معالجة لكل الطبقات السابقة ووضع وزن نوعي لكل طبقة بحيث يكون مجموع الأوزان النوعية 100% .
- 5- استخراج خريطة أخطار الانهيارات النهائية ودرجات الخطورة بها .
- 6- ربط هذه الخريطة بمناطق التنمية سواء بالطرق أو العمران .



المصدر : من عمل الباحث

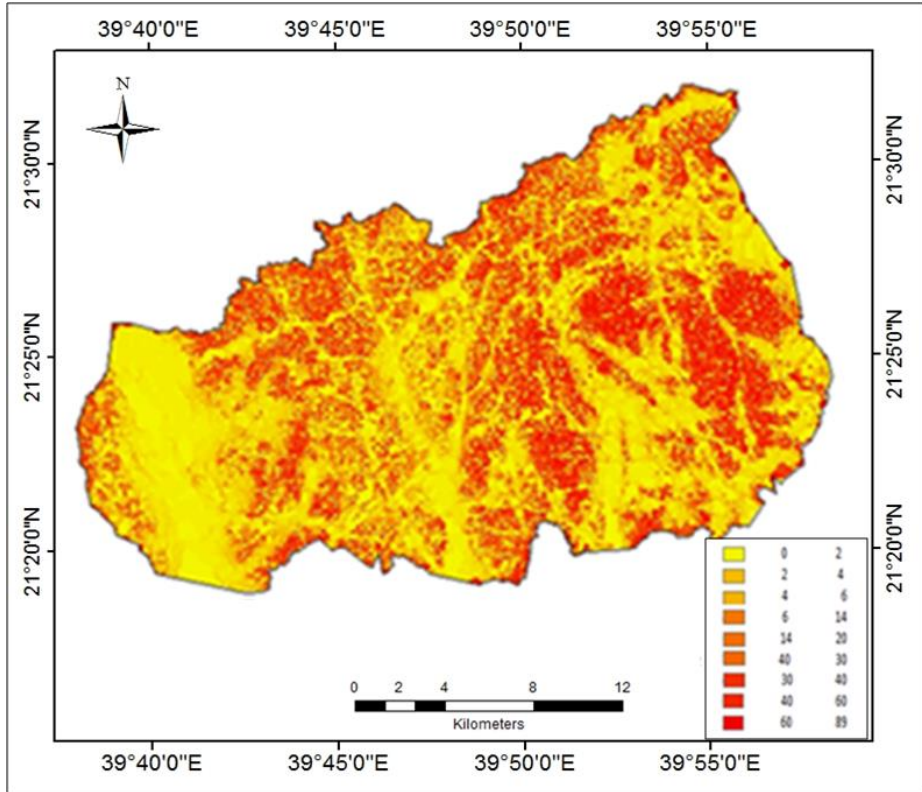
شكل (8) نموذج دراسة أخطار الانهيارات الأرضية في منطقة الحرم المكي

1- الطبقات المنتجة من معالجة طبقات العوامل المؤثرة على الانهيارات الأرضية

أ- درجات الانحدار :

معظم مناطق الانهيارات والانزلاقات الأرضية تمتاز بانحدارات شديدة تؤدي إلى عدم استقرار الكتل الصخرية والترربة الواقعة عليه ، وكلما زاد الميل اختل الثبات والاستقرار وبدأ الانهيار بالحركة نحو الأسفل أو يبقى في وضع غير مستقر ، وينهار المنحدر الذي يتمتع بزواوية ميل أكبر من زاوية توازن القوى المؤثرة فيه ، حيث زاوية الميل قد تصل في بعض المناطق إلى أكثر من 85 درجة شكل (9) ، وبالتالي تصبح هذه المناطق عرضة لتساقط الكتل الأيالة للسقوط وزحف التربة نحو الأسفل تحت تأثير الجاذبية الأرضية الطبيعية وبعض العوامل الأخرى. وهذه الانحدارات الشديدة ناتجة عن الحركات التكتونية العنيفة والصدوع التي حدثت في

العصور الجيولوجية القديمة بالإضافة إلى عوامل التعرية اللاحقة التي أدت إلى تكوين انحدارات شديدة الانحدار وإلى تشققها وخلخلتها وانهارها بفعل اضعاف قوى الترابط فيما بينها. والانحدارات تعتبر من أهم الأسباب الرئيسية التي تؤدي إلى انزلاق الكتل الصخرية وزحف التربة وجعل المنطقة غير مستقرة جيولوجياً.

