

النمذجة التضاريسية الرقمية ثلاثية الأبعاد في نظم المعلومات الجغرافية وتطبيقاتها الجيومورفومترية والبيئية بالجانب الشرقي لمحافظة المنيا

إعداد

د. كمال سروجي درويش

مدرس بقسم الجغرافيا

كلية الآداب، جامعة المنيا

kamal.srogy@mu.edu.eg

الملخص:

تتجه الدراسات العالمية الحالية في نظم المعلومات الجغرافية إلى التحليل الثلاثي الأبعاد 3D Analyst للخصائص الأرضية، والتي تساعد في دراسة وفهم العلاقات المكانية لسطح الأرض والعوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة فيه. وتعد النمذجة التضاريسية الرقمية ثلاثية الأبعاد Digital Terrain Modeling من أحدث طرق تحليل الخصائص التضاريسية لسطح الأرض بالاعتماد على نماذج الارتفاع الرقمية الملتقطة بواسطة الأقمار الاصطناعية، ولها العديد من التطبيقات الجيولوجية والجيومورفولوجية والهيدرولوجية والتنموية. وتهدف هذه الدراسة إلى البناء الرقمي للنماذج التضاريسية الثلاثية الأبعاد TIN's في بيئة نظم المعلومات الجغرافية لدراسة (1) تأثير الخصائص التضاريسية لمنطقة الدراسة على الأخطار الطبيعية المتمثلة في الانهيارات الصخرية والسيول وعلاقتها بالتنمية العمرانية. (2) دراسة الخصائص الجيومورفومترية والهيدرولوجية لأشكال سطح الأرض، وتطبيق نموذج ثلاثي الأبعاد لمحاكاة الفيضان السيلي، وتقدير أحجام الخزانات المقترحة، واقتراح مواقع السدود للحماية من تدفق مياه السيول. (3) دراسة تغيرات الغطاء الأرضي Land Cover في بعض أحواض التصريف بمنطقة الدراسة وعلاقتها بالخصائص التضاريسية والتنموية المستقبلية. (4) دراسة التغيرات الطبوغرافية الناتجة عن فعل الأنشطة البشرية والمتمثلة في أنشطة التحجير، والتعمير في بعض المناطق بمنطقة الدراسة. وتعتمد هذه الدراسة على تكامل بيانات مكانية متعددة ومتباينة المصدر والمتمثلة في مرئيات الأقمار الاصطناعية الملتقطة خلال الفترة من 2013 حتى 2024م، والخرائط الطبوغرافية والجيولوجية، ونماذج الارتفاع الرقمية المختلفة مثل SRTM، Sentinel-1 SAR DEM وخرائط التربة والغطاء الأرضي، والطرق، وذلك بهدف بناء قاعدة بيانات جغرافية يمكن من خلالها إنشاء نموذج تضاريسي رقمي ثلاثي الأبعاد DTM لظواهر منطقة الدراسة.

الكلمات الدالة: النمذجة التضاريسية الرقمية، النمذجة الكارتوجرافية، نظم المعلومات الجغرافية، نماذج الارتفاع الرقمية، التنمية المستدامة والتخطيط المكاني.

المقدمة

تساعد نظم المعلومات الجغرافية في الآونة الأخيرة في النمذجة الكاروتوجرافية ثلاثية الأبعاد لتضاريس سطح الأرض Cartographic Modeling، وذلك لما تمتلك من إمكانيات هائلة في جمع وتنظيم وتحليل وعرض البيانات المكانية الضخمة Geospatial-Big Data (Tomlin, 2012). إن نظام المعلومات الجغرافي ثلاثي الأبعاد 3D GIS قادر على ربط وتكامل البيانات المكانية من عدة مصادر مختلفة Georeferencing، مما يسمح بإيجاد العلاقات المكانية بين ظاهرات سطح الأرض وعلاقتها بانتشار وتوزيع وأنماط الأنشطة البشرية. وتتجه تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية للانتقال من التحليل ثنائي الأبعاد إلى الثلاثي الأبعاد لسطح الأرض 3D Analysis وذلك من أجل تمثيل وفهم أفضل للعالم الحقيقي (Ruzínoor et al., 2012). وتمتلك تقنيات الاستشعار من البعد Remote Sensing بيانات مكانية هائلة مخزنة فيما يسمى سحب البيانات Data Clouds وتعرف باسم البيانات المكانية الضخمة، والتي يمكن أن تُحدّد من خلال ثلاثة مفاهيم أساسية، وهي: الحجم Volume، والسرعة Velocity، والتباين Variety، وتعد بيانات القمر الصناعي لاندسات_ الذي يقوم بتصوير سطح الأرض منذ بداية السبعينات_ أحد أهم البيانات الفضائية المتوفرة والدقيقة بفواصل زمني 16 يوم (Goodchild, 2001).

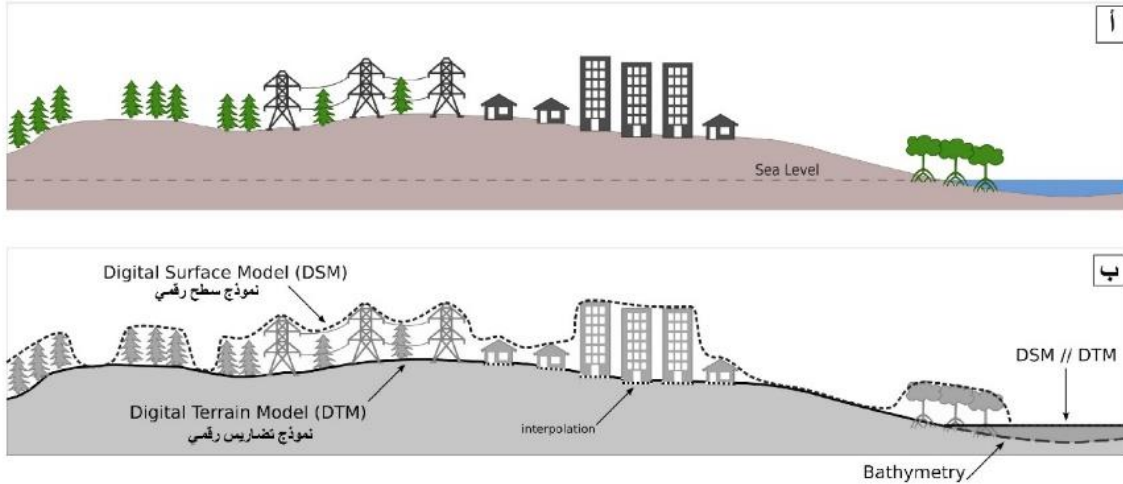
وتعد نماذج التضاريس الأرضية Digital Terrain Models (DTMs) جزءاً أساسياً من بنية البيانات المكانية الوطنية National Spatial Data Infrastructure (NSDI) للعديد من دول العالم؛ وذلك لأهميتها القسوى في عمليات التخطيط والتنمية المستدامة (Forkuo, 2008). كما تساهم النمذجة التضاريسية الرقمية الثلاثية الأبعاد بدور رئيس وفعال في هندسة الطرق والتشييد، والنمذجة الهيدرولوجية لأحواض التصريف، وتقدير تعرية التربة Soil Erosion، وانتقال الرواسب وتسوية الأراضي للأعمال الهندسية والزراعية، ودراسة جيومورفولوجية أحواض التصريف، وفهم طبيعية العلاقات المكانية Spatial Autocorrelation، والتفاعل بين البيئة الطبيعية والأنشطة البشرية. وتعرف نماذج التضاريس الرقمية DTMs بأنها تمثيل لجزء من سطح الأرض Earth Surface، كما تعرف بأنها تمثيل لسطح الأرض باستخدام نقاط مناسبة لتمثيل المرتفعات (Weibel and Heller, 1990). كما تعد النمذجة التضاريسية الرقمية أحد طرق محاكاة الاسطح في صورة ثلاثية الأبعاد، ويمكن استخدامها في تقييم المواقع الأرضية للتنمية والتخطيط للمطارات، ومد شبكات الطرق والمجاري والسكك الحديدية، وقد استُخدمت مؤخرًا بواسطة (Kim et al., 2013) لتقييم مواقع

الهبوط على سطح المريخ. ويمكن إنشاء نماذج التضاريس الأرضية بالاعتماد على خطوط الكنتور ونقاط المناسيب من الخرائط الطبوغرافية، والمساحة الأرضية، والصور الجوية، والمرئيات الفضائية، ونماذج الارتفاع الرقمية (DEM'S) الملتقطة بواسطة الأقمار الصناعية، ويوجد العديد من المهمات الفضائية لمسح تضاريس سطح الأرض بالرادار مثل، ASTER, TanDEM-X, ALOS, SRTM, PALSAR, ALOS (AW3D30)، بالإضافة إلى نماذج الارتفاع الرقمية المستنبطة من بيانات القمر الاصطناعي الأوروبي Sentinel-1 SAR. وتتجاوز النمذجة التضاريسية الرقمية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية مجرد جمع وإدخال البيانات الطبوغرافية ورقمته وربط البيانات المكانية، إلى إدارة بيانات الارتفاعات في شكل طبقات اتجاهية Vector أو خلية Raster وتحليل تضاريس سطح الأرض وإخراج نماذج من الخرائط والرسوم المجسمة (Jordan,2007). وتعتبر النمذجة المكانية أساسية في تبسيط العلاقات المعقدة بين المواقع الجغرافية، وفي فهم طبيعة الصلة بين القوى الطبيعية والقوى الاجتماعية والاقتصادية التي تؤثر في معدل تغير أنماط استخدام الأرض وتغير الغطاء الأرضي (Megahed et al, 2015).

ولدراسة الخصائص التضاريسية جانب مهم في التخطيط المكاني Spatial Planning، حيث تعطي فكرة عن الاختلافات في أشكال الأرض، وتسهل بشكل غير مباشر في عملية تقييم الموارد الطبيعية بالمنطقة، وتؤثر بشكل مباشر على النمو العمراني وتقييم الملائمة الأرضية للتنمية، واختيار أنسب مواقع الخدمات التي تدعم الأنشطة البشرية، مثل: محطات توليد الكهرباء، والسدود، والمجمعات الصناعية، والمناطق السكنية، وإنشاء الطرق والسكك الحديدية بأقل تكلفة ممكنة Least-Cost Path (Keller et al., 2019, p. 27). ويمكن بناء النموذج التضاريسي الرقمي ثلاثي الأبعاد في العديد من البرمجيات مثل ArcGIS-Scene Visualization، AutoCAD Map، Autodesk 3DS، QGIS، Max، Global Mapper، Surfer، Autodesk Civil 3D، وتعتمد النمذجة التضاريسية الرقمية على لغة النمذجة الافتراضية-الواقعية VRML-format والتي يمكنها قراءة عدة صيغ رقمية للملفات والقدرة على التحويل بينها (Mach and Petschek, 2007).

وقد استخدمت نماذج التضاريس الأرضية DTM's في العديد من المشروعات الهندسية والتنموية حول العالم، مثل: تخطيط الطرق، والمرافق، والسكك الحديثة، واستصلاح الأراضي الزراعية، وإدارة الغابات وشق الترغ، والقنوات، والمصارف، وتقييم ملائمة الأرض للتنمية العمرانية. كما استخدمت على نطاق واسع في دراسات أخطار السيول والنمذجة الهيدرولوجية وإنشاء شبكات التصريف، ودراسة التغيرات

الطبوغرافية Topographic Change Detection. وقد ساعد التطور الهائل في علوم المعلومات الجغرافية والاستشعار من بعد في مراقبة وتحليل تغيرات الغطاء الأرضي LU/LC على فترات زمنية متتابعة، ورسم الخرائط العمرانية وتغيرها عبر الزمن بالاعتماد على المرئيات الفضائية الملتقطة على فترات زمنية متتابعة Time series؛ وذلك لما توفره من الجهد والوقت والتكلفة (Mosammam et al, 2017). ويعتبر نموذج التضاريس الأرضي DTM's تمثيل مستمر لسطح الأرض باستخدام نقاط منفصلة تحمل قيم ارتفاع منسوبه رأسيا إلى مرجع جيوديسي محدد Reference (جيونيد، اليبسويد أو مرجع جيوديسي)، وتكون منظمة في شكل شبكة من الاحداثيات الجيوديسية، وبينما يمثل نموذج التضاريس الأرضي DTM الأرض الجرداء Bare ground of Terrain فإن نموذج سطح الأرض Digital Surface Model (DSM) يصف سطح الأرض شاملاً ارتفاع الأشجار والمباني. وتستخدم نماذج الارتفاع الرقمية على نطاق واسع في مجال الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية، ويمكن أن تكون نماذج تضاريس أرضية DTM's أو نماذج سطح أرضي DSM's بعد إزالة قيم الأشجار والمباني وجميع الأنشطة البشرية (Hirt, 2015). وتتنوع مصادر إنتاج نماذج الارتفاع الرقمية التي يمكن أن تستخدم في النمذجة التضاريسية الرقمية لسطح الأرض، فمنها: المصادر الأرضية Ground-based المتمثلة في الخرائط الطبوغرافية، واستخدام أدوات وأجهزة المساحة التاكيومترية والمساحة باستخدام نظم تحديد المواقع بالأقمار الصناعية GNSS في الرفع الطبوغرافي، كما توجد مصادر جوية Airborne متمثلة في المساحة الجوية Photogrammetry، حيث يمكن استخراج مناسيب النقاط من أزواج الصور الجوية والتحليل المجسم Stereoscopic View. ومع التقدم الهائل في تكنولوجيا الفضاء، وانتشارها الواسع في طرق جمع البيانات المكانية الدقيقة لسطح الأرض، فقد ظهرت مصادر فضائية Spaceborne المتمثلة في مهمات مسح تضاريس سطح الأرض بالرادار لمدة زمنية معينة أو أزواج المرئيات الفضائية Pairs of Images مثل: أقمار (ALOS، ASTER، SPOT) (Ruzínoor et al., 2011). وتعد تقنية مسح تضاريس سطح الأرض بالليزر LiDAR أحدث وأدق بيانات الارتفاعات والتي تأتي في شكل سحابة من النقاط Point Clouds، وتنتج نماذج تضاريس أرضية فائقة الدقة (Saritha et al., 2021). وتعتمد هذه الدراسة على استخدام نماذج الارتفاع الرقمية الملتقطة بواسطة الرادار والمتاحة مجاناً بالتكامل مع بيانات الاستشعار من بعد في بناء النماذج التضاريسية ثلاثية الأبعاد DTM داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

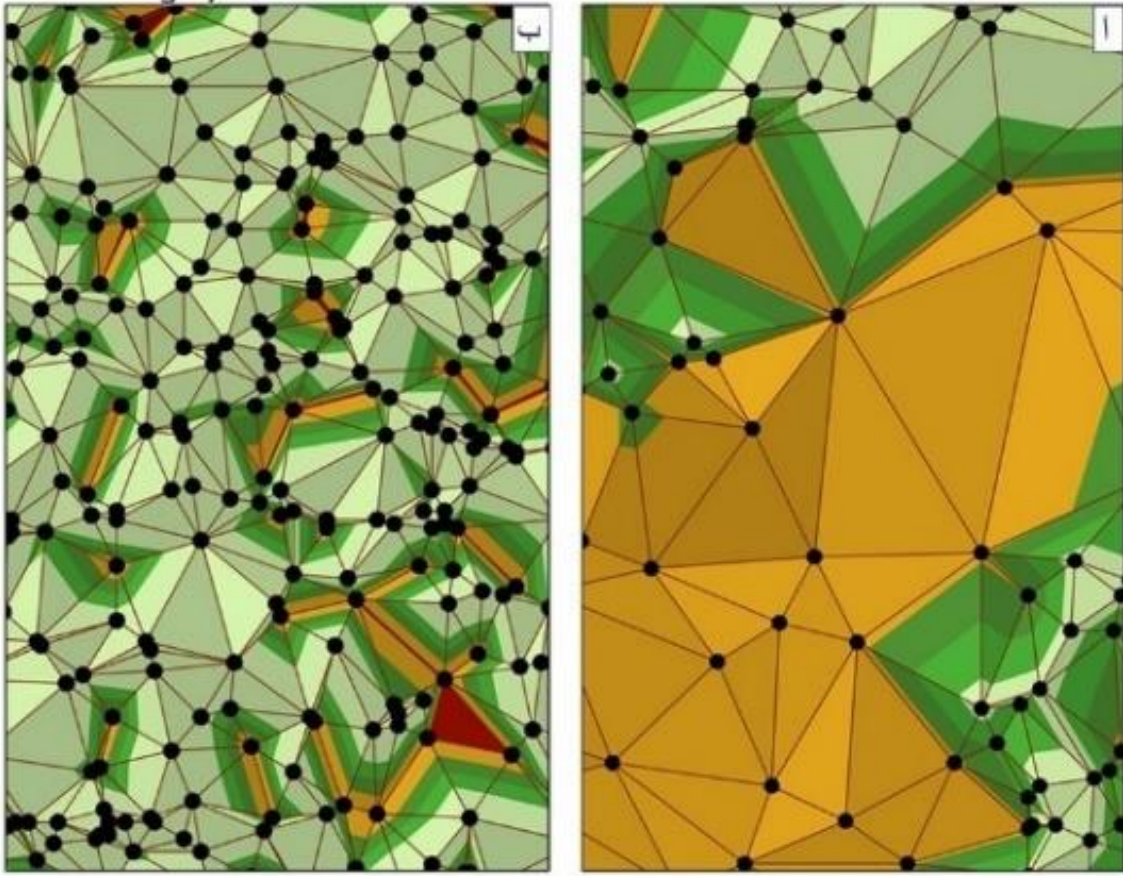


شكل (1) الفرق بين نموذج التضاريس الأرضي DTM's ونموذج سطح الأرض DSM's

(أ) سطح الأرض بكل ما يحتويه، (ب) نماذج السطح والتضاريس الرقمية

المصدر: (Guth et al., 2022)

ونظرًا لنقص البنية المكانية الثلاثية الأبعاد لتضاريس سطح الأرض للأراضي المصرية، حيث تفقر الأراضي المصرية إلى المسوح الطبوغرافية الجوية عالية الدقة Light Detection and Ranging، والتي تتميز بدقة رأسية عالية مقارنة بنماذج الارتفاع الفضائية المجانية المصدر، كما يندر استخدام المركبات غير المأهولة UAV's والتي تقدم مسح طبوغرافي عالي الدقة وثلاثي الأبعاد في أعمال المسح الطبوغرافي TopoDRONE للمشروعات الهندسية وإنشاء الخرائط. وتعتمد هذه الدراسة على نمذجة الخصائص التضاريسية للأسطح باستخدام شبكات المثلثات غير المنتظمة Irregular Triangulation Networks (TIN's)، وهي عبارة عن نماذج هندسية طبولوجية اتجاهية تُمثل سطح الأرض من خلال توزيع غير منتظم للعقد والخطوط ذات الإحداثيات الثلاثية الأبعاد (X,Y,Z) المرتبة في شكل شبكة من المثلثات (Abdul-Rahman and Pilouk, 2008)، كما يتضح من شكل (2).



شكل (2) نماذج شبكات المثلثات غير المنتظمة TIN

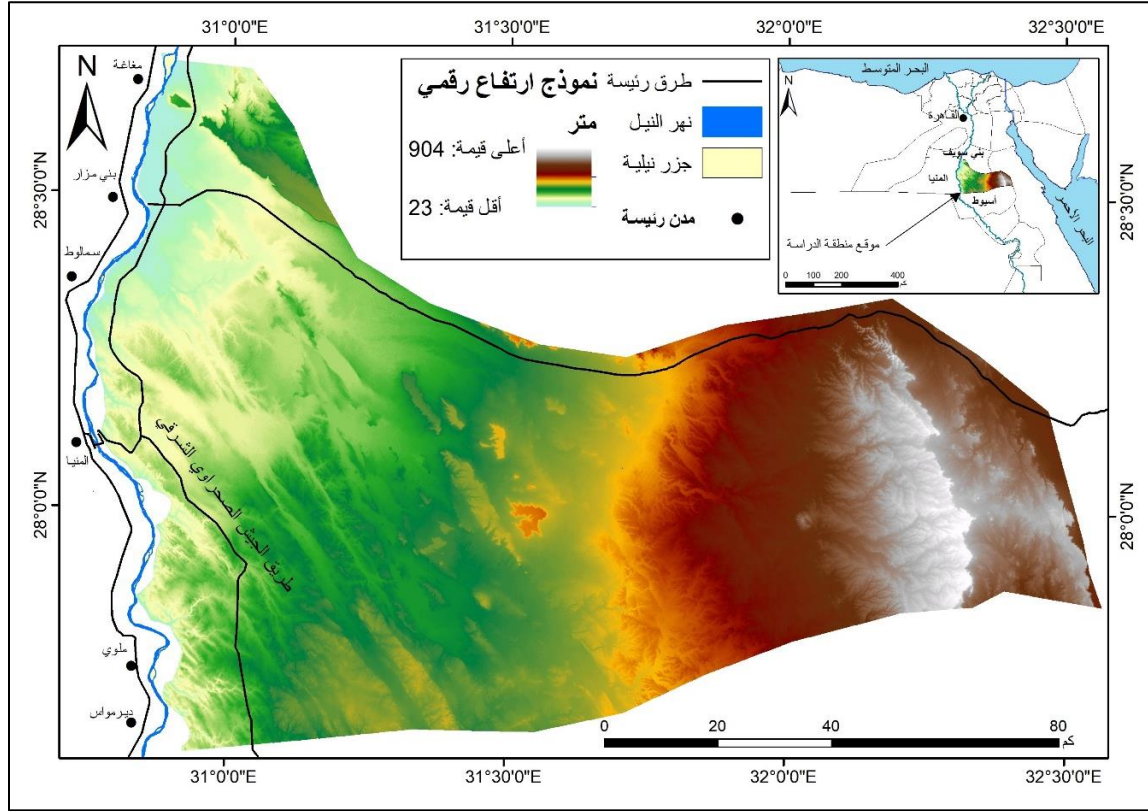
(أ= توضح منطقة مستوية، ب= توضح منطقة مخرسة)

المصدر: <https://gistbok.ucgis.org/bok-topics/triangular-irregular-network-tin-models>

وتهدف هذه الدراسة إلى التعرف على أهمية النماذج التضاريسية الرقمية في نظم المعلومات الجغرافية في دراسة الخصائص الجيومورفومترية للسطح Geomorphometry (Xiong et al., 2022) ، والتعرف على أهم التطبيقات العالمية وإمكانية تطبيقها بمنطقة الدراسة؛ ولفهم تأثير العوامل الطبيعية Natural Drivers على توزيع وانتشار المراكز العمرانية والتنمية المستقبلية واختيار أنسب المواقع التتموية والتنبؤ المستقبلي بالتغيرات المحتملة، كما تتسبب بعض الظواهر التضاريسية بالعديد من الاخطار الطبيعية التي تهدد سلامة واستقرار ونمو المحلات العمرانية والطرق بمنطقة الدراسة ومن أهمها السيول والانهيارات الصخرية وتعرية التربة وتدمير الطرق والمواقع الاثرية.

