تقييم دقة نموذج ارتفاعات رقمي منشأ من بيانات المساحة الجوية
(دراسة مقارنة: نموذج DTM مع نماذج محلية ونماذج عالمية)

إعداد: عبدالله حسن محمد الأسمري[1]

المستخلص

تهتم المؤسسات الحكومية المختلفة بشكل كبير وواضح بإنشاء نماذج ارتفاعات رقمية ذات دقة Accuracy عالية. ونظراً لكونها بيانات مهمة وذات قدر كبير من الحساسية فإنها غير متاحة للمهتمين والباحثين مما يضطرهم لبذل مجهود كبير في إنشاء نماذجهم الخاصة بدءًا بجمع بيانات الصور الفضائية أو الجوية ذات الوضوح Resolution العالي، ونقاط الإحكام الأرضي وكل ذلك في ظل توفر الأجهزة، والبرامج المتخصصة، والخبرة العلمية، والعملية في مجال المساحة التصويرية الرقمية؛ لذلك هدفت الدراسة الراهنة لمناقشة وتقييم دقة بيانات سبق وتم إنشاءها في دراسة سابقة بمنتج نموذج تضاريس رقمي DTM منشأ من بيانات صور جوية متداخلة وممثل بشبكة نقاط Grid Points عالية الدقة (١٠م)، للجزء الأعلى من عقبة المخواة. كما تم تقييم جودة هذه البيانات المنتجة من خلال عمل عدد من المقارنات مع منتجات أخرى لمنطقة الدراسة نفسها. واعتمدت الدراسة بالإضافة إلى بيانات الصور على بيانات تم جمعها ميدانيا بهدف المقارنة، والتحقق من جودة المنتج. وتمت المقارنة مع قيم خطوط الكنتور من خرائط طبوغرافية، ومن بيانات قوقل إيرث، ومن نقاط التحقق الميداني. كان من أهم نتائج الدراسة الراهنة المقارنة باستخدام نقاط التحقق الأرضي والتي بينت دقة البيانات المنتجة للدراسة حيث بلغ متوسط فرق

(1) باحث بكلية الآداب والعلوم الإنسانية – جامعة الملك عبد العزيز.

الارتفاع عن الارتفاعات الحقيقية لسطح الأرض (± ١٠.١٧م)، وقيمة متوسط الجذر التربيعي للخطأ (١٠.٩٥م)؛ كما اتضح من مقارنة الانحراف المعياري للنقاط المختارة تقارب النتائج من بيانات الخرائط الطبوغرافية مع البيانات المنتجة للدراسة؛ كما أظهرت المقارنات أن الاتجاه العام لخطوط الكنتور لكل من بيانات DTM، والخرائط الطبوغرافية متطابق بشكل كبير مع وجود بعض الاختلافات؛ كما اتضح أن هناك فروق واضحة بين نتائج كل من بيانات الخرائط الطبوغرافية، وبيانات قوقل إيرث من خلال الانحراف المعياري؛ كذلك تبين من خلال مقارنة نقاط الارتفاع للخرائط الطبوغرافية مع بيانات الارتفاع للدراسة وجود اثنتا عشرة فئة من قيم النتائج. وأخيرا تم اقتراح عدد من التوصيات المتعلقة بالاهتمام بطرائق الإنشاء، ومصادر البيانات، والإجراءات، وتقييم الدقة.

أولا: الإطار العام للدراسة

١. المقدمة

اعتمد تمثيل ارتفاعات سطح الأرض بشكل أساسي على خطوط الكنتور Contour lines فكان من أهم مصادر البيانات الأولية سواء كانت بيانات صور جوية أو فضائية بشرط التداخل (صور متداخلة)، وذلك من خلال استخدام أجهزة المساحة التصويرية الأجهزة التناظرية سابقاً. وبعد ظهور وتطور الحاسبات، والبرامج بدأت عملية إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Models– DEMs بمختلف أنواعها. حيث جسمت هذه النماذج سطح الأرض بواسطة نقاط الارتفاع والتي يعتمد عليها في إنشاء شبكة المثلثات غير المنتظمة Triangulated

Irregular Network-TIN، وساعد في دقة وجودة هذه البيانات كل من التطور الحاصل في سرعة، وقدرة تخزين الحاسبات، وظهور البرامج الحديثة والتي تتعامل مع عدد هائل من البيانات (الأسمري، تحت النشر ب).

وقد ظهرت أهمية نماذج الإرتفاعات الرقمية بشكل كبير وواسع في العديد من المنتجات الخرائطية والتي بدورها تدعم عدد من التطبيقات الهامة كتحليل السطوح، وخطوط الكنتور، وشبكات التصريف، والأحواض المائية إضافة للانحدارات، واتجاهاتها، وتطبيقاتها الجيومورفولوجية، والهندسية، وخط الرؤية، حيث تستخدم أيضاً بشكل كبير في نماذج محاكاة الواقع بشكل عام؛ ومع التطبيقات العسكرية بشكل خاص. ومع زيادة توفر البيانات الرقمية وتنوعها واختلاف وضوحها المكاني وخصائصها الهندسية سواء من التصوير الفضائي، أو من التصوير الجوي، وفي ظل وجود التغطية الإستريوسكوبية Stereoscopic (الحسن، ١٤٣٢هـ)، بدأت الدراسات التجريبية في عملية إنشاء نماذج الإرتفاعات الرقمية، للحصول على أفضل وأدق نتائج يمكن الوصول إليها، وتعتمد دقة نماذج الارتفاعات الرقمية بشكل كبير على كل من: جودة بيانات أزواج الصور المستخدمة؛ طبيعة السطح الطبوغرافي للمنطقة؛ دقة تصحيح بيانات الصور (الأسمري، تحت النشر أ).

وتسعى الدراسة الراهنة إلى إجراء عدد من المقارنات (أربع مقارنات)، وذلك لتقييم دقة بيانات منتجة من الصور الجوية في هيئة نموذج تضاريس رقمي DTM وذات دقة (١٠م)، ومقياس رسم ١: ٤٥٠٠٠ بحيث سيتم مقارنة بيانات النموذج DTM المنتج للدراسة (إنتاج فردي) مع كل من بيانات الخرائط الطبوغرافية (إنتاج حكومي محلي)، وبيانات قوقل إيرث (إنتاج مؤسسي عالمي)، ومن ثم مناقشتها.

وطبقت الدراسة على منطقة محدودة المساحة في جنوب غرب المملكة العربية السعودية، وتحديداً الجزء الأعلى من عقبة المخواة.

٢. مشكلة الدراسة

على الرغم من أهمية نماذج الارتفاعات الرقمية البالغة إلا أنه لا يتوفر لكثير من مناطق المملكة نماذج ارتفاعات رقمية عالية الدقة تتجاوز (١٠م)، وفي حالة توافرها فإنها في الغالب تكون غير متاحة. أما المتوفر بشكل مجاني فهي عبارة عن نماذج لا تزيد دقتها الفضائية عن ٣٠م، مما يعني عدم ملاءمتها لكثير من الدراسات، والتطبيقات الضرورية والهامة في نفس الوقت. لذلك كان لابد من القيام بدراسة يتم من خلالها تعميم النتائج التي يتم الحصول عليها على باقي مناطق الإقليم التي تحمل الخصائص الطبوغرافية نفسها لمنطقة الدراسة، ومن خلال الدراسة الراهنة نفسها سيتم معرفة طرائق تقييم دقة Evaluate Accuracy نموذج DTM ومقارنته بعدد من النماذج الأخرى الهامة. باستخدام أفضل الطرائق العلمية المتاحة، والأجهزة، والبرمجيات المناسبة لذلك.

٣. أهداف الدراسة

تهدف الدراسة الحالية لتقييم دقة بيانات منتجة من نموذج تضاريس رقمي DTM ممثل بشبكة نقاط Grid Points لكل (١٠م)، والمنشأ من بيانات صور جوية للجزء الأعلى من عقبة المخواة من خلال: –

١) مقارنة تطابق الاتجاه العام لخطوط كنتور النموذج DTM مع خطوط الكنتور للخرائط الطبوغرافية المتوفرة.

٢) مقارنة الانحراف المعياري، ومدى صحة Precision كل من بيانات النموذج DTM، والخرائط الطبوغرافية، وقوقل إيرث.

٣) مقارنة نقاط الارتفاع Spot Heights للخرائط الطبوغرافية مع كل من بيانات النموذج DTM، وقوقل إيرث.

٤) المقارنة باستخدام نقاط التحقق الأرضية Ground -Truthing، وتقييم الدقة لكل من بيانات النموذج DTM، والخرائط الطبوغرافية وقوقل إيرث.

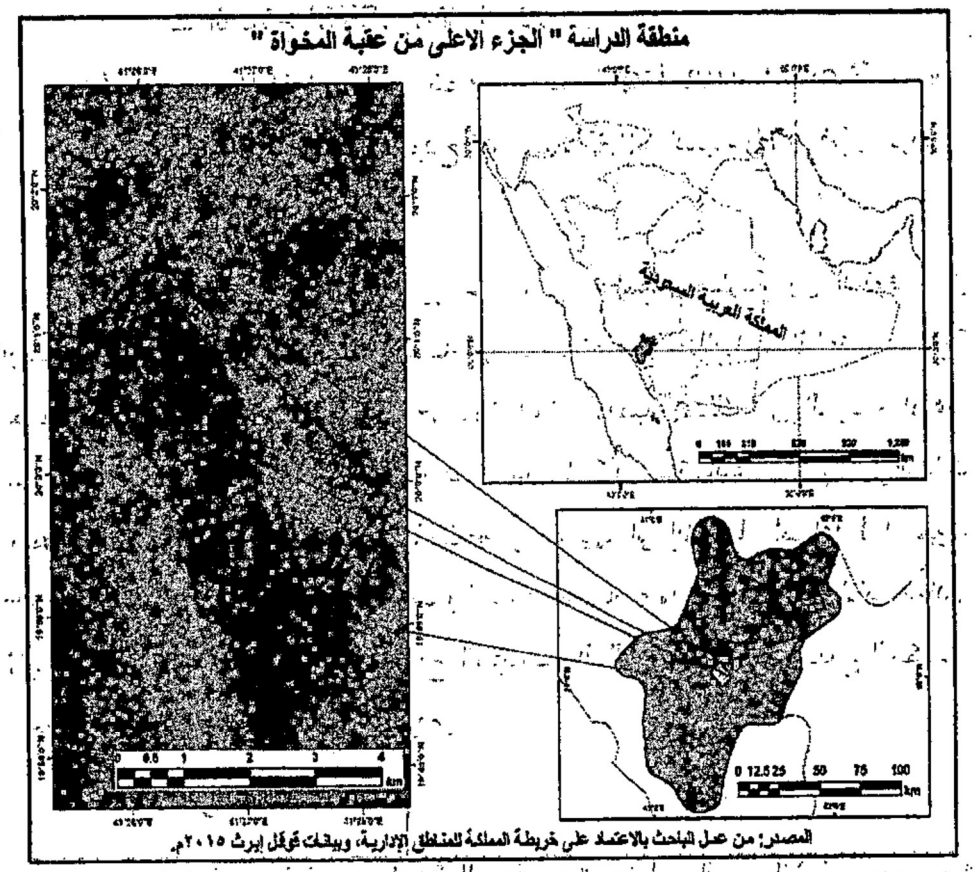
٤. أهمية الدراسة

تتمثل أهمية الدراسة الراهنة في عدم وجود دراسات مقارنة بين المتوفر من البيانات المجانية، وبين ما يمكن إنتاجه من دراسات مماثلة للدراسة الراهنة، ومعرفة أفضل طرائق قياس، وتقييم دقة نماذج الارتفاعات الرقمية. كذلك فإن الدراسة الراهنة ستوفر تقييم ومعرفة علمية، وعملية لعدد من أشكال منتجات نماذج الارتفاعات الرقمية المعروفة والمتباينة في طريقة الحصول عليها أو إنشائها. إضافة لما سبق، عدم وجود دراسات مماثلة تهتم وتعرف بالأعمال المتباينة والمتنوعة من بيانات نماذج الارتفاعات الرقمية مثل: بيانات الإنتاج المؤسسي العالمي؛ وبيانات الإنتاج الحكومي المحلي؛ وبيانات الإنتاج البحثي والفردي.

٥. منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة في محافظة الباحة حيث تغطي الجزء الأعلى من عقبة المخواة في منتصف مدينة الباحة، مع تغطية محدودة من مدينة الباحة. وتنحصر بين خطي طول ("١٧.٣٨ '٢٥ °٤١، و"١٢.٩٢ '٢٨ °٤١) شرقاً، وبين دائرتي عرض ("٥٩.٧٥ '٥٨ °١٩، و"٣٦.٦٠ '١ °٢٠) شمالاً، وتغطي مساحة حوالي ٩٨٩٧.٤كم٢.

(شكل ١). ويبلغ أعلى منسوب ارتفاع لمنطقة الدراسة ٢٣٠٦.٤٦م، وأقل منسوب ارتفاع ١٢٩١.٣٢م فوق مستوى سطح البحر، وذلك حسب القياسات المأخوذة من بيانات DTM.



شكل (١) موقع منطقة الدراسة

تميزت منطقة الدراسة بتضاريس صعبة وشديدة الانحدارات في جزء منها، ويتباين واضح في الارتفاعات، بمدى يصل مقداره ١٠١٥.١٤م، وهذا ما يعطي

للباحث المجال لتقييم دقة نموذج ارتفاعات رقمي منتج باستخدام نقاط التحقق الحقلية Ground Trothing، حيث تصنف منطقة الدراسة لجزئيين شبه متساويين في المساحة، ومختلفين في الخصائص الطبوغرافية، واستخدام الأرض؛ فالجزء الشمالي الشرقي عبارة عن منطقة عمرانية، وبتضاريس معتدلة التباين، وبانحدارات خفيفة في أغلب أجزائه؛ أما الجزء الجنوبي الغربي فيتصف بتضاريس وعرة شديدة الانحدار تكسوها أشجار متوسطة الكثافة. وتمثلت منطقة الدراسة بمساحة محدودة تبلغ حوالي ٩.٩٢ كلم^{٢}، ومحيط يبلغ حوالي ١٣.٧ كلم.