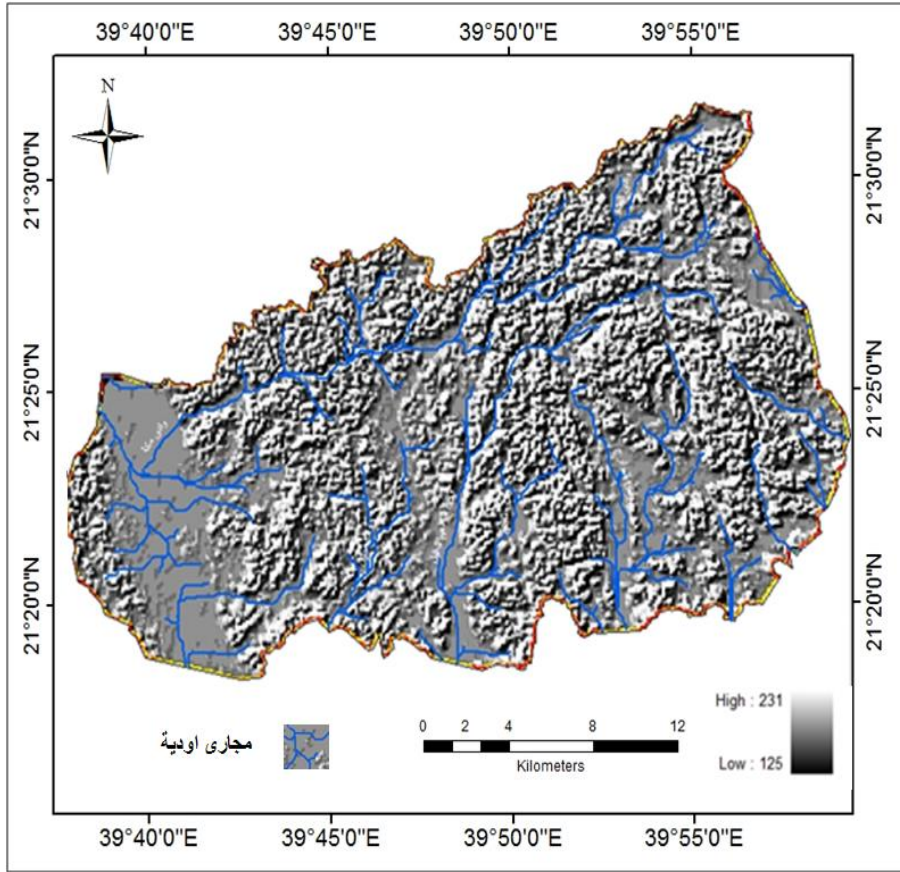


المصدر : من عمل الباحث اعتماد على خريطة الارتفاعات الرقمية للمنطقة

شكل (9) فئات درجات الانحدار في منطقة الحرم المكي

ب- ظل السفوح Hillshade

يتم تكوين خريطة ظل السفوح عن طريق تحليل خريطة الارتفاعات الرقمية كما هو موضح في النموذج ، وهي تمثل إحدى الطرق الحديثة المستخدمة للتعبير عن وضع السفوح ، وأحد الأشكال التي يتم التعامل معها بغرض تحديد أشكال السفوح والتعرف عليها ، والتعامل معها ، ويتم استخدامها من قبل الباحثين الذين يتعاملون مع برامج نظم المعلومات الجغرافية (M. Van Den Eeckhaut, 2006, pp. 322 – 410) كما يتضح من شكل (10)

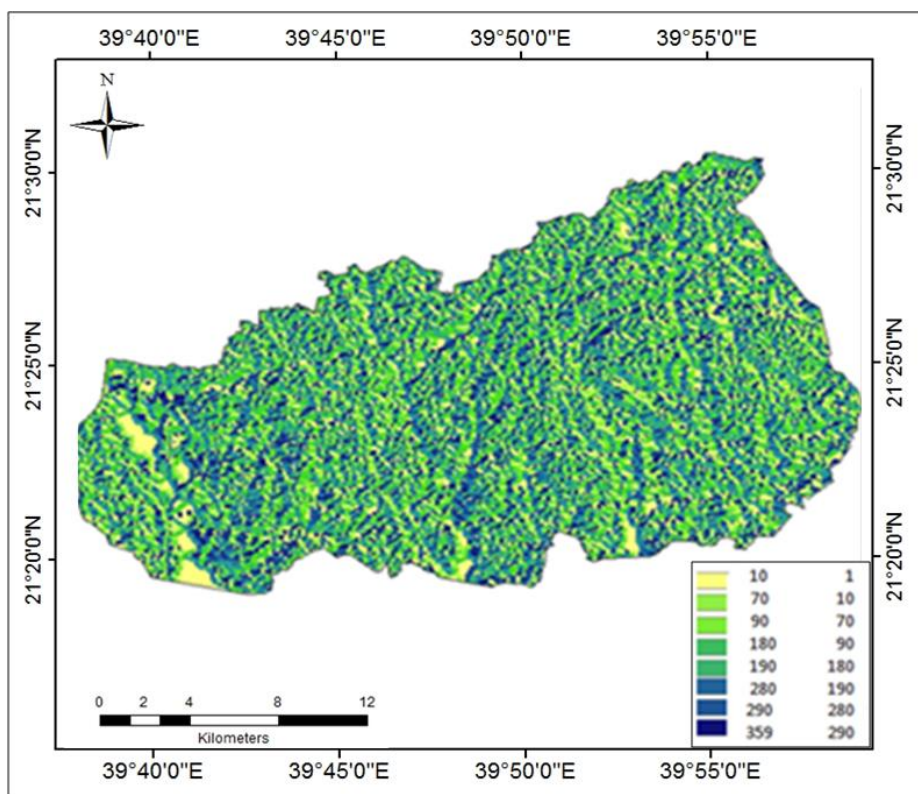


المصدر : من عمل الباحث اعتماد على خريطة الارتفاعات الرقمية للمنطقة

شكل (10) خريطة الظلال المنحدرات لمنطقة الحرم المكي

ج- توجه الانحدار Aspect

يوضح اتجاه الانحدار إلى أسفل السفح ، وهو يمثل أحد أساليب توضيح وضع السفح ، وقد تم استخراجها من تحليل خريطة الارتفاعات الرقمية لمنطقة الحرم المكي من خلال استكمال عمل النموذج ، والشكل (11) يوضح اتجاهات الانحدارات في منطقة الحرم المكي ، ومنها يتضح توجه الانحدارات وفي معظم القطاعات المقاسة يظهر بوضوح توجه الانحدارات صوب بطون الأودية مما يؤكد افتراض توجه حركة المواد من على هذه السفوح في اتجاه الطرق وبالتالي زيادة حدة الخطورة عليها.



المصدر : من عمل الباحث اعتماد على خريطة الارتفاعات الرقمية للمنطقة

شكل (11) خريطة اتجاهات الانحدارات لمنطقة الحرم المكي

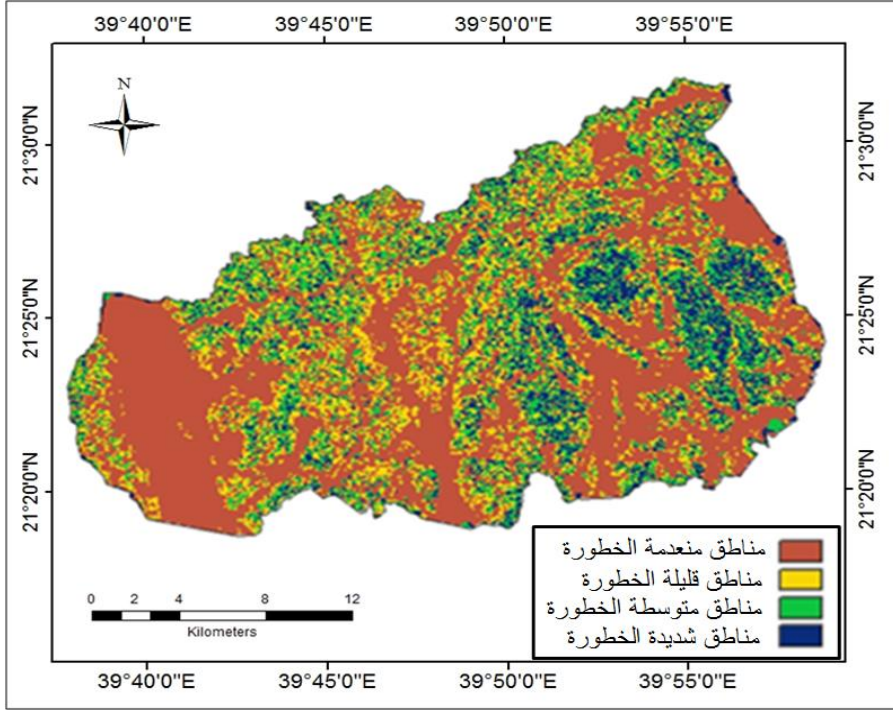
درجات خطورة الانهيارات الأرضية فى منطقة الحرم المكى :