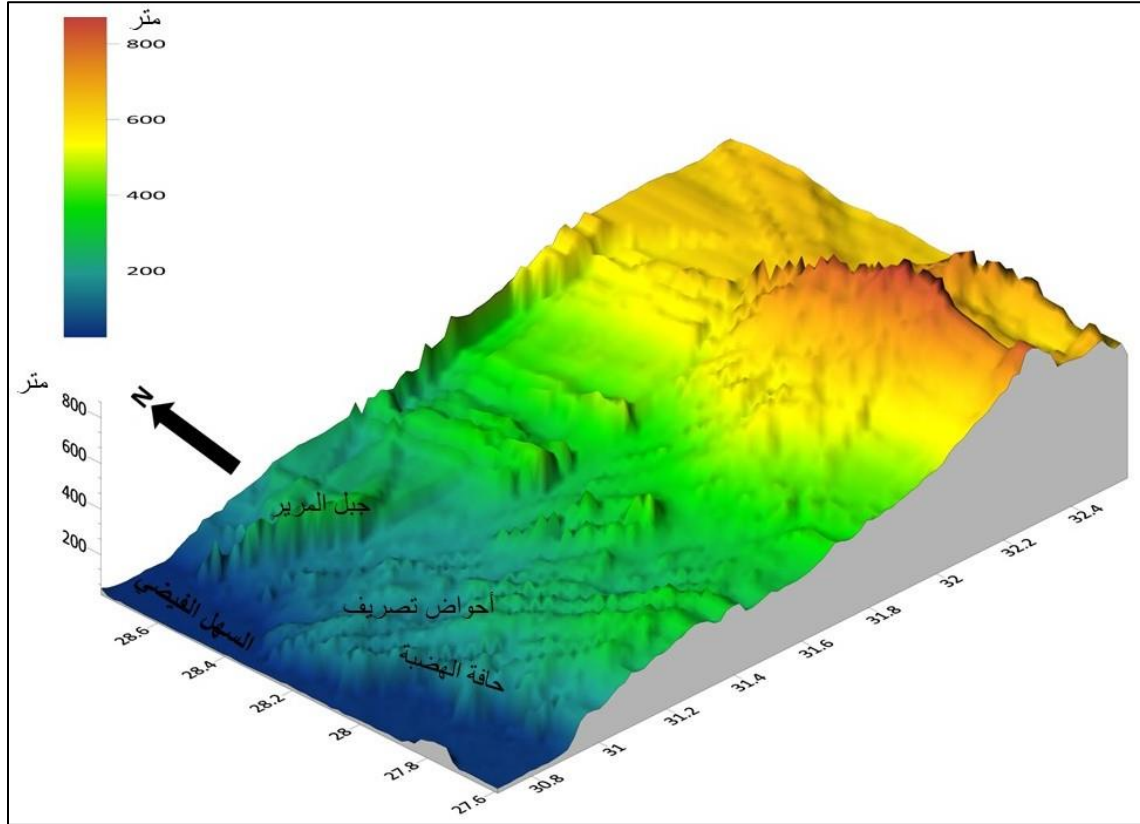
منطقة الدراسة Study Area

تم تطبيق النمذجة التضاريسية الرقمية DTM على المنطقة الواقعة على الجانب الشرقي لمحافظة المنيا على طول الهضبة الجيرية، وتقع على الجانب الشرقي من نهر النيل على الهضبة الجيرية المواجهة لمدينة المنيا، وتمتد منطقة الدراسة بين خطي طول 23° 44' 30" شرقاً إلى 40° 33' 32" شرقاً، ودائرتي عرض 27° 37' 00" شمالاً حتى 25° 42' 28" شمالاً، وتبلغ مساحة منطقة الدراسة 11802 كم²، وتمثل منطقة الدراسة الظهير الصحراوي الشرقي لمحافظة المنيا، والممتد في الصحراء الشرقية حتى خط تقسيم المياه مع جبال البحر الأحمر، وذلك كما يتضح من شكل (3) وشكل (4). ويتضح من تحليل الخريطة التضاريسية والمجسم الطبوغرافي لمنطقة الدراسة، أنها تمثل سطح هضبة جيرية إيوسينية تتقطع بالعديد من الأودية الجافة وأحواض التصريف الفيضي، والحافات شديدة الانحدار، والمراوح الفيضية، وأسطح التعرية القديمة، والتلال الحجرية المنعزلة، والمتبقية من التعرية القديمة، وتتميز أحواض التصريف بمنطقة الدراسة بتباين مساحتها وخصائصها التضاريسية واتجاهات تصريفها.



شكل (3) الوحدات التضاريسية الرئيسية بمنطقة الدراسة

المصدر: من إعداد الباحث، بالاعتماد على نماذج الارتفاع الرقمية (SRTM-1arc second (30m spatial resolution) بعد معالجتها.



شكل (4) مجسم تضاريسي ثلاثي الأبعاد لمنطقة الدراسة

المصدر: من عمل الباحث، بالاعتماد على نماذج الارتفاع الرقمية SRTM-1arc 30m <https://earthexplorer.usgs.gov>

الدراسات السابقة Literature Review

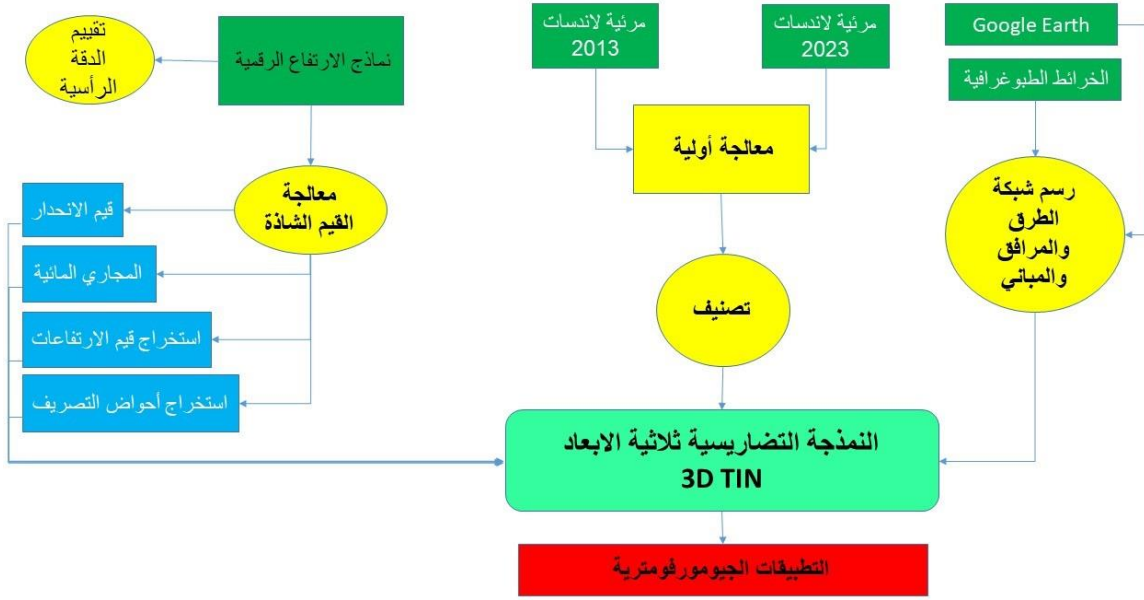
- تعددت الدراسات العربية والأجنبية التي تناولت إنشاء وتحليل النماذج التضاريسية الرقمية سواء الثنائية أو الثلاثية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية وبالاعتماد على بيانات الاستشعار من بعد عبر الأقمار الصناعية وتطبيقاتها الجيومورفومترية والبيئية والتنمية المختلفة، ومن أهمها:
- دراسة (Seeruttun and Crossley, 1997): التي اهتمت بتطبيقات النمذجة التضاريسية في استزراع قصب السكر في دولة موريشيوس، جزيرة تقع جنوب شرق أفريقيا.
 - دراسة (Lacroix et al., 2002): قدمت نموذج هيدروجرافي Hydrographic Model لأحواض التصريف بالاعتماد على النمذجة التضاريسية وأطلق عليه اسم TOPAZ.

- دراسة (عباس، علي عبد وعلي، صباح حسين، 2006): التي اهتمت باستخدام نظم المعلومات الجغرافية في إنشاء نموذج ارتفاع رقمي لنماذج مختارة شمال العراق، اعتمادًا على الخرائط الطبوغرافية.
- دراسة (Klimánek, 2006): أفضل استخدام لنماذج التضاريس الأرضية في مجال الغابات في جمهورية التشيك.
- دراسة (Baldi et al., 2006): وقد اهتمت بتطبيقات نماذج التضاريس الأرضية في دراسات البراكين بجزيرة فولكانو بإيطاليا، بالاعتماد على المساحة الجوية.
- دراسة (Udin et al., 2012): هدفت إلى استخراج نماذج التضاريس الأرضية من الصور الجوية الرقمية الملتقطة بالطائرات بدون طيار UAV's Imagery.
- دراسة (Isioye et al., 2012): وقد اهتمت بدراسة العلاقة بين التغيرات التضاريسية ونظم التصريف الهيدرولوجي السطحي Runoff بدولة نيجيريا، وأكدت أن التغير الطبوغرافي في خصائص السطح ربما يؤدي إلى تشويه في نظم التصريف النهري Land Distortion.
- دراسة (خير الله، حافظ عيسى، 2013): استخدام نظم المعلومات الجغرافية في إنشاء وتمثيل الارتفاع الرقمي، وذلك بهدف إجراء التحليل الجيومورفولوجي والهيدرولوجي لمنطقة الكفرة جنوب شرق ليبيا.
- دراسة (الحربي، نويرة مسري ناعم، 2016): نمذجة الخصائص التضاريسية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية دراسة تطبيقية على وادي ملكان، وهدفت الدراسة إلى تحليل نماذج الارتفاع الرقمي للخصائص التضاريسية والجيومورفولوجية.
- دراسة (Ryngnga, 2017): للتمثيل ثلاثي الأبعاد لتضاريس سطح الأرض في بيئة نظم المعلومات الجغرافية بالاعتماد على نماذج الارتفاع الرقمية.
- دراسة (الأسمرى، عبد الله حسن، 2017): قد اعتمدت على نظم المعلومات الجغرافية في إنشاء نموذج ارتفاعات رقمي من صور جوية ورقية تم تحويلها إلى هيئة رقمية بالجزء الأعلى من عقبة المخواة.
- دراسة (Hawker et al., 2018): وقد اعتمدت الدراسة على محاكاة الفيضانات بالاعتماد على نماذج الارتفاع الرقمية المجانية المصدر.

- دراسة (الجابري، على خليل خلف، وآخرون، 2019): هدفت الدراسة إلى نمذجة طبوغرافية بحيرة التراث بدولة عمان؛ وذلك بهدف بناء نموذج تضاريس رقمي DTMs لقاع البحيرة من بيانات الخرائط الطبوغرافية مقياس 100.000.
- دراسة (غريبي، مشتاق أحمد، 2020): التي قدمت تحليل للخصائص الجيومورفومترية في حوض وادي جران في إقليم الجزيرة بمحافظة الانبار بدولة العراق، وقد اعتمدت على نماذج الارتفاع الرقمية SRTM في تحليل الخصائص التضاريسية بالمنطقة.
- دراسة (Al-Ghafoud and Al dulaimi, 2021) : والتي هدفت إلى نمذجة الخصائص التضاريسية لأحواض التصريف المائي بمنطقة كام مجر بدولة ليبيا، وقد تم دراسة الخصائص التضاريسية بالاعتماد على نماذج الارتفاع الرقمية SRTM.
- دراسة (السفري، نادية عوض والغامدي، على معاضة، 2021): لتطبيق منهجية خرائطية لاستخراج شبكات مجاري مائية من نماذج الارتفاع الرقمية والتطبيق على مواقع مختارة بسلطنة عمان.
- دراسة (Saritha et al., 2021): اهتمت الدراسة ببناء نموذج ارتفاع رقمي، ورسم خرائط التضاريس بالاعتماد على تقنية المسح الجوي LiDAR.
- دراسة (خطاب، محمد إبراهيم وسليم، مها كمال، 2021): عن النمذجة الهيدرولوجية للسيول في حوض وادي القرن، بالصحراء الشرقية، مصر. وقدمت تحليلاً للنمذجة التوزيعية للسيول بالاعتماد على نموذج Rainfall-Runoff Distributed Modeling.
- دراسة (درويش، كمال سروجي، 2023): والتي اهتمت بدراسة تأثير الخصائص الجيومورفولوجية على النمو العمراني بمنطقة المنيا، مصر خلال الفترة من 1973 حتى 2023م بالاعتماد على التحليل المكاني-الزمني في نظم المعلومات الجغرافية، وسلاسل مرئيات الاستشعار من بعد.

مواد وطرق البحث Materials and Methods

اعتمدت الدراسة على العديد من البيانات المكانية، ويوضح شكل (5) ملخص لمراحل التحليل.



شكل (5) ملخص لمخطط طريقة الدراسة المتبعة

المصدر: من عمل الباحث.

ومن أهم البيانات المستخدمة في الدراسة:

1- نماذج الارتفاع الرقمية's Digital Elevation Model

وتم الاعتماد على نوعين من نماذج الارتفاع الرقمية الملتقطة عبر الأقمار الصناعية على فترات زمنية مختلفة وبدقة مكانية مختلفة وهي كالتالي:

أ- نماذج **SRTM (1arc-second)** والملتقطة خلال الفترة 11-22 فبراير 2000م، وهي ضمن المهمة التي قامت بها وكالة ناسا لمسح تضاريس سطح الأرض بالرادار بدقة مكانية 30 متر، وقد تم الحصول على البيانات من موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية¹ Earth Explorer ومعالجتها.

ب- نماذج الارتفاع الرقمية المستخرجة من مرئيات القمر الصناعي الأوروبي Sentinel-1 والخاصة بالنطاق الطيفي (رادار) SAR-Xband بدقة مكانية 10 متر لعام 2023م، وتم فصل نموذج الارتفاع الرقمي من المرئية بالاعتماد على برنامج² SNAP Sentinel (Ghannadi et al., 2022)، وتم تحميل البيانات من الموقع التابع لوكالة الفضاء الأوروبية³ ESA.

¹ <https://earthexplorer.usgs.gov/> (تم الدخول في أكتوبر 2023 م)

² <https://step.esa.int/main/download/snap-download/> (تم الدخول في ديسمبر 2023 م)

³ <http://scihub.copernicus.eu/> (تم الدخول في ديسمبر 2023 م)

2- الخرائط الطبوغرافية

تم الاعتماد على الخرائط الطبوغرافية مقياس 1: 50.000 إنتاج الهيئة المصرية العامة للمساحة بالتعاون مع الوكالة الفنلندية عام 1990م لوحات (مغاغة - بني مزار - سمالوط - البرجاية - المنيا - أبو قرقاص - ملوي).

3- الخرائط الجيولوجية

اعتمدت هذه الدراسة على الخرائط الجيولوجية من إنتاج الهيئة المصرية للمساحة الجيولوجية والثروة المعدنية بالاشتراك مع شركة كونكو كورال عام 1987م مقياس رسم 1: 500.000 لوحات (أسيوط NG36 NW - بني سويف NG36 SW).

4- المرئيات الفضائية

تم جمع المرئيات الفضائية للقمر الصناعي Landsat-8 عام 2013م، ومرئيات القمر الصناعي Landsat-9 عام 2023م، كما يتضح من جدول (1).

جدول (1) مرئيات الأقمار الصناعية المستخدمة في الدراسة

عدد النطاقات	الدقة المكائبة	تاريخ الالتقاط	Scene ID	القمر
11	15	2013/9/4م	LC08_L1TP_176041_20130904_20200912_02_T1 LC08_L1TP_176040_20130904_20200912_02_T1	لاندسات-8 OLI/TIRS
11	15	2023/10/26م	LC09_L1TP_176041_20231026_20231026_02_T1 LC09_L1TP_176040_20231026_20231026_02_T1	لاندسات-9 OLI/TIRS-2
1 VV	10م	2023/21/21م	S1A_IW_GRDH_1SDV_20231221T155642	مرئيات سينتينال-1 Sentinel-1 SAR
4	3م	2024/1/16م	C8e1ba35-6292-4349-A77d-850051cdc9e1	مرئيات بلانيت سكوب PlanetScope

مصدر البيانات: (مرئيات لاندسات) أرشيف المساحة الجيولوجية الأمريكية <https://earthexplorer.usgs.gov>

(مرئيات سينتينال-1) موقع وكالة الفضاء الأوروبية <http://scihub.copernicus.eu>

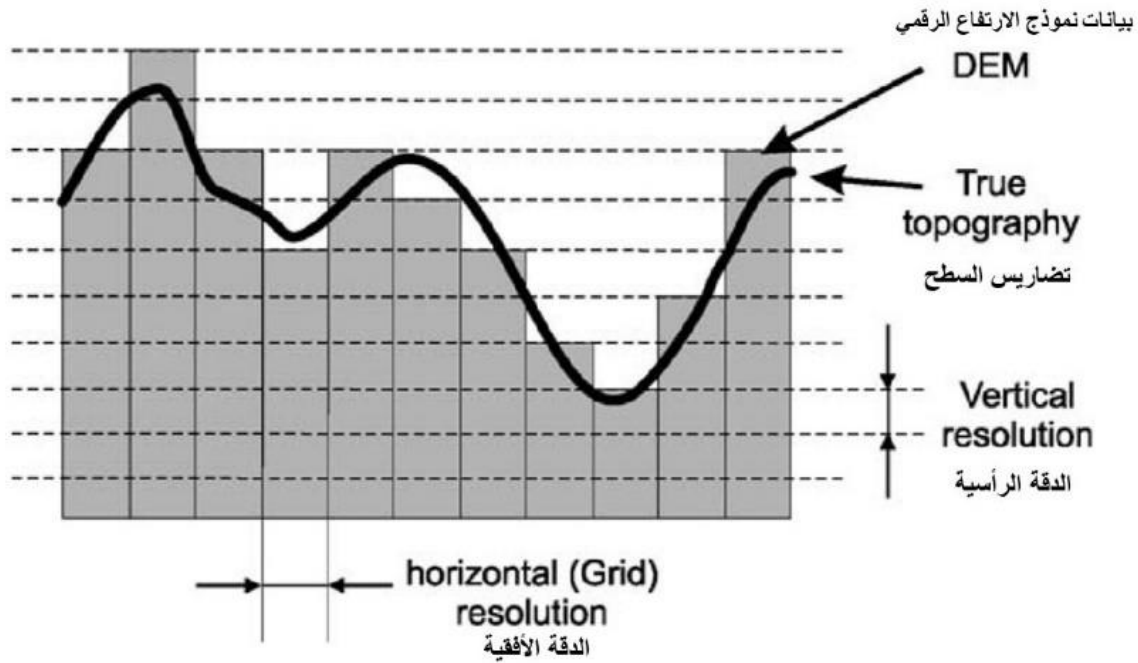
(مرئيات بلانيت سكوب) <https://www.planet.com>

وقد اعتمدت الدراسة على عدة خطوات متتابعة لإنشاء النماذج التضاريسية الرقمية ثلاثية الأبعاد في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، وفحص دقتها، وطرق عرضها، وتحليلها.

