جيومورفولوجية منحدرات جبل أحد بالمدينة المنورة (١٩٦٥-٢٠٢١)

أ.د. محمد بن العباس داودي*

الملخص:

تهدف الدراسة الحالية إلى الكشف عن تغير سفوح منطقة جبلية تتعرض لعوامل عدم الاستقرار، من خلال الجيومورفولوجيا الدينامية التي تؤدي إلى التحول السريع والمفاجئ للتضاريس والأراضي المنحدرة لجبل أحد بالمدينة المنورة غربي المملكة العربية السعودية. واعتمدت الدراسة منهجية قائمة على التقصي الميداني ومعالجة بيانات متعددة المصادر: ممثلة في الخرائط الطبوغرافية، الجيولوجية ونموذج الارتفاع الرقمي بدقة ٣٠ متر ومرئيات فضائية (كورونا ١٩٦٥، ١٩٧٨، سبوت ١٩٨٦، صور جوية رقمية ٢٠٠٩، سينتينيل-٢ ٢٠٢١). وارتكزت الدراسة على المناطق غير المستقرة والأكثر دينامية وخطورة، ومعرفة فئات انحداراتها والعوامل المتحكمة والمسببة لحركة المواد من أعالي السفوح نحو أسفلها، ابتداء بالبنية الجيولوجية من شقوق وفوالق، ونوع الصخور وخصائصها، والتجوية الميكانيكية، والكيميائية والحيوية. وتناولت الدراسة الأشكال الأكثر تغيرا، هي: انهيارات الكتل الصخرية، ومخاريط الركامات والمفتتات إلى جانب زحف التكوينات السطحية. كما تطرقت إلى الحالات التي يساهم فيها النشاط البشري في تسريع تغير السفوح وتطورها، منها الأعمال الهندسية التي لا تراعي طبيعة التكوينات السطحية للمنطقة وشروط اختيار الموقع والموضع للمشاريع المنجزة. وخلصت الدراسة إلى تصميم خرائطي لتحديد مناطق الديناميكية الجيومورفولوجية، مع ابراز أهمية الجانب التطبيقي لحماية السفوح، وتقديم بعض التوصيات كحلول مستقبلية للتقليل والحد من أخطار حركة المواد على المنحدرات.

(المجلة الجغرافية العربية، المجلد (٥٣) العدد (٨٠) ديسمبر ٢٠٢٢، ص ص ٢٠١-٢٢٣)

الكلمات المفتاحية: الجيومورفولوجيا الدينامية، نموذج الارتفاع الرقمي، الاستشعار عن بعد، نظم المعلومات الجغرافية، جبل أحد، المدينة المنورة.

---

* أستاذ الجيومورفولوجيا والاستشعار عن بعد، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب والعلوم الانسانية – جامعة الملك عبدالعزيز (المملكة العربية السعودية).

للتواصل: e-mail: mdaoudi@kau.edu.sa

المقدمة:

استأثرت دراسة السفوح والانحدارات منذ نحو ربع قرن اهتمام الجيومورفولوجيين، والجيولوجيين والمهندسين (Dikau, et al., 1996; Bertran, 2004)، نظرا لدورها البالغ الأهمية في معظم المناطق الجغرافية، باعتبار عامل الانحدار المتحكم في العمليات الجيومورفولوجية، والموجه الأساس في تحديد مورفولوجية المراكز العمرانية والكثير من المنشآت الهندسية (بيداء وأحمد، ٢٠١٣). وتعد دراسة السفوح وديناميكية المنحدرات أساس وجوهر الدراسات الجيومورفولوجية، نظرا لأن تنوع وتعدد أشكال السطح يرتبط بطبيعة السفوح وخصائصها والعمليات المتعلقة بها. ويعتبر جبل أُحُد من المعالم المهمة التي تقع شمال المدينة المنورة، غربي المملكة العربية السعودية (شكل ١). وتنشط بسفوحه بعض الأخطار الطبيعية منها حركة المواد والمفتتات الصخرية وخاصة المنحدرات الجنوبية والغربية من الجبل، وانتشار الصدوع والفواصل والشقوق التي تسهل من نشاط التجوية الميكانيكية، والكيميائية والحيوية، إلى جانب المسيلات والجريان المفاجئ. وتكمن فاعلية خطورتها في مناطق المخططات الحضرية والطرق والمنشآت الهندسية، وأحد معوقات التوسع العمراني الكبير الذي تشهده المدينة المنورة باتجاه الشمال بعد توسعة الحرم النبوي الشريف (إسماعيل، ٢٠١٤؛ الدوعان وداودي، ٢٠١٦).

وتناولت دراسات عدّة تحليل وتفسير ديناميكية السفوح وتطورها، عن طريق تصنيفٍ للمنحدرات لتحديد المواقع الخطرة التي تشهد تحرك المواد وانشاء نماذج خرائطية لفئات الانحدار. ويهدف البحث إلى تحليل الجوانب التالية:

١. دراسة أشكال المنحدرات وخصائصها عن طريق تصنيفٍ لدرجات الانحدار، وتحديد الفئات التي تنشط فيها الديناميكية الجيومورفولوجية.
٢. معرفة العوامل المتحكمة في ديناميكية المنحدرات، لفهم شبكة التفاعل بين المتغيرات الأكثر تأثيرًا على السفوح، بالاعتماد على بيانات متعددة المصادر (خرائط طبوغرافية وجيولوجية، ونموذج ارتفاعات رقمية، ومرئيات فضائية، وزيارات حقلية).
٣. تحديد موقع الأخطار الجيومورفولوجية وتصميم خرائطي لها ضمن بيئة نظم معلومات جغرافية، تُستخدم كأداة لإدارة الأراضي من ناحية التخطيط العمراني والإنشاءات الهندسية، ليتسنى وضع سناريوهات الحماية للتقليل من حدّة خطورة وآثار الكوارث الطبيعية (داودي، ٢٠٢٠).

شكل (١) : منظر عام لجبل أحد من جهة الجنوبية المقابلة للمدينة المنورة.

المصدر: تصوير الباحث، ديسمبر ٢٠٢٠.

وتُعدّ بيانات الاستشعار عن بعد المصدر الأساس في الدراسات الجيومورفولوجية بالمناطق الجافة والصحراوية، خاصة الأماكن التي يصعب الوصول إليها من أجل الدراسات التفصيلية لتصميم خرائط موضوعية. وعليه تعتبر المرئيات الفضائية جدّ مهمة في مثل هذه المواضيع، فقد اعتمدت منهجية البحث على استخدام بيانات متعددة المصادر لفترة تتعدى النصف القرن، بالتركيز على الدراسة الميدانية ومعالجة الصور الفضائية التي تتمثل في مرئيات فضائية ذات دقة عالية ومتوسطة (صور كورونا ١٩٦٥، ١٩٧٨، سبوت ١٩٨٦، بالإضافة إلى صور جوية ٢٠٠٩، سينتينيل ٢٠٢١). وتمّ استكمال المعالجة بالوثائق الخرائطية ونموذج الارتفاعات الرقمية بدقة ٣٠م، مع توثيق فوتوغرافي للظواهر والزيارات الحقلية. وعليه فقد ركزت الدراسة على كشف التغير للمناطق غير المستقرة والأكثر ديناميكية وخطورة. وتتمثل الفرضية الأساسية للكشف عن التغير باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد فيما يلي: يجب أن تؤدي التغيرات في الغطاء الأرضي إلى تغيرات في قيم الاشعاع (Canty, 2009). في هذا الصدد، توجد العديد من الطرق الخاصة بكشف التغير، فقد لخص (Lu, et al., 2004) مميزات وعيوب أكثر من ثلاثين طريقة لكشف التغير، باستخدام مرئيات فضائية متعددة التواريخ. ويشير (Jensen, 2007) إلى عدم وجود طريقة واحدة متفق عليها عالميًا لكشف التغيّر، ومن الطرق الأكثر استخدامًا والأدق من حيث النتيجة: قسمة النطاقات (Image division)، وتحليل المركبات الرئيسية (PCA)، وتركيب الألوان (Image overlay)، والتصنيف اللاحق (Post-classification)، وطرح اختلاف مؤشر النبات (Vegetation index differencing)، وطرح واختلاف الصور (subtraction, differencing–Image) (الصالح، ٢٠١٠).