تم تحديد درجات خطورة الانهيارات الأرضية نتيجة تحليل الطبقات التى تم إدخالها إلى النموذج المعد لدراسة الانهيارات فى المنطقة فضلا عن إدخال وزن نوعى لكل طبقة مؤثرة بحيث يكون المجموع الكلى للأوزان النوعية 100 % كما يتضح من جدول (10).

جدول (10) يوضح الوزن النسبى لدرجة خطورة الطبقات المدروسة فى نموذج الانحدارات المطبق على منطقة الحرم المكى

الطبقة	صلاية الصخور	البنية الجيولوجية	الوضع الزلزالى	درجة الانحدار	المناخ	ظل السفوح	اتجاه الانحدار	التقوس	العمران	شبكة النقل	المجموع
الوزن النسبى	15	10	5	20	10	5	10	5	10	10	100%

المصدر : من عمل الباحث



المصدر : من عمل الباحث اعتمادا على النموذج المعد لدراسة

شكل (12) خريطة درجات خطورة الانهيارات الأرضية في منطقة الحرم المكي

يلاحظ من الجدول أنه تم إعطاء الانحدرات أعلى درجة في الوزن النوعي وهي 20% ويرجع ذلك الى أنها العامل الأكثر تأثيرا على زيادة الجاذبية الأرضية والتي بدورها تزيد من خطر الانهيارات الأرضية في حين نجد أنه تم إعطاء شبكة النقل وطبقة العمران واتجاه الانحدار وزن لكل منهم وصل الى 10% وذلك لأن التصرف البشري الخاطئ له أثر كبير على زيادة خطورة الانهيارات وذلك من خلال إنشاء الطرق والمباني في مناطق معرضة لأخطار الانهيارات الارضية مما يزيد بدرجة كبيرة من الأخطار على هذه المنشآت بينما نجد أن الوضع الزلزالي أخذ أقل الاعتبار للوزن النوعي ويرجع ذلك إلى أن مناطق النشاط الزلزالي (في البحر الأحمر) بعيدة نوعا ما عن منطقة الحرم المكي . وبتطبيق هذا النموذج على منطقة الدراسة ، كانت النتائج كما يتضح من شكل (12) .

تم تقسيم فئات أخطار الانهيارات الأرضية إلى أربع فئات وهى :

مناطق شديدة الخطورة : وتنتشر فى المناطق الشرقية والمنطقة الوسطى من منطقة الحرم المكى بمساحة وصلت الى 11.7% من مساحة المنطقة ، ويلاحظ أن هذه المناطق تسود فيها الجبال شاهقة الارتفاع وذات الانحدارات الشديدة .

مناطق متوسطة الخطورة : توجد فى القسم الاوسط من المنطقة وتنتشر فى بعض المناطق الشرقية وكذلك حول المناطق شديدة الخطوة بنسبة تصل إلى 22.9% من إجمالي مساحة المنطقة .

مناطق قليلة الخطورة : وتتوزع هذه المناطق بصورة متناثرة على معظم أجزاء منطقة الدراسة بمساحة تصل الى 26.8% من إجمالي مساحة المنطقة.

مناطق منعدمة الخطورة : وتتركز هذه المناطق فى القسم الغربى من منطقة الدراسة وبعض الأجزاء فى القسم الأوسط بمساحة تصل إلى نحو 38.6% من مساحة المنطقة .

وبطبيعة الحال ليس الترتيب إجباريا إنما يتبقى عنصر مهم وهو **العوامل المحفزة** لعملية الانهيارات الأرضية فى المنطقة والتي تقوم بدور يعتبر الأكثر خطورة ويتمثل فى عملية بدء حركة الكتل والمواد على السطح ، حيث تكون المواد قد وصلت إلى مرحلة عدم الاتزان فوق السفوح وتقوم هذه العوامل بإطلاق طاقة الحركة حيث تبدأ الحركة كنتيجة لقيامها بخفض قوة المقاومة وزيادة قوة القص . و تكون الكتل الصخرية والمواد فى وضع قابل للحركة وأن كل ما يلزمها هو بعض الطاقة المبدئية للتغلب على القصور الذاتى. وتشمل على زيادة الضغط المسامى للمياه داخل الصخر. وزيادة زاوية الانحدار فى السطح والاهتزاز وزيادة فعل وتأثير التجوية القطع أو النحت فى الأجزاء السفلى من السطح فضلا عن دور الإنسان والذى يمكن أن نوجزه فى التالي:

دور الإنسان في عملية الانهيارات الصخرية :

يلعب الإنسان دوراً مهماً بجانب ما سبق في إحداث عمليات انهيارات أرضية بطريقة مباشرة أو غير مباشرة ، وذلك من خلال أنشطته المختلفة بتلك البيئة الجبلية الجافة ، مثل ما يتعلق بعمليات الحفر والتعميق في أعالي التلال ، أو عند رؤوس الأودية أو من خلال مد الطرق وشق الأنفاق (محمد صبري محسوب ، 1998 ، ص145) و يقوم الإنسان بعملية التنمية العمرانية على حساب الجبال الموجودة في المنطقة ويقوم ذلك على خيارين في التعامل مع هذه الجبال ، الخيار الأول وهو التكيف مع هذه الجبال والبناء على سفوحها رغم أن كل هذه المناطق بها انحدارات بدرجات تجعل التأثير البيئي على الإنسان واضحاً في فرض أسلوب معين لإمكانية استخدامه للسفح لأغراض مختلفة ، وبسبب الاختلاف في درجة الارتفاع بينها وبين المناطق السهلية المنبسطة له دور كبير في إمكانية التهيئة و التعمير في هذا النوع من المناطق . وقد كان لهذا التعمير دور كبير في زيادة الأخطار الجيومورفولوجية في المناطق السكنية في تلك المناطق كما يتضح من صورة (2) والتي تبني فيها المباني دون أدنى التزام بمعايير البناء على المنحدرات . بينما يعتمد الخيار الثاني على إزالة الجبال من أجل بناء .



