نظام تحديد المواقع العالمي

(GPS)

تأليف

دكتور/ محمد الراوي دندراوي

مدرس الجغرافيا الطبيعية ونظم المعلومات الجغرافية
معهد البحوث والدراسات الافريقية ودول حوض النيل
جامعة أسوان

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم

يعد محتوى هذا الكتاب "نظام تحديد المواقع العالمية (GPS)" محاولة لإضافة ما تيسر من خبرة في هذا المجال سواء كان في المجال البحثي أو المشاريع الدولية التي تم تنفيذها في مصر أو الكويت وغيرها، حيث تم التركيز في هذا الكتاب على توضيح أساسيات نظام تحديد المواقع العالمية، وتعريفها، ومراحل تطورها، ومستقبلها.

كما تم توضيح أهمية نظام تحديد المواقع العالمية وطرق انجاز المشاريع والأبحاث العلمية بالطرق والتقنيات الحديثة، وطرق الرفع المساحي بأجهزة (GPS) وطرق التعامل معها ومصادر الخطأ التي قد تواجه المستخدمين أثناء عمليات الرفع والتوقيع المساحي بنظام (GPS) والطرق المتنوعة في تعزيز الدقة المكانية.

ويقدم هذا الكتاب شرح مبسط حول أنظمة تحديد المواقع العالمية وتاريخها ومجالات العمل بها، والأنظمة المتنوعة التي تعمل وطرق التكامل بينها وبين تقنيات وأجهزة الرفع المساحي وغيرها. وقد جاء هذا الكتاب في خمسة فصول وهي: –

- تناول **الفصل الأول:** مراحل تطور نظام تحديد المواقع العالمية وأهميته وتعريفه والفكرة العلمية التي يقوم عليها، واستخدامات وتطبيقات النظام في مجالات الحياة المختلفة.
- أما **الفصل الثاني** فقد خصص لشرح مكونات نظام نظام تحديد المواقع العالمية والتي منها الجزء الفضائي والجزء الأرضي وجزء المستخدم مع شرح مبسط لكيفية عمل منظومة (GPS) وطرق التثليث الهندسي لإشارات الأقمار الصناعية.
- وتناول **الفصل الثالث:** نظام الخطأ في إشارات ومنظومة (GPS) حيث تم توضيح أهم مصادر الخطأ التي تحدث في النظام ومقدار الخطأ

الناتج عن كل مصدر، ثم تناول الفصل طرق تعزيز الدقة المكانية للأغراض المساحية الدقيقة والتي منها خدمة (RTK, DGPS) وغيرها من الطرق المختلفة.

- وقد أعطى **الفصل الرابع** تفصيلاً حول أنواع أنظمة (GPS) المختلفة والتي بدأت بالنظام الأمريكي (NAVSTAR) ثم تلاه النظام الروسي (Glonass) ثم النظام الأوربي (Galilio) والنظام الصيني والهندي وغيرها حيث تم عمل عرض تفصيلي لخصائص كل نظام والتغطية الجغرافية للأقمار وإمكانية الربط بينهم بتقنية (GNSS).
- تميز **الفصل الخامس** بتقديم مادة علمية حول تطبيقات نظام (GPS) في المجالات الحياتية المختلفة والتي بدأت بالمجال العسكري حيث أنشأ النظام من أجله ثم الاستخدامات والأغراض المدنية والتي منها عمليات التتبع (Tracking) وعمليات الرفع والتوقيع المساحي لمعالم سطح الأرض الطبيعية والبشرية وكذلك أهمية نظام (GPS) في عمليات التصوير الجوي ودوره في تطور الخرائط الرقمية (Digital Maps) حيث ساعد في ظهور أنواع جديدة منها.

يحتوي هذا الكتاب على الكثير من الأشكال والجداول والصور الفوتوغرافية مع تمارين ونماذج للأسئلة لكل فصل، بما يخدم القارئ والمدرب في فهم وتوصيل المعلومة بشكل مبسط للجميع.

دكتور/ محمد الراوي
مدرس الجغرافيا الطبيعية
ونظم المعلومات الجغرافية
جامعة أسوان

المحتوى

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمدالله رب العالمين

المحتوى ٤

الفصل الأول

التعريف بنظام تحديد المواقع العالمي وأهميته

مقدمة ٩
مفهوم نظام تحديد المواقع العالمي (GPS): ١٠
علاقة نظام (GPS) بعلم الاستشعار عن بعد ١١
المرحلة الأولى: مرحلة اختراع الكاميرا: ١٢
المرحلة الثانية: محاولات التصوير من الجو: ١٤
المرحلة الثالثة: مرحلة اختراع الطائرات وتوظيفها في مجال التصوير: ١٦
المرحلة الرابعة: مرحلة التصوير من الفضاء: ١٩
نبذة تاريخية عن نظام (GPS) ٢٢
ملخص تطوير نظام (GPS): ٢٦
فوائد نظام تحديد المواقع العالمية: ٢٨
استخدامات نظام (GPS): ٢٩
تطبيقات نظام (GPS): ٣١
-المجالات العسكرية: ٣١
-البحث والإنقاذ: ٣٢
-أعمال المساحة الأرضية. ٣٣
-البحرية، والملاحة الجوية والأرضية ٣٥
-خدمات المدارس ٣٦
-إحدى مصادر المعلومات في نظم المعلومات الجغرافية (GIS). ٣٧
-الترفيه والجولات السياحية: ٣٨
طريقة عمل نظام (GPS): ٣٨

الفصل الثاني

مكونات نظام تحديد المواقع العالمي

مقدمة ٤٦
أولاً: الجزء الفضائي: – ٤٩
ثانياً: الجزء الأرضي ٥٣

ثالثاً: جزء المستخدم (user segment):..... ٥٧
أنواع أجهزة تحديد المواقع:..... ٥٩
كيفية عمل منظومة (GPS):..... ٦٢
التثليث (Trilateration)..... ٦٤
احتمال ظهور قمر صناعي واحد:..... ٦٧
احتمال ظهور قمران صناعيان:..... ٦٨
احتمال ظهور ثلاثة أقمار صناعي:..... ٦٩
احتمال ظهور أربعة أقمار صناعي:..... ٧٠
وسائل الاتصال بأقمار (GPS): –..... ٧١

الفصل الثالث

نظام الخطأ في منظومة GPS

مقدمة:..... ٧٥
أولاً: أنواع إشارات الراديو **(Radio Wave)**:..... ٧٦
اشارات نظام (GPS)..... ٧٧
ثانياً: مصادر الخطأ في إشارة نظام (GPS)..... ٨٠
١- تأثير العوامل الجوية المحيطة (The Atmospheric Effect):..... ٨٣
– تأثير طبقة الأيونوسفير:..... ٨٤
– ارتفاع القمر:..... ٨٥
– تأثير الشمس:..... ٨٦
– المحتوى الالكتروني:..... ٨٦
٢- تأثير جهاز الاستقبال (Receiver Effects):..... ٨٦
٣- التأثيرات أو الأخطاء المتعمدة (Selective Availability):..... ٨٨
٤- أخطاء الأقمار الصناعية (Satellite Errors):..... ٩٠
٥- تأثير تعددية مسار الإشارات (Multipath Effect):..... ٩١
٦- الأخطاء الشائعة في نظام (GPS):..... ٩٢
٧- النظام الجيوديسي العالمي (WGS84)..... ٩٤
٨- تمييع الدقة: (Dilution of Precision)..... ٩٧
ثالثاً: طرق تعزيز دقة نظام (GPS)..... ٩٨
١- خدمة (RTK):..... ٩٩
٢- النظام المدمج (GNSS)..... ١٠٤
١- الرصد التفاضلي (DGPS):..... ١٠٥
رابعاً: تعزيز دقة نظام (GPS) بالشبكات الأرضية العالمية..... ١٠٧
١- نظام التعزيز المعتمد للأقمار الصناعية (SBAS):..... ١٠٧
٢- خدمة (OmniSTAR)..... ١١٠

الفصل الرابع

أنواع أنظمة GPS

مقدمة:.....١١٣
١- النظام الأمريكي (NAVSTAR):.....١١٣
٢- نظام أقمار غلوناس (Glonass):.....١١٦
٣- نظام أقمار جاليليو (Galileo):.....١١٨
٤- نظام أقمار (Compass):.....١٢٣
أنظمة أخرى:.....١٢٧
النظام الملاحي الهندي (IRNSS):.....١٢٨
النظام الملاحي الياباني (QZSS):.....١٢٨

الفصل الخامس

تطبيقات نظام GPS

مقدمة:.....١٣٠
١- تحديد الارتفاعات في نظام (GPS):.....١٣٠
شكل الأرض الجيوئيد وتحديد الارتفاعات:.....١٣٣
٢- تطبيق نظام (GPS) في تنفيذ مشروعات (GIS):.....١٣٤
٣- تطبيقات نظام (GPS) في قطاع النقل:.....١٣٦
استخدام تقنية GPS للتتبُّع والملاحة:.....١٣٦
تحديد مواقع ومسارات السيارات (Waypoints and Tracks):.....١٣٨
في مجال الطيران والملاحة الجوية:.....١٤٠
في مجال الملاحة البحرية:.....١٤٠
في مجال النقل البري:.....١٤١
في مجال السكك الحديدية:.....١٤٣
٤- تطبيق نظام (GPS) في المجال العسكري:.....١٤٥
٥- تطبيق نظام (GPS) في المساحة الجوية:.....١٤٧
استخدم (GPS) في الطائرات بدون طيار:.....١٥٧
٦- تطبيق نظام (GPS) في المساحة الأرضية:.....١٥٨
٧- استخدام (GPS) في إنتاج وتحديث الخرائط الإليكترونية:.....١٦١
قائمة المراجع.....١٦٥
أولا: المراجع العربية:.....١٦٦
ثانياً: المراجع الأجنبية:.....١٦٦
ثالثاً: المواقع الالكترونية:.....١٦٧

الفصل الأول

التعريف بنظام تحديد المواقع العالمي وأهميته

- **مفهوم نظام تحديد المواقع**
- **علاقة نظام (GPS) بعلم (RS)**
- **نبذة تاريخية عن نظام (GPS)**
- **استخدامات نظام (GPS)**
- **تطبيقات نظام (GPS)**
  - المجال العسكري
  - مجال الزراعة
  - مجال التعقب والمراقبة

مقدمة

تعد الملاحة وتحديد الموقع من الأمور الهامة والحاسمة في العديد من النشاطات، وقد سعى الإنسان في هذا المجال منذ أقدم العصور، في البداية اعتمد على الشمس والنجوم وعناصر الطبيعة، كعلامات في الملاحة، لكن في حالة تلبد السماء بالغيوم يتعذر عليه رؤية الشمس أو النجوم، لذا كانت الحاجة ملحة لطريقة تحديد المواقع في أي وقت وفي كافة الأحوال الجوية، وهذا ما يؤمنه نظام تحديد المواقع العالمي الـ GPS. (خلدون كراز)

وبعد أن شهدت جميع نواحي الحياة تطورات مذهلة من التكنولوجيا الحديثة، والتي من أهمها تكنولوجيا الأقمار الصناعية التي نتج عنها ثورة هائلة في تكنولوجيات الاتصالات، والتي كان نظام الـ GPS نظام تحديد المواقع العالمي أحد نتائجها، والتي ساعدت في اكتشاف العديد من الأماكن التي كان يصعب علي الانسان التوغل فيها خوفا من التيه إلا أنه بعد ظهور هذا النوع من أنظمة التعقب وتحديد المواقع أصبح الأمر سهلاً جداً لتحديد المواقع بدقة في مناطق مثل البحار والصحارى.

لقد ساعد التطور التكنولوجي في السنوات الأخيرة إلى حدوث تغيير ملموس في حياة الإنسان اليومية، حيث تعتمد حياه الإنسان في الوقت الحالي على التكنولوجيا الرقمية والبيانات المكانية، خاصة مع تطور الهواتف الذكية والخرائط الرقمية، إلي أن وصل اصبح كل شيء مرتبط بنظام يحدد موقعه مما ساعد في دعم متخذ القرار بالحلول المناسبة التي مكنتهم من الحصول على المعلومات الكافية الدقية في أسرع وقت وبأقل تكلفة.

لقد شهدت العلوم المساحية في السَّنوات الأخيرة تطورات كبيرة وسريعة نظراً لتقدم علوم الحاسب الآلي ونظم الأقمار الصناعية، ومن أهم هذه التطورات استخدام نظام تحديد المواقع العالمي (global positioning system GPS) ونظم المعلومات الجغرافية (geographic information systems GIS)،

وتعتبر هاتان التِّقنيتان من أسرع وأدق الطرق ذات التَّكاليف المنخفضة مقارنة بالقياسات الجيوديسية وتناول عمل الخرائط بالطرق الكلاسيكية.

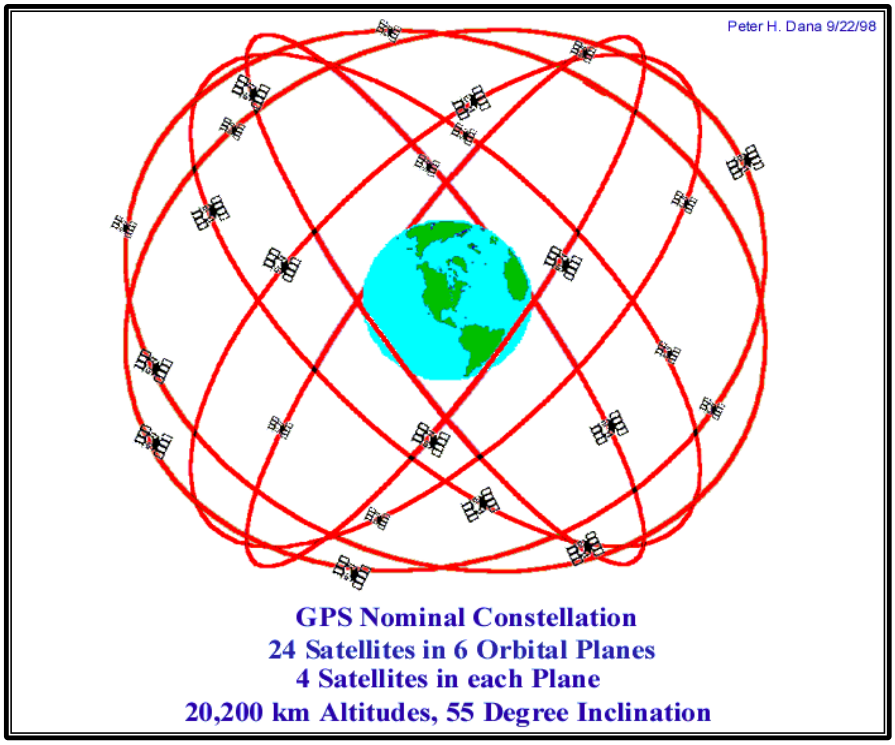
تُعرَّف نظم المعلومات الجغرافية (GIS) بأنها مجموعة من التجهيزات والبرمجيات (hardware and software) المصممة لتخزين واستخراج ومعالجة وتحليل المعطيات المكانية الرقمية للمساعدة في اتخاذ القرار المناسب على ضوء هذا التحليل.

يُعدُّ نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) من أكثر الطُّرق انتشاراً لتعديل وتحديث بيانات GIS لميزاته الكثيرة فقد فتحت جيوديسيا الأقمار الصِّناعية (الجيوديسيا ثلاثية الأبعاد) عهداً جديداً في العلوم الجيوديسية تجلَّى بما أوجدته من إحداثيات المواقع في نظام ثلاثي الأبعاد، وهي تتألف من تقنيات الحساب والقياس الَّتي تسمح بحل المسائل الجيوديسية باستخدام قياسات دقيقة من الأقمار الصِّناعية القريبة من كوكب الأرض.

مفهوم نظام تحديد المواقع العالمي (GPS):

تعني الأحرف الثلاثة لكلمة (GPS) اختصاراً للمصطلح الانجليزي (Global Positioning System) وهي تعني نظام تحديد المواقع العالمي وهو عبارة عن نظام ملاحي مكون من كوكبة من الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض في مدارات ثابته في الفضاء الخارجي، على ارتفاع ٢٠٢٠٠ كم عن سطح الأرض.

توزع مجموعة الأقمار الصناعية لنظام تحديد المواقع العالمية (GPS) توزيعاً هندسياً بحيث تعطي تغطية شاملة للأرض في أي وقت وبأي مكان على الأرض، والتي يصل عددها إلى ٢٤ قمراً، يستخدم منها فعليا ٢٤ قمرا صناعيا، و٣ اقمار احتياطية تعمل في حالة تعطل اي من الأقمار الرئيسية، وهي منظومة تتبع وزارة الدفاع الأمريكية ويطلق عليها مصطلح (GPS) وأحيانان مصطلح (NAVSTAR)، كما يوضحه شكل (١).



شكل (١) منظومة الأقمار الصناعية لتحديد المواقع والتتبع الجغرافي

يكمن الهدف الأساسي لإنشاء هذه الشبكة من الأقمار الصناعية هو خدمة المجال العسكري بشكل أساسي، إلا أن الحكومة الأمريكية قد سمحت باستخدام هذه المنظومة في المجالات المدنية عام ١٩٨٠م،

تعمل شبكة الأقمار الصناعية في منظومة (GPS) في أي وقت من اليوم (ليلاً أو نهاراً) وتحت جميع الظروف المناخية، ويتمتع النظام الأمريكي (GPS) أنه يغطي سطح الكرة الأرضية أي يمكن لأي شخص استخدامه في أي مكان في العالم، بدقة أرضية مقبولة.

علاقة نظام (GPS) بعلم الاستشعار عن بعد

يعد الاستشعار عن بعد علماً بني على فكرة الحصول على المعلومة دون الاتصال المباشر بمصدرها، وتعد نظرة الإنسان للأشياء وتمييزها من بعد واحدة من نظم الاستشعار للأشياء القريبة.

وقد جاءت أول فكرة للإستشعار عن بعد عندما صحح الحسن ابن الهيثم بعض المفاهيم الخاطئة التي كانت سائدة من قبل حول نظريات الإبصار لأرسطو وبطليموس وإقليدس، حيث أثبت ابن الهيثم حقيقة أن الضوء يأتي من الأجسام إلى العين، وليس العكس كما كان يعتقد في تلك الفترة، وإليه ينسب مبادئ اختراع الكاميرا.

حاول الإنسان قديماً استخدم التليسكوب لمراقبة الأجرام السماوية والكواكب والذي يمكن أن يعد نوعاً من الاستشعار كونه يوفر المعلومة دون الاتصال المباشر معها، وهذه المعلومة لا يمكن حفظها أو تخزينها في سجل الصور، وبالتالي احتاجت هذه الفكرة لتوثيقها وتخزينها في شكل صور يمكن الرجوع إلها فيما بعد. ويمكن عرض المراحل التي مرت بها عملية الاستشعار عن بعد على النحو التالي: –

المرحلة الأولى: مرحلة اختراع الكاميرا:

مرت فكرة الصورة الفوتوغرافية بمراحل عديدة وصولاً إلى الصورة الرقمية، وبالتالي نحتاج لفهم تاريخ الاستشعار عن بعد أن نفهم حقيقة الصورة الفوتوغرافية التي ارتبط بظهورها بهذا العلم، حيث إن علم الاستشعار عن بعد ارتبط ارتباطاً وثيقاً باختراع الكاميرات والتقاط الصور الفوتوغرافية عن بعد.

لقد تطورت الصورة الفوتوغرافية من مجرد صور عادية تعرض بالدرجات اللونية (أبيض وأسود) إلى صورة ملونة، إضافة إلى ذلك فقد تطورت الصورة إلى أن أصبحت تظهر ما لا تراه العين المجردة، وهو ما أعطى لعلم الاستشعار عن بعد القوة والقيمة العلمية.

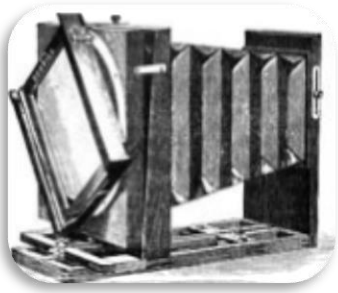
حاول الكثير من المصورين الذين اهتموا بالرسم أن يحصلوا على صورة جاهزة دون العناء في الرسم لمدة طولية. وقد جرت العديد من المحاولات لإلتقاط صورة بشكل آلي، ومن أهم تلك المحاولات التي قام بها المصورون:

- عام (١٨٠٠) تم اكتشاف الأشعة تحت الحمراء من قبل وليام هيرشيل.

- في عام (١٨٢٦) استطاع نيسيفور نيبس (Niépce) التقاط أول صورة طبيعية (شمسية) على شريط معدنى مصنوع من البيتومين (bitumen) كما يظهر في صوة (١).
- وفي عام (١٨٣٩) نجح لويس داجير (Louis Daguerre) بابتكار أول نظام عملي للتصوير الفوتوغرافي معتمدا على شريط من النحاس مصقول بالفضة (Campbell, 2011, p7)، صوة (٢).
- (١٨٤٧) تم توضيح طبيعة الأشعة تحت الحمراء الطيف هو مبين من قبل فيزيو (Fizeau) وفوكو (Foucault).
- وفي عام (١٨٧٣) قدم جيمس ماكسويل نظرية الطاقة الكهرومغناطيسية.
- وفي عام (١٨٩١) اختراع غابرييل ليبمان نظاماً للتصوير الملون.
- بين عامي (١٩٣٠–١٩٤٠) تم تطوير نظام الرادارات في ألمانيا، الولايات المتحدة الأمريكية، والمملكة المتحدة.
- في عام (١٩٥٦) بحث كولويل (Colwell) الكشف عن الأمراض النباتية باستخدام التصوير بالأشعة تحت الحمراء (Campbell, 2011, p7).
- وفي عام (١٩٧٥) تم اختراع الكاميرا الرقمية على يد ستيفن ساسون.
- عام (١٩٨٠) تم تطوير أجهزة الاستشعار عن بعد فائقة الدقة الطيفية (hyperspectral).
- عام (١٩٩٠) تم تطوير نظم الاستشعار عن بعد العالمية بأنظمة الليدار (Lidars).

١- صورة (١) أول صورة ضوئية (شمسية) لنيبس

صورة (٢) أول صورة فوتوغرافية لداجير



٢- صورة (٣) الكاميرات البدائية

صورة (٤) نموذج للكاميرا الرقمية

المرحلة الثانية: محاولات التصوير من الجو:

تطور علم التصوير الفوتوغرافي بعد اختراع الكاميرا وزيادة الحاجة للصورة في الحياة البشرية المدنية منها والعسكرية. فقد تطورت وسائل الحصول على الصورة من مسافات مرتفعة بدأً من عملية التصوير من خلال ركوب بالون (balloons) إلى الطائرة (aircraft) ثم المكوك الفضائي (Shuttel)، والأقمار الصناعية (satellites) متعددة الخصائص والمهام؛ ومن أبرز تلك المحاولات في هذه المرحلة:

- في عام ١٨٥٨ حاول نادار التقاط أول صورة فوتوغرافية من بالون لمدينة باريس (Campbell, 2011, p.7) صورة (٥).

- عام ١٨٨٢ استخدم عالم المناخ الإنجليزى أرشى-بالد (Archibald) الطائرات الورقية (Kites) في التصوير من الجو صورة (٦).

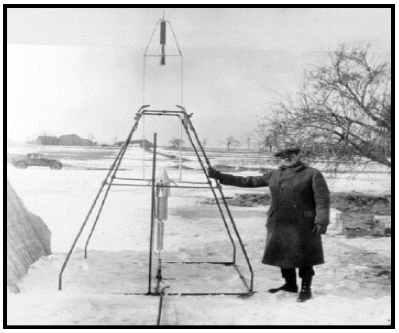
صورة (٥) استخدام بالون للتصوير

صورة (٦) استخدام الطائرة الورقية للتصوير

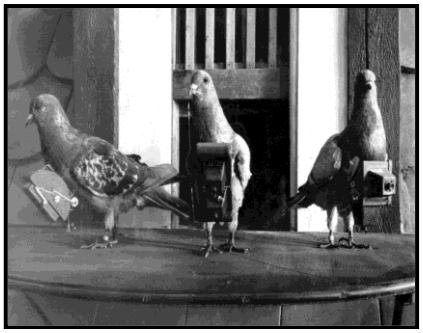
صورة (٧) أول صورة من بالون لنادار عام ١٨٥٩ لمدينة باريس

صورة (٨) صورة لمدينة بوسطن عام ١٨٦٠ بواسطة بلاك وكنج

- فى عام (١٨٨٨) إخترع أميدى دينيس (Amedee Denisse) صاروخ التصوير (Photorocket) الذي يحمل كاميرا تصوير فوتوغرافي يمكنها التقاط الصور للأرض ثم يعود الصاروخ مرة أخرى إلى الأرض بواسطة مظلة هبوط (Lattu, 1989, p.73).
- وفي عام ١٩٠٣ حاول يوليوس نيوبرونير استخدام طائر الحمام لالتقاط الصور، وذلك عن طريق تثبيت كاميرات على صدور عدد من الحمام، وأثناء طيران الحمام تصبح الكاميرا رأسية أو عمودية على سطح الأرض صورة (١٠).



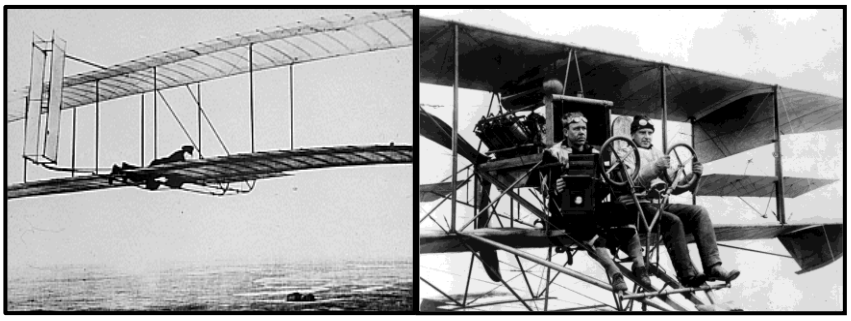
صورة (٩) استخدام الصواريخ للتصوير



صورة (١٠) استخدام الحمام للتصوير

المرحلة الثالثة: مرحلة اختراع الطائرات وتوظيفها في مجال التصوير:

استطاع الأخوان رايت تطوير أول طائرة شراعية بعد عمل عدد من المحاولات للطيران في المدة بين (١٩٠٣-١٩٠٨)، وبنجاح فكرة الطيران تم اصطحاب كاميرا تصوير، التقطت بها أول صورة من الجو. وبتطور الطائرات تطور معها التصوير الجوي خاصة مع بداية الحرب العالمية الأولى (١٩١٤-١٩١٨)، حيث استخدمت الصور في عمليات الاستطلاع الجوي ورصد مواقع الجيوش وأماكن تمركزهم (campbell, 2011, p. 7). كما توضحه الصورة رقم (١١).



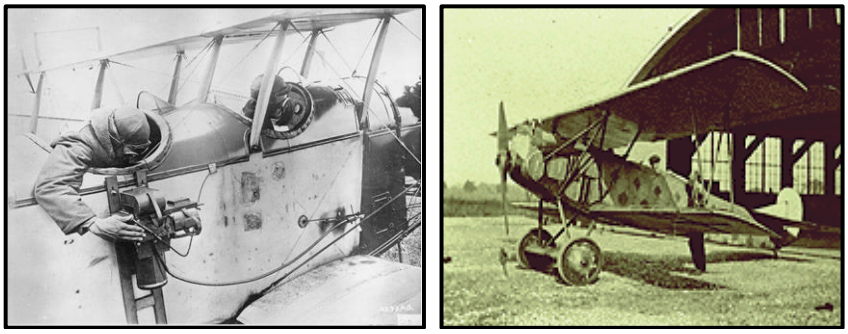
صورة (١١) أول رحلة طيران للأخوان رايت عام ١٩٠٣

صورة (١٢) ويلبر رايت والمصور بونفيلان والتقاط أول صورة عام ١٩٠٨

ويمكن عرض دور الطائرات في التطور خلال الحربين العالميتين على النحو التالي: -

١- فترة الحرب العالمية الأولى:

حقق الأخوان رايت نجاح فكرة إمكانية الطيران، تبنى هذه الفكرة العديد من الشركات وبدأت في تصميم وإنتاج أنواع من الطائرات حتى بدأت الحرب العالمية الأولى في ٢٨ يوليو عام ١٩١٤، وزادت أهمية الطيران في عمليات الاستطلاع الجوي وكشف مواقع العدو ومواقع الخنادق وتحركات الجيوش، حيث صممت داخل الطائرات فتحات خاصة بالكاميرات لتسهيل عملية التصوير الجوي صورة (١٣).



صورة (١٣) التصوير الجوي أثناء الحرب العالمية الأولى (World War I) بين عامي (1914-1918)

استخدم التصوير الجوي بعد انتهاء الحرب العالمية الأولى في الأغراض المدنية لرسم خرائط المباني ومناطق الغابات التي يصعب الوصول إليها، ورصد مناطق تآكل التربة وموارد المياه، والمشكلات البيئية، حيث اعتمدت الدول على عمليات المسح الجوي لتسجيل ورصد الموارد الطبيعية لتحقيق التنمية الاقتصادية، بعمل المختبرات العملية المتخصصة في تطبيقات التصوير الجوي (campbell, 2011, p. 8).

حينما انتهت الحرب العالمية الأولى عام ١٩١٨ كان التصوير الجوي قد مر بمرحلة متقدمة نسبياً فيما يتعلق بطرق جمع الصور وتفسيرها، وقد تأسست في هذه المدة شركات تخصصت في مجال الطيران وتصنيع كاميرات التصوير الجوي، حيث تطورت الكاميرات ووضع في اعتبارها قدرة الكاميرا على التصوير

أثناء تحرك الطائرة وسرعتها، ونظام التصوير الرأسي (Vertical)، كما وضع في الإعتبار طريقة لتداخل الصور الملتقطة (Overlapping) من الطائرات حتى لاتتخللها مناطق فجوات لم يتم تصويرها.

٢- فترة الحرب العالمية الثانية:

تم تطوير كاميرا التصوير الفوتوغرافي بعد نجاح فكرة الاستطلاع الجوي ومحاولة استخدام الصور الجوية في الأغراض العسكرية في الحرب العالمية الأولى، ونجاح استخدامها في الأغراض المدنية في الفترة بين الحربين العالميتين، وظل الوضع إلي أن بدأت الحرب العالمية الثانية عام ١٩٣٩ التي استخدمت فيها عمليات التصوير الجوي على نطاق واسع، كما استخدمت أجهزة استشعار للأشعة الكهرومغناطيسية خارج النطاق المرئي (Visible light) أهمها الأشعة تحت الحمراء وأشعة الميكروويف (campbell, 2011, p. 11).

تحولت مجموعات العمل التي كانت تعمل في مجال المسح والتصوير الجوي العسكري إلي المجال المدني بانتهاء الحرب العالمية الثانية عام ١٩٤٥ وتوقف الحرب العسكرية، حيث نتج عن عمليات التدريب في فترة الحرب عدد كبير من الطيارين ومشغلي الكاميرات، ومفسري الصور الجوية، ذوي الخبرة الذين تمكنوا من نقل مهاراتهم وخبراتهم في المهن المدنية بعد الحرب، حيث تولى العديد من هؤلاء الأفراد المناصب القيادية في الأعمال التجارية، والعمل في البرامج الحكومية العلمية وعملوا على تطبيق تقنيات التصوير الجوي والاستشعار عن بعد لمعالجة المشكلات المدنية.