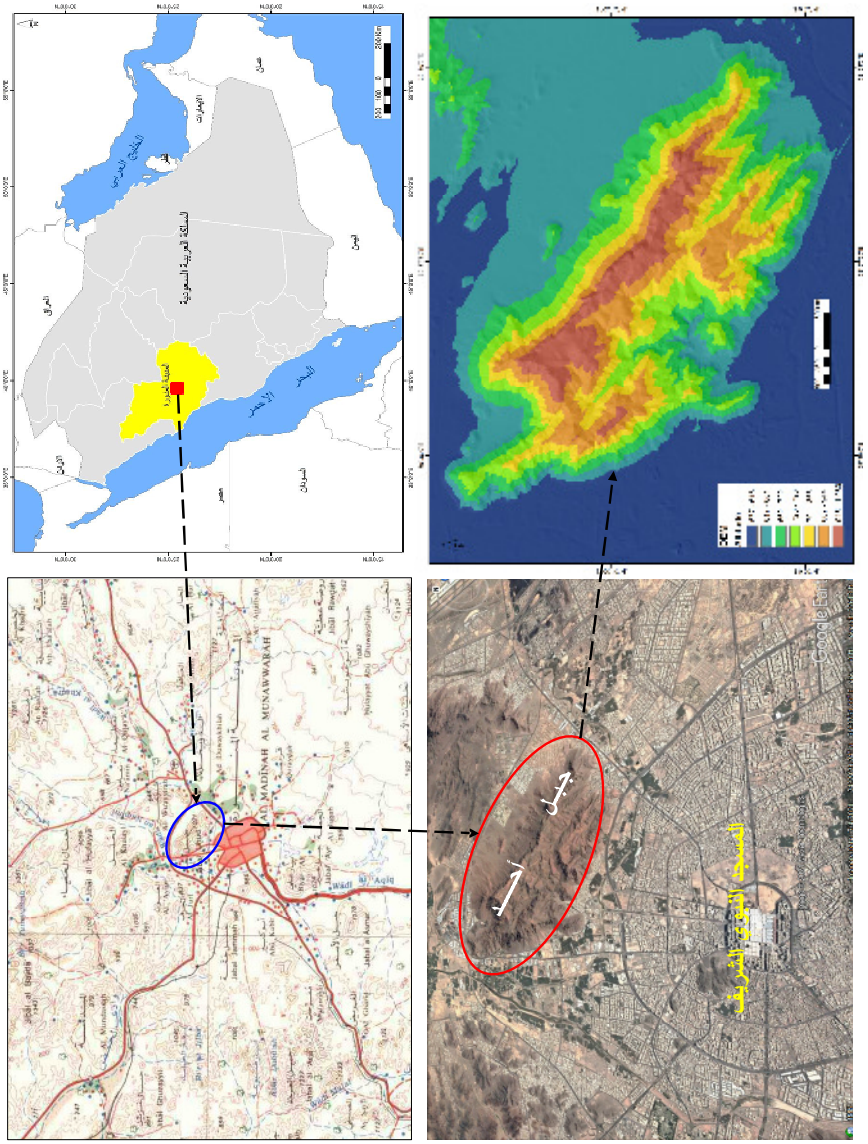
وقبل تطبيق سلسلة من المعالجات الرقمية للصور تمّ دمج جميع البيانات في نظام إسقاط خرائطي موحد، ضمن بيئة نظم معلومات جغرافية، عن طريق تطبيق أساليب كمية عدّة بغية تحليل احصائي مكاني وزماني لديناميكية النظام الطبيعي، وتصميم نماذج محكمة من الخرائط. لذلك من المهم بمكان تحديد الأشكال الأكثر تغيرا، منها انهيارات الكتل الصخرية، ركامات السفوح، مخاريط المفتتات وزحف التربة، ومعرفة أصناف ودرجات الانحدار المسببة للتطور الجيومورفولوجي، والعوامل المتحكمة والمولدة لحركة المواد، ابتداء من البنية الجيولوجية، والطبيعة الصخرية، وعمليات التجوية المختلفة. كما ينبغي تحديد الحالات التي تؤدي من خلالها النشاطات البشرية إلى تسريع تغير السفوح، لعل من أبرزها الأعمال الهندسية للمشاريع المنجزة وشروط اختيار مواضعها المناسبة.

ولم يحصل جبل أُحُد ما يليق به من اهتمام في الدراسات السابقة، عدا دراسة علي متولي عبد الصمد، (٢٠٠٦) الموسومة بـِ: "جبل أحد بالمدينة المنورة: دراسة جيومورفولوجية". وهدفت هذه الدراسة إلى تحليل خصائص الشبكة المائية للجبل والعوامل المتحكمة في نظام تصريفه مع إبراز إمكاناته الطبيعية. أما دراسة إسماعيل ضياء صبري عبد اللطيف (٢٠١٤)، فقد ركزت على أهمية الجيومورفولوجيا التطبيقية في تحليل منحدرات جبل أحد باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والمرئيات الفضائية بالإضافة إلى الزيارات الحقلية، بهدف تحديد الأخطار الطبيعية والعوامل المسببة لها، مع الأخذ بعين الاعتبار النشاط البشري. هناك دراسات أخرى تمت على منطقة المدينة المنورة، لها علاقة بخصائصها الجيولوجية والجيومورفولوجية منها دراسة (Bamousa, et al., 2013) التي تناولت المميزات البنيوية والجيومورفولوجية لاستيعاب المياه الجوفية بالمدينة المنورة. أما دراسة الدوعان (١٩٩٩) فقد تمحورت حول الأودية الداخلة إلى منطقة الحرم بالمدينة المنورة. وأبرز الباحث في هذه الدراسة خصائص النظام الهيدروغرافي ودوره في تزويد وتغذية مصادر المياه للمدينة النبوية.

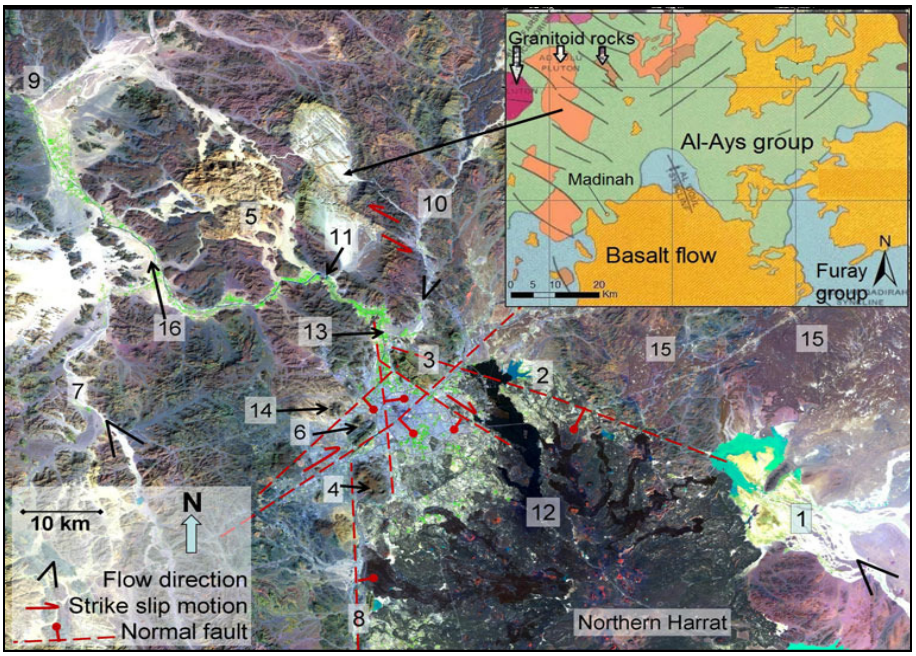
منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة شمال المدينة المنورة في الجزء الغربي الأوسط من المملكة العربية السعودية بين خطي طول ٤٢ً ٣٥َ ٣٩° – ٢٠ً ٣٩َ ٣٩° شرقا وبين دائرتي عرض ٥٨ً ٢٩َ ٢٤° – ٥٦ً ٣٢َ ٢٤° شمالا (شكل ٢). ويحدّ قطاع البحث من الشمال الشرقي جبل وعيرة، ومن الجنوب وادي قناة (العاقول)، ومن الجنوب الغربي كل من جبل جماء وعير وغرابة. اعتمادًا على النموذج الرقمي للارتفاع، يتسم قطاع الدراسة بالامتداد الطولي من الجنوب الشرقي نحو الشمال الغربي بمسافة ٧,٥ كم، ومحيط يبلغ حوالي ٢٠ كم تقريبا، حيث يشغل مساحة حوالي ٢٨ كم^{٢}.