صورة (2) المباني على المنحدرات في منطقة الحرم مكة بمكة المكرمة

المباني فى موضعها كما يتضح من صورة (3) إلا أن هذه الطريقة تكتنفها الكثير من النقاط التى تزيد من خطر الانهيارات الأرضية ومنها :

- طرق الحفر والتفجير :-

لا يوجد تصميم متبع وسليم فى الحفر حيث قطر الحفر والمسافات بين الثقوب وعمق الثقب . والتفجير يفترض أن تستعمل على نطاق واسع حتى يتسنى الحصول على نتائج مرضية دون إحداث زيادة الشقوق, والتصدعات فى الطبقات الصخرية وكذلك الاهتزاز الأرضي وتطاير الصخور مع التأثير المباشر على الطرق المعبدة والمباني إن كانت قريبة من عملية التفجير وان قلت عمليات التفجير بصورة كبيرة وأصبحت تستخدم الكسارات بدلا منها كما يتضح من صورة (4) وصورة (5) رغم عملها وزيادة الاهتزازات الناتجة عن عمل هذه الكسارات يزيد من نسبة الشقوق والفواصل فى الصخور . .



After: Google-Imagery , Digital Globe,Terra Meterics, Map data20013

صورة (3) توضح ازالة الجبال وإقامة المباني بدلا منها



صورة (4) توضيح طريقة هدم الكسارات للمناطق الجبلية بجانب العمران



صورة (5) تكسير وازالة الجبال في منطقة الحرم المكي



صورة (6) الاخطار الناتجة عن عمليات هدم الجبال

- إنشاء الأنفاق :

نظراً للتباين الشديد في تضاريس منطقة الحرم المكي قامت المملكة العربية السعودية بإنشاء عدد من الأنفاق التي تساهم بصورة كبيرة في خدمة ضيوف الرحمن وكذلك السيولة المرورية كما يتضح من صورة (7) ويوضح جدول (11) أعداد وأطوال الأنفاق في منطقة الحرم المكي .

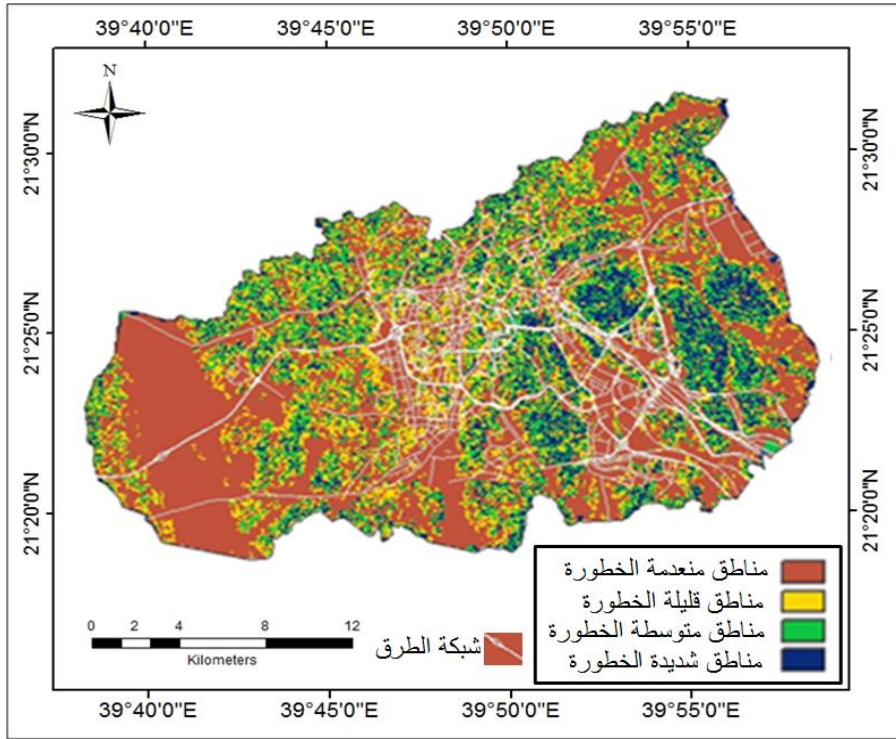
جدول (11) عدد وأطوال ومواقع الأنفاق فى منطقة الحرم المكى

الطول بالمتر	الموقع	اسم النفق
510	بين السليمانية والعتبية والعكس	نفق السليمانية(رئيس مزدوج)
500	بين السلة والطنطاوى والعكس	نفق السفلة (رئيس مزدوج)
1090 480 970	بين بئر بلية وبرحة قريش وشعب عامر والعكس	نفق بئر بلية وشعب عامر(رئيس مزدوج)
535 470 260 322 154 80	بين السفلة وبئر بلية وبين السفلة وربع بخش وبئر بلية	نفق تقاطع ربع بخش عدد (1 رئيس مزدوج) و4 مفردة خاصة
1635	بين اجياد المصافى - كدى والعكس	نفق اجياد - كدى (رئيس مزدوج)

