

علم الجيوماتكس أسس وتطبيقات



أ.د. محمد الخزامي عزيز

علم الجيوماتيكس

أسس وتطبيقات

كتاب وقف ابتغاء وجه الله

إعداد

أ.د. محمد الخزامي عزيز

العميد السابق كلية العلوم الاجتماعية والإنسانية جامعة الجلالة

أستاذ نظم المعلومات الجغرافية بقسم الجغرافيا - كلية الآداب - جامعة الفيوم

٢٠٢٥

الطبعة الأولى

2025

المؤلف: أ.د. محمد الخزامي عزيز.

عنوان الكتاب: علم الجيوماتيكس - أسس وتطبيقات.

رقم الإيداع: 2025/23742

الترقيم الدولي: 978-977-95-4234-8

تصميم الغلاف: المؤلف

تنسيق داخلي: د. محمد عرفات، بوكلاود، جمهورية مصر العربية

جميع حقوق النشر محفوظة، ولا يحق لأي شخص أو مؤسسة أو جهة إعادة إصدار هذا الكتاب، أو جزء منه، أو نقله بأي شكل من الأشكال، أو وسيلة من وسائل نقل المعلومات، ولا يجوز تداوله إلكترونياً نسخاً أو تسجيلاً أو تخزيناً، دون إذن خطي من المؤلف.

جميع الآراء الواردة في هذا الكتاب تعبر عن رأي المؤلف، ولا تعبر بالضرورة عن رأي الناشر.

﴿هُوَ الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ ذُلُولًا فَامْشُوا فِي مَنَاكِبِهَا
وَكُلُوا مِنْ رِزْقِهِ وَإِلَيْهِ النُّشُورُ﴾

(سورة الملك: آية ١٥)

اهداء

الى نصفي الفيروزي... في أوفى صحبة.

مقدمة الكتاب

يُعدّ علم الجيوماتيكس أحد أهم العلوم الحديثة التي نشأت في تقاطع التكنولوجيا مع الجغرافيا، إذ يجمع بين تقنيات الاستشعار عن بُعد، ونظم المعلومات الجغرافية، ونظم تحديد المواقع العالمية، إضافةً إلى أدوات التحليل والمعالجة الرقمية للبيانات المكانية. يهدف هذا العلم إلى توفير معلومات دقيقة وفعّالة عن سطح الأرض ومكوناته، الأمر الذي جعله ركيزة أساسية في دعم اتخاذ القرار في مجالات التخطيط العمراني، إدارة الموارد الطبيعية، الزراعة، النقل، والعديد من القطاعات الأخرى.

يستعرض هذا الكتاب في فصوله المتنوعة رحلة شاملة لفهم علم الجيوماتيكس، بدءًا من مدخل عام لتعريف القارئ بأسسه ومفاهيمه الأساسية، مرورًا بتاريخه وتطوره حتى أصبح علمًا مستقلًا بذاته. كما يتناول بالشرح أسس الجيوماتيكس ومكوناته الجوهرية، ويوضح أهمية هذا العلم بالنسبة للجغرافيين ودوره في إثراء الدراسات المكانية.

تتوسع الفصول اللاحقة في عرض أبرز التقنيات المستخدمة في الجيوماتيكس، مثل طرق جمع البيانات وتحليلها باستخدام أحدث الأدوات والبرمجيات، لتقديم صورة متكاملة عن كيفية التعامل مع البيانات الجغرافية وتحويلها إلى معرفة قابلة للتطبيق. ثم يُلقى الكتاب الضوء على التطبيقات العالمية لعلم الجيوماتيكس، مبرزًا التجارب الدولية الناجحة، وصولاً إلى التطبيقات العملية المباشرة التي يمكن أن يستفيد منها القارئ والباحث على حد سواء.

ولا يقف الكتاب عند الحاضر، بل يتناول الاتجاهات المستقبلية المتوقعة في هذا المجال، والفرص المتاحة أمام خريجي الجيوماتيكتكس في سوق العمل، مع ربط بين المعرفة الأكاديمية والاحتياجات العملية. ويُختتم بعرض قائمة من المراجع العلمية الموثوقة التي تعزز من مصداقيته وتفتح آفاقاً أوسع للبحث والتعمق.

إن هذا العمل ليس مجرد عرض تقني لموضوع الجيوماتيكتكس، بل هو دعوة للتفكير في كيفية تسخير العلم والتكنولوجيا لخدمة المجتمعات، وتحقيق تنمية مستدامة تعتمد على إدارة رشيدة للمكان والموارد.

القاهرة، قصر النيل: ٢ سبتمبر ٢٠٢٥

أ.د. محمد الخزامي عزيز

الفهرس

5	اهداء
7	مقدمة الكتاب
9	الفهرس
11	الفصل الأول مدخل الى علم الجيوماتيكس
16	الفصل الثاني تعريف علم الجيوماتيكس
20	الفصل الثالث تاريخ علم الجيوماتيكس
28	الفصل الرابع أسس علم الجيوماتيكس
38	الفصل الخامس أهمية الجيوماتيكس بالنسبة للجغرافيين
44	الفصل السادس مكونات علم الجيوماتيكس
50	الفصل السابع تقنيات علم الجيوماتيكس
76	الفصل الثامن طرق جمع البيانات في الجيوماتيكس
106	الفصل التاسع طرق تحليل البيانات في الجيوماتيكس
120	الفصل العاشر التطبيقات العالمية لعلم الجيوماتيكس
134	الفصل الحادي عشر: تطبيقات الجيوماتيكس Geomatics Applications
	الفصل الثاني عشر اتجاهات المستقبل في الجيوماتيكس (Future Trends in Geomatics)
160	
180	الفصل الثالث عشر مجالات عمل خريج الجيوماتيكس وعلاقة سوق العمل
198	المراجع

الفصل الأول

مدخل الى علم الجيوماتيكس

يعد علم الجيوماتيكس (Geomatics) من العلوم الحديثة والمتقدمة التي تهتم بجمع وتحليل وتفسير البيانات الجغرافية الدقيقة والمعلومات المكانية المتنوعة. يجمع هذا العلم بين التقنيات الرقمية وعلوم الأرض والهندسة بهدف دراسة الظواهر المكانية بشكل شامل. فهو يُعرف أحياناً باسم "علم المعلومات المكانية" لأنه يشمل تخصصات متعددة مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، والاستشعار عن بعد (Remote Sensing)، والخرائط الرقمية، وتحليل البيانات المكانية. من خلال هذه الأدوات والتقنيات المتكاملة يمكن للجيوماتيكس توفير رؤية شاملة للتوزيعات الجغرافية والعوامل البيئية والاجتماعية المختلفة، مما يساعد صانعي القرار والباحثين على فهم أفضل للأنماط المكانية واتخاذ قرارات مستنيرة¹.

شهد علم الجيوماتيكس تطوراً كبيراً خلال العقود الأخيرة بالتوازي مع التقدم التكنولوجي السريع في مجالات الحواسيب وتقنيات الأقمار الصناعية. فقد أصبح حجر الزاوية في العديد من القطاعات الحديثة مثل التخطيط الحضري وحماية البيئة والزراعة وإدارة الموارد الطبيعية. ومع ازدياد كمية البيانات المكانية وتنوعها، برزت الحاجة إلى أدوات متطورة لتحليلها وإدارتها بكفاءة. يقدم الجيوماتيكس حلولاً علمية مبنية على البيانات المكانية تُمكن من تتبع التغيرات البيئية عبر الزمن، وتحديد المواقع الأمثل للبنى التحتية، ورصد المخاطر الطبيعية، وغيرها من التطبيقات العملية التي لم تكن ممكنة بالأساليب التقليدية².

¹ إبراهيم، يوسف كامل. (2024).

² نفس المرجع أعلاه

يلعب علم الجيوماتيكس دوراً أساسياً في العلوم الحديثة والمجتمع من خلال توفير الأدوات والأساليب لالتقاط "المكان" للبيانات ولتصور العلاقات المكانية. يوضح هذا الفصل التمهيدي نطاق وأهمية هذا المجال، ويمهد الطريق للمناقشات التفصيلية في الفصول التالية.

يدعم علم الجيوماتيكس اتخاذ القرار في العديد من القطاعات. فالحكومات تعتمد عليه في التخطيط الحضري، وتطوير البنية التحتية، وإدارة البيئة. كما تستخدمه الصناعات في استكشاف الموارد، والزراعة، والنقل، وتخطيط شبكات الاتصالات. أما العلماء فيطبقون تقنيات هذا العلم لدراسة تغير المناخ، وتتبع التنوع البيولوجي، ورسم الخرائط الجيولوجية، وتحليل الاتجاهات الصحية العامة مكانياً. على سبيل المثال، كان دمج البيانات المكانية أساسياً في تتبع تفشي الأمراض وإدارة الموارد، مما يوضح كيف يساهم علم المعلومات الجغرافية في حل مشكلات العالم الواقعية.

لقد أدى تزايد توافر البيانات المكانية (مثل تلك التي تُجمع عبر الأقمار الصناعية والطائرات المسيّرة وشبكات الاستشعار) إلى جانب التطورات في الحوسبة إلى توسيع نطاق هذا العلم عبر مختلف التخصصات. وباختصار، فإن علم المعلومات الجغرافية يوفر الأساس لأي تطبيق يحتاج لمعرفة "أين" يحدث شيء ما، مما يجعله مجالاً لا غنى عنه في عصر المعلومات.

يهدف هذا الكتاب إلى تقديم أساسيات علم الجيوماتيكس بشكل شامل ومناسب لطلاب المرحلة الجامعية. وسنغطي تعريف وتاريخ هذا العلم، ومكوناته وتقنياته الأساسية، وطرق جمع البيانات وتحليلها، والدور الحيوي الذي يلعبه في البحث العلمي وسوق العمل الحديث. كما سنستعرض تطبيقاته المتنوعة حول العالم – بدءاً من الزراعة الدقيقة في آسيا، مروراً بدراسات المناخ في أوروبا، وصولاً إلى إدارة البنية التحتية في إفريقيا – وسنناقش الاتجاهات المستقبلية التي تشكل هذا المجال. على طول الكتاب، سيتم التركيز على الصرامة الأكاديمية

والأمثلة الواقعية، مدعومة بمراجع من الكتب الدراسية والمنشورات العلمية. وبنهاية هذا الكتاب، يجب أن يكون لدى القارئ فهم راسخ لماهية علم المعلومات الجغرافية، ولماذا هو مهم، وكيف يُطبق في مختلف المجالات.

سيتناول هذا الكتاب "علم الجيوماتيكس: أسس وتطبيقات" جميع جوانب هذا العلم بصورة شاملة. في الفصل الثاني سنستعرض تعريف علم الجيوماتيكس كما ورد في المراجع العربية والإنجليزية. ثم نتبع في الفصل الثالث تاريخ نشأة وتطور هذا العلم والمراحل الرئيسية التي مر بها. يركّز الفصل الرابع على الأسس والمفاهيم العلمية التي يقوم عليها الجيوماتيكس، مثل نظم الإحداثيات والخرائط والبيانات المكانية. أما الفصل الخامس فيبحث في أهمية الجيوماتيكس بالنسبة لعلماء الجغرافيا ودوره في تطوير الدراسات الجغرافية الحديثة. ويناقش الفصل السادس مكونات علم الجيوماتيكس، من نظم المعلومات الجغرافية والمساحة والاستشعار عن بعد وغيرها. ثم يعرض الفصل السابع التقنيات والأدوات التي يعتمد عليها علم الجيوماتيكس، متضمنًا أحدث التقنيات كأنظمة GPS والليدار وغيرها. ويركز الفصل الثامن على طرق جمع البيانات المكانية، سواء التقليدية منها (المسوحات الأرضية) أو الحديثة (الاستشعار عن بعد والمسريات). وينتقل الفصل التاسع إلى أساليب تحليل البيانات في الجيوماتيكس، كالتحليل المكاني ومعالجة صور الأقمار الصناعية. ويستعرض الفصل العاشر التطبيقات العالمية المتنوعة لعلم الجيوماتيكس، مع تقديم دراسات حالة واقعية لكل منها لإظهار كيف تُستخدم تقنيات الجيوماتيكس في حل مشكلات حقيقية حول العالم. وأخيرًا، يتناول الفصل الحادي عشر مجالات عمل خريجي الجيوماتيكس وعلاقتها بسوق العمل، حيث نستكشف الفرص الوظيفية المتاحة والتوجهات المستقبلية للصناعة. في نهاية كل فصل، أوردنا أسئلة للمراجعة وتمارين تطبيقية لمساعدة الطالب على اختبار فهمه وتطبيق ما تعلمه عمليًا. وفي ختام الكتاب توجد قائمة بالمراجع التي اعتمدنا عليها.

أسئلة للمراجعة

- عرف علم الجيوماتيكس بإيجاز، واذكر المجالات الأساسية التي يهتم بها.
- ما الذي يجعل علم الجيوماتيكس مهمًا في عصرنا الحالي؟ اذكر مثالًا عمليًا.
- اذكر بعض التقنيات الحديثة التي يعتمد عليها علم الجيوماتيكس.

تمارين

- حدد مثالين من حياتك اليومية تُستخدم فيهما تقنيات الجيوماتيكس (مثل GPS أو الخرائط الرقمية)، وشرح دور الجيوماتيكس فيهما.
- ابحث عبر الإنترنت عن مشروع واقعي استخدم الجيوماتيكس في التخطيط الحضري أو إدارة الموارد الطبيعية، واكتب ملخصًا من فقرة حول كيفية توظيف الجيوماتيكس في ذلك المشروع.

الفصل الثاني

تعريف علم الجيوماتيكس

ظهرت كلمة "جيوماتيكس" في اللغة العربية كتعبير عن مزيج من علم الجغرافيا وتقنيات المعلوماتية، وهي ترجمة للمصطلح الإنجليزي *Geomatics*. يمكن تعريف علم الجيوماتيكس بأنه التخصص العلمي والتقني الذي يهتم بالبيانات الجغرافية المكانية في صورتها الرقمية. يعرف علم الجيوماتيكس بأنه "الاسم العلمي للتخصص الأكاديمي الذي يطلق على العلوم والتقنيات المتعلقة بالبيانات الجغرافية الرقمية، بما فيها المسوحات ونظم المعلومات الجغرافية، شاملاً جمع المعلومات العمرانية ومعالجتها وتحليلها وعرضها وإنتاج الخرائط وإدارة البيانات المكانية". هذا التعريف يؤكد أن الجيوماتيكس يشمل سلسلة كاملة من العمليات المتعلقة بالمعلومات المكانية، بدءاً من جمع البيانات في الميدان بواسطة أجهزة المسح، مروراً بمعالجتها باستخدام الحواسيب والبرامج المتخصصة، وانتهاءً بتحليلها وعرضها على شكل خرائط وبيانات قابلة للاستخدام.

ومن الناحية الدولية، عرف المنظمة الدولية للمعايير (ISO) علم الجيوماتيكس بطريقة شاملة أيضاً. فبحسب معايير ISO/TC 211 ، يُعرّف علم الجيوماتيكس بأنه "التخصص المعني بجمع وتوزيع وتخزين وتحليل ومعالجة وعرض البيانات أو المعلومات الجغرافية". ووفقاً لتعريف آخر باللغة الإنجليزية، فإن الجيوماتيكس يشمل المنتجات والخدمات والأدوات المتصلة بعمليات جمع وإدارة البيانات الجغرافية المكانية. من هذا المنظور، كان مصطلح هندسة المساحة (Surveying Engineering) الاسم الشائع لهذا التخصص في الماضي، قبل أن يتوسع المفهوم ليشمل التقنيات الحديثة ويُطلق عليه *Geomatics*. وقد تبنت هيئات علمية وهندسية عديدة حول العالم مصطلح "Geomatics" ، مثل منظمة اليونسكو التي أدرجته ضمن فرع "الجغرافيا التقنية".

تجدر الإشارة إلى أن هناك بعض المصطلحات المرادفة أو القريبة من معنى الجيوماتيكس. ففي بعض المراجع يُستخدم مصطلح المعلوماتية الجغرافية أو علوم المعلومات المكانية للإشارة إلى مضمون مشابه. كما يظهر أحياناً مصطلح **Geospatial Technology** (التقنيات الجيوفضائية) خصوصاً في الولايات المتحدة. ومع ذلك، فإن المصطلح الشامل *Geomatics* يحظى بانتشار أكبر في كندا وأوروبا والبلدان العربية لوصف هذا المجال المتعدد التخصصات. وفي جميع الأحوال، يتفق التعريفان العربي والإنجليزي على أن جوهر علم الجيوماتيكس هو الدمج بين علم الأرض (الجغرافيا) (وعلم المعلوماتية أو الهندسة، بحيث يتم توظيف أحدث التقنيات الرقمية في خدمة فهم وإدارة المعلومات المكانية المرتبطة بالأرض.

إن فهم تعريف علم الجيوماتيكس بدقة يساعدنا في إدراك نطاق هذا العلم وحدوده. فهو ليس مجرد نظم معلومات جغرافية (GIS) فحسب، ولا يقتصر على علم المساحة التقليدي، بل هو إطار أوسع يجمع هذه التخصصات مع بعضها البعض في بوتقة واحدة. فمن خلال الفصول القادمة، سنرى كيف يتضمن الجيوماتيكس جوانب من علم المساحة والجيوديسيا والاستشعار عن بعد والرسم الخرائطي ونظم المعلومات، ليقدم مقاربة شاملة للتعامل مع المعلومات المكانية في العصر الرقمي.

ووفقاً لـ: (Mario Gomasca 2009)

"Geomatics is defined as a systemic, multidisciplinary, integrated approach to selecting the instruments and the appropriate techniques for collecting, storing, integrating, modeling, analyzing, retrieving, transforming, displaying, and distributing spatially georeferenced data from different sources with well-defined accuracy characteristics and continuity in digital format".

"يعرف الجيوماتيكس بأنه نهج منهجي متعدد التخصصات ومتكامل لاختيار الأدوات والتقنيات المناسبة لجمع البيانات ذات المرجعية الجغرافية المكانية من مصادر مختلفة وتخزينها ودمجها ونمذجتها وتحليلها واسترجاعها وتحويلها وعرضها وتوزيعها في نسق رقمي".

هذا التعريف الشامل يوضح أن علم المعلومات الجغرافية ليس تقنية واحدة، بل مجموعة من الأساليب الموحدة بتركيزها على البيانات المكانية.

وتؤكد عدة مصادر موثوقة تعاريف مشابهة. ف المؤسسة الملكية للمساحين القانونيين (RICS) تعرف هذا العلم بأنه:

"The science and study of spatially related information focusing on the collection, interpretation/analysis, and presentation of the natural, built, social, and economic environments".

"علم ودراسة المعلومات ذات الصلة المكانية مع التركيز على جمع وتفسير / تحليل وعرض البيئات الطبيعية والمبنية والاجتماعية والاقتصادية".

وبعبارة أبسط: هو "الطرق والتقنيات المستخدمة لجمع وتوزيع وتخزين وتحليل ومعالجة وعرض البيانات الجغرافية". وغالباً ما يُعتبر مصطلحاً شاملاً يشمل المساحة التقليدية إلى جانب التقنيات الحديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد، الفوتوغراممري (Photogrammetry) ، و GNSS.

ويشير أحد المعاجم إلى أن علم المعلومات الجغرافية:

"encompasses the fields of geodesy, GIS, GPS, hydrography, mapping, photogrammetry, remote sensing, and surveying".

"يشمل مجالات الجيوديسيا ، نظم المعلومات الجغرافية ، نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) ، الهيدروغرافيا ، رسم الخرائط ، المسح التصويري ، الاستشعار عن بعد ، والمساحة".

أسئلة للمراجعة

- ما الأصل اللغوي لكلمة "جيوماتيكس"، وماذا تعني جزئي الكلمة (Geo) و(Matics)؟
- قدم تعريفًا لعلم الجيوماتيكس بلغتك الخاصة، ثم قارنه بتعريف ورد في مرجع عربي أو إنجليزي.
- ما الفرق بين مصطلح الجيوماتيكس ومصطلح التقنيات الجيوفضائية (Geospatial Technology) إن وجد؟

تمارين

- ابحث في إحدى المكتبات أو المواقع الأكاديمية عن تعريف آخر لعلم الجيوماتيكس باللغة العربية مؤلف أو جامعة عربية. دوّن هذا التعريف وقارن بينه وبين التعريف الوارد في هذا الفصل من حيث الشمول والدقة.
- ترجم تعريف منظمة ISO للجيوماتيكس (المذكور في النص) إلى العربية بأسلوبك الخاص، وتأكد من الحفاظ على المعنى العلمي.
- ناقش مع زميل لك: هل تعتبر نظم المعلومات الجغرافية (GIS) مرادفة لعلم الجيوماتيكس أم جزءًا منه؟ برر إجابتك بالاعتماد على ما درسته في هذا الفصل.

الفصل الثالث

تاريخ علم الجيوماتيكس

يتمتع علم الجيوماتيكس بتاريخ ثري يمتد جذوره إلى تطور علوم المساحة والخرائط عبر العصور، يمتد تاريخ قياس ورسم خرائط الأرض إلى العصور القديمة، لكن مفهوم "Geomatics" كحقل موحد حديث نسبياً لكنه كعلم حديث مستقل تبلور في النصف الثاني من القرن العشرين. يمكن تقسيم تاريخ الجيوماتيكس إلى مراحل رئيسية تعكس التطورات التقنية والعلمية التي أثرت فيه:

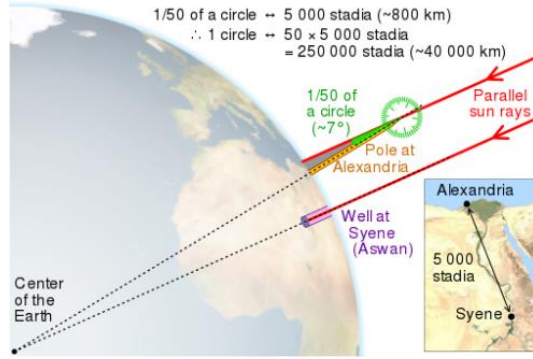
(١) العصور القديمة: المصريون القدماء (حوالي 3000 ق.م) استخدموا الحبال والهندسة البسيطة لإعادة تحديد حدود الأراضي بعد فيضانات النيل (شكل ١).

- في اليونان، قام إراتوستين (القرن الثالث ق.م) بحساب محيط الأرض بدقة لافتة باستخدام قياسات الظل (شكل ٢).
- الرومان طوروا أدوات مثل *chorobates* و *groma* لتخطيط الطرق والقنوات وتقسيم الأراضي (شكل ٣).



شكل (١): أعمال المساحة الأرضية عند المصريين القدماء

الفصل الثالث: تاريخ علم الجيوماتيكس



شكل (٢): فكرة ايراتوستين لحساب محيط الكرة الأرضية



شكل (٣): جهاز الكروما (Croma) للمساحة في عهد الإمبراطورية الرومانية

(٢) العصور الوسطى: تمكن العلماء المسلمون في العصور الوسطى من قياس محيط الأرض بدقة ملحوظة . شكل (٤). كما استُخدمت المساحة لتحديد الملكية وجمع الضرائب.



شكل (٤): جهود العلماء المسلمين في العصور الوسطى في قياس محيط الأرض

٣) عصر النهضة والاستكشاف: فقد شهد تطور أدوات كالبوصلة والمزواة (Theodolite) في القرن 16 (شكل ٥)، مما رفع دقة المسوحات. كما شهد القرن التاسع عشر استخدامًا مبكرًا للتحليل المكاني؛ ففي عام 1854م قام الطبيب البريطاني جون سنو برسم خريطة لحالات الكوليرا في لندن لتحديد مصدر الوباء، مما يعد من أوائل تطبيقات التحليل المكاني لفهم مشكلة صحية. وبحلول القرنين 18-19، ظهرت وكالات وطنية للمسح (مثل Ordnance Survey البريطانية عام 1791)، كما أُجري "المسح المثلثي العظيم للهند" (1802-1871).

نماذج من أجهزة المساحة القديمة



أجهزة الأسطرلاب



أجهزة تيديوليت قديمة لقياس الزوايا



شكل (٥): أقدم أجهزة التيديوليت التي بدأ تصنيعها في القرن ١٦م (عصر النهضة)

(٣) منتصف القرن العشرين (ظهور التقنيات الرقمية): شهدت فترة الستينات تقدماً هائلاً في تقنية الحواسيب والالكترونيات، مما مهد الطريق لنشوء نظم المعلومات الجغرافية. ففي عام 1963م قام العالم الكندي روجر توملينسون بتطوير أول نظام معلومات جغرافي رقمي لصالح الحكومة الكندية لإدارة الموارد الطبيعية. يُعتبر توملينسون رائد نظم المعلومات الجغرافية ويلقب بـ"أبو الـGIS". تزامن ذلك مع إطلاق أقمار صناعية للاستشعار عن بعد مثل سلسلة أقمار لاندسات Landsat بدءاً من عام 1972، شكل (٦) يظهر مرئية فضائية لمدينة الفيوم عام ١٩٧٢ من القمر الاصطناعي لاندسات والتي وفرت صورة شمولية للأرض وأدت إلى نشوء عصر جديد من مراقبة الأرض عن بعد كما بدأ نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) بالتطور في أواخر السبعينات (إطلاق أول قمر GPS عام 1978) لكنه لم يكتمل كنظام ملاحي عالمي إلا بحلول 1994³.

هـ) ثورات تقنية (القرنين 19–20)

- 1858 أول صورة جوية التقطها الفرنسي Gaspard-Félix Tournachon (Nadar) من منطاد.
- أوائل القرن 20: الفوتوغراممري الجوي أصبح أداة قياسية بعد الحرب العالمية الأولى.
- 1957: إطلاق القمر الصناعي سبوتنيك Sputnik وبداية الاستشعار عن بعد بالأقمار الصناعية.
- 1972: برنامج Landsat من ناسا وفر صوراً متكررة لمراقبة التغيرات البيئية.
- تطور قياسات المسافة الإلكترونية (EDM) ثم نظام GPS اكتمل (1995).

٦) ظهور مصطلح "Geomatics" في أواخر الستينات من القرن العشرين، ظهر لأول مرة مصطلح جيوماتيك (بالفرنسية Géomatique) على يد الباحث الفرنسي برنار ديبويسون (Bernard Dubuisson) الذي اقترح هذا المصطلح عام 1969 تقريبًا للتعبير عن التحول الذي كان يحدث في أعمال المساحة ورسم الخرائط. تم استخدام المصطلح رسميًا لأول مرة في مذكرة صادرة عن وزارة الأشغال العامة الفرنسية في يونيو 1971 حيث تحدثت عن "لجنة دائمة للجيوماتيك". لاحقًا، انتقل المصطلح إلى كندا حيث قام المساح الفرنسي الكندي ميشيل بارادي (Michel Paradis) بترويج كلمة Geomatics في الخطاب الرئيسي للمؤتمر المئوي لمعهد المساحة الكندي في أبريل 1982. أشار بارادي في خطابه الشهير إلى أن احتياجات المعلومات الجغرافية ستصل إلى مستويات غير مسبوقة بحلول نهاية القرن العشرين، وأنه من الضروري دمج تخصص المساحة التقليدي مع التقنيات والأدوات الجديدة لجمع ومعالجة ونشر البيانات. وقد كان لهذا التوجه دور كبير في تكامل تخصصات المساحة التقليدية مع نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد تحت مظلة واحدة هي الجيوماتيكس.

٧) الحقبة المعاصرة (من التسعينات إلى اليوم): شهدت التسعينات انتشارًا أوسع لتقنيات الجيوماتيكس مدفوعًا بالتقدم في قدرات الحواسيب والبرمجيات، بالإضافة إلى توفر البيانات المكانية بكميات ضخمة. ارتفعت قدرة معالجة البيانات المكانية بشكل هائل مما جعل التحليلات المكانية جزءًا أساسيًا في العديد من المجالات العلمية والتخطيطية. العديد من أقسام المساحة ورسم الخرائط في الجامعات حول العالم أعادت تسمية نفسها إلى أقسام "الجيوماتيكس" خلال هذه الفترة. وقد ساعد التقدم في أجهزة الحاسوب وعلوم البرمجيات وكذلك تقنيات الاستشعار عن بعد المحمولة جواً وفضائياً على إبراز قيمة الجيوماتيكس وتحقيق تقدم سريع منذ التسعينات. ومع مطلع القرن الحادي والعشرين، أصبحت أدوات الجيوماتيكس أكثر سهولة وانتشاراً؛ فمثلاً ظهرت تطبيقات خرائط الإنترنت العامة (مثل Google Earth عام 2005) التي جعلت عامة الناس يتفاعلون يوميًا مع

البيانات المكانية. وشهدنا أيضاً دمج تقنيات الجيوماتيكس في الهواتف الذكية (مثل خدمات GPS والخرائط) مما زاد من انتشار المفهوم حتى لغير المختصين.

٨) التطورات الحديثة والمستقبلية: اليوم يشهد علم الجيوماتيكس تطورات مستمرة. هناك فروع متخصصة انبثقت عنه مثل الهيدروجيووماتيكس الذي يهتم بالأعمال المساحية في البيئات المائية، وجيوماتيكس الصحة الذي يدرس العلاقة المكانية في بيانات الصحة العامة، وجيوماتيكس التعدين لتطبيق التقنيات المكانية في هندسة المناجم. كما أن تقنيات جديدة كلياً بدأت تؤثر في المجال مثل المسيرات الذاتية (الدرونز) لجمع البيانات الجوية عالية الدقة، وتقنيات إنترنت الأشياء التي توفر سيلاً من البيانات المكانية اللحظية من أجهزة الاستشعار، وكذلك الذكاء الاصطناعي الذي يُستخدم لتحليل البيانات المكانية واكتشاف الأنماط. يُتوقع في المستقبل أن تصبح تطبيقات الواقع المعزز والرقمنة ثلاثية الأبعاد للمدن (التوأم الرقمي) جزءاً من أدوات الجيوماتيكس لمساعدة المخططين ومتخذي القرار.

٩) محطات أساسية في تاريخ علم الجيوماتيكس:

- العصور القديمة – القرن 18: أدوات هندسية أساسية، المزواة، رسم الخرائط.
- القرن 19: المسوحات المثلثية، التصوير الجوي الأول (1858).
- القرن 20 المبكر: تطور الفوتوغرامتري، تأسيس وكالات المسح الوطنية.
- منتصف القرن 20: صور الأقمار الصناعية الأولى، الحواسيب الرقمية للتطبيقات المكانية.
- 1960s: ولادة نظم GIS.
- 1970s: بداية Landsat ، إطلاق أول قمر. GPS (1978)
- 1980s: مصطلح Geomatics يظهر، نظم GIS على الحواسيب الشخصية.

- 1990s: انتشار برامج GIS ، تشغيل GPS بالكامل (1995)، ظهور خدمات الخرائط على الإنترنت.
- 2000s: صور أقمار عالية الدقة (IKONOS 1999) ، Google Earth (2005) ، تقنيات LiDAR ، الطائرات المسيّرة.
- 2010s: انفجار الخدمات المعتمدة على الموقع (الهواتف الذكية)، الحوسبة السحابية، البيانات الضخمة.
- 2020s: دمج الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI) و GIS في الزمن الحقيقي مع إنترنت الأشياء، المركبات ذاتية القيادة للمسح.

خلاصة تاريخية

بدأ هذا المجال كفن يدوي لقياس الأراضي، وتحوّل اليوم إلى تخصص عالي التقنية. ورغم هذا التطور، يبقى الهدف الأساسي كما هو: الوصف الدقيق للأرض لفائدة الإنسان وفهمه.

وباختصار، تطور علم الجيوماتيكس كان استجابة للتغيرات التكنولوجية والاحتياجات المجتمعية: من رسم الخرائط الورقية البسيطة إلى قواعد بيانات مكانية ضخمة وتحليلات معقدة في الزمن الحقيقي. ورغم حداثة اسم "الجيوماتيكس"، فإن جذوره تضرب عميقاً في تاريخ المعرفة الجغرافية وفن رسم الخرائط. هذا التاريخ المثير يوضح كيف تضافرت جهود المتخصصين في المساحة والجغرافيا والحاسوب لإعطاء شكل ومعنى لهذا التخصص الحديث.

أسئلة للمراجعة

- اذكر ثلاث محطات تاريخية مهمة في تطور علم الجيوماتيكس، مع توضيح ما حدث في كل منها.
- من الذي اقترح مصطلح "Geomatics" لأول مرة، ومن الذي روج له في أمريكا الشمالية؟
- كيف أثر ظهور الحواسيب والأقمار الصناعية في السبعينات على تطور علم الجيوماتيكس؟

تمارين

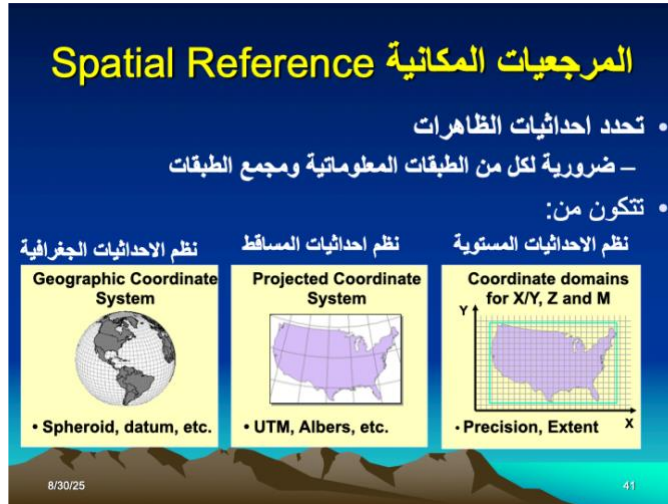
- قم برسم خط زمني مبسط يوضح أبرز الأحداث في تاريخ علم الجيوماتيكس (مثل: اختراع أول GIS ، إطلاق أول قمر للاستشعار عن بعد، استخدام مصطلح جيوماتيكس...). يمكن الرسم على ورق أو باستخدام برنامج رسم رقمي.
- اختر فترة زمنية أو حدثاً معيناً مذكوراً في هذا الفصل (مثل تطوير نظام GIS الأول) وابحث عن تفاصيل أكثر حوله من مصدر خارجي (كتاب أو مقالة). ثم أعد سرد تلك التفاصيل على شكل فقرة تاريخية موجزة وشاركها مع زملائك في الصف.
- ناقش مع مجموعة من زملائك كيف يمكن أن يبدو مستقبل علم الجيوماتيكس بعد 20 سنة من الآن، بالاستناد إلى فهمكم للتطورات التاريخية المذكورة (فكروا في التقنيات الجديدة التي ستظهر وكيف قد تؤثر على المجال).

الفصل الرابع

أسس علم الجيوماتيكس

يقوم علم الجيوماتيكس على مجموعة من الأسس العلمية والتقنية التي تتيح التعامل مع البيانات المكانية بدقة وفعالية. من أهم هذه الأسس مفهوم الموقع الجغرافي المرجعي وكيفية توصيفه رياضياً، بالإضافة إلى طرق تمثيل البيانات المكانية رقمياً وتحليلها. فيما يلي نستعرض أبرز أسس علم الجيوماتيكس:

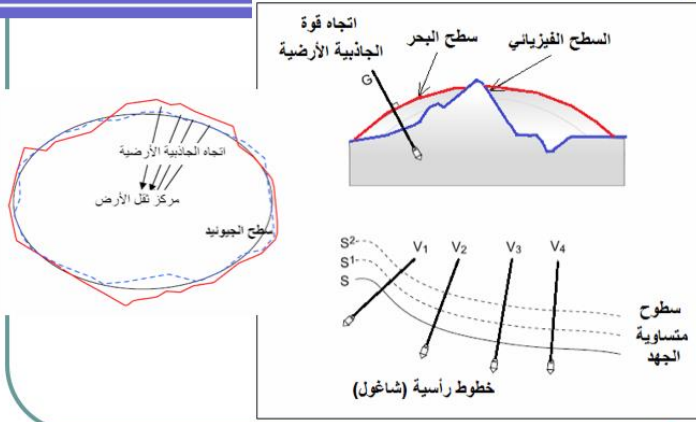
(١) نظم الإحداثيات والمرجعيات الجيوديسية (شكل ٦): يعتمد تحديد أي موقع على سطح الأرض على نظم إحداثيات جغرافية محددة. النظام العالمي الأكثر استخداماً اليوم هو النظام الجيوديسي العالمي (WGS84) النظام الجيوديسي العالمي 1984 (الذي يوفر مرجعاً موحدًا للإحداثيات حول الكرة الأرضية. في هذا النظام يتم وصف الموقع بواسطة خط العرض (Latitude) وخط الطول (Longitude) بالنسبة لمرجع بيضاوي يمثل شكل الأرض. ولأن الأرض ليست كرة مثالية، طور العلماء ما يعرف بالمجسمات المرجعية (Datums) مثل WGS84 لضبط قياسات الإحداثيات بشكل يتوافق مع سطح الأرض الحقيقي. كما تُستخدم أنظمة إسقاط الخرائط لتحويل الإحداثيات من سطح الأرض الكروي إلى خرائط مسطحة، مع التحكم في التشوهات الناجمة عن الإسقاط (مثل إسقاط ميركاتور أو الإسقاط المخروطي). فهم نظم الإحداثيات والإسقاطات أساسي لأي متخصص جيوماتيكس لأنه يضمن مواءمة صحيحة للبيانات المكانية من مصادر مختلفة.



شكل (٦): نظم الإحداثيات والمرجعيات الجيوديسية

٢) الجيوديسيا وشكل الأرض (شكل ٧): تعد الجيوديسيا من العلوم الأساسية التي يستند إليها الجيوماتيكس، إذ تهتم بقياس شكل الأرض وحجمها وحقل الجاذبية الأرضية. يتعلم متخصص الجيوماتيكس المفاهيم الجيوديسية لتصميم شبكات الإحداثيات وضبط أعمال المسح واسعة النطاق. ومن الموضوعات المرتبطة بذلك نظم الارتفاعات والجيود (سطح متوسط البحر) وكيفية ربط الارتفاعات المقاسة بهذا المرجع. هذه الأسس العلمية تضمن دقة تمثيل المواقع والارتفاعات في المشاريع المكانية المختلفة.

شكل الجيويد أو الشكل الجيوديسي لسطح الأرض



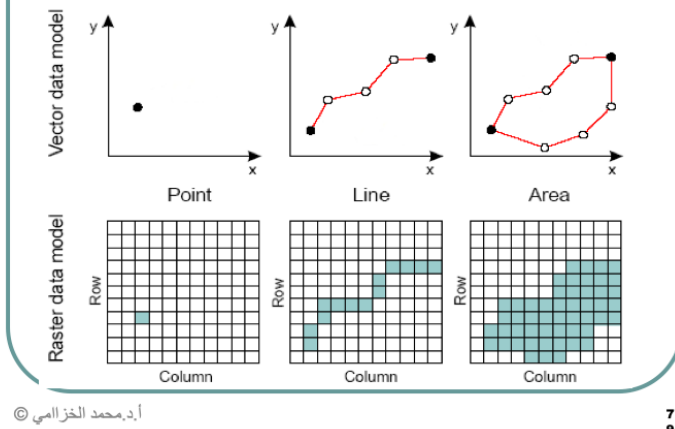
أ.د. محمد الخزاعي ©

29

شكل (٧): الشكل الجيوديسي لسطح الأرض

٣) تمثيل البيانات المكانية: (Vector vs Raster) في نظم المعلومات الجغرافية (شكل ٨)، يتم تمثيل البيانات المكانية عادة بإحدى طريقتين: التمثيل الخطي (Vector) أو التمثيل الخليوي (Raster). في نموذج الخطي، يتم تخزين الظواهر على شكل نقاط أو خطوط أو مضلعات مع إحداثيات دقيقة لكل رأس (مثل تمثيل مدينة كنقطة، وطريق كخط، ومنطقة كمضلع). أما في نموذج الراستر فتصوّر الأرض على شكل شبكة من الخلايا (بيكسلات)، وكل خلية تحمل قيمة تمثل خاصية معينة (مثل صورة قمر صناعي حيث تمثل كل خلية لوناً أو قيمة انعكاس). هذان النموذجان يكملان بعضهما: فالمتجه مناسب للمعالم محددة الحدود كالمباني والطرق، بينما الراستر مناسب للظواهر المستمرة كدرجات الحرارة أو الارتفاع عن سطح البحر. يجب على متخصص الجيوماتيكس فهم مزايا وعيوب كل نموذج واختيار المناسب تبعاً لطبيعة البيانات والتحليل المطلوب.

الفرق بين المعلومات الخطية والمعلومات الراسية (المساحية)

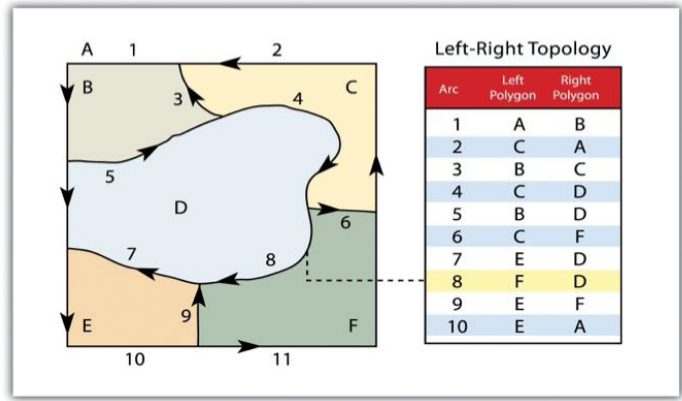


7
9

شكل (٨): البيانات المكانية بنوعها الخطية والراسية

٤) قواعد البيانات المكانية (شكل ٩): التعامل مع الكم الكبير من البيانات المكانية يتطلب استخدام قواعد بيانات مكانية متخصصة. تُخزن هذه القواعد بيانات جغرافية (إحداثيات، أشكال هندسية) إلى جانب البيانات الوصفية المرتبطة بها. من أمثلة أنظمة إدارة قواعد البيانات المكانية **PostGIS**: المبنى على **PostgreSQL**، و **Oracle Spatial** وغيرها. تسمح هذه الأنظمة بإجراء استعلامات مكانية (مثل: إيجاد كل النقاط الواقعة ضمن مضلع معين) بكفاءة عالية. إن تصميم قواعد البيانات المكانية وفهم بنية البيانات (مثل الطوبولوجيا المكانية والارتباطات) هو جزء أساسي من البنية التحتية للجيوماتيكس.

مفهوم بناء قاعدة معلومات في نظم المعلومات الجغرافية

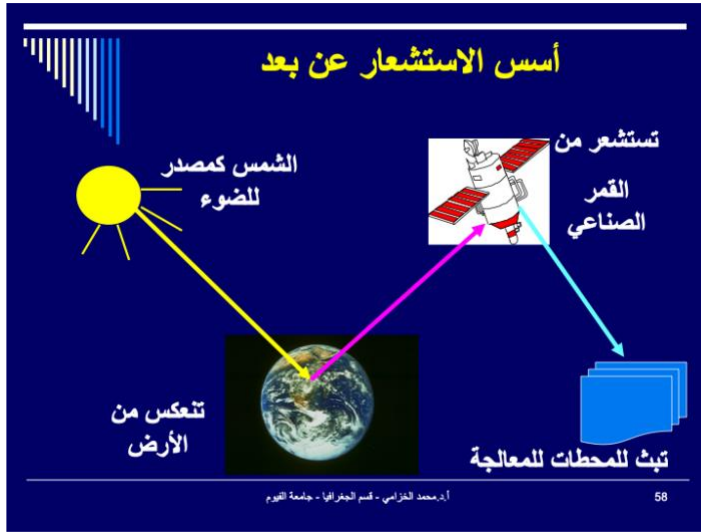


أ.د. محمد الخزالي ©

7
6

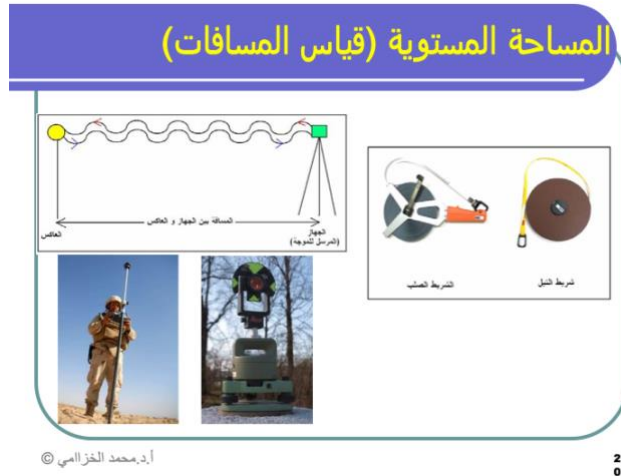
شكل (٩): مكونات قاعدة البيانات المكانية

٥) الاستشعار عن بعد ومبادئ المرئيات الفضائية (شكل ١٠): يعد الاستشعار عن بعد من الركائز الأساسية التي يقوم عليها الجيوماتيكس الحديث. وهو علم وتقنية الحصول على معلومات عن سطح الأرض من خلال مجسات لا تلامسه بشكل مباشر، مثل الأقمار الصناعية والطائرات. يركز الاستشعار عن بعد على مبادئ فيزيائية أهمها التفاعل بين الإشعاع الكهرومغناطيسي ومواد الأرض. حيث تقوم الأقمار الصناعية بالتقاط صور رقمية متعددة الأطياف تعكس خصائص الظواهر (كالنبات أو الماء أو الصخور) بناءً على توقيعهما الطيفي. يتعين على متخصص الجيوماتيكس فهم أساسيات الطيف الكهرومغناطيسي (من الأشعة فوق البنفسجية مروراً بالمرئية إلى تحت الحمراء والميكرويف)، وكذلك مفاهيم مثل الدقة المكانية (حجم البيكسل على الأرض)، والدقة الطيفية (عدد نطاقات الطيف)، والدقة الزمنية (معدل تكرار التصوير لمنطقة معينة). أيضاً من المبادئ المهمة مفهوم المعايرة والتصحيح الإشعاعي والهندسي للصور لضمان أن البيانات المستخلصة منها دقيقة وقابلة للمقارنة عبر الزمن والمكان. هذه الأسس العلمية ضرورية قبل الشروع في تحليل صور الاستشعار عن بعد في تطبيقات عملية.



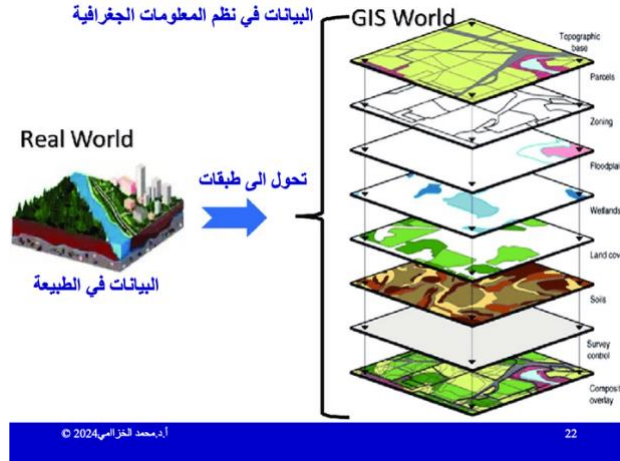
شكل (١٠): فكرة الاستشعار عن بعد

٦) قياس المسافات والأبعاد والمساحة (شكل ١١): يركز علم الجيوماتيكس أيضاً على المبادئ الرياضية لقياس المسافات والأبعاد والمساحات على الأرض وعلى الخريطة. في المسوحات الأرضية التقليدية، يتعلم المتخصص كيفية استخدام أدوات مثل الشريط القياسي وجهاز الثيودوليت والمحطة الشاملة (Total Station) لقياس المسافات والزوايا بدقة، ثم حساب الإحداثيات بناءً على تلك القياسات. هناك مفاهيم أساسية مثل نظرية الخطأ لحساب دقة القياسات واحتمال الخطأ، ومبادئ التثليث والتراتفس في الأعمال المساحية. هذه المبادئ الرياضية تضمن أن البيانات المكانية (مثل حدود قطعة أرض أو ارتفاع نقطة) تم قياسها بطريقة منهجية ويمكن الوثوق بنتائجها ضمن حدود دقة معينة.



