إنشاء نموذج ارتفاعات رقمي واستخدامه في تطبيقات ومنتجات نظم المعلومات الجغرافية

(دراسة حالة: الجزء الأعلى من عقبة المخواة)

إعداد: عبدالله حسن محمد الأسمري[1]

إصدار إبريل لعام ٢٠١٧ م

شعبة البحوث الجغرافية

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

المستخلص

تعد نماذج الارتفاعات الرقمية من المنتجات ذات التطبيقات المتعددة، والمهمة. ويتطلب إنشاؤها بيانات صور ذات وضوح Resolution عالي، ومواصفات خاصة، وأجهزة، وبرامج متخصصة، ويتطلب أيضاً الخبرة العلمية، والعملية في مجال المساحة التصويرية الرقمية. وقد هدفت هذه الدراسة إلى إنشاء نموذج ارتفاعات رقمي من بيانات صور جوية ورقية تم تحويلها إلى هيئة رقمية للجزء العلوي من عقبة المخواة. كما تم التعرف على كيفية قياس دقة Accuracy النموذج المنتج باستخدام SOCET SET. وتم التعرف أيضاً على منتجات، وتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية من النموذج المنتج. واعتمدت الدراسة بالإضافة إلى بيانات الصور على بيانات حقلية تم جمعها لتصحيح الصور الجوية، واتمام عملية الإنشاء. كان من أهم نتائج هذه الدراسة إنشاء نموذج تضاريس رقمي يشتمل على خطوط الانكسار، واستخلاص عدد من المنتجات من أهمها خطوط الكنتور؛ كما أظهرت الدراسة عدة أمور عن طرائق الإنشاء ومناسبتها مع التطبيقات التي تشترط الدقة العالية، وكل ذلك يعود في الأصل لجودة المنتج والذي بدورة كان معتمداً على دقة البيانات المستخدمة في الإنشاء؛ كما اتضح أيضاً أن دقة المنتج مرتبطة بكل من كفاءة البرمجيات، وأجهزة المساحة التصويرية الرقمية المستخدمة. كما بينت الدراسة مراحل عملية إنشاء نموذج التضاريس الرقمي من بيانات الصور الجوية، ونوع وهيئة نموذج التضاريس الرقمي المنتج. كذلك تم اشتقاق عدد من المنتجات من نموذج التضاريس الرقمي المنتج وبناءًا على وجود المنتجات تم الخروج بعدد من التطبيقات الهامة. وأخيرا تم اقتراح عدد من التوصيات المتعلقة بالاهتمام بنوع ومصادر البيانات، والإجراءات، وطرائق الإنشاء.

أولا: الإطار العام للدراسة

١. المقدمة

تمثيل ارتفاعات سطح الأرض دائما ما يكون على هيئة خطوط كنتور ويعتمد هذا التمثيل بشكل أساسي على الصور الجوية المتداخلة Aerial Photographs كأحد أهم مصادر البيانات، وذلك من خلال استخدام أجهزة الرسم التجسيمي (الأجهزة التناظرية) Stereo plotting instruments (الحسن، ١٤٣٢هـ). وبعد ظهور الحاسب الآلي وتطور البرمجيات بدءًا العمل على إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية (Digital Elevation Models – DEMs). وقد اهتمت هذه النماذج بتجسيم سطح الأرض من خلال نقاط الارتفاع التي يتم من خلالها إنشاء شبكة من المثلثات غير المنتظمة (Triangulated Irregular Network – TIN)، ونتج عن التطور السريع في الحاسب الآلي من حيث السرعة، وقدرة التخزين ظهور العديد من البرمجيات المتخصصة التي يمكن من خلالها التعامل مع كم هائل من البيانات (الأسمري، تحت النشر أ).

اكتسبت نماذج الارتفاعات الرقمية بمختلف أشكالها أهمية كبيرة، فهي من أهم المنتجات الخرائطية التي يتم الاعتماد عليها في الكثير من التطبيقات، ومن تلك التطبيقات على سبيل المثال لا الحصر تحليل السطوح، وما يرتبط بذلك من تطبيقات مثل استخراج شبكات التصريف، والأحواض المائية، وخطوط الكنتور، والانحدارات، واتجاهاتها، وتطبيقاتها الهندسية، والجيومورفولوجية، وخط الرؤية. يضاف لذلك استخدامها بشكل كبير وواسع في نماذج المحاكاة للواقع، وألعاب الفيديو، وأيضاً في التطبيقات العسكرية. ومع بداية توافر البيانات الرقمية من التصوير الجوي، وتوفر تغطية تجسيمية (استريوسكوبية) Stereoscopic، بدأت الدراسات التجريبية لإنشاء هذه النماذج، والوصول إلى أدق النتائج الممكنة، والتي اعتمدت بشكل كبير على

جودة أزواج الصور المستخدمة، وطبيعة السطح للمنطقة المدروسة، ودقة التصحيح الهندسي لبيانات الصور المستخدمة (الأسمري، ١٤٣٧هـ).

ولذلك سعت الدراسة لإنشاء نموذج ارتفاعات رقمي (Digital Elevation Model – DEM) وبدقة فضائية تصل إلى (١٠م)، وتحديداً بنموذج تضاريس رقمي (Digital Terrain Model – DTM) من بيانات صور جوية بمقياس رسم ١: ٤٥٠٠٠ وأصلها ورقي وتم تحويلها إلى بيانات صور رقمية، والتعرف على كيفية إنشاءها. والتعرف على عدد من أنواع قياس الدقة على نماذج الارتفاعات الرقمية المنتجة باستخدام SOCET SET. كما تضمنت الدراسة الحالية استخراج عدد من المنتجات مثل خرائط الانحدارات، والاتجاهات، وخرائط الكنتور، وذلك باستخدام برامج المساحة التصويرية الرقمية (Digital Photogrammetry – DP)، وبالتزامن مع برامج نظم المعلومات الجغرافية (Geographic Information Systems – GIS). وتم تطبيق هذه الدراسة على الجزء الأعلى من عقبة المخواة – جنوب غرب المملكة العربية السعودية.

٢. مشكلة الدراسة

بلغت نماذج الارتفاعات الرقمية أهمية بالغة في العديد من التطبيقات وبالرغم من ذلك فأنه لا يتوفر لكثير من مناطق المملكة العربية السعودية نماذج ارتفاعات رقمية عالية الدقة أعلى من (١٠م)، وفي حالة توفرها لبعض المناطق لا يتم الحصول عليها بسهولة. وأما المتوفر بشكل مجاني من نماذج الارتفاعات الرقمية فتكون دقتها لا تتجاوز (٣٠م)، وهذا ما يقودنا لعدم ملاءمتها لكثير من التطبيقات والمنتجات والدراسات ذات الأهمية العالية. لذا كان لابد من المبادرة بعمل هذه الدراسة ليتم من خلالها تعميم ما سيتم التوصل إليه من نتائج على باقي المناطق المشابهة في الخصائص الطبوغرافية لنفس منطقة الدراسة فيما يخص إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية أو قياس دقتها. ومن خلال هذه الدراسة سيتم إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية

عالية الدقة من الصور الجوية، والبرمجيات المستخدمة والتعرف على كيفية الإنشاء. وأيضاً معرفة طرائق قياس الدقة باستخدام برنامج المساحة التصويرية الرقمية SOCET SET.

٣. أهداف الدراسة

تهدف الدراسة لتحقيق الأهداف التالية:

١) إنشاء نموذج تضاريس رقمي DTM من الصور الجوية ممثل بشبكة نقاط Grid Points لكل (١٠م) للجزء الأعلى من عقبة المخواة والتعرف على كيفية الإنشاء.
٢) كيفية قياس دقة نماذج الارتفاعات الرقمية المنتجة باستخدام SOCET SET.
٣) استخلاص منتجات، وتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية من نماذج الارتفاعات الرقمية.

٤. أهمية الدراسة

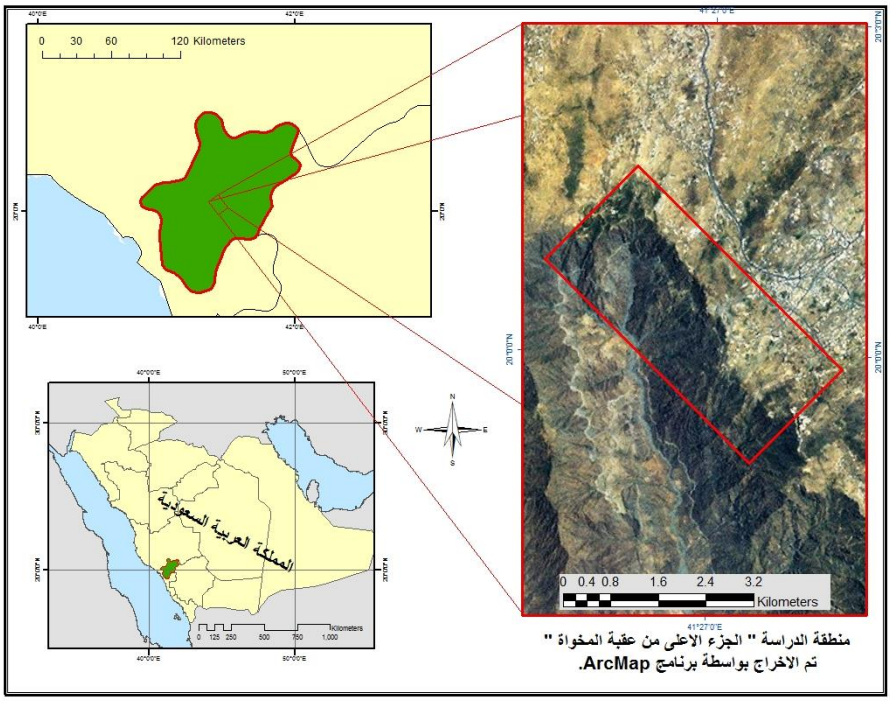
تمثلت أهمية الدراسة في ندرة استخدام بيانات الصور الجوية الرقمية بشكل خاص، وقلة عدد الدراسات العلمية على مستوى المملكة العربية السعودية التي توضح كيفية إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية بشكل عام. التعرف على كيفية قياس، وتقييم دقة نماذج الارتفاعات الرقمية المنتجة. واستخلاص منتجات، وتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية من نماذج الارتفاعات الرقمية.

٥. منطقة الدراسة

تغطي منطقة الدراسة الجزء الأعلى من عقبة المخواة، مع تغطية محدودة من مدينة الباحة (محافظة الباحة). وتغطي مساحة حوالي ٩٨٩٧.٤م^{٢}، 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 (شكل ١). وكان أعلى ارتفاع لمنطقة الدراسة ٢٣٠٦.٤٦م، وأقل ارتفاع ١٢٩١.٣٢م فوق مستوى سطح البحر.

ويميز هذه المنطقة شدة التضرس، وتباين الارتفاعات (بمدى ارتفاع = ١٠١٥.١٤م) لمنطقة الدراسة. وتنقسم منطقة الدراسة لجزئيين؛ **الجزء الأول:** (الشمالي الشرقي) ممثل بمنطقة عمرانية، وبتضاريس معتدلة التباين، وانحدارات خفيفة، **والجزء الثاني:** (الجنوبي الغربي) يتمثل بتضاريس وعرة وشديدة الانحدارات ومكسوه بأشجار متوسطة الكثافة. وقد تم حصر منطقة الدراسة بمساحة صغيرة فكانت مساحتها ٩.٩٢ كلم^{٢} تقريباً.



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة المملكة للمناطق الإدارية، وبيانات قوقل إيرث ٢٠١٥م.

