أدوات المساحة التصويرية الرقمية الجوية وأهمية منتجاتها في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد: دراسة نظرية

إعداد: عبدالله حسن محمد الأسمري(1)

المستخلص

يعدعلم المساحة التصويرية الرقمية الجوية ذو أهمية كبيرة وواسعة حيث تمثل منتجاته أهم طرائق وتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والتطبيقات الهندسية والعمرانية والبيئية وغيرها. ونجد أن نماذج الارتفاعات الرقمية هي أبرز المنتجات ذات التطبيقات المتعددة، والمهمة. ويتطلب إنشاؤها بيانات صور ونقاط إحكام أرضية بمواصفات خاصة، وبرمجيات، وتقنيات متخصصة، بالإضافة إلى الخبرة العملية، والعلمية في مجال علم المساحة التصويرية الرقمية الجوية. وقد هدفت الدراسة الراهنة للتعرف على أهم البيانات، والبرمجيات، والتقنيات الضرورية في أعمال المساحة التصويرية الرقمية الجوية، ومن ثم نقل هذه المعرفة للمهتمين بهذا العلم؛ وتوضيح ودراسة التباين في المصطلحات والمسميات المتعددة لنماذج الارتفاعات الرقمية؛ وبناء هيكل مبسط يوضح بيانات وطرائق الإنشاء المتعددة والأخطاء في نماذج الارتفاعات الرقمية؛ والتعرف على منتجات وتطبيقات المساحة التصويرية الرقمية الجوية وخط سير إعدادها من خلال نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.كان من أهم نتائج الدراسة أن يكون لدى الباحثين معرفة عالية بعلم المساحة التصويرية الرقمية الجوية وخبرة جيدة بالعمل الميداني والمكتبي؛ يوجد تباينات في مسميات، وفي أنواع نماذج الارتفاعات الرقمية، بعضها ذات دلالة محددة مثل DSM؛ كما تعتمد دقة نموذج الارتفاعات الرقمي المنتج على كل من: وضوح Resolution بيانات الصور ونوعها، وتوزيع وعدد نقاط الإحكام الأرضية، ونوع البرمجيات والتقنيات المستخدمة؛ وإيضاح طرائق الإنشاء المختلفة بناء على نوع البيانات، وتقييمها بناء على مقدار الخطأ المسموح به؛ والإنشاء من بيانات أولية (صور رقمية) تستغرق وقت قصير وتنتج نماذج عالية الدقة Accuracy وأخطاء قليلة ويمكن التحكم بدقة المنتج عن طريق الحرص أثناء

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

العمل على الإنشاء، والعكس صحيح عند الإنشاء من البيانات الثانوية الورقية (خرائط طبوغرافية ورقية). وأخيرا تم اقتراح عدد من التوصيات للاهتمام بنوع ومصدر البيانات، وطرائق الإنشاء وإجراءاتها المتبعة، والاستفادة القصوى من المنتجات والتطبيقات.

أولا: الإطار العام للدراسة:

1. المقدمة

تعتمد المساحة التصويرية العادية Analogue Photogrammetry والمساحة التصويرية الرقمية الجوية Aerial Digital Photogrammetry بشكل أساسي على الصور الجوية Aerial Photographs وتحديداً الصور الجوية المتداخلة Stereo Pair كأحد أهم مصادر البيانات التي يعتمد عليها في كل من القياس والتفسير والحصول على المعلومات الدقيقة، ويتم ذلك باستخدام أجهزة الرسم التجسيمي (الأجهزة التناظرية) Stereo plotting instruments (الحسن، 1432هـ). وبعد تسارع وتطور البرامج، وظهور أجهزة الحاسبات الحديثة بدأ علم المساحة التصويرية في التحسن وخاصة مع تطور التقنيات الحاسوبية الخاصة بهذا العلم حيث ظهرت تقنيات حديثة، وكاميرات تصوير رقمية متطورة سهلت العمل وزادت من دقة إنتاج الخرائط الطبوغرافية، ونماذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Model (DEM) لذلك أطلق عليه حديثاً أسم علم المساحة التصويرية الرقمية. وأهتم هذا العلم بنماذج تجسيم سطح الأرض بالاعتماد على نقاط الإحكام الأرضية Ground Control Point (GCP) المقاسة من الحقل بواسطة أجهزة تحديد المواقع العالمي Global Positioning System (GPS) والتي يتم بواسطتها أيضاً عمل شبكة من المثلثات غير المنتظمة Triangulated Irregular Network (TIN). ومع تطور وتحسن سرعة، وقدرة التخزين الهائلةلأجهزة الحاسبات والتقنيات الحديثة المتخصصة ظهرت الكثير من البرمجيات المتخصصة بالمساحة التصويرية الرقمية الجوية والتي يمكن من خلالها التعامل مع كم هائل من البيانات ومعالجتها.

زادت أهمية المساحة التصويرية الرقمية الجوية بشكل كبير وواسع لتصبح من أهم الطرائق المستخدمة في توفير البيانات والمعلومات لكل من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية(Geographic Information Systems (GIS،والاستشعار عن بعد Remote Sensing (RS)، ومسوحات الموارد الأرضية، والتطبيقات الهندسية، والبيئية، وأيضاً العمرانية. وتميزت بأمور عدة مثل:الدقة العالية؛سرعة العمل والاستغناء عن العمل الحقلي بشكل واضح؛اتساع حجم التغطية والتكلفة المادية البسيطة؛إمكانية التصوير الدوري لمتابعة الظواهر؛حل جميع الصعوبات الميكانيكية والبصرية والتشغيلية المصاحبة لطرائق المحاكاة وكذلك الصعوبات التحليلية والرقمية؛عدم تأثرها بالظروف المناخية أو التضاريسية أثناء العمل؛قوة المعالجة الرقمية؛التكامل بين كل من الخريطة والصورة(Raster، Vector)؛إنتاج الصور المتعامدة بسهولة وجودة عالية؛ سهولة التعامل مع البيانات وتحرير المعلومات وربط الصور الرقمية بنظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد ومن ثم تسهيل عمل النمذجة والمعالجة والتحليل واتخاذ القرار (الأسمري، 2016م). إضافة لما سبق تستخدم منتجات المساحة التصويرية الرقمية الجوية في التطبيقات العسكرية ونماذج محاكاة الواقع الافتراضي، وتعتمد هذه المنتجات والتطبيقات بشكل كبير على كل من دقة التصحيح الهندسي، وجودة بيانات الصور المستخدمة، وطبيعة السطح للمنطقة.

ومن هنا تسعى الدراسة الراهنة لإلقاء الضوء على مسيرة المساحة التصويرية الرقمية الجوية ونماذج الارتفاعات الرقمية، وذلك بالتعريف بأهم أدوات المساحة التصويرية الرقمية الجوية مثل البيانات الأولية (صور، ونقاط إحكام أرضية)، والبيانات الثانوية، والبرمجيات والتقنيات (الأجهزة)، أيضاً الخبرة العلمية والعملية ونقل هذه المعرفة للمهتمين بهذا الجانب؛الإبصار المجسم والتجسيم؛ دراسة وتوضيح التباينات في مصطلحات ومسميات نماذج الارتفاعات الرقمية المتعددة؛التعرف على طرائق إعداد وإنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية وتقييم الدقة وبناء هيكل مبسط يوضح البيانات والطرائق المتعددة للإنشاء والأخطاء المصاحبة؛التطرق لمنتجات وأعمال المساحة التصويرية الرقمية الجوية واستخداماتها وخط سيرها مع تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.

2. مشكلة الدراسة

حصلت المساحة التصويرية الرقمية الجوية على أهميه كبيرة في العديد من المجالات والتطبيقات وعلى الرغم من ذلك فأننا لا نجد هناك معرفة علمية وعملية كافية بها في كثير من أقسام الجغرافيا بالمملكة العربية السعودية (حسب علم الباحث) سواء كانت معرفة بكيفية الحصول على منتجاتها أوعلاقاتها بالعلوم الأخرى مثل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد أو حتى المعرفة بأهم وأحدث مصطلحاتها العلمية الحديثة،وما وصلت إليه تقنياتها الحديثة من تطور كبير،وفي المقابل نجد معرفة غير متكاملة في القطاعات الأخرى (العسكرية، والمدنية) حيث نجد القطاعات العسكرية مثل (هيئة المساحة العسكرية) تركز على إنتاج الخرائط الطبوغرافية وتهمل التطبيقات الأخرى، ونجد القطاعات الحكومية غير العسكرية مثل (مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية) تركز على التطبيقات وتهمل إنتاج الخرائط وكلاهما جهتين مهمتين بحيث يجب تبادل المعرفة العلمية والعملية فيما بينهما ليتم الحصول على تكامل معرفي مفيد. نرى أيضاً وجود فجوة كبيرة وندرة في مجال البحث العلمي فيما يخص مجالات المساحة التصويرية الرقمية الجوية وتطبيقاتها الجغرافية،حيث عمدت الدراسة الراهنة إلى لفت نظر الباحثين لإثراء ودراسة هذا المجال،وذلك بالتعريف وطرح علم المساحة التصويرية الرقمية الجوية؛ توضيح التباين في مصطلحاته وأنواعه واستخداماته المتعددة؛التعريف بأفضل الطرائق العلمية المتاحة، والبرمجيات المناسبة لإنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية عالية الدقة؛التعريف بأفضل وأسهل طرائق تقييم دقة Evaluate Accuracy نماذج الارتفاعات الرقمية؛ التركيز على أهم الأدوات المستخدمة والبرمجيات والتقنيات الحديثة.

3. أهداف الدراسة

تهدف الدراسة الراهنة لتحقيق الأهداف التالية:

1. التعريف بأهم بيانات وبرمجيات وتقنيات أعمال المساحة التصويرية الرقميةالجوية ونقل المعرفة والخبرة العلمية والعملية للمهتمين بهذا العلم.

2. توضيح ودراسة التباين في مصطلحات ومسميات نماذج الارتفاعات الرقمية المتعددة.
3. بناء هيكل مبسط يوضح طرائق وبيانات الإنشاء المتعددة والأخطاء في نماذج الارتفاعات الرقمية.
4. التعريف بمنتجات وأعمال المساحة التصويرية الرقميةالجوية وخط سير تطبيقاتها من خلال نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.

5. أهمية الدراسة:

تكمن أهمية الدراسة الراهنة في قلة توافر دراسات علمية في مجال المساحة التصويرية الرقمية الجوية توضح طرائق المساحة التصويرية الرقمية بشكل عام، وندرتها في استخدام الصور الجوية الرقمية بشكل خاص. كذلك عدم وجود دراسات تعرف بأعمال ومنتجات المساحة التصويرية الرقمية الجوية وارتباطها الوثيق مع نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، ومعرفة أفضل طرائق الإنشاء المتعددة لنماذج الارتفاعات الرقمية وقياس، وتقييم دقتها، إضافة لما سبق فإنها تعمل على نشر المعرفة بالمساحة التصويرية الرقمية الجوية، وأدواتها المتنوعة، ومنتجاتها، وتطبيقاتها الضرورية، وبرمجياتها، وتقنياتها الحديثة أيضاً.

6. حدود الدراسة:

تغطي الدراسة الحالية كل ما يخص علم المساحة التصويرية الرقمية الجوية (البعيدة)، والإبصار المجسم والتجسيم، والتباينات في مسميات ومصطلحات ومسميات نماذج الارتفاعات الرقمية، وطرائق إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية بالاعتماد على أدواتها وبياناتها الأساسية (بيانات أولية، وثانوية) ومنتجاتها وتقنياتها المستخدمة سواءً كانت مكتبية أم ميدانية ومن ثم ربط تطبيقاتها مع نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.

7. الدراسات السابقة:

يتوفر عدد قليل من الدراسات غير العربية حول موضوع الدراسة الراهنة، ويكاد يكون منعدم في مجال الدراسات النظرية. كما لم يتوفر للباحث دراسات بالعربية على مستوى الإقليم في هذا المجال بالتحديد، والدراسات المتوفرة تتناول مواضيع مختلفة من علم المساحة التصويرية العادية والمساحة التصويرية الرقمية ونماذج الارتفاعات الرقمية ومنتجاتها وتطبيقاتها وتقييم الدقة وهي كالتالي:

دراسة (الأسمري، 2017م)المعنونة بـ: "إنشاء نموذج ارتفاعات رقمي واستخدامه في تطبيقات ومنتجات نظم المعلومات الجغرافية (دراسة حالة: الجزء الأعلى من عقبة المخواة)" تطرقت لطرائق الإنشاء وأوصت بالاعتماد في الإنشاء على طرق تعتمد على بيانات أولية (بيانات خام) مثل الصور الجوية أو الفضائية، ونقاط الإحكام الأرضية وبذلك يتم الحصول على منتج عالي الدقة.بينت دراسته أن عملية إنشاء نموذج التضاريس الرقمي تمر بشكل عام بأربع مراحل: إنشاء المشروع واستيراد البيانات؛ استخراج البيانات والإنشاء؛ تصدير المنتج؛ قياس دقة المنتج. وعملت دراسته على إنشاء نموذج تضاريس رقمي DTM، واستخلاص عدد من المنتجات والتطبيقات.

وهنالك دراسة (سعيد وهادي، 2010م) التي سعت إلى التعرف على DEM، وتصنيفه، والتعرف أيضاً على بعض مصادر إنتاجه، والتطبيقات المختلفة لاستخدامها في العديد من المجالات، ومن ضمنها الجيولوجيا، والجيومرفولوجيا، والهيدرولوجيا، وأجريت بعض التطبيقات الجيومرفولوجية لتوضيح ارتفاعات المنطقة ضمن DEM لمنطقة كويسنجق (شمال العراق)، وتم توضيح انحدارات المنطقة، وفئاتها.

دراسة (الغامدي، 1426هـ) قامت بتقييم نموذج ارتفاعات رقمي Digital Elevation Model، والمشتقة بطرائق الاشتقاق باستخدام برنامج الـArcGIS، وكانت الطرائق المستخدمة هي كل من:Kriging، وTIN، وIDW وكل ذلك بناء على معيار التقييم الأساسي وبالاعتماد على بيانات خطوط كنتور الخريطة الطبوغرافية بمقياس 1: 50000

لعمل الاشتقاق. ومن ثم تم التقييم بعمل التطابق فيما بين خطوط الكنتور المستخرجة من النماذج، وخطوط الكنتور الأصلية. وتوصلت دراسته إلى أن كل من نموذج Kriging&IDW كانا أقل دقة من نموذج TINوالذي كان الأقرب للدقة.