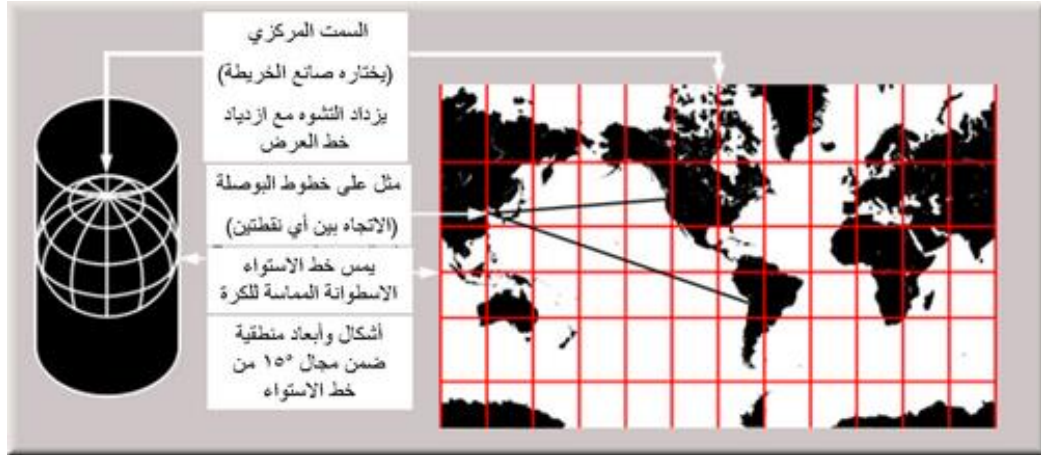
شكل (١١): قياس المسافات في الأعمال المساحية الميدانية

٧) الطبقات المكانية وتحليلها (شكل ١٢): أحد أسس نظم المعلومات الجغرافية هو مفهوم الطبقات Layers ، حيث يتم تخزين كل نوع من البيانات في طبقة منفصلة (مثلاً: طبقة للأنهار، طبقة للطرق، طبقة لاستخدامات الأرض). يسمح هذا النهج بإجراء تحليل مكاني من خلال تراكب الطبقات فوق بعضها. نشأت فكرة الطبقات في التخطيط البيئي (طريقة "الكعكة الطبقة") ثم أصبحت جوهر نظم المعلومات الجغرافية. يعتمد التحليل المكاني على التعامل المنطقي مع الطبقات: مثلاً يمكن التقاطع بين طبقة الغابات وطبقة التربة لمعرفة أي نوع تربة يوجد أسفل الغابات، أو تقاطع طبقة السكان مع طبقة الخدمات الصحية لتحديد المناطق ضعيفة الخدمة. إن فهم البنى المنطقية للطبقات (مثل تمثيل العلاقات المكانية بين الكيانات: مجاور، متقاطع، داخل...) يدخل ضمن أساسيات علم الجيوماتيكس للتحليل والاستنتاج.



شكل (١٢): الطبقات المكانية في نظم المعلومات الجغرافية

٨) نظم الإسقاط وتحويل الإحداثيات (شكل ١٣): نظراً لتنوع نظم الإحداثيات المستخدمة عالمياً، من المهم الإلمام بعمليات تحويل الإحداثيات بين مختلف النظم. مثلاً قد تتوفر بيانات مساحية في نظام مركزي محلي، بينما بيانات أخرى في نظام جغرافي عالمي؛ على متخصص الجيوماتيكس أن يكون قادراً على تحويل الإحداثيات بين هذه النظم بدقة عبر تطبيق التحويلات الرياضية المناسبة (مثل تحويل الإسقاط والتغيير من مرجع جيوديسي لآخر). تتضمن الأسس هنا معرفة معالم الإسقاطات (مثل إسقاط مركاتور المستعرض العالمي UTM واسع الاستخدام) وكيفية استخدام البرامج لحساب التحويل مع أقل خطأ ممكن.



شكل (١٣): نظم إسقاط الخرائط

هذه بعض الأسس الجوهرية في علم الجيوماتيكس. يجدر بالذكر أن الإلمام بهذه الأسس يتطلب خلفية رياضية وحاسوبية جيدة، نظراً للطبيعة الكمية والتقنية للعلم. يتم تعزيز هذه المفاهيم النظرية بالمختبرات العملية والتمارين التطبيقية التي يقوم بها الطالب أثناء دراسة علم الجيوماتيكس، مثل استخدام برامج GIS لتحويل الإحداثيات أو إجراء تحليل طبقي، أو استخدام أجهزة المسح لقياس مسافة فعلية ومقارنتها بالخرائط.

أسئلة للمراجعة

- ما هو نظام الإحداثيات العالمي المستخدم حالياً في تحديد المواقع على سطح الأرض؟ صف مكوناته بإيجاز.
- اشرح الفرق بين تمثيل البيانات المكانية بنموذج المتجه (Vector) ونموذج الشبكة (Raster)، مع ذكر مثال لكل منهما.
- لماذا نحتاج إلى استخدام الإسقاطات الخرائطية عند رسم خريطة مسطحة من بيانات كروية؟ وما الذي قد يحدث للمعالم الجغرافية بدون الإسقاط المناسب؟

تمارين

- ارسم رسمًا تخطيطيًا يوضح الفرق بين خط الطول وخط العرض على نموذج الأرض، ثم حدد موقع مدينتك التقريبي بإعطاء قيم تقديرية لخط العرض والطول.
- قم بتنزيل صورة قمر صناعي مجانية لمنطقتك (مثلًا عبر برنامج Google Earth أو أحد مواقع البيانات المفتوحة)، وحدد في الصورة ثلاثة أنواع مختلفة من الاستخدامات الأرضية (مثل منطقة عمرانية، منطقة زراعية، مياه). ما الخصائص البصرية التي استندت إليها في تمييز كل نوع؟
- باستخدام برنامج GIS مثل QGIS ، حاول إنشاء طبقة نقطية تحدد مواقع بعض المعالم في مدينتك (مدارس، مستشفيات مثلًا) مع إدخال إحداثياتها التقريبية يدويًا. ثم أنشئ طبقة خطية أخرى تمثل طريقًا رئيسيًا. احفظ الخريطة واطبعها أو عرضها مع ذكر نظام الإحداثيات الذي استخدمته.

الفصل الخامس

أهمية الجيوماتيكس بالنسبة للجغرافيين

أحدث علم الجيوماتيكس نقلة نوعية في مجال الجغرافيا وطرق دراستها، مما جعله أداة لا غنى عنها لكل جغرافي حديث. تكمن أهمية الجيوماتيكس لعلماء الجغرافيا في قدرته على توفير بيانات مكانية دقيقة ومفصلة عن المواقع والأماكن المختلفة، وبالتالي تعزيز التحليل المكاني القائم على أسس علمية. فيما يلي نلقي الضوء على أهم جوانب أهمية الجيوماتيكس في علم الجغرافيا:

(١) دعم التحليل المكاني الدقيق: قبل ظهور تقنيات الجيوماتيكس، اعتمدت الدراسات الجغرافية بشكل كبير على الوصف النوعي والخرائط الورقية. أما الآن، فيستطيع الجغرافيون تحليل المعلومات المكانية بدقة عالية واستخلاص رؤى شاملة حول الظواهر الجغرافية. على سبيل المثال، يمكن لجغرافي دراسة التوزيع المكاني لمشكلة بيئية (كتلوث الهواء) من خلال جمع بيانات استشعار عن بعد وبيانات محطات الرصد الأرضية وإدخالها في نظام GIS لتحليلها، مما يكشف عن أنماط مكانية لم تكن واضحة من قبل. هذا التحليل المكاني المعمق يساعد في فهم العلاقات المكانية (مثل ارتباط التلوث بموقع المناطق الصناعية أو اتجاهات الرياح) على نحو علمي كمي.

(٢) اتخاذ القرار المبني على البيانات: يوفر الجيوماتيكس منصة لجمع المعلومات المكانية الدقيقة المتعلقة بالموارد والأراضي والسكان وغيرها، مما يساعد صانعي القرار في التخطيط المكاني. إن تعزيز صنع القرار القائم على أسس علمية أحد أبرز إسهامات الجيوماتيكس. فمثلاً في التخطيط العمراني، يمكن للمخططين استخدام نظم المعلومات الجغرافية لدمج بيانات الكثافة السكانية مع بيانات الأراضي المتاحة ومواقع الخدمات، ثم تحليلها لتحديد أفضل المواقع لإقامة مرافق جديدة مثل المدارس أو المستشفيات. القرارات الناتجة عن هذا التحليل المكاني تكون أكثر موضوعية وترتكز إلى الأدلة بدلاً من التقديرات الحدسية.

وبالمثل، في إدارة الكوارث، تعتبر بيانات الجيوماتيكس أساسية لتحديد المناطق المعرضة للمخاطر وتقدير حجم الأضرار بسرعة، مما يساعد على تطوير استراتيجيات استجابة سريعة وفعالة لحماية الأرواح والممتلكات.

٣) توسيع نطاق وأساليب البحث الجغرافي: بفضل أدوات الجيوماتيكس، توسعت البحوث الجغرافية لتشمل مجالات ومسائل لم يكن من السهل معالجتها سابقًا. على سبيل المثال، يستطيع الجغرافيون الآن دراسة التغيرات البيئية والمناخية على مدى زمني طويل عبر تحليل سلسلة زمنية من صور الأقمار الصناعية. كما يمكنهم إجراء نمذجة مكانية متقدمة مثل نماذج المحاكاة المكانية لتوقع ما قد يحدث مستقبلاً في حال استمرار اتجاهات معينة (مثل نماذج التوسع الحضري أو انتشار التصحر). لقد مكّن الجيوماتيكس الجغرافيين من تبني النهج الكمي بشكل أكبر في أبحاثهم، فأصبحت البحوث الجغرافية أكثر دقة وموثوقية وقابلة للتكرار. هذا لا يلغي أهمية الجانب النوعي أو الوصفي في الجغرافيا، لكنه يعطي الباحث الجغرافي أدوات إضافية لتعميق فهمه.

٤) التكامل مع التخصصات الأخرى: أحد أوجه أهمية الجيوماتيكس هو أنه جعل الجغرافيين في قلب فرق العمل متعددة التخصصات. فكثير من القضايا المعاصرة (كالتممية المستدامة وتغير المناخ وإدارة الموارد) تتطلب فرقاً تضم خبراء من تخصصات مختلفة. هنا يأتي دور الجغرافي المزود بمهارات الجيوماتيكس ليكون حلقة وصل تربط البيانات والتحليلات المكانية مع باقي الجوانب. على سبيل المثال، في دراسة وبائية لانتشار مرض معين، قد يعمل الجغرافي المتخصص في نظم المعلومات الجغرافية جنباً إلى جنب مع خبراء الصحة لوضع خرائط توضح أماكن تفشي المرض وربطها بالعوامل البيئية أو الديموغرافية. هذا التكامل يعزز فهم المشكلة بصورة شمولية ويسهم في حلّها بشكل أكثر كفاءة.

٥) توفير الوقت والجهد وزيادة الدقة: وفرت تقنيات الجيوماتيكس للجغرافيين الوقت والجهد من خلال أتمتة الكثير من العمليات. فبدلاً من رسم الخرائط يدوياً أو إجراء قياسات ميدانية طويلة، أصبحت المهام تنجز رقمياً بسرعة عبر البرمجيات. على سبيل المثال، يمكن توليد الخرائط الرقمية وإجراء التحليلات الإحصائية المكانية بنقرات قليلة وفي زمن قصير نسبياً. كما تحسنت دقة النتائج بشكل كبير، إذ يمكن أن تصل دقة تحديد المواقع باستخدام نظام GPS التفاضلي إلى مستوى السنتيمترات. هذه الدقة العالية في البيانات تعني قدرة أكبر على رصد تغيرات طفيفة مكانياً وزمانياً، مثل تغير مساحة غابة على مدى سنة أو انحسار خط ساحل بسبب ارتفاع مستوى البحر. وهكذا، يستطيع الجغرافيون اليوم الاعتماد على بيانات موثوقة وعالية التفصيل، مما يرفع من جودة إنتاجهم العلمي وموثوقية توصياتهم التخطيطية.

ختاماً، يمكن القول إن الجيوماتيكس قد نقل علم الجغرافيا من مرحلة الوصف إلى مرحلة التحليل الكمي والتنبؤ. وأصبح الجغرافي المزود بمهارات الجيوماتيكس قادراً على الإجابة على أسئلة معقدة حول المكان والمجال، وتقديم حلول عملية للمشكلات على مختلف المستويات (محلية وإقليمية وعالمية). ومع تزايد أهمية المعلومات المكانية في عالمنا المعاصر، تزداد قيمة الجيوماتيكس وبالتالي قيمة الجغرافيين القادرين على توظيفه.

الاستخدامات العملية للجيوماتيكس

يتمتع علم الجيوماتيكس باستخدامات عملية متعددة تمتد لتشمل عدة مجالات حيوية، منها:

١) التخطيط العمراني: Urban Planning في مجال التخطيط العمراني، يُعد الجيوماتيكس أداة فعالة لتحديد أفضل الأماكن لإنشاء المباني والمرافق العامة والبنية

التحتية. من خلال تحليل الأنماط العمرانية والبيانات السكانية والبيئية، يمكن للمخططين تحسين توزيع المساحات والخدمات، مما يساهم في بناء مدن أكثر كفاءة واستدامة.

٢) إدارة الموارد الطبيعية: **Natural Resource Management** يستخدم الجيوماتيكس في إدارة الموارد الطبيعية من خلال مراقبة التوزيعات الجغرافية للموارد المختلفة مثل المياه والأراضي الزراعية والغابات. يمكن للجيوماتيكس أيضاً توقع التغيرات المحتملة في الأنظمة البيئية بفضل أدوات تحليل البيانات المكانية، مما يتيح التخطيط لاستخدام مستدام للموارد.

٣) الزراعة الذكية: **Precision Agriculture** تعتمد الزراعة الحديثة بشكل متزايد على الجيوماتيكس لتحسين الإنتاجية من خلال تتبع صحة المحاصيل وتحليل التربة وتحديد المناطق التي تحتاج إلى تدخلات زراعية معينة. بفضل تقنيات نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد، يمكن للمزارعين تحسين عملية الري والتسميد، مما يقلل من الهدر ويزيد من المحصول.

٤) إدارة الكوارث الطبيعية: **Disaster Management** يُساهم Geomatics بشكل كبير في إدارة الكوارث من خلال تحليل المخاطر وتحديد المناطق المعرضة للكوارث مثل الزلازل والفيضانات. يمكن للبيانات الجغرافية أن تساعد السلطات على تطوير استراتيجيات استعداد واستجابة أكثر فعالية لحماية المجتمعات وتقليل الأضرار المحتملة.

٥) النقل والتنقل الذكي: **Smart Transportation** يُستخدم الجيوماتيكس لتحسين كفاءة أنظمة النقل من خلال تتبع مسارات المركبات وتحليل تدفق المرور، مما يساهم في

تقليل الازدحام المروري وزيادة السلامة. يعتمد هذا على بيانات نظام تحديد المواقع العالمية (GPS) وتحليل الخرائط لتحسين الطرق واتخاذ قرارات أفضل لتطوير البنية التحتية.

أسئلة للمراجعة

- كيف ساهمت تقنيات الجيوماتيكس في تحسين قدرة الجغرافيين على تحليل الظواهر المكانية بالمقارنة مع الأساليب التقليدية؟
- اذكر مثالاً محدداً لكيفية استخدام الجيوماتيكس في دراسة مشكلة جغرافية (مثل التخطيط الحضري، تغير المناخ، أو تتبع الأمراض).
- ما المقصود بالقرار المستنير بالمكان (Spatially-informed Decision) ؟ وكيف يدعم الجيوماتيكس عملية صنع هذا النوع من القرارات؟

تمارين

- اختر قضية جغرافية معاصرة (مثل النمو الحضري العشوائي في مدينة، أو تدهور غابة طبيعية، أو توزيع الخدمات الصحية في منطقة معينة). ناقش كيف يمكن لتقنيات الجيوماتيكس أن تساعد في فهم هذه القضية واقتراح حلول لها. على سبيل المثال: ما البيانات التي ستحتاجها؟ وما نوع التحليل المكاني المطلوب لإنتاج معلومة مفيدة حول القضية؟
- قم بإعداد عرض تقديمي قصير (5 دقائق) تشرح فيه لزملائك كيف يمكن لجغرافي يستخدم أدوات الجيوماتيكس أن يساهم في مشروع تطويري حقيقي في مدينتك أو بلدك. قد يكون المشروع متعلقاً بتخطيط استخدامات الأراضي، أو حماية البيئة، أو تطوير شبكات المواصلات. اذكر في العرض ما البيانات التي سيجتمعها الجغرافي وكيف سيحللها وماذا ستكون مخرجات عمله.

- بالاستعانة بمصادر من الإنترنت، ابحث عن وظيفة أو وصف وظيفي لجغرافي أو متخصص GIS يعمل ضمن فريق في مجال غير جغرافي بحث (مثلاً في قطاع الصحة أو الأمن أو التسويق). وضح كيف يتم توظيف مهارات الجغرافيا والجيوماتيكس في هذه الوظيفة. ما نوع المشكلات التي يحلها هذا الشخص باستخدام أدوات التحليل المكاني؟

الفصل السادس

مكونات علم الجيوماتيكس

يتألف علم الجيوماتيكس من عدة مكونات أساسية أو فروع فرعية، تترابط معًا لتشكل هذا التخصص المتكامل. لكل مكون أدواته وتقنياته الخاصة، إلا أنها جميعًا تشترك في التعامل مع البيانات المكانية. فيما يلي أهم مكونات علم الجيوماتيكس:

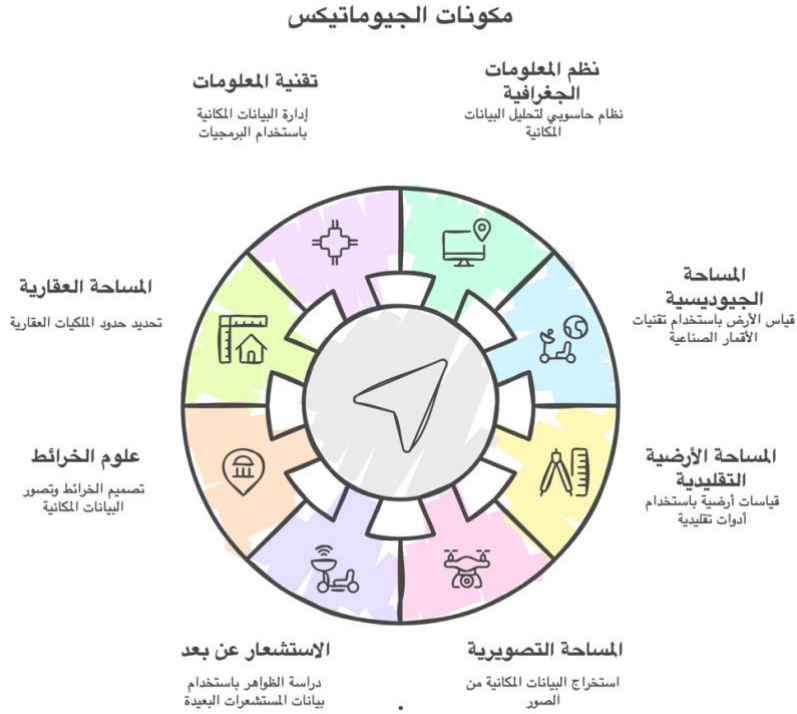
- **نظم المعلومات الجغرافية (GIS):** وهو النظام الحاسوبي الذي يُستخدم لجمع و تخزين واسترجاع وتحليل وعرض البيانات المكانية المرتبطة ببيانات وصفية. يتيح GIS للمستخدم إنشاء قواعد بيانات مكانية معقدة، وإجراء التحليلات المكانية (مثل حساب المسافات، المساحات، التراكبات)، وإنتاج الخرائط بشكل ديناميكي. يعد GIS بمثابة العمود الفقري الذي تُدمج فيه مخرجات باقي مكونات الجيوماتيكس لتوليد معلومات يمكن تفسيرها والاستفادة منها.
- **المساحة الجيوديسية ونظام تحديد المواقع العالمي (GPS/GNSS):** يشمل هذا المكون كل ما يتعلق بأعمال المساحة الأرضية على نطاق واسع باستخدام علم الجيوديسيا وتقنيات الأقمار الصناعية. المساحة الجيوديسية تهتم بقياس الأرض كوحدة واحدة (أخذ كروية الأرض بعين الاعتبار) وتستخدم في المشاريع الكبرى كإنشاء شبكات المثلثات وإرساء نقاط المراقبة الأرضية. نظام GPS ونظم الملاحة العالمية المماثلة ك GLONASS الروسي و Galileo الأوروبي) هو تقنية تعتمد على الأقمار الصناعية لتحديد الموقع بدقة عالية على سطح الأرض. باستخدام أجهزة استقبال GPS يستطيع متخصص الجيوماتيكس جمع إحداثيات مواقع النقاط في الميدان بسرعة وبدقة تصل إلى السنتيمترات في حالة استخدام تقنيات التصحيح التفاضلي.

- **المساحة الأرضية (الطبوغرافية) التقليدية:** وهو الفرع الذي يهتم بقياس ورسم تفاصيل سطح الأرض محلياً. يتضمن ذلك القياسات الأرضية باستخدام أجهزة المساحة التقليدية مثل المحطة الشاملة (Total Station) والمساحة المستوى (Level) والشريط القياسي وغيرها. يتم في هذه المسوحات قياس المسافات والأزمنة والزوايا لتحديد مواقع النقاط ورسم الخرائط التفصيلية (الطبوغرافية) لمناطق محدودة المساحة كقطعة أرض أو موقع إنشاء. المخرجات عادة ما تكون خرائط كنتورية أو مخططات تفصيلية للموقع.
- **المساحة التصويرية (Photogrammetry) والمساحة التصويرية الرقمية:** هذا الفرع يهتم بالحصول على القياسات والمعلومات المكانية بالاعتماد على تحليل الصور الفوتوغرافية. في المساحة التصويرية الجوية التقليدية يتم التقاط صور جوية متداخلة ثم استخدام تقنيات الرؤية المجسمة لاستخراج المعلومات الثلاثية الأبعاد (كالمناسيب) ورسم الخرائط. أما المساحة التصويرية الرقمية الحديثة فتعتمد على الصور الرقمية (سواء من كاميرات رقمية على الطائرات أو صور أقمار صناعية عالية الدقة) ومعالجتها باستخدام برمجيات متخصصة لاستخراج المعالم ورسم الخرائط. تعتبر المساحة التصويرية عمومًا المصدر الرئيسي لإنتاج الخرائط الطبوغرافية متوسطة وكبيرة المقياس قبل ظهور تقنيات الليزر.
- **الاستشعار عن بعد وتحليل الصور الرقمية:** وهو الفرع الذي يركز على استخدام بيانات المستشعرات البعيدة (كالصور الفضائية وبيانات الرادار) لدراسة الظواهر على سطح الأرض. يتضمن ذلك معالجة الصور رقمياً لإبراز المعلومات المفيدة. على سبيل المثال، تحليل صور الأقمار الصناعية متعددة الأطياف لاستخراج الغطاء الأرضي (غطاء نباتي، مياه، عمران...) باستخدام تقنيات التصنيف الآلي. كما يشمل الاستشعار عن بعد الراداري والاستشعار الحراري وغيرها من التقنيات التي تسمح بالرصد في مختلف الظروف. التحليل الرقمي للصور يعتبر مجالاً بحد ذاته، حيث

يتطلب فهم الخوارزميات الخاصة بمعالجة الصور كالمرشحات وتحسين التباين ونماذج التصنيف.

- **علوم الخرائط والإسقاطات الجغرافية: (Cartography)** ويختص بكل ما يتعلق بإنتاج الخرائط وتصوير البيانات المكانية بصريًا. ويشمل ذلك تصميم الخرائط (اختيار الإسقاط المناسب، وتحديد الرموز والألوان والخطوط) بحيث تنقل المعلومات المكانية بوضوح وفعالية. مع تطور الحوسبة، أصبحت الخرائط الرقمية والتصور ثلاثي الأبعاد للمعطيات جزءًا من علم الخرائط. يلعب الكارتوجرافي دورًا مهمًا في الجيوماتيكس للتأكد من أن المخرجات الخرائطية مفهومة وصحيحة، ولعرض النتائج بأسلوب يدعم تفسير البيانات.
- **المساحة العقارية والإنشائية: (Cadastral and Engineering Surveying)** وهذا الفرع يهتم بتطبيق تقنيات المساحة لتحديد حدود الملكيات العقارية بدقة (المساحة العقارية)، وكذلك لأغراض الإنشاءات الهندسية (مثل مسح مسارات الطرق والجسور وتخطيط مواقع المباني). في المساحة العقارية، يتم وضع الحدود القانونية للأراضي وتوثيقها وإنتاج خرائط المساحة التي تعتمد عليها السجلات العقارية. أما في المساحة الإنشائية، فيتم نقل التصميم الهندسية إلى الطبيعة (Setting Out) وضمان تنفيذ المشاريع في المواقع الصحيحة وفق المخططات.
- **تقنية المعلومات وإدارة المعلومات: (Geoinformatics)** المكون الأخير يتعلق بالجانب التقني من البرمجيات وقواعد البيانات وهندسة نظم المعلومات الخاصة بالبيانات المكانية. وهو ما يربط كل المكونات السابقة ببعضها من خلال تطوير الأدوات البرمجية اللازمة لمعالجة وتحليل البيانات المكانية. يتضمن ذلك تطوير تطبيقات GIS، وإدارة قواعد البيانات المكانية الضخمة، وتطبيق تقنيات الويب في نشر الخرائط (مثل خدمات الخرائط على الإنترنت). هذا المجال يعتبر حلقة الوصل

بين علم الحاسوب والجيوماتيكس، حيث يستخدم مختص المعلومات الجغرافية مهارات البرمجة وقواعد البيانات لخدمة الاحتياجات المكانية.



شكل (١٤): مكونات علم الجيوماتيكس

هذه هي المكونات الرئيسية للجيوماتيكس (شكل ١٤) كما حددتها الأدبيات الأكاديمية. ويجدر الملاحظة أن هندسة الجيوماتيكس تعد فرعاً قريباً جداً، وهي تركز بشكل أكبر على تطبيق المبادئ الهندسية في تصميم وتشغيل الأنظمة التي تجمع البيانات المكانية وتحللها. لكن بشكل عام، يمكن اعتبار هندسة الجيوماتيكس مظلة تشمل تصميم الأجهزة والبرمجيات التي يستخدمها علماء الجيوماتيكس في المكونات المذكورة أعلاه.

إن فهم كل مكون من هذه المكونات يمكّن الطالب من تقدير اتساع نطاق علم الجيوماتيكس. فعلى سبيل المثال، قد يتخصص البعض لاحقًا في GIS وتطوير البرمجيات، بينما قد يتجه آخرون إلى الاستشعار عن بعد، أو يتخصصون في المساحة الميدانية. لكن تكوين نظرة شاملة عن هذه المكونات والتفاعل بينها هو ما يصنع خبير الجيوماتيكس المتكامل القادر على اختيار الأداة المناسبة لكل مهمة وحل المسائل المكانية بشكل فعال.

أسئلة للمراجعة

- عدد خمسة من المكونات الرئيسية لعلم الجيوماتيكس، وشرح بإيجاز وظيفة كل منها.
- ما الفرق بين المساحة الأرضية الطبوغرافية والمساحة الجيوديزية؟ وأين يُستخدم كل منهما؟
- أي من مكونات الجيوماتيكس يُعنى بمعالجة الصور الفضائية؟ وأيها يهتم برسم الخرائط وإخراجها بصريًا؟

تمارين

- ارسم مخططًا (Chart) أو خريطة مفاهيم تُظهر مكونات علم الجيوماتيكس المختلفة والعلاقات بينها. بيّن في المخطط كيف يمكن أن تتدفق البيانات من مكون لآخر (مثلاً: من المساحة الأرضية إلى GIS إلى الكارتوجرافيا).
- اختر مشروعًا صغيرًا (افتراضيًا) يتطلب استخدام أكثر من مكون من مكونات الجيوماتيكس. مثلاً: مشروع تخطيط لبناء طريق جديد. اكتب فقرة تشرح فيها كيف سيساهم كل مكون من المكونات في إنجاز المشروع: من جمع البيانات ميدانيًا (المساحة)، إلى تحليل المسار الأمثل (GIS)، إلى تصميم خريطة المسار (Cartography)، وهكذا.

- ابحث عن برنامج أو أداة برمجية مشهورة مستخدمة في كل مكون من مكونات الجيوماتيكس (مثل ArcGIS :في GIS ، أو ERDAS في الاستشعار عن بعد، أو AutoCAD Civil 3D في المساحة الهندسية). قم بإعداد جدول مختصر يوضح اسم البرنامج والمكون الذي ينتمي إليه ووظيفة موجزة له.

الفصل السابع

تقنيات علم الجيوماتيكس

يعتمد علم الجيوماتيكس على طيف واسع من التقنيات المتطورة التي تمكنه من جمع البيانات المكانية بدقة ومعالجتها وتحليلها بفعالية. فيما يلي أبرز التقنيات والأدوات التي يقوم عليها الجيوماتيكس وكيفية عملها:

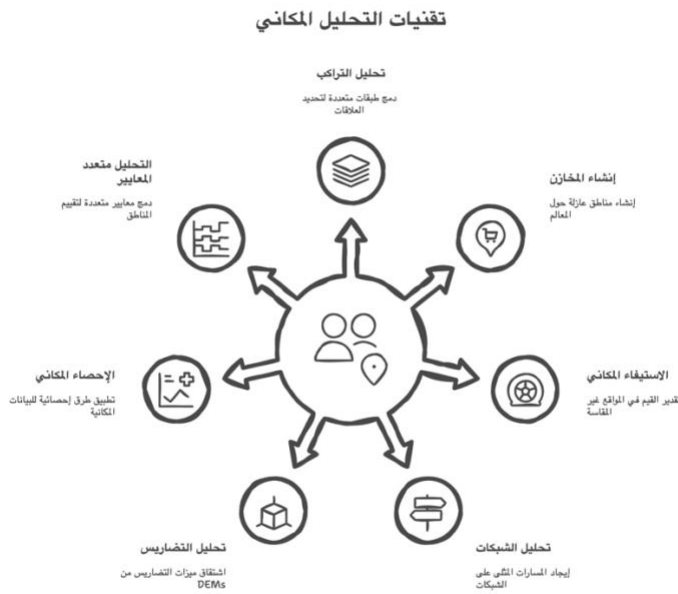
(١) نظم المعلومات الجغرافية (GIS) تعتبر برامج الـ GIS العمود الفقري لتحليل وإدارة البيانات في الجيوماتيكس. فهي توفر أدوات قوية لجمع البيانات الجغرافية وتخزينها وربطها ببيانات وصفية أخرى، بالإضافة إلى تحليلها مكانيًا. من خلال الـ GIS يمكن إعداد قواعد بيانات مكانية معقدة وإجراء عمليات حسابية متنوعة (مثل حساب المساحات والأطوال، تحليل القرب المكاني، والنمذجة ثلاثية الأبعاد) وعرض النتائج على شكل خرائط تفاعلية. ومن أشهر البرامج في هذا المجال ArcGIS: المنتج من Esri، الذي يُعد أحد أكثر البرامج شيوعًا بين المتخصصين، وكذلك QGIS المفتوح المصدر الذي يلقي رواجًا لتوفره مجانًا وسهولة تخصيصه. تتيح هذه البرامج إنتاج خرائط رقمية سهلة التحديث، وتجعل عملية تفسير البيانات المكانية عملية سلسلة حتى لغير المتخصصين عبر الخرائط التفاعلية وتقارير التحليل.

وبعد جمع البيانات وربطها بشكل صحيح بالأرض، يتضمن علم الجيوماتيكس تقنيات لتحليلها واستخلاص المعلومات وتمثل تقنية فرعية في نظم المعلومات الجغرافية منها:

(أ) التحليل المكاني في نظم المعلومات الجغرافية (Spatial Analysis in GIS)

يتضمن صندوق أدوات من التقنيات (شكل ١٥) مثل:

- تحليل التراكب: (Overlay Analysis) دمج طبقات متعددة لتحديد العلاقات (مثال: تراكب مناطق الفيضانات مع الكثافة السكانية لتحديد المجتمعات المعرضة للخطر).
- إنشاء المخازن: (Buffering) إنشاء مناطق عازلة على مسافات محددة حول المعالم (مفيد لتحليل القرب، مثل تحديد جميع الآبار ضمن 1 كم من مكب نفايات).
- الاستيفاء المكاني: (Spatial Interpolation) مثل Kriging أو Inverse Distance Weighting لتقدير القيم في المواقع غير المقاسة (مثال: إنشاء سطح تلوث مستمر من قياسات نقاط أجهزة الاستشعار).
- تحليل الشبكات: (Network Analysis) لإيجاد المسارات المثلى أو مناطق الخدمة على شبكات النقل (يُستخدم في الخدمات اللوجستية وتوجيه المرافق).
- تحليل التضاريس: (Terrain Analysis) لاشتقاق الانحدار، الاتجاه، حدود الأحواض المائية من DEMs ؛ تحليل مناطق الرؤية (Viewshed) لتحديد ما يمكن رؤيته من نقطة (مثل مواقع أبراج الاتصالات).
- الإحصاء المكاني: (Geostatistics) تطبيق طرق إحصائية تراعي الارتباط المكاني، لإجراء استيفاء أكثر تقدماً أو تقدير عدم اليقين في البيانات المكانية.
- التحليل متعدد المعايير: (Multi-Criteria Decision Analysis) دمج طبقات متعددة ذات أوزان مختلفة لترتيب أو تقييم المناطق وفق معايير متنوعة (شائع في دراسات ملاءمة الأراضي أو تقييم الأثر البيئي).



شكل (١٥): تقنيات التحليل المكاني

ب) تحليل الصور (Image Analysis)

- يُستخدم في الجيوماتيكس تقنيات مثل تحليل الصور القائم على الكائنات (OBIA) (Object-Based Image Analysis) -، حيث يتم تقسيم الصورة إلى أجسام ذات معنى (مجموعات بكسلات) وتصنيفها، بدلاً من التصنيف بكسل بكسل.
- أصبحت هذه التقنية شائعة مع الصور عالية الدقة حيث يمكن تقسيم الأشجار الفردية أو أسطح المباني كأجسام وتصنيفها.

ج) معالجة السحب النقطية (Point Cloud Processing)

مع تزايد توفر بيانات LiDAR والـ فوتوغراممري، تشمل التقنيات هنا:

- التجميع ثلاثي الأبعاد (3D Clustering).
- استخراج المعالم (مثل النمذجة التلقائية لخطوط الكهرباء أو المباني).
- تسجيل السحب (Scan Registration) لمحاذاة عدة سحُب نقطية.

برامج مثل Pix4D أو Leica Cyclone توفر مثل هذه التقنيات.

د) التحليل الزمني (Temporal Analysis)

مع تزايد بيانات السلاسل الزمنية (مثل تراكم صور الأقمار الصناعية، أو السلاسل الزمنية لنقاط GPS لحركة موقع):

- تشمل التقنيات تحليل السلاسل الزمنية.
- خوارزميات اكتشاف التغيرات.
- استخدام متزايد للتعلم الآلي للتنبؤ بالتغيرات المستقبلية أو كشف الشذوذ في البيانات الزمانية-المكانية.

هـ) تحليلات البيانات المكانية الضخمة (Big Data Geospatial Analytics)

تقنيات للتعامل مع مجموعات البيانات الضخمة جداً باستخدام الحوسبة الموزعة (مثل Hadoop، Spark) والخوارزميات المتوازية.

مثال: تحليل مليارات سجلات GPS من الأجهزة المحمولة لاستنتاج أنماط المرور يتطلب تقنيات مكانية للبيانات الضخمة (مثل الفهرسة H3 أو S2 لتقسيم الفضاء).

هذا مجال متطور يمثل التقاء علوم الحاسوب مع الجيوماتيكس بشكل قوي.

(و تقنيات تكامل البيانات والنمذجة (Data Integration and Modeling Techniques)

إحدى السمات المميزة للجيوماتيكس هي دمج البيانات غير المتجانسة. تتضمن تقنيات هذا المجال أن البيانات من مصادر مختلفة تتناسب معاً ويمكن استخدامها في نمذجة العمليات الواقعية:

- **تحويل الإحداثيات: (Coordinate Transformations)** عندما تأتي البيانات من أنظمة إحداثيات مختلفة (وهو أمر شائع، مثل خرائط قديمة في شبكة محلية وأخرى حديثة في WGS84 ، تكون تقنيات التحويل بين الأنظمة (باستخدام إزاحات Datum ، صيغ الإسقاط) أساسية.
- **دمج البيانات: (Data Fusion)** مثل دمج صورة بانكروماتية عالية الدقة مع صور متعددة الأطياف منخفضة الدقة للحصول على صورة ملونة عالية الدقة (Pan-sharpening). مثال آخر: دمج LiDAR مع الصور لتصنيف الغطاء الأرضي.
- **النمذجة ثلاثية الأبعاد وتكامل BIM:** تقنيات لتحويل السحب النقطية أو بيانات المسح إلى نماذج ثلاثية الأبعاد كاملة (مثل نموذج مدينة ثلاثي الأبعاد). كما تشمل تقنيات التبسيط (مستويات التفاصيل LOD) والتكامل مع نماذج معلومات البناء (BIM) للبنية التحتية.
- **الخرائط على الويب و Web GIS:** باستخدام منصات ومعايير مثل HTML5 ، واجهات برمجة JavaScript ، WMS ، WFS للنشر البيانات المكانية. الهدف هنا ليس التحليل بل تقديم البيانات ودمجها مباشرة. مثال: دمج طبقة Google Maps مع بيانات خاصة عبر واجهة برمجة تطبيقات.

٢) **تقنية الاستشعار عن بعد (Remote Sensing)** وهي التقنية التي تعتمد على استخدام الأقمار الصناعية والطائرات لجمع بيانات عن سطح الأرض بدون لمس مباشر. وتوفر تقنيات الاستشعار عن بعد مرئيات فضائية عالية الدقة متعددة الأطياف، تتيح مراقبة التغيرات البيئية وتحديد الخصائص الأرضية عن بعد. على سبيل المثال، يستخدم الاستشعار عن بعد لكشف تغير الغطاء النباتي، ورصد التصحر، وتتبع تطور المدن، ومراقبة الظواهر المناخية. من التقنيات الفرعية ضمن الاستشعار عن بعد: الرادار الذي يمكنه التصوير ليلاً ونهاراً وتحت الظروف الغائمة باستخدام الموجات الميكروية، وتقنية التصوير الحراري التي تسجل انبعاثات الحرارة من سطح الأرض. يستفيد علم الجيوماتيكس من هذه التقنية بشكل واسع، إذ تُستخدم الصور الجوية والفضائية كأساس للكثير من التحليلات المكانية في نظم المعلومات الجغرافية، مثل إنتاج خرائط الاستخدامات الأرضية أو مراقبة الكوارث الطبيعية كالحرائق والفيضانات. جدير بالذكر أن تحليل صور الاستشعار عن بعد يتطلب أيضاً تقنيات برمجية مثل برنامج ENVI و ERDAS IMAGINE اللذين يقدمان أدوات متقدمة لمعالجة الصور الطيفية.

وتشمل تقنيات الاستشعار عن بعد عبر الأقمار الصناعية:

- **التصحيح الهندسي (Geometric Correction)** لإزالة التشوهات الناتجة عن زاوية المستشعر أو انحناء الأرض، وغالباً يتم إنتاج صور "مصححة هندسياً - Orthorectified" باستخدام نقاط تحكم أرضية ونماذج DEM.
- **التصحيح الإشعاعي (Radiometric Correction)** لتعديل الضجيج الحسي أو تأثيرات الغلاف الجوي.

بعد المعالجة المسبقة، يتم تطبيق تقنيات التحليل مثل:

أ) **تصنيف الصور (Image Classification)**

- غير موجه: (Unsupervised) ترك الخوارزميات لتجميع البكسلات في مجموعات.
- موجه: (Supervised) استخدام بيانات تدريب لأنواع معروفة من استخدامات الأراضي لتصنيف البقية.
- الأساليب: من التصنيف باحتمالية العظمى التقليدي (Maximum Likelihood) إلى أساليب التعلم الآلي الحديثة (مثل Random Forests ، Support Vector Machines، وحتى التعلم العميق CNNs) لاكتشاف المعالم).

ب) اكتشاف التغير: (Change Detection)

- مقارنة صور متعددة التواريخ لاكتشاف التغيرات (مثل إزالة الغابات أو التوسع العمراني).
- قد تكون بسيطة مثل الفرق بين الصور أو أكثر تعقيداً مثل المقارنة بعد التصنيف.

ج) حساب المؤشرات: (Index Calculations)

- باستخدام الحزم الطيفية لحساب مؤشرات مثل NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) لصحة الغطاء النباتي.
- مؤشرات أخرى للمياه، المعادن، إلخ.
- هذه تقنية لاشتقاق معلومات موضوعية من البيانات الطيفية الخام.

د) استخراج المعالم: (Feature Extraction)

- التعرف على معالم محددة مثل الطرق، المباني، المسطحات المائية.

- يتم ذلك إما بالرقمنة اليدوية أو باستخدام تقنيات التعرف الآلي على الأنماط.
- تُستخدم تقنيات الذكاء الاصطناعي بشكل متزايد لاستخراج المعالم من الصور عالية الدقة، بل وحتى لتحليل صور الطائرات المسيّرة لمهام مثل عد السيارات أو تحديد أنواع الأشجار.

٣) تقنيات تحديد المواقع والملاحة (Positioning and Navigation Techniques)

تقنية تحديد المواقع العالمية: (GPS/GNSS) تمكن هذه التقنية من تحديد إحداثيات المواقع على سطح الأرض بدقة عالية باستخدام إشارات الأقمار الصناعية. يتألف نظام GPS الأمريكي من مجموعة أقمار (حوالي 24 قمراً) تدور حول الأرض وترسل إشارات تمكّن أجهزة الاستقبال على الأرض من حساب الموقع بدقة (في العادة بحدود أمتار، ويمكن تحسينها إلى سنتيمترات باستخدام طرق تصحيحية). هناك أيضاً أنظمة موازية مثل GLONASS الروسي و Galileo الأوروبي و BeiDou الصيني والتي يشار إليها مجتمعة باسم GNSS (أنظمة الملاحة العالمية). يعتمد الجيوماتيكس على GPS في معظم تطبيقاته الميدانية: بدءاً من توقيع مواقع نقاط المسح، مروراً بتتبع تحركات أجهزة القياس أو المركبات في مشاريع جمع البيانات، وحتى التطبيقات اليومية مثل تتبع أساطيل النقل وتوجيه المستخدمين عبر تطبيقات الخرائط. ساهم GPS في جعل عملية جمع البيانات المكانية أكثر سهولة ومرونة، إذ لم يعد المساح مضطراً لإجراء قياسات تقليدية معقدة لتعيين موقع نقطة، بل يكفيهِ جهاز استقبال صغير الحجم ليحصل على إحداثياتها مباشرة.

وتضمن هذه التقنيات أن جميع بيانات علم الجيوماتيكس (Geomatics) تكون مرتبطة بالأرض بطريقة متسقة على النحو التالي:

(أ) تقنية تحديد المواقع التفاضلي (Differential GNSS – DGNS)

يُستخدم فيه مستقبلان أو أكثر من مستقبلات GNSS ، حيث يكون أحدهما محطة مرجعية في إحداثيات معروفة، والآخر جهاز متنقل في الحقل. من خلال مقارنة الإشارات، يمكن إلغاء الأخطاء (مثل تأخير الغلاف الجوي وأخطاء ساعات الأقمار الصناعية)، مما يوفر دقة أعلى بكثير للجهاز المتنقل.

- من هذه التقنيات: الملاحة الحركية في الزمن الحقيقي (RTK GNSS) ، والتي توفر تصحيحات آنية عبر الراديو أو الإنترنت، مما يسمح للمساحين بالحصول على مواقع دقيقة بالسنتيمتر على عصا مسح متحركة بشكل لحظي.
- الملاحة الحركية بعد المعالجة (PPK) مشابهة لـ RTK ولكن يتم تطبيق التصحيحات بعد جمع البيانات.

تُستخدم هذه التقنيات بشكل أساسي في علم المعلومات الجغرافية لمهام مثل: مسح حدود الملكيات أو إعداد مواقع الأعمال الهندسية بسرعة.

(ب) الشبكات المرجعية RTK والشبكات المرجعية العاملة باستمرار (Network RTK and CORS)

تم إنشاء شبكات محطات مرجعية عاملة باستمرار (CORS) في العديد من الدول. تستخدم هذه الشبكات عدة مستقبلات GNSS مرجعية وتقوم بنمذجة الخطأ عبر منطقة واسعة.

- تسمح تقنية Network RTK باشتقاق التصحيحات لموقع المستخدم دون الحاجة إلى محطة قاعدة محلية.
- تُعتبر تقنية متقدمة لزيادة الموثوقية والمدى.

- مثال: يمكن للمسّاح الاتصال بشبكة RTK الوطنية عبر مودم خلوي والحصول على التصحيحات مباشرة.

ج) تحديد الموقع النقطي الدقيق (Precise Point Positioning – PPP)

تقنية GNSS لا تتطلب محطة قاعدة قريبة، بل تعتمد على:

- معلومات دقيقة لمدارات الأقمار الصناعية.
- بيانات ساعات الأقمار الصناعية.
- نمذجة الأخطاء.

تسمح بالوصول إلى دقة في حدود الديسيمتر أو حتى السنتيمتر على مستوى العالم.

العيب: تستغرق وقتاً أطول للوصول إلى الاستقرار، وغالباً ما تُستخدم في المناطق النائية حيث لا تتوفر تصحيحات تفاضلية.

د) توجيه المحطات الشاملة عبر GNSS (Total Station Orientation via GNSS)

في مواقع البناء، تُستخدم هذه التقنية لمعايرة المحطة الشاملة عبر نقاط مأخوذة من GNSS.

على سبيل المثال: بدلاً من استخدام البوصلة أو الترافيرس السابق لتحديد الاتجاه، يتم تحديد إحداثيات واتجاه المحطة الشاملة عبر قياس نقطة عُرفت إحداثياتها باستخدام GNSS.

هـ) أنظمة الملاحة بالقصور الذاتي (Inertial Navigation Systems – INS)

غالباً ما تُدمج مع GNSS في نظم رسم الخرائط المتحركة (مثل سيارة مزودة بـ LiDAR أو طائرة تقوم بمسح جوي).

- تستخدم INS أجهزة التسارع والجيروسكوبات لتتبع الموقع والاتجاه بين تحديثات إشارة GNSS أو عند انقطاع GNSS مؤقتاً.
- يتيح الدمج بين GNSS و INS الحصول على تحديد مواقع مستمر وموثوق.

الأهمية في الجيوماتيكس: أساسي في المسوحات الجوية، حيث تستخدم الطائرات GNSS/INS لرسم كل صورة أو نبضة LiDAR بموقع واتجاه دقيقين.

(و تقنيات تحديد المواقع بالليزر والتقنيات الداخلية (Laser-based Positioning and Indoor Techniques)

بعيداً عن GNSS ، تشمل تقنيات تحديد المواقع الأخرى:

- تتبع المحطات الشاملة: حيث يمكن لمحطة شاملة روبوتية متابعة عاكس وتوفير إحداثيات في الزمن الحقيقي.

- أنظمة تحديد المواقع الداخلية الناشئة: مثل الراديو ذي النطاق العريض للغاية

(Ultra-Wideband Radio) أو SLAM (Simultaneous Localization and

Mapping) البصري، والمستخدم في روبوتات رسم الخرائط الداخلية.

بينما أحدث GNSS ثورة في تحديد المواقع الخارجية، فإن تقنيات الجيوماتيكس الداخلية لا تزال قيد التطوير، إذ أن إشارات GPS لا تخترق المباني جيداً.

قد لا تكون هذه التقنيات منتشرة بعد على مستوى دراسات البكالوريوس، لكنها تُستخدم في سيناريوهات متخصصة مثل رسم خرائط المصانع أو الكهوف، حيث يجب الاعتماد على بدائل مثل شبكات الترافيرس أو الإغلاقات الشبكية، تماماً كما في المساحة التقليدية ولكن مع دعم محتمل من المساحات الليزرية أو وحدات القصور الذاتي المثبتة على الأقدام.