وما أن انتهت الحرب سرعان ما بدأ صراع جديد بين الولايات المتحدة الأمريكية من جهة والاتحاد السوفيتي (السابق) من جهة أخرى أطلق عليها مسمى "الحرب الباردة"، تنافست فيها هذه الدول على كيفية التجسس على الدول الأخرى بأحدث التقنيات والوسائل العلمية المتاحة عن بعد، للتعرف على القدرات العسكرية لدى كلٌ منهما.

لقد كانت الوسيلة المتاحة للاستشعار عن بعد في هذه الفترة هي الطائرات الاستطلاعية الحديثة، التي طورتها الولايات المتحدة الأمريكية، والتي أهمها (طائرات U-2، SR-71، وغيرها) صورة (١٤) وذلك نتيجة لصعوبة الاستطلاع الجوي فوق أراضي الاتحاد السوفيتي لتطوير منظومة الدفاع الجوي (campbell, 2011).

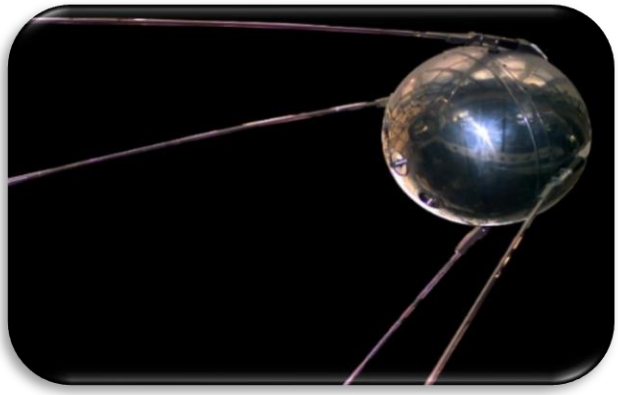
صورة (١٤) طائرات يو-٢ الأمريكية التجسسية

فجر الاتحاد السوفيتي مفاجأته عام ١٩٥٧ التي أبهرت العالم بإطلاق أول قمر صناعي يدور في الفضاء خارج الغلاف الجوي، والتي كانت أول نواة للاستشعار عن بعد خارج مجال الغلاف الجوي. وكان هذا العمل نتيجة لما تعرض له الاتحاد السوفيتي من استفزازات أمريكية لرغبة الأخيرة في معرفة قدراته العسكرية طوال مدة الحرب الباردة.

المرحلة الرابعة: مرحلة التصوير من الفضاء:

يمكن أن نطلق على هذه المرحلة (مرحلة سباق الفضاء)، حيث إنه بعد انتهاء الحرب العالمية الثانية كان هناك صراعاً دائراً بين كل من الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي في التجسس على الآخر، لكن كان من الصعب استخدام الطائرات لأنها سوف تقصف عند اختراقها للمجال الجوي لأي دولة، وبالتالي أصبح من الضروري ابتكار طريقة جديدة للتجسس تكون من خارج الغلاف الجوي.

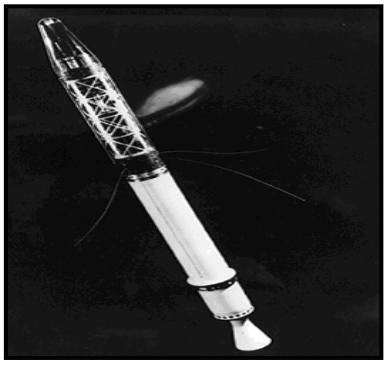
ففي عام ١٩٥٧ فجر الاتحاد السوفيتي مفاجأته بإطلاق أول قمر صناعي باسم (Sputnik-1) صورة (١٥) ولم يكن الغرض منه إظهار القدرة العسكرية فقط، بل تعدى ذلك إلى إظهار القدرة التقنية والبحثية، وبحث إمكانية صعود الإنسان للفضاء، إلى جانب إثبات تفوق الاتحاد السوفيتي في مجال الفضاء رداً على الاستفزازات الأمريكية طوال سنوات ما بعد الحرب العالمية الثانية.



صورة (١٥) القمر الصناعي السوفيتي سبوتنيك ١

ارادت الولايات المتحدة أن ترد على تفوق الاتحاد السوفيتي للصعود للفضاء بإطلاق أول قمر صناعي خارج الغلاف الجوي؛ فاستعانت بالعالم الألماني مصنع الصواريخ إبان الحرب العالمية الثانية دكتور براون، حيث طور لها صاروخاً حمل القمر الصناعي الأمريكي الأول إكسبلورر (Explorer-1) عام ١٩٥٨ صورة (١٦)، وذلك في مدة قصرة من إطلاق السوفييت لقمرهم الصناعي (معوض، ٢٠١٢).

بعد نجاح فكرة إطلاق الأقمار الصناعية خارج الغلاف الجوي اتجهت الولايات المتحدة نحو إطلاق مجموعة من الأقمار الصناعية للأغراض التجسسية أطلق عليها اسم مجموعة أو برنامج كرونا (Corona program) عام ١٩٥٩ صورة (١٧)، تديره وكالة الاستخبارات المركزية للعلوم والتكنولوجيا (CIA)، حيث أمكن تصوير مجموعة أجزاء كبيرة من سطح الأرض (Campdell, 2011, p.198).



صورة (١٧) القمر الصناعي الأمريكي إكسبلورر ١

صورة (١٦) مبنى البنتاجون من صور أقمار كورونا فى ٢٥ سبتمبر ١٩٦٧

واجهة برنامج كرونا مشكلة في صعوبة الحصول على أفلام التصوير؛ حيث لا يمكن الحصول على أي معلومات عن المناطق المصورة إلا بعد ارسال أفلام التصوير في كبسولات تطلق من الفضاء للعودة إلى الأرض مرة أخرى، والتي غالبا ما تسقط في مياه المحيطات أو في أراضي ليست تابعة للولايات المتحدة (وقعت إحدى الكبسولات في مزارع بفنزويلا) ومن هنا اتجهت الأنظار للتفكير في طريقة للتصوير يمكن منها الحصول على الصور بطريقة سريعة فظهرت الصور الرقمية (www.nro.gov).

تم تأسيس العديد من الهيئات المتخصصة في أعمال الاستشعار عن بعد عالمياً لعل أهمها الهيئة القومية للطيران والفضاء ناسا (NASA) التي أنشئت عام ١٩٥٨، ووكالة الفضاء الأوربية التي أنشئت عام ١٩٧٥، وغيرها في مختلف دول ومنظمات العالم، كما ظهر العديد من برامج الفضاء التي تختص بدراسة سطح القمر أو الكواكب المجاورة أو سطح الأرض لعل أهمها برنامج ابوللو (١٩٦١-١٩٧٢)، ومخبر علوم المريخ (Mars) بين (١٩٦٢-١٩٧٣).

استمرت برامج الفضاء العلمية والتجسسية بعد الانتهاء من نجاح تثبيت أول قمر صناعي في مداره خارج الغلاف الجوي ومن أهم برامج الفضاء التجسسية برنامج كورونا (Corona) الأمريكي، ومن الناحية التجارية نجحت العديد من المؤسسات التجارية في إطلاق أقمار صناعية للأغراض التجارية ومن أهمها

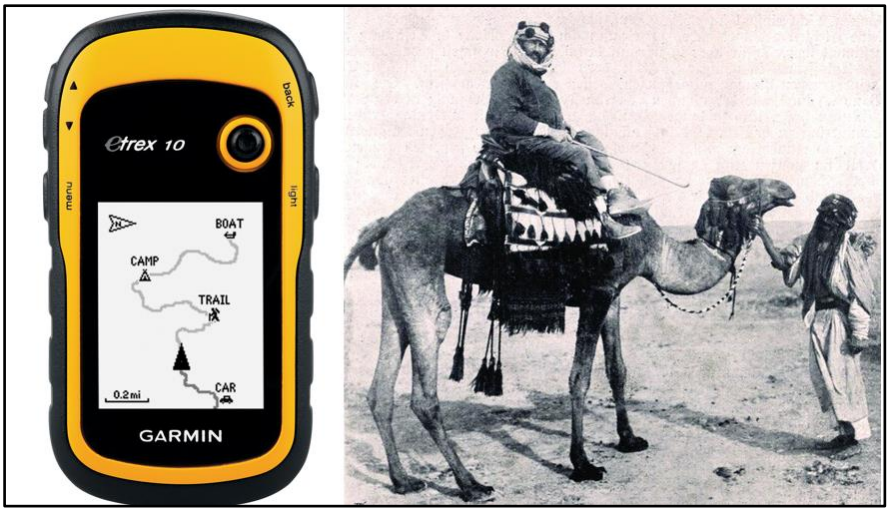
شركة (Digital Globe) التي أطلقت مجموعة أقمار خاصة برصد الأرض ومواردها ولعل أهمها أقمار (Quick bird, WorldView-1,2,3,4) وغيرها من برامج الاستشعار.

وقد واكب ظهور علم الاستشعار عن بعد ورسم الخرائط من الصور الجوية والأقمار الصناعية تقدم علم نظم المعلومات الجغرافية (GIS) الذي ارتبط بعلم الاستشعار عن بعد وتكامل أنظمة المعلومات المكانية وربطها مع منظومة قواعد البيانات الجيومكانية (Geospatial database)، إضافة إلى ذلك، فقد ظهر نظام تحديد المواقع والملاحة العالمية المسمى بنظام (GPS) وهو اختصار لمصطلح (Global Positaion System) مما أتاح تكامل منظومة البيانات المكانية وزيادة دقتها.

نبذة تاريخية عن نظام (GPS)

قديما عندما كان شخص أو مجموعة من الأشخاص يرغبون في الذهاب في رحلة استكشافية في مكان ما على الأرض، كانوا يستأجرون (يتعاقدون) مع أحد افراد المنطقة كدليل ليرشدهم للطريق الصحيح، هذا بالإضافة الى استخدام النجوم والشمس وفي بعض الأحيان يستخدمون البوصلة لتحديد الاتجاهات، ولكن ماذا لو فقد هذه الدليل واختفى فكيف ستجد المجموعة الكشفية طريقها لابد أن الأمور ستصبح صعبة.

كذلك لو افترضنا ان شخص حصل على قارب بحري وانطلق في البحر، ولكن فجأة اكتشف أنه لا يعرف كيف يعود الى نقطة البداية فهو يحتاج الى من يرشده، فماذا لو كان مرشدك هذا هو مجموعة من الأقمار الصناعية التي تراقبك باستمرار من خلال جهاز استقبال هذا ما يعرف بنظام تحديد الموقع على الارض والمعروف باسم جهاز (GPS) كما يوضحه شكل (٢).



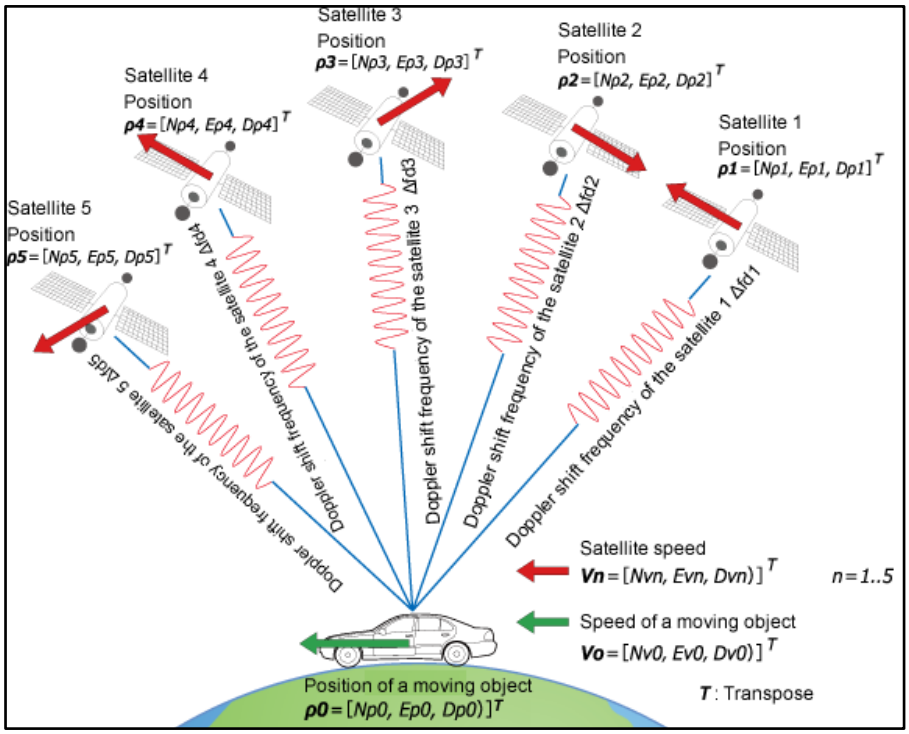
شكل (٢) مقارنة بين الملاحة قديما (**الدليل**) وحاليا باستخدام نظام (**GPS**)

لقد بدأ استخدام الأنظمة الإلكترونية في عملية تحديد المواقع منتصف القرن التاسع عشر؛ ومن أهم هذه الأنظمة نظامي لوران (Loran)، ودكا (Decca) وهما يستخدمان بصفة خاصة في الملاحة البحرية، ويعملان على أساس نظم الراديو التي تعتبر جيدة الاستخدام في النطاقات الساحلية حيث تتوافر شبكات الاتصال بين النظامين، إلا أنها لا تغطي مساحات كبيرة من اليابسة؛ فضلا عن أنها تتسم بتفاوت دقتها حسب الاختلافات المكانية، ومازالت بعض هذه الأنظمة يستخدم حتى وقتنا الحاضر في توجيه السفن والطائرات (المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، ١٤٢٦، ص٣).

ظهرت فكرة الاعتماد على الأقمار الصناعية في تحديد المواقع الجغرافية عندما أطلق الاتحاد السوفيتي أول قمر صناعي للفضاء (Sputnik-1) عام ١٩٥٧، وقد استخدموا الازاحة الترددية أو ما يعرف بإزاحة دوبلر في التحكم في القمر الصناعي ومتابعته، مما ساعد في ظهور فكرة تحديد المواقع الجغرافية بالأقمار الصناعية.

ومفهوم إزاحة دوبلر أنه عندما تُرسل موجة تردد معين علي جسم ثابت فالإشارة المرتدة كصدى تكون بنفس التردد، أما إذا ارسلت موجة تردد معين علي هدف متحرك مثل الأقمار الصناعية فإنها تُستقبل كصدى لكن بتردد

مختلف عن تردد الإرسال؛ وتسمى هذه بالإزاحة الترددية أو (إزاحة دوبلر) وبالتالي يمكن تحديد المواقع عن طريق الإشارة التي يتم ارسالها واستقبالها من والي القمر كما يوضحه (٣).

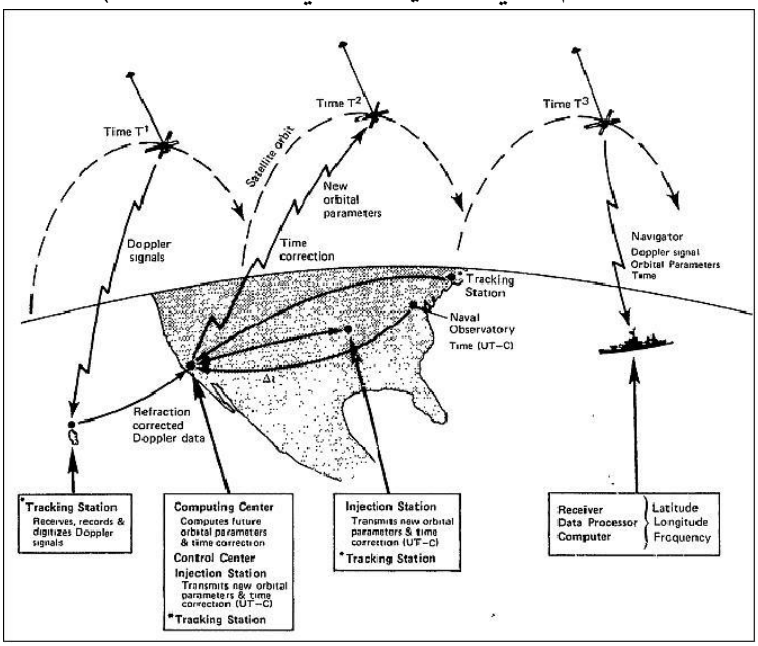


شكل (٣) طرق رصد الأهداف المتحركة بطريقة إزاحة دوبلر

وقد استغلت البحرية الأمريكية هذه الفكرة لتحديد مواقع سفنها وغواصاتها وانشأت نظام (Transit) سنة ١٩٦٤ م وأطلقته للفضاء، ويعد نظام (Transit) هو نظام ملاحة لاسلكي عبر الأقمار الصناعية من الجيل الأول للبحرية الأمريكية، تم تصميمه وبناؤه بواسطة (JHU / APL).

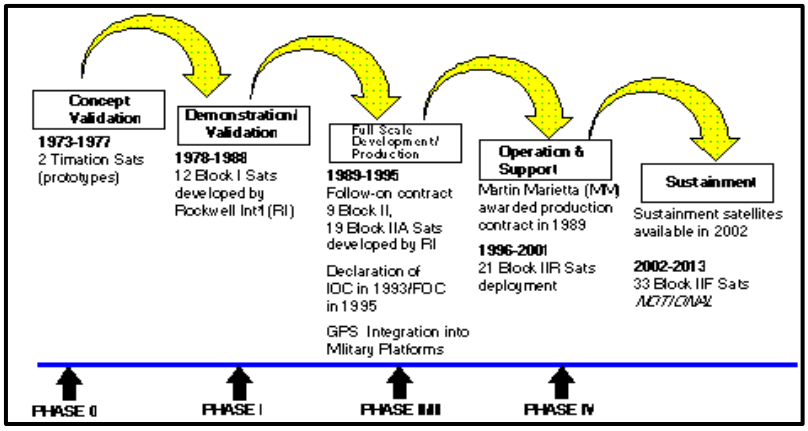
ثم ظهر مؤخرا نظام الأقمار الصناعية؛ وكانت أولى محاولة للاستفادة من الأقمار الصناعية كانت في المنظومة سات – ناف (SAT-NAF) أو ما يعرف بأقمار الترانزيت (transit system) ولكنها أثبتت فشلها نظرا لكونها تستخدم أقمارا صناعية منخفضة المدار وعددها محدود وقليل، وبالتالي لا يمكن الحصول على نتائج محددة بصفة دائمة بسبب ترددات أجهزتها الصغيرة، كما

أن أي تحرك بسيط لجهاز الاستقبال يسبب أخطاء فادحة في تحديد الموقع (المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، ١٤٢٦، ص٣).



شكل (٤) نظام (Transit) للملاحة اللاسلكي عبر الأقمار الصناعية

تبنت وزارة الدفاع الأمريكية (DoD) الأفكار السابقة لعلماء البحرية الأمريكية، ثم بدأت بإطلاق الأقمار الصناعية لنظام (NAVSTAR) في أوائل السبعينيات، حتى اكتمل النظام بأطلاق ٢٤ قمرا صناعياً، وأصبح يعمل بكامل طاقته في عام ١٩٩٣ (NASA, 2017).



شكل (٥) مراحل إطلاق الأقمار الصناعية لنظام (GPS)

وأصبح النظام يعمل بصورة مستمرة على مدار الأربع وعشرين ساعة وتحت جميع أحوال الطقس ويزود مستخدميه في أي مكان في العالم بمعلومات دقيقة عن مواقعهم وسرعاتهم والتوقيت الزمني في كل منطقة.

ملخص تطوير نظام (GPS):

- بدأت وزارة الدفاع الأمريكية في عام ١٩٦٠ دراسات الجدوى لإنشاء منظومة الأقمار الصناعية للملاحة الأرضية.
- وبحلول عام ١٩٧٣ خصص البنتاجون نسبة مالية لتمويل مشروع نظام الملاحة بالأقمار الصناعية المسمى (NAVSTAR) وهو اختصاراً لمصطلح Navigational Satellite Timing and Ranging وقد أطلق عليه كذلك (Global Positioning System) واختصاره (GPS).
- وفي عام ١٩٧٨ أطلق أول ٤ أقمار صناعية لأغراض الملاحة وتحديد المواقع، وتم الانتهاء من إطلاق جميع الأقمار وعددها ٢٤ قمراً في عام ١٩٩٤م.
- اكتملت القدرة التشغيلية للأقمار الصناعية وعددها ٢٤ قمراً للنظام وأصبح جاهزا في ١٧ يوليو ١٩٩٥ بتكلفة مالية بلغت ١٢ مليار دولار. والعمر الافتراضي لكل قمر هو عشر سنوات.
- وفي مايو عام ٢٠٠٠ أصبح نظام (GPS) متاح بدقة عالية لكل من المستخدمين المدنيين والعسكريين معاً على مستوى العالم بعدما كان قاصراً على المجال العسكري فقط وعلى الولايات المتحدة وحلفاءها.

- وعلى غرار الولايات المتحدة فقد أطلقت روسيا (الاتحاد السوفيتي سابقاً) منظومة تسمى غلوناس (Glonass) لتحديد المواقع لمنافسة الولايات المتحدة وللاستخدامات العسكرية.

- كما أطلق الاتحاد الأوربي منظومة جديدة أطلقت عليها اسم جاليليو (Galileo) بدقة عالية للأغراض المدنية في المقام الأول، ومنها أيضاً أغراض عسكرية.

- ولحقت الصين بكل من الولايات المتحدة وروسيا وأوربا بإطلاقها منظومة خاصة بها لتحديد المواقع أطلقت عليها اسم (Beidou).

يقدر العمر الافتراضي لكل قمر هو عشر سنوات، لذلك فقد تم إطلاق أقمار صناعية تعمل كبدائل لهذه الأقمار في حالة خرج إحداها عن العمل في أي وقت خلال مدة العشر سنوات.

ومن أهم خصائص الأقمار الصناعية الخاصة بنظام الملاحة وتحديد المواقع الجغرافية، أن القمر الصناعي يزن ما يقارب الطن الواحد، وقطره ٦ أمتار تقريباً بما في ذلك شرائح الطاقة الشمسية الممتدة على جانبي القمر، ويستهلك القمر فقط ٥٠ وات أو أقل من الطاقة في حالة الارسال، وتبث هذه الأقمار الصناعية نوعين من الإشارات المنخفضة (L1, L2)، ويستخدم التردد (L1) للأغراض المدنية بذبذبة مقدارها (١٥٧٥.٤٢) ميجاهيرتز (MHz) على الموجة (UHF).

تعتمد هذه الأقمار على الطاقة الشمسية كمصدر للطاقة، ويوجد على كل قمر صاروخ صغير من أجل أن تثبيت القمر في موضعه الصحيح في حالة تغير مسارة أثناء الدوران.

شكل (٦) نموذج لصاروخ إطلاق الأقمار الصناعية خارج الأرض

فوائد نظام تحديد المواقع العالمية:

في العصور القديمة عندما كان مجموعة من الأشخاص يرغبون في الذهاب في رحلة استكشافية في مكان ما على الأرض لا إنهم كانوا يستخدموا أحد افراد المنطقة كدليل ليرشدهم للطريق الصحيح هذا بالإضافة الى استخدام البوصلة لتحديد الاتجاهات، ولكن ماذا لو فقد هذا الدليل واختفى فكيف ستجد المجموعة الكشفية طريقها لابد أن الأمور ستصبح صعبة.

كذلك لو افترضنا ان شخص حصل على قارب بحري وانطلق في البحر، ولكن فجأة اكتشف أنه لا يعرف كيف يعود الى نقطة البداية فهو يحتاج الى من يرشده، فماذا لو كان مرشدك هذا هو مجموعة من الأقمار الصناعية التي تراقبك باستمرار من خلال جهاز استقبال هذا ما يعرف بنظام تحديد الموقع على الارض والمعروف باسم جهاز GPS.

إن فكرة تحديد الموقع بالأقمار الصناعية تفيد في مدى تأثيرها على حياتنا في السنوات القادمة من حيث زيادة الكفاءة وتقليل المخاطر في جميع أنواع المواصلات وكذلك مراقبة كل التحركات على الأرض سواء كانت بشرية أو حتى تغيرات في الظروف المناخية أو حركة الزلازل.

لعل أهم ما يميز نظام (GPS) أنه لا يحدد فقط موقع المستخدم، وإنما يمكنه أن يحدد للمستخدم أفضل طريقة يمكن بها بلوغ الوجهة المقصودة وذلك باستخدام خرائط رقمية مخزنة في ذاكرة المستقبل، فعلى المستخدم أن يحدد للنظام الاحداثيات المطلوبة لتحديد الموقع مثل (خط الطول ودائرة العرض) للنقطة التي يريد الذهاب إليها، وبالتالي سوف يحدد الجهاز الوجهة المقصودة بأقصر طريق ممكن مع إعطاءك قيمة ارتفاع الراصد في كل لحظة بالإضافة إلى ذلك يمكنه تحديد سرعة المستخدم القصوى والمتوسطة والوقت المتوقع للوصول لوجهة المحددة إذا ما حافظ المستخدم على نفس السرعة.

استخدامات نظام (GPS):

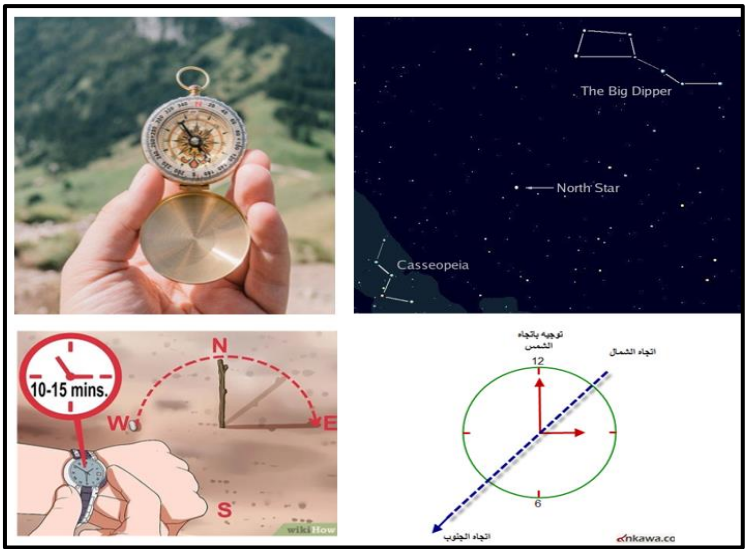
تمثل عملية توجيه الخريطة حاجة ملحة لكل جغرافي وجيولوجي ومساح أرضي ومستكشف وغيرهم، وتحتاج عملية توجيه الخريطة لخبرة عملية، أيضاً يحتاج هؤلاء إلى عملية حسابية في الميدان لقياس المعالم الجغرافية من الخريطة وتوقيعها في الميدان، ولقد كانت هناك صعوبة قديما لإنجاز مثل هذه الأعمال، غير أن ظهور نظام تحديد المواقع العالمي ساعد بدرجة كبيرة في التيسير على الرحالة بإنجاز أعمالهم على أكمل وجه.

فقد كان قديما تستخدم العديد من الوسائل والاجهزة المختلفة، لعمل جزء من الأعمال الميدانية فقد استخدمت الخريطة لتحديد الموقع الجغرافي، واستخدمت البوصلة المغناطيسية لتحديد الاتجاه من خلال التعرف على اتجاه الشمال، وكذلك النجوم والخرائط الورقية في تحديد طرق السير.

أما الآن فتم دمج كل هذه الأدوات في أداة واحدة سميت بجهاز (GPS) الذي يمكننا من الجمع بين كل هذه الخصائص والاحتياجات التي يتطلبها أي مستخدم ومنها:

- تحديد المواقع على سطح الأرض بالنسبة لخطوط الطول ودوائر العرض
- تحديد الاتجاهات الأصلية والاتجاه العام لحركة السير.
- حساب المسافات والمساحات والزوايا.

- تحديد الارتفاعات بالنسبة لسطح البحر لأي موقع على الكرة الأرضية.
- كما يستخدم جهاز (GPS) في عملية التعقب والمراقبة لأشخاص والسيارات، والسفن، والطائرات، وغيرها.
- حساب السرعة وزمن الوصول بناء على المسافة وسرعة حركة الراصد طبقا للشبكة الجيوديسية المتعلقة بالأقمار الصناعية.
- كما يساعد جهاز (GPS) في إظهار الوقت والتاريخ المحلي والدولي.
- وقد طالت عملية التقدم التقني في التقاط الصور الفوتوغرافية التي أصبح بالإمكان أخذ صور فوتوغرافية بإحداثياتها مع تحديد الموقع والزمن والارتفاع للمكان الذي اخذت فيه الصورة.



شكل (٧) طرق التعرف على اتجاه الشمال قديماً

شكل (٨) بعض استخدامات نظام (GPS)

تطبيقات نظام (GPS):

نظراً لأهمية هذا النظام والفوائد التي يُحققها سواءً أكان للاستخدام العسكري في المراقبة الدائمة والدقيقة لتحديد مواقع استيراتيجية مهمة، أو للاستخدام السلمي كتسخيره لخدمة المجتمع، والتي كان من أهما رؤية وتتبع حركة السفن والسيارات خاصة سيارات الاسعاف والإطفاء، والتي تحتاج إلى أن نحدد لها مسلك الطريق الأسهل والأقصر للمكان بسرعة ودق عالية قبل أو أثناء قيادتنا للمركبة (عبداللاه، ....، ص ٢٢٥).

ان تأثير منظومة تحديد الموقع العالمي في العلوم المساحية أصبح في غاية الأهمية ولم يقتصر استخدامه عند هذا الحد وإنما يستخدم في الكثير من التطبيقات الأخرى التي لها علاقة بتكنولوجيا تحديد المواقع ومنها علوم الملاحة وعلوم رسم الخرائط بالإضافة إلى تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية، وجميع هذه التطبيقات تحتاج إلى الدقة في تحديد الارتفاع للنقطة التي يتم أخذ إحداثياتها بواسطة منظومة تحديد الموقع العالمي.

نظرا لما يتمتع به نظام (GPS) في تحديد المواقع بدقة لأي جزء على سطح الكرة الأرضية، خاصة وانه يتمتع بالعديد من الإمكانات والتي منها (تحديد الاتجاهات والمسافات والمساحات والسرعة وغيرها) فقد تم ظهرت أهميته بدجة كبيرة في المجالات المتنوعة والتي منها: –

- **المجالات العسكرية:**

يعتبر أو استخدام لنظام (GPS) هو الاستخدام العسكري حيث أن وزارة الدفاع الأمريكية قد أنشأت هذه المنظومة بهدف الاستخدام في المجال العسكري ولم ينشأ لأي أهداف مدنية، حيث يستخدم نظام (GPS) في توجيه المنظومة الصاروخية ويستخدم في تحديد مسارات الجيوش وتحركاتها كما أنه يستخدم في توجيه الطائرات للأهداف التي تقلع من أجلها، وتتمتع منظومة (GPS) في تعقب الجنود وتحديد أماكنهم للبحث عنهم والدفاع من أجلهم، حتى أصبحت

كل أجهزت ومعدات القوات المسلحة تحت السيطرة التامة والمراقبة من خلال نظام تحديد المواقع.