دراسة (الأسمري، 2018م)المعنونة بـ: "تقييم دقة نموذج ارتفاعات رقمي منشأ من بيانات المساحة الجوية (دراسة مقارنة: نموذج DTM مع نماذج محلية ونماذج عالمية)" عملت على عدة مقارنات بين طرائق الإنشاء وأوصت بالابتعاد قدر المستطاع عن الإنشاء من بيانات ثانوية مثل خرائط الكنتور، أو نماذج الارتفاعات الرقمية المتدنية الدقة (المجانية)، والتي ينتج عنها منتجات غير دقيقة، وبنسبة خطأ عالية، ووضحت عدم مناسبتها خصوصاً مع التطبيقات التي تحتاج للدقة العالية؛ أوصت أيضاً بالإنشاء بالطرق التي تعتمد على البيانات الأولية (بيانات خام) مثل الصور الجوية أو الفضائية، ونقاط الإحكام الأرضية للحصول على منتج دقيق.كما أوضحت أن جودة المنتج ترتفع مع كفاءة، ونوع برمجيات، وأجهزة المساحة التصويرية الرقمية المستخدمة. 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.

ونجد دراسة كل من (Farrag and Khalil, 2005) تناولت تأثير النماذج الرياضية للاستيفاء Interpolation methods المستخدمة في حساب الارتفاعات عند إنتاج النماذج الرقمية على دقة هذه النماذج. وقد تم تقييم الدقة بعدة طرائق من هذه النماذج وهي: Inverse distance to a power, Kriging, Radial basis function, Triangulation with linear interpolation. وقد تم تقييم مخرجات النماذج الرياضية باستخدام جهاز تحديد المواقع العالمي، وكذلك باستخدام محطات الرصد المتكاملة Total Station. وأجري البحث على عدة نماذج رقمية باستخدام أكثر من حالة لنقاط الإحكام الأرضية تختلف في عددها، وطريقة توزعها، وذلك بهدف الوصول إلى أعلى دقة بأقل عدد من نقط التحكم، وتعيين أفضل طرائق الاستيفاء المناسبة لهذا الغرض، حيث توصلا إلى أنه

كلما اقتربت بيانات التحكم إلى نماذج النقاط كلما كانت دقة النماذج أفضل؛ 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 كافي لتمثيل تفاصيل تموج السطح؛ نقاط التحكم التي تقع داخل منطقة التقييم أكثر فعالية من تلك التي تقع على الحدود؛ أعطى نموذج Kriging أفضل دقة لتمثيل السطح؛ التمثيل الرقمي الدقيق لأسطح الأرض على التضاريس الوعرة المتشابهة من المستحسن استخدام تباعد بين نقاط التحكم 20م؛ ولكن من المستحسن القيام بالمزيد من الدراسات بشأن الدقة المختلفة لتقنيات رصد GPS وإنشاء DEM.

أما دراسة (Jacobsen, k, n.d) فقد ركزت على عمليات الإنشاء لنموذج الارتفاعات الرقمي من الأقمار الصناعية وذلك لأهميتها وتوافرها مقارنة بالتصوير الجوي. وقد توصلت دراسته إلى أن الحصول على دقة عالية لنماذج الارتفاعات الرقمية يعتمد أساساً على مقدار قدرة الإيضاح للصور الفضائية المستخدمة، وأيضاً على مقدار ارتفاعات الصورة، وقوة تباينها؛ ولا شك أن هناك قدر من الأخطاءالمتراكمة والمعروفة عند بناء هذه النماذج، والتي من الممكن تلافيها، أوتحسينها بعدة طرق مثل التوجيه،والضبط وذلك للوصول إلى الدقة المطلقة أو الدقة النسبية؛ تتطلب القياسات العادية على نموذج الارتفاعات الرقمي الكثير من الوقت لذا يجب أن تقوم بتجميع البيانات عن طريق المطابقة التلقائية للصور.

ونختم بدراسة (Takagid, n.d) التي تناولت تقييم دقة النموذج الرقمي المبدئي DEM، وفقا لقدرات إيضاح مختلفة: (200م)،و(100م)، و(50م). وقد توصل إلى أنه لا غنى عن استخدام DEM للكثير من التحليلات مثل استخدامه في استخراج الظواهر الطبوغرافية، وتحليل الجريان السطحي، وغيرها الكثير، وقد اعتبرت دراسته، بأن دقةDEM، تعتمد على درجة وضوحها المكاني حيث أثرت بوضوح في نتائج ميل الانحدار حتى عند استخدام نماذج معدة بدقة100م، حيث حذرت من استخدام بيانات متدنية الوضوح المكاني لبناء DEM لأن النتيجة سوف تكون ذات دقة منخفضة.

ارتبطت معظم الدراسات السابقة بشكل عام فيما يخص إيضاح التطبيقات العملية وآلية إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية من البيانات الأولية والبيانات الثانوية وتقييم وحساب دقتها ومن ثم العمل على استخدام منتجاتها في التطبيقات الجغرافية. ويتضح في الجزء المتبقي من الدراسات السابقة الارتباط فيما تناولته من جوانب مختلفة مثل أهمية النماذج، والتعرف على DEM، وتصنيفه، ومصادر إنتاجه، وعمل التطبيقات المختلفة لاستخدامها في العديد من المجالات.

8. منهجية الدراسة وإجراءاتها

اتبعت الدراسة الراهنة المنهج العلمي الحديث متطرقتاً للعمليات التقنية سواء بالعمل الميداني أو بالعمل المكتبي. وقد تم إيضاح هذا المنهج في علم المساحة التصويرية الرقمية الجوية بالاعتماد على دراسة سابقة(الأسمري، 2016م)، بحيث استخدم عدد من الأمثلة والمعلومات والبيانات الأساسية(صور، ونقاط إحكام أرضية)،ومعلومات خاصة بإنشاء نموذج تضاريس رقمي DTM وعدد من التطبيقات والتقنيات المكتبية والميدانية المستخدمة تم استخدامها في هيئة أشكال، وجداول، ورسومات، وصور توضيحية.

9. مصطلحات الدراسة

1. المساحة التصويرية Photogrammetry

هي علم أو فن استنباط البيانات الكمية، والوصفية من الصور (الحسن، 1432هـ)، وهي فرع حديث من فروع المساحة.

2. المساحة التصويرية الرقمية Digital Photogrammetry(DP)

استخدمت المساحة التصويرية العادية Analogue Photogrammetry سابقا الأجهزة البسيطة وعندما تطور هذا العلم مع ظهور تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، والاستشعار عن بعد، أصبحت تطبيقات المساحة التصويرية تتم باستخدام الحاسب الآلي، والأجهزة المتطورة مما جعلها مساحة تصويرية رقمية (داود، 2012).

3. الاستشعار عن بعد Remote Sensing (RS)

هو علم وفن الحصول على المعلومات عن جسم، أو معلم من خلال تحليل بيانات تم التقاطها عن طريق جهاز ليس على اتصال بهذا الجسم، أو المعلم(العمران، 1433هـ).

4. تجسيمية (استريوسكوبية) Stereoscopic

تصوير ثلاثي الأبعاد أو التصوير المجسم وهو طريقة للتصوير تسجل وصفا مجسما للأجسام. وهذه الطريقة تقلد عمل العينين. فالعينان تكونان صورتين من زاويتين مختلفتين قليلا للجسم المرئي بسبب فرق المسافة بين العينين، وترسل العينان الصورتين إلى المخ حيث يتم دمج الصورتين فيظهر الشيء أمامنا مجسما، أي أننا نستطيع تقدير عمق الشخص أو الشجرة في الصورة، وكذلك تقدير القريب، والبعيد.

5. الصور المتداخلة Stereo Pair

هي زوج أو أكثر من الصور المتداخلة، والتي نستطيع أن نرى محتواها بشكل ثلاثي الأبعاد لتوضيح المعالم باستخدام البرمجيات والأجهزة المتخصصة (العمران، 1433هـ).

6. نقاط الإحكام الأرضية(GCP) Ground Control Point

هي معالم أرضية معروفة الموقع عن طريق الإحداثيات الجغرافية، والارتفاع (X, Y, Z)، أو بإحداثيات أحد المساقط مثل مسقط (ماركيتور) المستعرض العالمي (UTM)، ولها دقة كبيرة ويتم الحصول على إحداثيات هذه النقاط بطرائق مختلفة من أهمها استخدام نظام تحديد المواقع العالمي (العمران، 1433هـ).

7. نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) Global Positioning System

نظام يحدد الإحداثيات الجغرافية لمعرفة الموقع، وتختلف دقته على حسب نوع الجهاز، وعدد الأقمار التي يستقبل الإشارة منها.

8. نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) Digital Elevation Model

هو ملف مشابه لملفات الصور من حيث تمثيلها بمصفوفة ثنائية الأبعاد، ولكن بدلا من قيمة السطوع لعنصر الصورة (Pixel)، تكون القيمة عبارة عن قيمة الارتفاع عن مستوى سطح البحر لتلك النقطة.

9. 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 (Li, Zhu and Gold, 2005).

10. الصورة المتعامدة (المصححة) (Orthophotography) Orthophoto

هي صورة جوية أو صورة أقمار صناعية خضعت للتصحيح المتعامدOrthorectification، وهو نقل للصورة من المسقط المنظوري المركزي إلى المسقط العمودي؛ ويتم بمعالجة الصورة بحيث يكون مقياسها موحداً، ويسمح بقياس المسافات الحقيقية وكأنها خريطة. ويتم ذلك بالتصحيح للتشوهات الناتجة من ميلان آلة التصوير، وتشويه العدسة، والإزاحة الناتجة من ارتفاع التضاريس، وغيرها من التشوهات، ويكون ذلك في وجود نموذج ارتفاع رقمي (العمران، 1433هـ).

11. شبكة المثلثات غير المنتظمة(TIN) Triangulated Irregular Network

هي بيانات رقمية تستخدم في تمثيل الأسطح،وهي تمثيل قائم على متجه لسطح الأرض المادي أو قاع البحر، ويتألف هذا التمثيل من خطوط تتقابل في نقاط ذات إحداثيات ثلاثية الأبعاد، والتي يتم تنظيمها على شكل شبكة مثلثات غير منتظمة، والتي لا تتطابق على بعضها البعض مطلقا. وتجمع من التصوير الجوي أو الفضائي ومن نظام التوقيع الأرضي، ومن بيانات نماذج الارتفاعات ومن البيانات المحولة من خطوط الكنتور.

12. التوجيه الداخلي (IO) Interior Orientation

هو القيام بوضع صورتين داخل جهاز متخصص بحيث يتم تمثيلهما بنفس وضع آلة التصوير وقت التقاط الصورتين من الجو (الحسن، 1432هـ).

13. التوجيه النسبي (RO) Relative Orientation

هو القيام بضع وحدتي الإسقاط في الجهاز وهما تحملان الصورتين المتداخلتين في وضع مماثل تماما لوضع آلة التصوير حين التقاط الصورتين من الجو (الحسن، 1432هـ).

14. التوجيه المطلق (الخارجي) (AO) Absolute Orientation

عبارة عن علاقة رياضية تربط بين النموذج المجسم الذي تم تكوينه بواسطة التوجيه النسبي، وبين الأرض الطبيعية أو الخريطة ذات المقياس المحدد والمطلوب (الحسن، 1432هـ).

تطرقت الدراسة الراهنةإلى موضوع علم المساحة التصويرية الرقمية الجوية وأدواتها وإعداد نماذج الارتفاعات الرقمية ومنتجات وأعمالهذا العلم ومن ثم ربطها بنظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد وتطبيقاتها المختلفة والمتعددة. وقد اشتملت على محتوى نظري، وقائمة المراجع؛ وتطرق الموضوع الأول منها إلى الإطار العام للدراسة بدءاً بالمقدمة ثم مشكلة الدراسة، والأهداف، وحدود الدراسة، كما تضمن عرضاً لأهمية الموضوع، والمنهجية، وإجراءاتها وما اعتمدت عليه، وطرح أهم الدراسات السابقة التي تعرضت لموضوع الدراسة الراهنة إضافة لأهم المصطلحات؛ وتطرقالموضوع الثاني إلى علم المساحة التصويرية الرقمية الجوية، ونموذج الارتفاعات الرقمي بدءاً بالمقدمة ثم التعرف على الأدوات والبرمجيات والتقنيات المستخدمة، وإلقاء الضوء على مفهوم التجسيم والإبصار المجسم، ومناقشة التباينات في مسميات ومصطلحات نماذج الارتفاعات الرقمية، كما تضمن طرائق إعداد، وإنشاء نماذج الارتفاعات الرقميةوانتهى بالاستخدام، والتطبيق؛ وجاءت الخاتمة في الموضوع الثالث بالنتائج التي توصلت إليها الدراسة الراهنة، ومن ثم ما خرجت به من توصيات.

ثانيا: المساحة التصويرية الرقمية الجوية ونماذج الارتفاعات الرقمية

1. المقدمة

مرت المساحة التصويرية من بداية نشأتها إلى وقتنا الحاضر بمراحل متعددة، وطرائق كثيرة جميعها ركزت في كيفية الحصول على الصورة، والتعامل معها، حيث تم تصميم أول كاميرا تصوير مساحية على يد العالم الفرنسي المهندس لوسيدات عام 1864م. ومع صناعة أول طائرة من الأخوين رايت عام 1903م تطور علم المساحة التصويرية بشكل كبير (داود، 2012). وزادت طفرة هذا الفن والعلم بشكل واسع في عام 1909م على يد العالم الألمانيPulfrich وهو أول من بدأ في استعمال أزواج الصور الأستريوسكوبيةStereoscopy في أعمال الخرائط، فكانت أساساً لمعظم الطرائق الحديثة التي تستعمل فيها الصور الأستريوسكوبية، واعتمد على ما يسمى بالعلامة العائمة Floating Mark لعملية القياس عملياً، والتي تم اكتشافهامن قبل العالمStolzsعام 1892م. وقد تحسن وازدهرعلم المساحة التصويرية بشكل واضح بالتزامن مع تسارع، وتطور التقنيات الحاسوبية، حيث ظهرت تقنية المساحة التصويرية الرقمية، وكاميرات التصوير الرقمية التي سهلت إنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية، والخرائط الطبوغرافية. وباستمرارية تقدم وتطور هذا العلم أصبح من أهم فروع علم المساحة في الوقت الحاضر (السيد، 2007م؛رضوان، 1399هـ).