المصدر : وزارة الطرق والنقل بالمملكة العربية السعودية ، مطابع دار العلوم ،
2008



صور (7) توضح الاتفاق فى منطقة الحرم المكى ويلاحظ كثافة العمران فى المنطقة

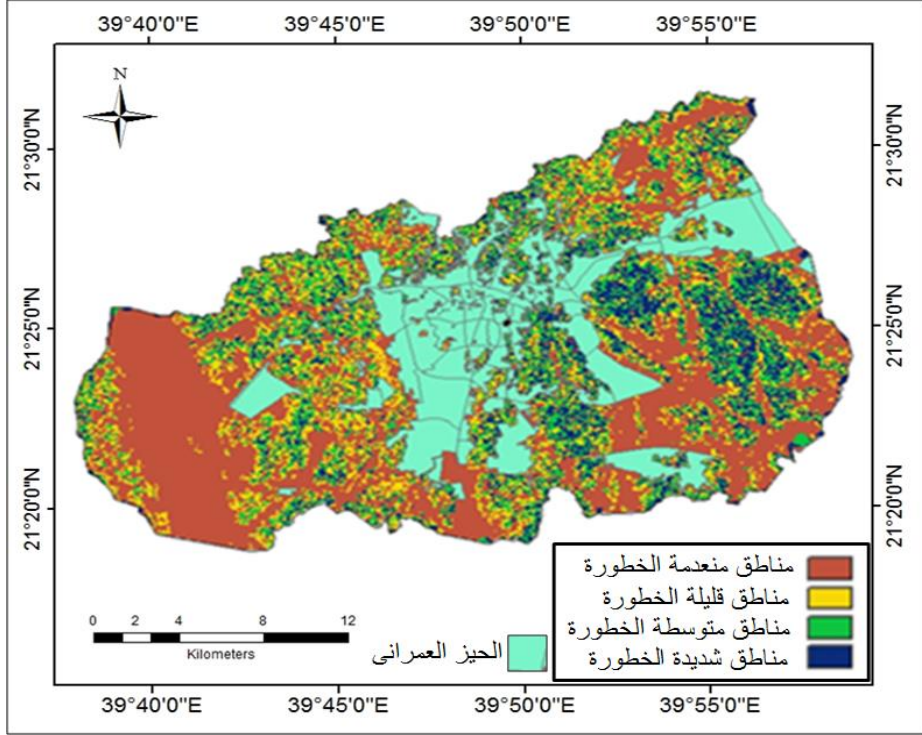


المصدر : من عمل الباحث اعتمادا على نتائج النموذج المعد لدراسة الانهيارات وكذلك شبكة الطرق بالمنطقة

شكل (13) علاقة خريطة أخطار الانهيارات الأرضية بشبكة الطرق بمنطقة الحرم المكي

ويعد ذلك من أشكال تدخل الإنسان لتعديل الأشكال الأرضية ، حيث ارتبطت بتغيرات عديدة تتمثل في حفر النفق على أعماق بعيدة مما أدى إلى تصدع الأجزاء الصخرية المحيطة به مع وجود احتماليه لسقوط الكتل الصخرية أثناء وبعد حفر النفق ، وكل ذلك يعد مظهرا من مظاهر الإخلال بالصور الطبيعية وبالتوازن الإستاتيكي بفعل الإنسان ، والذي يعرفه (محمد صبري محسوب ، 2001 ، ص 437،438) بظاهرة الترييح أو الهبوط ، وبالتالي تأتي حركة الصخور باتجاه النفق . وعند ربط خريطة أخطار الانهيارات الأرضية مع خريطة الطرق في منطقة الحرم المكي يتضح مدى تأثير هذه شبكة الطرق بخطر الانهيارات الأرضية كما يتضح من شكل (13) ، حيث يتضح ان معظم شبكة الطرق تقع في بطون الاودية وكذلك المناطق الخطرة ومتوسطة الخطورة بينما المناطق شديدة الخطورة ومنعدمة الخطورة تقل بها كثافة الطرق

. وكذلك عند تحليل خريطة أخطار الانهيارات الأرضية على مناطق العمران
 في منطقة الحرم المكي كما يتضح من شكل (14)



المصدر : من عمل الباحث اعتمادا على نتائج النموذج المعد لدراسة الانهيارات وكذلك شبكة الطرق بالمنطقة

شكل (14) علاقة خريطة اخطار الانهيارات الأرضية بالعمران بمنطقة الحرم المكي
 نجد أن معظم مناطق العمران تقع في الفئة متوسطة وقليلة الخطورة في
 الانهيارات الأرضية كما يتضح من صورة رقم (8) .



صورة (8) توضح تداخل العلاقة بين العمران والانحدارات في منطقة الحرم المكي

تصنيف حركة المواد على المنحدرات :

تحدث حركة المواد على المنحدرات كنتاج لعوامل عدة ، منها ثقل المفتتات أو ضغطها الناتج عن تراكمها ، المحتوى الرطوبي θ وتنقسم حركة المواد إلى عدة أقسام وهي (التدفق- الزحف - التساقط) وبعض هذه الحركات تحدث ببطء ولا يمكن ملاحظته مثل زحف المفتتات ، وبعضها يحدث بسرعة مثل التدفقات الطينية و التساقط الصخري

، (Hart ,M.G., 1986, P,95) وقد تعددت تصنيفات حركة المواد على السفوح بين الانهيارات الأرضية (محمود محمد خضر ونبيل سيد إمبابي , 1999 ، ص 25) ومصطلح الانهيارات الأرضية (محمد صبرى محسوب ،محمد إبراهيم أرباب ،1998، ص 125) . ويوضح جدول (12) تصنيفات حركة المواد على المنحدرات .