٦. الدراسات السابقة

هناك العديد من الدراسات غير العربية فيما يخص إنشاء (استخراج) نماذج الارتفاعات الرقمية من بيانات الصور الفضائية، وفي المقابل هناك قليل من الدراسات لاستخراج نماذج الارتفاعات الرقمية من بيانات الصور الجوية. ومع ذلك لا توجد دراسات متخصصة في هذا المجال بالتطبيق على المملكة العربية السعودية، لقد تطرقت الدراسات المتوفرة لمواضيع متنوعة عن نماذج الارتفاعات الرقمية وهي كالآتي:

دراسة كل من (El-Sammany, El-Magd and Hermas, 2011) استخدمت بيانات القمر الصناعي SPOT 4 في إنشاء نموذج ارتفاعات رقمي وذلك للخروج بنماذج محاكاة، وإمكانية التنبؤ كمؤشر للإنذار المبكر بحدوثها بنماذج هيدرولوجية، وأيضاً لدرء مخاطر السيول؛ ووصف كيفية، واستراتيجية إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية عالية الدقة، من بيانات الصور الفضائية؛ طورت دراستهما نماذج وأشكال تم تقويمها عن طريق عمل مسح أرضي دقيق لمنطقة الدراسة؛ أيضاً طورت

دراستهما منهج لإنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية بوضوح عالي، وقد تم تقويمها باستخدام المسح الأرضي. وأوضحت دراستهما بأنه عن طريق نماذج الارتفاعات الرقمية يمكن الحصول على كم كبير من المعلومات وعن بيئة، وشكل المنطقة، والتمكن من معرفة تفاصيل شبكات الصرف، وفواصل المطر.

دراسة (Jacobsen, k, n.d) اهتمت بموضوع إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية من بيانات الأقمار الصناعية لما لها من أهمية بالغة. ووضحت أن إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية من الصور الفضائية بوضوح عالي يعتمد على كل من قدرة وضوح الصور المستخدمة، وكذلك على ارتفاع الصور، وقوة تباينها فيها؛ من المعروف أن هناك أخطأ متراكمه ناتجة من عملية إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية، ولكن من الجيد أنه بالإمكان تلافي وتحسين هذه الأخطاء عن طريق عملية الضبط، والتوجيه (الداخلي والخارجي والنسبي) وبذلك يتم الوصول إلى دقة نسبية أو دقة مطلقة؛ وعند الحاجة للقيام بقياسات عادية على نموذج ارتفاعات رقمي فإن ذلك سيتطلب الكثير من الوقت والجهد، لذلك يجب تجميع البيانات عن طريق المطابقة التلقائية للصور.

دراسة (الأسمري، ١٤٣٧هـ) وضحت في جزء منها طرائق الإنشاء وتحديداً التي تعتمد على بيانات ثانوية مثل خرائط الكنتور، أو نماذج الارتفاعات الرقمية ذات الدقة المتدنية (المجانية)، والتي ينتج عنها منتجات غير دقيقة، وبها نسبة خطأ عالية، وبينت عدم مناسبة هذه الطرائق خصوصاً مع التطبيقات التي تحتاج للدقة العالية؛ وبينت أهمية الإعتماد في الإنشاء على البيانات الأولية (بيانات خام) مثل الصور الجوية، ونقاط الإحكام الأرضي وذلك لزيادة جودة المنتج؛ وبينت أيضاً أن جودة المنتج ترتفع مع كفاءة، ونوع برمجيات، وأجهزة المساحة التصويرية الرقمية

المستخدمة؛ كما وضحت دراسته أن عملية إنشاء نموذج التضاريس الرقمي تمر بشكل عام بأربع مراحل متتابعة: إنشاء المشروع واستيراد البيانات؛ استخراج البيانات والإنشاء؛ تصدير المنتج؛ قياس دقة المنتج. حيث عملت دراسته على إنشاء نموذج تضاريس رقمي DTM في هيئة شبكة نقاط، وخطوط انكسار، وقامت أيضاً بتصدير عدد من المنتجات واستخلاص عدد من التطبيقات باستخدام DTM المنتج.

دراسة كل من (Abas and Ali, n.d) وضحت قدرات برامج نظم المعلومات الجغرافية والمتمثلة في برنامج (ArcView) في إنشاء مجموعة بيانات رقمية بطريقة جديدة أكثر دقة، وكفاءة، وسرعة من الطرائق التقليدية والتي في الغالب ما تستخدم فيها طريقة حساب شبكة نقاط الارتفاع: إما عن طريق جهاز المرقم ليتم قياس إحداثيات النقاط من الخرائط الطبوغرافية أو باستخدام الطريقة اليدوية التقليدية، مما ساعد في علاج مشكلة الدراسة وحلها ووضع الأسس للاستفادة من البيانات الرقمية في بناء نماذج الارتفاعات الرقمية، ومن ثم عمل التحليل المكاني للخرائط الطبوغرافية وتتميز هذه الطريقة الجديدة المبتكرة بعدة أمور مثل توفير الوقت، وسرعة الإنتاج، وقلة التكلفة المادية لإنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية.

دراسة (الغامدي، ١٤٢٦هـ) سعت لتوضيح وتقييم بيانات DEM، والذي تم العمل على اشتقاقه بطرائق الاشتقاق المعروفة (طريقة TIN)، و(طريقة IDW)، و(طريقة Kriging) وبناءًا على معايير التقييم الأساسية في برنامج (ArcGIS) معتمد في ذلك على بيانات الخرائط الطبوغرافية (خطوط كنتور) ذات المقياس (١: ٥٠٠٠٠) حيث تم تقييم تطابق كل من خطوط الكنتور المستخرجة، وخطوط الكنتور الأصلية. وخرجت الدراسة إلى أن النموذج المستخرج بطريقة (TIN) كان الأعلى في الدقة، مقارنة بالنموذج المستخرج بطريقة (IDW & Kriging).

أما دراسة كل من (Farrag and Khalil, 2005) فركزت على تأثير النماذج الرياضية للاستيفاء Interpolation methods والتي تم استخدامها لحساب الارتفاعات عند إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية على دقة هذه النماذج. وتم تقييم الدقة بطرائق متعددة من هذه النماذج وهي كالاتي: Kriging, Radial basis function, Inverse distance to a power, Triangulation with linear interpolation. وتم تقييم مخرجات النماذج الرياضية أيضاً باستخدام جهاز تحديد المواقع العالمي GPS، وباستخدام محطات الرصد المتكاملة Total Station.. وقد أجري البحث على عدد من نماذج الارتفاعات الرقمية وبواسطة عدد من حالات نقاط الإحكام الأرضية GCP والتي اختلفت في طريقة توزيعها، وإعدادها، وذلك للوصول إلى أعلى دقة ممكنة وبأقل عدد من نقط الإحكام الأرضية، ومن ثم تعيين أفضل طرائق الاستيفاء المناسبة، وقد توصلت دراستهما إلى أنه عند اقتراب بيانات التحكم من نماذج النقاط كلما كانت دقة النماذج أفضل؛ من الدراسة أعطى نموذج Kriging دقة أفضل في تمثيل السطح؛ وعند عمل تمثيل رقمي دقيق لأسطح الأرض على تضاريس وعرة من الأفضل استخدام تباعد بين نقاط التحكم ٢٠م؛ ويوصيان الباحثان بالقيام بالمزيد من الدراسات فيما يخص الدقة المختلفة لتقنيات رصد جهاز تحديد المواقع العالمي وإنشاء نموذج ارتفاعات رقمي.

وأخيراً تناولت دراسة (Takagid, n.d) تقييماً لدقة نموذج ارتفاعات رقمي مبدئي، وذلك وفقا لقدرات الإيضاح المختلفة في الدراسة وهي: (٥٠م، ١٠٠م، ٢٠٠م)، وتوصلت دراسته إلى أن استخدام نموذج ارتفاعات رقمي أمر لا بد منه في كثير من التحليلات، حيث أنه يستخدم لاستخراج الظواهر الطبوغرافية، وتحليل الجريان السطحي، وغيرهما الكثير، وقد اعتبرت الدراسة الراهنة أن دقة نماذج

الارتفاعات الرقمية يعتمد على درجة وضوحها المكاني حيث أثرت بشكل واضح في نتائج ميل الانحدار حتى عند استخدام نماذج معدة بوضوح ١٠٠م، وقد حذرت الدراسة من استخدام بيانات متدنية الوضوح المكاني لبناء نماذج ارتفاعات رقمية لأن النتيجة سوف تكون ذات دقة منخفضة وبشكل غير مرضي.

بناءًا على ما تم طرحه من الدراسات السابقة يتضح أن دراسة كل من: (Jacobsen, k, n.d)؛ و (EL-Sammany, EL-Magd and Hermas, 2011) قد تطرقت إلى جوانب مختلفة لنماذج الارتفاعات الرقمية وتحديداً فيما يتعلق بإنشاء نموذج ارتفاعات رقمي من بيانات التصوير الفضائي ذات الوضوح العالي. أما الدراسات الأخرى المتبقية (الأسمري، ١٤٣٧هـ)؛ و(الغامدي، ١٤٢٦هـ)؛ و(Farrag and Khalil, 2005)؛ و (Takagid, n.d) فكانت مرتبطة ارتباط قريب مع موضوع الدراسة الحالية وتحديداً فيما يتعلق بتقييم دقة نماذج الارتفاعات الرقمية، وتأثير درجة الوضوح، والتطبيقات، وطرائق الإنشاء، وأهمية هذه النماذج.

٧. منهجية الدراسة وإجراءاتها

اتبعت الدراسة الراهنة المنهجية المبينة أدناه لإنجازها:

أ- جمع البيانات:

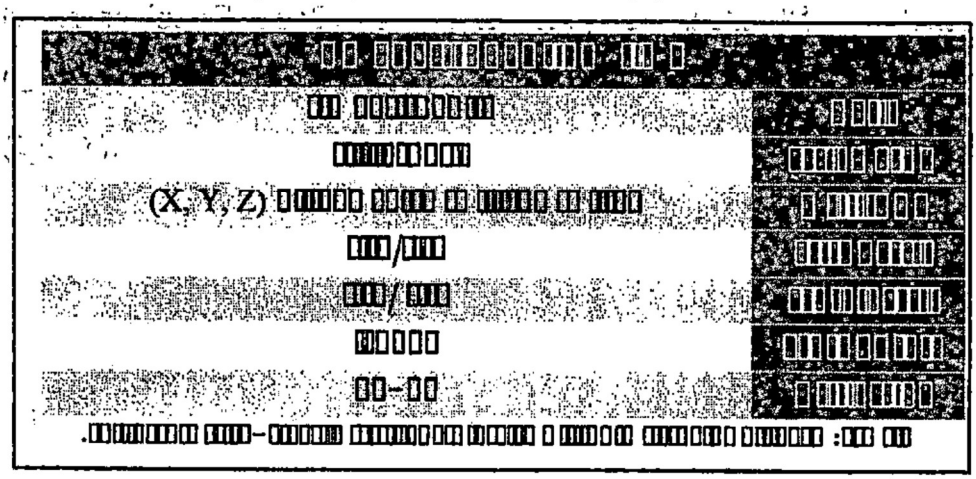
- تم الحصول على صور جوية متداخلة عالية الوضوح ٦٠ سم عددها ٦ صور وكان مقياس الرسم ١:٤٥٠٠٠. من قبل هيئة المساحة العسكرية بالرياض ببيانات على هيئة رقمية Digital Image. وتتضح خصائصها كما في (جدول ١).

جدول (١) معايير كاميرا التصوير، والصورة الجوية الخاصة بالدراسة

RC30	
Frame	
60 cm	
23 cm x 23 cm	
153.53 mm	
2005-10-25	
6908.85 m	

– كذلك حصلت الدراسة على خرائط طبوغرافية في هيئة رقمية (Vector) من وزارة الشئون البلدية، والقروية بالرياض بمقياس رسم ١: ٤٥٠٠٠، وفاصل كنتوري (١٠م)، حيث تمثلت بأربع ملفات كل ملف يحوي مجموعة من الطبقات Group Layer بامتداد (*.dgn). واستخدمت الدراسة بعض هذه الطبقات لعمل المقارنات مثل طبقة (*.dgn Polyline) أثناء مقارنة الاتجاه العام لخطوط الكنتور، وأيضاً لمقارنة الانحراف المعياري؛ وتم استخدام طبقة (*.dgn Point) حيث جلب منها عدد ٢٣٤ من نقاط الارتفاع Spot Heights أثناء مقارنة نقاط الارتفاع.

جدول (٢) خصائص نقاط الإحكام الأرضي

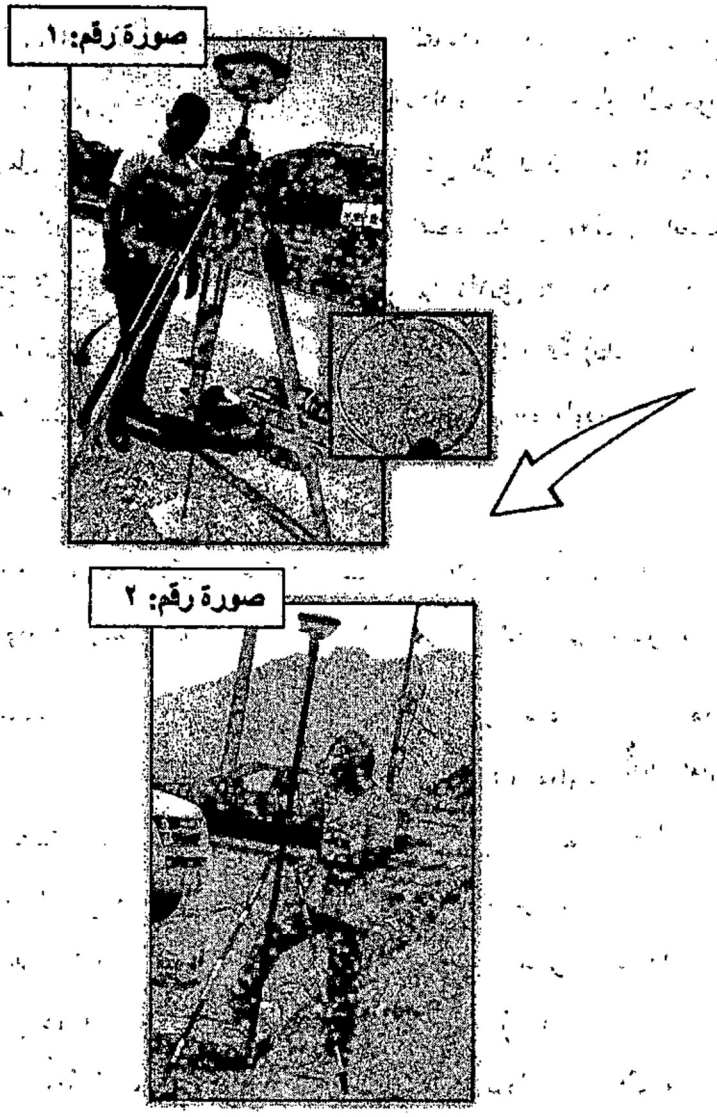


- حصلت الدراسة على عدد (٢) نقاط إحكام أرضية Ground Control Points – GCP عالية الدقة من وزارة الشئون البلدية والقروية – أمانة منطقة الباحة، وتقع داخل منطقة الدراسة. وتتضح خصائصها كما في (جدول ٢).

