

النمذجة المكانية متعددة المعايير لتقييم حساسية منحدرات هضبة المعازة للانهيارات الأرضية بين مروحتي وادي الأحايوة وعمار شرق سوهاج

د. حمدي نبيه عيد^(*)

الملخص:

يعد تقييم حساسية المنحدرات للانهيارات الأرضية من أبرز القضايا التي حظيت باهتمام بالغ في العديد من الدراسات الجيومورفولوجية في الأدبيات العالمية، ولا سيما بعد أن أرغمت الطبيعة الإنسان على غزو تلك البيئات الوعرة وممارسته لنشاطاته المختلفة عليها أو على مقربة منها، وتعد منطقة الدراسة نموذجًا صارخًا لذلك، حيث احتضنت قاطنيها بعد أن ضاقت أراضي السهل الفيضي ذرعًا بأهليها وعجزت عن توفير متطلباتهم، فوجدوا فيها متنفسًا وملاذًا للاستقرار رغم المخاطر التي تواجههم، فجاءت الدراسة لتقييم حساسية منحدراتها للانهيارات الأرضية لتحديد المواضع الخطرة ومواجهة أخطارها لتأمين حياتهم وأنشطتهم المختلفة باستخدام النمذجة المكانية متعددة المعايير استنادًا إلى طريقة التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) التي تعد أحد أبرز طرق اتخاذ القرار المتبعة في الدراسات الجيومورفولوجية، وقد أظهرت نتائج تلك النمذجة أن نحو ٢٦,٢٥% من مساحة المنطقة يقع ضمن فئات الحساسية العالية والعالية جدًا، ومثلتها أقسام القمم Crests والأوجه الحرة Free Faces والحافات الرأسية الأكثر ارتفاعًا وانحدارًا، ذات الصخور الأقل جودةً بنيويةً، في حين شغلت فئة الحساسية المتوسطة نحو ٢٢,٦٧% من تلك المساحة، وظهرت بوضوح على منحدرات الجانب الأيسر لوادي عمار، ومواقع متفرقة على منحدرات المنطقة، في حين شغلت المواضع ذات الحساسية الضعيفة للانهيارات الأرضية والضعيفة جدًا على الترتيب نحو ٢٦,١٧%، ٢٤,٧٣% من مساحة المنطقة ومثلتها المراوح الفيضية، والمباني، والأراضي الزراعية المقامة على حضيض الهضبة بعيدًا عن مواضع الحافات الرأسية.

الكلمات الدالة:

المنحدرات، الانهيارات الأرضية، النمذجة المكانية متعددة المعايير، الانحدار الموزون جغرافيًا، AHP, Multicriteria spatial modeling, Safety of Factor.

المقدمة:

تتسم منحدرات منطقة الدراسة بديناميكية تغيرها وعدم استقراريتها، الأمر الذي ترتب عليه وقوع خسائر جسيمة تلحق بالأنشطة البشرية الواقعة تحت منطقة تأثيرها، خاصة في ظل غياب وسائل الحماية المختلفة، فجاءت الدراسة لتقييم حساسيتها للانهيارات الأرضية من خلال بناء نموذج يعتمد على التطابق

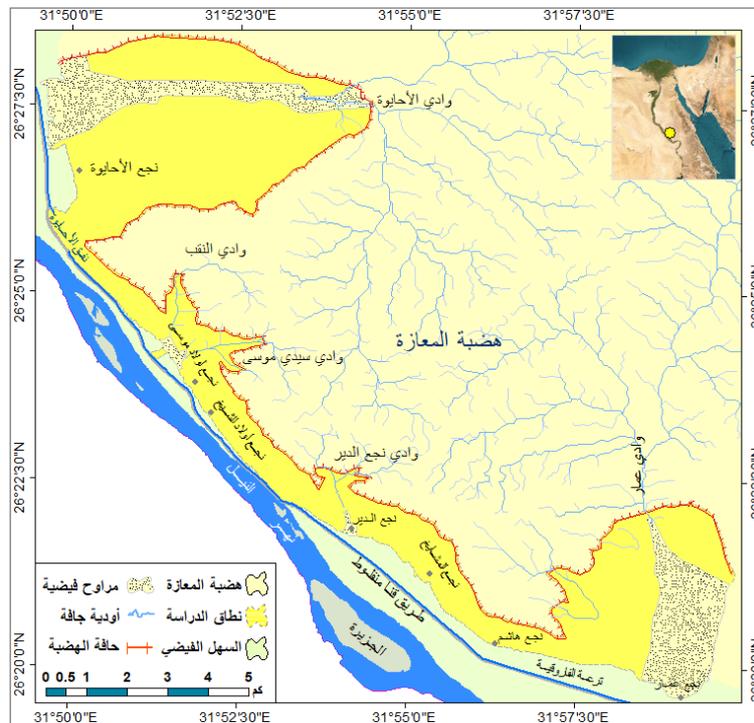
(*) د. حمدي نبيه عيد محمد، مدرس بقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة سوهاج.

للتواصل: hamdynabeih1@gmail.com - hamdy.nabeih@yahoo.com - hamdy.mohamed1@art.sohag.edu.eg

الموزون للمعايير الأكثر تأثيراً في حدوث تلك الانهيارات، وتحديد الوزن النسبي لتأثير كل منها وفقاً لآراء الخبراء والمختصين، وقد روعي عند بنائه أن تكون البيانات على درجة عالية من الدقة لاستخلاص خريطة يُعتمد عليها مستقبلاً لتفادي حدوث تلك الانهيارات، واقتراح أنسب الطرق لدرء الأخطار الجيومورفولوجية الناجمة عنها.

١. موقع وحدود منطقة الدراسة:

تتحصر منطقة الدراسة فلكياً بين دائرتي عرض $26^{\circ}05'$ و $26^{\circ}26'$ شمالاً، وخطي طول $31^{\circ}49'$ و $31^{\circ}59'$ شرقاً، وجغرافياً تقع شرق سوهاج على الجانب الشرقي لوادي النيل فيما بين مروحتي وادي الأحايوة شمالاً، وعمار جنوباً، كما يوضحه (شكل ١)، وتقدر مساحة المنطقة بنحو ٥٧,٣٦ كم^٢، وبطول يصل إلى ٥٠,٩٥ كم، وعرض يتراوح بين ٤٦١ - ٩٣٥ م.



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على الخريطة الطبوغرافية مقياس ١:٥٠٠٠٠ لعام ١٩٩١م لوحة جرجا.

شكل (١) موقع منطقة الدراسة

٢. مشكلة الدراسة:

تتمثل جذور المشكلة ودوافعها في ضيق مساحات الأراضي الزراعية، الأمر الذي دفع سكان المنطقة إلى القيام بالعديد من الممارسات لتعديل خصائص المنحدرات لاستغلالها في ممارسة أنشطتهم المختلفة، مما أدى إلى الحد من استقرارية تلك المنحدرات وزيادة فرص قابليتها للانهيار في كثير من المواضع، ومما يزيد الطين بلةً تعرض صخور الحجر الجيري للإذابة بفعل مياه الجريان السيلي والري والصرف الزراعي والصحي، وللانهيار بسبب زيادة إجهادات الضغط والشد والقص الواقعة عليها، فضلاً عن إعاقة الاستخدام العشوائي لاستعمالات الأرض لكثير من عمليات التنمية المستدامة بها.

٢. تساؤلات الدراسة:

- ما أنواع الانهيارات الأرضية السائدة وأسباب حدوثها، وما الطرق المثلى للحد من خطورتها.
- هل يمكن تطبيق طريقة التسلسل الهرمي التحليلي AHP باستخدام برمجيات نظم المعلومات الجغرافية، وأي من العوامل الجغرافية أكثر تأثيرًا في حدوث تلك الانهيارات.
- ما المواضيع الأكثر حساسية للانهيارات الأرضية وفقًا للنموذج المقترح.

٣. أسباب اختيار منطقة الدراسة وموضوعها:

- بروز العديد من الحافات الصخرية على ارتفاعات تصل إلى ٣٧٧م مما جعلها محل اهتمام لتقييم خطورتها، وعدم وجود أساليب حماية للحد من خطورة حركة الانهيارات الأرضية على مواضع الأنشطة البشرية القائمة بمنطقة الدراسة.
- حداثة الموضوع في توظيف نظم المعلومات الجغرافية والبرامج المساعدة المستمدة بياناتها من القياسات الميدانية والتحليلات المعملية لتقييم حساسية المنحدرات للانهيارات الأرضية.

٤. أهداف الدراسة:

- رسم خريطة لحساسية المنحدرات للانهيارات الأرضية وتحديد المناطق الأكثر حساسية لتقادي حدوث خسائر في الأرواح والممتلكات.
- تقديم تحليل مكاني للعوامل المتسببة في حدوث الانهيارات الأرضية من خلال نمذجة تلك العوامل في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.
- تحديد أكثر العوامل المتسببة في حدوث الانهيارات الأرضية بالمنطقة من خلال التحليل العالمي.

٥. مناهج الدراسة وأساليبها:

اعتمدت الدراسة على عدة مناهج وأساليب بحثية، وقد تمثلت المناهج في المنهج التاريخي وتمت الاستفادة منه في رصد تراجع الحافات الصخرية من خلال حركة المواد على منحدرات الهضبة كما تم الاعتماد على المنهج الأصولي للوقوف على العوامل والعمليات الجيومورفولوجية المتسببة في حدوث الانهيارات الأرضية وتراجع المنحدرات وتطورها، فضلًا عن المنهج الاستقرائي وتم الاعتماد عليه للتنبؤ بحساسية المنحدرات للانهيارات الأرضية من خلال حساب قيم الانحدار الموزون جغرافيًا للربط بين الانهيارات التي تعرضت لها المنحدرات في الماضي، وحساسيتها للانهيارات في الوقت الراهن من خلال المقارنة بين مؤشر حساسية المنحدرات العالمي للانهيارات الأرضية ومؤشر حساسية المنحدرات المتعدد المعايير للانهيارات الأرضية.

أما عن أساليب الدراسة فتمثلت في عدة أساليب أبرزها أسلوب التسلسل الهرمي التحليلي Analytic Hierarchy Process (AHP) الذي تمت الاستفادة منه في تحديد الأوزان النسبية للمعايير المؤثرة في استقرار المنحدرات اعتمادًا على تقارير عشرة من الخبراء في دراسة المنحدرات من الجيومورفولوجيين

والمهندسين والحيولوجيين ممن لديهم دراية كافية بطبيعة منحدرات منطقة الدراسة وخصائصها، وأسلوب التراكب الموزون Weighted Overlay، وهو أحد الأساليب الأكثر استخدامًا لحل المشكلات المكانية متعددة المعايير مثل المشكلة قيد البحث، والأسلوب المورفومتري، وتم الاستعانة به لقياس أبعاد القطاعات المورفومترية، وزوايا الانحدارات، والأسلوب الكارتوجرافي لرسم الخرائط باستخدام برنامج Arc Map 10.5، الأسلوب الإحصائي باستخدام برنامج SPSS V.25، وتمت الاستفادة منه في التحليل العاملي لتوضيح العلاقات الارتباطية بين العوامل المؤثرة في فعالية حساسية المنحدرات والوقوف على أيها أكثر تأثيرًا، كما كان لزامًا أن تعتمد الدراسة على الأسلوب الفوتوغرافي لتصوير الأشكال والظواهر التي تخص موضوع الدراسة، بالإضافة إلى الأسلوب المقارن للمقارنة بين نتائج البرامج الهندسية والجغرافية والمعادلات الرياضية والنموذج العالمي للانهيارات الأرضية InSAR في تقييم استقرارية المنحدرات.

٦. مصادر الدراسة:

- **الدراسات الجيولوجية:** تعددت الدراسات الجيولوجية لمنطقة الدراسة، ولعل من أبرزها دراسة (Mustafa, 1979.PP.,23,24,128)، وتناولت جيولوجية المنطقة الواقعة شمال شرق سوهاج، وعرضت لأهم التكوينات الجيولوجية السطحية بها، دراسة (Said,1981,P.31) وتناول فيها جيولوجية وادي النيل، وبخاصة رواسب البليستوسين الأوسط بالمنطقة، دراسة (Attia, F., 2001, P. 14) وتناولت إرسابات وادي النيل والدلتا، ودراسة (Moussa, B., Sameeh, S., & Naser, M., 2004, pp.155-176)، وعالجت التكوينات الصخرية وطبيعتها الترسيبية، والتكوين المعدني والكيميائي لرواسب البليوسين الأعلى إلى البليستوسين الأعلى من أجل الوصول إلى مصدر وتاريخ هذه الرواسب.
- **الدراسات الجغرافية:** تعد أبرز الدراسات الجغرافية التي تناولت المنطقة كجزء منها في دراسات كل من (صالح، ٢٠٠٠، ص ٥٣)، التي أشارت إلي أخطار الانهيارات الصخرية بالقطاع الأوسط من منطقة الدراسة، دراسة (عبده، ٢٠٠٥، ص ٧٢-١٣٢)، وتناولت أخطار الانهيارات الأرضية والعوامل المؤثرة فيها، درجات خطورتها، وسائل مواجهتها، دراسة (صبره، ٢٠١٠، ص ٢٩١-٣٠٧)، وتناولت في فصلها الرابع العوامل المؤثرة في عملية التساقط الصخري وخطورته وسبل مواجهته، دراسة (عبد اللاه، ٢٠١١، ص ٢١٣-٢٦١)، وتناولت في فصلها الخامس حركة المواد على المنحدرات، العوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة فيها، الأخطار الجيومورفولوجية الناتجة عن تلك الحركة، وسبل مواجهتها والحد منها، دراسة (خطاب، ٢٠١٣، ص ١١٠-١١٣)، وتناولت في فصلها السابع عرضًا للأشكال الناتجة عن الانهيارات الأرضية، ودراسة (حجاب، ٢٠١٣) وركزت على العوامل والعمليات الجيومورفولوجية المؤثرة في تشكيل تلك منحدرات الحافة الغربية لهضبة في القسم الواقع بين وادي الأحايوة والطارف، وأنماط حركة المواد الصخرية عليها، وكيفية مواجهتها.

وتتمثل **الفجوة البحثية literature Gap** التي ميزت الدراسة الحالية عن غيرها أنها تمكنت من نمذجة المعايير (العوامل الجغرافية) المؤثرة في حدوث الانهيارات الأرضية بمنطقة الدراسة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية بعد ربطها بوحدة من أهم طرق اتخاذ القرار المعتمدة في الأبحاث العلمية للحصول على نتائج أكثر دقة ومصداقية يتجلى في ضوئها حداثة الجيومورفولوجيا التطبيقية كعلم شمولي ديناميكي لا يقتصر فقط على دراسة الأشكال الأرضية وتفسير العوامل المؤثرة في تشكيلها تفسيراً نظرياً، وإنما يمكنه تفسيرها تفسيراً كمياً مكانياً من خلال البرامج المكانية ذات الصلة بغرض تحقيق الجانب النفعي التطبيقي منه على أسس علمية يُعتمدُ بها في التخطيط لعمليات التنمية المستدامة.

▪ **الدراسات الهيدرولوجية:** اعتمدت الدراسة بشكل رئيس على دراسة يوسف وعزيز وأبو المجد (٢٠٠٥) وتناولت تقييم مخاطر الفيضانات والمشاكل المرتبطة بها بمحافظة سوهاج، وتناولوا فيها أحواض التصريف الواقعة ضمن حدود المحافظة، وقد خلصت الدراسة لتصنيف درجات خطورة هذه الأحواض وفقاً لطريقة الشامي ١٩٩٢م فوقعت أحواض النقب وسيدي موسى، وعمار ضمن الأحواض منخفضة الخطورة في حين جاء حوضا الأحيوية ونجع الدير ضمن الأحواض المتوسطة الخطورة (A.M. Youssef et al ,2005,P.12).

▪ **الخرائط:** اشتملت على الخرائط الجيولوجية مقياس ١:١٠٠٠٠٠٠ لוחتي سوهاج وجرجا إنتاج هيئة المساحة الجيولوجية عامي ٢٠٠٣، ٢٠٠٤ م، الخريطة الطبوغرافية لوحة جرجا لعام ١٩٩١م مقياس ١:٥٠٠٠٠٠.

▪ **نموذج ارتفاعات رقمي دقة ١٥ متر** تم تحميله من موقع EARTHDATA التابع لوكالة ناسا من الرابط <https://search.asf.alaska.edu> ، LC8_Egy_Mosaic_15m_WGS84 لعامي ١٩٨٥م

_٢٠٢٢م من الرابط [/https://earthexplorer.usgs.gov](https://earthexplorer.usgs.gov)

▪ **الخرائط المعرفة** من صور Google Earth Pro.

▪ **الدراسة الميدانية:** استغرقت قرابة الثلاثة أعوام ، وتمت على ست مراحل متفرقة بدأت من الثالث من شهر مارس ٢٠٢٠م، وانتهت في الخامس عشر من شهر مارس ٢٠٢٣م، قام الباحث فيها برصد حركة المواد والانهيارات الأرضية في الوقت الراهن على منحدرات الهضبة بعد نهاية فصلي الشتاء والصيف، وجمع العينات وقياس القطاعات الميدانية التي روعي عند اختيار مواقعها أن تكون ممثلة لمورفولوجية منطقة الدراسة.

▪ **التحليل المعملّي** للعينات الصخرية بمعمل كلية الهندسة جامعة سوهاج.

٧. عناصر البحث:

أولاً: مفهوم النمذجة المكانية متعددة المعايير وهدفها.

ثانياً: العوامل المؤثرة في الانهيارات الأرضية.

ثالثاً: التحليل العملي Analysis Factor.

رابعاً: التحليل الهرمي ونمذجة المعايير.

خامساً: التحقق من صدق النتائج Validation.

سادساً: النتائج والتوصيات.

سابعاً: المصادر والمراجع.

أولاً: مفهوم النمذجة المكانية متعددة المعايير وهدفها:

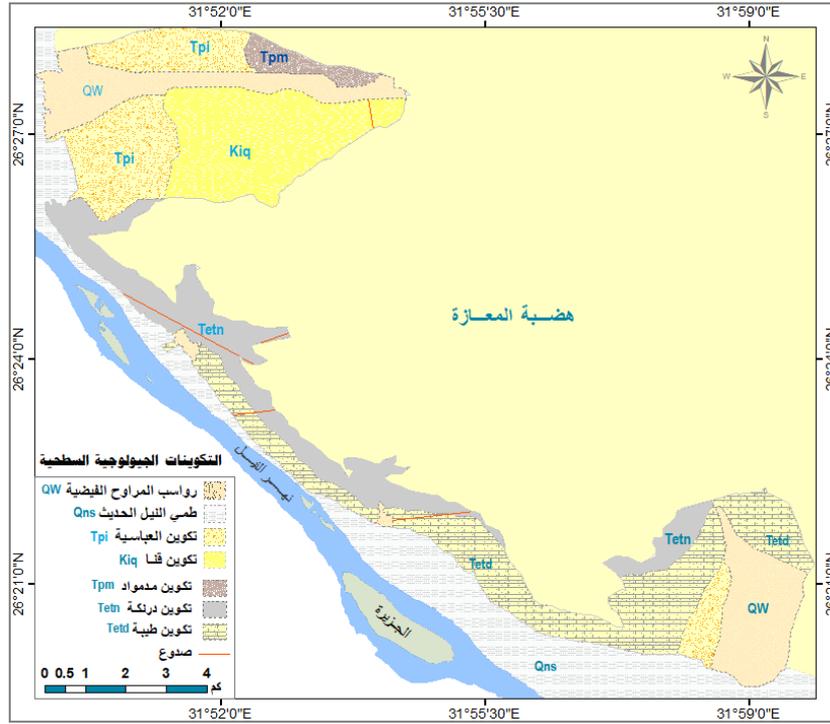
النمذجة المكانية متعددة المعايير (SMCM) Spatial Multi Criteria Modeling منهجية لتحليل البيانات المكانية عبر مجموعة من الإجراءات التحليلية المستخدمة لاشتقاق معلومات حول العلاقات المكانية بين الظواهر الجغرافية بهدف دراسة الظواهر المكانية ومحاكاتها (Fotheringham et al, 2000, P.105)، والتنبؤ بحالتها في ضوء مجموعة من المعايير المؤثرة فيها لتسهيل حل المشكلات المرتبطة بها والتخطيط لها استناداً إلى برمجيات نظم المعلومات الجغرافية لعمل تقييم مكاني من خلال مجموعة من المعايير الموزونة من قبل متخصصين لإنشاء خريطة واحدة تدعم اتخاذ القرارات السليمة (Malczewski, 1999, P. 392)، وقد تم تطوير تلك المنهجية وتطبيقها لاتخاذ القرارات المعقدة ذات الصلة بالمشكلات المكانية في العشرين عام الماضية من قبل كل من كارفر (1991)، وتشين وآخرون (2001)، وشريفي وآخرون (2002)، وزوكا وفيفر (2003)، ومالكزويسكي (2005).

ثانياً: العوامل المؤثرة في حدوث الانهيارات الأرضية:

١. الخصائص الجيولوجية:

أ- التكوينات الجيولوجية:

تتسم صخور منطقة الدراسة بمظاهر الضعف النوعي التي نشأت مع الصخر نفسه نتيجة لظروف تكوينه، ويعد تكوين طيبة التابع للإيوسين الأسفل أقدم التكوينات الجيولوجية وأكثرها انتشاراً بها (يشغل نحو ٢٤,٠٢% من مساحته)، و يظهر في شكل طبقات سميكة من صخور الحجر الجيري يتخللها الطباشير وقليل من الطفل والعقد الصوانية (Attia, F., 2001, P. 14)، ونظراً لزيادة سمكه جنوب المنطقة عن شمالها فإنه يظهر مكشوقاً في المنطقة بين مروحتي وادي عمار وسيدي موسى، ثم يتلاشى تدريجياً إلى أن يختفي تماماً عند مروحة وادي الأحايوة أسفل تكوين درنكة التابع للعصر ذاته، والذي يبدو على هيئة طبقة رمادية اللون من صخور الحجر الجيري تتخللها عقد سليكية تصل أقطارها إلى ٢,١م (Mustafa, 1979.PP.,23,24,128) تغطي نحو ١٨,٥١% من المساحة الكلية للمنطقة على ارتفاع ١٥٠م فما فوقه بالقسم الشمالي الغربي من مروحة وادي عمار، بين نجعي الدير وسيدي موسى، وكافة منحدرات الهضبة في القسم الواقع بين نجع سيدي موسى وشمال نفق الأحايوة كما يوضحه الشكل (٢)، وأشار عبد الكريم إلى أن صخور الحجر الجيري لهذا التكوين صخور هشة وذات نسيج سكري الحبيبات، ومن ثم أقل صلابة ومقاومة (Abdel Kareem,1972,p.25)، وقد لاحظ الباحث ميدانياً شدة تأثير صخور هذا التكوين بعمليات التشكيل الخارجية كتجوية خلايا النحل والتعرية الكارستية.



المصدر: الخرائط الجيولوجية مقياس ١:١٠٠٠٠٠٠ لوتحي سوهاج وجرجا، هيئة المساحة الجيولوجية ٢٠٠٣، ٢٠٠٤م.