٤) **تقنية الليدار (LiDAR):** تعتمد تقنية LiDAR على استخدام نبضات الليزر لجمع بيانات تضاريسية ثلاثية الأبعاد دقيقة لسطح الأرض. يعمل جهاز الليدار على إرسال آلاف النبضات الليزرية في الثانية نحو الهدف وقياس الزمن الذي تستغرقه النبضات للعودة بعد انعكاسها، وبذلك يتم حساب المسافة بدقة عالية. بتركيب جهاز الليدار على طائرة أو طائرة بدون طيار (درون) يمكن مسح مساحات واسعة بسرعة وإنتاج نماذج ارتفاعات رقمية عالية الدقة (تصل دقتها إلى أقل من المتر أو حتى السنتيمترات). يُستخدم الليدار بشكل كبير في مشاريع إعداد الخرائط ثلاثية الأبعاد للمدن (نماذج المباني والتضاريس) وفي دراسات الغابات (لقياس ارتفاعات الأشجار وكثافتها) وفي التخطيط العمراني لتحليل تغيرات التضاريس الطبوغرافية. إحدى أهم ميزات الليدار قدرته على "اختراق" الفراغات بين الأوراق والأغصان في الغابات الكثيفة والوصول إلى الأرض، مما يجعل منه أداة فريدة لرسم طبوغرافيا الأرض تحت الغطاء النباتي الكثيف، حيث قد لا تستطيع تقنيات التصوير التقليدية تحقيق ذلك بسهولة. مع تزايد الاعتماد على الليدار، توفرت أيضاً برامج مختصة للتعامل مع بياناته مثل **Global Mapper** الذي يدعم تحليل البيانات ثلاثية الأبعاد والطبوغرافية.

وتعرف كذلك باسم تقنية المسح بالليزر الأرضي: **(Terrestrial Laser Scanning)**

- تقنية ناشئة تقوم على تركيب ماسح ليزري (LiDAR) على حامل ثلاثي القوائم.
- يلتقط ملايين النقاط من البيئة المحيطة (مثل المباني، المصانع، المنحدرات).
- يتطلب الأمر إعداد عدة محطات مسح وتجميع السُحُب النقطية (Point Cloud Registration) باستخدام عواكس أو معالم طبيعية كنقاط ربط.

النتيجة: قاعدة بيانات ثلاثية الأبعاد عالية التفصيل يمكن استخراج القياسات منها أو إنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد.

وتشمل تقنيات:LiDAR

- أنماط التشغيل LiDAR: جوي على متن الطائرات أو الطائرات المسيّرة، و LiDAR أرضي متحرك على المركبات.
- معالجة البيانات تتطلب:
 - الإسناد الجغرافي لكل نبضة ليزر باستخدام GNSS/IMU على متن الجهاز (لتحديد موقع المستشعر واتجاهه وقت كل نبضة).
 - إنشاء سُحب نقطية.(Point Clouds)

من السحابة النقطية:

- يتم تطبيق الترشيح لفصل الأرض عن غيرها.
- التقسيم (Segmentation) لتجميع النقاط في أجسام (مثل الأشجار أو المباني).
- إنتاج منتجات مثل DEMs أو نماذج المباني.

ميزة: LiDAR قدرته على تسجيل عدة انعكاسات (Multiple Echoes) الانعكاس الأول والأخير)، مما يساعد على تحديد قمم الغطاء النباتي مقابل الأرض أسفل الأشجار.

•الاستشعار الراداري(Radar Remote Sensing)

تختلف تقنيات الرادار ذي الفتحة التركيبية (SAR) عن الاستشعار البصري.

- الرادار جهاز نشط يوفر إضاءته الخاصة.
- تقنيات متقدمة:

- التداخل الراداري (InSAR) لقياس التشوه الأرضي بمقارنة اختلافات الطور بين إشارتين راداريتين من تاريخين مختلفين (يُستخدم لرصد الحركات الأرضية الطفيفة مثل الهبوط الأرضي أو إزاحات الزلازل).
- الاستقطاب الراداري (Polarimetry) لاستخراج معلومات عن خصائص السطح باستخدام الإشارات المستقطبة.

تتطلب صور الرادار معالجة خاصة:

- ترشيح ضوضاء. Speckle
- التصحيح الهندسي (لأن الصور الرادارية جانبية النظر وتحتاج إلى تصحيح تضاريسي).

٥) المحطات الشاملة وأجهزة المسح الأرضي الإلكترونية: لا يزال جهاز المحطة الشاملة (Total Station) وأجهزة المسح الأرضي الإلكترونية أداة رئيسية في جمع البيانات المكانية بدقة عالية على المستوى المحلي. المحطة الشاملة تجمع بين جهاز الثيودولايت الإلكتروني (لقياس الزوايا) وجهاز قياس المسافة الإلكتروني (EDM) في جهاز واحد، وتتيح تخزين القراءات رقمياً وحساب إحداثيات النقاط مباشرة في الموقع. هذه التقنيات ضرورية للأعمال المساحية التفصيلية (مثل تحديد حدود قطعة أرض للبناء، أو توقيع مخطط مشروع على الأرض) حيث الدقة العالية مطلوبة. كما أنها تُستخدم لمعايرة نتائج التقنيات الأخرى (مثل التحقق من دقة بيانات GPS في منطقة معينة).

ويبقى المسح الأرضي أساسياً في المشاريع التي تتطلب دقة عالية أو التي تغطي مساحات صغيرة. وتشمل التقنيات الرئيسية ما يلي:

(أ) الترافيرس والتثليث (Traversing and Triangulation)

- الترافيرس: تقنية كلاسيكية لإنشاء شبكات من النقاط المقاسة. حيث يقوم المساحون بقياس سلسلة من الخطوط المترابطة (مسافات وزوايا)، عادةً حول قطعة أرض أو على طول ممر، ويتم حساب إحداثيات كل نقطة نسبةً إلى نقطة بداية.
 - التثليث: استخدم تاريخياً للشبكات الوطنية، حيث يتم تشكيل مثلثات كبيرة عبر المناظر الطبيعية بمراقبة الزوايا بين إشارات بعيدة (مثل منارات على قمم الجبال). وبمجرد قياس خط أساس واحد، يمكن حساب جميع المسافات الأخرى من الزوايا.
- اليوم، استُبدل التثليث إلى حد كبير باستخدام GNSS للشبكات الواسعة، لكن المبادئ الرياضية لا تزال مستخدمة.

(ب) التسوية (Leveling)

- التسوية الدقيقة هي التقنية المستخدمة لتحديد الفروقات في الارتفاع بين النقاط باستخدام جهاز التسوية (Level) وقضيب مدرّج.
- يبدأ العمل من ارتفاع معلوم (Benchmark)، ثم يتم نقل الارتفاعات تدريجياً عبر المسافات.
 - تبقى هذه الطريقة من أكثر الطرق دقة لإنشاء مرجع رأسي (Vertical Control)، حيث يمكن تحقيق دقة على مستوى المليمترات لمسافات كيلومترية (في التسوية الجيوديسية عالية الدقة).

حتى مع GPS ، تبقى التسوية مهمة، لأن قياسات الارتفاع باستخدام GPS تحتاج إلى نماذج الجيود لتحويلها إلى ارتفاعات أرثومترية (Orthometric Height) وفي المشاريع الحرجة، قد تُستخدم التسوية التقليدية للتحقق من بيانات GPS أو لتكثيفها.

ج) المسوحات باستخدام المحطة الشاملة (Total Station Surveys)

المحطة الشاملة هي أداة رقمية تجمع بين:

- الثيودولايت الإلكتروني (لقياس الزوايا).
- جهاز قياس المسافات الإلكتروني (EDM).

يستخدم المساحون هذه الأجهزة لقياس الزوايا (الأفقية والرأسية) والمسافات إلى عواكس أو أسطح عاكسة. ومن خلال وضع الجهاز على نقاط معروفة أو باستخدام تقنيات إعادة القسم (Resection) ، يمكن حساب إحداثيات نقاط مجهولة.

منهجيات شائعة:

- المسح الشعاعي (Radial Surveying): قياس عدة نقاط من موقع جهاز واحد.
- تقنيات التقاطع وإعادة القسم (Intersection/Resection): حساب المواقع باستخدام زوايا متعددة.

تتميز المحطات الشاملة بقدرتها على تحقيق دقة أقل من السنتيمتر، وتخزين البيانات رقمياً لدمجها مباشرة في برامج CAD أو GIS.

د) المسوحات التفصيلية (Detail Surveying / Topographic Mapping)

تشمل التقنيات الخاصة بالتقاط التفاصيل الدقيقة:

- تقليدياً: المسح باستخدام الطاولة) Plane Table Surveying طريقة تاريخية لرسم الخرائط في الميدان.
- حالياً: باستخدام المحطات الشاملة أو أجهزة GNSS المحمولة لالتقاط الخطوط الكسرية (Breaklines) ، والنقاط المميزة (Spot Elevations) ، ومواقع المعالم.

غالباً ما يستخدم المساحون رموزاً لتصنيف المعالم أثناء المسح (مثل TR: للشجرة Tree ، BL: لخط البناء (Building Line) ، لتسهيل إعداد الخرائط لاحقاً.

و) تقنية التخطيط والتنفيذ (Stakeout and Setting Out)

هو العكس تماماً لعملية جمع البيانات – أي استخدام أدوات المسح لتحديد المواقع على الأرض استناداً إلى تصميم جاهز.

على سبيل المثال: عند تحديد إحداثيات زاوية مبنى مقترح، يستخدم المساحون الزوايا والمسافات من نقاط مرجعية معروفة، أو GNSS ، لتحديد هذا الموقع ميدانياً.

تُعد هذه التقنية أساسية في البناء، حيث يضمن علم المعلومات الجغرافية أن ما يتم إنشاؤه يتطابق مع الإحداثيات المخططة.

ل) تقنية المعايرة والتسوية (Calibration and Adjustment)

جميع قياسات المسح تحتوي على أخطاء (عشوائية أو منتظمة).

- تستخدم تقنيات مثل التسوية بطريقة المربعات الصغرى (Least Squares Adjustment) لتعديل شبكات القياسات إحصائياً، وتوزيع الأخطاء بأفضل شكل ممكن، وتقدير دقة النتائج.
- تُعد هذه التقنية أساسية في معالجة الشبكات الجيوديسية.

على سبيل المثال: بعد تنفيذ مسح GPS أو ترافيرس باستخدام المحطة الشاملة، يتم تطبيق التسوية لإغلاق الأخطاء الطفيفة وتوفير أفضل إحداثيات ممكنة.

م) الجمع بين التقنيات الحديثة

غالباً ما يتم الجمع بين عدة تقنيات في المسح الأرضي الحديث.

مثال شائع:

- استخدام GNSS لتحديد نقاط التحكم بسرعة.
- استخدام المحطة الشاملة للتفاصيل الدقيقة أو تحت الغطاء النباتي (حيث قد يفشل GNSS).

٦) التصوير الجوي بالطائرات بدون طيار (Drones/UAVs) في السنوات الأخيرة، أصبحت الطائرات بدون طيار المزودة بكاميرات عالية الدقة من التقنيات الثورية في الجيوماتيكس. تمكن هذه الطائرات الفرق العلمية والمساحين من التقاط صور جوية تفصيلية لمناطق محدودة أو مواقع مشاريع بتكلفة أقل وسرعة أكبر مقارنة بالتصوير الجوي التقليدي. يمكن معالجة الصور الملتقطة بواسطة الدرون بتقنيات المساحة التصويرية الرقمية لإنتاج نماذج ثلاثية الأبعاد وخرائط أرثوغرافية دقيقة. تُستخدم الدرون على نطاق واسع في أعمال المسح الهندسي لمواقع الإنشاء، وفي الزراعة الدقيقة لرصد صحة المحاصيل، وفي توثيق المعالم الأثرية، وحتى في رسم خرائط الكوارث بعد حدوثها. إن دمج تقنية الدرون مع برمجيات GIS وبرمجيات معالجة الصور أضاف بعداً جديداً ومرونة عالية لعملية جمع البيانات المكانية.

ويعتبر رسم الخرائط باستخدام الطائرات المسيّرة (UAV / Drone Mapping) من أهم المجالات التقنية الحديثة التي تدعم علم الجيوماتيكس.

حيث تُستخدم طائرات صغيرة مزودة بكاميرات (أو وحدات LiDAR) للتحليق على ارتفاع منخفض، وتنتج خرائط عالية الدقة (حتى مستوى السنتيمتر).

وتعتمد على الأساليب التقنية التالية:

- التخطيط التلقائي للرحلات.
- استخدام أهداف تحكم أرضية لتحسين الدقة.
- تطبيق الفوتوغراممري (خوارزميات Structure-from-Motion لاستخراج الصور المصححة (Orthophotos) والنماذج ثلاثية الأبعاد.

وتتميز الطائرات المسيّرة بالمرونة وسرعة النشر، لكنها تتطلب تقنيات دقيقة للمعايرة (معايرة الكاميرات مثلاً)، وغالباً ما تنتج مجموعات بيانات ضخمة تحتاج إلى برامج متخصصة للمعالجة.

وتتيح هذه التقنيات جمع البيانات من مسافة بعيدة، مما يسمح بتغطية مساحات كبيرة بسرعة نسبية:

(أ) الفوتوغراممري الجوي (Aerial Photogrammetry)

يتضمن سير العمل الكلاسيكي الطيران بطائرة أو طائرة مسيّرة (Drone) على طول خطوط طيران مخططة مسبقاً، والتقاط صور متداخلة (عادةً بنسبة تداخل أمامي 60% وتداخل جانبي حوالي 30%).

تشمل التقنيات:

- التثليث الكتلي (Block Triangulation / Aero-Triangulation): حيث يتم تحديد نقاط الربط على الصور المتداخلة (حالياً يتم ذلك خوارزمية).
- طريقة التسوية بالحزم (Bundle Adjustment) لحساب التوجه الخارجي لكل صورة وإحداثيات نقاط الربط في آن واحد.

بمجرد معرفة التوجه الخارجي للصور، يمكن استخدامها لإنتاج خرائط أو نماذج ارتفاع رقمية (DEMs) كما يتيح التجسيم المجسم (Stereoscopic Plotting)، سواء باستخدام برامج متخصصة أو معدات، للمستخدم أو الخوارزميات التلقائية تتبع الخطوط الكونتورية والمعالج برؤية النموذج ثلاثي الأبعاد المشكل من أزواج الصور.

ب) استخراج النماذج الرقمية للارتفاعات (DEM Extraction)

يمكن لكل من الفوتوغراممري وتقنيات الاستشعار عن بعد الأخرى مثل LiDAR إنتاج نماذج ارتفاع رقمية.

- في الفوتوغراممري: يتم استخدام تقنيات مطابقة الصور – (Image Matching) أي تحديد البكسلات المتقابلة في الصور المجسمة – لحساب الارتفاعات في عدة نقاط.
- أسلوب حديث: المطابقة الكثيفة للصور (Dense Image Matching).
- في LiDAR: يتم الحصول مباشرة على بيانات نقطية ثلاثية الأبعاد.

تشمل تقنيات المعالجة:

- الترشيح (لفصل نقاط الأرض عن الغطاء النباتي/المباني).

- الاستيفاء لتشكيل سطح مستمر.

ج) معالجة مرئيات الأقمار الصناعية (Satellite Image Processing)

تشمل تقنيات الاستشعار عن بعد عبر الأقمار الصناعية:

- التصحيح الهندسي: (Geometric Correction) لإزالة التشوهات الناتجة عن زاوية المستشعر أو انحناء الأرض، وغالباً يتم إنتاج صور "مصححة هندسياً – Orthorectified" باستخدام نقاط تحكم أرضية ونماذج DEM.
- التصحيح الإشعاعي: (Radiometric Correction) لتعديل الضجيج الحسي أو تأثيرات الغلاف الجوي.

بعد المعالجة المسبقة، يتم تطبيق تقنيات التحليل مثل:

• تصنيف المرئيات: (Image Classification)

- غير موجه: (Unsupervised) ترك الخوارزميات لتجميع البكسلات في مجموعات.
- موجه: (Supervised) استخدام بيانات تدريب لأنواع معروفة من استخدامات الأراضي لتصنيف البقية.
- الأساليب: من التصنيف باحتمالية العظمى التقليدي (Maximum Likelihood) إلى أساليب التعلم الآلي الحديثة (مثل Random Forests ، Support Vector Machines، وحتى التعلم العميق CNNs) لاكتشاف المعالم).

• اكتشاف التغير: (Change Detection)

- مقارنة صور متعددة التواريخ لاكتشاف التغيرات (مثل إزالة الغابات أو التوسع العمراني).
- قد تكون بسيطة مثل الفرق بين الصور أو أكثر تعقيداً مثل المقارنة بعد التصنيف.

• حساب المؤشرات: (Index Calculations)

- باستخدام الحزم الطيفية لحساب مؤشرات مثل NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) لصحة الغطاء النباتي.
- مؤشرات أخرى للمياه، المعادن، إلخ.
- هذه تقنية لاشتقاق معلومات موضوعية من البيانات الطيفية الخام.

• استخراج المعالم: (Feature Extraction)

- التعرف على معالم محددة مثل الطرق، المباني، المسطحات المائية.
- يتم ذلك إما بالرقمنة اليدوية أو باستخدام تقنيات التعرف الآلي على الأنماط.
- تُستخدم تقنيات الذكاء الاصطناعي بشكل متزايد لاستخراج المعالم من الصور عالية الدقة، بل وحتى لتحليل صور الطائرات المسيّرة لمهام مثل عد السيارات أو تحديد أنواع الأشجار.

(٧) منصات الحوسبة السحابية والمعالجة الموزعة: نظراً للتزايد الهائل في حجم البيانات المكانية (سواء من صور الأقمار الصناعية ذات الدقة العالية أو من مستشعرات إنترنت الأشياء المكانية)، بدأت تظهر الحاجة لاستخدام تقنيات الحوسبة السحابية في معالجة

وتخزين هذه البيانات. توفر المنصات السحابية (مثل Google Earth Engine و Amazon Web Services) إمكانيات معالجة موزعة تسمح بتحليل مجموعات بيانات ضخمة (كعشرات السنوات من صور الأقمار الصناعية متعددة الطيف) في وقت قصير نسبياً. هذه التقنيات مكنت خبراء الجيوماتيكس من تنفيذ تحليلات كانت مستحيلة عملياً بالوسائل التقليدية على الحاسوب الشخصي. كما أتاحت خدمات الخرائط عبر الويب التي تمكن مشاركة البيانات والخرائط المكانية مع جمهور واسع عبر الإنترنت (مثل خدمات ArcGIS Online وخرائط OpenStreetMap التفاعلية).

٨) تكامل تقنيات الجيوماتيكس:

لتوضيح كيفية تكامل هذه التقنيات، لنأخذ مثلاً على مشروع: رسم خريطة وتحليل مخاطر الانهيارات الأرضية في منطقة جبلية. قد تكون تقنيات الجيوماتيكس المستخدمة كالتالي:

أ) يستخدم المساحون الميدانيون تقنية GNSS لإنشاء بعض النقاط المرجعية في المنطقة (تقنية تحديد المواقع).

ب) يتم تسيير طائرة بدون طيار لالتقاط صور جوية عالية الدقة لمنحدر ما (تقنية الاستشعار عن بعد: الفوتوغرامتري باستخدام الطائرات بدون طيار). (تُعالج الصور الجوية لإنتاج نموذج ارتفاع رقمي تفصيلي (DEM) وصورة مصححة هندسياً (Orthophoto) للتضاريس (تقنية المعالجة الفوتوغرامتريّة)).

ج) يتم الحصول على صور أقمار صناعية تاريخية لرصد تغير الغطاء الأرضي في ذلك المنحدر (تقنية الاستشعار عن بعد: تحليل السلاسل الزمنية).

د) يقوم الجيولوجيون في الميدان برسم الشقوق الحالية باستخدام محطة شاملة أو GPS محمول باليد (تقنية ميدانية).

هـ) يتم دمج جميع البيانات في نظام GIS. يُحلل النموذج الرقمي للارتفاعات (DEM) لاستخراج انحدار المنحدر وانحنائه) التحليل المكاني: تحليل التضاريس. (تُنشأ خرائط الغطاء الأرضي من الصور لرصد فقدان الغطاء النباتي (تقنية الاستشعار عن بعد: التصنيف).

و) يُبنى نموذج في GIS يستخدم الانحدار، الغطاء الأرضي، خرائط أنواع التربة (من بيانات جيولوجية)، والهطول المطري (من محطات الأرصاد الجوية) لحساب قابلية التعرض للانسيابات الأرضية) (تقنية النمذجة المكانية، ربما باستخدام التراكب الوزني أو التصنيف عبر التعلم الآلي).

ل) تُشارك خريطة المخاطر الناتجة عبر WebGIS مع السلطات المحلية (تقنية الخرائط على الويب).

م) إذا حدث انهيار أرضي، قد تُستخدم تقنيات تفاضلية: مقارنة المسوحات بالـ LiDAR قبل وبعد الحدث لحساب كميات التربة المنقولة (تقنية تحليل السحب النقطية)، واستخدام GNSS لمراقبة الحركة المستمرة للنقاط الرئيسية (تقنية تحديد المواقع).

هذا المثال يؤكد أنه لا توجد تقنية واحدة تكفي لمواجهة المشكلات المعقدة – تكمن قوة علم الجيوماتيكس في نشر مجموعة متنوعة من الأساليب لجمع البيانات المكانية وفهمها.

وخلاصة القول، أن علم الجيوماتيكس قائم على مزيج من التقنيات المتنوعة التي تطورت عبر الزمن – من أجهزة القياس الأرضية التقليدية إلى الأقمار الصناعية مرورًا بالليزر والحواسيب العملاقة. ويبقى الهدف المشترك لهذه التقنيات هو تحويل معالم الواقع الجغرافي إلى بيانات رقمية موثوقة يمكن نمذجتها وتحليلها لإنتاج معرفة جديدة. مواكبة التقنيات الحديثة تعد تحديًا وفرصةً لمختصي الجيوماتيكس في آن واحد، إذ عليهم تعلم

التقنيات الجديدة ودمجها في أعمالهم، لكن في المقابل تفتح هذه التقنيات آفاقاً جديدة لتطبيقات لم تكن ممكنة من قبل، مما يزيد من قيمة الجيوماتيكس ودوره في حل المشكلات المعقدة.

أسئلة للمراجعة

- ما هي التقنيات الأربع الأساسية التي يركز عليها علم الجيوماتيكس الحديث كما وردت أعلاه؟ صف بإيجاز وظيفة كل منها.
- كيف تعمل تقنية الليدار (LiDAR) وما أهم ميزاتها مقارنة بالتصوير الجوي التقليدي؟
- فيم يُستخدم نظام GPS عادة ضمن مشاريع الجيوماتيكس؟ اذكر مثالين على تطبيقات ميدانية يستفيدان منه.

تمارين

- قم بزيارة الموقع الإلكتروني لإحدى الشركات أو الجهات المزودة لحلول الجيوماتيكس (مثل شركة Esri أو Hexagon Geospatial أو غيرها)، وتعرف على تقنية حديثة أو منتج جديد في مجال الجيوماتيكس مذكور هناك (مثال: أداة جديدة لتحليل البيانات ثلاثية الأبعاد، أو مستشعر استشعار عن بعد مبتكر). اكتب فقرة قصيرة تلخص فيها ماهية هذه التقنية وكيف يمكن أن تفيد في تطبيقات الجيوماتيكس.
- ناقش مع زملائك تأثير التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي (AI) وتعلم الآلة على مجال الجيوماتيكس. على سبيل المثال: كيف يمكن استغلال التعلم الآلي في تصنيف الصور الفضائية بشكل أسرع أو في التنبؤ بأنماط عمرانية مستقبلية؟ حضر قائمة بنقاط إيجابية أو تطبيقات محتملة (مثل تحسين دقة التحليلات

المكانية، أتمتة معالجة البيانات)، ونقاط تحدي أو سلبية (مثل الحاجة إلى بيانات تدريب كبيرة، التعقيد التقني).

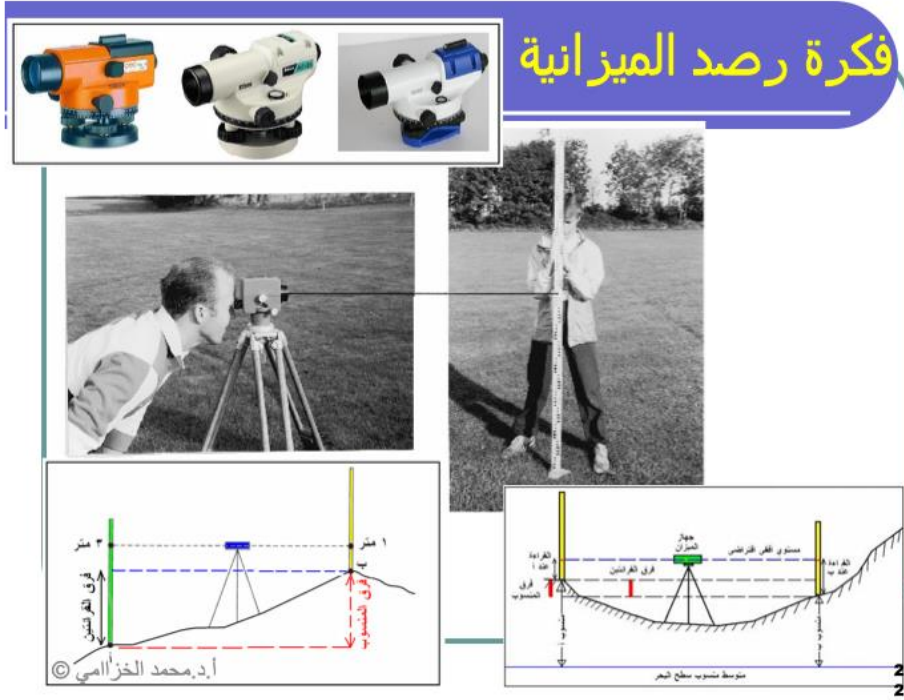
- عمليا، حاول استخدام تطبيق على هاتفك الذكي يعتمد على GPS مثل تطبيق خرائط أو تطبيق لقياس المسافة المقطوعة أثناء المشي) وسجل إحداثيات عدة مواقع خلال تنقلك اليومي. بعد ذلك، اعرض هذه المواقع على خريطة باستخدام برمجية GIS أو حتى خرائط Google. ما مدى دقة المواقع التي سجلها التطبيق؟ هل تلاحظ أي أخطاء أو انحرافات عن المواقع الحقيقية؟ ماذا تستنتج عن دقة تقنية GPS في هاتفك؟

الفصل الثامن

طرق جمع البيانات في الجيوماتيكس

إن جمع البيانات المكانية الدقيقة هو الخطوة الأولى والأساسية في أي مشروع جيوماتيكس ناجح. تتنوع طرق جمع البيانات في علم الجيوماتيكس تبعًا لمصادر البيانات المتاحة وطبيعة المشروع ومدى الدقة المطلوبة. فيما يلي أبرز الطرق المتبعة لجمع البيانات الجغرافية:

(١) المسوحات الأرضية التقليدية (شكل ١٦): تعتبر المساحة الأرضية المباشرة باستخدام الفرق المساحية وأجهزتها التقليدية من أقدم طرق جمع البيانات المكانية وأدقها على المستوى المحلي. يقوم المساحون بقياس المسافات والزوايا والارتفاعات بين النقاط على سطح الأرض باستخدام أدوات مثل الشريط القياسي وأجهزة الثيودولايت والمحطات الشاملة (Total Stations) ومن خلال ربط هذه القياسات بنقطة معلومة الإحداثيات (نقطة ضبط مساحي)، يمكن حساب إحداثيات النقاط الجديدة. هذه الطريقة رغم أنها عالية الدقة (تصل إلى ملليمترات في المشاريع الهندسية)، إلا أنها تتطلب وقتًا وجهدًا عالٍ خاصة إذا كانت منطقة الدراسة كبيرة أو تضاريسها صعبة. لذا فإن المسوحات الأرضية تستخدم عادة لمشاريع تتطلب دقة قصوى أو كمرحلة تكميلية للتحقق من دقة بيانات تم جمعها بطرق أخرى. على سبيل المثال، عند إنشاء طريق جديد، يتم أولاً جمع بيانات طبوغرافية عامة ربما بالاستشعار عن بعد، ثم تأتي فرق المساحة الأرضية لتفصيل نقاط المسار بدقة ووضع المعالم على الأرض وفق التصميم.

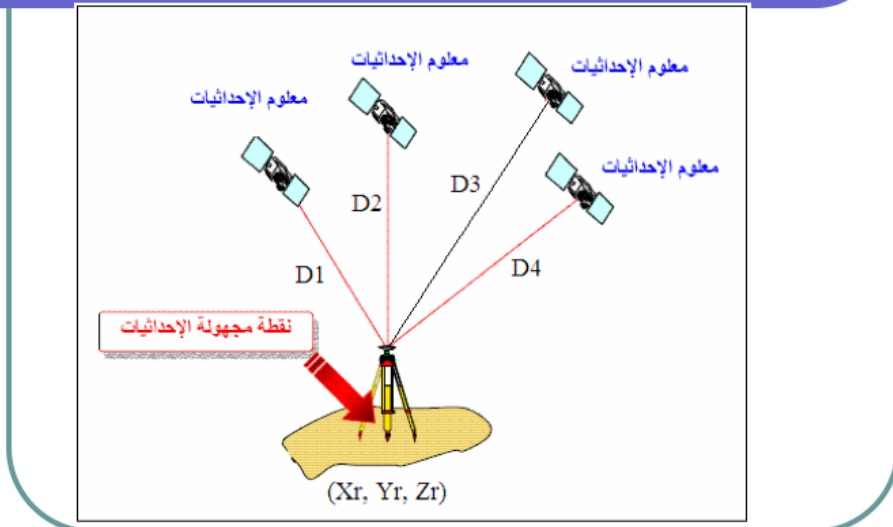


شكل (١٦): نموذج لأعمال المساحة الحقلية

٢) استخدام أنظمة GNSS/GPS في الميدان (شكل ١٧): أصبح جمع البيانات باستخدام أجهزة GPS يدوياً أو أجهزة GNSS المتقدمة طريقة شائعة وسريعة. حيث يمكن للمساح أو الباحث حمل جهاز استقبال GPS محمول والتجول في منطقة الدراسة وتسجيل إحداثيات النقاط ذات الأهمية (مثلاً: مواقع الآبار، أو حدود قطعة أرض، أو مسار نهر) بشكل مباشر. تمتاز هذه الطريقة بسهولة الاستخدام وإمكانية تغطية مساحات واسعة نسبياً بجهد أقل من المساحة التقليدية. ومع التقنيات التفاضلية (كربط الجهاز بجهاز آخر ثابت معروف الموقع لتصحيح الأخطاء) يمكن الوصول بدقة الإحداثيات إلى مستوى بضعة سنتيمترات. كثيراً ما تُستخدم هذه الطريقة في الدراسات البيئية والجغرافية لجمع عينات ميدانية مرجعية (Ground Control Points) التي تستخدم لاحقاً لمعايرة الصور الفضائية أو للتحقق من صحة تحليل معين. على سبيل المثال، في دراسة حول توزيع نوع نباتي، يمكن

للباحث استخدام جهاز GPS لتسجيل مواقع انتشار النبات ثم استيرادها إلى برنامج GIS لإجراء تحليل مكاني. لقد جعلت أجهزة GPS عملية توقيع المعالم ميدانيًا أكثر كفاءة مقارنة برسمها يدويًا على خرائط ورقية كما كان في الماضي.

مبدأ الرصد في أجهزة استقبال GPS



أ.د. محمد الخزاعي ©

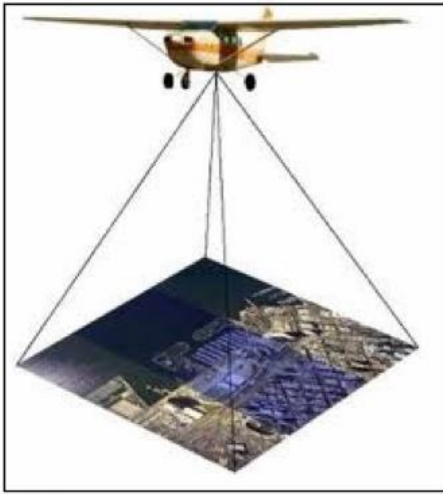
4
0

شكل (١٧): فكرة عمل نظم تحديد المواقع

٣) التصوير الجوي بالطائرات (شكل ١٨): (Aerial Photography) تُعد الصور الجوية مصدرًا أساسيًا لجمع البيانات المكانية منذ أوائل القرن العشرين. يتم حمل كاميرات عالية الدقة على متن طائرات خفيفة أو مروحيات والتحليق وفق مسارات تغطي منطقة الدراسة، مع التقاط صور متتالية بتداخل معين. هذه الصور، عند معالجتها بتقنيات المساحة التصويرية، تعطي معلومات مكانية قيّمة بما في ذلك بيانات الارتفاعات (عبر الرؤية المجسمة) ومعلومات المعالم السطحية. الصور الجوية التقليدية يغلب استخدامها لإنتاج الخرائط الطبوغرافية كبيرة المقياس (مثل 1:5000 أو 1:10000) للمناطق الحضرية أو

مشاريع البنية التحتية. وفي عصرنا الحالي، حلت الصور الجوية الرقمية محل الأفلام التقليدية، وأصبح من الشائع أيضاً استخدام الطائرات بدون طيار (Drones) لجمع صور جوية تفصيلية على ارتفاعات منخفضة لمناطق محدودة. تمتاز الصور الجوية بقدرتها على التقاط التفاصيل الدقيقة مثل المباني والطرق والتضاريس بشكل بصري مفهوم. لكنها تتأثر بأحوال الطقس (يجب التصوير في جو صحو)، وبوجود طائرات مأهولة أو مسيرات، ويتطلب التعامل معها خبرة في تفسير الصور أو معالجة الصور رقمياً.

أنواع المساحة التصويرية



أ.د. محمد الخزاعي ©

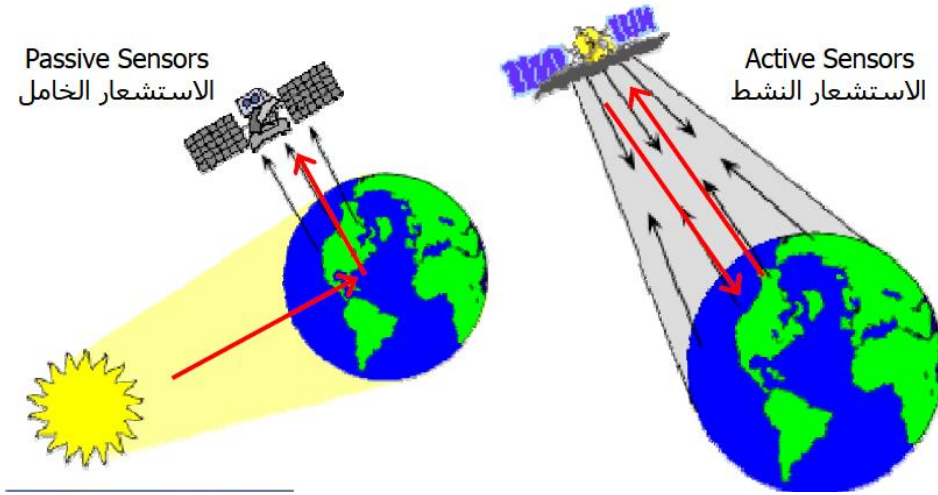


8
8

شكل (١٨): التصوير الجوي بالطائرات

٤) الاستشعار عن بعد بالأقمار الصناعية (شكل ١٩): (Satellite Remote Sensing) يعتمد هذا الأسلوب على الأقمار الصناعية المزودة بمستشعرات تصويرية أو رادارية لتغطية مساحات شاسعة من الأرض بشكل دوري. على سبيل المثال، يوفر قمر Landsat 8 صوراً متعددة الأطياف بدقة متوسطة (30 متر) كل 16 يوماً لكل بقعة من الأرض، بينما يوفر قمر

Sentinel-2 الأوروبي دقة 10 أمتار كل 5 أيام تقريبًا. أما الأقمار التجارية مثل **WorldView** أو **GeoEye** فتوفر دقة عالية تصل إلى أقل من نصف متر. يتم الحصول على هذه الصور ومعالجتها باستخدام برمجيات خاصة لاستخراج المعلومات منها (كالغطاء الأرضي أو المؤشرات الطيفية مثل مؤشر صحة النبات (NDVI) يعد جمع البيانات بالاستشعار عن بعد من أسرع الطرق للحصول على معلومات عن مناطق واسعة أو مناطق يصعب الوصول إليها. على سبيل المثال، يمكن تقييم مساحة الغابات ودرجة كثافتها في بلد كامل خلال ساعات عبر صور الأقمار، بينما قد يتطلب ذلك سنوات من العمل الميداني التقليدي. من المهم الإشارة إلى أن البيانات الفضائية عادة ما تحتاج إلى "تنقيح" ومعالجة (تصحيح هندسي لربطها بالإحداثيات الصحيحة، وتصحيح إشعاعي لضبط قيم البكسل) قبل استخدامها، وغالبًا ما تُدمج مع قياسات أرضية (كالنقاط المحكومة) لتحسين دقتها. وأحد التحديات أيضًا هو التعامل مع حجم البيانات الكبير لهذه الصور ومتطلبات التخزين والمعالجة.



شكل (١٩): الاستشعار عن بعد الراداري (النشط) وغير الراداري (غير النشط).

تقنيات جمع البيانات عبر الأقمار الصناعية (Satellite Data Capture Techniques)

توفر الأقمار الصناعية ثروة من بيانات الاستشعار عن بعد مع قدرة وصول عالمية:

(أ) أقمار رصد الأرض (شكل ٢٠): (Earth Observation Satellites)

تشمل هذه الأقمار الصناعية البصرية (مثل سلسلة Sentinel-2، SPOT، Landsat، والأقمار التجارية عالية الدقة مثل سلسلة WorldView التابعة لـ DigitalGlobe) والأقمار الرادارية (مثل Sentinel-1، RADARSAT، TerraSAR-X). ويكون جمع البيانات هنا مستمراً مع دوران الأقمار الصناعية حول الأرض ومسح سطحها. وتشمل التقنيات استئجار الأقمار الصناعية التجارية لتصوير مناطق محددة في تواريخ معينة (مقابل رسوم)، أو الاستفادة من الأقمار المجانية/العامة التي لها جداول مرور منتظمة (مثل صور Sentinel-2 كل 5 أيام لموقع معين). ثم يجب تنزيل الصور ومعالجتها. وتختلف الدقة المكانية: مثلاً، يمكن لـ WorldView-3 التقاط تفاصيل بحوالي 0.3 متر (يمكن رؤية السيارات الفردية)، بينما Landsat تبلغ دقته 30 متراً (مناسب لأنماط الغطاء الأرضي الواسعة).

وغالباً ما يستخدم مختصو الجيوماتيكس بيانات الأقمار الصناعية كأساس لرسم الخرائط الإقليمية أو لمراقبة التغير مع مرور الوقت.

على سبيل المثال، يتم رصد إزالة الغابات في الأمازون باستخدام صور الأقمار الصناعية المتكررة؛ حيث يدير معهد أبحاث الفضاء البرازيلي (INPE) نظامي PRODES و DETER باستخدام صور من فئة Landsat لاكتشاف عمليات القطع الجديدة في وقت شبه آنٍ، مما ساعد في تطبيق سياسات الحماية عبر تنبيه السلطات إلى القطع غير القانوني بسرعة.



شكل (٢٠): أقمار رصد الأرض

ب) نظم الملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS) لجمع البيانات (شكل ٢١):
 من منظور آخر، يُمكن اعتبار أقمار GNSS مصدراً للبيانات – فهي توفر إشارات مستمرة، وعند التقاطها بواسطة جهاز استقبال، تعطي موقعاً جغرافياً. وغالباً ما تعتمد التطبيقات عالية الدقة (مثل قياس حركة الصفائح التكتونية أو مراقبة التحركات الدقيقة للسدود) على جمع بيانات GNSS الدائم: حيث تُترك أجهزة الاستقبال لتسجيل البيانات لعدة أيام أو أسابيع، ثم يُحلل التسجيل لاحقاً لرصد الحركات بمستوى ملليمتر.



شكل (٢١): أنظمة الملاحة بالأقمار الاصطناعية

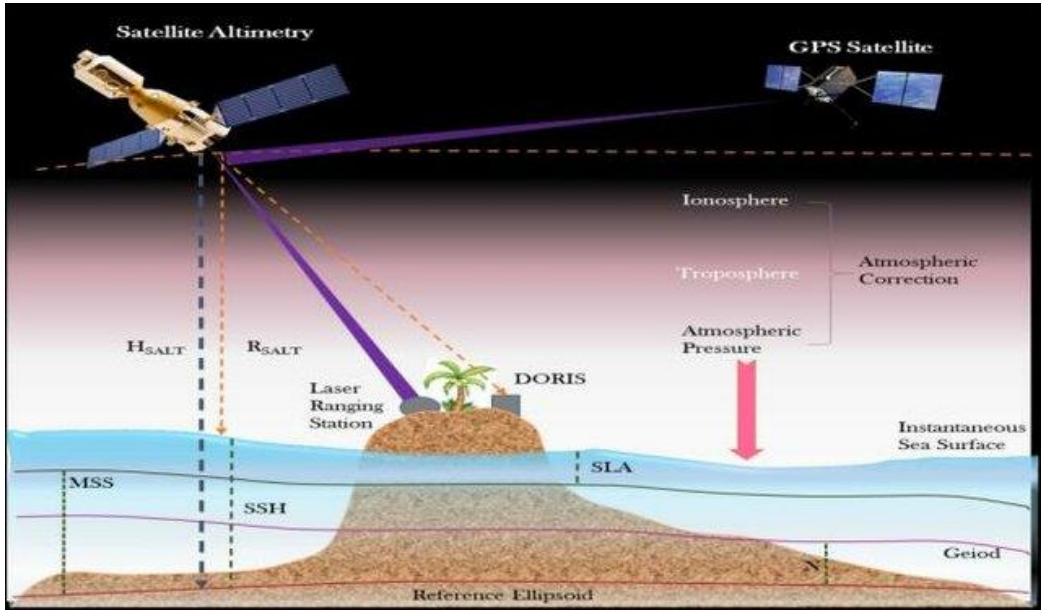
المصدر: <https://www.caixinglobal.com/2016-06-17/govt-says-homegrown-satellite-navigation-system-gaining-traction-101011601.html>

ج) الارتفاع والقياس الجاذبية بالأقمار الصناعية (شكل ٢٢) (Satellite Altimetry and Gravimetry):

تلتقط أقمار صناعية متخصصة بيانات جيوفضائية تتجاوز الصور. وتقيس مقاييس الارتفاع بالأقمار (مثل سلسلة Jason/TOPEX) مستويات سطح البحر وارتفاعات الأمواج عالمياً عبر ارتداد نبضات الرادار عن سطح المحيط – وهي مفيدة في علم المحيطات ودراسات المناخ.

كما تقيس أقمار قياس الجاذبية (مثل GRACE) اختلافات مجال الجاذبية الأرضية لاستنتاج تغير توزيع الكتل (مثل نضوب المياه الجوفية). ورغم أن هذه البيانات منخفضة الدقة المكانية، إلا أنها مهمة لمجموعات بيانات الجيوماتيكس العالمية (مثل تحسين نموذج الجيود

في الجيوديسيا، ما يحسن قياسات الارتفاع عالمياً). وقد لا يستخدم الطلاب الجامعيون هذه البيانات مباشرة، لكنهم يعتمدون على نتائجها (مثل نموذج الجيويد العالمي EGM2008 أو النمذج الأحدث).



شكل (٢٢): نموذج قياس الارتفاع والقياس الجاذبية بالأقمار الصناعية

المصدر:

https://www.researchgate.net/publication/345335219_SEA_LEVEL_ANOMALY_ASSESSMENT_OF_SARALALTICA_MISSION_USING_HIGH_AND_LOW_RESOLUTION_DATA/figures?lo=1&utm_source=google&utm_medium=organic

(د) جمع البيانات عبر الحشود وأجهزة الاستشعار الموزعة (Crowdsourced and Distributed Sensing):

مفهوم حديث يعتمد على انتشار الأجهزة المحمولة . ومليارات الأشخاص يحملون هواتف

ذكية تلتقط باستمرار الموقع (وأحياناً بيانات أخرى مثل الصور أو قراءات مقياس التسارع). تعتمد مبادرات مثل OpenStreetMap على الأفراد الذين يسجلون مسارات GPS أو يُدخلون معالم. ورغم أن هذه البيانات ليست دقيقة مثل المسوحات الاحترافية، إلا أن جمع البيانات عبر الحشود ساهم في ملء الخرائط في أجزاء عديدة من العالم التي تفتقر إلى الخرائط الرسمية.

تشمل التقنيات هنا تمكين الجمهور عبر تطبيقات الهاتف والويب، ثم تصفية/التحقق من صحة البيانات المقدمة .

مثال آخر: استخدام بيانات GPS الخاصة بالمركبات أو بيانات مواقع الهواتف المحمولة لالتقاط سرعات حركة المرور على الطرق (كما في تطبيقات الملاحة). هذا النوع من جمع البيانات "السلي" عبر الأجهزة أصبح جزءاً ناشئاً من الجيوماتيكس – ويتطلب تقنيات علوم البيانات لتنظيف هذه المجموعات الضخمة المولدة من المستخدمين واستخلاص معلومات مفيدة منها.

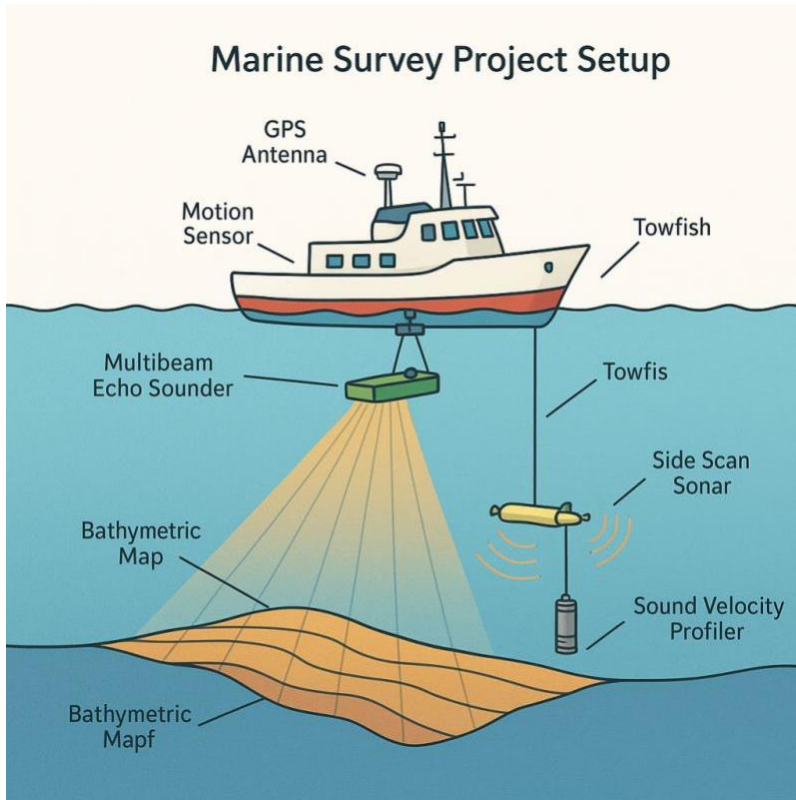
هـ) سيناريوهات متخصصة لجمع البيانات (Specialized Data Capture Scenarios)

- المسوحات الباثيمترية (شكل ٢٣): (Bathymetric Surveys)

يُستخدم السونار (Sonar) لرسم الطوبوغرافيا تحت الماء، وتشمل التقنيات: أجهزة الصدى أحادية الشعاع (نقطة عمق واحدة في كل مرة، تُستخدم تقليدياً على طول مسارات السفن) والسونار متعدد الحزم (Multibeam) الذي يُرسل حزمة من الأشعة الصوتية لتغطية مساحة واسعة تحت السفينة. وهناك أيضاً LiDAR باثيمتري (يستخدم أشعة الليزر الخضراء التي تخترق المياه الصافية لقياس الأعماق الساحلية). ويُعد جمع البيانات الباثيمترية ضرورياً للمخططات البحرية وإدارة الموانئ. ويتطلب

التكامل بين قياسات السونار ومواقع دقيقة للسفينة عبر GNSS ، مع تصحيحات لحركة القارب (باستخدام INS وأجهزة استشعار الأمواج).