1- معالجة نماذج الارتفاع الرقمية DEM's Processing

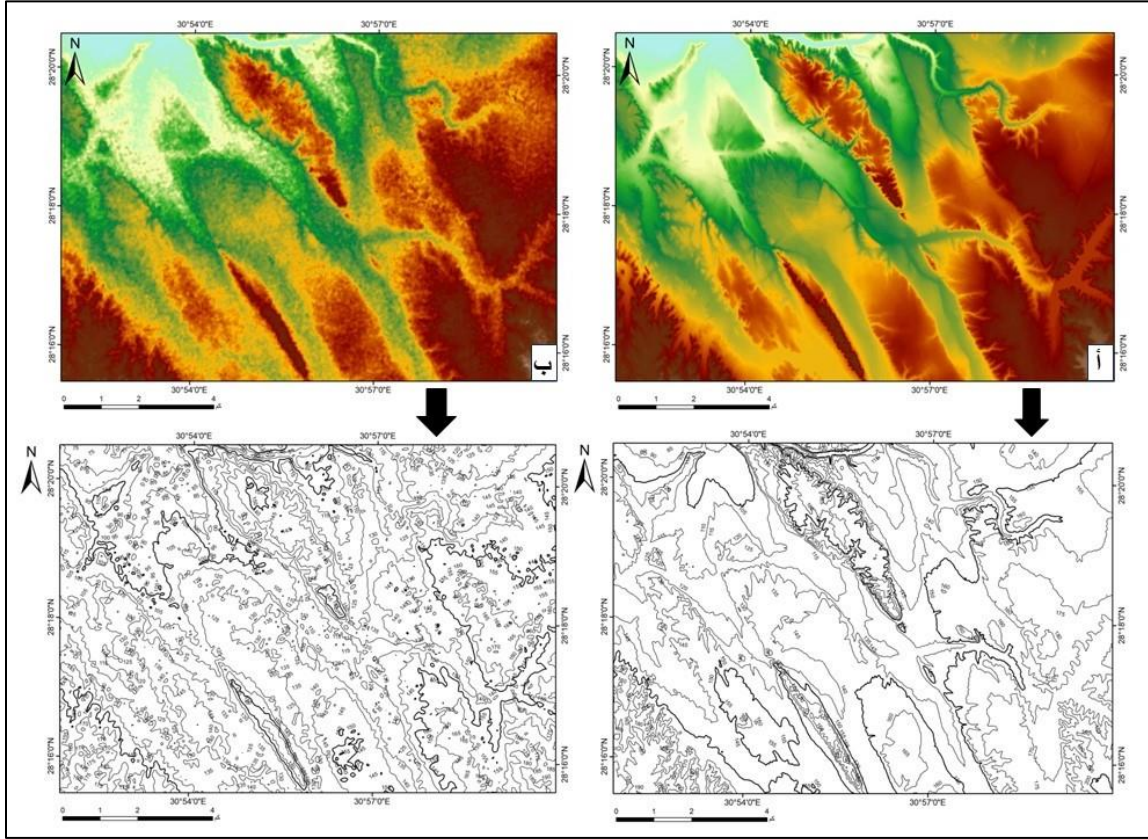
تتوقف دقة النتائج على دقة نماذج الارتفاع الرقمية المستخدمة ومعالجة الأخطاء الموجودة والمتمثلة في ملئ الفراغات Filled sink وإزالة القيم المتطرفة Peaks وإعادة إسقاطها على المسقط المتري العالمي (WGS, ZONE36N) UTM وذلك قبل إدخالها لمراحل التحليل والنمذجة المكانية كما يتضح من شكل (6). ويرى العديد من الباحثين أن نماذج الارتفاع الرقمية يجب أن يتم تقييم دقتها الرأسية وفحص جودتها بالاعتماد على بيانات طبوغرافية عالية الدقة مثل بيانات Mesa- GNSS (Mingorance and Ariza-Lopez 2020) أو بيانات الليدار ICESat-2 Laser Altimetry (Chen et al., 2020) وأيضا يمكن الاعتماد على المرئيات الفضائية عالية الدقة لتقييم عدم يقين البيانات وفحص دقتها Uncertainty Assessment.

وتفيد نماذج الارتفاع الرقمية في العرض الثلاثي الأبعاد للتضاريس الأرضية Landscape Visualization واستنباط خطوط كنتور رقمية والمعاملات التضاريسية المتمثلة في خرائط الانحدار، وتقوس السطح، واتجاهات الانحدار، وشبكات التصريف والمجاري المائية، بالإضافة إلى حساب المعاملات الجيومورفومترية والهيدرولوجية، كما تم الاعتماد على نماذج الارتفاع الرقمية في حساب مؤشر الرطوبة السطحية الطبوغرافي (Topographic Wetness Index (TWI) (Meles et al., 2020) ويوضح شكل (7) تباين دقة خطوط الكنتور المستخرجة من بيانات نماذج الارتفاع الرقمية المتباينة الدقة الرأسية والأفقية.



شكل (6) يوضح الدقة الأفقية والرأسية لنماذج الارتفاع الرقمية الملتقطة بواسطة الأقمار الصناعية

المصدر: (Reuter et al., 2009).



شكل (7) يوضح تباين الدقة الرأسية لنماذج الارتفاع الرقمية واستنباط خطوط الكنتور

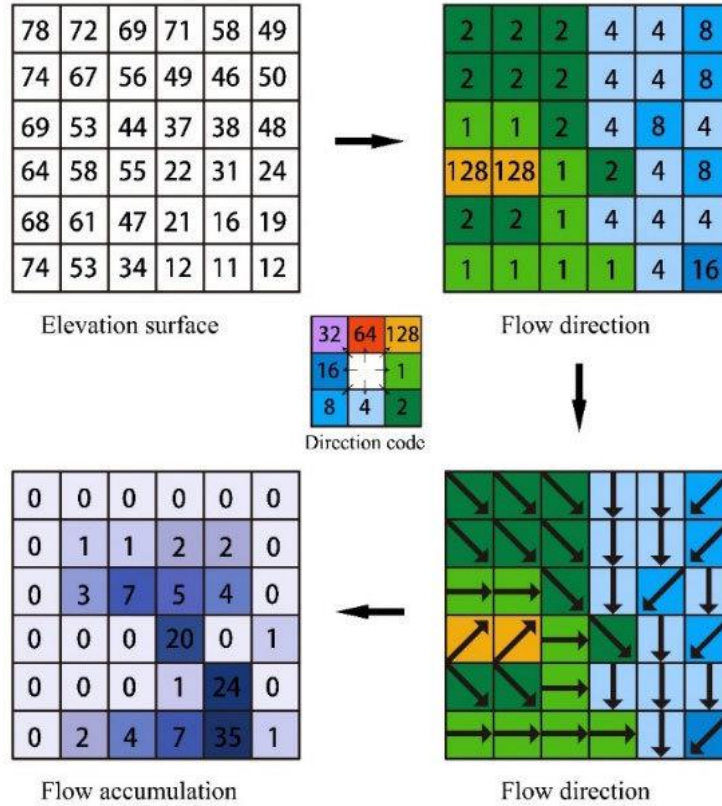
أ = Sentinel-1 SAR (10m)، ب = SRTM (30m)

المصدر: من عمل الباحث، بالاعتماد على نماذج الارتفاع الرقمية Sentinel-1 SAR، SRTM

2- الاستنباط الآلي لأحواض التصريف Automatic Drainage Basin Extraction

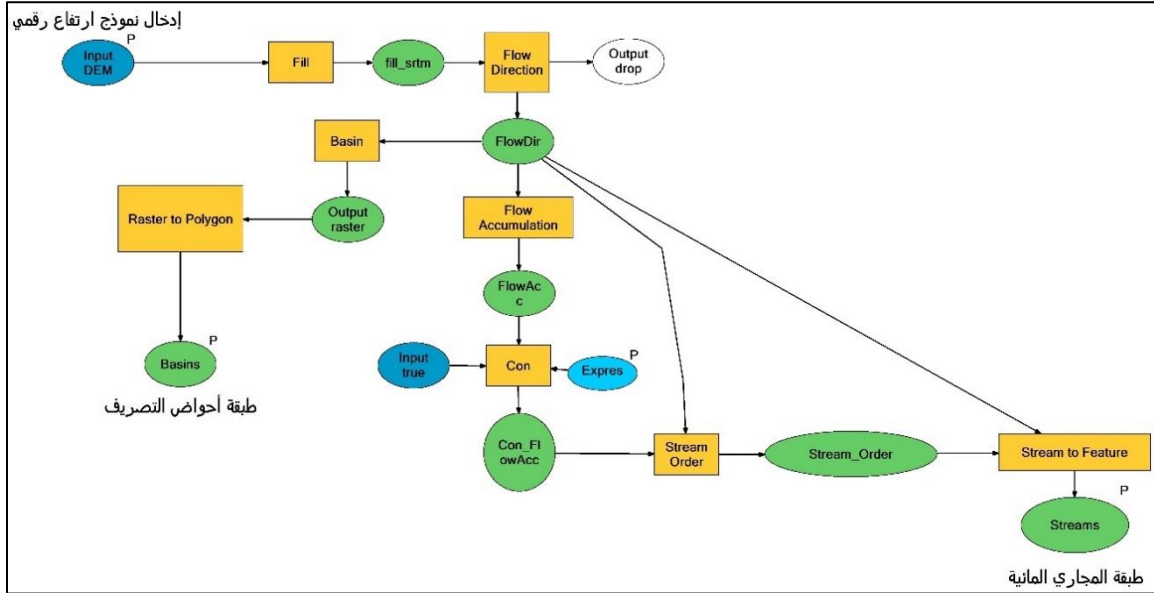
تعد واجهة بناء النماذج Model Builder في بيئة نظم المعلومات الجغرافية أحد أحدث الطرق في إنشاء النماذج المكانية لاستخراج شبكات أحواض التصريف والمجري المائية بالاعتماد على نماذج الارتفاع الرقمية، وتتم عملية استنباط أحواض التصريف وشبكات المجري المائية بعدة عمليات Processing يمكن من خلالها الحصول على طبقة اتجاهية Vector Layer تستخدم في التحليلات الجيومورفومترية لأحواض وشبكات التصريف بمنطقة الدراسة، وتعتمد عملية الاستنباط الآلي للمجري

المائية على حساب اتجاه التدفق Flow Direction وتجميع التدفق Flow Accumulation بالاعتماد على طريقة Stahler، ويوضح شكل (8) طريقة حساب اتجاه التدفق بالاعتماد على قيم خلايا نموذج الارتفاع الرقمي بطريقة (D8)، كما يوضح شكل (9) نموذج مكاني لطريقة استخراج المجاري المائية وأحواض التصريف داخل بيئة ArcGIS Modelbuilder (Allen, 2011).



شكل (8) طرق حساب اتجاه وتجميع التدفق للمجاري المائية بطريقة D8

المصدر: (Tong and Zhou, 2021)



شكل (9) نموذج مكاني لاستنباط شبكة المجاري وأحواض التصريف

المصدر: من عمل الباحث، اعتمادًا على واجهة بناء النماذج ArcGIS Model Builder

3- الإرجاع الجغرافي للخرائط الطبوغرافية والجيولوجية

ويهدف هذا الجانب إلى ضبط جميع البيانات المكانية على مسقط واحد وهو مسقط ميركيتور المستعرض الدولي UTM, WGS, Zone 36N وذلك لتسهيل عملية التحليل والتأكد من صحة النتائج.

4- معالجة المرئيات الفضائية Satellite Image Processing

تعد المرئيات الرقمية أحد أهم مصادر البيانات المهمة لمراقبة التغيرات المكانية الطارئة في الغطاء الأرضي وكشف التغيرات الطبوغرافية، فقد تم إجراء المعالجة الأولية للمرئيات المستخدمة والمتمثلة في التصحيح الهندسي، التصحيح الراديومتري، وأيضا تنفيذ بعض التحسينات المكانية والطيفية وتم الاعتماد على برامج ERDAS IMAGINE 2022 وبرنامج ENVI 5.6 في إجراء المعالجة الأولية للمرئيات الفضائية (Lillesand et al., 2015). كما تم استخدام المرئيات الفضائية الرقمية Landsat في الحصول على خرائط الغطاء الأرضي Land cover خلال فترات زمنية متتالية بهدف دراسة العلاقات المكانية بين تغير استخدام الأرض في الأودية وبين الخصائص التضاريسية للأحواض ونمذجتها بالاعتماد على تقنيات التصنيف المتقدمة. وللتعرف على الخصائص التضاريسية لسطح الأرض، تم تطبيق المؤشرات الطيفية الآتية الموضحة في المعادلات:

$$\text{Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)} = \frac{(\beta_{NIR} - \beta_{Red})}{(\beta_{NIR} + \beta_{Red})} \quad (\text{Drisy et al., 2018})$$

$$\text{Normalized Difference Water Index (NDWI)} = \frac{(\beta_{\text{GREEN}} - \beta_{\text{NIR}})}{(\beta_{\text{GREEN}} + \beta_{\text{NIR}})} \quad (\text{Mcfeeters, 1996})$$

$$\text{Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)} = \frac{(\beta_{\text{GREEN}} - \beta_{\text{SWIR}})}{(\beta_{\text{GREEN}} + \beta_{\text{SWIR}})} \quad (\text{Darwish and Smith, 2023})$$

$$\text{Normalized Difference Moisture Index (NDMI)} = \frac{(\beta_{\text{NIR}} - \beta_{\text{SWIR1}})}{(\beta_{\text{NIR}} + \beta_{\text{SWIR1}})} \quad (\text{Laonamsai et al., 2023})$$

حيث يشير كل من:

β_{NIR} = النطاق الطيفي تحت الحراري

β_{GREEN} = النطاق الطيفي الأخضر

β_{Red} = النطاق الطيفي الأحمر

β_{SWIR} = النطاق الطيفي تحت الحمراء القريبة

ويستخدم مؤشر الرطوبة السطحية الطبوغرافي TWI في قياس التحكم في العمليات الهيدرولوجية ومناطق تسرب المياه بفعل الأمطار والسيول، ويمكن حسابه بالاعتماد على نماذج الارتفاع الرقمية وتحويل قيم الارتفاع إلى Radiance، ثم إيجاد ظل الزاوية لبيانات الارتفاع باستخدام المعادلة الآتية (Beven and Kirkby, 1979; Kopecký et al., 2021) الموضح في المعادلة، ويوضح شكل (10) نموذج مكاني لحسابه.

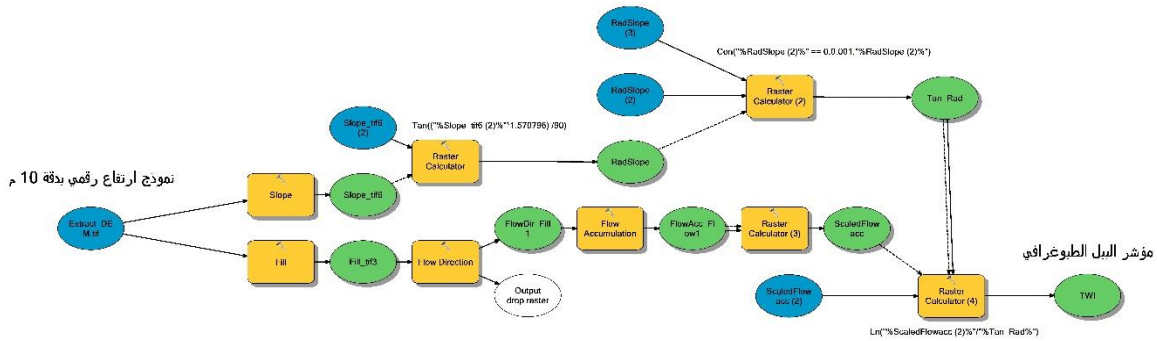
$$\text{TWI} = \text{Ln} \left(\frac{a}{\tan \beta} \right)$$

حيث تشير كل من:

a = المساحة الاجمالية للحوض

β = انحدار الحوض

\tan = ظل الزاوية



شكل (10) نموذج حساب مؤشر الرطوبة السطحية الطبوغرافي في بيئة نظم المعلومات الجغرافية

المصدر: من عمل الباحث، اعتمادًا على واجهة بناء النماذج ArcGIS Model Builder

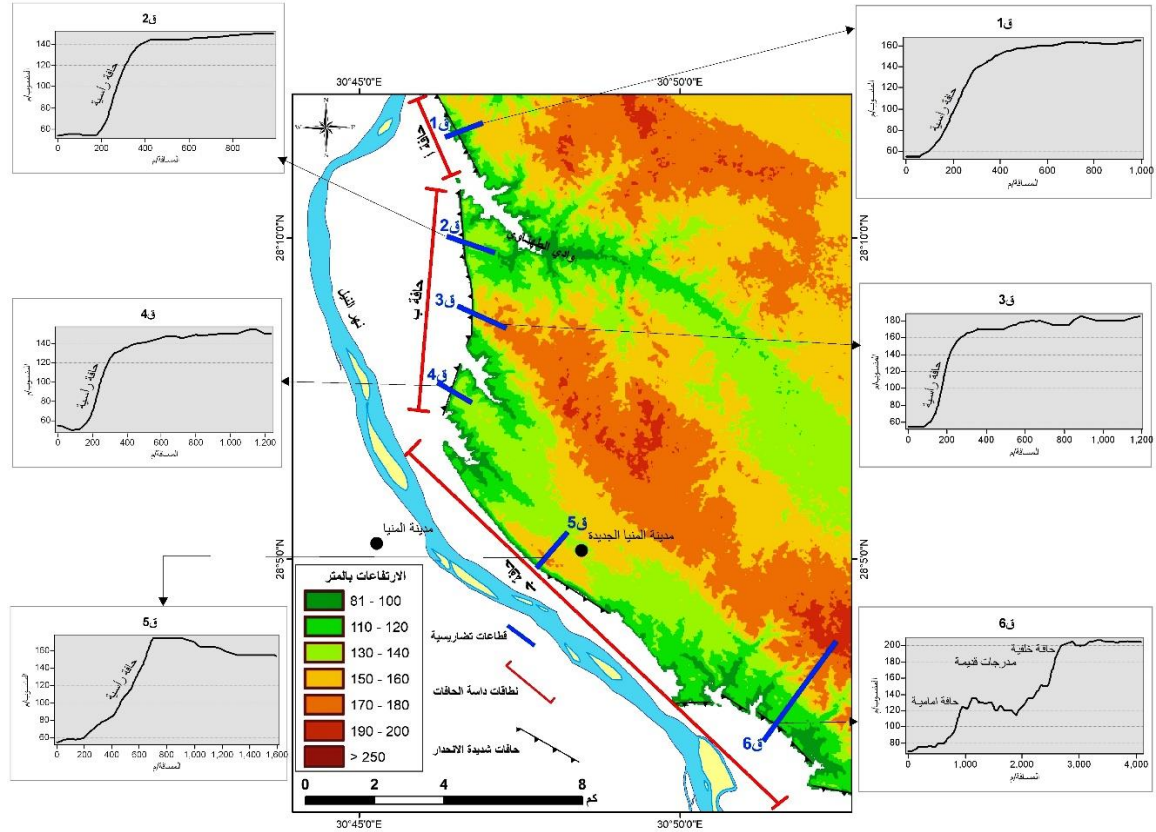
1- النتائج والمناقشة Results and Discussion

يتضح من هذه الدراسة أن هناك العديد من التطبيقات الجيومورفومترية والبيئية للنمذجة التضاريسية الرقمية الثلاثية الأبعاد بمنطقة الدراسة التي تخدم الدراسات الجغرافية والبيئية والتخطيط والتنمية المستدامة، حيث يمكن الاستفادة منها في قياس وتحليل الخصائص التضاريسية لأشكال سطح الأرض وعلاقتها بالتكوينات الجيولوجية، كما يمكن دراسة التطور الجيومورفولوجي لمدرجات الحافات الجبلية ومصاطب الأودية الجافة، ومن أهم هذه التطبيقات بمنطقة الدراسة:

أولاً: نمذجة الخصائص التضاريسية لأشكال السطح

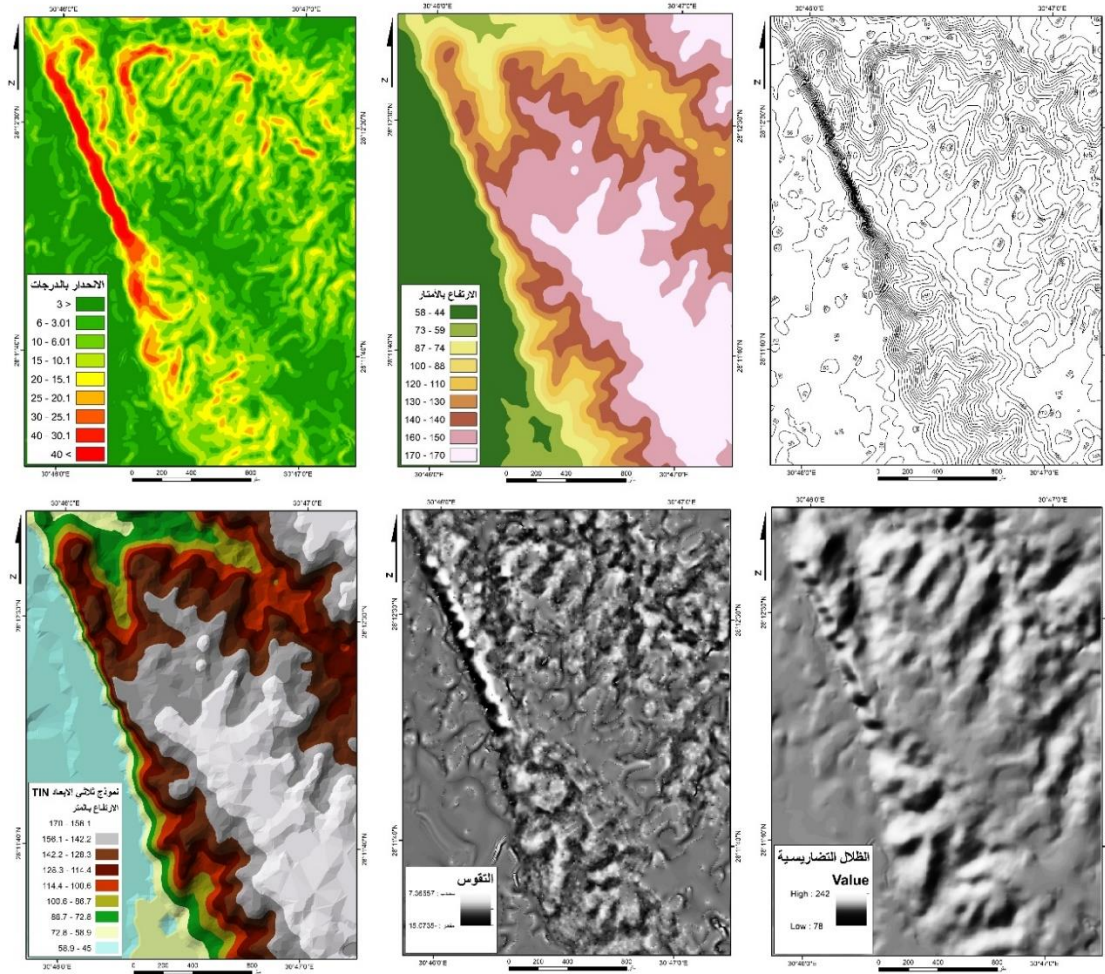
أ. النمذجة التضاريسية للحافات Cliff Terrain Modeling

تعد الحافات التضاريسية شديدة الانحدار للهضاب والجبال وجوانب الأودية الجافة بمنطقة الدراسة أحد أهم الظواهر الطبوغرافية المؤثرة في توزيع الأنشطة البشرية، وأيضاً ذات أهمية في تخطيط الطرق والإنشاءات والمحلات العمرانية. وتعد النمذجة التضاريسية الرقمية الثلاثية الأبعاد للحافات الرأسية من الطرق الحديثة لتجسيم ومحاكاة ظاهرات سطح الأرض، وتغيرها، وتطورها، وقياس أبعادها، ودراسة استقرار المنحدرات (Galín et al., 2019)، كما تقيد في دراسة الخصائص التضاريسية للحافات وربطها بالأنشطة البشرية وإمكانات التنمية المستقبلية، كما تساهم في تحديد نطاقات الأخطار الأرضية المرتبطة بالحافات والمتمثلة في التساقط الصخري على الأنشطة البشرية المختلفة ونطاقات تعرية وتراجع الحافات Cliff Retreat وعلاقتها بالخصائص الجيولوجية. ويوضح شكل (11) بعض القطاعات التضاريسية العرضية على الحافات بمنطقة الدراسة.