من الناحية الجيولوجية تتميز منطقة الدراسة ببنية معقدة، تنتشر فيها صدوع وتشققات عدّة، وتتكون من صخور القاعدة الأساسية المنتمية إلى إقليم الدرع العربي، والممتد طوليًا في الجانب الغربي من شبه الجزيرة العربية، والذي تشكل وتطور خلال أزمنة وعصور جيولوجية قديمة جدًا. وتعدّ الخصائص الجيولوجية أهم العوامل المتحكمة في الديناميكية الجيومورفولجية لقطاع البحث، وحتى نظام أودية المدينة المنورة، من حيث البنية والطبيعة الصخرية، ونظام التصدعات (شكل ٣).



شكل (٢) : منطقة الدراسة.



شكل (٣) : الإطار الجيولوجي والتكتوني الاقليمي لجبل أحد ومدى تحكمه في نظام أودية المدينة المنورة حيث يشار لجبل أحد برقم ٣، حسب الصورة المحسنة – لاندسات +ETM (Bamousa et al., 2013).

(١) وادي قناة قادم من منطقة الطائف معترض بتكوينات الحرات (٢) وادي العاقول اسمه وادي قناة عندما يدخل المدينة المنورة فإن حرة القريدة تسد طريقه (٣) جبل أحد (٤) جبل عير وهو مغطى بتكوينات بازلتية للزمن الثالث (٥) جبل البيضاء (٦) جبل ذو الحليفة يعبره صدع (٧) وادي ملال (٨) وادي العقيق (٩) موقع السد الجديد المقترح، حيث تتجمع مختلف الأودية وتصب في وادي الحمد (١٠) وادي النقمي (١١) سد البيضاء (١٢) التدفق التاريخي لحرة قريظة (١٣) منطقة العيون (١٤) جبل جمة (١٥) بازلت ثلاثي (١٦) تدفق المياه خلف السد.

من خلال قراءة وتحليل الخريطة الجيولوجية يتضح أن منطقة الدراسة تتكون أساسًا من ثلاث مجموعات من التكوينات. وتتمثل المجموعة الأولى أساسًا في طبقات القاعدة القديمة (ما قبل الكمبري)، وهي صخور بركانية قاعدية وحامضية، وصخور رسوبية فتاتية سميكة. وتشغل صخور القاعدة القديمة أغلب تكوينات جبل أُحُد حيث تغطي نحو ٩٥% من مساحة التكوينات الصخرية السطحية للجبل (إسماعيل، ٢٠١٤). وتتواجد صخور هذه المجموعة على قسمين سفلي وعلوي، حيث يشكل الجزء السفلي نسبة ٨,٨% في شكل صخور قاعدية إلى حامضية

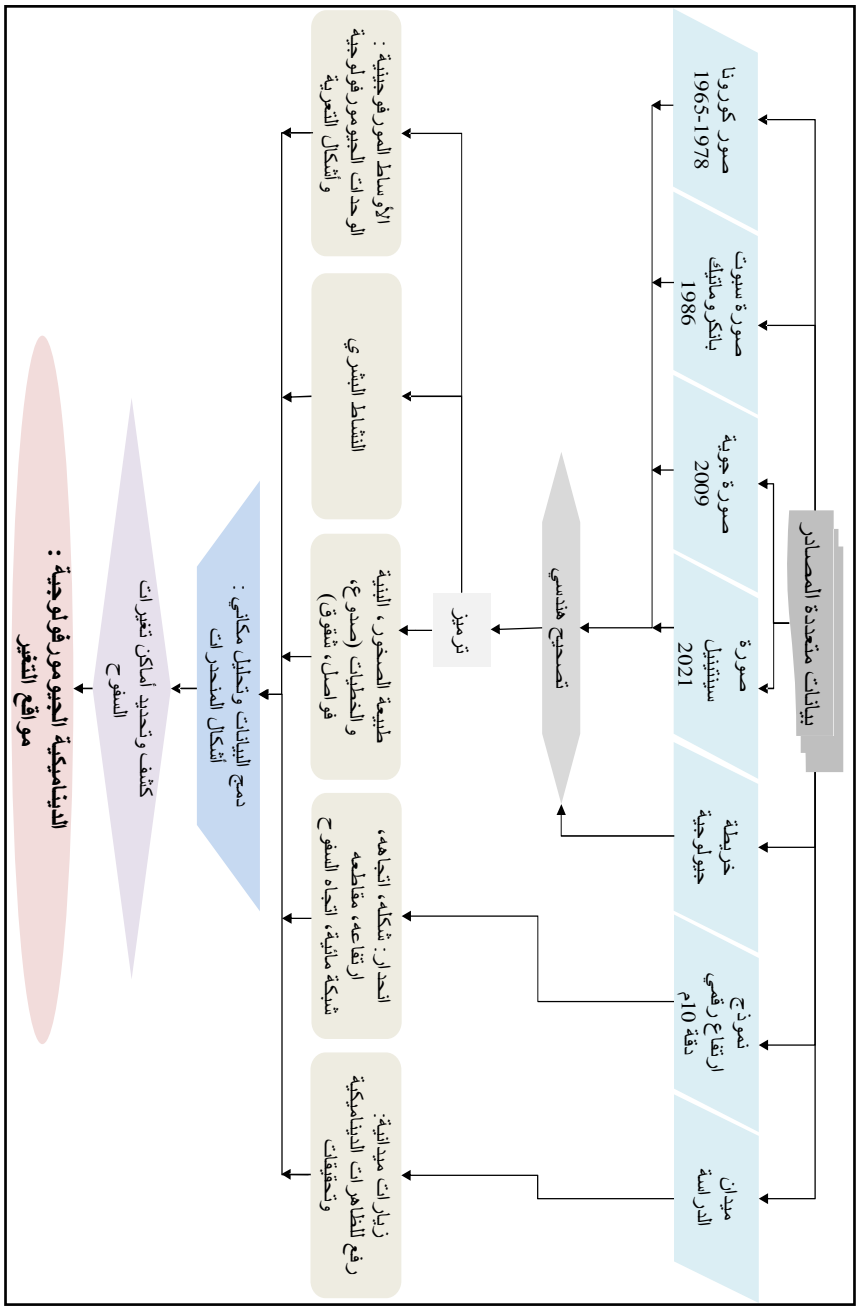
منها الأنديزيت، والريوليت، والداسيت، وتتغير نحو الأعلى إلى صخور من التوفا البركانية والبريشيا، مع صخور فتاتية. أما القسم العلوي فيشكل نسبة ٨٦,٢% من مساحة قطاع البحث ويتكون من صخور الريوليت الحمضي ذو أصل ناري ونسيج دقيق التبلور ذو لون أحمر فاتح، والداسيت ذات لون بني فاتح، والبريشيا الريوليتية. أما المجموعة الثانية فهي صخور المتداخلات الجوفية، حيث تعرضت المجموعات الصخرية الأساسية إلى عمليات اختراق بمصهورات بركانية، فتداخلت ضمن صخور القشرة الأرضية ثم تصلبت مكونة صخورًا نارية جوفية، فنتج عن ذلك أنواع أخرى منها الديوريت والجابرو ذو اللون الرمادي القاتم الذي يميل إلى الأسود، وتشكل هذه المجموعة نسبة ٢,٧% من مساحة الجبل. أما المجموعة الثالثة فهي رواسب وتكوينات رباعية ناتجة أساسًا عن نشاط عوامل التعرية وعمليات التجوية المختلفة، تتشكل أساسًا من مفتتات مختلفة الأصل والحجم، وتغطي ما نسبته ٢,٣% (إسماعيل، ٢٠١٤). وتنتمي منطقة الدراسة إلى مناخ قاري جاف يتميز بارتفاع درجات حرارته، وندرة أمطاره، ونشاط رياحه (علي متولي، ٢٠٠٦).