عرفت الجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار عن بعد (المساحة التصويرية) بأنها فن وعلم وتكنولوجيا الحصول على معلومات موثوقة عن الأشياء المادية والبيئة من خلال عمليات تسجيل وقياس وتفسير الصور الفوتوغرافية وأنماط الطاقة الكهرومغناطيسية المسجلة وغيرها من الظواهر (Wolf, Dewitt And Wilkinson, 2014).وتنقسم المساحة التصويرية من حيث مكان التصوير لثلاثة أنواع وهي: والمساحة التصويرية الفضائيةSpace Photogrammetry والتي تعتمد على التصوير الفضائي من خلال الأقمار الصناعية؛ والمساحة التصويرية الجويةAerial Photogrammetry والتي تعتمد على التصوير الجوي باستخدام الطائرات المتخصصة؛ والمساحة التصويرية

الأرضيةTerrestrial Photogrammetry والتي تعتمد على التصوير من مستوى سطح الأرض باستخدام كاميرات التصوير الثابتة أو المتحركة (الحسن، 1432هـ؛ علي، 1427هـ)، وتسمى أيضاً بالمساحة التصويرية الرقمية القريبة Digital Close Photogrammetry (DCP) (الأسمري، تحت النشر). ومن حيث القياس تنقسم المساحة التصويرية لثلاثة أقسام الأولى: المساحة التصويرية المجسمة وفيها تؤخذ أبعاد الجسم المرسوم من صورتين مأخوذتين من موضعين مختلفين وبشرط أنهما متوافقان الأبعاد المجسمة؛ والثانية: المساحة التصويرية بالتداخل، ويتم فيها قياس أبعاد الجسم المرصود من صورتين ملتقطتين من موضعين مختلفين للجسم نفسه، ومعلوم مكان التصوير لكل صورة؛ والثالثة:المساحة التصويرية من الصورة الواحدة، ويتم فيها قياس أبعاد الجسم المرصود من صورة واحدة، ويكون مكان التصوير فيها معلوم، وكذلك الأبعاد الرأسية أو الأفقية لأي ظاهرة في الصورة (السيد، 2007م). "ويطلق على الموضعين (خطوط الرؤية)؛خطوط الرؤية هذه تتقاطع رياضياً [تتداخل خطوط الرؤية هذه رياضياً] لإنتاج الإحداثيات الثلاثية الأبعاد للنقط محل الاهتمام" (الشافعي، 2004م).

2. أدوات المساحة التصويرية الرقمية الجوية

تعد أدوات المساحة التصويرية الرقمية الجوية (بيانات، تقنيات، برمجيات) هي أساس هذا المجال وفي حال عدم توافرها فإنه لا يمكننا الحصول على أهم منتجاتها (نماذج ارتفاعات رقمي) وفي حال توافرت هذه الأدواتولكن مع بعض القصور في دقة بيناتها أو جودة تقنياتها أو سوء برمجياتها فإن ذلك سيكون له أثر كبير وواضح على دقة المنتج. لذلك عمدت الدراسة الراهنة لمناقشة استخدامات ومهام هذه الأدوات بشيء من التفصيلكالآتي:

1. بيانات الصور

وتعطينا الصور الجوية Aerial images منظر مشابه لما نراه أثناء السفر من نافذة الطائرة بحيث نستطيع النظر لمساحة كبيرة لسطح الأرض تختلف مع اختلاف ارتفاع الطيران، وميلان زاوية الرؤية. بيانات الصور بجميع أشكالها (الأرضية، والجوية، والفضائية)

هي بيانات أولية وتعتبر أساس علم المساحة التصويرية،ولكنها تختلف فيما بينها من حيث الخصائص، والاستخدامات، والمميزات، والسلبيات؛ وتعتبر عملية قياسها، وقراءتها من العمليات المهمة لما تحتويه من البيانات، والمعلومات(شكل 1)، و(جدول 1). وبواسطتها نستطيع التعرف على الكثير من المكونات المكانية للأرض.

شكل (1) صورة جوية (فلمية تم تحويلها إلى رقمية) لجزء من مدينةالباحةوالتقطت على ارتفاع منخفض ووضوح (10سم) ومقياس رسم (5500:1)

تلتقط الصور الجوية بواسطة طائرات خاصة تحلق على ارتفاعات مختلفة، وفي خط طيران مرسوم مسبقا، حيث يثبت على الطائرة كاميرا واحدة أو عدة كاميرات(فلمية – رقمية) لالتقاط الصور الجوية، أو يثبت عليها أجهزة تصوير متطورة ومتعددة العدسات للحصول على صور بمجالات طيفية متعدد لنفس المنطقة، حيث تعتمد على إرسال الإشعاعات غير المرئية المنبعثة مثل موجات الرادار، واللاسلكي، والأشعة تحت الحمراء، والليزر(مستشعر – رادار – ليدار)، حيث تنعكس هذه الإشعاعات من الأهداف الأرضية على سطح الأرض

بحسب خصائص هذه الأهداف المختلفة ويتم استقبالها وتسجيل انعكاساتها وهو ما يعرف بالاستشعار عن بعد (الشافعي، 2004م).

جدول (1) معلومات كاميرا التصوير، والصورة الجوية

معايير كاميرا التصوير، والصورة الجوية	
اسم الكاميرا	RC30
نوع التصوير	Frame
الوضوح المكاني	60 cm
أبعاد الصورة	23 cmx23 cm
البعد البؤري للكاميرا	153.53 mm
تاريخ التقاط الصورة	2005-10-25
ارتفاع الطيران	6908.85 m

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد علىبيانات ملف الصور الجوية من هيئة المساحة العسكرية بالرياض.

وتختلف خصائص الصور الجوية وتتنوع باختلاف خصائصها، لذلك عمدت الدراسة الراهنة لتعرف ودراسة كل من تفاصيل الكاميرا؛ أنماط الصور الجوية؛ خصائص الصور؛ تنقية إحداثيات الصور كما يلي: –

1. كاميرا التصوير الجوية:

تمثل الكاميرا الجهاز الرئيسي في عمليات المساحة التصويرية، لذلك توضح الدراسة الراهنة مفهوم هندسة الصورة، والقياس عليها، والتعريف بأنواعها، ومكوناتها، وطريقة عملها.تتركب الكاميرا من مخزن (غرفة) الفيلمFilm Magazine، وجسم الكاميرا Camera Body، ومخروط النظام الضوئي للكاميرا Camera Coneالذي يحتوي على كل من العدسة Lens، والحاجب Diaphragm، والغالقShutter، والمرشح Filter. وتصنف كاميرا التصوير بحسب النوع إلى نوعين **الأولى:** كاميرات تصوير ضوئية تقليدية تستخدم في المساحة التصويرية التقليدية، وتلتقط الصور على فيلم حساس في هيئة: "أفلام عادية (أبيض، وأسود) Panchromatic Films، أوأفلام ملونةTrue Color Films، أو أفلام

ملونة كاذبة False Color Films، أو أفلام تحت الحمراء Infrared Filmsبأبعاد مختلفة" (صيام، 1415هـ)؛غالباً تكون بأبعاد 23x23سم (9x9بوصة)، أو 18x18سم (7x7بوصة)، وهي أكثر شيوعا، وتختلف هذه الأبعادحسب الغرض من التصوير؛كثيرا ما يتم تحويل الصور الفلميةAnalogue Photo المنتجة بكاميرات التصوير التقليدية إلى صور رقمية، عن طريق الماسح الضوئي.**الثاني:** كاميرات تصوير رقمية يتم فيها تحسس الأشعة المنعكسة من الظواهر على سطح الأرض، وتسجيلها رقميا، وتستخدم في المساحة التصويرية الرقمية الجوية.تصنف كاميرا التصوير حسب أنواع العدسات إلى كاميرا بعدسة واحدة، وكاميرا متعددة العدسات. (الحسن، 1432هـ).تصنف الكاميرا حسب مجال الرؤية، والبعد البؤري للعدسة إلى أربعة أنواع **الأولى:**كاميرا تصوير ذات زاوية عريضة جداً Super Wide Angle (S.W.A)، **الثانية:**كاميرا تصوير ذات زاوية عريضة Wide Angle (W.A)، **الثالثة:**كاميرا تصوير ذات زاوية عادية Normal Angle (N.A)، **الرابعة:**كاميرا تصوير ذات زاوية ضيقة Small Angle (S.A)(عبداللاه، 1430هـ).

2. أنماطالصور الجوية:

تتمايز أنواع الصور الجوية عن بعضها البعض، بحيث تصنفها الدراسة الراهنة لأربعة أنماط النمط الأول: ينقسم إلى نوعين رئيسيين الأول صور تستخدم بدون الحصول على تجسيم، والثاني صور تستخدم للحصول على تجسيم وينقسم الأخير لنوعين مختلفينالنوع الأول أزواج الصور Stereo pair ويتم الحصول عليها عند تطابق صورتين مأخوذتين من زاويتين مختلفتين لنفس المنطقة، والنوع الثاني صور متداخله Overlap ويتم الحصول عليها من مجموعة تداخلات أمامية، وجانبية بنسب معينة بين صورتين وأكثر؛النمط الثاني: يقسم الصور الجوية بحسب وضع ألة التصوير أثناء التصوير إلى صور جوية رأسية Vertical Aerial Photographs، وصور جوية مائلة Aerial PhotographsOblique وهذه الأخيرة إماأن تكون صور جوية خفيفة الميل Aerial PhotographsObliqueLow أو صور جوية شديدة الميل Aerial PhotographsHigh Oblique؛ النمطالثالث:ينقسم حسب ارتفاع الطيران إلى صور جوية عالية الطيران Aerial PhotographsHigh

Altitude، وصور جوية منخفضة الطيران Aerial PhotographsLow Altitude كما نجده في (شكل 1) (عبداللاه، 1430هـ)؛ النمطالرابع: يقسم الصور الجوية تبعا لمقياسها، ومقياس رسم الخريطة إلى صور جوية صغيرة المقياس، وصور جوية متوسطة المقياس، وصور جوية كبيرة المقياس: وهي تنتج خرائط يتراوح مقياسها بين 500:1، إلى 10.000:1 (السيد، 2007م).

3. خصائص الصور:

تمتاز الصور(الفضائية، الجوية، الأرضية) بخصائص ترفع من مستوى حجم ودقة ووضوح وصحة بياناتها أو تقلل منها.ومن هذه الخصائصالسطوع ودرجة اللون؛ نسبة التباين؛وضوح الصورة الرقمية؛نسبة الإشارة إلى الضوضاء. وعندما تتكامل هذه الخصائص فإنها تعطينا صورة بمستوى جيد(الشافعي، 2004م)،وتوضحها الدراسة الراهنة كالآتي:

1. السطوع ودرجة اللون:

تستقبل الكاميرات وأجهزة الاستشعار عن بعد الأشعة الكهرومغناطيسية المنعكسة من المعالم، والظواهر الأرضية بأطوال موجية مختلفة، وذلك حسب اختلاف كثافة هذه الأشعةالمنعكسة. ويتم عرض الصور بناء على التغيرات في قيم السطوع Brightness Values، حيث يتم معايرتها من السلم الرمادي Gray Scale الذي يقسم لعدد من الدرجات المحصورة بين الأبيض، والأسود كما في (شكل 2) وكل درجة منها تسمى لون Tone. والسلم الرمادي غالبا ما يحتوي على 256 درجة لونية بها جميع درجات السطوع الممكنة للصورة. وتختلف أعداد الدرجات اللونية في السلم الرمادي حسب قدرة الكاميرات أو أجهزة الاستشعار عن بعد في تمييز كثافة الإشعاعات المختلفة، وطرق تسجيل الدرجات اللونية أثناء التصوير، وأيضاً مقدرة أجهزة الكمبيوتر على عرضها، والتعامل معها. فعندما تكون درجات اللون 256 درجة، فإن ذلك يعني أن عنصر الصورة Pixel يُحفظ على بايت واحد One Byte، ويكون مداه الديناميكي Dynamic Range 8 بت Bits 8ويكون حاصل المعادلة الحسابية 28، ويساوي 256(إبراهيم، 1433هـ).

شكل (2) تدرجات السلم الرمادي Gray Scale

2. نسبة التباين:

نسبة التباين Contrast Ration هي النسبة بين أعلى قيمة سطوع، وأقل قيمة سطوع في الصورة. فإذا كان التباين عالي High Contrast فإن نسبة التباين مرتفعة، وإذا كان التباين متوسط Medium Contrast فإن نسبة التباين متوسطة، وإذا كان التباين منخفض Low Contrast فإن نسبة التباين منخفضة، وفي هذه الأخيرة تكون المنطقة متجانسة بسبب تقارب قيم السطوع مثل المناطق الجبلية، والصحاري. وتستخدم نسبة التباين في وصف الصورة بشكل عام، وتستخدم أيضا لوصف النسب بين قيم السطوع للمعالم، والمعالم الأخرى أو الخلفية المجاورة لها، ونستطيع معها تحديد القدرة على التمييز بين المعالم (إبراهيم، 1433هـ).

3. وضوح الصور الرقمية:

يعرف وضوح الصور الرقمية Resolution of Digital Image بأنه قدرة كاميرا التصوير على تحديد معالم الأرض، والتمييز بينها مكانياً، وطيفياً، وإشعاعياً، وزمنياً. ويكون تمييزها كالاتي: وضوح مكانيSpatial Resolutionوهو القدرة على التفريق بين معلمين متجاورين في الصورة، أو أصغر مسافة خطية، أو زاوية بين معلمين متجاورين يمكن رؤيتها في الصورة، ويقصد بالوضوح المكاني عند الإشارة لبيانات الصورة، بحيث تختلف عن قوة التوضيح Resolving Power التي تكون عند الإشارة إلى نظام التصوير؛وضوح طيفيSpectral Resolutionيسمى أيضا بعرض النطاق Bandwidth، وهو عبارة عن عرض النطاق لقطاع الطول الموجي من الطيف الكهرومغناطيسي، ويسمى نطاق Band، أو قناة Channel، ويجدر الذكر بأن عدد النطاقات، وعرضها يحدد قدرة المستشعر على التفريق بين المعالم الأرضية، فاستخدام صور ذات النطاق الواحد يكون له قدرة أقل في

التمييز بين المعالم من استخدام صور متعددة النطاقات؛وضوح إشعاعي Radiometric Resolution وهو قدرة التمييز الإشعاعية في تحديد حساسية اللاقط لنظام التصوير في التفريق بين قوة الإشارات الصادرة من المعالم الأرضية المختلفة، وذلك عند تسجيله للتدفق الإشعاعيRadiant Flux المنبعث من الظواهر الأرضية، وتسجل في مدى ديناميكي Dynamic Range فمثلا يكون في نظام المسح المتعدد الأطيافMSS يكون 6 بت أي أنها مسجله في 64 درجة من السلم الرمادي، وفي نظام التصوير TM يكون 8 بت مسجله في 256 درجة من السلم الرمادي؛وضوح زمنيTemporal Resolution وهو عدد المرات التي تتمكن فيها المساحة التصويرية الرقمية أو الاستشعار عن بعد من إعادة تصوير المنطقة نفسهامرة أخرى خلال مدة زمنية محددة، وتفيد في التغيرات التي تطرأ على سطح الأرض من معالم طبيعية أو حضرية (إبراهيم، 1433هـ).

4. نسبة الإشارة إلى الضوضاء:

تعرف نسبة الإشارة إلى الضوضاء Signal to Noise Ratio (SNR) بأنها مقدرة أجهزة الاستشعار عن بعد على أن يكون مستوى الضوضاء (معلومات غير صحيحة تضاف للإشارة) قليل مقارنة بنسبة مستوى الإشارة (المعلومات الصحيحة) المنعكسة من المعالم الأرضية المستهدفة. وتكون الضوضاء أما عشوائية، أو نمطية ناتجة من سوء عمل الأجهزة الميكانيكية أو الإلكترونية لأجهزة الاستشعار، أو تكون ناتجة من عوامل خارجية مثل تأثير الغلاف الجوي، ومعالجة الصور (إبراهيم، 1433هـ).

