حوليات آداب عين شمس المجلد 51 (عدد يناير – مارس 2023)
http://www.aafu.journals.ekb.eg
(دورية علمية محكمة)
جامعة عين شمس
كلية الآداب

رؤية مستقبلية لتطوير تطبيقات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية فى جيومورفولوجية الأراضى الجافة

أ.د/ معوض بدوى معوض بدوى*

أستاذ الجيومورفولوجيا ورئيس قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية – كلية الآداب – جامعة عين شمس
moawad.badawy@art.asu.edu.eg

تاريخ الاستلام: 2022/2/14
تاريخ قبول البحث: 2022/3/10
تاريخ النشر: 2023/3/31

المستخلص:

تتناول هذه الدراسة رؤية مستقبلية لتطوير تطبيقات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية فى دراسات جيومورفولوجية الأراضى الجافة. وتأتى أهمية الدراسة الحالية فى التعرف على الاتجاهات الحديثة فى طرق جمع ومعالجة وتحليل البيانات المكانية للدراسة الجيومورفولوجية فى الأراضى الجافة فى ظل التطور الهائل لتقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية. وتقديم رؤية مستقبلية لتعظيم قدر الاستفادة من هذه التقنيات فى موضوع الدراسة. ولتحقيق ذلك اتبعت الدراسة اسلوب المسح الشامل داخل الدوريات العالمية الأجنبية والعربية المتخصصة المرموقة فى الفترة من 2000 حتى 2021، وذلك للوقوف على الاتجاهات الحديثة والموضوعات محل الاهتمام من قبل الباحثين، واستبيان مدى التقدم الذى احرزته الدراسات الجيومورفولوجية فى الأراضى الجافة فى الاستفادة من تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية. ثم صنفت الدراسة الأبحاث العلمية حسب الموضوعات الأكثر شيوعا واهتماما، وقدمت تحليلا كميا لهذه الأبحاث، واعتمدت على المنهج الوصفى فى تحليل مضمون عدد منها. ثم استعرضت الدراسة نماذج من الدراسات الأجنبية والعربية لمعرفة مدى التشابه والاختلاف فيما بينها. وأخيرا قدمت الدراسة رؤية مستقبلية لتطوير هذه الدراسات فى ظل تطور التقنيات المكانية الحديثة ووسائل جمع وتحليل البيانات من خلال التوسع فى استخدام التصوير الجوى بالطائرات بدون طيار، وماسحات الليزر والرادار الأرضى، واستعمال الذكاء الأصطناعى وتعلم الميكنة ولغات البرمجة المكانية فى تفسير بيانات الاستشعار من بعد وبناء قواعد البيانات الجغرافية وإنشاء الخرائط والنماذج المكانية.

الكلمات المفتاحية: الاستشعار عن بعد ، نظم المعلومات الجغرافية ، الأراضى الجافة ، الجيومورفولوجية

© جميع حقوق الطبع والنشر محفوظة لحولية كلية الآداب – جامعة عين شمس 2023.

أولًا:مقدمة

تحظى الأراضى الجافة وشبه الجافة بتاريخ طويل من الدراسة الجيومورفولوجية بداية من النصف الثانى من القرن التاسع عشر مع تزايد الحركات والبعثات الاستكشافية والتوسع الاستعمارى (Goudi, 2013)، بل إن الدراسات الأولى للمناطق الجافة جاء بعضها بمحض الصدفة من غير المتخصصين، ومن ثم غلب عليها الطابع الوصفى غير العلمى (Thomas, 2011).

لقد قام الاستعمار الفرنسى فى بلاد المغرب العربى (تونس – الجزائر – المغرب) وشمال أفريقيا بعدد من الرحلات الاستكشافية الرائدة لبحار الرمال فى الصحراء الكبرى مع مطلع القرن العشرين، وقدموا دراسات أصولية حول أشكال وأنواع الكثبان الرملية وربطها باتجاهات الرياح السائدة. كما قام عدد من الباحثين الألمان بدراسة مظاهر التجوية والرياح وتطور مظاهر السطح فى جنوب غرب أفريقيا (صحراء ناميبيا حالياً) والشرق الأوسط، ويُعد الكتاب الذى وضعه الألمانى يوهانيس فالتر Johannes Waltherعام 1900 فى 180 صفحة بعنوان: **(ظروف تكوين الصحراء فى الماضى والحاضر) Das Gesetz der Wuestenbildung in Gegenwart und Vorzeit** أول كتاب علمى متخصص فى دراسة العمليات الجيومورفولوجية فى الصحارى (Goudi, 2013)، والذى ركز فيه على دور عمليات التجوية الحرارية فى تفتيت الصخور، وكذلك دور التجوية الملحية والرياح.

كما قدم المساحون والجيولوجيون الإنجليز أمثال بيدنل Beadnell وجون بول John Ball وهيوم Hume عدداً من الدراسات الرائدة في صحراء مصر الغربية (الصحراء الليبية سابقاً) منذ بدايات القرن العشرين، وتعد دراسات الضابط والجيولوجى الإنجليزي رالف باجنولد Ralph Bagnold من الدراسات الرائدة فى مجال الكثبان الرملية فى مصر والعالم.

وقد شهدت الدراسات الجيومورفولوجية للأراضى الجافة تحولات سريعة فى طرق جمع البيانات وأساليب المعالجة مع مطلع القرن العشرين بفضل تطور وتحسين وسائل النقل والمواصلات، والاهتمام بالكشوف الجغرافية للمناطق النائية بغرض حصر مواردها والوقوف على إمكاناتها الطبيعية وسبل استغلالها، وكذلك بفضل الثورة الكمية فى طرق جمع وتحليل البيانات المكانية، مع تطور وسائل المسح والعمل الميدانى وإنشاء الخرائط اعتمادا على الصور الجوية التى اصبحت تستخدم على نطاق واسع فى الأعمال المدنية بعد نهاية الحرب العالمية الثانية.

وقد تمكنت الدراسات الجيومورفولوجية للأراضى الجافة مع مطلع القرن العشرين من طرح الأفكار والنظريات العلمية لدراسة العامل والعمليات الجيومورفولوجية لتفسير الطريقة التى تطورت بها أشكال السطح فى تلك المناطق، لا سيما وأن الأراضى الجافة تتمتع بقدر كبير من التنوع فى أشكال السطح الناتجة عن عوامل التعرية المختلفة مثل التجوية والرياح والسيول والتراكيب الجيولوجية..إلخ، فضلا عن إنشاء الخرائط الجيومورفولوجية لمظاهر السطح المختلفة فى تلك المناطق الصحراوية النائية والتى يتعذر الوصول إليها. وقد ساعدت هذه الخرائط فى عمليات التخطيط لشق الطرق والتوسع العمرانى واستصلاح الأراضى وبحث سبل استغلال الموارد المتاحة.

ولعل أبرز ما يمكن الإشارة إليه فى هذا الشأن أن الأراضى الجافة تتضمن على العديد من مظاهر السطح الموروثة، أو بعبارة أكثر دقة ليست وليدة ظروف الجفاف الحالية (Goudi, 2013)، مما يعنى أنها شهدت فيما مضى فترات من الرطوبة بدرجات متفاوتة أدت إلى تطور مظاهر السطح فيها قبل أن تسودها ظروف الجفاف الحالية، مثل انتشار الأودية الجافة والمراوح الفيضية والرواسب البحيرية القديمة (البلايا) والمظاهر الكارستية ..إلخ.

ويعود الفضل حاليا فى تطور طرق ووسائل البحث الجيومورفولوجى لما يطلق عليه بثورة المعلومات والتى بدأت مع إطلاق أول قمر صناعى متخصص فى دراسة موارد الأرض والتابع لوكالة الفضاء الأمريكية ناسا والمعروف باسم لاندسات–1 عام 1972، وما تبعه من إطلاق سلسلة من الأقمار الصناعية الأخرى العاملة فى مجال رصد ومتابعة الأرض، وتوفير بيانات ارتفاعات السطح المعروفة بنماذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Models (DEM)، وظهور البرمجيات المتخصصة فى مجال نظم المعلومات الجغرافية وتحليل الصور الفضائية منذ نهاية الثمانينات من القرن العشرين، علاوة على ظهور عدد من البرمجيات المتخصصة فى تحليل المظاهر الطبيعية لسطح الأرض مثل SURFER, TOPAZ, MICRODEM.

ثانيًا: هدف البحث

تشغل الأراضى الجافة – باستثناء الصحارى الباردة –ما يقرب من ثلث مساحة اليابس (30%)، وتزداد هذه المساحة لنحو نصف مساحة اليابس تقريباً (49% من مساحة اليابس) لو أضفنا إليها الأقاليم الإنتقالية على هوامش الصحراء (Laity, 2008)، والتى تتعرض لذبذبات متكررة فى معدلات التساقط والتبخر– نتح، مما يجعلها عرضة لدورات من الجفاف قد تطول أو تقصر زمنيا حسب العوامل المسببة لهذه الظروف.

ومع التحديات الحالية التى يواجهها العالم نتيجة الزيادة المستمرة فى أعداد السكان[1] وفى ظل محدودية الأرض المعمورة والموارد المتاحة ظهرت الحاجة إلى ضرورة تعمير واستصلاح المناطق غير المأهولة بالسكان وحصر مواردها وبحث سبل استغلالها. ولكى يتسنى ذلك لدول العالم المختلفة التى تشهد نهضة إقتصادية وعمرانية كان لابد من الاعتماد على الدراسات والأبحاث المتخصصة وتحسين أساليب البحث العلمى للوصول إلى معلومات دقيقة عن الأراضى الجافة.

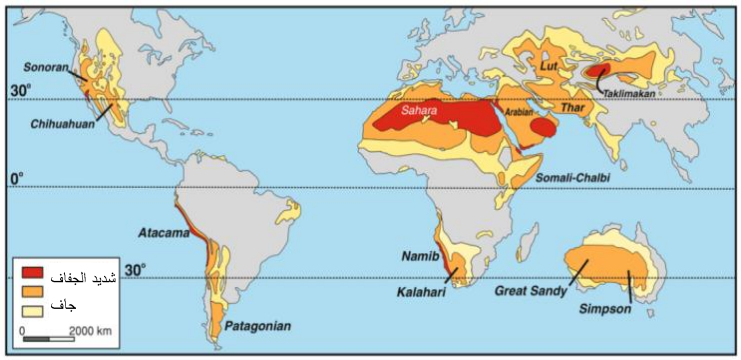
وتعد الدراسة الجيومورفولوجية للمناطق الجافة واحدة من أهم فروع المعرفة التى تمدنا بصورة شمولية عن سمات وخصائص السطح فى هذه المناطق، والتى تستند على ما يقوم بإعداده الباحثون من خرائط وتحليلات مكانية لمظاهر السطح الطبيعية استنادا إلى بيانات الاستشعار من البعد والدراسات الميدانية والتحليلات المكانية، بهدف الوصول إلى معلومات دقيقة عن هذه الأراضى، ووضع النظريات والنماذج الأرضية الخاصة بتطور أشكال السطح، وبحث سبل استغلالها كأحد الجوانب المتعلقة بالجيومورفولوجيا التطبيقية، وكذلك لدرء ومواجهة الأخطار الجيومورفولوجية التى قد تنعكس سلبا على المناطق المأهولة بالسكان.

ويهدف هذ البحث إلى رصد الاتجاهات البحثية الحديثة ووضع تصور ورؤية مستقبلية لتطور استخدام بيانات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية فى الدراسات الجيوموفولوجية المعنية بالأراضى الجافة. وهو أمر مرهون

بالتطور السريع الذى تشهده تلك التقنيات، والذى يرتبط بدوره بجودة الصور التى تتيحها أجهزة الاستشعار من بعد المختلفة، فضلا عن تطور طرق ووسائل التحليل المكانى داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية، مع إمكانية استخدام لغات البرمجة مثل لغتى Python و R فى تحليل البيانات المكانية.

ثالثًا: المفاهيم الأساسية

1. الأراضى الجافة: يشير مفهوم الجفاف إلى ندرة المياه والرطوبة بوجه عام، وتحدد منظمة اليونسكو (UNESCO, 1979) الأراضى الجافة اعتمادا على حساب مؤشر الجفاف Aridity Index (AI) وفقاً للنسبة بين التساقط Precipitation (P) والتبخر نتح المحتمل Potential Evapotranspiration (PET). وبناء على هذه العلاقة – (P/PET) – وضعت منظمة اليونسكو عام 1979 تصنيفا للأقاليم المناخية، تتحدد فيه الأراضى الجافة بمؤشر جفاف أقل من 0.20، كما تعتبر قيمة معامل الجفاف 0.05 حدا فاصلا بين الأراضى شديدة الجفاف والأراضى الجافة. وفقا لهذا تغطى الأراضى الجافة وشبه الجافة ما يقدر بنحو 49 مليون كم^2 (شكل 1)، بما يعادل نحو 30 % من سطح الأرض (Laity, 2008).



(Maliva & Missimer 2012)

شكل 1: التوزيع الجغرافى للأراضى الجافة فى العالم

2. الجيومورفولوجيا: هو أحد علوم الأرض التى تهتم بدراسة أشكال السطح وتوزيعها الجغرافى والعوامل والعمليات التى أدت إلى نشأتها وتطورها فى الماضى والحاضر، وتأريخها. ويختص علم الجيومورفولوجيا بدراسة العوامل والعمليات التى تشكل سطح الأرض مثل الأنهار والرياح والبحر والتجوية وحركة المواد والجليد والكارست والبنية الجيولوجية وفعل الإنسان، وكذلك دور التغيرات البيئية فى الماضى والحاضر وأثرها على أشكال السطح (Migon, 2010). بالإضافة إلى الأخطار الجيومورفولوجية.

3. الاستشعار من بعد: هو علم وفن جمع المعلومات عن ظاهرات سطح الأرض دون وجود إتصال فعلى بهذه الظاهرات (Lillesand et al. 2015)، ويعتمد على المستشعرات التى تسجل الطاقة المنعكسة من ظاهرات سطح الأرض، وتحليلها بصريا visually أو رقميا digital image processing باستخدام الرياضيات والإحصائيات بغرض استنتاج المعلومات المكانية عن ظاهرات السطح (Jensen, 2005).

وينقسم الاستشعار من بعد وفقا لخصائص المستشعرات sensors وطريقة التصوير إلى استشعار إيجابى وأخر سلبى. ويعتمد الاستشعار الإيجابى على التصوير باستخدام موجات الرادار والليدار والسونار. أما الاستشعار السلبى فيعتمد على التصوير فى ضوء الشمس الطبيعى فى المجال المرئى من الضوء والذى يتراوح طوله الموجى بين 0.38–

0.74 ميكرومتر، وكذلك فى مجال الأشعة تحت الحمراء (القريبة والمتوسطة والبعيدة). ومن ثم تختلف خصائص الصور المستمدة من كل منهما مع اختلاف الطول الموجى ونظم التصوير.

4. نظم المعلومات الجغرافية: هى علم معلوماتى يركز على جمع وإدارة وتحليل ونمذجة وعرض البيانات الجغرافية (المكانية) باستخدام الحاسب الآلى، وهو علم متكامل يجمع بين المفاهيم والنظريات والتقنيات المتطورة من مجموعة واسعة من التخصصات المختلفة، مما يسمح برؤى جديدة مبتكرة لزيادة فهم عالمنا والعلاقات المكانية المعقدة (Kemp, 2008).

رابعًا: الإطار البحثى ومصادر البيانات

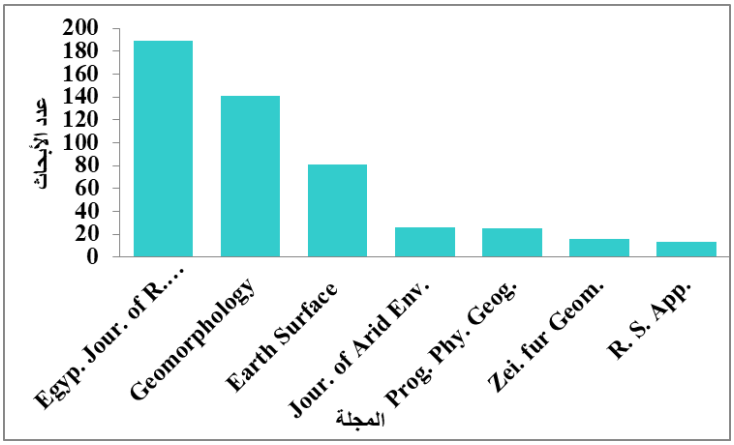
يتمثل الإطار البحثى لهذه الدراسة المرجعية فى الكشف عن الاتجاهات الحديثة التى تتبناها الدراسات الجيومورفولوجية فى الأراضى الجافة باستخدام بيانات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية فى الدراسات الأجنبية والعربية. ولتحقيق هذا كان لابد من إجراء مسح شامل للأبحاث العلمية المنشورة فى جهات دولية مرموقة وموثقة فى قواعد البيانات العالمية والمحلية. أما الإطار الزمنى للبحث فيمتد فى الفترة منذ عام 2000 حتى عام 2020، وفيما يلى عرض لمصادر البحث على النحو التالى:

1. قاعدة بيانات سكوبس SCOPUS: قاعدة بيانات ببلوجرافية لملخصات الأبحاث العلمية والاستشهادات Abstract and citation database المنشورة فى مجلات ودرويات محكمة، وكذلك فى الكتب والمؤتمرات العلمية، وقد أطلقتها دار النشر العالمية Elsevier في عام 2004. وتغطي قاعدة بيانات Scopus ما يقرب من 36,377 عنوانًا تصدر من 11,678 ناشرا بنحو 40 لغة مختلفة، منها 34,346 مجلة ودورية محكمة على مستوى عال بنظام التحكيم الأعمى Blind review فى العلوم الإجتماعية والطبيعية والصحية والتكنولوجية وبراءات الإختراع والمجلات التجارية[2]. ويتم مراجعة جميع المجلات والدوريات العلمية التي تغطيها قاعدة بيانات Scopus كل عام للحصول على جودة علمية عالية وفقا لأربعة أنواع من مقاييس الجودة الرقمية لكل عنوان. وتتيح قاعدة بيانات Scopus البحث بمجال الدراسة أو الكلمات الدالة أو أسم المؤلف، مع عرض الملخصات والتوثيق والاستشهادات، وحفظ نتائج البحث فى قوائم إلكترونية.

وتصنف المجلات والدوريات إلى أربعة أرباع Quarters بداية منQ1 وحتى Q4 وفقًا لمعامل تأثير المجلة Impact Factor (IF). وتعتبر مجلات الربع الأول Q1 أفضل الدوريات العلمية حيث تندرج كلها كذلك ضمن قاعد بيانات Clarivate، وهى شركة عالمية رائدة في تقديم تحليلات موثقة لكافة حقوق الابتكار والنشر لحمايتها وتعزيزها[3]. واعتمد الباحث فى عمليات البحث داخل قاعدة بيانات Scopus على معيارين للبحث هما مجال الدراسة (الجغرافيا والتخطيط والتنمية) داخل العلوم الإجتماعية وعلوم الأرض، وكذلك الكلمات الدالة. وفيما يلى نتائج البحث حسب كل منهما:

1.1. البحث بمجال الدراسة (الجغرافيا، التخطيط والتنمية): وفقا لهذا المعيار تضم قاعدة بيانات Scopus 8,774 دورية علمية متخصصة فى الجغرافيا والتخطيط والتنمية حتى نهاية عام 2021. ونظرا لكبر هذا العدد فقد تم البحث فى دوريات الربع الأول Q1 والثانى Q2 لما لها من معامل تأثيرواستشهاد واسع. ووفقا لهذا المعيار بلغ عدد الدوريات فى مجال

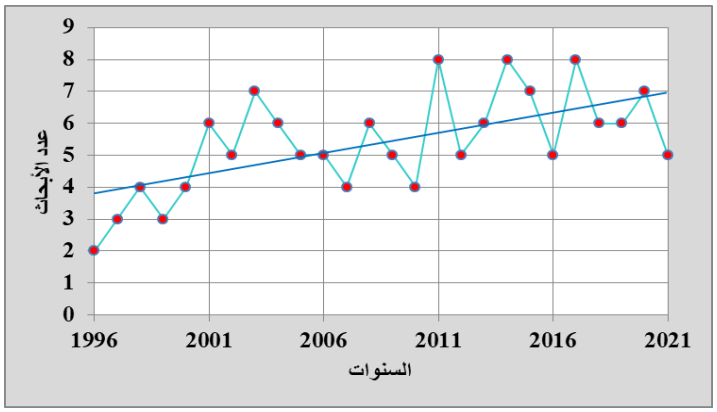
الدراسة التابع لمجلات الربع الأول والثانى 435 دورية، ويصنف بعض من هذه الدوريات ضمن مجموعات أخرى من المجالات البحثية أهمها علوم الأرض والكواكب Earth and Planetary Sciences. يختص عدد محدود منها بمجال الجيومورفولوجيا والجغرافيا الطبيعية وتطبيقات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية، ويوضح جدول (1) بعضا من أشهر هذه الدوريات.



(من حساب الباحث من البيانات المستخرجة من الموقع الرسمى لكل دورية)

شكل 2: تباين أعداد الأبحاث المتخصصة فى موضوع البحث فى عدد من الدوريات المتخصصة

ويوضح (شكل 2) أن المجلة المصرية للاستشعار من بعد وعلوم الفضاء The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science والتى تصدر باللغة الإنجليزية عن الهيئة القومية للاستشعار من بعد بالقاهرة ودار نشر Elsevier تأتى فى المرتبة الأولى برصيد 189 بحثا يتعلق بموضوع الدراسة فى الفترة من 2000 وحتى يناير 2022، يليها مجلة جيومورفولوجى Geomorphology المتخصصة والتى تصدر عن Elsevier فى المرتبة الثانية، حيث تضم 141 بحثا. يليها فى الترتيب مجلة Earth Surface Processes and Landforms والتى تصدر عن John Wiley & Sons بعدد 81 بحثا، ثم مجلة Journal of Arid Environments والتى تصدر عن Elsevier بعدد 26 بحثا، يليها مجلة Progress in Physical Geography والتى تصدر باللغة الإنجليزية فى الولايات المتحدة الأمريكية عن دار نشر SAGE، برصيد 25 بحثا، ثم تقل أعداد الأبحاث تباعا فى المجلات الأخرى كما يوضحها جدول (1). وبتحليل بيانات مجلة جيومورفولوجى Geomorphology باعتبارها كبرى المجلات المتخصصة فى مجال الجيومورفولوجيا عموما على مستوى العالم، يتبين أن هناك اتجاها عاما نحو تزايد أعداد الأبحاث المتخصصة فى موضوع الدراسة (شكل 3).