شكل (١) موقع منطقة الدراسة

٦. الدراسات السابقة

يوجد العديد من الدراسات غير العربية حول موضوع إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية من بيانات الصور الفضائية Space Images، وعدد محدود في مواضيع إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية من بيانات الصور الجوية Aerial photos. ومع ذلك لا توجد دراسات بالتطبيق على المملكة العربية السعودية في هذا المجال بالتحديد سوى دراسة (الأسمري، ١٤٣٧هـ)، وكانت الدراسات المتوفرة تتناول مواضيع مختلفة من نماذج الارتفاعات الرقمية على النحو التالي:

دراسة (الأسمري، ١٤٣٧هـ) وضحت طرائق الإنشاء وتحديداً التي تعتمد في الإنشاء على البيانات الأولية (بيانات خام) مثل الصور الجوية، ونقاط الإحكام الأرضي وذلك لزيادة جودة المنتج؛ وبينت طرائق الإنشاء الأخرى والتي تعتمد على بيانات ثانوية (خرائط الكنتور)، أو نماذج ارتفاعات رقمية (مجانية) ذات دقة متدنية، والتي يستخلص منها منتجات غير دقيقة، وبها نسبة خطأ عالية، وبالتالي فهي غير مناسبة خصوصاً مع التطبيقات التي تحتاج للدقة العالية. كما وضحت دراسته أن عملية إنشاء نموذج التضاريس الرقمي تمر بشكل عام بأربع مراحل: إنشاء المشروع واستيراد البيانات؛ استخراج البيانات والإنشاء؛ تصدير المنتج؛ قياس دقة المنتج. بينت دراسته أن جودة المنتج ترتفع مع كفاءة، ونوع برمجيات، وأجهزة المساحة التصويرية الرقمية المستخدمة. عملت دراسته على إنشاء نموذج تضاريس رقمي DTM، واستخلاص عدد من المنتجات والتطبيقات. هدفت دراسته أيضاً لتقييم جودة DTM بأربعة طرائق متباينة: مقارنة التطابق، والاتجاه العام لخطوط الكنتور؛ مقارنة الانحراف المعياري Standard deviation؛ مقارنة نقاط الارتفاع Spot Heights؛ وأخيراً استخدام نقاط التحقق الأرضي.

دراسة (Jacobsen, k, n.d) ركزت على إنشاء DEM من بيانات الأقمار الصناعية لأهميتها. وتوصلت إلى أن الحصول على DEM من الصور الفضائية

بدقة عالية يعتمد في الأساس على التباين، وارتفاع الصورة، ومقدار الإيضاح للصورة؛ ويوجد أخطاء متراكمه ومعروفه نتيجة عملية إنشاء DEM، ويمكن تحسينها وتلافيها وذلك بالعمل على الضبط والتوجيه والوصول إلى الدقة النسبية أو الدقة المطلقة؛ وتتطلب القياسات العادية على DEM الكثير من الوقت لذلك يجب تجميع البيانات بواسطة مطابقة الصور التلقائي.

دراسة (El-Sammany, El-Magd and Hermas, 2011) لإنشاء DEM من بيانات القمر الصناعي SPOT 4 وذلك بهدف بناء نماذج هيدرولوجية، ونماذج محاكاة حدوثها هيدروديناميكيا (جريان الموائع)، لدرء مخاطر السيول، وأيضاً إمكانية التنبؤ كمؤشر للإنذار المبكر بحدوثها؛ ووصف كيفية، واستراتيجية استخراج DEM عالي الدقة، من بيانات SPOT-4؛ وعملت دراستهما على تحسين وتطوير نماذج وأشكال تم تقويمها عن طريق المسح الأرضي؛ أيضاً طور البحث منهج لإنشاء DEM بدقة (١٠م)، وأشكال تم تقويمها بواسطة المسح الأرضي الدقيق للمنطقة. وبينت دراستهما أنه عن طريقه DEM يمكن استخراج معلومات كثيرة فيما يخص بيئة المنطقة وشكلها، ومعرفة تفاصيل فواصل المطر وشبكات الصرف فيها.

دراسة (Abas and Ali, n.d) تناولت القدرات الكامنة في برمجيات نظم المعلومات الجغرافية مثل برنامج ArcView في العمل على إنشاء مجموعة بيانات رقمية بطريقة أكثر سرعة، وكفاءة، ودقة من الطرائق التقليدية المعروفة والتي تعتمد على حساب شبكة نقاط الارتفاع بالطريقة اليدوية أو باستخدام أجهزة الترقيم Digitizer في قياس إحداثيات النقاط من الخرائط الطبوغرافية، وهي المشكلة التي استندت عليها دراستهما لوضع الأسس للاستفادة من البيانات الرقمية في بناء DEM، والتحليل المكاني للخرائط الطبوغرافية وتتميز هذه الطريقة الجديدة بالسرعة العالية، والوقت القصير، والكلفة القليلة في إنتاج DEM.

دراسة كل من (Farrag and Khalil, 2005) تناولت تأثير النماذج الرياضية للاستيفاء على دقة نماذج الارتفاعات الرقمية. وأُجريت الدراسة على عدة نماذج رقمية وباستخدام أكثر من حالة لنقاط الإحكام الأرضية. وتوصلوا إلى أن اقتراب قيم بيانات التحكم الأرضية من قيم نماذج النقاط يزيد من دقة النماذج؛ أخذ العينات بمسافات منتظمة يوفر نتائج أفضل مقارنة مع استخدام عدد قليل من نقاط التحكم على حدود، وداخل المنطقة المختارة حيث أن هذا التكوين غير كافيا لتمثيل تفاصيل تموج السطح؛ وبينت دراستهما أن نقاط التحكم التي تقع داخل منطقة التقييم أكثر فعالية من تلك التي على الحدود؛ وقدم نموذج Kriging أعلى دقة في تمثيل السطح؛ ويستحسن استخدام تباعد بين نقاط التحكم ٢٠م عند عمل التمثيل الرقمي الدقيق لأسطح الأرض على التضاريس الوعرة المتشابهة؛ من المستحسن القيام بالمزيد من الدراسات بشأن الدقة المختلفة لتقنيات رصد GPS وإنشاء DEM.

دراسة كل من (سعيد وهادي، ٢٠١٠) فقد هدفت إلى تعريف وتصنيف نموذج الارتفاعات الرقمي DEM، والتعرف على مصادر إنتاجه، وتطبيقاته المتعددة الاستخدامات في عدد كبير من المجالات، ومنها الجيومرفولوجيا، والجيولوجيا، وأيضاً الهيدرولوجيا، وقد أجرت دراستهما بعضاً من التطبيقات الجيومرفولوجية بهدف توضيح ارتفاعات المنطقة لنموذج الارتفاعات الرقمي لمنطقة دراسة (شمال العراق– كويسنجق)، حيث تم تحديد الانحدارات، وفئاتها للمنطقة الدراسة.

بناءًا على ما سبق طرحة من دراسات يتضح أن كل من الدراسات: (الأسمري، ١٤٣٧هـ)؛ و (Jacobsen, k, n.d)؛ و (EL–Sammany, EL–Magd and Hermas, 2011) لها ارتباط قريب بموضوع الدراسة الحالية خاصة فيما يتعلق بإنشاء نموذج الارتفاعات الرقمي من بيانات التصوير الجوي والفضائي عالي الوضوح، وتناولت دراسة (Abas and Ali, n.d) التعرف على قدرات وكفاءة وسرعة برمجيات نظم المعلومات الجغرافية. أما بقية الدراسات السابقة الأخرى (Farrag

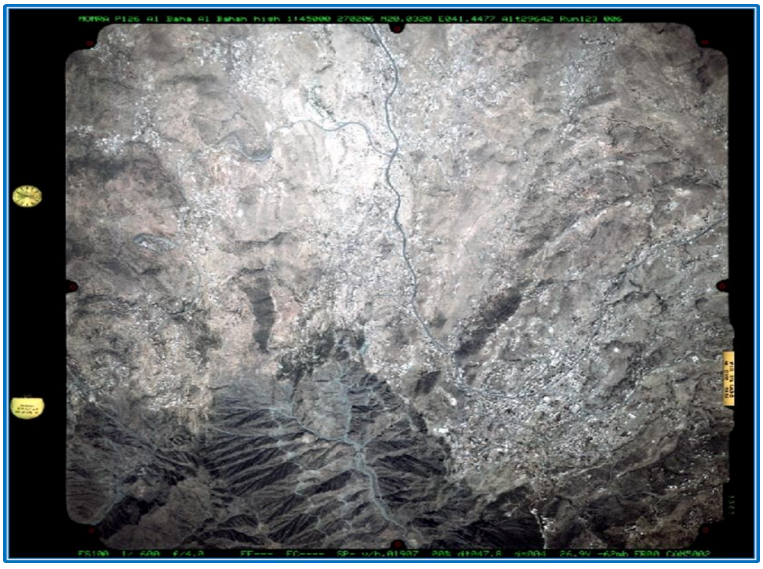
and Khalil, 2005)؛ و (سعيد، وهادي، ٢٠١٠م) فقد تناولت جوانب مختلفة مثل أهمية النماذج، والتطبيقات، وطرائق الإنشاء وبياناتها، وتأثير درجة الوضوح، وتقييم دقة هذه النماذج.

منهجية الدراسة وإجراءاتها

اتبعت هذه الدراسة المنهجية المبينة أدناه لإنجاز هذه الدراسة:

- **جمع البيانات:**

أ- تم الحصول على عدد (٦) صور جوية متداخلة ذات وضوح عالي (٦٠سم) وبمقياس رسم (١:٤٥٠٠٠) (شكل ٢). وأساس البيانات عبارة عن تصوير جوي إطاريCamera Frame، وقد تم تحويلها إلى هيئة رقمية Raster، ومن ثم معالجتها، وتصحيحها من قبل هيئة المساحة العسكرية بالرياض.



شكل (٢) إحدى الصور الجوية لمنطقة الدراسة والملتقطة على ارتفاع (٦٩٠٨.٨٥م) فوق مستوى سطح البحر.

وتتضح خصائص الصور وكاميرا التصوير المستخدمة في (جدول ١)، وهي بيانات في هيئة رقمية Digital Image.

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

معايير كاميرا التصوير، والصورة الجوية الخاصة بالدراسة	
اسم الكاميرا	RC30
نوع التصوير	Frame
الوضوح المكاني	60 cm
أبعاد الصورة	23 cm x 23 cm
البعد البؤري للكاميرا	153.53 mm
تاريخ التقاط الصورة	2005-10-25
ارتفاع الطيران	6908.85 m

المصدر: الباحث بالاعتماد على بيانات ملف الصور الجوية من هيئة المساحة العسكرية بالرياض.

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

جدول (٢) خصائص نقطتي الإحكام الأرضية المستخدمة في الدراسة

خصائص نقاط الإحكام الأرضي	
النوع	نقاط إحكام أرضية
مستوى الدقة	الدرجة الثالثة
الإحداثيات	شرقيات، وشماليات، ومنسوب ارتفاع (X, Y, Z)
الدقة الأفقية	١ملم/١كلم
الدقة الرأسية	٣ملم /١كلم
تاريخ الإنشاء	١٤٢٩هـ
أرقام النقاط	٦٨ ـ٦٩

المصدر: الباحث بالاعتماد على بيانات وزارة الشئون البلدية، والقروية ـ أمانة منطقة الباحة.