شكل (٢) التكوينات الجيولوجية السطحية

ويظهر تكوين مدامود ممثلاً عن البليوسين الأعلى في شكل رواسب تقع في عدم توافق فوق التكوينين السابقين، وأسفل تكوين أرمنت، وعلى سطح مروحة وادي الأحايوة على شكل حجر طيني بني إلى رمادي اللون وسلت وجير مع وجود رمال وحصى رملي و كتل جيرية تتراوح أقطارها بين ٢ : ٤م (Moussa, et al.,2004,p.158)، ولعل أهم ما يميز صخور هذا التكوين هشاشتها وعدم تماسكها مما أدى إلى تأثرها بعمليات التجوية والتعرية بشكل ملحوظ، وتجدر الإشارة هنا إلى أن هذا التكوين لا يشغل سوى ٢,٦٥% فقط من إجمالي المساحة، كما تتمثل رواسب البليستوسين الأوسط في تكويني قنا والعباسية، ويتألف الأول منهما من رمال كوارتزية بيضاء وصفراء وبنية اللون (Sameeh et al, 2002, P.745) وحصى تقتقر إلى التكوينات النارية وشظايا متحولة (Said,1981,P.31) تمثل صخور الجانب الأيمن لمروحة وادي الأحايوة، بمساحة توازي ١٧,٧٣% من إجمالي مساحة المنطقة، بينما يشغل الآخر جانبي وادي الأحايوة في القسم السفلى منه وجزءاً من مروحة وادي عمار بما يعادل نحو ١٧,٧٥% من المساحة الكلية للمنطقة، ويتألف من رمال صفراء اللون وحبوبات من الحصى الخشن ذات اللون الأبيض المصفر (Abu seif et al, 2022,p14)، أما عن رواسب الهولوسين فتمثلها رواسب المراوح الفيضية، وتشغل نحو ١٩,٣٥% من مساحة المنطقة، وتتألف من الحصباء والرمال وحصى الحجر الجيري الذي اشتقت مواده من سطح الهضبة بفعل مياه السيول (Sameeh et al 2002,P.760)، أما عن طمي النيل الحديث فيتألف من مواد معدنية وطينية وحبوبات الرمال الدقيقة التي رسبتها الأودية الجافة المنحدرة من صخور الحافة الجيرية الإيوسينية، مع مواد عضوية تختلف في

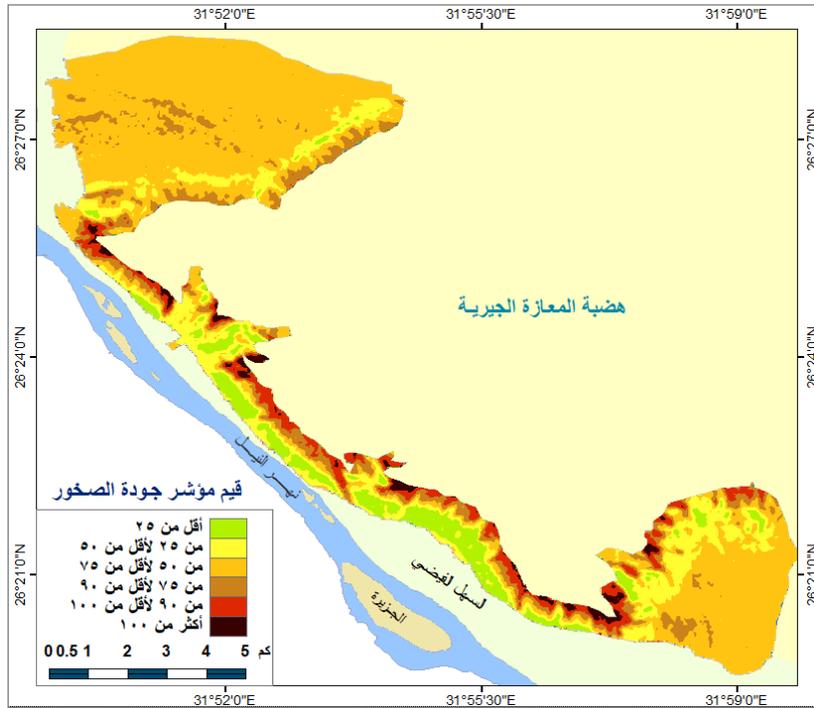
مصدرها، وتمتد هذه الرواسب على جانبي مجرى نهر النيل على هيئة أشرطة موازية لامتداد المجرى ويصل متوسط سمكها بين ٩:١١ متراً (Mansour,H.H., 1969 p. 26).

ب. البنية الجيولوجية:

يقطع منحدرات الحافة بمنطقة الدراسة خمسة صدوع فقط، ثلاثة منها تتخذ اتجاه شرق الشمال الشرقي/غرب الجنوب الغربي بطول ٣,٩١ كم، وواحد منها يأخذ اتجاه شرق الجنوب الشرقي/ غرب الشمال الغربي بطول ٣,٤١ كم، والآخر يتخذ اتجاه جنوب الجنوب الشرقي/شمال الشمال الغربي بطول ٠,٧٥ كم.

ج. مؤشر الجودة البنيوية^(١) (RQI) Rock Quality Index:

تجدر الإشارة إلى أنه تم قياس هذا المؤشر لعدد ٩٥ كتلة صخرية، من خلالها تم عمل خريطة لمؤشر جودة الصخور بمنطقة الدراسة كما يوضحه شكل (٣).



المصدر: الدراسة الميدانية ومعادلة Palmstrom,1982.

شكل (٣) مؤشر جودة الكتل الصخرية بمنطقة الدراسة

ومن تحليل الشكل السابق يتضح أن كثافة الشقوق بالكتل الصخرية تزداد بوضوح في منطقة القمة بصخور الحجر الجيري لتكويني طيبة ودرنكة على طول امتداد منحدرات الحافة، بينما تقل في الصخور الواقعة في نطاق امتداد المنطقة المأهولة بالسكان نتيجة للتدخلات البشرية المستمرة لتعديل خصائص منحدرات الهضبة في هذا القسم منها مما أدى إلى تشقق صخورها، وإضعافها بنيويًا، ويوضح جدول (١) قيم مؤشر جودة الكتل الصخرية ودلالاته الجيومورفولوجية، ومساحات فئات مؤشر الجودة البنيوية التي تم حسابها من الشكل السابق، ومنه يتضح أن ٧٩,٢٧% من مساحة المنطقة تقع ضمن فئة الصخور ذات الجودة

(٢) يتم حسابه من معادلة (Palmstrom,1982) والتي تنص على $RQD = 115 - 3.3 \times JV$ ، $RQD =$ مؤشر الجودة البنيوية للصخر، JV = إجمالي عدد الشقوق / ٣، ٣، ١١٥، ٣، م = قيم ثابتة، (D. U. Deere 1964. p.45).

المعتدلة، بينما يقع نحو ١٢,٩% من تلك المساحة ضمن فئة الجودة الضعيفة جداً، في حين تشغل فئة الجودة الممتازة المساحة الأقل في المنطقة (٧,٨٣%).

جدول (١) مؤشر جودة الكتل الصخرية وفقاً لتقسيم Don U Deer & Don W. Deere,1989

مؤشر جودة الصخور	المساحة (كم ^٢)	% من المساحة	الدلالة الجيومورفولوجية	جودة الكتلة الصخرية
أقل من ٢٥	٠.٦٢	١.٠٧	تواجد الشقوق ضعيف جداً	جودة ممتازة
من ٢٥ لأقل من ٥٠	٣.٨٨	٦.٧٦	تواجد الشقوق ضعيف	جودة ممتازة
من ٥٠ لأقل من ٧٥	٢١.٦٨	٣٧.٧٩	تواجد الشقوق مقبول	جودة معتدلة (مقبولة)
من ٧٥ لأقل من ٩٠	٢٣.٧٩	٤١.٤٨	تواجد الشقوق كبير	جودة معتدلة (مقبولة)
من ٩٠ لأقل من ١٠٠	٦.٤٣	١١.٢١	تواجد الشقوق كبير جداً	جودة ضعيفة جداً
أكثر من ١٠٠	٠.٩٧	١.٦٩	تواجد شقوق كثيف	جودة ضعيفة جداً

المصدر: Don U Deer & Don W. Deere,1989, P.22 After Deere and Miller, 1966

د. الخصائص الفيزيائية للصخور : وتتمثل فيما يلي:

- معامل الامتصاص Water absorption:

يشير هذا المعامل إلى كمية المياه داخل مسام الصخر وحول سطحه منسوباً إلى كتلته الجافة، ويعد محفزاً مهماً لنشاط عمليات التجوية الكيميائية، ويتضح من بيانات الجدول (٢) ارتفاع قيم هذا المعامل، وكذلك درجة مسامية صخور العينات أرقام ٣، ٦، ٩، ١٠، ويعد هذا مؤشراً على زيادة احتمالية تعرض هذه المواضع للانهييار بشكل أسرع منه في القطاعات الأعلى مع زيادة معدلات تسرب المياه إليها، كما تراوحت قيم الكثافة في العينات الصخرية بالمنطقة ٢,٠٦ - ٢,٩ جم/سم^٣، وهي قيم عالية ومؤشراً مهماً يحفز نشاط عمليتي التجوية والتعرية بها.

جدول (٢) الخصائص الفيزيائية لصخور منطقة الدراسة

م	الموقع	معامل الامتصاص % (٣)	تصنيف الصلابة (٤)	المسامية %	درجة المسامية (٥)	الكثافة كجم / سم ^٣ (١)
١	الأحايوة ١	٢.٥٧	صلبة جداً	١٥.٢٠	متوسطة	٢.١٥
٢	الأحايوة ٢	٢.٦٨	صلبة جداً	١٨.٣٣	متوسطة	٢.٠٦
٣	الأحايوة ٣	٣.٧٢	صلبة	٢١.٤٥	مرتفعة	٢.٩
٤	سيدي موسى	٢.٥٤	صلبة جداً	١٨.٢٥	متوسطة	٢.٧٤
٥	نجع الدير ١	٢.٣٦	صلبة جداً	١٨.٤٠	متوسطة	٢.٢٦
٦	نجع الدير ٢	٢.٦٩	صلبة جداً	١٨.١٢	متوسطة	٢.٨٧
٧	أولاد يحيى	٢.٩٦	صلبة	٢٣.١٨	مرتفعة	٢.٣٦
٨	أولاد عمار	٢.٨٢	صلبة جداً	١٨.٤٥	متوسطة	١.٩
٩	أولاد الشيخ ""	٣.١٤	صلبة	٢٠.٠٥	مرتفعة	٢.٨٦
١٠	نجع هاشم عسيري	٣.٢٦	صلبة	٢٠.١٣	مرتفعة	٢.٩

المصدر: نتائج التحليل المعملية بكلية الهندسة، جامعة سوهاج.

(٣) تم حساب المحتوى الرطوبي للصخور من خلال حساب الوزن الرطب = W2- W3 ، وحساب وزن الصخر الجاف = W3- W1، وتطبيق المعادلة $W.C(\%) = (W2-W3/ W3-W1)*100$ ، حيث: W1 = وزن العلبه وهي فارغة W2 = وزن العلبه مع الصخر الرطب، W3 = وزن العلبه مع الصخر بعد تجفيفه (أبو هشيمة، ٢٠١٢، ص ٨٥).

(٤) تم تقدير صلابة الصخور وفقاً لتصنيف Moen 1967 لصلابة الصخور، حيث صنف الصخور على أنها صلابة جداً إذا قلت قيمة معامل الامتصاص عن ٣%، صلابة إذا تراوحت بين ٣ - ٧.٥، متوسطة إذا تراوحت بين ٧.٥ - ١٢، ضعيفة إذا تراوحت بين ١٢ - ١٧، وضعيفة جداً إذا زادت عن ١٧% (Kamh, 2007, P.39).

(٥) وفقاً لتصنيف Farmer 1968، الذي يعتبر أن درجة المسامية تكون منخفضة إذا كانت قيمتها تتراوح بين ١ - ١٠%، ومتوسطة إذا تراوحت هذه القيمة بين ١٠ - ٢٠%، ومرتفعة إذا زادت عن ٢٠% (Kamh, 2016, P.2289).

(٦) الكثافة = وزن العينة/حجم العينة (نخلة وآخرون، ١٩٧٧، ص ٨١، ٨٤)

- المسامية Porosity:

تعد مقياساً مهماً للتعرف على صلابة الصخر ومدى تأثره بالتجوية بسبب زيادة نسبة الفراغات بالصخور التي تعمل بدورها على ارتفاع طاقته على امتصاص المياه، مما يؤدي لإضعاف الصخر وتجوئته عن طريق إذابة المواد اللاصقة أو تفتته نتيجة زيادة الضغط الناتج عن تبلور الأملاح داخل تلك المسامات (صابر، ٢٠١٢، ص ٢٠).

هـ. الخصائص الميكانيكية للصخور: و تتمثل فيما يلي:

- إجهادات الضغط Compressive strength:

تعرف بقوة تحمل الصخور لإجهاد^(٧) الضغط اللازم لتكسير العينة الصخرية تحت حمل ضغط معين ويعبر عنها (كجم/سم^٢)، وتختلف هذه القوة حسب تباين مظاهر الضعف البنيوي والتفكك الداخلي والتبلور الملحي من صخر لآخر (Pinińska and Attia, 2003, P.9).

- إجهادات الشد Tensile strength:

تعد من العوامل المعيرة عن حالة الصخر، وتتولد غالباً بالصخور التي تنتشر بها التراكيب الصخرية والتشوهات البنيوية (Liao, et al, 2019,P.21).

- إجهادات القص Share Strength:

ينتج عنها حدوث حركة الصخور بشكل نسبي في اتجاه تأثير الإجهادات فتؤدي إلى حدوث انهيارات صخرية، وخاصة إذا كانت زاوية الاحتكاك الداخلي صغيرة (عبد الحميد، ٢٠١٨، ص ٨٧)، ومن بيانات الجدول الآتي يتضح أن قوى الضغط والشد ومقاومة القص تتباين من موضع لآخر إلا أنها تزداد بوضوح بمنطقة سيدي موسى والأحايوة، وتقل بنجعي الدير وأولاد الشيخ.

جدول (٣) الخصائص الميكانيكية لصخور المنطقة

م	موقع القطاع	قوة الضغط كجم / سم ^٢	قوة الشد كجم / سم ^٢	مقاومة القص كجم / سم ^٢
١	الأحايوة ١	٤٢٠,١٩	٣٢,٨	١٥٤
٢	الأحايوة ٢	٤٢٤,٣٢	٣٢,٢٥	١٥٢
٣	الأحايوة ٣	٤٢٠,١٩	٣٢,٨	١٣٩
٤	سيدي موسى	٤٥٤,٣٢	٣٣,٢٥	١٥٩
٥	نجع الدير ١	٢٨٠,٠٧	٢٥,١١	١٤٢
٦	نجع الدير ٢	٤٢٠,١٩	٣٢,٤٣	١٥٦
٧	أولاد يحيى	٢٤٧,٩٥	٢٣,٤٣	١٦٤
٨	أولاد عمار	٤٢٤,٣٢	٣٢,٢٥	١٥٢
٩	أولاد الشيخ	٢٨٠,٠٧	٢٥,١١	١٤٣
١٠	نجع هاشم	٤٢٠,١٩	٣٢,٨	١٣٩

المصدر: نتائج التحليل المعملية بكلية الهندسة، جامعة سوهاج.

(٧) الإجهاد Stress: عبارة عن القوة الملامسة لسطح العينة موزعة عليه بالتساوي، أما عن مقاومة الإجهاد Strength فيقصد به قدرة العينة الصخرية على تحمل الإجهادات قبل الانكسار.

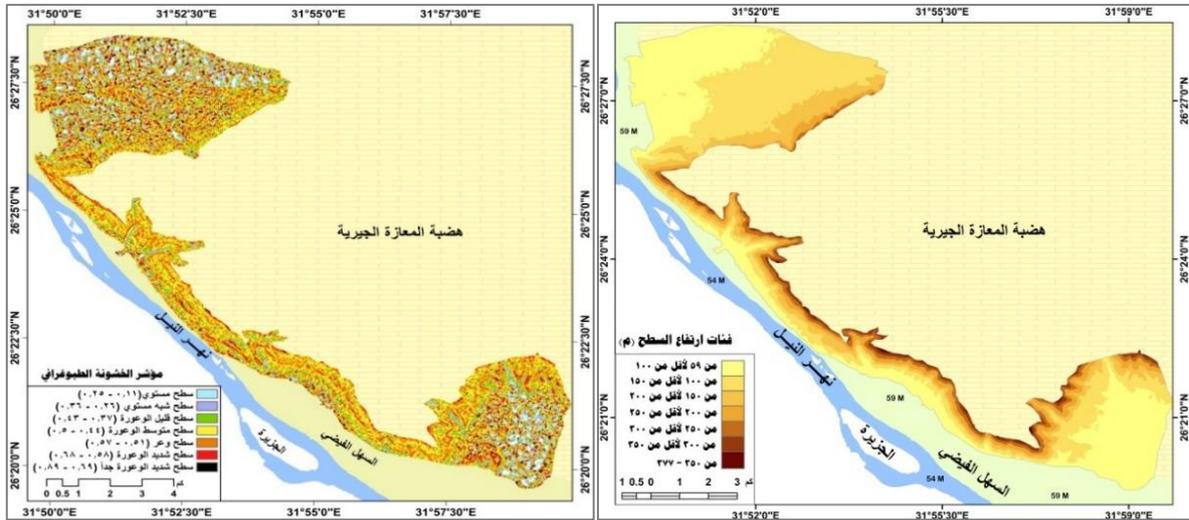
٢. الخصائص التضاريسية: ويتم التركيز هنا على ما يلي :

أ. ارتفاع السطح والتضرس المحلي:

يتضح من الشكل (٥) أن ارتفاع منحدرات المنطقة يتراوح بين ٥٩-٣٧٧ مترًا، وتشغل فئة الارتفاع من ٥٩ لأقل من ١٠٠م نحو ٣٨.٨٨% من تلك المساحة، وتقل المساحة الأفقية على حساب الفاصل الرأسى كلما اتجهنا صوب القمة، حيث إنَّ نحو ٣١.٧٨% من إجمالي تلك المساحة يقع على ارتفاع من ١٠٠ من ١٥٠م، ١٢,٦٥% منها يقع على ارتفاع من ١٥٠ لأقل من ٢٠٠م، ونحو ٨.٢٢%، ٥,١١%، ٢,٩٤%، ٠,٤١% للفئات الأعلى على الترتيب، وقد أدى ذلك إلى نشاط عمليات السقوط الصخري في ظل عدم وجود غطاء نباتي وبروز كثير من الأوجه الحرة، وقد قدرت قيمة التضرس المحلي^(٨) بنحو ٠,٤١.

ب. مؤشر الوعورة الطبوغرافي (Topographic Roughness Index (TRI):

يعد مؤشر الوعورة (الخشونة) الطبوغرافي^(٩) أحد أهم المؤشرات الجيومورفولوجية ذات الأهمية في معرفة وعورة أسطح المنحدرات، لكونها تؤثر بشكل مباشر في استقرار المواد المتحركة عليها من عدمه، كما يعد مؤشرًا مهمًا لإبراز مدى تأثير سطح المنحدرات بعمليات التعرية المختلفة، ومن خلال حساب قيم هذا المؤشر والمساحات التي تشغلها كل فئة منها تبين أن ٥٥,٢٨% من سطح المنطقة يتدرج بين المتوسط الوعورة (٣١,٦٢%)، والوعر (٢٣,٦٦%)، بينما تشغل المناطق القليلة الوعورة نحو ١٥,٩٩% من إجمالي المساحة، كما تشغل المناطق الشديدة الوعورة نحو ١١,٦١% منها، والمناطق الشديدة الوعورة جدًا نحو ٢,٠٤% منها، كما شغلت المناطق شبه المستوية والمستوية نحو ٩,٦٥%، ٣,١٢% على الترتيب، وتمثلها أسطح المراوح الفيضية التي تم تسوية مساحات كبيرة منها بفعل التعرية السيلية.



المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة.

شكل (٥) فئات الارتفاع ومؤشر الوعورة الطبوغرافي لسطح المنطقة

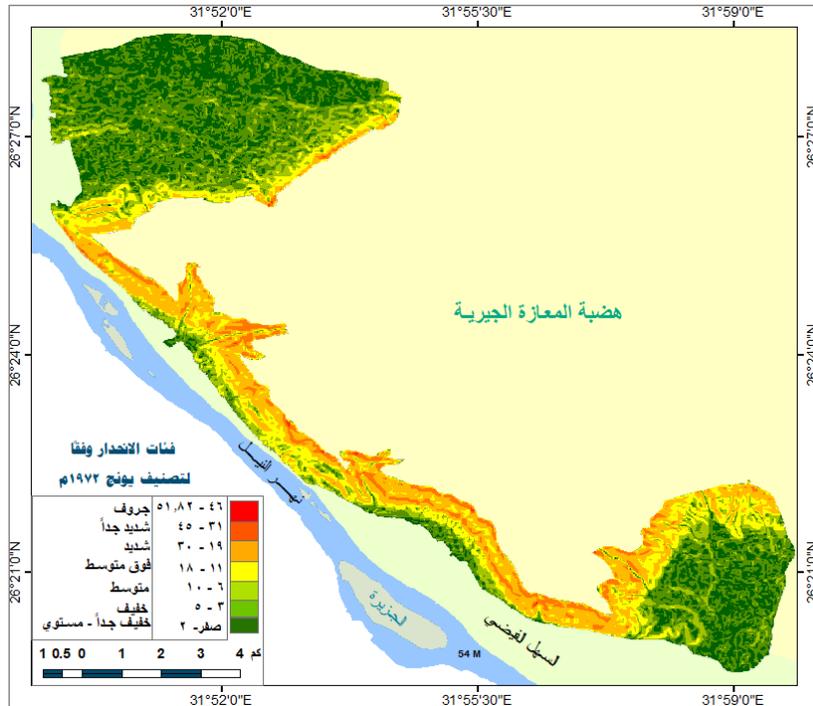
(٨) نسبة التضرس = (متوسط الارتفاع - أقل ارتفاع) / (أقصى ارتفاع - أقل ارتفاع) (Pike and Wilson, 1971, p.1079).

(٩) يتم حسابه باستخدام برنامج Arc Map من خلال الأمر Focal Statics الخاص بالإحصاءات البؤرية والتي تم الحصول عليها من نموذج الارتفاعات الرقمية الخاص بنطاق الدراسة، ومنه تم حساب أقل قيمة وعورة (Min R (Min Roughness)، وأعلى قيمة وعورة (Max R (Max Roughness) ثم نقوم بحساب متوسط الارتفاعات (Mean (Smooth Area)، ونقوم بتطبيق المعادلة $TRI = \frac{Smooth\ area - Min\ R}{Max\ R - Min\ R}$ بواسطة الأمر Raster Calculator.

٣. الخصائص الانحدارية:

أ. درجات انحدار سطح الحافة:

يعد هذا العامل أهم العوامل المؤثرة في استقرار المنحدرات، ومن خلال تصنيف منحدرات المنطقة وفقاً لـ (Young, A., 1972, P.P., 173_174) كما يوضحه الشكل (٦) تبين سيادة المساحات التي تشغلها الانحدارات الخفيفة (٣٠,٦٧% من المساحة الكلية) والخفيفة جداً (٢١,٦٣%) على الترتيب، وتشغل أسطح المراوح الفيضية للأودية الجافة بالمنطقة، والمساحة الأكبر منها يمثلها سطح مروحتي عمار والأحايوة، وتعد أقلها خطورة لبعدها عن الحافات الحرجة والانحدارات الشديدة بالمنطقة، بينما تعد أكثرها خطورة تلك الواقعة عند أقدم الحافة فيما بين نجعي هاشم وسيدي موسى لقربها الشديد من الحافة، بينما شغلت فئات الانحدار الشديدة والمتوسطة وفوق المتوسطة نحو ١٦,٩٦%، ١٣,٢٤%، ١٣,١٥% على الترتيب من مساحة المنطقة، في حين شغلت الفئات الشديدة جداً والجروف الرأسية المساحات الأقل بين فئات الانحدار (٤,٢٨%، ٠,٠٦% على الترتيب).



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على نموذج DEM.15m.