5. تنقية إحداثيات الصور:

تمثل الصورة الجوية منظرا ثلاثي الأبعاد، إذاً فهي لا تعتبر مثالية إلا إذا اعتبرت بشكل هندسي بأنها تمثل إسقاطاً مركزياً صحيحاً، وكانت إحداثيات الظاهرة المصورة منسوبة إلى نظام إحداثي ثلاثي الأبعاد في وسط متجانس. وللحصول على نموذج رياضي لمثل هذه الصورة يجب تحقيق مجموعة من الشروط، وهي أن يكون جهاز قياس إحداثيات الصورة مثالياً؛ ولا يحتوي على أي نوع من أنوع الأخطاء الهندسية؛ أن تكون القراءات المأخوذة من

الصورة متقنة، وصحيحة؛ يشترط أيضاً أن تكون كاميرا التصوير خالية تماماً من كل العيوب الهندسية المعروفة عادة في الأجهزة البصرية. وبالطبع لا يمكن تحقيق كل هذه الشروط المذكورة تماماً، ونتيجة لذلك فإن القياسات التي نجريها على الصورة الجوية تحتوي على مجموعة أخطاء منتظمة. لذلك يجب علينا أولا: تنقية إحداثيات الصورة Photo Coordinate Refinement، واستعمال مجموعة من النماذج الرياضية المختلفة التي تقلل من أثر هذه الأخطاء على المحصلة النهائية للعمل الهندسي التصويري، وتتمثل في الإحداثيات الأرضية، والمساحة، والحجم، وسرعة تغير النقاط المقاسة على الصورة الجوية، وكل ما يتعلق بذلك؛ثانياً: تقويم وتصحيح الصور الرقمية لسلسلة من التشوهات الهندسية (المترية) مثل:عدم تطابق نقطة الأصل مع نقطة تلاقي محوري المعايرة، والخطأ الناتج من تمدد وانكماش الفيلم أو الورق، والتشوهات الناتجة عن العدسة، والتشوهات الناتجة عن انكسار الضوء في الغلاف الجوي، والتشوهات الناتجة عن كروية الأرض، والخطأ الهندسي الناتج عن تحرك الصورة؛ بالإضافة إلى الأخطاء المترية الناتجة من عملية المسح الضوئي (تحويل الصورة الفلمية أو الورقية إلى رقمية). ومع كل هذه التصحيحات فإن مقدار بسيط من هذه الأخطاء يبقى موجود في الإحداثيات المصححة. وتسمى هذه السلسلة من العمليات بالتقويم الرقمي، والتي تتم على مرحلتين: الأولى التقويم التحليلي Analytical Rectification وتشمل عمليات التوجيهات الداخلية والنسبية والمطلقة بحيث تقاس إحداثيات علامات المعايرة ونقاط العبور والربط والتحكم؛ الثانية إعطاء كل عنصر مصحح قيمته الكثافية(علي، 1426هـ).

6. بيانات نقاط الإحكام الأرضية والنقاط العشوائية:

تعد نقاط الإحكام الأرضية والنقاط العشوائية من أهم البيانات الأولية المستخدمة في علم المساحة التصويرية الرقمية الجوية ولا غنى عنها عند إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية، ولفهمها بالشكل المطلوب طرحت الدراسة الراهنة معرفة مبسطة عن كل من نظام تحديد المواقع العالمي؛ مكونات النظام وطريقة عملة؛ أجهزة النظام وخدماته؛ نقاط الإحكام الأرضية والنقاط العشوائية كالاتي: –

7. نظام تحديد المواقع العالمي:

يعرف نظام تحديد المواقع العالمي Global Positioning System (GPS) بأنه نظام ملاحي يعتمد على موجات الراديو، وله القدرة على توفير موضع ثلاثي الأبعاد (X، Y، Z)، بالإضافة إلى البعد الرابع وهو (الوقت الدقيق)، وذلك لأي مكان على سطح الأرض، وفي أي وقت، وفي ظل أي ظروف مناخية (الشافعي، 2009م). ومن الجدير بالذكر أن نظام تحديد المواقع العالمي كان خاص بالأغراض العسكرية فقط.ومع توسع التطبيقات المدنية أصبح متاحاً للمدنيين ليستخدم في تطبيقات توجيه الطائرات، والملاحة البحرية؛ للاستخدام الشخصي كالرياضة، والنزهة، وأنظمة ملاحة السيارات؛ لميادين العلوم التطبيقية كالجيولوجيا، والجيوديسيا، وقياسات التصدعات الأرضية، وحركة القارات.وكانت الإشارة المتاحة للاستخدام المدني منخفضة الجودة بشكل متعمد (الإتاحية الانتقائية)، بينما كانت الإشارة ذات الجودة العاليةمخصصة للاستخدام العسكري، وقد انتهت الإتاحية الانتقائية في عام 2000م لتتحسن دقة نظامتحديد المواقع العالمي المستخدم في الأغراض المدنية من 100م إلى 20م.

8. مكونات النظام وطريقة عمله:

يتألف نظام تحديد المواقع العالمي من ثلاث مكونات مترابطة مع بعضها البعض الأول: مكون الفضاء Space Segment ويشكل 24 إلى 32 قمرا صناعيا تدور جميعا في المدار الأرضي المتوسط بتوزيع محدد، ومنظم لتغطي سطح الأرض كاملاً، ويحمل كل قمر 4 ساعات ذرية لتسجل زمنا بالغ الدقة؛ الثاني: مكون التحكم Control Segment ويتكون من محطة تحكم رئيسة، ومحطة تحكم رئيسة بديلة، ومضيف للهوائيات الأرضية المهداة، والمشتركة، بالإضافة إلى محطات رصد، حيث تقوم هذه المحطات بتجميع رسائل متتالية (وقت الإرسال، والمعلومات المدارية، وسلامة النظام)، وذلك من كل من مدارات الأقمار، والساعات الذرية وترسلها إلى محطة التحكم، والتي بدورها ترسلها إلى الأقمار ومن ثم ترسل إلى مستخدم نظام تحديد المواقع العالمي؛ الثالث: مكون المستخدم User Segment وينقسم لفئتين الأولى وهي أكبر عددا حيث تحوي ملايين من المستخدمين

المدنيين، والتجاريين، والعلماء الذين يستخدمون الخدمة المجانية لتحديد المواقع الأصلية (القياسية) SPS؛ الفئة الثانية عددها أقل حيث تحوي ألاف المستخدمين التابعين للجيش الأمريكي، وقوات الحلفاء، والذين يتمتعون بالخدمة الآمنة لتحديد المواقع الدقيق PPS(الشافعي، 2009م).يعمل جهاز نظام تحديد المواقع العالمي عن طريق حساب الفرق في زمن إرسال، واستقبال الإشارات من، وإلى القمر، وبمعالجة هذه البيانات تحسب المسافة بين القمر، وجهاز نظام تحديد المواقع العالمي. وتستخدم هذه المسافات مع مواقع الأقمار، وباستخدام حساب المثلثات يتم حساب موقع جهاز نظام تحديد المواقع العالمي. ويتم إظهار الموقع على جهاز نظام تحديد المواقع العالمي على هيئة خريطة متحركة، أو أرقام تمثل خطوط الطول، ودوائر العرض، ويمكن إدراج معلومات عن الارتفاع عن سطح البحر. وتظهر أيضاً أجهزة نظام تحديد المواقع العالمي معلومات أخرى مشتقة مثل الاتجاه، والسرعة أثناء التحرك. ويشترط لتحدد كل من خطوط الطول، ودوائر العرض، والارتفاع، والزمن بالنسبة للموقع أن يستقبل جهاز نظام تحديد المواقع العالمي إشارات من أربعة أقمار على الأقل (عبداللاه، 1430هـ).

9. أجهزة النظام وخدماته:

تختلف أنواع أجهزة استقبال نظام تحديد المواقع العالمي، وذلك حسب أوجه تطبيقاتها،ودرجات دقتها، فمنها ما يحمل باليد، وهو للملاحة، وتتراوح دقته من 30م إلى 100م، وهي قديمة بعض الشيء. وهناك أجهزة جديدة مميزة لنظام تحديد المواقع العالمي Differential GPS، والتي تعطي دقة عالية من 1م إلى 5م في الاستخدامات الملاحية، وتصل لدقة أقل من 1م في أجهزة التخطيط، ورسم الخرائط. بينما تصل مع أجهزة المساحة لدقة عالية جدا تقاس بالسنتيمتر (عبداللاه، 1430هـ). ومن أهم الخدمات التي يقدمها هذا النظام أنه يمكن تحسين دقة المستقبلات أو أجهزة نظام تحديد المواقع العالمي، وتقليل نسبة الخطأ باستخدام تقنية التصحيح التفاضلي، أو ما يسمى نظام تحديد المواقع العالمي التفاضلي Differential Global Positioning System(DGPS) (الشافعي، 2009م).

والجدير بالذكر أنه مع بدأ وضع أجهزة نظام تحديد المواقع العالمي على طائرات التصوير الجوي ساعد على الاستغناء عن عمليات المسح الأرضي بشكل واضح.

10. نقاط الإحكام الأرضية والنقاط العشوائية:

تعرف نقاط الإحكام الأرضيةبكونها عبارة عن نقاط ربط، وتحقيق Control Points يتم إنشاءها حقلياً بواسطة أجهزة نظام تحديد المواقع العالمي، وبقياسات أرضية دقيقة للإحداثياتالأفقية، والمناسيب الرأسية معاً(X, Y, Z)(جدول 2). وفي الغالب نرفع من دقة نقاط الإحكام الأرضية بتصحيحبياناتها باستخدام محطة أساس Base Station، وهي عبارة عن جهاز مستقبل لنظام تحديد المواقع العالمي،يتم تثبيته في موضع معلوم القياسات الأرضية (X, Y, Z) بدقة عالية (الأسمري، 2018م). ويتم إنشاء نقاط الإحكام الأرضية بمواصفات معينة، بحيث يتم تحديد مواقعها إما باختيار المعالم الطبيعة Natural Points مثل أركان مجموعات الأشجار، والنباتات والأحجار الصغيرة المنعزلة؛ أو اختيار المعالم الصناعية Man-made Points مثل تقاطع الطرق، وأركان المباني، وأعمدة الإنارة، أو اختيار النقاط المعلمة Premarked Points وهي عبارة عن علامات معدنية مثبته في الأرض بعناية،بحيث توضع قبل التصوير في أماكن مناسبة في المنطقة المراد تصويرها لتظهر بوضوح في الصور الجوية.وتنشأ نقاط الإحكام الأرضية إما بواسطة مؤسسات حكومية كما في المثال التالي لبيانات مأخوذة من وزارة الشئون البلدية، والقروية – أمانة منطقة الباحة، وعددها نقطتي ضبط أرضية (جدول 2)؛ أو شركات متخصصة؛أو عن طريق المستخدم العادي في حدود ضيقة، ولأغراض محددة، وبعدد نقاط قليلة، وذلك لصعوبة إنشائها (الأسمري، 2016م). ويعمل لكل نقطة دليل مستخدم يسمى كرت الوصف ليوضح الخصائص، والبيانات الجيودسية، وتاريخ الإنشاء، والموقع التفصيليعلى الخارطة، وصورة فتوغرافية لمعلم النقطة، وغيرها... وتكمن أهمية نقاط الإحكام الأرضيةفي أنه يعتمد عليها في كثير من الأعمال المساحية، والتصويرية، وأيضاً في عمل شبكة المثلثات غير المنتظمة. ويهمنا في الدراسة الراهنة اعتماد نموذج الارتفاعات الرقمي عليها بشكل واضح.

جدول (2) خصائص نقاط الإحكام الأرضية

خصائص نقاط الإحكام الأرضية	
النوع	نقاط ضبط أرضية
مستوى الدقة	الدرجة الثالثة
الإحداثيات	شرقيات، وشماليات، ومنسوب ارتفاع (X, Y, Z)
الدقة الأفقية	1ملم/1كلم
الدقة الرأسية	3ملم /1كلم
تاريخ الإنشاء	1429هـ
أرقام النقاط	68 -69

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد علىبيانات وزارة الشئون البلدية، والقروية - أمانة منطقة الباحة.

يجب أن نميز بين كل من نقاط الإحكام الأرضية المنشاة، والمقاسة في الحقل كما تم توضيحه في الفقرة السابقة؛ وبين النقاط العشوائية Tie Point، والتي يتم إنشاءها، وقياسها بشكل تلقائي Automatic Point Measurement باستخدام برامج المساحة التصويرية الرقمية الجوية، والمستخدمة لزيادة دقة التصحيح، وضبط عملية توجيه بيانات الصور. وتمتاز بسهولة التحكم بعددها، وشكل توزيعها على منطقة الدراسة مقارنة بنقاط الإحكام الأرضية في الحقل التي تأخذ الكثير من الوقت، والجهد، والمال. يتم توزيع النقاط العشوائية على بيانات الصور عن طريق عرض النقاط العشوائيةفي كلا الصورتين (اليمنى، واليسرى) ليتم ضبطها، وتعديلها بدقة لتأخذ نفس الموضع في كلا الصورتين للحصول على أعلى دقة ممكنه للتصحيح، ويشترط الوصول لقيمة خطأ أقل من (1). وتعتبر النقاط العشوائية مفيدة جدا بحيث إذا زاد عدد النقاط العشوائية، وكان توزيعها جيد زادت دقة التصحيح، والتوجيه، والتي يعتمد عليها في بناء نماذج الارتفاعات الرقمية(BAE Systems، 2006م).

11. بيانات ثانوية (خرائطية):

تتمثل البيانات الثانوية ببيانات منتجة مسبقاً (ورقية – رقمية) سواء كانت حكومية أو خاصة وتكون عادةً في أكثر من شكلومن أهمهاالبيانات الثانوية الرقمية مثل الخرائط

الطبوغرافية الرقمية الخطيةVector؛ البيانات الثانوية الرقمية مثل الخرائط الطبوغرافية الرقمية الخلويةRaster؛ البيانات الثانوية الورقية مثل الخرائط الطبوغرافية الورقية.