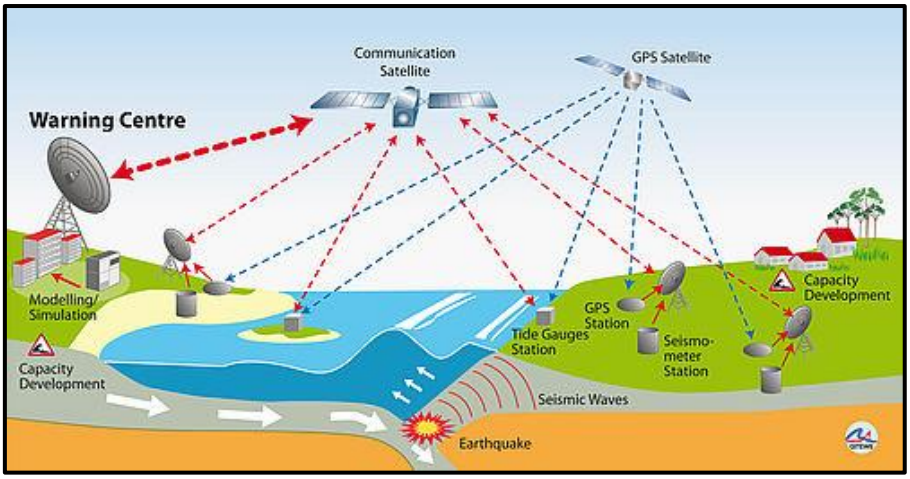
ومن أمثل استخدام جهاز تحديد الموقع (GPS) في المجال العسكري، نجد أنه تم استخدامه في الحروب الحديثة على سبيل المثال في حرب الخليج، حيث جعل هذا الجهاز من الحرب وكأنها أشبه بلعبة كمبيوتر يقوم فيها المهاجم بتحديد احداثيات الهدف بدقة والقذيفة الموجهة تعتمد على نظام (GPS) للوصول الى الهدف المحدد، فقد شاهدنا كيف يمكن مهاجمة أهداف معينة بدقة متناهية وكأن تلك القذائف ترى وتعرف ماذا تفعل.

شكل (٩) استخدامات نظام (GPS) في توجيه الصواريخ والطائرات (UAV)

- **البحث والإنقاذ:**

يساعد نظام تحديد المواقع العالمي في مساعدة فرق الإغاثة والأمن والسلامة في عمليات البحث والإنقاذ في حالات الكوارث الطبيعية والبشرية، حيث يساعد في توجيه فرق الإنقاذ نحو الأشخاص الذين يرسلون رسائل استغاثة في حالة حدوث كوارث مثل البراكين والتسونامي والزلازل، فقد أصبح داخل كل جهاز هاتف محمول نظام يحدد موقع مستخدميه وأصبح بإمكان كل فرد ارسال موقعه بدقة حالة الاتصال بالأقمار الصناعية مما يساعد فرق الإنقاذ في تحديد موقعه بدقة للوصول إليه في أسرع وقت.

كما يمكن استخدام أنظمة (GPS) مع مراكز مراقبة الزلازل في تحديد مواضع حدوث الزلازل وارسال إشارات للأشخاص في المواضع المتحمل تأثرها بارتفاع الأمواج أو غرقها مما يساعد في تقليل الآثار الضارة من التسونامي.



شكل (١٠) استخدامات نظام (GPS) في إدارة الأزمات

- **أعمال المساحة الأرضية.**

استخدمت في أعمال المساحة قديما أجهزة معقدة لعمليات الرفع المساحي وحساب المساحات والأطوال والأبعاد وغيرها، وقد كان مستخدمي هذه الأجهزة يجد صعوبة كبيرة في عملية القياس وجهد ومشقة في عمليات الرفع المساحي، ومع ظهور نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) ودخوله في الأجهزة المساحة وقدرته على عمليات التنسيب لنقاط الرفع المساحي للمرجع الجيوديسي المحلي لكل دولة، أصبحت له القدرة الكاملة في عمليات الرفع المساحي، مع توفير الوقت والجهد والتكلفة.

تستخدم أجهزة (GPS) في عمليات الرفع والتوقيع المساحي للمدن، حيث يمكن توقيع المخططات الهندسية للمدن الجديدة، وكذلك في عمليات الرفع المساحي للمدن القديمة ورسم مخططات جديدة للمدن القائمة ورفع خدماتها خاصة البنى التحتية مثل شبكات المياه والغاز الطبيعي، ولعمليات الرفع المساحي الدقيق نحتاج لاستخدام جهاز تحديد الاحداثيات (GPS) دقيق فلا يصلح استخدام أجهزة ذو دقة منخفضة في أعمال الرفع والتوقيع المساحي للمدن.

توجد العديد من الأجهزة المساحية التي ترتبط مع نظام (GPS) لإنجاز أعمل الرفع المساحي والتي من أهمها (Leica, Trimble, Garmin, sokkia) وغيرها من أجهزة الرفع المساحة للشركات المختلفة، كما يوضحه شكل (١١).

شكل (١١) أنواع الأجهزة المساحة التي تعمل مع منظومة (GPS)

وتعد بعض الأجهزة المساحية منخفضة الدقة المكانية والتي تعمل بأنظمة تحديد المواقع العالمية مثل أجهزة (القارمن والماجلان الصغيرة) في رفع المساحات للأغراض العقارية وتحديد موقع العقار المعروض للشراء أو البيع، حيث تستخدم مثل هذه الأجهزة في تحديد الوجهة والذهاب لموقع العقار، وتحديد موقعه للترويج والدعاية، ولكن لا يعتمد عليها في أغراض التوقيع والرفع المساحي الدقيق.

أما في حالة استخدام أجهزة عمليات الرفع المساحي الدقيق للمدين فتستخدم أجهزة دقيقة معدة لهذا الغرض تسمى اجهزة التباين (Differential Receiver) يمكنها التكامل مع بعض الأجهزة المساحية الأخرى مثل جهاز (التوتال ستيشن) بهدف تحديد الاحداثيات وتصحيح القراءات منها.

- **البحرية، والملاحة الجوية والأرضية.**

دخل نظام (GPS) الاستخدام المدني بعدما تعرضت إحدى الطائرات للسقوط والاختفاء في تسعينيات القرن الماضي مما دفع الولايات المتحدة من توفير خدمة خاصة لنظام (GPS) للاستخدام المدني.

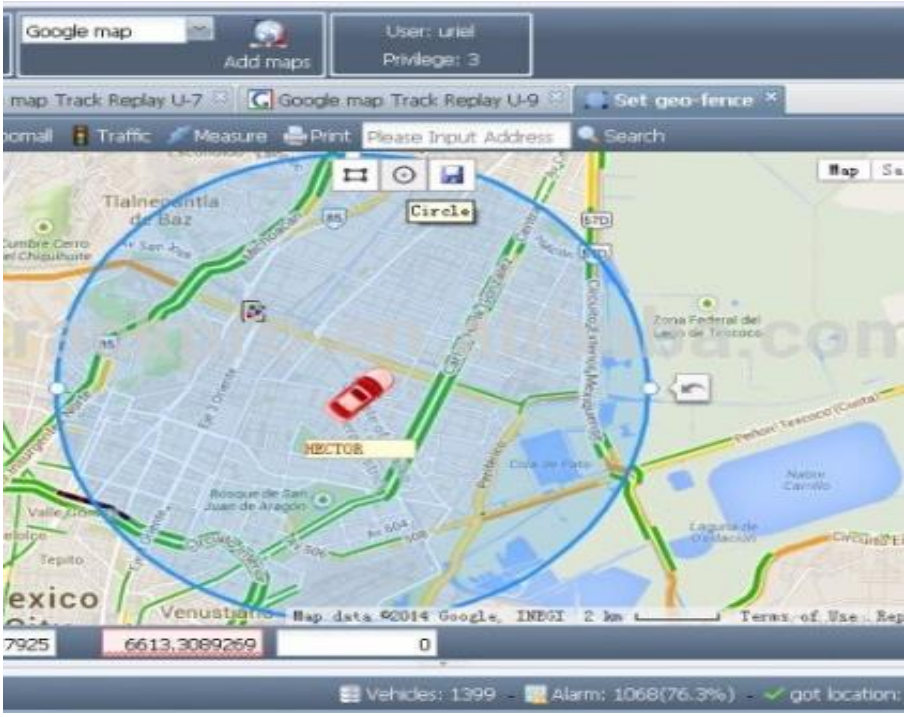
فقد ساعد دخول نظام (GPS) للخدمة المدنية في عمليات تعقب السفن في مياه البحار والمحيطات، ومراقبة حركتها لحظة بلحظة، مما يقلل من أخطار غرق السفن، كذلك في حالة الطائرات فقد أصبح هناك جهاز تعقب داخل كل طائرة يساعد في تحديد موقعها في الجو وحركتها أثناء رحلتها من مطار الإقلاع حتى مطار الوصول.

نظرا لأهمية نظام (GPS) فإن الكثير من الشركات التي تمتلك سفناً في عرض البحر تعتمد على هذا النظام في مراقبة حركة سفنها، خاصة في السفن الكبيرة، وقد وصل الأمر إلى أن يوضع في القوارب الخاصة لتحديد موقعها في البحار والمحيطات.

شكل (١٢) أجهزة تعقب السفن باستخدام نظام (GPS)

كذلك يستخدم نظام (GPS) في تعقب الشاحنات وسيارات الأجرة في كثير من الدول وذلك لضبط حركتها وتحديد الحيز الجغرافي المحدد لها من قبل مالكها مما يساعد في ضبط حركة السيارات وانتظامها في نطاقها الجغرافي وهي خدمات ساعدت على تقدم حركة نقل الشاحنات والسيطرة والتحكم فيها عن بعد وتوجيهها.

كما أن شركات النقل البري وسيارات تاكسي الأجرة والمطاعم تستخدم هذا النظام لتحديد مواقع سياراتها فمثلا شركات السيارات الأجرة في أوروبا تستخدم نظام (GPS) حتى ترسل أقرب سيارة متواجدة بجوار صاحب الطلب وذلك لإنجاز خدماتها مثل شركات اوبر وكريم وغيرها.

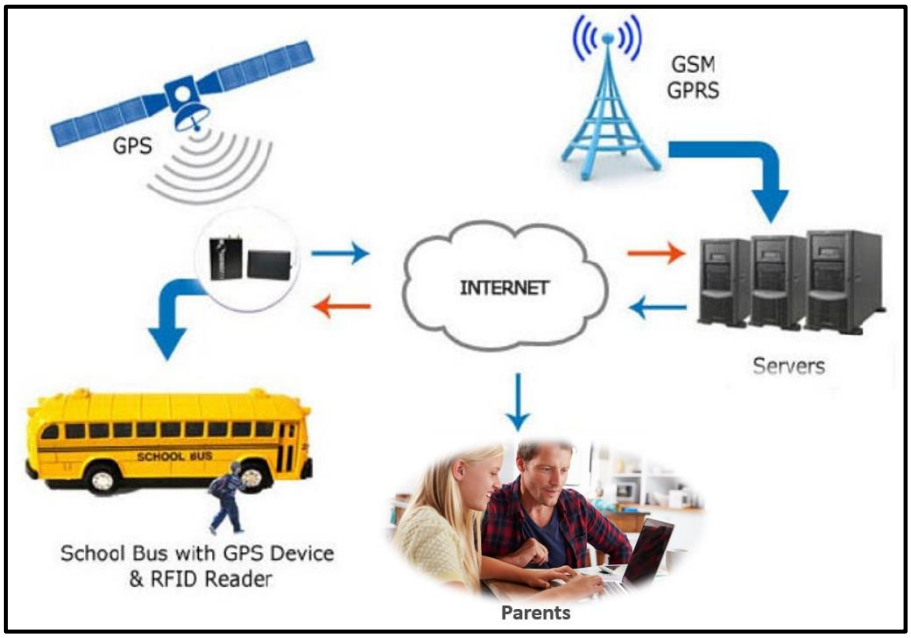


شكل (١٣) نظام تتبع سيارات الأجرة باستخدام نظام (GPS)

- **خدمات المدارس.**

يستخدم نظام (GPS) في تعقب طلاب المدارس عند وضعه في ساعة يد خاصة بالطلاب، وفي تعقب حافلات المدارس في كثير من الدول وذلك لحفظ

الأمن والسلامة للتلاميذ، حيث إن الآباء يمكنهم معرفة أماكن تواجد أبنائهم وحركتهم من الخروج من المدرسة نحو المنزل وفي حالة تأخر الطالب عن مواعيد العودة للمنزل يمكن للآباء تحديد موقع أبنائهم.



شكل (١٤) نظام تتبع حافلات المدارس باستخدام نظام (GPS)

- **إحدى مصادر المعلومات في نظم المعلومات الجغرافية** (GIS).

نظرا لما تتمتع به عمليات الرفع المساحي باستخدام الأجهزة المساحية المتصلة بنظام تحديد المواقع العالمي، أصبح هناك كم ضخم من البيانات الجغرافية التي تدخل في قواعد البيانات الجغرافية مما ساعد في إتمام الدراسات الجغرافية والهندسية بدقة وسرعه عالية.

عند استخدام نظام (GPS) كأداة لتجميع البيانات الجغرافية في نظم المعلومات الجغرافية (GIS) يجب مراعاة الأمور التالية:

- تحديد سطح الإسناد أو المرجع الجيوديسي (geodetic datum).
- التأكيد على نظام الإسقاط (projection) المعتمد لتحويل الإحداثيات الجيوديسية إلى إحداثيات مستوية.

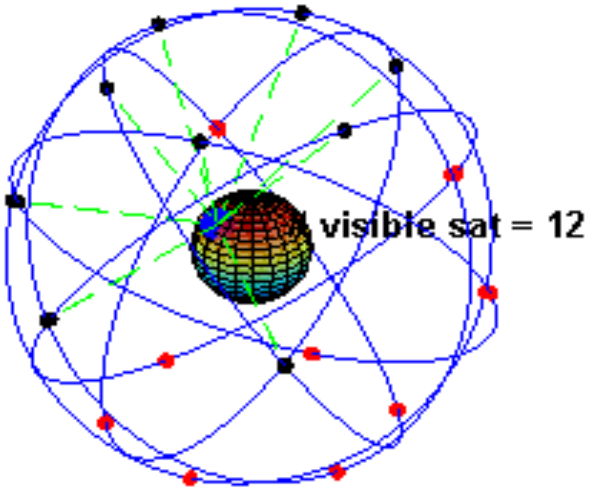
- تحديد وحدات قياس الزوايا والمسافات.
- تحديد نوع جهاز استقبال (GPS) المستخدم في جمع البيانات.
- معالجة البيانات المجمعة وتحويلها إلى نظام الإحداثيات المطلوب.
- اختبار البيانات المجمعة عن طريق رسمها وتصحيحها لتناسب واقعها.
- تحويل ملفات البيانات من صيغة نظام تحديد المواقع العالمي (Gpx) إلى صيغة نظم المعلومات الجغرافية (shp).
- في نهاية تكوين قاعدة البيانات الجغرافية لنظام (GIS).

- **الترفيه والجولات السياحية:**

يحتاج الرحالة ومرتادي الجبال والباحثين الميدانيين إلى نظام يحدد مواقعهم الجغرافية ويحدد وجهاتهم السياحية، وقد أصبح لنظام (GPS) والأجهزة اليدوية المحمولة للمستخدمين أهمية كبيرة خاصة مع تطور الخرائط الورقية وظهور الخرائط الرقمية التي يتم ربطها على الأجهزة المحمولة من خلال أجهزت الخادم، حيث يمكن لأي شخص تحميل برامج رقمية مثل برنامج (Google map) على سبيل المثال وهو برنامج متخصص في عرض الخرائط الرقمية التي تعرض المواقع الجغرافية وتحديد موقع حاملها بدقة خاصة عن اتصاله بنظام تحديد المواقع العالمي (GPS).

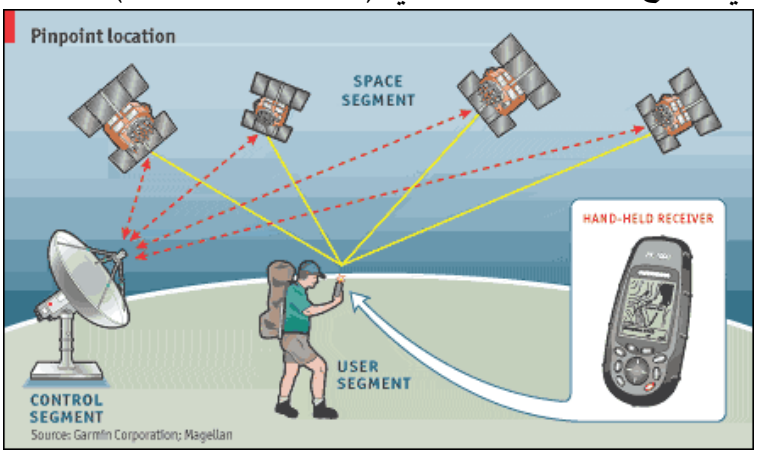
طريقة عمل نظام (GPS):

تتكون منظومة شبكة الأقمار الصناعية الخاصة بأعمال الجيوديسيا وتحديد المواقع العالمية من ٢٤ قمرا صناعياً عاملاً إضافة إلى ٣ أقمار صناعية احتياطية، تدور هذه الأقمار حول الأرض في ٦ مدارات تميل بزاوية قدرها ٥٥ درجة عن خط الاستواء كما هو في نظام تحديد المواقع العالمي الأمريكي (GPS). وكل قمر من هذه الأقمار يدور حول الأرض بمعدل مرتين في اليوم الواحد، وبذلك يمكن لأي راصد على سطح الأرض أن يرى ما لا يقل عن ٤ أقمار في أي وقت، مما يساعد في تحديد موقع الراصد بدقة.



شكل (١٥) شبكة الأقمار الصناعية الجيوديسية وطريقة العمل لتحديد المواقع

يعمل نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) عن طريق مجموعة من الأقمار الصناعية التي ترسل موجات راديو من الفضاء موجهه نحو الأرض تستقبلها أجهزة GPS مخصصة لذلك، حيث تقوم هذه الأجهزة بإرسال نفس الاشارات المستلمة نحو القمر الصناعي مرة أخرى، وذلك لحساب المسافة بين القمر الصناعي وموقع الراصد سواء كان في (البحر، الأرض، الجو).



شكل (١٦) نموج يوضح التكامل بين منظومة تحديد المواقع العالمية

عند استقبال الأقمار الصناعية الجيوديسية للأشعة المرتدة من جهاز الراصد، تقوم بإرسالها مع معلومات عن موقع القمر الصناعي ومداره وزمن

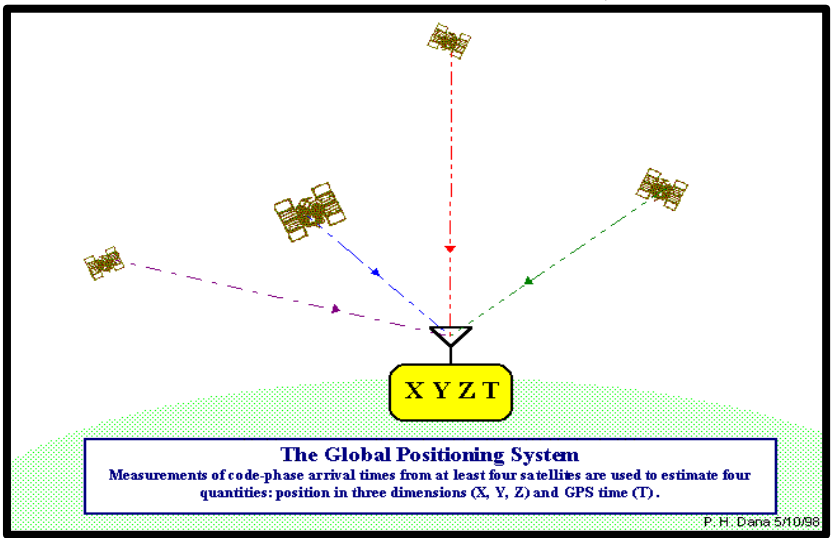
ارسال واستقبال الاشعة إلى المحطات الأرضية، التي تقوم باستلام الاشارت وتحليلها وتحويلها من صورة رقمية مشفرة إلى بيانات مفهومة ترسل مرة أخرى للقمر الصناعي ثم من القمر الصناعي إلي جهاز المستخدم (Handheld GPS) وبالتالي يستطيع المستخدم معرفة موقعه بالنسبة لخطوط الطول ودوائر العرض وارتفاعه عن سطح البحر، وكذلك سرعة الراصد.

يحتاج نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) إلى مجموعة من الأنظمة التي من خلالها يتم الربط بينها بلغة رقمية مشفرة تسمح بإرسال واستقبال إشارات الأقمار الصناعية وأجهزة الاستقبال اليدوية التي ترسل اشارات هي الأخرى إلى المحطات الأرضي فيتم معالجتها وارسالها مرة أخرى إلى كل مستخدم حول العالم في آن واحد مما يمكن كل مستخدم من تحديد موقعه بدقة مع تحديد الوقت والسرعة والارتفاع في زمن قصير جداً.

شكل (١٧) إشارات الأقمار الصناعية

يحتاج مستخدمي أجهزة (GPS) لحساب مواقعهم بدقة إلى استخدام أجهزة مخصصة يمكنها الاتصال بالأقمار الصناعية مباشرة، كذلك تتطلب هذه الأجهزة أن تكون في الفضاء الخارجي وبعيدة عن المؤثرات التي تعيق وصول الاشارات القادمة من الأقمار الصناعية نحو جهاز الاستقبال، ويفضل للحصول على دقة

مكانية عالية لموقع الراصد أن يتاح لجهاز الاستقبال اليدوي رؤية ما لا يقل عن ٤ أقمار صناعية في آن واحد وذلك لضمان عملية التثليث الهندسي لموقع الراصد مع الأقمار التي يستقبل اشاراتها كما يوضحه شكل رقم (١٨).

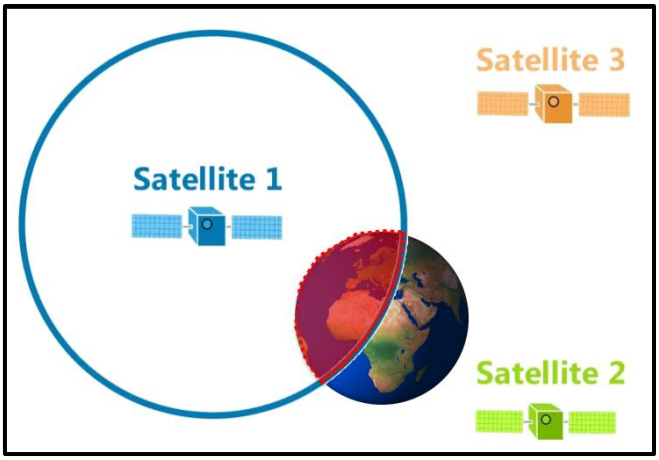


شكل (١٨) الاتصال بين اشارات المركبات الفضائية وجهاز الاستقبال للراصد

الفرضية الأولي (ظهور قمر صناعي واحد):

نفترض أنه يظهر لنا في جهاز الاستقبال إشارة قمر صناعي واحد وأن المسافة بين الراصد والقمر الصناعي هي ١٩٠٠٠ كم، فإنه من المحتمل أن يكون موقع الراصد في أي نقطة للجزء المتقاطع بين الدائرة التي مركزها القمر الصناعي والجزء المتقاطع مع سطح الأرض في موقع الراصد، ولذلك فإن قمراً صناعيا واحداً لا يكفي لتحديد موقع الراصد.

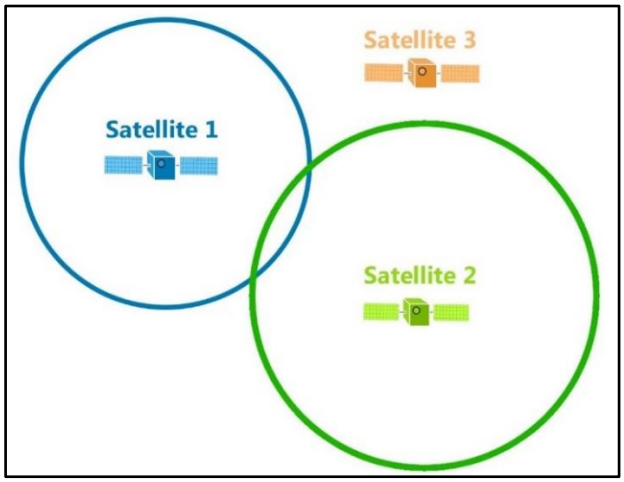
حيث إنه عندما يبث القمر الصناعي الأول إشاراته إلى جهاز الاستقبال اليدوي (GPS)، يتم تحديد المسافة بين الراصد والقمر الصناعي، لكنه لا يمكن التعرف الزاوية بين القمر الصناعي والراصد، لذلك يكون موقعنا المحتمل قد يكون في أي نقطة من الدائرة المشكلة حول القمر الصناعي وجهاز الرصد الأرضي (الجزء المتقاطع مع سطح الأرض) للمستخدم، كما في شكل رقم (١٩).



شكل (١٩) يوضح محاولة التعرف على موقع الراصد من قمر صناعي واحد

الفرضية الثانية (ظهور قمرين صناعيين):

يتضح الافتراض السابق أن قمرا صناعيا واحدا لا يمكن يكفي لتحديد الموقع الجغرافي، لذلك نحتاج إلى اللجوء إلى الافتراض الثاني، وهو ظهور قمر صناعي ثان يقع على مسافة ٢٠٠٠٠ كم من موقع الراصد، حيث إنه يمكن رسم دائرة ثانية مركزها القمر الصناعي الثاني، تتقاطع مع دائرة القمر الصناعي الأول وسطح الأرض، مما يشكل قطع ناقص يكون فيه موقع الراصد نقطة ما من العديد من النقاط، مما يجعل أنه من المستحيل تحديد الموقع بقمرين فقط كما يظهر من شكل (٢٠).



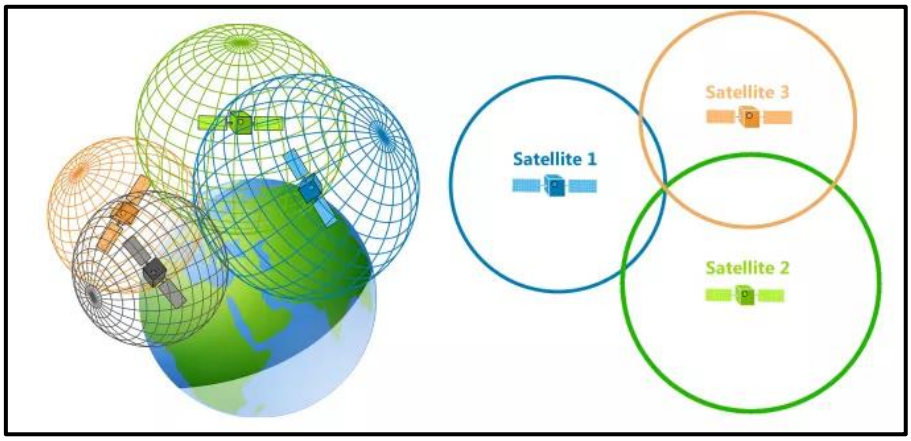
شكل (٢٠) محاولة التعرف على موقع الراصد من قمرين صناعيين فقط

الفرضية الثالثة (ظهور ثلاثة أقمار صناعية):

نظرا لصعوبة التعرف على موقع الراصد من قمر صناعي واحد ومن قمرين صناعيين فإننا بحاجة إلي قمر صناعي ثالث لعمل التثليث (Triangulation) حيث إنه بتقاطع إشارات ثلاثة أقمار صناعية مع سطح الأرض، يمكن معرفة موقع الراصد في مثلث صغير، مما يعطي نقطة هي المكان الموجود فيه جهاز الاستقبال (GPS) وبالتالي يمكن التعرف على موقع الراصد بدقة مقبولة

لذلك نفترض أن المسافة بين القمر الصناعي الثالث والراصد ٢١٠٠٠ كم، سوف يصبح لدينا نقطتان هما: (A) و (B) جراء تقاطع الدوائر الثلاث للأقمار الصناعية الثلاثة، لكن النقطتين بعيدتان (A, B) عن بعضهما بعداً شاسعاً، كما يظهر من شكل (٢١).

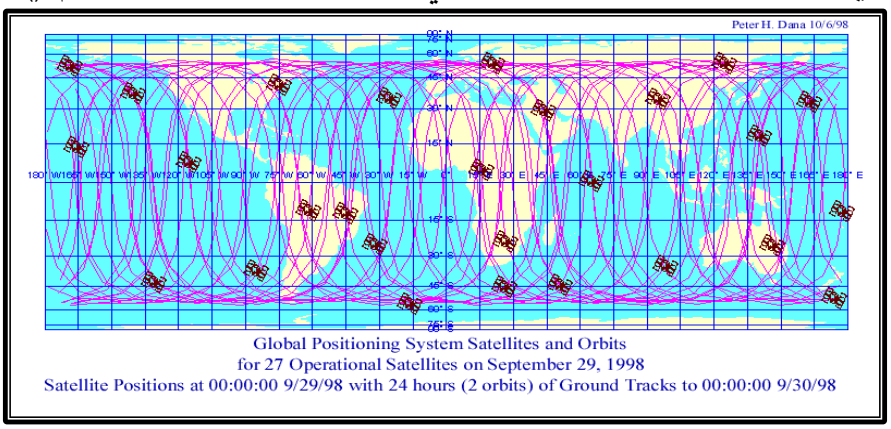
نظرًا لأن لدينا قمرًا صناعيًا ثالثًا، يمكن الكشف عن موقعك الحقيقي حيث تتقاطع الدوائر الثلاث في النقطة (C) وباستخدام ثلاث مسافات، يمكن أن يحدد ثلاثي الأضلاع موقعًا دقيقًا. يقع كل قمر صناعي في مركز الكرة وحيث تتقاطع جميعها هو موقع المستقبل اليدوي (GPS).



شكل (٢١) يوضح محاولة التعرف على موقع الراصد بمعلومية المسافة بين ثلاثة أقمار صناعية

يوضح شكل رقم (٢٢) الأقمار الصناعية الخاصة بنظام تحديد المواقع العالمية GPS وطرق دورانها حول الأرض، حيث يختلف مدار كل قمر منها

حول الأرض فمنها ما هو عمودي على باتجاه شمال شرقي، والآخر شمال غربي وهي تدور في مدارات مائلة عن خط الاستواء بمقدار ٥٥ درجة؛ مما يساعد في تحديد أي موقع على سطح الأرض ويعطي لكل مستخدم امكانية رؤية ما لا يقل عن ٤ أقمار صناعية في آن واحد كما يوضحه شكل رقم ().