ب- العمل الميداني:

تطلبت الدراسة القيام بالعمل الميداني، وذلك لجمع (رصد) عدد ٤٨ نقطة تحقق أرضية Ground Truthing، وقد تم استبعاد عدد ١١ نقطة منها ليتبقى عدد ٣٧ نقطة تحقق أرضية فقط بدقة بلغ متوسط الخطأ فيها (٠.٠١١م)، وذلك لغرض استخدامها في تقييم دقة كل من النموذج المنتج للدراسة، والخرائط الطبوغرافية، وقوقل إيرث. وقد تم اختيار مواقع هذه النقاط بعناية في مواقع يمكن تمييزها بسهولة على الصور، والوصول إليها بيسر في الطبيعة، ومن ذلك (أركان المقابر، والأسوار، والأرصفة). وقد تم العمل الميداني خلال ثلاثة أيام عمل باستخدام مجموعة حديثة

من أجهزة تحديد المواقع العالمي (GPS) (Global Positioning System) من شركة لايكا Leica Icon GPS60، وهي عبارة عن جهازي استقبال: الأول جهاز القاعدة Base Receiver، بحيث يثبت على نقطة الإحكام الأرضية المعلوم إحداثياتها؛ الثاني: جهاز متحرك Rover Receiver لرصد نقاط التحقق الأرضية (شكل ٢).



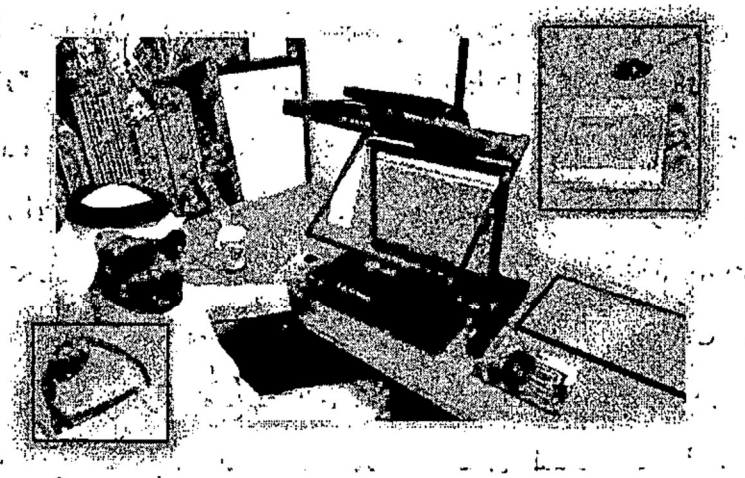
شكل (٢) صورة رقم١: جهاز القاعدة Base مثبت على نقطة إحكام أرضية معلومة الإحداثيات (GCP)؛ صورة رقم٢: جهاز متحرك Rover لرصد نقاط الإحكام الأرضية الجديدة.

وقد بدأ العمل الميداني بربط، وإعداد جهاز القاعدة، وتثبيته بإحكام، وإدخال بيانات نقطة الإحكام الأرضية المعلومة، ثم تبعها إعداد، وربط الجهاز المتحرك مع جهاز القاعدة ليعمل الأخير على تحديد قيمة الخطأ في كل لحظة، وذلك باستخدام قيمة نقطة الإحكام الأرضية المدخلة مع الإحداثيات المحسوبة من الأقمار الصناعية، وبذلك يتم تصحيح كل نقطة مرصودة جديدة، وذلك عن طريق نقل هذه التصحيحات من جهاز القاعدة الثابت إلى الجهاز المتحرك لتتم قراءة النقاط بدقة (داود، ٢٠١٢م). وقد قامت الدراسة الميدانية برصد جميع نقاط التحقق الأرضي المطلوبة.

ت- العمل المكتبي:

تم خلال مرحلة العمل المكتبي استخدام عدد من الأجهزة، والبرامج المتخصصة في المساحة التصويرية الرقمية ونظم المعلومات الجغرافية، وذلك على النحو التالي:

- **أجهزة المساحة التصويرية الرقمية:** وهي عبارة عن محطة عمل متكاملة للمساحة التصويرية الرقمية (Digital Photogrammetry Workstation – DPW)، حيث تتكون من جهاز حاسب آلي محطة عمل PC– Workstation مع ملحقاته الضرورية والخاصة بالتجسيم مثل الشاشة ثلاثية الأبعاد؛ والفأرة ثلاثية الأبعاد Mouse–3D؛ وأيضاً النظارات ثلاثية الأبعاد، والتي لا غنى عنها أثناء إنشاء نموذج ارتفاعات رقمي (شكل ٣).
- **برمجيات المساحة التصويرية الرقمية:** وقد تم استخدام برنامج SOCET SET 5.6 المتخصص في إنشاء نماذج التضاريس الرقمية والمخرجات الضرورية في المساحة التصويرية الرقمية.

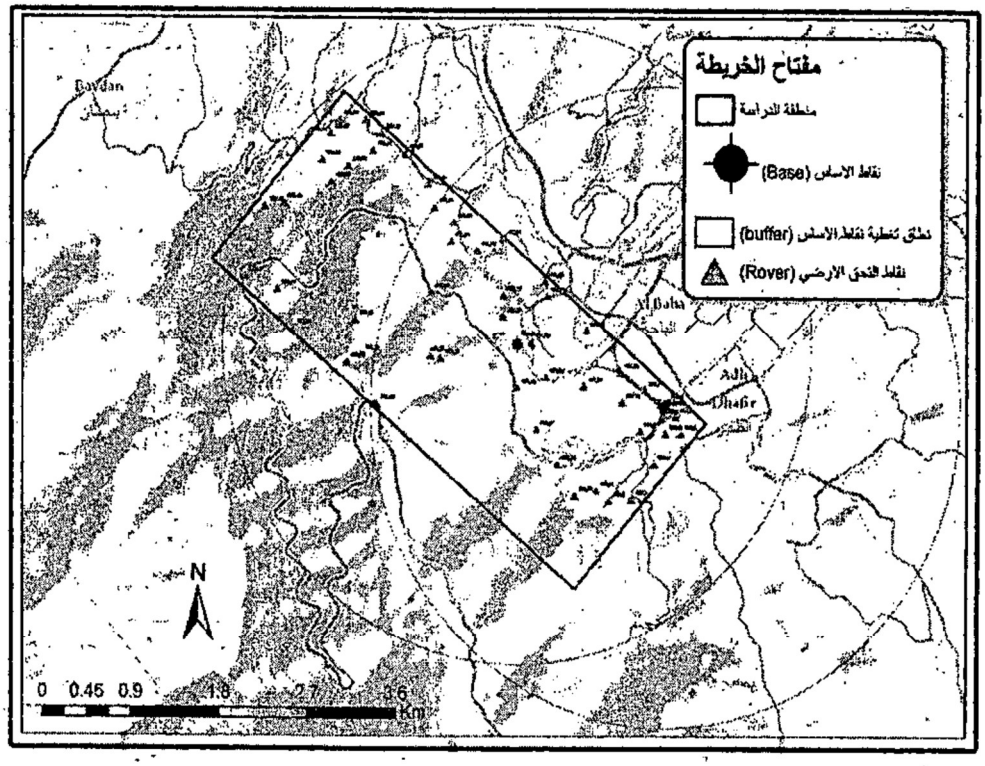


شكل (٣) أجهزة محطة العمل التصويرية مثل: نظارات الرؤية التجسيمية، وشاشات العرض التجسيمية، والفأرة للتحكم بالنماذج ثلاثية الأبعاد.

- **برمجيات نظم المعلومات الجغرافية:** استخدام عدد من البرامج المتخصصة في نظم المعلومات مثل برنامج ArcGIS 10.2 ArcMap، وبرنامج ArcScene، وذلك لاستخراج نموذج ارتفاعات رقمي خلوي، وخطوط الكنتور، وعمل التحليلات. إضافة لذلك، عمل ترقيم Digitizing لعدد (١١) خطاً (كل خط يمثل قيمة معينة وتم التعامل مع كل خط على حدة) من خطوط كنتور الخرائط الطبوغرافية ذات مقياس رسم ١: ٤٥٠٠٠، حيث تم البدء بخط كنتور ١٢٩٠م، والإنتهاء بخط كنتور ٢٢٩٠م، (كأصغر وأكبر قيمة خط كنتور في منطقة الدراسة). واختير الفاصل بين كل خط مختار والآخر ١٠٠م (أي كل ١٠ خطوط كنتورية). تلا ذلك جمع عدد ٣٣٨ نقطة ارتفاع تم ترقيمها على هذه الخطوط المختارة. وكان الهدف من هذا الإجراء عمل المقارنة، ومعرفة ما

يقابل هذه النقاط من قيم للارتفاع على نموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي لـ DTM، وأيضاً على بيانات قوقل إيرث Google Earth.

كذلك جهزت الدراسة خطة عمل تم فيها تحديد مواقع رصد نقاط التحقق الأرضية، وذلك باستخدام بعض البرامج مثل Google Earth ، وأيضاً Google Maps ، حيث تم تحديد عدد ٥٢ موقعاً ليتم رصدها (شكل ٤)، ولم يتم الرصد إلا عدد ٤٨ موقعاً، وذلك بسبب عدد من العوامل منها حدوث تغيير في طبيعة المنطقة بسبب المشاريع الحديثة، حيث تختلف الصورة الزاهنة عما هو موجود في الصور، وأيضاً لصعوبة الوصول لبعض النقاط بسبب التضاريس شديدة الانحدار، كما تم حذف واستبعاد عدد ١١ موقعاً غير مناسبة من حيث دقة، وصحة الموقع: ٧ مواقع منها بها أخطأ؛ و٤ مواقع منها كانت دقة قرأتها ضعيفة. وقد تراوحت نسبة الخطأ في الارتفاع للنقاط المستخدمة ما بين (٧ملم، و ٢١ملم).



شكل (٤) خطة عمل تحديد موقع جهاز الأساس Base، ومواقع الرصد بالجهاز المتحرك Rover لنقاط الإحكام الأرضية، ويتضح على الخريطة نطاق تغطية جهاز الأساس.

وقد عملت الدراسة على استخدام هذه النقاط في تقييم، ومقارنة (فرق الارتفاع، والانحراف المعياري) لكل من نموذج التضاريس الرقمي DTM، وبيانات الخرائط الطبوغرافية، وبيانات قوقل إيرث، حيث تم تصدير بيانات نقاط التحقق الأرضي بصيغة (.dxf*)، وذلك لمقارنتها مع منتجات DTM، والخرائط الطبوغرافية، وقوقل

إيرث، وذلك باستخدام عدد من البرامج مثل برنامج قوقل إيرث، وبرنامج ArcGIS، وأيضاً برنامج Excel 2013.

٨. مصطلحات الدراسة

- التحقق الأرضي Ground Truthing

هي نقاط مشابهة لنقاط الإحكام الأرضي، وتمثل بإحداثيات، وقيمة ارتفاع (X, Y, Z)، وتم إنشاؤها بواسطة جهاز تحديد المواقع العالمي لغرض استخدامها لتقييم، وقياس دقة بيانات نماذج الارتفاعات الرقمية المتنوعة.

- نموذج ارتفاعات رقمي خلوي (تسامتي) (DEM-Raster) Digital Elevation Model-Raster

هو ملف مشابه لملفات الصور من حيث تمثيلها بمصفوفة ثنائية الأبعاد، ولكن بدلا من قيمة السطوع لعنصر الصورة (Pixel) التي تمثل انعكاس سطح الأرض لمنطقة معينة؛ فإن لكل عنصر خلية (cell)، في نموذج الارتفاعات الرقمي يمثل قيمة الارتفاع عن مستوى سطح البحر لتلك المنطقة (العمران، ١٤٣٣هـ).

- الوضوح Resolution

مدى القدرة على التفريق بين معلمين متجاورين في الصورة أو أصغر مسافة خطية، أو زاوية بين معلمين متجاورين يمكن رؤيتها في الصورة (العمران، ١٤٣٣هـ).

- الدقة Accuracy

هي مدى قرب متوسط القيم المرصودة من القيمة الحقيقية لها، وبمعنى أخر الدقة هي درجة الكمال في الأرصاد، وخلوها من الأخطاء بقدر الإمكان.

- الصحة Precision

هي مدى تقارب مجموعة من القياسات من قيمة متوسطها أو من مركزها المتوسط.

- نموذج التضاريس الرقمي (DTM) Digital Terrain Model

حيث يعرف نموذج التضاريس الرقمي بأنه تمثيل إحصائي للسطح المتصل (غير المتقطع) للأرض، وذلك من خلال عدد كبير من النقاط المختارة، والتي لها إحداثيات ثلاثية الأبعاد (X, Y, Z) بالنسبة لمجال إحداثيات اختياري (Zhu, A. and Gold, 2005).

- شبكة النقاط Grid Points

هي عبارة عن شبكة من النقاط تمثل تضاريس سطح الأرض، وكل نقطة لها إحداثيات ثلاثية الأبعاد، وتقاس دقة شبكة النقاط بالمسافة بين كل نقطة، والأخرى (X, Y, Z) (الأسمري، تحت النشر ب).