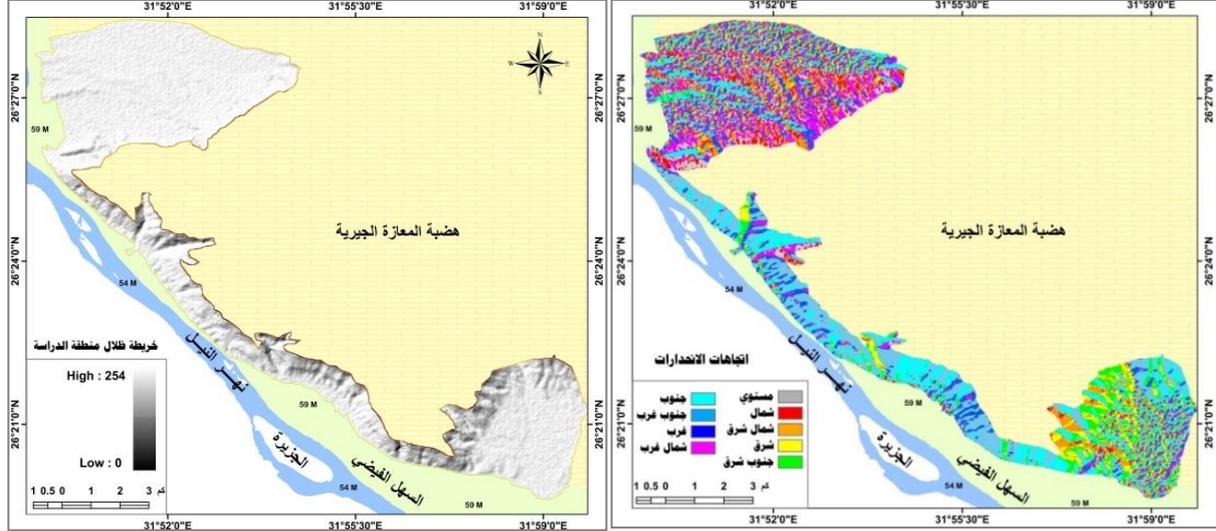
شكل (٦) فئات انحدار السطح وفقاً لتصنيف يونج

ب. اتجاهات وظلال الانحدارات:

تكمن أهمية جوانب المنحدر في كونها تتحكم في اتجاهات حركة المواد بفعل الجاذبية، والسريان المائي، فسطوح التلال التي تستقبل هطول مطري كثيف أو تنهمر على أسطحها مياه المطر تصل إلى حد الإشباع بشكل أسرع، ومن ثم يزداد ضغط المياه التي تتسلل داخل الكتل الصخرية الأضعف بنيوياً فتصبح أكثر عرضة للانزلاقات الأرضية أكثر من غيرها، ومن تحليل الشكل (٧) تبين أن الاتجاهات الشمالية والغرب والشمال الغربي والجنوب الغربي نحو ٥٤,٠٧% من مساحته، كما شغلت السفوح المستوية ما يعادل ٦,٩٨% من تلك المساحة، وهذه الاتجاهات الأوفر حظاً من الإشعاع الشمسي والطاقة الحرارية، وكذلك

النمذجة المكانية متعددة المعايير لتقييم حساسية منحدرات هضبة المعازة للانزياحات الأرضية..... د. حمدي نبيه عيد

الأمطار لتوافقها مع الاتجاه العام للرياح الدافعة لها، وبالتالي تنشيط عليها فعالية عمليات التشكيل الخارجية لمنحدرات الهضبة في هذا القسم، بينما شغلت السفوح التي تنحدر صوب باقي الاتجاهات نحو ٣٨,٩٦% من المساحة الكلية للمنطقة، وهذه الاتجاهات الأكثر حظاً في المحتوى الرطوبي للتربة المستقرة على منحدراتها.



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة.

شكل (٧) اتجاهات الانحدارات وخريطة الظلال لمنطقة الدراسة

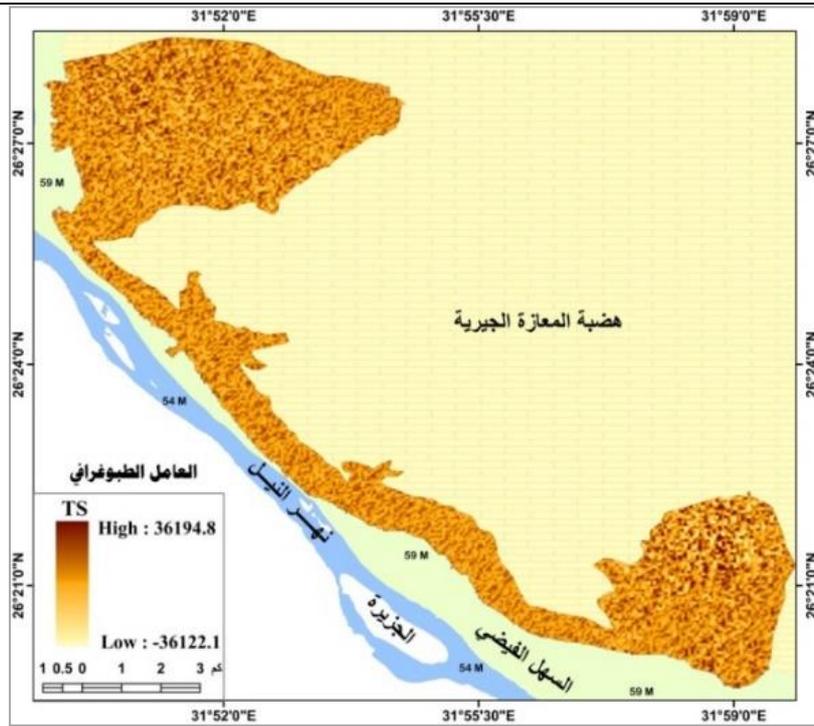
ج. العامل الطبوغرافي^(١٠):

يتحكم هذا العامل في تحديد نطاقات التعرية ونقل المواد الصخرية المفككة، فالمنحدرات الرأسية وشديدة الانحدار لا تصل فيها التربة لمرحلة النضوج بسبب وجود العديد من عوامل النقل المختلفة التي تزيل نواتج عمليات التجوية بشكل مستمر مكونة تربة مفككة، كما تؤثر طبوغرافية السطح على نمط التصريف المائي وشدة عملية التعرية (Strahler , 1956 , P.10)، ويوضح الشكل (٨) قيم هذا العامل.

د. تقوس السطح Curvature:

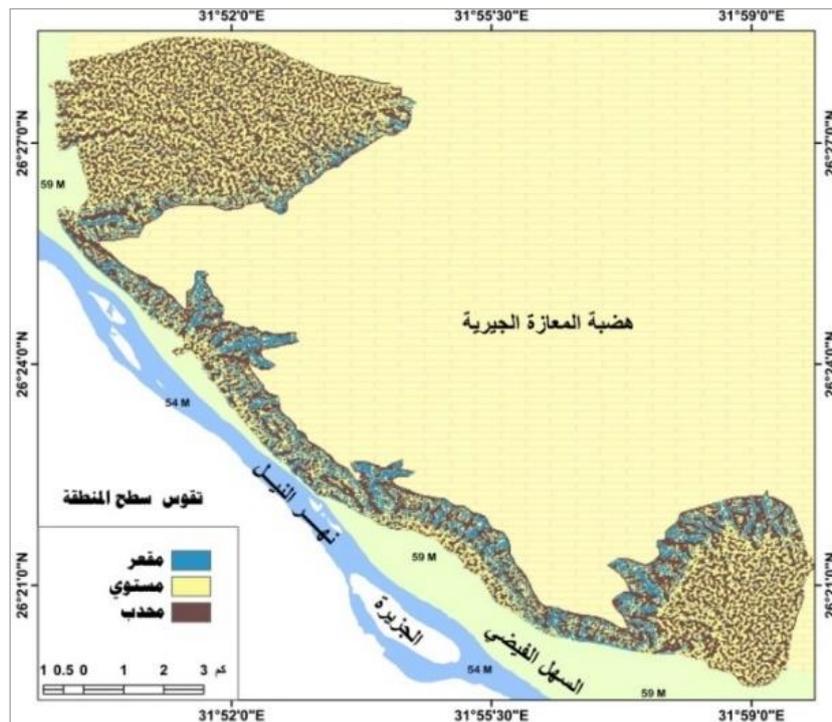
تتجلى أهمية هذا العامل في فهم طبيعة الانزياحات الأرضية على أسطح المنحدرات، فالمنحدرات المقعرة تحتفظ بمياه الأمطار لفترة أطول فتشيط عمليات الإذابة في صخور الحجر الجيري كما تزيد من فرص توغل المياه داخل الفواصل والشقوق التي تكتنف الصخر مما يتسبب في انهياره، أما المنحدرات المحدبة فتمثل نطاقات نشاط الانزياحات الدورانية للحافات والكتل الصخرية الحرجة بفعل الجاذبية سيما مع زيادة معدلات التقوس، أما المنحدرات المستوية فتمثل مواضع زحف الركام والكتل الصخرية المتدرجة من القمم المرتفعة.

(١٠) يتم حسابه من المعادلة: $TS = (L/72.6) \cdot (65.41 \sin (s) + 4.56 ' \sin (s) + 0.065$ ، في حالة $s > 21$ %،
والمعادلة $TS = (1/22.1) 20.7 (6.432. \sin (s) + 0.79 \cdot \cos (S)$ ، في حالة $s \leq 21$ %، حيث إن $TS =$ يقصد به العامل
الطبوغرافي، $L =$ يقصد به طول المنحدر بالمتراً، $S =$ النسبة المئوية للانحدار (Rines and Silva ، 2000).



المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة بدقة ١٥ م.

شكل (٨) قيم العامل الطبوغرافي لسطح منطقة الدراسة



المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة بدقة ١٥ م.

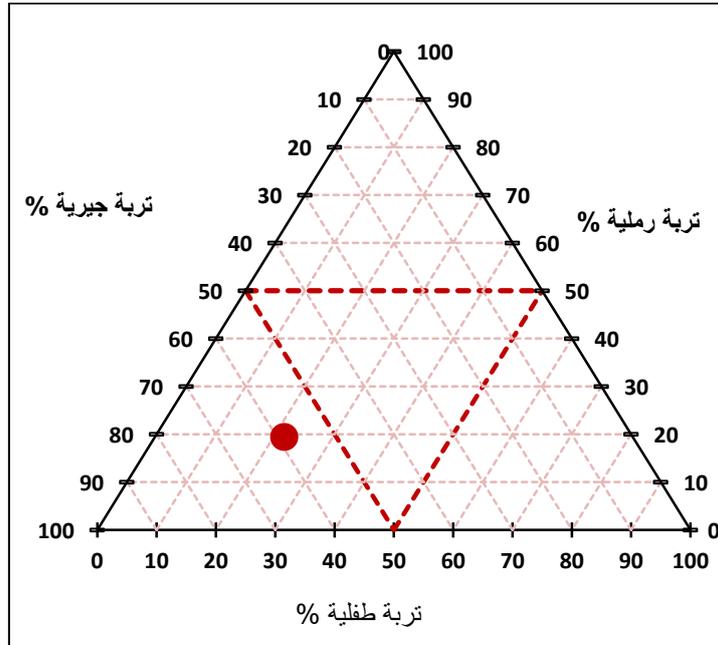
شكل (٩) تقسيم سطح منطقة الدراسة

ومن تحليل الشكل السابق تبين سيادة المنحدرات المحدبة بمنطقة الدراسة، حيث شغلت نحو ٤٨% من إجمالي مساحة المنطقة ككل، كما شغلت المنحدرات المقعرة ما يعادل ٣٨,١% من جملة تلك المساحة، بينما شغلت المنحدرات المستوية نحو ١٣,٩% من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة.

٤. خصائص التربة:

أ. قوام التربة:

ركزت دراسة قوام التربة هنا إلى تحليل تربة ركامات الهشيم والمفتتات الدقيقة المتراكمة على منحدرات الهضبة وهي تربات مشتقة من تربة الأصل، لتحديد ممارسات الحفظ الملائمة التي بدورها ستسهم في حماية المناطق الواقعة أسافلها من خطر التساقط الصخري والعمل كمصايد آمنة للصخور الزاحفة على طول منحدرات الهضبة ، ومن خلال تحليل قوام تربة تلك المفتتات وأخذ متوسط لنسب المواد المكونة لها تبين أن ٥٨,٧٨% منها مفتتات جيرية، ٢١,٧٨% منها طفلية، ١٩,٤٤% منها رملية كما يوضحها (شكل ١٠) ، وهذا يعكس طبيعة التربة التي اشتقت من صخور هضبة المعازة الجيرية، وهذا النوع من التربة يعد مستقرًا آمنًا للكتل الصخرية صغيرة ومتوسطة الحجم، وتزداد قدرتها على تثبيت هذه الكتل كلما زاد عمق التربة كما يبدو ذلك جليًا في المواضع الأكثر تقعرًا على طول منحدرات الهضبة.



المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على بيانات الجدول السابق.

شكل (١٠) مثلث التعادل لتربة ركامات الهشيم بمنطقة الدراسة

وقد رصدت الدراسة الحالية كثيرًا من الصخور صغيرة الحجم التي تم اصطيادها بفعل ركامات الهشيم في المواضع التي تقل زوايا انحدارها عن ٣٠ درجة كما هو الحال شرق وشمال شرق نجع الدير، والجانب الأيمن لمروحة وادي الأحايوة (صورة ١_أ)، وعلى أسطح وحضيض المنحدرات السلمية في القطاع المحصور بين "أولاد الشيخ" ونفق الأحايوة، أما في المواضع التي تزيد فيها زوايا انحدار أسطح ركامات الهشيم عن ٤٠ درجة، فتشكل أسطح انزلاق تنشط عليها عمليات التساقط الصخري وسقوط الحطام، التي ما تلبث أن تستقر عند قواعد تلك الركامات، كما هو الحال في قطاع الحافة أعلى نفق الأحايوة كما توضحه الصورة (صورة ١_ب).



(N 26° 25' 50" _ E 31° 49' 43")
تاريخ التصوير: ٢٨ نوفمبر ٢٠٢٢ م

الموقع: فرق نفق الأحابوة
اتجاه الناظر: صوب الشمال الشرقي

(N 26° 25' 54" _ E 31° 49' 56")
تاريخ التصوير: ٣ مارس ٢٠٢٣ م

الموقع: الجانب الأيمن لمروحة وادي الأحابوة
اتجاه الناظر: صوب الشرق

صورة (١) استقرار الكتل الصخرية على أسطح ركامات الهشيم

ب. حرارة التربة السطحية:

يعد هذا العامل من أبرز العوامل التي تؤثر بشكل واضح في حدوث الانهيارات الأرضية، لكونه يفسر لنا التباينات الحرارية في الطبقة السطحية للتربة سواء أكانت صلبة أم مفككة، والتي بدورها تعمل على تمدد وانكماش المعادن المكونة لصخور الحافة مما يعمل على زيادة معدلات التجوية الفيزيائية التي تعد بمثابة نقطة الانطلاق لعمليات الانهيارات الأرضية على منحدرات الهضبة، ومعول الهدم الأول للتعرية المائية بالمنطقة، وقد تم حسابه من LST8 باستخدام برنامج Arc Map 10.5 من خلال الأمر Raster Calculator اعتماداً على المعادلة الآتية:

$$LST = BT / (1 + (\lambda * \frac{BT}{C2}) * \ln(E))$$

حيث: BT = أعلى قيمة لسطوع الشمسي ويتم الحصول عليها من ملف mtl الخاص بالمرئية.
 λ = تعبر عن الطول الموجي للإشعاع المنبعث ويتم الحصول عليها من $B10$ ، وقيمتها ثابتة = ١٠.٨.
 E = قيمة الانبعاثية وتحسب من العلاقة:

$$E = 0.004 * PV * 0.986$$

PV تحسب من العلاقة:

$$PV = (NDVI - NDVI min) / (NDVI max - NDVI min) 2$$

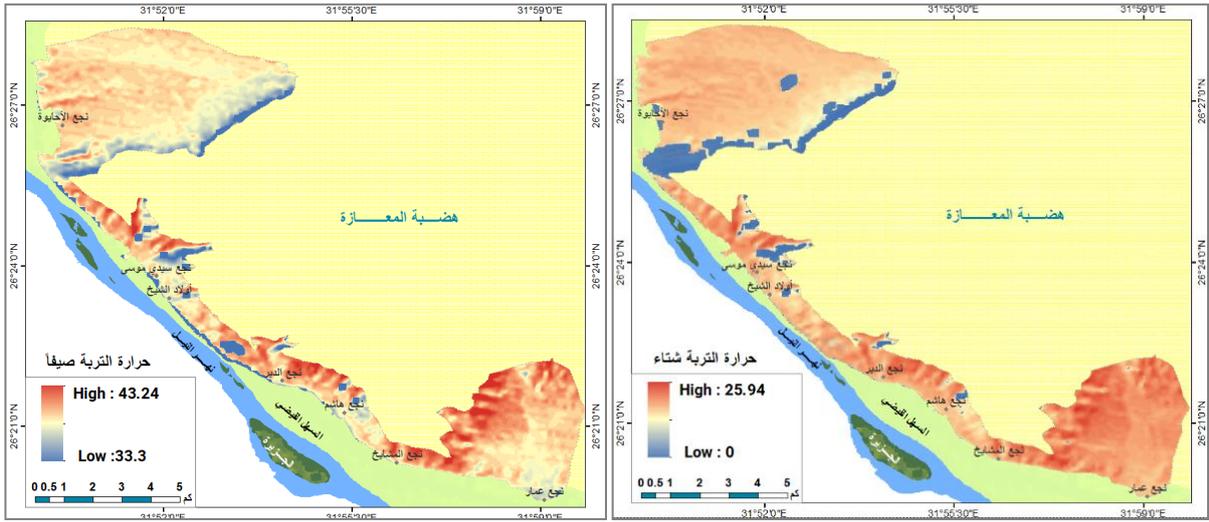
$C2 = h * (c/s)$ = يتم الحصول عليها من العلاقة:

حيث h = ثابت بلانك (٦,٦٢٦ * ١٠^{-٣٤} جول/ثانية).

S = ثابت بولتزمان (١,٣٨ * ١٠^{-٢٣} جول /كلفن)

C = سرعة الضوء (٢,٩٩٨ * ١٠^٨ م /ث) (شعوان وآخرون، ٢٠١٣، ص ٨٣)

ويوضح الشكل الآتي قيم درجات حرارة التربة صيفاً وشتاءً بمنطقة الدراسة.



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على LST8 خلال الفترتين بين ١١ ديسمبر ٢٠١٩م - ١٩ مارس ٢٠١٩م، ٢٠ مارس ٢٠٢٠م - ٢٠ يونيو ٢٠٢٠م

شكل (١١) تباين حرارة التربة صيفاً وشتاءً بمنطقة الدراسة

ج. مؤشر رطوبة التربة Soil Moisture Index:

من الجدير بالذكر أن القيم التي تزيد عن الصفر تشير إلى تشبع التربة بالماء، ويتم حساب هذا المؤشر من المعادلة الآتية:

$$SMI = (LST_{max} - LST) / (LST_{max} - LST_{min})$$

حيث: SMI = مؤشر رطوبة التربة LST = حرارة التربة.

LST_{min} = درجة الحرارة الدنيا LST_{max} = درجة الحرارة القصوى

ومن خلال حساب قيم هذا المؤشر تبين أن المحتوى الرطوبي للتربة يزداد بشكل واضح عند قاعدة مروحة وادي الأحايوة وعلى طول حضيض منحدرات الهضبة في المناطق الزراعية والمأهولة بالسكان، ويقل بشكل واضح على طول امتداد الحافة في المناطق المرتفعة البعيدة عن مصادر الرطوبة كما يوضحه شكل (١٢) ولعل هذا السبب في نشاط عمليات التجوية الفيزيائية بصخور الهضبة شرق سيدي موسى، والتقلق الصخري شرق "أولاد الشيخ"، والتشظي الصخري شمال نجع المشايخ.

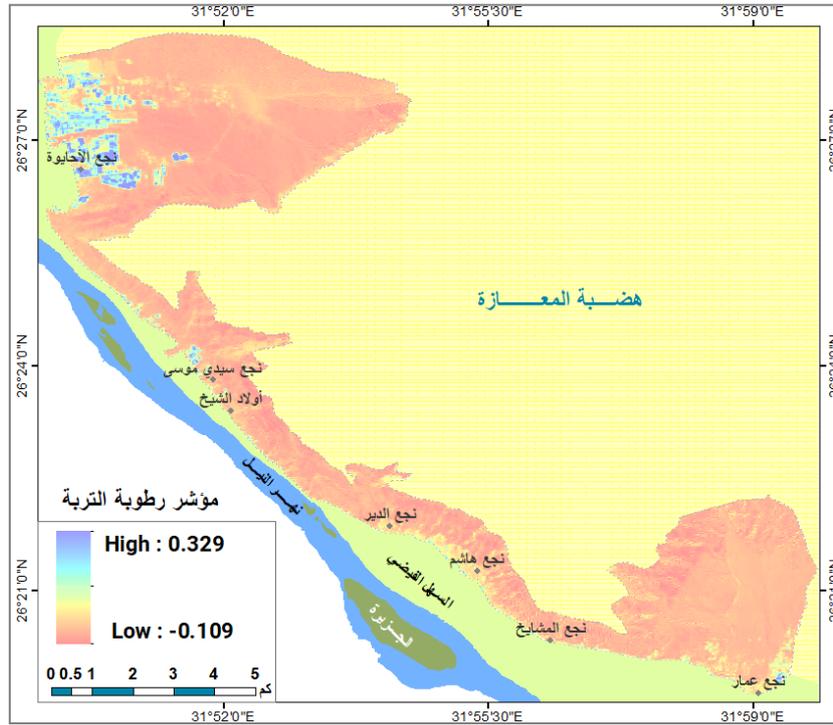
هـ. مؤشر الغطاء النباتي (NDVI): Normalized Difference Vegetation Index:

يتضح من خلال حساب مؤشر الغطاء النباتي^(١١) أن سطح المنطقة يبدو عارياً من الغطاء النباتي في معظم أجزائه، حيث يقتصر وجود الغطاء النباتي به على القسم الأدنى من مروحة وادي الأحايوة ومنطقة المنحدرات المزروعة أسفل حضيض الهضبة، بمساحة قدرت بنحو ٧,٤٩% فقط من إجمالي مساحة المنطقة، وهذا إن دل على شيء فإنما يدل على تعرض صخوره لعمليات التشكيل المختلفة، كما يعد مؤشراً مهماً على ضعف قوى الالتصاق للمواد المتحركة خاصة في المواضع التي تزداد فيها قيم الانحدار والارتفاع.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

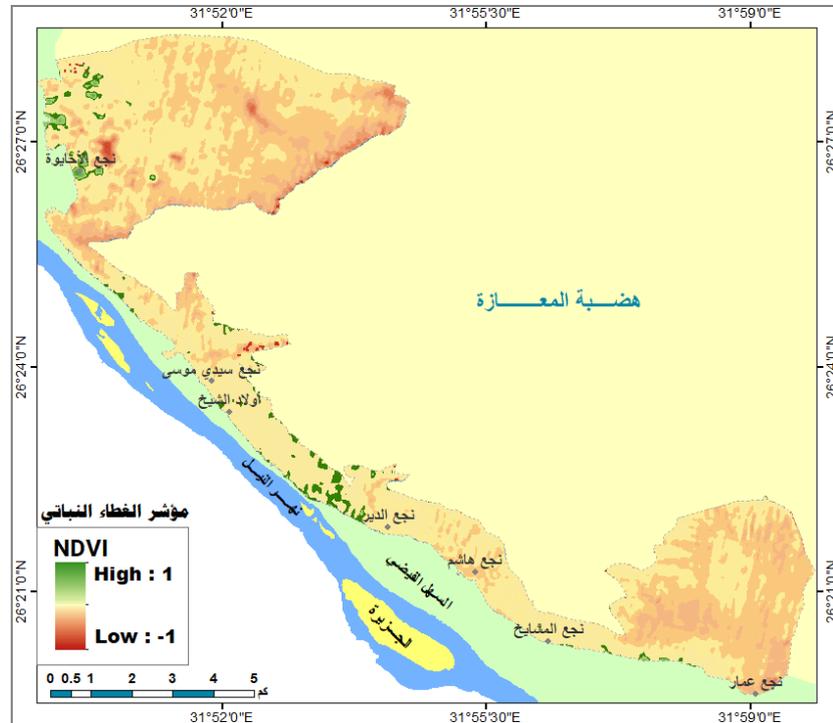
(Karaburun, A., 2010, P79)

حيث: Band 4 = RED, Band 5 = NIR



المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على LST.8

شكل (١٢) مؤشر رطوبة التربة بمنطقة الدراسة



المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على B4 & B5 -LST8,1/3/2020_1/8/2021

شكل (١٣) مؤشر الغطاء النباتي بمنطقة الدراسة

٦. العوامل المناخية:

يتجلى أثر العوامل المناخية في حدوث الاختيارات الأرضية من خلال العرض الآتي:

أ. الإشعاع الشمسي والحرارة:

يعد الإشعاع الشمسي المصدر الرئيس للحرارة، ويؤدي تباينهما إلى إضعاف مقاومة الصخور لعمليات التجوية والتعرية، ولا سيما في المناطق الجافة وشبه الجافة مما يؤدي إلى تمدد المعادن الموجودة في الصخور، ومن ثم تفكك الأجزاء العليا من الكتلة الصخرية، ومن خلال تحليل الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ للبيانات المناخية العالمية خلال الفترة بين عامي ١٨٨٠_٢٠١٢م تبين أن ثمة اتجاهًا عامًا للاحتراز، حيث سجلت زيادة في درجات الحرارة أثناء فترة المقارنة بنحو ٠,٨٥ درجة مئوية (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، ٢٠١٤)، ويتضح من الجدول الآتي تباين المدى الحراري الشهري، حيث سجل أقصى قيمة له في أواخر فصلي الصيف والربيع، وبذلك يستدل أنه خلال هاتين الفترتين تنشط عمليات التفكك الصخري بفعل الحرارة.