مواد وطرق البحث:

إن من المتطلبات والمبادئ الأساسية لاستخدام بيانات متعددة المصادر دقتها ومصداقيتها، واختيار مناسب للوحدة المكانية المعتمدة في مثل هذه الدراسات، بهدف الوصول إلى نتائج تعكس حقيقة ميدانية تتماشى مع النظم الطبيعية. واعتمد المنهج المستخدم في البحث على أسلوب التحليل المكاني باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد (شكل ٤)، وتضمن الخطوات التالية:

أ- البيانات المستخدمة:

تعد تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية من أهم الوسائل المستخدمة في المراقبة المستمرة للتوزيع المكاني للظواهر الأرضية في إطار واسع، كما تمثل صور الأقمار الصناعية ذات الدقة المكانية العالية وثائق أساسية لدراسة التطور التاريخي للظواهر سريعة التغير، من خلال توفير معلومات غزيرة على مدى فترات زمنية متتالية. وتبرز أهمية الدراسة في استخدام صور أقمار صناعية بدقة مكانية تصل إلى ٢ متر في الستينات (١٩٦٥) ونهاية السبعينات (١٩٧٨) وصور أخرى في أعوام ١٩٨٦، ٢٠٠٩، ٢٠٢١. وتنوعت مصادر البيانات التي أعتُمِد عليها في هذا البحث، حيث شملت بيانات الأقمار الصناعية، صورًا جوية ونموذج ارتفاعات رقمية، وفيما يلي خصائص هذه البيانات:



شكل (٤) : مخطط انسيابي لمنهجية البحث

- صور بانكروماتية كورنا CORONA ملتقطة في مارس ١٩٦٥ و١٩٧٨. ويطلق مسمى كورونا على كامل البرنامج الفضائي الخاص بأنظمة التصوير التي تحمل اسم ثقب القفل Keyhole اختصارا KH والتي تشمل سلسلة أرقام مختلفة من KH-1 إلى KH-11. ويتميز برنامج كورونا في التقاط صور بصرية بانورامية بدقة عالية جدًا. وقد تمكنت الحاملات KH-4 بأنواعها المختلفة من تحسين الوضوح المكاني ليصل إلى ٢,٧٥ متر وأحيانا ١,٨متر، باستخدام ارتفاع منخفض قريب من سطح الأرض. وتتوفر هذه الصور ويتم طلبها وتنزيلها من الموقع: https://earthexplorer.usgs.gov. أما فيما يتعلق بالصور المستخدمة في هذا البحث فإن دقة تمييزها تتراوح بين ٢ و٣ متر، تظهر فيها العلاقة بين الخصائص المورفولوجية لقطاع الدراسة.
- صورة سبوت («SPOT-Controled Image Base «CIB) بدقة مكانية ١٠ متر. هذه المرئيات عبارة عن مجموعة من الصور البانكروماتية (تدرج في الرمادي) مجانية، والتي خضعت لتصحيح هندسي وعمودي. وتمّ الحصول على البيانات لعام ١٩٨٦ من قبل وكالة الفضاء الفرنسية والمركز الوطني للدراسات الفضائية (CNES). كما تمّ الحصول على منتجات SPOT (CIB-10) بموجب اتفاقية ترخيص تسمح بالتوزيع المفتوح للجمهور من موقع هيئة المساحة الجيولوجية الأمركية، حيث لا يلزم الحصول على إذن إضافي لاستخدام هذه الصور التجارية أو توزيعها.
- صورة جوية رقمية ملونة قدرة تميزها المكانية ٥٠ سم، ملتقطة عام ٢٠٠٩ من قبل الهيئة العامة للمساحة السعودية (SGS).
- صورة فضائية للقمر الصناعي سينتينيل-٢ (SENTINEL-2) ملتقطة عام ٢٠٢٠ بدقة ١٠ متر.
- نموذج ارتفاع رقمي (DEM SRTM) بدقة ٣٠ متر.

هذه البيانات المختلفة التي يعرض الجدول (١) مواصفاتها الفنية، تمّ الحصول عليها من موقع هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية: https://earthexplorer.usgs.gov (USGS) ماعدا الصور الجوية الرقمية لعام ٢٠٠٩ فقد تم تنزيلها من الموقع: https://geoportal.sa

جدول (١) : مواصفات البيانات والبرامج المستخدمة.

م	النوع	السنة	الدقة المكانية (متر)	المصدر
١	خريطة طبوغرافية	مقياس ١:١٠٠٠٠٠		SGS
٢	خريطة جيولوجية	مقياس ١:٢٥٠٠٠٠		SGS
٣	نموذج ارتفاع رقمي DEM SRTM	٢٠١٤	٣٠	USGS
٤	صورة فضائية كورونا CORONA	١٩٦٥	٢	USGS
٥	صورة فضائية كورونا CORONA	١٩٧٨	٣	USGS
٦	صورة سبوت بانكروماتيك	١٩٨٦	١٠	USGS
٧	صورة جوية رقمية	٢٠٠٩	٠,٥	SGS
٨	مرئية فضائية سينتينيل SENTINEL 2	٢٠٢١	١٠	USGS
٩	البرامج: Erdas Imagine 2016, ArcGIS 10			

ب- معالجة البيانات:

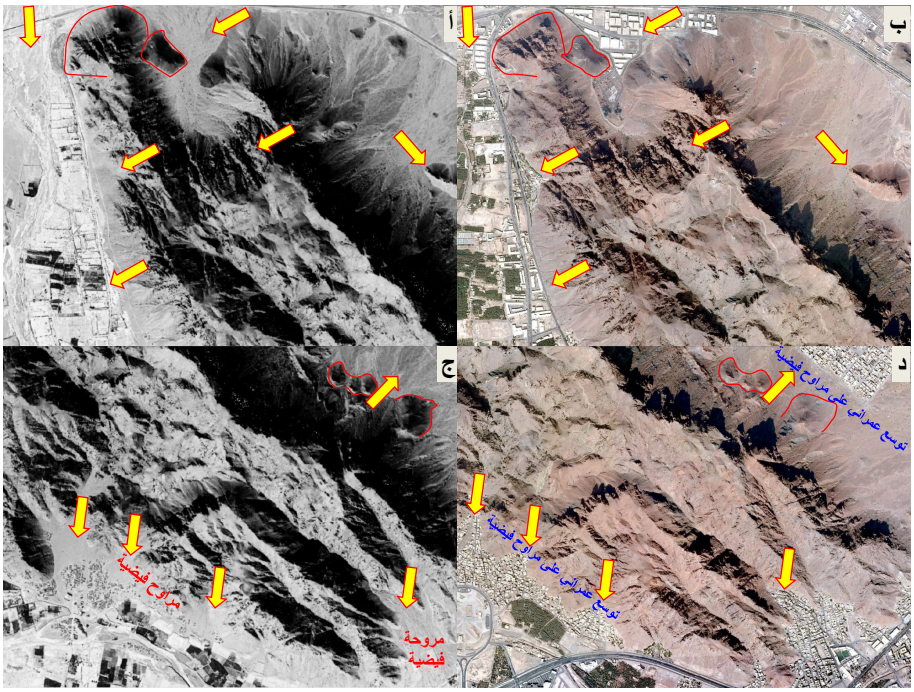
تمّ إجراء التحليل الطبوغرافي لمنطقة الدراسة باستخدام نموذج ارتفاع رقمي (DEM SRTM) بدقة ٣٠م، عن طريق حساب فئات الانحدار واتجاهاتها واجراء مقاطع طولية وعرضية عدّة. وخضعت صور القمر الصناعي كورونا لمعالجات خاصة، وتمّ التمكن والتحقق من تطابق بين كل البيانات المستخدمة في الدراسة، باستخدام نقاط الضبط المختارة بعناية من المرجع لتطبيق التصحيح الهندسي، والتي كانت مصححة عموديًا وهندسيًا وفقًا لمسقط مركاتور المستعرض العالمي (UTM) بالنظام الجيوديسي العالمي (WGS 84) الخاص بالمنطقة ٣٧ من قبل المساحة الجيولوجية الأمريكية. وبعد التصحيح الهندسي تمّ استخدام أسلوب نظم المعلومات الجغرافية، عن طريق إنشاء قاعدة بيانات بترقيم حدود التكشفات الجيولوجية، الشقوق والفوارق، وإجراء تحليل مكاني وعرض البيانات على هيئة نماذج خرائطية للمقارنة بين معلومات السنوات المختلفة.