- **العمل الميداني:**

تطلبت الدراسة القيام بالعمل الميداني، وذلك لجمع (رصد) عدد ٣٧ نقطة إحكام أرضية. والتي تم اختيار مواقعها بعناية للتمكن من الوصول إليها بيسر وسهولة في الطبيعة، وتمييزها أيضاً على الصور الجوية، ومن تلك المواقع (أركان المقابر، والأسوار، والأرصفة). حيث تم العمل الميداني للإنشاء هذه النقاط خلال ثلاثة أيام عمل باستخدام مجموعة حديثة لجهاز تحديد المواقع العالمي Global Positioning System – GPS) من شركة لايكا Leica Icon GPS60، وتتكون هذه المجموعة من: جهاز استقبال (جهاز القاعدة: Base Receiver)، بحيث يثبت على نقطة الإحكام الأرضية المعلوم إحداثياتها (نقطتي الإحكام التي تم الحصول عليها من أمانة مدينة الباحة) (شكل ٣)؛ جهاز رصد نقاط الإحكام الأرضية (جهاز متحرك: Rover Receiver). بدأ العمل الميداني بربط، وإعداد جهاز القاعدة، وتثبيته بإحكام، وإدخال بيانات نقطة الإحكام الأرضية المعلومة. تلا ذلك إعداد، وربط الجهاز المتحرك مع جهاز القاعدة ليعمل الأخير على تحديد قيمة الخطأ في كل لحظة، وذلك باستخدام قيمة نقطة الإحكام الأرضية المدخلة مسبقاً مع الإحداثيات المحسوبة من الأقمار الصناعية، وبناءًا على ذلك يتم تصحيح كل نقطة جديدة يتم رصدها، وذلك عن طريق نقل هذه التصحيحات من جهاز القاعدة الثابت إلى الجهاز المتحرك وهكذا تتم قراءة النقاط بدقة (الأسمري، تحت النشر ب).

صورة رقم: ١

صورة رقم: ٢

شكل (٣) صورة رقم١: نقطة إحكام أرضية معلومة الإحداثيات (GCP) مثبت عليها جهاز القاعدة Base؛ صورة رقم٢: جهاز متحرك Rover لرصد نقاط الإحكام الأرضية الجديدة.

- **العمل المكتبي:**

تم خلال مرحلة العمل المكتبي سواء في هيئة المساحة العسكرية بالرياض، أو بعد ذلك مكتبيا باستخدام عدد من الأجهزة، والبرمجيات ذات العلاقة على النحو التالي:

أ- أجهزة المساحة التصويرية الرقمية:

تم استخدام أجهزة (Hardware) المساحة التصويرية الرقمية والمعروفة بمحطة عمل المساحة التصويرية الرقمية (Digital Photogrammetry Workstation – DPW)، والمكونة من جهاز حاسب آلي محطة عمل PC–Workstation مع ملحقاته الضرورية مثل: شاشة ثلاثية الأبعاد لإظهار الرؤية المجسمة؛ وفأرة ثلاثية الأبعاد Mouse–3D للتحكم بالأبعاد الثلاثية؛ وأيضاً نظارات ثلاثية الأبعاد للرؤية

المجسمة، والتي من الضروري وجودها أثناء عملية الإنشاء (شكل ٤). وذلك للتعامل مع برمجيات المساحة التصويرية الرقمية، وبيانات الإنشاء (الأسمري، تحت النشر أ).

ب- برمجيات المساحة التصويرية الرقمية:

تم استخدام برمجيات (Software) المساحة التصويرية الرقمية وتحديداً برنامج SOCET SET 5.6 المخصص لأغراض المساحة التصويرية الرقمية، وإنشاء نموذج التضاريس الرقمي، وخطوط الانكسار، وشبكة المثلثات غير المنتظمة، وعمل التعديل التفاعلي للتضاريس حسب الصور المجسمة الممثلة للطبيعة.

شكل (٤) بعض أجهزة محطة عمل المساحة التصويرية الرقمية مثل: شاشات عرض ثلاثية الأبعاد، ونظارات رؤية ثلاثية الأبعاد، وفأرة للتحكم ثلاثي الأبعاد.

ت- برمجيات نظم المعلومات الجغرافية وغيرها:

استخدمت الدراسة برامج نظم المعلومات الجغرافية ArcMap-10.2، وArcScene، في استخراج خطوط الكنتور، ونموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي، وعمل التحليلات، واستخراج المنتجات، والعمل على تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية بالاعتماد على نماذج الارتفاعات الرقمية المنتجة من الدراسة. إضافة لذلك

جهزت الدراسة خطة عمل لتحديد مواقع رصد نقاط الإحكام الأرضية الجديدة في منطقة الدراسة، وذلك باستخدام عدد من البرمجيات مثل برنامج Google Earth، وGoogle Maps، حيث تم تحديد عدد ٣٧ موقعاً ليتم رصدها (نقاط إحكام أرضية جديدة). وقد تراوحت نسبة الخطأ في الارتفاع للنقاط المستخدمة ما بين (٧ملم، و٢١ملم) فقط. واستخدمت هذه النقاط لتصحيح الصور الجوية، وإنشاء نموذج الارتفاعات الرقمي.

٧. مصطلحات الدراسة

- **المساحة التصويرية الرقمية (Digital Photogrammetry (DP**

كانت المساحة التصويرية العادية Analogue Photogrammetry تستخدم الأجهزة البسيطة حيث تطور هذا الفرع في النصف الثاني من القرن العشرين الميلادي مع ظهور تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، والاستشعار عن بعد، فأصبحت تطبيقات المساحة التصويرية تتم باستخدام الحاسب الآلي، والأجهزة المتطورة مما جعلها مساحة تصويرية رقمية (داود، ٢٠١٢).

- **نموذج التضاريس الرقمي (Digital Terrain Model – DTM)**

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 (Li, Zhu and Gold, 2005).

- **الصور المتداخلة Stereo Pair**

زوج من الصور المتداخلة، والتي نستطيع أن نرى محتواها بشكل ثلاثي الأبعاد لتوضيح المعالم باستخدام عدد من الأجهزة المتخصصة، والبرمجيات (العمران، ١٤٣٣هـ).

- **نقاط الإحكام الأرضي (GCP Ground Control Point)**

معالم أرضية معروفة الموقع بدقة كبيرة عن طريق الإحداثيات الجغرافية، والارتفاع (X, Y, Z)، أو بإحداثيات أحد المساقط مثل مسقط (ماركيتور) المستعرض العالمي (UTM)، ويتم الحصول على إحداثيات هذه النقاط بطرائق مختلفة من أهمها استخدام نظام تحديد المواقع العالمي (العمران، ١٤٣٣هـ).

- **التوجيه الداخلي Interior Orientation**

عبارة عن وضع الصورتين داخل جهاز متخصص بحيث تمثلان تماما وضع آلة التصوير وقت التقاطهما في الحقل، أو الجو (الحسن، ١٤٣٢هـ).

- **التوجيه النسبي Relative Orientation**

عبارة عن وضع وحدتي الإسقاط بالجهاز وهما تحملان الصورتين المتداخلتين في وضع مماثل تماما لوضع آلة التصوير عند التقاط الصورتين من الجو (الحسن، ١٤٣٢هـ).

- **التوجيه المطلق (الخارجي) Absolute Orientation**

يستخدم علاقة رياضية تربط بين النموذج المجسم الذي تم تكوينه من خلال التوجيه النسبي، وبين الأرض الطبيعية أو الخريطة ذات المقياس المطلوب (الحسن، ١٤٣٢هـ).

- **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، ١٤٣٧هـ).

- **خطوط الانكسار Breaklines**

هو خط بداية انكسار السطح أي عندما ننتقل من سطح على منسوب معين إلى منسوب أخر بصورة مفاجئة، أو حادة فإنه يكون خط انكسار، وهو مساعد على زيادة المثلثات غير المنتظمة على طول خط السطح (الأسمري، ١٤٣٧هـ).

٨. موضوعات الدراسة

عملت الدراسة على إنشاء نموذج تضاريس رقمي من الصور الجوية للجزء الأعلى من عقبة المخواة بمحافظة الباحة ثم كيفية قياس دقة النماذج المنتجة باستخدام برنامج SOCET SET ومن ثم استخلاص عدد منتجات، وتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية من نماذج الارتفاعات الرقمية. حيث اشتملت الدراسة الراهنة على محتوى تطبيقي بحث ميدانياً ومكتبياً، تليها النتائج والتوصيات وختمت بقائمة المراجع.

قدم الموضوع الأول منها طرحاً للإطار العام للدراسة حيث افتتح بالمقدمة ثم عقبتها مشكلة الدراسة، ومن ثم الأهداف، وأهمية موضوع الدراسة، كما تضمن عرضاً للمنهجية المتبعة في الدراسة، وإجراءاتها من حيث البيانات، والأدوات التي اعتمدت عليها الدراسة، علاوة على التعريف بمنطقة الدراسة، ومن ثم تم طرح أهم الدراسات السابقة التي تعرض لها موضوع الدراسة الحالية إضافة لأهم مصطلحات الدراسة.

تناول الموضوع الثاني المناقشة واستعراض مراحل إنشاء نموذج التضاريس الرقمي من بيانات الصور الجوية باستخدام الاستشعار عن بعد – المساحة التصويرية الرقمية ثم استخلاص لبعض منتجات، وتطبيقات نماذج الارتفاعات الرقمية.

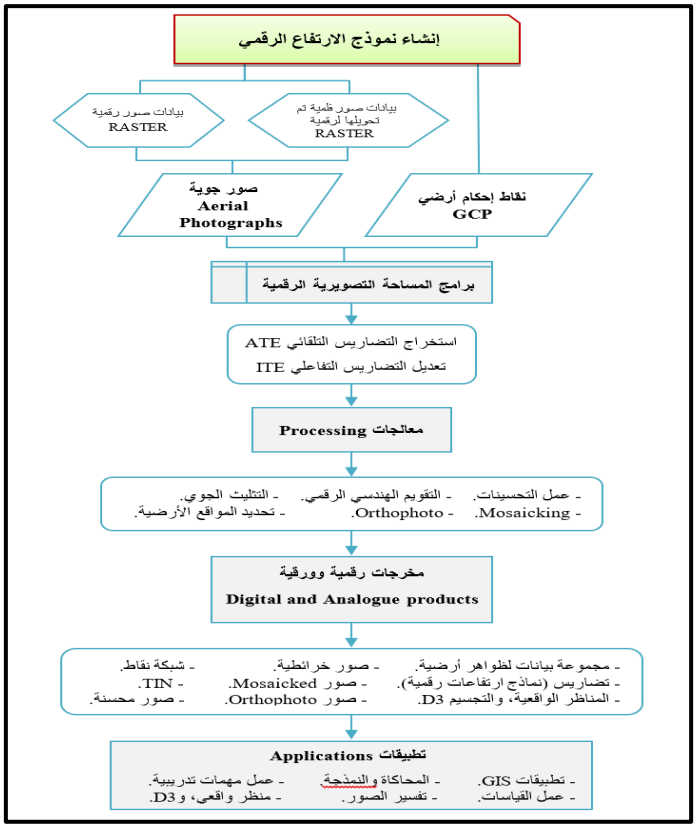
جاءت الخاتمة بالموضوع الثالث بالنتائج التي توصلت إليها هذه الدراسة، ومن ثم ما خرجت به هذه الدراسة من توصيات مهمة وهادفة.

ثانياً: إنشاء نموذج ارتفاعات رقمي من بيانات الصور الجوية

١. المقدمة

من المعروف بأن 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، وبالتالي فهي غير مناسبة خصوصاً مع التطبيقات التي تحتاج للدقة العالية (الغامدي، ١٤٢٦هـ). لذلك وجب علينا الاعتماد في الإنشاء على البيانات الأولية (بيانات خام) مثل الصور الجوية، ونقاط التحقق الأرضي، وذلك لضمان زيادة جودة المنتج المرتبط مع زيادة دقة البيانات المستخدمة في عملية الإنشاء (الأسمري، تحت النشر ب). كما أن جودة المنتج ترتفع أيضاً مع كفاءة، ونوع برمجيات، وأجهزة المساحة التصويرية الرقمية المستخدمة. كما بينت الدراسة الراهنة أن عملية إنشاء نموذج التضاريس الرقمي تمر بشكل عام بأربع مراحل متتابعة تبدأ بإنشاء المشروع، واستيراد البيانات؛ ثم استخراج البيانات، والإنشاء؛ ويتبعها تصدير المنتج؛ وتنتهي بقياس دقة المنتج (الأسمري، ١٤٣٧هـ).