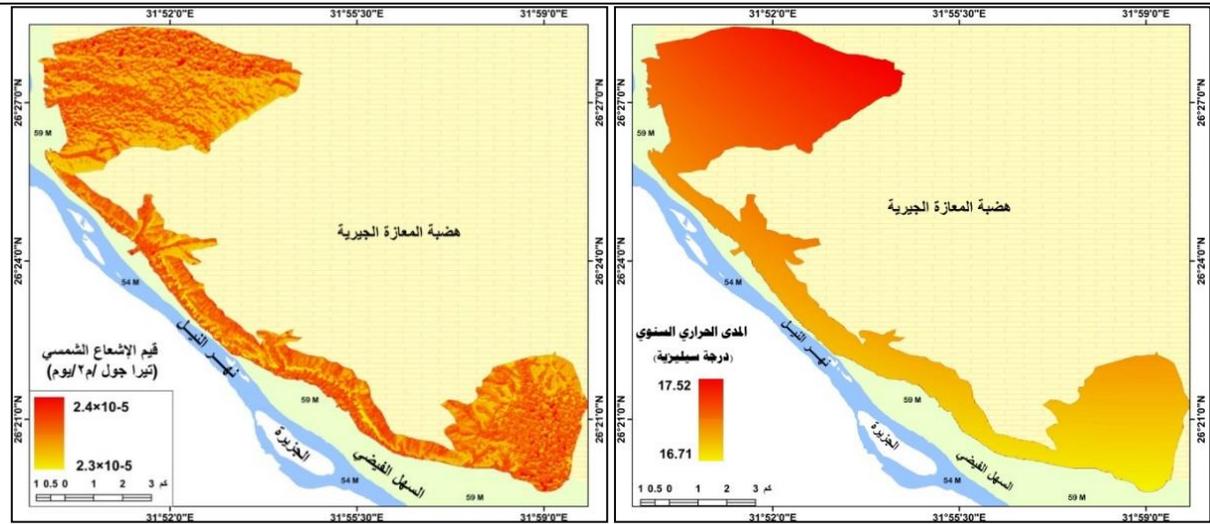
جدول (٤) ملخص الخصائص المناخية بمنطقة الدراسة خلال الفترة من (١٩٨٤-٢٠٢٢م)

الشهور / عناصر المناخ	الإشعاع الشمسي	د.ح. العظمى	د.ح. الصغرى	المدى الحراري	كميات التساقط	كميات التبخر (مم)	الرطوبة النسبية
يناير	١,٦٦	٢٢,٦	٧,٨	١٤,٨	٢,٩٣	٣,٣	٥٤%
فبراير	١,٩٧	٢١,٢	٦,١	١٥	٢,٤	٤,٣	٤٩%
مارس	٢,٤٢	٢٣,٦	٧,٨	١٥,٨	٠,٣١	٦,٥	٤١%
أبريل	٢,٧٨	٢٦,٥	١٠,٧	١٥,٨	١,٥	٨,٦	٣٣%
مايو	٢,٩٥	٣٢,٥	١٥,١	١٧,٤	٠	١٢	٢٥%
يونيه	٢,٩٩	٣٦,٤	١٩,٥	١٦,٩	٠	١٢,١	٢٨%
يوليو	٢,٨٩	٣٨,٢	٢١,٨	١٦,٤	٠	٩,٥	٣٨%
أغسطس	٢,٧٢	٣٧,٣	٢٢,٢	١٥,١	٠	٨,٢	٤٣%
سبتمبر	٢,٤٣	٤٠,١	٢١,٣	١٨,٨	٠	٨,١	٤٢%
أكتوبر	٢,٠٥	٣٤,٦	١٨,٩	١٥,٧	٠	٧,٣	٣٩%
نوفمبر	١,٦٩	٣٣,٥	١٦,٨	١٦,٧	٣,٣	٤,٣	٥١%
ديسمبر	١,٥	٢٧,٣	١٢,٢	١٥,١	٤,٢	٣,٣	٥٤%
المتوسط السنوي	٢,٣٤	٣١,١٥	١٥,٠٢	١٦,١٣	١,٢٢	٧,٢٩	٤١,٣٨%

NASA التابع لوكالة RETSCREEN ، بيانات برنامج، <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer> & <http://ema.gov.eg/wp/>

ومن تحليل بيانات الجدول (٤) يتضح تفاوت درجات الحرارة بين أقل درجات تم تسجيلها بين ٦,١، ٣٨,٣م بتباين سنوي قدر بنحو ١٦,١٣م، ويتضح من الشكل (١٤) ارتفاع قيم الإشعاع الشمسي بالمنطقة نظرًا لوقوعها في منطقة جافة^(١٢)، كما أن الحرارة تتسم بالارتفاع النسبي كانعكاس طبيعي للإشعاع الشمسي الساقط عليها.

(١٢) قدرت قرينة الجفاف بمنطقة الدراسة بـ ٠,٤ وفقاً لمعامل لانج.



المصدر: بيانات الحرارة والإشعاع الشمسي محولة لنموذج خلوي باستخدام الأمر Spline.

شكل (١٤) قيم الإشعاع الشمسي (تيرا جول /م/يوم) والمدى الحراري السنوي بمنطقة الدراسة

ب. التساقط:

يتوقف تأثير التساقط المائي على حجم القطرات المتساقطة وكمياتها، فعندما تسقط الأمطار بكميات كبيرة تعمل على زيادة حجم الجريان السيلي وزيادة معدلات النحت الهيدروليكي وجرف الكتل الصخرية وتقويض جوانبها، كما تتغلغل المياه داخل شقوق وفواصل صخور المنطقة مما يؤدي إضعافها وانهارها في نهاية الأمر في المواضع التي تقطع فيها تلك الأودية حافة الهضبة، ومن تحليل الشكل (١٥) يتضح أن كميات التساقط على منطقة الدراسة تعد ضئيلة للغاية، ومع ذلك فإن تأثيرها يبدو فعالاً وذو أثر في صخور المنطقة، لكونها تحفز نشاط عمليات التجوية بشقيها، ومن ثم تم اتخاذه ضمن معايير النموذج المقترح.

ج. التبخر:

تؤثر زيادة كميات التبخر في نشاط عمليات التجوية الفيزيائية، ومن خلال بيانات الجدول السابق، يتضح أن قيمه تتراوح بين ٣,٣ مم في شهري يناير وديسمبر، ١,١ مم في شهر يونيو بمتوسط سنوي قدره ٧,٣ مم.

د. الرطوبة النسبية:

من تحليل بيانات الجدول (٥) يتضح تزايد معدلات الرطوبة النسبية خلال أشهر الشتاء، وتتمثل خطورة الأمر هنا في زيادة فعالية عمليات الإذابة لصخور الحجر الجيري، وتكون الفجوات الصخرية التي ما تلبث أن تتحول إلى كهوف تظهر على طول منحدرات الحافة.

هـ. سرعة الرياح واتجاهاتها:

يتجلى تأثير سرعة الرياح في تشكيل منحدرات الهضبة في القطاع في فصل الجفاف في قيامها بنحت الطبقات اللينة على واجهة منحدرات الهضبة، وبروز تلك الطبقات على هيئة أشرطة غائرة في الكتل الصخرية، كما تقوم بنقل العوادم الدقيقة لعمليات التجوية بمواضع التقويض السفلي على منحدرات القطاع، ومع زيادة سرعتها تزيد فعالية النحت بفعل الرياح في تلك المواضع وتزداد أبعادها المورفومترية فتُظهِرُ عددًا

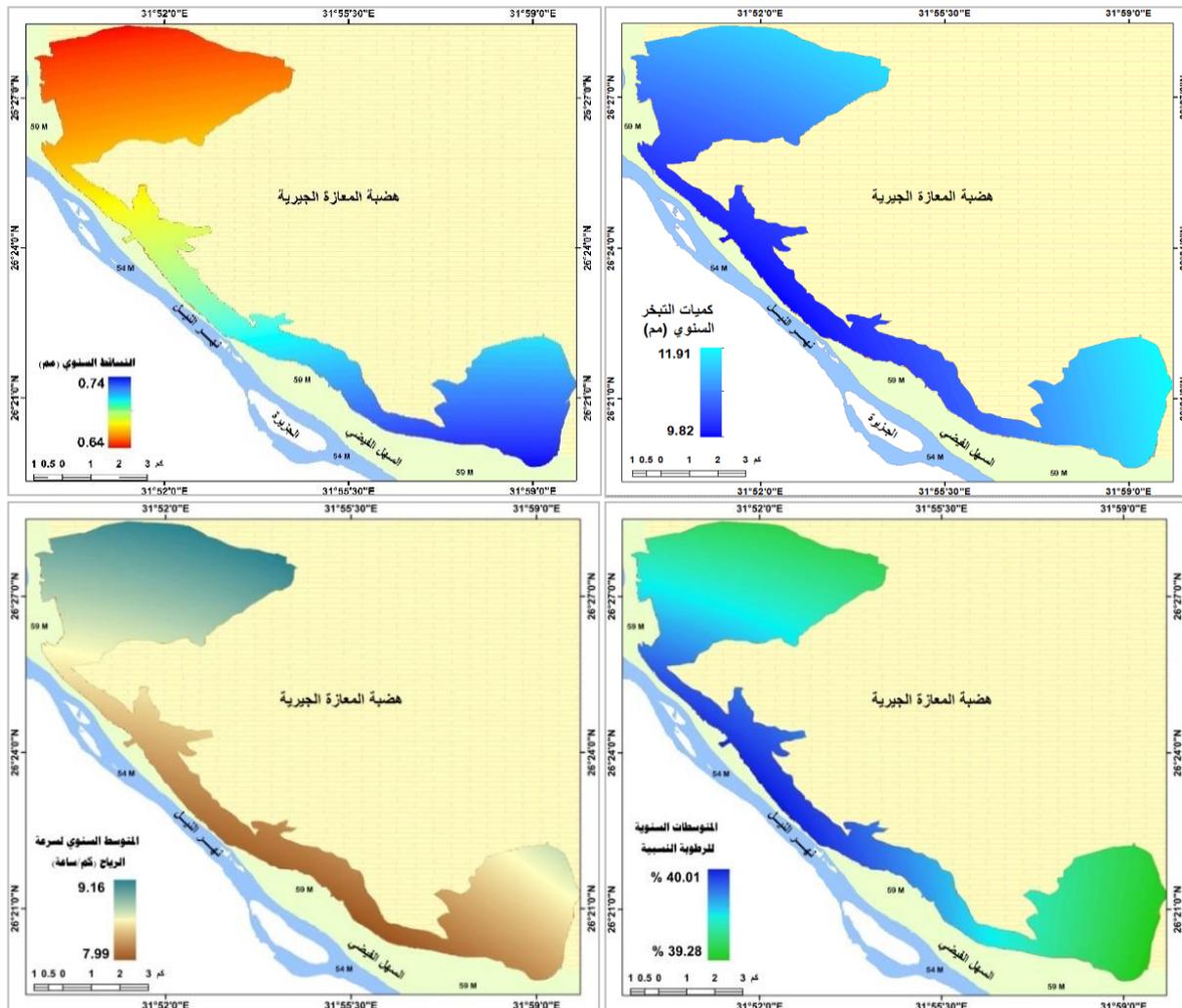
النمذجة المكانية متعددة المعايير لتقييم حساسية منحدرات هضبة المعازة للاختيارات الأرضية..... د. حمدي نبيه عيد
من الكهوف المفتوحة في المواضع الضعيفة بنيوياً، وما تلبث أسقفها أن تنهار عندما تضعفها عمليات
الإذابة، وتصبح أقل مقاومة لقوى الضغط الواقع عليها.

جدول (٥) متوسطات نسب اتجاهات هبوب الرياح وسرعتها خلال الفترة (١٩٨٤-٢٠٢٢م)

الاتجاه المحطة	الشمال	الشمال الغربي	الغرب	الغربي الجنوبي	الجنوب	الجنوبي الشرقي	الشرق	الشرقي الشمالي	نسبة السكون	السرعة متوسط (م/ث)
الشتاء	٠.٦	٠.١	٠.٥	٠.١	٠.١	٠.٥	٠.٥	٠.١	٥٢	٤.٩
الربيع	١.٣	٠.٣	٠.٦	٠.٦	٠.٦	١.٤	٢.٣	٠.٦	٣٢.٣	٧.٨
الصيف	٠.٩	٠.٤	٠	٠	٠	٠.٢	٠.١	٠.٤	١٩.٣	٨.٦
الخريف	١.١	٠.١	٠.٢	٠.١	١.٣	٠.٩	٠.٢	٠.١	٢٥.٦	٧.٨
المتوسط السنوي	٠.٩٨	٠.٢٣	٠.٣٥	٠.٨	١.٢٣	٠.٩	٠.٢٣	٠.٢٣	٣٢.٣	٧.٢٨

المصدر: برنامج RETSCREEN.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن درجات تأثر المنحدرات بفعل عناصر المناخ تتفاوت من موضع لآخر وفقاً
للتباين المكاني لعناصر المناخ بمنطقة الدراسة الذي يوضحه الشكل التالي:



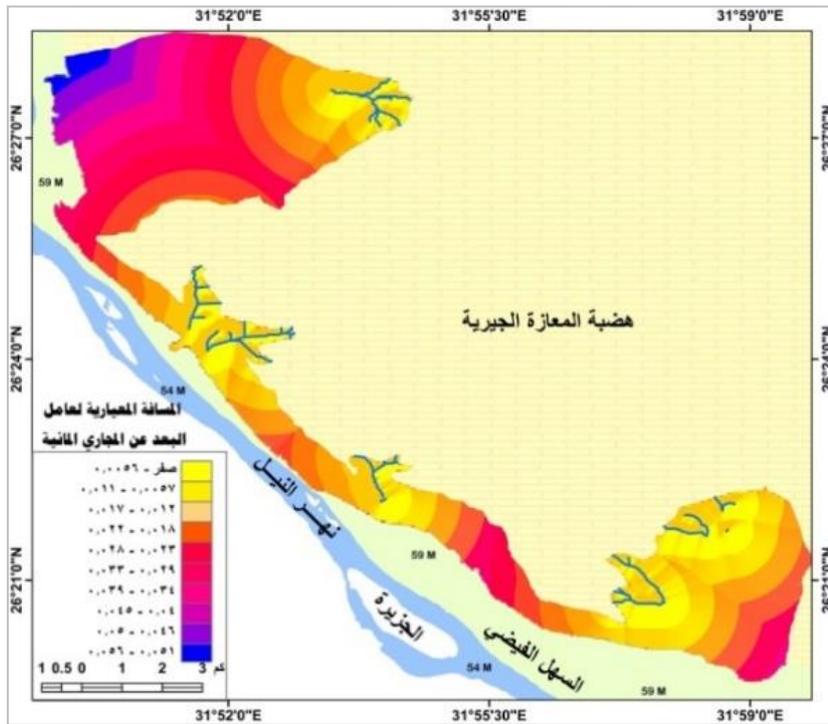
المصدر: بيانات الجدول السابق باستخدام الأمر Spline.

شكل (١٥) التباين المكاني لخصائص عناصر المناخ بمنطقة الدراسة

٧. العوامل الهيدرولوجية:

أ. البعد عن مجاري الأودية الجافة:

تم اتخاذ هذا العامل كأحد المعايير المؤثرة في حدوث الانهيارات الأرضية؛ لما تقوم به مياه الجريان السيلي من تقطيع لمنحدرات بالنحت الرأسى في مواضع الضعف الصخري فتتساقط المفتتات الصخرية، وتظل المواضع التي تقطع فيها الأودية الجافة سطح الهضبة هي الأكثر خطورة عندما تنهار جوانبها مع شدة النحت الجانبي بفعل الجريان السيلي، وفي ضوء ذلك تم التصنيف هنا حسب البعد عن مسارات السيول إلى عشر فئات كما يوضحه الشكل التالي.

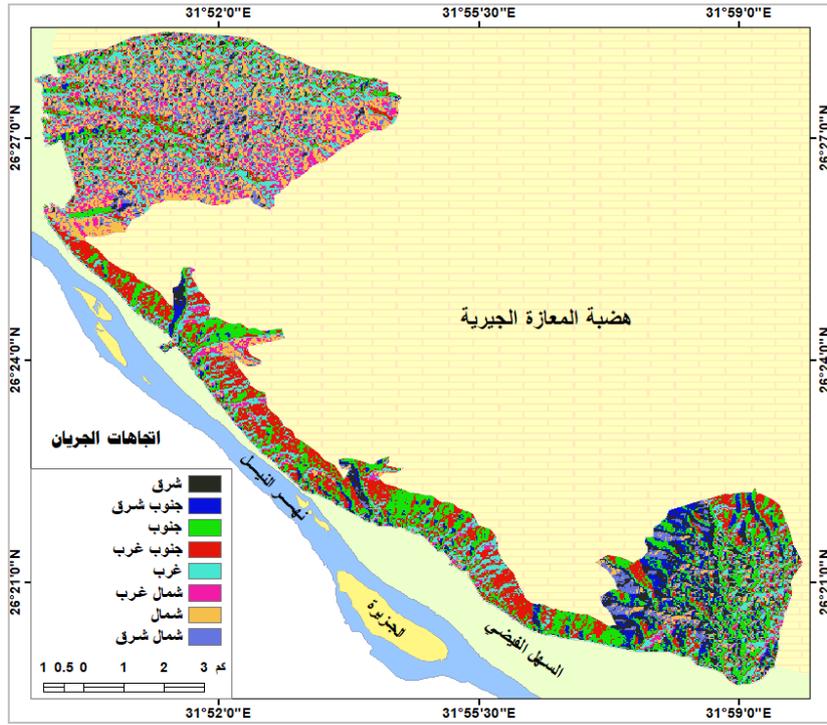


المصدر: تم حساب المسافة المعيارية باستخدام الأمر Euclidean distance

شكل (١٦) المسافة المعيارية للبعد عن مسارات الأودية واتجاهات الجريان السيلي

ب. اتجاهات الجريان المائي Flow Directions:

ترجع أهمية هذا العامل إلى أنه يمكن من خلاله التنبؤ بمواضع التعرية المائية، ومن ثم زيادة احتمالية حدوث انهيارات أرضية مع زيادة عمليات النحت الرأسى والجانبي، وقد تبين من تحليل الشكل (١٧) أن اتجاهي الجنوب الغربي والجنوب يشكلان الاتجاهين السائدين، حيث شغلا على الترتيب نحو ١٩,١٩%، ١٨,١٢% من إجمالي مساحة المنطقة، تلاهما اتجاها الشمال الغربي والجنوب بنحو ١٧,٨%، ١٥,٤٧% من تلك المساحة، في حين شغلت اتجاهات الشمال الشرقي والجنوب الشرقي والشرق أقل الفئات مساحة.



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على الأمر Flow Direction.

شكل (١٧) اتجاهات الجريان السيلي

ج. التدفق المتجمع Flow Accumulation:

ترجع أهمية هذا العامل في أنه يستدل منه على مواضع تجمع مياه الجريان السيلي بالمنحدرات المقعرة، والذي يسهم بشكل كبير في إضعاف مقاومة صخور الحجر الجيري ولا سيما إذا كانت في مواضع شديدة الانحدار، مما يزيد من قوى الدفع للكتل الصخرية صوب حضيض الهضبة، ومما يزيد من خطورة الأمر أنه تجمع المياه في تلك المواضع يزيد من فعالية التجوية الكيميائية التي تتسبب في انهيار الكهوف والفجوات الصخرية وجرفها تحت حضيض الهضبة.

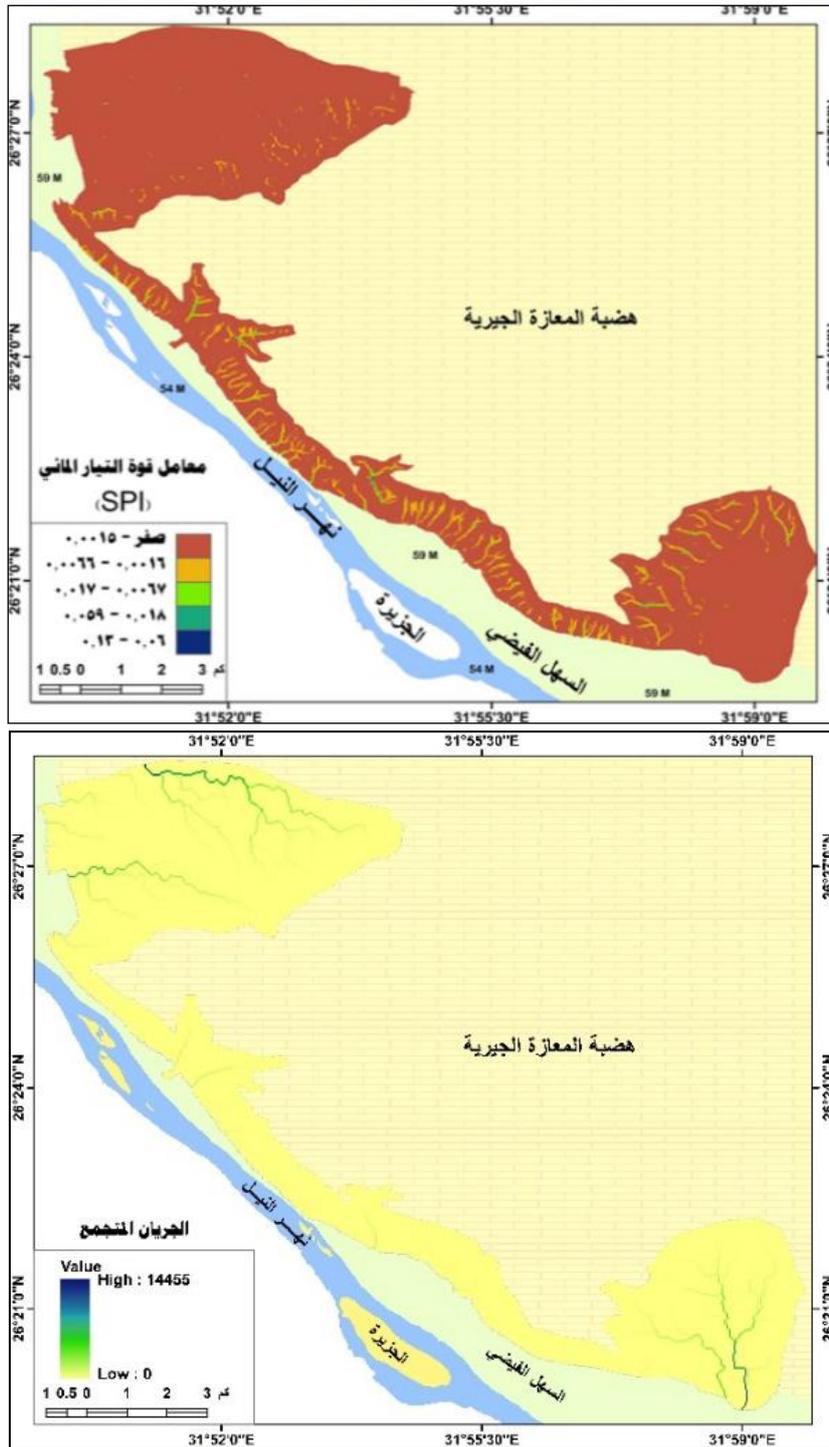
د. مؤشر قوة التيار المائي^(١٣) Stream Power Index (SPI):

تتمثل أهميته في أنه يستدل منه على المواقع التي من المحتمل أن تتشكل فيها الأخاديد بفعل التدفق المائي، والتي تسجل فيها قيم المعامل قيمًا أكبر يوضح الشكل (١٨)، وتجدر الإشارة هنا إلى أنه كلما زادت مساحة المنطقة وزاد ميل سطحها فإن كمية المياه وسرعتها التي تزيد من خطر تآكل المنحدر.