(من عمل الباحث اعتمادا على الإحصائيات المستمدة من موقع المجلة)

شكل 3: التزايد العام فى عدد الأبحاث المتخصصة فى موضوع البحث فى مجلة جيومورفولوجى (1996-2021)

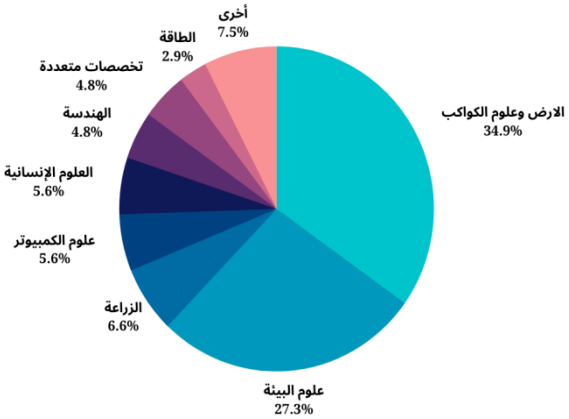
جدول 1: بيان ببعض الدوريات الأجنبية المتخصصة وعدد الأبحاث الخاصة بموضوع الدراسة

الدورية	عدد الأبحاث الخاصة بموضوع البحث	معامل التأثير IF	مؤشر الاستشهاد عام 2021 CiteScore	الرقم المسلسل	الناشر	موقع الدورية
The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science	189	5.188	8.8	ISSN: 1110-9823	Elsevier	https://www.sciencedirect.com/journal/the-egyptian-journal-of-remote-sensing-and-space-science
Geomorphology	141	4.139	7.6	ISSN: 0169-555X	Elsevier	https://www.journals.elsevier.com/geomorphology
Earth Surface Processes and Landforms	81	4.133	6.5	ISSN:0197-9337	John Wiley & Sons	https://onlinelibrary.wiley.com/journal/10969837
Journal of Arid Environments	26	2.211	3.6	ISSN: 0140-1963	Elsevier	https://www.journals.elsevier.com/journal-of-arid-environments
Progress in Physical Geography	25	3.795	5.8	ISSN:0309-1333E-ISSN:1477-0296	SAGE	https://journals.sagepub.com/home/ppg
Zeitschrift fur Geomorphologie	16	1.063	1.7	ISSN:0372-8854	Schweizerbart 'sche Verlagsbuchh andlung	https://www.schweizerbart.de/journals/zfg
Remote Sensing Applications: Society and Environment	13		5	E-ISSN:2352-9385	Elsevier	https://www.sciencedirect.com/journal/remote-sensing-applications-society-and-environment

(من حساب الباحث اعتمادا على البيانات المستخرجة من الموقع الرسمى لكل دورية)

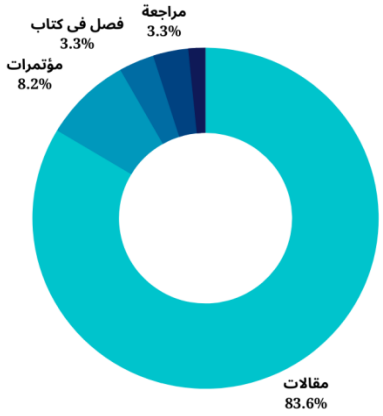
2.1. البحث بالكلمات المفتاحية: يساعد البحث بالكلمات الدالة على توسيع نطاق البحث خارج مجال الجغرافيا والعلوم الإنسانية، ذلك إذ أن هناك دوريات علمية تغطى العديد من التخصصات البينية ذات الصلة ببعضها البعض، خاصة علوم الأرض. واعتمد الباحث على استخدام عدد من الكلمات المفتاحية لتوسيع دائرة البحث، وهى: الجيومورفولوجيا، الصحراء Desert، الأراضى الجافة وشبه الجافة Arid and semi-arid lands، الاستشعار من بعد Remote Sensing، نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information System.

ويشير تحليل الإحصائيات من بيانات Scopus إلى أن هناك تزايدا عاما فى أعداد البحوث المتعلقة بجيومورفولوجية المناطق الجافة، ومع ذلك مازال عددها ضئيل لا يتناسب مع ما تشغله هذه الأراضى من مساحات شاسعة وما تحتويه من تنوع فى أشكال السطح. والجدير بالذكر أن هذا الإهتمام يغطى عدة مجالات بحثية متنوعة لا تقتصر فقط على الجغرافيا، لذلك نجد أن الدوريات المتخصصة فى علوم الأرض تقتنص وحدها 35.2% من جملة البحوث، يليها الدوريات المتخصصة فى دراسات البيئة 27.6%، ثم الزراعة 6.7%، فالعلوم الإجتماعية والكمبيوتر بنسبة 5.6% لكل منهما، وأخيرا التخصصات الأخرى بنسب متفاوتة (شكل 4).



شكل 4: تصنيف الأبحاث المتعلقة بجيومورفولوجية المناطق الجافة حسب التخصصات البحثية المختلفة

وطبقا لنوعية الأبحاث فتشير الإحصائيات إلى أن المقالات الأصلية المنشورة فى الدوريات تغطى النسبة الغالبة (83.6% من إجمالى الأبحاث)، يليها الأوراق البحثية المنشورة فى المؤتمرات الدولية بنسبة 8.2%، ثم الفصول المنشورة فى الكتب العلمية والمراجعة بنسبة 3.3% لكل منها، وأخيرا أوراق البيانات بنسبة 1.6% (شكل 5). والواقع أن الأبحاث التى تطرحها الدوريات العالمية تتضمن عادة على أفكار بحثية جديدة ومتطورة، ويساعد التحكيم الأعمى وشروط النشر الصارمة فى الدوريات العالمية على ضرورة أن يقدم البحث المنشور بداخلها إضافة علمية جديدة فى مجال البحث، لا سيما فى تطور وسائل البحث والتحليل، ذلك على عكس الكتب العلمية التى تستغرق فترة زمنية أطول للتنقيح.



شكل 5: تصنيف البحوث حسب النوعية

2. بنك المعرفة المصرى Egyptian Knowledge Bank: يتضمن بنك المعرفة المصري (EKB) على مجموعة ضخمة من الموارد التعليمية المتاحة عبر الإنترنت داخل مصر. ويضم بنك المعرفة العديد من المجلات العلمية المصرية مثل المجلة الجغرافية العربية، حولية كلية الأداب – جامعة عين شمس، مجلة كلية الآداب والعلوم الإنسانية – جامعة قناة السويس، مجلة بحوث كلية الآداب – جامعة المنوفية ..إلخ.

وتضم قاعدة بيانات بنك المعرفة المصرى أكثر من 25 ناشرا من صفوة الناشرين على مستوى العالم شاركوا بتقديم مقاطع فيديو، ومقالات، وصور، وملفات صوتية، ومواد تفاعلية، وأدلة تعلّم لإنشاء مكتبة ثرية تضم موارد تعليمية متنوعة من ناشرين بارزين مثل Britannica ، وElsevier، وNational Geographic، وSpringer، وWilley، وOxford University Press، و[4]Mebooks. كما يتيح بنك المعرفة المصرى عددا من المجلات العلمية المتخصصة للجامعات ومراكز البحوث المصرية والتى تم الاستعانة بها عند دراسة الاتجاهات الحديثة فى الدراسات العربية.

خامسًا: الدوريات الأجنبية محل الدراسة

1- **المجلة المصرية للاستشعار من بعد وعلوم الفضاء (EJRS):** مجلة دولية من مجلات الربع الأول (Q1) تصدر باللغة الإنجليزية عن الهيئة القومية للاستشعار من بعد وعلوم الفضاء فى مصر. وقد صدر العدد الأول منها عام 1999، وهى تصدر منذ عام 2014 عن دار نشرElsevier. تغطي المجلة المصرية للاستشعار عن بعد وعلوم الفضاء (EJRS) جميع جوانب الاستشعار عن بعد وأنظمة المعلومات الجغرافية وتطوير تقنيات وتطبيقات الفضاء. كما تغطى المجلة عددا من الأبحاث الأصلية البينية المتعلقة بتطوير تكنولوجيا الاستشعار من بعد وتطبيقاتها من أجل التخطيط الأمثل والتنمية المستدامة وحماية الموارد البيئية.

2- **مجلة جيومورفولوجى Geomorphology:** مجلة دولية من مجلات الربع الأول (Q1) متخصصة فى مجال الجيومورفولوجي تصدر باللغة الإنجليزية، وقد صدرت لأول مرة عام 1987 عن دار نشر Elsevier. ويصدر منها

عددان شهريا بداية من عام 2008، وقد يحتوى العدد الواحد على أكثر من جزء. وتهتم المجلة بنشر البحوث الجيومورفولوجية الأساسية والتطبيقية ذات الصلة بالتنمية المستدامة للبيئة. ويشمل نطاق المجلة العديد من الموضوعات الجيومورفولوجية هى: الجيومورفولوجيا التكتونية، العمليات الجليدية والتضاريس، الجيومورفولوجيا النهرية، التغيرات البيئية خلال الزمن الرابع والتأريخ، حركة المنحدرات وتعرية التربة والعمليات المرتبطة بالجليد، عمليات التجوية والكارست، الكثبان الرملية والبيئات الجافة، العمليات الساحلية والبحرية ومصبات الأنهار والبحيرات، النمذجة، الجيومورفولوجيا النظرية والكمية ؛ أساليب وتطبيقات نماذج الارتفاعات الرقمية ونظام المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، الأخطار والجيومورفولوجيا التطبيقية والكواكب ..إلخ.

3- **مجلة عمليات سطح الأرض والأشكال الأرضية Earth Surface Processes and Landforms:** مجلة دولية علمية تصدر عن الجمعية البريطانية للجيومورفولوجيا (BSG)، والمعروفة سلفا باسم المجموعة البريطانية للأبحاث الجيومورفولوجية (BGRG). وهى منظمة مهنية بريطانية تروج لمجال الجيومورفولوجيا، وتشجع على الاهتمام بعدة موضوعات متخصصة فى الجيومورفولوجيا هى: عمليات تشكيل سطح الأرض، عمليات النحت والترسيب وتشكيل الأشكال الأرضية، الجغرافيا الطبيعية للأنهار والأودية والأنهار الجليدية، والجبال، والتلال، والمنحدرات، والساحل، والصحراء، ومصبات الأنهار، فضلا عن اهتمامها بالتغيرات البيئية التى حدثت فى الزمن الرابع. وقد صدرت المجلة لأول مرة عام 1976، عن دار نشر Wiley Press. بمعدل عددين شهريا فيما عدا شهور مارس ويونيه وسبتمبر، وتعنى بالتفاعلات بين العمليات السطحية والتضاريس التي تؤدي إلى تغييرات فيزيائية وكيميائية وبيولوجية وتأثيرها على نشأة التضاريس والسجل الجيولوجى، ونشر الأعمال والبحوث الجيومورفولوجية.

4- **مجلة البيئات الجافة Journal of Arid Environments:** مجلة دولية من مجلات الربع الأول (Q1)، متخصصة فى دراسات البيئات الجافة تصدر باللغة الإنجليزية عن Elsevier. ويصدر منها ثلاثة أعداد سنويا، وقد يتضمن العدد الواحد على أكثر من مجلد أو جزء. وتصنف هذه المجلة ضمن الدوريات الدولية التى تركز على نشر أوراق بحثية عالية الجودة تقدم رؤى أصلية في القضايا العلمية والبيئية الطبيعية والبشرية الهامة في الأراضي الجافة حول العالم. وتدرك المجلة قيمة تكامل التخصصات المتعددة للتحقيق في القضايا العلمية والمجتمعية المعقدة التي تواجه الأراضي الجافة في العالم وفهمها بشكل أفضل.

5- **مجلة التقدم فى الجغرافيا الطبيعية، الأرض والبيئة Progress in Physical Geography: Earth and Environment:** مجلة دولية من مجلات الربع الأول (Q1) تصدر باللغة الإنجليزية عن دار نشر SAGE بالولايات المتحدة الأمريكية، صدر العدد الأول منها عام 1977. وتهتم المجلة بنشر الأبحاث المتطورة فى مجال الجغرافيا الطبيعية والبيئة.

6- **مجلة الجيومورفولوجيا Zeitschrift für Geomorphologie:** مجلة دولية بدأت فى الصدور عام 1958 عن دار نشر Schweizerbart science publishers بألمانيا. ويصدر منها عدد واحد سنويا فى عدة أجزاء، يتراوح عدد الأجزاء بين ثلاثة إلى خمسة أجزاء فى العدد الواحد. وتنشر البحوث باللغة الألمانية والإنجليزية والفرنسية، غير أن

المجلة حاليا لا تقبل سوى الأبحاث المكتوبة باللغة الإنجليزية فقط. وتقوم المجلة بنشر الأبحاث الأصيلة المتخصصة فى مجال الجيومورفولوجيا عموما، بما في ذلك البحوث الأساسية والدراسات التطبيقية.

7- **مجلة تطبيقات الاستشعار من بعد: المجتمع والبيئة Remote Sensing Applications: Society and Environment:** مجلة دولية من مجلات الربع الأول (Q1)، متخصصة فى مجال الاستشعار من بعد وتطبيقاته البيئية والمجتمعية تصدر باللغة الإنجليزية عن Elsevier، وقد صدر العدد الأول منها فى عام 2015. وتصدر المجلة عددين سنويا: العدد الأول فى يوليه والعدد الثانى فى ديسمبر. وتهتم المجلة بتطبيقات الاستشعار من بعد فى الدراسات الإقليمية والمحلية ذات الأهمية العالمية، مثل التغيرات المناخية وارتفاع منسوب سطح البحر والتنوع الحيوى وتغيرات النظام البيئى والموارد الأرضية وتدهور التربة والأخطار الطبيعية. كما تهتم كذلك بتأثير استخدام دراسات الاستشعار عن بعد في تحسين النظم الإجتماعية والسياسية والبيئية والإقتصادية.

سادسًا: الدوريات العربية والمواقع الإلكترونية

اعتمدت الدراسة فى الكشف عن الاتجاهات الحديثة في الدراسات العربية على عدد من المصادر المتخصصة وهى: المجلة الجغرافية العربية الصادرة عن الجمعية الجغرافية المصرية بالقاهرة، وسلسلة رسائل الجغرافية الصادرة عن الجمعية الجغرافية الكويتية، ومجلة العلوم الإجتماعية التى تصدر عن جامعة الكويت، وسلسلة بحوث جغرافية التى تصدر عن الجمعية الجغرافية السعودية، علاوة على استخدام قاعدة بيانات اتحاد المكتبات المصرية لحصر رسائل الماجستير والدكتواره التي أجيزت في الجامعات المصرية وكشاف مبتعث، وكذلك الأبحاث المنشورة في بعض المجلات العلمية الصادرة عن كليات الآداب والتربية بالجامعات المصرية بالمشاركة مع بنك المعرفة المصرى، وغير المصرية لاستبيان الاتجاه العام فى مجال البحث فى المؤلفات العربية.

1- **المجلة الجغرافية العربية (الجمعية الجغرافية المصرية):** تعتبر المجلة الجغرافية العربية واحدة من أقدم وأعرق المجلات العلمية المتخصصة فى علم الجغرافيا فى مصر والعالم، حيث صدر العدد الأول منها باللغة الفرنسية عام 1876، وهى تصدر عن الجمعية الجغرافية المصرية باللغات العربية والإنجليزية والفرنسية، حيث صدر العدد الأول منها باللغة العربية عام 1968 لتشمل كافة الأبحاث والمعارف الجغرافية فى مصر والعالم العربى، ويصدر منها عددان باللغة العربية سنويا وعدد بلغة أفرنجية (الإنجليزى والفرنسية). بالإضافة إلى صدور سلسلة بحوث جغرافية وهي إصدارات غير دورية تركز على الإسهامات المصرية الحديثة في شتى مجالات البحث الجغرافي، وقد صدر العدد الأول منها عام 1996 ووصل عددها إلى 166 إصدارا حتى الأن.

2- **مجلة رسائل جغرافية (الجمعية الجغرافية الكويتية):** دورية علمية تصدر عن قسم الجغرافيا بجامعة الكويت بالإشتراك مع الجمعية الجغرافية الكويتية. وتهتم بالجغرافيا والتاريخ والسيرة. وقد صدر العدد الأول منها عام 1979، علاوة على سلسلة إصدارات خاصة عن وحدة الترجمة والنشر.

3- **سلسلة بحوث جغرافية (الجمعية الجغرافية السعودية):** مجلة علمية متخصصة فى الجغرافيا تصدر عن الجمعية الجغرافية السعودية بالرياض. وقد صدر منها حتى الآن قرابة 124 بحثا. كما تصدر الجمعية الجغرافية السعودية

سلسلة أخرى تسمى سلسلة الكتاب الجغرافى، وقد صدر منها حتى الآن ستة كتب، ليس بينها ما يتعلق بمجال الجيومورفولوجيا عامة.

4- **مجلة العلوم الإجتماعية (جامعة الكويت):** مجلة أكاديمية فصلية محكمة ، تأسست عام 1973 وتصدر عن مجلس النشر العلمي بجامعة الكويت، وتعنى بنشر الدراسات والبحوث في التخصصات الآتية: الاجتماع، والاقتصاد، والسياسية، وعلم النفس، والأنثروبولوجيا الاجتماعية، والخدمة الاجتماعية، والجغرافيا، وعلوم المكتبات والمعلومات. وتهدف المجلة إلى معالجة قضايا المجتمع الحيوية وتتبعها بالبحث والدراسة، ومن ثم تعميم فائدتها الفكرية والنظرية. وتشجيع الدراسات المقارنة، والتكامل بين تخصصات العلوم الاجتماعية. والمجلة مدرجة في أكثر من فهرس وقاعدة بيانات عالمية ، وصدر منها 172 عددا و5 أعداد خاصة حتى الآن.

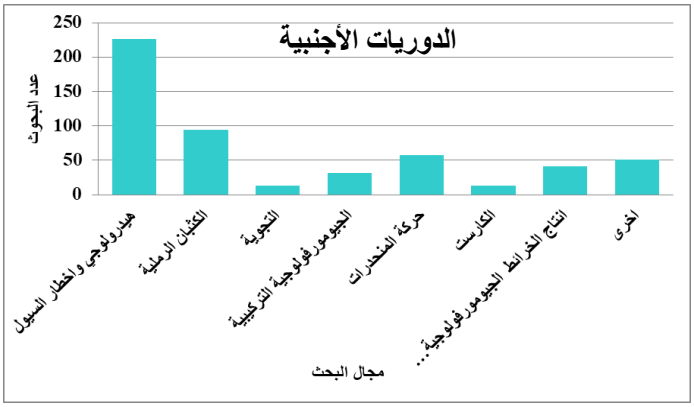
5- **موقع إتحاد مكتبات الجامعات المصرية[5]:** موقع إلكترونى تابع لشبكة الجامعات المصرية التابعة للمجلس الأعلى للجامعات، ومقرها جامعة القاهرة. ويضم هذا الموقع العديد من الخدمات المختلفة مثل رسائل الماجستير و الدكتوراه للباحثين المصريين وأبحاث أعضاء هيئة التدريس. وتشير نتائج البحث إلى أن الموقع يضم تسع رسائل جيومورفولوجية بتطبيقات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية من مختلف الجامعات المصرية، وتشير محدودية هذا العدد إلى أن قاعدة البيانات غير مكتملة فى الموقع، إذ أن هناك عددا كبيرا من رسائل الماجستير والدكتوراه فى الجيومورفولوجيا التى تعتمد على تطبيقات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية فى مختلف الجامعات المصرية.

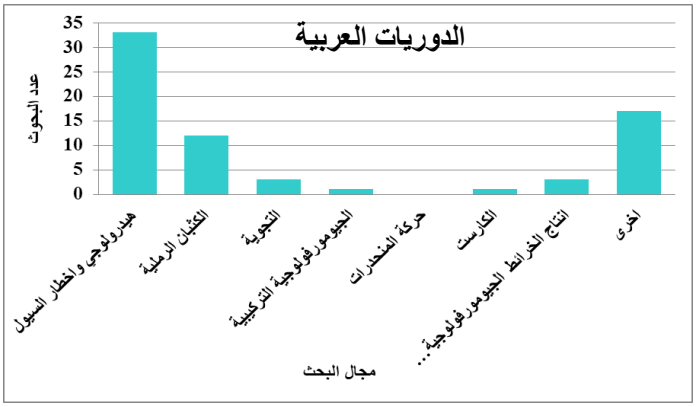
6- **كشاف مكتبة مبتعث:** موقع إلكترونى (https://mobt3ath.com/book.php) يضم عددا ضخما من رسائل الماجستير والدكتوراه التى منحت من جامعات عربية فى عدة مجالات علمية من بينها الجغرافيا. ويضم الموقع 1616 رسالة ماجستير ودكتوراه فى الجغرافيا ، ويتيح الموقع إمكانية تحميل الرسالة بالكامل بصيغة pdf. ويتضمن الموقع خمس رسائل فى الجيومورفولوجيا بتطبيقات الاستشعار والنظم ينصب اهتمامها على جيومورفولوجية الأودية الجافة وخصائصها الهيدرولوجية وعلاقتها بالسيول.

سابعًا: التحليل الكمى والنوعى للاتجاهات الحديثة فى مجال البحث

تبين من عمليات البحث داخل الدوريات العلمية المختلفة أن هناك اتجاها عاما للأبحاث نحو موضوعات بعينها، لذا تم تصنيف الموضوعات البحثية إلى فئات يوضحها شكل (6) وجدول (2)، ثم حصر لعدد الأبحاث التى تندرج تحت كل فئة منها فى كل دورية. وتتضمن الموضوعات البحثية التالية: الهيدرولوجيا وأخطار السيول، الرياح والكثبان الرملية، حركة المنحدرات، إنشاء الخرائط الجيومورفولوجية الرقمية، الجيومورفولوجيا التركيبية، التجوية، الكارست. علاوة على مجموعة أخرى من الأبحاث التى تتناول موضوعات جيومورفولوجية عامة فى المناطق الجافة مثل التعرية الساحلية وأثر الإنسان على مظاهر السطح والجيومورفولوجية الهندسية Engineering Geomorphology، والتى تمثل أحد الاتجاهات التطبيقية للجيومورفولوجيا ةالتى يمكن الاستعانة بها فى مجال التخطيط واتخاذ القرار.