٩. موضوعات الدراسة

تناولت الدراسة موضوع تقييم دقة البيانات المنتجة من نموذج التضاريس الرقمي DTM والممثل بشبكة نقاط Grid Points لكل (١٠م)، والمنشأ من بيانات صور جوية للجزء الأعلى من عقبة المخواة. واشتملت الدراسة الحالية على محتوى تطبيقي للمقارنة مكتبياً، يليها النتائج والتوصيات وختمت بقائمة المراجع.

تناول الموضوع الأول طرحاً للإطار النظري العام للدراسة. حيث كانت المقدمة، والتي تلتها مشكلة الدراسة، ثم الأهداف، تبعها عرضاً لأهمية موضوع الدراسة، ثم المنهجية المتبعة في الدراسة، وإجراءاتها البيانات، وأدوات الدراسة، علاوة

على ذلك تم التعريف بمنطقة الدراسة، ومن ثم طرح لأهم الدراسات السابقة التي تعرضت لموضوع الدراسة وختمت بأهم مصطلحات الدراسة.

تناول الموضوع الثاني مناقشة وتقييم صحة بيانات نموذج الارتفاعات الرقمي للدراسة، وذلك بعمل مقارنات مختلفة مع بيانات قوقل إيرث، والخرائط الطبوغرافية، وذلك باستخدام كل من التطابق، والاتجاه العام للكنتور، والانحراف المعياري، ونقاط الارتفاع، ثم قياس دقة نموذج التضاريس الرقمي المنتج للدراسة بالتحقق الأرضي.

جاءت الخاتمة لتتناول الموضوع الثالث وطرح النتائج التي توصلت إليها الدراسة الراهنة، ومن ثم ذكر ما خرجت به الدراسة من توصيات.

ثانياً: مناقشة وتقييم صحة بيانات نموذج الارتفاعات الرقمي للدراسة

تقوم الدراسة الراهنة بتقييم جودة نماذج الارتفاعات الرقمية وذلك بعقد بين أربعة أنواع من المقارنات بين بيانات منتجة سابقاً من دراسة (الأسمري، ١٤٣٧هـ) والممثلة بنموذج تضاريس رقمي DTM مع بيانات كل من الخرائط الطبوغرافية الرقمية، وقوقل إيرث من حيث التطابق، والاتجاه العام لخطوط الكنتور؛ الثانية مقارنة الانحراف المعياري Standard deviation؛ الثالثة مقارنة نقاط الارتفاع Spot Heights؛ وأخيراً استخدام نقاط التحقق الأرضي.

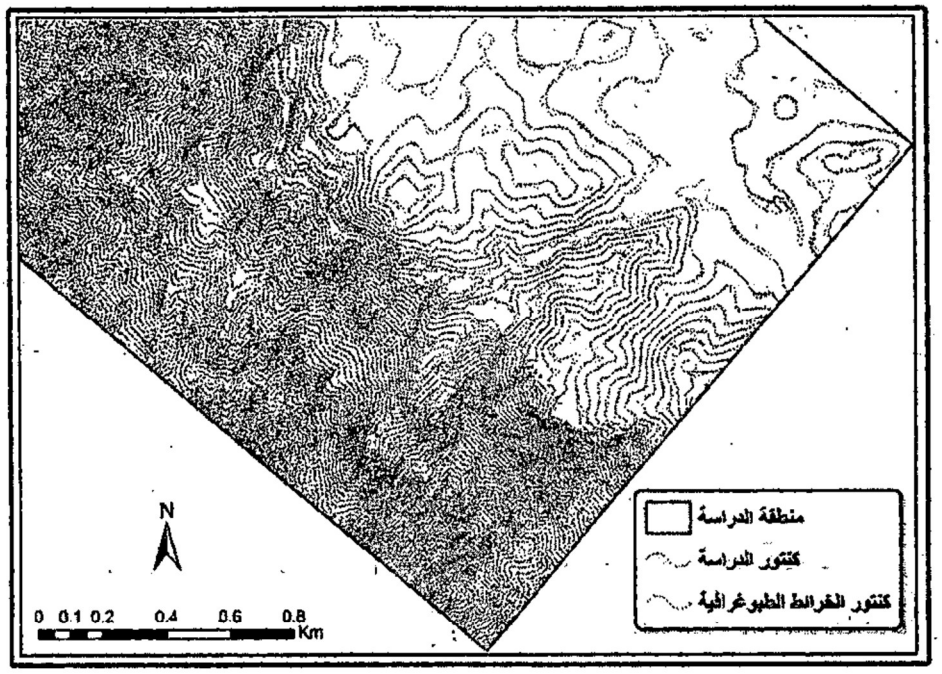
١. المقارنة وقياس دقة نموذج التضاريس الرقمي

لقد تمت أولى المقارنات بتوضيح، ووصف، ومقارنة التطابق، والاتجاه العام لكل من خطوط الكنتور المنتجة من الدراسة مع خطوط الكنتور المنتجة من الخرائط

الطبوغرافية في هيئة رقمية؛ ثم المقارنة الثانية بحسب نتائج الانحراف المعياري لبيانات الارتفاع في نموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي للـ DTM، والخرائط الطبوغرافية الرقمية، وقوقل إيرث؛ بعد ذلك المقارنة الثالثة استخدمت نقاط الارتفاع للخرائط الطبوغرافية الرقمية، ومقارنتها مع قيم الارتفاع لنموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي للـ DTM؛ وأخيراً المقارنة الرابعة استخدمت طريقة التحقق الأرضي للمقارنة، والتحقق من دقة كل من البيانات المنتجة من DTM، وبيانات الخرائط الطبوغرافية الرقمية، وأيضاً قوقل إيرث، وكان ذلك على النحو التالي:

أ- مقارنة التطابق والاتجاه العام لخطوط الكنتور

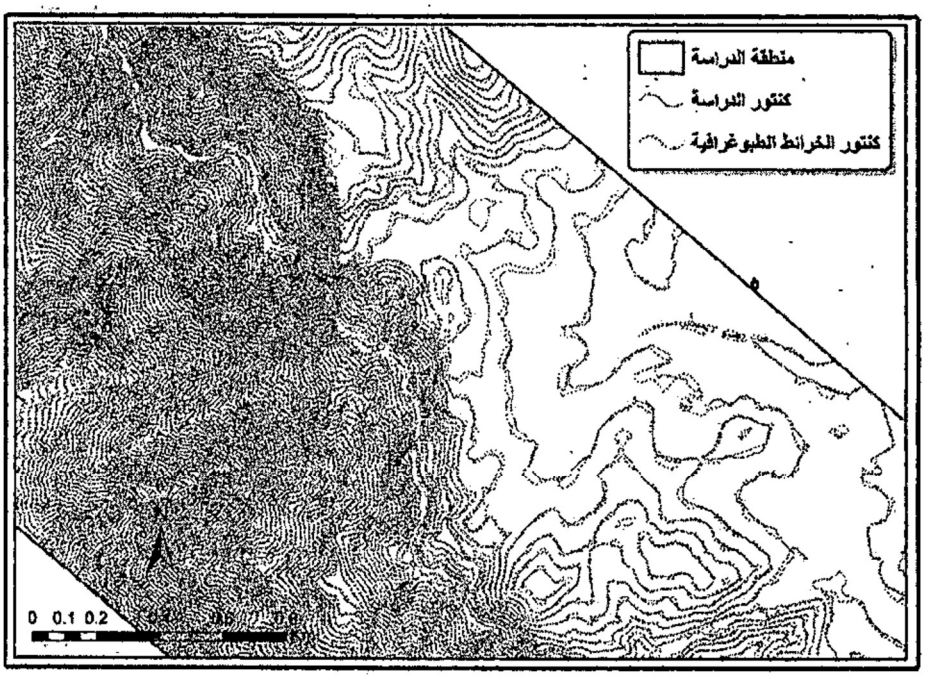
لقد أظهرت مقارنة التطابق، والاتجاه العام لخطوط الكنتور المنتجة من DTM بأن الاتجاه العام متطابق بشكل كبير مع وجود بعض الاختلافات، وعدم التطابق في بعض المواقع التي تم رصدها بسبب طبوغرافية السطح.



شكل (٥) الجزء الجنوبي لمنطقة الدراسة مقياس رسم ١: ١٠٠٠٠

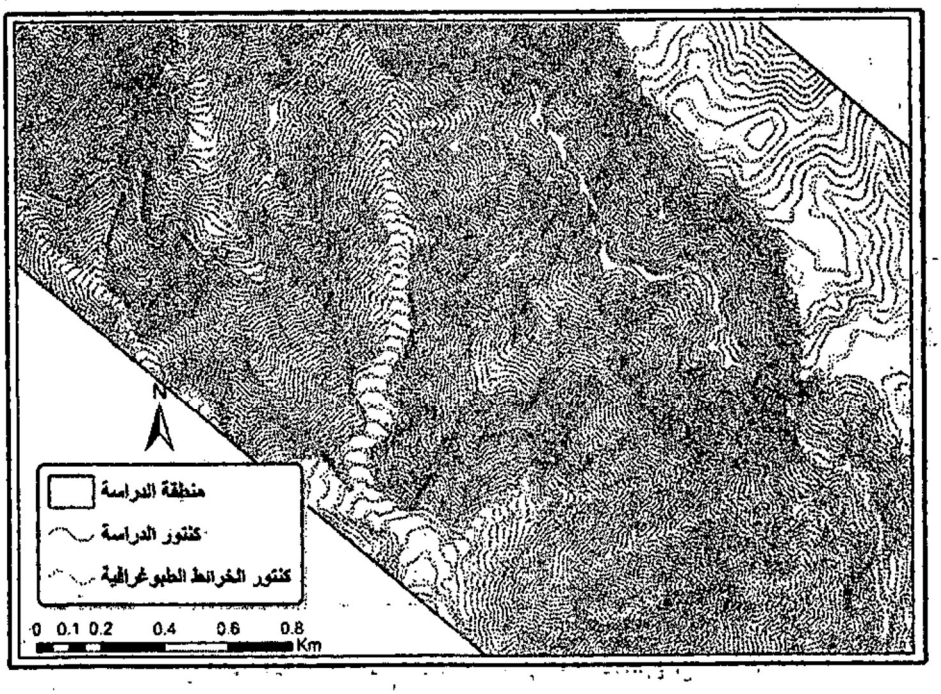
هذه الاختلافات تم توضيحها، والتحقق منها بشكل أفضل بعد أن تم عرضها في أربعة أقسام لكي تغطي كامل منطقة الدراسة بمقياس رسم ١: ٤٥٠٠٠ لكل قسم، حيث يغطي القسم الأول الجزء الجنوبي من منطقة الدراسة (شكل ٥)؛ ويغطي القسم الثاني الجزء الجنوبي الأوسط (شكل ٦)؛ والقسم الثالث يغطي الجزء الشمالي الأوسط (شكل ٧)؛ وأخيراً القسم الرابع الذي يغطي الجزء الشمالي (شكل ٨). وقد تمت أيضاً المقارنة، والتأكد من التطابق عند مقياس رسم ١:٨٠٠٠ (شكل ٩)، وذلك لإظهار التفاصيل بشكل أفضل حيث ظهر عدد من الملاحظات على النحو التالي:

- بعض من خطوط كنتور الخرائط الطبوغرافية كانت في بعض المناطق لا تسير بطريقة سلسلة، ومتناسقة بشكل عام مع خطوط الكنتور المنتجة من DTM، حيث تأخذ انحناءات قد لا تكون منطقية، كما يلاحظ ذلك في (شكل ٥) في الجزء الشمالي الشرقي حيث يتضح في المناطق المستوية وشبة المستوية، ويقل وينعدم في المناطق المتضرسة. ويتضح أيضاً من المقارنة النظرية للكنتور مع شكل، وطبيعة السطح على الصور الجوية لكل من خطوط الكنتور من DTM وخطوط الكنتور للخرائط الطبوغرافية أن خطوط كنتور DTM أصح.

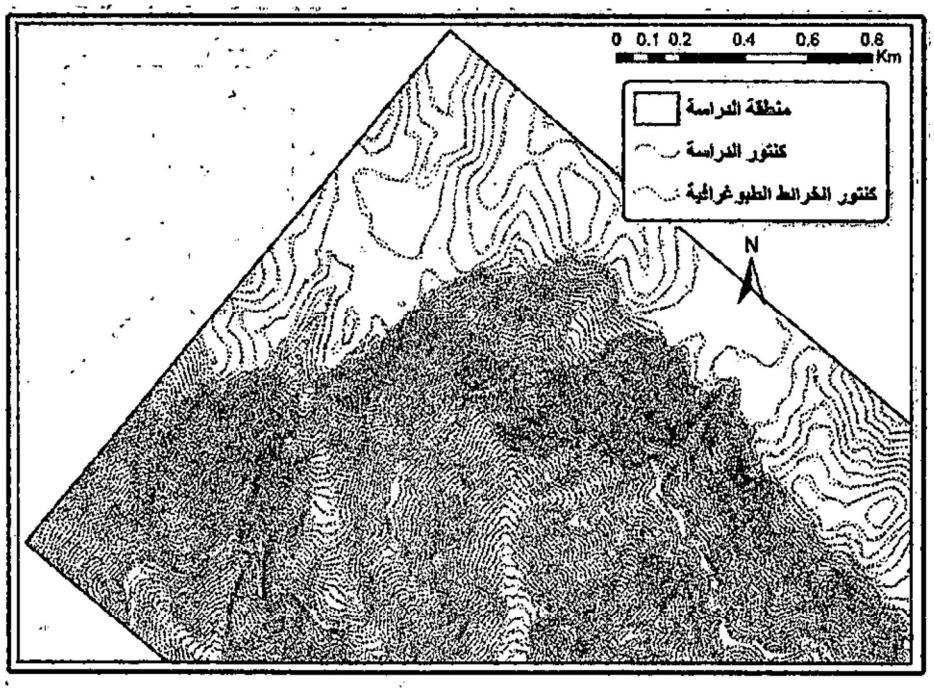


شكل (٦) الجزء الأوسط الجنوبي لمنطقة الدراسة مقياس رسم ١: ١٠٠٠٠

- عند مقارنة خطوط كنتور DTM مع خطوط كنتور الخرائط الطبوغرافية تبين أن التناسق، والتطابق أفضل في المناطق المنحدرة، والمتضرسة بخلاف المناطق المستوية التي يقل بها التطابق. ويعد هذا أمراً منطقياً، ومتوقعاً إذ أنه ليس من الضروري أن تتطابق خطوط الكنتور ذات القيم المتساوية مع بعضها البعض في المناطق المستوية لأن هذه الخطوط تتبع نفس القيم لمنطقة واسعة بعكس المناطق المنحدرة التي تكون محصورة في منطقة ضيقة، حيث تكون خطوط الكنتور ذات القيم المتساوية شبه متطابقة، وذلك لأنها تتبع نفس القيم لمنطقة محصورة ومحددة.