(١٣) يتم حسابه من خلال الأمر Raster Calculator اعتماداً على المعادلة:

$$SPI = \text{Flow Accumulation} \times \text{Cell Size Of DEM} \times \text{Tan}(\text{Slope})$$

Cell Size Of DEM = ٠,٠٠٠٢٧٧٧٧٧٧٧٨ _ ٠٠٠١٧٤٥٣ ثابت

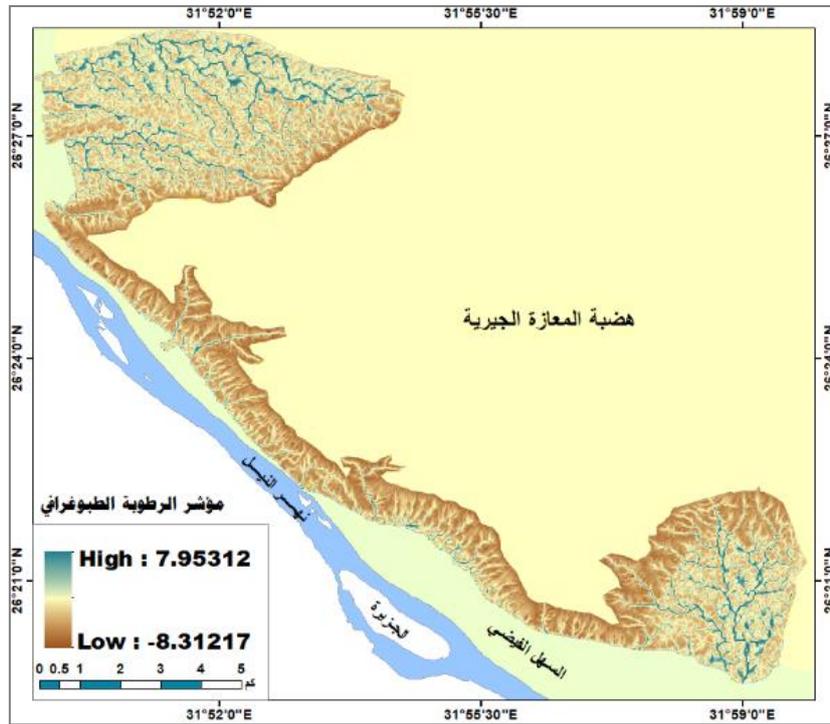


المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج ARC MAP10.5 اعتمادًا على نموذج ارتفاع رقمي ١٥م

شكل (١٨) التدفق المتجمع وقيم مؤشر قوة التيار المائي

د. مؤشر الرطوبة الطبوغرافي (TWI) ^(١٤) :Topographic wetness index

تمثل القيم السالبة لهذا المؤشر القيم الأعلى رطوبة والعكس، وترجع أهميته إلى أنه يمكن التنبؤ بالمواقع التي تزداد فيها فاعلية عمليات الإذابة، ومن تحليل الشكل السابق تبين أن القيم السالبة شغلت نحو ٣,٠٦ كم أي ما يوازي ٤,٣٣% من مساحة المنطقة، بينما شغلت القيم الموجبة نحو ٥٤,٣ كم أي ما يعادل ٩٤,٦٦% منها، ولعل السبب في ذلك يرجع إلى ارتفاع سطح الهضبة وبعده عن مصادر التغذية الدائمة من المياه التي تسهم في رفع قيم هذا المؤشر.



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج ARC MAP10.5 اعتمادًا على نموذج ارتفاع رقمي ١٥

شكل (١٩) مؤشر الرطوبة الطبوغرافي

(١٤) يحسب من المعادلة: $TWI = \ln(Fa - Scaled/Tan(SLOPE))$

حيث: $Fa - Scaled = (Fa + 1) \times Cell\ Size$ $Fa =$ تشير إلى الجريان المتجمع Flow Accumulation

(*) $Cell\ Size = Scaled = 0,00027777778$ كم (٠.٢٨م تقريباً)

$Tan\ Slope = Con$ (Slope>0, $Tan\ (Slope), 0.001$): العلاقة من العلاقة:

ويحسب Slope في المعادلة من العلاقة: $Slope = Slope\ Degrees \times 1.570796/90$

ويتم الحصول على Slope Degrees من نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة، والأرقام قيم ثابتة.

٨. التعرية المائية:

أ. مقدار فقد التربة:

تم اعتماد معادلة فقدان التربة العالمية (RUSLE) Equation Revised Universal Soil Loss

والتي تنص على:

$$A=R \times K \times LS \times C \times P$$

حيث: A = مقدار فقد التربة (طن / هكتار / سنة)

R = معامل تعرية المطر

K = مدى قابلية التربة للانجراف

LS = العامل الطبوغرافي

C = معامل الغطاء النباتي وإدارة المحاصيل

P = ممارسات الحفاظ على التربة

(Gelagay, Minale, 2016)

ومن خلال تطبيقها تبين أن معدل الفقد السنوي للتربة بالمنطقة يتراوح بين صفر - ٥,٨٨ طن / هكتار /

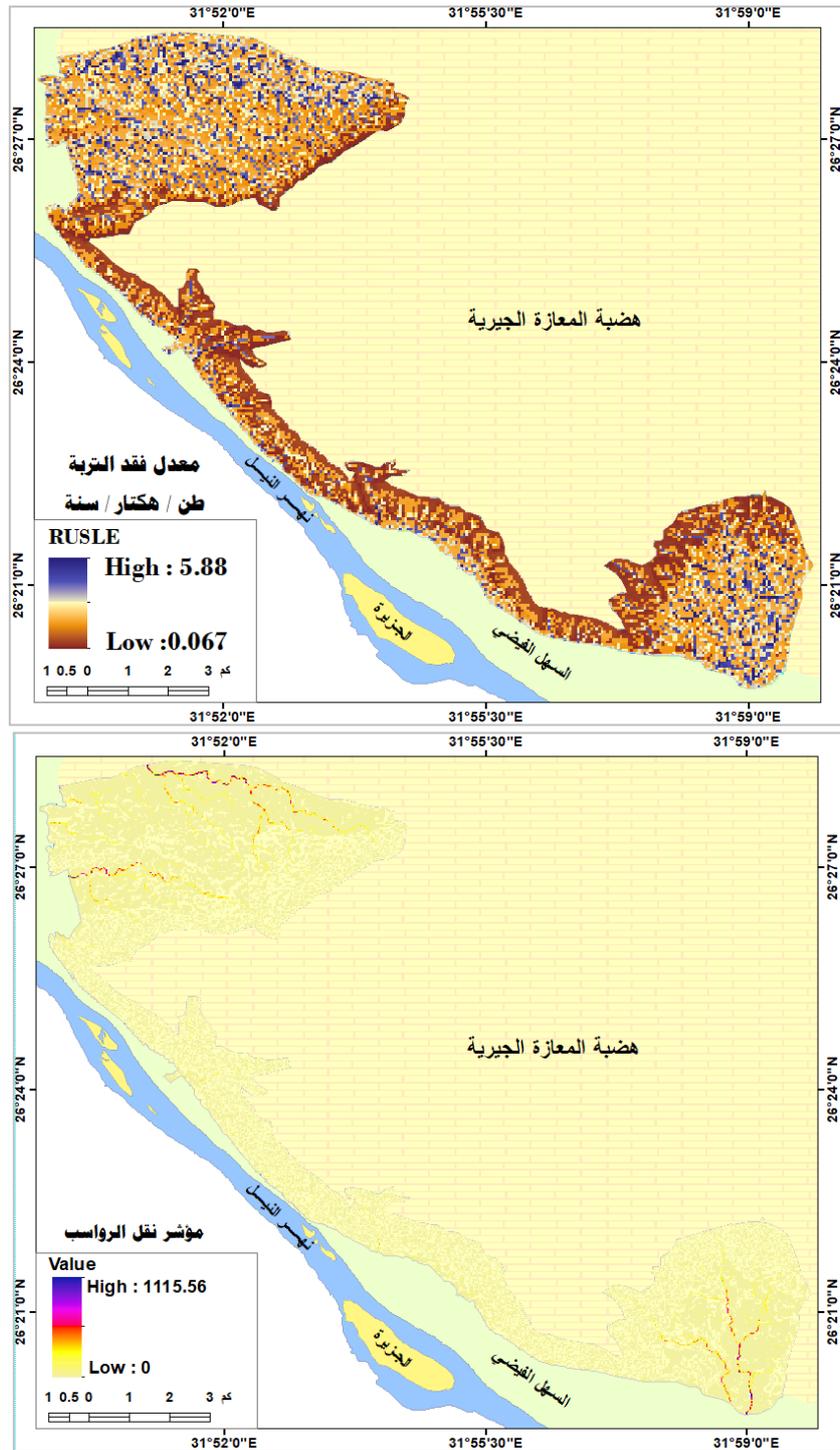
سنة، وبالتالي فإنها تقع ضمن فئة التعرية المتوسطة وفقاً لتصنيف منظمة الفاو ١٩٨٨ م^(١٥).ب. مؤشر نقل الرواسب (STI)^(١٦) Sediment Transport Index:

ترجع أهمية هذا المؤشر إلى أنه يستدل منه على تقييم قدرة المجرى المائي على رفع مستويات التعرية المائية بفعل المجاري المائية والجريان السيلي بالأودية الجافة التي تسقط بها الأمطار بصورة فجائية من خلال حمل حمولة الرواسب الواردة من منطقة المنبع وحتى المصب على طول المجاري المبللة ، ومن خلال حساب قيم هذا المؤشر كما يوضحه الشكل (٢٠) يتضح أن القيم الأعلى لهذا المؤشر تبدو بوضوح على مروحتي وادي عمار والأحايوة مما يدل على زيادة حجم الرواسب المحمولة في هذين الموضعين بفعل الجريان السيلي بشكل واضح عن كافة أجزاء المنطقة.

(١٥) للاستزادة راجع (أحمد، ٢٠٢١، ص ١٧٣٦، ١٧٣٧، ١٧٦٣)

(١٦) يحسب من المعادلة: $STI = \text{Power} ("FlowAcc_Flow6" / 22.13, 0.6) * \text{Power} (\text{Sin} ("Slope_Fill_t2") / 0.0896, 1.3)$

Fa = تشير إلى الجريان المتجمع Flow Accumulation، والأرقام قيم ثابتة.



المصدر : ناتج تطبيق معادلتى STI & RUSLE السالفتين باستخدام برنامج Arc Map v10.5 بالاستعانة بالأمر Raster Calculator

شكل (٢٠) معدل فقد التربة وقيم مؤشر نقل الرواسب بمنطقة الدراسة

٨. الأنشطة البشرية:

أ. مد الطرق والدروب الصحراوية وثق الأنفاق الجبلية:

يتمثل الدور السلبي هنا فيما تتسبب فيه حركة المركبات من النقل الثقيل نتيجة؛ لما يتوالد عنها من اهتزازات على الطريق سوف يؤدي إلى انفصال الكتل الصخرية عن الحافة ثم سقوطها (صالح، ٢٠٠٠، ص ٧٢)، ويبدو هذا الأمر جلياً في المواضع التي تمتد فيها الدروب الصحراوية المشقوقة تحت حضيض الحافة بين نجعي عمار جنوباً وسيدي موسى شمالاً، وطريق القاهرة أسوان الصحراوي فوق نفق الأحايوة (صورة ٢_أ) الذي ارتبط بشقه تصدع الأجزاء الصخرية المحيطة به، وحدثت تساقطات صخرية مستمرة.

ب. التحجير:

يقوم السكان من خلال ممارستهم لعمليات التحجير عند حضيض الهضبة بالإخلال بالتوازن الاستاتيكي للطبقات الصخرية، مما يتسبب في حدوث انهيارات للكتل الصخرية، وانهيال ركامات الهشيم على الزراعات القائمة على أراضي السهل الفيضي أسفل حضيض الهضبة في المنطقة المحصور بين نجعي الأحايوة وأولاد موسى (صورة ٢_ب).



الموقع: شمال أولاد موسى (N 26° 25' 7" _ E 31° 50' 23")
تاريخ التصوير: ٢٣ يونيو ٢٠٢٢ م
اتجاه الناظر: صوب الشرق

الموقع: نفق الأحايوة (N 26° 25' 34" _ E 31° 49' 56.5")
تاريخ التصوير: ٢٣ يونيو ٢٠٢٢ م
اتجاه الناظر: صوب الشمال



الموقع: نجع هاشم عسيري (N 26° 21' 4" _ E 31° 55' 34")
تاريخ التصوير: ٢٣ يونيو ٢٠٢٢ م
اتجاه الناظر: صوب الجنوب الشرقي

الموقع: جنوب شرق مدرسة نجع الدير الإعدادية اتجاه الناظر: صوب الشرق (N 26° 21' 45" _ E 31° 54' 42")
تاريخ التصوير: ٢٣ يونيو ٢٠٢٢ م

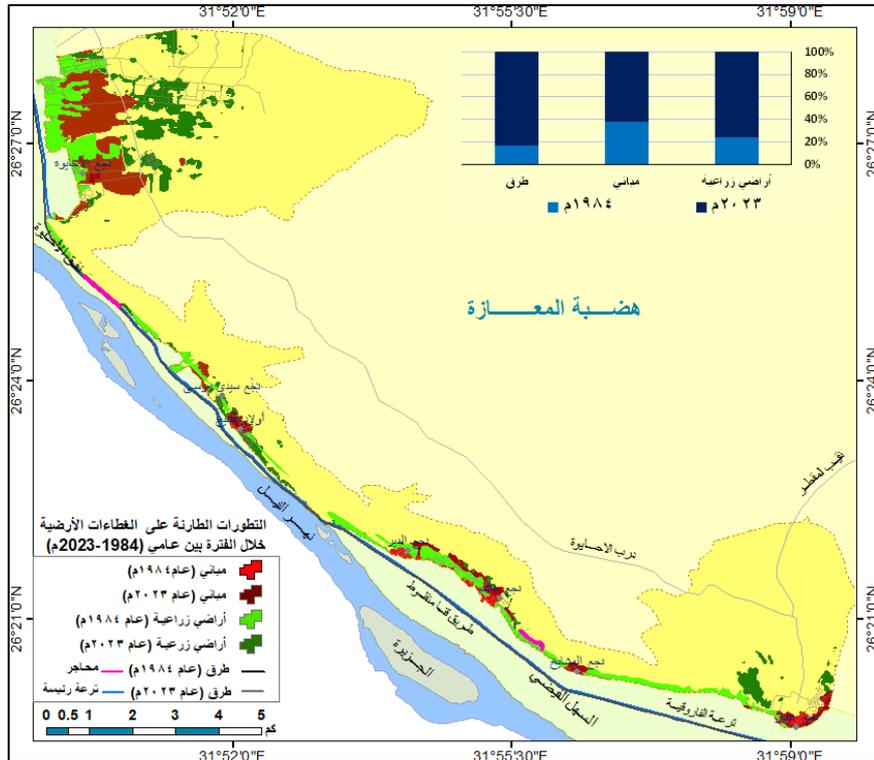
صورة (٢) بعض الأنشطة البشرية المتسببة في حدوث الانهيارات الأرضية

ج. أعمال التشييد والبناء:

تتمثل خطورة هذا العامل فيما يرتبط به يرتبط بتلك الأعمال عدم استقرار الكتل الصخرية ذات التكوين الجيري نظراً لزيادة الأحمال الإضافية فوقها، ونشاط التجوية الكيميائية نتيجة مياه الصرف الصحي، كما أن لبناء المقابر بنجع "أولاد الشيخ"، ونجع الدير، ونجع هاشم (صورة ٢ _ ج) يزيد من فعالية التجوية الكيميائية في صخور الحجر الجيري في تلك المواضع نتيجة تسرب بعض الأحماض الناجمة عن تحلل جثث الموتى (حجاب، ٢٠١٣، ص ٩٢).

د. زراعة المنحدرات:

تعد المنحدرات التي يقوم السكان بتسويتها وتغطيتها بترية السهل الفيضي على سطح الهضبة من أهم أسباب الانهيارات الأرضية، والتي بدت بشكل ملحوظ بنجع سيدي موسى ، وتتمثل خطورتها في تسرب كميات كبيرة من مياه الري عبر فواصل وشقوق الصخور المغطاة بالتربة المنقولة والمجاورة لها، فتتسبب في زيادة معدلات التجوية الكيميائية والإذابة، ومن ثم تفكك وانفصال الكتل الصخرية الجيرية، ويوضح الشكل (٢١) تطور الغطاءات الأرضية بالمنطقة خلال الفترة بين عامي ١٩٨٤-٢٠٢٣م.



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arc Map 10.5 اعتمادًا على Google Earth Pro، وصورة معرفة من LC8_Mosaic_15m_WGS1984

شكل (٢١) التغيرات الطارئة على الغطاءات الأرضية خلال الفترة بين عامي (١٩٨٤م _ ٢٠٢٣م)

ومن خلال رصد تلك التغيرات تبين أن مساحة الأراضي الزراعية زادت خلال فترة المقارنة بنحو ١,٦٩ كم^٢، وشملت المساحات التي استصلحت خلال تلك الفترة على أسطح المراوح الفيضية، وبنجعي سيدي موسى و"أولاد الشيخ"، كما زادت مساحة الكتلة المبنية بنحو ٢,٥٤ كم^٢، وتمثلت اتجاهات النمو فيما أضيف منها على سطح مروحتي واديي الأحايوة وعمار وصوب منحدرات الهضبة، بينما زادت أطوال شبكة الطرق التي شُقت خلال تلك الفترة على سطح الهضبة ومروحتي واديي الأحايوة وعمار بنحو ٩٦,٤٣ كم، كما يوضحه جدول (٦).

جدول (٦) التغيرات الطارئة على استعمال الأرض خلال الفترة بين عامي ١٩٨٤-٢٠٢٣ م

الغطاءات الأرضية	١٩٨٤ م	٢٠٢٣ م	مقدار التغير	معدل التغير السنوي
الأراضي الزراعية	٢ كم ^٢ , ٧٧	٢ كم ^٢ , ٤٦	٢ كم ^٢ , ٦٩	٠,٠٤ كم ^٢ /سنة
الأراضي الزراعية %	٢٣,٨٣ %	٧٦,١٧ %	-	-
المباني	٢ كم ^٢ , ٢١	٢ كم ^٢ , ٧٥	٢ كم ^٢ , ٥٤	٠,٠٧ كم ^٢ /سنة
المباني %	٣٨,٤٣ %	٦١,٥٧ %	-	-
الطرق	٢٣,٦٦ كم	١٢٠,٠٩ كم	٩٦,٤٣ كم	٢,٤٧ كم/سنة
الطرق %	١٦,٤٦ %	٨٣,٥٤ %	-	-

المصدر: من حسابات الباحث اعتماداً على الشكل (٢١).

٩. العمليات المورفوديناميكية:

تتمثل العمليات المورفوديناميكية في الانهيارات الأرضية المتمثلة في سقوط و حركة المواد المفككة والكتل الصخرية من أعالي المنحدرات الصخرية باتجاه أسفل سفوح المنحدرات تحت تأثير قوى الجاذبية الأرضية من دون تدخل عوامل التعرية (عسل ، ١٩٨٢ ، ص ٢٧١) ، وتسهم في هذه العملية عوامل أخرى تعمل الى جنب الجاذبية الارضية ادت الى تسريع عملية حركة مواد سطح الارض وانزلاقها على السفوح ، وتصنف العمليات المورفوديناميكية في الحوض اعتماداً على تصنيف (Sharpe 1938) على أساس اختلاف سرعة حركة المواد وخصائصها كما يوضحه الجدول التالي .:

جدول (٧) أنواع الحركات على المنحدرات حسب تصنيف Sharp

نوع المادة			أنواع الحركة
ناعمة	التربة	صخور الأساس	السقوط
سقوط أرضي	الخشنة	سقوط صخري	الانقلاب
انقلاب أرضي	انقلاب الحطام	انقلاب صخري	دوراني
وحدات قليلة : عملية الهبوط /الانهيارات / تساقط المفتتات الرسوبية			انزلاقات
انزلاقات كتل صخرية : انزلاقات كتل الحطام / الانزلاقات الأرضية			انتقالي
وحدات متعددة : انزلاقات صخرية / انزلاقات الحطام / انزلاقات أرضية			انتشار جانبي
انتشار أرضي	انتشار الحطام	انتشار صخري	الجريان
جريان أرضي	جريان الحطام	جريان صخري	
زحف التربة			
خليط من أنواع من الحركة الرئيسية			نمط معقد

المصدر: العبدان ، ٢٠٠٤ ، ص ١٢٢.

وفي ضوء هذا التصنيف يمكننا تناول هذه العمليات والأشكال الجيومورفولوجية الناتجة عنها كما يلي .

١- التساقط الصخري Rock Fall

يعد التساقط الصخري من أهم عمليات تحرك المواد وأكثرها سرعة في منطقة الدراسة ، ويحدث فوق حافات السفوح الصخرية العليا الشديدة الانحدار والتي يزيد انحدارها عن ٧٠° (Ritishie,1963) ، ، و يعد أخطر أشكال الانهيار السريعة فوق السفوح الصخرية العارية شديدة الانحدار على حافة الهضبة كما هو حال حافة الهضبة أعلى نفق الأحايوة كما يوضحه الصورة (٣- أ).

٢- الانزلاق الصخري Land Slid

هو تحرك الكتل الصخرية والفتاتية المنفصلة وغير المتماسكة نحو أسفل المنحدر بشكل مفاجئ وسريع في السفوح شديدة الانحدار والحافات الصخرية لعدم استقرار كتل صخور القاعدة و المفنتات الصخرية والحبيبات الناعمة غير المتماسكة الجافة التي تتسم بحركة سريعة نسبياً ، وعدم تماسك صخور السطح لكثرة التشققات والفواصل التي تزيد من تغلغل مياه الأمطار ، مما يضعف من قوة الربط بين جزيئات الصخر بزيادة وزنها ، فتتفصل وتنزلق إلى أسفل المنحدرات بتأثير الجاذبية الأرضية وقد تتفتت عند ارتطامها بسطح الأرض مكوناً ما يعرف الرواسب السطحية (محمود ، ٢٠٠٤ ، ص ٩٤) ، وتحدث هذه الانزلاقات بشكل ملحوظ في الصخور القريبة من الأراضي الزراعية التي تكثر بها الشقوق والفواصل بالمواقع شديدة الانحدار ، والتي تسهم بشكل فعال في انفصال الكتل الصخرية عن الحافة الصخرية ، وانزلاقها نحو حضيض الهضبة ، كما هو الحال بنجوع أولاد يحي (صورة ٣_ ب) وأولاد الشيخ والدير .



الموقع : أعلى نفق الأحايوة _ الناظر صوب الشمال الشرقي الموقع : نجع أولاد الشيخ _ الناظر صوب الشرق
تاريخ تصوير الصورتين : ١٢ أغسطس ٢٠٢٢م

صورة (٣) بعض مظاهر التساقط والانزلاق الصخري بمنحدرات منطقة الدراسة

٣- الهبوط الصخري

ينشأ نتيجة حدوث حركة هبوط افقية للمواد الصخرية بفعل قوة الجاذبية ، فيبدأ بتحلل الطبقة السفلية للمنحدرات السطحية بتأثير الماء الجوفي بفعل عملية الاذابة للصخور الجيرية الذي ينتج عنه كهوف جيرية تتعرض سقوفها للهبوط والانهيال بسبب قوة الضغط الناتج عن ثقل تراكم الرواسب و المفتتات الصخرية فوق طبقات هشة ، فتهدم إلى أسفل المنحدر على شكل كتل صخرية مقوضه ذات فراغات متباينة الحجم يصل طول بعضها إلى عدة أمتار، تتمثل بحفر إذابة هابطة تسمى بالحفر الانهيارية الجيرية والدولومايتية التي يكثر تواجدها في مناطق الأحايوة ونجع الدير وأولاد موسى وأولاد الشيخ ، و مما يزيد من خطورتها أن أسقفها معرضة للانهيال بسبب قلة سمكها (لا تزيد في الغالب عن الواحد متر) كما توضحه الصورة(٤).