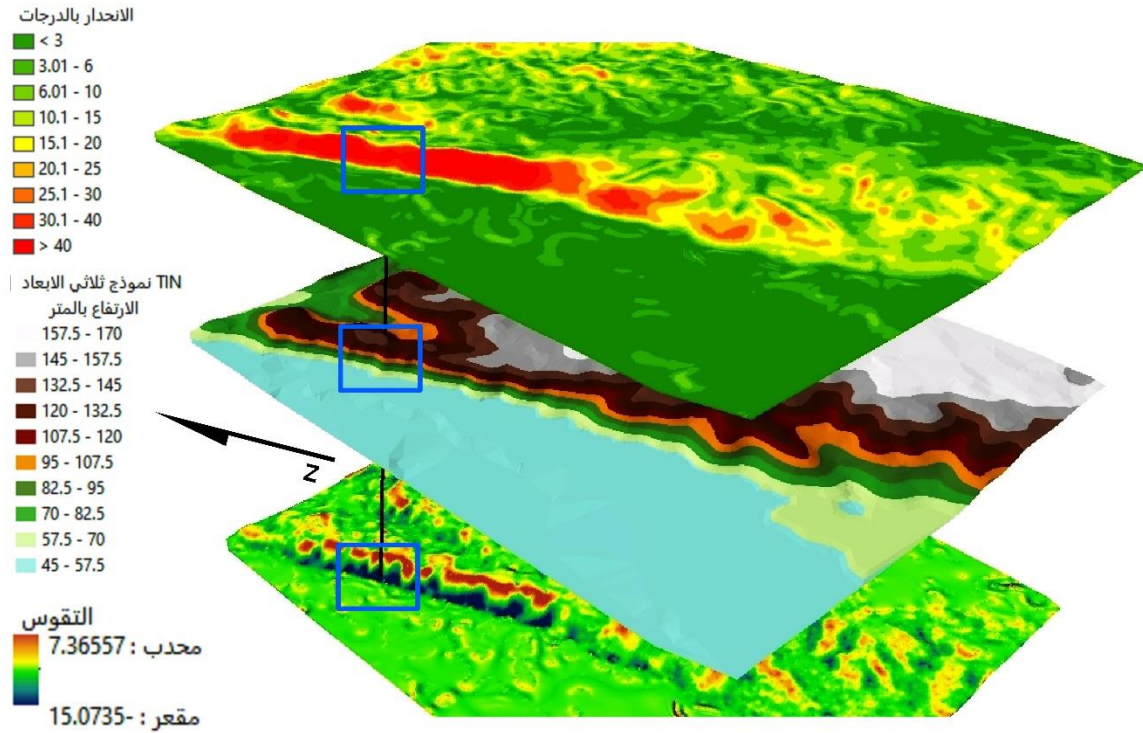
شكل (11) قطاعات عرضية لتوضيح الخصائص التضاريسية للحافات بمنطقة الدراسة

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نماذج الارتفاع الرقمية SRTM 1-arc second وتتهم النمذجة التضاريسية الرقمية DTM's بالتحليل الثلاثي الأبعاد للأسطح Surface Analysis وإنشاء العلاقات المكانية الآلية Spatial Autocorrelation and Automation من أجل الوصول لأدق النتائج المرتبطة بتحليل ونمذجة الأشكال الأرضية Landscape Modeling. وتهدف النمذجة التضاريسية الرقمية إلى التحليل والربط المكاني Spatial Join للخصائص الطبوغرافية المختلفة على أسطح الحافات والمتمثلة في (الارتفاعات، الانحدارات، اتجاهات الانحدار، الظلال التضاريسية، وتقوس السطح، والروية المكانية Viewshed (Li et al., 2020)). وتساعد القطاعات التضاريسية وقطاعات درجات الانحدار وتقوس سطح الحافة في فهم ودراسة دراسة المدرجات النهرية القديمة Ancient Terraces ومصاطب الأودية، كما تساعد في دراسة مراحل تطور الحافة. ويوضح شكل (12) عرض ثنائي الأبعاد للخصائص التضاريسية للحافات بمنطقة الدراسة، بينما يوضح شكل (13) الخصائص التضاريسية الثلاثية الأبعاد للحافات الرأسية.



شكل (12) عرض الخصائص التضاريسية ثنائية الأبعاد لجانب من حافة الهضبة الجيرية
بالجانب الشرقي لمدينة المنيا

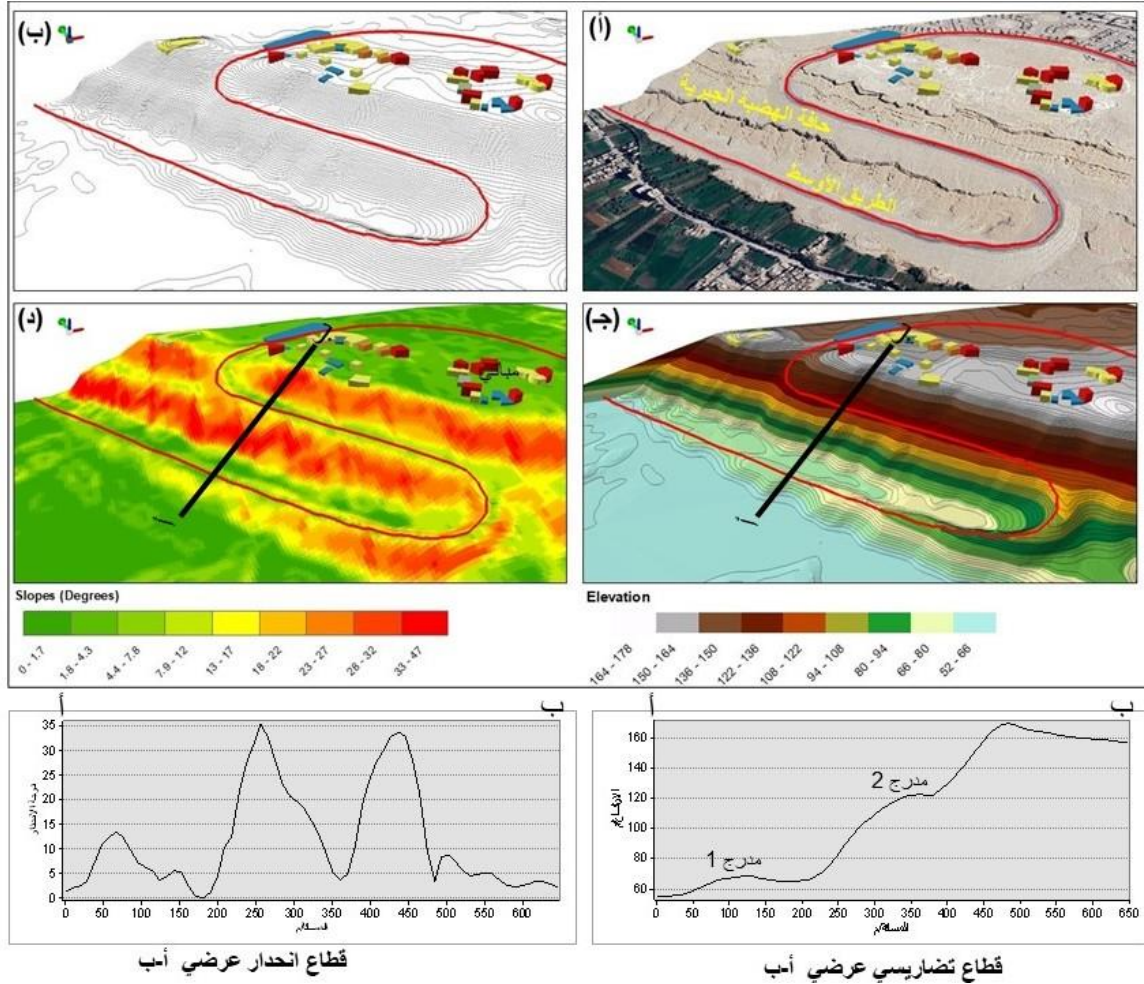
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نماذج الارتفاع الرقمية SRTM 1-arc second



شكل (13) نموذج ثلاثي الأبعاد TIN's لجانب من حافة الهضبة الجيرية

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نماذج الارتفاع الرقمية SRTM 1-arc second

ويمكن للنمذجة التضاريسية الرقمية ثلاثية الأبعاد 3D Terrain Modeling تقديم حلول مكانية مهمة عند التخطيط لإنشاء الطرق والكباري على الحافات الجبلية شديدة الانحدار، ومن تحليل شبكة الطرق بمنطقة الدراسة يتضح أن الطريق الأوسط الرابط بين مدينة المنيا ومدينة المنيا الجديدة يقطع حافة الهضبة الجيرية في نطاق شديد الانحدار وقد استغرق إنشاءه عدة سنوات بتكلفة مالية كبيرة لتهيئة وتعلية مسار الطريق حيث يتخذ شكل حلزوني لتقليل معدل الانحدار من أجل تسهيل عملية المرور، وعلى الرغم من ذلك فإن العديد من حوادث السيارات تحدث بصفة مستمرة على ذلك الطريق كنتيجة مباشرة لمعدل الانحدار الكبير وذلك كما يتضح من شكل (14). ويتضح من تحليل القطاع التضاريسي وقطاع الانحدار بهذا النطاق والموضح في شكل (14-أب) أن مصمم الطريق قد استخدم مدرجات الحافة لقاعدة للطريق لارتفاع يتجاوز 100 متر وكنتيجة لعميات تسوية وتعلية الطريق عن طريق المعدات الثقيلة فإن الحافة قد تعرضت للتصدع مما يؤدي التساقط الصخري Rockfall الذي يعرض الطريق لخطر الانهيارات الصخرية. ومن ناحية أخرى فإن سطح الهضبة أعلى الحافة يتعرض لعمليات تسوية بهدف الانشاءات، والتي أدت للعديد من التغييرات الطبوغرافية.



شكل (14) خرائط تضاريسية ثلاثية الابعاد لنطاق الطريق الأوسط على حافة الهضبة الجيرية

بالجانب الشرقي لمدينة المنيا باستخدام ArcScene

(مجسم ثلاثي الابعاد عالي الدقة، ب- اظهر مسار الطريق على مجسم الكنتور بفاصل 2 م، ج- نموذج تضاريسي ثلاثي الابعاد رقمي TIN's، د - مجسم ثلاثي الابعاد لدرجات الانحدار)

المصدر: من عمل الباحث، بالاعتماد على نماذج الارتفاع الرقمية SRTM 1-arc second

ويتضح من الدراسة الميدانية وفحص الخرائط الجيولوجية أن سطح الحافة الجيرية يتقطع بالعديد من الفوالق والصدوع والشقوق النشطة المؤثرة في حافة الهضبة، والتي تتسع كنتيجة مباشرة للأنشطة البشرية المستمرة والمتمثلة في أعمال الحفر باستخدام الآلات ومعدلات ثقيلة على سطح الهضبة بهدف تسوية وتعديل السطح لإنشاء المشروعات العمرانية وإزالة كميات كبيرة من الحجر الجيري الطباشيري. وتعد منطقة الدراسة من أكثر المناطق الجبلية التي تتعرض للتعديلات التضاريسية والجيومورفولوجية على نطاق واسع بفعل عمليات تحجير الحجر الجيري الطباشيري والذي أدى إلى تدهور وتشوه في

الخصائص الجيومورفولوجية والهيدرولوجية لمنطقة الدراسة، وتوضح لوحة (1) بعض الصور الفوتوغرافية التي توضح مسار الطريق الأوسط وأعمال الإنشاءات العمرانية على سطح الحافة الجيرية باستخدام الحفارات Caterpillar، كما توضح اتساع بعض الفوالق التي تفصل سطح الحافة وتتسبب في تساقط الكتل الصخرية على الطرق المتاخمة لها.



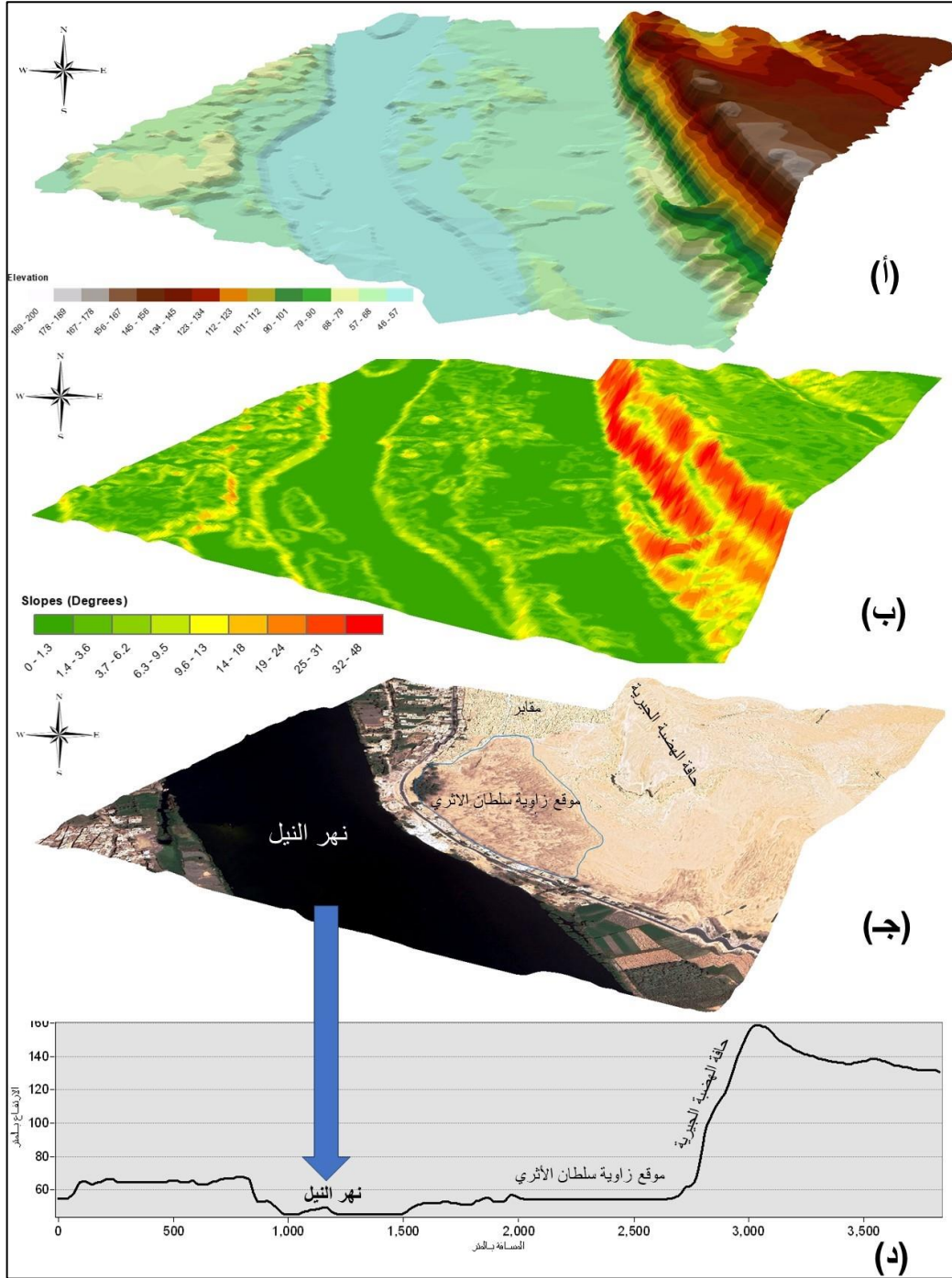
لوحة (1) صور فوتوغرافية توضح مسار الطريق الأوسط والإنشاءات العمرانية على حافة الهضبة الجيرية المواجهة لمدينة المنيا وأعمال تسوية السطح والفوالق

(أ- حافة شديد الانحدار تطل على الطريق الأوسط، ب- العمران فوق الحافة، ج- تمدد العمران حتى خط الحافة Cliff line د- تأسيس المباني في جسم الهضبة، هـ- فائق بالحافة و- استعمال الحفارات في تسوية السطح)

المصدر: من تصوير الباحث، يوليو 2023م.

تتوزع على طول حافات الهضبة الجيرية بمنطقة الدراسة العديد من المواقع الأثرية التي نشأت في مناطق بعيدة كمقابر أو كمحلات عمرانية (قري ومدن قديمة) ترجع للحضارة المصرية القديمة ومن أهمها موقع زاوية سلطان، موقع طهنا، موقع اسطبل عنتر، موقع بني حسن، ومدينة تل العمارنة، ويمكن الاعتماد على النمذجة التضاريسية الرقمية الثلاثية الأبعاد كأحد أحدث تقنيات العرض المجسم

في دراسة وتحليل وإيجاد العلاقات المكانية التي تساعد في رسم خرائط المواقع الأثرية (Triviño-Tarradas et al., 2022). حيث تلعب النماذج الرقمية للتضاريس دورًا مهمًا للغاية في العديد من جوانب البحث الأثري (Martínez-del-Pozo et al., 2013)، وفي هذه الدراسة تم تطبيق نموذج تضاريسي ثلاثي الأبعاد لتحليل موقع زاوية سلطان الأثري بالاعتماد على عدة معايير تضاريسية، كما يتضح من شكل (15)، ولوحة (2).



شكل (15) النمذجة التضاريسية الرقمية ثلاثية الأبعاد لموقع زاوية سلطان الأثري على حافة الهضبة الجيرية بمنطقة الدراسة.

المصدر: من عمل الباحث، بالاعتماد على بيانات مكانية متعددة المصدر.



لوحة (2) صور فوتوغرافية توضح بقايا موقع زاوية سلطان الأثري على منحدر الحافة

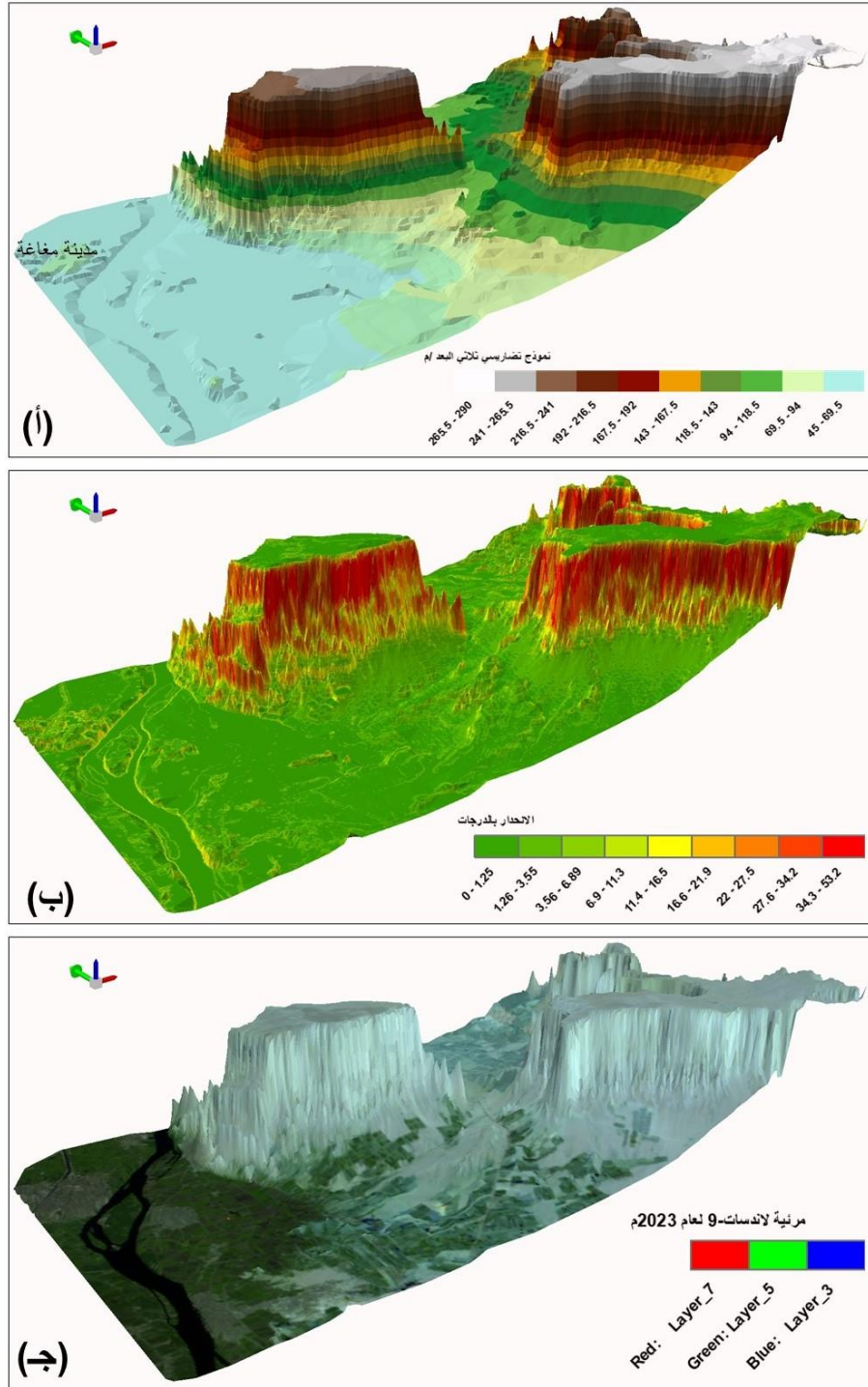
(أ- أرض منحدرتة تتميز بوجود رواسب وكسرات وبقايا فرعونية، ب- سلالم فرعونية لتسهيل الصعود إلى الموقع الأثري)

المصدر: من تصوير الباحث، يناير 2018م.