جدول (12) أنواع وخصائص حركة المواد على المنحدرات

الاسم	نوع الحركة	التمزق الداخلي	السرعة	العمق
سقوط صخري	قفز، تدحرج، سقوط حر	عالٍ أو عالٍ جداً	سريعة للغاية	ضحل
انزلاقات صخرية	انزلاق انتقالي على سطح قص قاعدي	عالٍ	سريعة إلى سريعة للغاية	ضحل
التياهير الصخرية	مركبة، تتضمن انزلاقاً و/ أو سيلاناً، كسيل من كسارات صخرية	عالٍ جداً	سريعة للغاية	عميق
تساقطات ترايبية	انزلاق انتقالي على سطح قص قاعدي، أو منطقة ضعف طين حساس	عالٍ أو عالٍ جداً	سريعة للغاية	ضحل
تياهير ترايبية	انزلاق انتقالي مع سيلان ثانوي	عالٍ	متوسطة إلى سريعة	ضحل
هبوطات صخرية	انزلاق على سطح قص قاعدي مع حركة دوران مقابلة	عالٍ جداً	سريعة جداً إلى سريعة للغاية	ضحل
انزلاقات كتلية صخرية	انزلاق انتقالي على سطح قص قاعدي	خفيف أو متوسط	بطيئة إلى سريعة	عميق
هبوطات ترايبية	انزلاق على سطح قص قاعدي مع مركبة دوران مقابلة	خفيف أو متوسط	بطيئة إلى سريعة	عميق
انزلاقات كتل ترايبية	انزلاق انتقالي على سطح قص قاعدي	خفيف أو متوسط	بطيئة إلى سريعة	عميق
سيلانات أرضية بطيئة	انزلاقات، انتقالية على سطح قص قاعدي مع سيلان داخلي ثانوي	خفيف	بطيئة إلى سريعة	عميق
الانتشارات الجانبية الترايبية	انتقال على منطقة قاعدية من الرمل المتميع أو الطمي أو الطين المضغف، الحساس سيلان	عموماً متوسط، وأحياناً خفيف، وأحياناً عالٍ	سريعة جداً إلى سريعة للغاية	ضحل
سيلانات التربة السريعة انزلاقات متتالية	مركبة، عموماً تتضمن انتشاراً جانبياً، و/أو سيلاناً؛ وأحياناً تتضمن هبوطاً و/أو إنزلاقاً كتلياً	عموماً عالٍ أو عالٍ جداً، وأحياناً متوسط أو خفيف	عموماً سريعة إلى سريعة للغاية، وأحياناً بطيئة إلى متوسطة	متغير

After: Keefer, 1984, p 125

وبتصنيف حركة المواد فى منطقة الدراسة ييمكن أن نجملها فى التالى
نوعين هما :

النوع الأول يشمل الانهيارات السريعة والتى تحتوى على الانزلاقات الأرضية والسقوط الصخرى ، حيث تتميز حركة هذه المواد بالفجائية وهو ما يشكل خطورة كبيرة على المنشآت والطرق ، و بدراسة **السقوط الصخرى** فى المنطقة نجد أنه ينتشر فى منطقة منى كما يتضح من صورة (7) وتتميز هذه المنطقة بأن منحدراتها عارية من الرواسب ويزيد انحدارها على 40° مما يساعد على سقوط الكتل الصخرية فجأة وتصطدم بالأرض بدون أن تتعرض للتدحرج أو الانزلاق والاحتكاك بسطح المنحدر إلا مرات معدودة ، وإن كانت فى أغلب الأحوال تتعرض هذه الكتل للتفكك نتيجة لاصطدامها بالأرض وهى من أهم أسباب حدوث هذا النوع من الانهيارات (محمد صبرى محسوب ، 2001، ص 118) ويكون السبب فى ذلك الجاذبية الأرضية او عمليات الهدم التى تحدث للجبال فى تلك المناطق ، وتختلف أحجام تلك الكتل تبعاً لكثافة الشقوق والفواصل ، بينما تحدث **الانزلاقات الصخرية** فى المناطق التى درجة انحدارها نحو 35°، حيث تتحرك المواد الصخرية كوحدة منزلقة على سطح الانهيار عند انزلاقها وتبدو حركتها أشبه ما يكون بالمادة فى حالة السيولة ويسبب الاحتكاك أثناء الانزلاق اهتزازاً للتربة مما يجعلها تتحرك فى شكل متدفق (محمد صبرى محسوب ومحمد إبراهيم ، 1998، ص 143) وتكون طوال مدة الانزلاق ملامسة لسطح المنحدر بينما النوع الثانى يتمثل فى الانهيارات البطيئة وهو ما يمثل مخروطات الهشيم ، تكون هذه المفتتات حادة الزوايا مما يدل على تأثرها بفعل التجوية الميكانيكية ونوع الصخر الذى تتكون منه المنطقة ، حيث تنتمى هذه المفتتات إلى الصخور النارية والمتحولة ، وتعتمد درجة انحدارها على استمرار عملية الانهيارات البطيئة وكذلك حجم ودرجة استدارة المواد المفككة التى تتكون منها الركامات، حيث تكون درجة الانحدار شديدة إذا كان حجم المفتتات صغيراً ومستديراً والعكس صحيح، أما إذا قل التساقط الصخري وكبر حجم المفتتات فتكون الفرصة سانحة للتطور الحجمي للهشيم وتقليل الانحدار ويصبح الانحدار مقعراً لأعلى (نبيل سيد إمبابي، 1972، ص 88)

رابعاً : طرق وأساليب مواجهة حركة المواد على المنحدرات

يمكن مواجهة خطر الانهيارات الأرضية من خلال طريقتين هما :

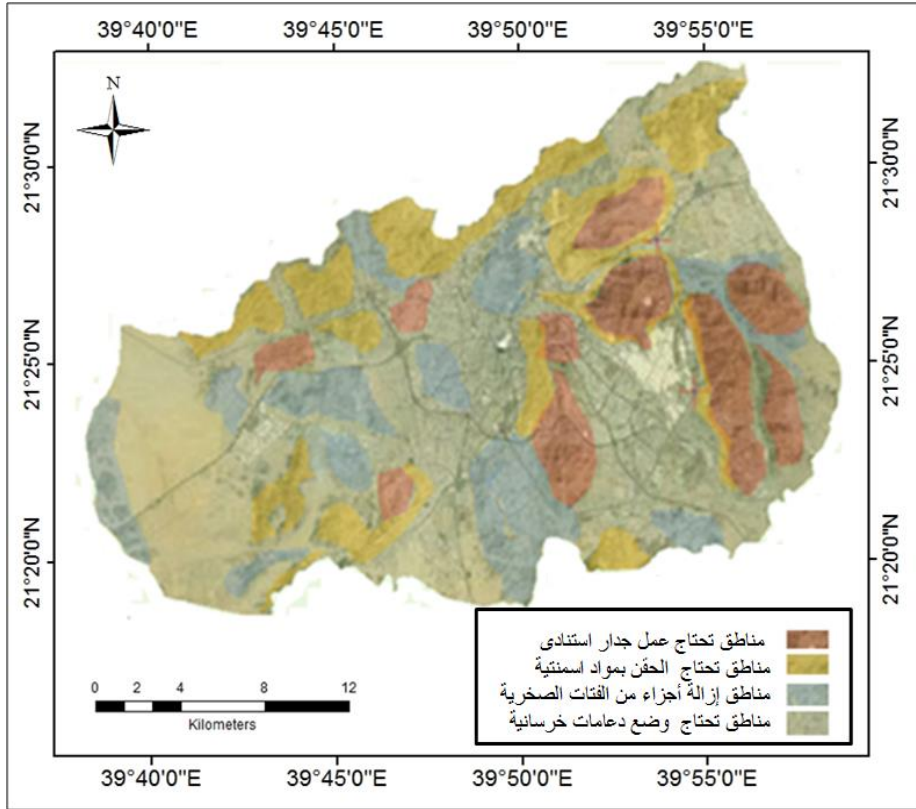
الطريقة الأولى :