٤- الزحف الصخري Rock Creeping

تتمثل في حركة زحف المواد الصخرية والتربة والحطام الصخري الخشن بشكل بطيء على سفوح الهضبة في المناطق التي يقل فيها الانحدار عن ٤٥ درجة (ريتشي ١٩٦٣) في اتجاه يتوافق مع ميل المنحدر ، ويتكرر حدوث هذه العملية في جوانب منحدرات المراوح الفيضية بأودية الأحايوة وعمار و نجع الدير كما سلف ذكره.



الصورة على اليمين نجع الدير وعلى اليسار الأحايوة _ تاريخ التصوير : ١٢ أغسطس ٢٠٢٢م _ اتجاه الناظر : صوب الشرق
الموقع : الجانب الأيمن لمروحة وادي الأحايوة _ تاريخ التصوير : ١٢ أغسطس ٢٠٢٢م _ اتجاه الناظر : صوب الجنوب

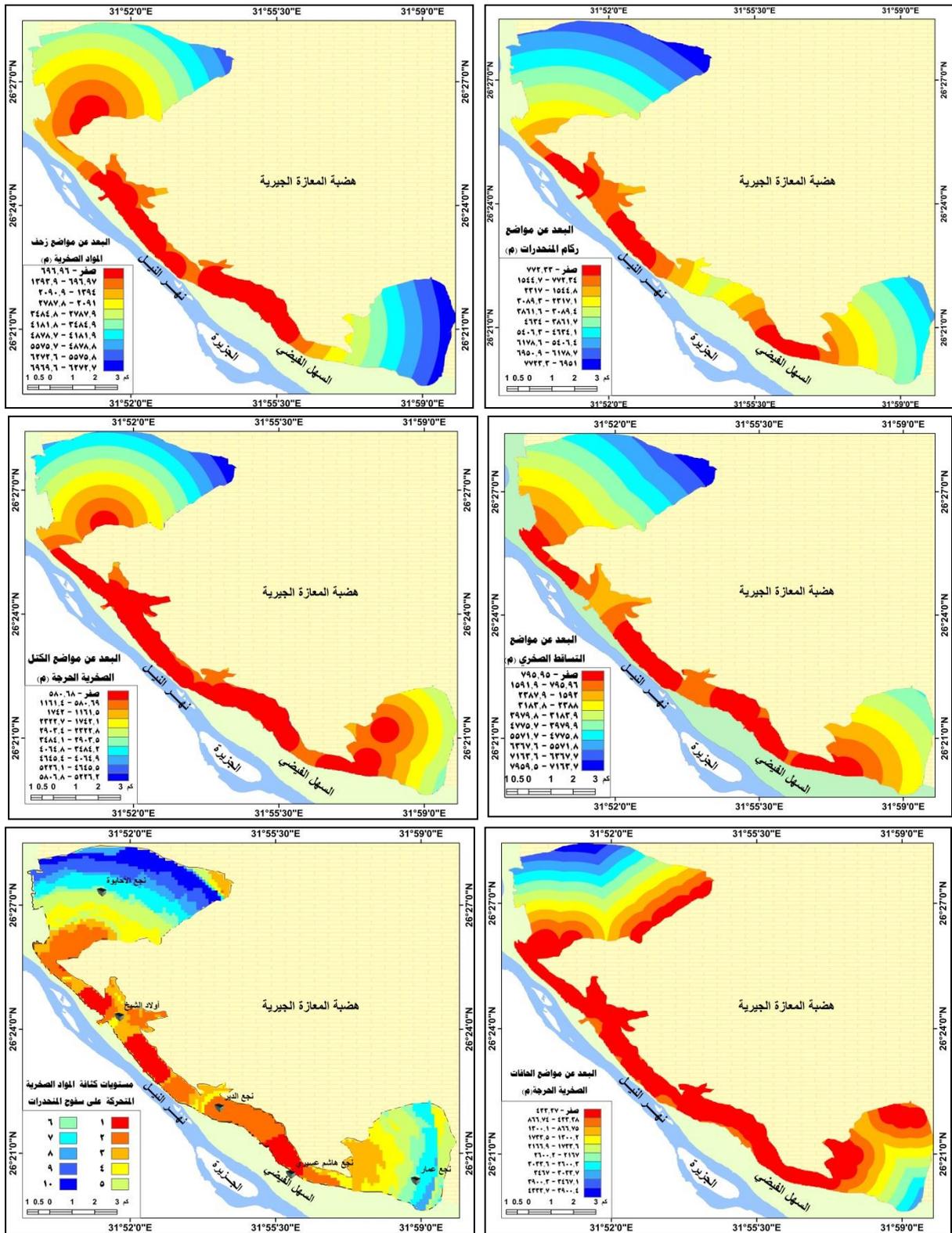
صورة (٤) إحدى الحفر الانهيارية على جوانب منحدرات الحافة بمنطقة الدراسة

٥- انسياب المفتتات الصخرية

تعد عمليات التجوية المسبب الرئيس لانسياب المفتتات الصخرية على منحدرات الحافة ، منها مفتتات غير مصنفة تصل إلى حضيض المنحدرات ويزداد سمكها في المواضع التي تزيد فيها درجات انحدار سفح الهضبة ، ومنها ما يظل متموضعا في الأجزاء المقعرة والمستوية على سفوح تلك المنحدرات ، وقد عملت امتصاص قوة الكتل الصخرية صغيرة الحجم المتساقطة من أعلى الحافة على تثبيتها بشكل جزئي ، إلا أنها لازالت غير مستقرة ، وتشكل خطورة على المواضع التي استقرت عليها ، وقد تنهال هذه المفتتات لتصل إلى حضيض الحافة فتكون ما يعرف بركام الهشيم Talus التي تتساب على المزروعات الواقعة تحت حضيض الهضبة ، وقد أكدت دراسة (الدسوقي ، ١٩٩٠ ، ص ٢١٥) أن تراكم المواد المفككة عند أقدام السفوح تؤدي إلى حمايتها من عوامل التشكيل المختلفة ، بينما تتعرض الوحدات العليا منها لتأثير عمليات التفكك والتحلل والسقوط الصخري ، وبذلك تتراجع الوحدات العليا من السفوح ، وتتقدم الوحدات الدنيا نتيجة لتراكم المواد الصخرية المفككة.

ومن خلال تحليل الخريطة الانحدارية لمنحدرات حافة الهضبة تمكن الباحث من رصد مواضع السقوط والانزلاق الصخري بالمنطقة ، فتبين أن هذا النوع من الحركة على الواجهات الحرة المكشوفة بها ، وقد ساعد على ذلك شدة الانحدار ، وكثرة الشقوق والفواصل الرأسية ، و تعاقب طبقات الحجر الجيري مع أشرطة المارل اللينة ، ونشاط عمليات التفكك الميكانيكي للصخور، وعمليات التقويض السفلي بفعل مياه الأمطار خاصة في الأجزاء العليا من منحدرات الحافة ، ونشاط عمليات التجوية الكيميائية التي تتسبب في زيادة اتساع الفجوات ونطاقات الضعف الصخري ، والتي يؤدي تزايد اتساعها مع مرور الوقت إلى انهيار أسقفها و انفصالها عن الصخر الأصلي الأمر الذي أدى بدوره إلى تراجع منحدرات الحافة الهضبية.

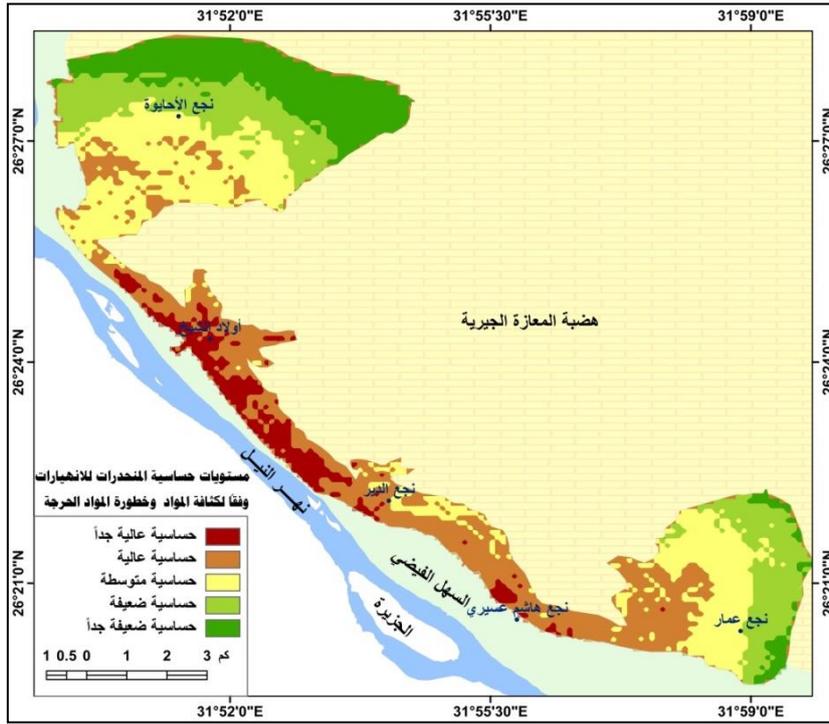
وتجدر الإشارة هنا إلى أن الباحث قد قام بعمل مسح ميداني لمنطقة وقام برصد المواضع المتأثرة بحركة المواد و التي تم تصنيف أنماطها و رصد مواضعها بجهاز GPS كما يوضحه ملحق (١) وتوقيع تلت النقاط على خرائط لرسم خريطة لمواضع الحركة وفقاً لأنماطها المختلفة كما يوضحه الشكل التالي .:



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arcmap10.5.

شكل (٢٢) المسافة المعيارية وفقاً للعمليات المورفوديناميكية السائدة

ومن خلال نمذجة المعايير السابقة تبين ارتفاع مستويات حساسية منحدرات المنطقة بين نجع الدير ونفق الأحايوة للانزلاقات الصخرية وفقاً لكثافة المواد الصخرية المتحركة والبعد عن المواضع الحرجة ، تليها باقي منحدرات حافة الهضبة المشرفة على السهل الفيضي من أقصى شمال المنطقة لأقصى جنوبها ، ثم تتضاءل مستويات الحساسية لتصل أدناها على الجانبين الشرقي لمروحة وادي عمار و الغربي لمروحة وادي الأحايوة كما يوضحه الشكل التالي .

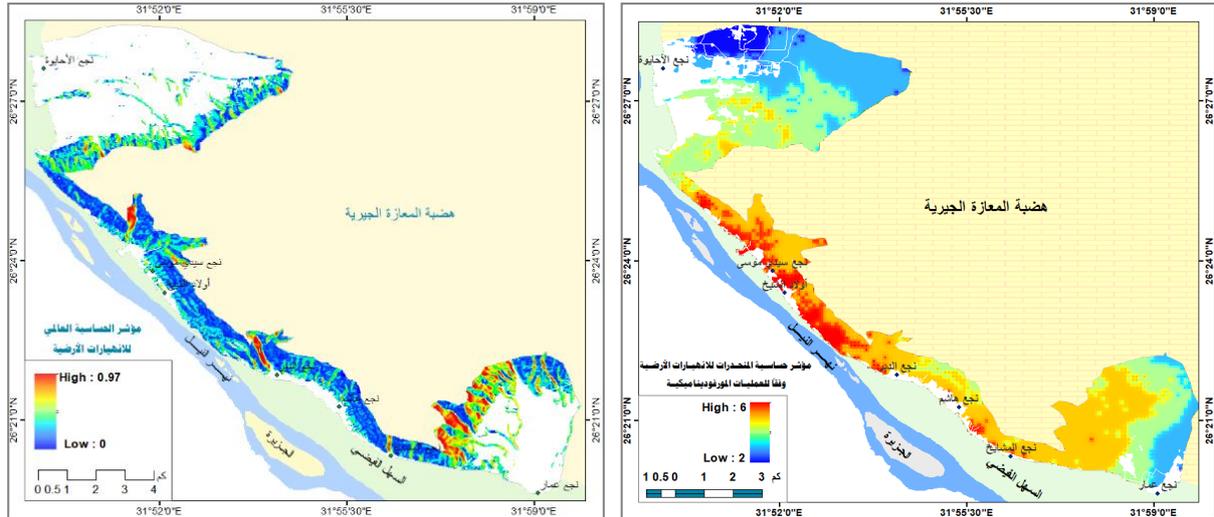


شكل (٢٣) مستويات حساسية المنحدرات للانزلاقات وفقاً لنمذجة العمليات المورفوديناميكية

وتجدر الإشارة هنا إلى أنه بعد القيام بعملية التطابق الموزون للمعايير السابقة واستبعاد الأسطح الصماء (الطرق والمباني) والأراضي الزراعية، تم حساب مؤشر حساسية المنحدرات للانزلاقات الأرضية وفقاً للعمليات المورفوديناميكية (Morphodynamic Sensitivity Index (MSI)، كما تم تتبع المواضع التي انتابتها التشوهات نتيجة التساقط الصخري في الماضي من خلال مؤشر $INSAR^{(١٧)}$ كما يوضحه الشكل (٢٤) بغية ربطها بمواضع الحركة في الوقت الراهن لاستنباط ما إذا كانت مواضع الحركة الحالية والسالفة بينهما ارتباطاً مكاني من عدمه.

$INSAR^{(١٧)}$ هي تقنية لرسم خرائط تشوه تضاريس الأرض باستخدام صور الأقمار الصناعية، ويتم تحميله من الرابط التالي:

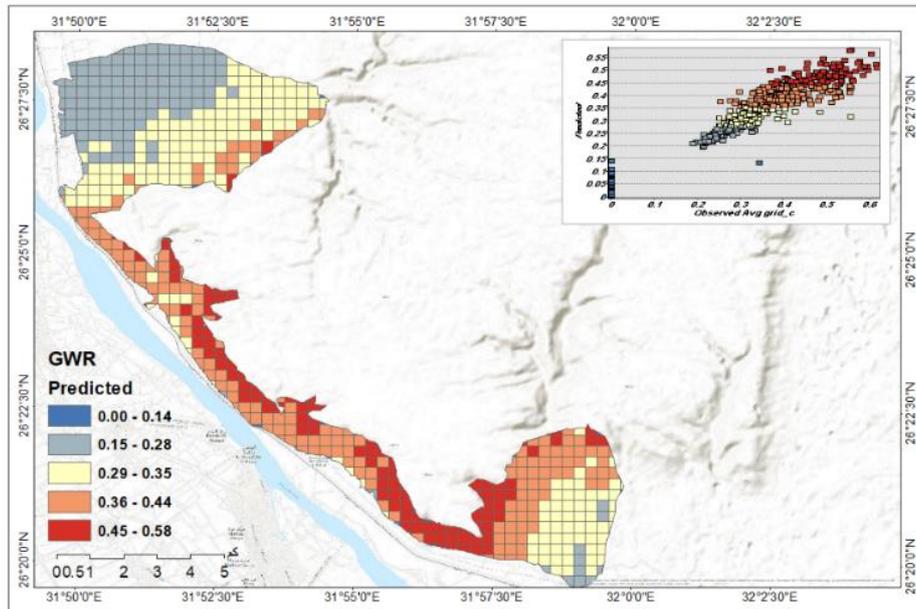
Source: https://data.4tu.nl/articles/dataset/Worldwide_InSAR_sensitivity_index_data_set_for_landslide_deformation_tracking/14095777.



المصدر : من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arc Map 10.5 اعتمادًا على النموذج السابق.

شكل (٢٤) قيم مؤشري MSI & INSAR

وقد تم حساب الانحدار الموزون جغرافياً Geographically Weighted Regression (GWR) لعمل مطابقة مكانية و إظهار الارتباط المكاني بين كلا المؤشرين، فتبين أنه ثمة هناك ارتباط واضح بينهما تراوحت قيمه صفر _ ٠,٥٨، كما أن معظم القيم تركزت حول خط الانحدار كما يوضحه الشكل (٢٥).



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arc Map 10.5.

شكل (٢٥) الانحدار الموزون جغرافياً بين مؤشر INSAR ومؤشر MSI

ثالثاً: التحليل العاملي Analysis Factor:

يعد التحليل العاملي أسلوباً إحصائياً متعدد المتغيرات، يسعى إلى تحديد العوامل التي تساعد في وصف ظاهرة معقدة، عن طريق تحليل مصفوفة الارتباط بين المتغيرات المختلفة الداخلة في وصف الظاهرة وصولاً إلى عوامل محددة تكمن وراء طبيعة العلاقات الداخلية بين تلك المتغيرات، وتجدر الإشارة

هنا إلى أن عملية تفسير العوامل على عدد المتغيرات المتشعبة تشبعا إحصائيا يجب ألا تقل عن ثلاثة متغيرات، حيث إن جميع برامج الإحصاء تشير إلى أن التشبع الدال إحصائيا ينبغي ألا يقل عن (٦،٠)، كما لا يمكن قبوله إلا إذا زادت قيمة الجزر الكامن^(١٨) عن الواحد الصحيح وفقاً لطريقة الفاريماكس Varimax بمحك كايزر Kaiser Criterion^(١٩) (أبو فايد، ٢٠١٦، ص ٧)، ومن خلال تطبيق التحليل العاملي تبين وجود ثلاثة عوامل هي الأكثر تأثيراً في حدوث الانهيارات الأرضية على منحدرات منطقة الدراسة وحولها تدور باقي العوامل المختارة، كما يوضحها الجدول (٨).

جدول (٨) العوامل المؤثرة في تشكيل منحدرات الحافة وتباين متغيراتها

العوامل	قيمة الجزر الكامن	نسبة التباين المفسر ^(٢٠)	نسبة التباين التراكمي
العامل الأول: انحدار السطح	٢٥.٨٢	%٧٨.٢٤١	%٧٨.٢٤١
العامل الثاني: ارتفاع السطح	٢.٨٦٥	%٨.٦٨٢	%٨٦.٩٢٤
العامل الثالث: مؤشر جودة الصخور	٢.٨٣٧	%٨.٥٩٦	%٩٥.٥٢

المصدر: نتائج التحليل الإحصائي باستخدام برنامج SPSSV.25.

١. العامل الأول (انحدار السطح):

يعد هذا العامل من أهم العوامل المسؤولة عن تباين بيانات العوامل المؤثرة في حساسية المنحدرات للانهيارات الأرضية، إذ يفسر وحده نحو ٧٨,٢٤١% من التباين، وبه ترتبط أعلى قيمة للجزر الكامن (٢٥,٨٢)، كما تكثف حول محوره سبعة وعشرين عاملاً، ٢٥% منها تخص العوامل البيولوجية، ٢٢,٢٢% منها تخص العوامل المناخية، ومثلها تخص العوامل الهيدرولوجية، ١٨,٥٢% تخص خصائص السطح، ٧,٤١% تخص العوامل الجيولوجية، بينما يخص الغطاء الأرضي منها نحو ٣,٧% فقط.

٢. العامل الثاني (ارتفاع السطح):

يفسر هذا العامل نحو ٨,٦٨٢% من التباين، كما بلغت قيمة جزره الكامن ٢,٨٦٥، وقد تكثفت حول هذا العامل أربعة عوامل تختص بالخصائص الفيزيائية للصخور ومقاومة القص.

٣. العامل الثالث (مؤشر جودة الصخور):

بلغت قيمة جزره الكامن ٢,٨٣٧، ويفسر نحو ٨,٥٩٦% من التباين، ويعد عاملاً قطبياً، حيث يرتبط مع مسامية الصخور ارتباطاً موجباً، ومع قوتي الشد والضغط ارتباطاً سالباً.

^(١٨) يقصد به مجموع مربعات تشبعات كل المتغيرات على كل عامل على حدة من عوامل المصفوفة.

^{١٩} - محك كايزر محك رياضي في طبيعته اقترحه جوتمان عام ١٩٥٤م، تعتمد فكرته على حجم التباين الذي يعبر عن العامل ومن أجل أن يكون العامل بمثابة فئة تصنيفية فلا بد أن يكون تباينه أو جذره الكامن أكبر أو مساوٍ على الأقل لحجم التباين الأصلي للمتغير.

^{٢٠} - تحسب نسبة التباين المفسر من العلاقة التالية:

التباين المفسر = (الجزر الكامن / مجموع الجزور الكامنة) × ١٠٠ (أبو فايد، ٢٠١٦، ص ٢٢)

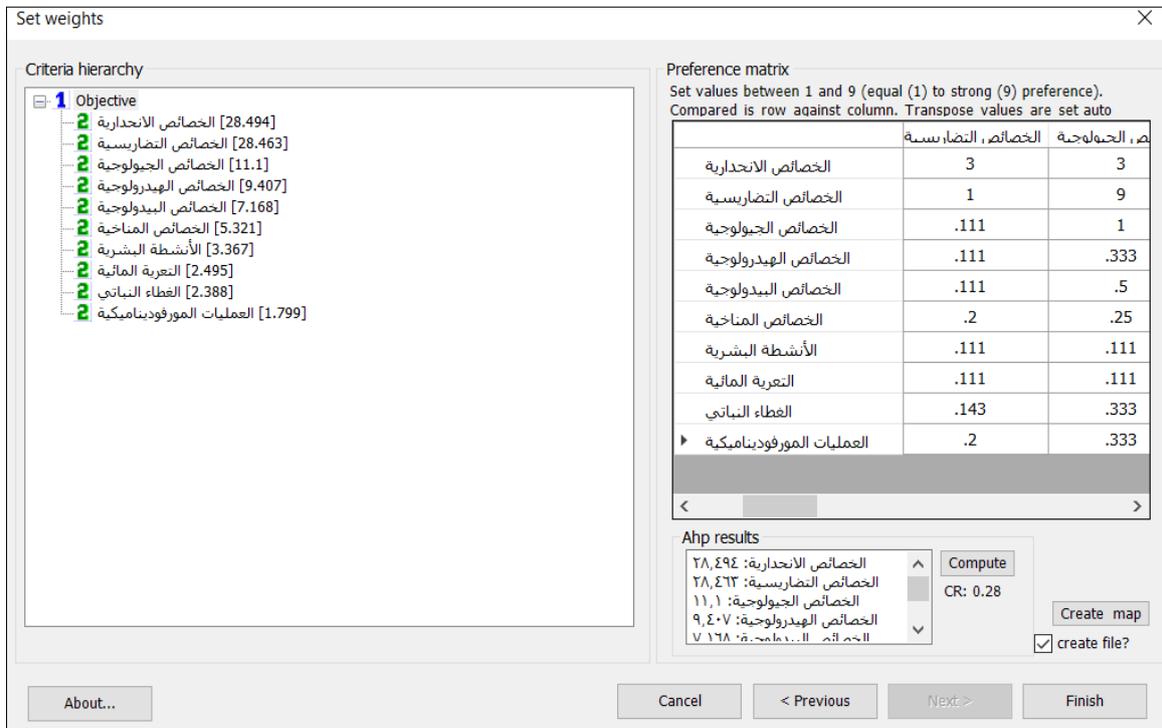
جدول (٩) المصفوفة العاملية لمتغيرات العوامل المؤثرة في حساسية المنحدرات للانهايارات الأرضية

العامل الثالث	العامل الثاني	العامل الأول	العوامل المتغيرات	العامل الثالث	العامل الثاني	العامل الأول	العوامل المتغيرات
	٠.٥٥٩		المسامية		٠.٩١٥		معامل الامتصاص
		٠.٩٧٢	الإشعاع الشمسي - التساقط		٠.٧٤٠		الكثافة
		٠.٩٦٢	التبخّر - SPI - معامل قوة التيار المائي		٠.٦٢٥-		مقاومة القص
		٠.٩٧٤	باقي العوامل		٠.٩٤٥-		قوة الضغط، قوة الشد

المصدر: إعداد الباحث باستخدام برنامج SPSS, V.25

رابعاً: التحليل الهرمي لنمذجة المعايير

تم تقدير الأوزان النسبية للمعايير الموزونة من خلال الأمر Compute من قائمة Set Weights إحدى القوائم الرئيسية ببرنامج extAhp.20 أحد البرامج الملحقة ببرنامج Arc Map 10.5 كما يوضحه الشكل (٢٦).