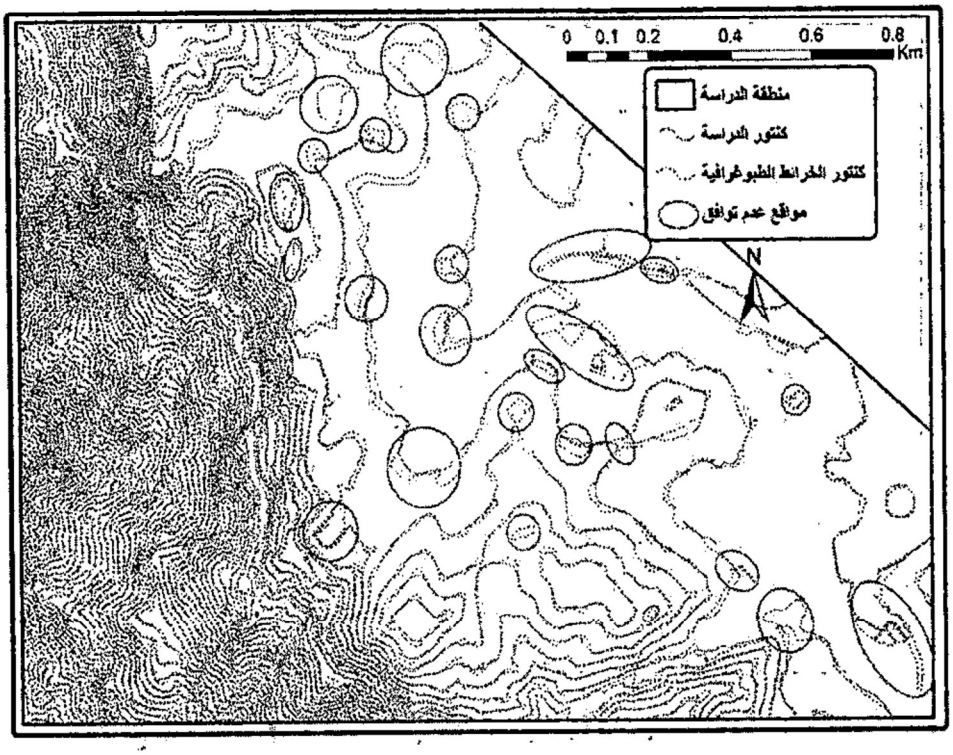


شكل (٧) الجزء الأوسط الشمالي لمنطقة الدراسة مقياس رسم ١: ١٠٠٠٠



شكل (٨) الجزء الشمالي لمنطقة الدراسة مقياس رسم ١: ١٠٠٠٠

- ويتضح من المقارنة عند مقياس رسم ١: ٨٠٠٠ وجود عدم توافق لكل من خطوط كنتور DTM، وخطوط كنتور الخرائط الطبوغرافية في المناطق المستوية وشبه المستوية، حيث تبينه إشارات عدم التوافق على الخريطة والتي تجاوزت عدد ٢٦ منطقة يتضح فيها عدم التوافق (شكل ٩) والتي تحتاج إلى دراسة خاصة لتوضيحها وتفسيرها بشكل دقيق.



شكل (٩) الجزء الأوسط الجنوبي لمنطقة الدراسة مقياس رسم ١: ٨٠٠٠

ب- مقارنة الانحراف المعياري

لقد تمت مقارنة الانحراف المعياري، ومعرفة قيمة المدى، وذلك باستخدام عدد ١١ خط كنتور منتظمة (الخط العاشر من كل خط كنتور ابتداء بأقل قيمة – أي كل (١٠٠م) قيمة ارتفاع)، ومختارة من الخرائط الطبوغرافية، ومعرفة الفرق بينها في قيم الارتفاع، وبين قيم الارتفاع لعدد ٣٣٨ نقطة مختارة على كل من نموذج ارتفاعات رقمي خلوي للدراسة، وبيانات قوقل إيرث (جدول ٣). وقد تم الحصول على نتيجتين كالاتي:

النتيجة الأولى: أخذت متوسط قراءات ارتفاع النقاط المختارة على نموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي لـ DTM (نقاط مختارة على بيانات DTM)، وتم مقارنتها مع قيم ارتفاع خطوط الكنتور المختارة للخرائط الطبوغرافية لكل خط كنتور كل على حده، وكان أعلى فرق في القيمة (-٢.٧٣م) لخط الكنتور ١٢٩٠م، وأقل فرق في القيمة (-٠.٠١م) لخط الكنتور ١٦٩٠م، وقد أخذت مدى (الفرق بين أقل قيمة وأعلى قيمة) بمقدار (-٢.٧٢م)، وقيمة الانحراف المعياري لفرق قيم الارتفاع ١.٠٤م، وكان متوسط فرق قيم الارتفاع بمقدار (٠.٠٠٥م) (جدول ٣)، وهي قيمة منخفضة جداً إذا ما قورنت مع قيمة الخطأ المسموح بها لقيمة الارتفاع، والتي تم توضيحها سابقاً وهي تعادل نصف قيمة الفاصل الكنتوري المستخدمة. وبما أن قيمة الفاصل الكنتوري المستخدم في الدراسة الراهنة هو (١٠م)، فيجب أن تصل نسبة الخطأ المسموح بها إلى قيمة أقل أو تساوي (±٥م)، وفي حال الحصول على قيمة أقل، فإن هذا يعني دقة البيانات، وصحتها، والعكس صحيح، وقد حُسبت نسبة الخطأ المسموحة (الأسمري، ١٤٣٧هـ) كالاتي:

(Contour Interval / 2 = 10 / 2 = ± 5m)

ونستنتج مما سبق تقارب نتائج المقارنة بين كل من بيانات الخرائط الطبوغرافية، والبيانات المنتجة من DTM حيث كانت النتيجة منخفضة (٠.٠٥م) في متوسط فرق قيم الارتفاع حيث ابتعدت عن قيمة الخطأ المسموح بها وابتعدت عن (±٥م)؛ وحصلت أيضاً على قيمة منخفضة (١.٠٤م) للانحراف المعياري.

جدول (٣) فرق الارتفاع والانحراف المعياري للنقاط المختارة من DTM وقوقل إيرث مع خطوط الكنتور المختارة من الخرائط الطبوغرافية

أحدى عشر خط كنتور مختارة من الخرائط الطبوغرافية		متوسط الارتفاع لعدد ٣٣٨ نقطة مختارة على الكنتور المختار بالخرائط الطبوغرافية		فرق قيم ارتفاع خطوط الكنتور المختارة للخرائط الطبوغرافية	
		بيانات DTM	بيانات قوقل إيرث	بيانات DTM	بيانات قوقل إيرث
1	1290 m	1292.7333 m	1303.0000 m	**-2.73** m	-13.00 m
2	1390 m	1388.9092 m	1395.8667 m	1.09 m	-5.87 m
3	1490 m	1489.9211 m	1495.3333 m	0.08 m	-5.33 m
4	1590 m	1590.6235 m	1608.5349 m	-0.62 m	**-18.53** m
5	1690 m	1690.0055 m	1700.2340 m	**-0.01** m	-10.23 m
6	1790 m	1790.3111 m	1780.8108 m	-0.31 m	9.19 m
7	1890 m	1889.6095 m	1884.7561 m	0.39 m	5.24 m
8	1990 m	1989.9381 m	1988.4865 m	0.06 m	**1.51** m
9	2090 m	2089.4581 m	2091.7097 m	0.54 m	-1.71 m
10	2190 m	2189.3133 m	2194.0278 m	0.69 m	-4.03 m
11	2290 m	2288.6163 m	2273.8947 m	1.38 m	16.11 m
متوسط فرق قيم الارتفاع				**0.05** m	**-2.42** m
المدى لفرق قيم الارتفاع				**-2.72** m	**-20.04** m
الانحراف المعياري				**1.04**	**9.57**

النتيجة الثانية: من خلال مقارنة متوسط قراءات ارتفاع النقاط المختارة على بيانات قوقل إيرث (نقاط مختارة على بيانات قوقل إيرث)، مع قيم ارتفاع خطوط الكنتور المختارة للخرائط الطبوغرافية لكل خط كنتور كل على حده، حيث كانت أعلى قيمة في فرق الارتفاع (-١٨.٥٣م) لخط كنتور ١٥٩٠م، وأقل قيمة (١.٥١م) لخط كنتور ١٩٩٠م، وبفرق في الارتفاع مقداره (-٢.٤٢م)، وهي قيمة جيدة حيث لم تتجاوز قيمة الخطأ المسموح بها (±٥م)، وحصلت على مدى (-٢٠.٠٤م)، وهي

قيمة تبين مقدار التذبذب العالي على بيانات قوقل إيرث، وتحصلت على انحراف معياري (٩.٥٧م)، وهي قيمة عالية جداً (جدول ٣)، حيث نستنتج تباعد النتائج بين كل من بيانات قول إيرث، وبيانات الخرائط الطبوغرافية بفرق جيد في قيمة الارتفاع (-٢.٤٢م) لم تتجاوز قيمة الخطأ المسموح بها؛ ولكن بفرق مرتفع جداً (٩.٥٧م) للانحراف المعياري. وأيضاً مما يزيد الأمر سوء وجود تذبذب عالي (-٠.٠٤٢م)، والذي يشير إلى وجود أخطأ في الارتفاع، ونتائج غير مرضية لبيانات قوقل إرث وهذا المتوقع إثباته.

ويمكن إرجاع سبب وجود الفروق الكبيرة في نتيجة مقارنة بيانات قوقل إرث مع الخرائط الطبوغرافية، وذلك فيما يخص منطقة الدراسة تحديداً بأن بيانات قوقل إرث بُنِيَت على بيانات ذات درجة وضوح منخفضة في حدود (٣٠م). ولم تمر بعمليات المراجعة، والتدقيق كما في بيانات DTM، والخرائط الطبوغرافية، ولذلك فهي ليست مناسبة لمثل هذه المقارنات.

ت- مقارنة نقاط الارتفاع

تهتم الجهات المختصة في إنشاء الخرائط الطبوغرافية بشكل كبير بأخذ قياسات نقاط الارتفاع حقليا بدقة عالية لأهميتها في إنتاج الخرائط الطبوغرافية، ولذلك عمدت الدراسة الراهنة لاستخدام مثل هذه النقاط في مقارنة، وقياس دقة نموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي لـ DTM، حيث استخدمت الدراسة الراهنة طبقة النقاط (*. dgn Point) من ملفات الخرائط الطبوغرافية الرقمية، ومن هذه الطبقة تم جلب جميع نقاط الارتفاع المتوفرة، والتي تغطي منطقة الدراسة والتي بلغ عددها ٢٣٤ نقطة ارتفاع (شكل ١٠)، وقد تم مقارنتها، وفرز النتائج حسب قيمة الانحراف المعياري بين نقاط

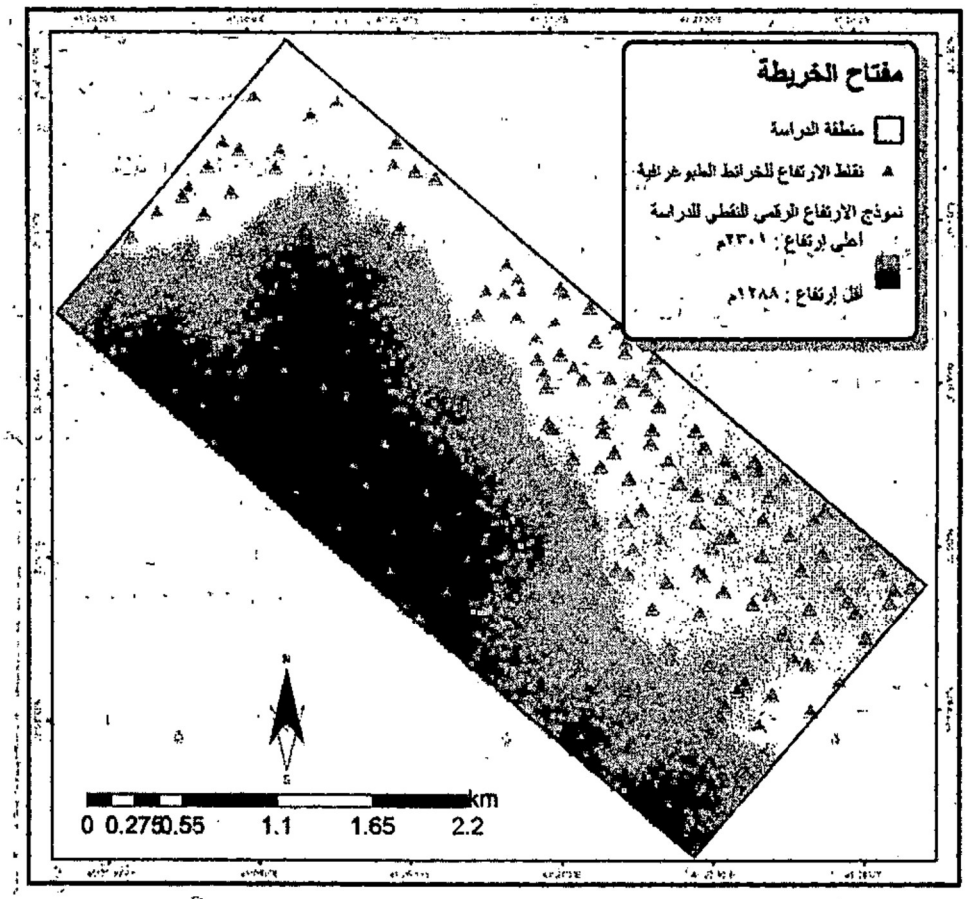
الارتفاع للخرائط الطبوغرافية، وبيانات الارتفاع من DTM، وتم أيضاً تصنيفها إلى اثنتا عشرة فئة بحسب قيم الارتفاع (جدول ٤)، و(شكل ١١) وكانت النتائج كالاتي:

- **الفئة الأولى والفئة الثانية عشر – قيم شاذة أعلى من (±٥م):**

انحصرت القيم الشاذة في الفئتين الأولى والثانية عشر وهي القيم التي تزيد عن (±٥م) في فرق الارتفاع، وكان عددها ٧٢ نقطة تمثل حوالي (٣٠.٨%) من عدد نقاط الارتفاع المستخدمة منها ١١ نقطة سالبة، و٦١ نقطة موجبة. وكانت أعلى قيمة (-٢٩٠.٩م) لنقطة رقم (١٠٩)، وهو رقم كبير جداً حيث أن هذه القيمة شاذة جداً، وغير منطقية، وقد يكون السبب خطأ في إدخال الرقم.