نتائج ومناقشة:

١) وسط معقد غير مستقر ومتغير ذو ديناميكية جيومورفولوجية:

يعتبر الإطار الجيولوجي العامل الأساس والمتحكم في ديناميكية السفوح من حيث طبيعة التكوينات، والبنية والتاريخ الجيولوجي للمنطقة المدروسة (Antoine, 1992). وعليه تمّ الاعتماد في التحليل على تفسير بنية السفوح والمنحدرات على أساس تحليل التضاريس والتكشفات للتكوينات الجيولوجية. من خلال تحليل المعطيات المتعددة المصادر المعتمدة في البحث، تبين أن قطاع الدراسة

يشهد دينامكية جيومورفولوجية من جميع النواحي والاتجاهات، والدليل على ذلك تشكل عدة مراوح فيضية وتكوينات سطحية عند مصبات المجاري في نهاية سفوح الجبل (شكل ٥). ويتمثل هذا التطور في الانهيارات الأرضية والذي يعزى إلى نشاط عمليات التجوية والتعرية المختلفة (ميكانيكية، كيميائية، حيوية) على طبيعة صخرية متنوعة ومتباوبة بين الصلبة والهشة. وعليه تتحكم الطبيعة الليتولوجية ونظام الفوالق والتشققات مع عامل الانحدار في ديناميكية السفوح ونوع العمليات الجيومورفولوجية (Tihay, 1976).

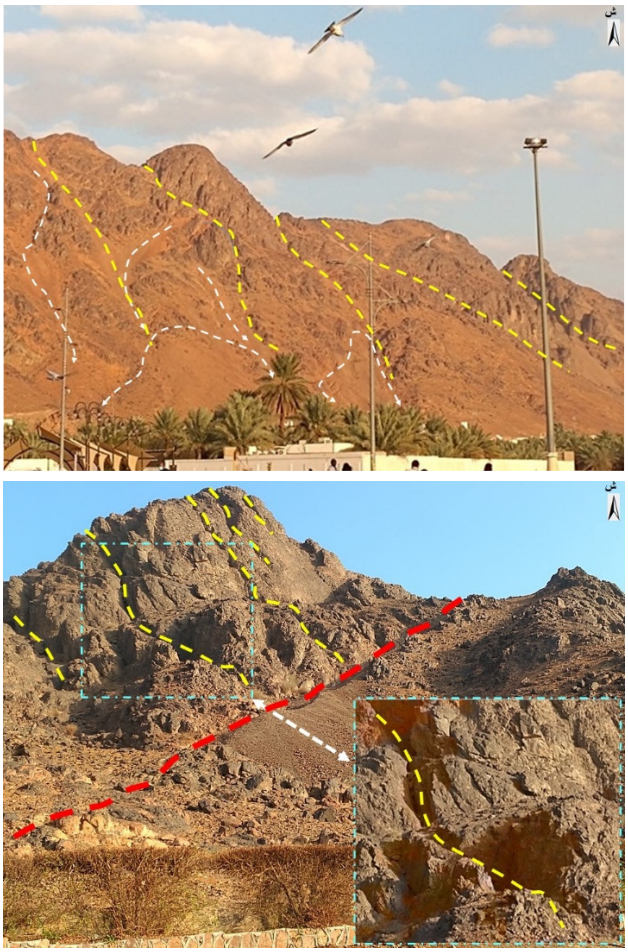


شكل (٥) : بعض عينات التغير في جبل أحد (١٩٦٩-٢٠٠٩).

أ، ج (صورة كورونا ١٩٦٩)، ب، د (صورة جوية ٢٠٠٩)

فمن الشكل (٦) في الصورة على اليمين يلاحظ بروز صخور الريوليت الحمضية المكونة للجزء الأعلى من جبل أُحُد. وقد تأثر بصدع انكساري موازي لاتجاه ميل الطبقات من جنوب شرق إلى شمال غرب (الخط الأحمر المتقطع). وتزامن مع ذلك تكوّن شقوق قاطعة باتجاه معاكس للصدع الرئيس تشكل حزوزا في الطبقات (الخطوط الصفراء المتقطعة) حيث سهل ذلك من نشاط التجوية بمختلف أنواعها الميكانيكية، الكيميائية والحيوية. أما في الصورة على اليسار

(شكل ٦) تظهر صخور الرويليت في الجزء العلوي من التكوينات الصخرية، وقد تأثرت بالصدوع العادية (الانكسارية) باتجاه شمال – غرب جنوب – شرق (الخطوط المتقطعة الصفراء)، مما أدى إلى انخفاض تدريجي في تضاريس وجيومورفولوجية الجبل باتجاه الشرق (اليمين)، كما تظهر حركة المواد: انهيارات الكتل الصخرية، مخاريط ركامات السفوح والمفتتات الصخرية، إلى جانب نشاط المسيلات والجريان المفاجئ (شكل ٧).



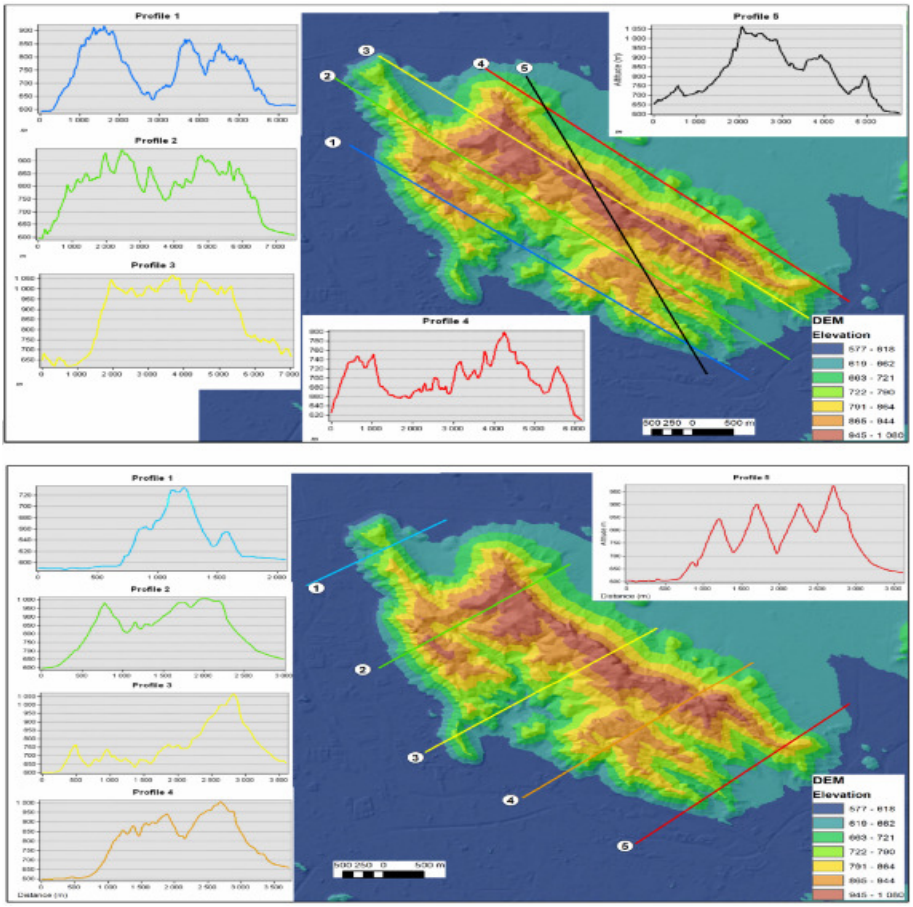
شكل (٦) : (أعلى) صخور الريوليت الحمضية المكونة للجزء الأعلى من جبل أحد، **(أسفل)** منظر لجبل أحد لسفحه الجنوبي المقابل للمدينة المنورة، حيث تظهر صخور الرويليت في الجزء العلوي من التكوينات الصخرية، وقد تأثرت بالصدوع العادية (الانكسارية) ونشاط حركة المواد (تصوير الباحث، ديسمبر ٢٠٢٠).