قامت الدراسة الراهنة بإنشاء نموذج تضاريس رقمي بدقة (١٠م)، وباستخدام بيانات صور جوية، وبمقياس رسم (١:٤٥٠٠٠) ممثل في هيئة شبكة نقاط، وخطوط انكسار يمكن قياس دقتها، والتحقق من صحتها باستخدام برنامج SOCET SET أو نقاط التحقق الأرضي؛ ومن هذه البيانات تم استخلاص عدد من المنتجات، والتطبيقات من نموذج الدراسة باستخدام برمجيات، وتقنيات المساحة التصويرية الرقمية، ونظم المعلومات الجغرافية (شكل ٥).



المصدر: الباحث بالاعتماد على بيانات دراسة (الأسمري، ١٤٣٧هـ).

شكل (٥) مخطط هيكلي لإجراءات إنشاء نموذج ارتفاعات رقمي ومنتجاته وتطبيقاته الممكنة.

٢. إنشاء نموذج التضاريس الرقمي

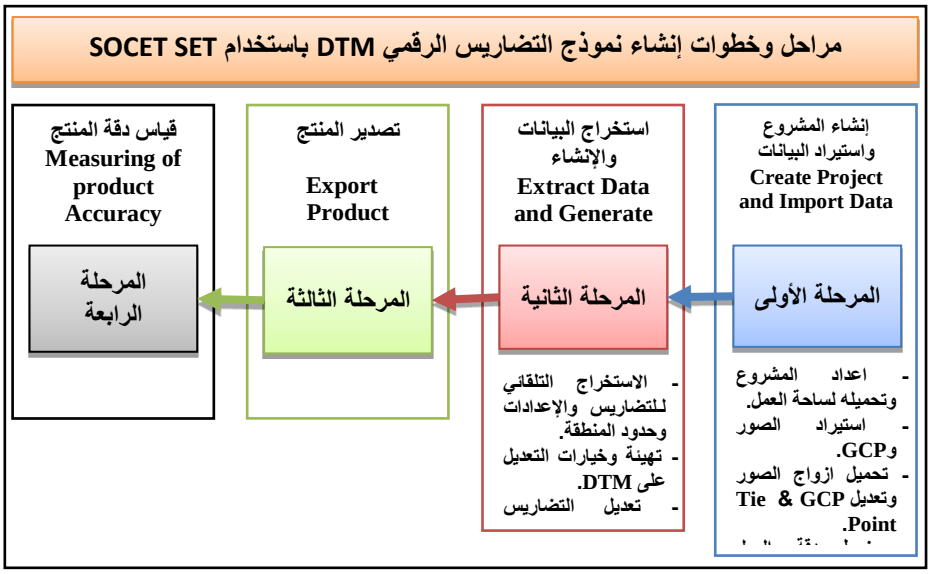
تمثلت عملية إنشاء نموذج التضاريس الرقمي باستخدام برنامج SOCET SET في أربع مراحل (شكل ٦) على النحو التالي:

أ- إنشاء المشروع، واستيراد البيانات Create Project & Import Data.

ب- استخراج البيانات، والإنشاء Extract Data and Generate.

ت- تصدير المنتج Export Product.

ث- قياس دقة المنتج Measuring of product Accuracy.



المصدر: الباحث بالاعتماد على بيانات دراسة (الأسمري، ١٤٣٧هـ).

شكل (٦) مراحل إنشاء نموذج التضاريس الرقمي (DTM) باستخدام برنامج SOCET SET.

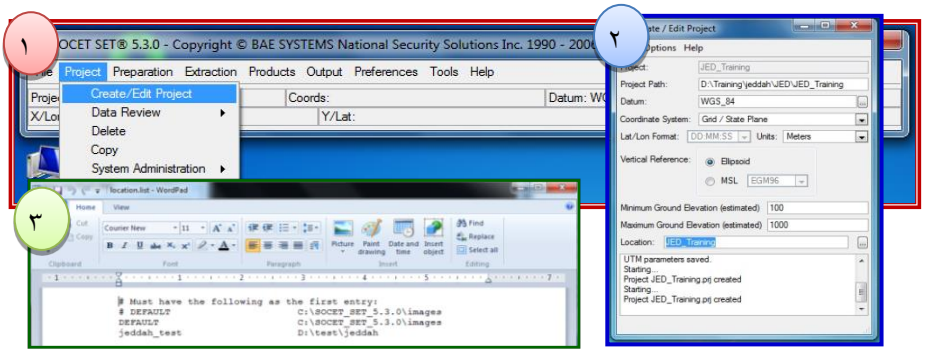
المرحلة الأولى: إنشاء المشروع واستيراد البيانات

اشتملت هذه المرحلة على تجهيز، وإعداد البرنامج؛ واستيراد بيانات الصور الجوية، وبيانات نقاط الإحكام الأرضي؛ ثم إنزال البيانات على مساحة العمل، وعمل التصحيح لكل من نقاط الإحكام الأرضي، ونقاط الربط العشوائية Tie Points على الصور الجوية؛ وانتهت بعملية تصحيح قيمة جذر متوسط الانحرافات المربعة (Root Mean Square – RMS) لنقاط الإحكام الأرضية، ونقاط الربط العشوائية على بيانات الصور الجوية، وحفظ ملف التثليث المعدل. وتتضح الخطوات التفصيلية لهذه المرحلة على النحو التالي:

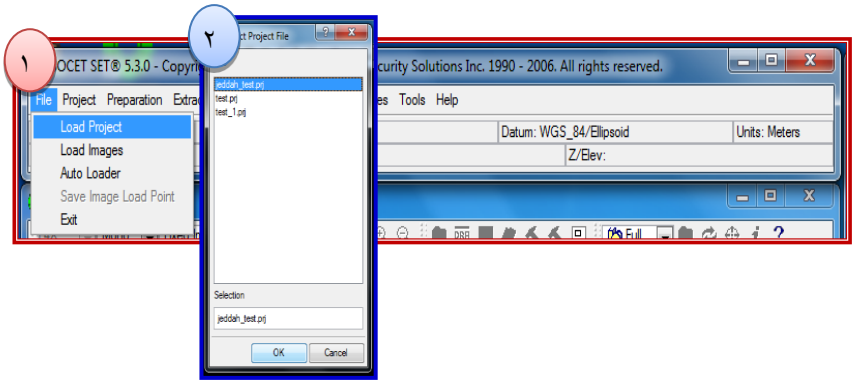
- **إعداد المشروع وتحميله على ساحة العمل**

تم في هذه الخطوة عمل ملف المشروع Project Folder، ويحوي كل من البيانات الخام Raw Data (صور جوية) بصيغة (*.tiff)، ونقاط الإحكام الأرضية

بصيغة (*.txt). تم تحديد نظام الإحداثيات Coordinate System، وتحديد معطيات المرجع الأساسي Datum، وأيضاً تحديد أعلى، وأقل ارتفاع للسطح (شكل ٧). بعد ذلك تم إدراج المشروع على ساحة البرنامج ليصبح المشروع الحالي هو الفعال (شكل ٨).



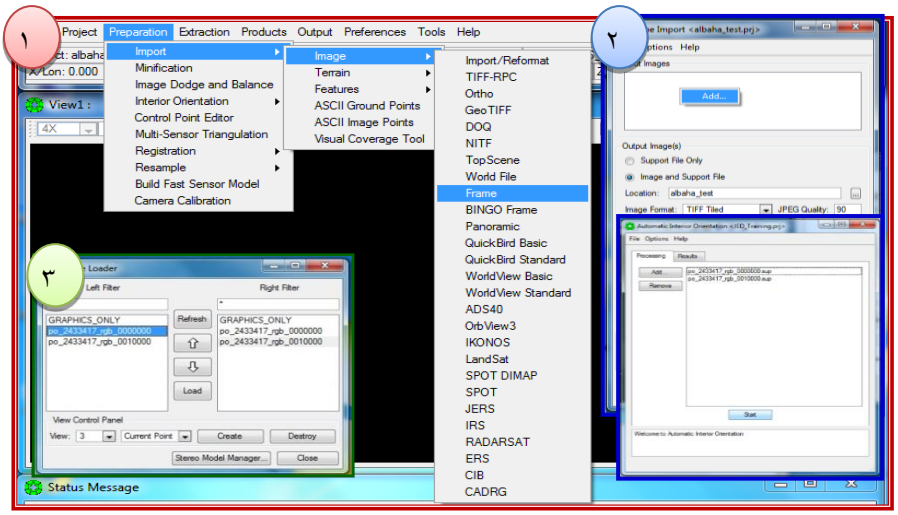
شكل (٧) نوافذ إعداد المشروع



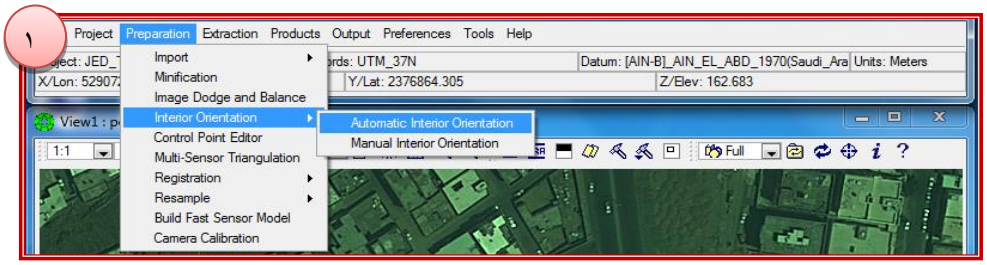
شكل (٨) تحميل المشروع على ساحة العمل

- **استيراد الصور ونقاط الإحكام الأرضية**

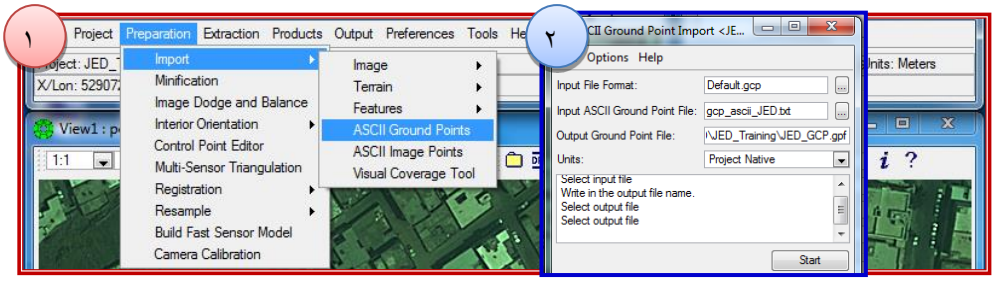
تم في هذه الخطوة حفظ أزواج الصور بامتداد (*.sup)، وتحميلها لنافذة العمل (شكل ٩). ثم عمل التوجيه الداخلي (Interior Orientation – IO) للصور (شكل ١٠). تم أيضاً استيراد وإدراج ملف نقاط الإحكام الأرضية، وتسمية ملف نقاط الإحكام الأرضي المخرج (شكل ١١).