- **الفئة الثانية والفئة الحادية عشر – قيم بين (±٥م و±٤م):**

تعد الفئة الثانية والفئة الحادية عشر هي القيم التي تنحصر بين (±٥م) و (±٤م) في فرق الارتفاع، وتبدو قيم هذه النقاط مرتفعة بشكل واضح، وكان عددها ٥٣ نقطة ارتفاع منها نقطتين سالبة، و٥١ نقطة موجبة، وتمثل ما نسبته حوالي (٢٢.٦%) من مجموع نقاط الارتفاع المستخدمة.



شكل (١٠) نقاط ارتفاع الخرائط الطبوغرافية على نموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي للـ DTM.

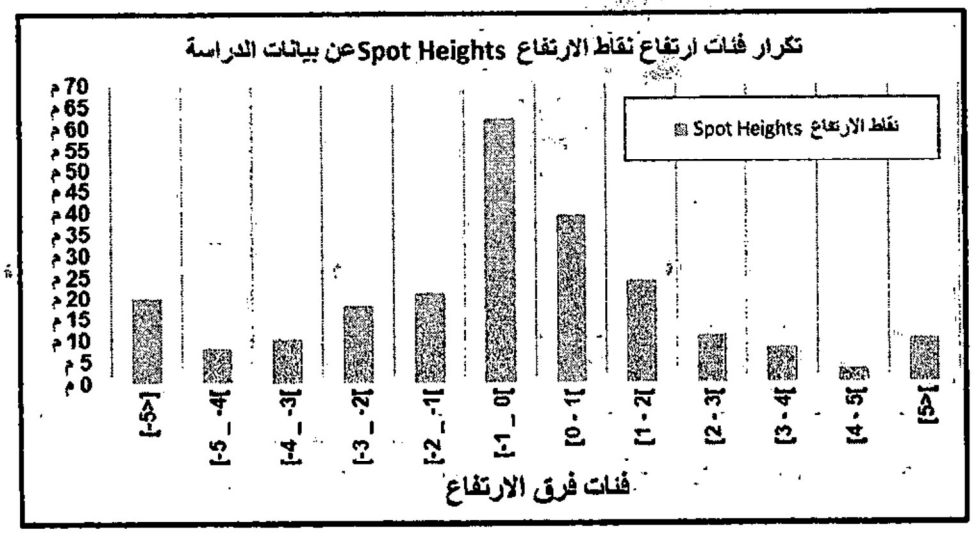
- **الفئة الثالثة والفئة العاشرة – قيم بين (±٤م و ±٣م):**

تعد الفئة الثالثة والفئة العاشرة هي القيم التي تنحصر بين (±٤م) و (±٣م) في فرق الارتفاع، وتبدو قيم هذه النقاط مرتفعة بعض الشيء، وكان عددها ٥٩ نقطة

ارتفاع منها ٤ نقاط سالبة، و٥٥ نقطة موجبة، وتمثل حوالي (٢٥.٢%) من عدد نقاط الارتفاع المستخدمة.

- **الفئة الرابعة والفئة التاسعة – قيم بين (±٣م و ±٢م):**

تنحصر قيمة الفئة الرابعة والفئة التاسعة بين (±٣م و ±٢م) حيث يبلغ عدد هذه القيم ٢٤ نقطة ارتفاع منها نقطتين سالبة، و٢٢ نقطة موجبة، وتمثل ما نسبته حوالي (١٠.٣%) من مجموع نقاط الارتفاع المستخدمة. وتبدو قيم هذه النقاط شبه مرتفعة.



شكل (١١) تكرارات فئات فرق الارتفاع لنقاط الارتفاع Spot Heights على نموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي لـ DTM.

- **الفئة الخامسة والفئة الثامنة – قيم بين (±٢م و ±١م):**

تعد الفئة الخامسة والفئة الثامنة هي القيم التي تنحصر بين (±٢م و ±١م) في فرق الارتفاع، وتبدو قيم هذه النقاط معتدلة الارتفاع، وكان عددها ٩ نقاط ارتفاع منها

نقطة واحدة سالبة، و ٤ نقاط موجبة، وتمثل حوالي (٣.٨%) من عدد نقاط الارتفاع المستخدمة.

جدول (٤) فئات فرق الارتفاع لنقاط الخرائط الطبوغرافية، ونموذج DTM

الفئات	الانحراف المعياري	المجموع	النسبة المئوية
الفئة الأولى	قيم شاذة أعلى من (-٥م)	١١	%٤.٧٠
الفئة الثانية	قيم بين (-٥م و -٤م)	٢	%٠.٩٠
الفئة الثالثة	قيم بين (-٤م و -٣م)	٤	%١.٧٠
الفئة الرابعة	قيم بين (-٣م و -٢م)	٢	%٠.٩٠
الفئة الخامسة	قيم بين (-٢م و -١م)	١	%٠.٤٠
الفئة السادسة	قيم بين (-١م و ±٠م)	٣	%١.٣٠
الفئة السابعة	قيم بين (±٠م و +١م)	١٤	%٦.٠٠
الفئة الثامنة	قيم بين (+١م و +٢م)	٨	%٣.٤٠
الفئة التاسعة	قيم بين (+٢م و +٣م)	٢٢	%٩.٤٠
الفئة العاشرة	قيم بين (+٣م و +٤م)	٥٥	%٢٣.٥٠
الفئة الحادية عشر	قيم بين (+٤م و +٥م)	٥١	%٢١.٨٠
الفئة الثانية عشر	قيم شاذة أعلى من (+٥م)	٦١	%٢٦.١٠
مجموع كل القيم		٢٣٤	%١٠٠
مجموع القيم السالبة		٢٣	%٩.٨٠
مجموع القيم الموجبة		٢١١	%٩٠.٢٠

- **الفئة السادسة والفئة السابعة – قيم بين (±١م و ٠م):**

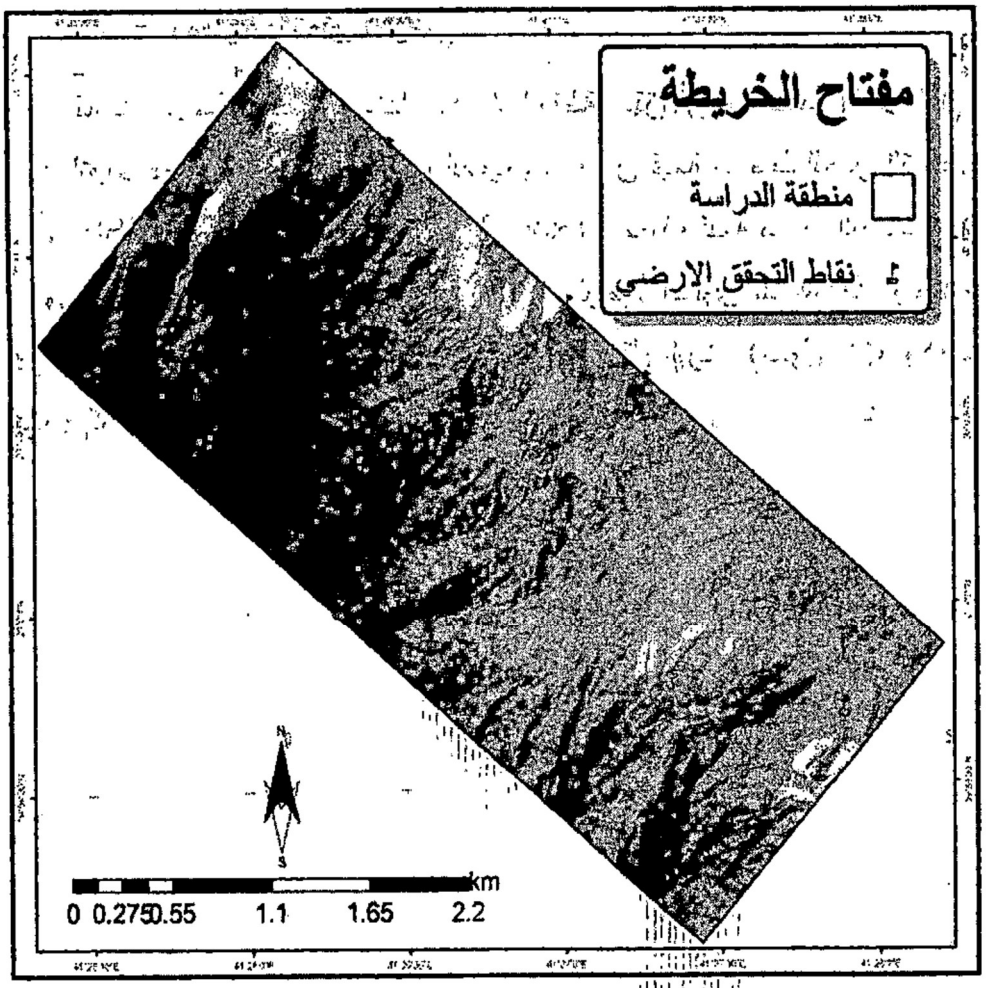
بلغ عدد قيم الفئة السادسة والفئة السابعة ١٧ نقطة ارتفاع منها ٣ نقاط سالبة، و١٤ نقطة موجبة، وتمثل ما نسبته حوالي (٧.٣%) من مجموع نقاط الارتفاع المستخدمة. وتبدو قيم هذه النقاط معتدلة جداً، حيث تنحصر قيم فرق الارتفاع في القيم بين بين (±١م و ٠م).

يظهر مما سبق بعض النتائج غير المرضية، حيث تظهر قياسات الفئة الأولى بقيم متطرفة أو شاذة ابتعدت عن نموذج DTM بنسبة مئوية تجاوزت (٥%) بالإضافة لذلك وجود قيمة متطرفة بشكل غير منطقي، وقد يكون هذا الخطأ بسبب الإدخال البشري لقيم الارتفاع للنقطة؛ الفئة الثانية قيم مرتفعة تقع بين (±٥م و ±١٠م)، وقد بلغت نسبتها أكثر من (٧.٥%)، وهي نسبة عالية، وحيث أنها نقاط تجاوزت قيمة الخطأ المسموح بها هنا (±٥م)، ، وهذا يقلل من دقة هذه البيانات، لذلك فإن هذه البيانات غير مناسبة لمقاييس الرسم الكبيرة؛ الفئة الثالثة ذات قيم متوسطة تقع بين (±٢م و ±٥م) بلغت ما نسبته حوالي (٢٥%)؛ الفئة الرابعة قيم منخفضة أقل من (±٢م)، وبمجموع يمثل أقل من ثلثي نقاط الارتفاع المستخدمة، والتي كان من المفترض أن تكون أكثر من ذلك. ومن الملاحظ أيضاً على كل الفئات السابقة أن نسبة الخطأ تتركز في القيم السالبة أكثر من الموجبة، وترجع الدراسة الراهنة السبب إلى ما يغلب من أخطأ أثناء عمليات الاستخراج التلقائي للتضاريس، وأيضاً التعديل التفاعلي (البشري) للتضاريس، حيث تكثر الأخطاء في النقاط الغاطسة (السالبة)، وتقل في النقاط الطائرة (الموجبة)، وهذا ما لمسته الدراسة الراهنة أثناء عملية التعديل التفاعلي.

ووجب التوضيح هنا أن مثل هذه المقارنة غير عادلة بشكل دقيق حيث أنه من المنطقي وجود هذه الاختلافات، وذلك بسب نوع البيانات المستخدمة للمقارنة حيث أن بيانات نقاط الارتفاع ذات دقة عالية مقارنة مع أي نموذج أخر منتج. مثال ذلك ما تم عند مقارنته مع نموذج الارتفاعات الرقمي النقطي للدراسة، والذي من الطبيعي أن يكون هناك فروق واضحة فيما بينهما، حيث تم تطبيق هذه المقارنة لزيادة التأكد من دقة، وصحة نموذج DTM.