شكل (٧) : (أعلى) مظاهر التآكل السفحي: حركة المواد والمفتتات الصخرية، **(أسفل)** أنواع المفتتات الصخرية على السفوح (تصوير الباحث، ديسمبر ٢٠٢٠).

٢) ميدان ذو طوبوغرافية معقدة:

يظهر الشكل (٨) تباين طبوغرافية جبل أُحُد طوليًا وعرضيًا، حيث يبلغ أقصى ارتفاع ١٠٧٠م وأقل ارتفاع يقدر بـــ ٦٠٠م. ويرجع تنوع الانحدار، وزوايا تقوس المنحدرات واتجاهاتها الطبوغرافية من البسيط إلى الشديد كالجروف الصخرية إلى البنية الجيولوجية المعقدة تكتونيًا والتي عاصرت تكوين أخدود البحر الأحمر، والصخور التي تتميز بشدة صلابتها وميل طبقاتها، ونظام التصدعات والشقوق، حيث نشاط عمليات التجوية والديناميكية الجيومورفولوجية منذ نهاية الزمن الثلاثي المميز بعصر البليستوسين إلى الزمن الرباعي؛ مما يشير إلى بطئ تقدم المنطقة في

مراحلها الجيوموفولوجية. وتختلف أشكال المنحدرات لقطاع الدراسة تبعًا لاختلاف عوامل وعمليات تكوينها. ومن خلال معالجة قطاعات السفوح، يمكن تمييز أربعة أشكال للمنحدرات: المستقيمة، المحدبة، المقعرة، والمحدبة المقعرة. ويظهر النمط المستقيم في الأجزاء العليا من المجاري، أما الشكل المحدب ذو الانحدار المتزايد نحو الأسفل بسبب عوامل النقل وتحرك المواد والتصدعات، فينتشر بنسبة كبيرة على سفوح جبل أُحُد. أما النوع الثالث وهو المقعر عكس السابق فيتميز بشدة انحداره نسبيًا عند القمة، ثم يقل تدريجيًا بالاتجاه إلى الأسفل. وأخيرًا الصنف الذي يجمع بين الدمج للمحدب والمقعر، فإنه يأخذ أشكالا عدة بتتابع للمنحدرات على ثلاث وحدات من عنصر أعلى تحدب مرورًا بقسم الدرجة القصوى وصولا إلى عنصر مقعر (اسماعيل، ٢٠١٤).



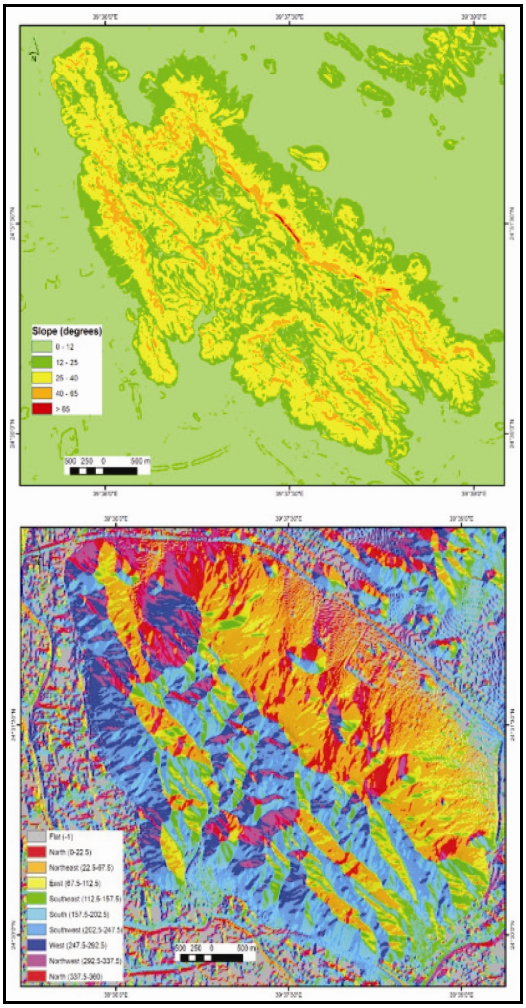
شكل (٨) : قطاعات طبوغرافية طولية (**أعلى**) وعرضية (**أسفل**) اعتمادا على نموذج الارتفاعات الرقمية، يظهر مدى التعقد الطبوغرافي والجيولوجي لجبل أحد.

ويعد عامل الانحدار من بين المؤشرات الطبوغرافية الأساسية والهامة التي تحدد شدة الديناميكية الجيومورفولوجية ووتيرة تطور الأشكال البنيوية (Radoane, et al., 1995; Poesen, et al., 2003; Vanwalleghem, et al., 2005; Valentin, et al., 2005; Ionita, 2006). ويتحكم متغير الانحدار في تركز الجريان وديناميكية المظاهر، ويشمل بنية الأشكال وتطورها، وترجمته إلى خرائط بداية لمرحلة حماية الوسط من كل أشكال التدهور (Tricart, 1965; Daoudi et al., 2018). حسب (Roose, 1994) فإن طول الانحدار أقل أهمية من شكله ودرجة ميله، وعندما تزداد درجة الانحدار فإن الطاقة الكامنة للمياه الجارية تبقى ثابتة ولكن نقل الرواسب يزداد نحو الأسفل. في المناطق الجافة يرتبط الانحدار ايجابيًا بتغطية السطح والتصدع الميكانيكي للصخور التي تعمل على تقليل الجريان وضياع التكوينات السطحية (Bou Kheir, et al., 2001). ووفقًا للدراسات العلمية فإن اختيار فئات الانحدار يعتمد من ناحية على حدود الديناميكية الجيومورفولوجية الغالبة، ومن ناحية أخرى على أشكال السطح وطرق الحماية واستخدام الأرض (Tricart, 1965; Gomer, 1994; Bou Kheir, et al., 2001; Daoudi, 2008).

وعلى هذا الأساس تمّ تمييز خمس فئات للانحدار بالدرجات لجبل أحد واتجاهاتها كما يوضحها الشكل (٩)، وتتوزع على المنوال التالي:

- **الفئة الأولى (٠-١٢°):** وهي نطاق الأراضي ذات التموج المتوسط، منها أقدام الجبال والسهول النهرية التحاتية، وتغطي نسبة ٣١,٢٦% من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة، وتحتل المرتبة الثانية من حيث المساحة، وتشكل نهايات وهوامش جبل أُحُد، وتمثل منطقة انتقال مع الضواحي السهلية المحيطة بالجبل من جميع النواحي، حيث تظهر المراوح الفيضية عند نهاية الشبكة المائية وروافدها، أين تنشط وتتركز عليها جداول الجريان.
- **الفئة الثانية (١٢-٢٥°):** وتشكل نطاق الأراضي المتموجة، منها التلال المنخفضة، وتغطي نسبة ٢٥,٣١% من مساحة قطاع البحث، حيث تحتل المرتبة الثالثة من حيث المساحة، وتشمل المنطقة الانتقالية بين أقدام المنحدرات وأعاليها ومناطق الشعاب، وتتوزع على كامل منطقة الدراسة.
- **الفئة الثالثة (٢٥-٤٠°):** تحتل هذه الفئة جزءًا كبيرًا من مناطق السفوح للجوانب الجنوبية والجنوبية الغربية من جبل أُحُد، وتشكل نطاق الأراضي المجزأة، منها التلال المرتفعة التي قطعت بفعل التعرية المائية، حيث تنشط عليها عمليات حركة المواد، وسيادة المنحدرات لهذه الفئة بالنسبة لمنطقة الدراسة، حيث تغطي نسبة ٣٦,٦٣% من المساحة الاجمالية لقطاع البحث، وتمثل أكبر الفئات وأولها من حيث المساحة، ويشير ذلك إلى استمرار نشاط الانهيارات الأرضية والتساقط الصخري؛ مما أدى إلى التراجع الخلفي للمنحدرات.