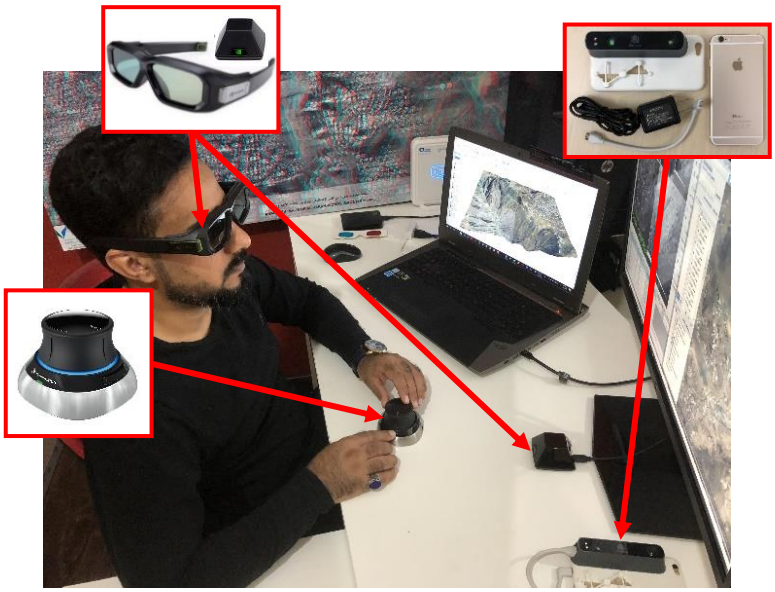
12. تقنياتوبرمجيات:

يقوم عمل المساحة التصويرية الرقمية الجوية بشكل واضح على الأجهزةHardware، والبرمجيات الحاسوبية Software التي تكمل بعضها البعض، فهي الأساس في التعامل مع بيانات الصور، ونقاط الإحكام الأرضية؛ معالجة البيانات لاستخراج التضاريس، وتعديلها، وعمل الصور المتعامدة، والتقويم الهندسي، والتثليث؛ والتحليل، وقياسالمخرجات كالانحدار، والظل؛ الإخراج بعدة أشكال (DEM, TIN, DTM, DSM, MAP, 3D)؛ والتصدير، والتخزين بصيغ كثيرة. والجدير بالذكر أن التطور، والتقدم الذي طرأ على المساحة التصويرية الرقمية الجوية يرجع في جانب كبير منه إلى التطور، والتقدم الهائل في كل من البرمجيات، والأجهزة (داود، 2012م). وتتكامل الأجهزة، والبرمجيات مع بعضها البعض بشروط مختلفة تختص بالرؤية، والتجسيم من حيث شاشات العرض، وطريقة العمل، والملحقات الأخرى.

13. **التقنيات:**

تنقسم التقنيات أو الأجهزة المستخدمة في المساحة التصويرية الرقمية الجوية إلى قسمين القسم الأول أجهزة حقلية (ميدانية) مثل أجهزة نظام تحديد المواقع العالمي، ومحطات القاعدة، وكاميرات التصوير الرقمية المثبتة بطائرات التصوير، والطائرات بدون طيار(Unmanned Aerial Vehicle (UAV وتسمى أيضاً Drones، وهي أنواع كثيره، ومتعددة ومنها على سبيل المثال لا الحصر:(Trimble-ZX5&UX5 HP)، (microdrones-mdMapper3000DG)،(MQ-9 Rreaper)، و(DJIInspire2)، و(AltiGator)، (FAE-DRONES-FAE1115Octa)، (TOPCON-FALCON 8)؛ القسم الثانيأجهزة معملية مثل أجهزة المساحة التصويرية الرقمية الجويةوالتي تعرف بمحطة عمل المساحة التصويرية Photogrammetric Workstation، وتتكون من جهاز

حاسب آلي بمواصفات عالية (محطة عمل PC–Workstation) تشمل عدد من الملحقات الضرورية والهامة أثناء عملية الإنشاء مثل: شاشة الرؤية الثلاثية الأبعاد؛ ونظارات ثلاثية الأبعاد للرؤية المجسمة؛ وأيضاً الفأرة ثلاثية الأبعاد Mouse–3D والتي عن طريقها يتم التحكم وتعديل مجسم سطح الأرض؛ ومستشعر Sensorالتجسيم(ماسح ضوئي 3D) الذي يعتمد في عمله على جهاز جوال كفي وبواسطته يتم بناء نماذج ثلاثية الأبعاد للأجسام الصغيرة مثل الأثار التاريخية(شكل 3) (الأسمري، 2016م)، و (الأسمري، تحت النشر).



شكل (3) أجهزة محطة العمل التصويرية الرقمية للرؤية المجسمة والتجسيم(شاشة ثلاثية الأبعاد، وفأره للتحكم ثلاثي الأبعاد، ونظارات رؤية ثلاثية الأبعاد، ومستشعر لتجسيم)

14. البرمجيات:

يوجد العديد من البرمجيات الحاسوبية المتخصصة في أغراض المساحة التصويرية الرقمية الجوية مثل إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية، وشبكة المثلثات غير المنتظمة، وخطوط الانكسار، وعمل التعديل التفاعلي للتضاريسوقد يكون من الصعب التطرق إلى جميع هذه البرمجيات، ولكن البعض منها اكتسب شهرة كبيرة مثل برنامج SOCET SET

وبرنامج رسم الخرائط المرافق له Micro Station، وبرنامج INPHO المتخصص في مجال المساحة التصويرية. وهناك برنامج Leica Photogrammetry Suite (LPS)، وهو ملحق لبرنامجERDAS IMAGINE، وقد خصص للمساحة التصويرية الرقمية، والذي يمتاز بالسهولة في التعامل، وأيضاً بتطوره المستمر ليصبح منافساً قوياً، وخاصة في الإصدارات الحديثة بداية من عام2014م (الأسمري، 2016م). وتتطرق الدراسة الراهنة أيضاً لبرامج نظم المعلومات الجغرافية وبرامج الاستشعار عن بعد والتي تستخدم في التعامل مع بيانات المساحة الرقمية التصويرية للحصول على منتجات أخرى وتطبيقات ذات أهمية عالية.

15. الخبرة العلمية والعملية:

يجب أن يكون لدىالمختص في علم المساحة التصويرية الرقمية الجوية خبرة جيدة للقيام بالعمل الميداني، ومن ذلك المعرفة بكيفية جمع (رصد) نقاط التحقق الأرضية Ground Truthing، وهذه النقاط التي غالبا ما يتم استخدامها والاستفادة منها في تقييم دقة نماذج الارتفاعات الرقمية؛ وأن يكون الباحث ملما بالمعرفة العملية ومتمكناً من الأعمال المكتبية والمعملية؛وأن يتعامل مع التقنيات، والبرمجيات الحديثة ذات العلاقة بيسر وسهولة.

16. الإبصار المجسم والتجسيم:

يمكننا تعريف الإبصار المجسم Stereoscopic Vision للأشياء بأنه الوضع الذي يتمكن فيه المشاهد من رؤية المنظور بأبعاده الثلاثة (البعد الأفقي، والعمق المتعامد مع البعد الأفقي، والارتفاع). ويوجد لدينا عدة عوامل تساعد المشاهد على الإبصار المجسم، ومنها اختلاف الأجسام المنظورة باختلاف بعدها عن الناظر إليها، والأحجام النسبية الظاهرة للأشياء، والظل Shade، وأيضاً كثافة، وزوايا السقوط لأشعة الضوء المنعكسة من الجسم المنظور، والأهم من ذلك النظر إلى الجسم أو الشيء في الوقت نفسه من عدستين مثبتتين في موقعين أو نقطتين مختلفتين كما في عيني الإنسان، ولذلك لابد من أن يلتقي شعاع الإبصار من كل عين أو عدسة عند النقطة المنظورة، وهما يحصران زاوية معينة تسمى

الزاوية البارالكتيكية Parallactic Angle، وهي زاوية ذات تأثير كبير على دقة تقدير المسافة بين موقع الراصد، وموقع الجسم المرصود (المنظور)، فإذا صغرت الزاوية البارالكتيكية لنقطةمرصودة أبتعد الموقع المرصود عن موقع الراصد، وبذلك تقل دقة تقدير المسافة، والعكس صحيحفكلما كبرت الزاوية كلما ظهرت النقطة بشكل أقرب، وأوضح للراصد(صيام، 1415هـ).

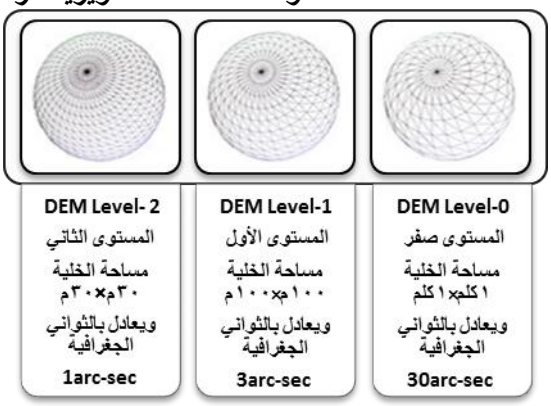
يعتمد التجسيم Stereo في المساحة التصويرية الرقمية الجوية على مقدار نسبة التداخلoverlap فيما بين أزواج الصور Stereo Pairs أثناء تغطية منطقة ما على سطح الأرض، وبذلك يعتبر التداخل أحد أهم عناصر التصوير الجوي الأساسية للحصول على الرؤية المجسمة Stereo viewing، أو التجسيم Stereoscopes؛ وأيضاً يعتمد على المقدرة على قياس الصور الرقمية حيث يجب عرض أكثر من أربع صور، وذلك للحصول على تداخلات أمامية (طولية) بنسبة (50%) إلى (70%)، وتداخلات جانبية (عرضية) بنسبة (10% – 30%)، وقد تصل إلى (60%)، وذلك للتمكن من فحصها بشكل مجسم دقيق مع العلم بأننا نستطيع أن نكتفي بتداخل طولي (20%–30%)، وتداخل عرضي (10%–20%)، وذلك لعمل الموزاييك (صيام، 1415هـ). والتداخل هو أساس إتمام الإبصار المجسم للصور الجوية، ومن ثم قياس البعد الثالث (الارتفاع) للمعالم الجغرافية، وإنتاج الخرائط الطبوغرافية (داود، 2012م). وعندما نحصل على أربع صور جوية متداخلة كأقل حد فإنه يمكن أن يطرح منها الأجزاء غير الواضحة، والتي بها عيوب مثل شدة الميل أو الإضاءة الضعيفة، وغيرها... وعند عمل الموزاييك لهذه الصور فإننا نأخذ الأجزاء الصافية فقط، والتي يوجد بها تداخلات كافية لنحصل على تغطية كاملة لمحتويات الصورة، وظواهرها الأرضية المختلفة، ونستبعد، ونتلافى الأجزاء التي بها عيوب، وانبعاجات، أو التواءات كبيرة (السيد، 2007م).

يوجد عدة وسائل، وتجهيزات للحصول على الرؤية المجسمة، ومشاهدة البعد الثالث مع برامج المساحة التصويرية الرقمية الجوية، وهي شاشات متخصصة. ومنها ما يلي: الشاشة المنقسمة Split Screen Method فتكون الصورتان متجاورتين على الشاشة

نفسها، ويستخدم معها منظومة من المناشير، والمرايا، والعدسات تقوم بتوجيه الصورتين للعينين؛ الألوان المتكاملة الأناجليفAnaglyphic: ترى كل صورة بلون مختلف بواسطة نظارات مخصصة لهذا الهدف باستخدام نظامAnaglyphic System (الحسن، 1432هـ)؛ الاستقطاب السلبيPassive Polarization: يستخدم شاشة استقطابية أمام الشاشة، ويتوالى عرض الصور بمعدل120هيرتز، وتعمل شاشة الاستقطاب بتغيير الاستقطابية مع عرض الصورة، ونتمكن من النظر للنموذج من الصور غير الملونة باستخدام نظارات ذات استقطابية أفقية، ورأسية؛ الاستقطاب الموجب Active Polarization: نظام الاستقطاب هنا يكون جزء من النظارات مما يمكننا من النظر للصور الملونة، فتعرض الصور تبادليا بتردد 2×60هيرتز، ونحصل على الإزاحة المطلوبة للتجسيم بواسطة غالقين من الكريستال السائل في نظارات التجسيم؛ وأيضاً أجهزة الإبصار المجسم، والتوقيع مثل C.8. Streoplaingraph(علي، 1427هـ).

17. نماذج الارتفاعات الرقمية:

نموذج الارتفاعات الرقمي DEM عبارة عن ملف مشابه لملفات الصور من حيث تمثيلها بمصفوفة ثنائية الأبعاد، ولكن بدلا من قيمة السطوع لعنصر الصورة البكسل Pixel التي تمثل انعكاس سطح الأرض لمنطقة معينة.كل عنصر أو خلية Cell في نموذج ارتفاع رقمي يمثل الارتفاع عن مستوى سطح البحر لتلك المنطقة، ودرجة الوضوح هنا تقاس بكبر، وصغر مساحة المنطقة التي تغطيها الخلية الواحدة (شكل 4). حيث يكون نموذج الارتفاعات الرقمية للمستوى صفر DEM Level-0 بمساحة خلية 1كلم×1كلم، وأما نموذج الارتفاعات الرقميللمستوى الأول DEM Level-1بمساحة خلية 100م×100م، وأيضاًنموذج الارتفاعات الرقميللمستوى الثاني DEM Level-2بمساحة خلية 30م×30م (ابراهيم، 1433هـ).



شكل (4) مجسمات ثلاثية الأبعاد توضح ثلاثة من نماذج الارتفاعات الرقمية (المستويات: صفر– الأول – الثاني)

يشير لي وآخرون (Li, Zhu and Gold, 2005)، أنه منذ أن صاغ كل من ميلر ولافلام في عام 1958مالمصطلح الأصلي DTM، ظهر عدد من المصطلحات وبدأ استخدامها، في عدد من الدول(Miller and Laflamme, 1958)، وذلك على النحو التالي:

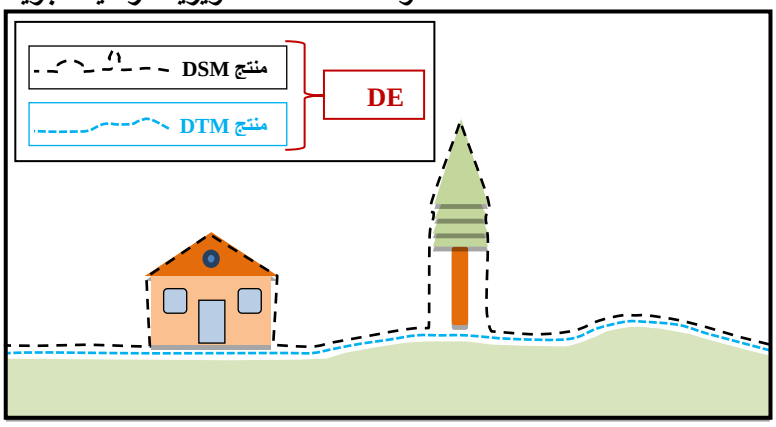
1. نموذج الأرض الرقمي Digital Ground Model (DGM)، واستخدم في المملكة المتحدة.
2. نموذج الارتفاعات الرقمي Digital Height Model (DHM)، وقد جاء مسماه من ألمانيا.
3. نموذج الارتفاعات الرقمي Digital Elevation Model (DEM) شاع استخدامه في أمريكا.
4. نموذج تضاريس الارتفاعات الرقمي Digital Terrain Elevation Model (DTEM)، والذي جاء مسماه من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، وهيئة المساحة العسكرية الأمريكية.