تتمثل هذه الطريقة فى تجنب مناطق الأخطار الجيومورفولوجية الناتجة من الانهيارات الأرضية والتي توضحها خريطة درجات خطورة الانهيارات الأرضية فى المنطقة شكل (12) وهى طريقة سلبية وليست إيجابية للتعامل مع الأخطار، فهي لا تعدو عن كونها اتخاذ القرار بعدم وجود الخطر وذلك للابتعاد عنه كلياً.

الطريقة الثانية :

تعتمد هذه الطريقة على إدارة الخطر حيث يعد بمثابة مدخل علمي للتعامل مع الأخطار التي تواجه المنشآت و الطرق. وذلك من خلال التعامل مع المناطق التي بها أخطار بصورة كبيرة من خلال عمل بعض الإنشاءات التي تقلل من قيمة هذا الخطر وذلك من خلال اختيار الطريقة المناسبة بهدف إيجاد حلول عملية لتوفير الحماية لمستخدمى الطريق والمباني و التقليل من خطر حركة المواد على المنحدرات ومنع حدوث أى كوارث وهنا سوف نوصى بطرق الحماية لمناطق لأخطار كما يتضح من شكل (15) و الجدير بالذكر أن هناك الكثير من الطرق التي تستخدم فى عمليات مواجهة خطر الانهيارات الأرضية ولكن هنا سوف يتم التركيز على الطرق التي تناسب الظروف الجيولوجية والمناخية والبشرية لمنطقة الدراسة ومنها **عمل جدار استنادى** وذلك عن طريق عمل حواجز مكعبة تتكون من الشبك المعدني على السطوح التي تتميز بنشاط عملية زحف ركامات الهشيم والمفتتات الصخرية ، تلك المناطق التي تتأثر بالتجوية الميكانيكية ، وزيادة المعدلات الناتجة عن فعل التجوية مع وجود انحدار مناسب لتحرك تلك المفتتات ، أو توضع هذه الحواجز فى صورة هرم مدرج لتحجز المواد الساقطة على مستويات مختلفة من الارتفاع وثبتت فاعلية هذه الطريقة بسلطنة عمان (أحمد عبد السلام ، 2000 ، ص 53) وهناك مناطق تتسم بكثرة الشقوق والفواصل وفى تلك الحالة **تستخدم الحقن بمواد أسمنتية** فى تلك الشقوق والفواصل ، كما يتضح من صورة (9) وهناك مناطق يجب عمل تدرج للمنحدرات حتى تصل إلي

زاوية الاستقرار ، أي تغير شكل وأبعاد المنحدر من خلال تقليل درجة الانحدار أو من خلال إزالة أجزاء من المفتتات الصخرية والأحمال الزائدة ، وكذلك تدرجها في صورة مدرجات مائلة لا يزيد ارتفاع كل مدرج عن ستة أمتار ، مع عمل قنوات سطحية لتجميع وتصريف المياه ، ومناطق تحتاج إلى وضع دعائم خرسانية عند أقدام السفوح لتخفيف تأثير الذبذبات الناجمة عن حركة النقل علي الطرق المتأخمة للحافة الجبلية والناجمة عن عمل كسارات هدم الجبال.



المصدر : من عمل الباحث اعتمادا على شكل (12) والدراسة الميدانية

شكل (15) تصنيف وسائل مواجهة خطر الانهيارات الأرضية على منطقة الحرم المكي



صورة (9) طريقة استخدام الحقن بالمواد الاسمنتية في منطقة الحرم المكي

النتائج :

أظهرت الدراسة أن منطقة الحرم المكي تتعدد بها أخطار الانهيارات ويرجع ذلك إلى شدة الانحدارات فى بعض أجزاء المنطقة وخاصة على جوانب الأودية التى تمتد فى قيعانها الطرق أو التى تقع أسفل منحدراتها المستقرات البشرية مما يسبب العديد من الأخطار .

- تفاوتت قوة وضعف العوامل المؤثرة على الانهيارات الأرضية وإن كان أكثرها تأثيراً فى شدة الانحدارات ، كما أدت زيادة معدلات التنمية فى منطقة الحرم المكي إلى زيادة معدلات خطورة الانهيارات الأرضية نتيجة التدخلات البشرية السلبية من خلال هدم الجبال فى المنطقة وما لذلك من أثر فى زيادة الاهتزازات الأرضية فضلاً عن أثر ذلك على شدة زوايا المنحدرات فى المنطقة .

- كما أظهر التحليل المورفومتري للمنحدرات عدم انتظام التوزيع التكرارى لزوايا الانحدار حيث تخفى منه بعض زوايا الانحدار وهى سمة تميز منحدرات المناطق الجافة وشبه الجافة ، تشكل الانحدارات الشديدة جداً والرأسية معظم المسافات الأرضية لمنحدرات المنطقة بنسبة حوالى 50% ، كما اتسمت المنطقة بزيادة العناصر المقعرة والتى بلغت نسبتها (53.26%) على العناصر المحدبة والتى بلغت نسبتها (36.95%) بينما بلغت نسبة الأجزاء المستقيمة (9.79%) وهى نسبة صغيرة نظراً لشدة انحدار المنطقة و يتحكم فى أخطار الانهيارات الأرضية العديد من العوامل منها شكل المنحدرات وزوايا الانحدار ومعدلات التقوس.