النتيجة عادةً تكون سحابة نقطية أو مصفوفة للأعماق.



شكل (٢٣): نموذج المساحة البحرية

المصدر: [https://www.linkedin.com/posts/ahmed-saeed-](https://www.linkedin.com/posts/ahmed-saeed-7aa667360_marine-hydrographic-survey-full-workflow-activity-7322390901257830400-ZtG)

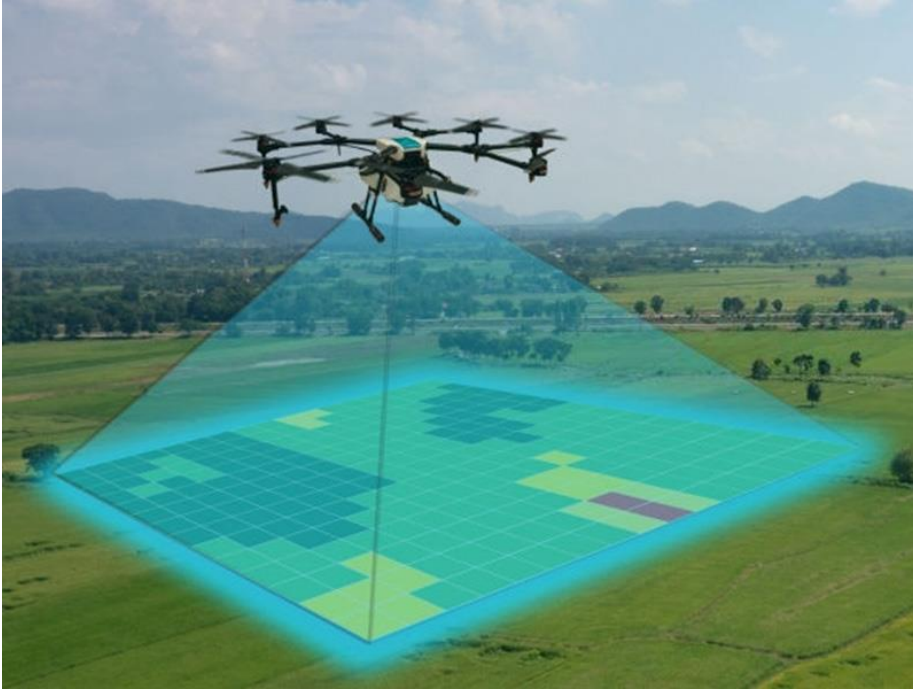
[7aa667360_marine-hydrographic-survey-full-workflow-activity-](https://www.linkedin.com/posts/ahmed-saeed-7aa667360_marine-hydrographic-survey-full-workflow-activity-7322390901257830400-ZtG)

[/_7322390901257830400-ZtG](https://www.linkedin.com/posts/ahmed-saeed-7aa667360_marine-hydrographic-survey-full-workflow-activity-7322390901257830400-ZtG)

• LiDAR عبر الطائرات بدون طيار (شكل ٢٤): (UAV LiDAR)

يجمع بين طريقتين متقدمتين: تركيب LiDAR على طائرة بدون طيار. ويتيح ذلك

التقاط البنية ثلاثية الأبعاد للغابات بدقة عالية أو رسم وجوه المنحدرات الخطرة دون تعريض البشر للخطر. وتشمل التحديات: وزن الأجهزة وعمر البطارية، لكنها في تحسن مستمر. ويمكن أن تلتقط طائرات LiDAR بدون طيار عشرات الهكتارات في الرحلة الواحدة بكثافات نقاط تصل إلى مئات النقاط لكل متر مربع – تفاصيل دقيقة للغاية.



شكل (٢٤): جمع البيانات بواسطة طائرات بدون طيار

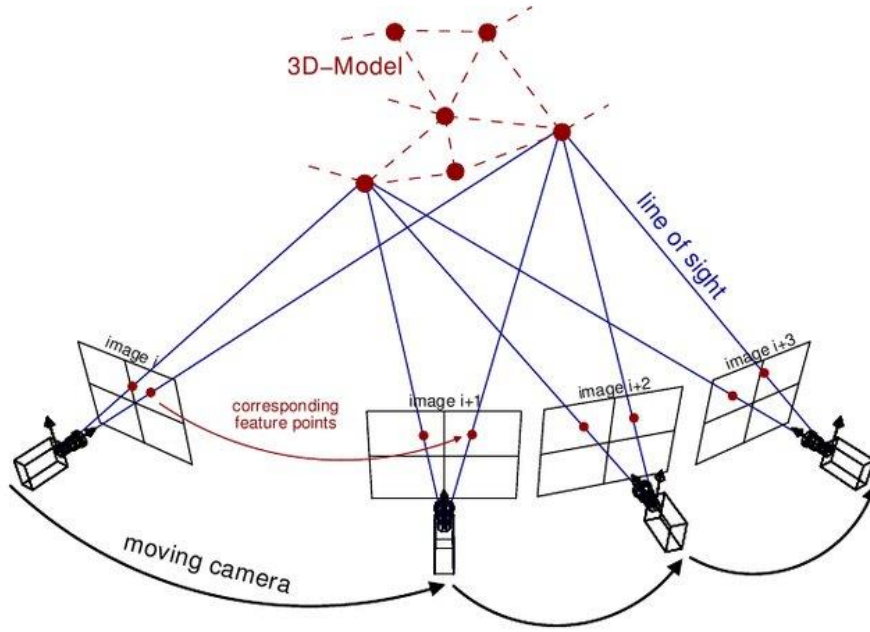
المصدر: <https://www.skylarkdrones.com/blog/make-the-most-of-your-drone-data-with-cloud-based-drone-data-processing>

- المسح الليزري الأرضي (شكل ٢٤): (Terrestrial Laser Scanning – TLS) كما ذكر سابقاً، يُستخدم TLS المثبت على حامل ثلاثي لمسح البيئة المحيطة بشكل منهجي. وعلى سبيل المثال: لمسح مبنى من الداخل، يمكن مسح كل غرفة أو ممر، ثم

تسجيل هذه المسوحات معاً. ويُعد TLS تقنية أساسية في توثيق التراث الثقافي (مثل مسح الآثار التاريخية) أو المنشآت الصناعية (توثيق الحالة الراهنة). تنتج بيانات هندسية شديدة التفصيل. ويمكن معالجة السحابة النقطية الناتجة لاستخلاص خطوط الأنابيب أو الجدران (في الصناعة)، أو لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد وجولات افتراضية (في التراث).

- التوثيق الفوتوغرافي وتقنية (شكل ٢٥): Structure from Motion (SfM)

تقنية فوتوغرامترية يسهل الوصول إليها: باستخدام كاميرا عادية، يمكن التقاط العديد من الصور لمشهد أو جسم من زوايا مختلفة (حتى باليد)، ثم يقوم البرنامج بمحاذاتها وإنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد. وأصبحت شائعة في علم الآثار (لتوثيق القطع أو مواقع الحفريات)، وفي إعادة بناء مشاهد الحوادث، وغيرها، لأنها منخفضة التكلفة. وتعتمد التقنية على قدرة الكاميرات الحديثة والحوسبة على استنتاج مواقع الكاميرات دون معرفة مسبقة. وبإضافة بعض القيود المكانية أو النقاط المرجعية، يمكن الوصول إلى نتائج دقيقة بشكل مدهش (حتى بضعة سنتيمترات). هذه التقنية تُسهم في "دمقرطة" جمع البيانات – فلا حاجة دائماً إلى LiDAR باهظ الثمن إذا لم تكن هناك حاجة لدقة عالية جداً.



شكل (٢٥): نموذج التوثيق الفوتوغرافي بالاعتماد على التصوير المتنقل.

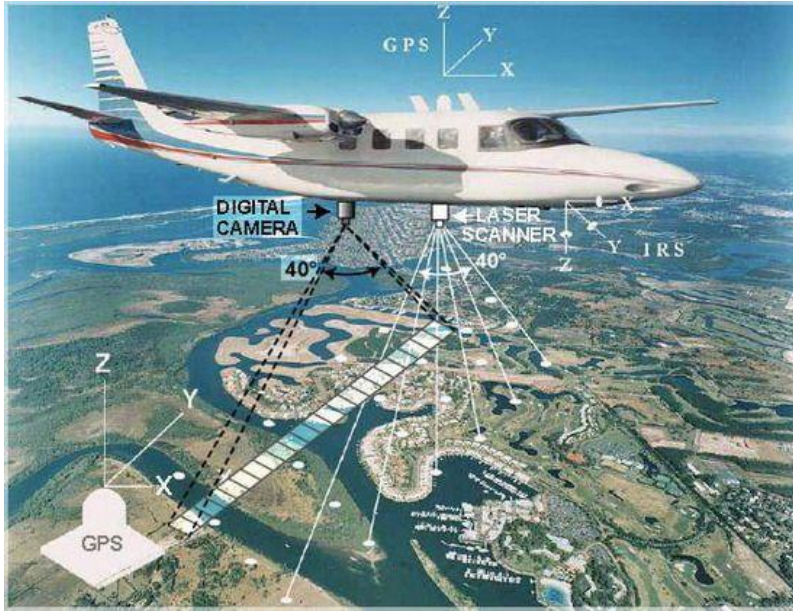
٥) المسح بالليزر المحمول جواً وأرضياً (LiDAR Scanning) لقد أحدثت تقنية الليدار ثورة في طرق جمع البيانات الطبوغرافية ثلاثية الأبعاد. فعند تركيب نظام LiDAR على طائرة، يمكن جمع ملايين النقاط في الدقيقة تشمل تضاريس الأرض ومواقع المباني والأشجار بدقة عالية جداً. يُستخدم هذا في إنتاج نماذج ارتفاع رقمية (DEM) دقيقة وتحديث الخرائط الطبوغرافية. كما يتوفر الليدار الأرضي (Terrestrial LiDAR) على شكل أجهزة مسح ثابتة أو محمولة يمكن وضعها على الأرض لمسح منشآت أو معالم تفصيلية (مثلاً مسح داخل المباني أو مواقع أثرية) عن قرب. بيانات الليدار تكون عادة على شكل سحابة كثيفة من النقاط الموزونة بالإحداثيات (Point Cloud) والتي يمكن معالجتها لاستنباط الأجسام (استخراج المباني، الأشجار، ...). من مزايا الليدار قدرته على العمل ليلاً (حيث يعتمد على مصدر ليزر ذاتي) وعدم تأثره بالإضاءة، وإن كانت عمليات المسح تتأثر بوجود الغبار أو المطر الغزير. لقد أصبح الليدار وسيلة أساسية في مشاريع رسم خرائط المدن

ثلاثية الأبعاد ومشاريع مسح الغابات والمناطق الساحلية المعرضة لارتفاع البحر، وغيرها. وتنوع طرق جمع البيانات في الجيوماتيكس جواً على النحو التالي:

أ) المسوحات الجوية المأهولة (شكل ٢٦): (Aerial Photographic Surveys)

تقليدياً، يستخدم جمع البيانات الجوية طائرة مزودة بكاميرا جوية كبيرة الحجم أو ماسح LiDAR (أو كليهما). وتشمل التقنيات: تخطيط الرحلة لضمان التغطية والتداخل المناسب. وتلتقط الكاميرات الجوية صوراً رأسية عالية الدقة؛ والكاميرات الحديثة رقمية وقد تتجاوز 100 ميغابكسل. وتتطلب العملية طياراً مستقراً وغالباً أوقاتاً محددة (مثل الظهيرة لتقليل الظلال، وفي طقس صافٍ). وتسجل الطائرة موقعها واتجاهها عبر GNSS/INS بشكل مستمر، ما يساعد لاحقاً في المعالجة الفوتوغرافية.

ويمكن للمسوحات الجوية تغطية مساحات واسعة بسرعة – مثل تصوير مدينة كاملة في يوم واحد بدقة تكفي لرؤية المباني والأشجار الفردية. وتُستخدم البيانات الناتجة لإنشاء خرائط المدن، الخرائط المصححة هندسياً (Orthophotos)، أو تحديث السجلات العقارية.

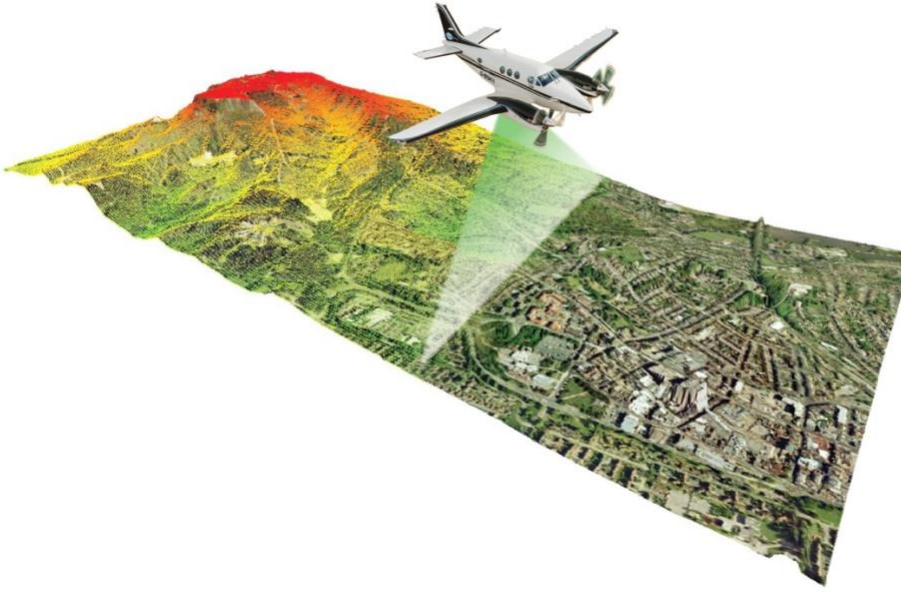


شكل (٢٦): نموذج المسوحات الجوية المأهولة

ب) مسوحات LiDAR الجوية (شكل ٢٧): (Airborne LiDAR Surveys)

في جمع بيانات LiDAR ، يطلق الماسح على الطائرة نبضات ليزيرية (مئات الآلاف في الثانية) نحو الأرض بنمط مسح. ويسجل ليس فقط الانعكاس الأول (قد يكون قمم الأشجار)، بل أيضاً انعكاسات متعددة حتى سطح الأرض، مما يسمح بـ "الرؤية عبر" الغطاء النباتي في كثير من الحالات. وتُعتبر التقنية المفضلة لإنتاج نماذج DEM عالية الجودة، خصوصاً في المناطق الغابية أو التضاريس الوعرة.

مثال: تُستخدم هذه التقنية على نطاق واسع في مشاريع نمذجة الفيضانات التي تحتاج إلى DEM دقيق للأراضي المنخفضة، أو في الغابات لتقدير ارتفاع الأشجار وكثافة الغطاء النباتي. وينتج عنها سحب نقطية ضخمة ثلاثية الأبعاد تحتاج لاحقاً إلى تصفية وتصنيف (أرض مقابل نباتات مقابل مبانٍ). ويمكن لمسح LiDAR جوي واحد أيضاً التقاط تفاصيل حضرية: مثل استخراج ارتفاعات المباني أو مسافات خطوط الكهرباء أو تفاصيل البنية التحتية ثلاثية الأبعاد.



شكل (٢٧): نموذج المسح الجوي بالليدار

ج) رحلات التصوير الحراري والطيفي (Thermal and Hyperspectral Imaging Flights): (شكل ٢٨)

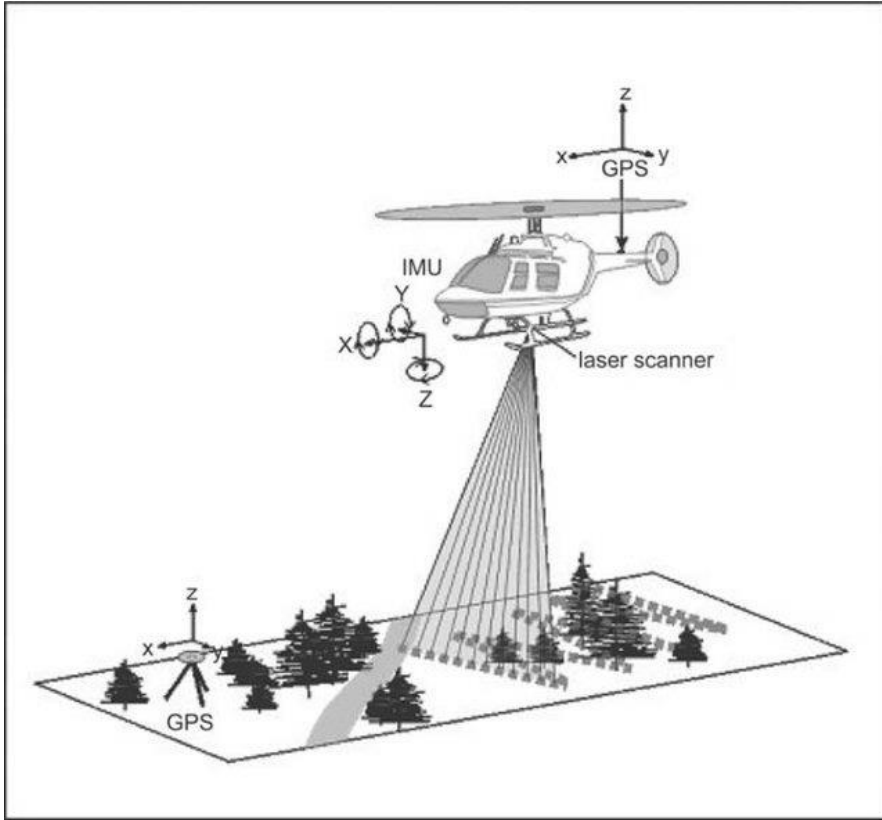
لا يقتصر جمع البيانات الجوية على الصور المرئية. تلتقط الكاميرات الحرارية أنماط الحرارة على سطح الأرض (مفيدة مثل: كشف تسربات العزل في الأسطح أو مراقبة حرائق الغابات النشطة ليلاً). وتلتقط أجهزة الاستشعار الطيفية الفائقة (Hyperspectral) مئات النطاقات الطيفية الضيقة، ويمكنها تحديد المعادن أو الأنواع النباتية عبر بصمتها الطيفية. هذه تقنيات متخصصة، لكن مع خفة أجهزة الاستشعار يمكن تركيبها حتى على طائرات بدون طيار لمسوح صغيرة.



شكل (٢٨): نموذج التصوير الحراري والطيفي

المصدر: <https://www.drone-thermal-camera.com/thermодiagnostics-of-flat-roofs>

(د) المسوحات بالهليكوبتر باستخدام LiDAR أو الفوتوغراممري (شكل ٢٩): تُستخدم المروحيات أحياناً في رسم خرائط الممرات (مثل خطوط الأنابيب أو مسارات الكهرباء) لأنها تستطيع الطيران على ارتفاعات منخفضة وسرعة بطيئة، بل وحتى التحويم إذا لزم الأمر. وتُفيد التقنية في جمع بيانات عالية التفصيل على طول معالم خطية. وتُستخدم مثلاً في مسوحات خطوط الكهرباء لتحديد الغطاء النباتي المتعدي وقياس ترهل الأسلاك باستخدام LiDAR.



شكل (٢٩): المسوحات بواسطة طائرات الهليكوبتر والمساح الليدار

المصدر:

https://www.researchgate.net/publication/226676961_Airborne_laser_altimetry_for_predictive_modeling_of_coastal_storm-surge_flooding/figures?lo=1

٦) جمع البيانات بالطرق غير المباشرة: (Crowdsourcing & Web) (شكل ٣٠): في السنوات الأخيرة ظهر اتجاه للاستفادة من الجمهور ومصادر البيانات المفتوحة في جمع المعلومات الجغرافية. مثال على ذلك مشروع OpenStreetMap الذي يساهم فيه متطوعون من كل العالم لرسم خرائط الشوارع والخدمات في مناطقهم باستخدام صور الأقمار الصناعية كمرجع أو تطبيقات الهواتف المحمولة. هذه الطريقة في جمع البيانات الجماعي أثبتت فائدتها خصوصاً في الحالات التي لا تتوفر فيها بيانات رسمية محدثة، أو في

حالات الطوارئ والكوارث حيث يقوم متطوعون برفع معلومات آنية على الخرائط لمساعدة جهود الإغاثة. أيضاً البيانات الضخمة المستقاة من الأجهزة المحمولة (مثل بيانات تحديد الموقع الجغرافي من الهواتف) أصبحت مصدراً غير مباشر لجمع معلومات عن تحركات البشر وكثافتهم، والتي يمكن اشتقاقها وتحليلها لخدمة التخطيط العمراني أو إدارة الأزمات. على الرغم من أن هذه المصادر غير تقليدية، إلا أن علم الجيوماتيكنس الحديث يدمجها بشكل متزايد بعد تقييم جودتها، وذلك لسد النقص في المعلومات أو لتحديث البيانات بسرعة.



شكل (٣٠): نموذج لتحديث خرائط الطرق المفتوحة عالمياً

المصدر: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/7/1840>

٧) رقمنة الخرائط والوثائق التاريخية: (Data Digitization) (شكل ٣١): في كثير من البلدان، توجد كم هائل من الخرائط الورقية والسجلات المساحية القديمة التي تحتوي

معلومات قيمة. تعتبر عملية رقمنة هذه الخرائط وتحويلها إلى بيانات رقمية إحدى طرق جمع البيانات في الجيوماتيكس. يتم ذلك إما باستخدام الماسحات الضوئية عالية الدقة ثم المعالجة عبر برامج لاستخراج المعالم وتحويلها إلى شكل رقمي (Vectorization)، أو يدوياً عبر لوحة رقمنة يقوم خلالها الفني بتتبع المعالم على الشاشة لتحويلها إلى مضلعات وخطوط رقمية. ورغم أن هذه الطريقة لا تجمع "بيانات جديدة"، إلا أنها تجمع بيانات موجودة بشكل غير قابل للتحليل الرقمي وتحويلها إلى شكل قابل للاستخدام في الـ GIS. وقد تكون هذه الطريقة هي السبيل الوحيد للحصول على معلومات تاريخية أو عند دراسة تغيرات زمنية طويلة (مثلاً: رقمنة خرائط قديمة لمقارنة تطور استعمالات الأراضي بين الماضي والحاضر).

نماذج من أجهزة الإدخال وإخراج المعلومات إلى نظم المعلومات الجغرافية



أ.د. محمد الخزاعي ©

7
2

شكل (٣١): نماذج من طرق رقمنة الخرائط الورقية

٨) رادار اختراق الأرض (Ground Penetrating Radar – GPR) ورسم الخرائط تحت الأرض (شكل ٣٢):

رغم أنه ليس من أعمال المساحة التقليدية، إلا أنه يُستخدم لالتقاط بيانات تحت السطح. تقنيات مثل GPR أو المساحات الكهرومغناطيسية يمكنها اكتشاف الأجسام تحت الأرض (مثل الأنابيب أو الآثار الأثرية) عبر إرسال إشارات إلى التربة وقياس الانعكاسات. وتُحدد مواقع هذه المعالم على السطح (باستخدام GNSS أو محطة شاملة). ويُعتبر ذلك تقنية متخصصة في جمع البيانات وتُستخدم في الجيوماتيكس خاصة للمرافق والآثار.



شكل (٣٢): نموذج لأجهزة رادار اختراق الأرض للبحث عن الأعطال في شبكة الصرف الصحي

المصدر: <https://www.stanlay.in/underground-locating-equipment/utility/mapping-gpr>

٩) أنظمة رسم الخرائط المتنقلة (شكل ٣٣): (Mobile Mapping Systems) تدمج هذه الأنظمة عدة أجهزة استشعار على منصة متحركة (عادة مركبة). قد يتكون النظام من: مساحات LiDAR، كاميرات بانورامية، و GNSS/INS على سيارة. أثناء قيادة السيارة، تلتقط صوراً بانورامية بزاوية 360° وسُحب نقطية كثيفة للبيئة

المحيط.

بهذه الطريقة تجمع خدمات مثل Google Street View بياناتها .
أما للمتخصصين، فالمركبات المجهزة برسم الخرائط المتنقلة تُستخدم لجمع بيانات الطرق والشوارع بسرعة، لتطبيقات مثل إدارة الأصول أو تخطيط البنية التحتية. تتطلب التقنية معايير دقيقة بين أجهزة الاستشعار (دمج المستشعرات)، وتنتج بيانات ضخمة تحتاج للمعالجة لاستخراج المعالم (مثل التعرف التلقائي على إشارات المرور أو خطوط الكهرباء من السحب النقطية).

نماذج من سيارات تجمع بيانات نظم المعلومات الجغرافية المحمولة



أ.د. محمد الخزاعي ©

7
4

شكل (٣٣): نموذج لطرق مسح ميداني للخرائط المحمولة

١٠ جمع البيانات باستخدام الطائرات بدون طيار (UAV) على ارتفاع منخفض (شكل ٣٤):

رغم أن الطائرات بدون طيار تُعتبر جزءاً من الاستشعار عن بعد، إلا أنها غالباً تُدرج هنا

نظراً لبساطتها وزيادة استخدامها من قبل الفرق الميدانية. وقد يستخدم المسّاح طائرة رباعية صغيرة لالتقاط صور فوق موقع. تشمل التقنية:

- تخطيط مسار الطيران (مع تحديد التداخل والارتفاع).
- وضع أهداف مرجعية أرضية (نقاط عالية الدقة تظهر في الصور).
- تنفيذ المهمة تلقائياً،
- بعد الطيران، تُعالج الصور (فوتوغرامتري) لإنتاج صورة مجمعة (Orthomosaic) ونموذج ارتفاع رقمي.

هذه التقنية غيّرت قواعد اللعبة في بعض المشاريع: مثال: يمكن مسح محجر أو منجم خلال 20 دقيقة بطائرة بدون طيار وحساب أحجام الأكوام من النموذج ثلاثي الأبعاد الناتج – وهو عمل قد يستغرق يوماً أو يومين باستخدام المقاييس أو المحطات الشاملة سابقاً.



شكل (٣٤): نموذج جمع البيانات باستخدام الطائرات بدون طيار (UAV) على ارتفاع منخفض

(١١) الدقة والاعتبارات في جمع البيانات (Accuracy and Considerations in Data Capture)

كل تقنية لجمع البيانات لها مصادر أخطاء وحدود:

- المسوحات الأرضية دقيقة جداً لكن بطيئة للمساحات الكبيرة، ويمكن أن تعيقها العوائق البصرية أو التضاريس الصعبة.
- الاستشعار عن بعد يغطي مساحات واسعة بسرعة لكنه مقيد بالدقة ويتطلب غالباً تحققاً ميدانياً.
- الطائرات بدون طيار والفتوغراممري صغيرة النطاق توفر تفاصيل عالية، لكنها قد تواجه مشاكل دقة إذا لم يُستخدم عدد كافٍ من النقاط المرجعية الأرضية.
- LiDAR يعطي قياسات مباشرة للمسافة لكنه يعاني مع الأسطح الناعمة جداً أو المياه.
- GNSS يفقد فعاليته تحت الغطاء النباتي الكثيف أو في الشوارع الحضرية الضيقة (مشاكل تعدد المسارات) أو أثناء اضطرابات الأيونوسفير.
- جميع التقنيات تتطلب معايرة دقيقة: مثل معايرة انحراف عدسات الكاميرات، الفحص الدوري للمحطات الشاملة، تعويض انحراف مركز الهوائي في أجهزة GPS عالية الدقة.

يُعد تخطيط جمع البيانات مهارة بحد ذاتها في الجيوماتيكس.

يجب تحديد: ما الدقة المطلوبة؟ وما أنسب وسيلة للحصول عليها – طائرة مأهولة، طائرة بدون طيار، أم فرق ميدانية؟

مثال: لرسم غطاء أرضي لدولة، الصور الفضائية هي الأفضل؛ بينما لرسم أعمدة إنارة في مدينة، العمل الميداني أو الطائرات بدون طيار أنسب. وغالباً يُستخدم مزيج من الوسائل

مثل استخدام صور الأقمار الصناعية للتخطيط العام، ثم التحقق الميداني في المناطق (الحرّة). والناتج من جمع البيانات عادةً ما تكون مجموعات بيانات خام: سحب نقطية، صور، إحداثيات، إلخ.

تتدفق هذه إلى المراحل التالية: التحليل، التفسير، والتطبيق – التي سنستعرضها في الفصول اللاحقة.

كما يقول المثل في "GIS: البيانات الرديئة تعطي نتائج رديئة (Garbage in, Garbage out)" – التحليل الجيد يتطلب بيانات جيدة. لهذا، يضع علم الجيوماتيكس تركيزاً كبيراً على تقنيات جمع البيانات الموثوقة، ويواصل الابتكار في هذا المجال (مثل الانتشار السريع للطائرات بدون طيار وتقنيات جمع البيانات عبر الحشود في العقد الأخير).

مثال توضيحي: جمع البيانات من أجل التوأّم الرقمي الحضري (Urban Digital Twin)

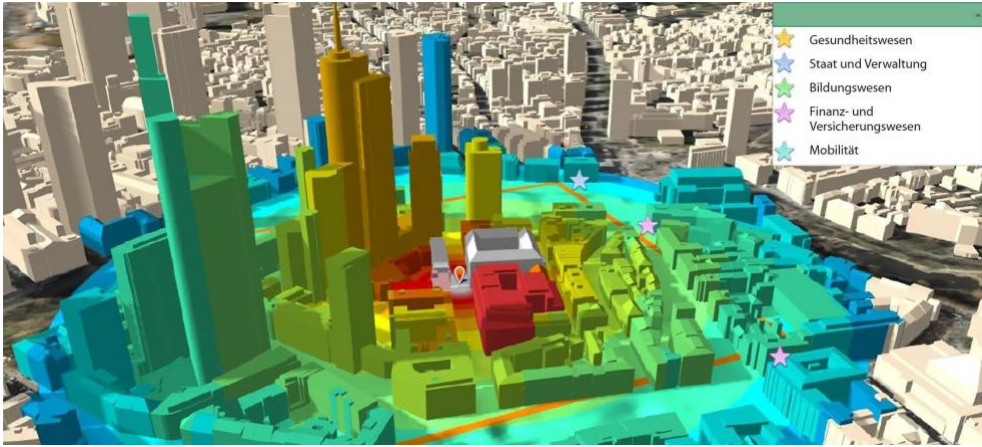
التوأّم الرقمي الحضري (شكل ٣٥) هو نموذج ثلاثي الأبعاد تفصيلي لمدينة يُستخدم للتخطيط والمحاكاة.

قد يشمل جمع البيانات لهذا المشروع:

- استخدام LiDAR جوي للحصول على شكل التضاريس والمباني (هياكل الأسطح).
- جمع صور جوية مائلة للحصول على تفاصيل واجهات المباني.
- قيادة شوارع المدينة بسيارات رسم الخرائط المتنقلة لالتقاط عناصر الشوارع وعلامات الأرضية.
- تكليف الأقمار الصناعية بتقديم تحديثات منتظمة لتغيرات استخدام الأراضي أو أنشطة البناء الجديدة.

- تشجيع المواطنين على تحميل صور معنونة جغرافياً لمعالم أو مشاكل (مدخلات عبر الحشود).

كل هذه البيانات تُدمج لبناء نموذج حضري شامل.



شكل (٣٥): نموذج للتوأمة الرقمية للتخطيط الحضري

المصدر: <https://vc.systems/en/solutions/digital-twin/>

بشكل عام، غالباً ما يُستخدم مزيج من الطرق المذكورة في مشروع واحد لضمان الحصول على بيانات كافية وموثوقة. فمثلاً، في مشروع دراسة بيئية لمنطقة ريفية قد يتم استخدام صور فضائية لتحديد الغطاء الأرضي العام، وطائرة درون للحصول على تفاصيل عن موقع عينة، ومسح GPS للتحقق الميداني من دقة التصنيف للصور، وربما مسوحات أرضية لبعض المعالم الخاصة. يقوم أخصائي الجيوماتيكس بتقييم عوامل مثل الدقة المطلوبة، حجم المنطقة، التكلفة، الوقت، توفر المعدات والبيانات، ليختار أفضل طرق الجمع أو يجمع بينها لتحقيق الهدف المطلوب.

وبعد جمع البيانات، تأتي مرحلة دمجها وتحليلها ضمن برامج GIS ولضمان جودة التحليل، ينبغي التأكد من جودة البيانات المجمعة عبر عمليات المعايرة الميدانية والتدقيق. على

سبيل المثال، عند جمع بيانات ارتفاعات بنظام LiDAR ، قد تتم معايرتها بنقاط قياس أرضية للتأكد من صحتها. فالقاعدة الذهبية هي "البيانات الجيدة تقود إلى قرارات جيدة"، لذا يُعطى جمع البيانات في الجيوماتيكس أهمية كبرى، مع الانتباه لمعايير الدقة وتوثيق مصادر البيانات وخطوات الحصول عليها.

أسئلة للمراجعة

- ما هي الطرق الرئيسية لجمع البيانات الجغرافية المذكورة أعلاه؟ اذكر ثلاثة منها على الأقل وشرح سيناريو يستخدم كل منها.
- ما الدور الذي تلعبه الطائرات بدون طيار في جمع البيانات المكانية اليوم، وكيف تختلف عن الصور الجوية التقليدية من الطائرات؟
- كيف يمكن الاستفادة من الجمهور ومصادر البيانات المفتوحة في جمع المعلومات المكانية؟ أعط مثلاً من الواقع.

تمارين

- تخيل أنك كُلِّفَت بمشروع لإعداد خريطة أساسية (Base Map) لجامعة أو مجمّع سكني كبير. حدد خطة لجمع البيانات تتضمن الطرق التي ستستخدمها (مثلاً: مسح أرضي لتحديد حدود المباني، طائرة بدون طيار للحصول على صورة جوية حديثة، GPS لجمع مواقع بعض المعالم المهمة). وضّح لماذا اخترت كل طريقة وماذا سيكون ناتجها.
- نقّذ مسحاً ميدانياً مبسطاً: باستخدام هاتفك المحمول، حاول جمع إحداثيات GPS لخمسة معالم واضحة في منطقتك (مثل تقاطع طرق، مبنى مميز، حديقة...). ثم دوّن هذه الإحداثيات على خريطة ورقية أو أدخلها في أحد تطبيقات الخرائط

الرقمية المجانية. قيم دقة هذه الإحداثيات مقارنة بموقعها الحقيقي الذي تعرفه.

ما أخطاء GPS التقريبية التي واجهتها؟

- اختر صورة فضائية مجانية لمنطقة تعرفها (يمكن الحصول عليها من خلال منصات مثل Google Earth أو موقع (USGS Earth Explorer) حاول تفسير ما تراه في الصورة: حدد أنماط استعمالات الأرض (مساكن، زراعة، مياه، طرق). ثم تحقق ميدانيًا من اثنين من هذه المعالم لتتأكد من صحة تفسيرك. اكتب تقريرًا قصيرًا عن تجربتك هذه، وناقش التحديات التي واجهتك في تفسير الصورة وكم كانت دقة استنتاجاتك بعد التحقق.

الفصل التاسع

طرق تحليل البيانات في الجيوماتيكس

بمجرد التقاط البيانات الجغرافية المكانية ومعالجتها بشكل صحيح إلى صيغ قابلة للاستخدام، تأتي الخطوة الحاسمة التالية وهي التحليل – أي استخراج المعنى والأنماط والرؤى من البيانات.

يحوّل تحليل البيانات في الجيوماتيكس (الذي يتم غالباً داخل نظم المعلومات الجغرافية GIS أو باستخدام برامج متخصصة) البيانات المكانية الخام إلى معلومات تدعم عملية اتخاذ القرار أو الفهم العلمي. ويغطي هذا الفصل الأنواع الرئيسية لتحليل البيانات في الجيوماتيكس ويوضح كيف يتم تحويل البيانات إلى معرفة. سنتناول تقنيات التحليل المكاني، وأساليب النمذجة، والتصور البصري كجزء من التحليل.

إعداد ومعالجة البيانات المكانية (Spatial Data Preparation and Preprocessing)

قبل الغوص في العمليات التحليلية، غالباً ما يحتاج المتخصصون إلى تجهيز مجموعات البيانات:

- **تنظيف البيانات (Data Cleaning):** إزالة الأخطاء أو القيم الشاذة. مثال: تصفية القيم المتطرفة لنقاط GPS الناتجة عن تعدد المسارات، أو إزالة البكسلات المغطاة بالغيوم من بيانات صور الأقمار الصناعية البصرية.
- **توحيد الإسقاط والمرجع الجيوديسي (Projection and Datum Harmonization):** تحويل جميع الطبقات إلى نظام إحداثي مشترك بحيث تتطابق بشكل صحيح (مثلاً، تحويل الخرائط القديمة من الشبكات المحلية إلى إحداثيات UTM المستندة إلى WGS84).

هذه الخطوة أساسية – فعدم محاذاة البيانات قد يؤدي إلى نتائج تحليلية خاطئة.

- **التعميم أو التحسين: (Generalization or Refinement)** اعتماداً على مقياس التحليل، قد تحتاج البيانات إلى التعميم (تبسيط التفاصيل الزائدة للتحليل واسع النطاق) أو التحسين (مثل تحويل بيانات شبكية Raster إلى بيانات متجهة Vector أو العكس عند الحاجة).

- **إثراء البيانات التفصيلية: (Attribute Enrichment)** إضافة البيانات المطلوبة للتحليل.

على سبيل المثال، حساب مساحة كل مضلع قطعة أرض وإضافتها كسمة، بحيث يمكن لاحقاً تحليل أحجام القطع إحصائياً.

وبعد اعداد ومعالجة البيانات المكانية وتنظيمها، تأتي مرحلة تحليل البيانات وهي جوهر استخراج المعرفة من المعلومات الجغرافية. يتميز علم الجيوماتيكس بمجموعة غنية من أساليب التحليل التي تمكن الجغرافيين والمهندسين من فهم الأنماط المكانية والعلاقات المعقدة بين الظواهر. فيما يلي نستعرض بعض أبرز طرق تحليل البيانات المستخدمة في الجيوماتيكس:

١) **التحليل المكاني (Spatial Analysis)** باستخدام GIS يوفر GIS طيفاً واسعاً من أدوات التحليل المكاني التي تعالج العلاقات المكانية بين المعالم. من أمثلة هذه التحليلات:

- **الرسم والتصور: (Mapping and Visualization)** مجرد عرض البيانات على الخرائط يُعتبر شكلاً من التحليل - إذ يكشف التوزيعات المكانية. تُعد الخرائط الكوروبليثية (خرائط موضوعية تُظلل المناطق حسب قيمة إحصائية) شائعة لتمثيل الكثافة السكانية أو معدل الهطول المطري حسب المناطق.

في الجيوماتيكس، يمكن إنشاء خرائط حرارية لكثافة النقاط (مثل بؤر الجرائم) لعرض مناطق التركيز.

- الملخصات الإحصائية المكانية: (Spatial Statistical Summaries) حساب مقاييس مثل:

- المركز المتوسط (Mean Center) لمجموعة من النقاط،
 - المسافة المعيارية – (Standard Distance) شبيهة بالانحراف المعياري لكن لانتشار النقاط،
 - مؤشرات الارتباط الذاتي المكاني (مثل Moran's I) لتحديد ما إذا كانت البيانات متجمعة، متفرقة، أم عشوائية.
- مثال: عند تحليل توزيع بؤر الزلازل، يمكن معرفة إن كان هناك تجمع على طول فوالق معينة (يظهر كارتباط مكاني عالٍ).

- مقاييس تحليل التضاريس: (Terrain Analysis Metrics) من النماذج الرقمية للارتفاعات DEMs يمكن اشتقاق شبكات الانحدار، الاتجاه، والانحناء. هذه المقاييس تساعد في فهم شكل التضاريس. مثلاً: قد ترتبط الانحدارات الشديدة بحدوث الانهيارات الأرضية، ويمكن تحليل ذلك عبر إسقاط مواقع الانهيارات على خريطة الانحدارات لمعرفة النمط.

- تحليل التراكب: (Overlay Analysis) حيث يتم إسقاط طبقتين أو أكثر فوق بعضها البعض لاكتشاف التداخل أو العلاقات. مثلاً تراكب خريطة استخدامات الأرض مع خريطة المناطق المعرضة للفيضانات لتحديد استعمالات الأراضي الواقعة في مناطق الخطر. يعتبر هذا التحليل أساس العديد من دراسات التخطيط (مثل دراسات اختيار المواقع المناسبة لمشاريع معينة).

- تحليل الجوار: (Proximity Analysis) مثل حساب المسافة بين معلم وآخر (أقرب مستشفى إلى كل حي مثلاً)، أو توليد مناطق تأثير حول المعالم (مثل رسم

نطاق 500 متر حول كل مدرسة باعتباره منطقة خدمة). يساعد هذا التحليل في فهم مدى وصول الخدمات والتغطية المكانية لها.

- **التحليل الشبكي: (Network Analysis)** وهو مختص بتحليل شبكات المواصلات أو المرافق. يمكننا من إيجاد أقصر طريق بين نقطتين، أو تحديد منطقة الوصول (Service Area) حول نقطة ما عبر الطرق. هذا النوع مهم جدًا في تخطيط النقل وتحديد مسارات سيارات الإسعاف أو توزيع الخدمات اللوجستية.
- **التحليل الإحصائي المكاني:** ويتضمن أدوات مثل الارتباط الذاتي المكاني (Spatial Autocorrelation) التي تقيس مدى تجمع ظاهرة ما مكانيًا (هل تتجمع القيم المتماثلة في مكان واحد؟). ومن الأمثلة أيضًا تحليل العنقودية المكانية لتحديد بؤر تجمع ظاهرة (مثل تجمع مرض معين في منطقة محددة). مثل هذه الأدوات أصبحت أساسية في الدراسات التي تتعامل مع توزيع الظواهر على نطاق واسع، كالدراسات السكانية والوبائية.

هذه الأمثلة مجرد لمحة عن إمكانيات GIS ، وجميعها تعتمد على مبادئ رياضية وجغرافية لتحويل البيانات الخام إلى معلومات مفهومة تدعم القرارات.

الاستعلام والاختيار المكاني (Spatial Query and Selection)

تُتيح نظم المعلومات الجغرافية الاستعلام عن البيانات حسب الموقع أو السمات:

- **استعلامات السمات: (Attribute Queries)** مثل اختيار جميع المدن ذات تعداد سكاني أكبر من مليون نسمة، ثم تحليل توزيعها المكاني.
- **استعلامات الموقع: (Location Queries)** مثل إيجاد جميع المدارس ضمن 500 متر من طريق رئيسي (باستخدام منطقة عازلة حول الطرق، ثم تحديد المدارس داخلها).

أو إيجاد أقرب مستشفى لكل حي.

هذه الإجابات مكانية بطبيعتها وتعتمد على الهندسة الحاسوبية.

- الاحتواء والمجاورة: (Containment and Adjacency) مثل تحديد عدد حالات مرضية تقع ضمن مناطق المياه الجوفية الملوثة – استعلام احتواء قد يُشير إلى علاقة محتملة.

غالباً ما تُمهد هذه الاستعلامات الطريق لتحليلات أكثر تعقيداً عبر تصفية البيانات ذات الصلة.

٢) النمذجة والتحليل التنبؤي (Modeling and Predictive Analysis)

و يتضمن الجيوماتيكس نمذجة العمليات أو التنبؤ بالنتائج:

- نمذجة الملاءمة: (Suitability Modeling) دمج طبقات متعددة بأوزان لإيجاد أنسب (أو أسوأ) المواقع لغرض معين.
مثال: اختيار موقع مناسب لمزرعة رياح يتطلب طبقات مثل سرعة الرياح، استخدامات الأراضي (لتجنب المناطق السكنية)، الارتفاع، والقرب من خطوط النقل الكهربائي.
تُحوّل كل طبقة إلى مقياس ملاءمة موحد وتُوزن، ثم تُجمع لإنتاج خريطة الملاءمة.
- النمذجة البيئية: (Environmental Modeling) استخدام البيانات المكانية في النماذج، مثل النمذجة الهيدرولوجية حيث يُستخدم DEM لاشتقاق مسارات الجريان وحوض التصريف.
يمكن للنموذج محاكاة الهطول-الجريان للتنبؤ بفيضانات.
يوفر الجيوماتيكس البيانات والوظائف المكانية (مثل تحديد الأحواض ومسارات الجريان) لدعم هذه النماذج.

- **نمذجة النمو الحضري وتغير الأراضي (Urban Growth and Land Change Modeling):** باستخدام خرائط استخدامات الأراضي التاريخية (من الاستشعار عن بعد) والعوامل المؤثرة (مثل القرب من الطرق أو مراكز المدن)، يمكن بناء نماذج (خلايا أوتوماتا، الانحدار اللوجستي) للتنبؤ بمناطق التوسع العمراني في المستقبل. هذه النماذج تساعد المخططين على تصور السيناريوهات المستقبلية.
- **تحليل الشبكات (Network Analysis):** شكل متخصص من النمذجة يتعامل مع الشبكات (طرق، سكك، شبكات مرافق). يسمح بالتوجيه (أقصر أو أسرع مسار)، التخصيص (أي مدرسة هي الأقرب لكل منزل)، وتحليل التدفق (مثل محاكاة المرور). مثال: نمذجة أوقات استجابة الطوارئ في مدينة عبر حساب أزمنة السفر من محطات الإطفاء إلى الأحياء، وتحديد المناطق التي تتجاوز الزمن المسموح.
- **التنبؤ الجيوإحصائي (Geostatistical Prediction):** إذا كانت هناك عينات نقطية (مثل حساسات جودة الهواء)، يمكن للجيوإحصاء (مثل الكريغنج Kriging) أن يُنمذج الترابط المكاني ويتنبأ بالقيم في المواقع غير المأخوذة، مع تقدير لعدم اليقين. تُستخدم هذه التقنية بكثرة في التعدين والعلوم البيئية.
- **تحليل الصور / نتائج التصنيف (Image Analysis / Classification):** بعد تصنيف صورة استشعار عن بعد إلى فئات غطاء أرضي، قد يتضمن التحليل تقييم الدقة (مقارنة مع نقاط تحقق ميدانية، حساب مصفوفة الالتباس ومؤشر كابا). ثم يمكن حساب إحصاءات مثل المساحة المغطاة بكل فئة، أو مقارنة صور مُصنفة من سنوات مختلفة لتحديد التغيرات (مثل عدد الهكتارات من الغابات التي تحولت إلى زراعة).

٣) دور الأتمتة والبرمجة في التحليل (Role of Automation and Scripting in Analysis)

غالباً ما يتطلب التحليل الحديث في الجيوماتيكس الأتمتة بسبب ضخامة البيانات. تُستخدم البرمجة (مثل Python مع مكتبات GDAL/OGR أو R للإحصاء المكاني، أو سكريبتات GIS المدمجة) لربط خطوات التحليل وتكرارها.

مثال: تحليل سلسلة زمنية من 100 صورة قمر صناعي قد يتطلب سكريبت آلي لإزالة الغيوم، تصنيف الصور، واكتشاف التغير لكل تاريخ.

كما دخل التعلم الآلي والذكاء الاصطناعي في التحليل الجغرافي:

- خوارزميات التجميع لتحديد الأنماط (تصنيف غير موجه).
- التعلم الموجه للتنبؤ بنتيجة (مثل حدوث انهيار أرضي) بناءً على طبقات مؤثرة (مثل الانحدار، الجيولوجيا، الغطاء النباتي).
- التعلم العميق (مثل الشبكات العصبية الالتفافية CNN) لاكتشاف الأنماط المعقدة في الصور (مثل التعرف التلقائي على المباني أو الطرق).

٤) التفسير والتحقق (Interpretation and Validation)

التحليل لا يقتصر على المعالجة الحسابية؛ فالتفسير أمر بالغ الأهمية:

- هل النمط المكاني منطقي بالنظر إلى المعرفة الميدانية؟
- التحقق باستخدام بيانات مستقلة (Ground Truthing).
- إجراء تحليل الحساسية عبر تغيير المعايير لمعرفة مدى استقرار النتائج.