ث- المقارنة بالتحقق الأرضي

قامت الدراسة الراهنة باستخدام عدد ٣٧ نقطة تحقق أرضية حقلية (شكل ١٢)، وذلك لتقييم قيمة الارتفاع، والانحراف المعياري، وقياس قيمة متوسط الجذر التربيعي للخطأ (RMSE Root Mean Square Error)، ومعرفة قيمة صحة البيانات عند مستوى ثقة ٩٥% لكل من نموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي للـ DTM، ونموذج الارتفاعات الرقمي للخرائط الطبوغرافية، وبيانات قوقل إيرث (جدول ٥)، وكانت النتائج كالاتي:

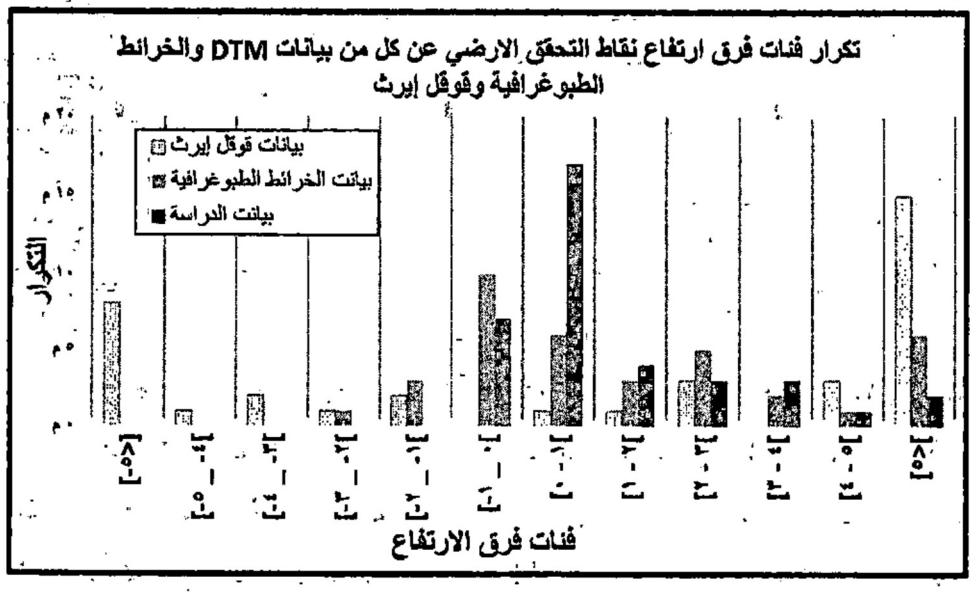


شكل (١٢) نقاط التحقق الأرضية (٣٧ نقطة) المستخدمة في تقييم دقة كل من نموذج DTM والخرائط الطبوغرافية وقوقل إيرث

- **نموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي لـ DTM:**

أظهرت مقارنة قيم ارتفاع نقاط التحقق الأرضي المأخوذة حقلياً مع بيانات DTM متوسط فرق ارتفاع بمقدار (±١.١٧م)، وهي قيمة تمثل مستوى دقة عالية،

حيث تُعد أقرب قيم لنقاط التحقق الأرضي كما تبينه فئات التكرارات (شكل ١٣). أما التباين في قيم البيانات فكانت أكبر قيمة للفرق في الإرتفاع (٥.٢٦م)، وأقل قيمة (٠.٠٠٤م)، وبمدى منخفض (٥.٢٢م)، وتشير إلى اتزان بيانات DTM، واقترابها كثيراً من قيم الارتفاعات الحقيقية لسطح الأرض. وقيمة متوسط الجذر التربيعي للخطأ (١.٩٥م)، حيث ابتعدت عن نسبة الخطأ (±٥م) المسموح بها. وهي قيمة منخفضة الخطأ (شكل ١٣). وبلغ الانحراف المعياري قيمة منخفضة (١.٥٦م)، وهذا ما أكد للباحث دقة نموذج DTM. وأيضاً تم حساب قيمة الصحة عند مستوى ثقة (٩٥%) حيث بلغت (±٣.٠٥م)، حيث توضح الدراسة الراهنة أنه عند مستوى ثقة (٩٥%) ستكون أي قيمة ارتفاع في نموذج DTM صحيحة بالنسبة للحقيقة ضمن مدى يتراوح بين (±٣.٠٥م) (جدول ٥).



شكل (١٣) تكرارات فئات فرق الارتفاع لكل من DTM والخرائط الطبوغرافية وقوقل إيرث بالنسبة لنقاط التحقق الأرضي

جدول (٥) الفروق في تمثيل بيانات الارتفاعات المختلفة

تمثيل بيانات الارتفاع	تحقق أرضي (GPS) Ground Truthing	نموذج ارتفاعات رقمي للدراسة DEMs	خرائط طبوغرافية Topographic Map	قول إيرث Google Earth
هيئة البيانات	نقاط (X, Y, Z)	Contour & DTM & D EM-Raster	Contour & DEM-Raster	بيانات الارتفاع
متوسط فرق الارتفاع	± ٠.٠٠١م	± ١.١٧م	± ١.٩٧م	± ١.٩٦م
قيمة (RMSE)	--------	١.٩٥	٤.١٦	١١.٢٩
قيمة الصحة عند مستوى ثقة (٩٥%)	--------	± ٣.٠٥م	± ٧.١٧م	± ٢١.٧٩م
مدى	٠.٠١م	٥.٢٢م	١٤.٧٢م	٢٧.٩٥م
انحراف معياري	--------	١.٥٦م	٣.٦٦م	١١.١٢م
مستوى الدقة	عالية جداً	عالية	متوسطة	منخفضة
مستوى الانحراف	منخفض جداً	منخفض	مرتفع	مرتفع جداً
مستوى المدى	منخفض جداً	منخفض	مرتفع	مرتفع جداً
مستوى التغطية	محدودة	متوسطة	واسعة	كل سطح الأرض
مستوى دقة التقييم	الأول	الثاني	الثالث	الرابع

نستنتج مما سبق أن بيانات DTM دقيقة، وصحيحة بشكل مرضي، وقريبه جداً من الارتفاعات الحقيقية لسطح الأرض، وقد احتلت مستوى الدقة الثاني، وذلك لابتعادها عن نسبة الخطأ المسموحة، ولأن تباينها معتدل، وأيضاً لانخفاض قيمة الانحراف المعياري لبياناتها. وترجع الدراسة الراهنة سبب دقة بيانات DTM، وتفوقها على بيانات الخرائط الطبوغرافية، وقوقل إيرث بسبب الاهتمام، والحرص على دقة

عمليات التعديل التفاعلي البشري؛ جودة البيانات المستخدمة (صور جوية، ونقاط ضبط أرضي)؛ نوعية البرمجيات المستخدمة أثناء الاستخراج التلقائي للتضاريس.

- **نموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي للخرائط:**

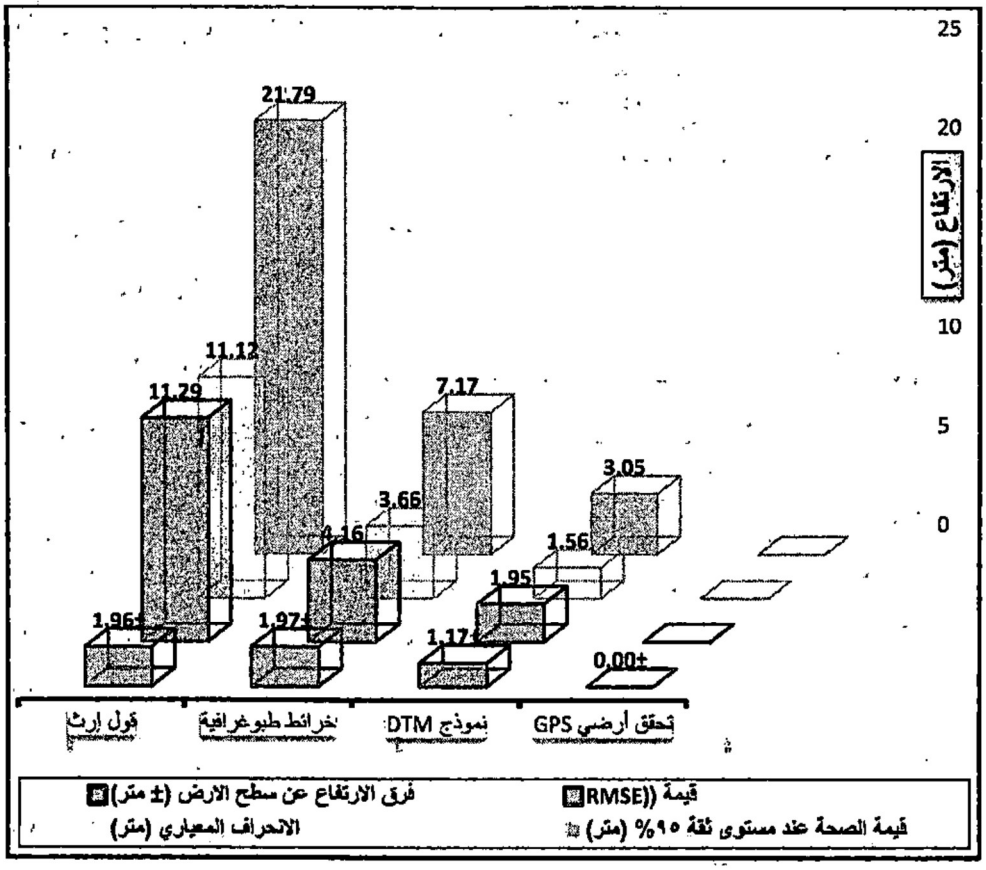
أظهرت مقارنة قيم ارتفاع نقاط التحقق الأرضي المأخوذة حقلياً مع بيانات الخرائط الطبوغرافية متوسط فرق ارتفاع بمقدار (± ١.٩٧م)، وهي قيمة تمثل مستوى دقة متوسطة، وتُعد ثاني أقرب قيمة لنقاط التحقق الأرضي كما تبينه فئات التكرارات (شكل ١٣). وكانت قيمة متوسط الجذر التربيعي للخطأ (٤.١٦م) وهي قيمة معتدلة نسبياً حيث اقتربت من نسبة الخطأ (±٥م) المسموح بها. أما التباين بين قيم البيانات فكانت أكبر قيمة للفرق في الارتفاع (١٤.٧٢م)، وأقل قيمة (٠.٠٠م)، وبمدى مرتفع (١٠.٧٤م)، وهي قيمة مرتفعة نسبياً، وتشير إلى عدم اتزان بيانات الخرائط الطبوغرافية، وأيضاً ابتعدت قليلاً عن الارتفاعات الحقيقية لسطح الأرض (شكل ١٣). وبلغ الانحراف المعياري قيمة مرتفعة (٣.٦٦م). وأيضاً تم حساب قيمة الصحة واتضح أنه عند مستوى ثقة (٩٥%) ستكون أي قيمة ارتفاع في نموذج الخرائط الطبوغرافية صحيحة بالنسبة للحقيقة ضمن مدى يتراوح بين (±٧.١٧م) وهذا يوضح أن جودة، ودقة نموذج الخرائط الطبوغرافية أقل من جودة نموذج DTM (جدول ٥).

نستنتج مما سبق أن بيانات الخرائط الطبوغرافية سليمة، وصحيحة، ولكن بشكل أقل من النموذج ونقاط التحقق الأرضي، حيث ابتعدت عن الارتفاعات الحقيقية لسطح الأرض، وقد احتلت مستوى الدقة الثالث، وذلك لاقترابها من نسبة الخطأ المسموحة أكثر من نموذج DTM، وكانت قيمة الانحراف المعياري مرتفعة، وأيضاً تباينها مرتفع نسبياً. وترجع الدراسة الراهنة سبب تدني دقة بيانات الخرائط الطبوغرافية

وابتعادها عن نقاط التحقق الأرضية بسبب التغطية الواسعة التي تقلل من الحصول على دقة عالية؛ وعدم الاهتمام، والحرص على دقة عمليات التعديل التفاعلي البشري أثناء الإنشاء؛ وانخفاض جودة البيانات المستخدمة (صور جوية، ونقاط ضبط أرضي)؛ ونوعية البرمجيات المستخدمة عند الاستخراج التلقائي للتضاريس.

- **بيانات قوقل إيرث:**

أظهرت مقارنة قيم ارتفاع نقاط التحقق الأرضي المأخوذة حقلياً مع بيانات قوقل إيرث متوسط فرق ارتفاع بمقدار (± ١.٩٦م)، وهي قيمة تمثل مستوى دقة منخفضة، حيث تُعد أبعد قيمة عن نقاط التحقق الأرضي كما تبينه فئات التكرارات (شكل ١٣)، وكانت قيمة متوسط الجذر التربيعي للخطأ (١.٢٩م) وهي قيمة مرتفعة نسبياً حيث ابتعدت كثيراً عن نسبة الخطأ (±٥م) المسموح بها، حيث كان التباين مرتفع في قيم البيانات فكانت أكبر قيمة للفرق في الارتفاع (٢٨.٤٥م)، وأقل قيمة (٠.٥٠م)، وأخذت مدى مرتفع جداً (٢٧.٩٥م)، والذي يشير إلى اضطراب واضح، وعدم اتزان في بيانات قوقل إيرث، وابتعادها عن الارتفاع الحقيقي لسطح الأرض كثيراً، وذلك فيما يخص منطقة الدراسة (شكل ١٤). وبلغ الانحراف المعياري قيمة مرتفعة جداً (± ١١.١٢م). وتم أيضاً حساب قيمة الصحة واتضح أنه عند مستوى ثقة (٩٥%) ستكون أي قيمة ارتفاع في بيانات قوقل إيرث صحيحة بالنسبة للحقيقة ضمن مدى يتراوح بين (±٢١.٧٩م)، مما يؤكد أن دقة ارتفاعات قوقل إيرث أقل من نموذج الخرائط الطبوغرافية، وبطبيعة الحال أقل من نموذج DTM (جدول ٥).



شكل (١٤) فرق الإرتفاع ومتوسط الجذر التربيعي للخطأ والإنحراف المعياري وقيمة الصحة لكل من التحقق الأرضي ونموذج DTM والخرائط الطبوغرافية وقوقل إيرث بالنسبة للطبيعة

نستنتج مما سبق أن بيانات قوقل إيرث غير دقيقة، وليست مرضية، حيث ابتعدت عن الارتفاعات الحقيقية لسطح الأرض كثيراً، وقد احتلت مستوى الدقة الرابع والأخير، وقد ابتعدت عن نسبة الخطأ المسموحة، وكان تباينها مرتفعاً، وأيضاً للارتفاع الكبير في قيمة الانحراف المعياري. وترجع الدراسة الراهنة سبب تدني دقة

بيانات قوقل إيرث، وابتعادها عن نقاط التحقق الأرضية بسبب التغطية الكبيرة لكامل سطح الأرض والذي بدوره يقلل من الحصول على دقة عالية؛ عدم الاهتمام، والحرص على دقة عمليات التعديل التفاعلي البشري أثناء الإنشاء، واللجوء للاستخراج التلقائي فقط؛ استخدام بيانات (صور فضائية).

٢. الخلاصة

توصلت الدراسة لعدة نتائج مهمة باستخدام عدة مقارنات، وذلك لإثبات وتقييم دقة نموذج DTM، والخرائط الطبوغرافية، وقوقل إيرث، وكانت كالاتي:

يتطابق الاتجاه العام لخطوط الكنتور لكل من DTM، والخرائط الطبوغرافية بشكل عام، ولكن مع استخدام مقياس رسم أكبر يتضح وجود فروق في الكنتور تدل على عدم التطابق بشكل كبير، ووجود عدم توافق في خطوط الكنتور في أكثر من ٢٦ منطقة.