شكل (٢٢) نموذج يوضح مدارات الاقمار الصناعية في الفضاء وتغطية اشاراتها لسطح الأرض

* * *

الفصل الثاني

مكونات نظام تحديد المواقع العالمي

- **الجزء الفضائي**
- **الجزء الأرضي**
- **جزء المستخدم**
  - أنواع أجهزة (GPS)

مقدمة

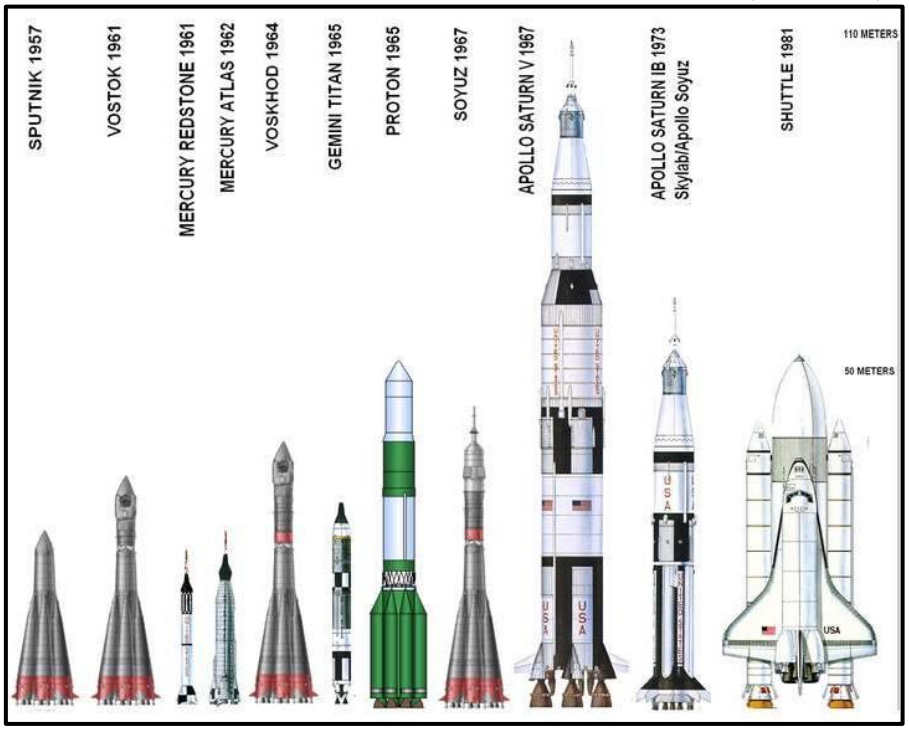
كل نظام وله مكوناته الخاصة التي إذا غاب عنها مكون توقفت المنظومة وأصبح بها خلل، فلا يمكن لمكون واحد أن يعمل بمفرده، بل يحتاج لمكونات أخرى تدعمه للوصول إلى الغاية المرجوة منه، فنظم المعلومات الجغرافية على سبيل المثال لها مكوناتها التي تتكامل من خلالها لتأدية مهامها المطلوبة منها مثل (أجهزة الكمبيوتر والبرامج وغيرها).

كما يتكون نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) الأمريكي من 24 قمراً صناعياً تدور حول الأرض في ٦ مدارات دائرية، بزاوية ميل ٥٥ درجة عن خط الاستواء، وتدور في الفضاء الخارجي على ارتفاع يصل إلى ٢٠٢٠٠٠ كم، ويدور في كل مدار أربعة أقمار صناعية، لضمان تغطية جميع الأراضي على سطح الكرة الأرضية بما فيها مناطق القطبين (الشمالي والجنوبي) وتعمل هذه الأقمار بالطاقة الشمسية من خلال ألواح مصنوعة من خلايا لتوليد الطاقة من أشعة الشمس.

كذلك يوجد في كل قمرا صناعيا أربع ساعات ذرية تعطي زمناً بالغ الدقة بأجزاء من المليون من الثانية، حيث إن عملية حساب المسافة بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال اليدوي (Handheld GPS) تحتاج لساعة ذرية يمكن منها حساب زمن انطلاق اشعة الراديو من القمر الصناعي نحو جهاز الاستقبال اليدوي، مما يساعد في تحديد المسافة بين كل قمر صناعي وجهاز الاستقبال اليدوي، مما ينتج عنه تحديد المكان بدقة.

تحتاج الأقمار الصناعية لمنظومة (GPS) إلى صواريخ ضخمة لنقل القمر الصناعي من الأرض إلى الغلاف الجوي، وبعد إطلاق القمر الصناعي في الفضاء يتم التحكم به من خلال المحطات الأرضية التابع لها منظومة (GPS) ففي النظام الأمريكي (NAVSTAR) يتم التحكم به من خلال محطة التحكم الرئيسية في قاعدة الصقر الجوية بولاية كلورادو وتتم مراقبة الأقمار عن طريق خمس محطات حول العالم هي (كلورادو، هاواي، جزيرة الاسراء في المحيط

الأطلنطي، جزيرة دييجو جارسيا في المحيط الهندي، جزيرة كواجالين جنوب المحيط الهادي) وتقوم هذه المحطات بتجميع عن مدارات الأقمار والساعات الذرية ويتم ارسالها إلي محطة التحكم والتي بدورها ترسلها إلي الأقمار لإرسالها إلي مستخدمي GPS.

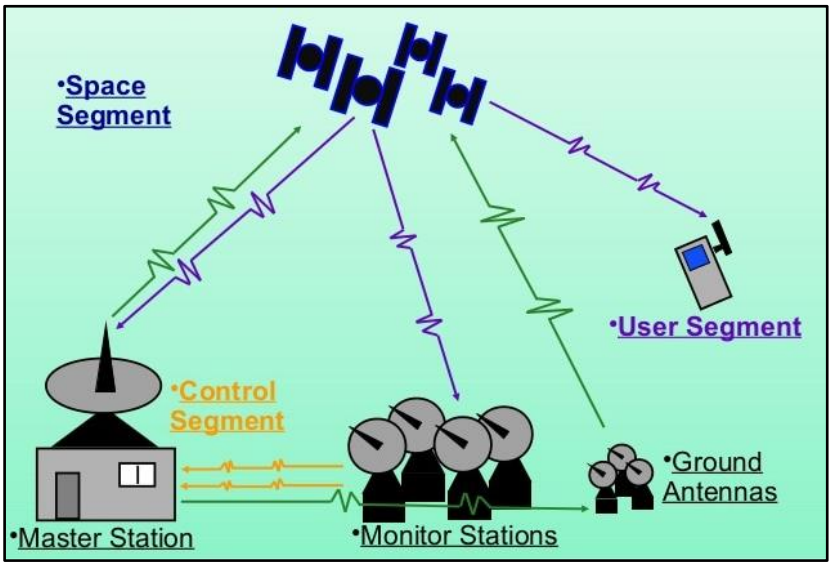


شكل (٢٣) نماذج لأنواع الصواريخ حاملة الأقمار الصناعية

يتكون نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) من ثلاث مكونات رئيسية هي: (الأقمار الصناعية (Satellites)، المحطات الأرضية (Ground control)، جهاز الاستقبال اليدوي (GPS Receiver) وتتوقف عملية تحديد المواقع لأي مكان على سطح الكرة الأرضية على مجموعة من الثوابت العلمية التي تسير بمراحل متتالية يمكن عرضها كما في النقاط الآتية: –

- قياس المسافة بين الاشارات (Measurements of distance)
- حساب الوقت وزمن الاشارات (Precision timing)
- تحديد موقع القمر الصناعي (Satellite location)

- تحديد مصدر الخطأ (Sources of error)
- جهاز الاستقبال (GPS Receiver)
- المستخدم (Users).



شكل (٢٤) يوضح مكونات منظومة تحديد المواقع العالمية

وبناء على هذه المراحل السابقة يتضح أن لكل قمر صناعي من منظومة أقمار (GPS) مدار ثابت يدور فيه ومحدد بالنسبة لشبكة الاحداثيات الجغرافية، وبالتالي كل قمر صناعي يدور في الفضاء معلوم الاحداثيات.

تقاس المسافة بين الأقمار الصناعية وبعضها وبينها وبين الراصد على الأرض من خلال معلومية زمن انطلاق ووصول الأشعة من كل قمر صناعي إلى جهاز الاستقبال اليدوي على الأرض لدى المستخدم، ويتم ذلك بضرب الزمن المستغرق من لحظة الانطلاق من القمر الصناعي نحو جهاز الاستقبال اليدوي على الأرضي في سرعة الضوء، ومن هنا يمكن معرفة المسافة الفعلية بين كل قمر صناعي يراه جهاز الاستقبال اليدوي وبالتالي يسهل عمل مثلثات توضح موقع الراصد على الأرض بدقة عالية.

بدأ استخدام نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) في منتصف ثمانينات القرن الماضي، وهو نظام تم تطويره من قبل وزارة الدفاع الأمريكية (USDD) United States Department of Defense وهو نظام يتكون من ثلاثة أجزاء رئيسية:

١- قسم الفضاء space segment وهو الأقمار الصناعية.

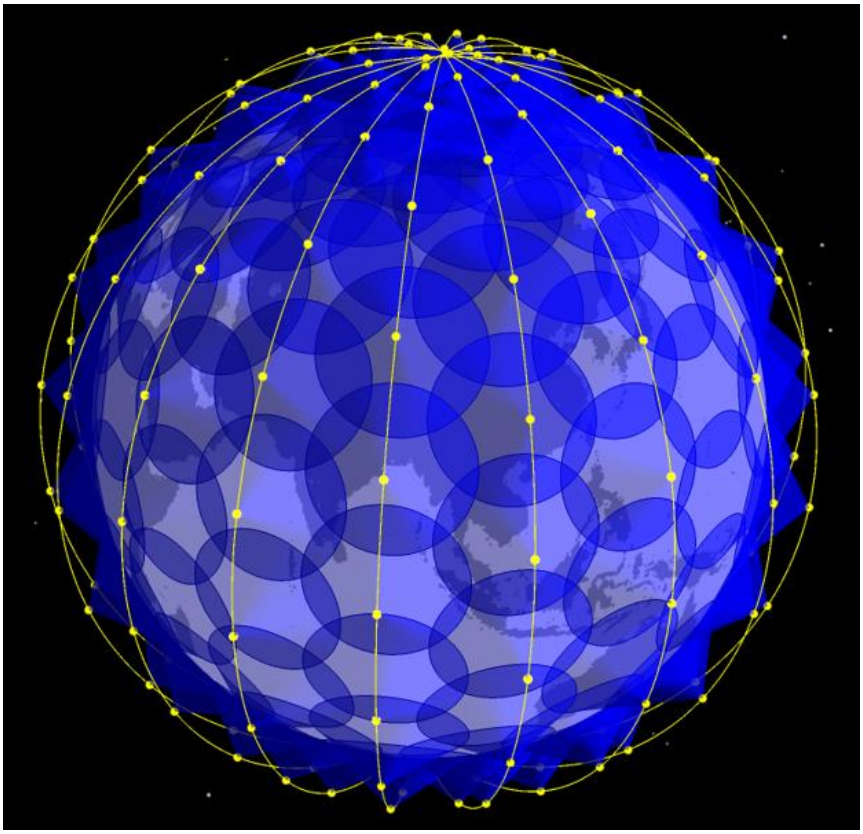
٢- قسم التحكم control segment وهو المحطات الأرضية.

٣- قسم المستخدم user segment وهو المستقبل receiver.

أولاً: الجزء الفضائي: -

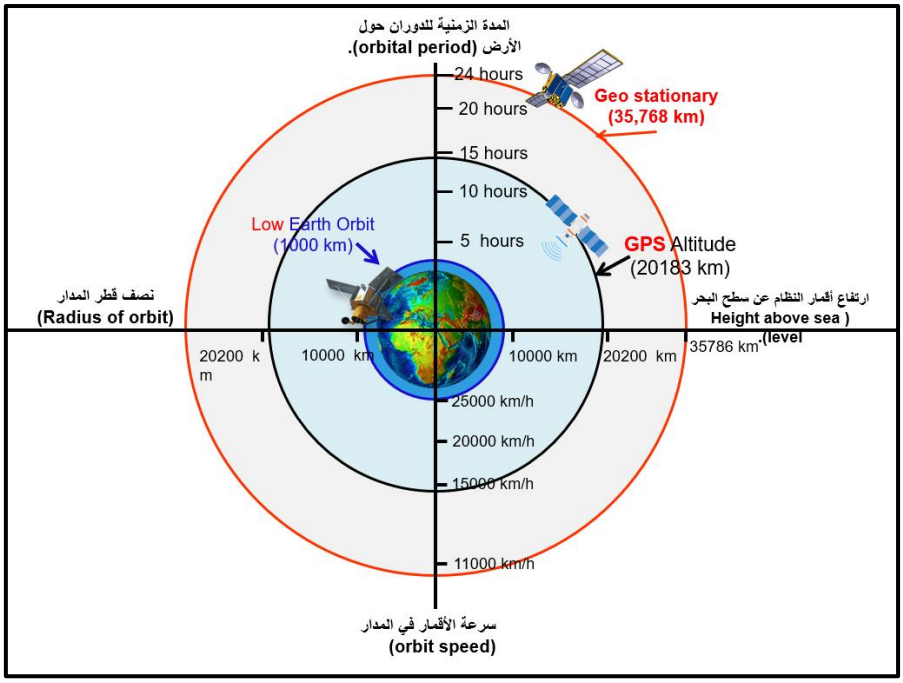
يتكون قسم الفضاء (space segment) في منظومة تحديد المواقع العالمية التي تمتلكها الولايات المتحدة الأمريكية والتي تسمى (NAVSTAR) من ٢٤ قمرا صناعيا، يستخدم منهم ٢٤ قمراً، و ٣ أقمار احتياطيين، غير أنه بعد تجديد المنظومة وتغذيتها بأقمار صناعية جديدة بلغ عدد أقمار المنظومة ٣١ قمرا صناعياً.

تدور الأقمار الصناعية في منظومة (NAVSTAR) الأمريكية حول الأرض في ٦ مدارات رئيسية، ويدور في كل مدار ٤ أقمار صناعية على الأقل، بزاوية ميل تقدر بـ ٥٥ درجة بالنسبة لدائرة خط الاستواء، وقد رتبت هذه المدارات بحيث يمكن مشاهدة ٤ أقمار صناعية على الأقل في آن واحد في أي وقت ومن أي نقطة على سطح الأرض؛ على جهاز الاستقبال، حيث يمكن للمستخدم مشاهدة عدد من الأقمار يتراوح عددها ما بين ستة إلى عشرة أقمار طوال اليوم كما يوضحه شكل (٢٣).



شكل (٢٥) نموذج يوضح تغطية الكرة الأرضية بإشارات نظام أقمار (GPS)

يدور كل قمر صناعي في نظام (GPS) دورة كاملة حول الأرض كل (١٢) ساعة، وتقع هذه الأقمار على ارتفاع يبلغ ٢٠٢٠٠ كيلو متر، وتبلغ سرعة القمر الصناعي أثناء دورانه (٤) كيلو متر في الثانية، مما يعطي تغطية كاملة لأي جزء على سطح الأرض على مدار (٢٤) ساعة في جميع أنحاء العالم (صباح حسين علي)، حيث أنه يمكن تحديد المواقع الجغرافية لأي مكان على سطح الأرض ليس فيه عوائق على سطح الأرض.



شكل (٢٦) ارتفاعات الأقمار الصناعية لرصد المواقع الجغرافية وسرعتها

تعتمد الأقمار الصناعية على الطاقة الشمسية كمصدر أساسي للطاقة لتشغيل الأجهزة والمعدات بداخلها، كما أنها مزودة ببطاريات قابلة للشحن من أجل ضمان استمرار عملها في حالة انعدام الطاقة الشمسية، ويوجد على كل قمر محرك دفع (صاروخ صغير) من أجل أن يسيّر القمر في طريقة الصحيح في حالة تغير مساره على مدار الزمن.

تحتوي الأقمار الصناعية لتحديد المواقع الجغرافية على ٤ ساعات ذرية ترصد موقع القمر الصناعي في أوقات مختلفة، كما أن الأقمار ترسل إشارات للأرض بشكل مستمر وتحتوي هذه الإشارات على وقت إرسال الإشارة وموقع القمر الصناعي ويتم تحديد الموقع الجغرافي من حيث محور س ومحور ص والارتفاع مستخدمين في ذلك (WGS84) مع ملاحظة أن هناك دوما ٤ أقمار صناعية مرئية.

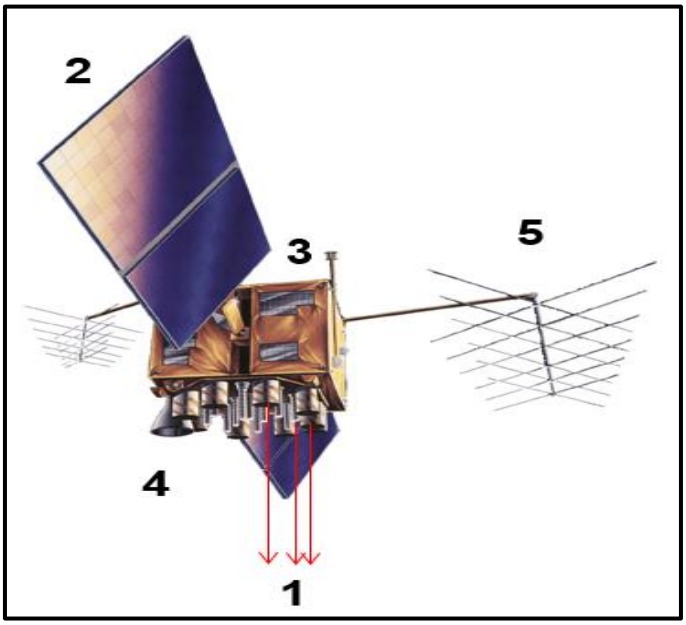
تعمل أنظمة تحديد المواقع من خلال الاشارات الرقمية المشفرة التي يتم معالجتها في المحطات الأرضية لكل تترجم على أجهزة الاستقبال اليدوية في

شكل معلومات واحداثيات وغيرها، مما يمكن المستخدم من معرفة موقعه وحساب سرعته أثناء الحركة وكذلك حساب ومعرفة الوقت.

تُرسل الأقمار إشاراتها على ترددين من النطاق الترددي (L)، حددهما الاتحاد الدولي للاتصالات International Telecommunications Union وهما: التردد الأول L1: 1575.42 ميجا هرتز. والتردد الثاني : L2 1227.6 ميجا هرتز.

يتكون أي قمر صناعي في النظام الملاحي لتحديد المواقع من مجموعة أساسية من العناصر لضمان ارسال واستقبال ومعالجة البيانات لعل أهمها:

١. الاشارات (Signal).
٢. الأجنحة والألواح الشمسية (Solar Panels).
٣. الساعة الذرية (Atomic Clock).
٤. جهاز توليد ذبذبات (Plus) اشارات الراديو.
٥. جهاز استقبال ترددات (Echo) اشارات الراديو وارسالها لمحطات المراقبة والتحكم (Ground Station).



شكل (٢٧) المكونات الرئيسية لأقمار نظام (GPS)

شكل (٢٨) الساعة الخاصة بنظام (GPS)

يوجد العديد من أنظمة الفضائية لتحديد المواقع التي يعتمد عليها في تحديد موقع أي مكان على سطح الأرض، وهي أنظمة تختلف في مكونتها وعدد أقمارها ونظام الارسال والاستقبال من نظام لأخر لعل أهما نظام (NAVSTAR) الأمريكي المشهور باسم (GPS) وهناك النظام الروسي المسمى غلوناس (Glonass)، وهناك النظام الأوربي المسمى جاليليو (Galilio)، وقد طورت الصين نظام خاص بها لتحديد المواقع يمسي (Compass) ويطلق عليه أحيانا مسمى (Beidou) وهو نظام يعطي دقة عالية للصين وجنوب شرق آسيا.

ثانياً: الجزء الأرضي

يطلق على الجزء الأرضي بقسم التحكم (Control Segment) وهو عبارة عن المحطات الأرضية التي المسؤولة عن التحكم في الأقمار الصناعية ونظام تشغيلها واصلاح اخطائها، حيث تتكون المحطات الأرضية من أجهزة استقبال ضخمة لاستقبال اشارات الأقمار الصناعية والاتصال بها.

تفيد المحطات الأرضية في مراقبة وإدارة نظام الملاحة لتحديد المواقع كما انها تعمل على معالجة الأخطاء المختلفة التي تحدث للبيانات وهي المسؤولة عن تحويل البيانات من صيغة شفرات رقيمة غير مفهومة إلي معلومات تفيد المستخدم كمعلومات عن الموقع في صورة إحداثيات (X, Y) ومعلومات عن الوقت (T) والارتفاع (Z) وغيرها من المعلومات الأخرى التي يحتاجها المستخدم.

يتم التحكم في الأقمار الصناعية في نظام (NAVESTAR) الأمريكي عن طريق ٥ محطات أرضية موزعة حول خط الاستواء والمحطة الرئيسية تقع في كلورادو سبرنجس والهدف من هذه المحطات الأرضية هو مراقبة وتصحيح موقع الأقمار الصناعية (عند حدوث أي خطأ) كما أن المحطات الأرضية هي المسؤولة عن ضبط وتحديث الساعة الذرية على متن الأقمار الصناعية (والتي لابد أن تكون صحيحة ومتزامنة لكل الأقمار) وكذلك إرسال البيانات.

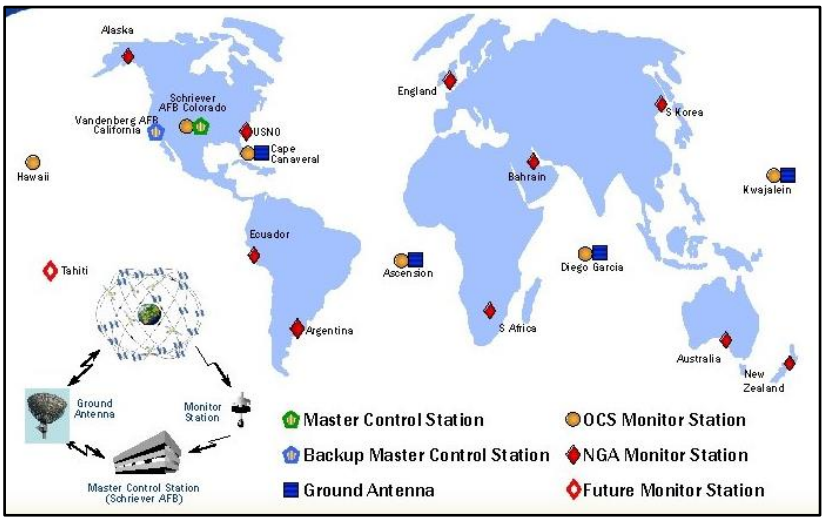
شكل (٢٩) محطات التحكم الأرضية في نظام (GPS)

تقع محطة التحكم الأرضية الرئيسية في قاعدة شريفر الجوية (Schriever) في ولاية كولورادو. إضافة إلى خمس محطات فرعية تقوم بمراقبة ومعالجة الإشارات القادمة من المركبات الفضائية SVs الخاصة بنظام GPS. كما أنها تحتوي على نظام برمجي يعطي معلومات عن موقع كل قمر صناعي في مداره لحظة بلحظة لتسهيل عملية حساب التثليث. ويمكن توضيح أقسام قسم السيطرة والتحكم: كما يلي: –

- محطة التحكم الرئيسية
- خمس محطات الرصد والمراقبة.
- ثلاث هوائيات أرضية (أطباق ارسال واستقبال للبيانات بين القمر الصناعي والمحطة الأرضية)

ومن أهم محطات المراقبة والمتابعة:

- محطة ينابيع كولورادو.
- محطة هاواي.
- محطة اسنشيوي.
- محطة دياغوفارسيا.
- محطة كواجالين.



شكل (٣٠) التوزيع الجغرافي للمحطات الأرضية لاستقبال اشارات أقمار (GPS)

كما يتكون الجزء الأرضي لنظام تحديد المواقع من نظام نسخ احتياطي للنظام، كما تقوم محطة التحكم الرئيسية بحساب بيانات المدارات بين الأقمار الصناعية عن طريق مجموعة من النماذج الرياضية الدقيقة أو ما يسمى (بالتقويم الفلكي)، حيث يتم تصحيح الساعات الذرية لكل قمر صناعي باستمرار على مدار الساعة.

شكل (٣١) نماذج لهوائيات استقبال إشارات نظام (GPS)

بالإضافة إلى ما سبق فإن جزء التحكم والسيطرة (Control Segment) يقوم بالكشف عن مدى صلاحية إشارة الأقمار الصناعية والاتصال بها عن بعد وتتبُّع مساراتها وحساب مواقعها وتصحيح الساعات المحملة عليها والتحكم فيها كما سبق الذكر.

تعمل أنظمة ونقاط التحكم الأرضي الفرعية على تتبُّع إشارات كل الأقمار الصناعية المتاحة في مجال رؤيتها كل ١.٥ ثانية، باستخدام بيانات طبقة الأيونوسفير الجوية المتأينة وبيانات الأرصاد الجوية التي تجمع كل خمس عشرة دقيقة، ونقلها إلى محطة التحكم الأرضية الرئيسية عبر وصلات اتصال أرضية.

وتقوم محطة التحكم الأرضية الرئيسية بالكثير من المهام المهمة منها:

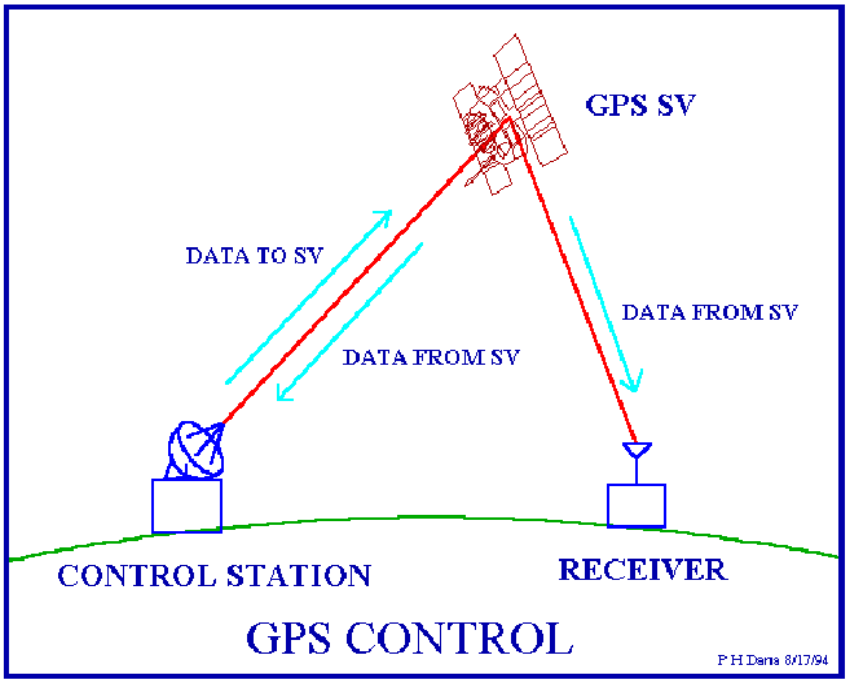
١- تجميع البيانات التي ترسل إليها من محطات التتبُّع الأرضية.

٢- رصد حركة الأقمار، وتحديد مدار كل قمر (أي حساب إحداثيات موضعه) وحساب بيانات مداره ثم إرسالها إلى كل قمر على حدة.

٣- الوقوف على حالة ساعات كل الأقمار الصناعية وتوقع أدائها ومعرفة مقدار انحرافها عن الوقت الصحيح.

٤- تصحيح الخطأ والانحراف في ساعات الأقمار الصناعية.

• تقوم محطات الاتصال الأرضية بإرسال واستقبال البيانات من وإلى الأقمار الصناعية باستخدام ترددات (S-band) فتقوم الأقمار الصناعية بتحديث مواضعها في مدارها وضبط ساعاتها، ثم ترسل هذه البيانات في إشاراتها إلى المستخدم من خلال ترددات (L-band).



شكل (٣٢) الاتصال بين المحطات الأرضية والأقمار الصناعية

ثالثاً: جزء المستخدم (user segment):

يتكون قسم المستخدم (user segment) من مستقبل واحد أو أكثر من مستقبلات لنظام (GPS) وهي أجزاء مصنوعة خصيصا لديها إمكانية استقبال البيانات من عدة أقمار صناعية في نفس الوقت ومن المعلوم أن المستقبل مزود بساعة ولديه القدرة على القيام بعمليات حسابية لتحديد موقعه على الأرض ويلاحظ أن المستقبل لا يزيد حجمه عن حجم التليفون المحمول من الطراز القديم (الكبير الحجم).

يتكون جزء المستخدم (GPS Receiver) من هوائيات (أقران استشعار) لاستلام ومعالجة الاشارات القادمة من أقمار (GPS) وتحويلها من أشكالها المشفرة إلى معلومات عن خطوط الطول ودوائر العرض والارتفاع.

يمكن وضع أجهزة الاستقبال واستخدامها في أماكن كثيرة فتوجد على الطائرات أو الشاحنات أو السفن أو يحملها الاشخاص في أعمالهم الميدانية ومن مهام جهاز الاستقبال:

- ☜ استلام وتحليل وإعادة إرسال إشارات أقمار نظام (GPS).
- ☜ تحويل البيانات المشفرة إلى معلومات يقرأها الاشخاص.
- ☜ تحديد موقع الراصد وارتفاعه.
- ☜ قياس وتعقب المواقع.
- ☜ عرض السرعة.

ويتكون جزء المستخدمين من جهاز يسمى جهاز (GPS) ومهمة هذا الجهاز استقبال الإشارة من مجموعة الأقمار الصناعية، وأشهر أنواع الأجهزة المستخدمة على نطاق واسع:

- جهاز المجلان (MAGELLAN) أمريكي الصنع.
- جهاز الجار من (GARMIN) ألماني الصنع.

شكل (٣٣) نماذج لأجهزة الاستقبال اليدوية (handheld GPS)

وتبث الأقمار الصناعية الخاصة بنظام رصد المواقع الجغرافية نوعين من الإشارات المنخفضة كما سبق الذكر هما:

(1) L1=1575.42MHz
(2) L2=1227.6MHz

حيث إن كل قمر من أقمار نظام رصد المواقع العالمي يبث نفس الترددات أعلاه، ولكن بتشفيرات مختلفة (different ranging codes) عن تلك المستخدمة في الأقمار الأخرى، وبالتالي فإن هذه المنظومة من الأقمار تبث البيانات الملاحية باستخدام ترددين وباستخدام تقنية تسمى:

Code Division Multiple Access (CDMA)

إن البيانات الملاحية (Navigation Data) تعطي جهاز الاستقبال اليدوي (GPS receiver) معلومات لتحديد موقع القمر لحظة إرسال الإشارة، بينما تشفيرة المدى (Ranging Code) تمكن مستخدم الجهاز من تحديد زمن انتقال الإشارة (propagation) وبالتالي تحديد المدى بين القمر والمستخدم. لذلك فإن هذه التقنية تحتم أن يحتوي الجهاز على ساعة تتوافق مع ساعة القمر.

يتكون الجزء المستقبل جهاز GPS اليدوي من مجموعة من الدوائر الاليكترونية والميكروبريسسيور (Micro processor) حيث يتم تحديد الدقة بطريقتين الأولى وهي ما يعوف بإزاحة دوبلر (Doppler Shift) للموجات الكهرومغناطيسية المستقبلة من القمر الصناعي، وهذه الإزاحة تنجم عن السرعة النسبية بين الأرض والأقمار الصناعية، أما الطريقة الثانية لتحديد الموقع تعتمد علي قياس التأخير الزمني بين الموجات الكهرومغناطيسية المستقبلة من الأقمار الصناعية.

أنواع أجهزة تحديد المواقع:

تختلف أجهزة الاستقبال لنظام (GPS) حسب التطبيقات المستخدمة فيها، ودرجات الدقة المطلوبة في كل مشروع، حيث أن هناك أجهزة (GPS) تستخدم في العمل الميداني للرحالة يتم حملها باليد، تتراوح دقتها المكانية بين ٣٠ إلي

١٠٠ مترا، وهناك أنواع أخرى من أجهزة الاستقبال الحديثة التي تعرف بالمميزة (Differential GPS) التي تعطي درجة عالية في حالة استخدمها للملاحة لتتراوح من متر واحد إلي خمسة أمتار، وتصل في أجهزة تخطيط ورسم الخرائط إلي أقل من المتر الواحد، بينهما في أجهزة المساحة تصل الدقة إلي مليمترات (عبداللاه، .....، ص ٢٢٦).