ب. النمذجة التضاريسية الثلاثية الأبعاد للجبال Mountain Terrain Modeling

تعد الجبال والتلال من أكثر الظواهر التضاريسية المميزة في خصائصها والأكثر انتشاراً في المناطق الصحراوية وهي تؤثر بطريق مباشرة على التخطيط والتنمية العمرانية والزراعية وخطط التنمية الشاملة. وتساهم تقنيات النمذجة التضاريسية الرقمية ثلاثية الأبعاد في فهم وتحليل الخصائص الجيومورفومترية للجبال والمتمثلة في الارتفاعات وانحدارات الجوانب واتجاهات الانحدار وتقوس السطح. وقد قدم (Yeh et al., 2022) نموذج تفاعلي ثلاثي الأبعاد في بيئة نظم المعلومات الجغرافية لمحاكاة الجبال باستخدام تقنية Game Engine Unity3D وهي تعد من أحدث تقنيات النمذجة التفاعلية ثلاثية الأبعاد Interactive 3D Modeling. وقد استخدمت النمذجة التضاريسية الرقمية في العديد من الدراسات الجيولوجية حول العالم، فهي تعتبر ركيزة أساسية في دراسة ومحاكاة البراكين (Baldi et al., 2006). وتعتبر النمذجة التضاريسية الرقمية أحد ركائز التحليلات الجيولوجية وتصنيف التربة ودراسة العلاقة بينهما (Florinsky, 2016). كما استخدمت النمذجة التضاريسية الرقمية ثلاثية الأبعاد في تصنيف الظواهر الجيومورفولوجية والطبوغرافية في قاع البحر بالاعتماد على التصنيف القائم على الكائن (Siakavara and Argialas, 2013). ويتضح من بناء وتحليل نموذج تضاريسي رقمي لمنطقة جبل قرارة وحافة جبل المرير بالجانب الشرقي لمدينة مغاغة الموضح في شكل (16)، أن جبل قرارة يبدو كأرض مرتفعة تصل إلى 290م فوق سطح البحر

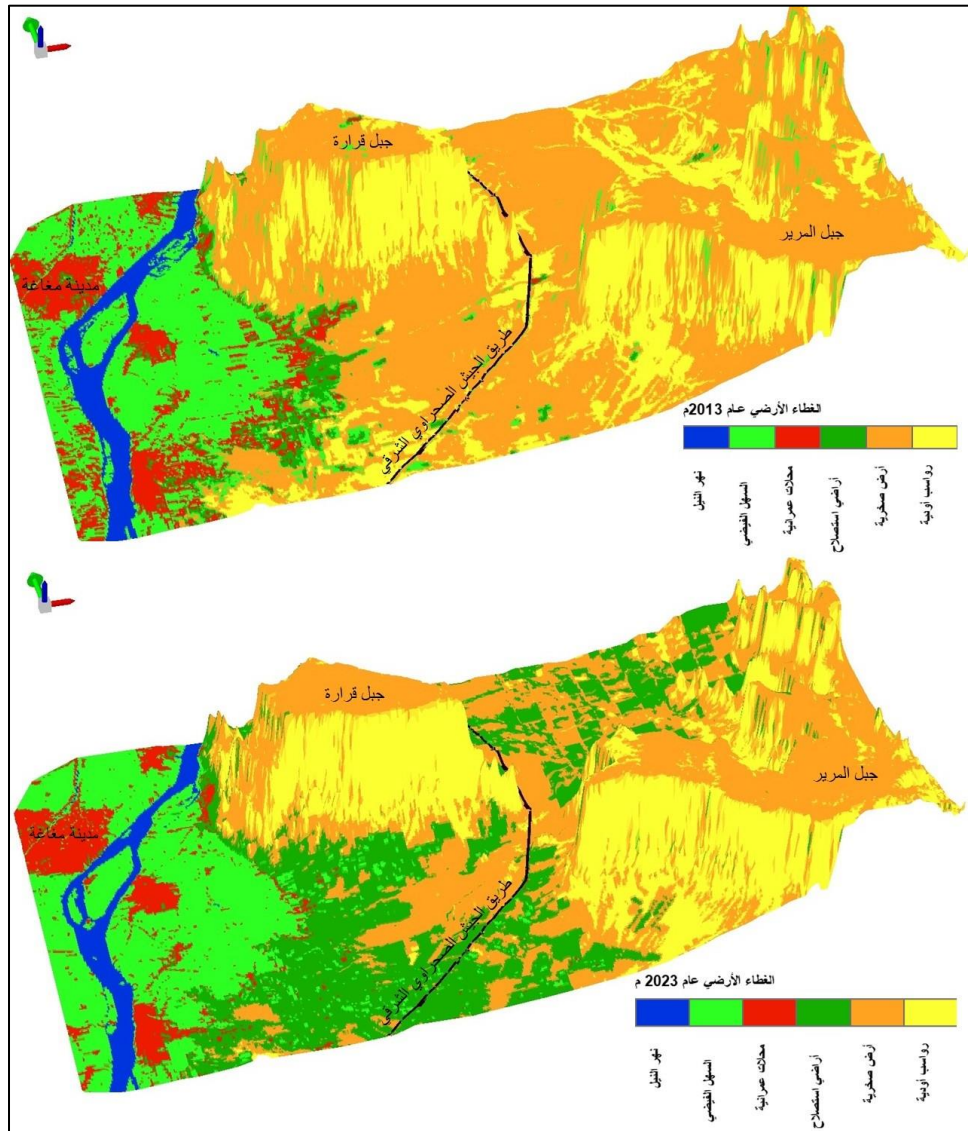
و ذات جوانب جرفيه شديده الانحدار تزيد عن 50 درجة ويتميز بوجود قمة مسطحة غير مستغلة تصلح للاستخدامات السياحية والترفيهية لما تتمتع به من موقع متميز وخصائص جغرافية فريدة.



شكل (16) نماذج تضاريسية رقمية ثلاثية الأبعاد لمنطقة جبل قرارة وجبل المرير

المصدر: من عمل الباحث.

وهذا الجبل يعد امتداداً لجبل المرير حيث أدت عوامل التعرية إلى فصلهم، وذلك لتمثالهم في الخصائص الجيولوجية والجيومورفولوجية والطبوغرافية. ومن تحليل تغير الغطاء الأرضي بمنطقة الدراسة يتضح أن أراضي الاستصلاح الزراعي تزايدت بنسبة كبيرة خلال الفترة من 2013 م حتى 2023م بالمنطقة المحيطة بجبل قرارة، وتتميز هذه المنطقة بالاستواء النسبي كما يتضح من مجسم الانحدار حيث لا تزيد عن 6 درجات، كما يتضح من مسار طريق الجيش الصحراوي الشرقي الذي يتخذ محور شمال شرق -جنوب غرب لنقادي النطاقات التضاريسية المرتفعة.



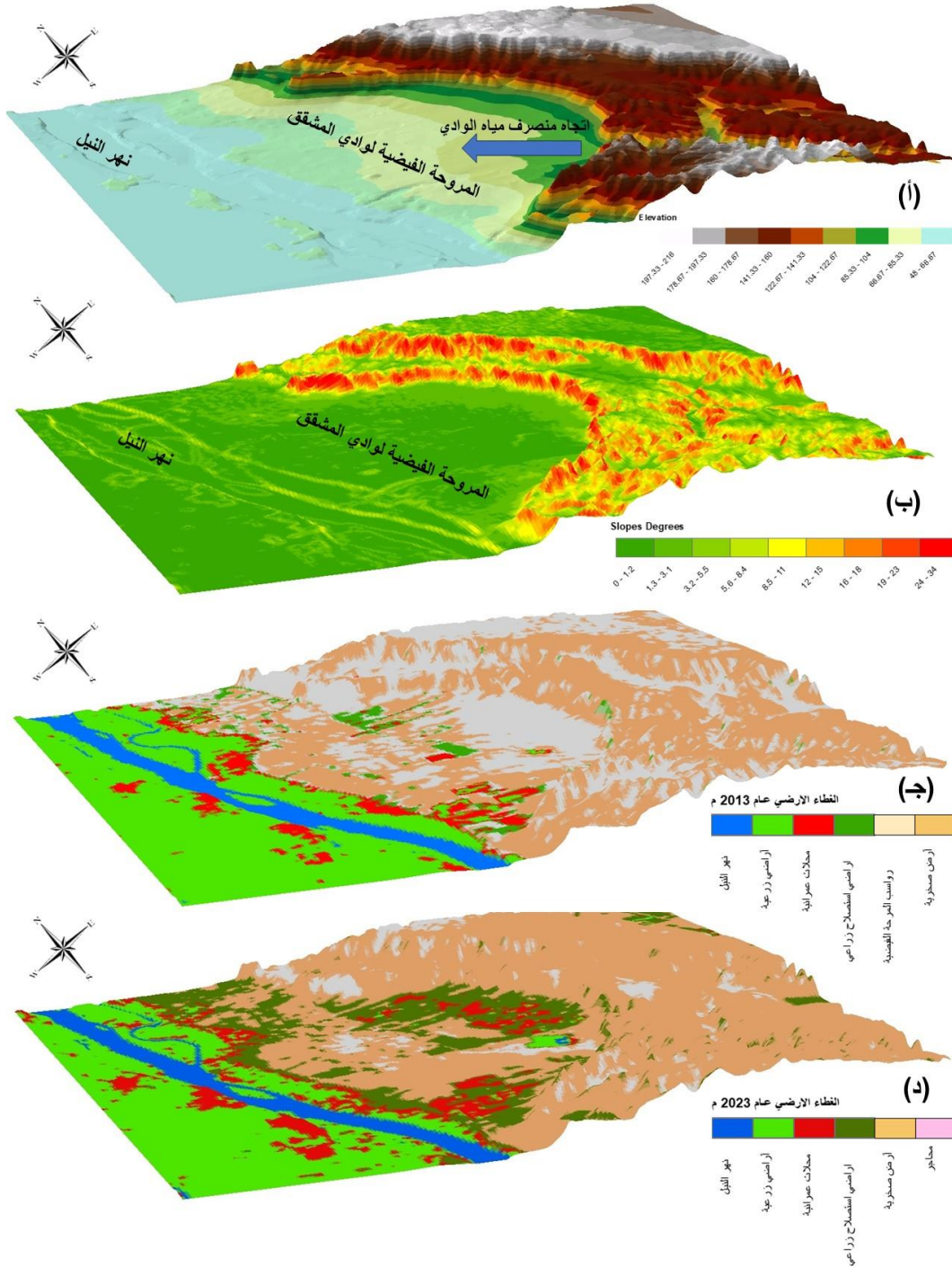
شكل (17) العلاقة المكانية بين الخصائص التضاريسية الجبلية وتغير استخدام الأرض بمنطقة جبل قرارة (مغاغة) خلال الفترة 2013-2023م

المصدر: من عمل الباحث، على بيانات مكانية رقمية متعددة المصدر.

ت. النمذجة التضاريسية للمراوح الفيضية وعلاقتها بتغيرات الغطاء الأرضي

تعد المراوح الفيضية Alluvial Fans للأودية الجافة أحد أهم أشكال سطح الأرض الرسوبية التي تكونت عند مصبات الأودية ويختلف شكلها وحجمها وامتدادها تبعاً لحجم الوادي واتجاه منصرف مياهه وما تحمله مياه من رواسب فيضيه Debris. وتتميز المراوح الفيضية بمنطقة الدراسة بالاستواء النسبي، وتعد المراوح الفيضية من أكثر أشكال سطح الأرض في النطاقات الجافة Arid Zones جذباً للسكان نظراً لما تحتويه من تربة خصبة صالحة للزراعة، وأيضاً تعتبر خزانات للمياه الجوفية المتسربة من الجريان السيلي، ويوجد بمنطقة الدراسة عدد كبير من المراوح الفيضية التي نشأت عليها المحلات العمرانية الريفية منذ أقدم العصور، ويرتبط نموها وتطورها بالمحددات التضاريسية لحافات الأودية الجافة القريبة منها، وقد استخدم (Babič et al., 2021) نماذج الارتفاع الرقمية التي تم إعدادها بواسطة محطة المساحة الأرضية Totalstation ولوغاريتيمات الذكاء الصناعي في نمذجة وتصنيف المراوح الفيضية في سلوفاكيا. وتعد بيئة المراوح الفيضية من أكثر البيئات الصحراوية هشاشة وعرضة للتغيرات الطبوغرافية بفعل الأنشطة البشرية، كما أنها تتعرض للعديد من الأخطار المناخية المتمثلة في السيول مما يؤدي إلى أضرار بالغة على المنشآت الواقعة في اتجاه منصرف مياه الأمطار. وقد تم تطبيق النمذجة التضاريسية الرقمية على المروحة الفيضية لوادي المشقق بالجانب الشرقي لمركز أبو قرقاص، وتم ربط علاقة مكانية بين التغيرات في الغطاء الأرضي خلال الفترة الزمنية من 2013 حتى 2023م والخصائص التضاريسية للمروحة، وأتضح من التحليل أن المروحة تكونت من الرواسب التي جلبها وادي المشقق وفي اتجاه منصرف مياهه التي تتخذ اتجاه شمال غرب - جنوب شرق وتتخذ المروحة شكل نصف دائرة تنحدر انحداراً هيناً في اتجاه الغرب بزاوية لا تزيد عن 6 درجات ويحيطها جروف رأسية من الحجر الجيري. ومن تحليل التغيرات في الغطاء الأرضي بمروحة وادي المشقق يتضح أن الأنشطة البشرية تزايدت بشكل ملحوظ خلال الفترة من 2013 حتى 2023م، حيث ازداد النشاط الزراعي بنسبة كبيرة وأيضاً المحلات العمرانية (نشأة المنطقة الصناعية بالمنيا) وأعمال التحجير

التي تظهر بوضوح في خرائط الغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة، الموضحة في شكل (18). ومن خلال النمذجة التضاريسية الثلاثية الأبعاد يمكن ملاحظة وتحديد العوائق التضاريسية المؤثرة في اتجاهات النمو العمراني والتنمية الزراعية والعمرانية على مروحة وادي المشقق ودراسة خصائصها الجيومورفومترية.



شكل (18) النمذجة التضاريسية ثلاثية الأبعاد لمروحة وادي المشقق بالجانب الشرقي لمركز أبو قرقاص وعلاقتها بتغيرات الغطاء الأرضي

(أ- نموذج تضاريسي رقمي TIN's، ب - نموذج انحدار ثلاثي الأبعاد، ج - الغطاء الأرضي عام 2013م، د - الغطاء الأرضي عام 2023م)

المصدر: من عمل الباحث، بالاعتماد على بيانات مكانية متعددة المصدر .

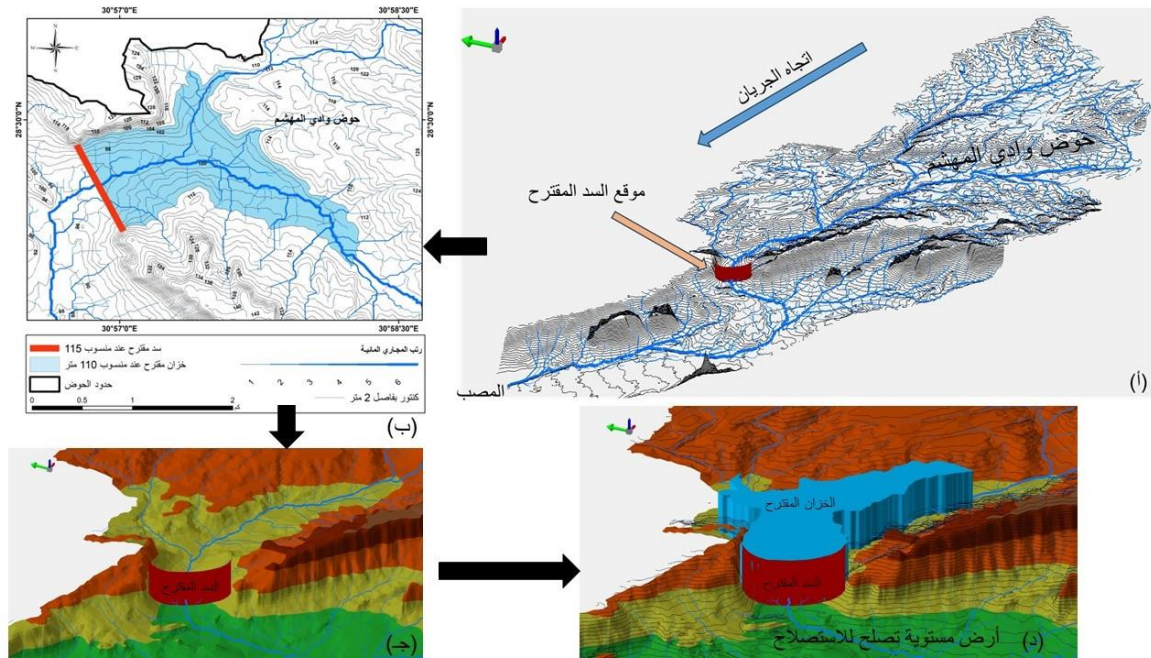
ث. النمذجة التضاريسية لأحواض التصريف Drainage Basins Terrain Modeling

استخدمت النمذجة التضاريسية الرقمية في العديد من الدراسات الجيولوجية والجيومورفولوجية والهيدرولوجية حول العالم في دراسة أحواض التصريف ونمذجتها وتحليلها والتعرف على خصائصها ورسم خرائط لتوضيح معالمها، فقد استخدمت بواسطة (Das et al., 2016) لدراسة الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف بمنطقة الهيمالايا - الهند. كما طبقها (Shukla et al., 2014) لدراسة الخصائص المورفوتكتونية لحوض نهر Alaknanda بجبال الهيمالايا للتعرف على نطاقات الزلازل والبراكين بالمنطقة. كما استخدمت النمذجة التضاريسية الرقمية في إدارة الأراضي بحوض Megech-Dirma بشمال شرق اثيوبيا (Habtu and Katihally 2023). وقد ربط (Behrens et al., 2010) بين نماذج التضاريس الأرضية متعددة المقياس وإنتاج خرائط التربة وقد استخدم نموذج ارتفاع رقمي بدقة أفقية 20متر لإنتاج خرائط تربة مقياس 1:50000 لدراسة أحواض التصريف بغابات المانيا.