(من إعداد الباحث اعتمادًا على جدول 2)





شكل 6: تباين أعداد الأبحاث فى الدوريات العربية والأجنبية وفقا للموضوعات الأكثر تداولًا

جدول 2: الموضوعات الجيومورفولوجية الأكثر تداولا فى الدوريات العلمية المتخصصة

نوع الدورية	الدورية/ قاعدة البيانات	هيدرولوجي واخطار السيول	الرياح والكثبان الرملية	حركة المنحدرات	انتاج الخرائط الجيومورفولوجية الرقمية	الجيومورفولوجية التركيبية	التجوية	الكارست	اخرى	مجموع
الدوريات الأجنبية	The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science	96	43	12	5	9	1	3	10	179
	Geomorphology	42	19	18	13	14	5	5	25	141
	Earth Surface Processes and Landforms	48	24	20	9	6	4	4	6	121
	Journal of Arid Environments	13	–	1	8	–	–	–	4	26
	Progress in Physical Geography	11	3	1	2	2	1	1	4	25
	Zeitschrift fur Geomorphologie	5	5	2	3	–	–	–	1	16
	Remote Sensing Applications: Society and Environment	4	-	3	1	-	2	-	1	11
الدوريات العربية	المجلة الجغرافية العربية (الجمعية الجغرافية المصرية)	7	8	4	2	–	2	–	6	29
	سلسلة بحوث جغرافية (الجمعية الجغرافية السعودية)	13	2	–	1	–	–	1	1	18
	مجلة رسائل جغرافية	2	2	–	1	–	1	–	3	9

(الجمعية الجغرافية الكويتية)									
اتحاد مكتبات الجامعات المصرية	–	–	**1**	–	–	–	–	**8**	**9**
مجلة العلوم الإجتماعية (جامعة الكويت)	**6**	–	–	–	–	–	–	–	**6**
كشاف مبتعث	**5**	–	–	–	–	–	–	–	**5**
مجموع	**252**	**106**	**61**	**46**	**32**	**16**	**14**	**68**	**595**

(من عمل الباحث من واقع البحث فى مواقع الدوريات والمجلات الواردة بالجدول)

ونستخلص من جدول (2) وشكل (6) الملاحظات التالية:

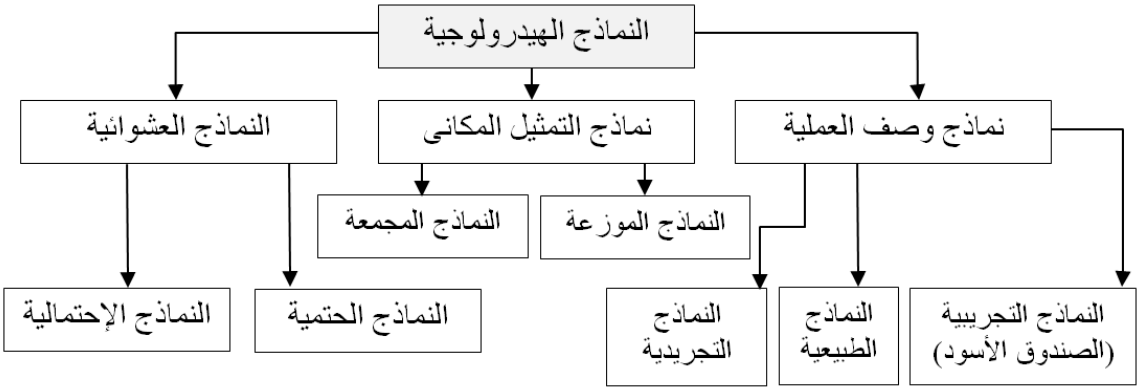
1- تشير الإحصائيات إلى أن الأبحاث المتعلقة **بالنمذجة الهيدرولوجية وأخطار السيول** تأتى فى أولى الاهتمامات البحثية فى الأراضى الجافة عامة سواء فى الدراسات الأجنبية أو العربية، كما يلاحظ التفاوت الكبير فيما بينها من حيث العدد حيث تحتوى الدوريات والمجلات الأجنبية على 219 بحثا متخصصا بالنمذجة الهيدرولوجية وأخطار السيول مقابل 33 بحثا بالدوريات العربية. ويرجع الاهتمام المتزايد بصفة عامة فى هذا المجال إلى عدة أسباب هى:

- تمثل السيول خطرا يهدد الطرق والمنشآت العمرانية، خاصة فى ظل محدودية الأرض المعمورة بالمناطق الجافة، ومن ثم فهى تعيق عمليات التنمية، وقد تتسبب فى أضرار بالغة فى ظل عدم انتظام حدوثها الذى يتم بشكل فجائى (فتحى عبد العزيز أبو راضى و وليد محمد على، 2019).
- تسعى معظم الكتابات المتخصصة إلى التنبؤ بحدوث السيول وتقدير كمية الجريان المائى المحتمل، والفواقد بالتبخر- نتح والتسرب. ويفيد تقدير التسرب فى حساب معدلات تغذية الخزانات تحت السطحية، مما يُمكّن من إمكانية استغلالها لاحقا (Moawad, 2012).
- تعانى الأراضى الجافة بوجه عام من نقص حاد فى المياه، ومن ثم تحاول الدراسات توظيف التكنولوجيا الحديثة فى مجال الحصاد المائى للاستفادة منها سواء بالتخزين أمام السدود أو من خلال قنوات التحويل وإعادة شحن الخزان الجوفى لتعظيم الاستفادة من هذه المياه، وتحسين سبل استغلالها.
- تمثل الأودية الجافة مظهرا جيومورفولوجيا مميزا فى الصحارى، إذ تعود نشأتها إلى فترات زمنية قديمة كانت الظروف المناخية أكثر رطوبة عن الوضع الراهن، ومن ثم فهى تحظى باهتمام الجيومورفولوجيين بغرض فهم النظم الهيدرولوجية فى الصحارى وتطورها، ومدى مساهمتها فى تطور مظاهر السطح قديما وحديثا (Blumberg et al., 2004).

والواقع أن دراسات الأودية وأخطار السيول قد تطورت تطورا هائلا من مرحلة الوصف الأولى، إلى المرحلة الكمية والوصف الرقمى منذ منتصف القرن العشرين تقريبا من خلال المعادلات المورفومترية والنماذج التى قدمها كل من Horton (1945) و Strahler (1952) و Schumm (1955)، وغيرهم.

تقدم الدراسات المتخصصة حاليا عملية نمذجة ومحاكاة رقمية للمتغيرات الهيدرلوجية اعتمادا على ما تقدمه التقنيات ووسائل البحث الحديثة من طرق للمعالجة المكانية، تمكننّا من متابعة حركة العاصفة وحساب كمية الأمطار الساقطة على كل حوض على حدة، وتصنيف التربة وفقا لخصائصها الهيدرولوجية لتقدير معامل التشبع والتسرب، وكذلك تقدير التبخر نتح، وصولا لتقدير حجم صافى الجريان وشدته. ويمكن حصر النماذج الهيدرولوجية المستخدمة حاليا على النحو التالى (Devi &Ganasri, 2015) (شكل 7):

- النماذج التجريبية Empirical models: نماذج تعتمد على البيانات المستمدة من الملاحظة والتجربة وفقا لمجموعة محددة من العمليات والأجراءات التى يتم بناء النموذج عليها، ولا يتطلب هذا النموذج فهما للعمليات الهيدرلوجية بقدر ما يتطلب معرفة العلاقة بين المتغيرات. لذا يعتمد بشكل أساسى على المعادلات الرياضية لا سيما فى تحليل السلاسل الزمنية. وتتحدد حدود هذا النموذج بحدود حوض التصريف. ويندرج نموذج الصندوق الأسود Black box model ضمن النماذج التجريبية لتمثيل العلاقة بين الأمطار والسيول باستخدام المعادلات الرياضية (مثل الطريقة العقلانية Rational method).



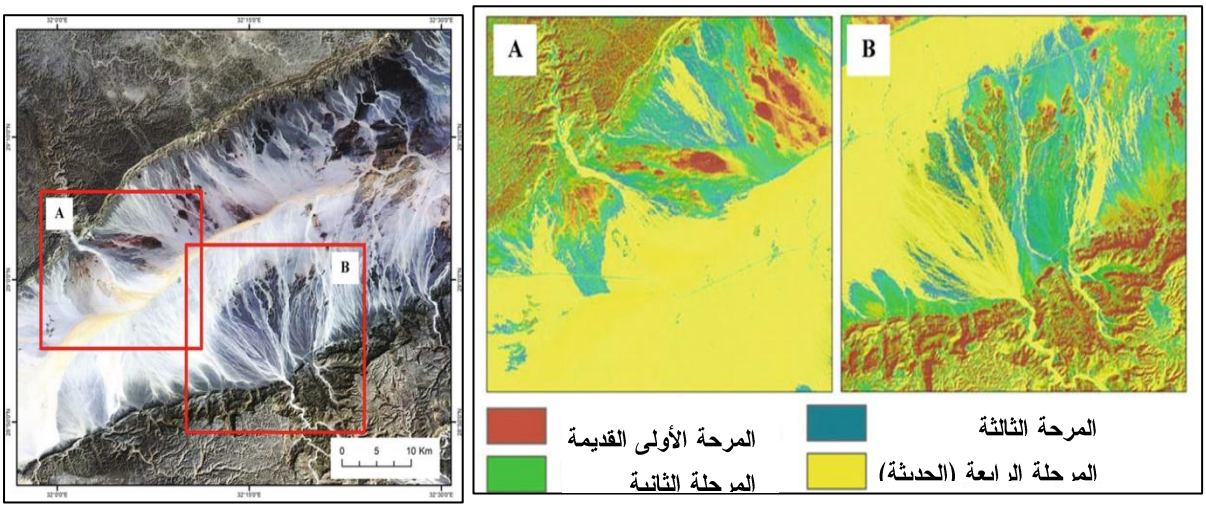
(مبسط عن Devi & Ganasri, 2015)

شكل 7: مخطط مبسط لأنواع النماذج الهيدرولوجية

- النماذج التجريدية أو المترية Conceptual methods or Parametric models: يصف هذا النموذج جميع العمليات الهيدرولوجية المكونة لمنطومة التصريف ممثلة فى المستجمعات المائية التي يتم إعادة شحنها نتيجة سقوط الأمطار والتسرب والترشيح والتبخر نتح والجريان السطحي. ويتم استخدام المعادلات الرياضية لاستبيان العلاقة بين متغيرات المنظومة الهيدرولوجية مكانيا وزمنيا. ويهتم هذا النموذج بجمع البيانات الميدانية ومعايرتها Data calibration، لذا يحتاج إلى سجل طويل من بيانات الأرصاد الجوية والبيانات الهيدرولوجية للمعايرة. ويندرج نموذج الصندوق الأبيض White box ضمن هذا النوع من النماذج، نظرا لأنه نموذج استقرائى يعتمد على فهم العمليات الهيدرولوجية، ويعد نموذج هورتون لحساب الجريان السطحى (Horton, 1945) من أشهرها على الإطلاق.
- النماذج الطبيعية Physical models: تمثيل رياضي مثالي للظاهرة الحقيقية يستخدم لمتابعة التغيرات للظاهرة محل القياس على البعدين المكانى والزمنى. وتحتاج هذه النماذج إلى فهمًا دقيقًا للمتغيرات المورفولوجية للوادى والتضاريس وحركة المياه ورطوبة التربة والغطاء الأرضى ..إلخ. وعادة تستخدم مثل تلك النماذج أثناء مرحلة تصميم منشآت

الحماية وذلك للوصول للتصميم الأمثل من حيث الأبعاد والفاعلية ولضمان التشغيل الآمن، بحيث يحدث تماثل بين النموذج والحقيقه في الأبعاد والحركة والقوى (Eldho & Kulkarni, 2017).

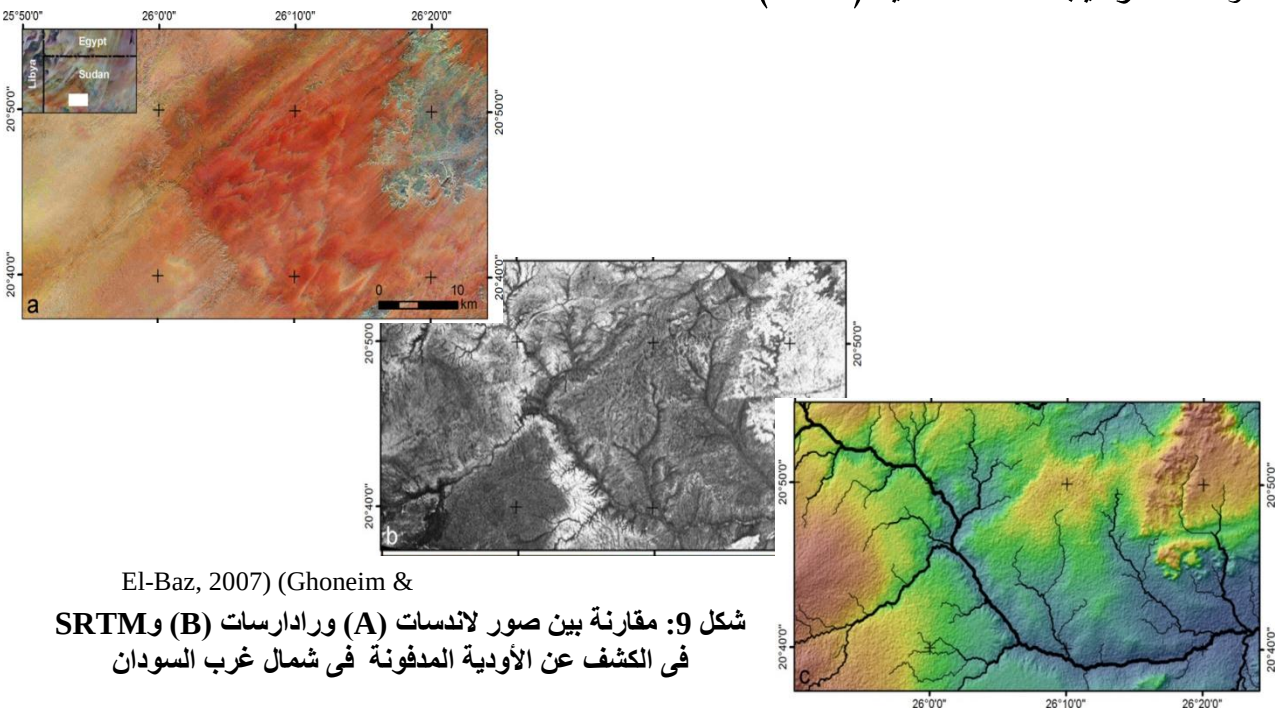
كما تهتم الدراسات الجيومورفولوجية من ناحية أخرى بدراسة الأودية الجافة والمراوح الفيضية ومصاطب الأودية، فى ضوء تطورها وارتباطها بالتغيرات المناخية، كما تعتمد على عمليات التأريخ المختلفة ودراسة الأشكال الأخرى التى قد ترتبط بتلك الأودية مثل مواقع استيطان الإنسان القديم كجانب هام من الدراسات الجيواركيولوجية. وتستخدم بيانات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية فى دراسة أشكال السطح وتوزيعها الجغرافى وخصائصها المورفولوجية، كما يمكن الاستعانة بها فى تحديد المراحل المختلفة لنمو المراوح الفيضية وتمييز العمر النسبى لمجارى الأودية (شكل 8).



(Embabi, 2018, processed by Moawad Badawy)

شكل 8: تطور المراوح الفيضية فى وادى عربة من صور لاندسات–7 باستخدام التصنيف المراقب

كما يفيد تفسير صور الرادار ونماذج الارتفاعات الرقمية على وجه الخصوص فى القدرة على الكشف عن الأودية المدفونة، وكذلك التراكيب تحت السطحية (شكل 9).



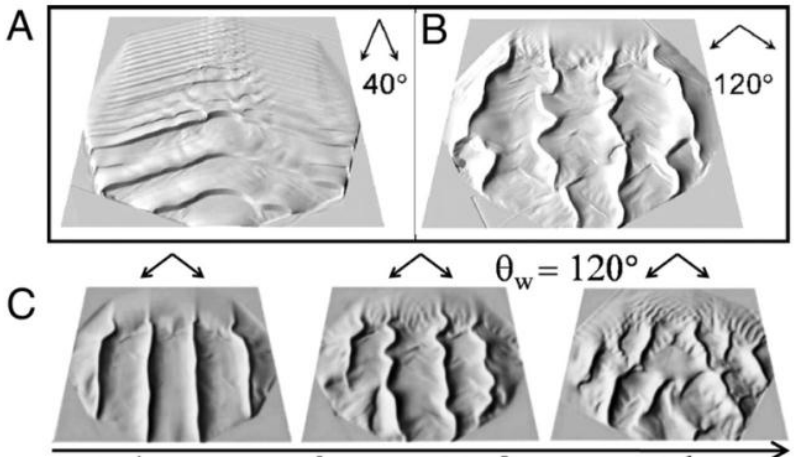
El-Baz, 2007) (Ghoneim &

شكل 9: مقارنة بين صور لاندسات (A) ورادارسات (B) وSRTM فى الكشف عن الأودية المدفونة فى شمال غرب السودان

2- تأتى **دراسات الرياح والكثبان الرملية** فى المرتبة الثانية (106 بحثا) كأحد أهم المظاهر الناتجة عن الإرساب بفعل الرياح فى الصحارى. والواقع أن دراسات الكثبان الرملية قد حظيت باهتمام مبكر من قبل المتخصصين وغير المتخصيين، ربما لم تحظ به أى ظاهرة جيومورفولوجية أخرى، حيث أن هناك عددا لا حصر له من الأبحاث والكتابات العلمية المتخصصة فى دراسات الكثبان عامة. وتحظى كذلك المدرسة العربية بقدر هائل من الكتابات المتخصصة فى هذا المجال. ويمكن القول بأن دراسات الكثبان الرملية قد مرت بثلاث مراحل هى:

- المرحلة الأولى: (مرحلة التوصيف والتنظير): وهى المرحلة الأولى التى حاول فيها الباحثون حصر وتوصيف الأشكال الرملية، والوقوف على أسباب وظروف نشأة كل منها، وصياغة الأفكار والنظريات الخاصة بها ودراسة حركتها وأخطارها على المجتمع.
- المرحلة الثانية: مرحلة تختص بالدراسة الدقيقة لظروف الرياح وحركة الهواء وأثرها على نشأة وتشكيل وتطور الكثبان فى مناطق مختلفة من العالم، والدراسة المجهرية للرواسب والتحليل المعدنى، وكذلك استبيان النظم الأيكولوجية المرتبطة ببيئة الكثبان الرملية.
- المرحلة الثالثة: مرحلة النمذجة المكانية الرقمية والمتابعة بواسطة التقنيات الحديثة سواء من خلال صور الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية، أو من خلال المتابعة ونظام الرفع الأرضى لمتابعة تطور الكثبان (شكل 10).

كما تحظى كذلك حركة الكثبان الرملية بمزيد من الاهتمام والدراسة لما لها من تأثير وأخطار على المجتمع المحيط، ودورها فى زيادة عمليات التصحر من خلال زحفها على الأراضى المعمورة الهامشية.



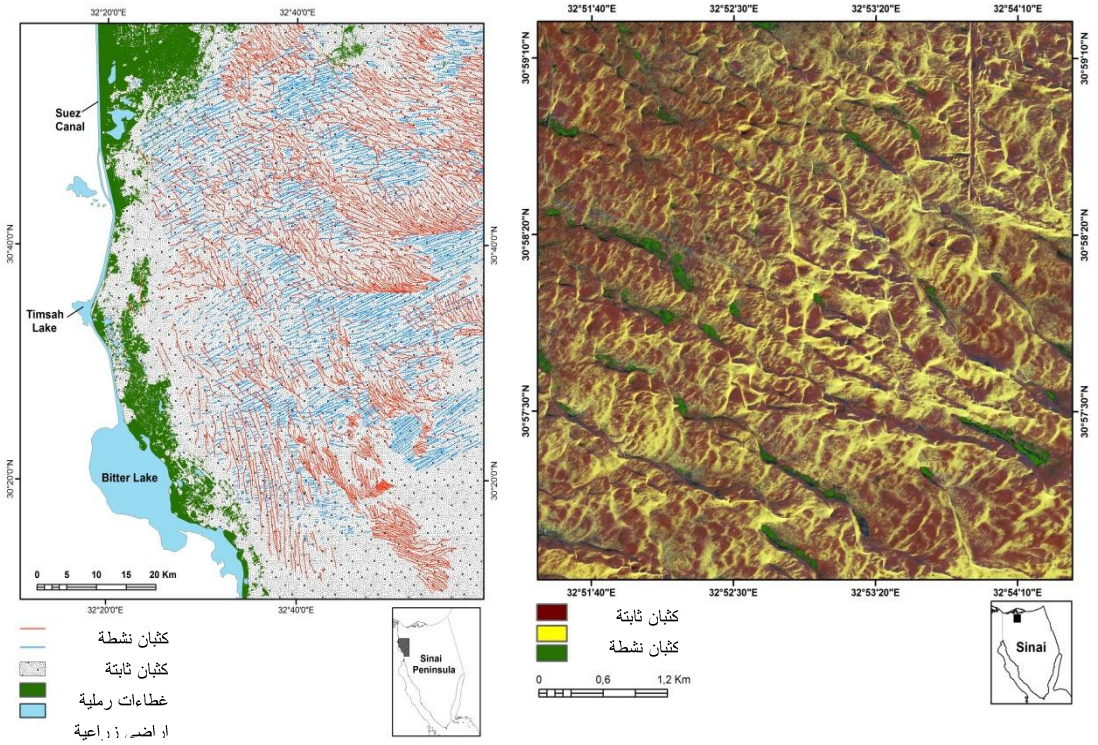
(Parteli et al., 2009)

شكل 10: محاكاة رقمية (3D) لتغير شكل الكثبان فى ظل رياح أحادية الإتجاه، (A) السطح الأصلى، (B) كثبان طولية ناتجة عن اتساع زاوية هبوب الرياح (120°) بسرعة 4 م/ث، (C) زيادة ارتفاع الكثبان الطولية بعد زيادة زمن هبوب الرياح

كما اعتمدت دراسة الكثبان الرملية فى شرق قناة السويس وشمال سيناء (نبيل سيد إمبابى، تحت الطبع) على درجة الأحمرار حسب محتوى القشرة الخارجية لحبات الرمال من أكاسيد الحديد، مع مؤشر اختلاف الرمال[6]

Normalized Difference Sand Index (NDSI) فى الفصل بين الكثبان القديمة والحديثة وفقا لدراسة Roskin et al., (2012) كدليل على قدم الكثبان الرملية، وإعداد خريطة جيومورفولوجية توضح اتجاهات ومحاور كل منها بواسطة المرشحات المكانية الإتجاهية (شكل 11).

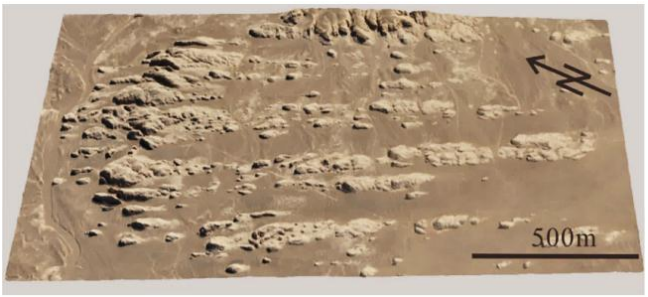
أما فى مجال النحت بواسطة الرياح فقد قام Zhang et al., (2020) باستخدام طائرة بدون طيار Micro drone فى إنشاء سطح ثلاثى الأبعاد لمساحة 5.6 كم مربعا بدقة مكانية قدرها 15 سم للخلية الواحدة، لتمثيل لتمثيل اليارداتج واتجاهاتها فى منخفض حامى فى الصين (شكل 12).