شكل (٩) استيراد الصور للبرنامج وتحميلها على نافذة العمل



شكل (١٠) التوجيه الداخلي

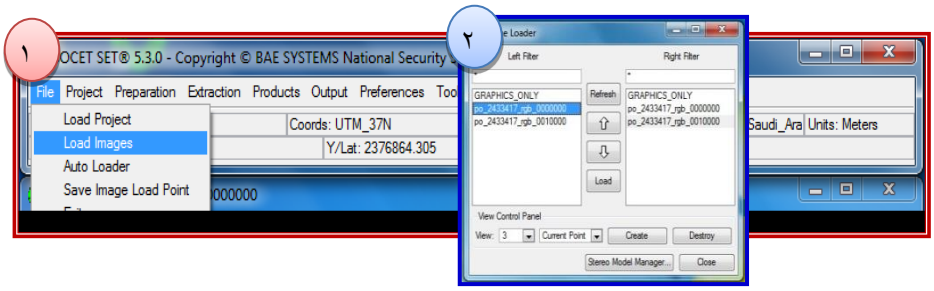


شكل (١١) استيراد نقاط الإحكام الأرضية

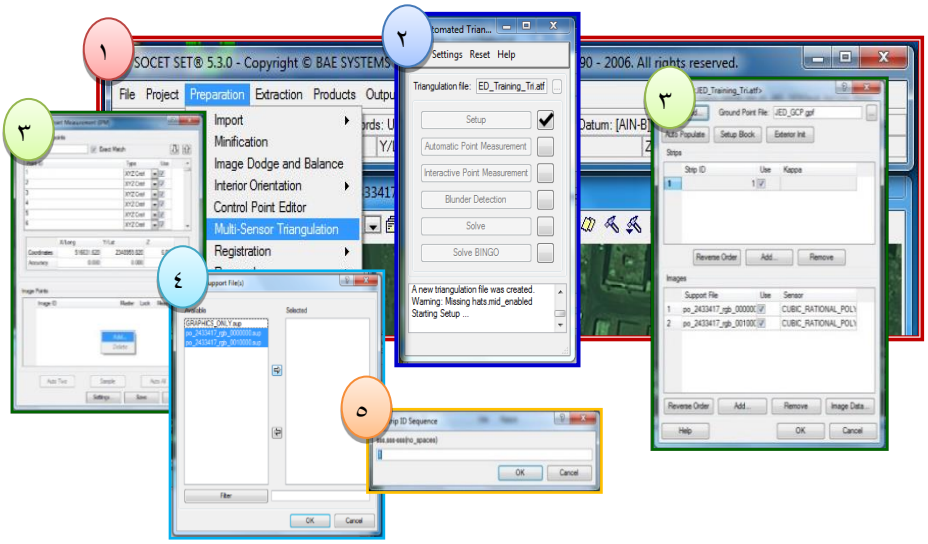
- **تحميل أزواج الصور وتعديل نقاط الإحكام الأرضية ونقاط الربط العشوائية**

تم في هذه الخطوة تحميل أزواج الصور لنافذة العمل، وتحديد كل من الصورة اليسرى واليمنى، وذلك لعمل الإنشاء، وتحميله لساحة العمل (شكل ١٢)؛ تم عمل

تثليث الاستشعار – المتعدد، وعمل إعداداته، والقيام بتصحيح نقاط الإحكام الأرضية على الصور، وذلك في ظل وجود كروت وصف النقاط، وتم استبعاد النقاط الخاطئة؛ العمل على إدراج نقاط الربط العشوائية لقياسها تلقائياً (شكل ١٣).



شكل (١٢) تحميل أزواج الصور على ساحة العمل



شكل (١٣) نوافذ تنزيل وتصحيح وتعديل نقاط الإحكام الأرضية ونقاط الربط العشوائية

- **ضبط دقة العمل وحفظه**

تم في هذه الخطوة التأكد من دقة العمل باستخدام المحلل Solve. وذلك لحساب قيمة الخطأ، وتحديد النقاط الخاطئة، وإعادة قياس كل من النقطة أو النقاط (Re-measure Point – s...)، وتعديلها. وقد تم تحديد قيمة جذر متوسط

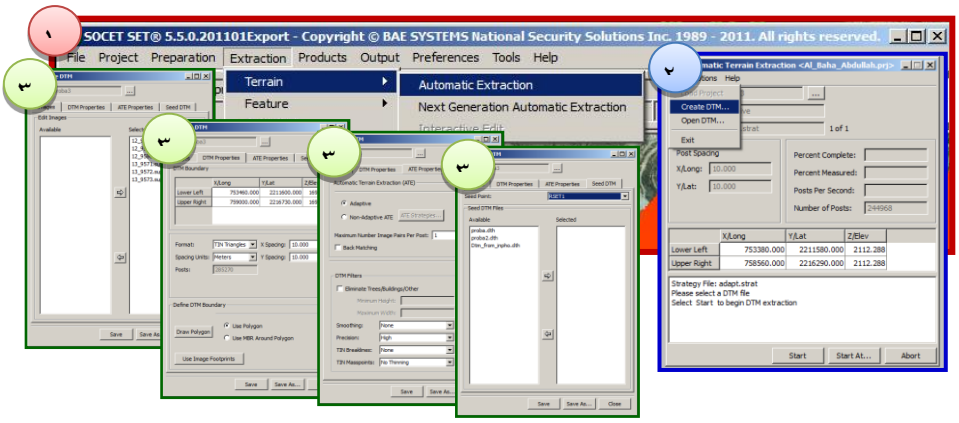
الانحرافات المربعة للنقاط الخاطئة، حيث يفترض أن تكون قيمة RMS أقل من (١)، بحيث تعتبر قيمة مقبولة بوجه عام، وكلما قلت القيمة كانت أدق (BAE Systems, 2006) ليتم بعد ذلك حفظ ملف التثليث المعدل.

المرحلة الثانية: استخراج البيانات والإنشاء

تم في هذه المرحلة استخراج بيانات الإنشاء، وذلك مروراً بعدد من الخطوات بدءاً بالاستخراج التلقائي للتضاريس، وإعداداته، وعمل حدود النموذج؛ ثم إدراج الصور مع التحكم فيها، وتحسينها؛ ثم تركيب شبكة المثلثات غير المنتظمة عليها، وعمل التهيئة لبدء تعديل التضاريس، والتحقق من الكنتور Contour، وشبكة النقاط، وMesh؛ وأخيراً مراجعة العمل، والتأكد من صحته، وهي كالآتي:

- **الاستخراج التلقائي للتضاريس (ATE) والإعدادات وحدود المنطقة**

تم الاستخراج التلقائي للتضاريس (Automatic Terrain Extraction – ATE) من خلال عدة خطوات بدءاً بتفعيل أزواج الصور، وتحديد النموذج في شكل شبكة مثلثات غير منتظمة أو شبكة نقاط، وأيضاً تحديد حدود النموذج، واختيار بعض المرشحات مثل زيادة الدقة، والتنعيم، وانتهاء بالاستخراج التلقائي للتضاريس (نموذج التضاريس الرقمي قبل التعديل) (شكل ١٤).



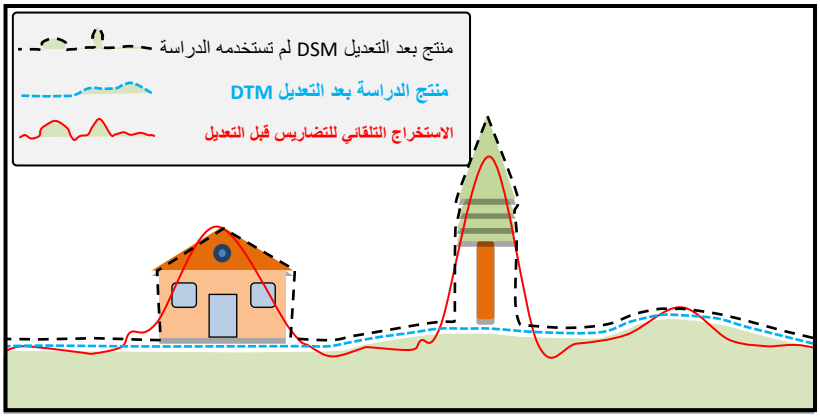
شكل (١٤) استخراج التضاريس التلقائي (ATE)

- **تهيئة وخيارات تعديل التضاريس التفاعلي على نموذج التضاريس الرقمي**

يعد التعديل التفاعلي للتضاريس عبارة عن تدخل بشري على ما تم إنشاءه تلقائياً بالمعادلات الرياضية. ويتم تعديل الارتفاعات على هذا المنتج التلقائي بطريقة تفاعلية بواسطة المستخدم، وذلك بإظهاره النموذج التلقائي على الصور الجوية المجسمة، ومن ثم يقوم المستخدم بتعديل ارتفاعات النموذج التلقائي ليتطابق مع الصور الجوية المجسمة قدر المستطاع. ويحتاج التعديل التفاعلي للتضاريس تهيئة خاصة (قبل بدء التعديل)، وحرص شديد، ودقة في التعامل لتحكم بضبط ارتفاعات النقاط العائمة، وذلك لتأثير هذه التعديلات على جودة المنتج ودقته.

وتختلف طريقة تعديل تضاريس نموذج الارتفاعات الرقمي حسب نوع النموذج المطلوب إنشاؤه. فيتم تحديد نوع المنتج بأنه نموذج أسطح رقمي DSM وذلك بتجسيم السطوح كاملة بما فيها الأشجار والمباني، أو يتم تحديده بأنه نموذج تضاريس رقمي DTM وذلك بتجسيم يقتصر فقط على التضاريس الجرداء من النباتات، والمباني، وكل ما بناه الإنسان وذلك باتباع الدراسة الحالية لمنهج المدرسة الأولى (شكل ١٥) في اختيار مصطلح الارتفاعات الرقمي (الأسمري، تحت النشر أ). اعتمدت هذه

الدراسة على إنشاء نموذج تضاريس رقمي DTM وذلك بناءًا على تحديد منهج المدرسة الأولى.



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على طريقة المدرسة الأولى.

شكل (١٥) تمثيل منتجات نماذج الارتفاعات الرقمية قبل وبعد تعديل التضاريس التفاعلي

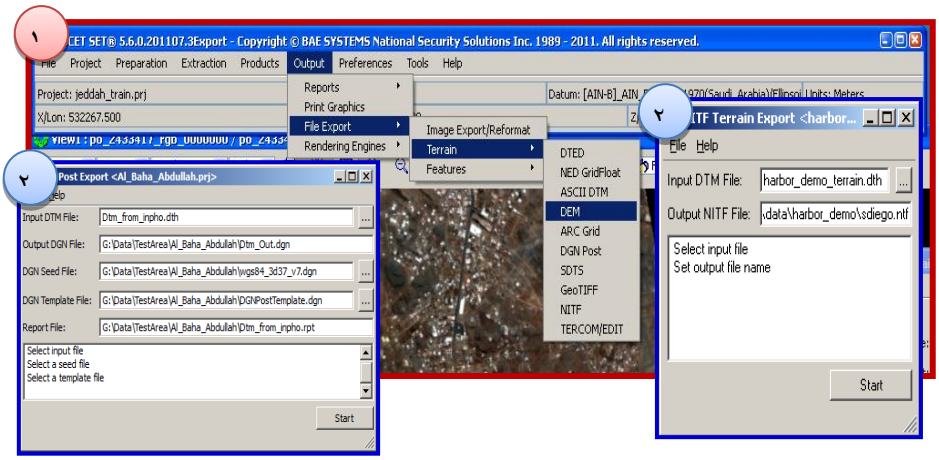
تم في مرحلة التعديل التفاعلي تحديد قيمة فاصل كنتوري، Contour Interval بقيمتين (٢م)، و(٥م)، وذلك بسبب التباين في تضاريس منطقة الدراسة، وأيضاً لكونها أعلى قيمة منطقية يمكن استخدامها وذلك لأن قيمة الفاصل الكنتوري تختلف حسب اختلاف تضاريس المنطقة ما بين (٢م) إلى (١٠م) بناءًا على مقياس رسم الخريطة الطبوغرافية ١: ٤٥٠٠٠ (Konecny, Bahr, Reil, & Schreiber, 1979)، حيث استخدم الفاصل الكنتوري (٢م) كحد أعلى في المناطق قليلة الانحدار، والمستوية. وتم تغيير هذه القيمة باستخدام الفاصل الكنتوري (٥م) في المناطق المتضرسة، وشديدة الانحدار، وذلك بسبب شدة اقتراب خطوط الكنتور المتجاورة مما يحد من عملية التعديل التفاعلي في المناطق المتضرسة، والمنحدرة، لذلك أستلزم الأمر زيادة قيمة الفاصل الكنتوري إلى (٥م) في المناطق شديدة الانحدار للتمكن من التعامل مع خطوط الكنتور المتلاصقة، وتعديلها.