وتفيد النمذجة التضاريسية ثلاثية الأبعاد لأحواض التصريف بمنطقة الدراسة في دراسة الخصائص الجيومورفومترية للأحواض وإيجاد العلاقات المكانية التي تربط بين الجيولوجيا والتضاريس مما يقدم تفسير لمراحل التطور الجيولوجي والجيومورفولوجي للأحواض. كما ترتبط إدارة أحواض التصريف بفهم نظم التصريف الهيدرولوجي ودرجات انحدار الحوض، ودراسة التغيرات الطارئة في الغطاء الأرضي داخل الأحواض وعلاقته بالتغيرات الهيدرولوجية للمجري، وتساهم أيضا في اقتراح أفضل المواقع لإنشاء للسدود والخزانات للحد من أخطار الجريان السيلبي وحساب أحجام الخزانات ودراسة مؤشر الرطوبة السطحية الطبوغرافي (TWI) للتعرف على مواقع تسرب المياه في التربة وأيضا دراسة مؤشر انتقال الرواسب في الحوض، وتعرية التربة والمجري Gully and Soil Erosion. وفي هذه الدراسة تم تطبيق تقنيات النمذجة الثلاثية الأبعاد لتحليل ثلاثة من أحواض التصريف موزعة على منطقة الدراسة ومتباينة في الشكل والحجم والمساحة والخصائص التضاريسية وهي:

1. حوض وادي المهشم

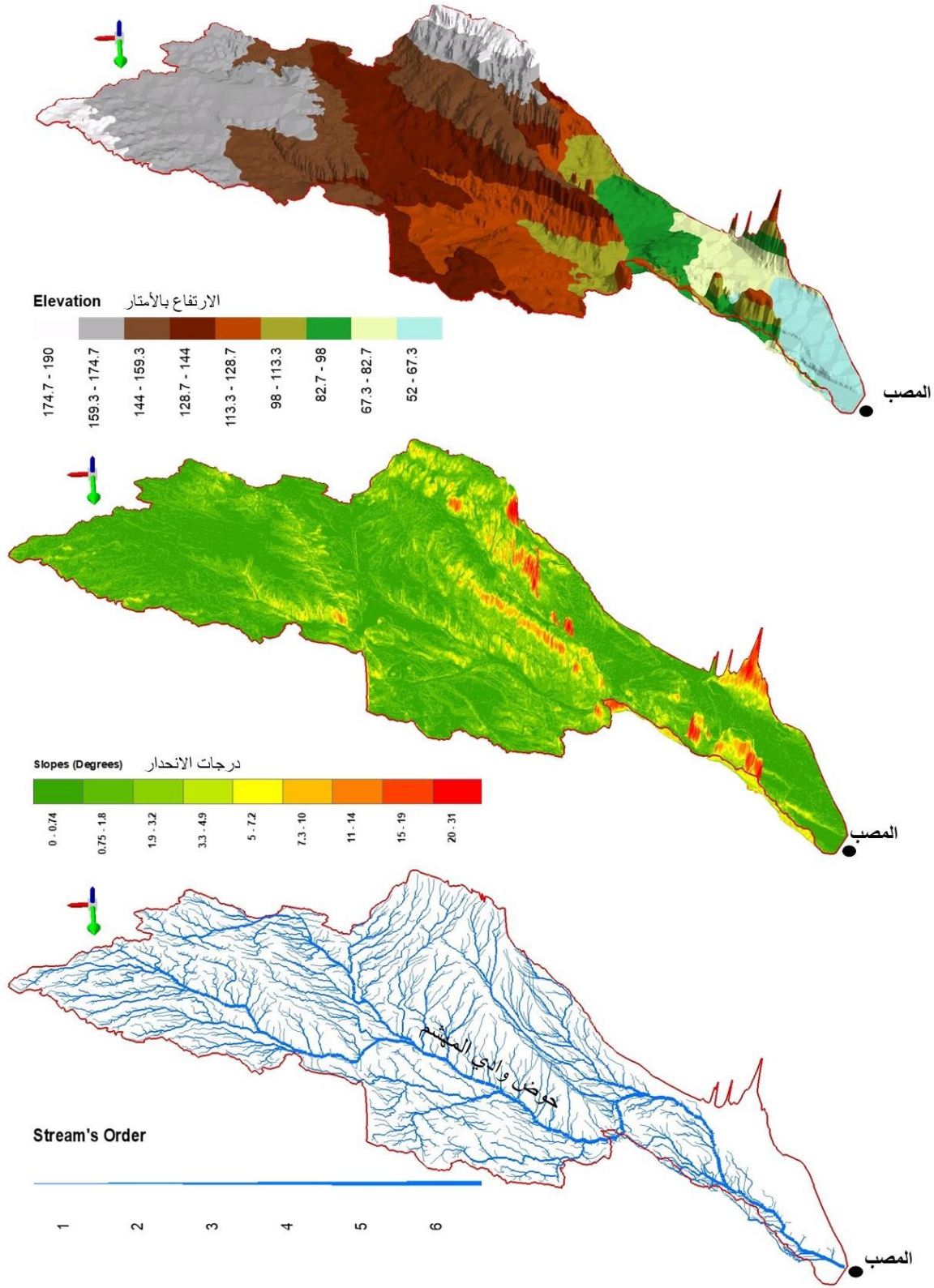
يقع حوض وادي المهشم بالجانب الشمالي من منطقة الدراسة، وتبلغ مساحته 134.95 كم² ويتميز بشدة التضرس وانحدار جوانب المجاري المائية، ويعد أحد أحواض التصريف غير المستغلة نظرًا لوعورة الوادي وشدة التضرس وضيق المجري الرئيس، وقد تم تطبيق نموذج ثلاثي الأبعاد 3D TIN's على هذا الوادي لدراسة العلاقة بين خصائص الانحدار وحافات جوانب الأودية ودراسة الخصائص الهيدرولوجية السطحية للوادي، كما يتضح من شكل (19). وقد تم الاستفادة من تقنية النمذجة التضاريسية ثلاثية الأبعاد لهذا الحوض في اختيار موقع سد لحماية المنطقة من أخطار السيول، وإدارة مياه الفيضان وتخزينها في خزان سطحي، كما يتضح في شكل (20). ويعد اختيار مواقع السدود والخزانات السطحية من أهم تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد لاعتمادها على معايير مكانية متعددة متمثلة في الارتفاعات والانحدارات وتقسيم السطح والتراكيب الجيولوجية والتربة، وفي هذه الدراسة تم اختيار موقع لإنشاء سد عند منسوب 115م ويبلغ ارتفاعه 20 مترًا لإنشاء خزان بمساحة 1.78 كم² وسعة تخزينية تبلغ (12404591,62) متر مكعب عند منسوب 110 متر، وتبلغ سعته التخزينية (30245428) متر مكعب عند منسوب 120متر.



شكل (19) مقترح انشاء سد وخزان لحوض وادي المهشم (بالجانب الشرقي لمركز بني مزار) لإدارة مياه السيول والتنمية الزراعية

(أ) مجسم تضاريسي لحوض وادي المهشم، (ب) موقع السد والخزان المقترحين، (ج) تصميم ثلاثي الأبعاد للسد عند منسوب 115م، (د) مجسم طبوغرافي للخزان والسد

المصدر: من عمل الباحث.

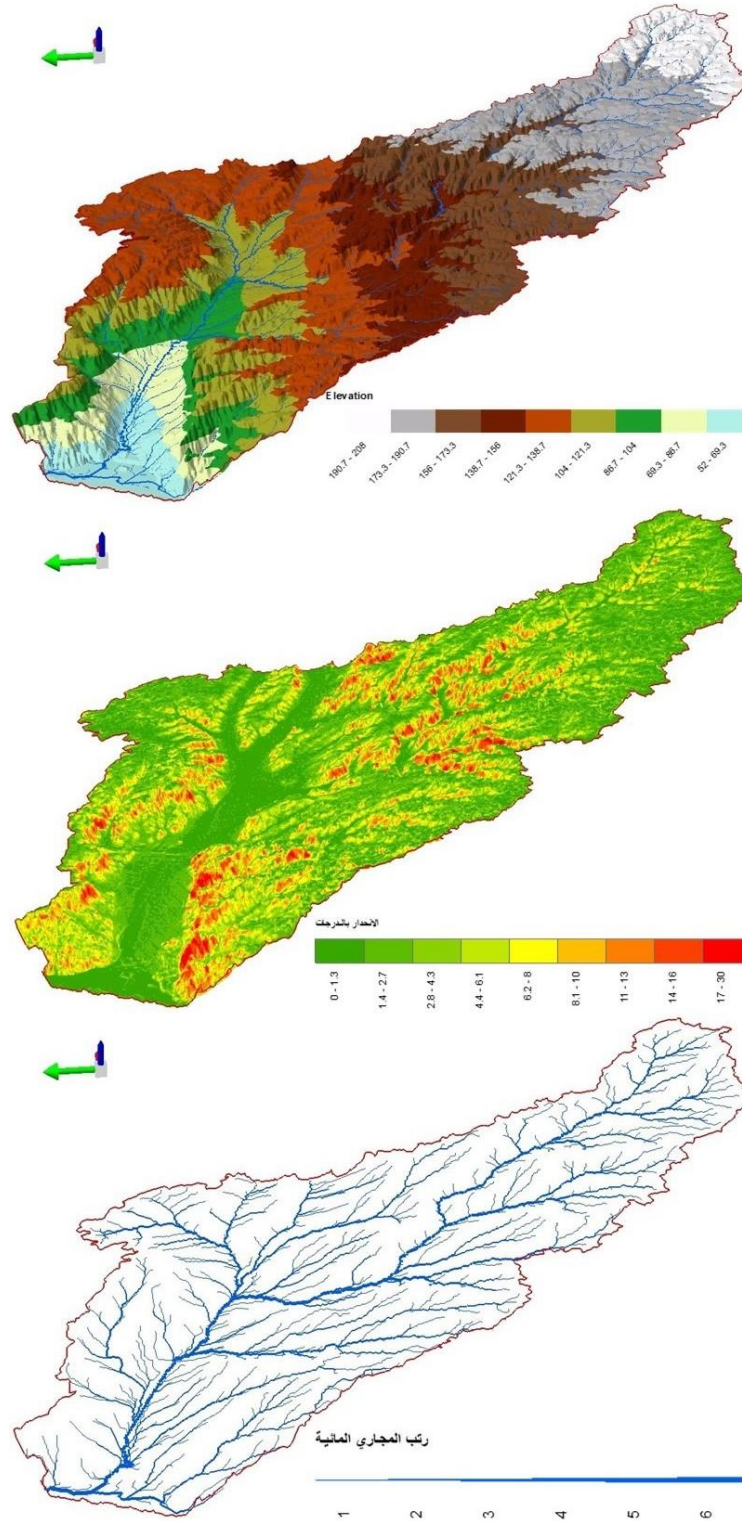


شكل (20) النمذجة التضاريسية لحوض وادي المهشم بالجانب الشرقي لمركز بني مزار

المصدر: من عمل الباحث.

1- حوض وادي السريرية

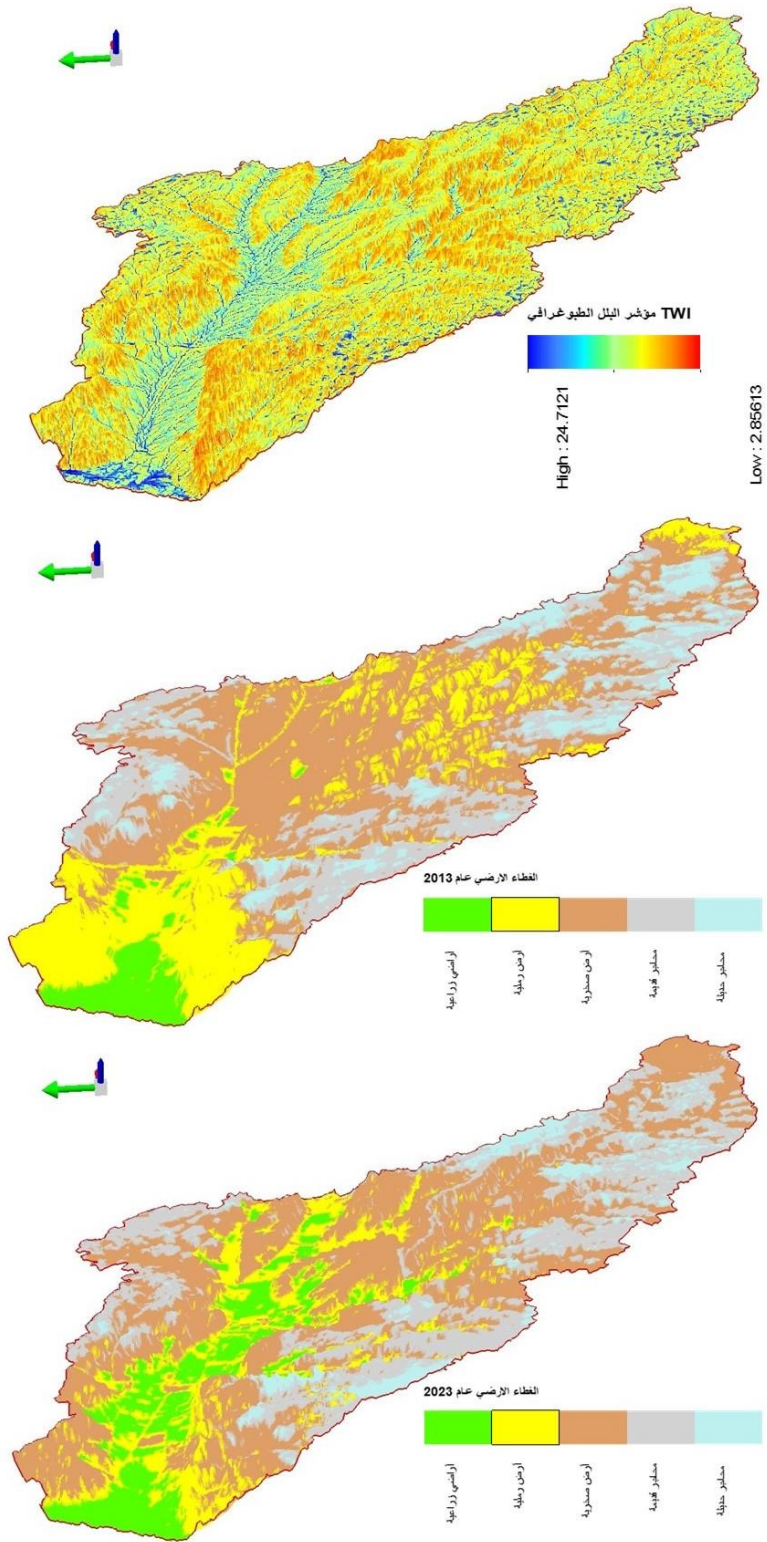
يعد حوض وادي السريرية أحد أهم أحواض التصريف المتوسطة المساحة بمنطقة الدراسة، حيث بلغت مساحته 87.9 كم² ويقع بالجانب الشرقي لمدينة سمالوط، ويتميز بوادي عريض ويعد أقل تضرراً، كما يتضح من شكل (21). وقد تم دراسة العلاقة المكانية بين مؤشر الرطوبة السطحية الطبوغرافي وتغيرات الغطاء الأرضي داخل الحوض، كما يتضح من شكل (22). ويتضح من التحليل أن المناطق عالية الرطوبة السطحية والتي تكون عرضة لتسرب مياه الأمطار ربما تكون مفيدة في عملية استصلاح الأراضي والتنمية الزراعية، وهو ما يتضح من خريطة تغير الغطاء الأرضي بالحوض والتي توضح امتداداً للأراضي الزراعية المستصلحة خلال الفترة من 2013 حتى 2023م فوق النطاقات العالية الرطوبة، ويعد هذا مؤشر جيد يمكن الاعتماد عليه في المناطق الصحراوية للتعرف على مكامن المياه الجوفية، والمياه تحت السطحية المتسربة من السيول. وقد استخدم هذا المؤشر في العديد من الدراسات حول العالم لدراسة المناطق الرطبة داخل أحواض التصريف بهدف التنمية المستدامة، وقد تم الإشارة سابقاً إلى معادلة وطريقة حساب مؤشر الرطوبة السطحية الطبوغرافي TWI في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، والموضح في شكل (9).



شكل (21) النمذجة التضاريسية الرقمية ثلاثية الأبعاد لحوض وادي السريرية

بالجانب الشرقي لمركز سمالوط

المصدر: من عمل الباحث.

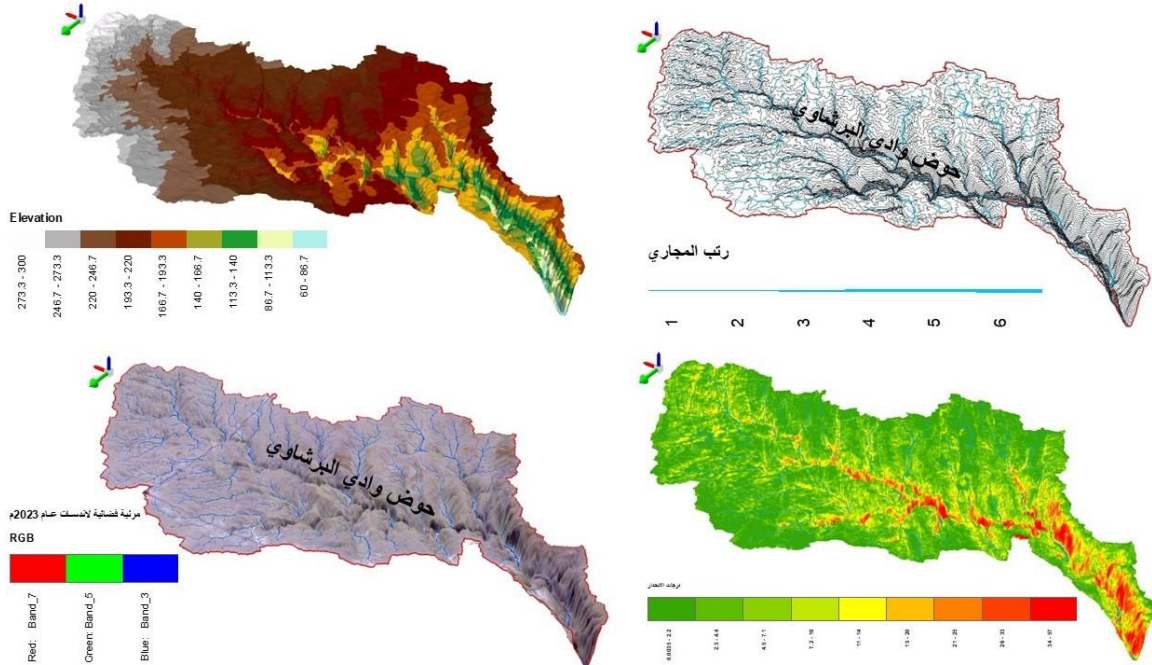


شكل (22) الربط المكاني ثلاثي الأبعاد بين مؤشر الرطوبة السطحية الطبوغرافي وتغيرات الغطاء الأرضي بحوض وادي السريرية (سمالوط) خلال الفترة من 2013-2023م

المصدر: من عمل الباحث.

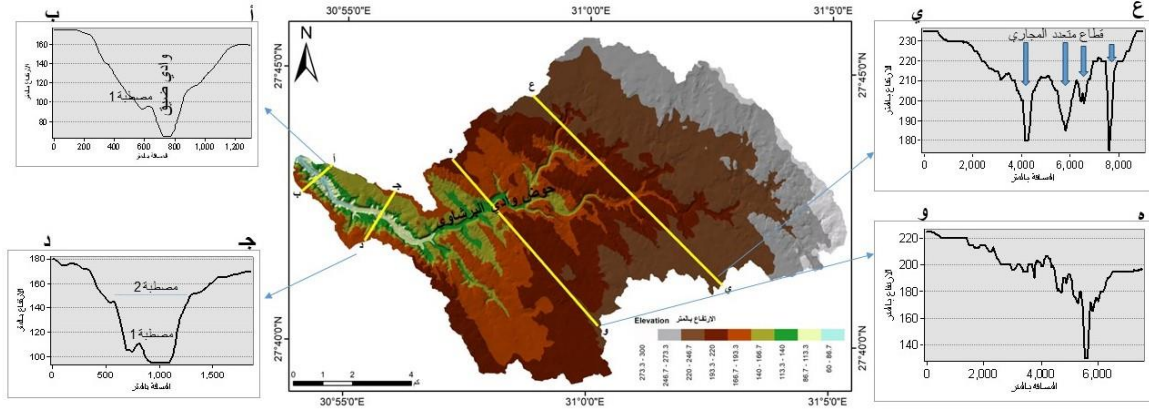
2- حوض وادي البرشاوي

يقع حوض وادي البرشاوي بالجانب الجنوبي من منطقة الدراسة، وتبلغ مساحته 109.7 كم²، ويعد هذا الوادي من أكثر أودية منطقة الدراسة تضرساً ووعورة، ويتميز المجرى الرئيس بالضيق الشديد مع انحدار جرفي لجوانب المجاري تصل إلى 90 درجة في بعض المواقع، وذلك كما يتضح من شكل (23) الذي يوضح نموذج تضاريسي ثلاثي الأبعاد للوادي، كما يوضح شكل (24) وعورة الوادي وشدة انحدار جوانب المجاري.



شكل (23) النمذجة التضاريسية ثلاثية الأبعاد لحوض وادي البرشاوي (شرق ملوي)

المصدر: من عمل الباحث.



شكل (24) الخصائص التضاريسية لحوض وادي البرشاوي (شرق ملوي)

المصدر: من عمل الباحث.