شرق قناة السويس — شمال سيناء

(عن: نبيل سيد إمبابى، تحت الطبع: معالجة معوض بدوى)

شكل 11: التمييز بين الكثبان الرملية القديمة والحديثة فى شمال سيناء وشرق قناة السويس



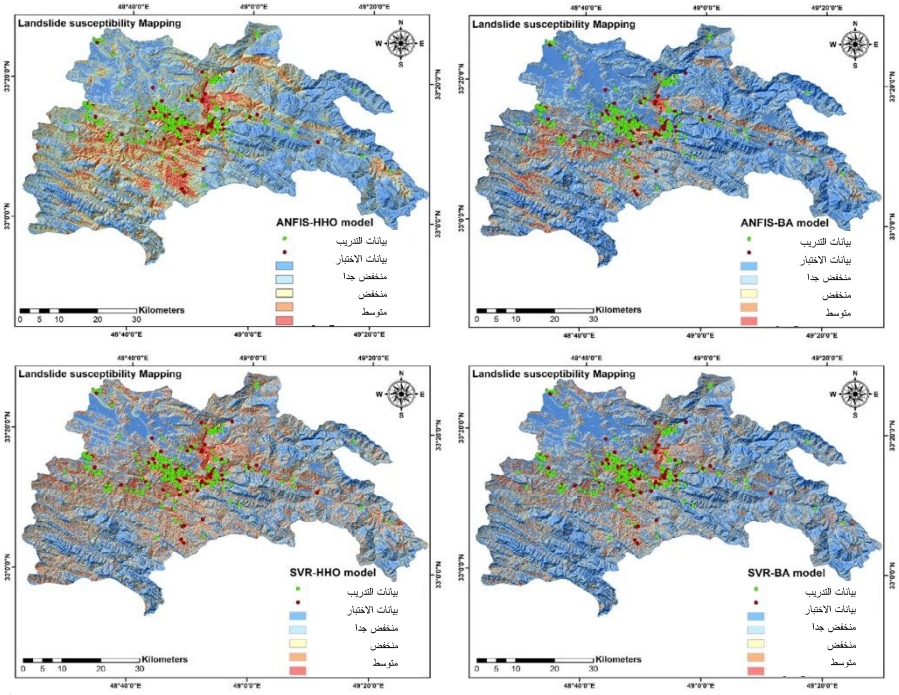
(Zhang et al., 2020)

شكل 12: نموذج ثلاثى الأبعاد لليارداتج فى الصين، مستخرج من صور جوية

3- يأتى فى المرتبة الثالثة الأبحاث المتعلقة بتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار من بعد فى دراسة **حركة مواد المنحدرات** (61 بحثا)، لما لحركة مواد المنحدرات من خطورة على تطور استخدام الأراضي، وكذلك يهدف إلى تقليل الخسائر في الأرواح والأضرار التي تلحق بالممتلكات. وقد تناول كل من Camara & Pike (2008) دور

تكنولوجيا نظم المعلومات الجغرافية فى دراسة المنحدرات مع التأكيد على العمل الميدانى وصور الأقمار الصناعية عالية الدقة ونماذج الارتفاعات الرقمية لاستخراج خرائط المنحدرات واتجاهاتها. كما تعتمد على التحليلات المكانية المتقدمة والنماذج المكانية فى بيئة نظم المعلومات الجغرافية من أجل إنشاء نموذج متكامل يضم كافة العوامل التى تتسبب فى حركة وانهيار الكتل الصخرية مثل درجة ثبات المنحدر وشكل المنحدر ونوع الصخر ونظامه ومعامل الاحتكاك وفقا لكل نوع صخر منها، لتستنتج فى النهاية خريطة للمواقع المعرضة للإنهيار أو السقوط، وخريطة أخرى لدرجات الخطورة وتحديد المواقع المضارة فى حالة حدوثها. كما استخدم Santangelo et al. (2022) المرشحات المكانية Spatial filters والنماذج الرياضية فى معالجة بيانات الرادار من نوع سار SAR لتحديد المنحدرات المحتمل تعرضها لأخطار الإنهيارات فى عدة مواقع متفرقة من شيلى ومينمار.

كما استخدمت دراسة Paryani et al. (2021) التعليم الألى اعتمادا على تحليل نماذج الارتفاعات الرقمية من نوع ASTER بدقة وضوح مكانى 30 مترا، وأربعة نماذج مختلفة تعتمد على الخوارزميات والعمل الميدانى لتحديد المناطق عالية الخطورة فى مرتفعات زاجروس بإيران (شكل 13).



(Paryani et al., 2021)

(شكل 13) خريطة الانزلاقات الأرضية فى مرتفعات زاجروس المحتملة حسب النماذج المختلفة

4- يأتى موضوع إنشاء **الخرائط الجيومورفولوجية** فى المرتبة الرابعة، وهو على درجة هامة فى الدراسة الجيومورفولوجية إذ يعتمد اعتمادا كليا على بيانات الاستشعار من بعد ونماذج الارتفاعات الرقمية فى تفسير ظاهرات السطح جنبا إلى جنب مع العمل الميدانى والتحليلات المكانية. وتلعب برمجيات نظم المعلومات الجغرافية دورا محوريا فى إعداد الخرائط الجيومورفولوجية باستخدام الرموز المتعارف عليها، ومع ذلك لايزال هناك بعض صعوبات فى إضافة بعض الرموز المتخصصة، وهو تحدى سوف يزول مع الوقت فى ظل التقدم الهائل فى إمكانات برمجيات نظم المعلومات

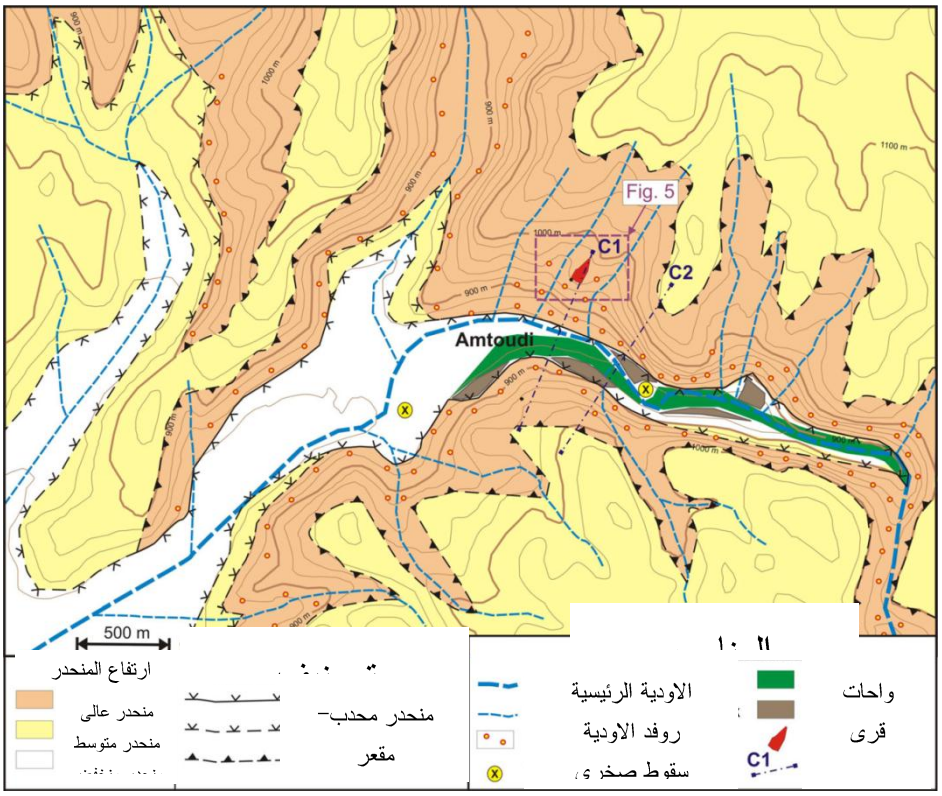
الجغرافية، أو من خلال استخدام لغات البرمجة المكانية خاصة البايثون. ونظرا لأن موضوع إنتاج الخرائط الجيومورفولوجية الرقمية من الموضوعات الهامة والحديثة فى المجال، فقد أفردت دار نشر Elsevier مجلدا خاصا لهذا الموضوع نشر فى كتاب تحت عنوان "Geomorphological Mapping" (Smith et al., 2011). وقد أكدت الأبحاث المتخصصة فى هذا الكتاب على دور التقنيات الحديثة ممثلة فى بيانات الاستشعار من بعد، ونماذج الارتفاعات الرقمية، ونظم المعلومات الجغرافية، وأجهزة الملاحة العالمية GPS، والمسح الجيومورفولوجى فى إنتاج الخرائط الجيومورفولوجية بمقاييس مختلفة، وبناء قاعدة بيانات جغرافية تحتوى على كافة الخصائص الجيومورفولوجية للوحدات التى تضمها الخرائط. وقد أشار Bishop et al. (2012) إلى أن هناك عدة قضايا تتعلق بانتاج الخرائط الجيومورفولوجية الرقمية بواسطة التقنيات الحديثة منها الحاجة إلى إلى توحيد الرموز المستخدمة فى إنتاج الخرائط على غرار الخرائط التقليدية، وطرق التحليل المترية والبصرية، وطرق عرض البيانات، ومقاييس الرسم، وجودة البيانات.

وهناك العديد من الدول التى تبنت فكرة إنشاء خرائط جيومورفولوجية رقمية لعل أولها ألمانيا فى عام 1986، حيث وضعت برنامجا لإنشاء الخرائط الجيومورفولوجية الرقمية بمقاييس رسم 1: 100.000 و 1: 25.000 ، وأتاحتها عبر شبكة الأنترنت، وكذلك الحال بالنسبة لأسبانيا وفرنسا وإيطاليا واليونان والصين والبرازيل وغيرها. كما تبنت منظمة اليونسكو تمويل مشروع بالإشتراك مع الهيئة المصرية العامة للثروة المعدنية (المساحة الجيولوجية سابقاً) لإنشاء أطلس حيومورفولوجى لمصر بمقياس رسم 1: 250.000 فى الفترة 1997–2001، ويضم 55 لوحة للصحراء الغربية و12 لوحة لشبه جزيرة سيناء، لكن لم يصدر بشكل رقمى.

تتجه حاليا الدراسات الجيومورفولوجية لإنتاج خرائط شبه آلية من خلال استخراج المعلومات من بيانات الاستشعار من بعد ونماذج الارتفاعات الرقمية، فضلا عن المسح الجيومورفولوجى، وذلك اعتمادا على التحليل الرقمى والخوارزميات المختلفة التى تستخدم فى تحليل الصور ونماذج الارتفاعات الرقمية واستخدام المسح بالليزر الأرضى Terrestrial Laser Scan (TLS) فى إنشاء مجسمات ثلاثية الأبعاد للأشكال الأرضية، مثل مؤشرات تصنيف ارتفاعات السطح وتحليل المنحدرات وتقوسها واستنباط الأودية والحافات والمنخفضات ومؤشر خشونة السطح والموضع الطبوغرافى ونسيج السطح وغيرها من المؤشرات الهامة فى مجال الجيومورفولوجيا. وهناك العديد من البرمجيات التى تساعد على ذلك سواء كانت تجارية مثل ArcGIS وSurfer أو تابعة لهيئات أكاديمية مثل Ilwis أو مفتوحة المصدر مثل SAGA, MicroDEM, MapMaker وغيرها.

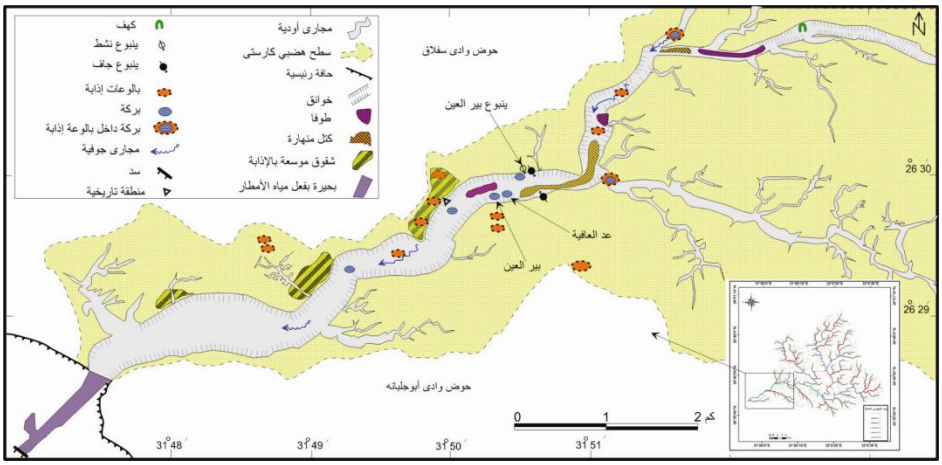
وتتجه الدراسات حاليا نحو تطوير البرمجيات المتاحة لتحسين سبل رسم خرائط السطح، وزيادة الدقة المكانية للمعلومات المشتقة من مصادر البيانات المكانية، مثل المقارنة بين صور الاستشعار المرئى والحرارى على اختلاف درجات دقتها ووضوحها (مثلا أقمار لاندسات Landsat وسنتنيل Sentinel)، وكذلك صور الرادار، والمقارنة بين نماذج الارتفاعات الرقمية مختلفة المصدر للوقوف على مدى قدرتها على اشتقاق الظاهرات الجيومورفولوجية (شكل 14). والواقع أن هناك أهتماما متزايدا بإنشاء الخرائط الجيومورفولوجية الرقمية ليس فقط فى الأراضى الجافة وإنما فى كل الأقاليم المختلفة.

وقد قدم الباحث (بالإشتراك) محاولة لانتاج خريطة جيومورفولوجية بطريقة شبه آلية للمنطقة المحيطة ببحيرة البردويل بشبه جزيرة سيناء، اعتمادا على صور لاندسات-7 بعد رفع دقتها من 30 إلى 15 مترا، وكذلك استخراج خطوط أعماق البحيرة بطرق التحليل الرقمى المتقدمة (Embabi & Moawad, 2014). كما تبنت الدراسات العربية هذا الإتجاه حاليا فى الأبحاث ورسائل الماجستير والدكتوراه بغرض إنتاج خرائط جيومورفولوجية رقمية تعتمد على التقنيات والوسائل الحديثة، منها على سبيل المثال دراسة أشرف أبو الفتوح (2017) لوادى بير العين بمحافظة سوهاج فى مصر (شكل 15).



(Robles-Marın et al., 2014)

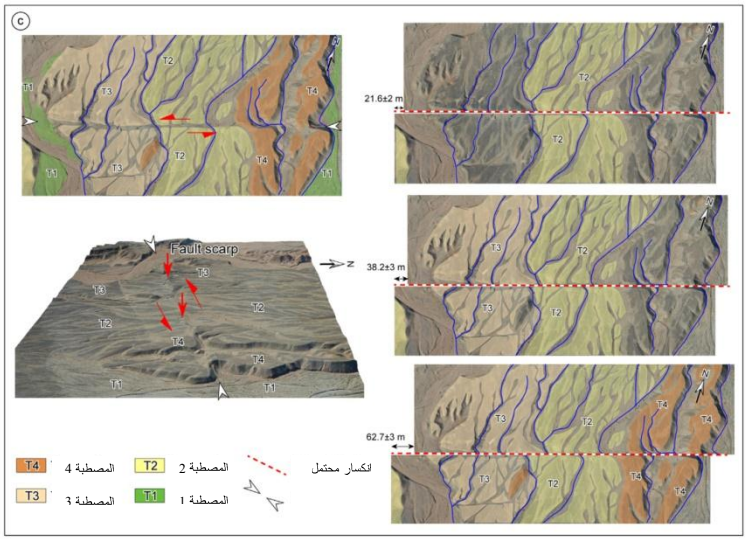
شكل 14: خريطة جيومورفولوجية لمنطقة عمودى أغادير جنوب المغرب



(عن أشرف أبو الفتوح مصطفى، 2017)

شكل 15: خريطة جيومورفولوجية لوادى بير العين بمحافظة سوهاج – مصر

5- أما فى مجال **الجيومورفولوجيا التركيبية** فتساعد المرشحات المكانية الاتجاهية Directional spatial filters على تحسين نسب الإضاءة فى صور الاستشعار من بعد من الاتجاهات الثمانية، ويساعد ذلك على تحسين القدرة على تحديد الظاهرات الخطية بوجه عام. وتفيد فى مجال الجيولوجيا والجيومورفولوجيا التركيبية فى رسم الظاهرات الخطية ذات النشأة البنيوية يدويا، أو من خلال بعض البرمجيات التى تتيح استخراجها آليا، وإن كانت تحتاج بعد ذلك إلى التمييز بين الظاهرات الخطية البشرية (مثل الطرق)، وتلك ذات الأصل البنيوى. ويساعد هذا الأسلوب فى رسم خرائط البنية السطحية وعلاقتها بالوحدات الجيومورفولوجية وكذلك تحديد قمم الجبال ومحاور المنخفضات البنيوية بمقاييس رسم مختلفة، تتباين حسب الدقة المكانية ودرجات وضوح صور الأقمار الصناعية التى يعتمد عليها الباحث. كما يساعد فى ذلك خرائط التضاريس الملونة وخرائط الظلال التى تستخرج من نماذج الارتفاعات الرقمية بدرجات لونية أو ظلال مختلفة، حيث تعطى انطباعا بالتجسيم لظاهرات السطح مما يساعد فى سهولة التعرف على الظاهرات البنيوية المكشوفة. وتتجه الدراسات الحديثة إلى التوسع فى استخدام التصوير الجوى بدون طيار Unmanned Aerial Vehicle (UAV) فى إنتاج صورا رقمية ، واشتقاق نماذج الارتفاعات الرقمية بدقة عالية جدا، قد تصل إلى عدة سنتيمترات لدراسة الظاهرات الدقيقة (شكل 16).



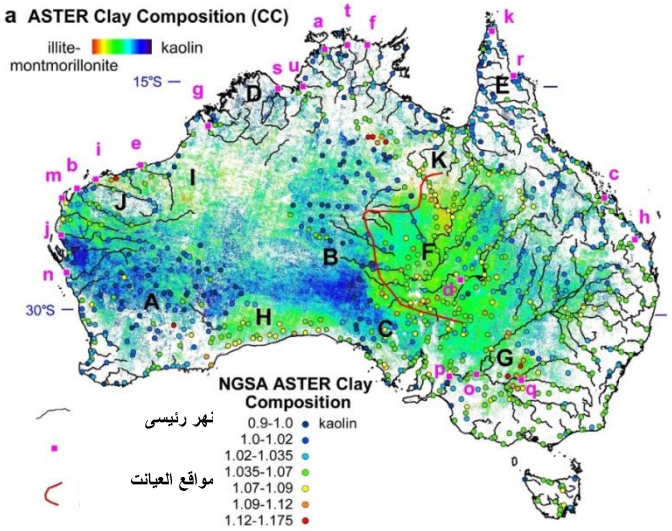
(Du et al., 2021)

شكل 16: مجسم ثلاثى الأبعاد مستخرج من الصور الجوية (بدون طيار)، يوضح علاقة مخرات السيول ومصاطب الأودية بالإنكسارات فى شمال شرق التبت

6- **التجوية:** تندر الدراسات المتخصصة بعمليات التجوية المتعارف عليها فى الجيومورفولوجيا باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار من بعد، إذ أن الأشكال الناتجة عن عمليات التجوية مرتبطة بواجهة المنحدرات أو أنها من الدقة بحيث قد لا تظهرها الصور المتاحة، باستثناء حفر الإذابة السطحية التى سيتم الإشارة إليها مع أبحاث الكارست. ومع ذلك أشارت الأبحاث المرتبطة بدراسات التربة وحركة مواد المنحدر إلى أثر عمليات التجوية فى تطور قطاع التربة ومحتواها المعدنى استنادا على حساب العديد من المؤشرات مثل حساب تملح التربة ومؤشرات النبات ومحتواها من المعادن الطينية والحديدية عند دراسة القشور المتصلبة عليها عبر الزمن، وكذلك مؤشرات الرطوبة ودرجات حرارة سطح الأرض (شكل

17). غير أن هناك دراسة رائدة لمو وزملائه Mu et al., (2018) حاولوا فيها استخدام لغة تعلم الآلة مع تقنيات الاستشعار من بعد فى تصنيف السطوح الحصوية فى صحراء جوبى بالصين.

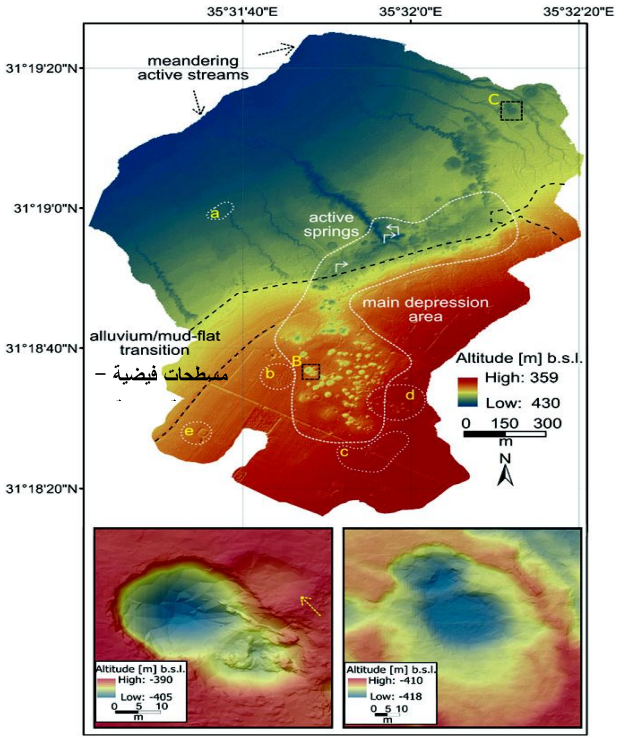
7- **الكارست:** توجد الظاهرات الكارستية فى الطبيعة إما مكشوفة على السطح بفعل عمليات الإذابة وانهيار بالوعات الإذابة، أو مدفونة تحت السطح. أما بالنسبة للكارست المكشوف فتساعد بيانات الاستشعار من بعد فى الكشف عن خصائصها الجيومورفولوجية وعلاقته بالطبوغرافية المحيطة



(Cudahy et al., 2016)

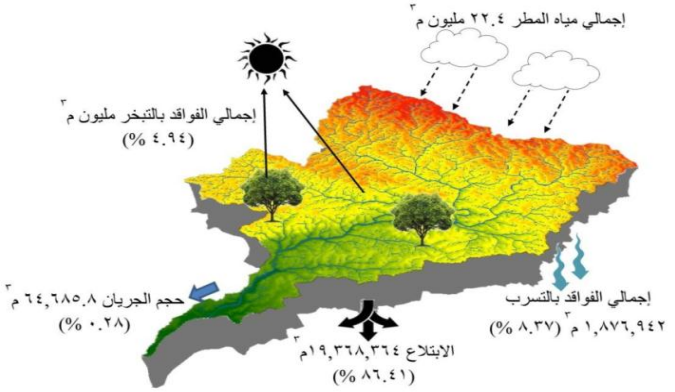
شكل 17: محتوى التربة السطحية فى استراليا

فى ضوء دراسة العوامل الأخرى المؤثرة فى نشأتها مثل العوامل الجيولوجية والجيومورفولوجية وغيرها. وتساعد نماذج الارتفاعات الرقمية مع التحليل الرقمى للصور الفضائية ونماذج المحاكاة على إعادة بناء الشكل. وتستخدم كذلك حاليا الصور الجوية بدون طيار فى إنتاج صور عالية الدقة ونماذج ارتفاعات لمثل هذه الظاهرات، وكذلك عمليات الرفع المساحى (شكل 18). أما الظاهرات الكارستية المدفونة فيمكن دراساتها بالطرق الجيوفيزيقية والرادار الأرضى Ground Penetrating Radar (GPR)، أو بشكل غير مباشر عن طريق الفارق بين كمية الأمطار الساقطة على حوض التصريف والفاقد بالتسرب فى التربة السطحية بعد تشبعها وكذلك بعد تقدير التبخر- نتح. فقد أشارت دراسة أشرف ابو الفتوح ومعوض بدوى (2019) إلى أن 86.41٪ من إجمالي المياه التي سقطت على حوض وادي بير العين بمحافظة سوهاج فى مصر في يومى 8 و9 مارس 2014 قد تم ابتلاعها بفعل مظاهر الكارست تحت السطحية عبر الشقوق والمجاري الجوفية، وذلك باستخدام العمل الميدانى ونموذج رقم المنحنى Curve Number لحساب الميزانية المائية للحوض (شكل 19).