٥) التصور كتحليل (Visualization as Analysis)

يمكن اعتبار التصور البصري نفسه شكلاً من التحليل، لأنه يكشف أنماطاً غير واضحة من الجداول الخام.

يشمل ذلك:

- التصور ثلاثي الأبعاد (مثلاً مدينة ثلاثية الأبعاد لتحليل الظلال).
- الرسوم الزمنية المتحركة (مثل عرض سنوي لإزالة الغابات).
- الخرائط التفاعلية (تشغيل/إيقاف الطبقات، الاستعلام عن العناصر).

٦) تطبيقات تحليل البيانات (Applications of Data Analysis)

- الصحة العامة: مثل رسم خرائط الإصابة بالأمراض وربطها بالعوامل البيئية.
- إدارة البيئة: مثل حساب مساحة إزالة الغابات سنوياً وتحليل العوامل المؤثرة.
- الهندسة والبنية التحتية: مثل اختيار مسار الطريق الأمثل باستخدام نماذج تكلفة أقل.
- الزراعة الدقيقة: مثل تحليل خرائط الغلة ودمجها مع خرائط التربة لوضع خطط تسميد دقيقة.
- إدارة الكوارث: مثل تحليل صور ما قبل وبعد الزلازل لاكتشاف المباني المنهارة أو الطرق المغلقة.

من التحليل إلى القرار (From Analysis to Decision)

الهدف النهائي من تحليل بيانات الجيوماتيكس هو دعم القرارات أو زيادة الفهم على سبيل المثال:

- أبحاث المناخ تعتمد على تحليلات بيانات الاستشعار عن بعد طويلة المدى.
- شركات الخدمات اللوجستية تحلل بيانات المسارات لتحديد مواقع المستودعات المثلى.

لكن تبقى الخبرة البشرية أساسية لضمان معنى النتائج.

(٧) تحليل بيانات الاستشعار عن بعد (Image Analysis) يتضمن تحليل الصور الفضائية والجوية سلسلة من الخطوات لاستخراج المعلومات منها:

- التصحيح المسبق (Preprocessing) مثل تصحيح التشوهات الهندسية في الصور، أو إجراء تصحيح إشعاعي لتعديل اختلاف الإضاءة أو الجو.
- حساب المؤشرات الطيفية (Spectral Indices) مثل NDVI لمراقبة صحة الغطاء النباتي، أو مؤشر الماء (NDWI) لتحديد أماكن المياه. هذه المؤشرات هي معادلات تجمع قيم نطاقات طيفية محددة لتبرز خاصية معينة.
- تصنيف الصور (Image Classification) وهو عملية تلقائية أو شبه تلقائية لتصنيف كل بيكسل في الصورة إلى فئة (مثلاً: غابة، مياه، مدينة، أرض زراعية) بناءً على خصائصه الطيفية. هناك طرق تصنيف موجه (Supervised) حيث يستخدم المحلل عينات تدريب، وتصنيف غير موجه (Unsupervised) حيث يُترك للخوارزمية أن تجد مجموعات طبيعية للبيانات. ناتج عملية التصنيف هو خريطة فئات تغطي المنطقة المصورة.

- **الكشف عن التغيرات: (Change Detection)** عند توفر صور لنفس المنطقة في أزمنة مختلفة، يمكن استخدام تقنيات حسابية لتحديد ما تغير خلال الفترة (مثال: مقارنة صورة لمنطقة ريفية بين عامي 2000 و 2020 لمعرفة مدى تمدد العمران على حساب الأراضي الزراعية).

- **الدمج بين البيانات: (Data Fusion)** مثل دمج صورة ذات دقة مكانية عالية مع صورة ذات دقة طيفية عالية للحصول على صورة تجمع الميزتين (Pan- Sharpening)، أو دمج بيانات ليدار مع صورة فضائية للحصول على معلومات كل من الارتفاعات والغطاء الأرضي معًا.

تحليل بيانات الاستشعار عن بعد يتطلب فهمًا لمبادئ علم الصور وتقنيات معالجة الإشارة، وكذلك استخدام برمجيات متخصصة (مثل ENVI ، ERDAS ، أو حتى حزم Python مثل GDAL) والهدف النهائي هو استخراج معلومات كمية (مثلًا مساحة الغابات، درجة حرارة سطح البحر،... إلخ) أو نوعية (خريطة تصنيفية للأنماط الأرضية) يمكن ربطها بالتحليلات الأخرى.

٨) **النمذجة المكانية: (Spatial Modeling)** كثيرًا ما يتجاوز التحليل المكاني مجرد الوصف إلى بناء نماذج تتوقع المستقبل أو تحاكي سيناريوهات مفترضة. ومن أمثلة النماذج المكانية:

- نماذج المحاكاة الحضرية: التي تتوقع النمو العمراني المستقبلي على أساس الاتجاهات الحالية والعوامل المحفزة أو المعيقة (مثل نموذج الخلية الذاتية CA أو نموذج LUCC لتغير استخدامات الأرض).
- نماذج انتشار الظواهر: مثل نماذج انتشار الحرائق الغابية أو تسرب الملوثات في نهر أو انتشار وباء. تعتمد هذه النماذج على معادلات رياضية وقواعد فيزيائية وتأخذ في الحسبان التضاريس والعوامل البيئية.

- نماذج الملاءمة المكانية: (Suitability Models) وهي التي تستخدم طرق تحليل متعددة المعايير (Multi-Criteria Analysis) لترجيح طبقات معلومات متعددة وتحديد أي المواقع أنسب لغرض معين. مثلاً: نموذج يحدد أنسب موقع لإنشاء منتزه وطني بناءً على معايير (توفر مياه، تنوع حيوي، بعد عن المناطق السكنية،...).

- نماذج شبكة التصريف المائي: (Hydrological Modeling) حيث يتم تحليل تضاريس المنطقة ونوعية التربة وبيانات الطقس لتوقع جريان المياه، وتحديد مناطق التجمع والفيضانات المحتملة أو حساب تدفق النهر. هذه النماذج تعتمد كثيراً على البيانات المكانية، كنموذج الارتفاع الرقمي ومعلومات استخدامات الأرض.

إن بناء هذه النماذج غالباً ما يتم عبر ربط برمجيات GIS ببرمجيات متخصصة أو حزم برمجية إحصائية. وأحياناً تُبنى داخل GIS عبر نماذج تلقائية (Model Builder) أو عبر البرمجة (مثل بايثون في ArcGIS أو R). القيمة المضافة لهذه النماذج أنها تمكن من استكشاف "ماذا لو؟" أي فهم عواقب القرارات المكانية قبل اتخاذها أو الاستعداد للسيناريوهات المستقبلية المحتملة.

٩) تحليل قواعد البيانات المكانية: (Spatial Database Queries) عندما تتراكم لدينا كم كبير من المعلومات المكانية في قاعدة بيانات، يصبح من الضروري استخدام أساليب الاستعلام الفعال. لغة الاستعلام SQL جرى توسعتها بما يناسب البيانات المكانية (مثل التعابير المكانية ضمن PostGIS أو Oracle Spatial). تتيح هذه الاستعلامات الحصول بسرعة على معلومات مثل: "كم عدد القرى ضمن نطاق 5 كم من النهر؟"، أو "اعرض لي أسماء المقاطعات التي يزيد عدد سكانها عن مليون ومساحتها أقل من 1000 كم²". هذه التحليلات الوصفية المكانية هي جزء أساسي من حياة أي مشروع خرائطي أو نظام معلومات جغرافي خدمي (مثل نظم دعم اتخاذ القرار في البلديات). فعلى الرغم من بساطة هذا النوع

من التحليل مقارنة بالنماذج المعقدة، إلا أنه مهم لضمان استرجاع المعلومات الصحيحة والإجابة على أسئلة محددة من صانعي القرار بشكل سريع ودقيق.

١٠. **التصور المكاني (Spatial Visualization) وتحليل الأنماط:** تصور البيانات هو جزء من التحليل أيضًا. فتوليد الخرائط الموضوعية (Thematic Maps) باستخدام تصنيفات لونية أو رموز بحجوم مختلفة يبرز أنماطاً قد لا تكون واضحة من الجداول. مثلاً: خريطة توضح كثافة السكان بألوان متدرجة ستكشف فوراً أهم المناطق كثافة. أو خريطة اتجاهات الرياح يمكن أن تظهر نمطاً شعاعياً ربما يدل على تأثير تضاريسي. هذا التصور قد يكون خطوتك الأولى في تحليل النمط المكاني (Spatial Pattern) قبل الغوص في حسابات إحصائية. فالعين البشرية بارعة في تمييز الأنماط إذا تم عرض البيانات جيداً. كما أصبحت المرئيات ثلاثية الأبعاد جزءاً من التحليل، لإيضاح علاقات مثل العلاقة بين ارتفاع التضاريس وتوزيع ظاهرة ما، أو رؤية المدينة بشكل مجسم لمعرفة تأثير مبنى جديد على المشهد العام. هذه الأساليب البصرية تعزز فهم النتائج وتجعل إيصالها للآخرين أسهل.

من المهم الإشارة إلى أن عملية تحليل البيانات المكانية غالباً ما تكون تكرارية: إذ يبدأ المحلل بتحليل ما، فيكتشف اتجاهها معيناً، مما قد يدفعه لجمع بيانات إضافية أو تجربة طريقة تحليل أخرى للتأكد. كما أن دمج أكثر من أسلوب تحليل هو الشائع في المشاريع الواقعية. فمثلاً، قد يستخدم خبير الجيوماتيكس التحليل الشبكي لتقييم إمكانية الوصول لموقع ما، ثم يستخدم نموذج الملاءمة ليوافق نتائج الوصول مع عوامل أخرى، وفي النهاية يصور النتائج على خريطة سهلة الفهم لصانع القرار.

إلى جانب ذلك، تزايد أهمية التحليلات الزمانية-المكانية، أي التي تراعي تغير الظواهر مع الزمن والمكان معاً. مثل تحليل تغير درجات الحرارة مكانياً عبر السنوات، أو تتبع تحركات

مجموعة حيوانية خلال مواسم مختلفة. هذه التحليلات تعتبر متقدمة وتتطلب معالجة البيانات كبعد ثالث (الزمن كسلسلة زمنية).

باختصار، يوفر علم الجيوماتيكس أدوات تحليلية قوية تسمح بتحويل الكم الهائل من البيانات المكانية إلى معرفة واضحة وداعمة للقرار. وتكمن مهارة محلل الجيوماتيكس في اختيار الأداة المناسبة للسؤال البحثي المطروح، وفي تفسير النتائج مكانياً بشكل صحيح، مدرّكاً لأن "خريطة بلا تحليل كبيانات بلا معنى".

أسئلة للمراجعة

- ما الفرق بين تحليل التراكب (Overlay) والتحليل الشبكي (Network) في نظم المعلومات الجغرافية، وفيما يستخدم كل منهما؟
- اذكر مثلاً على مؤشر طيفي يُستخدم في تحليل صور الاستشعار عن بعد، وما هي المعلومة التي يوفرها هذا المؤشر؟
- كيف يمكن استخدام التحليل المكاني لتحديد أفضل موقع لبناء مدرسة جديدة في مدينة ما؟ وضح باختصار ما المعايير التي قد تدخل في ذلك.

تمارين

- لديك خريطة لمراكز صحيّة في مدينة، وأخرى لتوزيع السكان حسب الأحياء. صف الخطوات التي ستقوم بها باستخدام GIS لتحليل مدى كفاية هذه المراكز الصحية للسكان. ما الأدوات التي ستستخدمها (مثلاً: حساب نصف قطر الخدمة حول كل مركز، أو حساب عدد السكان ضمن نطاق معين)؟
- قم بتنزيل بيانات نقطية (Vector) لطرق ومواصلات منطقة ما (يمكن أن تجدها كمصدر مفتوح في OpenStreetMap مثلاً)، ثم استخدم أي أداة تراها مناسبة

(يمكن حتى Google Maps لتحديد أقصر طريق بين نقطتين تعرفهما في تلك المنطقة. قارن ما توصلت إليه مع معرفتك الشخصية للطريق الأمثل. هل كان التحليل الشبكي منطقيًا؟ ما العوامل التي قد تجعل الطريق "الأقصر" ليس بالضرورة "الأفضل"؟

- استخدم إحدى أدوات التحليل المتاحة على الانترنت (مثل أداة خرائط حرارية Heatmap المتوفرة في بعض تطبيقات الخرائط المفتوحة) وقم بإنشاء خريطة حرارية لتوزيع ظاهرة تختارها (مثلاً: توزيع المطاعم في مدينتك). ما النمط المكاني الذي لاحظته من الخريطة؟ وهل يساعد ذلك في تفسير تركز الظاهرة في مناطق معينة؟

الفصل العاشر

التطبيقات العالمية لعلم الجيوماتيكس

تتنوع تطبيقات علم الجيوماتيكس في شتى المجالات حول العالم، حيث أصبح عامل المكان عنصراً مشتركاً في حل الكثير من المشكلات وإدارة الموارد والبنى التحتية. فيما يلي نعرض عدداً من أبرز المجالات التطبيقية للجيوماتيكس على الصعيد العالمي، مع أمثلة واقعية (دراسات حالة) تبين دور تقنيات الجيوماتيكس في كل منها:

(١) التخطيط العمراني وإدارة المدن: (Urban Planning) يُعد الجيوماتيكس أداة فعالة في تخطيط المدن المستدامة واتخاذ القرارات المكانية المتعلقة بالبنية التحتية. تستخدم البلديات حول العالم نظم المعلومات الجغرافية لتحليل الأنماط العمرانية الحالية والتنبؤ بالاحتياجات المستقبلية. على سبيل المثال، استعانت مدينة سنغافورة بتقنيات الجيوماتيكس لبناء نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد لكامل المدينة كجزء من مبادرة "الأمّة الذكية"، مما يساعد المخططين على تقييم تأثير مشاريع البناء الجديدة على المشهد الحضري وحركة المرور قبل تنفيذها. ويسمح تحليل البيانات السكانية والاقتصادية عبر GIS في سنغافورة بتحديد أفضل الأماكن لإنشاء المباني والمرافق العامة والبنى التحتية، وبالتالي بناء مدن أكثر كفاءة واستدامة (شكل ٣٦).

دراسة حالة: في مدينة ميسا (Mesa) بولاية أريزونا الأمريكية (شكل ٣٧)، طبقت البلدية نظاماً متكاملًا يعتمد على ArcGIS لمراقبة استخدامات الأراضي وتخطيط توسع الخدمات، حيث تمكن القائمون على التخطيط من تحديد قطع الأراضي الشاغرة المثلى للتطوير بناءً على معايير متعددة (القرب من الطرق، توفر الخدمات، ملكية الأرض)، وقد أدى ذلك إلى توفير ملايين الدولارات عبر توجيه التطوير إلى المناطق المناسبة بدلاً من التوسع العشوائي.



شكل (٣٦): مبادرة الأمة الذكية بمدينة سنغافورة

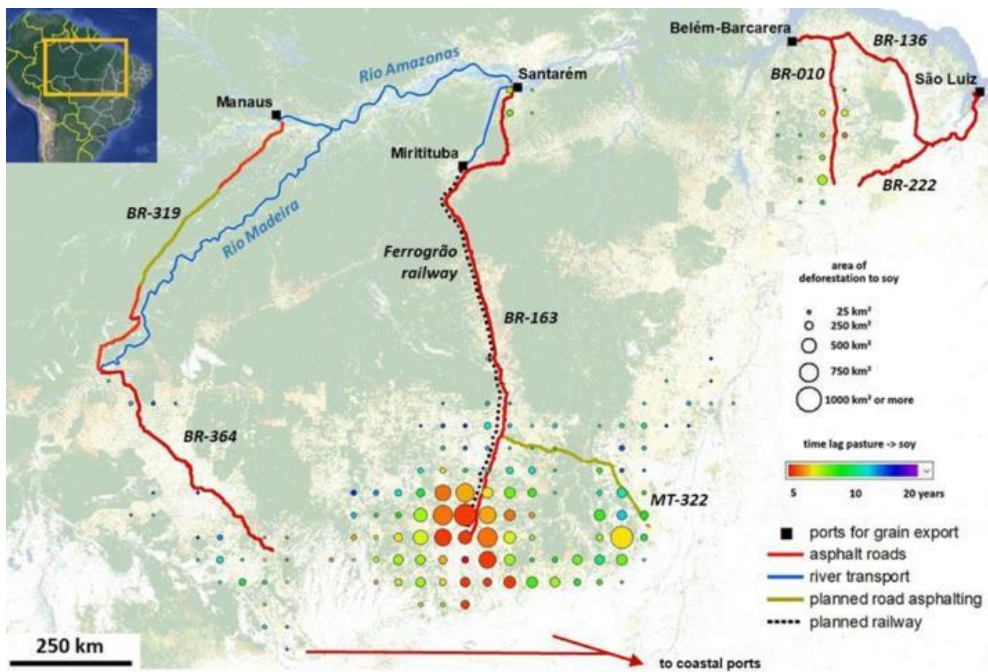


شكل (٣٧): مدينة ميسا في ولاية أريزونا ونظام مراقبة استخدامات الأرض وتخطيط الخدمات

المصدر: <https://www.mesalistens.com/preliminary-future-land-use-map>

٢) إدارة الموارد الطبيعية والبيئة: (Natural Resource Management) تلعب تقنيات الجيوماتيكس دورًا محوريًا في مراقبة الموارد الطبيعية كالمياه والغابات والمعادن، والتخطيط لاستخداماتها. يستخدم العلماء صور الأقمار الصناعية ونظم GIS لمتابعة توزيع الموارد وتغيرها. دراسة حالة: في غابات الأمازون الشاسعة، اعتمدت البرازيل على برنامج مراقبة

يعتمد على الاستشعار عن بعد (مشروع PRODES) لرصد إزالة الغابات سنويًا عبر صور أقمار Landsat منذ الثمانينات. وبفضل هذه التقنيات، أمكن للحكومة البرازيلية في عام 2004 اتخاذ إجراءات فعالة بعد اكتشاف معدلات إزالة غير مسبقة. بالفعل، أدت السياسات التي بنيت على بيانات الجيوماتيكس إلى انخفاض معدل إزالة الغابات بنسبة 80% بحلول 2012، فيما يوصف بأنه أحد أكثر قصص النجاح البيئي دراماتيكية في العالم. الصورة أدناه توضح تغير معدلات إزالة الغابات في الأمازون خلال الفترة 2001-2018 (شكل ٣٨).



شكل (٣٨): مشروع مراقبة تدهور غابات الأمازون بالبرازيل

المصدر: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/amazon-region-2022-and-2023-deforestation-forest-degradation-and-risk-growing-soy-production-2024-02-28_en

بالإضافة إلى الغابات، نجد تطبيقات بيئية أخرى مثل استخدام الاستشعار عن بعد في تقدير مخزون المياه في البحيرات والسدود، أو مراقبة تدهور الأراضي الزراعية. مثلاً، استخدمت الهند صور أقمار صناعية لرسم خرائط ملوحة التربة وتوجيه برامج استصلاح الأراضي المتأثرة، مما زاد الإنتاجية الزراعية في مناطق واسعة. ويوفر الجيوماتيكس بذلك أداة لا غنى عنها لتحقيق أهداف التنمية المستدامة عبر مراقبة دائمة ودقيقة لموارد كوكبنا.

٣) الزراعة الذكية وإدارة المحاصيل (Precision Agriculture): في قطاع الزراعة، أحدثت تقنيات الجيوماتيكس تحولاً نحو ما يسمى الزراعة الدقيقة حيث يتم إدارة الحقول استناداً إلى معلومات مكانية تفصيلية لتحسين الإنتاج وخفض الهدر. يستخدم المزارعون في دول متقدمة طائرات بدون طيار مزودة بكاميرات متعددة الأطياف لمسح مزارعهم، حيث يمكنهم تتبع صحة المحاصيل عبر حساب مؤشرات خضرية (NDVI) تكشف لهم عن بقع ضعف النمو أو نقص الماء. ثم يتم ربط أجهزة GPS على الجرارات بنظم معلومات جغرافية لتوجيه عمليات الري أو التسميد في تلك المناطق المحتاجة تحديداً. *دراسة حالة:* في ولايتي أيوا ونبراسكا (الولايات المتحدة) (شكل ٣٩)، تبنت عدة مزارع كبرى أنظمة GIS مرتبطة بمجسات أرضية وأقمار صناعية، نتج عنها زيادة غلة الذرة بنسبة ملحوظة وانخفاض استهلاك المياه والأسمدة الكيميائية. فعلى سبيل المثال، يقوم النظام بجمع بيانات رطوبة التربة من مجسات موزعة في الحقل، ويربطها بصور فضائية توضح نمو النبات، ثم يوجه نظام الري المتطور لضخ كميات مياه متفاوتة مكانياً بحيث تحصل كل قطعة من الحقل على حاجتها فقط. هذه الإدارة المكانية التفصيلية قللت الهدر وزادت المحصول؛ إذ بفضل تقنيات GIS والاستشعار عن بعد تم تحسين الري والتسميد، مما قلل من الهدر وزاد الإنتاجية. وقد قدرت وزارة الزراعة الأمريكية أن تطبيقات الزراعة الدقيقة المدعومة بالجيوماتيكس يمكن أن ترفع كفاءة استخدام الأسمدة بنحو 20% وتزيد الغلات حتى 15% في كثير من الحالات.

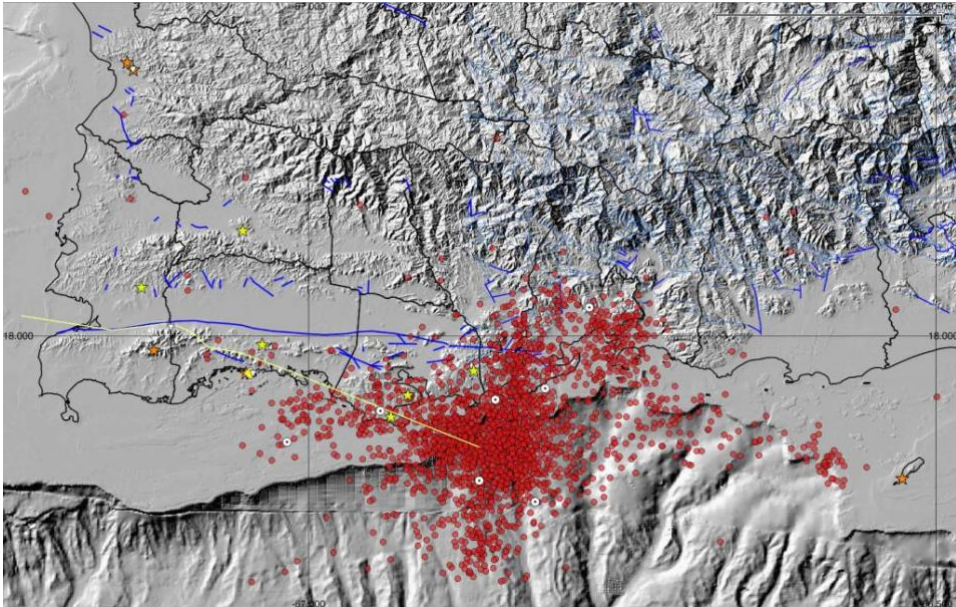


شكل (٣٩): ازدهار الزراعة الذكية في أمريكا بالاعتماد على الجيوماتيكس

المصدر: <https://www.gettyimages.com/search/2/image?phrase=smart+farming>

٣) إدارة الكوارث الطبيعية والإغاثة (Disaster Management) يستخدم الجيوماتيكس بشكل واسع في مراحل إدارة الكوارث المختلفة: من تقييم المخاطر، إلى الاستجابة الطارئة، ثم إعادة الإعمار. على سبيل المثال، قبل حدوث الكوارث يتم إعداد خرائط للمناطق المعرضة (مثل خرائط الفيضانات أو الزلازل) بناءً على تحليل بيانات تاريخية ونماذج محاكاة. أما أثناء الطوارئ، فتُستخدم صور الأقمار الصناعية لتقييم مدى الضرر بسرعة، كما يتم جمع بيانات ميدانية عبر GPS من فرق الإنقاذ لتنسيق جهود الإغاثة. دراسة حالة: أثناء زلزال هايتي 2010 المدمر، لعبت نظم المعلومات الجغرافية دورًا

حيويًا في جهود الإغاثة. حيث تعاونت منظمات دولية مع مجتمع المبرمجين المتطوعين لتحديث خرائط الطرق والمباني المنهارة باستخدام صور الأقمار الصناعية على منصة OpenStreetMap خلال أيام قليلة بعد الكارثة. وفي نفس الوقت، قامت فرق الإنقاذ الدولية باستخدام تطبيقات GIS لتحديد أماكن المستشفيات الميدانية ومراكز توزيع الغذاء بناءً على كثافة السكان الناجين ومناطق العزل. ذكرت تقارير Esri أن تقنية GIS ساعدت في تحديد المناطق الأكثر تضررًا وتوجيه الإمدادات الإنسانية إليها بكفاءة. وكشفت خرائط أُعدت سريعًا عن الطرق المغلقة والجسور المهدمة لتوجيه فرق الإنقاذ إلى طرق بديلة. مثال آخر حديث هو استخدام الأقمار الصناعية والرادار لتقييم الأضرار بعد إعصار "ماريا" في بورتوريكو 2017، حيث تم إنتاج خرائط فورية عبر برنامج Copernicus الأوروبي بينت للمسؤولين مواقع الانهيارات الأرضية وانقطاع الطرق، مما سرّع عمليات إعادة التيار الكهربائي وفتح الطرق (شكل ٤٠).

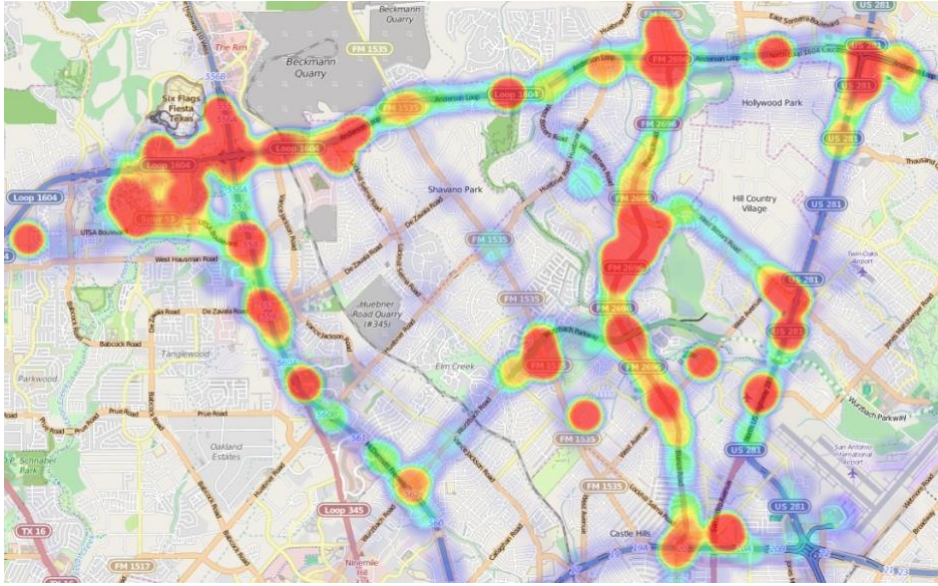


شكل (٤٠): رصد مواقع الانهيارات الأرضية بعد زلزال بورتوريكو عام ٢٠١٧

المصدر: <https://www.eoportal.org/satellite-missions/copernicus-sentinel-1>

2018-14

٤) النقل وإدارة البنية التحتية: (Transportation & Infrastructure) تستخدم الهيئات المسؤولة عن النقل والمرافق العامة نظم الـ GIS لإدارة شبكات الطرق والسكك الحديدية وخطوط الأنابيب وشبكات الطاقة. يوفر الجيوماتيكس أدوات فعالة لتخطيط شبكات النقل الذكية ومراقبة صيانتها. دراسة حالة: في مدينة أمستردام بهولندا، تم تطبيق نظام GIS متكامل لإدارة أصول البنية التحتية للطرق، يتضمن خرائط أنية لحالة الطرق وإشارات المرور وأماكن الاختناقات. ساعد هذا النظام مسؤولي المرور على تحليل تدفق حركة المركبات باستخدام بيانات حية من حساسات الطرق ونظام GPS في الحافلات. ونتيجة لذلك، تمكنوا من تعديل توقيت الإشارات الضوئية في الوقت الفعلي لتخفيف الازدحام في ساعات الذروة. كما استخدمت حكومة أمستردام تطبيقات جيوماتيكس لتخطيط مسارات الدراجات الهوائية الشهيرة هناك، عبر تحليل بيانات المواقع التي يكثر فيها الحوادث لتحديد أين يجب إنشاء ممرات دراجات أكثر أمانًا. على نطاق عالمي، تُعتبر تجربة أنظمة الملاحة (مثل Google Maps و Waze) مثالًا محسوسًا يستفيد منه الملايين؛ فهذه التطبيقات تعتمد على بيانات GPS الآنية من هواتف المستخدمين لرسم خريطة حرارية لحركة المرور، وتستخدم خوارزميات شبكية لإعادة توجيه السائقين نحو طرق أسرع وتجنب الاختناقات. هذا التطبيق اليومي للجيوماتيكس قلل فعليًا من أوقات الرحلات في المدن الكبرى بنسبة تتراوح بين 10-20% وفق بعض الدراسات (شكل ٤١).



شكل (٤١): خرائط حرارية لحالات المرور بواسطة تطبيق الجيوماتيكس

المصدر: <https://stackoverflow.com/questions/73560807/pavement-heat-map>

٥) إدارة الصحة العامة: (Public Health) برز مجال الجيوماتيكس الصحي في السنوات الأخيرة، حيث يتم ربط البيانات الصحية بالبعد المكاني لفهم انتشار الأمراض وتعزيز الخدمات الصحية، دراسة حالة: خلال جائحة كوفيد-19 (2020)، استخدمت الجهات الصحية حول العالم نظم المعلومات الجغرافية لرسم لوحات تحكم آنية تعرض خرائط انتشار الحالات النشطة وحالات الشفاء والوفيات على مستويات مختلفة (عالمية، قطرية، محلية) (شكل ٤٢). أنشأت جامعة جونز هوبكنز خريطة عالمية تفاعلية باتت مرجعاً رئيسياً للجمهور وصناع القرار لمتابعة الجائحة. كما استعانت كثير من الدول بتحليلات مكانية لتحديد المناطق الساخنة (Hotspots) لانتشار العدوى، وتوجيه موارد الاختبار والعلاج إليها. مثال آخر هو مشاريع تطعيم الأطفال في أفريقيا؛ إذ تم استخدام وحدات GPS المحمولة لتعقب تغطية فرق التطعيم للمناطق القروية والنائية في دول مثل نيجيريا، مما ساعد على تحديد القرى التي لم يصلها اللقاح بعد وتصحيح ذلك في الجولة التالية. وتدل هذه الأمثلة

على أن دمج البعد المكاني في الصحة وفر رؤى أوضح عن علاقة المكان بالصحة –فعلى سبيل المثال، ساعدت الخرائط الوبائية في تحديد تركيز تفشي الكوليرا في اليمن عام 2017 حول مصادر مياه معينة، ما وجه جهود تنقية المياه إلى الأماكن الصحيحة وأنقذ حياة الآلاف.

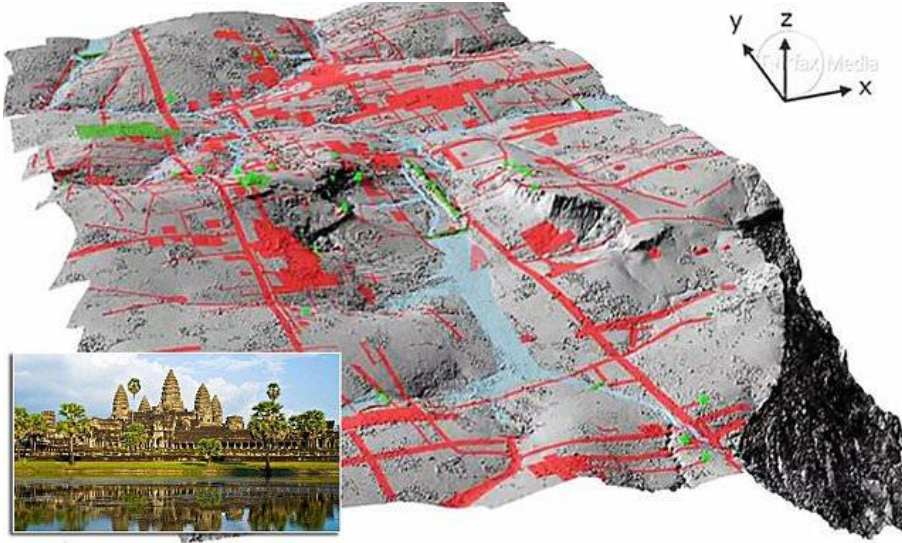


شكل (٤٢): نموذج جامعة جونز هوبكنز خريطة تفاعلية لمراقبة انتشار الجائحة

المصدر: [/https://systems.jhu.edu/research/public-health/ncov](https://systems.jhu.edu/research/public-health/ncov)

٦) علم الآثار وإدارة التراث: (Archaeology & Heritage) وجد علماء الآثار في تقنيات الاستشعار عن بعد والـ GIS حليقاً قوياً لاكتشاف المواقع الأثرية وإدارتها. دراسة حالة: في كمبوديا، استخدم فريق دولي تقنية LiDAR المحمولة جواً لمسح الغابات الكثيفة حول مجمع معابد أنغكور وات الشهير. كشف التحليل عن شبكة مدن ومعابد مخفية تحت الأشجار لم يكن بالإمكان رؤيتها بالوسائل التقليدية، مما قلب فهم الباحثين عن حضارة الخمير القديمة. أيضاً استخدمت الأقمار الصناعية رادار الاختراق الأرضي لكشف معالم مطمورة من حضارات المايا في أمريكا الوسطى. أما في جانب الإدارة، فإن مواقع التراث العالمي (مثل مواقع البتراء في الأردن أو أهرامات مصر) تُدار باستخدام GIS لتتبع حالة المعالم، ومراقبة التأثيرات البيئية والبشرية (كالتعرية أو الضغط السياحي)، ووضع خطط للحفاظ عليها.

وهكذا أصبح للجيوماتيكس دور في حفظ التراث الثقافي من خلال إعطاء صورة شاملة للموقع الأثري وربطه بمحيطه البيئي والجغرافي.

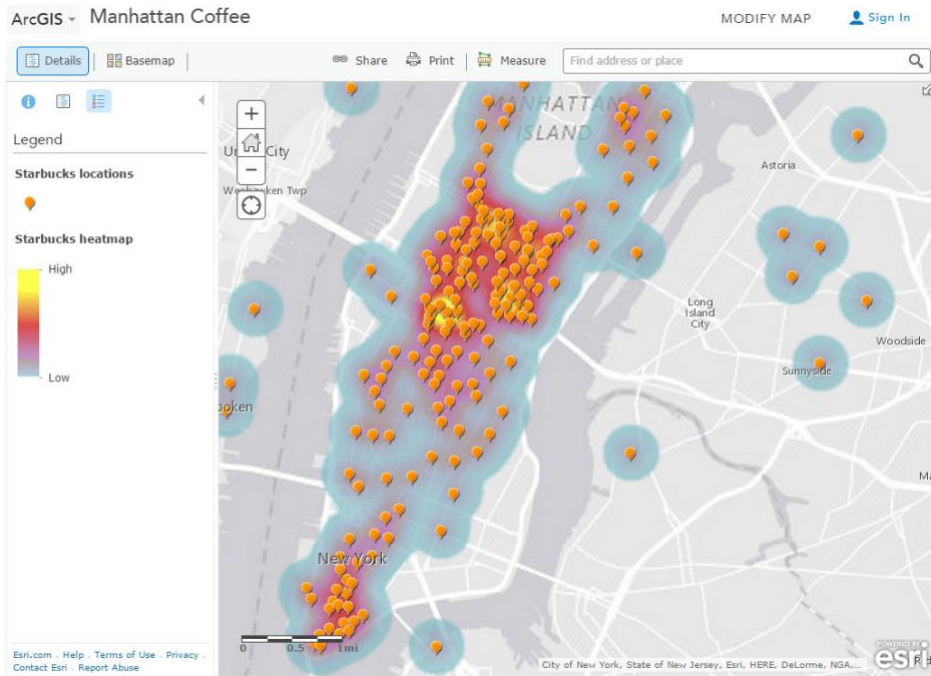


شكل (٤٣): نموذج لتطبيق الجيوماتيكس بتقنية الليدار في مسح الغابات الكثيفة حول معبد أنغور في كمبوديا

المصدر: <https://alisonincambodia.wordpress.com/2013/06/17/lidar-and-lost-cities-2/>

٧) مجال الأعمال والتجارة: (Business & Retail Geographics) حتى القطاعات الاقتصادية تبنت التحليل المكاني لتحسين خدماتها وتوسعة أعمالها. تستخدم سلاسل البيع بالتجزئة تحليل الموقع لتحديد أماكن فروعها الجديدة بناءً على الكثافة السكانية ونمط الدخل والمنافسين في المنطقة (وهو ما يعرف بـ Geodemographic Analysis). كذلك شركات الخدمات مثل الاتصالات تعتمد على نظم GIS لتخطيط تغطية أبراج الهاتف المحمول وضمان وصول الخدمة بأفضل جودة لمعظم العملاء. دراسة حالة: شركة ستاربكس Starbucks للقهوة تُعرف بأنها تعتمد على نظام معلومات جغرافي متطور لتخطيط انتشار

فروعها (شكل ٤٤). فقد نجحت في اختيار آلاف المواقع حول العالم بحيث يكون كل متجر في موقع استراتيجي من حيث كثافة المارة وأماكن تجمع الناس. لقد طورت خوارزمية خاصة تربط بيانات التدفق البشري (المستمدة أحياناً من بيانات الهواتف) مع شرائح السكان والدخل ووجود المنافسين، مما جعل قرارات التوسع قائمة على أسس علمية مكانية وليست فقط خبرات حدسية.



شكل (٤٤): نموذج لتطبيق توزيع فروع مقهى ستاربكس بالاعتماد على الجيوماتيكس

المصدر: <https://community.esri.com/t5/education-blog/examining-the-distribution-of-starbucks-in-arcgis/ba-p/892396>

هذه مجرد أمثلة قليلة، وتوجد تطبيقات أخرى عديدة لا يتسع المقام لتفصيلها مثل: تطبيقات تغير المناخ) استخدام صور الأقمار لرصد ذوبان الأنهار الجليدية وارتفاع مستوى البحار(الأمن والدفاع) أنظمة القيادة والسيطرة المبنية على الخرائط)، السياحة الذكية

(تطبيقات المرشد الخرائطي للسياح) (المشاركة المجتمعية) (الاستشعار التشاركي ومشاريع رسم الخرائط المجتمعية) وغيرها.

القاسم المشترك في كل ما سبق هو أن البيانات المكانية وتحليلها أصبحا أساسيين لتحسين الفهم والإدارة في تلك المجالات. لقد مكّن علم الجيوماتيكس الخبراء وصناع القرار من رؤية البعد المكاني للمشكلة والذي كان غائباً أو يصعب تناوله سابقاً، وبالتالي أتاح حلولاً أكثر تكاملاً وفعالية. ومع تطور التقنيات (كالذكاء الاصطناعي في تحليل الصور، وإنترنت الأشياء في جمع البيانات الحية)، يُتوقع أن تظهر تطبيقات جديدة للجيوماتيكس، ربما لم نتخيلها بعد، للمساعدة في مواجهة تحديات الإنسانية مستقبلاً.

أسئلة للمراجعة

- اختر ثلاثة مجالات من المجالات المذكورة أعلاه ووضح بإيجاز كيف ساهم علم الجيوماتيكس في كل منها.
- في سياق إدارة الكوارث، ما هي أنواع البيانات المكانية التي يمكن جمعها أثناء الاستجابة الطارئة؟ وكيف تفيد هذه البيانات فرق الإغاثة على الأرض؟
- ما المقصود بالزراعة الدقيقة (Precision Agriculture) ، وكيف تساعد تقنيات الجيوماتيكس في تحقيقها؟

تمارين

- دراسة حالة مصغرة: اختر أي كارثة طبيعية (حقيقية أو افتراضية) ولتكن مثلاً فيضان ضرب مدينة ساحلية. قم بدور "خبير جيوماتيكس" يشارك في إدارة هذه الكارثة. صف أنواع البيانات التي ستجمعها (صور أقمار صناعية قبل/بعد، بيانات GPS من فرق الإنقاذ، إلخ)، والتحليلات التي ستجرها (تحديد المناطق الأكثر

تضرراً، حساب عدد المباني المتأثرة، إلخ)، وكيف ستنقل هذه النتائج لصناع القرار (خريطة، تقرير، تطبيق ويب...).

- اذهب إلى منصة على الإنترنت توفر بيانات مفتوحة (مثل البوابة المفتوحة للبيانات الجغرافية في بلدك أو موقع data.gov). ابحث عن مجموعة بيانات تتعلق بموضوع تطبيقي (مثل: حدود محميات طبيعية، أو توزيع محطات المواصلات، أو مواقع المنشآت الصحية). قم بتنزيل هذه البيانات واستكشفها باستخدام برنامج GIS أو أداة خرائطية. اكتب تقريراً قصيراً (صفحة واحدة) حول ما استنتجته من تحليل هذه البيانات. على سبيل المثال: هل التوزيع المكاني للمنشآت الصحية يغطي جميع الأحياء بشكل متوازن؟ ما الأحياء المحرومة؟ اقترحاتك لمعالجة أي خلل تجد.
- مشروع تطبيقي: بالاستعانة بما تعلمته في هذا الفصل، اختر مجالاً تطبيقياً تراه مهماً لبلدك أو منطقتك (كالتخطيط العمراني، أو إدارة المرور، أو حماية البيئة). ضع تصوّراً لمشروع جيوماتيكس متكامل في هذا المجال. حدد هدف المشروع (مثلاً: إنشاء نظام دعم قرار مروري لمدينتك)، ثم حدد البيانات المطلوبة (خرائط، أجهزة استشعار، صور... إلخ)، وتقنيات التحليل التي ستستخدمها، وطريقة عرض النتائج. يمكنك كتابة هذا التصور على شكل عرض تقديمي من 5 شرائح أو تقرير قصير.

الفصل الحادي عشر: تطبيقات الجيوماتيكس

Geomatics Applications

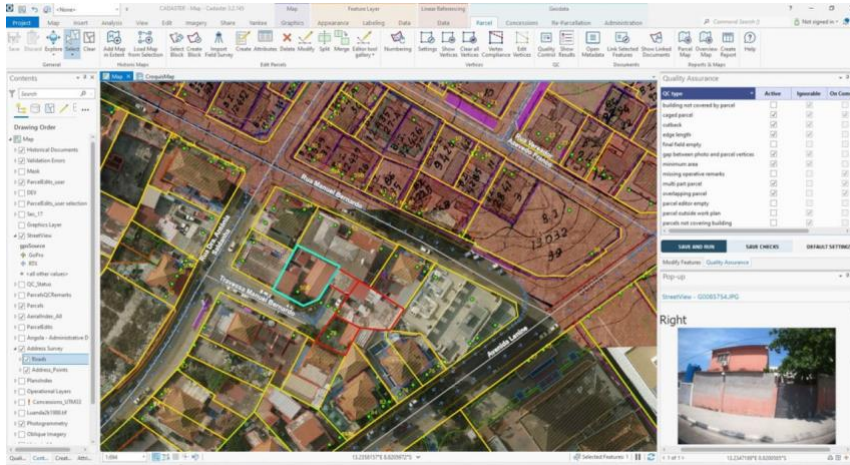
يجد الجيوماتيكس تطبيقاته في كل مجال تقريباً يتضمن الموقع – وهو ما يعني في الواقع تقريباً كل شيء. يستعرض هذا الفصل مجموعة واسعة من التطبيقات الواقعية للجيوماتيكس، موضحاً كيف يتم استخدام التقنيات والبيانات المذكورة سابقاً لمعالجة المشكلات العملية. ولتقديم منظور عالمي، نورد أمثلة من دول ومناطق مختلفة، مما يوضح مرونة الجيوماتيكس. ولأجل الوضوح، جرى تقسيم التطبيقات حسب القطاعات أو الموضوعات، رغم أن العديد منها يتداخل.

(١) إدارة الأراضي والموارد (Land and Resource Management)

• إدارة الأراضي والسجل العقاري (Cadastre) :

الجيوماتيكس أساسي لإدارة ملكية الأراضي وحقوق الانتفاع. تساعد المسوحات العقارية وسجلات الأراضي المبنية على GIS الحكومات في تتبع ملكية الأراضي، دعم المعاملات العقارية، وحل النزاعات. على سبيل المثال، نظام السجل العقاري الحديث في أنغولا استخدم GIS والطائرات المسيّرة وقواعد البيانات الجغرافية لرسم حوالي 450,000 قطعة أرض حضرية في بضع سنوات فقط، مما حسن بشكل كبير موثوقية السجلات (شكل ٤٥). العديد من الدول النامية تنفذ مشاريع مشابهة للانتقال من الخرائط الورقية إلى الأنظمة الرقمية (مثل إصلاح ملكية الأراضي على مستوى الدولة في رواندا). وجود سجلات واضحة للأراضي أساس للتنمية الاقتصادية والتخطيط الحضري.

الفصل الحادي عشر: تطبيقات الجيوماتيكس



شكل (٤٥): نموذج لتوظيف الجيوماتيكس في إدارة ملكيات الأراضي في أنجولا

المصدر: <https://www.esri.com/en-us/lg/industry/government/stories/angola-modernizes-land-administration-gis-cadastre-management>

• الزراعة والزراعة الدقيقة: (Precision Farming)

يستخدم المزارعون الجيوماتيكس لتحسين إنتاج المحاصيل. يرسم الاستشعار عن بعد خرائط لصحة المحاصيل (باستخدام مؤشرات مثل NDVI)، مما يوجه التدخلات المستهدفة. في الهند، يقدم مشروع Agri-GIS إرشادات للمزارعين بناءً على تحليل GIS للطقس وصور الأقمار الصناعية وبيانات التربة، لمساعدتهم في اختيار المحاصيل والممارسات لزيادة الدخل. في الدول المتقدمة، تنتج الجرارات المزودة بـ GPS وأجهزة مراقبة المحاصيل خرائط غلة؛ هذه الخرائط، مع خرائط التربة وبيانات الأقمار الصناعية، تتيح "الزراعة الدقيقة" - مثل التسميد المتغير المعدل الذي يمكن أن يقلل الاستخدام بنحو 30% مع الحفاظ على الغلة. وهذا يزيد الربحية ويقلل التأثير البيئي (مثل تقليل الجريان السطحي). على سبيل المثال، في الولايات المتحدة وأوروبا، يستخدم المزارعون خدمات أو أجهزة للجيوماتيكس لرسم خريطة التباين في حقولهم وتوجيه كثافة الزراعة أو جدولة

الري. في زراعة العنب (Viticulture) ، تحدد الطائرات المسيّرة المزودة بكاميرات حرارية عالية الدقة إجهاد المياه في الكروم، مما يتيح الري الدقيق. تُظهر هذه التطبيقات مساهمة الجيوماتيكس المباشرة في الأمن الغذائي والزراعة المستدامة (شكل ٤٦).