المصدر: من حسابات الباحث اعتماداً على برنامج extAhp.20

شكل (٢٦) تقدير الأوزان النسبية للمعايير المختارة من قائمة Set Weights

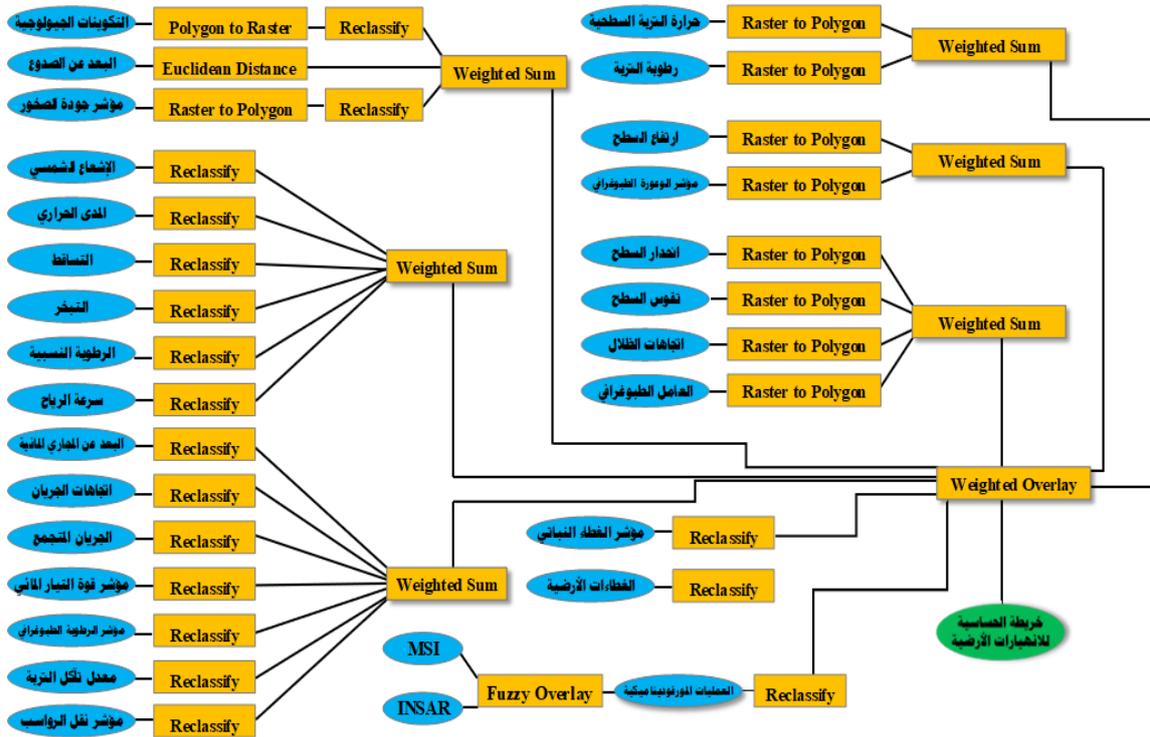
ويوضح الجدول التالي مصفوفة التحليل الهرمي للمعايير الموزونة المستخدمة في بناء نموذج حساسية المنحدرات للانهايارات الأرضية.

جدول (١٠) مصفوفة التحليل الهرمي للمعايير الموزونة^(٢١)

المعايير الموزونة	الاحتمالية	التضاريسية	الجولوجية	الخصائص الجولوجية	الهيدرولوجية	الخصائص الجولوجية	البيولوجية	الخصائص الجولوجية	الاشعاع البشرية	المورفوديناميكية	العمليات الجولوجية	الغطاء النباتي	البعد عن الطرق	الوزن النسبي للمعيار
الخصائص الاحتمالية	١													٢٨.٤٩
الخصائص التضاريسية	٠.٣٣	١												٢٨.٤٦
الخصائص الجولوجية	٠.٣٣	٠.١١	١											١١.١
الخصائص الجولوجية	٠.١١	٠.١١	٠.٣٣	١										٨.٨٢
الخصائص الجولوجية	٠.١١	٠.١١	٠.٥٠	٠.٥٠	١									٧.١٧
الخصائص الجولوجية	٠.١٤	٠.٢٥	٠.٢٥	٠.٢٥	٠.٢٥	١								٥.٣٢
الخصائص الجولوجية	٠.١١	٠.١١	٠.١١	٠.١١	٠.١٤	٠.٢٥	١							٣.٣٧
الخصائص الجولوجية	٠.٢٥	٠.٢٥	٠.١١	٠.١١	٠.٣٣	٠.٣٣	٠.٣٣	١						٢.٥٠
الخصائص الجولوجية	٠.٢٥	٠.١٤	٠.٣٣	٠.٣٣	٠.٣٣	٠.٣٣	٠.٣٣	٠.٣٣	١					٢.٣٩
الخصائص الجولوجية	٠.٢٥	٠.٢٥	٠.٣٣	٠.٣٣	٠.٣٣	٠.٣٣	٠.٣٣	٠.٣٣	٠.٣٣	١				٢.٣٩
المجموع	٢.٨٨	٥.١٥	١٤.٩٧	٢٣.٥٦	٢٤.٢١	٢٩.٨٤	٤٧.٦٨	٤٤.٥٣	٣٣.٣٣	٤٤				١٠٠%

المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على برنامج extAhp20 وتقارير الخبراء.

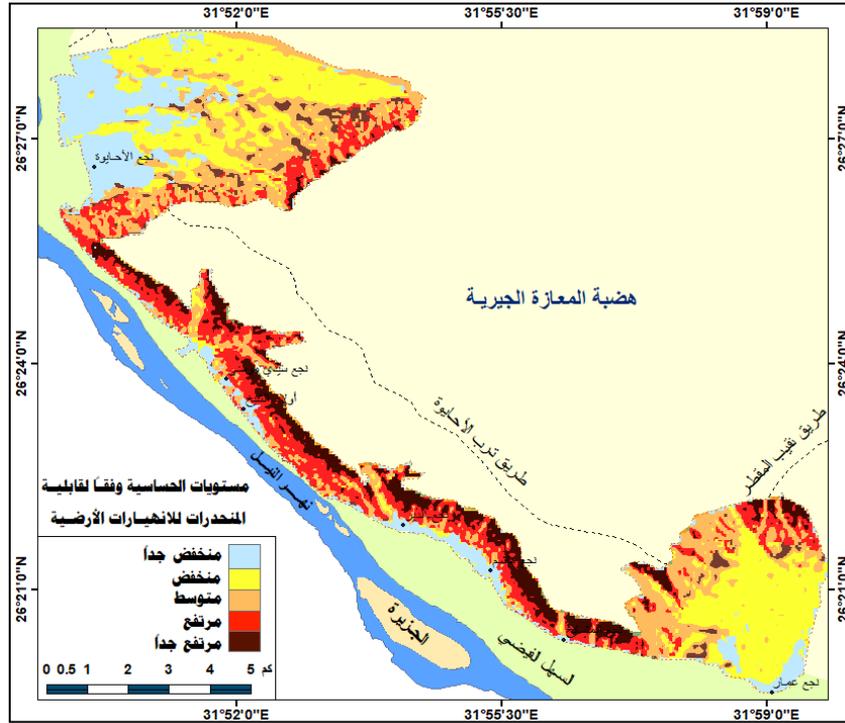
ويوضح الشكل (٢٧) نموذج المحاكاة الذي تم بنائه وفقًا للمعايير الموزونة الموضحة بالجدول السابق، ومنه تم حساب قيم مؤشر الحساسية متعدد المعايير (MCSI) Multicriteria Sensitivity Index مع مراعاة أن المناطق البيضاء تمثل المواضيع عديمة الحساسية للانهيارات الأرضية، وتشمل المناطق التي تم تسويتها بشكل كامل بعيدًا عن مواضع حركة المواد الصخرية والطرق والدروب الممهدة والمناطق الزراعية فوق أسطح المراوح الفيضية.



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arc Map 10.5

شكل (٢٧) نموذج هيكلية لمحاكاة المعايير المؤثرة في حساسية المنحدرات للانهيارات الأرضية

^{٢١} - تشير الأرقام بالجدول إلى درجة الأهمية، حيث ١ = أهمية متساوية، ٣ = أهمية معتدلة، ٥ = أهمية أساسية، ٧ = في غاية الأهمية، ٩ = أهمية مطلقة، ٢، ٤، ٦، ٨ = قيم متوسطة. CR Value = 0.286 وتعني نسبة الاتساق لتحديد قيم الاحتمال، $\lambda_{max} = 13.839$ ، CI = 0.427، وتعني مؤشر الاتساق وتم حسابها من خلال برنامج Analytic Hierarchy Process، Consistency Ratio = 0.2821.



المصدر : نتائج النموذج السابق باستخدام برنامج Arc Map 10.5

شكل (٢٤) قيم مؤشر حساسية المنحدرات متعدد المعايير (MCSI) للانهدارات الأرضية

ويوضح الجدول الآتي توزيع فئات الحساسية والمساحات التي تشغلها بمنطقة الدراسة.

جدول (١١) التوزيع المكاني لمستويات حساسية المنحدرات للانهدارات الأرضية

مجموع	ضعيفة جدًا	ضعيفة	متوسطة	عالية	عالية جدًا	فئات الحساسية
٥٧.٣٦	١٤.١٩	١٥.٠١	١٣.٠١	٨.٧٤	٦.٤٢	المساحة (م ^٢)
%١٠٠	٢٤.٧٣	٢٦.١٧	٢٢.٦٧	١٥.٢٣	١١.٢	% من مساحة المنطقة

المصدر: من حسابات الباحث اعتمادًا على الشكل (٢٧)

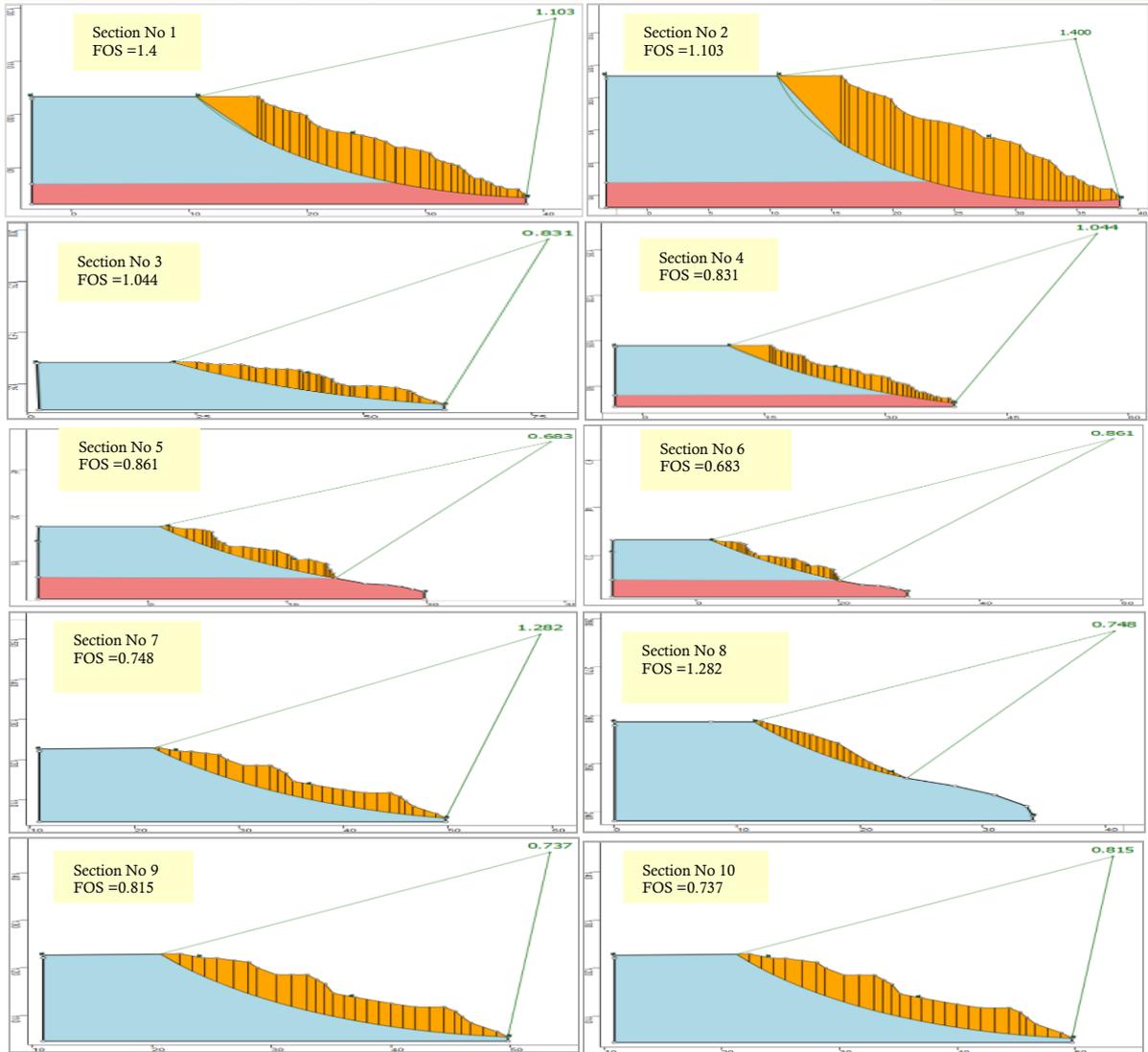
ومن تحليل بيانات الجدول والشكل السابقين يتضح توافق فئات الحساسية العالية مكانياً مع فئات السطح الأكثر ارتفاعاً وانحداراً وتقطعاً بفعل الجريان السيلي، والأقل من حيث الجودة البنوية لصخورها، وتمثلت بشكل رئيس في مواضع الحافات الرأسية والأوجه الحرة على طول قطاع الحافة على هيئة سلسلة متصلة على الجانب الغربي للحافة من أعلى نفق الأحايوة حتى جنوب نجع المشايخ، بينما تشغل المساحات الأكبر لفئة الحساسية المتوسطة للانهدارات الأرضية الجانب الأيسر لمروحة وادي عمار، وتظهر على هيئة مساحات متفرقة على طول امتداد منحدرات الهضبة، ومن الجدير بالذكر أن هذه المواضع على الرغم من شدة ارتفاعها وانحدارها إلا أن تكوين طيبة هو الممثل لهذه الفئة والذي يتسم بسمكه الشديد وجودته البنوية الممتازة مما جعله أكثر مقاومة عن سابقتها، كما يقع نحو ٥٠,٩% من المساحة الكلية للمنطقة ضمن فئتي الحساسية الضعيفة والضعيفة جداً، وتمثلها المراوح الفيضية، والمنشآت البشرية والأراضي المقامة على حضيض الهضبة والمحصورة بين ترعة الفاروقية والحافات الرأسية بمسافات تتراوح بين ٥٠-٣٠٠م، تتسع وتضيق من موضع لآخر حسب بعد حضيض منحدرات الهضبة من مواضع الانهدارات الأرضية.

خامساً: التحقق من صدق النتائج Validation

تم الاعتماد على برنامج HYRCAN. V2.0 لعمل محاكاة لعدد عشرة قطاعات من مواضع مختلفة للتحقق من صدق النتائج لحساب معامل الأمان وفقاً لمعادلة Mohr Coulomb كما يوضحه الجدول والشكل التاليين.

جدول (١١) قيم معامل الأمان لمنحدرات الحافة وفقاً لخصائص العينات الصخرية

الموقع القطع	الوزن وحدة	زاوية الاحتكاك (°)	التماسك (KPa)	FOS	الصخرة الطبيعية	القطاع	الوزن وحدة	زاوية الاحتكاك (°)	التماسك (KPa)	FOS	الموقع الطبيعي
الجانب الأيمن لمروحة الأحايوة	١٨.٥	٤٦	١.٥	١.٤	مستقر	نجع المشايخ	١٩	٢٣	٥.٤	٠.٦٨٣	غير مستقر
الجانب الأيسر لمروحة وادي عمار	١٨	٣٠	٣	١.١٠٣	مستقر	أولاد يحيى	٢٠	٣٠	٢.٣	٠.٧٤٨	غير مستقر
أولاد موسى	١٩	٣٠	٥.٥	٠.٨٦١	غير مستقر	شمال غرب نجع الدبر	٢٠	٢٣	٨.٦	١.٢٨٢	مستقر
سودي موسى	١٨	٣٣	٣	١.٠٤٤	مستقر	أولاد الشيخ "١"	٢٠	١٨	٧.٥	٠.٨١٥	غير مستقر
فوق نفق الأحايوة	٢٠	١٨.٥	٥.٦	٠.٨٣١	غير مستقر	شرق نجع هاشم	٢٠	١٥	٨.٥	٠.٧٣٧	غير مستقر



المصدر: إعداد الباحث باستخدام برنامج HYRCAN 2.0

شكل (٢٥) محاكاة أسطح الانهيار المحتملة وحساب معامل الأمان لمنحدرات منطقة الدراسة

(٢٢) يقصد بها زاوية الميل المعيارية لسطح الانزلاق عند قيمة مماثلة أو أكبر يحدث الانزلاق عندما يساوي التماسك صفر (Singh & Prakash, 2002).

سادساً: النتائج والتوصيات:

١. النتائج:

- توصلت الدراسة إلى بعض النتائج ذات الأهمية، والتي تمثلت فيما يلي:
- تمثل تكوينات الإيوسين الأسفل أقدم التكوينات الجيولوجية بمنطقة الدراسة ومثلها تكويني طيبة ودرنكة ذوي التكوين الجيري الذي يغطي نحو ٤٢.٥٣% من مساحة التكوينات الجيولوجية المكشوفة بالمنطقة، وقد انعكس هذا بدوره على قوام تربتها الجيرية الطفلية، أما عن باقي التكوينات فتظهر مكاشفها وسط محيط من أسطح عدم التوافق والرواسب المفككة من الحصى الجيري والرمال الكوارتزية الطمي وظمي النيل الحديث.
 - أن ٥٥,٢٨% من سطح المنطقة يتدرج بين المتوسط الوعورة والوعر، كما أن ٤٨% من منحدراتها محدبة.
 - قدرت مساحة الأجزاء عالية الحساسية للانهيارات الأرضية بنحو ٨,٧٤ كم^٢ من مساحة المنطقة، أي ما يعادل ١٥,٢٣% من تلك المساحة، في حين شغلت المواضع ذات الحساسية العالية جداً بنحو ١١,٢% من المساحة الكلية للمنطقة، وهو ما يعادل ٦,٤٢ كم^٢، كما شغلت المواضع ذات الحساسية المتوسطة للانهيارات الأرضية نحو ١٣,٠١ كم^٢ أي ما يوازي ٢٢,٦٧% من مساحة المنطقة المدروسة، أما عن المواضع ذات الحساسية الضعيفة والضعيفة جداً شغلت على الترتيب نحو ١٥,٠١، و١٤,١٩ كم^٢ من مساحة المنطقة أي ما يعادل ٥٠,٩% من تلك المساحة، أما عن التوزيع المكاني لتلك المساحات فقد شغلت المواضع ذات الحساسية العالية، والعالية جداً مواضع الحافات الانكسارية والأوجه الحرة من أقصى شمال الجانب الأيمن لمروحة وادي الأحايوة حتى جنوب شرق نجع المشايخ، وإن كانت تقترب من السهل الفيضي أسفل منحدرات الهضبة فوق نفق الأحايوة، تلاها نطاق المواضع ذات الحساسية المتوسطة الذي مثله بوضوح منحدرات الجانب الشمالي لمروحة وادي عمار فيما فوق ٢٠٠م فأكثر، بينما مثلت المراوح الفيضية والمناطق المأهولة بالسكان بعيداً عن المواضع سالفة الذكر باقي الفئات.
 - يعد انحدار سطح المنطقة أكثر العوامل المؤثرة في حدوث الانهيارات الأرضية بها، حيث أسفرت نتائج التحليل العاملي عن تفسيره لنحو ٧٨,٢٤% من التباين وتكثف حوله سبعة وعشرين عاملاً بارتباطات تراوحت بين ٠,٩٦٢ _ ٠,٩٧٤، وجاء عامل ارتفاع السطح في المرتبة الثانية، والذي فسر نحو ٨,٦٨٢% من هذا التباين وتكثف حوله أربعة عوامل، كما احتل عامل مؤشر جودة الكتل الصخرية المرتبة الثالثة، وجاء مفسراً لنحو ٨,٥٩٦% من هذا التباين.
 - أكدت نتائج المحاكاة ببرنامج HYRCAN صحة النتائج التي توصل إليها النموذج المعد للدراسة في القطاعات المختارة، فقد تراوحت قيم معامل الأمان بها بين ٠,٦٨٣ - ١,٢٨٢ وتباينت هذه القيم من موضع لآخر حسب تباين زوايا الاحتكاك وتماسك الكتل الصخرية.

٢. التوصيات:

تقترح الدراسة ما يلي:

- ضرورة تجنب البناء على المنحدرات الشديدة ومواقع الانهيارات الأرضية الحالية، والتخطيط المستقبلي للمواقع الأكثر حساسية لتلك الانهيارات لتحقيق عامل الأمان للأرواح والممتلكات في ضوء اختيار أنسب المواقع للبناء وتحديد مادة البناء واختيار الطرق المثلى لتحقيق ذلك في ضوء تكاتف الدراسات الجيومورفوهنسية، والبيدولوجية، والهيدرولوجية.
- تثبيت المنحدرات الأكثر عرضة للانهيارات الأرضية من خلال عمل مصاطب مقعرة على واجهة المنحدرات عند خطوط التساقط الواقعة أسافلها لاصطياد للكتل الصخرية المحتمل تساقطها والحيلولة دون وصولها لمواطن الاستقرار البشري، وتوجيه المياه السطحية بعيدًا عن المواقع الأكثر حساسية للانهيارات الأرضية، والحد من عمليات الري السطحي للزراعات القائمة على المنحدرات واستبداله بالري بالتنقيط.
- نقل تربة الجزر النيلية قبالة منطقة الدراسة واستغلالها في زراعة أسطح المرواح الفيضية، والمناطق الواقعة تحت حضيض الهضبة.
- تمديد أذرع للنمو العمراني أعلى سطح الهضبة على طول امتداد طريق ترب الأحيوية.
- تضافر جهود العلوم الأرضية بما فيها علوم الجيومورفولوجيا والجيوماتيكس للعمل في مجموعات علمية Team Work لدراسة المخاطر الطبيعية في ضوء أسس علمية سليمة كل في حدود تخصصه للخروج بنتائج دقيقة تساعد متخذي القرار على التخطيط المستدام.