(Al-Halbouni, et al., 2017)

شكل 18: صور جوية عالية الدقة توضح حفر الإذابة الكارستية بغور الحديثة بالأردن (A).



(عن أشرف أبو الفتوح ومعوض بدوى، 2019)

شكل 19: الميزانية المائية لوادى بير العين بمحافظة سوهاج - مصر

ثامنًا: نماذج من الدراسات الأجنبية

1. دراسات الأودية وأخطار السيول

1.1. دراسة Blumberg et al., (2004): اعتمدت هذه الدراسة على صور لاندسات من نوع TM فى القنوات المرئية ومجال الأشعة تحت الحمراء، وكذلك بيانات الرادار من نوع SAR والرادار الأرضى GPR فى الكشف عن نظم التصريف المدفونة تحت السطح فى صحراء النقب وشمال شرق سيناء، إلى جانب العمل الميدانى والطرق الجيوفيزيقية. وتوصلت الدراسة من خلال هذه الوسائل إلى وجود بلايا قديمة ترجع للزمن الرابع، وأن نظام التصريف فى منطقة الدراسة قد تدهور بسبب زحف الكثبان الرملية. وقد أكدت الدراسة على دور صور الرادار خاصة القناة L فى اختراق الرواسب الرملية المفككة والكشف عن نظام التصريف المدفون، بينما يصعب ظهورها فى بيانات لاندسات.

2.1. دراسة Ghoneim & El Baz (2007): اعتمدت هذه الدراسة على مقارنة بيانات لاندسات–7 وصور رادارسات–1 ونماذج الارتفاعات الرقمية من صور SRTM بدقة 90 مترا لدراسة أحواض التصريف المدفونة فى شمال غرب السودان ومنطقة توشكى. واشارت الدراسة إلى أن حوض توشكي يمثل نظاما هيدرولوجيا مغلقا ومستقل عن نظام نهر النيل ووادي قنا وحوض تشاد، وتبلغ مساحته حوالى 150000 كم^2. وقد أدى الجريان المائى القديم فى هذا الحوض إلى تكوين أكبر رواسب بحيرة قديمة في مصر في بير طرفاوي. كما أشارت الدراسة إلى قدرة SRTM على اختراق أسطح الرمال الصحراوية ورسم خرائط لشبكات الصرف القديمة، والتي ترتبط بشكل ملحوظ مع القنوات تحت السطحية المكتشفة في صور Radarsat-1.

3.1. دراسة Matter et al. (2016): قدمت الدراسة فحصا للنظام الهيدرولوجى لوادي الدواسر في وسط المملكة العربية السعودية من خلال تحليل بيانات الاستشعار من بعد والرواسب الفيضية ووسائل التأريخ بغرض الكشف عن فترات الرطوبة فى الهولوسين. واعتمدت الدراسة على نماذج الارتفاعات الرقمية المشتقة من صور SRTM بدقة مكانية 90 مترا، وكذلك ASTER بدقة مكانية 30 مترا فى استخراج شبكة التصريف وتحديد حوض الوادى وحساب ارتفاعات السطح، كما اعتمدت على صور لاندسات–7 فى تحديد مجارى الأودية القديمة، والتى امكن من خلالها تحديد المواقع

الجديرة بالبحث والعمل الميدانى لجمع العينات والأدلة على التغيرات التى طرأت على النظام الهيدرولوجى للوادى، وكذلك الكشف عن بعض مواضع الإستيطان البشرى فى الوادى خلال العصر الحجرى الحديث.

2. دراسات الأشكال الرياحية:

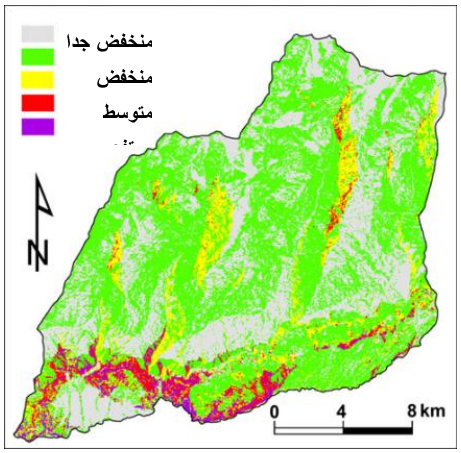
1.2. دراسة Brooks (2003): اعتمدت هذه الدراسة على فحص وتفسير صور لاندسات من نوع MSS للتعرف على الأشكال الهوائية الناتجة عن فعل الرياح فى الهولوسين. واستنتجت الدراسة أن الرياح الشمالية الجنوبية كانت سائدة بين دائرتى عرض 20°–30° شمالا، تحولت بعدها إلى رياح شمالية شرقية – جنوبية غربية. وقد أثر ذلك فى مظاهر السطح ونتج عنه أشكال طولية مختلفة الاتجاه بفعل تباين وتغير اتجاهات الرياح فى الهولوسين. وتشير هذه المظاهر إلى أن الرياح الشمالية الغربية والغربية أقدم من الرياح الشمالية والشمالية الشرقية. كما تشير الدلائل الجيومورفولوجية جنوب دائرة عرض 26° شمالا إلى أن الرياح الغربية والشمالية الغربية سادت منذ أوائل عصر الهولوسين، وأنها المسئولة عن وصول الكتل الهوائية الأطلسية– المتوسطية الرطبة إلى مصر ، مما أدى إلى الحفاظ على بحيرات الهولوسين الأولى.

2.2. دراسة Solazzo et al., (2018): استخدمت هذه الدراسة صور لاندسات من نوع MSS بدقة مكانية 60 مترا و TM بدقة مكانية 30 مترا لدراسة حركة الكثبان، وكذلك صور WorldView-2 بدقة مكانية 2 متر، وصور الليدار Lidar المحمول جوا (بدون طيار) لدراسة الخصائص الجيومورفولوجية للكثبان الرملية في منطقة الخانق العظيم في أريزونا بالولايات المتحدة الأمريكية. وانتجت صور الليدار نماذج طبوغرافية عالية الدقة للكثبان الرملية على سطح الهضبة. وتمكنت الدراسة من خلال هذه التقنيات مع التحليل المعملى من تحديد مصادر الرمال وطبيعة حركتها ورسم خرائط للكثبان النشطة.

3.2. دراسة Yang et al., (2021): اعتمدت هذه الدراسة على محطات الرصد المناخية الأتوماتيكية AWS (Automatic Weather Stations) فى رصد حركة الرياح ميدانيا حول عدد من الكثبان الرملية الهلالية على الحافة الشمالية لبحر كومتاج الرملي فى الصين، وتجميع عدد من صور الاستشعار من بعد لمراقبة تحرك الكثبان ونموها ومقارنة معدلات الحركة بمناطق عديدة من بحار الرمال فى العالم من بينها مصر. كما اعتمدت الدراسة على دراسة أبعاد الكثبان الرملية وسماتها الجيومورفولوجية وحجمها وتأثير الطبوغرافيا المحيطة بها من خلال صور عالية الدقة من طائرات بدون طيار UAV. ويعزز هذا البحث فهم الآليات الديناميكية لتطور الكثبان الرملية وحركتها فى الأراضى الصحراوية.

3. دراسات المنحدرات

1.3. دراسة Jimenez-Peralvarez et al., (2010): اهتمت هذه الدراسة بإنشاء خريطة توضح الإنزلاقات الأرضية بجبال سيرا نيفادا بأسبانيا. واعتمدت الدراسة على إنشاء قاعدة بيانات جغرافية على تضم سجل تاريخى لحركة المنحدرات وتصنيفها حسب طبيعة الحركة (إنزلاق – تدفق – سقوط – حركات مركبة). واعتمدت الدراسة على العمل الميدانى والخرائط الطبوغرافية مقياس 1: 25.000 والجيولوجية والصور الجوية والفضائية فى إعداد خريطة لحركة المنحدرات والمناطق المتأثرة ودرجات الخطورة. كما أعدت الدراسة نموذج ارتفاعات رقمى من الخرائط الطبوغرافية بدقة 10 متر لدراسة المنحدرات وتحديد المنحدرات الحرجة المعرضة للإنزلاق (شكل 20).



(Jimenez-Peralvarez et al., 2021)

شكل 20: المنحدرات المعرضة للإنزلاق جنوب مرتفعات سيرا نيفادا

2.3. دراسة Dill & Shaqour (2012): قدمت هذه الدراسة تحليلا للإنزلاقات الصخرية على طول فالق البحر الميت بالأردن. واعتمدت الدراسة إلى جانب العمل الميدانى على تحليل الخرائط الطبوغرافية مقياس رسم 1: 50.000، وصور لاندسات بدقة مكانية 30 مترا وصور ASTER لعام 2007، ونماذج الارتفاعات الرقمية المشتقة من صور SRTM بدقة مكانية 90 مترا. واستخدمت الدراسة التحليلات المتقدمة فى نظم المعلومات الجغرافية لرسم خرائط الإنحدارات واتجاهاتها، وإنشاء قاعدة بيانات جغرافية والتمثيل الكارتوجرافى. ثم إنشاء خريطة للمناطق المعرضة لأخطار حركة المنحدرات.

3.3. دراسة Mahmoud et al., (2021): تناولت هذه الدراسة تقييم استخدام تقنيات الجيوماتكس ممثلة فى نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار من بعد ونظم الملاحة العالمية GPS فى دراسة حركة المنحدرات وعلاقتها بالسلامة المرورية على طول طريق عمان – جرش بالأردن. واستخدمت الدراسة الخرائط الطبوغرافية مقياس رسم 1:25.000 وصور فضائية من القمر الصناعى Geoeye-2 بدقة مكانية 46 سم، وصور جوية ألتقطت عام 2014 وكذلك الـــ GPS، والتحليل المعملى للتربة وخصائصها. واشتقت الدراسة بيانات الارتفاعات الرقمية من بيانات جهاز الـــ GPS، لاستخدامه فى تصحيح الإزاحة التضاريسية من الصور الجوية وإنشاء الصور العمودية المصححة Orthophotos. كما قامت باشتقاق ورسم الوحدات الجيولوجية والجيومورفولوجية من صور الأقمار الصناعية، وبناء قاعدة بيانات جغرافية، لتقييم زحف التربة وحركة المنحدرات فى الفترة من 2018–2020. وقد خلصت الدراسة إلى أهمية علوم الجيوماتكس فى دراسة حركة المنحدرات وتحديد درجات الخطورة.

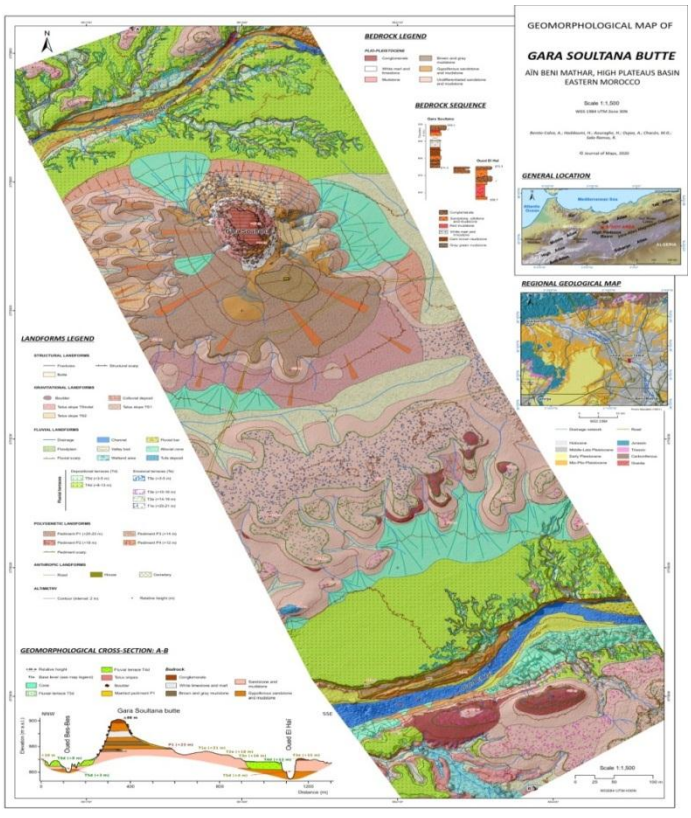
4. الخرائط الجيومورفولوجية الرقمية

1.4. دراسة Perego et al., (2011): اعتمدت هذه الدراسة فى إنشاء خريطة جيومورفولوجية للكتل الجبلية الواقعة جنوب غرب ليبيا على تحليل الخرائط الطبوغرافية مقياس 1:25.000 داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية، وتحليل

صور الأقمار الصناعية لاندسات من نوع TM لعام 2000 ومن نوع +ETM لعام 2006 بدقة مكانية 30 مترا وصور جوجل إيرث، وتحليل نماذج الارتفاعات الرقمية المشتقة من صور SRTM بدقة 90 مترا، إلى جانب العمل الحقلى. واستخدمت الدراسة التحليل الرقمى المتقدم فى حساب عدد من المؤشرات ونسبة الطيف من أجل إشتقاق عدد من المظاهر الجيومورفولوجية السطحية، وكذلك تحليل المنحدرات. وقد استخدمت الدراسة الرموز الجيومورفولوجية المعتمدة من وكالة البيئة الإيطالية.

2.4. دراسة Bishop et al., (2012): دراسة رائدة تبنت مناقشة دور التقنيات المكانية فى إنشاء الخرائط الجيومورفولوجية الرقمية كبديل عن الخرائط التقليدية. وناقش البحث دور التقنيات الحديثة ممثلة فى بيانات الاستشعار من بعد ونماذج الارتفاعات الرقمية ونظم المعلومات الجغرافية فى تكامل البيانات فى فهم عمليات سطح الأرض وتطور أشكال السطح. وتطرق البحث لعدد من القضايا الهامة مثل المفاهيم والنظريات وطرق القياس والتمثيل الكارتوجرافى فى ضوء التغير السريع الذى تشهده هذه التقنيات.

3.4. دراسة Benito-Calvo et al., (2020): ركزت هذه الدراسة على دراسة الخصائص الجيومورفولوجية فى منطقة جارا سلطانا فى شرق المغرب. واعتمد الدراسة على التصوير الجوى (بدون طيار) ونظم الملاحة العالمية وصور الاستشعار من بعد فى تحديد الأشكال والوحدات الجيومورفولوجية فى المنطقة، ونموذج الارتفاعات الرقمى المشتق من الصور الجوية. وقدمت الدراسة خريطة جيومورفولوجية داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية وفقا للرموز التى اقترحها Serrano et al., (2004) (شكل 21).

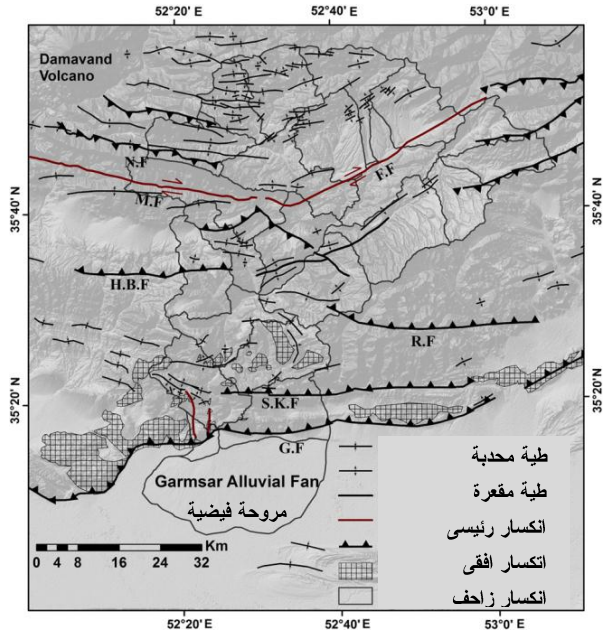


شكل 21: خريطة جيومورفولوجية لمنطقة جارا – سلطانا شرق المغرب (Benito-Calvo et al., 2020)

5. دراسات الجيومورفولوجيا التركيبية

1.5. دراسة Omar et al., (2016): اعتمدت هذه الدراسة على صورة لاندسات–8 ونماذج الارتفاعات الرقمية ASTER بدقة مكانية 30 مترا، ووسائل التحليل المكانى فى برنامج ARCGIS لإنشاء خرائط الظلال والمرشحات المكانية الاتجاهية لاستخراج الأشكال البنيوية الخطية فى جنوب غرب الأردن وشبكات التصريف المائى واستبيان العلاقة بينهما. وتم رسم خطوط البنية تلقائيًا وتحليل سماتها المورفولوجية والمكانية مثل الطول والاتجاه والكثافة، وقد وجد أن هناك عدة اتجاهات سائدة هى E-W و N-S و NE-SW و NW-SE. كما تعرضت الدراسة للعلاقة بين خطوط البنية وأنماط شبكات التصريف وميزت بين عدة أنماط هى: شجيري، متوازي ، مستطيل ، تعريشة. كما لاحظت الدراسة وجود إتساق بين خطوط البنية والتكوينات الصخرية مما يشير على الأرجح إلى إعادة النشاط التكتونى المتكرر فى المنطقة.

2.5. دراسة Jaberi et al., (2018): اهتمت هذه الدراسة بالتفاعل بين النشاط التكتونى وعوامل التعرية فى تشكيل وادى هابل رود بشمال إيران. واعتمدت الدراسة على خرائط التضرس الملونة والظلال المشتقة من نماذج الارتفاعات الرقمية من نوع SRTM بدقة مكانية 90 مترا فى رسم الوحدات الجيومورفولوجية فى حوض وادى هابل رود، ورسم خطوط البنية الرئيسية مثل الحافات الإنكسارية والقباب الملحية، وأثر ذلك على السمات الجيومورفولوجية للوادى (شكل 22).



(Jaberi et al., 2018)

شكل 22: خريطة البنية فى حوض وادى هابل رود بشمال إيران

3.5. دراسة Du et al., (2021): تناولت هذه الدراسة التطور الجيومورفولوجى التكتونى لجبال ياباراى صحراء جاران فى شمال شرق هضبة التبت، وذلك فى حقب الحياة الحديثة (السنوزوى). واعتمدت الدراسة فى رسم وتحديد الأشكال التكتونية السطحية والوحدات الجيومورفولوجية على تحليل صور لاندسات–7 من نواع +ETM ولاندسات–8 من نوع OLI، بدقة وضوح أرضى 30 و 15 مترا على التوالى لتحديد التكوينات الجيولوجية والوحدات الجيومورفولوجية والأشكال الخطية التكتونية المنشأ. بالإضافة إلى نماذج الارتفاعات الرقمية المشتقة من صور ASTER بدقة 30 مترا، وALOS بدقة 20 مترا، والتصوير الجوى (بدون طيار) بدقة 8 سم للخلية، لتحديد ورسم الظاهرات الجيومورفولوجية الدقيقة مثل مصاطب الأودية ونظم التصريف والحافات الإنكسارية.

6. دراسات التجوية

1.6. دراسة Hunta & Wu (2004): أهتمت هذه الدراسة بتأثير العوامل المناخية خلال الهولوسين فى عمليات نحت وتكوين التربة فى تل الرايولايت Rhyolite Hill بصحراء النقب. واعتمدت الدراسة على عمليات المسح الميدانى

وإنشاء مجسم ثلاثي الأبعاد للتل وخريطة جيومورفولوجية رقمية بواسطة برنامج Surfer. ثم تعرضت لظروف تكوين التربة وتأريخها وحركتها على جوانب المنحدر ونقلها بفعل عوامل التعرية المختلفة المؤثرة على منطقة الدراسة.

2.6. دراسة Cudahy et al., (2016): اعتمدت هذه الدراسة على موزايك من صور ASTER بدقة وضوح مكانى 30 مترا، ونظم المعلومات الجغرافية فى إنشاء خرائط لمعادن التربة فى استراليا عام 2012. وقامت الدراسة بحساب مؤشرات العديد من المعادن مثل المعادن الطينية والسيلكا ومحتوى الرطوبة. وأشارت الدراسة إلى أهمية بيانات الاستشعار من بعد فى تحسين فهمنا لعمليات التجوية والنحت والترسيب في ظل تغير ظروف الطقس والمناخ.

3.6. دراسة Mu et al., (2018): استخدمت هذه الدراسة تصنيف صور لاندسات-7 لتصنيف السطوح الحصوية فى صحراء جوبى بالصين عن طريق التصنيف المراقب والتجميع Segmentation، إلى جانب العمل الميداني. وقد ميزت الدراسة بين السطوح الحصوية وغير الحصوية داخل أحواض التصريف المائى، مع الاستعانة بنماذج الارتفاعات الرقمية لدراسة المنحدرات واتجاهها. واعتمدت الدراسة على فصل التجمعات الحصوية اتوماتيكيا من الصور باستخدام طريقة أطلق عليها "تقنية الخصائص المورفولوجية المكتسبة بفعالية"، حيث قسمت سطح منطقة الدراسة إلى مجموعات من الحصى باستخدام خوارزمية "التصنيف والانحدار لتعليم الآلة"، كما تم فصل الظاهرات من الصور، ثم حساب تغطية الحصى والقطر ونسبة العرض إلى الارتفاع والاتجاه بناء على عملية محاكاة باستخدام رسومات الكمبيوتر ثنائية الأبعاد.

7. دراسات الكارست

1.7. دراسة Al-Halbouni, et al., (2017): اعتمدت هذه الدراسة على المسح الجوى من ارتفاع منخفض (150 مترا فوق سطح الأرض) باستخدام بالون من نوع Helikite لدراسة حفر الإذابة الكارستية حول البحر الميت فى منطقة غور الحديثة بالأردن. كما اعتمدت على سلسلة من صور الأقمار الصناعية عالية الدقة مثل Quickbird-2 بدقة مكانية 60 سم وWorldview-2 بدقة 46 سم منذ 2012، وذلك لتقدير معدلات الهبوط والخسف، فضلا عن تحديد السمات المورفولوجية. وغطت الصور المأخوذة من البالون مساحة 2 كم^2 تقريبًا بدقة مكانية عالية جدا (5 سم للخلية فى المتوسط) لتناسب دراسة مثل هذه الظاهرات الدقيقة. واستخدمت صور البالون فى إنشاء نموذج لارتفاعات السطح من خلال التداخل بين الصور الذى تم فى حدود تتراوح بين 50-70% والرؤية الاستريوسكوبية، بعد معايرتها بنقاط الرفع الأرضى بواسطة أجهزة الملاحة التفاضلية DGPS. واستطاعت الدراسة تقدير معدلات الهبوط والخسف فى المنطقة والبنيات الخطية التى تحيط بالغور الرئيسى، وتأثير ذلك على تدفق العيون والينابيع والمياه الجوفية وعلاقتها بنظم التصريف القديمة والحديثة.

2.7. دراسة Lipar et al., (2019): اهتمت هذه الدراسة بالخصائص المورفولوجية والجيومورفولوجية لحفر الإذابة الكارستية المنهارة فى غرب استراليا، كدليل على التغيرات المناخية فى الزمن الرابع. واعتمدت الدراسة بشكل أساسى على الدراسة الميدانية والخرائط الجيولوجية والطبوغرافية إلى جانب نماذج الارتفاعات الرقمية من نوع SRTM بدقة مكانية 90 مترا، والصور المستمدة من جوجل إيرث Google Earth فى دراسة تضاريس السطح. وقد وضعت الدراسة

عدة مراحل لتطور حفر الإذابة الكارستية وإنهيارها، إلى جانب تأريخ كل مرحلة اعتمادًا على العينات الرسوبية التى تم جمعها من الرواسب الأوليتية.