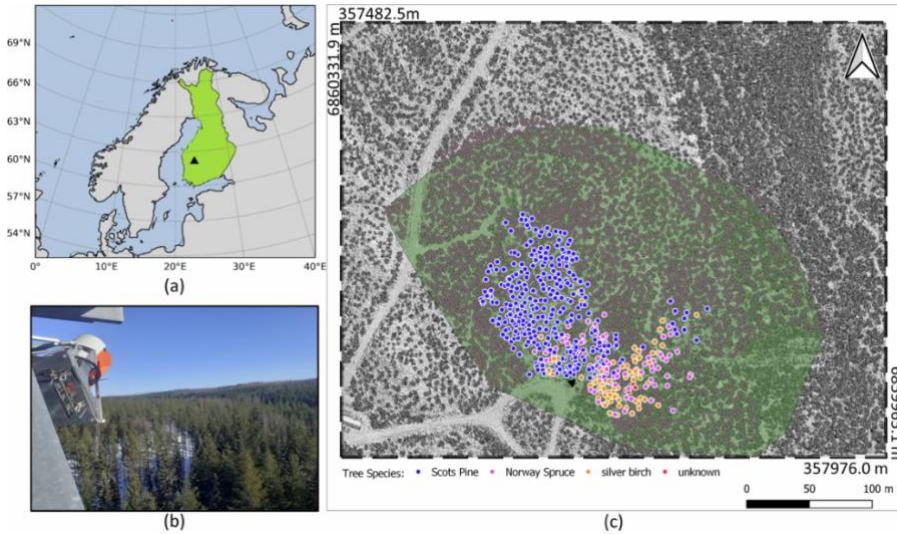
شكل (٤٦): نموذج لتوظيف الجيوماتيكس في رصد الجفاف المائي في مزارع العنب بواسطة كاميرا حرارية على الدرون بالولايات المتحدة الأمريكية

المصدر: <https://www.mdpi.com/2077-0472/8/7/116>

• الغابات: (Forestry)

يساعد الجيوماتيكس في إدارة الغابات عبر جرد الأخشاب، مراقبة الصحة، واكتشاف قطع الأشجار غير القانوني. العديد من الدول تستخدم صور الأقمار الصناعية لمراقبة إزالة الغابات. تشتهر البرازيل بتشغيل برنامجي PRODES و DETER، اللذين استخدمهما الاستشعار عن بعد لتحقيق انخفاض يقارب 50% في إزالة غابات الأمازون في الفترة 2005–2012، بفضل الإنفاذ السريع عند اكتشاف قطع جديد. تستخدم وكالات الغابات LiDAR لتقدير ارتفاعات الأشجار وكتلتها

الحيوية – وهو أمر مهم لتقييم مخزون الكربون والتخطيط للقطع. في فنلندا وكندا، غالباً ما تدمج الجردات التشغيلية للغابات بيانات LiDAR لرسم خرائط لحجم الأشجار وفئات الأنواع. كما يُستخدم الجيوماتيكس للتخطيط لإعادة التحريج ومراقبة إعادة النمو بعد الحصاد أو الحرائق (شكل ٤٧)



شكل (٤٧): توظيف الجيوماتيكس في رصد ظاهرة قطع الغابات في فنلندا

المصدر: <https://www.nature.com/articles/s41597-024-04143-w>

• الموارد المائية (Water Resources) :

تشمل التطبيقات رسم خرائط مستجمعات المياه، نمذجة المياه الجوفية، ومراقبة جودة المياه. على سبيل المثال، تستخدم هولندا نماذج ارتفاع مفصلة مشتقة من LiDAR و GIS للتخطيط لدفاعاتها المعقدة ضد الفيضانات وإدارة المياه في *polders*. في المناطق الجافة مثل أجزاء من الهند وأفريقيا، يجمع الجيوماتيكس بين الاستشعار عن بعد والبيانات الميدانية لتحديد مناطق تغذية المياه الجوفية وإدارة الري. تستخدم منظمات أحواض الأنهار GIS لتوزيع المياه بشكل عادل بين المناطق، من خلال نمذجة الاستخدام والجريان السطحي. مثال آخر: لجنة نهر ميكونغ توظف

الجيوماتيكس لمراقبة تغييرات النهر وتخطيط تشغيل السدود بين الدول (شكل ٤٨).
أما في جودة المياه، فتستخدم الوكالات الاستشعار عن بعد للكشف عن ازدهار
الطحالب في البحيرات (مثل بحيرة إيري في أمريكا الشمالية) أو أعمدة الرواسب بعد
الأمطار الغزيرة، مما يمكن من الاستجابة السريعة لحوادث التلوث.



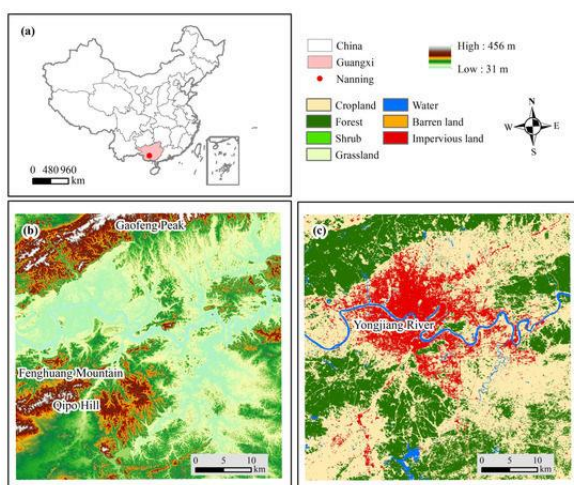
شكل (٤٨): توظيف الجيوماتيكس فـس مراقبة أثر السدود على تغير مجرى نهر
ميكونغ في فيتنام

المصدر: <https://e.vnexpress.net/news/news/environment/vietnam-cares-about-impacts-of-mekong-river-dams-4749868.html>

٢) التخطيط الحضري والبنية التحتية (Urban Planning and Infrastructure)

• التخطيط الحضري: (Urban Planning)

يعتمد مخططو المدن على الجيوماتيكس لتقسيم المناطق، تخطيط استخدام الأراضي، وتطوير البنية التحتية. يحللون البيانات المكانية مثل الكثافة السكانية، شبكات النقل، ومناطق المخاطر لتقرير أين يجب أن يحدث النمو. في سنغافورة، تستخدم نماذج المدن ثلاثية الأبعاد في GIS لمحاكاة تأثير المباني الجديدة على تدفق الرياح وضوء الشمس. أما نيويورك، فقد استخدمت GIS لتحديد الأحياء التي تحتاج إلى حدائق إضافية ولتخطيط شبكات مسارات الدراجات. كما أن الجيوماتيكس أساسي في مراقبة التمدد العمراني؛ على سبيل المثال، استخدمت المدن الصينية صور الأقمار الصناعية المتسلسلة زمنياً للتحكم في توسعها السريع، ما وجّه السياسات لحماية الأراضي الزراعية عبر رصد أماكن زحف المدن (شكل ٤٩).

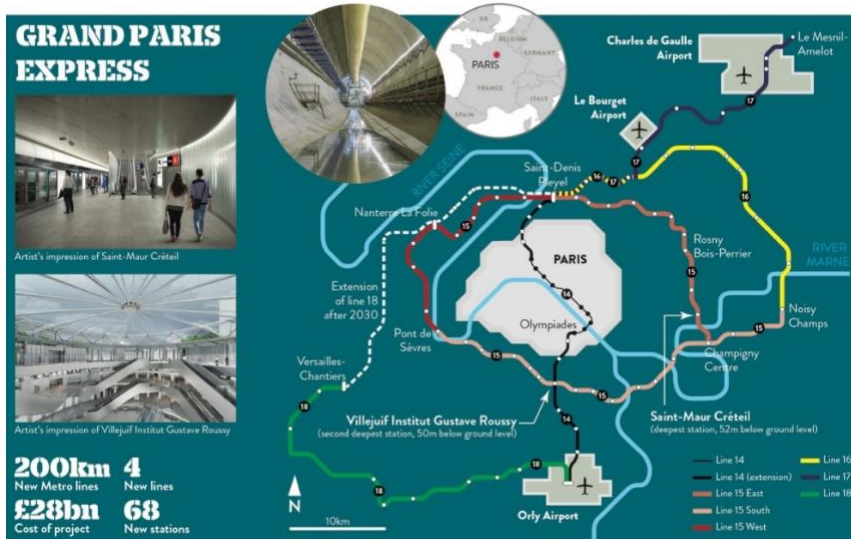


شكل (٤٩): توظيف الجيوماتيكس في مراقبة تمدد العمران بالمدن الصينية

المصدر: <https://www.mdpi.com/2073-445X/12/2/452>

• النقل: (Transportation)

يمكن للجيوماتيكس تمكين أنظمة النقل الذكية (ITS) يشمل ذلك مراقبة المرور في الوقت الحقيقي (عبر أجهزة GPS أو حساسات الطرق)، تحليل الازدحام، وتحسين المسارات. مدن مثل لندن ولوس أنجلوس تستخدم التحليلات المكانية لإعادة توقيت إشارات المرور بناءً على أنماط الازدحام المستمدة من البيانات المكانية. وكالات النقل العام ترسم خرائط إمكانية الوصول لخدماتها – مثل باريس التي أعادت تصميم خطوط الحافلات لسد الفجوات بين المترو والضواحي. على نطاق أوسع، كان الجيوماتيكس حاسماً في مشاريع ضخمة مثل Crossrail في المملكة المتحدة – حيث تطلب الحفر الدقيق للأنفاق تحت لندن مسوحات مستمرة وتكامل GIS لضمان عدم اصطدام الأنفاق بالبنية التحتية القائمة. أما خدمات الملاحة (مثل Google Maps)، فهي تطبيق مباشر يعتمد على GNSS، بيانات شبكات الطرق، وخوارزميات جغرافية مكانية لتوفير التوجيه لملايين المستخدمين يومياً.

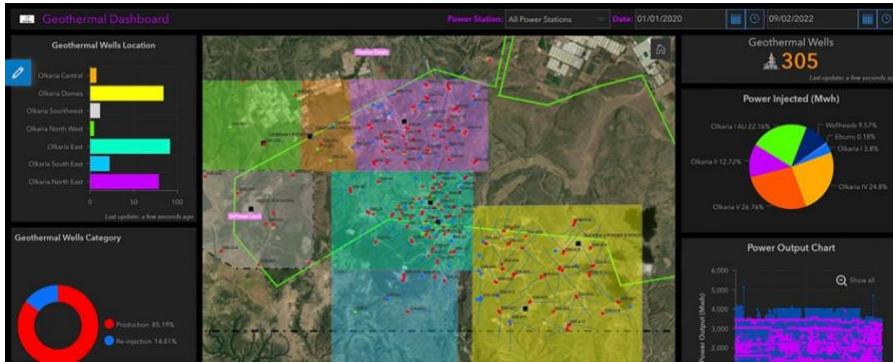


شكل (٥٠): شبكة النقل بواسطة مترو لأنفاق في باريس

المصدر: <https://www.newcivilengineer.com/the-future-of/future-of-rail-massive-metro-tunnelling-programme-links-paris-suburbs-03-03-2022>

• المرافق وإدارة البنية التحتية (Utilities and Infrastructure Management):

تحتفظ شركات الكهرباء والغاز والمياه والاتصالات بنظم GIS لشبكتها. يساعد ذلك في إدارة الأصول (معرفة مواقع الخطوط والأنابيب والكابلات بدقة)، في الصيانة (تحديد موقع الكسر أو الانقطاع بسرعة)، وفي تخطيط التوسعات. على سبيل المثال، أنشأت شركة KenGen (الكينية لتوليد الطاقة) بوابة GIS شاملة لإدارة جميع محطاتها وبنيتها التحتية، مما حسن جدولة الصيانة وخفض وقت التعطل. في أستراليا، تستخدم شركات الكهرباء مسوحات LiDAR لخطوط النقل للتحقق من اقتراب النباتات أو ترهل الخطوط، ما يمنع الانقطاعات أو الحرائق. وتعتمد الشبكات الذكية على البيانات المكانية لتحسين توزيع الطاقة، عبر التكيف مع الطلب الإقليمي. غالباً ما تضع شركات المياه خرائط للأنابيب فوق بيانات التربة والمرور لتحديد أولويات استبدال الأنابيب (لتقليل الحوادث في المناطق الأكثر تأثيراً).

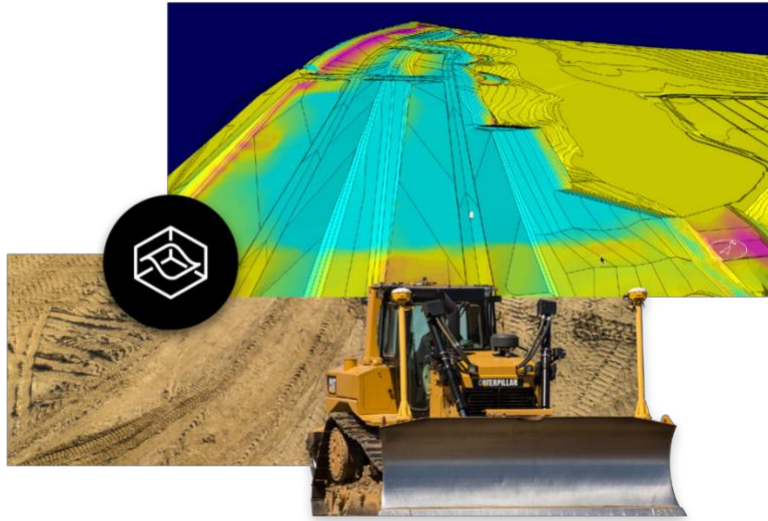


شكل (٥١): بوابة نظم المعلومات الجغرافية الشاملة لإدارة البنية التحتية في كينيا بإدارة شركة KenGen

المصدر: <https://www.esri.com/en-us/lg/industry/electric-and-gas/stories/kengen-case-study>

• الإنشاءات والهندسة: (Construction and Engineering)

تستخدم مواقع البناء الحديثة الجيوماتكس لتوجيه الآلات – مثل الجرافات المزودة بـ GPS التي تُسوّي المواقع بدقة حسب النماذج الرقمية. يُربط BIM (نمذجة معلومات البناء) بشكل متزايد بالجيوماتكس، لضمان تطابق النماذج ثلاثية الأبعاد المصممة مع الإحداثيات الحقيقية، وخلال البناء، يتم مسح الانحرافات (باستخدام LiDAR لتصحيحها). المشاريع الكبيرة مثل الطرق السريعة أو خطوط السكك الحديدية تُدار خرائط ممراتها في GIS من التخطيط حتى التنفيذ، مع تتبع التقدم والتغيرات. يضمن المساحون بناء الهياكل في المواقع الصحيحة وضمن الهوامش المسموح بها (مثل محاذاة أجزاء الجسور). تُستخدم المسوحات النهائية بعد اكتمال المشاريع لتغذية GIS بحيث تُسجل البنية التحتية الجديدة للاستخدام المستقبلي.



شكل (٥٢): نموذج لتجهيز الجرافات في مواقع الانشاءات بالجيوماتيكس

المصدر: <https://agtek.com/solutions/modeling>

• المدن الذكية و إنترنت الأشياء: (Smart Cities and IoT)

تتبنى العديد من المدن حول العالم مفهوم المدن الذكية – باستخدام الحساسات والبيانات المكانية لتحسين الخدمات. يشكل الجيوماتيكس العمود الفقري عبر دمج بيانات أجهزة الاستشعار (مراقبة جودة الهواء، كاميرات المرور، إلخ) على الخرائط ولوحات المعلومات. تُعرف برشلونة وأمستردام بمنصاهما للمدن الذكية التي ترسم كل شيء من مستويات الضوضاء إلى امتلاء صناديق القمامة، ما يمكن الإدارة المبنية على البيانات. تتطلب هذه التطبيقات التعامل مع بيانات مكانية آنية وغالباً استخدام Geofencing أو محفزات قائمة على الموقع (مثل زيادة إنارة الشوارع عندما يكتشف حساس وجود مشاة).



شكل (٥٣): مدينة برشلونة الذكية ونظم ادارتها بالجيوماتيكس

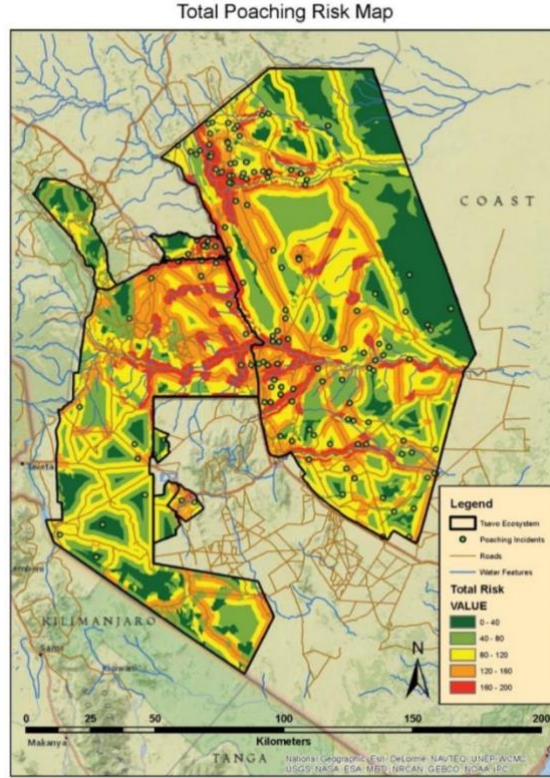
المصدر: <https://www.linkedin.com/pulse/building-smart-infrastructure-how-barcelona-leading-bentenbi-l7nbc>

٣) مراقبة البيئة وإدارة الكوارث (Environmental Monitoring and Disaster Management)

• حماية البيئة: (Environmental Protection)

تستخدم الحكومات والمنظمات غير الحكومية الجيوماتيكس لمراقبة المناطق المحمية (تغير الغطاء الحرجي في المتنزهات الوطنية، الأنشطة غير القانونية)، لنمذجة ممرات الحياة البرية (ضمان اتصال المواطن البيئية بتحليل خرائط الغطاء الأرضي والطبوغرافيا)، ولإدارة الموارد الطبيعية بشكل مستدام. في كينيا، يُستخدم GIS لمكافحة الصيد غير المشروع بتحليل الأنماط المكانية للدوريات والحوادث في المحميات. في النرويج، يُستخدم الاستشعار عن بعد لمراقبة السواحل الشاسعة

بحثاً عن الصيد غير القانوني أو التلوث (مثل بقع النفط التي تظهر عبر صور الرادار).



شكل (٥٤): توظيف الجيوماتيكس في مراقبة انتشار الفيلة في كينيا

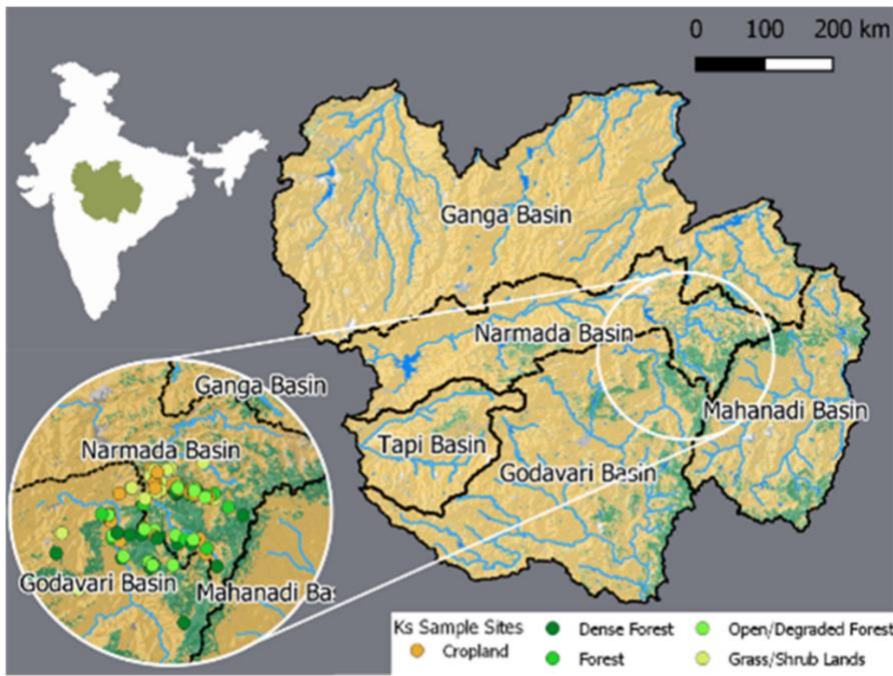
المصدر:

<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/194008291600900127>

• التكيف مع تغير المناخ: (Climate Change Adaptation)

المدن الساحلية، من ميامي إلى مانيلا، تستخدم نماذج الارتفاع وتوقعات ارتفاع مستوى البحر (المشتقة من بيانات الجيوماتيكس) لتخطيط الدفاعات واستخدام الأراضي. تساعد نظم الجيوماتيكس في تحديد الأحياء التي ستغمرها المياه تحت سيناريوهات مختلفة. تستخدم المناطق الزراعية بيانات المناخ والأقمار الصناعية

للتخطيط لتغير مناطق الزراعة أو تكرار الجفاف – مثل منظمة CSIRO الأسترالية التي تستخدم رطوبة التربة المستشعرة بالأقمار الصناعية ونماذج المناخ في GIS لتقديم استشارات للمزارعين. مشاريع إعادة التحريج أو التشجير (مثل المبادرة الخضراء في الهند) تستخدم الجيوماتيكس لاستهداف المناطق المثلى للزراعة التي تزيد من حيز الكربون والفوائد البيئية، باستخدام معايير مثل الأراضي المتدهورة والقرب من الغابات القائمة (شكل ٥٥).



شكل (٥٥): توظيف الجيوماتيكس في إعادة تشجير الغابات بعد قطع الأشجار في الهند

المصدر: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/7/959>

• إدارة الكوارث: (Disaster Management)

الجيوماتيكس لا يُقدّر بثمن في دورة الكوارث:

- الاستعداد: (Preparedness) تساعد خرائط المخاطر (خرائط الصدوع الزلزالية، مناطق الفيضانات، نماذج العواصف) المجتمعات على معرفة مخاطرها. لدى اليابان خرائط دقيقة لغمر تسونامي لسواحلها، وأنشأت أنظمة إنذار مبكر مرتبطة بـ GIS لإرسال التنبيهات تلقائياً إلى المناطق المعرضة.
- الاستجابة: (Response) بعد الكوارث، توفر صور الأقمار الصناعية والطائرات المسيّرة خرائط أضرار خلال ساعات إلى أيام، لتوجيه المستجيبين. على سبيل المثال، بعد زلزال نيبال 2015، استخدمت فرق دولية صور الأقمار الصناعية لرسم خرائط المباني المنهارة في كاتماندو، وقدمت الطائرات المسيّرة صوراً قريبة للمناطق التي يمكن الوصول إليها. يُستخدم GIS لتنسيق البحث والإنقاذ، عبر رسم المناطق التي غُطيت وأماكن نشر الموارد. كما تتعقب لوحات المعلومات الجغرافية الأحداث، الموارد، الملاجئ، إلخ، في الوقت الحقيقي.



شكل (٥٦): توظيف الجيوماتيكس في تحديد آثار الزلزال في نيبال عام

٢٠١٥

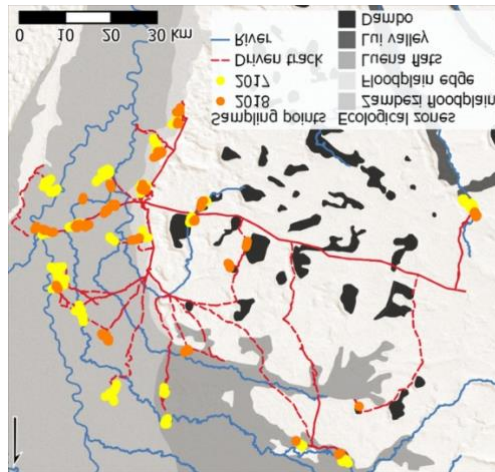
المصدر: <https://www.geographyrealm.com/developing-earthquake-damage-maps-from-satellite-imagery>

- **التعافي (Recovery):** أثناء إعادة البناء، يُستخدم الجيوماتيكس لتتبع ما أُعيد بناؤه، تحديد المناطق المناسبة لإعادة التوطين (مثل نقل المجتمعات المعرضة لمخاطر عالية جداً – حيث يساعد GIS في العثور على أراضٍ آمنة قريبة)، وتوثيق التغييرات. شهدت هايتي بعد 2010 استخداماً مكثفاً لـ GIS المحمول لتقييم الأضرار ولتحققاً لرسم خرائط تفشي الكوليرا.

مثال محدد: في إيطاليا، بعد الزلازل المتكررة، أنشأت السلطات بوابة ويب GIS للمواطنين لرؤية مناطق الخطر وحالة المباني بعد الزلازل في الوقت الحقيقي، مما حسن المعلومات العامة.

• الصحة العامة: (Public Health)

رسم خرائط الأمراض أمر حاسم في علم الأوبئة. تشمل الأمثلة الحديثة رسم خرائط حالات COVID-19 لتحديد النقاط الساخنة وتوجيه عمليات الإغلاق أو تخصيص الموارد. استخدم الجيوماتيكس على نطاق واسع خلال جائحة كورونا - من لوحة Johns Hopkins العالمية للحالات (GIS عالمي) إلى التحليل المحلي للانتشار بالنسبة لأنماط التنقل. في مكافحة الملاريا، تستخدم دول مثل زامبيا GIS لتوجيه الرش وتوزيع الناموسيات، عبر رسم خرائط للقرى ومعدلات الإصابة لتحسين التدخلات. في الصحة البيئية، يساعد الجيوماتيكس في دراسة الارتباطات، مثل تحليل ما إذا كانت المجتمعات القريبة من المواقع الصناعية لديها معدلات مرض أعلى (عبر تراكم بيانات الصحة مع مصادر التلوث).



شكل (٥٧): توظيف الجيوماتيكس في مراقبة انتشار مرض الملاريا في زامبيا

المصدر:

<https://parasitesandvectors.biomedcentral.com/articles/10.1186/s130>

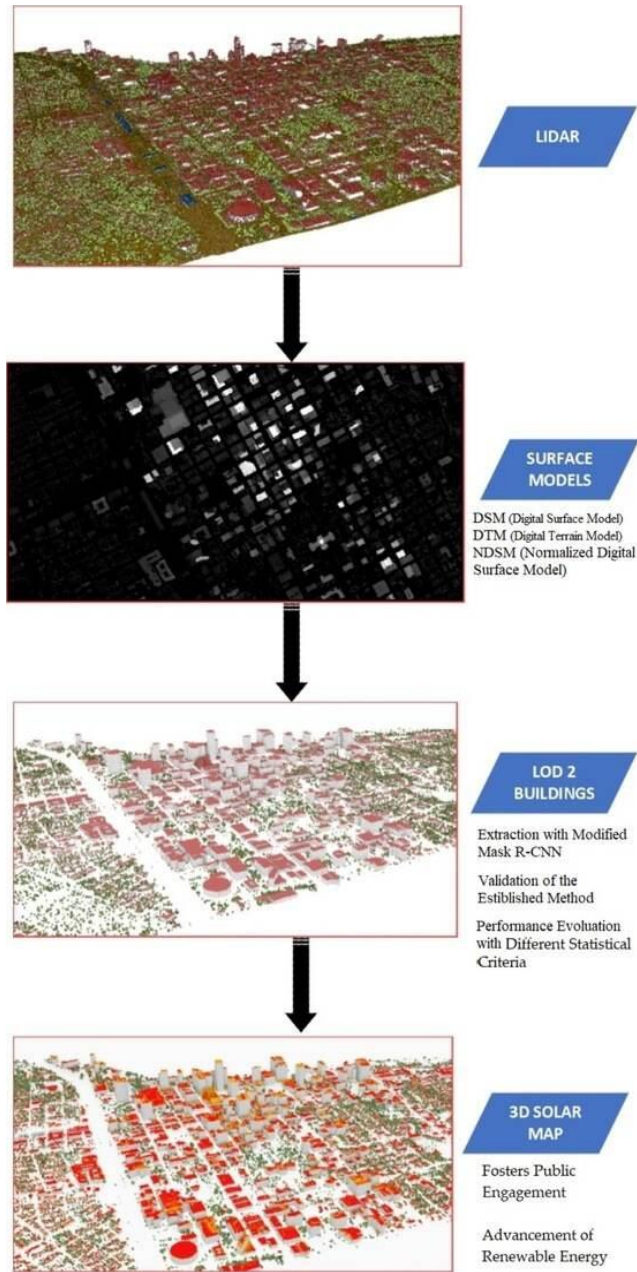
[71-020-04540-1](https://doi.org/10.1186/s130)

٤) الطاقة والتعدين (Energy and Mining)

• النفط والغاز والطاقة المتجددة :

تستخدم شركات الطاقة الجيوماتيكس بكثافة في الاستكشاف والعمليات. في النفط والغاز، يدير GIS مسارات خطوط الأنابيب، مواقع الآبار، والتأثير البيئي. اختيار المواقع للحفر الجديد يأخذ في الاعتبار طبقات من بيانات المسح الزلزالي، ملكية الأراضي، والقيود البيئية في GIS. أصبح رصد خطوط الأنابيب الآن يستخدم الاستشعار عن بعد لاكتشاف التسريبات (التصوير الحراري للتسريبات الساخنة، والتحليل الطيفي لاجهاد النباتات الناتج عن التسريبات البطيئة) و GIS لدمج شبكات الحساسات على طول الأنابيب.

في الطاقة المتجددة، يستخدم تخطيط مواقع مزارع الرياح الجيوماتيكس لرسم خرائط سرعات الرياح (غالباً من بيانات النماذج أو الاستشعار عن بعد)، توفر الأراضي، وقربها من الشبكة. قامت الدنمارك وألمانيا بتحسين مواقع مزارع الرياح باستخدام مثل هذا التحليل المكاني متعدد المعايير. أما خرائط إمكانات الطاقة الشمسية – مثل مدينة لوس أنجلوس التي أنشأت "خرائط شمسية" تحدد الأسطح التي تحصل على ما يكفي من الشمس للألواح الشمسية؛ يتم إنشاؤها باستخدام نماذج المباني الممسوحة بالـ LiDAR وحسابات زوايا الشمس. استخدمت السعودية GIS لتخطيط مشاريعها الضخمة للطاقة الشمسية برسم خرائط للمناطق الصحراوية ذات الإشعاع الشمسي العالي والقريبة من ممرات النقل.

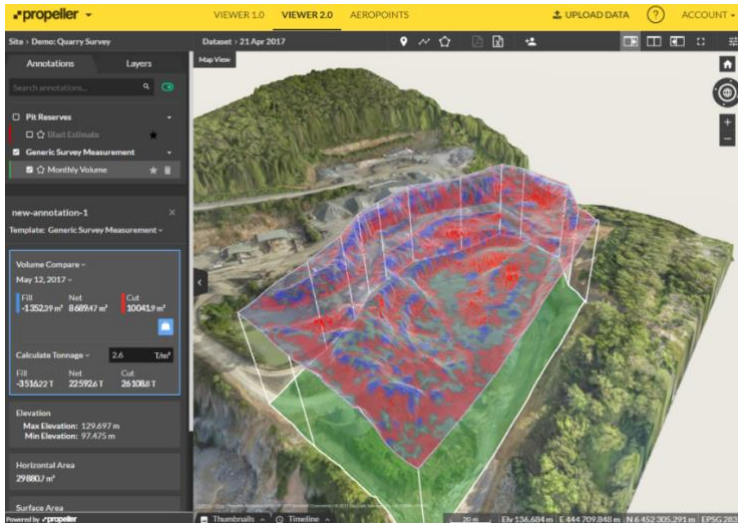


شكل (٥٨): توظيف الجيوماتيكس في تقييم أنسب المباني لتثبيت خلايا الطاقة الشمسية في لوس أنجلوس

المصدر: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/23/5616>

• التعدين:

يُستخدم الجيوماتيكس بدءاً من الاستكشاف (رسم خرائط الجيولوجيا والمعادن) إلى إدارة المناجم التشغيلية. يمكن لصور الأقمار الصناعية إظهار مؤشرات سطحية للمعادن (بعض الأكاسيد الحديدية مثلاً لها توافيع طيفية مميزة). في المناجم النشطة، يقوم المساحون برسم تقدم الحفر باستخدام GNSS أو الطائرات المسيّرة (حساب أحجام الخام المستخرج، إلخ). في غانا مثلاً، تستخدم شركات التعدين الفوتوجرامتري بالطائرات المسيّرة لمراقبة شكل الحفر وأحجام أحواض المخلفات بانتظام. المراقبة البيئية للمناجم (مثل اكتشاف تشوه سدود المخلفات عبر InSAR ، أو تتبع إزالة الغابات الناتجة عن التعدين الحرفي) هي تطبيق آخر. بعد الإغلاق، يساعد GIS في تخطيط إعادة تأهيل الأراضي.



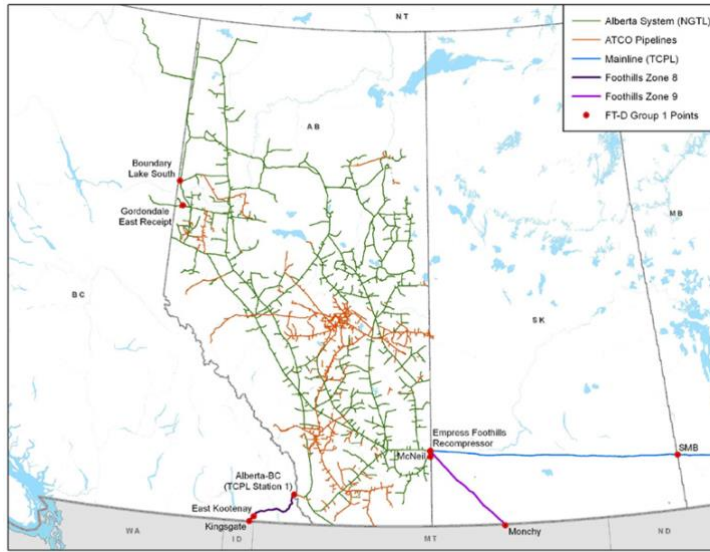
شكل (٥٩): نموذج توظيف الجيوماتيكس في مراقبة عمليات الحفر للتعدين بواسطة الدرون

المصدر: <https://www.propelleraero.com/blog/six-ways-mining-and-aggregates-businesses-use-drones>

/aggregates-businesses-use-drones

- اختيار مواقع المرافق:

تحديد مواقع خطوط النقل أو الأنابيب الجديدة عملية معقدة يساعد فيها GIS. يأخذ المخططون في الاعتبار التضاريس (تفضيل الأراضي المسطحة وتجنب العوائق)، استخدام الأراضي (تجنب المناطق السكنية والمحميات)، والقيود الهندسية في نموذج GIS مرجح لإيجاد الممرات المثلى. إحدى الحالات هي مسار خط أنابيب Trans-Canada حيث استُخدم الجيوماتيكس لتقييم سيناريوهات مسار متعددة عبر آلاف الكيلومترات، موازناً بين العوامل البيئية والتكلفة، باستخدام خرائط GIS عامة في مشاورات أصحاب المصلحة.



شكل (٦٠): توظيف الجيوماتيكس في تحديد أنسب مسار لخطوط أنابيب البنية التحتية في ولاية ألبرتا في كندا

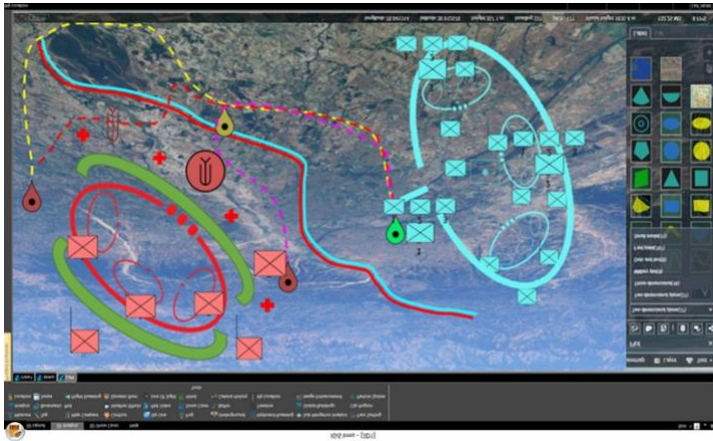
المصدر: <https://www.cer-rec.gc.ca/en/safety-environment/industry-performance/reports-compliance-enforcement/audit/2013/t211-crossing/archive/final-audit-report-transcanada-third-party-crossings-program-appendix-ii-maps-system-descriptions.html>

٥) الدفاع والأمن (Defense and Security)

للجيوماتيكس جذور طويلة في الاستخدام العسكري (رسم خرائط ساحات القتال، الملاحه).
أما اليوم:

- رسم الخرائط الدفاعية:

تحتفظ الوكالات العسكرية ببيانات جغرافية مكانية مفصلة للغاية (خرائط، صور أقمار صناعية) للتخطيط الاستراتيجي والعمليات. يساعد تحليل التضاريس على معرفة خط الرؤية للرادارات، أو تحليل قابلية التنقل عبر البلاد (هل تستطيع الدبابات المرور هنا؟). تستخدم القوات الحديثة GPS بكثافة لتحديد مواقع القوات والأصول. لدى العديد من الدول وكالات رسم خرائط عسكرية تنتج خرائط مصنفة وغير مصنفة؛ وغالباً ما يجد خريجو الجيوماتيكس وظائف هنا (مثل مركز الدفاع الجغرافي في المملكة المتحدة أو الوكالة الوطنية للاستخبارات الجغرافية المكانية في الولايات المتحدة).

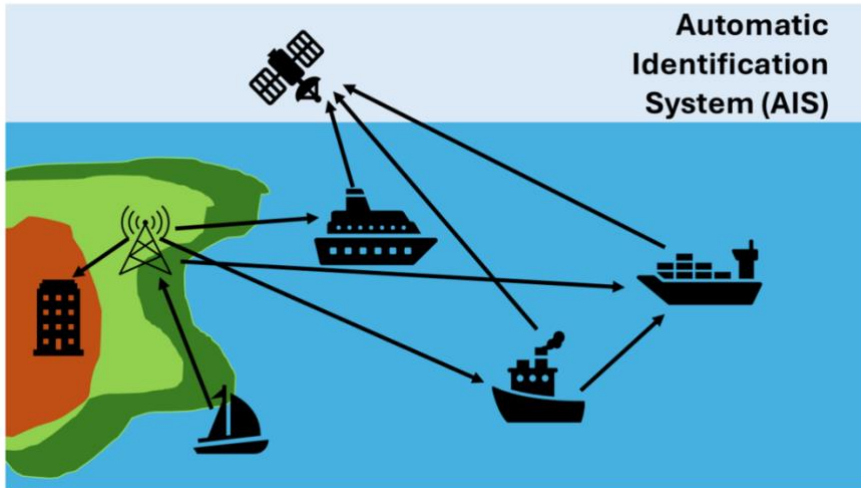


شكل (٦١): نموذج لتوظيف الجيوماتيكس في العمليات العسكرية والدفاع

المصدر: <https://www.sglgis.com/gis-in-defence>

- أمن الحدود والبحرية:

يشمل مراقبة الحدود باستخدام الجيوماتيكس توظيف الطائرات المسيّرة أو الحساسات لتغطية مساحات واسعة ونائية ودمج تلك البيانات في GIS لتوجيه الدوريات. أما الوعي بالمجال البحري فيستخدم بيانات AIS نظام التعريف التلقائي من السفن عبر الأقمار الصناعية، إلى جانب صور الرادار الفضائي، في GIS لاكتشاف الصيد غير القانوني أو التهريب. أستراليا تستخدم مثل هذه الأنظمة لمراقبة إقليمها البحري الضخم.



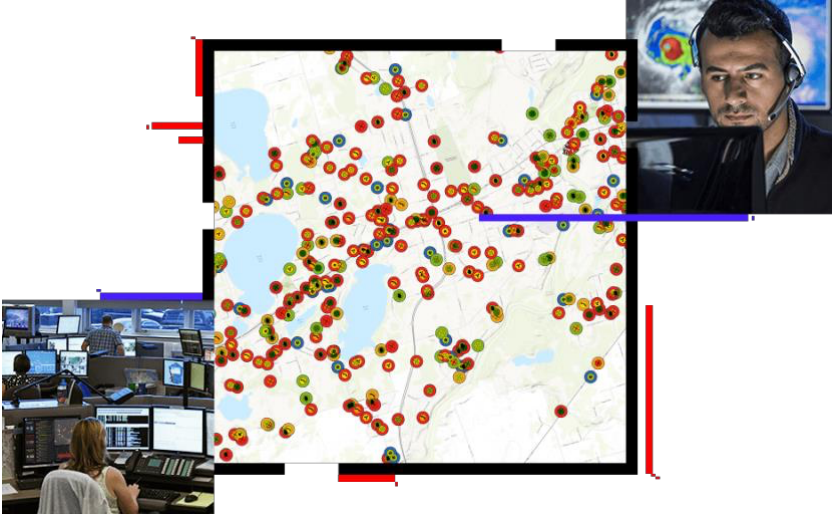
شكل (٦٢): نموذج توظيف الجيوماتيكس في تأمين السواحل البحرية

المصدر: <https://www.mdpi.com/2078-2489/16/8/658>

- خدمات الطوارئ:

تستخدم الشرطة والإطفاء والإسعاف GIS لتحسين التغطية والاستجابة. على سبيل المثال، تستخدم إدارة إطفاء نيويورك (FDNY) GIS لرسم خرائط أزمنا الاستجابة وتعديل مواقع المحطات أو الوحدات وفقاً لذلك. أنظمة 911 تدمج GPS

من المكالمات الهاتفية لتوجيه المساعدة إلى المواقع الدقيقة. يساعد رسم خرائط الجرائم (تحديد النقاط الساخنة للجريمة) في تخصيص التواجد الشرطي؛ وقد رُوج لهذه التقنية في مدن مثل شيكاغو ونيويورك، مما أدى إلى نظام CompStat الذي هو في الأساس تحليل مكاني للجريمة.

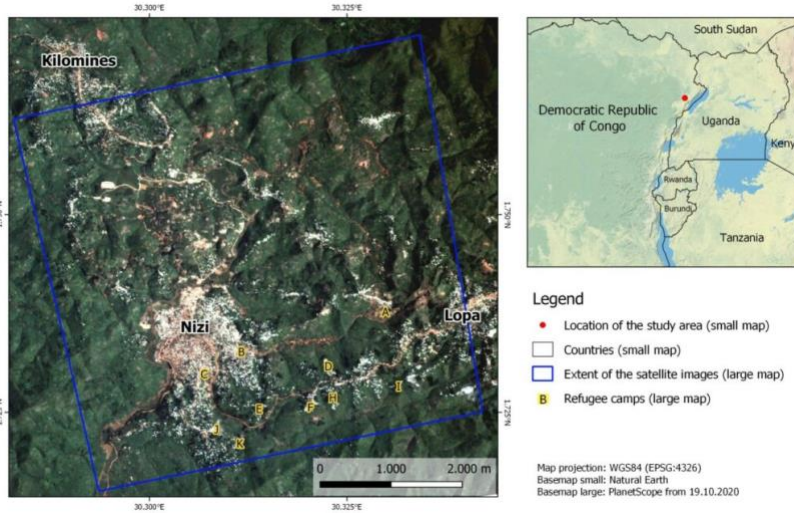


شكل (٦٣): توظيف الجيوماتيكس في تحديد مواقع الجريمة في مدينة شيكاغو

المصدر: <https://www.esribelux.com/en-be/solutions/emergency-communications/overview>

• الاستخبارات والإنسانية:

تحليل صور الأقمار الصناعية للاستخبارات غالباً ما يتداخل مع الاستخدامات الإنسانية. مثلاً، تحديد تحركات اللاجئين أو الدمار في النزاعات عبر الصور لإبلاغ وكالات الإغاثة. وهكذا يدعم الجيوماتيكس الأمن ليس فقط بمعناه العسكري بل أمن الإنسان، عبر تقديم الأدلة على الأزمات للاستجابة العالمية.



شكل (٦٤): توظيف الجيوماتيكس في تحديد مواقع معسكرات المهاجرين في الكونغو

المصدر: <https://trcjha.com/article/identifying-refugee-settlements-using-satellite-images-of-high-spatial-and-temporal-resolution-a-comparison-of-sensors-and-approaches>

(٦) دراسات حالة من دول مختلفة (ملخص)

- كندا: استخدام الجيوماتيكس لإدارة الموارد الشاسعة – مثل مراقبة حرائق الغابات في كولومبيا البريطانية ببيانات الأقمار الصناعية، ورسم خرائط مطالبات الأراضي للسكان الأصليين في الشمال.
- المملكة المتحدة: تطبيقات حضرية مثل استخدام GIS ثلاثي الأبعاد لتنسيق البنية التحتية في لندن (ضمان أن المشاريع تحت الأرض الجديدة لا تصطدم بالأنفاق القائمة)، ورسم خرائط وطنية للمسارات العامة لأغراض الترفيه.
- الهند: التكنولوجيا الزراعية كما ذكر، إضافة إلى مشاريع ضخمة مثل رسم خرائط جميع الممتلكات في القرى ضمن برنامج (SVAMITVA) باستخدام الطائرات المسيّرة لإنشاء خرائط عقارية للقرى لأول مرة).

- **كينيا:** حالة KenGen للطاقة، GIS لمكافحة الصيد غير المشروع للحياة البرية كما ذكر، واستخدامات مبتكرة مثل (Ushahidi منصة رسم خرائط جماعية من كينيا تُستخدم عالمياً لرسم الحوادث أثناء الأزمات).
 - **البرازيل:** الإنفاذ البيئي عبر الاستشعار عن بعد من INPE للأمازون، والتطبيقات الحضرية مثل مركز عمليات ريو دي جانيرو الذي يدمج التدفقات الجغرافية المكانية (الطقس، المرور، مكالمات الطوارئ) لإدارة المدينة في الوقت الحقيقي.
 - **النرويج:** عمل هيئة الخرائط النرويجية مع مرصد جيوديسي يراقب ديناميات الأرض (التكتونيات، حركة القطب) – مظهراً أن الجيوماتيكس في طليعة علوم الأرض.
 - **الصين:** مبادرات المدن الذكية (مثل Hangzhou's City Brain الذي يستخدم الكاميرات و GIS لتحسين المرور)، واستخدام بيانات نظام الملاحة BeiDou في كل شيء من الزراعة إلى تطبيقات الخرائط الهاتفية – مما يُظهر التكامل الوطني لتقنيات الجيوماتيكس.
 - **الولايات المتحدة:** أمثلة لا حصر لها: برنامج FEMA لرسم خرائط الفيضانات يستخدم LiDAR لتحديث خرائط معدلات التأمين على الفيضانات؛ LiDAR الساحلي لـ NOAA يساعد في نمذجة تأثير الأعاصير؛ وزارة الزراعة الأمريكية (USDA) تستخدم الأقمار الصناعية لتقدير غلات المحاصيل على مستوى الدولة لتحقيق استقرار السوق.
- هذه المسوحات بعيدة عن الاكتمال. لقد اخترق الجيوماتيكس مجالات مثل الترفيه (فكر في ألعاب الواقع المعزز مثل – Pokémon Go التي تعتمد على طبقات البيانات المكانية)، العقارات (مواقع قوائم الممتلكات بخرائط تفاعلية)، وحتى الفن والتراث الثقافي (المسح بالليزر ثلاثي الأبعاد للآثار مثل الأهرامات بغرض الحفظ).

الفصل الثاني عشر

اتجاهات المستقبل في الجيوماتكس

(Future Trends in Geomatics)

يتطور مجال الجيوماتكس بسرعة، مدفوعاً بالابتكار التكنولوجي والطلب المتزايد على البيانات المكانية. يستكشف هذا الفصل الاتجاهات الناشئة والاتجاهات المستقبلية للجيوماتكس. وتشمل هذه التطورات التكنولوجية (مثل تكامل الذكاء الاصطناعي والمعالجة الفورية للبيانات)، مجالات تطبيق جديدة (مثل الواقع المعزز)، وتحولات جوهرية في كيفية جمع المعلومات المكانية وإدارتها ومشاركتها. فهم هذه الاتجاهات ضروري للطلاب والمهنيين للبقاء في الصدارة ضمن هذا المجال الديناميكي.

١) الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة (GeoAI)

من المتوقع أن يُحدث الذكاء الاصطناعي (AI) وتعلم الآلة (ML) ثورة في تحليل البيانات المكانية. يشير GeoAI إلى تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي على المشكلات المكانية. على سبيل المثال:

- تحليل الصور: حسنت نماذج التعلم العميق (خاصة الشبكات العصبية الالتفافية (CNNs) التعرف على الخصائص في الصور بشكل كبير. مهام مثل رسم خرائط المباني أو الطرق أو الغطاء الأرضي من صور الأقمار الصناعية – التي كانت تستغرق وقتاً طويلاً – أصبحت تُدار بشكل متزايد بواسطة الذكاء الاصطناعي. يتم البحث في التعلم القليل الأمثلة (Few-shot learning) والذكاء الاصطناعي القابل للتفسير (Explainable AI) لجعل تصنيف صور الاستشعار عن بعد أكثر دقة ببيانات تدريب أقل وشفافية أكبر. نتوقع الحصول على رسم خرائط عالي الدقة شبه فوري من الصور باستخدام الذكاء الاصطناعي، مما يغذي تطبيقات مثل

تقييم أضرار الكوارث (مثلاً: يحدد الذكاء الاصطناعي بسرعة أي المنازل دُمرت بعد زلزال من صور جوية).