- ومن دراسة النموذج المعد لدراسة الأنهيارات الارضية يتضح أن هناك مناطق تتعرض لخطر شديد ومناطق خطرة ومتوسطة الخطورة ومناطق قليلة الخطورة ، وبناء على هذه الخريطة تم عمل خريطة بكيفية مواجهة الأخطار الأرضية والطرق الملائمة لكل منطقة على حدة ، كما تنوعت حركة المواد على المنحدرات فى المنطقة بين السقوط الصخرى والانزلاقات الصخرية مخاريط الهشيم .

المراجع

أولاً : المراجع العربية :

- 1- أحمد عبد السلام علي (2000): بعض الأخطار الطبيعية على الطرق البرية في شمال سلطنة عمان – دراسة في الجيومورفولوجية التطبيقية – نشرة قسم الجغرافيا بجامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية، العدد 247.
- 2- أحمد محمود سلمان الشنطي ، (1993) : جيولوجية الدرع العربي، الطبعة الأولى، مركز النشر العلمي، جامعة الملك عبد العزيز، جدة.
- 3- الشريف، عبد الرحمن صادق، (1987م) : جغرافية المملكة العربية السعودية، الجزء الأول، الطبعة الثالثة، دار المريخ، الرياض.
- 4- سعد رافع محمد العمري (2005) خطر الزلازل في منطقة مكة المكرمة ، رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية العلوم ، جامعة الملك سعود .
- 5- صابر أمين الدسوقي (1987) : دراسة مقارنة لسفوح بعض أشكال السطح في مصر ، رسالة دكتوراة غير منشورة ، كلية الآداب ، جامعة عين شمس 0
- 6- طه محمد جاد (1990) دور الخريطة الجيولوجية في البحث الجيومورفولوجي - مكتبة سعيد رأفت بجامعة عين شمس - الطبعة الأولى .
- 7- محمد رمضان مصطفى (1987) : حوض وادي فيران " دراسة جيومورفولوجية " ، رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية الآداب ، جامعة عين شمس 0
- 8- محمد صبري محسوب (1998) جيومورفولوجية الأشكال الأرضية"، دار الفكر العربي، القاهرة.
- 9- محمد صبري محسوب (2001) : الأطلس الجيومورفولوجي " معالجة تحليلية للشكل و العملية " ، دار الفكر العربي ، القاهرة ..
- 10- محمود محمد عاشور (1986) : التحليل المورفومتري لشبكات التصريف المائي ، حولية كلية الإنسانيات و العلوم الاجتماعية ، جامعة قطر ، العدد التاسع ، ص ص 459 : 488 0
- 11- معراج نواف ، محمد سعيد البارودي (2004) : الأسس الجيولوجية ودورها في نشأة مظاهر السطح لمنطقة الحرم المكي ، مركز بحوث العلوم الاجتماعية ، جامعة ام القرى ، العدد 56 ، مكة المكرمة .

12- نبيل سيد إمبابي (1972) : أشكال السفوح، المجلة الجغرافية العربية، العدد الخامس، القاهرة.

13- نبيل سيد إمبابي ، محمود محمد عاشور (1983) : الكثبان الرملية في شبه جزيرة قطر ، الجزء الأول ، مركز الوثائق و البحوث الإنسانية ، جامعة قطر

ثانيا : المصادر والخرائط :

1- خريطة طبوغرافية (1970م) لمكة المكرمة ، مقياس 1: 50000 وزارة البترول والثروة المعدنية ،إدارة المساحة الجوية ، الرياض .

2- خريطة جيولوجية (1989م) لمكة المكرمة ، مقياس 1 : 250000 ، وزارة البترول والثروة المعدنية،جدة،جمعت بواسطة ثوماس آي.مور ومحمد الرحيلي.

3- المملكة العربية السعودية، وزارة الدفاع والطيران، الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة بجدة، قسم المناخ، الإحصاءات المناخية الشهرية والسنوية من عام 1990 - 2011م.

ثانياً المراجع الأجنبية :

- 1- Abd El-Rahman, M.A., Embabi, N.S., El-Etr, H.A., & Mustafa, A.R., (1980-1981) : Some Geomorphological Aspects Of Siwa Depression, B.S.G.E., Vol. 53-54, PP. 17:41
- 2- Andreieff, p, (1983) : Etude micropa Leontologique de deux Larves – Minces, Arabie Saoudite : Bureau de Recherches Geologiques et Minieres Internal Report 83 – G OEM – 55, 1 p.
- 3- Doornkamp, J.C., & King, C.A., (1971): Numerical Analysis in Geomorphology; an Introduction, Edward Arnold, London-
- 4- Derbyshire, D. P. F., Jackson, J. J., Ramsay, C.R., and Roobol, M.J., (1983), Rb-Sr isotope study of latest Proterozoic volcano-sedimentary belts in the central Arabian Shield. Journal of the Geological society, London, b. 140, pt. 2, p. 203-214

- 5- **Duyverman, J.J., Harris, N.B.W., and Hawkesworth, C.J., (1982)** Crustal accretion in the pan-African: Nd and Sr isotope evidence, from the Arabian shield: Earth and Planetary Science Letters, 59 (1982), p. 315-326
- 6- **Hart, M.G., (1986):** Geomorphology "Pure and applied", Allen & Unwin (Publi.) Ltd, London.
- 7- **Sahl, M (1987)** Geology of The Makkah Al – Mukarramah City area: Saudi Arabian Deputy Ministry for Mineral Resources Open file Report DGMR of 2.38.
- 8- **Smith. J.W., (1980),** Reconnaissance geology of the At Taif quadrangle, sheet 21/40C, Kingdom of Saudi Arabia: Saudi Arabian Directorate General of Mineral Resources Geological Map Sea and coastal plain of the kingdom of Saudi Arabia: Saudi Arabian Directorate General of Mineral Resources Technical Map GM-56, 1:100,000 scale, with text, 33 p.
- 9- **Spencer, C.H., and Vincent, P.L., (1984),** Bentonite resource potential and geology of the Cenozoic sediments, Jiddah region: Saudi Arabian Deputy Ministry for Mineral Resources Open-File Report BRGM-Of-40-31, 60 p.
- 10- **Young, A., (1972) :** Slopes , Oliver & Boyd , Edinburgh .
- 11- **Young , A ., & Young , D ., (1974) :** Slope Development , Macmillan , London & Basingstoke