كل هذه المصطلحات تستخدم، من الناحية العملية، كمترادفات تعني الشيء نفسه تقريباً. إلا أنها أحيانا تعني فعلا منتجات مختلفة وليست مترادفة، حيث يستخدم مصطلح DEM ليدل على نموذج ارتفاعات الأرض التي بها قيم الارتفاع فقط حيث يحتوي في كل نقطة على الإحداثيات (X, Y)، وعلى عنصر واحد فقط، وهو ارتفاع النقطة (Z)، بينما مصطلحنموذج التضاريس الرقمي(DTM) Digital Terrain Model يعبر عن مفهوم أوسع لتمثيل الأرض بحيث يضم عناصر أخرى للأرض غير قيم الارتفاع مثل الميول، والمعالم الأرضية كالأودية، والعناصر الجغرافية، والبيئية الأخرى (Zhou, Lees and Tang, 2008). وأما نموذج السطوح الرقمي (DSM) Digital Surface Model فيكون مرادف للمصطلح DTM، "وهناك قول أخر بأن DSM هو نموذج خام Raw Model مثل المرئية الفضائية، أو الصورة الجوية فاذا قمنا بأية حسابات، أو تنقية، أو تعديل، أو تصنيف لبياناته فأن الناتج هو ما نسميه DTM"(Li, Zhu and Gold, 2005). وهذا يعني أنه عندما نقوم بفلترة DSM فإننا نعمل على توليد نموذج DTM، أو DEM.

1. مدارس مصطلحات نماذج الارتفاعات الرقمية:

ظهر عدد من المدارس التي تناولت مصطلحات نماذج الارتفاعات الرقمية لكل من: DEM؛ وDTM؛ وDSM: .

المدرسة الأولى: تعتبر أن DEM مصطلح عام يطلق على أي تمثيل رقمي للمعالم الطبوغرافية (شكل 5)، وله نوعان الأول: DTM إذا كان هذا النموذج يتضمن التضاريس الأرضية فقط، أي إنه يمثل الأرض الجرداء فقط. والثاني: DSM إذا كان هذا النموذج يتضمن التضاريس الأرضية، بالإضافة لكل من الغطاء النباتي، والمنشآت التي بناها الإنسان، وكل ما هو فوق سطح الأرض من معالم (US Army Corps of Engineers, 2003).



شكل (5) نماذج الارتفاعات الرقمية حسب منهج المدرسة الأولى

المدرسة الثانية: تستخدم مصطلحي DEM وDTM بمعنى متقارب، وهو نموذج لا يتضمن الغطاء النباتي، ولا المنشآت التي بناها الإنسان، في حين يستخدم مصطلح DSM بنفس المعنى الذي تستخدمه المدرسة الأولى، حيث يتضمن التضاريس الأرضية، بالإضافة للغطاء النباتي، والمنشآت، وكل ما هو فوق سطح الأرض من معالم (Lohmann, Koch And Schaeffer, 2000).

تتبع أغلب القطاعات الحكومية في المملكة العربية السعودية منهج المدرسة الأولى، وتحديدا هيئة المساحة العسكرية بالرياض، ومدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية بالرياض، والتي فيها يشمل DEM كل من DTM وDSM، وذلك لكون الباحث قد تدرب فيها وتعامل معها سابقاً فيما يخص دراسة أخرى سابقة استخدام فيها نموذج التضاريس الرقمي DTM.

2. جودة المنتج والاستخدام:

يجب معرفة، وتقييم دقة نماذج الارتفاعات الرقمية، وذلك لعدة أسباب منها: تحديد الأخطاء ثم تصحيحها أو تلافيها مستقبلاً للحصول على أعلى دقة ممكنة؛ نحتاج في بعض الأحيان إلى عمل مقارنات بين تقنيات، وطرائق، وبرمجيات المساحة التصويرية لمعرفة أفضلها في عمليات إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية؛ قد يستخدم نموذج الارتفاعات الرقمي في عملية صنع القرار، حيث تقاس جودة نموذج الارتفاعات الرقمي بالدقة في ارتفاعالبكسل،

وبالدقة المورفولوجية (تشكيل مظاهر السطح)، ويكون ذلك بقياسه بالقيم الحقيقية للسطح وذلك باستخدام أفضل الطرق الممكنة. وهناك عدة عوامل مهمة تؤثر أيضاً في جودة منتجات النموذج مثل: مقدار وعورة التضاريسTerrain Roughness؛ كثافة العينات (طريقة تجميع بيانات الارتفاع) Sampling Density (Elevation Data Collection Method)؛ وضوح الشبكة أو حجم البيكسلGrid Resolution Or Pixel Size؛ خوارزميات الاستكمال الداخليInterpolation Algorithm؛ الوضوح الرأسي Vertical Resolution؛ أيضاً تأثير خوارزميات تحليل التضاريسTerrain Analysis Algorithm (العمران، 1433هـ).

3. التقويم الهندسي الرقمي:

الصور الرقمية تحتاج أن تمر بسلسلة من عمليات التقويم (التصحيح) يتم في هذه المرحلة تصحيح الصور الرقمية من التشوهات الهندسية (المترية)، والأخطاء المترية الناتجة من عملية المسح، وغيرها للحصول على ما يسمى بالتقويم الرقميDigital Rectification، وذلك من خلال المروربمرحلتين (علي، 1427هـ) على النحو التالي:

المرحلة الأولى: التقويم التحليليAnalytical Rectification، والتي تبدأ بعملية التوجيه الداخلي(IO) Interior Orientation، وهي مجموعة من الخطوات تتم لوضع كل من الصورتين المتداخلتين للمنطقة المدروسة بشكل وصورة تظهر وتعيد الخصائص الهندسية لكل منهما كما لو كانت وقت التقاطهما، وبمعنى أخر هي استعادة جميع العلاقات الهندسية مثل وضع الأشعة الساقطة على الفلم، والمحور الضوئي لعدسة الكاميرا؛ التوجيه النسبي(RO) Relative Orientation يتم فيه تغيير وضع كل وحدة إسقاط بالنسبة للوحدة الأخرى حتى يكون وضعهما بالنسبة لبعضهما البعض هو نفس الوضع النسبي حين التقاطهما لينتج من ذلك نموذج ثلاثي الأبعاد؛ التوجيه المطلق (الخارجي) Absolute Orientation (AO) يتم فيه وضع النموذج المجسم في نافذة الرسم، وتغيير مقياسه، وضبط ارتفاعاته حتى نحصل على نموذج مجسم يمثل الأرض، وبارتفاعات هي نفس

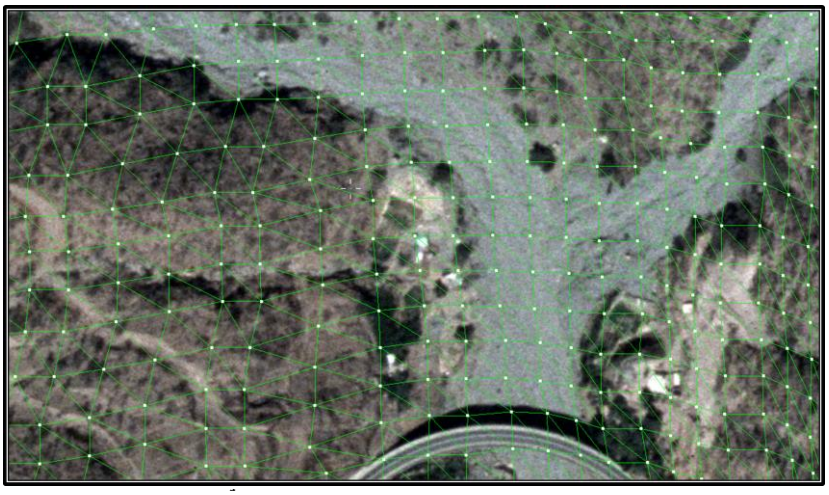
ارتفاعات الأهداف الحقيقية، وبمقياس هو نفسه مقياس الخريطة المطلوبة (الحسن، 1432هـ).

المرحلة الثانية: إنتاج النموذج الرقمي الذي يمثل سطح الأرض، وفيها يتم إعطاء كل عنصر مصحح قيمته الكثافية (علي، 1427هـ). وبمعنى أخر هي تسجيل رقمي لإحداثيات النقاط في المستوى الأفقي، وتسجيل ارتفاعاتها ليتم بناء النموذج المجسم (الحسن، 1432هـ)، حيث يتم ذلك عن طريق كل من: التثليث الجوي Aerial Triangulation؛ ضبط المناسيب على الصورة الجوية من خلال معرفة مناسيب مجموعة من النقاط الموزعة توزيعاً جيداً على أرجاء الصورة الجوية، ومن ثم يمكن استنباط طبقة الكنتور للصورة؛ المراجعة الحقلية للتحقق من المظاهر الجغرافية على الصورة، بالإضافة لتحديد دقة الصورة الرقمية من خلال البيانات ومقارنة بعض القياسات عليها (مسافات، وانحرافات، ومناسيب) مع قياسات المسح الأرضي لنفس الظاهرات سواء بجهاز المحطة الشاملة، أو بأجهزة تحديد المواقع العالمي؛ الترقيم من الصورة الجوية (داود، 2012م).

4. التثليث الجوي:

يعرف التثليث الجوي بأنه عملية إيجاد معادلات رياضية تحدد العلاقات بين الإحداثيات على الصورة، والإحداثيات الأرضية الحقيقية لمجموعة من النقاط على الصورة، وتسمى بنقاط الإحكام الأرضية (داود، 2012م). وبمعنى أخر يعرف بإيجاد الإحداثيات الفراغية (X, Y, Z) لنقاط الإحكام الأرضية الموجودة (الظاهرة) في الصورة الجوية، وذلك لإتمام عملية الإحكام المطلق للصورة، والمتمثلة في إيجاد إحداثيات النقاط المطلوبة على الصورة الجوية الرقمية بالأنظمة العالمية، وتسمى هذه العملية أيضاً بالتثليث الهوائيAerotriangulation، والتثليث المجسمStereotriangulation، وإضافة نقاط التحكم عن طريق المساحة التصويرية Photogrammetric Control Extension، وأيضاً تسمى التجسيرBridging، وهي تحل كبديل عن طرائق المساحة الأرضية التي تحتاج الكثير من الوقت، والجهد، والثمن الباهظ (صيام، 1415هـ).

والجدير بالذكر أن التثليث يشمل الصور الجوية، والصور الفضائية، والصور الأرضية أيضاً. ويستخدم لتكثيف عدد نقاط الإحكام الأرضية التي لا غنى عنها عند إنشاء نموذج الارتفاعات الرقمي، وذلك بهدف التقليل من الأعمال الحقلية في حالة القيام بأي مشروع. ويكون ذلك بعدد لا يقل عن نقطتي تحكم أفقيتين، وثلاث نقاط تحكم رأسية. وتكون الحاجة إلى عدد أكبر من نقاط الإحكام الأرضية في بعض الاستخدامات مثل إنتاج الخرائط الطبوغرافية. ويستخدم أيضاً في عمليات المساحة التفصيلية، وتحديد الملكيات، والأهم من ذلك كله أنه من الطرائق الرئيسة في بناء نموذج الارتفاعات الرقمي، وذلك بحساب الإحداثيات الأرضية (X, Y, Z) لشبكة منتظمة من النقاط Grids، أو شبكة من المثلثات غير المنتظمة TIN(شكل 6)، وذلك على النموذج الصوري (الحي) (علي، 1427هـ).ويكون تمثيل شبكة المثلثات غير المنتظمةبنية بيانات رقمية تستخدم في تمثيل الأسطح، وهي عبارة عن تمثيل قائم على متجه لسطح الأرض المادي أو قاع البحر، ويتألف هذا التمثيل من خطوط تتقابل في نقاط ذات إحداثيات ثلاثية الأبعاد (X, Y, Z)، والتي يتم تنظيمها على شكل شبكة مثلثات غير منتظمة، والتي لا تتطابق على بعضها البعض مطلقا. وتشتق شبكة المثلثات غير المنتظمة عادةً من بيانات نموذج ارتفاعات رقمي خلوي (تسامتي). وتكمن فائدة استخدام شبكة المثلثات غير المنتظمة بدلاً من نموذج الارتفاعات الرقمي في رسم الخرائط، والتحليل في أن نقاط تلك الشبكة تتوزع توزيعًا متنوعًا اعتمادًا على الخوارزمية التي تحدد أي النقاط أكثر أهمية لوضع تمثيل دقيق للسطح (Thurston, 2003).

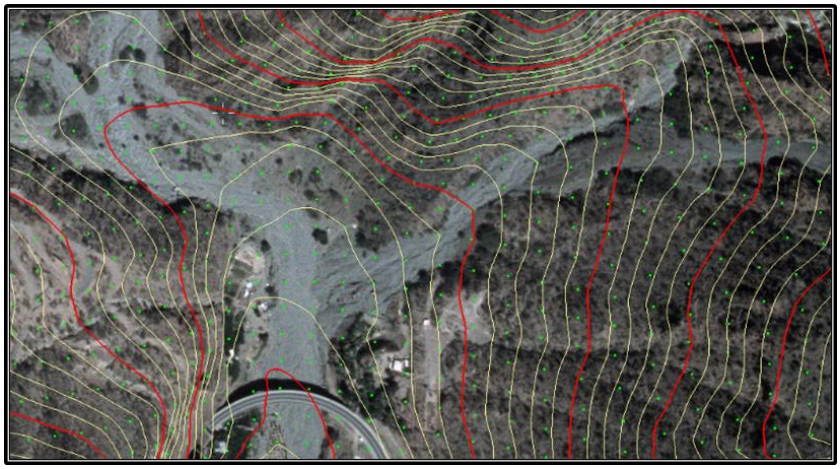


شكل (6)شبكة المثلثات غير المنتظمة أثناء التعديل التفاعلي لنموذج الارتفاعات الرقمي

5. استخراج التضاريس التلقائي وتعديلها التفاعلي:

يعد استخراج التضاريس التلقائي Automatic Terrain Extraction (ATE) من أهم تطبيقات المساحة التصويرية الرقمية الجوية، حيث يتم تحديد المنطقة المراد عمل نموذج الارتفاعات الرقمي لها. ثم القيام بالتقويم الهندسي الرقمي باختيار المسافات بين النقاط لتظهر لنا شبكة نقاط بأبعاد شبه منتظمة في الاتجاهين السيني والصادي (dx,dy) على الصورة اليسرى، حيث تتم عملية التناسق بين شبكة النقاط، ونظيراتها على الصورة اليمنى. وفي الغالب ونظراً للتباينات في طبوغرافية الأرض، سوف يختلف شكل النموذج الأرضي المنتج قليلاً عن كونه شبكة منتظمة، ويصبح بتجسيم ثلاثي الأبعاد، وذلك نتيجة لتصحيح الأخطاء المترية في الصورة مثل الإزاحة التضاريسية Relief Displacement، والميلان (علي، 1427هـ)، وأيضاً اختلاف مقياس رسم الصورة، وعيوب عدسة الكاميرا (الشافعي، 2004م). ومع اكتمال تناسق النقاط، وحساب إحداثياتها الأرضية يمكن تمثيل الإحداثيات النموذجية لها بعدد من العلامات العائمةFloating Mark، وهي عبارة عن علامة (نقطة أو صليب) للقياس، وينظر إليها على أنها تحتل مكان في الفضاء ثلاثي الأبعاد للنموذج المجسم، وتستعمل كعلامة مرجعية في عملية التحقق أو قياس النموذج المجسم (Philpot

and Philipson, 2012). وعن طريق عملية تعديل التضاريس التفاعلي (Interactive Terrain Edit (ITE انظر (شكل 7) يتم التعامل مع كل هذه النقاط، وضبط العلامة العائمة على مكان محدد على سطح الأرض (في النموذج المجسم). ويعتمد ذلك على قدرة المختص أو الفني، ومهارته، وحسه الاستريوسكوبي في التأكد من وضع العلامة العائمة الخاطئة (غير السليمة) ذات الارتفاع الخاطئ (غاطسة أو طائرة)، ومن ثم تعديلها، وضبطها حتى تأخذ الارتفاع الصحيح، وتكون ملامسة للسطح الصوريبقدر المستطاع، ولذلك تعتبر هذه المرحلة من أهم عمليات أو مراحل الإنشاء حيث يعتمد عليها في زيادة دقة نموذج الارتفاعات الرقمي فكلما كانت دقيقة في ملامسة العلامة العائمة للسطح المطلوب قياس ابتعاده كلما كانت النتائج أفضل، وأدق (السيد، 2007م). وأخيراً بعد الانتهاء من عملية التعديل يتم تصدير نموذج الارتفاعات الرقمي ومن ثم حفظ النموذج ليتم الاستفادة منه في كثير من العمليات، والاستخدامات كإنتاج الخرائط الكنتورية، والصور المتعامدة.