- استخراج الأنماط المكانية: يمكن لتعلم الآلة الكشف عن أنماط معقدة في مجموعات البيانات المكانية الضخمة. على سبيل المثال، قد تجد خوارزميات التجميع أنماطاً غير ملحوظة سابقاً في بيانات المناخ أو الجريمة. يمكن للنماذج التنبؤية التنبؤ بالنمو الحضري أو انتشار الأمراض بناءً على عوامل عديدة (اجتماعية-اقتصادية، بيئية) يستطيع الذكاء الاصطناعي وزنها إذا تم تدريبه جيداً. إن دمج ML مع GIS مجال نشط؛ من المرجح أن تحتوي برامج GIS المستقبلية على المزيد من التحليلات المعتمدة على الذكاء الاصطناعي التي تقترح رؤى أو شذوذات في البيانات المكانية قد يغفل عنها الإنسان.

- الأنظمة المستقلة: تعتمد المركبات المستقلة المدعومة بالذكاء الاصطناعي (الطائرات المسيّرة، السيارات ذاتية القيادة) بشكل كبير على الجيوماتكس. يتم دمج الخرائط عالية الدقة وبيانات الحساسات الفورية (LiDAR)، الكاميرات) لمساعدة المركبات على التنقل. أحد الاتجاهات هو تحسين (SLAM) التحديد والتموضع المتزامن) – حيث يساعد الذكاء الاصطناعي الطائرات المسيّرة أو الروبوتات على بناء خرائط أثناء استكشاف مناطق غير معروفة (مثل المركبات الجوالة على المريخ). الذكاء الجماعي – أي تنسيق عدة طائرات مسيّرة لرسم خرائط أو مراقبة منطقة – سيستخدم الذكاء الاصطناعي لتحسين مسارات الطيران ودمج البيانات.

- اللغة الطبيعية والاستعلامات المكانية: مع تقدم معالجة اللغة الطبيعية، قد يتمكن من التحدث أو كتابة استفسارات إلى أنظمة GIS والحصول على إجابات مكانية. على سبيل المثال، طرح سؤال مثل: "أرني مناطق الفيضانات عالية الخطورة حيث عدد السكان المسنين أعلى من المتوسط" قد يُطلق ذكاءً اصطناعياً ليحلل

السؤال، يجري التحليل المكاني، ويُنتج خريطة. توجد أمثلة مبكرة في المساعدات الرقمية، لكن من المتوقع نمو الواجهات الحوارية في GIS.

٢) تكامل البيانات، المعايير، والمشاركة

من المرجح أن يحمل المستقبل نظاماً بيئياً أكثر تكاملاً للبيانات المكانية:

- **المعايير وقابلية التشغيل البيئي:**
مع وجود العديد من مصادر البيانات، تصبح قابلية التشغيل البيئي أمراً بالغ الأهمية. نتوقع معايير أكثر قوة (أو معايير أمر واقع معتمدة على نطاق واسع) لأشياء مثل نماذج المدن ثلاثية الأبعاد، الخرائط الداخلية، وتبادل البيانات في الوقت الحقيقي (واجهات برمجة التطبيقات لخرائط حية). ستسمح تنسيقات البيانات المفتوحة وخدمات الويب للأنظمة المختلفة (مثل نظام إدارة المرور ونظام الإنذار بالطقس) بالاندماج بسهولة مكانياً. يعمل الكونسورتيوم الجغرافي المفتوح (OGC) على أشياء مثل واجهة **SensorThings API** لبيانات إنترنت الأشياء في GIS.
- **البيانات المفتوحة والمصادر المفتوحة:**
هناك اتجاه قوي من الحكومات لإصدار البيانات المكانية بشكل مفتوح (مثل بيانات مراقبة الأرض من ناسا، قواعد بيانات العناوين المفتوحة، إلخ). يوضح **OpenStreetMap** كيف يمكن للبيانات التطوعية والمفتوحة أن تعيد تشكيل البيانات الاحتكارية. برمجيات GIS مفتوحة المصدر (مثل QGIS) تنضج أكثر فأكثر، والمزيد من المكتبات المكانية (مثل GDAL، Leaflet، إلخ) تسمح بالتخصيص. سيستمر هذا التمكين، مما يتيح استخداماً أوسع وابتكاراً أكبر، خاصة في البلدان أو الصناعات التي لم تكن تستطيع تحمل حلول احتكارية مكلفة.

- الخصوصية والأخلاقيات:

مع انتشار التكنولوجيا المكانية، يزداد التركيز على الخصوصية (مثل إخفاء هوية بيانات المواقع، واستخدام الجيوماتكس بشكل أخلاقي مثل عدم تعزيز التحيزات عبر الذكاء الاصطناعي). تؤثر اللوائح مثل GDPR في أوروبا على استخدام بيانات المواقع. قد تحتوي أدوات الجيوماتكس المستقبلية على مرشحات خصوصية مضمنة (تجميع أو تمويه البيانات الدقيقة عند العرض لضمان عدم تحديد الأفراد). من المرجح أن تشكل الإرشادات الأخلاقية لمواضيع مثل تحيز الذكاء الاصطناعي في البيانات المكانية (على سبيل المثال، التأكد من أن خرائط التنبؤ بالجرائم لا تعزز الإفراط في المراقبة في مجتمعات معينة) تصميم التطبيقات.

(٣) المهنة والتعليم

- تغيير متطلبات المهارات:

من المحتمل أن يحتاج متخصصو الجيوماتكس في المستقبل إلى مزيد من مهارات تكنولوجيا المعلومات وعلوم البيانات. أصبح التمييز بين محلل GIS ومحلل بيانات غير واضح عندما يصبح المكان مجرد بُعد آخر في خطوط تحليل البيانات. وعلى العكس، قد يُتوقع من مجالات مثل التخطيط الحضري أو علم الأوبئة أن يكون لممارستها معرفة أساسية بالجيوماتكس. لذلك، قد نرى المزيد من التعليم العابر للتخصصات.

- الأتمتة مقابل الخبرة البشرية:

قد تصبح المهام الروتينية (مثل رسم الخرائط البسيط أو التحليل الأساسي) مؤتمتة بشكل متزايد عبر البرمجيات الذكية أو حتى الذكاء الاصطناعي. سيركز الخبراء البشريون أكثر على التفسير، وضمان الجودة، وحل المشكلات الجديدة. هذا يعني أن التعليم قد يركز أقل على الخطوات التقنية اليدوية (التي يمكن أتمتتها) وأكثر

على التفكير النقدي، التصميم، وحل المشكلات المتقدمة باستخدام المعلومات المكانية.

- **التعاون العالمي:**

مع منصات السحابة، أصبح من الأسهل للفرق في جميع أنحاء العالم التعاون في مشاريع مكانية (على سبيل المثال: علماء من دول مختلفة يحللون بيانات المناخ معاً على منصة مشتركة). يمكن أن يُسرّع هذا الابتكار، كما قد يخلق معايير وممارسات أكثر توحيداً.

(٤) أمثلة لسيناريوهات مستقبلية:

- **إدارة بيئية ذكية:**

تخيل نظاماً حيث تكتشف الأقمار الصناعية حدث تلوث (إشارة حرارية أو طيفية غير عادية في نهر)، يتم إرسال طائرات مسيرة بشكل ذاتي من مدينة قريبة لجمع عينات وصور، ويُقيّم نظام GIS فوراً مدى الانتشار والسكان المتأثرين، ويُنبه السلطات – كل ذلك مع تدخل بشري قليل. الكثير من المكونات موجودة؛ المستقبل سيجمعها.

- **جيوماتكس فردي:**

قد يمتلك الأفراد نظارات واقع معزز تعرض عبر الجيوماتكس التعرف على الوجوه في الحشود (أمر مثير للجدل، لكنه جُرب تجريبياً في بعض الأماكن) أو تعرض الاتجاهات في الوقت الحقيقي. أو تطبيقات تقوم تلقائياً بعمل **geofencing** لأطفالك وتنبيهك إذا ابتعدوا عن منطقة آمنة. هذه تثير قضايا خصوصية لكنها تظهر مدى انتشار الجيوماتكس الشخصي المحتمل.

- **البنية التحتية الجيوديسية العالمية:**

لدعم الاحتياجات الدقيقة (مثل دقة عالمية 2 سم لتحديد المواقع للسيارات ذاتية

القيادة أو الزراعة الدقيقة)، قد تكون هناك شبكات كثيفة من محطات مرجعية وأقمار صناعية وربما تقنيات جديدة مثل القياس بين الأقمار أو الساعات الكمية لتكرير النظم المرجعية العالمية. يمكننا تحقيق تحديد مواقع شبه فوري بدقة ملليمترية على مستوى العالم إذا تم الاستثمار (لأغراض المراقبة العلمية لتكتونيات الصفائح وأيضًا للتطبيقات الاستهلاكية).

• الخرائط المرنة:

مع الاعتراف بالاعتماد على GNSS الذي يمكن أن يفشل أو يُخترق)، يجري تطوير أنظمة احتياطية (مثل المنارات الأرضية، الملاحة بالقصور الذاتي المحسّنة)، والتي سيدمجها الجيوماتكس. في الكوارث أو النزاعات عندما تنهار البنية التحتية، هناك اتجاه لوجود خرائط سريعة النشر (مثل الطائرات المسيّرة الشمسية/المنطاد التي يمكنها توفير إشارات GPS محلية أو صور).

الخلاصة

إن مستقبل الجيوماتكس تكاملي، ذكي، في الوقت الحقيقي، وغامر. ستُدمج البيانات المكانية في نسيج الحياة اليومية واتخاذ القرار على جميع المستويات. لن يعمل متخصصو الجيوماتكس كصانعي خرائط منعزلين، بل كمدمجين للبيانات ومحللين يعملون ضمن فرق متعددة التخصصات. إن قول جاك ما (رئيس علي بابا): (كل الأعمال في المستقبل ستستخدم المعلومات/المكانية" يلمح إلى أن التفكير المكاني سيكون جزءًا أساسيًا من معظم المؤسسات. هذا يعني فرصة هائلة: الجيوماتكس لن يكون تخصصًا محدودًا، بل عنصرًا أساسيًا في مجتمع المعلومات، مثلما تُعتبر الحوسبة اليوم. سيحتاج العاملون في مجال الجيوماتكس إلى التكيف مع هذه الأدوات والأدوار الجديدة، لكن مهارتهم الأساسية – فهم أهمية "أين" – ستظل لا تُقدّر بثمن.

٥) دراسات حالة

لتوضيح المفاهيم والتطبيقات التي نوقشت عبر هذا الكتاب، نقدم سلسلة من دراسات الحالة. يركز كل مثال على مشروع أو سيناريو محدد حيث لعب الجيوماتيكس دورًا محوريًا. تُظهر هذه الأمثلة، المأخوذة من دول وقطاعات مختلفة، كيفية تطبيق تقنيات الجيوماتيكس عمليًا والفوائد الملموسة التي تقدمها. كما تبرز الدروس المستفادة وأفضل الممارسات التي يمكن أن توجه المشاريع المستقبلية.

دراسة حالة 1: الزراعة الدقيقة في ولاية أوديشا بالهند

السياق: في جنوب أوديشا بالهند، يمتلك معظم المزارعين أراضي صغيرة ويواجهون تحديات مثل الطقس غير المتوقع والوصول المحدود إلى معلومات السوق. بدأ مشروع يسمى Agri-GIS لتحسين اتخاذ القرار الزراعي باستخدام الجيوماتيكس.

تنفيذ الجيوماتيكس:

- يدمج Agri-GIS بيانات من مصادر متعددة: التوقعات الجوية اليومية، صور الأقمار الصناعية (Sentinel-2، Landsat، IRS الهندية) لمراقبة المحاصيل والمياه، خرائط التربة، والبيانات الاجتماعية-الاقتصادية عن المزارعين.
- بُنيت قاعدة بيانات GIS مركزية (104 مؤشر لكل قطعة أرض)، تجمع خرائط القطع العقارية مع جميع هذه الطبقات.
- يتم إجراء التحليل المكاني لإنتاج نصائح فردية:
 - يتلقى كل مزارع رسائل نصية/تطبيقية مخصصة بمعلومات مثل: "الأيام الخمسة القادمة مطر قليل، فكر بالري في القطعة 23"، أو "تربة ومناخك تناسب الدخن هذا الموسم، العائد المتوقع X بالظروف الحالية".

- يستخدم النظام الاستشعار عن بعد لاكتشاف حالة المحصول (مثلاً عبر NDVI، يمكنه تنبيه إذا كان حقل الأرز يظهر إجهاداً مائياً).
- كما يقوم بتنبؤات جوية محلية على مستوى القرية عبر تقليص التوقعات العامة مكانياً.
- يقوم النمذجة في GIS بتقييم كل مزرعة بشكل شامل: الأرض، حالة الأسرة، الأنشطة المعيشية الأخرى، معاملة كل مزرعة كوحدة اقتصادية ضمن النظام.

النتائج: منذ 2018، تلقى حوالي 150,000 مزارع في 532 قرية هذه النصائح. وأظهرت النتائج المبكرة تحسينات في اختيار المحاصيل والدخل:

- العديد من المزارعين تحولوا إلى أصناف أكثر ملاءمة أوصى بها النظام، مما زاد الغلة بنسبة متوسط 20%.
- قام المزارعون بتحسين استخدام الأسمدة والمياه لأن النصائح تضمنت تفاصيل حول التوقيت والكمية (بعضهم أبلغ عن توفير 15-20% في تكاليف المدخلات).
- كان اعتماد النصائح مرتفعاً لأنها قُدمت بلغة محلية وعبر SMS مكالمات صوتية بسيطة لأولئك الذين ليس لديهم هواتف ذكية.
- لاحظت الحكومة زيادة المشاركة في برامج التأمين الزراعي والقروض، لأن Agri-GIS أيضاً أبلغ المزارعين بهذه الفرص وقدم أدلة (مثل تقارير حالة المحاصيل) لتسهيل المطالبات/القروض.

خلاصة الجيوماتكس: هذا المثال يُظهر كيف يمكن لدمج الاستشعار عن بعد، النمذجة الجوية، والبيانات المحلية في GIS تمكين المزارعين الأفراد. كان مفتاح النجاح هو التحليل المحلي الفائق (لكل قطعة) وجعل المعلومات في متناول الجميع. إنه نموذج يمكن تكراره في

مناطق أخرى لدعم المزارعين الصغار، مما يثبت الأثر الاجتماعي للجيوماتكس على سبل العيش.

دراسة حالة 2: نظام GIS المتكامل لتوليد الطاقة في KenGen (كينيا)

السياق: تدير شركة الكهرباء الكينية KenGen العديد من محطات الطاقة (سدود كهرومائية، حقول حرارية أرضية، مزارع رياح). كان من الصعب إدارة هذه الأصول وتخطيط الصيانة بسبب عزلة البيانات والعمليات اليدوية. بدأت KenGen مشروعاً لإنشاء نظام معلومات إدارة الموارد المتكامل (IRMIS) مبني على GIS.

تنفيذ الجيوماتكس:

- طورت فرق الجيوماتكس في KenGen ، بمساعدة Esri شرق إفريقيا، بوابة GIS تُركز البيانات المكانية لجميع أصول التوليد. خُرطت كل محطة طاقة، بما في ذلك الأصول الداخلية (التوربينات، الآبار، خطوط النقل من تلك المحطة، إلخ).
- يحتوي مدخل IRMIS على سبعة أقسام (لوحة تحكم تنفيذية، وأقسام لكل نوع: كهرومائي، رياح، حراري، حراري أرضي، الممتلكات، التقارير). على سبيل المثال، النقر على الحراري الأرضي يُظهر خرائط مواقع الآبار، الأنابيب، والقراءات الفورية (مدمجة من الحساسات).
- نُفذت تحليلات مخصصة: يمكن للمستخدم مثلاً النقر على بئر حراري أرضي على الخريطة ورؤية حالته ورسوم بيانية لأدائه. تظهر الصيانة الوقائية مكانياً – إذا كان هناك تجمع من الأصول في منطقة واحدة بحاجة فحص، يتم تمييز ذلك على الخريطة.
- التكامل مع أنظمة أخرى: رُبط GIS مع نظام إدارة محطات SAP في KenGen. هذا يعني أنه عند تنفيذ الصيانة وتسجيلها في SAP ، يتم تحديث حالة الأصل في طبقة

GIS وبالعكس، إذا أبلغ GIS عن مشكلة (مثل سد يظهر حساسه مستوى مياه

مرتفع)، يمكنه بدء تدفق عمل في SAP.

- أصبحت البوابة ذاتية الخدمة إلى حد كبير: في البداية، أثقلت طلبات الخرائط الـ 33 موظفًا في الجيوماتكس لـ 2,500 مستخدم نهائي. عبر إنشاء أدوات ويب تمكّن المستخدمين من الاستعلام وإنشاء خرائط بسيطة بأنفسهم، قللت الطلبات المباشرة ومكنت الموظفين في مختلف الأقسام.

النتائج:

- تحسين الكفاءة: قبل IRMIS، كان إعداد التقارير للإدارة حول حالة المحطات يستغرق وقتًا طويلاً وغالباً ما يكون قديماً. الآن يمكن للإدارة استخدام لوحات المعلومات للحصول على رؤية شبه فورية (مثل الحالة المباشرة لكل بوابة سد أو توربين رياح). قلّص هذا بشكل كبير وقت اتخاذ القرار.
- توفير التكاليف: أدى توحيد البيانات إلى إزالة التكرار. أصبح من الأسهل تحديد فرص مشاركة الموارد بين المحطات القريبة (مثل فرق الصيانة أو قطع الغيار) عندما تكون جميع الأصول على خريطة واحدة. نسبوا تحسين التعاون ومشاركة البيانات عبر الأقسام إلى منصة GIS المشتركة.
- تعزيز الصيانة والسلامة: ساعدت الرؤية المكانية على اكتشاف المشكلات النظامية، مثلاً إذا أظهرت عدة أصول على طول خط أنابيب واحد إجهاداً، يمكن للمهندسين فحص ذلك الجزء مسبقاً. كما أن قدرة النظام على تمييز الحالات الشاذة (مثل تحول جميع الأصول في مجموعة جغرافية إلى اللون الأحمر بسبب حدث محلي) تعني تحديد المشكلة بسرعة أكبر. كما كشف عن أخطاء بيانات تم تصحيحها (اكتشاف سجلات أصول مكررة أو مفقودة أثناء التكامل).

- الحفاظ على المعرفة: جرى رقمنة معرفة الموظفين ذوي الخبرة (مثل مواقع بعض الكابلات تحت الأرض) في النظام، مما يقلل المخاطر عند تقاعدهم أو مغادرتهم. يمكن للموظفين الجدد التعرف بسرعة باستخدام GIS.
- أفادت قيادة KenGen أن IRMIS وفر "لغة مشتركة واحدة" للعمليات المعقدة، مما حسن التواصل بين الأقسام. أدى النجاح إلى خطط للتوسع (مثل الترحيل إلى السحابة للتوسع).

خلاصة الجيوماتيكس: توضح حالة KenGen كيف يدمج GIS المؤسسي مع أنظمة الأعمال، ويكسر عزلة البيانات، ويحقق مكاسب ملموسة في الكفاءة. يؤكد ذلك على أهمية دعم الإدارة العليا وتدريب المستخدمين على الخدمة الذاتية. إنها خطة يمكن أن تحتذي بها المرافق حول العالم لتحديث إدارة الأصول باستخدام الجيوماتيكس.

دراسة حالة 3: تحديث السجل العقاري الوطني للأراضي في أنغولا

السياق:

واجهت أنغولا مشكلات تتعلق بالمستوطنات العشوائية، وملكية الأراضي غير الواضحة، وانخفاض تحصيل الضرائب بسبب نظام إدارة الأراضي القديم (الذي كان يعتمد في جزء كبير منه على الورق أو غير مكتمل). لدعم التخطيط الحضري وتحسين أمن الحياة، أطلقت أنغولا مشروعًا لتحديث السجل العقاري وسجلات الأراضي باستخدام تكنولوجيا الجيوماتيكس.

تنفيذ الجيوماتكس:

- تم اعتماد برنامج (LAMP – برنامج تحديث إدارة الأراضي)، الذي يتضمن أدوات ArcGIS Enterprise تعاونت الهيئة الوطنية للمساحة (IGCA) مع شركة خاصة (GEODATA) لتنفيذ أعمال المسح وتطوير النظام.
- التصوير الجوي بالطائرات المسيّرة: بدلاً من الاعتماد على المسوحات الأرضية فقط، تم استخدام الطائرات المسيّرة لتحليق فوق المناطق الحضرية والتقاط صور عالية الدقة. باستخدام نقاط تحكم أرضية ومعالجة فوتوغرامترية، أنتجوا صوراً مصححة (OrthoPhotos) واستخرجوا المعالم (مخططات المباني، حدود القطع الظاهرة على الأرض) بسرعة. في المدن، سرّع ذلك من عملية توثيق متاهة الأحياء غير المخططة.
- استخراج المعالم والذكاء الاصطناعي المكاني: (GeoAI) تم استخدام الذكاء الاصطناعي المكاني لتحديد حدود الملكيات ومخططات المباني من الصور (مؤتمتاً ما كان يتم يدوياً سابقاً). كان هذا أمراً حاسماً حيث لم تكن هناك خرائط رسمية للقطع. ثم تحقق المساحون من هذه الحدود على الأرض باستخدام GNSS حيث لزم الأمر، خاصة في المناطق المتنازع عليها.
- الرسم ثلاثي الأبعاد لأغراض التقييم: في وسط لواندا، حيث تنتشر المباني الشاهقة، لم يكن كافياً تسجيل الامتداد ثنائي الأبعاد فقط، بل كان لا بد من تسجيل الوحدات السكنية الرأسية. تم دمج مخططات الطوابق في نموذج سجل عقاري ثلاثي الأبعاد (باستخدام أدوات مشابهة لـ ArcGIS Indoor أو CityEngine) لتحديد الملكيات بشكل فريد حتى داخل الأبراج العالية.
- تكامل السجل العقاري: تم ربط السجل العقاري الجديد (الخرائط) عبر واجهة ثنائية الاتجاه بقاعدة بيانات السجل القانوني القائمة (التابعة لوزارة العدل MINJUS). هذا يعني أنه عند تسجيل معاملة عقارية في السجل، ينعكس المالك

الجديد فورًا في GIS ؛ وبالعكس، أي قطعة جديدة تتم إضافتها عبر المسح تولّد إدخالًا جديدًا في السجل.

- بناء القدرات :تم تجهيز 22 مكتبًا إقليميًا للسجل و18 مكتبًا للسجل العقاري بالمعدات وتدريب الموظفين. تعلم الفنيون المحليون تشغيل الطائرات المسيّرة، واستخدام GPS ، وتحديث GIS. تم إنشاء قاعدة بيانات مكانية مركزية لكن يمكن الوصول إليها من جميع المكاتب عبر الشبكة.

النتائج:

- خلال 3 سنوات فقط، تم مسح أكثر من 450,000 قطعة أرض في المناطق الحضرية وتسجيل 100,000 ملكية ضمن برنامج الإسكان الميسور. هذا تجاوز بكثير ما كان يمكن للمسوحات اليدوية إنجازه في نفس الفترة.
- زيادة أمن الحيازة :تلقى السكان في المناطق المسوحة وثائق (عناوين ملكية أو شهادات إشغال) لأراضيهم، مدعومة بالخرائط الدقيقة. أدى ذلك إلى تقليل النزاعات على الأراضي حيث أصبحت الحدود محددة بوضوح وقابلة للعرض. كما ساعد العرض العلني للخرائط الجديدة (مثل تعليقها في الاجتماعات المجتمعية) في التحقق من الدقة وكسب تأييد المجتمع.
- توليد الإيرادات :مع تسجيل المزيد من الممتلكات رسميًا وتقييمها (استخدموا GIS لتحديد مناطق القيمة بناءً على الموقع والاستخدام)، تحسن تحصيل ضريبة الأملاك. أشارت التقارير المبكرة إلى زيادة بنسبة ~15% في الإيرادات البلدية في المدن التجريبية بفضل تحسين جداول الضرائب.
- التخطيط الحضري :أصبح لدى المخططين الآن خريطة رقمية لقطع الأراضي وملكيّتها. كان هذا مفيدًا على الفور – على سبيل المثال، عند التخطيط لطريق

جديد، يمكنهم بسرعة تحديد أي القطع والمالكين سيتأثرون والمضي قدمًا في الاستملاك أو التعويض بسلسلة أكبر.

- **الدروس المستفادة:** تضمنت بعض التحديات عدم الثقة العامة في البداية (خشية أن يكون الهدف من المسح فرض الضرائب أو مصادرة الأراضي). تم التغلب على ذلك من خلال التوعية وتبسيط الضوء على الفوائد (مثل إثبات الملكية). تقنيًا، كان تكامل البيانات معقدًا – إذ تطلّب مطابقة السجلات النصية القديمة مع القطع المكانية الجديدة جهدًا يدويًا في كثير من الحالات. ولكن الآن مع وجود نظام موحد، يجب أن تكون الصيانة (تحديث البيانات باستمرار) أسهل إذا تم الالتزام بالإجراءات.

خلاصة الجيوماتكس:

تجربة أنغولا تجسد كيف يمكن لتكنولوجيا الجيوماتكس الحديثة (الطائرات المسيّرة، GIS، قواعد البيانات المكانية) أن تقفز بقدرات إدارة الأراضي في بلد ما، مما يعزز الحوكمة والتنمية الاقتصادية. وتُظهر قوة المسح السريع والأنظمة المدمجة في مجال (حيازة الأراضي) الذي يؤثر مباشرة على حياة المواطنين. العديد من الدول الإفريقية والآسيوية تتجه نحو نهج مشابه، مما يجعل الجيوماتكس العقاري مجالًا متناميًا.

دراسة حالة 4: رسم خرائط الاستجابة للكوارث – إعصار "إيداي" موزمبيق 2019

السياق:

في مارس 2019، تسبب إعصار "إيداي" بفيضانات كارثية في موزمبيق، خاصة حول مدينة بيرا. غمرت المياه مساحات شاسعة، ودُمرت البنية التحتية، وانقطعت العديد من المجتمعات. احتاج المستجيبون إلى معلومات سريعة حول مدى الفيضانات، الطرق المدمرة، والمجتمعات المعزولة.

تنفيذ الجيوماتيكس:

- صور الأقمار الصناعية لرسم خرائط الفيضانات: خلال يوم واحد من وصول الإعصار، تم تفعيل "الميثاق الدولي للفضاء والكوارث الكبرى". جمعت عدة أقمار صناعية (Sentinel-1 الراداري، WorldView البصري) صورًا. كان للرادار أهمية كبرى لأنه يخترق الغيوم – حيث استخدم المحللون Sentinel-1 لإنشاء خريطة لمياه الفيضانات بمقارنة الصور قبل وبعد الإعصار (حيث تظهر المناطق الجديدة المغطاة بالمياه في الإشارة الرادارية). أنتج ذلك خريطة تحدد القرى المغمورة.
- رسم الخرائط التطوعي: تطوع الآلاف من حول العالم، من خلال منظمات مثل Humanitarian OpenStreetMap Team (HOT)، في تتبع الطرق والأنهار والتجمعات السكانية من صور الأقمار الصناعية في وحول بيرا (حيث كانت الخرائط قديمة أو غير موجودة في العديد من المناطق الريفية). في غضون أسبوع، تمت إضافة عشرات الآلاف من المباني ومئات الكيلومترات من الطرق إلى OpenStreetMap لموزمبيق. كانت هذه الخرائط حيوية للقوافل الإغاثية التي لم تكن تعرف مواقع القرى الصغيرة أو اتصال الطرق.
- المسوحات بالطائرات المسيّرة والجوية: نشرت الأمم المتحدة وشركاؤها طائرات مسيّرة في بيرا للحصول على صور تفصيلية للبنية التحتية الرئيسية (مثل الميناء، المستشفيات). كما تم إجراء مسوحات جوية عبر المروحيات لتقدير عدد السكان العالقين على أسطح المباني أو الأراضي المرتفعة. تم تسجيل إحداثيات هذه التجمعات.
- جمع البيانات الميدانية باستخدام GIS عبر الهاتف المحمول: استخدمت وكالات الإغاثة تطبيقات ميدانية (مثل KoboToolbox، التي تعمل دون اتصال مع GPS) لإجراء تقييمات سريعة للاحتياجات. كل نقطة مُسجلة (قرية أو مأوى) حصلت على

موقع GPS وخصائص: عدد الأشخاص، الاحتياجات العاجلة، إلخ. تم إدخال هذه البيانات في خريطة ويب مباشرة يستخدمها مركز التنسيق.

- نظام GIS للوجستيات الإغاثية: قاد برنامج الأغذية العالمي (WFP) جانب اللوجستيات. استخدم GIS لتحديد مناطق إسقاط الإمدادات جواً (مثل الملاعب أو الساحات) ولرسم خرائط الطرق الصالحة للاستخدام مع انحسار المياه. تم إنشاء خريطة محدثة باستمرار توضح أي الطرق مفتوحة، وأين الجسور منهارة، وأماكن توزيع المساعدات. تم إتاحتها على منصة يمكن الوصول إليها عبر الهواتف الذكية أو الأجهزة اللوحية لفرق العمل الميدانية.

النتائج:

- خلال 48 ساعة، جُمعت صورة دقيقة نسبياً عن الفيضانات، استخدمتها السلطات الموزمبيقية والمستجيبون الدوليون لتحديد الأولويات. على سبيل المثال، أوضحت الخريطة أن مساحة ~3,000 كم² كانت تحت المياه. كما كشفت أن بلدة "بوزي" غُمرت بالكامل – مما أدى إلى نشر المروحيات لإنقاذ مئات الأشخاص المتشبهين بأسطح المنازل هناك، وهو أمر ربما كان سيتأخر إدراكه لولا ذلك.
- تم تحميل الخرائط المحسنة عبر OpenStreetMap إلى أجهزة GPS والهواتف، مما ساعد بشكل كبير في التنقل في منطقة نادرة الخرائط الرسمية. كما ساعدت لاحقاً علماء الأوبئة عند حدوث تفشي الكوليرا (لمعرفة أماكن التجمعات السكانية لتوجيه اللقاحات).
- سمحت استبيانات GIS الميدانية بوجود لوحات متابعة شبه فورية للاحتياجات الإنسانية. في الاجتماعات التنسيقية، ساعدت هذه اللوحات على تجنب التكرار (مثلاً معرفة أي القرى حصلت على مياه وأينها لم تحصل بعد).

- بعد الاستجابة الأولية، شكّلت البيانات المجمعة أساساً للتخطيط لإعادة الإعمار. على سبيل المثال، ساعدت معرفة الجسور المدمرة (المُحددة والمصوّرة) المانحين في تخصيص الأموال لمشاريع النقل ذات الأولوية. كما تُستخدم خرائط مدى الفيضانات الآن للتخطيط لتقليل مخاطر الكوارث مستقبلاً، مثل تحديد التجمعات في مناطق عرضة للفيضانات لإعادة توطينها أو بناء سدود.

خلاصة الجيوماتيكس:

تُبرز استجابة إعصار "إيداي" كيف أن المعلومات المكانية السريعة والدقيقة أمر حاسم ومنقذ للحياة في الكوارث. وتوضح التكامل بين التقنيات المتقدمة (الأقمار الصناعية، الطائرات المسيّرة) والجهود المجتمعية (رسم الخرائط التطوعي). كما تُظهر التقدم المحرز – مثل قدرة الصور الرادارية على تجاوز الطقس، ورسم الخرائط الجماعي لملاء فجوات البيانات – والتي لم تكن متاحة على نطاق واسع في كوارث سابقة. أصبحت حالة "إيداي" نموذجاً لجهود رسم الخرائط في الكوارث الدولية، مسلطة الضوء على قيمة البيانات المفتوحة والتعاون بين الوكالات والمتطوعين والحكومات المحلية عبر الجيوماتيكس.

هذه الدراسات، من تحسين سبل العيش في الهند إلى إدارة المرافق في كينيا، وتحديث سجلات الأراضي في أنغولا، وإنقاذ الأرواح في موزمبيق، تُظهر بشكل جماعي قوة واتساع نطاق الجيوماتيكس في حل المشكلات الواقعية.

كل منها تطلب الجمع بين عناصر مختلفة تمت مناقشتها في هذا الكتاب: من الاستشعار عن بعد والمسح إلى تحليل GIS والمشاركة الفعالة للبيانات. كما تكشف عوامل نجاح مشتركة: التنسيق الجيد، استخدام التكنولوجيا المناسبة، تدريب وإشراك السكان المحليين، وضمان تحويل البيانات إلى قرارات عملية. ومع استمرار تقدم الجيوماتيكس، نتوقع أن تكون دراسات الحالة المستقبلية أكثر إثارة للإعجاب، لكن تلك المعروضة هنا تقدم لمحة قوية عن الجيوماتيكس قيد التنفيذ اليوم.

الخاتمة

يُعد علم الجيوماتكس مجالًا ديناميكيًا واسع التأثير، يشكل الأساس لقدرتنا على القياس، ورسم الخرائط، وإدارة العالم من حولنا. في هذا الكتاب، سرنا في رحلة تبدأ من التعريفات الأساسية والتطورات التاريخية، مرورًا بالمكونات التقنية والتقنيات الخاصة بالجيوماتكس، وصولًا إلى تطبيقاته العديدة واتجاهاته المستقبلية. ومن هذه الرحلة تبرز عدة محاور رئيسية:

• التكامل:

يدمج علم الجيوماتكس بين تخصصات متعددة – كالمساحة الأرضية، الاستشعار عن بعد، نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، الفوتوغراممري، GNSS، وعلوم الحاسوب – في نهج متماسك للتعامل مع المعلومات المكانية. هذا التكامل يسمح لنا بحل مشكلات معقدة لا يمكن لأي تقنية منفردة أن نعالجها.

• التطور:

يظهر تاريخ الجيوماتكس ومستقبله تطورًا مستمرًا. فمن المساحين القدماء الذين استخدموا الحبال والبوصلة إلى المهندسين المعاصرين الذين يعتمدون على الأقمار الصناعية والطائرات المسيّرة، تغيرت الأدوات بشكل كبير، بينما بقي الهدف الأساسي ثابتًا: الحصول على بيانات مكانية دقيقة واستخلاص معلومات ذات معنى منها. نحن نقف اليوم عند نقطة يشهد فيها المجال توسعًا سريعًا بفضل التكنولوجيا (مثل الذكاء الاصطناعي وأجهزة الاستشعار اللحظية) التي توسّع بشكل كبير ما يمكن تحقيقه بالجيوماتكس.

• الأثر الواسع:

تطبيقات الجيوماتكس شاملة وحاضرة في كل مكان – من إدارة البيئة، والتنمية الحضرية، والزراعة، والبنية التحتية، والصحة العامة، وما بعدها. أظهرت دراسات

حالة من دول مختلفة أنه سواء كان الأمر بتمكين المزارعين الصغار في الهند، أو دمج إدارة أصول الطاقة في كينيا، أو إضفاء الطابع الرسمي على حقوق الأراضي في أنغولا، أو تنسيق جهود الإغاثة في الكوارث في موزمبيق، فإن الجيوماتيكس يقدم قيمة ملموسة. فهو يحسّن اتخاذ القرار، ويزيد الكفاءة، وغالبًا ما ينقذ الأرواح أو سبل العيش حرفيًا.

• الفرص والتحديات:

سوق العمل في مجال الجيوماتيكس قوي وينمو بسرعة، مع طلب مرتفع في قطاعات متعددة على مستوى العالم. ومع ذلك، فهو يواجه تحديات مثل الحاجة إلى التطوير المستمر للمهارات، ومعالجة قضايا خصوصية البيانات وأخلاقياتها. وسيختبر الحفاظ على جودة البيانات وضمان قابليتها للتشغيل البيئي في ظل تدفق هائل من المصادر الجديدة قدرات المهنيين في المستقبل. لكن هذه التحديات قابلة للتغلب عليها من خلال ممارسات سليمة، ومعايير واضحة، وتعليم مستمر.

• الآفاق المستقبلية:

مستقبل الجيوماتيكس واعد ومثير. اتجاهات مثل الذكاء الاصطناعي المكاني (GeoAI)، نظم GIS اللحظية، التوائم الرقمية ثلاثية الأبعاد، والبيانات الجماعية ستزيد من اندماج الجيوماتيكس في حياتنا اليومية والتخطيط الاستراتيجي على حد سواء. ومع مواجهة العالم لقضايا كبرى مثل التغير المناخي، والتحضر السريع، والتنمية المستدامة، سيكون للجيوماتيكس دور محوري من خلال توفير الفهم المكاني اللازم للتعامل مع هذه التحديات. يُنظر بشكل متزايد إلى "التفكير المكاني" باعتباره مهارة أساسية في عصر المعلومات، ويُعتبر الجيوماتيكس التخصص الذي يطور ويطبق هذه المهارة.

خاتمة القول:

لقد تطور الجيوماتيكس من جذوره في المساحة ورسم الخرائط إلى أن أصبح علمًا متقدمًا في

مجال المعلومات، ضروريًا لإدارة كوكبنا وتحسين رفاه الإنسان. يجب على طلاب المرحلة الجامعية والمبتدئين في هذا المجال أن يقدِّروا كلاً من الإرث الغني والمستقبل الابتكاري للجيوماتكس. ومن خلال إتقان المفاهيم والطرق الموضحة في هذا الكتاب، سيكونون مجهزين جيدًا للمساهمة في مجموعة واسعة من المشاريع – بدءًا من مبادرات رسم الخرائط المجتمعية المحلية وصولاً إلى برامج المراقبة البيئية العالمية.

يُوصف الجيوماتكس أحيانًا بأنه "علم المكان". وفي عالم أصبح فيه "المكان" أكثر أهمية من أي وقت مضى – سواء في تتبع جائحة أو في نشر حلول الطاقة المتجددة – لا يمكن المبالغة في التأكيد على أهميته. لقد غيّر إدخال الجيوماتكس في الأوساط الأكاديمية والصناعية بالفعل الطريقة التي ندرك ونتفاعل بها مع عالمنا. ومع تقدم التكنولوجيا وتطور التحديات التي نواجهها، سيبقى الجيوماتكس في الطليعة، يتكيف ويقدم العدسة المكانية التي من خلالها يمكننا إيجاد الحلول.

من خلال التعلم من التطورات السابقة، وتطبيق التقنيات الحالية بفعالية، واحتضان الابتكارات المستقبلية، سيواصل محترفو الجيوماتكس رسم الطريق للمستقبل. لقد وفرت فصول هذا الكتاب الأساس، أما الخطوات التالية فتتمثل في الخبرة العملية والتعلم المستمر. وبفضل المعرفة الأساسية المتينة والعقلية التكيفية، يمكن لطلاب الجيوماتكس أن يتطلَّعوا إلى مسيرات مهنية مجزية تساهم في تلبية احتياجات المجتمع وابتكاراته. سواء كان العمل في رسم خرائط أعماق المحيط، أو امتداد مدينة كبرى، أو حتى سطح المريخ، فإن مبادئ الجيوماتكس ستظل ترشد هذه المسيرة.

الفصل الثالث عشر

مجالات عمل خريج الجيوماتيكس وعلاقة سوق العمل

إلى جانب الأوساط الأكاديمية والبحثية، يتمتع علم الجيوماتيكس بحضور قوي في سوق العمل المهني. يستعرض هذا الفصل دور الجيوماتيكس في مختلف الصناعات وقطاعات التوظيف، والطلب على المتخصصين في هذا المجال، إضافة إلى المهارات التي تجعل خريجي الجيوماتيكس جذابين في سوق العمل. كما سنناقش كيف أن الدول المختلفة تشهد وتدعم مهنة الجيوماتيكس، نظراً لاختلاف فرص العمل عالمياً.

(١) الطلب الصناعي و آفاق الوظائف (Industry Demand and Career Prospects)

المتخصصون في الجيوماتيكس (وغالباً ما يُطلق عليهم مهندسو الجيوماتيكس، أو المساحون، أو محللو نظم المعلومات الجغرافية GIS Analysts، أو المتخصصون في المعلومات المكانية Geospatial Specialists، وذلك حسب الدور والمنطقة) مطلوبون في قطاعات متعددة.

ووفقاً لكلية شوليتش للهندسة بجامعة كالجاري: "مهندسو الجيوماتيكس مطلوبون بشدة، سواء في كندا أو على المستوى العالمي".

ويمكنهم العمل في القطاع الخاص مثل شركات التقنية (جوجل، آبل، مايكروسوفت – جميعها تستخدم البيانات المكانية)، وشركات الطاقة (شل، بي بي وغيرها – التي تستخدم الجيوماتيكس في الاستكشاف وإدارة الأصول)، وشركات المسح ورسم الخرائط (Trimble، Leica Geosystems)، وأيضاً في القطاع العام مثل وكالات رسم الخرائط الحكومية، وأقسام التخطيط العمراني، وهيئات النقل.

اتساع نطاق أصحاب العمل يرجع إلى أن البيانات المكانية أصبحت اليوم أساسية لاتخاذ القرارات في مجالات عديدة. وفي الواقع، أشارت مجلة Science إلى أن "صناعة

الجيوماتيكس متنوعة وتصرخ طلباً للمواهب - فهي في وضع استثنائي حيث يوجد عدد وظائف أكثر من الخريجين".

هذا ما تؤكدته تقارير من بعض المناطق: على سبيل المثال، أفاد **Bramald and Allenby** (2015) حول خريجي برنامج الجيوماتيكس من جامعة نيوكاسل في المملكة المتحدة بأن أصحاب العمل لم يحصلوا على عدد كافٍ من الخريجين لتلبية الطلب. وقد لاحظوا نمواً كبيراً في قطاعات مثل:

- المسح البحري (لأغراض النفط والغاز ومزارع الرياح البحرية).
- المسح الهندسي (للمشاريع العملاقة مثل مشروع **Crossrail** في لندن).

بوجه خاص، فإن القطاع البحري (استكشاف الطاقة، مد الكابلات، إلخ) كان من أكبر المشغلين لخريجي الجيوماتيكس، لمهام مثل المسح الهيدروغرافي وتموضع البنى التحتية. وبالمثل، فإن شركات الهندسة المدنية توظف بشكل متزايد مختصي الجيوماتيكس للتعامل مع أعمال المسح، ونظم GIS، وإدارة البيانات في مشاريع البناء الضخمة.

في أمريكا الشمالية:

يوجد طلب قوي في مجالات مثل:

- شركات المساحة وهندسة الجيوماتيكس: تتولى المسوحات العقارية ومسوح البناء، إلخ. في كندا والولايات المتحدة، هناك حاجة لمساحين معتمدين للعمل على الحدود القانونية، ومع تقاعد العديد من المساحين القدامى، تبرز فرص جديدة.
- صناعة نظم المعلومات الجغرافية وتكنولوجيا المعلومات: أدوار مثل محلل GIS، مطور GIS، أو عالم بيانات مكانية أصبحت واسعة الانتشار. المدن توظف مختصي

- GIS لإدارة كل شيء من خرائط المرافق إلى خرائط الاستجابة للطوارئ. شركات مثل Esri (مطور ArcGIS) توظف الكثير في تطوير البرمجيات والحلول المكانية.
- وكالات الاستشعار عن بعد ورسم الخرائط: مثل NASA، NOAA، USGS في الولايات المتحدة أو NRCan في كندا تحتاج علماء استشعار عن بعد وخبراء جيوماتكس لمعالجة وتحليل بيانات مراقبة الأرض. القطاع الخاص أيضاً يضم مزودي بيانات الأقمار الصناعية الذين يوظفون محللي صور.
 - شركات المرافق والاتصالات: تدير قواعد بيانات مكانية لشبكتها (خطوط الكهرباء، الأنابيب، الألياف الضوئية) وتعتمد على الجيوماتكس للتخطيط الشبكي وإدارة الأصول.
 - النقل واللوجستيات: من شركات مشاركة الركوب إلى خدمات التوصيل، أصبح تحسين المسارات وتحليل البيانات المكانية أمراً حاسماً، مما أدى إلى ظهور أدوار في مجال "ذكاء المواقع".

ووفقاً لملف وظيفي صادر عن جامعة كالجاري، فإن خريجي الجيوماتكس يجدون وظائف في شركات التقنية الكبرى (مثل العمل على الخرائط في جوجل)، وفي الطاقة (مثل شل)، وفي الحكومات (مثل هيئات رسم الخرائط الوطنية والبلديات)، وكذلك في شركات الجيوماتكس المتخصصة. (Trimble, Intermap)

المنظور الدولي (International Perspective)

في بعض الدول، يختلف المسمى الوظيفي (مثل: "مساح أراضي"، "أخصائي GIS")، لكن الفرص موجودة في كل مكان:

- الدول النامية: هناك حاجة لمهارات الجيوماتكس في تطوير البنية التحتية (مسح الطرق الجديدة، التخطيط الحضري)، وإدارة الأراضي (رسم خرائط الملكية لدعم

النظم القانونية والتنموية – مثل تحديث السجل العقاري في أنغولا باستخدام GIS، والإدارة البيئية (مراقبة الموارد، الزراعة). وغالباً ما تكون الفرص مرتبطة بمشاريع حكومية أو دولية للتنمية.

- أوروبا: تتمتع العديد من الدول بحضور قوي للجيوماتيكس. على سبيل المثال، هولندا والمملكة المتحدة لديهما صناعات استشارية مزدهرة في الجيوماتيكس (مدفوعة بإدارة الفيضانات، والمرافق، إلخ). ألمانيا لديها سوق قوي في نظم GIS والاستشعار عن بعد، بينما أوروبا الشرقية تحتاج بشكل متزايد لمتخصصين لمشاريع رسم خرائط ممولة من الاتحاد الأوروبي. كما أن توجيهه INSPIRE في الاتحاد الأوروبي خلق الكثير من أعمال البنية التحتية للبيانات المكانية، ما وفر فرص عمل في الجيوماتيكس.
- آسيا: الهند لديها صناعة ضخمة في مجال الاستعانة بخدمات GIS إلى جانب دعم حكومي للتحويل الرقمي (مثل رقمنة السجلات العقارية ورسم خرائط المرافق). الصين لديها احتياجات هائلة من الجيوماتيكس، بدءاً من مشاريع البناء العملاقة التي تتطلب المسح، وصولاً إلى نظام الملاحة عبر الأقمار الصناعية الخاص بها (BeiDou) وبرامج الاستشعار عن بعد. يُعترف بالمسح/الجيوماتيكس هناك كفرع هندسي قائم بذاته. دول الشرق الأوسط، مع الطفرات العمرانية ومبادرات المدن الذكية، توظف العديد من خبراء الجيوماتيكس عالمياً (غالباً عبر عقود مشاريع).
- إفريقيا: هناك تركيز متزايد على الجيوماتيكس بسبب الحاجة إلى إصلاح الأراضي والبنية التحتية. جنوب إفريقيا لديها تقليد قوي في مهنة المسح (مع مجلسها الخاص للجيوماتيكس وبرامجها الجامعية). بلدان أخرى تعتمد على الجيوماتيكس في التعدين (مثل غانا، بوتسوانا)، والزراعة، والتخطيط الحضري، وإن كان حجم القوى العاملة أصغر ويُستكمل أحياناً بخبراء أجانب أو تدريب من خلال مشاريع مانحة.

وشهد سوق العمل في العقود الأخيرة زيادة كبيرة في الطلب على المهارات الجيوماتيكية بسبب الانتشار الواسع للتقنيات المكانية في شتى القطاعات. خريج تخصص الجيوماتيكس أو التخصصات ذات الصلة (مثل نظم المعلومات الجغرافية أو هندسة المساحة) يجد نفسه مؤهلاً للعمل في طيف متنوع من الوظائف والمجالات. في هذا الفصل نستعرض أبرز مجالات العمل المتاحة لخريجي الجيوماتيكس، ونناقش متطلبات سوق العمل الحالية واتجاهاته المستقبلية.