يتكون جزء المستخدمين من جهاز يسمى جهاز (GPS) ومهمة هذا الجهاز استقبال الإشارة من مجموعة الأقمار الصناعية، وأشهر أنواع الأجهزة المستخدمة على نطاق واسع: جهاز المجلان (MAGELLAN) وهو جهاز أمريكي الصنع، وهناك جهاز جارمن (GARMIN) ألماني الصنع، وأيضاً جهاز (Trimple) وهو أحد أجهزة الموبايل المتعددة التي تحمل أنظمة التشغيل (Windows, Android.

يوجد عدد كبير من أنواع الأجهزة التي تستقبل إشارات الأقمار الصناعية لنظام تحديد المواقع العالمي، وتختلف أحجامها ودقتها بحسب مجال استخدامها، أما بالنسبة للأجهزة التي يستخدمها الأشخاص العاديون فهي غالباً أجهزة صغيرة بحجم قبضة اليد، كما أن أسعارها مقبولة تبدأ من حوالي ١٠٠ دولار أمريكي. ومن الشركات المعروفة في هذا المجال شركتي "جارمن" (Gamin) و"ماجلان" (Magellan).

يمكن وصل معظم أجهزة الاستقبال اليدوية لنظام (GPS) بأجهزة الكمبيوتر لنقل البيانات الخاصة بالمواقع والمسارات التي تم أخذها والمخزنة من وإلى جهاز الاستقبال اليدوي (Handheld GPS)، وكذلك لاستخدامه في الملاحة، وتحتوي بعض الأجهزة على شاشة كبيرة نسبياً وملونة، وبعضها شاشة صغيرة وغير ملونة تشبه شاشة أجهزة الهاتف المحمول القديمة، ويوجد على بعض الأجهزة خرائط رقمية يمكن من خلالها تحديد موقع الراصد وحركته أثناء العمل الميداني.

يقوم جهاز نظام تحديد المواقع العالمي الشخصي بعرض معلومات عن الإحداثيات الحالية والسرعة والمسافة المقطوعة وبوصلة الاتجاه والوقت، إضافة إلى مواعيد شروق وغروب الشمس والقمر والمسافة والوقت اللازمين لبلوغ موقع معين إضافة إلى معلومات مفيدة عديدة. حيث يعرض شكل (٣٤) نموذج لجهاز الاستقبال اليدوي (GPS) لأعمال المساحة الأرضية الدقيقة، بنظام تحديد المواقع العالمي، ويعد هذا الجهاز من تصنيع شركة (Trimble) وهو يعمل بنظام (RTK) اصدار رقم (RTK GNSS R8).

شكل (٣٤) يوضع بعض أنواع أجهزة الاستقبال اليدوي لنظام (GPS)

كذلك تختلف أحجام أجهزة تحديد المواقع التي توجد مع المستخدمين، فهناك أجهزة تتكون من مستقبل (GPS) واحد وأخرى تتكون من أكثر من مستقبل وبالتالي يمكن استقبال اشرات الأقمار الصناعية من أكثر من منظومة في الأقمار الصناعية التي لديها إمكانية استقبال البيانات من عدة أقمار صناعية

في نفس الوقت ومن المعلوم أن المستقبل مزود بساعة دقيقة ولديه القدرة على القيام بعمليات حسابية لتحديد موقعه على الأرض ويلاحظ أن المستقبل لا يزيد حجمه عن حجم التليفون المحمول من الطراز القديم (الكبير الحجم) وقد وصل حجمه في السنوات الأخيرة إلي أصغر من ذلك.

كيفية عمل منظومة (GPS):

تعمل منظومة (GPS) من خلال نظام إشارات الراديو المرسلة والمستقبلة بين الأقمار الصناعية في الفضاء والأجهزة اليدوية للمستخدمين على سطح الأرض، حيث يعتمد المستقبل اليدوي لإشارات جهاز (GPS) على أمواج الراديو، والتي هي عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية تنتشر بسرعة الضوء، وبالتالي فإن عملية حساب المسافة بين الراصد والأقمار الاصطناعية تعتمد على حساب المدة التي استغرقتها هذه الأمواج لتقطع هذه المسافة.

كل قمر من مجموعة أقمار نظام (GPS) المكون من ٢٤ قمرا صناعياً يرسل باستمرار إشارة كهرومغناطيسية على نفس التردد، محملة على موجة ترددها (MHz١٥٧٥)، وكل قمر صناعي له شفرة معينة (Code) خاصة به ترسل مع الإشارة الحاملة، وبالتالي يمكن لأي قمر صناعي يلتقط هذه الشفرة أن يحدد مكان وزمان تواجد هذا القمر.

أما المستقبل فهو جهاز في حجم راديو صغير يحتوي على دوائر إلكترونية معقدة يتحكم بها ميكروبروسسر (Microprocessor) متطور، حيث يقوم هذا المستقبل بتحديد الموقع باستخدام طريقتين مختلفتين الأولى تعتمد على إزاحة دوبلر (Doppler Shift) للإشارات الكهرومغناطيسية المرسلة من الأقمار الصناعية، وهذه الإزاحة تكون ناتجة عن السرعة النسبية بين الأرض والأقمار الصناعية.

يحتاج جهاز الاستقبال (GPS receiver) الذي يوجد مع المستخدمين (Users) إلى الإجابة عن سؤالين أساسيين ومهمين لإتمام عملية تحديد موقع الراصد بدقة وهما:

- أين مواقع الأقمار الصناعية التي تظهر له على شاشة جهاز الاستقبال ومواقعها بالنسبة للمدارات المحددة؟ (وهنا يُحدد الموقع)
- كم تبعد الأقمار الصناعية التي ظهرت على شاشة جهاز الاستقبال عن الجهاز؟ (وهنا تُحدد المسافة)

وللإجابة على **السؤال الأول** يقوم الجهاز بالتقاط معلومات من الأقمار الصناعية تتضمن مواقع تلك الأقمار التقريبية، وهذه المعلومات ترسل باستمرار ويقوم الجهاز بتخزينها في ذاكرته من أجل معرفة مدار كل قمر، وأين يجب أن يكون، وهذا النوع من المعلومات يحدث باستمرار من قبل المحطات الأرضية التي تحدثنا عنها سابقاً (الجزء الأرضي)، فهي تزود القمر بموقعه الصحيح ومساره، والقمر بدوره أن يرسل هذه المعلومات إلى جهاز الاستقبال الذي يوجد مع كل مستخدم. (إذن من خلال استلام المعلومات يحدد الجهاز مواقع الأقمار طوال الوقت).

أما إجابة **السؤال الثاني** والذي يختص بالمسافة؛ فإن الجهاز بعد تحديد مواقع الأقمار في الفضاء لا يزال يحتاج أن يعرف كم تبعد عنه هذه الأقمار (المسافة) ويستطيع عمل ذلك عن طريق معرفة الوقت الذي استغرقته الإشارة للوصول، وهذا يتم تحديده بمعرفة وقت انطلاق الإشارة من القمر ووقت استلامها وفارق الوقت بينهما هو الوقت الذي استغرقته الإشارة في الفضاء من أجل الوصول إلى الجهاز، (علماً بأن الأقمار الصناعية مزودة بساعة ذرية تعطيه التوقيت بدقة عالية جداً).

على سبيل المثال: كأن القمر يقول للجهاز إن هذه الإشارة انطلقت في الساعة (١٠:٠١) والجهاز ينظر إلى ساعته متى تسلم هذه الإشارة، وقد حدد الزمن الذي أخذته الإشارة للوصول فإن القاعدة تقول:

الزمن × السرعة = المسافة

بعد ذلك يكون قد تم تحديد أهم عنصرين في عملية تحديد موقع الراصد باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي وهما: (موقع القمر والمسافة بينه وبين الراصد على الأرض)، وبذلك يستطيع الجهاز أن يحدد موقعه.

كما كان يقال قديما إذا أردنا أن نعرف هل السحاب بعيد أو قريب بأن نحسب الوقت بين مشاهدة البرق وسماع الرعد فإن كان الزمن بينهما كبير فإن السحاب بعيد، وإن كان الفرق قليل فإن السحاب قريب؟ على غرار هذه الفكرة فإن جهاز الاستقبال الذي يوجد مع المستخدم يضرب الزمن في سرعة موجات الراديو البالغة ٢٩٩.٣٣٧ كم في الثانية والنتيجة هي المسافة بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال.

التثليث (Trilateration)

تتمثل مهمة مستقبل إشارات نظام (GPS) في تحديد موقع الأقمار الصناعية التي يراها ويتفاعل معها، ومن ذلك يتم حساب المسافة بينها وبين الأرض، وتساعد هذه المعطيات من استنتاج موقع الراصد مستخدم جهاز (GPS)، وبالتالي يتم تحديد إحداثياته على سطح الأرض.

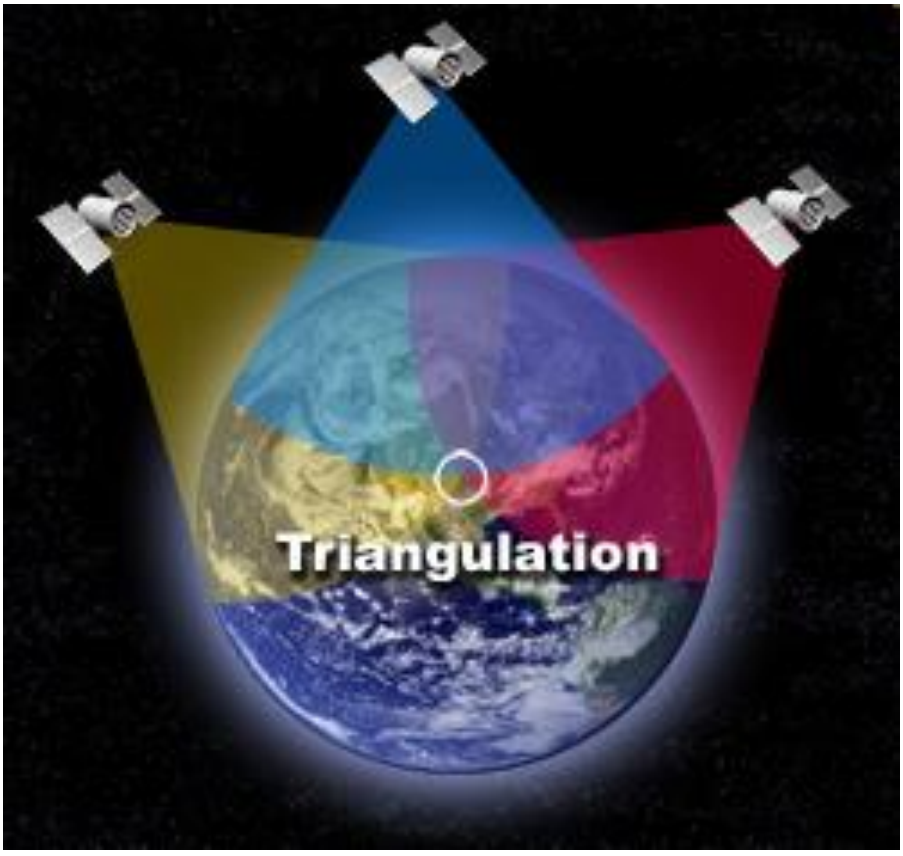
تحتاج عملية تحديد المواقع الجغرافية على سطح الأرض من استلام جهاز (GPS) لإشارات ثلاث أقمار صناعية على الأقل، وزيادة أعداد الأقمار يساعد في زيادة الدقة المكانية لموقع الراصد.

ولمعرفة بعد الراصد من أحد الأقمار الصناعية يتم رسم دائرة مركزها القمر الصناعي تتقاطع مع موقع الراصد حامل جهاز (GPS) وبالتالي يكون نصف قطر هذه الدائرة هو المسافة بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال (GPS) اليدوي.

وبمعرفة بعد الراصد عن القمر الصناعي الثاني سيتشكل دائرتان يتقاطعان مع بعضهما يكون موقع الراصد في مكان ما داخل الجزء الناتج عن تقاطع الدائرتين، وبمعرفة بعد الراصد عن القمر الصناعي الثالث ستتقاطع الدوائر الثلاثة في نقطة التقاء، يكون موقع الراصد فيها، حيث إنه جراء هذا التقاطع

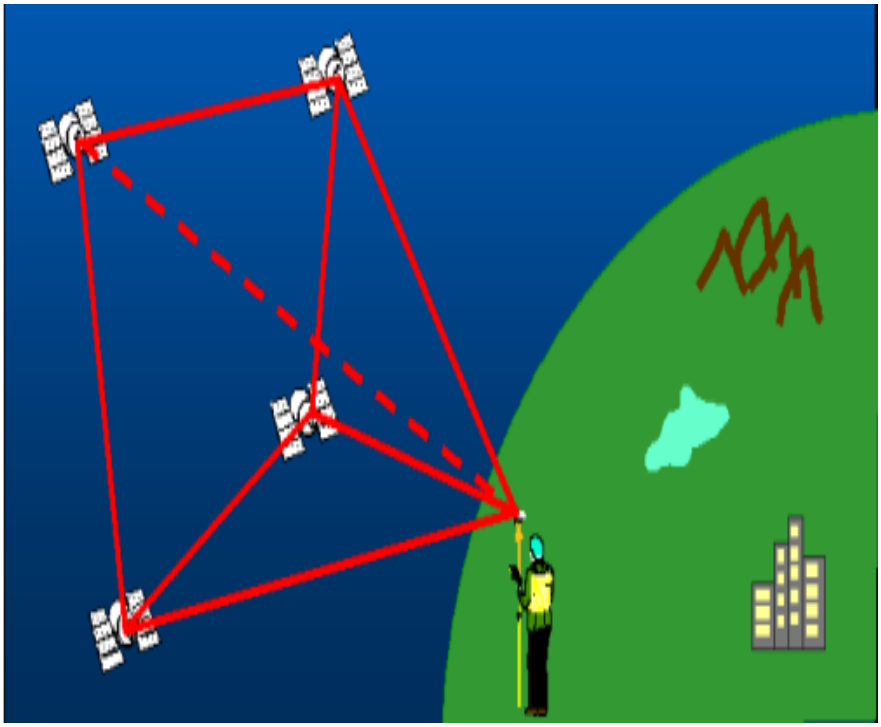
سوف تتكون نقطتين إحداهما في الفضاء (لا تدل على موقع الراصد)، والنقطة الأخرى تشير إلى موقع الراصد على سطح الأرض، أي كأننا استفدنا من الكرة الأرضية ككرة رابعة لتحديد الموقع.

يعتمد مستقبل إشارات جهاز (GPS) على موجات أشعة الراديو وهي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية تنتشر بسرعة الضوء، ولحساب المسافة بين الراصد مستخدم جهاز (GPS) وبين الأقمار الاصطناعية، يتم حساب المدة الزمنية التي استغرقتها هذه الموجات من لحظة انطلاقها من القمر الصناعي حتى تصل لجهاز الاستقبال الأرضي (GPS Receiver).



شكل (٣٥) يوضح علاقة إشارات أقمار (GPS) بعملية التثليث

تعد عملية قياس المسافة بين الأقمار الصناعية وجهاز الاستقبال الأرضي عملية معقدة لأنها بحاجة لإتقان شديد، وهي تتم على أساس قياس زمن وصول الإشارة من القمر الاصطناعي حتى جهاز الاستقبال الأرضي (GPS) كما سبق الذكر ويتطلب ذلك عملية تسمى التثليث (trilateration) كما يظهر من شكل رقم (٣٦).

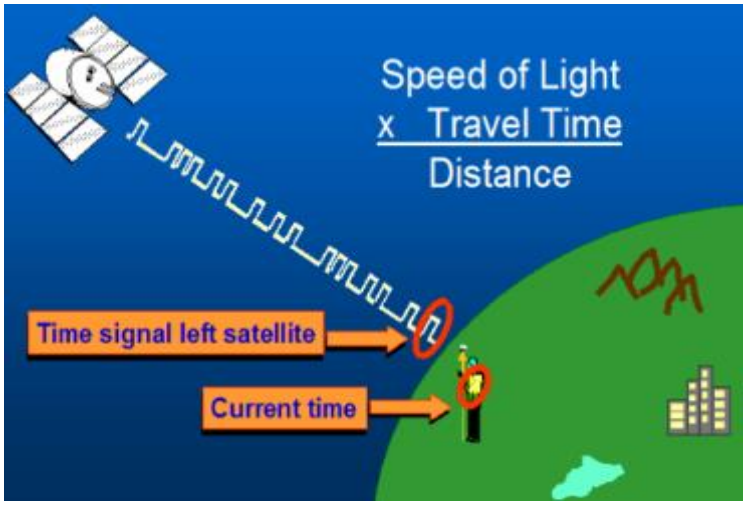


شكل (٣٦) يوضح العلاقة بين الراصد وشبكة الأقمار الصناعية

تحتاج عملية التثليث (trilateration) لحساب المسافة بين الراصد وكل قمر صناعي يراه جهاز الاستقبال لدى الراصد، ويتم حساب المسافة من خلال زمن وصول الأشعة من القمر الصناعي نحو الراصد واعادتها مرة أخرى وضربها في سرعة الضوء ولقياس الوقت الذي تستغرقه الأشعة في سفرها من الفضاء حتى الأرض بدقة يستخدم لذلك ساعات ذرية دقيقة للغاية.

المسافة بين الراصد والقمر الصناعي = السرعة Speed × الوقت Time

- سرعة الضوء تساوي (299791.714 كم/ثانية)



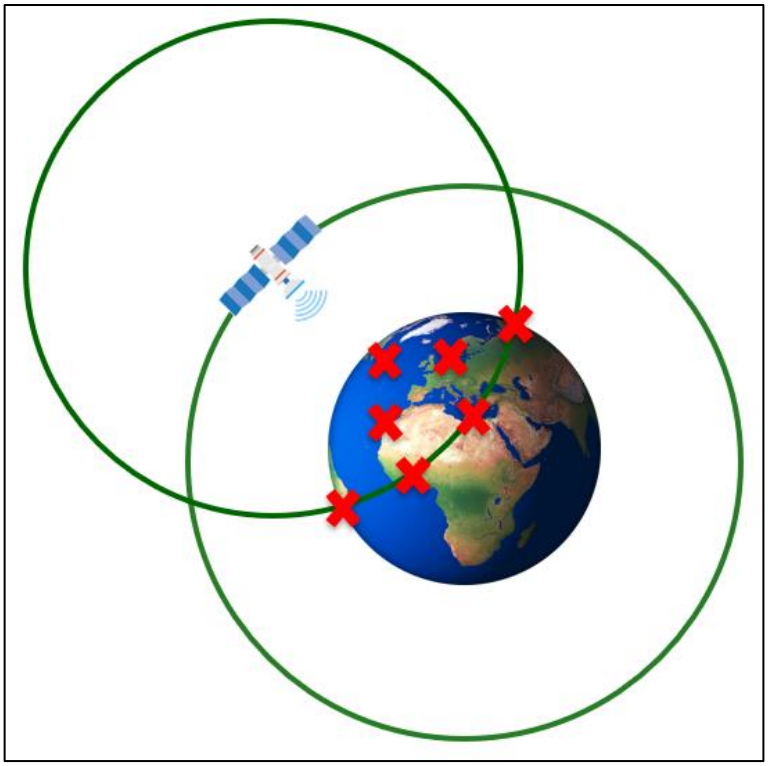
شكل (٣٧) يوضح طريقة حساب المسافة بين الراصد والأقمار الصناعية التي يستقبلها جهاز (GPS) اليدوي

تحتاج عملية التثليث بين شبكة الأقمار الصناعية التي تدور في الفضاء في مداراتها وبين أجهزة الرصد الأرضية (GPS) أو ما يسمى بالمستقبلات اليدوية (GPS Receiver) **إلى** رؤية جهاز الاستقبال لأكثر من قمر صناعي في آن واحد لإتمام عملية التثليث وحساب المواقع بدقة عالية حيث يمكن توضيح ذلك بالأمثلة الآتية: –

احتمال ظهور قمر صناعي واحد:

في حالة ظهور قمر صناعي واحد لدى جهاز الاستقبال اليدوي لا يمكنه تحديد موقع الراصد على الكره الأرضية بدقة، غير أنه يمكن أن يعطينا المرجع الزمني والتقويم، وذلك لعدم اكتمال نظام التثليث بظهور شبكة من المثلثات حول الموقع لتحديده على شبكة الاحداثيات.

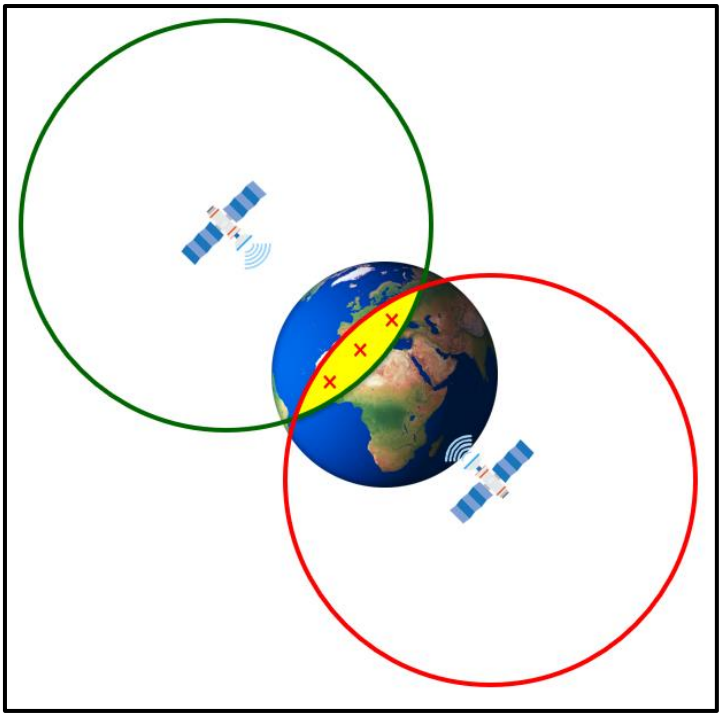
ويحتمل أن يكون موقع الراصد في أي مكان في الجزء المحصور بين دائرة يتم رسمها هندسيا حول القمر تتقاطع مع الشكل الاهليجي للأرض، وبالتالي يحتمل أن يكون موقع الراصد في أي مكان في هذا الجزء (العلامات الحمراء) وهو غير دقيق، ويعرض شكل رقم (٣٨) نموذج مبسط لهذه الفكرة.



شكل (٣٨) نموذج يوضح العلاقة بين موقع الراصد في حالة رؤية قمر صناعي واحد على جهاز الاستقبال اليدوي

احتمال ظهور قمران صناعيان:

في حالة رؤية جهاز الاستقبال اليدوي (GPS) لإشارات قمرين صناعيين، يمكن تحديد موقع الراصد داخل دائرة التقائهم وتقاطعهم على الكرة الأرضية لكنه بدقة قليلة، حيث يعرض شكل رقم (٣٩) نقطة التقاء دائرتين ناتجتين عن التقاء إشارات قمرين صناعيين على سطح الكرة الأرضية لجهاز الرصد الأرضي، مما يعطي احتمالية أن يكون موقع الراصد في الجزء المتقاطع بين الدائرتين، وهذا يعطي احتمالية تحديد المواقع الجغرافية بدقة منخفضة.

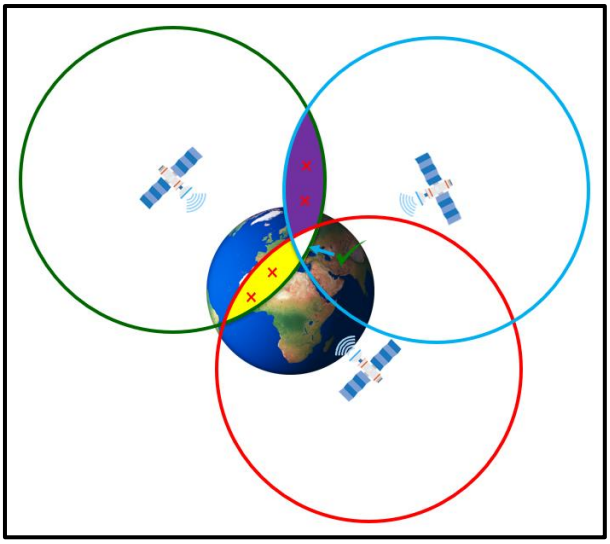


شكل (٣٩) نموذج يوضح العلاقة بين موقع الراصد في حالة استقبال إشارات قمرين صناعيين على جهاز الاستقبال اليدوي

احتمال ظهور ثلاثة أقمار صناعي:

عند التقاء ثلاث أقمار صناعية يمكن تحديد موقع الراصد على الكرة الأرضية بشكل ثنائي الأبعاد (2D) أي اظهار خطوط الطول ودوائر العرض حيث يضيق موقع الراصد المحتمل داخل مثلث الخطأ «error triangle» وبذلك تزيد دقة تحديد الموقع.

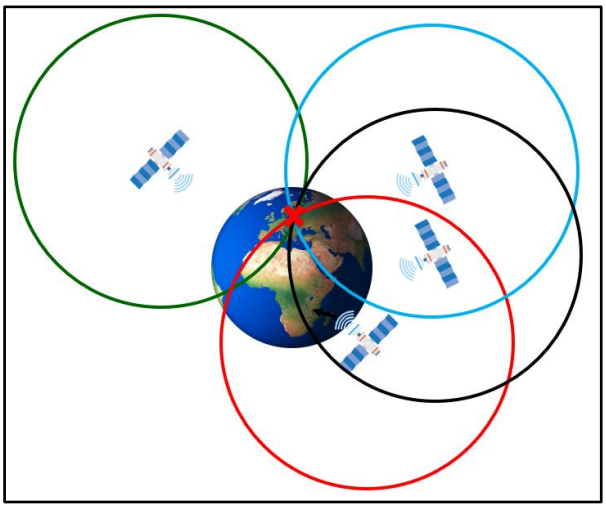
يكفي وجهة نظر هندسية بحتة قياس المسافات من ثلاثة أقمار فقط، إلا أن القياس الرابع ضروريٌ أيضاً لأن نظام (GPS) يستخدم طريقة قياس المسافة باتجاه واحد، وساعة المستقبل ليست متزامنة مع ساعة القمر. يُعدُّ خطأ تزامن تلك الساعتين (synchronization error) السَّبب في تسمية أشباه المسافات ويجب تعيينه كمجهول إضافي.



شكل (٤٠) نموذج يوضح العلاقة بين موقع الراصد في حالة استقبال إشارات ثلاثة أقمار صناعية على جهاز الاستقبال اليدوي

احتمال ظهور أربعة أقمار صناعي:

يمكن من تحديد المسافة بين أربعة أقمار صناعية أو أكثر حساب الموقع الجغرافي بشكل ثلاثي الأبعاد (3D) أي اظهار خطوط الطول ودوائر العرض والارتفاع لأنها توفر ما يكفي لحل مشكلا الخطأ المحتمل.



شكل (٤١) نموذج يوضح العلاقة بين موقع الراصد في حالة استقبال إشارات ثلاثة أقمار صناعية على جهاز الاستقبال اليدوي

وسائل الاتصال بأقمار (GPS): -

توجد العديد من طرق الاتصال بالأقمار الصناعية لتحديد المواقع الجغرافية، ومنها نظام (GPRS) ونظام (GSM) حيث تختلف طريقة كل منهم في تحديد المواقع الجغرافية ودقتها ويمكن توضيح ذلك كما يلي: –

نظام (GPRS):

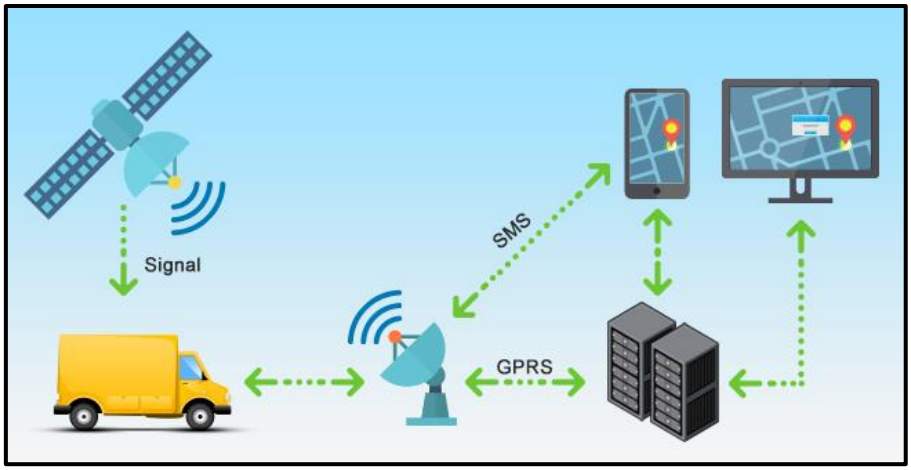
تختلف تقنية (GPS) عن تقنية (GPRS) من حيث نظام التشغيل والأجهزة اليدوية المستخدمة؛ فنظام تحديد المواقع العالمي (GPS) هو نظام ملاحة يحدد بدقة المواقع الجغرافية من خلال أجهزة يدوية بناء على منظومة الأقمار الصناعية كما سبق الذكر. أما تقنية (GPRS) فهي عبارة عن تقنية تستخدم لنقل البيانات عن طريق شبكة أبراج الهاتف المحمول (cellphone network).

ويعني مصطلح (GPRS) خدمة راديو الحزمة العامة (General Packet Radio Service)؛ ويتم من خلال هذه التقنية نقل البيانات باستخدام الهاتف الذكي (smartphone)، من خلال نظام الرسائل النصية (SMS) والصوتية (voice) وكذلك مكالمات الفيديو (video) من خلال خدمة الوسائط المتعددة والبريد الالكتروني (E-mail). لكن يعيب هذه الخدمة أنها تستخدم على نطاق محدود من الأرض (أي في المناطق التي تغطيها شبكة وأبراج الهاتف المحمول). ويوجد العديد من أجيال خدمة (GPRS) والتي منها (2G, 3G, 4G).

شكل (٤٢) مقارنة بين تقنية (GPRS) ونظام (GPS)

تحتاج عملية تعقب المركبات وحافلات المدارس وغيرها من المجالات التي تعتمد على عملية التعقب باستخدام نظام (GPS) إلى تقنية أخرى مساعدة يمكنها ارسال رسائل نصية وصوتية وكذلك ايميل وتخزين للبيانات ومسارات الرحلات اليومية (عمل أرشيف يومي) إلى تقنية أخرى مساعدة تعمل جنبا إلى جنب مع نظام (GPS) وقد توفرت هذه التقنية في تكنولوجيا (GPRS).

حيث يمكن الربط بين نظام (GPS) وتكنولوجيا (GPRS) من خلال شبكات أبراج الهاتف المحمول ونظام الخادم المركزي (Server) عن طريق برامج وتطبيقات مخصصة لذلك، يتم عملها بلغات البرمجة، وبالتالي يمكن تعقب المركبات ومشاهدة حركتها على الخرائط الرقمية على أجهزة الحاسب الآلي كما يوضحها شكل (٤٣).