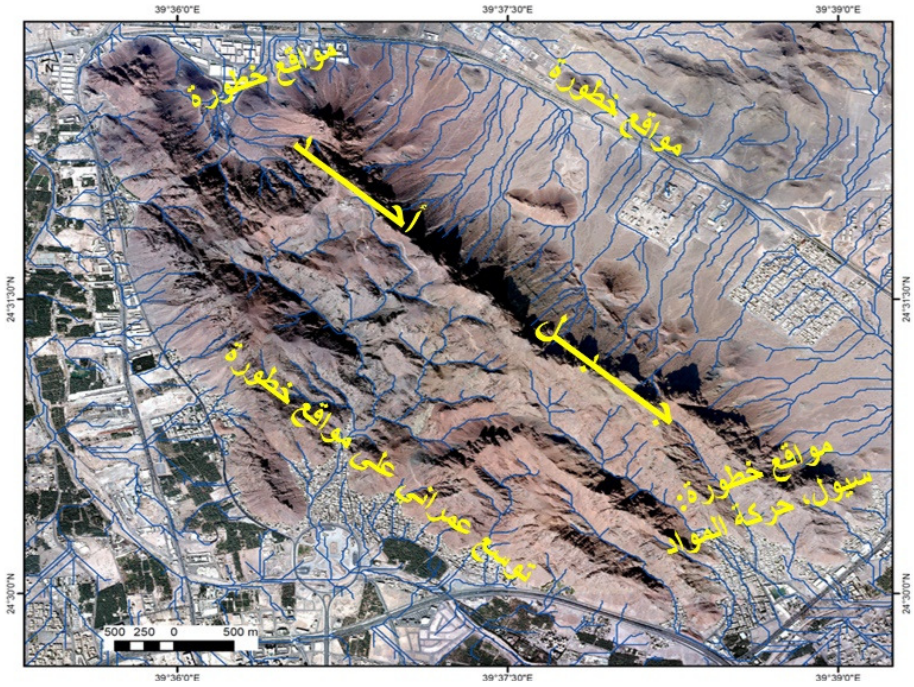
- **الفئة الرابعة (٤٠-٦٥°):** وتشمل نطاق الأراضي المقطعة بدرجة عالية بفعل شدة الحركات التكتونية فضلا عن عمليتي التجوية والتعرية، وتشكل مناطق الجروف الصخرية ومناطق التغير في الانحدار، وتغطي نسبة ٦,٧٢% من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة، وتتوزع على كامل قطاع الدراسة.
- **الفئة الخامسة (أكبر من ٦٥°):** وتشمل الأراضي المقطعة بدرجة عالية جدًا، وتغطي نسبة ٠,٠٧% من مساحة قطاع البحث وتشغل المناطق الوعرة والحافات الصدعية وتسود في مرتفعات السفح الشمالي الغربي لجبل أُحُد.



شكل (٩) : نموذج الانحدار (Slope) لجبل أحد (**أعلى**)، المواجهة (Aspect) لسفوحه (**أسفل**).

٣) الجيومورفولوجيا الدينامية ومناطق المخاطر:

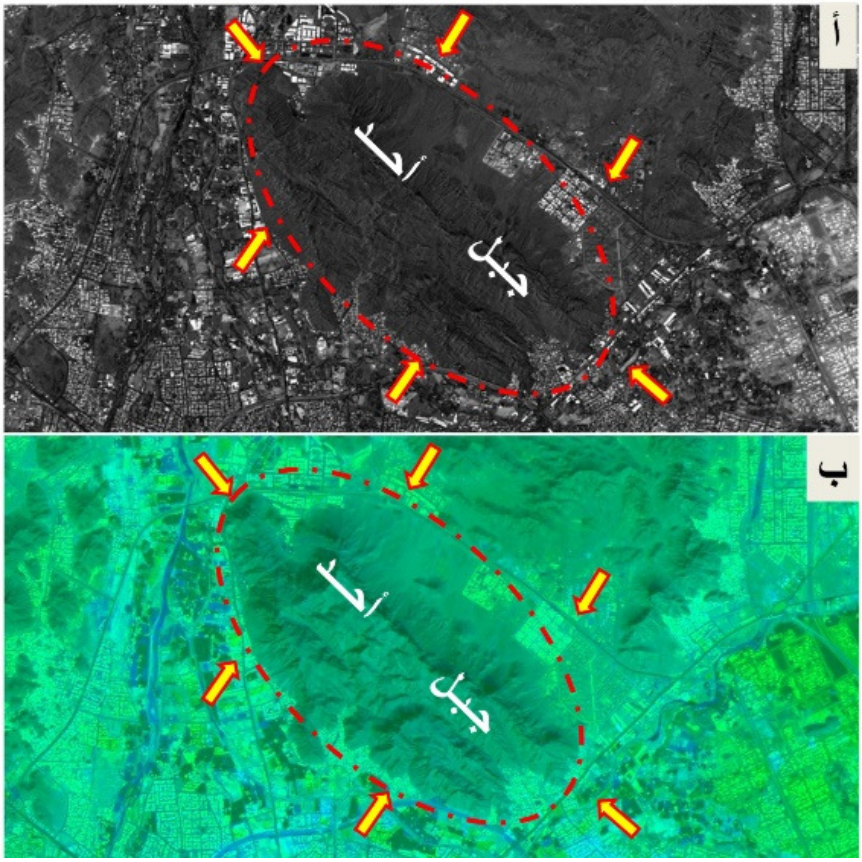
من تحليل الصور المتعددة المصادر والزيارة الميدانية المتكررة، اتضح أن سفوح جبل أُحُد على صنفين، منها ما هو مستقر لا يشكل خطورة، ومنها ما هو غير مستقر تنشط عليه حركة المواد بمختلف أنواعها وأشكالها، وترافقها منحدرات متاخمة لشبكة الطرق والمنشآت. وتتحكم البنية الجيولوجية من صدوع وشقوق ونوع التكوينات مع شدة الانحدار في درجات الخطورة بالمناطق الشمالية والغربية لجبل أحد وخاصة المنحدرات الجنوبية الملاصقة للطرق والمجاورة للنسيج العمراني (شكلان ١٠، ١١).



شكل (١٠) : مخارج ومصبات الشبكة المائية تشكل مناطق تجميع المياه الجارية وتحت السطحية ومواقع خطورة، نظرا لأن قطاع البحث واقع في منطقة التقاء لمجموعة من الأودية المميزة للنظام الهيدرولوجي الإقليمي للمدينة المنورة.

إضافة إلى ما سبق فإن مخارج ومصبات الشبكة المائية تشكل مناطق تجميع المياه، يمكن اعتبار هذه الأماكن مواقع خطرة، حيث تتجمع فيها المياه الجارية وتحت السطحية، باعتبار أن قطاع البحث واقع في منطقة التقاء لمجموعة من الأودية المميزة للنظام الهيدرولوجي الإقليمي

للمدينة المنورة. وتتراكم المخاطر السالفة الذكر لتشكل تهديدًا التجمعات السكنية والزراعية والطرق الممتدة فيها، نظرًا للتمدد العمراني المتزايد والمتسارع عبر فترات زمنية مختلفة صوب جبل أُحُد وفي جميع الاتجاهات، حيث تمّ تعديل ظواهر جيومورفولوجية عدّة منها المراوح الفيضية، وسفوح المنحدرات، ومجاري بعض الأودية؛ مما يستوجب معالجة المخاطر الطبيعية وتخفيضها من تدفق مياه السيول والفيضانات للأمطار الفجائية وحركة المواد بسبب القوة المحفزة والقوة المقاومة للسقوط الصخري والانزلاقات الأرضية. هذه السلسلة من الإجراءات الاحترازية من شأنها أن تسهم في التنبؤ المبكر للمخاطر، ويدعم التخطيط السليم والمساعدة على الوصول إلى أفضل القرارات في توجيه مخططات التهيئة المحلية والإقليمية.



شكل (١١) : (أ) عملية طرح بين صورتي سبوت بانكروماتيك ١٩٨٦ وسنتينيل ٢٠٢١ القناة ٣، **(ب)** دمج وتركيب ملون غير متزامن (Diachronic) لصورتي سبوت وسنتينيل. يظهر جليا متاخمة النشاط البشري لمناطق الخطورة لجبل أحد من جميع الاتجاهات.