شكل (7) استخدام النقاط، والكنتور أثناء التعديل التفاعلي على نموذج الارتفاعاتالرقمي

6. إنشاء الصور المتعامدة:

يتم إنتاج الصور المتعامدة Orthophoto والمسماة أيضاً بالصور المصححةOrthophotography التي تظهر عليها النقاط الأرضية في مواقعها الصحيحة من خلال معالجة خاصة للصور الجوية مع إبقاء الإزاحات الناشئة عن بروز المعالم الرأسية

مثل جدران الأبنية، وأعمدة الكهرباء. ولهذا فالصور المصححة تجمع إلى حد كبير بين مميزات الصورة الجوية (لتشمل تفاصيل، ومعلومات كثيرة)، وبين الخريطة الخطية (لتشمل مقياس متجانس، وصفات هندسية). ويتم إنتاج الصور المصححة من خلال تقسيم الصورة الواحدة إلى شبكة مستطيلات صغيرة ثم يجري تصحيح كل مستطيل بشكل منفرد من الأخطاء الناشئة عن كل من: ميل المحور الأساسي لآلة التصويرCamera Tiltعن الوضع الرأسي؛ ميل سطح الأرض عن الوضع الأفقيTerrain Slope(صيام، 1415هـ). ويتم أيضاً إنشاء الصور المتعامدة Orthophoto Image Generation بسهولة من خلال برامج المساحة التصويرية. وذلك بوجود مدخلات رئيسة لعملية تقويم الصور، ومن هذه المدخلات نموذج ارتفاعات رقمي، وصورة رقمية ذات قيم توجيهية خارجية معروفة، وإحداثيات رقمية (صف، وعمود) لعلامات المعايرة في الصورة، حيث تستخدم الإحداثيات الرقمية لتحويل الإحداثيات الصورية (X, Y) إلى إحداثيات رقمية (صف وعمود)، وعندها تستعمل معادلتا المستقيمة في إنتاج الصور المتعامدة (علي، 1427هـ).

تعد الصور المصححة من أهم تطبيقات المساحة التصويرية الرقمية الجوية، فتتعدد، وتكثر مجالات استخدامها كبديل عن الخريطة الخطية؛ دراسة الجدوى الاقتصادية للمشاريع الهندسية؛ توثيق الحدود والملكيات؛ التطوير الحضري؛ معرفة الأضرار والتغيرات الحاصلة في حالات الكوارث؛ أساس مرجعي للمعلومات، والبيانات لمنطقة معينة؛ أساس لتحديث الخرائط الخطية. وكان من أهم مميزات الصور، والخرائط التصويرية المصححة خلوها من الإزاحات الناتجة عن التضاريس، وهذا يزيد في دقة المسافات، والمساحات، والزوايا المستنبطة (صيام، 1415هـ).

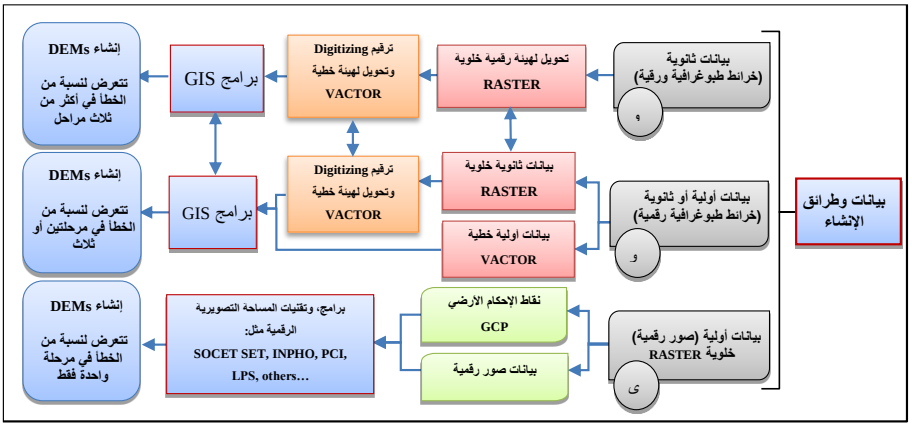
7. طرائق إعداد وإنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية وتقييم الدقة:

نجد في بعض الأعمال البحثية، والدراسات، خاصة في الدول النامية أو غير المتقدمة أنها تستخدم طرائق إنشاء غير دقيقة، وقد لا تفي بهدف البحث (الغامدي، 1426هـ)، حيث يتم إنتاج نماذج الارتفاعات الرقمية عن طريق ترقيم بيانات ثانوية كخرائط الكنتور، أو اللجوء لاستخدام نماذج الارتفاعات الرقمية المجانية DEMs Free. وبناء على ذلك قامتالدراسة الراهنة بالتعريف بطرائق إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية بشكل مختصر، وتمييزها، ومعرفة الأدوات، والبرمجيات المستخدمة لإنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية وتقييم دقتها Accuracy، ومنتجاتها. ويتم ذلك بتحديد واستخدام منهجية محددة بحيث يتم الإنشاء

بالاعتماد على نوع ووضوح Resolution البيانات المستخدمة سواء كانت بيانات أولية (صور رقمية) أم بيانات ثانوية (صور ورقية أو خرائط كنتورية)، وبوجود البيانات والأدوات، والتقنيات اللازمة، وأيضاً باختيار وتحديد المنطقة المناسبة (مستوى التضاريس)، ويتضح ذلك كالآتي:-

1. مصدر ووضوح البيانات، ودقة طريقة الإنشاء:

يتم إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية بمستويات مختلفة من الدقة، ويعود ذلك لاختلاف أصل البيانات المستخدمة ومقدار وضوح بياناتها، ويعتمد أيضا على طريقة الإنشاء المستخدمة للحصول على المنتج المناسب، حيث أن الطرائقتتفاوت بها الدقة بناء على نوع البيانات المستخدمة للإنشاء ومقدار وضوحها لذلك قامت الدراسة الراهنةببناء نموذج توضيحي (هيكل توضيحي) يوضح طرائق الإنشاء المعروفة (شكل 8) بناء على أنواع البيانات المستخدمة فيها وما هي احتياجات كل طريقة وما عدد الأخطاء التي تمر بها كل طريقة كالاتي: -



شكل (8)هيكل توضيحي لأنواع بيانات وطرائق إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية DEMs

2. إنشاء نموذج ارتفاعات رقمي من بيانات ثانوية (خرائططبوغرافية ورقية):

يعتمد الإنشاء في هذه الطريقة على بيانات ثانوية لمنتج ورقي للخرائط الطبوغرافية الكنتورية، حيث يتم تحويلها إلى بيانات رقمية Digital على هيئة خلوية Raster باستخدام

الماسح الضوئي، ومن ثم القيام بعملية الترقيم إما عن طريق الشاشة On-Screen Digitizing حيث تكون الصورة في الهيئة الخلوية كخلفية على شاشة البرنامج ويتم استعمال الفأرة لتتبع المعالم، وتحويلهاإلى بيانات رقمية خطيةVector، أو تتم عن طريق الترقيم آلياً باستخدام برامج التحويل من الصورة الخلوية إلى الخطية Automatic Vectorization مثل برنامج R2V، وهذه البيانات يتم استخدامها للبدء بإنشاء نموذج ارتفاعات رقمي باستخدام برمجيات مثل ArcGIS. وهذه الطريقة مرت بالمراحل السابقة، والتي أقحمتها بعدد كبير من الأخطاء المتراكمة على بيانات النموذج،حيث تبدأهذه الأخطاء في المنتج الأساسي للخريطة، والذي من الطبيعي وجود خطأ فيه وذلك أثناء قيام المؤسسة المختصة بإنتاج الخريطة الطبوغرافية. وتقدر نسبة الخطأ المسموح بها نصف الفاصل الكنتوري(AI- Rousan, 1998, U.S. Geological Survey, 1999) وتحسب بالمعادلة الأتية:

$$[\text{قيمة الخطأ المسموح به} = (\frac{\text{الفاصل لكنتوري}}{2})]$$

ويليها الأخطاء أثناء عملية التحويل بالماسح الضوئي، وما يرافقها من إشكاليات عندما تكون البيانات الورقية قد تأثرت بالرطوبة أو درجة الحرارة التي تسبب الانكماش أو التلف لبعض الأجزاء، واختلاف الألوان عما هي عليه فعلياً، وأيضاً الأخطاء البشرية أثناء عملية الترقيم، والتي من المستحيل أن تكون مطابقة للبيانات الورقية مهما بلغ الحرص(الغامدي، 1426هـ). ولكون هذه الطريقة بها عدد كبير من تراكمات الأخطاء فهي أقل دقة من غيرها.

3. إنشاء نموذج ارتفاعات رقمي من بيانات ثانوية أو أولية(خرائط طبوغرافية رقمية):

يعتمد الإنشاء في هذه الطريقة إما على منتج من بيانات ثانوية رقمية خلوية Raster تمر بعملية الترقيم لتحويلها إلى بيانات رقمية خطية Vector على هيئة خطوط كنتور ليتم استخدامها للبدء بإنشاء نموذج ارتفاعاترقمي؛ أو يعتمد على منتج من بيانات أولية رقمية خطية Vector للخرائط الطبوغرافية الكنتورية (منتج أساسي أنشئ في مؤسسات حكومية، أو تجارية متخصصة). ويتم استخدامها في البدء بإنشاء نموذج ارتفاعات رقمي. وتمر هذه

الطريقة سواء مع البيانات الثانوية أو الأولية بمرحلتين أو أكثر تزيد في نسبة الأخطاء، وهي أقل من الطريقة السابقة في عدد الأخطاء، وأقل في المجهود أيضاً لأنها تعتمد في الغالب على المنتج الأساسي للخريطة (الغامدي، 1426هـ). ولكون هذه الطريقة أقل في عدد تراكمات الأخطاءوهي أعلى دقة من الطريقة السابقة.

4. إنشاء نموذج ارتفاعات رقمي من بيانات أولية (صور رقمية):

تعتمد هذه الطريقة على بيانات صور خامRaw Data من التصوير الجوي أو الفضائي، وأيضاً بوجود بيانات نقاط إحكام أرضي، حيث يشترط في هذه الطريقة جودة البيانات، ومعرفة الهدف من الإنشاء لضمان تحقيق أعلى دقة ممكنة، ويكون كل ذلك بالتزامن مع وجود أجهزة بمواصفات، وجودة عاليتين، وباستخدام برامج متخصصة في المساحة التصويرية الرقمية الجوية. وتمر هذه الطريقة بمرحلة واحدة فقط تقحمها ببعض الأخطاء، وهي أقل بكثير من الطريقتين السابقتين في الأخطاء، وأقل في المجهود لذلك فإنها تعتبر أفضل الطرائق، وأدقها وأنسبها، وذلك لأن نسبة الخطأ بها أقل من غيرها بالإضافة إلاأنه من الممكن التحكم بنسبة الخطأ وذلك بالاعتماد على من يقوم بعملية الإنشاء وتعديل البيانات التلقائي.ولكون هذه الطريقة هي الأقل في عدد تراكمات الأخطاءفهي أعلى دقة من الطرائق السابقة جميعاً. ولذلك فهي المستخدمة دائما في المؤسسات والهيئات الحكومية العسكرية المتخصصة بإنتاج الخرائط الطبوغرافية ونماذج الارتفاعات الرقمية(الأسمري، 2017م).