- **تعديل التضاريس التفاعلي**

تمت عملية تعديل التضاريس التفاعلية من نافذة تعديل التضاريس التفاعلي (Interactive Terrain Edit – ITE)، وذلك من خلال مطابقة نموذج التضاريس التلقائي على بيانات الصور، والقيام بعمل التعديلات اللازمة على النموذج حسب المنظر أو المشهد ثلاثي الأبعاد، من الصور التي تمثل الارتفاع الحقيقي لطبيعة (تمت على أساس الملاحظة البصرية). انتهت هذه المرحلة باعتماد، وقبول تعديل التضاريس التفاعلي بعد أن تم فحص كامل النموذج والتأكد منه عن طريق مراجعة جميع النقاط، والكنتور، والتأكد من مطابقتها لبيانات الصور، وذلك في ظل استخدام عدد من مقاييس التكبير (٨:١، و ٤:١، و X4) المختلفة لكشف الأخطاء، والعمل على تعديل التضاريس التفاعلي، وبذلك تم التأكد، والتحقق من تعديل كامل التضاريس، وضمان دقة نموذج التضاريس الرقمي، حيث أن زيادة دقة النموذج، وصحته تعتمد بشكل واضح، وكبير على هذه المرحلة (مرحلة التعديل التفاعلي) (الأسمري، ١٤٣٧هـ).

المرحلة الثالثة: تصدير المنتج

تشتمل هذه المرحلة على عملية تصدير نموذج التضاريس الرقمي، والحصول على منتجات في هيئة شبكة النقاط، وخطوط الانكسار؛ وكذلك تحديد خيارات التصدير وهي مرحلة حساسة ومهمة مع كون التعامل معها سهل. حيث أن تحديد نوع المنتج وخصائصه يحتاج معرفة جيدة بما سيقدم هذا المنتج لاحقا عند استخدامه مع التطبيقات المتعددة فهو يتعمد على النوع والخصائص المختارة (شكل ١٦).



شكل (١٦) تصدير نموذج التضاريس الرقمي

المرحلة الرابعة: قياس جودة المنتج

يتم قياس دقة المنتج Measuring of Product Accuracy، والتحقق منه باستخدام بعض الأوامر، والإحصائيات مثل إحصائيات الجودة، وإنشاء، ورؤية صورة التضاريس المظللة. ويمكن إجراء عمليات التحقق باستخدام عدد من الطرائق، وتتضح هذه الطرائق كالاتي: -

- طريقة التحقق من دقة قياس نموذج التضاريس الرقمي باستخدام إحصائيات الجودة Quality Statistics، وذلك في وجود نقاط الإحكام الأرضية (BAE Systems, 2006)، حيث تستخدم ثلاث طرائق مختلفة كالاتي:

أ- المقارنة بين ملف التحقق من النقاط مع ملف قياس النقاط (Comparison of a Check Point File to a Measured Point File).

ب- المقارنة بين ملف التحقق من النقاط مع نموذج التضاريس الرقمي (Comparison of a Check Point File to a DTM).

ت- المقارنة بين نموذجين من نماذج التضاريس الرقمية (Comparison of Two DTMs).

استخدم الباحث طريقة المقارنة بين نموذجين من نماذج التضاريس الرقمية، لتقييم وقياس دقة نموذج DTM المنتج من الدراسة في دراسة أخرى (الأسمري، تحت النشر ب)، وتحصلت دراسته على نتائج منطقية ودقيقة.

- طريقة التحقق من دقة نموذج التضاريس الرقمي بإنشاء ورؤية صورة التضاريس المظللة (Generate and View a Shaded Relief Image).

٣. منتجات وتطبيقات نماذج الارتفاعات الرقمية

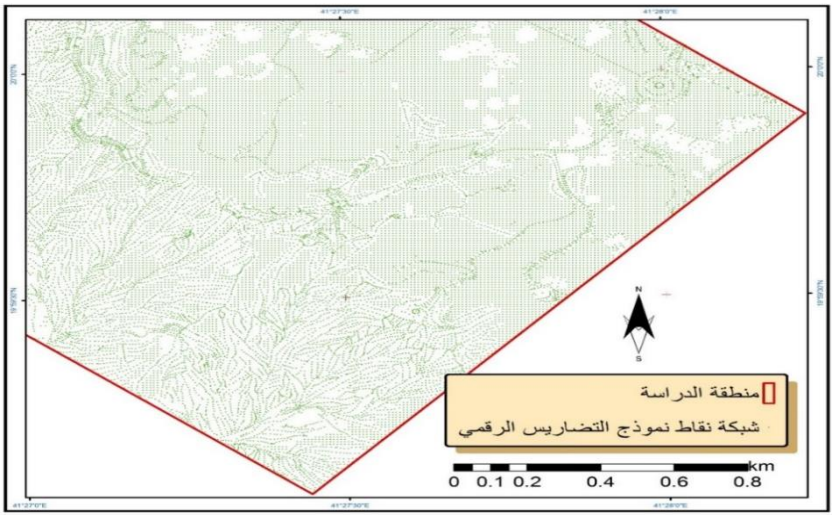
سعت الدراسة في هذه المرحلة إلى التعرف على كيفية حفظ بيانات المنتج، وأرشفتها Archive، والتعامل معها. وذلك لما لها من فوائد في التطبيقات، والمجالات، والاهتمامات، والمنتجات المختلفة. وقد تم تصدير عدة منتجات Products مثل: شبكة النقاط؛ خطوط الانكسار؛ شبكة المثلثات غير المنتظمة؛ نموذج ارتفاعات رقمي؛ مجسم ثلاثي الأبعاد Generate 3D؛ أيضاً التصوير المتعامد؛ عمليات الربط Mosaic؛ الإظهار Anaglyph؛ مشاهدة المنظور Perspective Scenes؛ تقييم دقة الخريطة (Map Accuracy Assessment MAA -). وقد تم أيضاً عمل بعض التطبيقات من المنتجات السابقة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية مثل: معرفة اتجاه الانحدار؛ قيمة الظل؛ معرفة ارتفاعات نقاط تلاقي شبكة مثلثات غير منتظمة؛ قياس الانحدار على النموذج. قامت الدراسة بتوضيح، وإخراج كل ما سبق على شكل منتجات خرائطية بمقياس رسم (١:٢٤٠٠٠)، وبنظام إسقاط (WGS_1984_UTM_Zone_37N) موحد لكل منتجات الدراسة، ونظام اسقاط رأسي (Vertical Datum is MSL Jiddah 1969)، وكانت كالاتي: -

- **المنتجات**

تم التعرف على كيفية تصدير عدد من المنتجات باستخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية كالآتي: -

أ- شبكة النقاط

تم تصدير شبكة النقاط لنموذج التضاريس الرقمي لمنطقة الدراسة، وبدقة (١٠م) بين كل نقطة والأخرى، وبصيغة (.shp*)، وفي هيئة خطية، حيث تم إنتاجها بالاعتماد على بيانات نموذج الدراسة، وباستخدام كل من برنامج ArcMap، وArcToolbox (شكل ١٧).

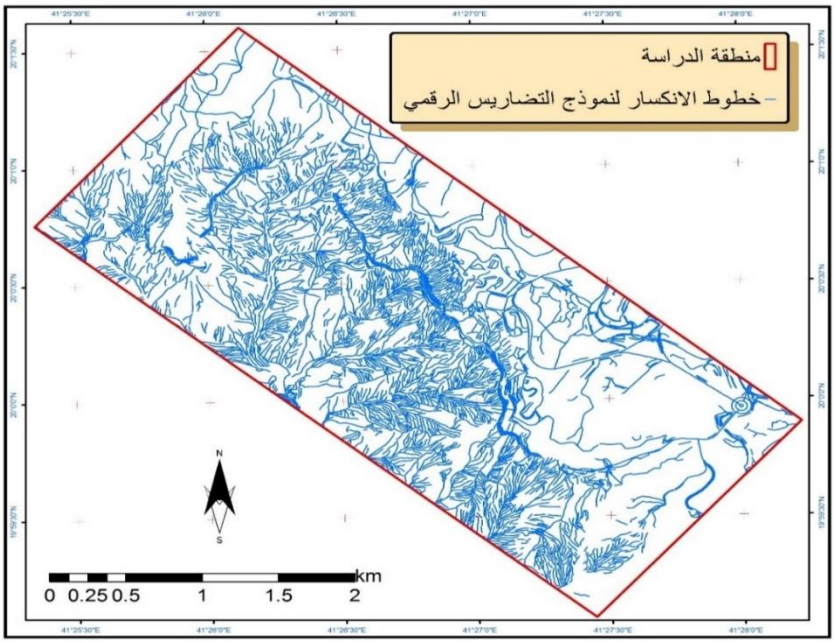


شكل (١٧) شبكة النقاط Grid Points لكل (١٠م) نقطة للجزء الجنوبي من منطقة الدراسة بمقياس رسم ١: ١٠٠٠٠.

ب- خطوط الانكسار

وتعتبر خطوط الانكسار من الظواهر التي تساعد في الحصول على مجموعة بيانات جيدة حيث إنها تزيد من دقة النموذج، وتفيد في ضبط تجسيم التضاريس خاصة المناطق ذات الانكسارات الحادة، وذلك أثناء اشتقاق شبكة المثلثات غير المنتظمة من شبكة النقاط. وتم تصدير خطوط الانكسار لنموذج التضاريس الرقمي لمنطقة الدراسة بصيغة (.shp)، وهي ممثلة في هيئة خطية. وقد تم إنتاجها

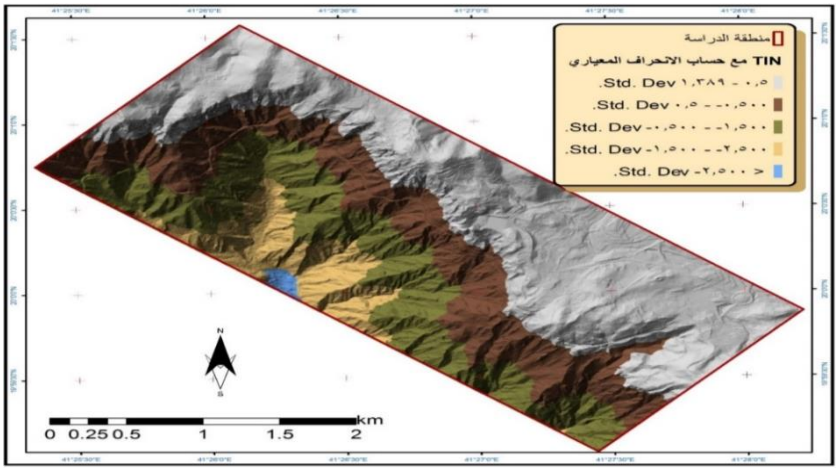
بالاعتماد على بيانات نموذج التضاريس الرقمي، وباستخدام برنامج ArcMap، و ArcToolbox (شكل ١٨).



شكل (١٨) خطوط الانكسار breaklines منظر من الأعلى وبزاوية رأسيه.