الخلاصة والتوصيات:

تعتبر البيانات متعددة المصدر والتاريخ أداة فعالة في مراقبة التغير، لإظهار الخصائص الزمنية والمكانية للأنظمة الطبيعية وتقييم التفاعل القائم بين عناصرها. ويمكن اعتبار الديناميكية الجيومورفولوجية بمثابة دراسة أولية لتصميم نماذج خرائطية من أجل بناء منظومة محكمة لإدارة الأوساط والمخاطر الطبيعية، فضلاً عن توفير بيانات أساسية للقطاعات التطبيقية التي تنشط في مجال البحوث البيئية. وعلى الرغم من التدفق المتنامي للبيانات الرقمية لسطح الأرض، فإن المعلومات المكتسبة من المراقبة الميدانية المباشرة توفر تفاصيل مهمة من شأنها أن توفر نتائج محكمة للجهات ذات العلاقة. ويعتبر هذا العمل بداية طريق لبحوث مماثلة وبرؤى متعددة لعدد من الاهتمامات الجغرافية والجيولوجية، مما يتطلب إعداد دراسات تعكس القيمة الاقتصادية والثقافية والسياحية لهذا النوع من المناطق المميزة للناحية الغربية من المملكة العربية السعودية. وبناء على ذلك يمكن أن يستخدم هذا العمل لتهيئة إقليمية دقيقة، مع إمكانية تعميم هذا النموذج الذي يجمع بين الاستكشاف الميداني والبيانات الرقمية على مناطق أخرى.

المراجع

١. إسماعيل ضياء صبري عبد اللطيف، ٢٠١٤. جيومورفولوجية منحدرات جبل أحد بالمدينة المنورة: دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. مجلة كلية الآداب، جامعة بنها، المجلد ع٣٧، العدد ج٣، ص ص ١٠٢٣-١٠٨٨.

٢. بيداء محمود مجيد، أحمد علي حسن، ٢٠١٣. أشكال السفوح في جبل ئاكري، دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية. مجلة أبحاث كلية التربية الأساسية، جامعة دهوك، العراق، المجلد ١٢، العدد ٣، ص ص ٤٨١-٥١٦.

٣. داودي محمد بن العباس، ٢٠٢٠. أهمية الدراسات الميدانية في إدارة المخاطر الطبيعية: التطبيقات الجيومورفولوجية والاستشعار عن بُعد أُنموذجاً. المجلة المصرية للتغير البيئي، العدد ١، المجلد ١٢، ص ص ٧-٢٢.

٤. الدوعان محمود إبراهيم (رحمه الله)، ١٩٩٩. الأودية الداخلة إلى منطقة الحرم بالمدينة المنورة، الجمعية الجغرافية السعودية، سلسلة بحوث جغرافية، رقم ٣٨، جامعة الملك سعود، الرياض.

٥. الدوعان محمود إبراهيم (رحمه الله)، داودي محمد بن العباس، ٢٠١٦. الحـــــرّات في منطقة المدينة المنورة. المجلة المصرية للتغير البيئي، المجلد الثامن، العدد الثاني، ص ص ٥١-٦١.

doi: 10.21608/egjec.2017.94824, (2)9
http://ejecsite.files.wordpress.com/2017/10/3-12.pdf

٦. الصالح محمد، ٢٠١٠. معالجة صور الاستشعار عن بُعد الرقمية باستخدام برنامج الويس (ILWIS). قسم الجغرافيا،كلية الآداب، جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية، ١٦٠ ص.

٧. علي متولي عبد الصمد، ٢٠٠٦. جبل أحد بالمدينة المنورة: دراسة جيومورفولوجية، أبحاث الندوة التاسعة لأقسام الجغرافيا بجامعات المملكة العربية السعودية، جامعة الملك سعود، الرياض.

8. Antoine P., 1992. Les problèmes posés par l'instabilité des versants de grande ampleur-aspects géologiques. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 45, 9–22. http://doi.org/10.1007/BF02594900

9. Bamousa, A.O., Matar, S., Daoudi, M. & Al-Doaan, M., 2012. Structural and geomorphic features accommodating groundwater of Al-Madinah City. Arab J Geosci (2013) 6:3127–3132.
DOI 10.1007/s12517-012-0574-x.
http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12517-012-0574-x

10. Bertran P., 2004. Dépôts de pente continentaux: Dynamique et faciès. Quaternaire, Hors-Série, 258.
11. Bou Kheir, R., Girard, M-Cl., Khawlie, M. & Abadallah, C., 2001. Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens : une revue bibliographique. Etude et gestion des sols, volume 8, 4, 2001, 231-245.
12. Canty M.J., 2009. Image analysis, classification, and change detection in remote sensing, with algorithms for ENVI/IDL. Second edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York, 457 p.
13. Daoudi M., Al Doaan M., Jamil A., 2018. Geomorphology of Al Wahbah Crater at Harrat Kishb West of Kingdom of Saudi Arabia. Arab Journal of Geosciences, 11-297.
http://link.springer.com/article/10.1007/s12517-018-3567-6
14. Daoudi, M., 2008. Analyse et prédiction de l'érosion ravinante par une approche probabiliste sur des données multisources. Cas du bassin versant de l'oued Isser, Algérie, Thèse de doctorat en Sciences, Université de Liège, Faculté des Sciences, Département de Géographie, 288 p.
15. Dikau R., Schrott L., Dehn M., Hennrich K., Rasemann S., 1996. The temporal stability and activity of landslides in Europe with respect to climatic change (TESLEC).
16. Gomer, D., 1994. Ecoulement et érosion dans des petits bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen. Publié par: Projet pilote d'aménagement intégré du bassin versant de l'oued Mina c/o Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) 294.
17. Ilsever M., Ünsalan C., 2012. Two-Dimensional Change Detection Methods. Remote Sensing Applications. SpringerBriefs in Computer Science. Springer London, 72 p. http://doi.org/10.1007/978-1-4471-4255-3
18. Ionita, I., 2006. Gully development in the Moldavian Plateau of Romania. Catena 68, 133-140.
19. Lu D., Mausel P., Brondízio E., Moran E., 2004. Change detection techniques. International Journal of Remote Sensing, Volume 25, Issue 12, Pages 2365-2401. http://doi.org/10.1080/0143116031000139863
20. Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten G. & Valentin, C., 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. Catena 50, 91-133.
21. Radoane, M., Ichim, I. & Radoane, N., 1995. Gully distribution and development in Moldavia, Romania. Catena 24, 127-146.
22. Roose, E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin pédologique, FAO, 420 p.
23. Tihay J.P., 1976. Dynamique des versants et milieux naturels. In : Annales de Géographie, T. 85, n°469, pp. 257-280.
doi : http://doi.org/10.3406/geo.1976.18976
24. Tricart J., 1965. Principes et méthodes de la géomorphologie. Masson et Cie, Editeurs, 496 p.
25. Vanwalleghem, T., Poesen, J., Nachtergaele, J. & Verstraeten, G., 2005. Characteristics, controlling factors and importance of deep gullies under cropland on loess-derived soils. Geomorphology 69, 76-91.

Geomorphology of the Slopes of Uhud Mountain in Al-Madinah Al-Munawarah (1965-2021)

ABSTRACT

The aim of the study is to detect the change of the slopes of a mountainous region exposed to factors of instability, through the geomorphological dynamics that lead to the rapid and sudden transformation of the terrain and sloping lands of Mount Uhud in Al-Madinah Al-Munawarah, western Saudi Arabia. The research methodology relied on field study and multi-source data processing: topography, geology, digital elevation model with 30-meter resolution, and satellite images (Corona 1965, 1978, Spot 1986, digital aerial photos 2009, Sentinel-2 2021). The study focused on the unstable, most dynamic, and dangerous areas, knowing their slope categories and the controlling, and generating factors for the movement of materials from the tops of the slopes towards their bottoms, starting with the geological structure of the linear, the types of the rocks, mechanical, chemical, and biological weathering. The study deals with many landforms, the most extreme of which have been studied: rock fall, tallus and fragments, encroachment of surface deposits. The study also dealt with cases in which human activity contributes to accelerating the change and development of the slopes, including engineering works that are carried out without considering the nature of the surface formations of the area and the conditions for choosing the site and location for the completed projects. The work concluded with a cartographic design to determine the areas of geomorphological dynamics, highlighting the importance of the practical aspect of protecting the slopes, and providing some recommendations as future solutions to reduce and reduce the risks of material movement on the slopes.

Key Words: Geomorphological Dynamics, DEM, Remote Sensing, GIS, Uhud Mountain, Madinah Al-Munawarah.