ملحق (١) مواقع أنماط حركة المواد المرصودة على منحدرات الهضبة بمنطقة الدراسة

Latitude			Longitude			نوع الحركة السائدة	الموقع	Latitude			Longitude			نوع الحركة السائدة	المرتفع
D	M	S	D	M	S			D	M	S	D	M	S		
٢٦	٢٥	٤٩	٣١	٤٩	٤٥	تساقط صخري	٥٧	٢٦	٢٠	٩	٣١	٥٧	٣٤	تساقط صخري	١
٢٦	٢٥	٥٠	٣١	٤٩	٤٥	تساقط صخري	٥٨	٢٦	٢٠	١٥	٣١	٥٧	٥	تساقط صخري	٢
٢٦	٢٥	٥٠	٣١	٤٩	٤٤	تساقط صخري	٥٩	٢٦	٢٠	١٦	٣١	٥٦	٤٤	تساقط صخري	٣
٢٦	٢٥	٥١	٣١	٤٩	٤٤	تساقط صخري	٦٠	٢٦	٢٠	١٤	٣١	٥٦	٥٧	تساقط صخري	٤
٢٦	٢٥	٤٩	٣١	٤٩	٤٦	تساقط صخري	٦١	٢٦	٢٠	١٤	٣١	٥٦	٥٤	تساقط صخري	٥
٢٦	٢٥	٥٠	٣١	٤٩	٤٧	تساقط صخري	٦٢	٢٦	٢٠	١٩	٣١	٥٦	٣٦	ركام هشيم	٦
٢٦	٢٥	٤٨	٣١	٤٩	٤٧	تساقط صخري	٦٣	٢٦	٢٠	٢٠	٣١	٥٦	٣٠	ركام هشيم	٧
٢٦	٢٥	٥٢	٣١	٤٩	٤٤	تساقط صخري	٦٤	٢٦	٢٠	٢١	٣١	٥٦	٢٤	ركام هشيم	٨
٢٦	٢٥	٤٥	٣١	٤٩	٤٩	تساقط صخري	٦٥	٢٦	٢٠	٢٨	٣١	٥٥	٥٢	ركام هشيم	٩
٢٦	٢٥	٣٤	٣١	٤٩	٥٧	تساقط صخري	٦٦	٢٦	٢٠	٤٤	٣١	٥٥	٤٥	تساقط صخري	١٠
٢٦	٢٥	٣٦	٣١	٤٩	٥٥	تساقط صخري	٦٧	٢٦	٢٠	٥٢	٣١	٥٥	٤٠	تساقط صخري	١١
٢٦	٢٦	٢	٣١	٥١	٢	انسياب مفتتات صخرية	٦٨	٢٦	٢٠	٥٧	٣١	٥٥	٣٨	تساقط صخري	١٢
٢٦	٢٦	٣	٣١	٥١	١	انسياب مفتتات صخرية	٦٩	٢٦	٢١	٤	٣١	٥٥	٣٢	تساقط صخري	١٣
٢٦	٢٦	١	٣١	٥١	٠	انسياب مفتتات صخرية	٧٠	٢٦	٢١	٩	٣١	٥٥	٣١	انسياب مفتتات صخرية	١٤
٢٦	٢٦	٠	٣١	٥١	٠	انسياب مفتتات صخرية	٧١	٢٦	٢١	١٦	٣١	٥٥	٣٠	انسياب مفتتات صخرية	١٥
٢٦	٢٦	٢	٣١	٥٠	٥٩	انسياب مفتتات صخرية	٧٢	٢٦	٢١	٢٤	٣١	٥٥	٢٥	انسياب مفتتات صخرية	١٦
٢٦	٢٦	٣	٣١	٥٠	٦٠	انسياب مفتتات صخرية	٧٣	٢٦	٢١	٢٨	٣١	٥٥	١٨	انسياب مفتتات صخرية	١٧
٢٦	٢٦	١	٣١	٥١	٠	انسياب مفتتات صخرية	٧٤	٢٦	٢١	٣٤	٣١	٥٥	٤٤	انسياب مفتتات صخرية	١٨
٢٦	٢٦	٣	٣١	٥٠	٥٩	انسياب مفتتات صخرية	٧٥	٢٦	٢١	٣٩	٣١	٥٤	٦٠	انسياب مفتتات صخرية	١٩
٢٦	٢٦	٢	٣١	٥٠	٥٨	انسياب مفتتات صخرية	٧٦	٢٦	٢١	٤٥	٣١	٥٤	٥٥	انسياب مفتتات صخرية	٢٠
٢٦	٢٦	٠	٣١	٥٠	٥٩	انسياب مفتتات صخرية	٧٧	٢٦	٢١	٤٦	٣١	٥٤	٤٧	انسياب مفتتات صخرية	٢١
٢٦	٢٥	٥٨	٣١	٥٠	٦٠	انسياب مفتتات صخرية	٧٨	٢٦	٢١	٤٧	٣١	٥٤	٤٤	انسياب مفتتات صخرية	٢٢
٢٦	٢٥	٦٠	٣١	٥٠	٦٠	انسياب مفتتات صخرية	٧٩	٢٦	٢١	٥١	٣١	٥٤	٣٧	انسياب مفتتات صخرية	٢٣
٢٦	٢٥	٥٩	٣١	٥٠	٦٠	انسياب مفتتات صخرية	٨٠	٢٦	٢١	٥٣	٣١	٥٤	٣١	انسياب مفتتات صخرية	٢٤
٢٦	٢٥	٥٩	٣١	٥١	١	انسياب مفتتات صخرية	٨١	٢٦	٢١	٥٤	٣١	٥٤	٢٦	انسياب مفتتات صخرية	٢٥
٢٦	٢٥	٦٠	٣١	٥٠	٥٧	انسياب مفتتات صخرية	٨٢	٢٦	٢١	٥٩	٣١	٥٤	٣	انسياب مفتتات صخرية	٢٦
٢٦	٢٥	٥٨	٣١	٥٠	٥٧	انسياب مفتتات صخرية	٨٣	٢٦	٢٢	٣١	٣١	٥٢	٥٦	انسياب مفتتات صخرية	٢٧
٢٦	٢٦	٢	٣١	٥١	١	انسياب مفتتات صخرية	٨٤	٢٦	٢٢	٤٣	٣١	٥٢	٤٠	ركام هشيم	٢٨
٢٦	٢٦	٢	٣١	٥٠	٦٠	انسياب مفتتات صخرية	٨٥	٢٦	٢٢	٥٦	٣١	٥٢	٣١	تساقط صخري	٢٩
٢٦	٢٦	١٨	٣١	٥١	٤	انسياب مفتتات صخرية	٨٦	٢٦	٢٢	٣	٣١	٥٢	٢٦	انسياب مفتتات صخرية	٣٠
٢٦	٢٦	٣	٣١	٥٥	٣٧	تساقط صخري	٨٧	٢٦	٢٣	١٨	٣١	٥٢	٢٠	تساقط صخري	٣١
٢٦	٢١	٦	٣١	٥٥	٣٥	انسياب مفتتات صخرية	٨٨	٢٦	٢٣	٢٨	٣١	٥٢	٢٧	تساقط صخري	٣٢
٢٦	٢١	١١	٣١	٥٥	٣٥	انسياب مفتتات صخرية	٨٩	٢٦	٢٣	٢٨	٣١	٥٢	٢٥	انسياب مفتتات صخرية	٣٣
٢٦	٢١	١٩	٣١	٥٥	٣٣	انسياب مفتتات صخرية	٩٠	٢٦	٢٣	٢٨	٣١	٥٢	٢٣	انسياب مفتتات صخرية	٣٤
٢٦	٢١	٢٠	٣١	٥٥	٣٣	انسياب مفتتات صخرية	٩١	٢٦	٢٣	٢٩	٣١	٥٢	٢٥	انسياب مفتتات صخرية	٣٥
٢٦	٢١	٤٥	٣١	٥٥	٤	تساقط صخري	٩٢	٢٦	٢٣	٢٥	٣١	٥٢	٢٥	تساقط صخري	٣٦
٢٦	٢١	٣٢	٣١	٥٥	٢٠	انسياب مفتتات صخرية	٩٣	٢٦	٢٣	٢٦	٣١	٥٢	٢٤	ركام هشيم	٣٧
٢٦	٢١	٣٤	٣١	٥٥	٢١	انسياب مفتتات صخرية	٩٤	٢٦	٢٣	٢٧	٣١	٥٢	٢٧	انسياب مفتتات صخرية	٣٨
٢٦	٢١	٤١	٣١	٥٥	١٤	انسياب مفتتات صخرية	٩٥	٢٦	٢٣	٣٥	٣١	٥٢	٤	انسياب مفتتات صخرية	٣٩
٢٦	٢١	٤٢	٣١	٥٥	١٥	انسياب مفتتات صخرية	٩٦	٢٦	٢٤	١٠	٣١	٥١	٤٦	انسياب مفتتات صخرية	٤٠
٢٦	٢١	٤٢	٣١	٥٥	١٣	انسياب مفتتات صخرية	٩٧	٢٦	٢٤	٢٣	٣١	٥١	٢٤	انسياب مفتتات صخرية	٤١
٢٦	٢١	٤٢	٣١	٥٥	١٢	انسياب مفتتات صخرية	٩٨	٢٦	٢٤	٣٠	٣١	٥١	٢٤	انسياب مفتتات صخرية	٤٢
٢٦	٢١	٤٥	٣١	٥٥	٤	انسياب مفتتات صخرية	٩٩	٢٦	٢٤	٣١	٣١	٥١	١٨	ركام هشيم	٤٣
٢٦	٢١	٤٩	٣١	٥٤	٥٨	انسياب مفتتات صخرية	١٠٠	٢٦	٢٤	٣٢	٣١	٥١	١٥	ركام هشيم	٤٤
٢٦	٢١	٤٧	٣١	٥٥	٣	انسياب مفتتات صخرية	١٠١	٢٦	٢٤	٣٣	٣١	٥١	١٣	ركام هشيم	٤٥
٢٦	٢١	٥٤	٣١	٥٤	٤٦	تساقط صخري	١٠٢	٢٦	٢٤	٣٥	٣١	٥١	١١	ركام هشيم	٤٦
٢٦	٢١	٥٤	٣١	٥٤	٤٨	انسياب مفتتات صخرية	١٠٣	٢٦	٢٤	٤٠	٣١	٥١	٧	ركام هشيم	٤٧
٢٦	٢١	٥٥	٣١	٥٤	٤٨	انسياب مفتتات صخرية	١٠٤	٢٦	٢٤	٤٨	٣١	٥٠	٥٥	ركام هشيم	٤٨
٢٦	٢٢	٥	٣١	٥٤	٣	انسياب مفتتات صخرية	١٠٥	٢٦	٢٤	٥٠	٣١	٥٠	٤٧	ركام هشيم	٤٩
٢٦	٢٢	٥	٣١	٥٤	١٠	انسياب مفتتات صخرية	١٠٦	٢٦	٢٤	٥٧	٣١	٥٠	٣٨	تساقط صخري	٥٠
٢٦	٢٢	٧	٣١	٥٤	٧	انسياب مفتتات صخرية	١٠٧	٢٦	٢٥	٤٣	٣١	٤٩	٥٠	تساقط صخري	٥١
٢٦	٢٢	١١	٣١	٥٤	٢	انسياب مفتتات صخرية	١٠٨	٢٦	٢٥	٤٤	٣١	٤٩	٤٩	تساقط صخري	٥٢
٢٦	٢٢	٣٤	٣١	٥٣	١١	تساقط صخري	١٠٩	٢٦	٢٥	٤٥	٣١	٤٩	٤٨	تساقط صخري	٥٣
٢٦	٢٢	٢٩	٣١	٥٣	١٠	تساقط صخري	١١٠	٢٦	٢٥	٤٦	٣١	٤٩	٤٨	تساقط صخري	٥٤
٢٦	٢١	٠	٣١	٥٥	٣٩	انسياب مفتتات صخرية	١١١	٢٦	٢٥	٤٧	٣١	٤٩	٤٧	تساقط صخري	٥٥
								٢٦	٢٥	٤٨	٣١	٤٩	٤٦	تساقط صخري	٥٦

المصدر: الدراسة الميدانية باستخدام جهاز GPS.

سابقًا: المصادر والمراجع:

١. المصادر:

١. الخرائط الجيولوجية مقياس ١:١٠٠٠٠٠٠ لوحات قصب وسوهاج وجرجا إنتاج هيئة المساحة الجيولوجية عامي ٢٠٠٣، ٢٠٠٤ م، والخريطة الطبوغرافية لوحة جرجا مقياس ١: ٥٠٠٠٠٠.
٢. نموذج ارتفاعات رقمي دقة ١٥ م تم تحميله من موقع EARTHDATA التابع لوكالة ناسا من الرابط <https://search.asf.alaska.edu>.
٣. لاندسات ٨ لعامي ١٩٨٥م _ ٢٠٢٢م، والخرائط المعرفة من صور Google Earth Pro.

٢. المراجع:

• المراجع العربية:

١. أبو فايد، أحمد (٢٠١٦)، التحليل العاملي: مفهومه، أهدافه، شروطه، أنواعه، خطواته، مثال تطبيقي لكيفية استخراج التحليل العاملي بنظام SPSS، جامعة الأزهر، غزة.
٢. أبو هشيمة، مصطفى أمين (٢٠١٢): دليل الاختبارات المعملية لمواد إنشاء رصفيات الطرق " اختبارات التربة - اختبارات الركام"، معمل هندسة الطرق والمرور، كلية الهندسة، جامعة الفيوم.
٣. أحمد، سحر نور الدين توفيق (٢٠٢١) النمذجة الديناميكية لتقدير انجراف التربة في المنطقة فيما بين رأس حوله ورأس علم الروم بالساحل الشمالي الغربي لمصر دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية، مجلة كلية الآداب، جامعة الفيوم، ع ١ يناير.
٤. الحداد، خالد أحمد عبد الله وآخرون (ب. ت): دراسة بعض الخواص الفيزيائية الصخور الحجر الجيري تكوين كوميتان - منطقة دوكان - شمال شرق السليمانية - العراق.
٥. الدسوقي، صابر أمين (٢٠١٥م)، طرق دراسة المنحدرات في الأراضي الجافة وشبه الجافة، الجمعية المصرية للتغيرات البيئية، المجلة المصرية للتغير البيئي، المجلد السابع، ع ١، مصر.
٦. الصحاف، مهدي محمد (١٩٧٦) التصريف النهري والعوامل المؤثرة فيه، مجلة الجمعية الجغرافية العراقية، مطبعة العاني، بغداد.
٧. العبدان، رحيم حميد ثامر (٢٠٠٤)، الأشكال الأرضية لحوض وادي عامج، أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة بغداد، كلية الآداب، قسم الجغرافيا.
٨. أوغلي، زهرة إتش ٢٠١١، تحليل استقرار المنحدرات باستخدام طريقة تخفيض مقاومة القص، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة حلب، كلية الهندسة المدنية، قسم الهندسة الجيوكتونية.

٩. حجاب، محمود أحمد (٢٠١٣) حركة المواد على منحدرات الحافة الشرقية لوادي النيل فيما بين وادي الطارف جنوباً ووادي الأحايوة شمالاً، الإنسانيات دورية علمية محكمة تصدرها كلية الآداب، جامعة دمنهور، الإصدار الثالث الملحق بالعدد ٤١.
١٠. خطاب، محمد إبراهيم محمد (٢٠١٣)، استخدام نظم المعلومات الجغرافية في دراسة جيومورفولوجية الأودية شرق سوهاج بين وادي أبو شيخ ووادي قصب، رسالة دكتوراه غير منشورة، جامعة القاهرة، كلية الآداب، قسم الجغرافيا.
١١. دسوقي، صابر أمين (٢٠١٩): مبادئ الجيومورفولوجيا، بنها، مصر.
١٢. شحادة، نعمان (٢٠٠٩) علم المناخ، دار صفاء للنشر والتوزيع، عمان، الأردن.
١٣. شعوان، جمال، وفالح، علي، وصديقي، عبدالحميد، وأسرار، هيثم (٢٠١٣) توظيف الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في التقييم الكمي للتعرية المائية بحوض واد أمزاز (الحوض الأوسط) من خلال نموذج جافريلوفيك، مجلة جغرافية المغرب، مجلد ٢٨، عدد ١.
١٤. صابر، أحمد إبراهيم محمد (٢٠١٢): أخطار التجوية الملحية على المباني الأثرية بمدينة القاهرة، سلسلة بحوث جغرافية، كلية الآداب، جامعة بور سعيد، العدد السابع والأربعون.
١٥. صالح، كريم مصلح (٢٠٠٠)، الأخطار الطبيعية على الجانب الشرقي لوادي النيل بين أولاد يحيى جنوباً والسلاموني شمالاً بسوهاج - مجلة كلية الآداب بسوهاج - العدد ٢٣ - الجزء الأول.
١٦. صبره، محمد نور الدين (٢٠١٠)، الأخطار البيئية بمحافظة سوهاج (دراسة جغرافية)، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة سوهاج، كلية الآداب، قسم الجغرافيا.
١٧. صونيا سركيس، إياد عباس، لما معلا (٢٠١٥)، تقييم الحساسية للانهيارات الأرضية في الساحل السوري باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الهندسية (مجلد ٣٧) العدد ٤.
١٨. عبد الحميد، صبحي عبد الحميد عبد الجواد (٢٠١٨) أخطار السقوط الصخري للمنحدرات على الطريق الساحلي في منطقة العين السخنة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد "دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية"، رسالة دكتوراه غير منشورة، جامعة حلوان، كلية الآداب، قسم الجغرافيا.
١٩. عبد الله، محمد عبد المعتمد عبد الرسول (٢٠١١)، الأخطار الجيومورفولوجية على المناطق الأثرية بمحافظة سوهاج "دراسة باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد"، رسالة دكتوراه غير منشورة، جامعة كفر الشيخ، كلية الآداب، قسم الجغرافيا.

٢٠. عبده، أسامه حسين شعبان (٢٠٠٥)، الأخطار الجيومورفولوجية بالجانب الشرقي لوادي النيل بمحافظة سوهاج (دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية)، رسالة دكتوراه غير منشورة، جامعة المنيا، كلية الآداب، قسم الجغرافيا.

٢١. عسل، محمد سامي (١٩٨٢)، الجغرافيا الطبيعية، ط ٢، القاهرة، مكتبة الانجلو المصرية.

٢٢. محمود، جعفر حسين (٢٠٠٤) تقييم المخاطر البيئية في حوض نهر الكور - رافد نهر خاصة صو العظيم باستخدام التقنيات الجغرافية، أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة تكريت، كلية التربية، قسم الجغرافيا، العراق.

٢٣. نخله، فخري موسى - حسين، محب الدين - فهمي، حسن - صالح، سيد علي (١٩٧٧): الجيولوجيا الهندسية، دار المعارف، القاهرة.

• المراجع الأجنبية:

1. Abdel Kireem, H. (1972). Geology of the Area East of the Nile Valley between Sohag and Girga (Unpublished M. Sc.). Assiut University. Faculty of Science. Department of Geology.
2. Attia, M.L., (1954) Deposits in the Nile Valley and Delta, Cairo, Govt. Press, Cairo.
3. Domaas, U. (1994) Geometrical methods of calculating rockfall range, Norwegian Geotechnical Institute, Report 585910.
4. Don U. Deer and Done W. Deere (1989): ROCK QUALITY DESIGNATION (ROD)AFTER TWENTY YEARS, Rocky Mountain consultants, final report, Colorado.
5. El-Sayed Sedek Abu Seif 1, El-Shater A.A.1, Ammar Amin. (2022) Geological evolution and swelling potentiality of Paleonile Clays in Nile Valley, east Sohag, Upper Egypt, Sohag Journal of Science an International Journal, Vol No. 3, Sohag.
6. Fotheringham, A., Steward A., Wegener, Michael. (2000), Spatial Models and GIS: New Potential and New Models. European Science Foundation.
7. I. W. Farmer. (1968) Engineering Properties of Rock. 180 p., 76 diagrams. E. and F. N. Spon Ltd., London (Barnes and Noble, New York).

8. John Wiley and sons (1975) Analysis of land form, Brisbane, New York Twiddle, C.R., Chichester.
9. Kamh, G. M. E & Koltuk.S (2015) Micro-topographic and Geotechnical Investigations of sandstone Wall on Weathering Progress, Aachen City, Germany, case study, Arab J Sci Eng.
10. Karaburun,A.,(2010) Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed, Ozean Journal of Applied Sciences 3(1), Turkey.
11. Liao, Z. Y., Zhu, J. B., & Tang, C. A. (2019). Numerical investigation of rock tensile strength determined by direct tension, Brazilian and three-point bending tests. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 115, 21-32.
12. Malczewski J (1999) GIS and multi-criteria decision analysis. Wiley and sons, Inc. USA.
13. Mansour, H.H., (1969): geology of the Environs of Assiut (Drunka & Waidi Eimo Areas) P.H.D, Faculty of Science Assiut Univ.
14. Maquire, David J., Goodchild, Micael F., Batty, Michael. (2005) GIS Spatial Analysis, and Modeling. New York: ESRI Press.
15. Meißl, G. (2001) Modelling the runout distances of rockfalls using a geographic information system, Zeitschrift fur Geomorpologie Supplementband.
16. Mohamed, M. (2013). Summer land surface temperature: Small-local variation in intro-urban environment in El paso, TX. Ph.D. The University of Texas.
17. Moussa, B., Sameeh, S., & Naser, M. (2004). Lithological Mineralogical and Geochemical Studies on Late Pliocene- Late Pleistocene Deposits, Wadies Qasab-Abu Nafukh, South-East Sohag, Egypt. Annals of Geologic Survey of Egypt. Vol. (XXVII). PP. 155-176
18. Omara, S, et al., Detailed Geological Mapping of the area between latitude of Sohag and Girga, East of the Nile, Bull. of fact. of. Engineering, Univ. of Asuit vol. 1, No.1, 1973.
19. Papathanassiou, G., Valkaniotis, S., and Chatzipetros, A, A., (2010): Rockfall Susceptibility Zoning and Evaluation of Rock fall Hazard at The Foothill of Mountain Orliagas, Greece, Scientific Annals, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki Proceedings of the XIX CBGA Congress, Thessaloniki, Greece, Special volume 99.

20. Pinińska, J., & Attia, H. R. (2003). Use of geomechanical research in the conservation of stone monuments (Maadi Town Temple, Fayoum, Egypt). *Geological Quarterly*, 47(1), 1-12.
21. Said, R., (1981) *The Geological Evolution of the Nile Valley*. New York: Springer Ver log.
22. Sameeh, S. Ibrahim, J., Maawad, A., Ibrahim, R., Saad, A., & Nasr, M. (2002). *Exploration of Building Materials and Industrial Minerals East Sohag Governorate, Upper Egypt, Nile Valley*. (Unpublished report) No. (1/2002) Geological Survey of Egypt.
23. Small and Large Landslides, *Can. Geotech. Jour.*, No.33. 5- Crandell, D., and Fahnstock, R., (1965): *Rockfalls and Avalanches from Little Tahoma Peak on Mount Rainier, Washington*, U.S Geological Survey, Bull.1221-A.
24. Strahler, A.N. (1952), *Hypsometric Analysis of Erosional Topography*, *Bulletin of the Geological Society of America*, 63, pp 1117-42
25. T.L. Saaty, G. Hu, (1998) *Ranking by the eigenvector versus other methods in the analytic hierarchy process*, *Applied Mathematical Letters* 11 (4) 121.
26. Young, A, 1972, *Slops*. Edinburgh: Oliver & Boyed.
27. Youssef, A., Abdel Moneim, A., & Abu El-Magd, Sh (2005) *Flood hazard assessment and its associated problems using geographic information systems*, Sohag Governorate, Egypt.

Multi-criteria spatial modeling to assess the sensitivity of the slopes of the Maazza plateau to landslides between the Wadi Al Ahaywa and Amar Alluvial fans East Sohag

Dr. Hamdy Nabeih Eid^(*)

Abstract:

The assessment of the sensitivity of slopes to landslides is One of the most important issues that have received great attention in many countries by many geomorphological studies in the world literature. Especially after nature forced man to invade these rugged environments and practice his various activities on or near it, the study area is a stark example of this, where it after the lands of the floodplain were narrowed and unable to provide a source of livelihood for them and practice their agricultural activity, which is the backbone of their lives, they found a place of refuge despite the dangers they face. The study assesses the sensitivity of its slopes to landslides to identify dangerous places and confront its dangers to secure the lives of its residents and their various activities using multi-criteria spatial modeling based on the Analytical Hierarchy Process (AHP), which is one of the most prominent decision-making processes used in geomorphological studies. The results of this modelling showed that about 26.25% of the area falls within the high and very high sensitivity categories and represented by the Crests, Free Faces and the higher and steeper vertical edges with structurally lower quality rocks. While the medium sensitivity category occupied about 22.67% of that area and clearly appeared on the slopes of the left side of Wadi Ammar and other sporadic positions on the slopes of the area, while the positions of low sensitivity to landslides and very low, respectively, occupied about 26.17%, 24.73% of the area and was represented by flood fans, buildings, and agricultural land erected at the bottom of the plateau away from the positions of the vertical edges.

Keywords: Slopes, landslides, multi-criteria spatial modeling, geographically weighted regression, AHP, Multicriteria spatial modeling, Safety of Factor.

(*) Dr. Hamdy Nabeih Eid Mohammed, Lecturer, Department of Geography and Geographic Information Systems, Faculty of Arts, Sohag University.

CONTACT: hamdy_mohamed1@art.sohag.edu.eg - hamdy.nabeih@yahoo.com - hamdynabeih1@gmail.com