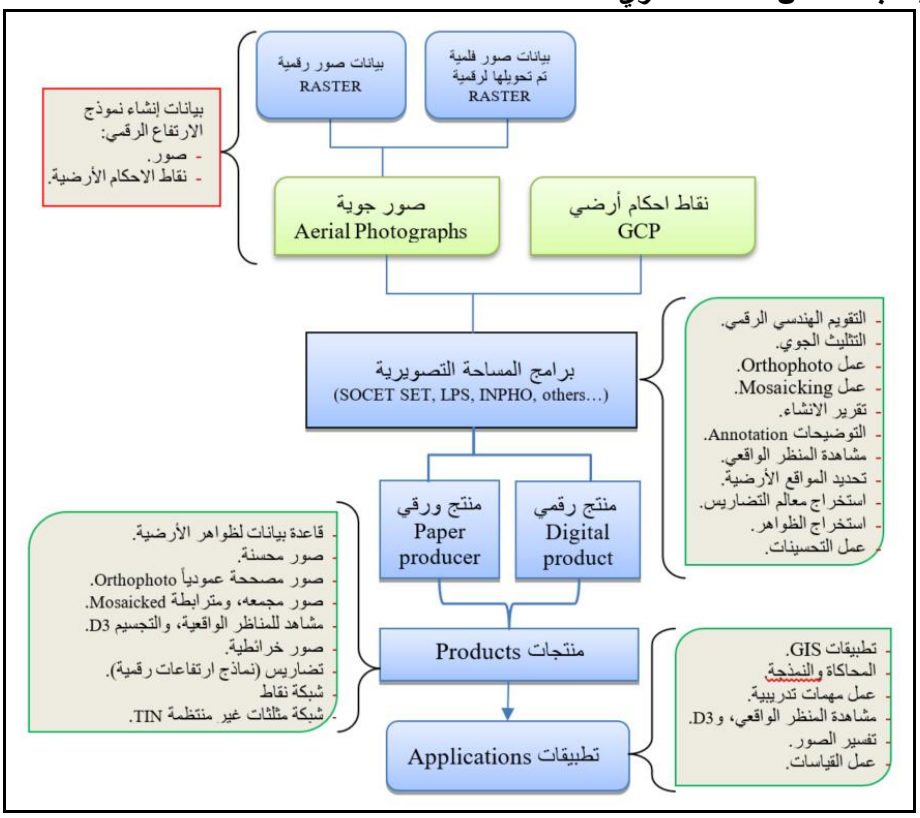
5. توافر البيانات، والتقنيات، وتحديد المنطقة المدروسة:

تعتمد دقة نماذج الارتفاعات الرقمية بشكل مباشر على مجموعة من المعطيات مثل وضوح بيانات أزواج الصور الجوية، ونوعها، ومقياس رسمها، وقدرتها التمييزية، وعلى عدد نقاط الإحكام الأرضية، وتوزيعها الجيد لتغطي أطراف، ووسط بيانات الصور للمنطقة (المكان) المراد عمل النموذج لها، وتعتمد أيضاً على نوع التقنيات المستخدمة من الأجهزة، والبرمجيات المتخصصة والتي تلعب دوراً مهماً في عملية الإنشاء. حيث يتم اختيار كل هذه

المعطيات بناءًعلى الغرض من إنشاء النموذج، وعلى مقدار الدقة المطلوبة، وأيضاً يعتمد على طبيعة المنطقة الطبوغرافية. ومن الممكن تحديد منطقة الإنشاء بناء على خصائصها وطبيعتها ومميزاتها، وتحدد بناء على نوع نموذج الارتفاعات الرقمي DTM وDSM المطلوب، وتحدد بحسب توفر البيانات المطلوبة، والغرض من الإنشاء، وأهميته، وأيضاً مقدار تغطيتها السابقة بنماذج الارتفاعات الرقمية، والخرائط الطبوغرافية الكنتورية مع العلم بأن هذه الخيارات قد لا تنطبق على كل المناطق التي نرغب في إنشاء نماذج ارتفاعات رقمية لها وكنها ذات أهمية بالغة في عملية الإنشاء.

6. منتجات واستخدامات وتطبيقات:

توجد الكثير من تطبيقات، وقياسات بيانات نماذج الارتفاعات الرقمية، واستخداماتها المتنوعة، والمختلفة، والتي تستخدم بشكل كبير وواسع في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والعلوم الهندسية أيضاً،ومنها ما هو مدني، ومنها ما هو عسكري(شكل 9). ومن أهم هذه التطبيقات نمذجة تدفق المياه (شبكة التصريف) أو حركة الكتل (مثل الانهيارات الأرضية)، والقياسات مثل حسابات الحجم، والانحدارSLOPE، واتجاه الانحدارASPECT، والانحناء CURVATURE، وأيضاً تجسيد مرئيات ثلاثية الأبعاد، وإنشاء نماذج طبيعية (مثل خرائط الإغاثة، والأثار)، وتحليل التضاريس في الجيومورفولوجيا، والجغرافيا الطبيعية، حيث يعتمد عليها في التطبيقات المدنية مثل تصحيح الصور الفضائية من تأثير طبوغرافية الأرض، والجيومرفولوجيا، وبناء السدود. وأما التطبيقات العسكرية فتتمثل في تحديد الرؤية المتبادلة، وتحديد مناطق تغطية الرادارات، وإنتاج مناظر ثلاثية الأبعاد لتستخدم في تكوين طيران تشبيهي لأية منطقة، وإنشاء خرائط الإغاثة (الأسمري، 2017م).



شكل (9) بيانات وبرامج ومنتجات وتطبيقاتالمساحةالتصويرية الرقمية

ثالثا: النتائج والتوصيات:

1. النتائج:

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

1. ظهر من خلال المراجعات الأدبية لموضوع البحث وجود تباينات في مسميات، وأنواع نماذج الارتفاعات الرقمية، بعضها ذات دلالة محددة مثل DSM. وبعضها تستخدم في دول دون أخرى.

2. وضحت الدراسة الراهنة طرائق الإنشاء المختلفة بحسب البيانات المستخدمة، وتقييم نموذج الارتفاعات الرقمي بقياس كمية الخطأ بناء على طريقة الإنشاء المستخدمة.

3. تأكد الدراسة الراهنة بأن طريقة الإنشاء من بيانات أولية (صور رقمية) تستغرق وقت قصير وتنتج نماذج عالية الدقة ويمكن التحكم بدقة المنتج وذلك بالحرص أثناء العمل على الإنشاء.

4. تأكد الدراسة الراهنة بأن طريقة الإنشاء من البيانات الثانوية أو الأولية الرقمية (خرائط طبوغرافية رقمية) تستغرق وقت أقل من الطريقة الأولى وذات دقة متوسطة وعدد أخطاءأقل.

5. تأكد الدراسة الراهنة بأن طريقة الإنشاء من البيانات الثانوية الورقية (خرائط طبوغرافية ورقية) تستغرق وقت أطول وذات دقة متدنية لزيادة عدد الأخطاء التي تمر بها هذه الطريقة.

6. اتضح بأن من المهم تحديد كل من الهدف من إنشاء نموذج الارتفاعات الرقمي، ومقدار الدقة المطلوبة وذلك قبل البحث عن البيانات.

7. اعتمدت دقة نموذج الارتفاعات الرقمي المنتج على كل من: وضوح بيانات الصورونوعها؛ توزيع وعدد نقاط الإحكام الأرضية؛ نوع التقنيات المستخدمة سواء البرمجيات أو الأجهزة.

8. أكدتالدراسة الراهنة على أنهلا بد من أن يكون لدى الباحث معرفة عاليةبعلم المساحة التصويرية الرقمية الجوية وخبرة جيدة بالعمل الميداني والمكتبي.

9. أظهرت الدراسة الراهنةأن إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية ليس من السهولة بما كان، ويحتاج لفريق عمل متكامل، حيث يقابل الإنشاء صعوبة الحصول على بيانات دقيقة؛ تكلفة عالية، وأيضاً ندرة في التقنيات، والبرمجيات المستخدمة، وقلة الجهات الحكومية المتخصصة؛ وصعوبة، وتكلفة النزول الحقلي لأخذ البيانات؛ ووجود الكثير من العقبات

الأخرى التي تواجه الدراسات في علم المساحة التصويرية الرقمية الجوية كالوقت، والجهد، والتكلفة.

10. تميزت المساحة التصويرية الرقمية الجوية فكانت أحد أهم الطرائق الحديثة والفاعلة في التطبيقات الجغرافية، والعمرانية، والبيئية،والهندسية.

11. اتضح للباحث بأن المدرسة الأولى من مدارس مصطلحات نماذج الارتفاعات الرقمية هي الأغلب استخداما في المملكة العربية السعودية وخاصة في الهيئات الحكومية والعسكرية.

2. التوصيات:

حصل علم المساحة التصويرية الرقمية على أهمية كبيرة وتقدم متميز واعتمد بشكل كبير على البيانات (الصور الجوية والفضائية، ونقاط الربط الأرضية). لذلك يجب علينا تفهم أهمية الحصول على بيانات واضحة ونماذج ارتفاعات رقمية ذات دقة عالية بقدر المستطاع؛ والعمل على إنشاء نماذج الارتفاعات رقمية بأسس سليمة لتصل إلى المستوى المطلوب من الدقة؛ واستثمارها، وحفظها بشكل كامل، وسليم؛ ودعم هذا المجال بالبحث العلمي. وبناء على النتائج السابقة، خرجت الدراسة الراهنة بكل من التوصيات الآتية:

1. عند إنشاء نموذج ارتفاعات رقمييجب الاعتماد على بيانات أولية (صور رقمية) ذات وضوح عالي، حيث تمكن من اشتقاق نماذج ذات دقة عالية ومقاييس صغيرة.

2. يجب تجنب إنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية من البيانات الأولية أو الثانوية (خرائط طبوغرافية ورقية أو رقمية) وخاصة عند استخدامها في التطبيقات التي تتطلب قياسات ودقة عالية.

3. توحيد استخدام مسميات، وأنواع نماذج الارتفاعات الرقمية على مستوى المملكة العربية السعودية وذلك باعتماد أحدى مدارس المصطلحات مثل المدرسة الأولى كونها الأغلب استخداما في الهيئات الحكومية والعسكرية.

4. يجب معرفة وتحديد الهدف من إنشاء نموذج الارتفاعات الرقمي قبل البدء في البحث عن البيانات الخام، وإنشاء النموذج، وأيضاً تحديد الدقة التي يمكن الحصول عليها من هذه البيانات بناءً على خصائصها ومقدار وضوحها.

5. تشجيع البحوث في مجال المساحة التصويرية الرقمية الجوية وإنشاء نماذج الارتفاعات الرقمية من مصادر البيانات الأولية المختلفة.

6. إجراء دراسات مقارنة بين المنتجات المختلفة، وإجراء قياسات دقة النماذج، وتقييم جودتها.

7. إجراء دراسات مقارنة بين البرامج المختلفة من برامج المساحة التصويرية الرقمية الجويةوتقييم نتائجها، وسهولة الاستخدام، والخطوات، والإجراءات، والإمكانات المتوفرة في كل برنامج.

8. تشجيع الأقسام العلمية وخاصة أقسام الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية على التركيز على زيادة المعرفة العلمية والعملية لدى أساتذتها وطلابها في مجال المساحة التصويرية الرقمية.

9. إجراء دراسات مشتركة في المساحة التصويرية الرقمية لكون هذا العلم يحتاج في الغالب فريق عمل متكامل لما فيه من الصعوبات، والكلفة المادية، وندرة في التقنيات، والبرمجيات المستخدمة،وقلة المتخصصين، والباحثين في هذا العلم الحديث.

10. إجراء دراسات نظرية مماثلة لدراسة الراهنة في مجال المساحة التصويرية الرقمية الفضائية (البعيدة)، المساحة التصويرية الرقمية الأرضية (القريبة).

3. قائمة المراجع:

1. المراجع العربية:

1. الأسمري، عبدالله حسن (2016م). إنشاء نموذج ارتفاع رقمي من الصور الجوية دراسة حالة: الجزء الأعلى من عقبة المخواة، دراسة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية : جامعة الملك عبدالعزيز، 102 صفحة.

2. ـــــــــــــــــــــــ (2017م). إنشاء نموذج ارتفاعات رقمي واستخدامه في تطبيقات ومنتجات نظم المعلومات الجغرافية (دراسة حالة: الجزء الأعلى من عقبة المخواة)، مصر : جامعة المنوفية كلية الآداب شعبة البحوث الجغرافية، مجلة مركز الخدمة للاستشارات البحثية واللغات، إصدار شهر إبريل2017م.

3. ـــــــــــــــــــــــ(2018م). تقييم دقة نموذج ارتفاعات رقمي منشأ من بيانات المساحة الجوية (دراسة مقارنة: نموذج DTM مع نماذج محلية ونماذج عالمية)، مصر : جامعة المنوفية، مجلة مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية، العدد (25).

4. ـــــــــــــــــــــــ(تحت النشر). إنشاء وتقييم نموذج تاريخي رقمي باستخدام المساحةالتصويرية الرقمية القريبةدراسة حالة: محتوى تاريخي لأثر قديم (نصب)، مصر : جامعة المنوفية، مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية، المؤتمر الدولي الثاني 2-4 فبراير 2019م.

5. الحسن، عصمت محمد (1432هـ). المساحة التصويرية التجسيمية، الرياض : مكتبة الملك فهد الوطنية.

6. داود، جمعة محمد (2012م). مبادئ المساحة، تاريخ الدخول 1436/9/9: من جامعة أم القرى: https://old.uqu.edu.sa/page/ar/204649.

7. رضوان، علي (1399هـ). المساحة التصويرية، الرياض: دار عكاظ.

8. سعيد، هالة محمد، وهادي، خلود علي (2010م). أهمية دراسة نموذج الارتفاعات الرقمي DEM وتطبيقاته المختلفة، مجلة ديالي، 15 صفحة.

9. السيد، أحمد ياسر (2007م). علم المساحة، الإسكندرية: مكتبة بستان المعرفة.

10. الشافعي، شريف فتحي (2004م). المساحة التصويرية، القاهرة: دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع.

11. صيام، يوسف (1415هـ). المساحة الجوية والاستشعار عن بعد، عمان : دار مجدلاوي للنشر والتوزيع.

12. عبداللاه، عبدالفتاح صديق (1430هـ). أسس الصور الجوية والاستشعار عن بعد، الرياض: مكتبة الرشد.

13. علي، عبدالله الصادق (1427هـ). مقدمة في المساحة التصويرية التحليلية والرقمية، الرياض: مكتبة الملك فهد الوطنية.

14. العمران، علي إبراهيم (1433هـ). مقدمة في الاستشعار عن بعد ومعالجة الصور رقميا، الرياض: دار وجوه للنشر والتوزيع.

15. الغامدي، علي معاضة (1426هـ). طرق اشتقاق نماذج الارتفاع الآلية من خطوط كنتور خرائط: 1: 50000 الطبوغرافية وأثرها على تحليل الرؤية، المجلة العربية لنظم المعلومات الجغرافية، الأولى، 30 صفحة.

16. المراجع الأجنبية:

1. Al-Rousan, N. M., & Petrie, G. (1998). System Calibration, Geometric Accuracy Testing and Validation of Dem and Orthoimage Data Extracted from Spot Stereo-pairs Using Commercially Available Image Processing Systems. Stuttgart: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing.

2. BAE Systems. (2006). SOCET SET® User's Manual (Vol. Version 5.3). Systems National Security Solutions Inc.

3. Farrag, F. A., & Khalil, R. (2005). Investigation of Sampling and Interpolation Techniques for DEMs Derived from Different Data Sources.

4. Jacobsen, k. (n.d.). DEM generation from satellite data. Germany: University of Hannover.

5. Li, Z., Zhu, Q., & Gold, C. (2005). DIGITAL TERRAIN MODELING: Princiciples and Methodology. U.S.A: COMPANY CRCU.S.A.

6. Lohmann, P., KOCH, A., & SCHAEFFER, M. (2000). APPROACHES TO THE FILTERING OF LASER SCANNER DATA. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing.

7. Philpot, W. D., &Philipson, W. R. (2012). REMOTE SENSING FUNDAMENTALS. New York: Cornell University.

8. Takagid, M. (n.d.). ACCURACY OF DIGITAL ELEVATION MODEL ACCORDING TO SPATIAL RESOLUTION. Department of Infrastructure Systems Engineering.

9. Thurston, J. (2003, oct/nov). Looking Back and Ahead: The Triangulated Irregular Network (TIN). GEOinformatics.

10. US Army Corps of Engineers. (2003). Remote Sensing. Washington.

11. 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.

12. Zhou, Q., Lees, B., & Tang, G.-a. (2008). Advances in Digital Terrain Analysis. Springer.