ت- شبكة المثلثات غير المنتظمة

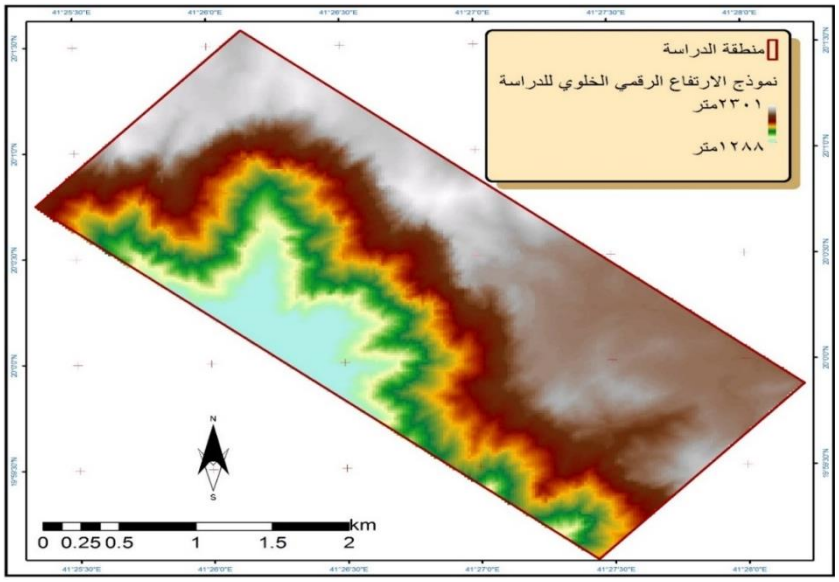
تم استخراج مجموعة بيانات شبكة المثلثات غير المنتظمة (Triangulated Irregular Network–Dataset – TIN–Dataset) لمنطقة الدراسة، وقد تمثلت في هيئة مجموعة بيانات جيدة للدراسة (شكل ١٩). وقد تم تصنيف بياناتها على الخريطة بحسب الانحراف المعياري Standard Deviation، وباستخدام حجم الفترة (١ Std Dev)، وفي ٥ فئات Classes من الارتفاع، حيث يمثل كل مستوى بلون مختلف، وقد تم اشتقاقها من شبكة النقاط، وخطوط الانكسار معاً باستخدام برنامج ArcMap، و ArcToolbox.



شكل (١٩) شبكة المثلثات غير المنتظمة TIN

ث- نموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي

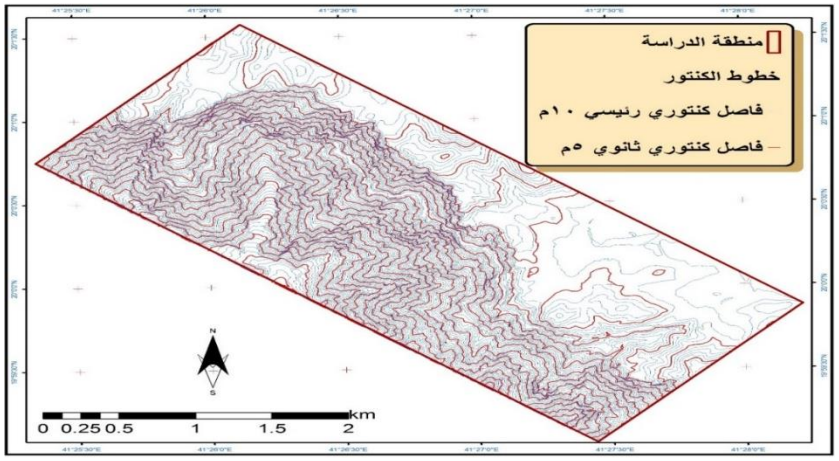
تم أيضاً استخراج نموذج ارتفاعات رقمي خلوي (Digital Elevation Model–Raster – DEM–Raster) لمنطقة الدراسة (النموذج الخلوي للدراسة)، وقد تم تحديدها بحجم (١٠م) لكل بكسل، وهي عبارة عن صورة بصيغة (*.tiff)، وممثلة في هيئة خلوية (شكل ٢٠). وقد تم تصنيفها هنا حسب تدرجات اللون الرمادي، وتم اشتقاقها من شبكة النقاط باستخدام برنامج ArcMap، و ArcToolbox.



شكل (٢٠) نموذج ارتفاعات رقمي خلوي (Digital Elevation Model–Raster – DEM–Raster)

ج- خطوط الكنتور

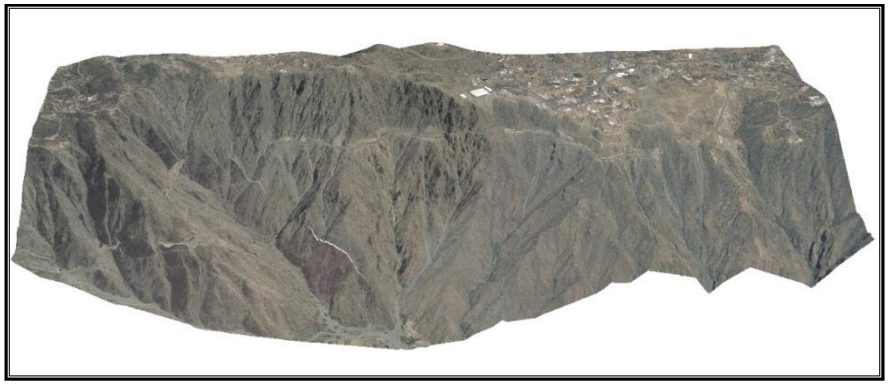
تم استخراج خطوط الكنتور لمنطقة الدراسة بفاصل كنتوري (١٠م)، وبصيغة (.shp*)، وممثلة في هيئة خطية (شكل ٢١). وقد تم اشتقاقها من نموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي للدراسة باستخدام برنامج ArcMap، و ArcToolbox.



شكل (٢١) خطوط الكنتور بفاصل كنتوري (١٠م)

ح- الصور المتعامدة

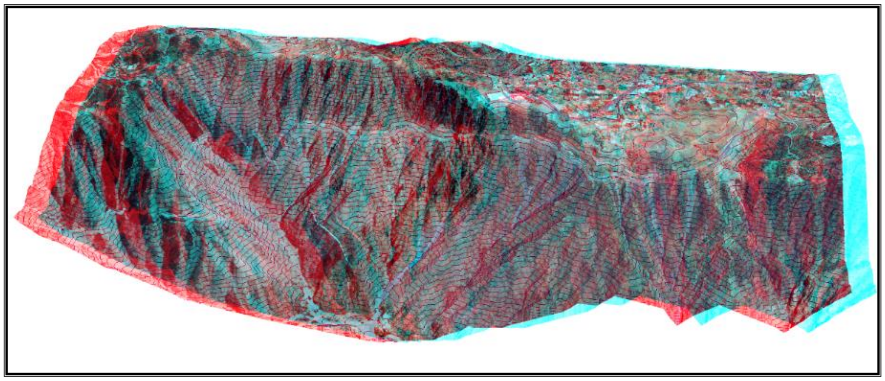
تم استخراج الصور المتعامدة التي تشتمل على تصحيح للإزاحة التضاريسية في الصور الجوية، والارتفاعات على بيانات الصور، بحيث تصبح جميع بكسلات الصورة تحمل قيم الإحداثيات (X, Y)، وقيمة الارتفاع (Z)، حيث تم استعراضه على برنامج ArcScene (شكل ٢٢) ليعطي منظر لنموذج المنتج بعد تلبيسه بالصور المتعامدة.



شكل (٢٢) صورة متعامدة Orthophoto معروضه ببرنامج ArcScene لمنطقة الدراسة

خ- طريقة الإظهار بالألوان المتكاملة

تم إنشاء ما يعرف بـ Anaglyph، وهو منتج يمكن المستخدم من الرؤية بشكل مجسم سواء كانت ورقية، أو رقمية (شكل ٢٣). ويشترط لرؤية بشكل مجسم استخدام النظارات الخاصة للرؤية، والتي تمثل تصحيحاً للارتفاعات.



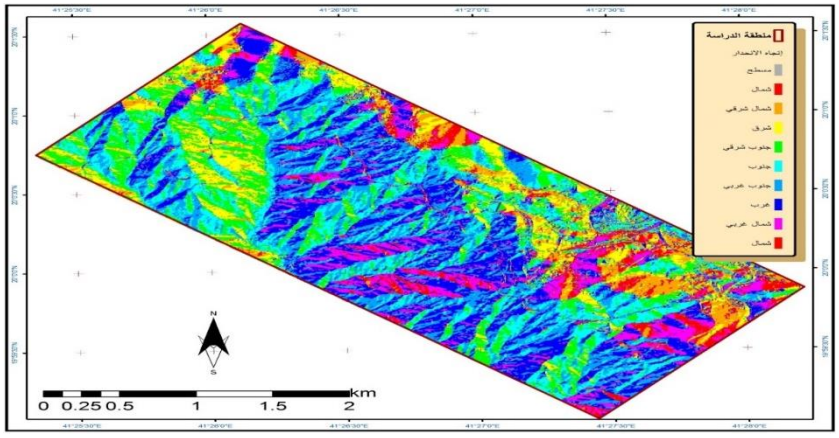
شكل (٢٣) الإظهار Anaglyph لمنطقة الدراسة (عند استخدام نظارات الإظهار)

- **تطبيقات**

تم عمل بعض التطبيقات على نظم المعلومات الجغرافية من المنتجات السابقة كالآتي: -

أ- اتجاه الانحدار

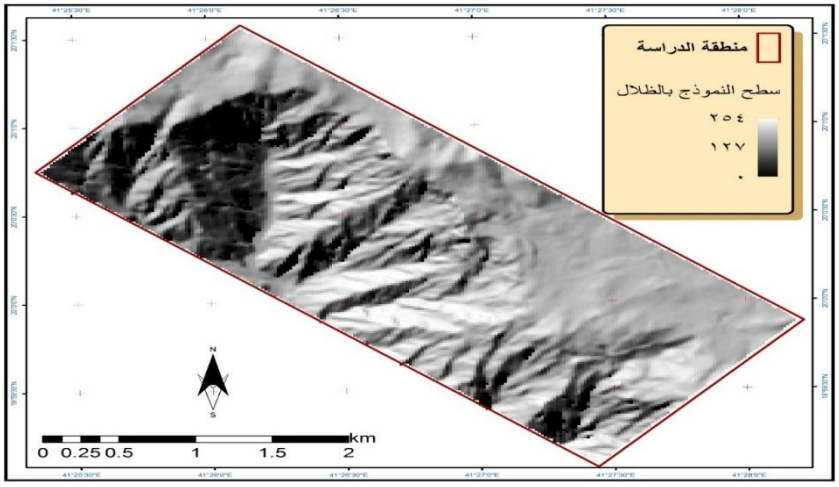
تم إنتاج خريطة اتجاه الانحدار لمنطقة الدراسة، وتم تصنيفها على الخريطة بحسب اتجاه الانحدار إلى ١٠ فئات Classes تمثل الاتجاهات الرئيسية، والفرعية، وباستخدام منهجية Manual بحيث يمثل كل لون اتجاه (شكل ٢٤)، حيث تم اشتقاقها من نموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي للدراسة باستخدام برنامج ArcMap، و ArcToolbox.