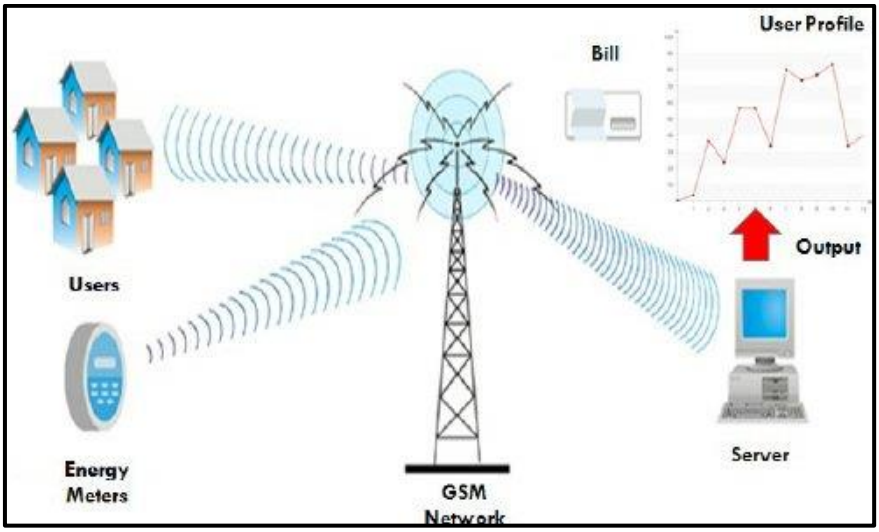


شكل (٤٣) إمكانية الربط بين نظامي (GPS) وتقنية (GPRS)

نظام (GSM):

مصطلح الأنظمة العالمية للجوال (Global Systems for Mobile) واختصاره (GSM) وهي تقنية تستخدم للاتصالات الهاتفية بالأجهزة المحمولة لتلبية الخدمات الصوتية وارسال البيانات من خلال الرسائل القصيرة (SMS)، وهي تقنية تعمل من خلال نظام (2G) ولا يسمح بالاتصال المباشر بالإنترنت،

يتم استخدامه في جميع البلدان تقريبًا ويقدم خدماته لمجموعة كبيرة من المستخدمين.



شكل (٤٤) طرق ووسائل الاتصال في تقنية (GSM)

* * *

الفصل الثالث

نظام الخطأ في منظومة GPS

- اشارات نظام (GPS)
- خصائص إشارات نظام (GPS)
- مصادر الخطأ في إشارات (GPS)
- التثليث (Triangulation)
- طرق تصحيح أخطاء الاشارات

مقدمة:

لكل شيء أخطاء، حتى أن نظام (GPS) لا يخلو من ظهور أخطاء قد تؤثر على دقة البيانات والمعلومات المستخلصة منه إن لم يتم تداركها واصلاحها، وتساعد عملية تحليل الأخطاء في نظام تحديد المواقع العالمي أمراً مهمًا للحصول على معلومات دقيقة حول المواقع الأرضية التي يتم رصدها في أعمال المساحة والتتبع.

تظهر في نظام (GPS) بعض الأخطاء الناتجة عن مصادر متعددة يمكن تداركها عند تحديد مصدرها ومن أهم الأخطاء التي قد تظهر في نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) أخطاء ناتجة عن (الإشارات وساعة جهاز الاستقبال، ومؤثرات الغلاف الجوي، وغيرها.

تتكون اجهزة الاستقبال (GPS Receiver) لدى المستخدمين من جهاز لاستقبال الإشارات الواردة من الأقمار الصناعية، وبرنامج لحساب واعطاء المعلومات اللازمة (الإحداثيات والوقت والسرعة) ولقد تطورت أجهزة الاستقبال خلال العشر السنوات الأخيرة، حيث تناقص وزنها واستهلاكها للطاقة، وأصبح بالإمكان تشغيلها باستخدام بطاريات جافة من القطع الصغير، هذا بالإضافة الى رخص ثمنها.

لعل أهم مسببات الأخطاء في نظام (GPS) العوائق الطبيعية مثل (الجبال، والمباني الطويلة والزجاجية، والاجسام المعدنية)، حيث ان اجهزة الاستقبال لا تعمل بشكل جيد وكامل داخل السيارة. كذلك هناك الأخطاء التي قد تحدث بسبب سوء استخدام جهاز الاستقبال او عدم المعرفة التامة به.

كل نظام مهما بلغت الدقة في بنائه الا ان له أخطاء ومن مصدر الاخطاء في النظام تحديد الاحداثي الاقمار الصناعية نفسها وما يتعلق بالغلاف الجوي ولهذا السبب لا يمكن الاعتماد على نظام الـ GPS في الملاحة الجوية لعدم ثبات دقته واستمرار ارسال الاشارات، وان كانت هنالك محاولات جادة في التغلب على اي اخطاء في النظام لجعله المصدر الوحيد لمعرفة الاحداثيات.

أولاً: أنواع إشارات الراديو (Radio Wave):

تمتد منطقة التصوير الرادارى في مجال أشعة الميكروويف والتي تمتد بين (١ ملم: ١ متر) من الطيف الكهرومغناطيسي، حيث تستخدم فيها مجسات ميكروويف دقيقة، وهي أجهزة استشعار بالموجات الدقيقة النشطة، حيث يتم ارسال واستقبال النبضات المتكررة من خلال أجهزة التسجيل يتم تفعيل طاقة الميكروويف على تردد معين، باستخدام جهاز استقبال يقبل الإشارة المنعكسة كما وردت من قبل الهوائي، ثم تصفية وتضخيم كما هو مطلوب (Campdell, 2011, P.205).

يستخدم مع عمليات التصوير الرادارى بالطائرات الترددات في الطول الموجي (C, K, X) ويستخدم التردد (L) في الموجات الرادارية مع عمليات إشارات الأقمار الصناعية الخاصة بتحديد المواقع الجغرافية (GPS) ويوضح جدول (٩) نماذج لبعض أشعة الرادار التي تستخدم في عمليات التصوير السالب وأطوالها الموجية.

جدول (١) نماذج لأنواع أشعة الرادار المستخدمة في الاستشعار عن بعد

Band	Wavelengths
P-band	107-77 cm
UHF	100 – 30 cm
L-band	30 – 15 cm
S-band	15 – 7.5 cm
C-band	7.5 – 3.75 cm
X-band	3.75 – 2.40 cm
Ku-band	2.40 – 1.67 cm
K-band	1.67 – 1.18 cm
Ka-band	1.18 – 0.75 cm
VHF	1 – 10 m
UHF	10 cm – 1 m

After: (Campdell, 2011, P.212)

يدخل الرادار في نظم الاستشعار عن بعد، حيث يستخدم في مجالات عديدة مثل الأرصاد الجويّة لمعرفة مناطق هطول الأمطار والمراقبة الجوية، كما يستخدم بقوة في المجال العسكري، ومن أهم أنواع التصوير الرادارى تلك الصور التي التقطها المكوك الفضائي الأمريكي (Shuttle Radar Topography Mission) والتي تسمى بصور (SRTM) والتي تبلغ دقتها المكانية ٩٠ متراً واستخدمت فيها الترددات (C, X- bands)، واطلق هذا المكوك في ١١ فبراير عام ٢٠٠٠ وأنهى مهمته خلال ١١ يوماً ٢٢ فبراير ٢٠٠٠، وصوره متاحة على هذا الرابط: (www.jpl.nasa.gov/srtm).

اشارات نظام (GPS)

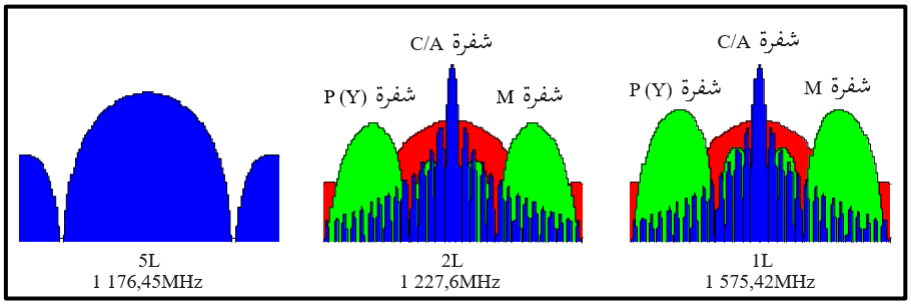
تبث الأقمار الصناعية لنظام تحديد المواقع العالمي (GPS) إشارات الميكروويف لتمكين مستقبلات (GPS) على سطح الأرض أو بالقرب منه لتحديد الموقع والوقت، واستخلاص السرعة؛ حيث يوجد هناك أربع إشارات متاحة للاستخدام المدني، وهي: (L1 C/A، L2C، L5، L1 C/A .L1C) وتسمى أيضًا بالإشارة القديمة ويتم بثها بواسطة جميع الأقمار الصناعية.

كما توجد إشارات حديثة يتم بثها مع أقمار صناعية مخصصة، بالإضافة إلى ذلك، هناك إشارات مقيدة يتم تشفيرها لاستخدامات خاصة، تخضع للجهة المالكة للمنظومة، لا يسمح باستخدامها من قبل المدنيين دون فك التشفير؛ وهذا ما يسمى الوصول عديم الشفرة.

يعتمد نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) على موجات الراديو لتشغيل النظام، حيث تتكون إشارات أقمار نظام (GPS) وتعمل من خلال أكواد مشفرة ورموز، وهي عبارة عن ترددات تختلف أطوالها الموجية من تردد لآخر، وترسل على مستويين من الخدمات أهمها: –

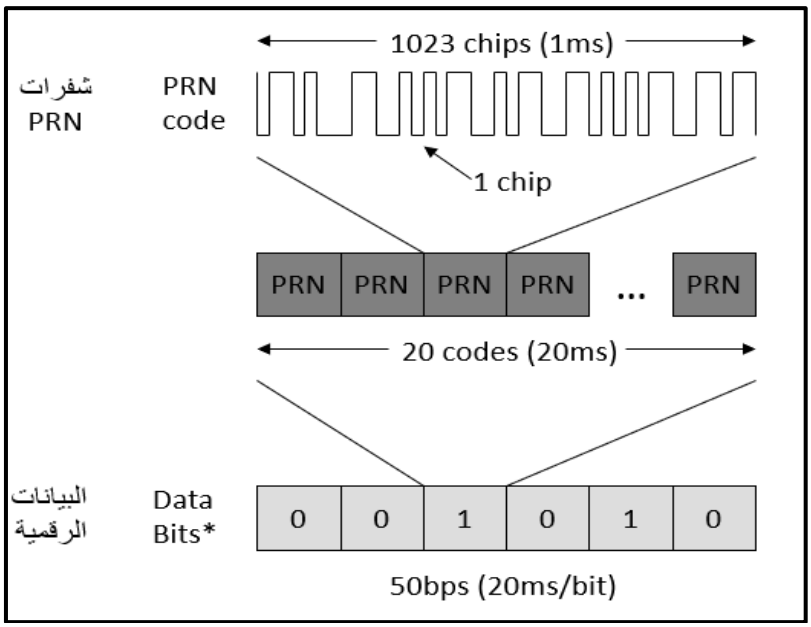
- خدمة تحديد المواقع القياسية (SPS): وتستخدم الشفرة رديئة الاكتساب Coarse\Acquisition (C/A)، وتعمل على تردد (L1)، واستخداماتها مدنية.

- خدمة تحديد المواقع الدقيقة (PPS): وتستخدم الشفرة الدقيقة Precise Code (P-Y)، وتعمل على كل من تردد (L1) وتردد (L2)، واستخداماتها عسكرية (المؤسسة العامة للتعليم الفني، ١٤٢٦هـ، ص ٢٩).



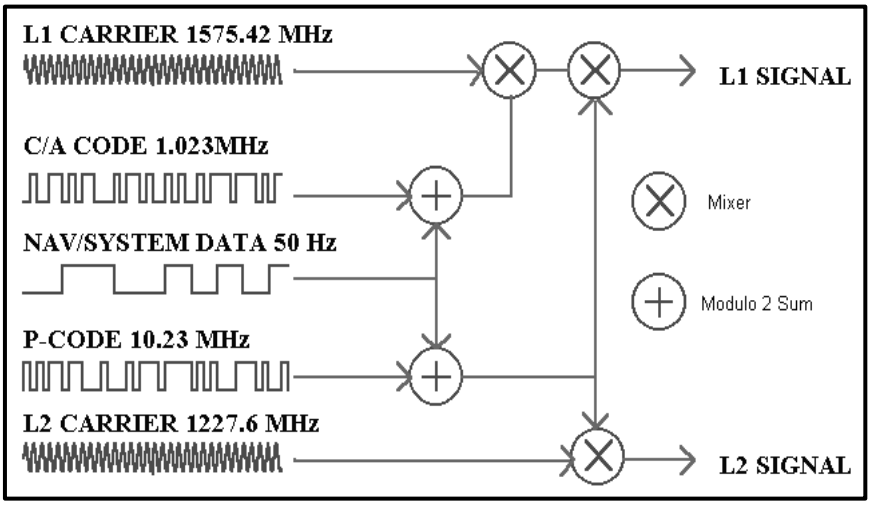
شكل (٤٥) نظام الشفرات في ترددات نظام (GPS)

وترسل جميع مركبات الفضاء بياناتها على التردد (L1) والذي يعمل بتردد (1575.42 Mhz)، كما أن كل مركبة فضائية (SV) تستخدم قيم فردية عشوائية بنظام (1023bit) وكود (PRN) حيث ترسل (1.023Mcps) نبضة في الثانية (NASA, 2017).



شكل (٤٦) طرق تحويل شفرات (PRN) إلى نظام رقمي يعتمد على (0, 1)

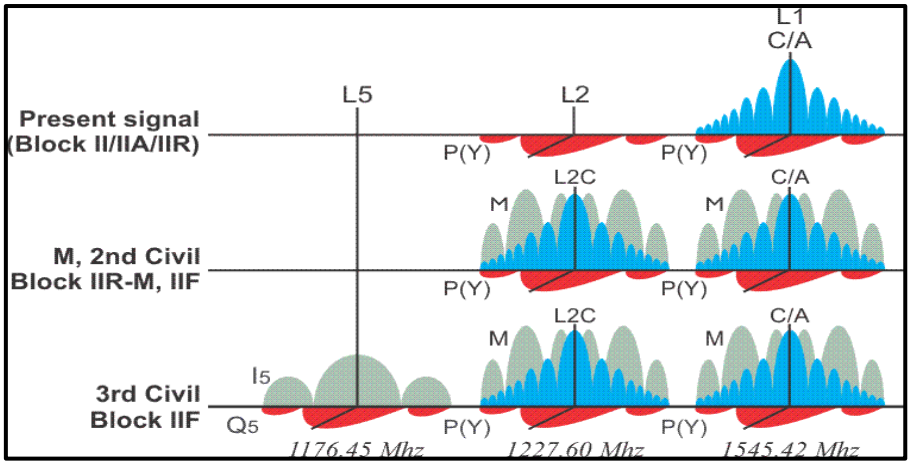
يقتصر الوصول إلى الخدمة الدقيقة (PPS) على القوات المسلحة الأمريكية والوكالات الفيدرالية الأمريكية والقوات المسلحة المتحالفة والحكومات المختارة. ويتاح استخدام خدمة (SPS) لجميع المستخدمين في مختلف بلدان العالم دون رسوم على الخدمة (NASA, 2017).



شكل (٤٧) يوضح نماذج لإشارات وترددات خدمة نظام (GPS)

ويمكن توضيح خصائص ترددات إشارات نظام (GPS) كما يلي:

- **التردد (L1):** يعمل بتردد (1575.42 MHz) ويبلغ طوله الموجي ١٩ سم ويعمل بنظام أكواد (SPS).
- **التردد (L2):** يعمل بتردد (1227.60 MHz) ويبلغ طوله الموجي ٢٤ سم ويعمل بنظام أكواد (PPS).
- **التردد (L5):** يعمل على تردد (1176.45 MHz) كما يوضحه شكل (٤٨).



شكل (٤٨) أنواع اشارات نظام (GPS)

ثانياً: مصادر الخطأ في إشارة نظام (GPS)

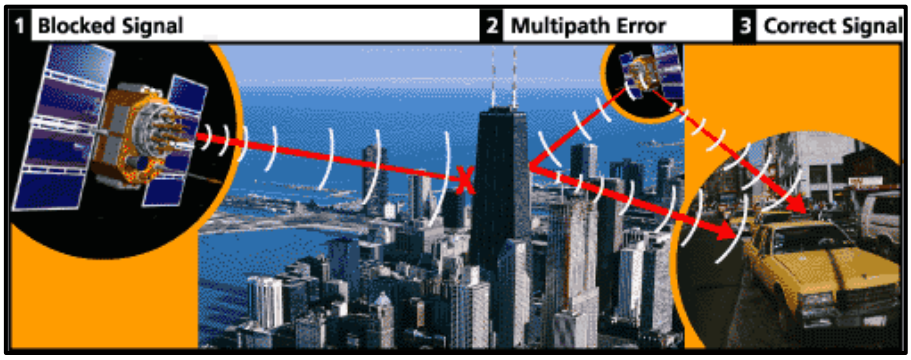
تتعدد مصادر الخطأ في نظام (GPS) فمنها الخطأ المقصود والخطأ الناتج من الاقمار نفسها والخطأ الناتج من جهاز الاستقبال، ومهما كانت نسبة هذه الاخطاء الا انها في حدود المعقول والمقبول، على سبيل المثال تحديد الاحداثي في الصحراء ليست مسالة دقيقة جدا في النظام المدني وان كانت مطلوبة في النظام العسكري، فالخطأ لو وصل الى هذه الحدود لا يمكن الاستفادة من الاحداثيات بفاعلية كبيرة حيث ان المطلوب هو الوصول إلى مواطن الاهتمام مثل الفياض والقرى والصحاري ومواطن الصيد وغيرها، وهي في مجملها واسعة وأكبر من نسبة الخطأ بكثير.

ويمكن تقسيم أخطاء نظام (GPS) إلى العديد من الأخطاء طبقاً لطبيعتها وأسبابها حيث إن منها أخطاء مفتعلة تقوم الجهات المالكة للنظام بعملها بهدف حماية حدودها ومنع الدول المعادية من تسلم معلومات تخدمها، وهناك أخطاء ناتجة عن العوامل الطبيعية تحاول كل الجهات تحسينها والوصول لأعلى دقة ممكنة، وهناك أخطاء في الجهاز والمستخدم وهي أخطاء تحتاج لتحسين من قبل الشركات المصنعة لأجهزة الاستقبال واجراء التجارب على البيانات للوصول إلى أعلى دقة ممكنة.

نظرا للتطورات الكبيرة التي لحقت بأجهزة (GPS) في السنوات الأخيرة، فقد أصبحت هذه الأجهزة دقيقة جداً بشكل فائق، حتى أن معدل نسبة الخطأ انخفض إلى أقل من ٥ متر، وذلك بفضل تطور البرامج وقطع الاستقبال داخل أجهزة (GPS)، غير أن الأمر لا يخلو من بعض العوائق التي تؤثر على دقة أجهزة المعلومات المأخوذة من نظام (GPS)، ولعل أهم مصادر الخطأ في هذا المجال ما يلي:

١- أخطاء ناتجة عن بطيء الإشارة من القمر الصناعي، وذلك لأن الإشارة تقل سرعتها عندما تجتاز الغلاف الجوي في طريقها إلى الجهاز، وعادة تكون أجهزة الاستقبال مزودة بنظام يقوم بحساب معدل التأخير من أجل تصحيح هذا الخطأ.

٢- أخطاء ناتجة عن انعكاس أو ارتداد الإشارة نتيجة اصطدامها بعوائق مثل البنايات الطويلة أو الصخور والجبال. إلخ. كما يظهر من الشكل رقم (٤٩).

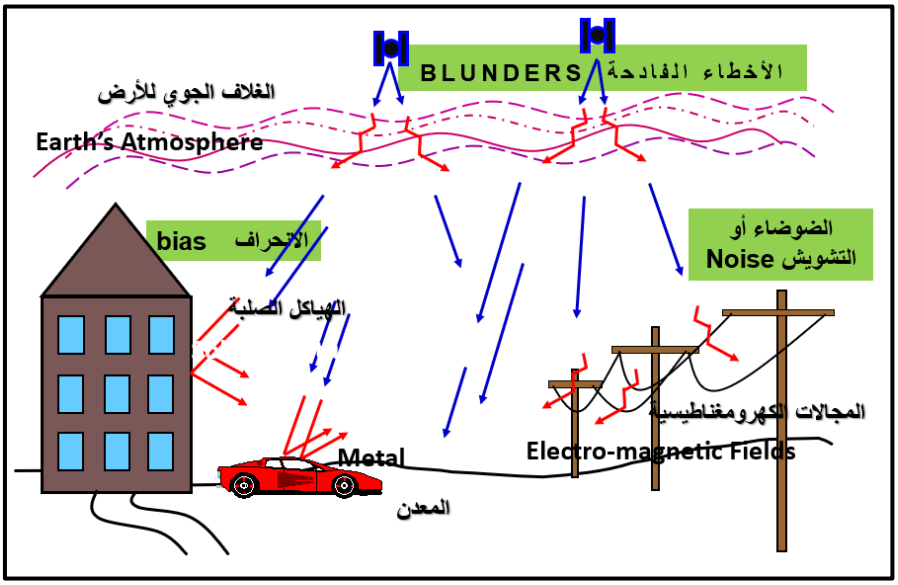


شكل (٤٩) تأثير الأبراج العالية على الإشارات المستلمة من الأقمار الصناعية

٣- أخطاء ناتجة بسبب الساعة الداخلية للجهاز؛ لأن هذه الساعة ليست بالدقة التي عليها الساعة الذرية الموجودة في القمر الصناعي، ومن أجل ذلك قد يكون هناك أخطاء بسبب التوقيت.

٤- أخطاء تحدث بسبب عدم دقة المعلومات التي يرسلها القمر الصناعي عن موقعه في الفضاء.

٥- عدد الأقمار الصناعية التي يستطيع الجهاز رؤيتها؛ فكلما زاد عدد الأقمار زادت الدقة والعكس صحيح؛ فالمباني والمجالات الكهربائية والمغناطيسية تسبب عدم رؤية الجهاز للأقمار وبالتالي تسبب قطع الإشارة وتسبب الأخطاء في التحديد أو حتى احتمال عدم قدرة الجهاز على تحديد الموقع نهائياً.



شكل (٥٠) نماذج لأنواع الأخطاء الناتجة عن الإشارات المستلمة من أقمار الصناعية

على الرغم من تعدد مصادر الخطأ التي تظهر وتصيب منظومة (GPS) وتعمل على تقليل دقتها في حساب المواقع إلا أنه يمكن معرفة وتحديد نسبة الازاحة الناتجة عن كل خطأ من هذه الأخطاء، على سبيل المثال قد تصل نسبة الازاحة الناتجة عن أخطاء الساعة الذرية في القمر الصناعي إلى ١.٥ مترا، وقد تصل نسبة الخطأ الناتج عن جهاز الاستقبال في حدود ٠.٥ متر، غير أن أكثر الأخطار التي تؤثر دقة المعلومات الواردة من نظام (GPS) تتعلق بالأخطاء المقصودة والمتعمدة والتي تصل إلى ١٠٠ مترا كما يوضحها جدول رقم (٢).

جدول (٢) يوضح أنواع الأخطاء في منظومة (GPS)

مصدر الخطأ	نسبة الازاحة الناتجة عن الخطأ (متر)
خطأ التقويم الفلكي (Ephemeris)	١.٥ متر
خطأ الساعة الذرية (Clock)	١.٥ متر
الخطأ الناتج عن طبقة الايونية	٦.١٥ متر
الخطأ الناتج عن طبقة التروبوسفير	٢.٧٨ متر
خطأ تعدد مسارات الأشعة	٠.١٨ متر
اخطاء جهاز الاستقبال (Receiver)	٠.٥ متر
الخطأ المقصود المدني	اقصى حد ١٠٠ متر
الخطأ المقصود العسكري	غير معروف.

After: (Dhiraj, 2013, p 78)

تتأثر دقة قياسات نظام (GPS) بعدة عوامل داخلية تتعلق بالأقمار الصناعية وأجهزة الاستقبال وبعوامل خارجية تتعلق بالأمواج الحاملة للإشارات (Elliott, 1996) ويمكن حصر وتحديد أهم مصادر الخطأ التي قد تحدث في نظام (GPS) أثناء عملية استخدامه فيما يلي: –

(١)تأثير طبقات الغلاف الجوي المحيط (Ionosphere and Troposphere).

(٢)نسبة التشويش في أجهزة الاستقبال (Receiver Noise).

(٣)أخطاء في شيفرة الأقمار الصناعية (Ephemeris).

(٤)الانعكاسات المتداخلة للإشارات المبثوثة (Multipath).

(٥)مقدار التشويش المتعمد من قبل العسكرية الأمريكية (Selective Availability).

١- **تأثير العوامل الجوية المحيطة** (The Atmospheric Effect):

تتأثر سرعة الإشارات بالعوامل الجوية المتمثلة بالطبقة العليا والسفلى للغلاف الجوي الايونوسفير (Ionosphere) والتربوسفير (Troposphere). إن جزئيات

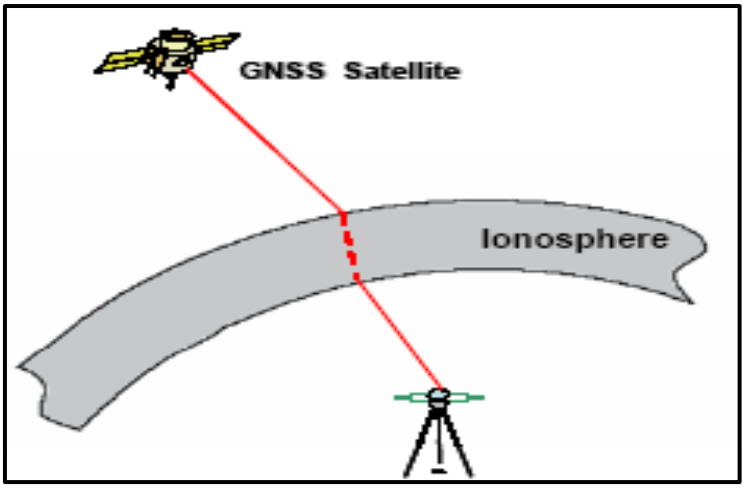
الايونوسفير وبخار الماء في التربوسفير تسبب في تأخير سرعة الإشارات وبالتالي على دقة الموقع المراد تحديده.

تستخدم أجهزة الاستقبال المتطورة عوامل تصحيح آنية خلال إجراء عملية القياسات، ولكن باعتبار إن المناخ الجوي متغير من نقطة إلى أخرى ومن لحظة إلى أخرى فانه من الصعوبة تامين عوامل التصحيح المناخية المناسبة التي تعوض التأخير الحاصل في سرعة الإشارات.

على الرغم من وجود العديد من الأخطاء في منظومة (GPS) إلا أن أكثرها خطورة الأخطاء غير المكتشفة، وهي أخطاء تتعلق بالغلاف الجوي، وهي أكثر مصادر الأخطاء التي يصعب اكتشافها من قبل المستخدم، حيث تحدث هذه الأخطاء عند مرور الاشارات المنطلقة من وإلي القمر الصناعي وجهاز الاستقبال اليدوي عبر الطبقة الايونية وهي طبقة مليئة بالجزيئات المشحونة والتي تؤثر على الاشارات عند مرورها بها، وكذلك الحال عند مرور الاشارات بالغلاف الجوي الذي يحتوي على نسبة من بخار الماء الذي يسبب بعض الانكسارات المؤثرة ومما يزيد الامور تعقيدا وصعوبة في قياس هذا الخطأ.

- **تأثير طبقة الأيونوسفير:**

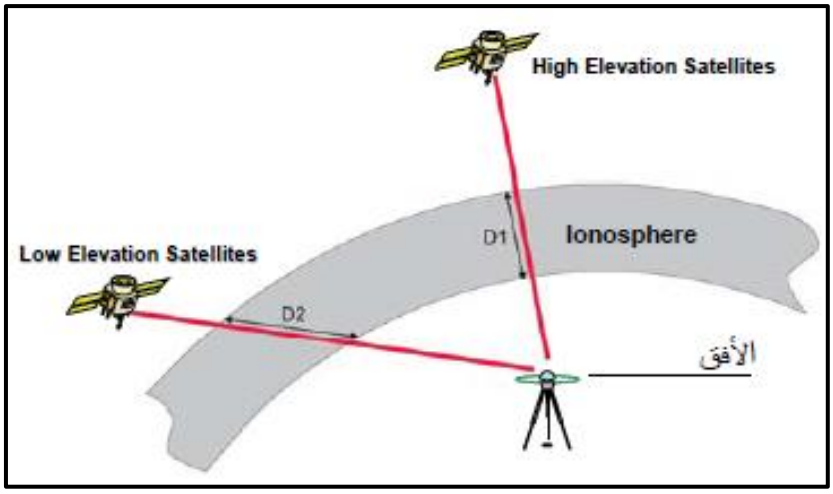
تنتقل إشارة نظام (GPS) عبر الفراغ الخارجي من القمر الصناعي حتى بداية الغلاف الجوي ثم تعبر الغلاف الجوي حتى تصل للمستقبل، أثناء عبور الإشارة بالغلاف الجوي تتعرض الإشارة لنوع من التأخير بشكل عشوائي ولا يمكن اعتباره كقيمة ثابتة. هذا التغيير في السرعة يتسبب في خطأ في حساب المسافة بين القمر والمستقبل وبالتالي خطأ في الاحداثيات المحسوبة (علي، بدون سنة نشر، ص ١٣).



شكل (٥١) تأثير طبقة الأيونوسفير

- **ارتفاع القمر:**

الأقمار الأقل ارتفاعا فوق الأفق تتأثر أكثر من تلك الأعلى فوق الأفق نتيجة لزيادة المسارة الذي تقطعه الإشارة كما هو مبين بالشكل رقم (٥٢)، لذا ينصح باستبعاد الأقمار تحت زاوية حجب مقدارها ١٥ درجة في الرصد الثابت باستخدام (GPS) ويقصد هنا بالرصد الثابت الرصد الدقيق باستخدام أجهزة دقيقة لأعمال المساحة الأرضية.



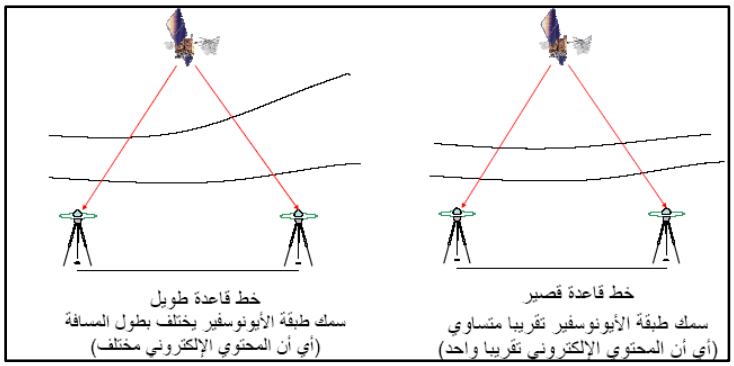
شكل (٥٢) العلاقة بين ارتفاع القمر الصناعي وزاوية الأفق وتأثير طبقة الايونوسفير

- **تأثير الشمس:**

تتأثر طبقة الايونوسفير بأشعة الشمس حيث إن تأثير الايونوسفير يقل ليلا ويزداد نهاراً مما يزيد من تأخير الإشارة بالنهار وبالتالي تتأثر الإشارات القادمة من الأقمار الصناعية.

- **المحتوى الالكتروني:**

وهو يتغير من مكان لآخر أو بمعنى أخر يعتمد على طول خط القاعدة الذي يتم رصد طرفيه باستخدام (GPS).