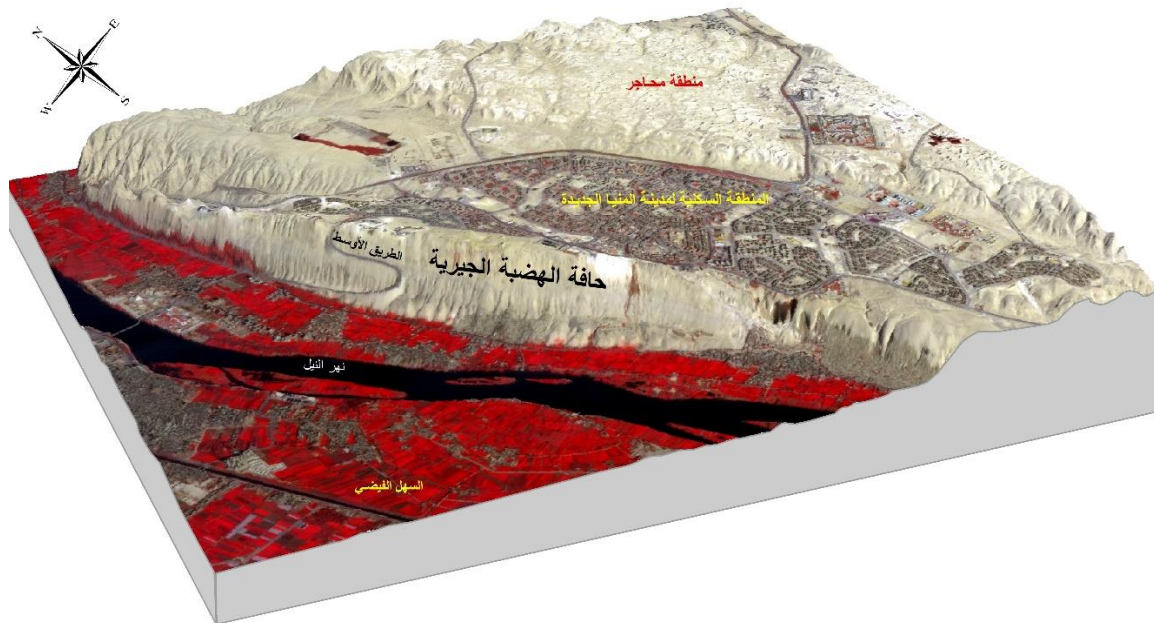
ويوضح شكل (24) الخصائص التضاريسية لحوض وادي البرشاوي، حيث يتضح من تحليل القطاعات التضاريسية وجود بعض مصاطب الأودية Terraces والتي توضح مراحل تطور حفر وتعميق الوادي، ونظرًا لضيق هذا الوادي وشدة انحداره فإنه يعتبر من أقل الأودية نصيبًا في التنمية العمرانية والزراعية. ثانيًا: تطبيقات النمذجة التضاريسية في التنمية والتخطيط المكاني

تعد النمذجة التضاريسية الرقمية الثلاثية الأبعاد أحد أحدث طرق المحاكاة والعرض ثلاثي الأبعاد للبيانات المكانية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية Spatial Simulation and Visualization والتي تساهم في فهم الطبيعة الجغرافية لمنطقة الدراسة، وتحديد العوامل والمحددات الطبوغرافية المؤثرة في محاور واتجاهات ومعدلات النمو العمراني والتنمية العمرانية والزراعية في الأقاليم الجبلية. وقد تزايد الاعتماد على النمذجة التضاريسية في التخطيط المكاني المستدام للمدن الذكية وتخطيط الطرق الصحراوية بأقل تكلفة¹. ويرى (Abdul Rahman et al., 2024) أن النمذجة التضاريسية والنماذج الثلاثية الأبعاد للمدن تقدم دعمًا غير محدود لإدارة المدن واتخاذ القرارات. ويعتمد تقييم الملائمة الأرضية Land Suitability Evaluation لمواقع المشروعات التنموية على النمذجة التضاريسية (Baroudy, 2016). كما تستخدم النمذجة التضاريسية في تصميم المطارات، حيث تم

¹ <https://mapscaping.com/urban-planning-and-digital-elevation-modeling-for-designing-cities/> (access on February 3, 2024)

تطوير برامج محاكاة للتضاريس لإنتاج خرائط الظلال الأرضية عن طريق تحديد اتجاه الإضاءة وانعكاس ظل التضاريس وتحديد مسار اقلاع وهبوط الطائرات¹.

كما تساعد النمذجة التضاريسية DTM في تصميم Construction واختيار أفضل المسارات لمد الطرق والسكك الحديدية لتحقيق أقصر مسار وأقل كلفة ممكنة (Babić and Ljutić, 2011) ، وأكثر استدامة وأمناً لمسارات الطرق الصحراوية. كما تساهم النمذجة التضاريسية في تحديد نطاقات أخطار الانهيارات الصخرية Rockfall Susceptibility، ورسم أخطار الجريان السيلي وتأثيرها على المنشآت والمدن الصحراوية. ويوضح شكل (25) مجسم ثلاثي الأبعاد للمحددات التضاريسية لمدينة المنيا الجديدة عام 2024م.



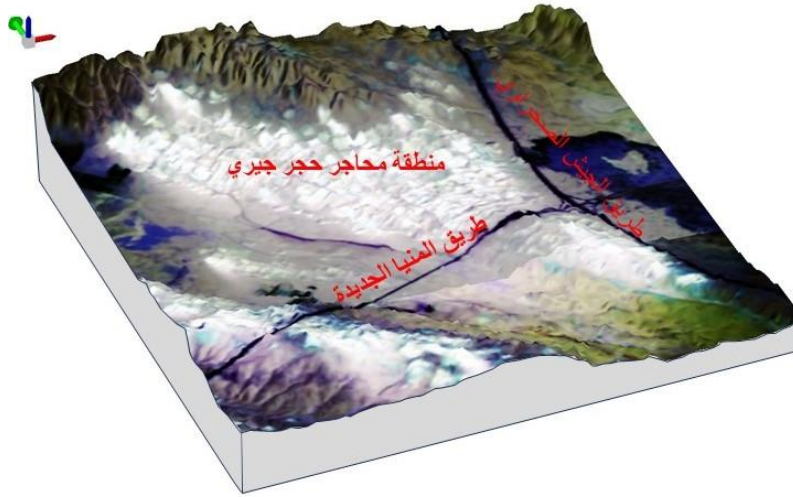
شكل (25) مجسم تضاريسي ثلاثي الأبعاد لمنطقة مدينة المنيا الجديدة عالي الدقة

المصدر: من عمل الباحث، بالاعتماد على مرئيات PlanetScope 2024 (دقة مكانية 3 متر)، ونماذج الارتفاع الرقمية المستخرجة من المرئية Sentinel-1 SAR 2023

ثالثاً: التغييرات الطبوغرافية الناتجة عن الأنشطة البشرية بمنطقة الدراسة

¹ <https://shillongdesign.com.au/the-use-of-digital-terrain-models-for-road-and-highway-construction/> (access on February 3, 2024)

تؤثر الأنشطة البشرية على الخصائص الطبوغرافية والجيومورفولوجية لمنطقة الدراسة، حيث تزايدت خلال الفترة الأخيرة العديد من الأنشطة البشرية المتمثلة في أعمال تحجير الحجر الجيري، وأيضا التوسع في أعمال الانشاءات العمرانية للمدن الجديدة، ومد الطرق الصحراوية والسكك الحديدية. وتعد النمذجة التضاريسية الرقمية ثلاثية الأبعاد أحد أحدث طرق تحليل التغييرات الطبوغرافية الطارئة سواء بفعل التغييرات المناخية أو الأنشطة البشرية. وتم تطبيق النمذجة التضاريسية الرقمية بكفاءة عالية في دراسة التغييرات الطبوغرافية الناتجة عن الثلجات الجليدية (Quincey et al., 2014)، كما اعتمد الباحثون على تقنيات النمذجة التضاريسية الرقمية ثلاثية الأبعاد في دراسة التغييرات الطبوغرافية وتعرية الأسطح Surface Deformation ودراسة الحركة الرأسية للسطح بالاعتماد على مرئيات الرادار InSAR (Ma et al., 2023). وتؤدي التغييرات الطبوغرافية إلى إحداث تعديلات على السطح وتغير أشكال واتجاهات خطوط الكنتور، حيث تعد منطقة الدراسة من أكثر المناطق تعرضًا لخطر التغييرات الطبوغرافية الناتجة عن فعل الأنشطة البشرية وقد تم تطبيق النمذجة التضاريسية ثلاثية الأبعاد لدراسة التغييرات الطارئة بفعل المحاجر بمنطقة الدراسة خلال الفترة من 2000م حتى 2023م كما يتضح من لوحة (3) وشكل (26) وشكل (27). الذي اعتمد على الطرح الجبري للنماذج التضاريسية خلال فترتين زمنيتين متتاليتين لتحديد المناطق التي تعرضت للتغييرات الطبوغرافية الحجمية بالزيادة والنقصان.



شكل (26) يوضح مجسم لمنطقة تعرضت لتغييرات طبوغرافية بفعل محاجر الحجر الجيري بالجانب الشرقي لمدينة المنيا خلال الفترة من 2000م حتى 2023م

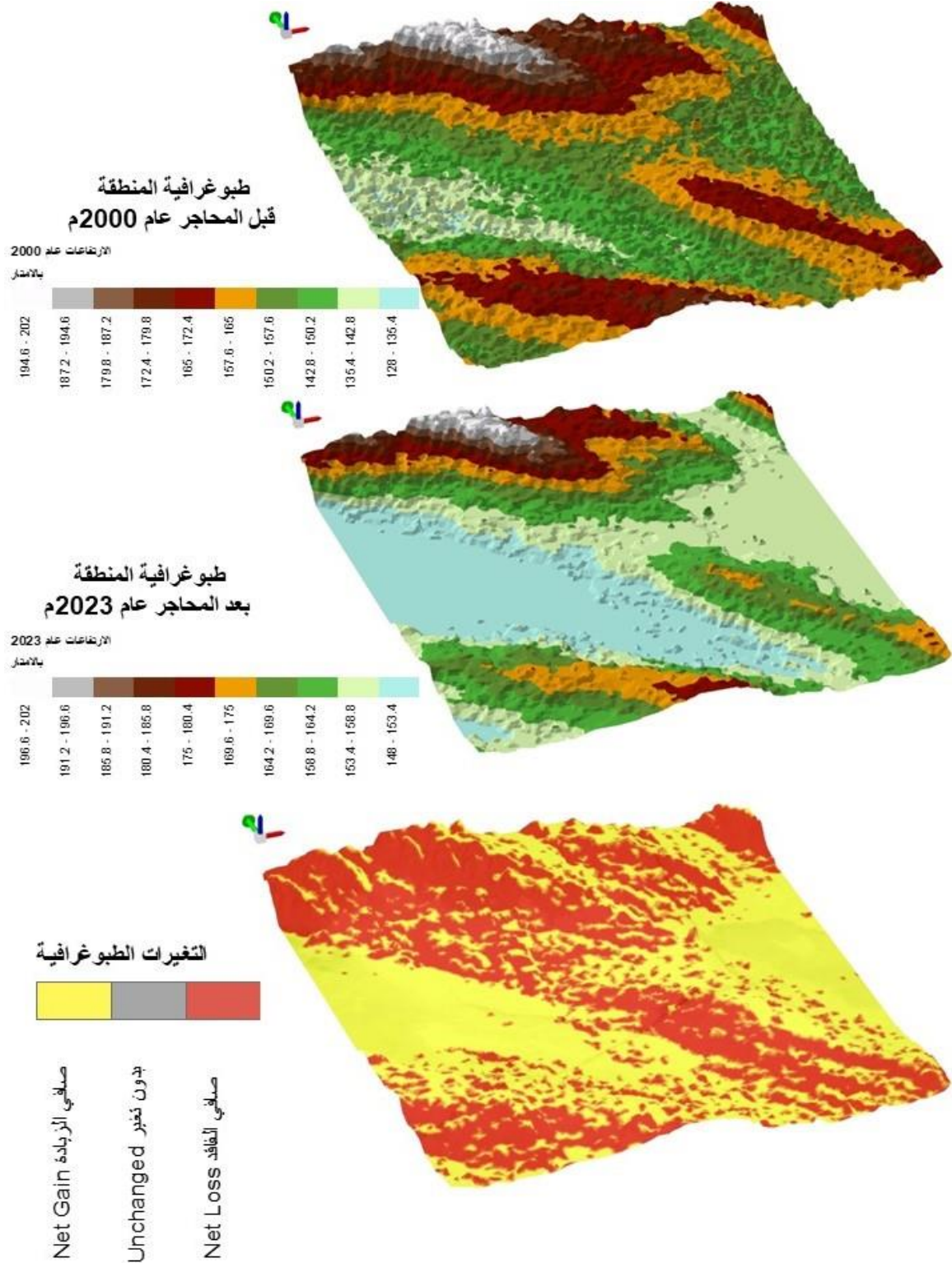
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مرئية فضائية لاندسات-9 ملتقطة عام 2023م



لوحة (3) توضح التغييرات الطبوغرافية الناتجة عن الأنشطة البشرية بالجانب الشرقي

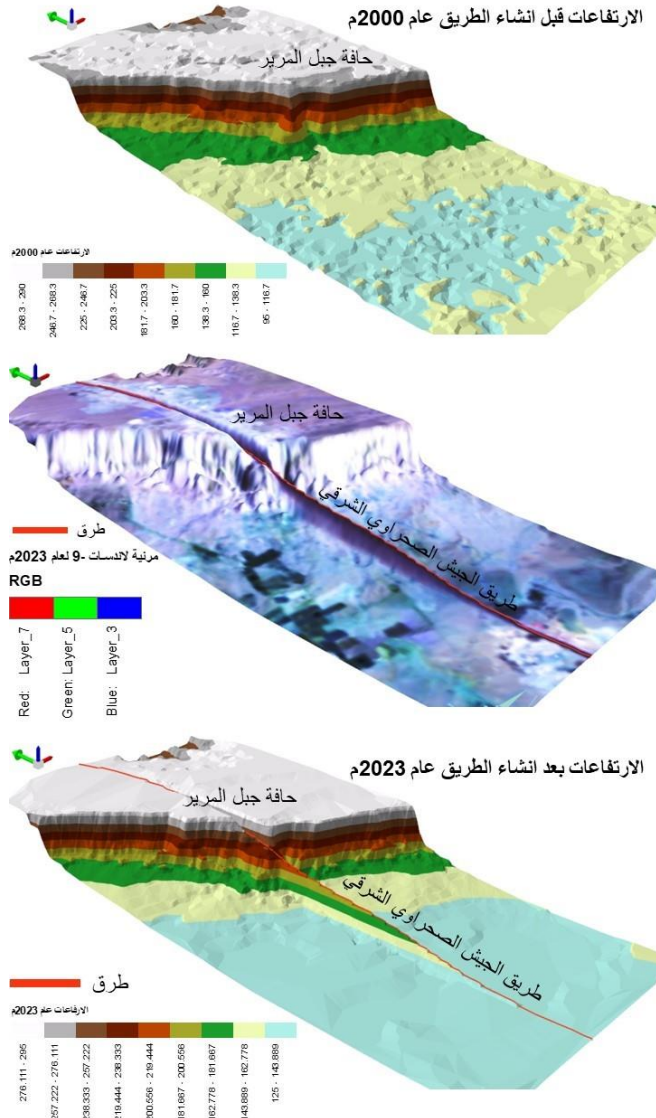
لمدينة المنيا

- أ- محاجر حجر جيري بمنطقة كمين الصفا-المنيا الجديدة ب- محجر حجر جيري تم الانتهاء منه
ج- طريق يقطع حافة جبر المرير د- تساقط الكتل الصخرية على المحلات العمرانية بقرية الشرفا



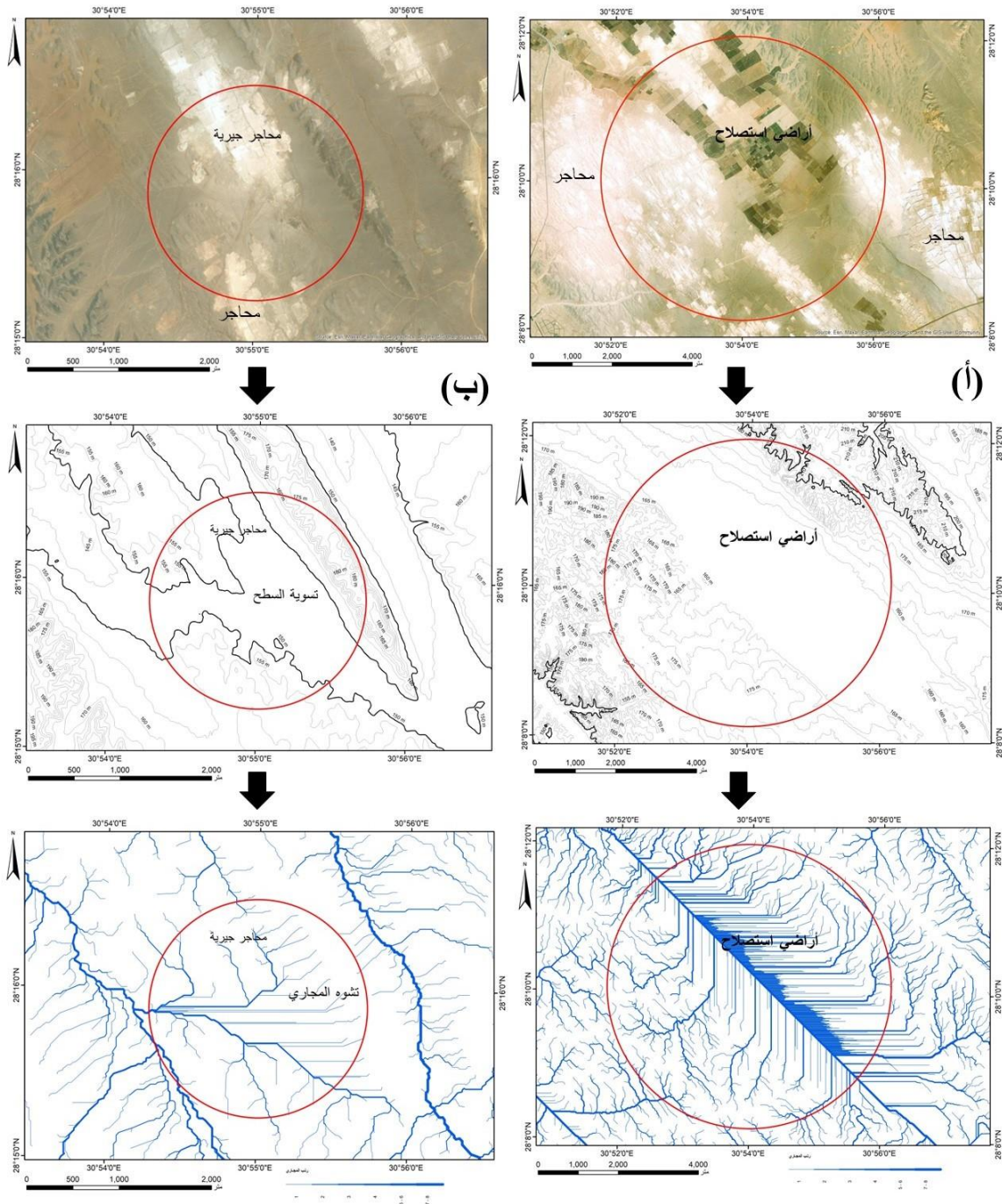
شكل (27) تطبيقات النمذجة التضاريسية الرقمية ثلاثية الأبعاد في رصد التغييرات الطبوغرافية بفعل الأنشطة البشرية بالجانب الشرقي لمدينة المنيا

المصدر: نماذج الارتفاع الرقمية الفضائية الملتقطة عام 2000م وعام 2023م
ويوضح شكل (28) التغييرات الطبوغرافية الناتجة عن مد الطريق الصحراوي الشرقي (الجيش) وقطع حافة جبل المرير وتعلية جوانب الطريق مما عمل على إحداث تغييرات طبوغرافية في المنطقة وأثر على شكل وامتداد خطوط الكنتور. ومن ناحية أخرى فإن التغييرات الطبوغرافية بفعل الأنشطة البشرية تتسبب في إحداث تشويه في الخصائص الجيومورفولوجية للسطح وأيضاً تشويه في المجاري المائية ونظام الصرف والجريان السطحي Runoff، كما يتضح من شكل (29) الذي يوضح التشويه في المجاري المائية بفعل التحجير واستصلاح الأراضي بمنطقة الدراسة.



شكل (28) يوضح التغييرات الطبوغرافية الناتجة عن إنشاء الطريق الصحراوي الشرقي خلال الفترة من 2000م حتى 2023م

المصدر: من عمل الباحث.



شكل (29) يوضح التشوه الهيدرولوجي في المجاري المائية الناتج عن التغييرات الطبوغرافية بفعل الأنشطة البشرية (أ- استصلاح الأراضي، ب- التحجير)

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مرئيات ESRI عالية الدقة ونماذج الارتفاع الرقمية Sentiene1-1 SAR DEM 2023 (10m spatial resolution)

الخاتمة والتوصيات Conclusion and Recommendations

اهتمت هذه الدراسة بتطبيق أحد أحدث طرق تحليل ونمذجة الخصائص التضاريسية لسطح الأرض في بيئة نظم المعلومات الجغرافية وهي النمذجة التضاريسية الرقمية الثلاثية الأبعاد 3D Terrain Modeling والتي هدفت إلى عرض ومحاكاة البيانات المكانية في صورة ثلاثية الأبعاد من أجل تحليل وربط وتكامل البيانات الطبوغرافية والجيولوجية والجيومورفولوجية لسطح الأرض. وقدمت هذه الدراسة عرضاً لطرق النمذجة الكارتوجرافية الرقمية ثلاثية الأبعاد باستخدام شبكات المثلثات غير المنتظمة TIN's، وتم تطبيقها على العديد من أشكال سطح الأرض بمنطقة الدراسة، فقد تم تطبيقها على الحافات Cliffs، ودراسة خصائصها الجيومورفومترية المتمثلة في مدرجات الحافات القديمة ودرجات الانحدار والتقوس ودراسة العلاقة بين الحافات وتخطيط الطرق والمحلات العمرانية ودراسة المواقع الأثرية على الحافات. وتم تطبيقها على جبل قرارة ودراسة تأثير الارتفاعات على منحنيات الطريق وتغير الغطاء الأرضي بالمنطقة خلال الفترة من 2013 حتى 2023م كما تشير الدراسة إلى أن النمذجة التضاريسية الرقمية ثلاثية الأبعاد يمكن أن تستخدم في دراسة العلاقة بين الخصائص التضاريسية وتغيرات الغطاء الأرضي بالمراوح الفيضية ودراسة الخصائص المورفومترية والتضاريسية والهيدرولوجية لأحواض التصريف، وقد تم تطبيقها على ثلاثة أحواض تصريف بمنطقة الدراسة وهي حوض وادي المهشم، وقد تم اقتراح سد وخزان للحماية من السيول والفيضانات وتخزين مياه السيول وحصادها للاستفادة منها في التنمية الزراعية، كما تم تطبيق النمذجة التضاريسية الرقمية ثلاثية الأبعاد على حوض وادي السريرية؛ حيث أثبتت الدراسة أن هناك علاقة ارتباط طردية وثيقة بين مؤشر الرطوبة السطحية الطبوغرافي للحوض وأنماط التغير في الغطاء الأرضي داخل الحوض، أما حوض وادي البرشاوي الذي يعد من أكثر الأحواض وعورة فقد أتضح من الدراسة أن النمذجة التضاريسية الرقمية يمكن أن تساعد في فهم خصائص مصاطب الوادي ودراسة الخصائص الجيومورفومترية للحوض. كما تم عرض أهمية تقنية النمذجة التضاريسية الرقمية ثلاثية الأبعاد في التخطيط والتنمية المستدامة، وتم تطبيقها في تحديد محاور النمو العمراني لمدينة المنيا الجديدة بالاعتماد على مرئية فضائية عالية الدقة للقمر الصناعي PlanetScope، ومن أهم تطبيقات الحديثة لنظم المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد دراسة التغيرات الطبوغرافية لسطح الأرض بالاعتماد

على نماذج الارتفاع الرقمية الملتقطة على فترات زمنية متتالية وخاصة بعد ظهور القمر الصناعي الأوروبي Sentinel-1 والذي يحمل باند SAR-VV الذي يحمل بيانات راداريه يمكن من خلالها الحصول على بيانات تضاريس سطح الأرض بدقة أفقية 10متر ، وهي تعد من أحدث البيانات المجانية المصدر والتي يمكن استخدامها في الحصول على بيانات حديثة لتضاريس سطح الأرض مقارنة ببيانات مهمة ناسا لتصوير سطح الأرض SRTM التي مسحت معظم سطح الأرض بدقة 30 م خلال الفترة من 1-11 فبراير 2000م.