3.7. دراسة Navidtalab & Moghim (2020): تناولت هذه الدراسة العلاقة بين المناخ والتكوين الصخرى والتكتونى فى نشأة الظاهرات الكارستية الملحية فى منتصف وأواخر الميوسين فى شمال شرق إيران. واعتمدت الدراسة بشكل رئيسى على الدراسة الميدانية وتحليل ظروف السطح والبنية الجيولوجية والطبوغرافيا، كما اعتمدت على نماذج الارتفاعات الرقمية المشتقة من صور SRTM بدقة مكانية 90 مترا فى استبيان العلاقة بين موضع الظاهرات الكارسيتية والخصائص الجيولوجية وارتفاع السطح، وأثر ذلك على تطور الظاهرات الكارستية.

تاسعًا: نماذج من الدراسات العربية

1. دراسات الأودية وأخطار السيول

1.1. دراسة فرحان بن حسين (2005): اعتمدت هذه الدراسة فى تحديد امتداد السيول والمناطق المعرضة للغمر بالمياه في المدن المقامة في سهل الخرج بالمملكة العربية السعودية على صور Spot-5 لما تتميز به من قدرة تمييز مكانية عالية وتوافرها في تواريخ متعاقبة. وفي هذه الدراسة تم تحديد امتداد السيول التي حدثت في شهر ديسمبر من عام 2003م والتي أثرت بشكل مباشر على الضواحي الشمالية من المدينة. وقد ساعد دمج الصور البانكروماتية بدقة وضوح مكانى 2.5 م مع الصور المتعددة الاطياف بدقة وضوح مكانى 10م في التعرف على المجاري المائية لوادي الخرج والمظاهر الإصطناعية (مثل الحواجز الرملية والقنوات المائية) المقامة على السهول الفيضية المحاذية للمجرى المائي الرئيسي. كما ساهم التحليل باستخدام كل من اسلوب كشف التغير وتحليل المركبات الرئيسية في تحديد الاختلافات التي طرأت على انعكاسات الاشعة من تربة الوادي قبل وبعد الفيضان. وبناء على تلك النتائج استطاعت الدراسة توضيح وتحديد امتداد الفيضان والمناطق المعرضة للغمر بالمياه في شكل خريطة موضوعية من خلال تطبيق اسلوب التصنيف المراقب. كما إتضح من دراسة هذه الخريطة أن هناك عدداً من المعوقات الاصطناعية والتي صرفت مياه السيول لتغمر شمال منطقة الدراسة.

2.1. دراسة متولي عبد الصمد (2012): تناولت هذه الدراسة مقارنة لكثافة التصريف باستخدام الأساليب التقليدية ممثلة في الخرائط الطبوغرافية، والأساليب الحديثة ممثلة في النماذج الرقمية للارتفاعات DEM والمرئيات الفضائية مع التطبيق على حوض وادي العاقول بالمدينة المنورة. وقد اعتمدت الدراسة على خرائط طبوغرافية 250.000:1 ومقياس 50.000:1. واستخدمت الدراسة بيانات نموذج الارتفاعات الرقمى SRTM بدقة مكانية 90×90 مترا كما اعتمدت الدراسة على مرئية فضائية من نوع Landsat TM. وقد أتضح أن الخرائط الطبوغرافية لا تظهر معظم مجاري الرتبتين الأولى والثانية وبالتالي يؤثر ذلك على كثافة التصريف التي تعتمد بدورها في أحد طرفيها على إجمالي أطوال المجاري النهرية، كما اتضح أن هناك أخطاء عند استخدام الخرائط الطبوغرافية حتى على مستوى المقياس الواحد لاختلاف دقة رسم الخرائط الطبوغرافية من خريطة لأخرى. وخلصت الدراسة إلى أن استخدام الأساليب الحديثة لاستخراج شبكة التصريف وحساب كثافة التصريف يعالج كثير من أوجه القصور التي تشوب استخدام الخرائط

الطبوغرافية، كما أنه لا يجب حساب كثافة التصريف على مستوى الأودية الكبيرة وأحواض روافدها الرئيسية فقط، وإنما لكل مجرى مائي مهما صغرت رتبته بالاستعانة بمساحة حوض تصريفه.

3.1. دراسة فتحى عبد العزيز أبو راضى و وليد محمد على (2019): اهتمت هذه الدراسة بأخطار السيول وتأثيرها على عمليات التنمية المتواصلة بمنطقة رأس غارب. واعتمدت الدراسة على وسائل التحليل المكانى وصور Landsat من نوع TM و +ETM لعامى 1987 و2000، ونماذج الارتفاعات الرقمية فى استخرج شبكات واحواض التصريف وحساب المعاملات المورفومترية والمتغيرات الهيدرولوجية. وقدمت الدراسة خريطة لمواقع السدود المقترحة وقنوات التحويل فى كل حوض على حدة، وخريطة أخرى لدرجات الخطورة المحتملة فى منطقة الدراسة وفقا لتأثيرالسيول على الطرق والمناطق العمرانية.

2. دراسات الأشكال الرياحية

1.2. دراسة برياش هجيرة و حجاب مخلوفي (2017): تناولت هذه الدراسة اثر زحف الرمال على التوسع العمرانى فى بلدية بوسعادة بالجزائر. واعتمدت الدراسة على الصور الجوية والعمل الميدانى فى دراسة زحف الرمال وأثره على التوسعات العمرانية بالمنطقة، كما أعتمدت على نظم المعلومات الجغرافية فى التمثيل الكارتوجرافى. وعرضت الدراسة للعوامل المؤثرة فى حركة الرمال والمناطق المعرضة لها، مع اقتراح وسائل التثبيت والحماية المختلفة.

2.2. دراسة معوض بدوى معوض (2018): قدمت هذه الدراسة تحليلا للسمات الجيومورفولوجية للكثبان الرملية فى بحر رمال الفرافرة. واعتمدت الدراسة على صور لاندسات–7 بعد زيادة الوضوح المكانى لها إلى 15 مترا، وصور Envisat الرادارية بدقة مكانية 30 م، ونماذج الارتفاعات الرقمية من نوع SRTM بدقة مكانية 30 مترا، إلى جانب صور جوجل ايرث Google Earthوالخرائط الطبوغرافية مقياس 1:25.000والجيولوجية والعمل الميدانى. وقد ميزت الدراسة بين الأشكال الرملية المتنوعة داخل بحر رمال الفرافرة، وقدمت دراسة لأبعاد وأحجام بعض الكثبان الهلالية، ثم أوضحت ظروف نشأة وتكوين الكثبان فى منخفض الفرافرة، وناقشت أصل الرواسب فى ضوء الأدلة الجيومورفولوجية المتاحة.

3.2. دراسة مها عبد الله الضبيحي (2020): هدفت هذه الدراسة إلى التعرف على خصائص الكثبان الرملية فى منطقة عقل نفود الثويرات بالمملكة العربية السعودية. واعتمدت الدراسة على دمج تقنيات الاستشعار من بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) في رصد الكثبان الرملية وأنواعها خلال أربع فترات زمنية متتابعة (1988م، 1998م، 2013م، 2019م)، وتم استخدام برنامج Erdas Imagine فى عمليات التصنيف المراقب للكثبان باستخدام طريقة Maximum Likelihood. وجاءت دقة التصنيف للمرئيات الفضائية على النحو التالي 92.56 % لعام 1988م، بينما بلغت 95.11% للمرئية الفضائية عام 1998م، وبلغت 96.74% للمرئية الفضائية عام 2013م، و100% في عام 2019م. وقد أشارت نتائج الدراسة إلى أن التكوينات الرملية في منطقة نفود الثويرات حديثة التكوين ونمطها السائد في صورة كثبان قبابية الشكل، وساعد على نشأتها التكوينات الجيولوجية الرسوبية والظروف المناخية الجافة مرتفعة الحرارة،

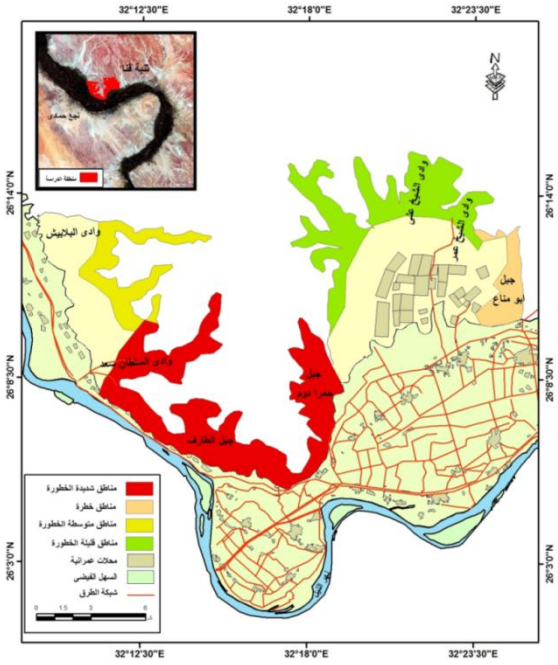
شحيحة الأمطار، متدنية الرطوبة، وارتفاع سرعة الرياح مع تعدد اتجاهاتها، هذا إلى جانب ندرة الغطاء النباتي. كما تبين أن أنواع الكثبان الرملية السائدة في منطقة نفود الثويرات عام 2019م هي كالتالى: قبابية منفردة (915.44 كم^2)، وقبابية متصلة (1036.95 كم^2)، وطولية وعرضية (616.42 كم^2)، وهلالية (16.35 كم2)، وإرسابات رملية (4211.65 كم^2)، وظاهرات أخرى (41.29 كم^2).

3. دراسات المنحدرات

1.3. دراسة محمد الرفيق و عبد الغنى كرطيط وإبراهيم أقديم (2011): ناقشت الدراسة تطور الانزلاقات الأرضية بالمدار الحضرى لفاس بالمغرب والاخطار الناجمة عنها باستخدام صور الأقمار الصناعية والدراسة الميدانية لتحديد المناطق المضارة من جراء الانزلاقات الأرضية، كما استخدمت نماذج الارتفاعات الرقمية فى إنشاء خريطة للمنحدرات ودراسة خصائصها المورفومترية. كما استعانت بنظم المعلومات الجغرافية فى التمثيل الكارتوجرافى وتحديد المواقع المضارة وعدد الانزلاقات التى تعرضت لها وأعداد السكان والأسر المضارة.

2.3. دراسة بيداء محمود مجيد و أحمد على حسن (2013): قدمت الدراسة معالجة متكاملة لأشكال السفوح فى جبل ئاكرى بالعراق اعتمادًا على العمل الميدانى وتحليل الخرائط ونماذج الارتفاعات الرقمية بدقة مكانية قدرها 30 مترا وكذلك التحليلات المتقدمة بواسطة نظم المعلومات الجغرافية. واستخرجت الدراسة خرائط الارتفاعات وتصنيف المنحدرات وفقاً لتصنيف Young وZink، وتحديد خصائصها المورفومترية للوصول إلى تحديد المناطق المعرضة لحركة مواد المنحدر ودرجات الخطورة، وقدمت عدة مقترحات لمواجهة وحل المشكلة والتقليل من حدتها وآثارها على الطرق والسياحة والعمران.

3.3. دراسة منال متولى (2017): أكدت هذه الدراسة على تكامل بيانات المراجعة الحقلية ونظم المعلومات الجغرافية فى إنتاج خريطة المنحدرات وأخطارها شمال غرب ثنية قنا ، وكذلك البيانات المستقاة من نماذج الارتفاعات الرقمية، وتحديد مخاطرها. واعتمدت الدراسة بشكل رئيسى على نماذج الارتفاعات الرقمية من نوع SRTM بدقة 30 مترا وذلك فى رسم خرائط الانحدارات وتصنيفها وتحديد اتجاهاتها، إلى جانب المراجعة الحقلية ونظم المعلومات الجغرافية فى إنتاج الخرائط والتحليل المورفومترى والكمى للمنحدرات. كما قدمت نموذجا لتصنيف درجات الخطورة الناتجة عن حركة المنحدرات وانهيار الصخور فى منطقة الدراسة (شكل 23).



(منال متولى، 2017)

شكل 23: تصنيف أخطار المنحدارات شمال غرب

4. الخرائط الجيومورفولوجية الرقمية:

1.4. دراسة محمد بن عبد الله الصالح (2001): اهتمت هذه الدراسة بإنشاء خريطة جيومورفولوجية لحوض وادي القويعية كأحد أحواض التصريف المائي الرئيسة المأهولة بالسكان في محافظة القويعية في وسط المملكة العربية السعودية على الحدود الشرقية للدرع العربي. وهدفت هذه الدراسة إلى إعداد خريطة جيومورفولوجية متوسطة المقياس لحوض وادي القويعية تبين التوزيع الجغرافي للأشكال الأرضية في الحوض وتطورها. وقد أظهرت الدراسة التوزيع الجغرافي للأشكال الأرضية الرئيسية في الحوض والعلاقات المكانية فيما بينها، كما أوضحت أن حوض وادي القويعية يصرف مياهه بشكل رئيسى من مجموعة من التلال الجرانيتية المنفردة، وينتهى إلى السهول المجاورة.

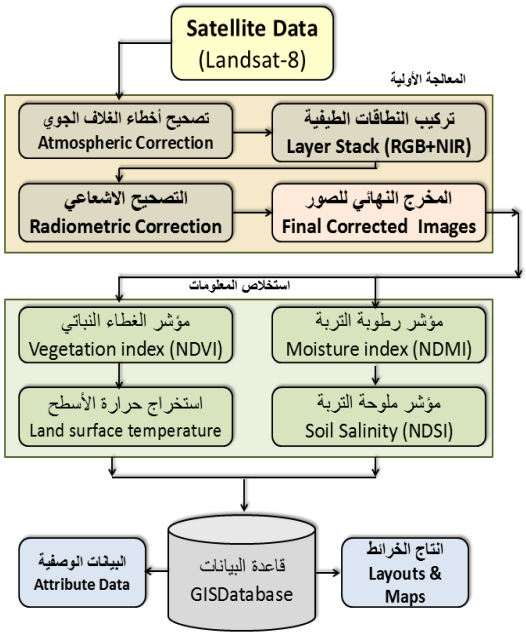
2.4. دراسة محمد نجم خلف الجورى و نجم عبد الله كامل الكراعى (2019): ناقشت هذه الدراسة دور التقنيات الحديثة ممثلة فى الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية فى عمليات المسح الجيومورفولوجى واعداد خريطة جيومورفولوجية لمحافظة السليمانية بالعراق. وقسمت الدراسة الخريطة إلى ثلاث مجموعات شكلية رئيسية هى الأشكال البنيوية والوحدات الجيومورفولوجية ومظاهر التعرية. وقد اعتمدت الدراسة على صور Landsat-8 وQuickbird ونماذج الارتفاعات الرقمية، بالإضافة إلى الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية فى بناء قاعدة بيانات جغرافية وإعداد الخريطة الجيومورفولوجية باستخدام الرموز الجيمورفولوجية للمعهد الدولى للعلوم المكانية ومراقبة الأرض ITC بهولندا.

5. دراسات التجوية:

1.5. دراسة ماجد محمد شعلة و جمال محمد عيسوى و كوثر صبحى مرضى (2015): اهتمت هذه الدراسة بآثار التجوية على المقابر الأثرية فى منطقة الأنفوشى بمدينة الأسكندرية، معتمدة على دراسة الحالة. واقتصر استخدام صور الاستشعار من بعد فى تحديد التوزيع الجغرافى للمقابر محل الدراسة، كما تم استخدام نظم المعلومات الجغرافية فى انشاء مخططات للمقابر محل الدراسة.

2.5. دراسة عبد الرازق الكومى (2020): اهتمت الدراسة بأثر التجوية على المواقع الأثرية بمركز طامية بمحافظة الفيوم، بتطبيقات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية. واعتمدت الدراسة على صور الأقمار الصناعية والتحليلات التى يقدمها برنامجى Envi و ArcGIS لدراسة مدى انتشار وتركز مظاهر التجوية، بالإضافة إلى العمل الحقلى واستخدام شميدت هامر وأجهزة الملاحة العالمية GPS. واستعملت الدراسة التحليلات المكانية فى بيئة نظم المعلومات الجغرافية لحساب البيانات الإحصائية للمواقع الأثرية فى مركز طامية مثل المركز والوسيط والانحراف المعيارى، ومؤشر الجار الأقرب. كما استخدمت نموذج الارتفاعات الرقمى المشتق من صور SRTM بدقة مكانية 90 مترا لمعرفة العلاقة بين التوزيع الجغرافى للمواقع الأثرية وارتفاع السطح، وعلاقتها بفئات الإنحدار المختلفة، والعوامل المناخية مثل المدى الحرارى وسرعة الرياح والتبخر، وأثر ذلك كله على معدلات التجوية.واستنتجت الدراسة أن المواقع الأثرية قد تأثرت بصور التجوية الميكانيكية والكيميائية.

3.5. دراسة ناصر عبد الستار عبد الهادي و محمد الراوى الدندراوى (2022): اهتمت هذه الدراسة بالتعرف على الخصائص المساحية والشكلية للبرك الملحية غرب سمالوط، والتعرف على تصنيفها وأنماطها، وكيفية نشأتها وتطورها، وعوامل تشكيلها. وقدمت الدراسة خريطة مورفولوجية للأشكال المرتبطة بالبرك الملحية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. وقد أشارت الدراسة إلى خطورة التجوية الملحية الناتجة عن أملاح القشرة السطحية بها، وخطورة استخدام رواسب البرك الملحية كتربة للبناء وأساس للمنشآت. واعتمدت الدراسة على عدد من التحليلات المتقدمة لصور الاستشعار من بعد فى حساب مؤشرات النبات ورطوبة التربة ودرجات الحرارة السطحية وتصنيف أنواع التربة (شكل 24)، وتحليل نماذج الارتفاعات الرقمية من نوع SRTM بدقة مكانية 30 مترا لاستخراج شبكات التصريف ودراسة ارتفاعات السطح والانحدرات.

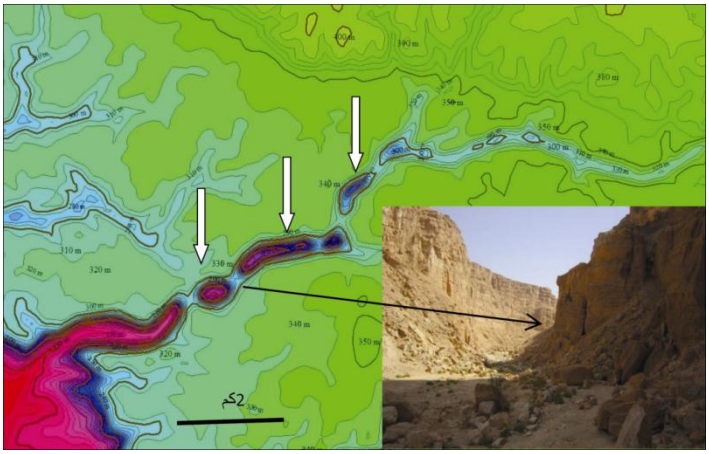


(ناصر عبد الستار و محمد الراوى ، 2022)

شكل 24: مراحل معالجة الصور الفضائية

6. دراسات الكارست

1.6. دراسة أشرف أبو الفتوح مصطفى (2017): اوضحت هذه الدراسة مظاهر الكارست المختلفة فى وادى بير العين بمحافظة سوهاج فى مصر من خلال العمل الميدانى، واعتمدت على نظم المعلومات الجغرافية فى استخراج شبكة التصريف وإنتاج الخرائط الجيولوجية والجيومورفولوجية، وخلصت بأن مظاهر الكارست فى الوادى لازالت قيد التطور بفعل السيول المفاجئة التى تحدث بين حينٍ وأخر. ثم أنتهت الدراسة بتقديم نموذج لتطور وادى بير العين كمجموعة من المنخفضات التى اتصلت ببعضها البعض، وذلك باستخدام التحليلات المتقدمة لنماذج الارتفاعات الرقمية ونظم المعلومات الجغرافية (شكل 25).



(أشرف أبو الفتوح مصطفى، 2017)

شكل 25: تطور المجرى الرئيسى لوادى بير العين عن تلاحم المنخفضات المتجاورة (محافظة سوهاج – مصر)

2.6. دراسة أشرف أبو الفتوح مصطفى و معوض بدوى (2019): طرحت هذه الدراسة تساؤلا أساسيا عن مدى تأثير مظاهر الكارست الموجودة داخل المجرى الرئيسي لوادي بير العين وروافده على طبيعة الجريان السطحي. واعتمدت الدراسة على منهج النظام القائم على وجود مدخلات تتمثل في كمية المطر التي تلقاها الوادي خلال العاصفة المطرية التي حدثت في يومي 8 و9 مارس 2014. أما المخرجات فقد تمثلت في صافي محصلة الجريان السطحي. وقدرت الدراسة كمية الفواقد من المياه عن طريق التسرب فى التربة السطحية والتبخر نتح والابتلاع كأحد المؤشرات الهامة على وجود

نظام تصريف جوفي لنظام الكارست. واستنتجت الدراسة من خلال العمل الميدانى وصور الأقمار الصناعية ونماذج الارتفاعات الرقمية والنماذج الهيدرلوجية (نموذج رقم المنحنى Curve Number) – التى ساهمت فى حساب الميزانية المائية – أن 86.41 ٪ من إجمالي المياه التي سقطت على حوض وادي بير العين في يومى 8 و 9 مارس 2014 قد تم ابتلاعها بفعل مظاهر الكارست خاصة بالوعات الإذابة والشقوق والمجاري الجوفية.

3.6. دراسة حسام جمعة أحمد عزيز (2020): اهتمت هذه الدراسة بالتعرف على الخصائص الجيومورفولوجية للظاهرات الكارستية، والوصف الرقمى المعتمد على القياسات الحقلية، وتحديد كيفية نشأتها والدور الذى تمارسه التعرية الكارستية فى تشكيل المنطقة. وقد استخدمت الدراسة بيانات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية فى رسم الخرائط الكارتوجرافية مثل اعماق المنخفضات والغطاءات الأرضية وأنواع التربة والتوزيع الجغرافى للكهوف والتلال الكارستية وتركز بعض المعادن مثل الرصاص والنيكل وتحديد الملاءمة البيئية للتنمية الصناعية فى منطقة الدراسة.

عاشرًا: الرؤية المستقبلية

تتميز الأراضى الجافة دون غيرها بسطح أرضها المكشوف، وتجعل هذه الخاصية من بيانات الاستشعار من بعد أداة بحث فعالة فى جمع وتفسير المعلومات السطحية بسهولة عكس الأراضى المعتدلة والرطبة والتى تتنوع فيها الاستخدامات البشرية والغطاءات الأرضية. وتساهم بيانات الاستشعار من بعد السلبية والمعروفة بأسم Optical Remote Sensing فى الكشف عن سمات وخصائص السطح من خلال استخدام التفسير البصرى أو الرقمى للصور لاشتقاق المعلومات الجيومورفولوجية، وهى تساعد فى عمليات القياس والتحليل المورفومترى ومتابعة تغيرات الظاهرات واستخراج معلومات قد يصعب التعرف عليها بالعين المجردة. كما يساهم التصوير الحرارى فى الكشف عن رطوبة التربة ودرجات الحرارة السطحية وبعض المعادن فى التربة، وهى من الأمور الهامة فى الدراسات الجيومورفولوجية، وتساعد على فهم بعض العمليات الجيومورفولوجية مثل التجوية الحرارية ودور الرطوبة فى عمليات تشكيل وتعرية السطح، وأيضًا تساهم بشكل غير مباشر فى التعرف على مصدر الرواسب من خلال حساب مؤشرات نسب تواجد بعض المعادن فى السطح مثل المعادن الطينية والحديدية وغيرها.