شكل (٥٣) المحتوى الالكتروني يزيد بزيادة طول الخط المرفوع

٢- **تأثير جهاز الاستقبال** (Receiver Effects):

إن المهمة الأساسية للأجزاء الداخلية الإليكترونية لجهاز الاستقبال التقاط تجميع وتنقية وتحليل الإشارات المبثوثة بغية تأمين المعلومات الضرورية لتنفيذ عملية الملاحة بنجاح. يتأثر عمل هذه الأجزاء الحساسة بعدة عوامل خارجية وداخلية أهمها:

- التغير الشاقولي لمركز مجال هوائي جهاز الاستقبال (antenna phase center) تبعا لمستوى ارتفاع القمر (Satellite elevation)، وقوة الإشارة وتأثير تعدد مجازاتها في جوار الهوائي (The signal strength and the multipathing).
- تغير توزع ووصول الإشارات المستمر.

- عدم استقرار الميقاتيات (الساعات الدقيقة) الداخلية واهتزاز نوابضها تبعا للعوامل الخارجية كالرياح وحركة الأرض بجوار جهاز الاستقبال.

هنالك اخطاء تصدر من اجهزة تحديد الموقع اليدوية نفسها فبعضها دقيق جدا، حيث يعكس القراءة التي تصله من الاقمار الصناعية مباشرة، وبعضها يحمل بعض التأخير، مما يجعل القراءة التي يعرضها تحمل خطأ مضاعفا مثل الاجهزة القديمة.

بلغت تكلفة نظام الـ GPS أكثر من اثني عشر (١٢) بليون دولار امريكي حتى تاريخ ارسال اخر قمر من اقمار هذا النظام، هذا بالإضافة الى تكلفة التشغيل وصيانة النظام والتي تقدر بملايين الدولارات، يوجد في كل قمر صناعي لنظام (GPS) أربع ساعات ذرية تكلف الواحدة منها مئة ألف دولار وتصل دقتها الى جزء من المليون من الثانية (م ثانية) ولذا فأحد اسباب الخطأ في اجهزة الاستقبال ناتج عن عدم تطابق الساعة الرقمية الداخلية لجهاز الاستقبال مع الساعة الذرية للقمر الصناعي. اما دقة الوقت العالمي الذي يظهره الجهاز فهو دقيق للغاية وتصل دقته الى عشر الثانية.

تختلف اجهزة الاستقبال في تحديد الاحداثيات بناء على عدد الاقمار الصناعية التي يمكنها استقبال اشارتها حيث يصل بعضها إلى امكانية الاستقبال من عشرة أقمار في آن واحد، حيث أن بعض أجهزة الاستقبال اليدوية صمم لاستقبال إشارات أقمار صناعية محددة مثل نظام (GPS) الأمريكي فقط وبعضها صمم لاستقبال إشارات الأقمار الصناعية لأكثر من منظومة في آن واحد مما يساعد في دقة المعلومات المأخوذة

من المعلوم ان الاقمار الصناعية لنظام (NAVSTAR) مملوكة لوزارة الدفاع الامريكية (Navigation Satellite Timing and Ranging)، وهي في تطور مستمر وقد يصل التطور في تقنية الاقمار الصناعية وطريقة بثها درجة لا يستطيع فيها البعض استخدام بعض الاجهزة القديمة، ولذا فالعمر الافتراضي لأجهزة التحديد (الأجهزة اليدوية) يعد قصير ويجب التأكد عند شراء

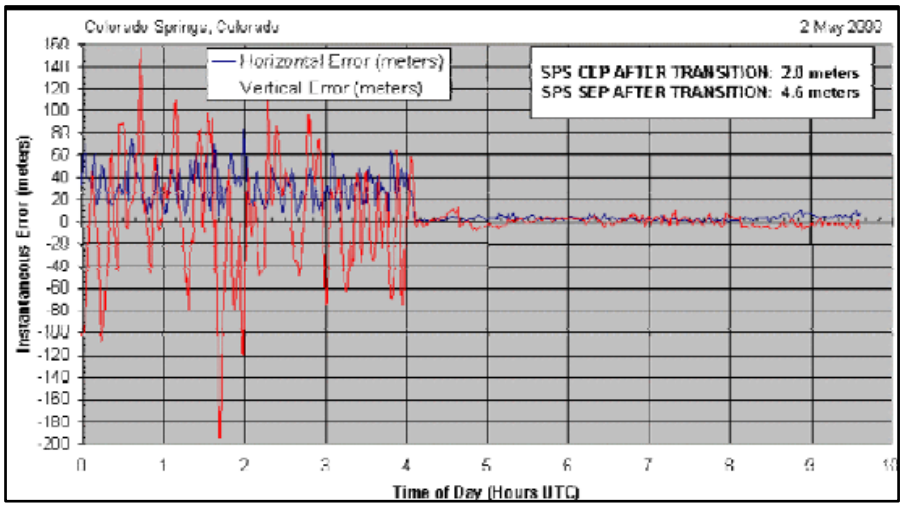
الجهاز انه حديث الصنع حتى يمكن الاستفادة منه مدة طويلة ولا يوجد شركة من الشركات المصنعة لأجهزة التحديد قادرة على ضمان سلامة الاجهزة من الاخطاء او عدم الفاعلية نظراً لان وزارة الدفاع الامريكية تعلن للجمهور باستمرار بان الاقمار تخضع للتطوير والتحسين المستمر على طول السنين ولا تلتزم بدقة ما يوجد لدى المستخدمين من اجهزة كما ان شركات صناعة اجهزة تحديد المواقع تؤكد ذلك للمستخدمين بنشره في الصفحات الاولى من ادلة الاستخدام، تؤكد بانها لا تضمن استمرارية اجهزتها في اعطاء القراءات الصحيحة لفترة زمنية طويلة وكذلك في مجلة الـ GPS الامريكية.

٣- **التأثيرات أو الأخطاء المتعمدة** (Selective Availability):

الأخطاء الانتقائية (selective Availability) أو انعدام الدقة في القراءات وهي عبارة عن تشويش في إشارات نظام تحديد المواقع العالمي تقوم بافتعاله وزارة الدفاع الأمريكية لمنع القوى العسكرية الأجنبية من الانتفاع بنظام (GPS) في أغراض معادية لها، وقد بلغت نسبة الخطأ في تحديد الموقع الجغرافي إلى ١٠٠ مترا، ويعود السبب في ذلك إلى سياسة أمريكية تسمى التوفر الانتقائي وهي تقنية مبرمجة لإرسال معلومات غير دقيقة عن الوقت والموقع. وقد قامت الولايات المتحدة الأمريكية بتخفيض عملية التوفر الانتقائي، بحيث أمكن الحصول على دقة تصل إلى ١٠ أمتار.

هو عبارة عن تقليل متعمد لدقة الإشارة عن طريق رسالة ملاحية بها خطأ أو بيانات خاطئة لساعة القمر، والسبب الرئيسي الذي دفع وزارة الدفاع الأمريكية لاستخدامه هو منع المدنيين والقوات الأجنبية المعادية من الوصول للدقة الكاملة من منظومة (GPS). وقد تم استخدام هذا الخطأ يوم ٤ يوليو عام ١٩٩١ الساعة الرابعة صباحاً بتوقيت جرينتش وتم إيقافه يوم ٢ مايو عام ٢٠٠٠، بقرار من رئيس الولايات المتحدة لتتحسن دقة نظام (GPS) إلى ١٠ أضعاف ما

كانت عليه ويوضح شكل (٥٤) تحسين دقة إشارات نظام (GPS) بعد إيقاف خدمة الأخطاء المتعمدة (علي، بدون سنة نشر، ص ١٣).



شكل (٥٤) تحسن دقة إشارات نظام (GPS) بعد إيقاف خدمة الأخطاء المتعمدة

يعتبر هذا التأثير المتعمد والموضوع من قبل وزارة الدفاع الأمريكية الأشد خطورة على دقة أجهزة (GPS) من التأثيرات السابقة ويسمى بالتأثيرات المتاحة انتقائيا. أن الغاية الرئيسية من استخدام هذه التأثيرات المتعمدة منع أية جهة أخرى (باستثناء العسكرية الأمريكية) من العبث بدقة الجي بي اس أو الحصول على قياسات متناهية الدقة وتتمثل هذه التأثيرات:

- إحداث بعض التشويشات (Noise) في ميقاتيات (ساعات) الأقمار بغرض التقليل من دقتها.
- بث ذبذبات (Erroneous orbital data) مترافقة مع الإشارات المرسلة للتأثير على دقة مواقع المدارات الاهليلجية لهذه الأقمار وبالتالي تؤدي إلى وجود بعض الأخطاء في الشيفرة المستقبلة (Ephemeris).

تتجلى فعالية هذه التأثيرات المتعمدة بوضوح في قياسات الجي بي اس المستخدمة في الأغراض المدنية، في حين يتم معالجة هذه التأثيرات في الأعمال

العسكرية باستخدام أجهزة استقبال خاصة تحوي على برامج مخصصة لتحديد حجم هذه الأخطاء وكيفية التخلص منها.

تؤثر الأخطاء المذكورة أعلاه رغم حجمها الصغير على دقة قياسات الجي بي اس الأساسي (Basic GPS) مع العلم إن بعض المواقع تتطلب دقة بالغة. لسوء الحظ ليس بالإمكان تحديد حجم الفرق في القياسات المتشكل من وجود الأخطاء المذكورة واستخدامه لتصحيح كل القياسات خلال إجراء عملية الرصد لان أخطاء الأقمار الصناعية متغيرة باستمرار لهذا فأنه من الأهمية بمكان تقليل تأثير حجم هذه الأخطاء قدر المستطاع.

ولتفادي الدقة المنخفضة التي لا تفي بالغرض أمكن استخدام أجهزة استقبال متطورة لتحليل الإشارة الملتقطة من الأقمار الصناعية، ومقارنتها بالإشارة المستقبلة من المحطات الأرضية، للحصول على معلومات أكثر دقة يمكن أن تصل إلى أجزاء من المتر؛ ويعرف هذا الإجراء باسم التصحيح التفاضلي، ويطلق على أجهزة استقبال المستخدمة في ذلك باسم (GPS Differential) واختصاره (DGPS).

إن الطريقة المتبعة في تحسين دقة الجي بي اس الأساسي وذلك بتقليل التأثيرات الخارجية والأخطاء المذكورة أعلاه يتم باستخدام الطريقة التفاضلية (Differential GPS) أو ما يعرف بالجي بي اس التفاضلي الذي يؤمن دقة قياسات جيدة تصل لبضعة المترات في التطبيقات المتحركة كالبواخر والسيارات وبشكل أفضل في الأوضاع الثابتة كالنقاط الجيوديسية والمساحية.

٤- **أخطاء الأقمار الصناعية** (Satellite Errors):

أن للدقة البالغة لمواقع الأقمار الصناعية في الفضاء أهمية عظيمة باعتبارها النقاط البدائية لعملية الحساب والقياس ولهذا السبب تم ضبط حركة هذه الأقمار بمدارات اهليلجية ثابتة وغير متأثرة بالتقلبات المناخية المحيطة.

من المعلوم أن الكرة الأرضية تدور باستمرار، وكذلك الأقمار الصناعية تدور في مدارات حول الأرض باستمرار طول اليوم، وقد ينتج عن حركة دوران الأرض والأقمار الصناعية بعض الأخطاء نتيجة لأن جهاز الاستقبال اليدوي قد يستقبل بعض الإشارات الضعيفة من الأقمار الصناعية، أو أن زاوية هذه الاشارات غير جيدة، مما يسبب مشكلة في تحديد موقع القمر الصناعي في مداره، وعند حل هذه المشكلة قد تكون هذه الأقمار قد غيرت موضعها في المدار واختفت من الرؤية في جهاز الاستقبال.

ويمكن حل هذه المشكلة من خلال السجل الكامل لمواقع الأقمار الصناعية المخزنة في ذاكرة أجهزة منظومة (GPS) حيث إن كل جهاز يحتوي في ذاكرته على سجل كامل لأماكن ومواقع الاقمار في اي وقت واي مكان.

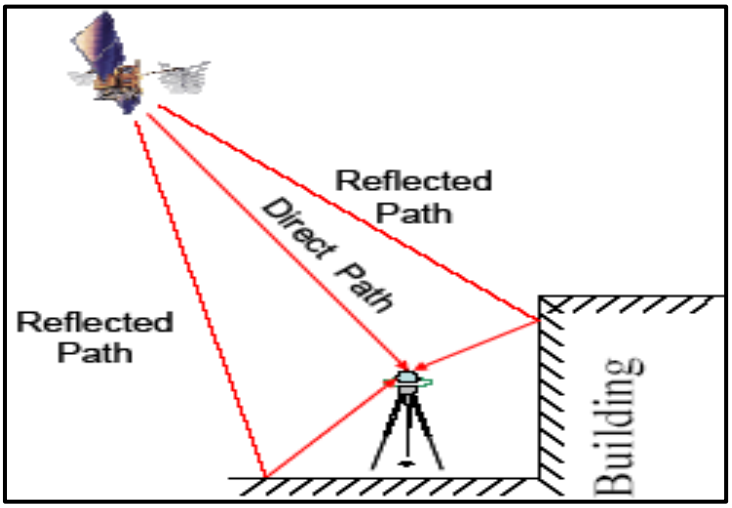
٥- **تأثير تعددية مسار الإشارات** (Multipath Effect):

تنحرف الإشارات المبثوثة عن مسارها المباشر عند اقترابها من سطح الكرة الأرضية وتصل إلى هوائيات أجهزة الاستقبال عبر مسارات متعددة (مباشرة وغير مباشرة) بسبب وجود بعض العوائق المحيطة بأجهزة الاستقبال كالأبنية وغيرها ويسمى الخطأ الناتج عن هذا التأثير بالخطأ المتعدد المجازات كما هو مبين في الشكل (٥٥).

هو عبارة عن خطأ كبير ينتج من التشويش الذي يحدث نتيجة وصول إشارة (GPS) لهوائي الاستقبال من عدة مسارات إحداهما مباشرة من القمر الصناعي حتى الهوائي والباقي منعكس من الأرض أو أسطح العوائق المجاورة مثل المباني قبل وصولها للهوائي، تقطع الإشارة المنعكسة مسافة أكبر من تلك المباشرة وبالتالي تعطي مسافة بين القمر والمستقبل أكبر، مما يزيد الخطأ الناتج في حساب موضع المستقبل (علي، بدون سنة نشر، ص ١٢).

يستقبل الهوائي الإشارة المباشرة في البداية (لان الممر المباشر دائما أسرع) ومن ثم تصل الإشارات المنعكسة متأخرة بعض الشي وهذا ما يؤدي إلى تداخل

وتراكب الإشارات المتأخرة مع الإشارة المباشرة مسببة وجود نتائج غير صحيحة في إحداثيات موقع جهاز الاستقبال. يعتبر تأثير تعددية مجاز الإشارات من أهم الأخطاء المؤثرة على دقة الجي بي اس لصعوبة تحديده وتغيره من فترة الى اخرى بسبب الدوران المستمر للأقمار.

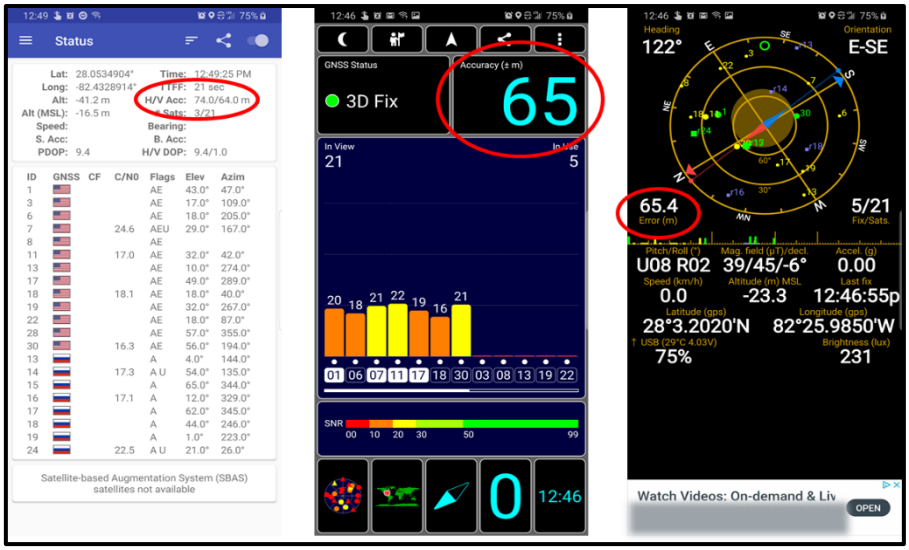


شكل (٥٥) نموذج يوضح خطأ تعدد المسارات

كمثال واقعي يومي على هذا الخطأ يمكن أن يلاحظ في أجهزة التلفاز عندما تظهر خيالات متعددة للصورة الأصلية على الشاشة بسبب أن الإشارة المبثوثة من المحطة الرئيسية قد تأخذ أكثر من ممر لتصل إلى هوائي التلفزيون وبالتالي تظهر عدة صور متراكبة فوق بعضها البعض في نفس الوقت.

٦- **الأخطاء الشائعة في نظام** (GPS):

تختلف اجهزة الاستقبال في تحديد الاحداثيات بناء على عدد الاقمار الصناعية التي يمكنها استقبال اشارتها حيث يصل بعضها إلى امكانية الاستقبال من عشرة أقمار في آن واحد، ولكن ليست كلها صحيحة حيث ان الجهاز يحدد القمر كامل المعلومات ويستقبل منه لأن بعضها تكون اشارته ضعيفة او ان زاويته غير جيدة وكل جهاز يحتوي في ذاكرته على سجل كامل للأماكن يحتوي على مواقع الاقمار في اي وقت واي مكان كما يظهر في شكل رقم (٥٦).



شكل (٥٦) استقبال جهاز (GPS) لإشارات عدد كبيرة من الأقمار الصناعية

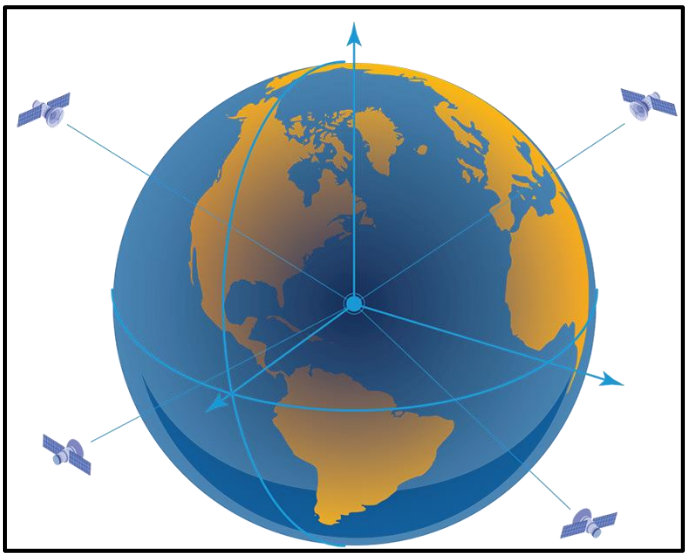
يمكن حجب إشارة القمر الصناعي من خلال المباني أو الأشجار (إذا قمنا باستقبال الإشارات في هذه الأماكن قد يكون عدد الأقمار المستقبلة أقل من ٤) ومن الجدير بالذكر أنه كلما زاد عدد الأقمار المستخدمة (المرئية من خلال المستقبل) كلما كان تقدير الموقع أكثر دقة، وبغض النظر عن عدد الأقمار المستخدمة فإن جودة الرصد تعتمد على عدة عوامل منها على سبيل المثال ما يلي: –

١. الخطأ في تحديد موقع القمر الصناعي والذي يتراوح بين +/– ١ إلى ٥٠ مترا وقد يصل إلى ٨٠ مترا (الفرق بين موقع القمر الذي تم إرساله للمستقبل وموقعه الحقيقي) وبدمجه مع التشتت المتعلق بسرعة الضوء (سرعة الإشارة) عند مرورها بطبقتي التروبوسفير والأيونوسفير تقل الدقة (الموقع الجغرافي للكيان المرصود) ويزداد الخطأ ب ١٠ أمتار.
٢. تنوع سرعة الإشارة حيث تختلف السرعة حسب الوسط الذي تمر فيه (السرعة تقل كلما زاد محتوى بخار الماء).
٣. انعكاس إشارات الأقمار الصناعية حيث قد تنعكس عن المنازل أو الكيانات الأخرى وبالتالي تأخذ وقت أطول حتى تصل للمستقبل ويقل

ذلك الدقة لأكثر من ١٠ أمتار (الأخطاء الناتجة عن التشتت) ويلاحظ أننا لا يمكننا استخدام (GPS) داخل المنازل.

٧- **النظام الجيوديسي العالمي** (WGS84)

تعطي معظم أجهزة منظومة تحديد الموقع العالمي (GPS) إحداثياتها الجغرافية استنادا إلى النظام الجغرافي العالمي (WGS84)، وهو اختصار لمصطلح (World Geodetic System) وهي نظام جيوديسي عالمي أنشئ عام ١٩٨٤، اعتمادا على البيانات الجيوديسية العالمية وجاذبية الكرة الأرضية، ومركز هذا النظام هو المركز الكتلي للأرض، ويفترض أن شكل الأرض هو بيضوي (Ellipsoidal) ويفترض بأن الأرض تدور بسرعة ثابتة حول المحور الذي يصل بين القطبين كما يوضحه شكل (٥٧).



شكل (٥٧) نموذج يوضح شكل الأرض حسب نظام (WGS84)

يوضح جدول (٣) الأبعاد المرجعية للنظام المرجعي العالمي (WGS84) وبعض المرجعيات الأخرى للأنظمة الجيوديسية الأخرى مثل هالميرت وكلارك وغيرها، ويتضح من الجدول أن تاريخ انشاء المرجع الجيوديسي العالمي (WGS84) ونصف قطر الأرض للمحور الاستوائي هو ٦٣٧٨١٣٧ كم،

ونصف قطر الأرض للمحور القطبي هو ٦٣٥٦٧٥٢ كم، وهو المرجع الجيوديسي الأساسي الذي يعتمد عليه في حساب خطوط الطول ودوائر العرض ومعلومات الاحداثيات التي يعرضها جهاز (GPS) لدى المستخدمين.

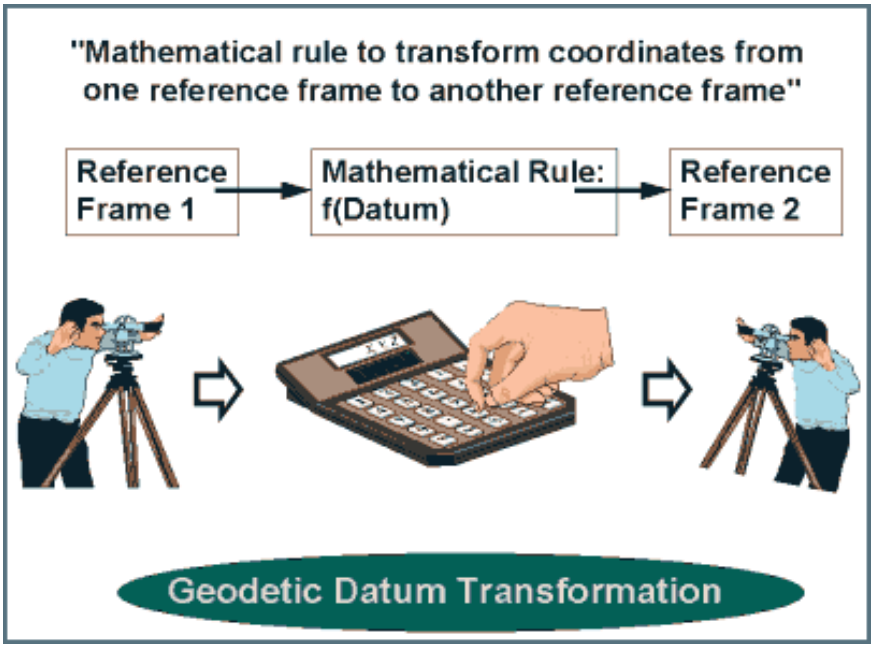
جدول (٣) يوضح الأبعاد المرجعية لهذا النظام

Name	Date	a (m)	b (m)	Use
Everest	1830	6377276	6356079	India, Burma, Sri Lanka
Bessel	1841	6377397	6356079	Central Europe, Chile, Indonesia
Airy	1849	6377563	6356257	Great brittain
Clarke	1866	6378206	6356584	North America, Philippines
Clarke	1880	6378249	6356515	France, Africa (parts)
Helmert	1907	6378200	6256818	Africa (parts)
International (or Hayford)	1924	6378388	6356912	World
Krasovsky	1940	6378245	6356863	Russia, Eastern Europe
GRS80	1980	6378137	6356752	North America
WGS84	1984	6378137	6356752	World (GPS measurements)

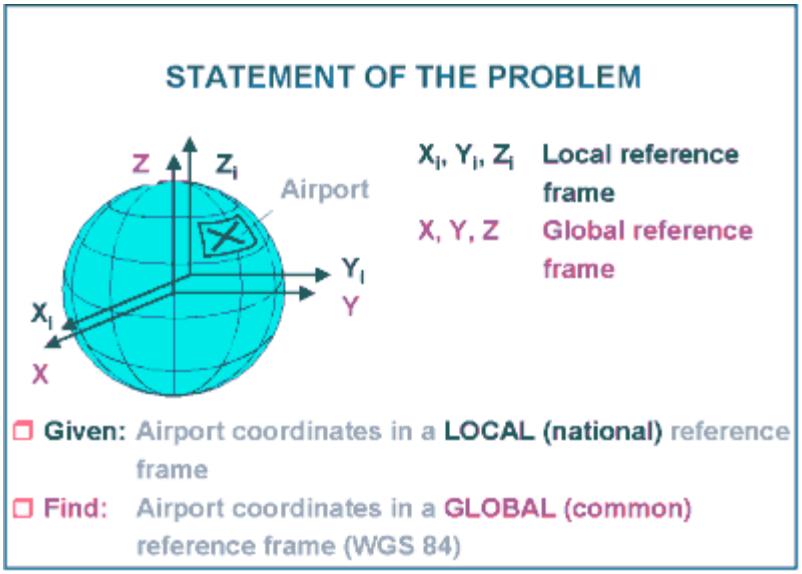
لذلك يجب الانتباه عند استخدام أجهزة (GPS) أنه يعتمد في حساباته على نظام جيوديسي عالمي، وأن بعض الدول تعتمد على أنظمة جغرافية محلية، حيث أن لكل دولة أو مجموعة من الدول نظام جيوديسي خاص بها، ولكل نظام جيوديسي حسابات مختلفة لعرض نظام الاحداثيات.

على سبيل المثال يوجد في مصر نظام جيوديسي خاص بها محلي تتعامل بها داخل حدود مصر يسمى (ETM) وهو نظام يعرض الاحداثيات الجغرافية لمصر بدقة عالية مقارنة باستخدام المرجع الجيوديسي العالمي، ومع ذلك فهو يرتبط به في الحسابات المرجعية.

وبالتالي عند تحويل الإحداثيات الجغرافية من نظام إلى نظام آخر، يجب استخدام معادلات تحويل خاصة كما يوضحها شكل (٥٨) وهي معادلات أعدت لهذا الغرض تعتمد بالأساس على القياسات المذكورة أعلاه بالإضافة إلى مقدار الإزاحة في الإحداثيات الكارتيسية (X, Y, Z) بين النظامين.



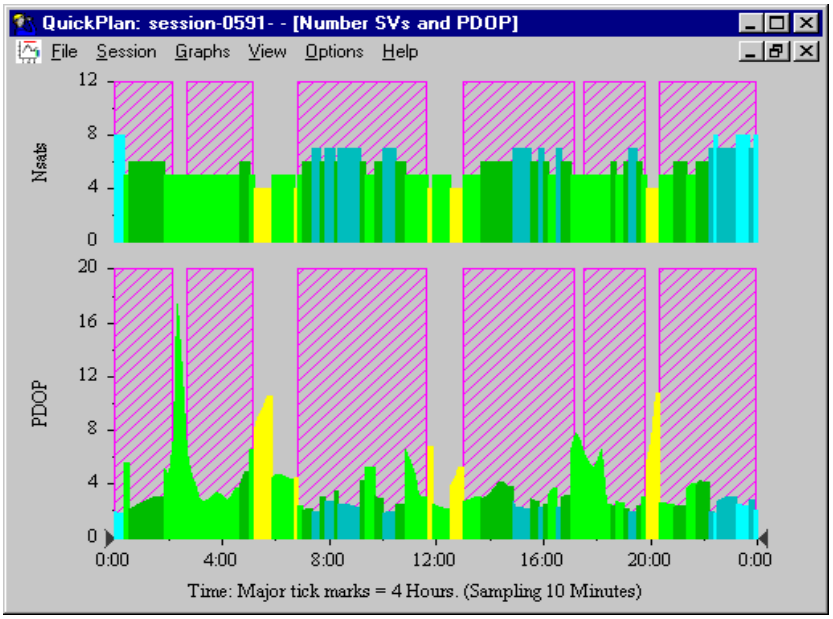
شكل (٥٨) يوضح عملية تحويل الإحداثيات بين نظامين مختلفين



شكل (٥٩) طريقة حساب الإزاحة لنظامين مختلفين بناء على قيم (X,Y,Z)

٨- **تمييع الدقة**: (Dilution of Precision)

تمييع الدقة Dilution of Precision واختصاره (DOP) وهي قيمة هندسية (ليس لها وحدات) تعتمد على الوضع النسبي بين موضع المستخدم وموضع الأقمار المختارة أثناء الرصد ولا تعتمد على جودة الإشارة المرسل، وهي تستخدم كمقياس لجودة الأرصاد فمثلا تسوء دقة الاحداثي المحسوب من ٤ أقمار صناعية لو اقتربت هذه الأقمار من بعضها (علي، بدون شنة نشر، ص ١٤).



شكل (٦٠) مشكلة تمييع الدقة على إشارات جهاز (GPS)

كلما استقبل جهاز الاستقبال (GPS) لإشارات الأقمار الصناعية بشكل متباعد كلما أعطى دقة مكانية عالية كما يظهر في النموذج (A)؛ وكلما اقتربت الأقمار الصناعية من بعضها أعطت اشاراتها متقاربة لجهاز الاستقبال مما ينتج عنه ضعف في العملية الحسابية للموقع الجغرافي، وقد تظهر مثل هذه المشكلة في المناطق العمرانية ذات الأبراج العالية والمناطق الجبلية في بطون الأودية كما يوضحه نموذج (B) انظر شكل رقم (٦١).

شكل (٦١) تمييع الدقة (DOP)

ثالثاً: طرق تعزيز دقة نظام (GPS)

نظرا لسهولة تحديد المواقع العالمية باستخدام منظومة (GPS) وظهور بعض الأخطاء في عملية تحديد المواقع العالمية الناتجة من مصادر مختلفة فقد جرت العديد من المحاولات لتصحيح هذه الأخطاء باستخدام طرق متعددة يأتي في مقدمتها استخدام النظام التفاضلي (Differential GPS) واستخدام النظام المدمج لمنظومات الأقمار الصناعية المتنوعة بهدف الحصول على معلومات دقيقة في عمليات الرفع المساحي باستخدام تكنولوجيا (GPS).

جرت العديد من المحاولات والطرق المختلفة لتفادي الأخطاء الناتجة عن إشارات الأقمار الصناعية والغلاف الجوي وغيرها من أسباب تدني دقة المعلومات المنتجة من الأقمار الصناعية، كذلك ابتكرت العديد من الطرق للحصول على دقة عالية من أنظمة (GPS) لعل أهمها عمليات الرصد التفاضلي وتثبيت أجهزة رئيسية لتنسيب الاحداثيات والارتفاعات إلي نظام إحداثي ملحي ثابت، وقد ساعد ذلك في الحصول على دقة عالية من أنظمة (GPS) حتى أن انخفضت نسبة الخطأ إلى ملليمتر فقط، طبقاً لنوع جهاز (GPS) المستخدم، وطرق الرصد وأماكن تواجد المستخدم وغيرها كما يوضحها شكل رقم (٦٢).