ومن ناحية أخرى فإن النمذجة التضاريسية الرقمية ثلاثية الأبعاد أصبحت أكثر أهمية واستخداما كنتيجة لزيادة البيانات المكانية التي تحمل قيم البعد الثالث للأرض وأيضا تقنيات التصوير الجوي الفائق الدقة LiDAR والتصوير الجوي باستخدام المركبات الغير المأهولة UAV's. ونظراً للتزايد الكبير في الاعتماد على البيانات الرقمية الدقيقة لسطح الأرض والتي تحمل قيم مناسبة لسطح الأرض والتي يمكن من خلالها نمذجة ومحاكاة سطح الأرض في صورته الحقيقية لفهم خصائص السطح، فإن هذه الدراسة توصي صناع القرار والباحثين بالأخذ في الاعتبار البعد الثالث لتضاريس سطح الأرض عن طريق تطبيق النمذجة التضاريسية الرقمية ثلاثية الأبعاد كأحد أحدث طرق التمثيل الرقمي عند البدء في التخطيط للمشروعات القومية ومشروعات التنمية والتعمير في المناطق الصحراوية والجبلية، كما يمكن الاعتماد عليها في حماية المواقع الأثرية، والتخطيط لمد شبكات الطرق بأقل كلفة وأقصر مسار، والتخطيط لإنشاء المدن الجديدة بصفة مستدامة، والحماية من الأخطار الطبيعية المتمثلة في السيول والانهيئات الصخرية، ودراسة التغييرات الطبوغرافية الناشئة عن الأنشطة البشرية وتأثيرها على البيئة.

المراجع العربية

1. الأسمرى، عبد الله حسن محمد (2017). "إنشاء نموذج ارتفاعات رقمي واستخدامه في تطبيقات ومنتجات نظم المعلومات الجغرافية". مجلة مركز الخدمة للاستشارات البحثية واللغات، مجلد 19، العدد 55. 10.21608/jocr.2017.128295.10.21608
2. الجابري، علي خليل خلف غضا والمعاضدي، أوس طلك مشعان والجابري، مزهر مجبل نهر (2019). "نمذجة طبوغرافية بحيرة الثرثار من الخرائط الطبوغرافية في نظم المعلومات الجغرافية". العدد الخاص، ج. 1 (2019)، ص ص. 1244-1215. بغداد، العراق: الجامعة العراقية، كلية الآداب. <https://search.emarefa.net/detail/BIM-1217814>.

3. **الحربي، نوير مسري ناعم** (2016). "نمذجة الخصائص التضاريسية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية دراسة تطبيقية على وادي ملكان". *المجلة المصرية للتغير البيئي، المجلد الثامن (1)* مارس.
4. **خطاب، محمد إبراهيم وسليم، مها كمال** (2021). "النمذجة الهيدرولوجية للسيول في حوض وادي القرن شرق ققط بالصحراء الشرقية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية". *المجلة الجغرافية العربية، العدد 52 (77)، ص ص. 1-59*.
5. **خير الله، حافظ عيسى** (2013). "استخدام نظم المعلومات الجغرافية في إنشاء وتمثيل الارتفاع الرقمي لمنطقة الكفرة جنوب شرق ليبيا". *مجلة كلية الآداب، جامعة بنغازي، ليبيا، العدد 38، ص ص. 87-112*.
6. **سروجي، كمال سروجي درويش** (2023). "تطبيقات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية في التحليل المكاني-الزمني لتأثير الخصائص الجيومورفولوجية على النمو العمراني بمنطقة المنيا خلال الفترة 1973-2023 م". *مجلة مركز البحوث والدراسات الكارتوجرافية، المجلد 20، العدد 37*.
7. **السفري، نادية بنت عوض والغامدي، علي بن معاضة** (2021). "منهجية خرائطية مقترحة لاستخراج شبكات مجاري مائية من نماذج الارتفاع الرقمية". *مجلة كلية الآداب والعلوم الاجتماعية، مج. 12، ع. 2، ص ص. 57-69*. <https://search.emarefa.net/detail/BIM-1341811>.
8. **عباس، علي عبد وعلي، صباح حسين** (2006). "استخدام نظم المعلومات الجغرافية في إنشاء وتمثيل بيانات نموذج الارتفاع الرقمي لنماذج مختارة من شمال العراق". *التربية والعلم: مجلة علمية للبحوث التربوية والإنسانية، مج. 13، ع. 2، ص ص. 41-56*. <https://search.emarefa.net/detail/BIM-975915>.
9. **غريبي، مشتاق أحمد** (2020). "تحليل الخصائص الجيومورفومترية في حوض وادي جران إقليم الجزيرة-محافظة الأنبار". *المجلة العراقية لدراسات الصحراء، مج. 10، ع. 2، ص ص. 43-66*. <https://search.emarefa.net/detail/BIM-1265786>.

المراجع الأجنبية

1. Abdul Rahman, S. A. F., Abdul Maulud, K. N., Ujang, U., Wan Mohd Jaafar, W. S., Shaharuddin, S., & Ab Rahman, A. A. (2024). The Digital Landscape of Smart Cities and Digital Twins: A Systematic Literature Review of Digital Terrain and 3D City Models in Enhancing Decision-Making. *SAGE Open*, 14(1). <https://doi.org/10.1177/21582440231220768>
2. Abdul-Rahman, A., & Pilouk, M. (2008). The Fundamentals of Geo-Spatial Modelling. In: *Spatial Data Modelling for 3D GIS*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74167-1_4
3. Al-Ghafoud, A.I., & Al dulaimi, A.M.K (2021). Modeling of the Terrain features of Zliten water basins (Kaam-mager) using GIS, *Turkish Journal of*

- Computer and Mathematics Education (TURCOMAT), 12(10), 4880–4897. <https://doi.org/10.17762/turcomat.v12i10.5250>
4. Allen, D. W. (2011). Getting to know ArcGIS modelBuilder. Esri Press.
 5. Babić, M., Petrović, D., Sodnik, J., Soldo, B., Komac, M., Chernieva, O., Kovačič, M., Mikoš, M., & Calì, M. (2021). Modeling and Classification of Alluvial Fans with DEMs and Machine Learning Methods: A Case Study of Slovenian Torrential Fans. *Remote Sens*, 13, 1711. <https://doi.org/10.3390/rs13091711>
 6. Babić, S., & Ljutić, K. (2011). Digital Terrain Model Application in Road Planning and Design. Conference: CETRA - International conference on Road and Rail Infrastructure At: Opatija, Croatia Volume: 1.
 7. Baldi, P., Fabris, M., Marsella, M., Monticelli, R., & Achilli, V. (2006). Application of digital terrain model to volcanology. *Ann Geophys* 49(4–5):1059–1066
 8. Behrens, T., Zhu, A. X., Schmidt, K., & Scholten, T. (2010). Multi-scale digital terrain analysis and feature selection for digital soil mapping. *Geoderma*, 155(3–4), 175–185.
 9. Beven, K. J., & Kirkby, M.J. (1979). A Physically Based, Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology. *Hydrological Science Bulletin*, 24 (1), 43–69. <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>
 10. Chen, C., Shuai, Y., & Yanyan, L. (2020). Accuracy Assessment and Correction of SRTM DEM Using ICESat/GLAS Data under Data Coregistration" *Remote Sensing* 12, no. 20: 3435. <https://doi.org/10.3390/rs12203435>
 11. Darwish, K., & Smith, S. (2023). Landsat-Based Assessment of Morphological Changes along the Sinai Mediterranean Coast between 1990 and 2020" *Remote Sensing* 15, no. 5: 1392. <https://doi.org/10.3390/rs15051392>
 12. Das, S., Patel, P. P., & Sengupta, S. (2016). Evaluation of different digital elevation models for analyzing drainage morphometric parameters in a mountainous terrain: a case study of the Supin–Upper Tons Basin, Indian Himalayas. *SpringerPlus* 5, 1544. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3207-0>

13. Drisya, J., & Roshni, T. (2018). Spatiotemporal variability of soil moisture and drought estimation using a distributed hydrological model. In: Integrating disaster science and management. Elsevier, pp 451–460
14. El Baroudy, A. A. (2016). Mapping and evaluating land suitability using a GIS-based model. *Catena*, 140, 96-104.
15. Florinsky, I. (2016). Digital terrain analysis in soil science and geology. Academic Press.
16. Forkuo, E. K. (2008). Digital terrain modeling in a GIS environment. *International archives of Photogrammetry Remote Sensing Spatial Inf Sci*: 151–160
17. Galin, E., Guérin, E., Peytavie, A., Cordonnier, G., Cani, M. P., Benes, B., & Gain, J. (2019). A review of digital terrain modeling. In *Computer Graphics Forum* (Vol. 38, No. 2, pp. 553-577).
18. Ghannadi, M. A., Alebooye, S., Izadi, M., & Moradi, A. (2022). A method for Sentinel-1 DEM outlier removal using 2-D Kalman filter, *Geocarto International*, 37:8, 2237-2251, DOI: 10.1080/10106049.2020.1815866
19. Goodchild, M. F. (2001). Metrics of scale in remote sensing and GIS. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 3(2):114–120
20. Guth, P. L., Van Niekerk, A., Grohmann, C. H., Muller, J. P., Hawker, L., Florinsky, I. V., ... & Strobl, P. (2021). Digital Elevation Models: Terminology and Definitions. *Remote Sens*, 13: 3581. <https://doi.org/10.3390/rs13183581>
21. Habtu, W., & Katihally, J. (2023). Terrain mapping and analysis for land management: the case of Megech-Dirma watershed, sub-basin of the Blue Nile basin, Northwest Ethiopia. *Arab J Geosci*, 16, 64. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-11110-5>
22. Hawker, L., Bates, P., Neal, J., & Rougier, J. (2018). Perspectives on digital elevation model (dem) simulation for flood modeling in the absence of a high-accuracy open access global DEM. *Front Earth Sci*, 6: 233. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00233>
23. Hirt, C. (2014). Digital terrain models. *Encycl Geodesy*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02370-0_31-1
24. Isioye, O. A., et al. (2012). Terrain Analysis in GIS and Its Significance to Surface Runoff Analysis (A Study of Basawa Community in Sabon Gari

- LGA of Kaduna State, Nigeria). *International Journal of Advanced Scientific Engineering and Technological Research*, 1(1).
25. Jordan, G. (2007). *Digital Terrain Analysis in a GIS Environment. Concepts and Development*. In: Peckham, R.J., Jordan, G. (eds) *Digital Terrain Modelling. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-36731-4_1
 26. Keller, E., Adamaitis, C., Alessio, P., Anderson, S., Goto, E., Gray, S., Gurrola, L., & Morell, K. (2020). *Applications in Geomorphology*. *Geomorphology*, 366, 106729.
 27. Kim, J. R., Lin, S. Y., Muller, J. P., Warner, N. H., & Gupta, S. (2013). Multi-resolution digital terrain models and their potential for Mars landing site assessments. *Planetary and Space Science*, 85, 89-105.
 28. Klimánek, M. (2006). Optimization of digital terrain model for its application in forestry. *JOURNAL OF FOREST SCIENCE*, 52(5), 233–241.
 29. Kopecký, M., Macek, M., & Wild, J. (2021). Topographic Wetness Index calculation guidelines based on measured soil moisture and plant species composition. *Science of the Total Environment*, 757, 143785.
 30. Lacroix, M.P., Martz, L.W., Kite, G.W., & Garbrecht, J. (2002). Using digital terrain analysis modeling techniques for the parameterization of a hydrologic model. *Environ Model Softw* 17:127–136
 31. Laonamsai, J., Julphunthong, P., Saprathet, T., Kimmany, B., Ganchanasuragit, T., Chomcheawchan, P., Tomun, N. (2023). Utilizing NDWI, MNDWI, SAVI, WRI, and AWEI for Estimating Erosion and Deposition in Ping River in Thailand. *Hydrology*. 10(3):70. <https://doi.org/10.3390/hydrology10030070>
 32. Li, J., Zhao, Y., Bates, P., Neal, J., Tooth, S., Hawker, L., & Maffei, C. (2020). Digital Elevation Models for topographic characterization and flood flow modelling along low-gradient, terminal dryland rivers: A comparison of spaceborne datasets for the Río Colorado, Bolivia. *Journal of Hydrology*, 591, 125617.
 33. Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
 34. Ma, S., Qiu, H., Zhu, Y., Yang, D., Tang, B., Wang, D., Wang, L., & Cao M. (2023). *Topographic Changes, Surface Deformation and Movement Process*

- before, during and after a Rotational Landslide. *Remote Sensing*, 15(3), 662. <https://doi.org/10.3390/rs15030662>
35. Mach, R., & Petschek, P. (2007). 3D Visualization of Terrain Data. In: *Visualization of Digital Terrain and Landscape Data*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-30491-3_3
 36. Martínez-del-Pozo, JÁ., Mayoral-Herrera, V., & Ortiz-Coder, P. (2013). Creating and Analysing Digital Terrain Models for Archaeological Research. In: Corsi, C., Slapšak, B., Vermeulen, F. (eds) *Good Practice in Archaeological Diagnostics. Natural Science in Archaeology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01784-6_13
 37. Mcfeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
 38. Megahed, Y., Cabral, P., Silva, J., & Caetano, M. (2015). Land Cover Mapping Analysis and Urban Growth Modelling Using Remote Sensing Techniques in Greater Cairo Region—Egypt. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 4, 1750-1769. <https://doi.org/10.3390/ijgi4031750>
 39. Meles, M.B., Younger, S.E., & Jackson, C.R. (2020). Wetness index based on landscape position and topography (WILT): modifying TWI to reflect landscape position. *J Environ Manag* 255:109863. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2019.109863>
 40. Mesa-Mingorance, J. L., & Francisco J. A. (2020). Accuracy Assessment of Digital Elevation Models (DEMs): A Critical Review of Practices of the Past Three Decades" *Remote Sensing* 12, no. 16: 2630. <https://doi.org/10.3390/rs12162630>
 41. Mosammam, H.M., Nia, J.T., Khani, H., Teymouri, A., & Kazemi, M. (2017). Monitoring land-use change and measuring urban sprawl based on its spatial forms: the case of Qom city Egypt. *J. Rem. Sens. Space Sci.*, 20 (1), 103-116.
 42. Quincey, D.J. et al. (2014). Digital Terrain Modeling and Glacier Topographic Characterization. In: Kargel, J., Leonard, G., Bishop, M., Käab, A., Raup, B. (eds) *Global Land Ice Measurements from Space*. Springer Praxis Books(). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-79818-7_5

43. Reuter, H.I., Hengl, T., Gessler, P., & Soille, P. (2009). Preparation of DEMs for Geomorphometric Analysis. In *Developments in Soil Organic Matter*; Elsevier BV: Amsterdam, The Netherlands; Volume 33, pp. 87–120.
44. Ruzínoor, C.M., Shariff, A.R.M., Mahmud, A.R., & Pradhan, B. (2011). 3D Terrain Visualisation for GIS: A Comparison of Different Techniques. In: Buchroithner, M. (eds) *True-3D in Cartography. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12272-9_18
45. Ruzinoor, C.M., Shariff, A.R.M., Pradhan, B., Rodzi Ahmad, M., & Rahim, M.S.M. (2012). A review on 3D terrain visualization of GIS data: Techniques and software. *Geo Spat. Inf. Sci.* 2012, 15, 105–115. <https://doi.org/10.1080/10095020.2012.714101>
46. Ryngnga, P. (2017). 3D Terrain Visualization of GIS Data for Analysis, *International Journal of Science and Research (IJSR)*, Volume 7 Issue 10, ISSN: 2319-7064 DOI: 10.21275/ART20191586
47. Saritha, G., Saravanan, T., Anbumani, K., & Surendiran, J. (2021). Digital elevation model and terrain mapping using LiDAR. *Materials Today: Proceedings*, 46, 3979-3983. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.525>
48. Seeruttun, S., & Crossley, C. P. (1997). Use of digital terrain modelling for farm planning for mechanical harvest of sugar cane in Mauritius. *Comput Electron Agric* 18(1):29–42
49. Shukla, D.P., Dubey, C.S., Ningreichon, A.S. et al. (2014). GIS-based morpho-tectonic studies of Alaknanda river basin: a precursor for hazard zonation. *Nat Hazards* 71, 1433–1452 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0953-y>
50. Siakavara, K., & Argialas, D. (2013). Automated identification of geomorphological and topographical features of the seabed by object based image analysis of digital terrain models. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*, 63-74.
51. Tomlin, D. C. (2012). *GIS and Cartographic Modeling*, Esri press, California, ISBN 9781589483095.
52. Tong, Z., Luo, Y., & Zhou, J. (2021). Mapping the urban natural ventilation potential by hydrological simulation. *Build. Simul.* 14, 351–364. <https://doi.org/10.1007/s12273-020-0755-6>

53. Triviño-Tarradas, P., Molina, D.F.G., Fernández, R.H., & Criado, I.C. (2022). Digital Representation of the Terrain Associated with an Archaeological Site: Case Study of the 'Baker's House' in Torreparedones. In: Cavas Martínez, F., Peris-Fajarnes, G., Morer Camo, P., Lengua Lengua, I., Defez García, B. (eds) *Advances in Design Engineering II. INGEGRAF 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92426-3_1
54. Udin, W. S., Hassan, A. F., Ahmad, K. N., & Tahar, A. (2012). Digital Terrain Model extraction using digital aerial imagery of Unmanned Aerial Vehicle 2012 IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and Its Applications, pp. 272-275
55. Weibel, R., & Heller, M. (1990). A framework for digital terrain modeling. In: 4th international symposium on spatial data handling. Zurich, Switzerland
56. Xiong, L., Li, S., Tang, G., & Strobl, J. (2022). Geomorphometry and terrain analysis: Data, methods, platforms and applications. *Earth-Science Reviews*, 104191.
57. Yeh, S.C., Hu, H., S. -R. Sheng and Y. -R. & Wu, (2022). Interactive Visualization System of 3-D Digital Elevation Model for Mountain Collapse Simulation, 8th International Conference on Applied System Innovation (ICASI), Nantou, Taiwan, pp. 152-155. <https://doi.org/10.1109/ICASI55125.2022.9774493>

GIS-Based Three-Dimensional Digital Terrain Modeling and Its Geomorphometrical and Environmental Applications along the Eastern of Minia Governorate

Dr. Kamal Srogy Darwish

Department of Geography, Faculty of Arts, Minia University, Egypt

Abstract

Digital Terrain Modeling (DTM) is a three-dimensional visualization technique for representing land surfaces using geographic information systems. Analyzing terrain features such as topography, slopes, aspects, hillshade, viewshed, and curvature is crucial for understanding spatial characteristics. The significance of DTM has grown significantly in recent years due to advancements in 3D GIS analyst tools, which enhance our understanding of land surface processes, shapes, and evolution. In this study, multisource Digital Elevation Models (DEMs) were acquired, including SRTM 1 arc-second and Sentinel-1 SAR VV-Band data. These DEMs, along with Landsat imagery spanning 2013 to 2023 and PlanetScope imagery from 2024, were processed and analyzed.

The study area's Digital Terrain Model was visualized in a GIS environment using Triangulated Irregular Network (TIN) virtual reality modeling techniques. 3D DTM is considered one of the most advanced geospatial techniques for spatial data visualization and 3D GIS analysis. Previous studies have demonstrated the global utility of DTM for geological, environmental, geomorphological, soil, hydrological, and planning applications. In this research, GIS-based 3D DTM techniques were employed to visualize and analyze landscape features such as cliffs, mountains, alluvial fans, and drainage basins. The spatial relationships between land use/cover changes and relief characteristics were assessed for the period between 2013 and 2023, alongside identifying human-induced impacts on topographical changes, hydrological distortion, and surface degradation. The results underscore the importance of 3D visualization of spatial data for sustainable planning, urban growth modeling and prediction, road and railway construction, as well as natural hazard assessment and mitigation.