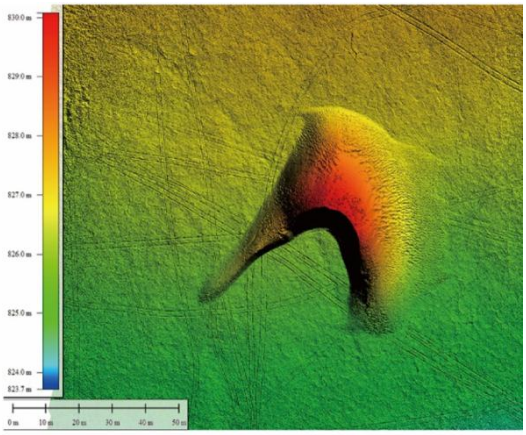
أما الاستشعار عن بعد الإيجابى مثل صور RADAR, LIDAR فهى تساهم بشكل فعال فى الكشف عن الظاهرات غير المرئية والتى يصعب الكشف عنها بالعين المجردة. على سبيل المثال تساعد صور الرادار فى إعداد نماذج الارتفاعات الرقمية والتى تعد أحد أهم أركان الدراسات الجيومورفورفولوجية. كما تساهم صور الرادر فى الكشف عن بعض الظاهرات تحت السطحية مثل الأودية المدفونة وخطوط البنية فى الموجات الطويلة نسبيا مثل قناتى C و L، وذلك بفضل جفاف الرواسب السطحية فى المناطق الصحراوية. كما يساعد الليدار فى إنشاء صورا ثلاثية الأبعاد بدقة مكانية عالية ولكن لمساحات محدودة جدا نظرا لارتفاع تكلفة استخدامه.

ويتوقف كم ودقة المعلومات وبناء نظام معلومات جغرافي لأشكال السطح على جودة صور الأقمار الصناعية، والتى تتحدد فى اربعة عناصر أساسية هى: دقة الطيف والدقة الراديومترية والمكانية والزمنية. وكلها تلعب دورا هاما فى مدى دقة المعلومات المشتقة من هذه الصور. وتشير دقة الطيف إلى عدد القنوات التى تحتويها الصورة، حيث تفيد كل

قناة منها فى دراسة ظاهرات بعينها. أما الدقة الراديومترية فتشير إلى عدد الألوان، فكلما زاد عدد الألوان فى الصورة إزدادت القدرة على التفريق بين الظاهرات المتشابهة فى قيم الإنعكسات. أما الدقة المكانية فهى تشير إلى أصغر وحدة أرضية يمكن للقمر الصناعى تصويرها، أو بعبارة أخرى هى مساحة الخلية. وأخيرا تفيد الدقة الزمنية فى متابعة التغيرات التى تطرأ على ظاهرات السطح.

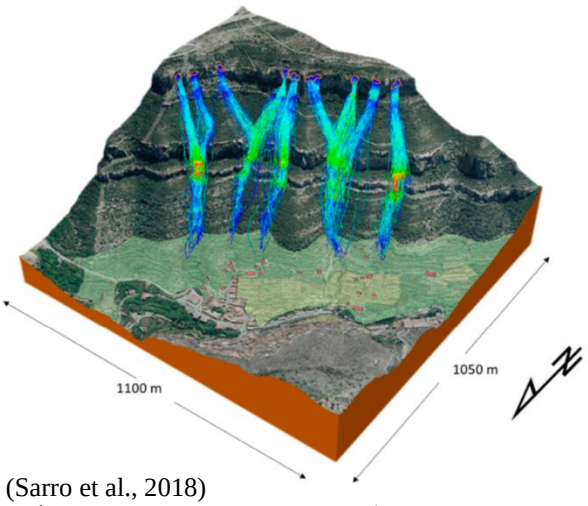
وتتفاوت جودة الصور من قمر صناعى لأخر، فبعضها خشن مثل صور MODIS، وأغلبها متوسط الدقة مثل صور Landsat-7 وLandsat-8، وبعضها عالى الدقة مثل صور Spot-6,7 و Worldview. غير أن الصور عالية الدقة مرتفعة التكاليف جدًا حيث تباع بالكيلومتر المربع، ويتراوح سعرها بين 300 إلى أكثر من 3000 دولارا للكيلو متر المربع حسب حداثتها. ويعد هذا التنوع فى دقة الصور الفضائية ميزة بالنسبة للدراسات الجيومورفولوجية من أجل إنتاج خرائط بمقاييس رسم مختلفة، إلا أن الإتجاه العام حاليا فى الدراسات الجيومورفولوجية يميل نحو التخصص الدقيق جدا، ودراسة ونمذجة الظاهرات بغرض فهم خصائصها المورفومترية والعوامل والعمليات التى تؤثر عليها، ويتم ذلك من خلال دراسة الحالة فى العديد من الموضوعات مثل الكثبان الرملية ودراسات أحواض التصريف وحركة المنحدرات ..إلخ. ولا تسمح صور الاستشعار المتاحة مجانا مثل صور لاندسات وسنتينل بذلك، بينما الصور عالية الدقة المكانية تباع بتكاليف باهظة. حتى المتاح منها من خلال برنامج جول إيرث Google Earth يستخدم فقط فى عمليات القياس والتحليل البصرى، إذ لا تجرى عليه عمليات التحليل الرقمى نظرا لانها لا تحتوى على القيم الرقمية الفعلية كما التقطتها الأقمار الصناعية. ولتحقيق هذا الغرض تتجه الدراسات الجيومورفولوجية حاليًا إلى تطويع تكنولوجيا ووسائل القياس والتصوير الأرضى والجوى فى دراسة ظاهرات السطح، والتى تمثل مستقبل الدراسات الجيومورفولوجية فى العقود التالية، وهى على النحو التالى:

1. طائرات بدون طيار (Unmanned Aerial Vehicle (UAV): طائرات صغيرة الحجم خفيفة الوزن (~250 جم) وتعرف باسم Drone. وتستخدم هذه الطائرات على نطاق واسع فى العديد من الأغراض العسكرية والمدنية. وتعتمد الدراسات الجيومورفولوجية الحديثة على هذه الوسيلة فى تصوير مظاهر سطح الأرض بدقة مكانية عالية من خلال تثبيت كاميرات متعددة الطيف على متنها. ويتم التحكم فى الطائرة ومسار حركتها وارتفاعها من خلال وحدة التحكم الأرضى عبر الكمبيوتر أو لاب توب محمول. وتتميز صورها بدقتها العالية نظرا لأن ارتفاع الطائرة يكون قريب من سطح الأرض (~100–150 مترا)، مع دقتها المكانية العالية، والقدرة على التحكم فى خطوط الطيران والتغطية الأمامية والجانبية من خلال وحدة التحكم الإلكترونية، بما يسمح بإمكانية إنشاء نماذج ارتفاعات رقمية عالية الدقة للمنطقة المدروسة، فضلا عن دقة الصور فى القنوات الطيفية المختلفة التى قد تصل إلى بضعة سنتيمترات للخلية (للمزيد: Colomina & Molina, 2014). وتساعد هذه الصور فى دراسة الظاهرات الجومورفولوجية الدقيقة ونمذجتها (شكل 26 أ، ب)، وإنشاء خرائط جيومورفولوجية تفصيلية بمقاييس كبيرة. ويتم معالجة هذه الصور ببرامج خاصة مثل برنامج Drone to Map التابع لشركة إيزرى ESRI، وبرنامج Drone Deploy.



(Yang et al., 2021)

شكل 26 أ: نموذج ارتفاعات رقمى مستخرج من الصور الجوية لأحد الكثبان الهلالية فى شمال

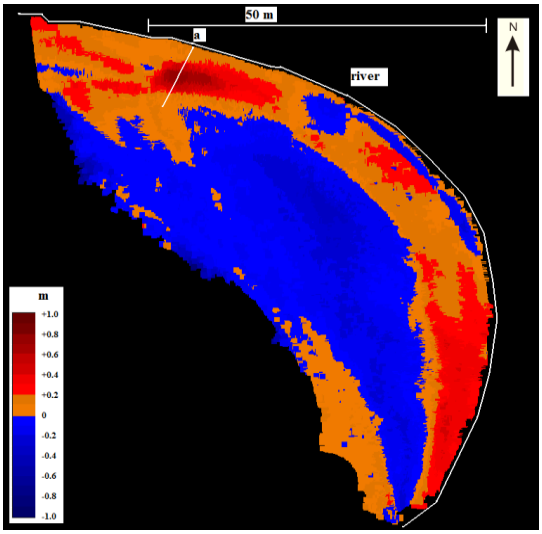


(Sarro et al., 2018)

شكل 26 ب: نموذج ثلاثى الابعاد من الصور الجوية، يوضح حركة مواد المنحدر فى فالنسيا بأسبانيا

2. الليزر المحمول أرضًا Terrestrial Laser Scanning:

الماسحات الضوئية بالليزر هي أجهزة لرصد وقياس الظاهرات من بعد، حيث تقوم بجمع عدد كثيف من النقاط (سحابة النقاط point-clouds) اعتمادًا على إحداثيات كل نقطة X و Y و Z . تصنف بعد ذلك هذه النقاط حسب قيمة اللون والانعكاس والارتفاع لتمثيل الظاهرات الأرضية بدقة عالية بالبعد الثالث وفى شكل تصوير بانورامى (360°)، بدقة مكانية عالية تصل إلى بضع سنتيمترات (~5سم/للخلية). وتستخدم هذه التقنية عادة فى دراسة المبانى الآثرية والظاهرات الدقيقة مثل رصد حركة المنحدرات ومتابعة مظاهر النحت والإرساب (شكل 27).

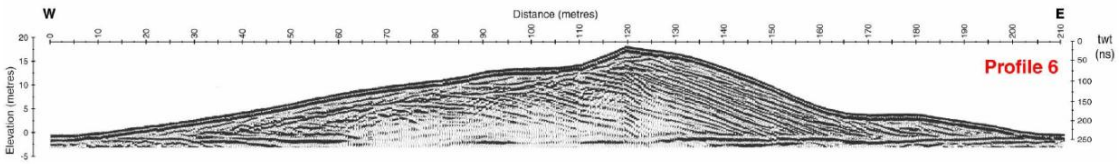


(Vaaja et al., 2011)

شكل 27: مناطق النحت والارساب فى نهر تانا بالنرويج الفترة 2008-2009

3. الرادار المحمول أرضا Ground Penetrating Radar (GPR): أحد التقنيات التى تستخدم موجات الرادار لاختراق سطح الأرض بديلا عن الطرق الجيوفيزيائية التقليدية. ويدخل فى العديد من الاستخدامات بما فيها دراسات البنية التحتية للمبانى والمنشآت. ويستخدم GPR موجات راديو عالية التردد (بين 10 ميجاهرتز و 2.6 جيجاهرتز)، وتتغير خصائص هذه الموجات عند اختلاف الوسط الأرضى الذى تمر فيه، حيث قد تتعرض للإنعكاس أو الإنكسار أو التشتت، فى إشارة إلى وجود شئ ما تحت السطح مختلف عن الوسط السائد.

وتستخدم هذه التقنيات عادة فى شكل نطاقات طولية محدودة المساحة، يتم التعرف عليها سلفا من صور الطائرات أو الأقمار الصناعية، وهى تستخدم فى الكشف عن البنيات تحت السطحية (شكل 28)، والأودية المدفونة، وتقدير محتوى التربة من الرطوبة. ويشيع استخدامها فى الدراسات الجيواركيولوجية للكشف عن الآثار المدفونة.



(Robinson et al., 2013)

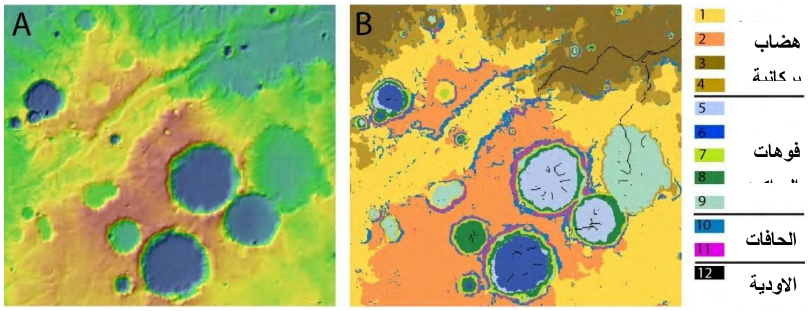
شكل 28: البنية الداخلية فى أحد الكثبان الطولية بصحراء ناميبيا باستخدام الرادار المحمول أرضا

4. الذكاء الاصطناعى وتعلم الآلة Artificial Intelligence & Machine Learning: الذكاء الاصطناعى (AI) هو أحد فروع تكنولوجيا الحاسبات ويهتم بإنتاج نظم ذكية خبيرة لديها القدرة على فهم البيئة المحيطة بها، وإتخاذ القرارات التى تساعد النظام على النجاح فى إنجاز المهام التى تم تصميمه من أجلها. وتتميز هذه النظم بالتعلم والاستنتاج ورد الفعل. ويعتمد الذكاء الإصطناعى بشكل رئيسى على التعلم الآلى، وهو طريقة لتحليل البيانات وبناء النماذج التحليلية أتوماتيكيا، بمعنى أن الأنظمة الحاسوبية يمكنها التعلم من البيانات وتحديد الأنماط واتخاذ القرارات بأقل تدخل بشري.

والواقع أن هناك تكامل كبير بين الذكاء الاصطناعي (AI) ونظم المعلومات الجغرافية، حيث يوفر الذكاء الاصطناعى أساليب التحليل المكانى المتقدمة مثل الخوارزميات والمصفوفات التى تساعد على تحليل البيانات، واشتقاق المعلومات المكانية من صور الاستشعار من بعد بطرق آلية. وقد زاد الاهتمام مؤخرا بدور الذكاء الاصطناعى والتعليم الآلى فى نظم المعلومات الجغرافية بغرض تعزيز الذكاء الجغرافي Geo-Intelligence، وهو مصطلح واسع يشير إلى التمثيل الجغرافي المكاني والتحليل واتخاذ القرار والتصميم والقيادة التي تعتمد على نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار من بعد وتقنيات نظام تحديد المواقع العالمية. ويعد الذكاء الجغرافى أهم وأكثر ما يميز نظم المعلومات الجغرافية عن غيرها من نظم المعلومات الأخرى.

ويفيد التكامل بين هذه التقنيات فى بيئة نظم المعلومات الجغرافية فى التعرف على الصور الفضائية، الذي يتم تدريب النظام عليها للوصول إلى معلومات وحقائق محددة، مع ارتباطها بالبيانات الوصفية أو الكائنات الأخرى فى بيئة نظم المعلومات الجغرافية داخل قاعدة البيانات الجغرافية. وتساعدنا هذه النظم الذكية فى اشتقاق المعلومات وتنقيتها من الأخطاء وبناء قواعد البيانات وإنتاج الخرائط بشكل آلى، وتساعد فى بناء النماذج المكانية والتنبؤ بوضع مستقبلى[7].

ويمكن أن يلعب الذكاء الاصطناعى والتعلم الآلي دورا حيويا في إنشاء ورسم الخرائط الجيومورفولوجية أتوماتيكيا. فقد أشار Stepinski & Vilalta (2010) إلى إمكانية استخدام نظم التعلم الآلى فى معرفة فئات معينة من التضاريس، والتنبؤ بالفئات الأخرى، كذلك إمكانية اشتقاق الأشكال الأرضية وتوزيعها المكاني بواسطة الخوارزميات (شكل 29).

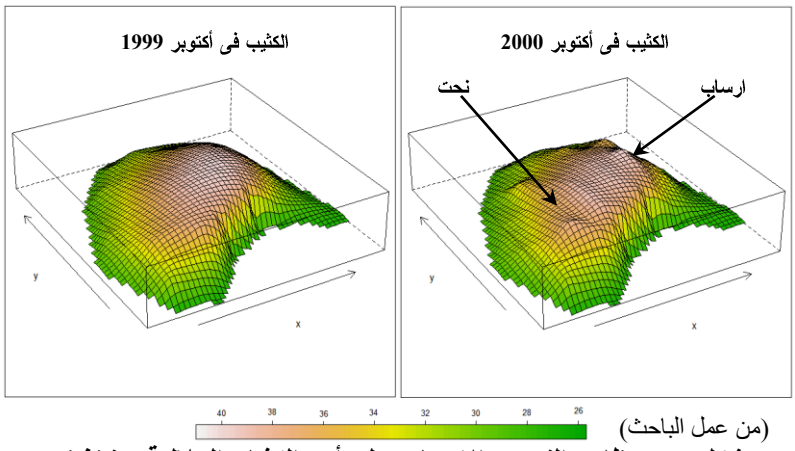


(Stepinski & Vilalta 2010)

شكل 29: (A) نموذج ارتفاعات رقمى لفوهات Tisia Valles على المريخ، (B) خريطة مورفولوجية بخوارزميات التجميع الإحتمالى

5. تطبيقات الويب والخرائط التفاعلية Web Applications and Interactive Maps: لا شك أن الخرائط الجيومورفولوجية على درجة عالية من الأهمية بالنسبة للمخططين والعاملين فى مجال الحماية من الأخطار الطبيعية، ومع هذا فهى أقل شهرة من الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية، ويرجع هذا إلى أنها تستخدم رموزا ومصطلحات غير دارجة أو معروفة بالنسبة للعامة. لذا فهى تحتاج بداية إلى ضرورة توحيد المصطلحات المستخدمة والرموز والألوان وتعريبها من ناحية. كما تحتاج إلى مزيد من الإنتشار من ناحية أخرى. ولكى يتسنى لها ذلك يمكن الاعتماد على لغات البرمجة المتخصصة فى الويب مثل Java و HTML فى نشر ثقافة الخرائط الجيومورفولوجية، وإنشاء خرائط تفاعلية Interactive maps، يستطيع من خلالها المستخدم متابعة تطور الظاهرات الأرضية أو حركتها مثل زحف الكثبان وحركة المنحدرات ومياه السيول، والتنبؤ بالأضرار التى قد تنجم عنها، بحيث تكون بمثابة نظام لدعم صناعة القرار Web-based decision support system. ويمكن أن تتبنى جهات متخصصة فى مصر مثل هذا المشروع مثل المجموعة الجيومورفولوجية المصرية أو الجمعية الجغرافية المصرية. كما يمكن أن تتيح تطبيقات الويب إنشاء عالم افتراضى من خلال نماذج متحركة ثلاثية الأبعاد للعديد من الأماكن النائية فى مصر والعالم العربى يستطيع من خلالها المستخدم أن يتجول بين ظاهرات سطح الأرض فى الأماكن التى يتعذر زيارتها فيما يمكن أن نطلق عليه بالملتيميديا المكانية Spatial Multimedia.

6. البرمجة المكانية Spatial Programming (SP): يقصد بذلك تطويع لغات البرمجة فى خدمة المعلومات المكانية سواء بالتحليل أو العرض أو النمذجة. وتعد مهارات البرمجة المكانية من الضرورة لتجاوز وظائف نظم المعلومات الجغرافية المألوفة، إذ تمكننا لغات البرمجة من استكشاف مجالات وطرق جديدة للتحليل المكاني الآلي واستخراج وعرض البيانات وتطوير التطبيقات. ومن أهم لغات البرمجة التى يمكن الاستعانة بها فى هذا الشأن لغتى Python وR ، فهما يحتويان على العديد من المكتبات المتخصصة فى تحليل البيانات المكانية، وطرق عرضها ونمذجتها. ويمكن إجراء ذلك بشكل غير مباشر من داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية نفسها مثل برامج ARCGIS وSAGA وQGIS، أو بشكل مباشر من داخل النواة البرمجية ذاتها. ويختلف استخدام لغات البرمجة عن الذكاء الاصطناعى فى أن الأولى ستعتمد على برامج ذكية جاهزة للمستخدم، بينما فى لغات البرمجة يحتاج المستخدم إلى برمجة الأدوات والعمليات بنفسه باستعمال الأكواد التى تعتمد عليها كل لغة منها. وقد استخدم الباحث لغة R فى



(من عمل الباحث)

شكل 30: مظاهر النحت والإرساب على أحد الكثبان الهلالية بمنخفض وادى الريان باستخدام لغة R

متابعة التغيرات التى طرأت على أحد الكثبان الرملية الهلالية فى وادى الريان من واقع الرفع المساحى لعدد 130 نقطة رفعت بواسطة Total Station فى الفترة من أكتوبر 1999 إلى أكتوبر 2000، وذلك لتحديد مواضع النحت والإرساب cut and fill على سطح الكثيب (شكل 30).

الخاتمة والنتائج والتوصيات

يستعرض هذا البحث أهم الاتجاهات الحديثة فى مجال تطبيقات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية فى الدراسات الجيومورفولوجية فى الأراضى الجافة، وتقديم رؤية مستقبلية لتطورها خلال العقود التالية. ولتحقيق ذلك قامت الدراسة بعمل مسح للأبحاث التى نشرت فى الفترة من 2000 وحتى 2020م فى الدوريات العالمية والعربية المتخصصة المرموقة، سواء من خلال البحث فى قاعدة بيانات سكوبس أو بنك المعرفة المصرى. واستعرضت الدراسة التطور العددى والنوعى وتصنيف الموضوعات الأكثر اهتماما فى مجال البحث فى أخر عشرين عاما باتباع المنهج الوصفى لتحليل المضمون.

وأوضحت الدراسة أن دراسات السيول والأخطار الهيدرولوجية تحظى بقدر وافر من الدراسات، يليها دراسات الكثبان الرملية والأشكال الرياحية عامة ، ثم المنحدرات، وإنتاج الخرائط الجيومورفولوجية الرقمية والجيومورفولوجيا التركيبية والتجوية والكارست على الترتيب. وقدمت الدراسة نماذج من الدراسات المتخصصة فى كل منها. ويلاحظ أن هناك سمة تباين واضح فى أعداد الأبحاث المقدمة باللغتين الإنجليزية والعربية، بل إن بعض التخصصات لم تحظ بالقدر الوافر من الدراسة مثل التجوية والجيومورفولوجيا التركيبية على وجه التحديد، ويرجع ذلك إلى أن أغلب ظاهرات التجوية دقيقة جدا للدرجة التى يصعب اشتقاقها من بيانات وصور الاستشعار من بعد المتاحة حاليا، وهى تحتاج إلى تطور نوعى فى جودة الصور ووسائل التحليل، أو دراساتها بوسائل الاستشعار الأرضى والتصوير الفوتوغرافى البانورامى. أما الجيومورفولوجيا التركيبية فهو من فروع الجيومورفولوجيا الجديدة نسبيا، ومن المتوقع أن يحظى بمزيد من الدراسة والاهتمام فى الفترة المقبلة مع الاعتماد على وسائل التحليل الرقمى المتقدمة وقواعد البيانات الجغرافية فى اشتقاق التراكيب البنيوية وعلاقتها بأشكال سطح الأرض.