أظهرت مقارنة الانحراف المعياري نتيجتين: الأولى تقاربت بيانات الخرائط الطبوغرافية، وبيانات DTM حيث كانت نتيجة فرق قيم الارتفاع منخفضة (٠.٠٠٥م)، وقد ابتعدت عن قيمة الخطأ المسموح بها، وحصلت أيضاً على قيمة انحراف معياري منخفضة (١٠.٠٤م)؛ الثانية تباعدت بيانات الخرائط الطبوغزافية، وبيانات قوقل إيرث حيث كانت نتيجة فرق قيم جيدة نسبياً (-٢.٤٢م)، وقد ابتعدت عن قيمة الخطأ المسموح بها، ولكنها حصلت على قيمة انحراف معياري مرتفع جداً (٩.٥٧م)، وأيضاً وجود بها تذبذب عالي (-٢٠٠٤م)، والذي يشير لوجود أخطأ كبيرة في الارتفاعات.

وضحت مقارنة نقاط الارتفاع للخرائط الطبوغرافية مع نموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي لـ DTM ١٢ فئة شكلت الفئة (١، ١٢) أعلى نسبة (٣٠.٨%) من

النقاط بقيم شاذة في الارتفاع، والفئة (٢، ١١) بنسبة (٢٢.٦%) من النقاط بقيم مرتفعة بشكل واضح، والفئة (٣، ١٠) بنسبة (٢٥.٢%) وبقيم مرتفعة بعض الشيء، والفئة (٤، ٩) بنسبة (١٠.٣%) شبه مرتفعة، والفئة (٥،٨) بنسبة (٣.٨%) وبقيم معتدلة الارتفاع، وأما الفئة (٦، ٧) فقد تمثلت بنسبة (٧.٣%) من النقاط، وبقيم معتدلة جداً في الارتفاع.

كشفت مقارنة نقاط التحقق الأرضي ثلاث نتائج. الأولى: كانت مع النموذج الخلوي للدراسة ذات مستوى عالي من الدقة (± ١.١٧م)، وبقيمة لمتوسط الجذر التربيعي للخطأ (١.٩٥م)، وبمدى منخفض (٥.٢٢م)، وببيانات متزنة، وبانحراف معياري منخفض (١.٥٦م)، وبلغت قيمة الصحة (±٣.٠٥م) عند مستوى ثقة (٩٥%)؛ الثانية: كانت مع نموذج الارتفاع الرقمي للخرائط الطبوغرافية ذات مستوى متوسط من الدقة (± ١.٩٧م)، وكانت قيمة متوسط الجذر التربيعي للخطأ (٤.١٦م)، ومدى مرتفع (١٤.٧٢م)، وبيانات غير متزنة نسبياً، وبانحراف معياري مرتفع (٣.٦٦م)، وبلغت قيمة الصحة (±٧.١٧م) عند مستوى ثقة (٩٥%)؛ الثالثة: كانت مع قوقل إيرث بمستوى منخفض من الدقة (± ١.٩٦م)، وكانت قيمة متوسط الجذر التربيعي للخطأ (١١.٢٩م)، ومدى مرتفع جداً (٢٧.٩٥م)، وبيانات غير متزنة، وبانحراف معياري مرتفع (١١.١٢م)، وبلغت قيمة الصحة (±٢١.٧٩م) عند مستوى ثقة (٩٥%)، حيث تبين من خلال المقارنات السابقة أن نقاط التحقق الأرضي تحتل المرتبة الأولى في مستوى الدقة، ويحتل المرتبة الثانية نموذج DTM، وتحتل المرتبة الثالثة الخرائط الطبوغرافية، ويحتل المرتبة الرابعة والأخيرة قوقل إيرث.

ثالثا: النتائج والتوصيات

١. النتائج

توصلت الدراسة إلى عدد من النتائج والتي كان من أهمها الآتي:

- أظهرت الدراسة أن الاتجاه العام لخطوط الكنتور لكل من بيانات DTM، والخرائط الطبوغرافية متطابق بشكل كبير مع وجود بعض الاختلافات، وعدم التطابق في بعض المواقع، وذلك بوجود انحناءات غير منطقية في كنتور الخرائط الطبوغرافية. أما في المناطق المنحدرة، والمتضرسة فيوجد التطابق بدرجة أعلى، بخلاف المناطق المستوية التي يقل بها التطابق.
- بينت المقارنة باستخدام نقاط التحقق الأرضي أن البيانات المنتجة من DTM دقيقة، وصحيحة بشكل مرضي، وذلك بسبب اقتراب متوسط فرق الارتفاع من الارتفاعات الحقيقية لسطح الأرض بمقدار (± ١.١٧م)؛ وحصلت على (١.٩٥م) لمتوسط الجذر التربيعي للخطأ وهو بعيد عن نسبة الخطأ المسموحة؛ وتباينها المعتدل (٥.٢٢م)؛ وأيضاً لانخفاض قيمة الانحراف المعياري (١.٥٦م)، وكانت قيمة الصحة (±٣.٠٥م) عند مستوى ثقة (٩٥%).
- اتضح من مقارنة الانحراف المعياري للنقاط المختارة تقارب نتائج كل من بيانات الخرائط الطبوغرافية، والبيانات المنتجة من DTM مع فرق بسيط (٠.٠٠٥م) ابتعد عن قيمة الخطأ المسموح بها في قيمة الارتفاع؛ وفرق منخفض (١.٠٤م) للانحراف المعياري؛ وأيضاً بمدى منخفض (-٢.٧٢م) لبيانات قيمة الارتفاع.

- تبين من مقارنة الانحراف المعياري للنقاط المختارة تباعد نتائج كل من بيانات الخرائط الطبوغرافية، وبيانات قوقل إيرث. فقد بلغ الفرق (-٢.٤٢م) حيث لم يتجاوز قيمة الخطأ المسموح بها في قيمة الارتفاع، ولكنه حصل على فرق مرتفع بمقدار (٩.٥٧م) في الانحراف المعياري، وأيضاً وجود تذبذب عالي (-٢٠.٠٤م) لبيانات قوقل إيرث يبين وجود أخطأ في قيم الارتفاع.
- اتضح من مقارنة نقاط الارتفاع للخرائط الطبوغرافية مع بيانات الارتفاع من DTM وجود ١٢ فئة من قيم النتائج: حيث مثلت الفئة (١، ١٢) القيم الشاذة بنسبة (٣٠.٨%)، وبارتفاعات أكبر من (±٥م)؛ الفئة (٢، ١١) (±٥م إلى ±٤م) كانت ذات قيم مرتفعة بشكل واضح، وبنسبة بلغت (٢٢.٦%)؛ أما الفئة (٣، ١٠) (±٤م إلى ±٣م)، فكانت بقيم مرتفعة بعض الشيء بمقدار (٢٥.٢%) من النقاط؛ والفئة (٤، ٩) (±٣م إلى ±٢م) بقيم شبه مرتفعة، وبنسبة (١٠.٣%) من النقاط؛ الفئة (٥، ٨) (±٢م إلى ±١م) كانت ذات قيم معتدلة الارتفاع، وبنسبة بلغت (٣.٨%)؛ أما الفئة (٦، ٧) (±١م إلى ٠م)، فكانت بقيم معتدلة جداً بمقدار (٧.٣%) من النقاط.
- اتضح من بيانات الخرائط الطبوغرافية دقتها، وصحتها، ولكن بدرجة أقل من البيانات المنتجة من DTM، حيث ابتعدت عن الارتفاعات الحقيقية لسطح الأرض بمتوسط فرق في الارتفاع بلغ حوالي (± ١.٩٧م)؛ وحصلت على (٤.١٦م) لمتوسط الجذر التربيعي للخطأ وكانت قريبة نسبياً من نسبة الخطأ المسموحة؛ ولكن تباينها كان مرتفعاً نسبياً حيث بلغ (١٤.٧٢م)؛ وأيضاً

كانت قيمة الانحراف المعياري عالية (٣.٦٦م)، وكانت قيمة الصحة (±٧.١٧م) عند مستوى ثقة (٩٥%).

- كانت بيانات قوقل إيرث ذات دقة منخفضة بشكل عام حيث ابتعدت عن الارتفاعات الحقيقية لسطح الأرض بمتوسط فرق في الارتفاع بلغ حوالي (± ١.٩٦م)؛ وحصلت على (١١.٢٩م) لمتوسط الجذر التربيعي للخطأ، وكانت بعيدة كثيراً عن نسبة الخطأ المسموحة؛ وكان تباينها مرتفع جداً (٢٧.٩٥م)؛ كذلك كانت قيمة الانحراف المعياري مرتفعة (١١.١٢م)، وبلغت قيمة الصحة (±٢١.٧٩م) عند مستوى ثقة (٩٥%).
- أكدت الدراسة على أن جودة ووضوح مصادر البيانات المستخدمة، وخصائصها ذات تأثير على دقة المنتج (نموذج ارتفاعات رقمي)، حيث أن الإنشاء من البيانات الأولية ينتج عنه نماذج ارتفاعات رقمية بنسبة خطأ منخفضة، والعكس.

٢. التوصيات

تحصلت نماذج الارتفاعات الرقمية على اهتمام كبير من قبل العديد من المؤسسات الحكومية والمؤسسات الخاصة بشكل عام واهتمام الباحثين والدارسين بشكل خاص. لذلك كان لا بد من تغطيتها ودراستها من عدة جوانب مختلفة سواء فيما يخص: علم المساحة التصويرية الرقمية ومنتجاتها ومستجداتها؛ عملية إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية بجميع أشكالها وأنواعها المتعددة؛ قياس دقة المنتجات وصحتها ومعرفة مقدار جودة بياناتها ليتم استثمارها بأفضل الطرق. وبناءًا على النتائج السابق ذكرها، توصلت الدراسة الراهنة إلى الآتي:

- عند الحاجة لإنشاء نموذج ارتفاعات رقمي بدقة عالية ومقياس رسم صغير يجب أن يراعى كل من: الحصول على بيانات صور رقمية أولية (صور جوية أو فضائية) بوضوح عالي؛ عدد كافي من نقاط الإحكام الأرضي؛ توفر الأجهزة، والبرامج المتخصصة في ظل وجود الخبرة العلمية، والعملية في مجال المساحة التصويرية الرقمية.
- كذلك عند الحاجة لإنشاء نموذج ارتفاعات رقمي وجب تحديد الهدف منه وذلك بمعرفة مقدار الدقة المطلوبة (عالية – متوسطة –منخفضة)؛ مقياس الرسم (صغير – متوسطة –كبير)؛ وبناءًا عليها يتم تحدد طريقة الإنشاء، ونوع البيانات.
- تجنب إنشاء نماذج ارتفاعات رقمية من خطوط الكنتور، ومن بيانات قوقل إيرث لاستخدامها في التطبيقات التي تتطلب دقة عالية، وقياسات صحيحة.
- القيام بالمزيد من دراسات المقارنة بين المنتجات المختلفة، وإجراء قياسات دقة النماذج، وتقييم جودتها.
- القيام بدراسات مقارنة بين برمجيات المساحة التصويرية الرقمية المختلفة والمتعددة، وتقييم خصائصها العامة ومزاياها الضرورية لكل من سهولة الاستخدام، والإجراءات، والخطوات، والإمكانات المتوفرة، والنتائج لكل برنامج.

٣. قائمة المراجع

أ- المراجع العربية:

- الأسمري، عبدالله حسن (١٤٣٧هـ). إنشاء نموذج إرتفاع رقمي من الصور الجوية دراسة حالة: الجزء الأعلى من عقبة المخواة، دراسة ماجستير غير منشورة، قسم نظم المعلومات الجغرافية: جامعة الملك عبدالعزيز، ١٠٢ صفحة.
- الأسمري، عبدالله حسن (تحت النشر أ). إنشاء نموذج ارتفاعات رقمي واستخدامه في تطبيقات ومنتجات نظم المعلومات الجغرافية، مصر: جامعة المنوفية.
- الأسمري، عبدالله حسن (تحت النشر ب). المساحة التصويرية الرقمية الحديثة وأهمية منتجاتها في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، مصر: جامعة المنوفية.
- الحسن، عصمت محمد (١٤٣٢هـ). المساحة التصويرية التجسيمية، الرياض: مكتبة الملك فهد الوطنية.
- داود، جمعة محمد (٢٠١٢م). مبادئ المساحة، تاريخ الدخول ٩ ٩، ١٤٣٦: من جامعة أم القرى: https://old.uqu.edu.sa/page/ar/204649.
- عبداللاه، عبدالفتاح صديق (١٤٣٠هـ). أسس الصور الجوية والاستشعار عن بعد، الرياض : مكتبة الرشد.
- علي، عبدالله الصادق (١٤٢٧هـ). مقدمة في المساحة التصويرية التحليلية والرقمية، الرياض : مكتبة الملك فهد الوطنية.

-العمران، علي إبراهيم (١٤٣٣هـ). مقدمة في الاستشعار عن بعد ومعالجة الصور رقميا، الرياض : دار وجوه للنشر والتوزيع.

-الغامدي، علي معاضة (١٤٢٦هـ). طرق اشتقاق نماذج الإرتفاع الآلية من خطوط كنتور خرائط: ١: ٥٠٠٠٠ الطبوغرافية واثرها علي تحليل الرؤية، المجلة العربية لنظم المعلومات الجغرافية، الأولى، ٣٠ صفحة.

ب- المراجع الأجنبية:

- Abas, A. A., & Ali, S. H. (n.d.). The Use of GIS for construction and representation of DEM at Northern Iraq. Al Mosul: University of Al Mosul.
- EL-Sammany, M., Abou EL-Magd, I. H., & Hermas, E.-S. A. (2011). Creating a Digital Elevation Model (DEM) from SPOT 4 Satellite Stereo-Pair Images for Wadi Watier - Sinai Peninsula. Egypt: Nile Basin Water Science & Engineering Journal.
- Farrag, F. A., & Khalil, R. (2005). Investigation of Sampling and Interpolation Techniques for DEMs Derived from Different Data Sources.
- Jacobsen, k. (n.d.). DEM generation from satellite data. Germany: University of Hannover.
- Li, Z., Zhu, Q., & Gold, C. (2005). DIGITAL TERRAIN MODELING: Princiciples and Methodology. U.S.A: COMPANY CRC U.S.A.
- Takagid, M. (n.d.). ACCURACY OF DIGITAL ELEVATION MODEL ACCORDING TO SPATIAL RESOLUTION. Department of Infrastructure Systems Engineering.

تم بحمد الله وتوفيقه،،،،،