(٢) الوظائف التخصصية في الجيوماتيكس: يمكن لخريج الجيوماتيكس أن يشغل عناوين وظيفية تقنية مباشرة مثل:

- مهندس جيوماتيكس / مساح: يركز على القياسات والتموضع. إذا كان معتمداً، يمكنه التوقيع على المسوحات القانونية. قد تشمل المهام إجراء مسوحات GPS، إعادة تتبع الحدود، تحديد مواقع هندسية للبناء، أو مراقبة تشوهات المنشآت (سدود، جسور) بدقة عالية.
- محلل / أخصائي GIS: يعمل باستخدام برمجيات GIS لإدارة قواعد البيانات، وإنتاج الخرائط، وتنفيذ التحليلات المكانية. مثلاً، في شركة استشارات بيئية قد يحلل خرائط المواطن البيئية لتقييم الأثر البيئي. وفي الحكومة المحلية، قد يدير طبقات GIS للمدينة (القطع العقارية، تقسيمات المناطق، المرافق) ويدعم الأقسام المختلفة بالخرائط.
- محلل استشعار عن بعد: يعالج ويفسر الصور الجوية أو صور الأقمار الصناعية. قد يتضمن عمله تحديد الإجهاد الزراعي للمحاصيل لصالح شركة تكنولوجيا زراعية، أو رسم خرائط شدة الحرائق لشؤون الغابات. يستخدم أدوات مثل ENVI، ERDAS، أو بشكل متزايد أدوات قائمة على بايثون مثل Google Earth Engine لمعالجة الصور الكبيرة.

- **عالم بيانات مكانية (Geospatial Data Scientist)** دور جديد يجمع بين علوم البيانات والجيوماتكس. قد يعمل على البيانات الضخمة المكانية – مثلاً تحليل ملايين سجلات رحلات مشاركة الركوب لتحسين الخدمة، أو العمل لدى متجر تجزئة لإجراء تحليلات تسويقية مكانية (اختيار أفضل موقع لفتح متجر جديد عبر تحليل الديموغرافيا ومواقع المنافسين).
- **رسام خرائط / مصمم مكاني**: متخصص في إنتاج التمثيلات البصرية – إنشاء خرائط عالية الجودة للطباعة أو الويب، وتصميم خدمات خرائط تفاعلية. يركز هذا الدور على جانب الاتصال البصري للجيوماتكس.
- **مدير مشاريع جيوماتكس**: يشرف على مشاريع مكانية، وهو أمر شائع في شركات الاستشارات. يضمن تسليم المشاريع (مثل رسم خط أنابيب أو تنفيذ نظام GIS بلدي) في الوقت المحدد والميزانية. يتطلب هذا فهماً للتقنيات واحتياجات العملاء معاً.
- **مطور برمجيات مكانية**: العديد من خريجي الجيوماتكس ذوي مهارات البرمجة يدخلون مجال تطوير تطبيقات GIS ، أو إضافات، أو قواعد بيانات مكانية. قد يعملون لدى شركات برمجيات (مثل Esri أو مجتمع QGIS) ، أو لدى أي شركة تحتاج حلولاً مكانية مخصصة (مثل تطوير تطبيق لجمع البيانات الميدانية).
- **هيدروغراف (Hydrographer)**: متخصص في المسح البحري – رسم السواحل والموانئ والمنشآت البحرية. غالباً ما يعمل لدى البحرية، أو خفر السواحل، أو شركات خاصة تعمل في الهندسة البحرية.
- **أخصائي فوتوجرامتري LiDAR** / يعمل على استخراج المعلومات من الصور والليدار. مثلاً، إنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد للمدن من الصور الجوية أو تصنيف سحب النقاط LiDAR لتمييز خطوط الكهرباء عن الأرض.

- **مخطط حضري/إقليمي مع تركيز على GIS:** في إدارات التخطيط، يعد المحترفون ذوو مهارات GIS ذوي قيمة عالية. يستخدمون أدوات الجيوماتيكس لتقييم مقترحات التطوير، تحديث خرائط التقسيم، ومحاكاة النمو الحضري.
- **أخصائي نظم معلومات جغرافية (GIS Specialist/Analyst):** وهو الذي يقوم بإدارة قواعد البيانات الجغرافية وإجراء التحليلات المكانية وإنتاج الخرائط. تحتاج هذه الوظيفة لإتقان برمجيات GIS، وفهم قوي للتحليل المكاني والإحصائي. يعمل متخصصو الـ GIS في المؤسسات الحكومية (كالبلديات وهيئات التخطيط) وكذلك في الشركات الهندسية والاستشارية.
- **مساح جيوماتي (Geomatics Surveyor):** وهو معني بأعمال الرفع المساحي الأرضي باستخدام الأجهزة التقليدية والـ GPS، وتحديد الإحداثيات والاحداثيات المسقطة للمشاريع الهندسية. هذا الدور مطلوب في مشاريع البناء والطرق، وكذلك في شركات المساحة المتخصصة التي تقدم خدماتها للمطورين العقاريين.
- **محلل استشعار عن بعد (Remote Sensing Analyst):** يقوم بمعالجة صور الأقمار الصناعية أو الجوية وتحليلها لاستخراج المعلومات المطلوبة (كإعداد خرائط التصنيف أو تتبع التغيرات). غالبًا ما يعمل هؤلاء في مراكز الأبحاث البيئية أو شركات الاستشارات الزراعية والموارد الطبيعية.
- **مهندس/اختصاصي مسح بحري (Hydrographic Surveyor):** ويتخصص في جمع البيانات المكانية للمسطحات المائية وقيعان البحار باستخدام تقنيات السونار و GPS البحري. هذه مهارة مطلوبة في المشاريع الساحلية والملاحية والتنقيب عن النفط البحري.
- **مطور تطبيقات جيومكانية (Geospatial Developer):** مع ازدياد البيانات المكانية الضخمة، ظهرت الحاجة لمبرمجين مطلعين على الجيوماتيكس. يقوم هؤلاء بتطوير تطبيقات ويب أو هواتف ذكية تعتمد على الخرائط (مثل تطوير تطبيق

خريطة سياحية تفاعلية)، أو تطوير أدوات مخصصة داخل برمجيات GIS لتحسين سير العمل. هذه الوظيفة تمزج مهارات البرمجة (مثل بايثون، جافا سكريبت) مع فهم عميق للبيانات المكانية.

(٣) القطاعات التي توظف خريجي الجيوماتيكس: يتسم مجال الجيوماتيكس بكونه متعدد الاختصاصات، لذا نجده حاضراً في قطاعات كثيرة. بعض الأمثلة:

- القطاع الحكومي والتخطيط: كالوزارات والهيئات المعنية بالتخطيط العمراني والإسكان والبيئة والموارد الطبيعية. مثلاً، تستقطب وزارات البيئة وهيئات المساحة خريجي الجيوماتيكس لإدارة نظم المعلومات البيئية والمساحية. في مصر مثلاً، يعمل متخصصو الجيوماتيكس في هيئات مثل هيئة التخطيط العمراني وهيئة المساحة المصرية ووزارة الري والزراعة. وفي الأردن، يعملون في المركز الجغرافي الملكي الأردني ووزارة البلديات ودائرة الأراضي. يقوم هؤلاء بإعداد الخرائط الوطنية، وإدارة قواعد بيانات الأراضي، وتحليل البيانات لدعم قرارات التخطيط والتوزيع العادل للموارد.
- شركات الهندسة والإنشاءات: تعتمد شركات الهندسة المدنية والإنشائية على بيانات المسح والتخطيط. توظف هذه الشركات خريجي الجيوماتيكس لتنفيذ أعمال المسح الميداني للمشاريع (تحديد مسارات الطرق، ضبط مواقع الأبنية)، ولإدارة معلومات المشاريع ضمن نظم GIS خاصة بكل مشروع. كبريات الشركات الاستشارية العالمية – ولها فروع في الدول العربية مثل دار الهندسة (Dar Al-Handasah) وخطيب وعلمي – لديها أقسام نظم معلومات جغرافية ومسح تعمل على مشاريع البنية التحتية الضخمة.
- قطاع التعدين والموارد البترولية: تستعين شركات النفط والتعدين بمتخصصي الجيوماتيكس لرسم الخرائط الجيولوجية وتخطيط مواقع الآبار ومنشآت

الاستخراج. فمثلاً، شركة التعدين العربية السعودية وظّفت تقنيات GIS لتحسين أعمال التنقيب عن المعادن وتقييم المواقع. خريجو الجيوماتيكس قد يعملون ضمن فرق التخطيط في هذه الشركات لإدارة بيانات مثل مواقع الحفريات، ومسارات خطوط الأنابيب، والتأثيرات البيئية المحتملة.

- قطاع المواصلات: هيئات السكك الحديدية ومترو الأنفاق والمطارات باتت تستخدم GIS لإدارة أصولها (المسارات، المحطات، مدارج الطائرات) وتتبع أنشطة الصيانة. يمكن لخريج الجيوماتيكس أن يكون جزءاً من فريق تحليل بيانات الحركة المرورية أو تخطيط التوسعات المستقبلية لشبكات النقل. مثال: سلطة النقل في لندن تستخدم محلياً GIS لتخطيط مسارات باصات جديدة بناءً على بيانات الاستخدام المكاني الحالية.

- قطاع تكنولوجيا المعلومات: العديد من الشركات التقنية (خاصة التي تقدم خدمات قائمة على الموقع مثل Uber ، Google ، شركات التوصيل) توظف خبراء نظم جغرافية. على سبيل المثال، توظف Google في مكاتبها الإقليمية خبراء خرائط لتحسين خدمات Google Maps محلياً (تصحيح بيانات الطرق، إضافة تفاصيل الأماكن). كذلك شركات ألعاب الواقع المعزز (مثل Niantic مطورة Pokémon GO) تحتاج لخبراء بيانات مكانية لضبط عناصر اللعبة جغرافياً.

- قطاع التعليم والأبحاث: بالطبع يمكن لخريجي الجيوماتيكس العمل في الجامعات والمراكز البحثية كمحاضرين أو باحثين، يطورون خوارزميات جديدة أو يطبقون الجيوماتيكس في أبحاث متعددة (كالبحوث الزراعية، المناخية، الاجتماعية). ومع تنامي أهمية الذكاء الاصطناعي في تحليل الصور الفضائية، ظهر أيضاً مجال بحثي مشترك بين علوم البيانات والجيوماتيكس فيما يعرف بـ Geospatial AI

٤) ريادة الأعمال والشركات الناشئة الجيومكانية: ففتح توفر البيانات المفتوحة والمنصات السحابية الباب أمام الشباب لإنشاء شركات ناشئة تقدم حلولاً جيومكانية مبتكرة. فهناك

شركات صغيرة بدأت في تقديم خدمات كتحليل بيانات السوق مكانياً للمحلات التجارية، أو تطوير تطبيقات سياحية تعتمد على الموقع. خريج الجيوماتيكس المزود ببعض المعرفة التجارية يمكنه تأسيس عمله الخاص في مجالات مثل: رسم الخرائط المخصصة (Cartographic Design) للشركات، أو الاستشارات الجغرافية (مثلاً شركة تستشارها السلاسل التجارية لمواقع فروعها المثلث)، أو خدمات المسح بالدرون والليدار حسب الطلب.

٥) الطلب في سوق العمل والاتجاهات: وفق تقارير السوق العالمية، ينمو قطاع التحليل الجغرافي والمكاني بمعدلات عالية سنوياً مع توقعات لوصول حجمه لعشرات المليارات من الدولارات خلال العقد القادم. وهذا النمو يعني المزيد من فرص العمل. على سبيل المثال، أشارت دراسة إلى أن السوق العالمي للتحليلات الجغرافية قد يرتفع حجمه من حوالي 33 مليار دولار عام 2024 إلى 56 مليار دولار بحلول 2029، بمعدل نمو سنوي يتجاوز 11% هذه الزيادة يقابلها توسع في فرص التوظيف في كل المستويات – من الفنيين إلى الاستشاريين. أيضاً، من الاتجاهات الحديثة دمج المهارات: فالمطلوب اليوم في كثير من الوظائف ليس فقط معرفة GIS، بل أن يكون لدى الشخص خلفية في مجال التطبيق الذي سيعمل فيه. فمثلاً، قد تطلب شركة بيئية "محلل GIS بيئي" يفهم في الوقت ذاته علم البيئة، أو شركة لوجستية تريد "محلل مواقع أعمال" يفهم في إدارة الأعمال. لذا من المفيد جداً لخريج الجيوماتيكس اكتساب معرفة ثانوية في المجال الذي يثير اهتمامه (بيئة، إدارة أعمال، صحة،...).

٦) المهارات المطلوبة للتوظيف: إلى جانب المعرفة التقنية ببرامج GIS والاستشعار عن بعد، هناك مهارات تزيد من قيمة خريج الجيوماتيكس في سوق العمل:

- مهارات برمجية وتحليل بيانات: مثلاً القدرة على كتابة أكواد Python لأنتمتة مهمة أو لتحليل بيانات كبيرة.

- مهارة التواصل وعرض البيانات: كثيراً ما يكون خريج الجيوماتيكس حلقة وصل بين الفنيين ومتخذي القرار، لذا فإن القدرة على شرح نتائج التحليل بلغة مفهومة وصناعة خرائط ولوحات بيانية جذابة أمر جوهري.
- اللغة الإنجليزية: معظم برمجيات المجال ومواده التعليمية باللغة الإنجليزية. إتقانها يمكن الشخص من الوصول لأفضل الفرص العالمية والتعامل مع فرق دولية.
- الاعتماديات والشهادات المهنية: هناك شهادات احترافية مثل (GISP) محترف نظم معلومات جغرافية معتمد) أو شهادات Esri لمستخدمي برمجياتها. الحصول على مثل هذه الشهادات قد يعطي ميزة إضافية في سوق عمل مزدحم.

(٧) التطور الوظيفي: غالباً يبدأ خريج الجيوماتيكس في وظيفة فنية (مثل محلل GIS ، أو مساح موقع)، لكنه مع الخبرة قادر على التدرج نحو مناصب إدارية واستراتيجية. فعلى سبيل المثال، قد يصبح مدير وحدة نظم معلومات جغرافية في مؤسسة كبرى يشرف على فريق من المحللين والمبرمجين. أو قد يصبح استشاري نظم جغرافية يقدم الخبرة لعدة مشاريع. من المجالات المثيرة أيضاً أن بعض خريجي الجيوماتيكس يلتحقون بوظائف محلي بيانات (Data Analysts) أو علماء بيانات (Data Scientists) عامة، حيث تكون خبرتهم المكانية قيمة مضافة لفريق تحليل أكبر يركز غالباً على البيانات غير المكانية.

(٨) تحديات سوق العمل: على الرغم من تعدد الفرص، يواجه خريجو الجيوماتيكس أحياناً تحديات. منها مثلاً ضعف الوعي في بعض المؤسسات التقليدية بقيمة نظم المعلومات الجغرافية، مما قد يتطلب جهداً من الخريج لإقناع جهة العمل بتبني التقنيات. أيضاً هناك تحدي المنافسة من خريجي تخصصات أخرى تعلموا أدوات GIS (مثل مهندسي الحاسوب الذين تعلموا الخرائط، أو جغرافيين تقليديين أخذوا دورات GIS). لذا على خريج الجيوماتيكس أن يبرز نفسه من خلال مهارته العميقة والمتجددة في المجال. كما أن سرعة تطور التقنية تعني أن ما تعلمه الطالب في الجامعة قد يصبح قديماً خلال سنوات قليلة،

لذا التعلم المستمر والتدريب يبقيان ضروريين للحفاظ على القدرة التنافسية. ومع ذلك، تبقى الآفاق رحبة؛ فكل المؤشرات تؤكد أن "المكان" سيبقى بعداً حاسماً في القرارات، وبالتالي سيظل الطلب على محترفي الجيوماتيكس مرتفعاً في المستقبل المنظور.

باختصار، خريج الجيوماتيكس هو خريج متعدد المهارات ويمكنه ارتداء قبعات عدة. فهو خبير خرائط ومحلل بيانات ومستشار مكاني ومبرمج عند الحاجة. وهذه التشكيلة تفتح له أبواباً في مختلف الصناعات. ومع تبني الدول لمبادرات التحول الرقمي ورقمنة الخدمات (وفي القلب منها المبادرات الجيومكانية مثل البوابات الخرائطية المفتوحة ومنصات المدن الذكية)، يُتوقع أن يصبح وجود اختصاصي الجيوماتيكس أمراً معيارياً في فرق العمل، تماماً كما نجد اليوم خبيراً للمعلوماتية أو الشبكات.

٩) الاعتراف المهني والمنظمات (Professional Recognition and Organizations)

في العديد من الأماكن، يعد متخصصو الجيوماتيكس جزءاً من منظمات رسمية أو لديهم شهادات اعتماد:

- **رخص المسح (Surveying Licenses)** على سبيل المثال، أن تصبح مساحاً مهنيّاً مرخصاً (Professional Surveyor - P.S.) في الولايات المتحدة، أو مساح أراضٍ معتمد (Professional Land Surveyor - PLS) في كندا، أو مساحاً معتمداً (في الجيوماتيكس) في المملكة المتحدة عبر RICS. غالباً ما تكون هذه الاعتمادات ضرورية لمهام معينة (مثل مسوحات الحدود القانونية).
- **شهادات نظم المعلومات الجغرافية (GIS Certifications)** مثل شهادة GIS Professional (GISP) المعترف بها دولياً، والتي تتطلب ملف إنجازات واختباراً. ليست إلزامية لكنها تُظهر الكفاءة.

- الاستشعار عن بعد: تقدم جمعية التصوير الجوي والاستشعار عن بعد الأمريكية

ASPRS شهادات مثل الفوتوجرامتريست / المعتمد أو / اختصاصي LiDAR

- منظمات مرتبطة بالجغرافيا المكانية: ينضم العديد من محترفي الجيوماتيكس إلى

جمعيات مثل الاتحاد الدولي للمساحين (FIG) ، أو جمعية IEEE للجيولوجيا

والاستشعار عن بعد، أو مجموعات وطنية مثل المعهد الكندي للجيوماتيكس. هذه

الهيئات تستضيف المؤتمرات، تؤثر في وضع المعايير، وتوفر شبكات مهنية.

تؤكد هذه الاعتمادات والشبكات أن الجيوماتيكس يُنظر إليه كمهنة متميزة بحد ذاتها.

١٠. الاتجاهات في سوق العمل (Trends in the Work Market)

الاتجاهات الحالية المؤثرة على الوظائف:

- نمو صناعة التكنولوجيا الجغرافية المكانية: القطاع ينمو مع طفرة

التكنولوجية. الخدمات المعتمدة على الموقع، والمركبات ذاتية القيادة (التي تحتاج

خرائط عالية الدقة)، والمدن الذكية، وإنترنت الأشياء (IoT) كلها تعتمد على

البيانات المكانية. هذا النمو يعني المزيد من الشركات الناشئة والشركات الكبرى التي

تستوعب مواهب الجيوماتيكس. على سبيل المثال، أدى ظهور تطبيقات التوصيل

والمواصلات إلى صناعة متخصصة في التوجيه المكاني والتحسين.

- المزيد من البيانات والحاجة إلى المحللين: مع تدفق الأقمار الصناعية لمراقبة

الأرض (العديد من الشركات الخاصة تطلق مجموعات أقمار صغيرة توفر صوراً

يومية، إلخ)، هناك حاجة لمتخصصين لتحويل هذه البيانات الخام إلى معلومات

قابلة للاستخدام. العديد من الشركات (مثل الزراعة أو البيئة) تشترك في هذه

البيانات لكنها تحتاج خبرة داخلية للاستفادة منها.

- **الطلب الدولي:** البلدان ذات المشاريع التنموية الكبرى (السكك الحديدية، البنية التحتية الذكية، إلخ) غالباً ما تبحث عن خبراء الجيوماتيكس. وإذا كان العرض المحلي قليلاً، فإنها توظف دولياً. وتجدر الإشارة إلى أن العديد من المساحين من أوروبا أو آسيا عملوا في الشرق الأوسط في مشاريع بناء أو رسم خرائط ضخمة.
- **موجة التقاعد:** في مجال المسح التقليدي، العديد من المتخصصين كبار في السن. ومع تقاعدهم، تتاح فرص للمهنيين الأصغر سناً لكن عليهم أيضاً أن يتحملوا مسؤولية الحفاظ على المعرفة المؤسسية. هذا ينطبق أيضاً على وكالات رسم الخرائط الحكومية – حيث أن انتقال الأجيال يفتح مواقع جديدة.
- **تطور المهارات:** إعلانات الوظائف تطلب بشكل متزايد مهارات البرمجة وقواعد البيانات إلى جانب معرفة الجيوماتيكس. على سبيل المثال، وظيفة GIS في مدينة قد تتطلب شخصاً يدير قاعدة بيانات مكانية ضخمة وأيضاً ينشئ تطبيقات ويب للخرائط. المزج بين تقنية المعلومات والمكان قوي. وكما أشار أحد التوقعات المهنية، فإن وظائف الجيوماتيكس يمكن أن تمتد من العمل الهندسي التقني الثقيل إلى تحليل البيانات الضخمة والاستشارات في السياسات.
- **رواتب تنافسية:** في العديد من المناطق، تدفع وظائف الجيوماتيكس جيداً، خاصة حيث يتجاوز الطلب العرض. على سبيل المثال، وظائف المسح البحري غالباً ما تأتي برواتب عالية بسبب ظروف العمل الخطرة أو البعيدة. وظائف GIS في المدن الكبرى يمكن أن تكون مربحة، خصوصاً إذا كانت مرتبطة بمقاييس تقنية المعلومات الكبيرة. بالطبع، الأمر يختلف – بعض الوظائف في القطاع العام قد تكون برواتب معتدلة ولكنها مستقرة.

أمثلة حسب الدولة (Examples by Country)

- **كندا:** الجيوماتيكس مجال معترف به جيداً (كندا كانت رائدة فيه). هناك وظائف فيدرالية (مثل NRCan ، والخدمة الكندية للهيدروغرافيا) وإقليمية، وقطاع خاص قوي في المسح، وشركات مثل PCI Geomatics أو Intermap. وفقاً للموسوعة الكندية، فإن هذه الصناعة تساوي حوالي 1.3 مليار دولار سنوياً وتوفر أكثر من 20,400 وظيفة في القطاع الخاص. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الموارد الشاسعة لكندا وقلة الكثافة السكانية تجعل الاستشعار عن بعد و GIS أمراً أساسياً لمراقبة الغابات وخطوط الأنابيب والقطب الشمالي.
- **الولايات المتحدة:** قد يكون مصطلح "Geomatics" أقل استخداماً كاسم (و غالباً ما يُفصل إلى GIS أو المسح أو الاستشعار عن بعد)، لكن سوق العمل كبير. مكتب إحصاءات العمل الأمريكي يدرج الكثير تحت فئات "الجيولوجيين" أو "المساحين / فنيي رسم الخرائط". على سبيل المثال، توجد وظائف متخصصة في GIS في الوكالات الفيدرالية (USGS، FEMA، EPA)، وحكومات الولايات والمقاطعات، والعديد من الصناعات. هناك حاجة لمساحين بكثافة في البناء والعقارات. مراكز التكنولوجيا مثل كاليفورنيا وسياتل لديها شركات ناشئة ومؤسسات كبرى توظف (مثل فريق Apple Maps).
- **أوروبا:** بلدان مثل المملكة المتحدة أدرجت "Geomatics" في المسميات المهنية (حيث أن RICS لديها مجموعة متخصصة في الجيوماتيكس). هناك حاجة مستمرة لإدارة البنية التحتية القديمة، التخطيط، والامتثال البيئي (وكلها تحتاج بيانات مكانية). تستثمر صناعة السيارات الألمانية في الخرائط للمركبات ذاتية القيادة. برنامج الفضاء الأوروبي (Copernicus) يوظف العديد من خبراء الاستشعار عن بعد.
- **أستراليا / نيوزيلندا:** لديهما أيضاً مشهد نشط في الجيوماتيكس بسبب التعدين (الذي يتطلب المساحين و GIS)، المساحات الزراعية الكبيرة، والمبادرات الوطنية

مثل بناء بنية تحتية للبيانات المكانية. يواجهون مشاكل مماثلة بعدم وجود عدد كافٍ من الخريجين محلياً، وغالباً ما يوظفون دولياً.

١١) التحديات وتطوير القوى العاملة (Challenges and Workforce Development)

بينما الآفاق واعدة، هناك بعض التحديات:

- قلة الوعي المهني: الكثير من الشباب لا يعرفون الجيوماتيكس كمسار وظيفي (على عكس التخصصات الأكثر وضوحاً مثل علوم الحاسوب أو الهندسة الميكانيكية). هذا يؤدي إلى انخفاض التسجيل في بعض برامج الجيوماتيكس. والمفارقة أن هذا النقص يمكن أن يفيد من يتخرجون فعلاً (منافسة أقل على الوظائف).
- تطور المجال مع التكنولوجيا: لذلك هناك حاجة إلى التعلم المستمر. فالمحترفون الذين تعلموا على أجهزة الثيودوللايت اضطروا لاحقاً لتعلم GPS ؛ والذين اعتادوا على GIS المكتبي أصبح عليهم تعلم GIS السحابي ولغة Python ؛ وخبراء الاستشعار عن بعد يتكيفون من الفوتوجرامتري إلى التصنيف باستخدام تعلم الآلة. أصحاب العمل غالباً يبحثون عن أولئك الذين يظهرون قدرة على مواكبة الأدوات الجديدة.
- الترخيص في المسح: يمكن أن يكون مرهقاً (سنوات من الخبرة والامتحانات)، ما قد يردع البعض؛ لكنه أيضاً يضمن معايير مهنية عالية حيثما كان مطلوباً.

الخلاصة: سوق عمل الجيوماتيكس قوي ويتوسع بفضل الثورة الجغرافية المكانية عبر الصناعات. سواء في إدارة المدن الذكية، أو توجيه السيارات ذاتية القيادة، أو مراقبة بيئة الأرض، أو رسم الخرائط للمناطق غير المستكشفة، فإن متخصصي الجيوماتيكس هم لاعبون رئيسيون. وكما ورد في أحد أدلة المسار المهني: "هناك وظائف مثيرة في كل من القطاعين الخاص والعام، في كندا وعلى المستوى الدولي"، مع كون الجيوماتيكس مهنة متنامية. إن مجموعة المهارات المتمثلة في فهم المعلومات المكانية والاستفادة منها

بالتكنولوجيا تضع خريجي الجيوماتيكس في موقع لحل مشكلات متنوعة في العالم الحقيقي، وهو ما يعد مجزياً فكرياً ومطلوباً اقتصادياً بدرجة عالية.

أسئلة للمراجعة

- اذكر خمسة مسميات وظيفية يمكن أن يشغلها خريج تخصص الجيوماتيكس. وما المهام الرئيسية لكل منها؟
- ما هي بعض القطاعات غير التقليدية التي بدأت تطلب متخصصي جيوماتيكس في السنوات الأخيرة؟ (مثل الصحة، التسويق، ...). وضح مثلاً لكل قطاع.
- كيف يُمكن لخريج الجيوماتيكس أن يعزز مكانته في سوق عمل تنافسي؟ اذكر مهارتين إضافيتين أو شهادات قد تفيده.

تمارين

- قم بزيارة مواقع توظيف عبر الإنترنت (مثل LinkedIn أو Glassdoor) وابحث عن وظائف شاغرة تتعلق بالـ GIS أو الجيوماتيكس في بلدك أو منطقتك. اختر وظيفتين أو ثلاث، واستخلص المتطلبات التي يذكرها أصحاب العمل (مثل: إتقان برنامج معين، سنوات خبرة، مهارات إضافية). قدم تقريراً موجزاً يصف الوظائف المختارة ومتطلباتها، واستنتج من ذلك المهارات الأكثر طلباً.
- تخيل أنك مسؤول توظيف في مؤسسة حكومية تخطط لإنشاء قسم نظم معلومات جغرافية جديد. ما هي الأدوار الوظيفية التي ستحتاجها لهذا القسم؟ (فكر في مدير القسم، محللي GIS، فني مسح... إلخ). ضع وصفاً مختصراً لكل دور والمهارات المطلوبة فيه. ثم ناقش مع زملائك كيف يمكن لفريق بهذه التشكيلة أن يخدم أهداف المؤسسة.

- إعداد سيرة ذاتية جيوماتيكس: اكتب مسودة لسيرة ذاتية تخصصك بعد خمس سنوات من الآن، بحيث تشمل الخبرات والمهارات التي تطمح لاكتسابها في مجال الجيوماتيكس. تخيل أنك تقدّم هذه السيرة لوظيفة "أخصائي GIS أول". تأكد أن تصف مشاريع قمت بها (وإن كانت افتراضية الآن) والشهادات أو الدورات التي حصلت عليها. هذا التمرين سيساعدك في تحديد مسارك المهني المستقبلي ووضع أهداف للتطوير الذاتي.

المراجع

المراجع العربية

- إبراهيم، يوسف كامل. (2024). علم الجيوماتيكس: الأهمية، الاستخدامات، الأدوات والبرامج. GISarabi. <https://gisarabi.com>
- العتيبي، محمد. (2019). نظم المعلومات الجغرافية: الأسس النظرية والتطبيقات العملية. بيروت: دار الكتب العلمية.
- عبد الله، سامي. (2018). الاستشعار عن بعد وتطبيقاته البيئية. الرياض: جامعة الملك سعود
- محمد الخزامي عزيز (٢٠٢٤) معجم مصطلحات نظم المعلومات الجغرافية، المجلس الأعلى للثقافة المصرية، القاهرة.
- محمد الخزامي عزيز (٢٠٢٥) الذكاء الاصطناعي الجغرافي. القاهرة.
- محمد الخزامي عزيز (٢٠٢٥) الاستشعار عن بعد أسس وتطبيقات. القاهرة.
- موسى، أحمد. (2021). الجيوماتيكس والمساحة الرقمية. القاهرة: منشورات جامعة القاهرة.

المراجع الأجنبية

1. AJMAR, A. N. D. R. E. A., BOCCARDO, P. I. E. R. O., DISABATO, F. R. A. N. C. A., & Giulio Tonolo, F., 2015. Rapid Mapping: geomatics role and research opportunities. [\[PDF\]](#)
2. AJVAZI, B. E. S. I. M., LOSHI, F. I. S. N. I. K., & MÁRKUS, B. L. A., 2016. FROM SURVEYING TO GEOMATICS. [\[PDF\]](#)
3. Albrecht, J., 2018. GIS Project Management. [\[PDF\]](#)

4. Aliyu Muhammad, M., 2013. Relevance of Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) to Environmental Education: A Panacea for Sustainable Development in Nigeria. [\[PDF\]](#)
5. Alkan, M., 2018. INFORMATION CONTENT ANALYSIS FROM VERY HIGH RESOLUTION OPTICAL SPACE IMAGERY FOR UPDATING SPATIAL DATABASE. [\[PDF\]](#)
6. Allen Turley, A., 2012. Suitability of Low Cost Commercial Off-the-Shelf Aerial Platforms and Consumer Grade Digital Cameras for Small Format Aerial Photography. [\[PDF\]](#)
7. Anselin, L., 1996. Interactive Techniques and Exploratory Spatial Data Analysis. [\[PDF\]](#)
8. Arayici, Y. & Hamilton, A., 2005. Modeling 3D scanned data to visualize the built environment. [\[PDF\]](#)
9. Ashman, B., 2018. An Introduction to Global Navigation Satellite Systems. [\[PDF\]](#)
10. Awange, L. J., 2018. Environmental Geodesy: state of the art. [\[PDF\]](#)
11. Awange, L.J., 2018. Environmental Geodesy: state of the art. [\[PDF\]](#)
12. Baiocchi, V., Piccaro, C., Allegra, M., Giammarresi, V., & Vatore, F., 2018. Imaging rover technology: characteristics, possibilities and possible improvements. [\[PDF\]](#)
13. BALBO, S. I. M. O. N. E., 2012. A reference data access service in support of emergency management. [\[PDF\]](#)
14. Bertino, E., Damiani, M. L., Gertz, M., & Thuraisingham, B., 2008. Security and privacy for geospatial data : concepts and research directions. [\[PDF\]](#)

15. Blank, M.L., Crews, J., Loehman, R., & Kneuth, R., 2008. Science Goes Spatial: Geotechnologies in the Classroom. [\[PDF\]](#)
16. Blaschke, T., J. Hay, G., Weng, Q., & Resch, B., 2011. Collective sensing: integrating geospatial technologies to understand urban systems : an overview. [\[PDF\]](#)
17. Bowen, D. B., Vlasek, K., & Webb, C., 2004. An Assessment of Remote Sensing Applications in Transportation. [\[PDF\]](#)
18. Brecht, H., 2012. Natural Hazards, Risk Analysis and Emergency Preparedness: Applying Spatial Methods in Disaster Risk Management APPLYING SPATIAL METHODS IN DISASTER RISK MANAGEMENT. [\[PDF\]](#)
19. Brien, F. L., 2009. Privacy and Geospatial Technologies. [\[PDF\]](#)
20. Broome, L., 2016. Comparison between terrestrial close range photogrammetry and terrestrial laser scanning. [\[PDF\]](#)
21. Buil-Gil, D. & Langton, S., 2020. GIS and Geovisual Analysis. [osf.io](#)
22. Calantropio, A., Chiabrando, F., Rinaudo, F., & Teppati Losè, L., 2018. USE AND EVALUATION OF A SHORT RANGE SMALL QUADCOPTER AND A PORTABLE IMAGING LASER FOR BUILT HERITAGE 3D DOCUMENTATION. [\[PDF\]](#)
23. Casey Sadler, R. & Larsen, K., 2022. Mapping the Way to Good Health: The Interdisciplinary Challenges of Geographers in Medical Research. [ncbi.nlm.nih.gov](#)
24. Chapa, F., Hariharan, S., & Hack, J., 2019. A New Approach to High-Resolution Urban Land Use Classification Using Open Access Software and True Color Satellite Images. [\[PDF\]](#)

25. Cristina Almeida Remoaldo, P., Ribeiro, V., Silva Lopes, H., & Catarina Gomes Silva, S., 2017. Geographical Information Systems: the past, present and future. [\[PDF\]](#)
26. De Capitani di Vimercati, S., Livraga, G., Piuri, V., & Scotti, F., 2012. Privacy and Security in Environmental Monitoring Systems. [\[PDF\]](#)
27. Delatte, J. N., 2010. Failure Literacy in Structural Engineering. [\[PDF\]](#)
28. Diane Risinger, E., 2015. Defining GeoDesign and the emergent role of the sustainable sites initiative (SITES) for integrative project management. [\[PDF\]](#)
29. Eyraud, F., Burger, A., Johan Åstrand, P., & Di Matteo, G., 2011. Community Image Data Portal: Sharing Licensed Earth Observation Data. [\[PDF\]](#)
30. Featherstone, W. & Vanicek, P., 1999. The Role of Coordinate Systems, Coordinates and Heights in Horizontal Datum Transformations. [\[PDF\]](#)
31. Fereres, E., 2005. Integrated Land, Water and Forest Management at Landscape Level. [\[PDF\]](#)
32. Fischer, M. M. & Openshaw, S., 1995. A Framework for Research on Spatial Analysis Relevant to Geo-Statistical Informations Systems in Europe. [\[PDF\]](#)
33. Fischer, M.M., 1994. From Conventional to Knowledge Based Geographical Information Systems. [\[PDF\]](#)
34. Freire, S., Santos, T., Navarro, A., Soares, F., Silva, J. D., Afonso, N., Fonseca, A., & Tenedório, J., 2014. Introducing mapping standards in the quality assessment of buildings extracted from very high resolution satellite imagery. [\[PDF\]](#)

35. Gattiglia, G., 2018. La maternità e la paternità del dato archeologico. L'esempio del MOD (Mappa Open Data). [\[PDF\]](#)
36. Geleta Erena, M. & G. Yesus, T., 2021. Mapping potential wildlife habitats around Haro Abba Diko controlled hunting area, Western Ethiopia. ncbi.nlm.nih.gov
37. Ghosh, S., Mallick, A., Chowdhury, A., & De Sarkar, K., 2023. Graph Theory Applications in Advanced Geospatial Research. [\[PDF\]](#)
38. Glas, H., Rocabado, I., Huysentruyt, S., Maroy, E., Salazar Cortez, D., Coorevits, K., De Maeyer, P., & Deruyter, G., 2019. Flood risk mapping worldwide : a flexible methodology and toolbox. [\[PDF\]](#)
39. Glira, P., Glira, P., Pfeifer, N., Mandlbürger, G., & Mandlbürger, G., 2019. HYBRID ORIENTATION OF AIRBORNE LIDAR POINT CLOUDS AND AERIAL IMAGES. [\[PDF\]](#)
40. Goodchild, F. M., 2012. Twenty years of progress: GIScience in 2010. [\[PDF\]](#)
41. Gordon, M. & Cedamon, E., 2007. Appropriate surveying methods in the Philippines: Can modern GPS units help?. [\[PDF\]](#)
42. Graeff, C. & C. Loui, M., 2008. Ethical Implications of Technical Limitations in Geographic Information Systems. [\[PDF\]](#)
43. Gupta, S., Shah, C., Shah, D., Deore, P., Majumdar, S., Maiti, A., Shukla, S., Mehta, J., & Shah, M., 2018. A GRASS ROOT ORIENTED URBAN PLANNING APPROACH TO UPLIFT THE SOCIO-ECONOMIC FACET OF A CITY USING 2D AND 3D GIS: CASE STUDY ON MEHMEDABAD CITY, INDIA. [\[PDF\]](#)
44. Hancock, C., Zhang, P., Lau, L., Wyn Roberts, G., & de Ligt, H., 1970. Satellite mapping in cities and below cities: how good is it now?. [\[PDF\]](#)

45. Henris, B. J., 1988. Geographic Information Systems: The Developer's Perspective. [\[PDF\]](#)
46. Holden, L. R., 1986. Design Considerations in the Development of an Automated Cartographic System. [\[PDF\]](#)
47. Hudak, T. A., Morgan, P., J. Bobbitt, M., & B. Lentile, L., 2007. Characterizing Stand- Replacing Harvest and Fire Disturbance Patches in a Forested Landscape: A Case Study from Cooney Ridge, Montana. [\[PDF\]](#)
48. Javier Escobar Martínez, F., Bishop, I., Karuppannan, S., Williamson, I., Yates, P., Suwarnarat, K., & Haider, Y., 2000. Spatial data infrastructures for cities in developing countries: lessons from the Bangkok experience. [\[PDF\]](#)
49. Jiang, S., Ma, J., Liu, Z., & Guo, H., 2022. Scientometric Analysis of Artificial Intelligence (AI) for Geohazard Research. ncbi.nlm.nih.gov
50. Kang, S., Yoon, G., & Lee, K., 2018. Geo-Based Image Analysis Service In Open Source Cloud Computing Environment. [\[PDF\]](#)
51. Kiwelekar, W.A., S. Mahamunkar, G., D. Netak, L., & B Nikam, V., 2020. Deep Learning Techniques for Geospatial Data Analysis. [\[PDF\]](#)
52. Kordić, B., Lužar-Oberiter, B., Pikelj, K., Matoš, B., & Vlastelica, G., 2019. Integration of Terrestrial Laser Scanning and UAS Photogrammetry in Geological Studies: Examples from Croatia. [\[PDF\]](#)
53. Lachat, E., Landes, T., & Grussenmeyer, P., 2017. Investigation of a Combined Surveying and Scanning Device: The Trimble SX10 Scanning Total Station. ncbi.nlm.nih.gov

54. Lambertini, A., 2017. Innovative Use and Integration of Remote Sensed Geospatial Data for 3D City Modeling and GIS Urban Applications. [\[PDF\]](#)
55. Lech, M., Ilari Uitto, J., Harten, S., Batra, G., & Anand, A., 2018. Improving International Development Evaluation through Geospatial Data and Analysis. [\[PDF\]](#)
56. Lee, M. C., 2018. Case study on emerging trends in geospatial technologies for study of urban form. [\[PDF\]](#)
57. Li, Z., 2019. Geospatial Big Data Handling with High Performance Computing: Current Approaches and Future Directions. [\[PDF\]](#)
58. Liberata Ullo, S., Zarro, C., Wojtowicz, K., Meoli, G., & Focareta, M., 2020. LiDAR-Based System and Optical VHR Data for Building Detection and Mapping †. ncbi.nlm.nih.gov
59. Lu, G., Batty, M., Strobl, J., Lin, H., Zhu, A. X., & Chen, M., 2019. Reflections and speculations on the progress in Geographic Information Systems (GIS): a geographic perspective. [\[PDF\]](#)
60. Mansor, S., 2010. Google the earth: what's next?. [\[PDF\]](#)
61. Massad, I., Doytsher, Y., & Dalyot, S., 2018. IMPLEMENTING SIFT AND BI-TRIANGULAR PLANE TRANSFORMATION FOR INTEGRATING DIGITAL TERRAIN MODELS. [\[PDF\]](#)
62. Miller, A. B., C. Brevik, E., Pereira, P., & J. Schaetzl, R., 2019. Progress in soil geography I: Reinvigoration. [\[PDF\]](#)
63. Minghini, M., A. Brovelli, M., Vandenbroucke, D., Carbonaro, M., Prüller, S., Painho, M., Martirano, G., & Frigne, D., 2017. FOSS4G as a key building block for case-based learning in Geographic Information education. [\[PDF\]](#)

64. Muhammed Al-Mahdi, A., M.S. Ndahi, E., Yahaya, B., & Lawan Maina, M., 2014. INTEGRATED GIS AND SATELLITE REMOTE SENSING IN MAPPING THE GROWTH, MANAGING AND PRODUCTION OF INLAND WATER FISHERIES AND AQUACULTURE. [\[PDF\]](#)
65. Mukherjee, K. P., 1981. The Charting and Safekeeping of Oceans and Waterways: Legal Implications. [\[PDF\]](#)
66. Niño Niño, E., 2010. Calidad de datos geoespaciales básicos. [\[PDF\]](#)
67. Nori, W., 2012. Detection of land cover changes in El Rawashda forest, Sudan: A systematic comparison: Detection of land cover changes in El Rawashda forest, Sudan: A systematic comparison. [\[PDF\]](#)
68. Novellino, A., Jordan, C., Ager, G., Bateson, L., Fleming, C., & Confuorto, P., 2018. Remote sensing for natural or man-made disasters and environmental changes. [\[PDF\]](#)
69. Nuckols, R. J., H. Ward, M., & Jarup, L., 2004. Using Geographic Information Systems for Exposure Assessment in Environmental Epidemiology Studies. ncbi.nlm.nih.gov
70. Nugroho Julianto, E., Safrel, I., & Taveriyanto, A., 2018. High Accuracy Geodetic Control Point Measurement Using GPS Geodetic With Static Methods. [\[PDF\]](#)
71. Odbert, M. H. & Grebby, S., 2014. A note on geographical systems and maps of Montserrat. [\[PDF\]](#)
72. Onsrud, J. H., 2003. Conflicts in the Use of Geographic Information. [\[PDF\]](#)
73. Papachashvili, T., 2018. The Role of Information Technologies in the Land Management. [\[PDF\]](#)

74. Pastorello, Z.G., Arturo Sanchez-Azofeifa, G., & A. Nascimento, M., 2011. Enviro-Net: From Networks of Ground-Based Sensor Systems to a Web Platform for Sensor Data Management. ncbi.nlm.nih.gov
75. Qiao, H., 2015. Study of Digital Technology Application in Highway Measurement. [\[PDF\]](#)
76. Rak, J., Džermanský, M., Vaněk, J., Mička, J., Musil, M., & Jiří Mika, O., 2018. Spatial risk analysis in the town of Kyjov. [\[PDF\]](#)
77. RAZIKA, B. & MOHAMED SAÏD, G., 2018. INTEGRATION OF AN MCA-GIS APPROACH FOR THE MODELLING AND ASSESSMENT OF MASS MOVEMENT RISK. CASE OF AÏN EL HAMMAM, BASIN OF TIZI-OUZOU (ALGERIA). [\[PDF\]](#)
78. Robayo, O., 2005. Map to map: converting a NEXRAD rainfall map into a flood inundation map. [\[PDF\]](#)
79. Robinson, C.A., Demsar, U., B. Moore, A., Buckley, A., Jiang, B., Field, K., Kraak, M. J., P Camboim, S., & R Sluter, C., 2018. Geospatial big data and cartography : research challenges and opportunities for making maps that matter. [\[PDF\]](#)
80. Ross, J., 1984. The feasibility of using a geographic information system to monitor change in a portion of the rural-urban fringe in Omaha, Nebraska. [\[PDF\]](#)
81. Saupé, R. F., 1959. Application of statistical methods to evaluation of mineral deposits. [\[PDF\]](#)
82. Shamshiry, E., Nadi, B., Mokhtar, M., Komoo, I., & Saadiah Hashim, H., 2011. Disaster management base on geoinformatics. [\[PDF\]](#)
83. Shamshiry, E., Nadi, B., Mokhtar, M., Komoo, I., & Saadiah Hashim, H., 2011. Disaster management base on geoinformatics. [\[PDF\]](#)

84. Škulj, T., 2010. Hydrographic measurements and geodetic surveying. [\[PDF\]](#)
85. Specht, C., Makar, A., & Specht, M., 2018. Availability of the GNSS Geodetic Networks Position during the Hydrographic Surveys in the Ports. [\[PDF\]](#)
86. Stoorvogel, J. J., 1995. Geographical information systems as a tool to explore land characteristics and land use : with reference to Costa Rica. [\[PDF\]](#)
87. Sufiyan, I., Razak Bin Zakariya, D., Yacoob, R., Idris, M. S., & M. Idris, N., 2019. SWAT SUBBASINS PARAMETERS AND FLOOD RISK SIMULATIONS USING 3D IN TERENGGANU WATERSHED. [\[PDF\]](#)
88. Tamás, J., Riczu, P., Nagy, G., Nagy, A., Jancsó, T., Nyéki, J., & Szabó, Z., 2019. Applicability of 3D laser scanning in precision horticulture. [\[PDF\]](#)
89. Tracey, A. J., Sheppard, J., Zhu, J., Wei, F., R. Swaisgood, R., & N. Fisher, R., 2014. Movement-Based Estimation and Visualization of Space Use in 3D for Wildlife Ecology and Conservation. ncbi.nlm.nih.gov
90. Troy Evans, J., 2015. Evaluation of photogrammetric measurements obtained using imaging rovers and imaging theodolite. [\[PDF\]](#)
91. Van Wart, S., Manoochehri, M., & Gandomi, N., 2010. Using Paper Maps for Geospatial Data Collection. [\[PDF\]](#)
92. Von der Dunk, F., 2008. Legal aspects of using space-derived geospatial information for emergency response, with particular reference to the Charter on Space and Major Disasters. [\[PDF\]](#)
93. Wade Bishop, B., H. Mandel, L., & R. McClure, C., 2011. Geographic Information Systems (GIS) in Public Library Assessment. [\[PDF\]](#)

94. Weijermars, R., bin Waheed, U., & Suleymanli, K., 2023. Will ChatGPT and Related AI-Tools Alter the Future of the Geosciences and Petroleum Engineering?. [\[PDF\]](#)
95. Wyn Roberts, G., Tang, X., & Brown, C., 2015. A review of satellite positioning systems for civil engineering. [\[PDF\]](#)
96. Yao, J., T. Murray, A., Wang, J., & Zhang, X., 2019. Evaluation and development of sustainable urban land use plans through spatial optimization. [\[PDF\]](#)
97. Zhang, Y., 2018. Intelligent Computational Transportation. [\[PDF\]](#)
98. Zieher, T., Toschi, I., Remondino, F., Rutzinger, M., Kofler, C., Mejia-Aguilar, A., & Schlögel, R., 2018. Sensor- and scene-guided integration of TLS and photogrammetric point clouds for landslide monitoring. [\[PDF\]](#)
99. ŻOCHOWSKA, R. & SOCZÓWKA, P., 2018. ANALYSIS OF SELECTED TRANSPORTATION NETWORK STRUCTURES BASED ON GRAPH MEASURES. [\[PDF\]](#)