أما مجال إنشاء الخرائط الجيومورفولوجية الرقمية فهو لازال يعانى من بعض الصعوبات المتعلقة بتوحيد الرموز والمصطلحات ومقاييس الرسم المستخدمة، كما أنه من الصعب حتى الآن طرح طريقة معالجة محددة لاشتقاق الأشكال الجيومورفولوجية بشكل آلى من بيانات الاستشعار المتاحة، إذ تعتمد الدراسات على المزج بين التحليل البصرى والرسم Digitizing والمؤشرات الجبرية التى يمكن أن تتم على بيانات الاستشعار من بعد فى استخراج عدد من ظاهرات السطح.

باستثناء قلة عدد الأبحاث العربية المتخصصة فى مجال البحث مقارنة بالأبحاث المتخصصة باللغة الإنجليزية، فلا يوجد فوارق جوهرية بين الدراسات الإنجليزية والعربية، حيث تمزج الدراسات بين التحليل البصرى والرقمى مع الاستعانة بنظم المعلومات الجغرافية فى بناء قواعد البيانات المكانية. كما تميل هذه الدراسات إلى استخدام الادوات والامكانات المتاحة داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية فى إعداد نماذج مكانية لأشكال السطح وتحليلها بطرق مختلفة

حسب غرض كل دراسة. غير أن الدراسات الأجنبية تعتمد فى كثير من الأحيان على تطوير الخوارزميات الخاصة بتفسير واشتقاق مظاهر السطح بشكل آلى، فضلا على اعتمادها على عدد من أدوات البحث الحديثة مثل الطائرات الخفيفة (بدون طيار) فى الحصول على صور جوية عالية الدقة المكانية، ومرجع هذا إلى سهولة توفير مثل هذه الأدوات واستخدامها، بينما يحظر استخدامها فى بعض الدول العربيةــ أو بسبب ضعف الأمكانات المادية.

ختاما.. توصى الدراسة بضرورة توفير الامكانات المادية اللازمة لتوفير عدد من الأجهزة والتقنيات الحديثة التى من شأنها تطوير الدراسات الجيومورفولوجية فى المناطق الجافة، منها التوسع فى استخدام الطائرات بدون طيار وماسحات الليزر المحمول أرضا والرادار الأرضى، مع ضرورة تدريب وتطوير الكوادر البشرية المتخصصة فى هذا المجال على تطويع القدرات الحاسوبية الحالية فى الدراسات الجيومورفولوجية، مثل الذكاء الاصطناعى وتعليم الآلة، والتوسع فى استخدام لغات البرمجة المكانية بغرض اشتقاق المعلومات المكانية وإنشاء الخرائط بشكل آلى يوفر الجهد ويقلل من أخطاء العامل البشرى. بالإضافة إلى التوسع فى تطبيقات الويب فى إنشاء خرائط تفاعيلية لخدمة المجتمع، وكذلك الملتيميديا المكانية. كما يجب التنويه إلى أن هذه التقنيات لا تعد بديلا عن الدراسة والعمل الميداني، لكنها وسائل هامة فى جمع البيانات وفهم وإدراك العلاقات المكانية، والتى تمثل ركيزة أساسية لا غنى عنها فى الدراسات الجيومورفولوجية.

الاختصارات الواردة فى البحث

AI	**A**rtificial **I**ntelligence	الذكاء الاصطناعى
ASAR	**A**dvanced **S**ynthetic **A**perture **R**adar	نظم الرادار المتقدمة
ASTER	**A**dvanced **S**paceborne **T**hermal **E**mission and **R**eflection	قمر صناعى تابع لوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا)
AWS	**A**utomatic **W**eather **S**tation	محطة أرصاد جوية اتوماتيكية
DEM	**D**igital **E**levation **M**odel	نموذج الارتفاعات الرقمى
DGPS	**D**ifferential **G**lobal **P**ositioning **S**ystem	نظام تحديد المواقع العالمى التفاضلى
EKB	The **E**gyptian **K**nowledge **B**ank	بنك المعرفة المصرى
ETM+	**E**nhanced **T**hematic **M**apper Plus	الماسح النوعى المحسن، أحد نظم التصوير المحمولة فى قمر لاندسات–7.
GIS	**G**eographic **I**nformation **S**ystems	نظم المعلومات الجغرافية
GPR	**G**round **P**enetrating **R**adar	الرادار المحمول أرضا
GPS	**G**lobal **P**ositioning **S**ystem	نظام تحديد المواقع العالمى
ITC	Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, formerly **I**nternational **T**raining **C**entre for Aerial Survey	كلية علم المعلومات المكانية ومتابعة الأرض، والمعروف سلفا بالمركز الدولى للتدريب على المسح الجوى
LIDAR	**L**ight **D**etection **A**nd **R**anging	نظام التصوير بالليدار
MODIS	**M**oderate **R**esolution **I**maging **S**pectroradiometer	قمر صناعى أمريكى بدقة وضوح خشنة
OLI	**O**perational **L**and **I**mager	نظام تصوير الأرض، أحد نظم التصوير فى لاندسات–8
P	**P**recipitation	التساقط
PET	**P**otential **E**vapo**t**ranspiration	التبخر نتح المحتمل
RADAR	**R**adio **D**etection **A**nd **R**anging	نظام التصوير بالرادار
RS	**R**emote **S**ensing	الاستشعار من بعد
SAR	**S**ynthetic **A**perture **R**adar	نظم الرادار التقليدية
SRTM	**S**huttle **R**adar **T**opography **M**ission	مكوك رادارى لتصوير طبوغرافية الارض
TLS	**T**errestrial **L**aser **S**canning	الليزر المحمول أرضا
TM	**T**hematic **M**apper	الماسح النوعى أحد نظم التصوير المحمولة فى اقمار لاندسات 4 و 5.
UAV	**U**nmanned **A**erial **V**ehicle	مركبة جوية بدون طيار

Abstract

A future vision for the development of applications of remote sensing and geographic information systems in the geomorphology of dry lands

By Moawad Badawi Moawad Badawi

This study reveals the future perspective trends of applications of remote sensing and geographic information systems (GIS) in the geomorphological studies of the dry lands. The importance of the present study comes in identifying recent trends in methods of collecting, processing and analyzing spatial data for geomorphological study in dry lands in light of the tremendous development of remote sensing techniques and GIS. The study provides a future perspective to maximize the benefit of these technologies. The study followed based on a comprehensive survey within the prestigious international, foreign and specialized Arab periodicals in the period from 2000 to 2021, in order to identify recent trends and topics of interest, and reveals the progress made by geomorphological studies in dry lands using remote sensing and GIS techniques. Then the study classified the scientific research according to the most common topics and interests, and presented a quantitative analysis relied on the descriptive approach in analyzing the content of a number of them. After that, the study reviewed models from foreign and Arabic studies to find out the similarities and differences between them. Finally, the study presented a future perspective to the development of these studies in light of the development of modern spatial technologies and means of collecting and analyzing data through the expansion of the use of aerial photography, laser scanners, ground radar, artificial intelligence and machine learning, and spatial programming languages in interpreting remote sensing data and building geographical database and spatial models.

Keywords: remote sensing, geographic information systems, dry lands, geomorphology

الهوامش

[1] يُقدر البنك الدولى عدد سكان العالم بنحو 7.9 مليار نسمة حتى نهاية ديسمبر 2021
https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL

[2] كل الإحصائيات المذكورة حتى نهاية ديسمبر 2021 https://www.elsevier.com/solutions/scopus

[3] https://clarivate.com/about-us/

[4] https://en.discoveryeducation.ekb.eg/about-ekb/

[5] http://srv1.eulc.edu.eg/eulc_v5/libraries/start.aspx?ScopeID=1&..

[6] Bare Soil Index = ((Red+SWIR) – (NIR+Blue)) / ((Red+SWIR) + (NIR+Blue)), NDSI= (SWIR2-R / SWIR2+R)

[7] https://www.esri.com/en-us/artificial-intelligence

المراجع العربية

أشرف أبو الفتوح مصطفى (2017): الكارست ودوره فى تشكيل وادى بير العين بهضبة المعازة الجيرية شرق سوهاج، مصر. المجلة الجغرافية العربية – الجمعية الجغرافية المصرية، القاهرة عدد 70، ج2، ص ص 1–42.

أشرف أبو الفتوح مصطفى و معوض بدوى (2019): تأثير مظاهر الكارست على الجريان السطحي في وادي بير العيـــن بهضبة المعازة الجيرية شرق سوهاج – مصر. حولية كلية الآداب– جامعة عين شمس، المجلد 47، عدد 1، ص ص 514–548.

برباش هجيرة و حجاب مخلوفي (2017):أثر ظاهرة زحف الرمال على التوسع العمراني: نموذج بلدية بوسعادة – الجزائر. المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، المجلد 48، الجزء الثانى، ص ص 291–313.

بيداء محمود مجيد و أحمد على حسن (2013): أشكال السفوح فى جبل ئاكرى: دراسة فى الجيومورفولوجية التطبيقية. مركز أبحاث كلية التربية الأساسية – جامعة الموصل، ملجد 12، عدد3 ، ص ص 481–516.

حسام جمعة أحمد عزيز (2020): الآثار البيئية للأشكال الكارستية فى منخفضى الفيوم والريان. مجلة كلية الآداب – جامعة بنى سويف، عدد 57، ج2، ص ص 69–181.

عبدالرازق بسيوني الكومي (2020): التجوية وتأثيرها على المواقع الأثرية بمركز طامية – محافظة الفيوم – تحليل جيومورفولوجى "باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية". المجلة الجغرافية العربية – الجمعية الجغرافية المصرية، المجلد 51، الجزء الثانى – عدد 76، ص ص 1–55.

فتحى عبد العزيز أبو راضى و وليد محمد على محمود عجوة (2019): التحليل المكانى لأخطار السيول وتأثيرها على التنمية المتواصلة بمنطقة رأس غارب على الساحل الغربى لخليج السويس "مصر". المجلة الجغرافية العربية – الجمعية الجغرافية المصرية، المجلد 50، الجزء الثانى – عدد 74، ص ص 1–38.

فرحان بن حسين بن صالح الجعيدي (2005): استخدام صور الاستشعار عن بعد الرقمية عالية الوضوح المكاني لتحديد امتداد فيضانات السيول في سهل الخرج. سلسلة بحوث جغرافية – الجمعية الجغرافية السعودية، الرياض، عدد 71.

ماجد محمد محمد شعلة و جمال محمد عيسوى قمح و كوثر صبحى مرضى أبو الريش (2015): التجوية وآثارها الجيومورفولوجية فى تشكيل مقابر الأنفوشى الأثرية بمدينة الأسكندرية. رسائل جغرافية – جامعة الكويت، عدد 442.

متولي عبد الصمد عبد العزيز (2012): كثافة التصريف بين الأساليب التقليدية والحديثة دراسة جيومورفولوجية مقارنة مع التطبيق على حوض وادي العاقول بالمدينة المنورة. سلسلة بحوث جغرافية – الجمعية الجغرافية السعودية، الرياض، عدد 99.

محمد الرفيق و عبد الغنى كرطيط وإبراهيم أقديم (2011): تطور الانزلاقات بالمدار الحضرى لفاس والاخطار الناجمة عنها. أعمال ندوة التهيئة الضاحوية: السيرورة والرهانات والمخاطر والتوقعات، كلية الآداب والعلوم الإنسانية– جامعة سيد محمد بن عبد الله – سايس – فاس.

محمد بن عبدالله الصالح (2001): الخريطة الجيومورفولوجية لحوض وادي القويعية بالمملكة العربية السعودية. مجلة كلية الآداب – جامعة الملك سعود ، مجلد 13–عدد 1، ص ص167 – 196.

محمد نجم خلف الجورى و نجم عبد الله كامل الكراعى (2019): آلية تصميم الخريطة الجيومورفولوجية الرقمية وتعميمها. مجلة سر من رأى – كلية التربية، جامعة سامراء، العراق، مجلد 16، عدد 64، لسنة 15، ص ص 695 – 762.

معوض بدوى معوض (2018): جيومورفولوجية بحر رمال الفرافرة. المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، المجلد 49، الجزء الأول عدد 71، ص ص41–85.

معوض بدوى معوص (2021)، دراسة هيدروموفورمترية لسيل الأول من نوفمبر 2020 بمدينة رأس غارب – مصر. حوليات كلية الآداب – جامعة عين شمس ، المجلد 49 يناير – مارس 2021 ، ص ص 306 – 343.

منال متولى (2017): تكامل بيانات المراجعة الحقلية ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في إنتاج خريطة المنحدرات وأخطارها شمال غرب ثنية قنا: دراسة فى الجيومورفولوجيا التطبيقية. المجلة الجغرافية العربية – الجمعية الجغرافية المصرية، المجلد 48، الجزء الأول – عدد 69، ص ص 1–47.

مها عبد الله الضبيحي (2020): عُقل نفود الثويرات: دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS). المجلة العربية لنظم المعلومات الجغرافية، الجمعية الجغرافية السعودية، المجلد 13، العدد 2، ص ص 54 – 128.

ناصر عبد الستار عبد الهادي نوح و محمد الراوى الدندراوى (2022): جيومورفولوجية البرك الملحية بمنطقة غرب سمالوط وأهميتها التطبيقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد. مجلة كلية الآداب – جامعة الفيوم، مجلد 14، عدد3، ص ص 208–290.

نبيل سيد إمبابى (تحت الطبع): بحار الرمال فى مصر. بدون دار نشر.

المراجع الأجنبية

Al-Halbouni, D., Holohana, E.P., Saberi, L., Alrshdan, H., Sawarieh, A., Closson, D., Waltera, T. R., Dahma, T., (2017): Sinkholes, subsidence and subrosion on the eastern shore of the Dead Sea as revealed by a close-range photogrammetric survey. *Geomorphology, Elsevier, 285: 305–324.*

Benito-Calvo, A., Haddoumi, H., Aouraghe, H., Oujaa, A., Chacón,M.G., Ramos, S., (2020): Geomorphological analysis using small unmanned aerial vehicles and submeter GNSS (Gara Soultana butte, High Plateaus Basin, Eastern Morocco. *Journal of Maps, Taylor & Francis, 16(2): 459–467.*

Bishop, M.P., James, L. A., Shroder Jr, J. F., Walsh, S. J., (2012): Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: Concepts, issues and research. *Geomorphology, Elsevier, 137: 5–26.*

Blumberg, D.G., Netaa, T., Margalit, N., Lazar, M., Freilikherd, V., (2004): Mapping exposed and buried drainage systems using remote sensing in the Negev Desert, Israel. *Geomorphology, Elsevier, 61: 239–250.*

Brookes, I.A., (2003): Geomorphic indicators of Holocene winds in Egypt's Western Desert. *Geomorphology, Elsevier, 56: 155–166.*

Carrara, A., Pike, R.J., (2008) GIS technology and models for assessing landslide hazard and risk. *Geomorphology, Elsevier, 94:257–260.*

Cudahy, T., et al., (2016): Satellite-derived mineral mapping and monitoring of weathering, deposition and erosion. *Nature, Scientific Reports | 6:23702 |12.*

Devi, G.K., Ganasri, B.P., (2015): A review on hydrological models. International conference on water resources, coastal and ocean engineering (ICWRCOE'15). *Aquatic Procedia, Elsevier, 4:1001 – 1007.*

Dill, H.G., Shaqour, H.F., (2012): Anatomy of landslides along the Dead Sea Transform Fault System in NW Jordan. *Geomorphology, Elsevier, 142:134–149.*

Du, J., Fu, B., Shi, P., Chen, Q., Li, J., Li, Z., (2021): Cenozoic tectono-geomorphic evolution of Yabrai Mountain and the Badain Jaran Desert (NE Tibetan Plateau margin). *Geomorphology, Elsevier, 389:107857.*

Eldho, T. I., Kulkarni., A.T., (2017): Conceptual and Physically Based Hydrological Modeling. *Sustainable Water Resources Management. American Society of Civil Engineers (ASCE), 81-118.*

Embabi, N.S., (2018): Landscapes and Landforms of Egypt. *Springer, Switzerland, 358p.*

Embabi, N.S., Moawad, B. M., (2014): A semi-automated approach for mapping geomorphology of El Bardawil Lake, Northern Sinai, Egypt, using integrated remote sensing and GIS techniques. The *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 17(1): 41-60.*

Ghoneim, E., El-Baz, F. (2007): The application of radar topographic data to mapping of a mega-paleodrainage in the Eastern Sahara. *Journal of Arid Environments, Elsevier, 69: 658–675.*

Goudie, A.S. (2013): Arid and semi-arid geomorphology. *Cambridge University Press, 468p.*

Horton, R.E. (1945): Erosional development of stream and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin, 56: 275-370.*

Hunta, A.G., Wu, J.Q., (2004): Climatic influences on Holocene variations in soil erosion rates on a small hill in the Mojave Desert. *Geomorphology, Elsevier, 58: 263–289.*

Jaberi, M., Ghassemi, M.R., Shayan, S., Yamani, M., Zamanzadeh, S.M., (2018): Interaction between active tectonics, erosion and diapirism, a case study from Habble-Rud in Southern Central Alborz (Northern Iran). *Geomorphology, Elsevier, 300:77–94.*

Jensen, J., (2015): Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. *Pearson Education Inc.USA, 544p.*

Jimenez-Peralvarez, J. D., Irigaray, C., El Hamdouni, R., Chaco´n, J., (2010): Landslide susceptibility mapping in a semi-arid mountain environment: an example from the southern slopes of Sierra Nevada (Granada, Spain). *Bull. Eng. Geol. Environ., Springer-Verlag, 70(2):265-277.*

Kemp, K.K. (ed.) (2008): Encyclopedia of geographic information science. *SAGE Publications, Inc., California, 582p.*

Laity, J. (2008): Deserts and desert environments. *Wiley-Blackwell, Singapore, 357p.*

Lillesand, T., Kiefer, R.W, Chipman, J. (2015): Remote sensing and image interpretation. *7th ed., Wiley, New York, 736p.*

Lipar,M., Stepišnik, U., Ferk, M., (2019): Multiphase breakdown sequence of collapse doline morphogenesis: An example from Quaternary aeolianites in Western Australia. *Geomorphology, Elsevier, 327:572–584.*

Mahmoud, MS. A, Ghayda, A.S., Samih, Al.B., Sadounm B., (2021): Assessment of geomatics engineering techniques for landslides investigations for traffic safety. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, Elsevier, 24: 805–814.*

Maliva, R., Missimer, T. (2012): Arid Lands water evaluation and management. *Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1076p.*

Matter, A., Mahjoub, A., Neubert, E., Preusser, F., Schwalb, A., Szidat, S., Wulf, G., (2016): Reactivation of the Pleistocene trans-Arabian Wadi ad Dawasir fluvial system (Saudi Arabia) during the Holocene humid phase. *Geomorphology, Elsevier, 270: 88–101.*

Migon, P. (ed.) (2010): Geomorphological landscapes of the world. *Springer, Heidelberg, 371p.*

Moawad B., (2012): Analysis of the flash flood occurred on 18th January 2010 in Wadi El Arish, Egypt (a case study). *Geomatics, Natural Hazards and Risk, Taylor & Francis, 4(3): 254-274.*

Mu Y., Wang, F., Zheng, B., Guo, W., Feng, Y., (2018): McGET: A rapid image-based method to determine the morphological characteristics of gravels on the Gobi desert surface. *Geomorphology, Elsevier, 304: 89–98.*

Navidtalab, A., Moghim, G.M., (2020): Climate, lithology, and tectonics interaction in shaping a hazardous salt karst: A case from the middle–late Miocene (?) evaporite succession of NE Iran. *Geomorphology, Elsevier, 356: 107067.*

Omar M.A. Radaideh, O.M.A., Grasemann, B., Melichar, R., Mosar., J., (2016): Detection and analysis of morphotectonic features utilizing satellite remote sensing and GIS: An example in SW Jordan. *Geomorphology, Elsevier, 275: 58–79.*

Parteli, E. J.R., Durán, O., Tsoar, H., Schwämmle, V., Herrmann, H.J., (2009): Dune formation under bimodal winds. *PNAS, 106 (52): 22085–22089.*

Paryani, S., Neshat, A., Pradhan, B., (2021): Improvement of landslide spatial modeling using machine learning methods and two Harris hawks and bat algorithms. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, Elsevier, 24: 845–855.*

Perego, A., Zerboni, A., Cremaschi, M., (2011): Geomorphological Map of the Messak Settafet and Mellet (Central Sahara, SW Libya). *Journal of Maps, Taylor & Francis, 7 (1): 464-475.*

Robles-Marín, P., Guerreram F., Martín, M., Raffaellim G., Alcalá, F., Tejera de León, J., Cherkaoui, T., Asebriy, L., El Amranim I., Moliner-Aznar, S., (2015): Geological risk assessment of Amtoudi Agadir in southern Morocco: a key case for sustainable cultural heritage. *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, Springer; International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, Springer, 75 (1): 415-44073.*

Roskin,J., Blumberg, D.G., Porat, N., Tsoar, H., Rozenstein, O., (2012): Do dune sands redden with age? The case of the northwestern Negev dunefield, Israel. *Aeolian Research, Elsevier, 5: 63-75.*

Santangelo, M., Cardinali, M., Bucci, F., Fiorucci, F., Mondini, A.C., (2022): Exploring event landslide mapping using Sentinel-1 SAR backscatter products. *Geomorphology, Elsevier, 397: 1-29.*

Schumm, S. A. (1956): Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, *New Jersey. Geol. Soc. Amer. Bull. 67: 597-646.*

Smith, M., Paron, P., Groffiths, J., (eds.) (2011): Geomorphological Mapping. *Elsevier, Amsterdam.*

Solazzo, D., Sankey,J.B., Sankey, T., Munson, S.M., (2018): Mapping and measuring aeolian sand dunes with photogrammetry and LiDAR from unmanned aerial vehicles (UAV) and multispectral satellite imagery on the Paria Plateau, AZ, USA. *Geomorphology, Elsevier, 319:174–185.*

Strahler, A. N. (1952): Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin, 63: 1117-1141.*

Thomas, D.S.G. (2011): Arid Zone Geomorphology: Process, Form and Change in Drylands. *3rd ed. John Wiley & Sons, Ltd., New Delhi, 625p.*

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (1979): Map of the world distribution of arid regions: Map at scale 1:25,000,000 with explanatory note. *MAB Technical Notes 7, UNESCO, Paris, 53p.*

Vaaja, M., Hyyppä, J., Kukko, A., Kaartinen, H., Hyyppä, H., Alho, P., (2011): Mapping Topography Changes and Elevation Accuracies Using a Mobile Laser Scanner. *Remote Sens., 3:587-600.*

Walther, J. (1900): Das Gesetz der Wuestenbildung in Gegenwart und Vorzeit. *Königliche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 180s.*

Yang, Z., Qian, G., Dong, Z., Tian, M., Lu, J., (2021): Migration of barchan dunes and factors that influence migration in the Sanlongsha dune field of the northern Kumtagh Sand Sea, China. *Geomorphology, Elsevier, 378: 107615.*

Zhang, D., Wang, G., Pullen, A., Abell, J.T., Ji, J., Shen, Y., (2020): Landscape evolution and development of eolian-modified unconsolidated gravel surfaces and yardangs in the Hami Basin, China. *Geomorphology, Elsevier, 368:1-21.*