شكل (٢٤) إتجاه الإنحدار

ب- قيمة واتجاه سطح النموذج بالظلال

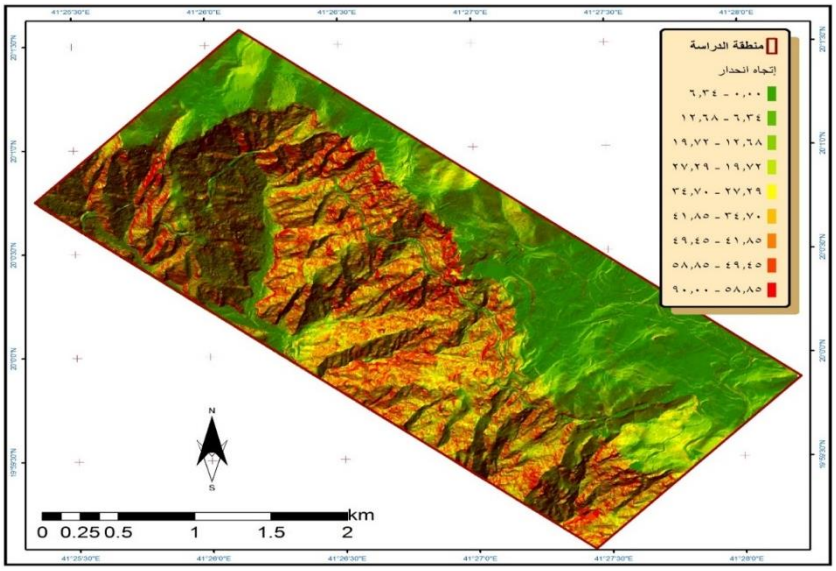
تم إنتاج خريطة قيمة واتجاه الظل لمنطقة الدراسة، بحيث تم تصنيفها من حيث قيمة الظل إلى ٢٥٦ درجة من تدرجات ظلال اللون الرمادي (شكل ٢٥). وقد تم اشتقاقها من نموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي للدراسة باستخدام ArcMap، وArcToolbox.



شكل (٢٥) سطح النموذج بالظلال

ت- الانحدار

تم أيضاً إنتاج خريطة انحدار الظواهر على شبكة المثلثات غير المنتظمة لمنطقة الدراسة، وقد تم تصنيفها حسب الانحدار إلى ٩ مستويات، كل مستوى من الانحدار ممثل بلون مختلف (شكل ٢٦). وقد تم اشتقاقها أيضاً من نموذج الارتفاعات الرقمي الخلوي للدراسة باستخدام ArcMap، و ArcToolbox.



شكل (٢٦) قيم الانحدار على النموذج

يتبين لنا من خلال ما تقدم في هذا الجزء عدة أمور عن طرائق الإنشاء، ومناسبتها مع التطبيقات التي تحتاج للدقة العالية، وذلك لزيادة جودة المنتج مع زيادة دقة البيانات. وأيضاً معرفة علاقة كل من كفاءة البرمجيات، وأجهزة المساحة التصويرية الرقمية المستخدمة على المنتج. كما بينت الدراسة كذلك مراحل عملية إنشاء نموذج التضاريس الرقمي. ونوع وهيئة نموذج التضاريس الرقمي المنتج. وأخيراً تصدير المنتجات واستخلاص التطبيقات من نموذج التضاريس الرقمي المنتج.

ثالثا: النتائج والتوصيات

١. النتائج

توصلت الدراسة الحالية لعدد من النتائج والتي كان من أهمها الآتي:

- أكدت الدراسة على أن جودة، وخصائص، ومصدر البيانات المستخدمة ذات تأثير على جودة، ودقة المنتج (نموذج ارتفاعات رقمي)، حيث أن الإنشاء من بيانات أولية ينتج عنها نماذج ارتفاعات رقمية بنسبة خطأ منخفضة، والعكس.
- قامت الدراسة بإنشاء نموذج تضاريس رقمي متمثل بشبكة نقاط لكل (١٠م). واشتمل على خطوط الانكسار. وتوضيح طرائق الإنشاء.
- بينت الدراسة مخططاً هيكلياً لإجراءات إنشاء نماذج ارتفاعات رقمية ومنتجاته وتطبيقاته الممكنة.
- أظهرت الدراسة عملية إنشاء نموذج التضاريس الرقمي DTM باستخدام برنامج SOCET SET في أربع مراحل.
- اتضح من الدراسة بأن الاستخراج إذا مر بمرحلة التعديل التفاعلي للتضاريس والتي تشترط وجود مستخدم ذو خبرة ودراية عالية فإن المنتج سيكون أعلى دقة وصحة؛ والعكس صحيح في حال لم يمر بمرحلة التعديل التفاعلي للتضاريس فإن المنتج سيكون أقل دقة وصحة.
- حددت الدراسة قيمة الفاصل كنتوري، Contour Interval أثناء عملية التعديل التفاعلي بقيمتين (٢م و٥م) بناءًا على التباين في تضاريس منطقة الدراسة. استخدمت الفاصل الكنتوري (٢م) كحد أعلى في المناطق قليلة الانحدار (شبه المستوية)، والمستوية؛ واستخدمت الفاصل الكنتوري (٥م) في المناطق المتضرسة، وشديدة الانحدار، وذلك بناءًا على مقياس رسم الخريطة الطبوغرافية (١: ٤٥٠٠٠).

- اتضح للباحث من هذه الدراسة أن إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية ليس من السهولة بما كان، ويحتاج فريق عمل متكامل، حيث يقابل الإنشاء صعوبة الحصول على البيانات الدقيقة؛ تكلفة، وندرة التقنيات، والبرمجيات، وقلة الجهات الحكومية المتخصصة؛ صعوبة، وتكلفة النزول الحقلي لأخذ البيانات؛ والكثير من العقبات الأخرى التي واجهت هذه الدراسة كالوقت، والجهد.
- أظهرت الدراسة أهمية وضرورة المرحلة الرابعة في قياس دقة المنتج والتحقق من صحته بعد عملية الإنشاء بعدة طرائق متوفرة، وإنه من الخطأ تجاوز مرحلة قياس دقة المنتج لما قد يترتب عليها من استخدامات وقياسات دقيقة مستقبلاً.
- اتضح من الدراسة أهمية نماذج الارتفاعات الرقمية في الحصول على المنتجات الضرورية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، ومن ثم عمل التطبيقات الضرورية عليها. وتعتمد هذه المنتجات بشكل كبير على نوع نموذج الارتفاعات الرقمي وخصائصه.
- استخدمت الدراسة الحالية منهج المدرسة الأولى في اختيار مصطلح نموذج الارتفاعات الرقمي والتي يكون فيها نموذج التضاريس الرقمي DTM عبارة عن تجسيم يقتصر فقط على التضاريس الجرداء من النباتات، والمباني.

٢. التوصيات

بقدر ما لنماذج الارتفاعات الرقمية من أهمية كبيره بقدر ما يستوجب علينا تفهم أهمية دقتها وصحتها؛ والعمل على إنشائها بأسس سليمة لتصل إلى المستوى المطلوب من الدقة؛ وحفظها بشكل كامل، وسليم، ومن ثم استثمار منتجاتها المشتقة وتطبيقاتها الهامة في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد بشكل عام، والمساحة التصويرية الرقمية بشكل خاص؛ ودعم هذا المجال بالبحث العلمي. وبناءًا على نتائج الدراسة، توصلت الدراسة إلى الآتي:

- يجب الاعتماد عند البدء في إنشاء نموذج الارتفاعات الرقمي على البيانات الأولية ذات الوضوح العالي، حيث تمكن من اشتقاق نماذج ذات مقاييس صغيرة وبدقة عالية من البيانات المنتجة، وتجنب البيانات الثانوية قدر المستطاع لتعرضها لمجموعة من الأخطاء.
- تحديد الهدف من إنشاء نموذج الارتفاعات الرقمي قبل البدء في البحث عن البيانات الخام، وإنشاء النموذج، وتحديد الدقة التي يمكن الحصول عليها من هذه البيانات بناءًا على خصائصها المتمثلة في المقياس، وزاوية الميل، ومقدار الوضوح.
- تشجيع البحوث في مجال القيام بإنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية من مصادر مختلفة (بيانات أولية) لم تشملها هذه الدراسة، مثل الصور الفضائية، بيانات الرادار، الليدار Light Detection and Ranging – LiDAR.
- القيام بالمزيد من الدراسات الخاصة بنماذج الارتفاعات الرقمية وخاصة فيما يتعلق بإجراء قياسات على دقة النماذج، وتقييم جودتها.
- إجراء دراسات مقارنة بين برامج مختلفة من برامج المساحة التصويرية، لتقييم الخصائص العامة لكل برنامج، ومقارنة النتائج، وسهولة الاستخدام، والخطوات، والإجراءات، والإمكانات المتوفرة في كل برنامج.

- يجب تحديد منهج استخدام مسميات، وأنواع نماذج الارتفاعات الرقمية على مستوى المملكة العربية السعودية بالاعتماد على إحدى مدارس المصطلحات مثل منهج (المدرسة الأولى) كونها الأغلب استخداما في الهيئات الحكومية والعسكرية والمتبع أيضاً في هذه الدراسة.
- يجب تفعيل دور الأقسام العلمية مثل أقسام الهندسة المساحية وأقسام الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية وأقسام الجيولوجيا والاستشعار عن بعد لزيادة المعرفة العلمية والعملية في مجال المساحة التصويرة الرقمية نظرياً وتطبيقياً.

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). المساحة التصويرية الرقمية الحديثة وأهمية منتجاتها في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، مصر : جامعة المنوفية.
- الأسمري، عبدالله حسن (تحت النشر ب). تقييم دقة نموذج ارتفاعات رقمي منشأ من بيانات المساحة الجوية دراسة مقارنة: نموذج DTM مع نماذج محلية ونماذج عالمية، مصر : جامعة المنوفية.
- الحسن، عصمت محمد (١٤٣٢هـ). المساحة التصويرية التجسيمية، الرياض : مكتبة الملك فهد الوطنية.
- السيد، أحمد ياسر (٢٠٠٧م). علم المساحة، الإسكندرية : مكتبة بستان المعرفة.
- الشافعي، شريف فتحي (٢٠٠٤م). المساحة التصويرية، القاهرة : دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع.
- العمران، علي إبراهيم (١٤٣٣هـ). مقدمة في الاستشعار عن بعد ومعالجة الصور رقميا، الرياض : دار وجوه للنشر والتوزيع.

-الغامدي، علي معاضة (١٤٢٦هـ). طرق اشتقاق نماذج الارتفاع الآلية من خطوط كنتور خرائط: ١: ٥٠٠٠٠ الطبوغرافية واثرها على تحليل الرؤية، المجلة العربية لنظم المعلومات الجغرافية، الأولى، ٣٠ صفحة.
-داود، جمعة محمد (٢٠١٢م). مبادئ المساحة، تاريخ الدخول ٩ ٩، ١٤٣٦: من جامعة أم القرى: https://old.uqu.edu.sa/page/ar/204649.
-رضوان، علي (١٣٩٩هـ). المساحة التصويرية، الرياض : دار عكاظ.
-سعيد، هالة محمد، وهادي، خلود علي (٢٠١٠م). أهمية دراسة نموذج الارتفاعات الرقمي DEM وتطبيقاته المختلفة، مجلة ديالي، ١٥ صفحة.
-صيام، يوسف (١٤١٥هـ). المساحة الجوية والاستشعار عن بعد، عمان : دار مجدلاوي للنشر والتوزيع.

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.
- BAE Systems. (2006). SOCET SET® User's Manual (Vol. Version 5.3). Systems National Security Solutions Inc.
- 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.
- Konecny, G., Bahr, H., Reil, W., & Schreiber, H. (1979). Use of Spaceborne Metric Camera for Cartographic Applications. Report to the Ministry of Research and Technology of FRG.
- Li, Z., Zhu, Q., & Gold, C. (2005). DIGITAL TERRAIN MODELING: Princiciples and Methodology. U.S.A: COMPANY CRC U.S.A.
- US Army Corps of Engineers. (2003). Remote Sensing. Washington.
- Wolf, P. R., Dewitt, B. A., & Wilkinson, B. E. (2014). Elements of Photogrammetry with Applications in GIS (Vol. 4th Edition). McGraw-Hill Education: New York.
- Zhou, Q., Lees, B., & Tang, G.-a. (2008). Advances in Digital Terrain Analysis. Springer.