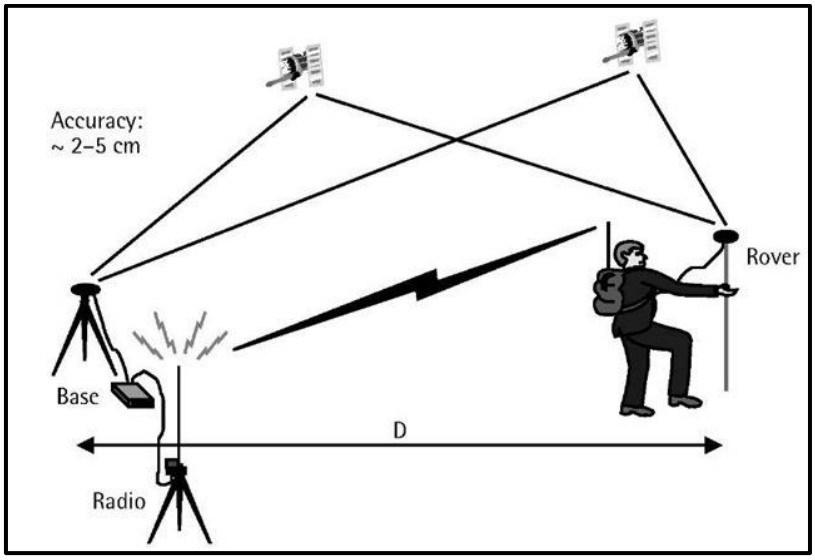
شكل (٦٢) طرق تعزيز الدقة المكانية في نظام (GPS)

١- **خدمة** (RTK):

ومن أهم خدمات النظام التفاضلي خدمة نظام الرصد اللحظي المتحرك Real Time Kinematic واختصاره (RTK) وهي خدمة تعطي حداثيات دقيقة عن طريق ربط جهاز استقبال لإشارات (GPS) بمحطة أرضية ثابتة مع إشارات الأقمار الصناعية، ويكون في هذه الحالة لدينا جهاز أساسي (GPS Station) يثبت على نقطة رصد أرضية ثابته ويتصل بالأقمار الصناعية وجهاز أخر متحرك يسمى (Rover)؛ حيث يقوم الجهاز الأساسي باستقبال إشارات الأقمار الصناعية، ويقوم بتنسيبها إلى نقطة الرصد الأرضي بمعلومية (X, Y, Z) في نفس اللحظة.

ويستخدم جهاز الرصد المتحرك (Rover) في جمع البيانات من الميدان أثناء اتصاله بالأقمار الصناعية والمحطة الأرضية الثابتة التابعة له في نفس الوقت مما يعطي بيانات دقيقة منسبة إلى المحطة الأرضية وتستخدم هذه الطريق بكثرة في أعمال المساحة الأرضية والرفع المساحي وغيرها. يمكن أن

يثبت الجهاز المتحرك (rover) على سيارة أو يحمل على الظهر وغير ذلك مما يساعد في سرعة رصد ورفع البيانات الجغرافية بدقة.



شكل (٦٣) نظام خدمة (RTK)

ويمكن توضيح بعض الارشادات عند الذهاب للعمل الميداني بأجهزة (GPS) والتي منها: –

- يجب فحص توزيع الأقمار الصناعية (SV) داخل جهاز (GPS) والذي يسمى تمييع الدقة (Positional Dilution of Precision) بحيث يكون توزيعها متباعد (Good PDOP)
- تحديد طريقة الرصد، ويقصد بطريقة الرصد هي الطريقة التي يتبعها مهندس المساحة في استخدامه للجهاز، وهو الذي يقرر الطريقة التي يتبعها في الرصد تبعا للعوامل التالية:
  - ☜ إمكانية الجهاز المستخدم. – عدد الأجهزة المتوفرة.
  - ☜ الدقة المطلوبة من العمل. – العدد المتوفر من المساحين.
  - ☜ البرنامج الحسابي المستخدم لمعالجة الأرصاد. – الوقت اللازم لإنجاز المشروع.

وتقسم طرق الرصد بواسطة GPS إلى:

- الملاحة والتوجيه Navigation Survey.
- الرصد الثابت Static Survey.
- الرصد الثابت السريع Rapid Static Survey.
- الرصد المتحرك Kinematic Survey.

وهذه الطريقة الوحيدة التي يتم تحريك الجهاز الذي يقوم بالرصد مع وضع جهاز ثابت فوق نقطة مرجعية معلومة الإحداثيات، وتقسم هذه الطريقة إلى ثلاث طرق فرعية حسب آلية الرصد هي:

- الثبات والحركة Stop & Go.
- الرصد المستمر Continuous.
- الرصد المتحرك اللحظي Real Time Kinematic (RTK)

ويمكن تناول هذا الجزء كما يلي: –

وتعتبر طريقة الرصد المتحرك اللحظي Real Time Kinematic واختصارها (RTK) هي الطريق التي يتم فيها ارسال الاشارة المصححة (Correction GPS signal) لحظيا من الجهاز المرجعي (Reference) الموجود فوق نقطة معلومة الاحداثيات الى جهاز متحرك (Rover) او أكثر في نفس الوقت والموجود فوق نقطة مجهولة الإحداثيات ليتم حساب إحداثيات هذه النقطة لحظيا وبالنظام المحلي دون الحاجة للرجوع للمكتب من اجل عملية معالجة الرصد. ومن أهم احتياجات نظام الرصد المتحرك اللحظي (RTK) ما يلي: –

- الوحدة (المحطة) الثابتة (Reference Unit): وهي عبارة عن جهاز (GPS) مثبت فوق نقطة معلومة الاحداثيات.
- الوحدات المتحركة (Rover Units): عبارة عن جهاز (GPS) او أكثر يتنقل فوق النقاط المراد رصدها ميدانيا.

- خدمة ال (GPRS) أو (Data Call) أو إشارات راديو: وهي عبارة عن اداة لنقل الاشارات المصححة من الجهاز الثابت الى الاجهزة المتحركة.
- معاملات التحويل (Transformation Parameters) للمنطقة المرصودة: وهي عبارة عن معاملات للتحويل من النظام العالمي WGS84 الى النظام المحلي سواء كان Cassini أو JTM ليتم الحصول على الاحداثيات بالنظام المحلي لحظيا في الميدان.
- الية عمل طريقة الرصد المتحرك اللحظي (RTK): يوضع جهاز ثابت فوق نقطة مرجعية معلوم إحداثياتها يكون مزود بجهاز مرسل إشارات راديو أو (GPRS) أو Data Call، ويتم إدخال إحداثيات النقطة بالجهاز مباشرة.

يقوم الجهاز بحساب التصحيح بين القيم المسجلة من الأقمار وبين الإحداثيات الفعلية للنقطة بالإضافة للتصحيحات الاخرى ومن ثم يرسل مقدار التصحيح إلى الجهاز المتحرك فوق النقاط.

يقوم الجهاز المتحرك باستقبال التصحيحات المرسلة من المحطة المرجعية ليتم الحصول على احداثية مصححة بنظام WGS84 وعن طريق معاملات التحويل (Transformation Parameters) يقوم الجهاز بتحويل الاحداثية للنظام المحلي لحظيا وخلال ثوان.

ومن أهم فوائد نظام الرصد المتحرك اللحظي (RTK) ما يلي: -

- **توفير الوقت:** يمتاز نظام الرصد المتحرك اللحظي بالسرعة مقارنة مع طرق الرصد الاخرى حيث اننا لا نحتاج العودة للمكتب للقيام بمعالجة الرصد.
- **توفير المصاريف:**
  - حيث يتم توفير في عدد الموظفين.
  - • توفير في عدد الاجهزة المستخدمة في الرصد.

- • توفير في عدد السيارات المستخدمة.
- إعطاء دقة عالية وبوقت قليل.

تغطية دائرة نصف قطرها ٣٠ كم من مركز المحطة الثابتة، مع امكانية عمل محطة مرجعية مؤقتة (Temporary Reference Station) خارج نطاق المحطة الثابتة وذلك باستخدام جهازين (GPS) يتم وضع أحدهما كمحطة مرجعية Reference Station والاخر متحرك Rover Station.

ومن أهم تطبيقات نظام الرصد اللحظي (RTK):

- تثبيت الحدود.
- رصد النقاط وحدود الاراضي.
- توزيع نقاط مساندة لمستخدمي جهاز المحطة الشاملة.
- المساهمة في البحث عن نقاط المثلثات المذالة او المفقودة.
- الانشاءات.
- الطبوغرافيا.

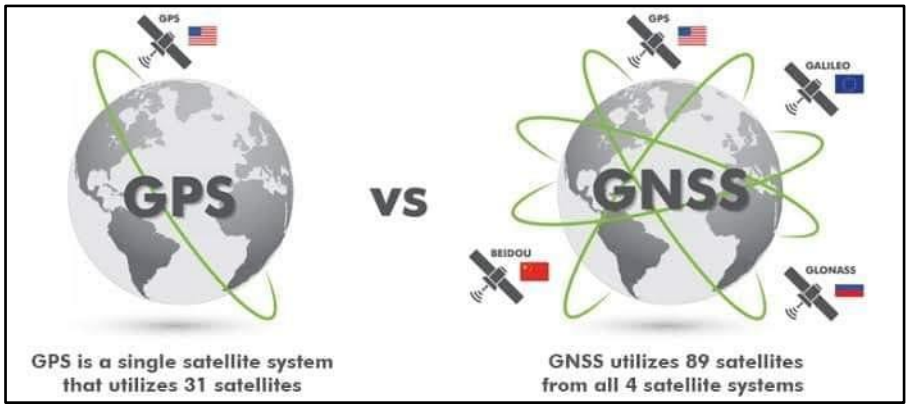
لكن مع مميزات نظام الرصد اللحظي (RTK) إلا أنه له بعض العيوب لعل أهمها: –

- عدم القدرة على العمل في المناطق التي تحيطها مباني عالية او أشجار مع معالجة هذه النقطة في الأجهزة الحديثة والتي تعمل بنظام GNSS.
- عدم تغطية الشبكة الخلوية لجميع المناطق مما يسبب صعوبة في الاتصال بين المحطة المتحركة والمحطة الثابتة مع إمكانية العمل بأجهزة الراديو (Radio Modem) في المناطق التي لا تغطيها الشبكة الخلوية.

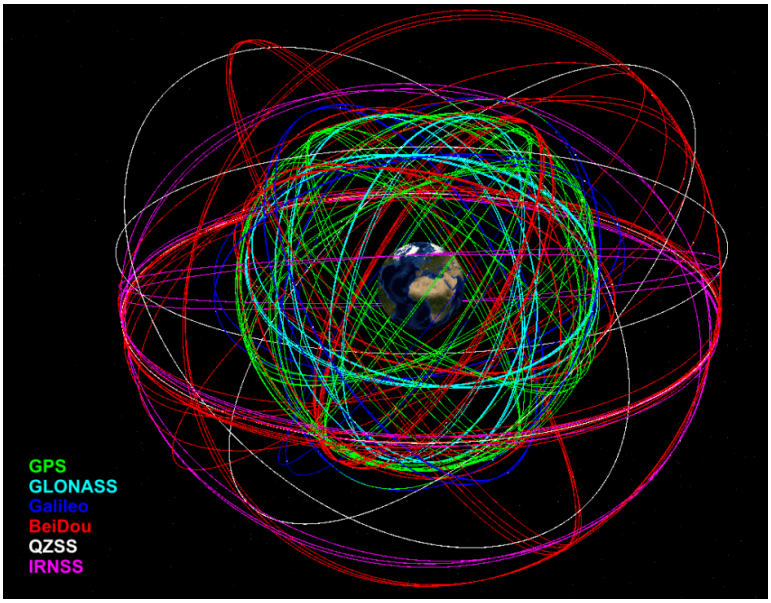
٢- **النظام المدمج** (GNSS)

وهناك طريقة أخرى لتحسين دقة قياسات نظام (GPS) وهي عملية الدمج بين إشارات الأنظمة الأخرى لكي يستقبلها جهاز الاستقبال اليدوي (GPS)، حيث يمكن ادخال تكنولوجيا أخرى والدمج بين اشاراتها مثل نظام (Navstar) الأمريكي والنظام الروسي (Glossnass) والنظام الأوروبي (Galileo) وكذلك النظام الصيني (Beidou) في عمليات الرصد والقياس وهو ما يطلق عليه بتقنية نظام (GNSS) وهو اختصار لمصطلح (Global Navigation Satellite System).

وهي منظومة يتم فها تصنيع أجهزة دقيقة وحديثة يمكنها التعامل مع إشارات الأقمار الصناعية للأنظمة المتنوعة بهدف رؤية أكثر من قمر صناعي في آن واحد على جهاز الاستقبال اليدوي، مما يساعد في الوصول لدقة عالية تستخدم في أعمال المساحة الأرضية والدقيقة؛ نتيجة لظهور عدد كبير من الأقمار الصناعية على جهاز الاستقبال اليدوي، كما يوضحه شكل رقم (٦٤).



شكل (٦٤) النظام المدمج (GNSS)

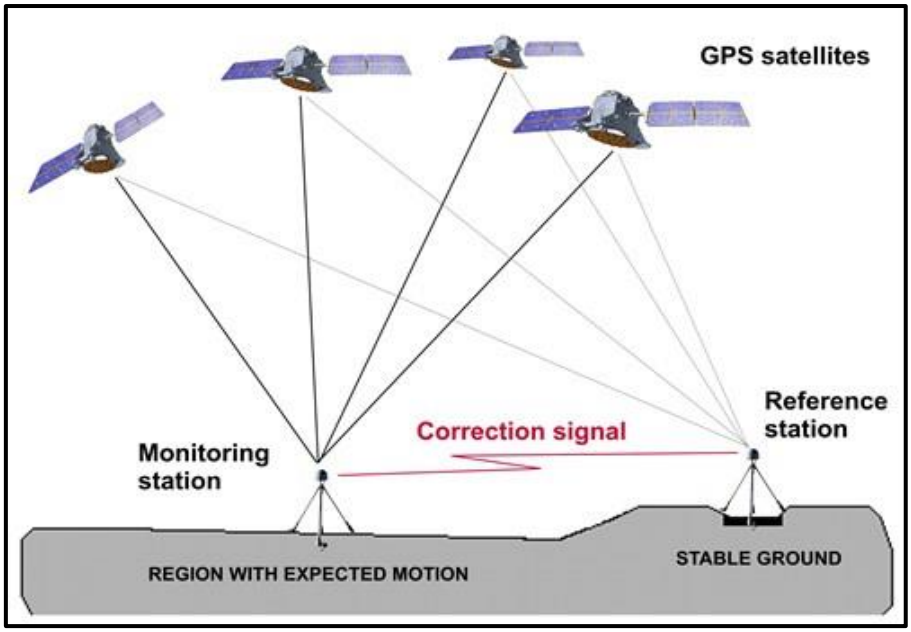


شكل (٦٥) كثافة مدارات الأقمار الصناعية في النظام المدمج (GNSS)

١- **الرصد التفاضلي** (DGPS):

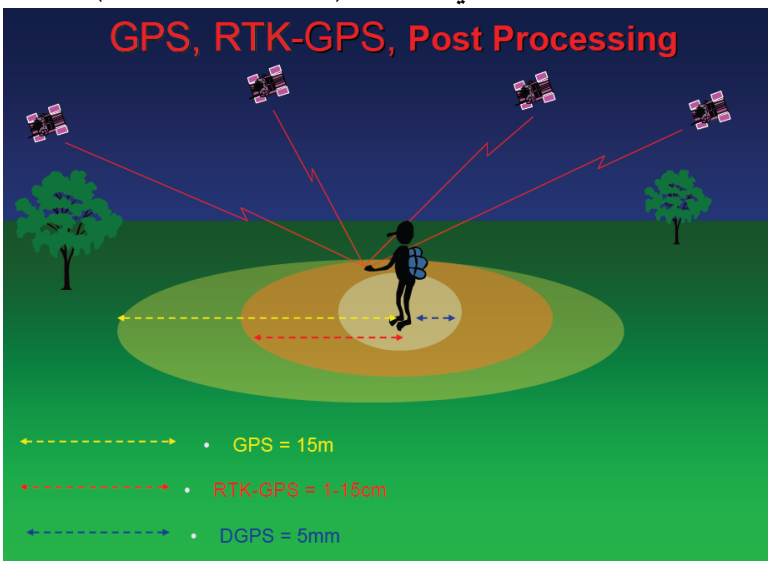
هناك طرق متعددة لزيادة جودة التقدير (دقة رصد الموقع الجغرافي) وهي استخدام نظام الرصد التفاوتي/التفاضلي (Differential GPS) أو الرصد الثابت للتفرقة بينه وبين الرصد المتحرك (RTK)؛ وتتلخص فكرته في وضع جهاز (GPS) على موقع معلوم الإحداثيات، وبالتالي فإن هذا الجهاز يستقبل إشارات الأقمار الصناعية المستخدمة في الرصد، وفي نفس الوقت يتم وضع يتم الرصد في موقع قريب باستخدام جهاز آخر بشرط أن يستخدم هذا الجهاز نفس الأقمار التي يستخدمها الجهاز الآخر، ومن هنا يمكن تحديد الخطأ بفحص الفرق بين الإحداثيات المعلومة للموقع والإحداثيات التي تم تقديرها باستخدام جهاز (GPS) الموضوع في الموقع المعلوم.

قد يتم التصحيح في الموقع مباشرة باستخدام المرسلات (transmitter) والتي ترسل التصحيح مباشرة من جهاز لآخر أو قد يتم التصحيح بعد الرفع في المعمل (post processing) ويتم عمل حساب هذا الفرق في كل القياسات مما يجعل الخطأ في الرصد يقل إلى حوالي ١ متر أو أقل.



شكل (٦٦) النظام التفاضلي (Differential GPS) لتعزيز الدقة المكانية

وإذا أردنا الحصول على دقة أكبر وخطأ أقل يمكننا استخدام ما يسمى (carrier-wave) حيث يتم فيه استخدام مستقبلات أكثر تقدما، وبالتالي أكثر تكلفة وهذا الأسلوب يتطلب وقت أطول في القياس (أجر أعلى للعاملين) ويتم عمل معالجات أخرى بعد ذلك في المعمل (post processing).



شكل (٦٧) مقارنة بين طرق تعزيز الدقة المكانية والدقة المنتجة

رابعاً: تعزيز دقة نظام (GPS) بالشبكات الأرضية العالمية

تحتاج عملية تعزيز دقة البيانات المستلمة من منظومة الأقمار الصناعية إلى استخدام كل الوسائل والطرق العلمية السليمة للوصول إلى أفضل النتائج لحساب الموقع والتوقيت بدقة، فبالإضافة للأقمار الصناعية ومُستقبلات (GPS) هناك محطات أرضية يُمكنها الاتصال بشبكة الأقمار الصناعية وبعض مُستقبلات (GPS) يُطلق عليه رسمياً قطاع التحكم (control segment)، وهو يُعزز من دقة مُستقبلات (GPS) المستخدمة.

ومن الأنظمة الشائعة التي تستخدم قطاع التحكم لتعزيز الدقة (WAAS, DGPS, WAAS) هو النظام الشائع في معظم مُستقبلات (GPS) وتصل دقته إلى حدود ٥ أمتار؛ أما نظام (DGPS) فيتطلب نوعاً خاصاً من مُستقبلات (GPS) ودقته تصل إلى حدود سنتيمتر واحد. ويعيب مُستقبلات (DGPS) سعرها المرتفع وحجمها الكبير بسبب احتياجها لهوائي إضافي.

١- **نظام التعزيز المعتمد للأقمار الصناعية (SBAS):**

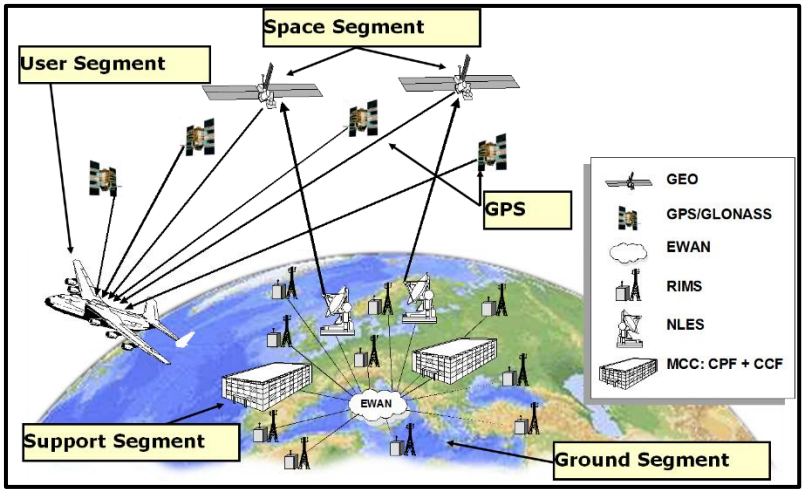
نظام التعزيز المعتمد للأقمار الصناعية وهو مصلح (Satellite-based Augmentation Systems) واختصاره (SBAS)، هو عبارة نظام متكامل يجمع بين بيانات الأقمار الصناعية الملاحية (GNSS) وقياسات المحطات الأرضية (محطات مرجعية محددة بدقة موزعة في مناطق محددة على سطح الكرة الأرضية) والأقمار الصناعية المتزامنة مع حركة دوران الأرض (geostationary)، وهو نظام يوفر خدمات لتحسين دقة وتكامل إشارات (GNSS)، مما يزيد من دقة الحسابات الأرضية لتحديد المواقع الجغرافية.

وفيها توفير معلومات عن الإشارات ترسل إلى حواسب مركزية ثم فيها تصحيح أخطاء القياس التي تحدث في الإشارة، عن طريق حساب التصحيحات التفاضلية، يتم ارسال هذه الحسابات إلى أقمار صناعية ثابتة بالنسبة إلى

الأرض، على نفس التردد للأقمار الصناعية، مما يساعد في زيادة دقة البيانات والمعلومات المرسلة من الأقمار الصناعية (GNSS).

ومع ربط أنظمة التعزيز الإقليمية في الدول المتنوعة يمكن الحصول على دقة عالية، لذلك فقد نفذت عدة دول نظام التعزيز الخاص على منظومة الأقمار الصناعية الملاحية التابعة لها؛ وأصبحت قيد التشغيل.

على سبيل المثال تم تنفيذ نظام التعزيز الإقليمي على معظم دول الاتحاد الأوروبي وتسمى هذه الشبكة (EGNOS)؛ ويوجد نظام تعزيز في الولايات المتحدة الأمريكية يسمى (WAAS) وفي اليابان يوجد نظام مشابه يمسي (MSAS) وقد أنشأت الهند نظام لها يسمى (GAGAN) ويسمى نظام التعزيز الصيني (BDSBAS)؛ وتسعى روسيا إلى بناء نظام للتصحيحات والمراقبة التفاضلية ويسمى (SDCM).

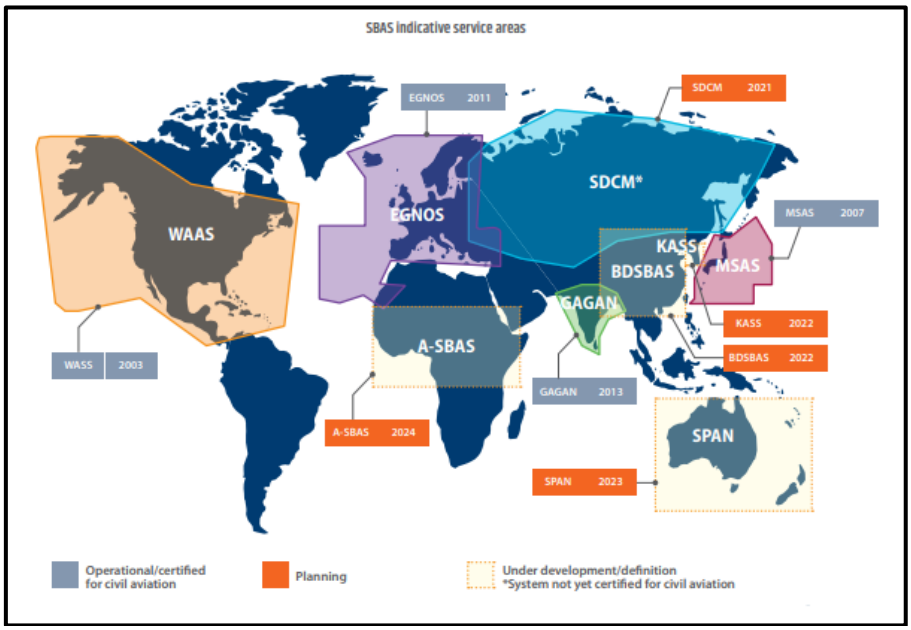


شكل (٦٨) نموذج يوضح التكامل بين الأقمار الصناعية للملاحة ونظام التعزيز الإقليمي

وهناك أنظمة أخرى قيد التنفيذ من أهمها نظام التعزيز الخاص بكوريا الجنوبية (KASS) وشبكة التعزيز الأسترالية (SPAN) وغيرها من أنظمة التعزيز الأخرى التي سوف توفر تغطية عالية لتحديد المواقع الجغرافية.

تعطي منظومة التعزيز في شبكة (EGNOS) الأوربية تصحيحات دقيقة للجزء الشمالي لمصر، مما يعطي دقة في خدمات الملاحة الدقيقة بالأقمار الصناعية لشمال مصر.

خدمات اس باس (SBAS) عبارة عن خدمة تقدمها بعض الهيئات الخاصة بتكلفة مادية أو باشتراك، حيث تعتمد هذه الفكرة على بناء شبكات من المحطات الرصد الأرضية الثابتة التي تعمل مع الأقمار الصناعية بطريقة (Real Time) وتقوم بتنسيب الاحداثيات بعد تصحيحها طبقا للشبكة الأرضية ومعلومية الاحداثيات لنقاط الربط الأرضية الثابتة كما يوضحه شكل (٦٩).



شكل (٦٩) التوزيع الجغرافي لشبكات التعزيز (SBAS) في جميع أنحاء العالم

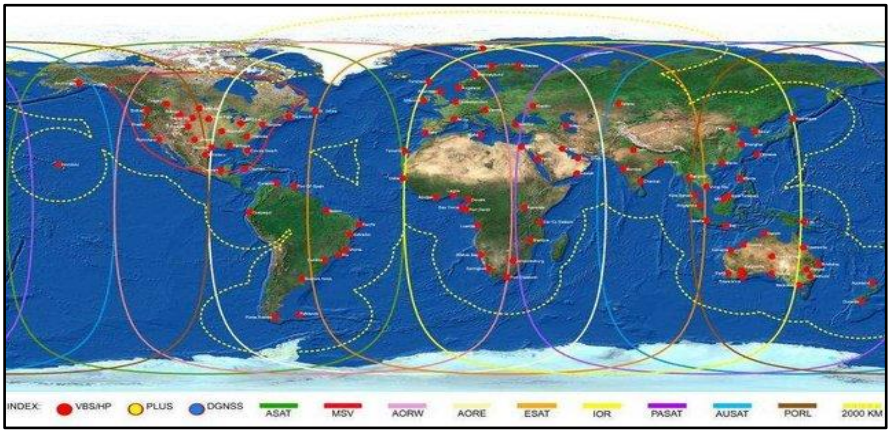
تقوم المحطات الأرضية الثابتة بإرسال البيانات المصححة إلى أقمار متزامنة مع حركة دوران الأرض (geostationary satellite) ومتصلة بأقمار أنظمة (GPS) وبعد ذلك ترسل البيانات والمعلومات المصححة إلى جهاز الاستقبال اليدوي (Rover)

تحتاج عملية استخدام خدمة (SBAS) أن تكون أجهزة الاستقبال اليدوية مجهزة بمستقبلات هذه الخدمة، لذلك فقد خصصت بعض الشركات مثل شركة (Trimble) في بعض أجهزتها خاصية في المستقبلات لاستلام إشارات خدمة (**SBAS**) حيث يمكن لهذه الأجهزة أن تستخدم تصحيحات (MSAS) في النطاق الجغرافي الذي تقع به.

تتوافق جميع هذه الأنظمة مع معيار عالمي مشترك مما يساعد في تقديم خدمات دقيقة لتحديد المواقع في مناطق التغطية التي يتواجدون فيها؛ مما يساعد في توفير خدمات لتحديد المواقع الجغرافية لحركة الطائرات في الجو، مما يساعد في سلامة الطيران والأرواح.

٢- **خدمة** (OmniSTAR)

هي شركة رائدة في توفير بيانات تحديد المواقع بدقة عالية عبر الأقمار الصناعية (GNSS)، حيث يستخدم في ذلك تقنية تحديد المواقع التفاضلية (DGNSS). باستخدام أكثر من ١٠٠ محطة مرجعية و ٦ أقمار صناعية عالية الدقة، ومركزين عالميين للتحكم في الشبكة، تقدم (OmniSTAR) خدمات تحديد المواقع في الوقت الفعلي (Real Time) وبدقة موثوقة للغاية للتطبيقات الأرضية والجوية في جميع أنحاء العالم على مدار ٢٤ ساعة طوال العام كما يوضحه شكل (٧٠).



شكل (٧٠) نظام تغطية شبكة (OmniSTAR)

خدمة أومني ستار (OmniSTAR) عبارة عن خدمات تقدم تصحيحات بمقابل مادي، وهي عبارة عن شبكة من مترابطة تعمل مع أنظمة تحديد المواقع العالمية بالأقمار الصناعية تقدم دقة مكانية موثوقة ودقيقة، تساعد مستخدميها انجاز خدماتهم وهي خدمة تعمل على مدار الساعة طوال أيام، وتعد خدمات (OmniSTAR) متوافقة مع أجهزة استقبال أنظمة (GPS) وتستخدم هذه الخدمة في أعمال المساحة للمجالات الآتية: –

- أعمال المساحة الأرضية في الزراعة والغابات.
- أعمال المساحة الأرضية للحصول على البيانات المكانية.
- عمليات المساحة الأرضية عند تمديد الكابلات وخطوط الأنابيب.
- أعمال المساحة الخاصة بمسوحات الري والترع وغيرها.
- أعمال رسم الخرائط وخطوط المرافق.

تعتبر خدمة منظومة (OmniStar) مفيدة جدا في عمليات مد خطوط الغاز الطبيعي والكابلات الأرضية، فقد اعتمد على هذه الخدمة في مصر في تنفيذ بعض المشروعات المتعلقة بمد خطوط الغاز الطبيعي (خط غاز القاهرة أسوان)، حيث تم تنفيذ عمليات مد خط غاز مصر بهذه الخاصية، كذلك يجري حاليا الاعتماد على هذه الخاصية في مد خط كابلات مصر اليونان في عرض البحر المتوسط، حيث تحتاج هذه الخدمة إلى توفير جهاز روفر واحد فقط.

* * *

الفصل الرابع

أنواع أنظمة GPS

- النظام الأمريكي (Navstar)
- النظام الروسي (Glonass)
- النظام الأوربي (Galilio)
- النظام الصيني (Bediuo)
- النظام الهندي (Galilio)
- النظام الياباني (Galilio)

مقدمة:

يعتبر نظام (Navstar) الأمريكي (Navigation Satellite Timing and Ranging) أول أنظمة تحديد المواقع العالمية ظهورا وهو يدعى نظام (GPS) وبعد نجاح هذه المنظومة في تحديد المواقع على سطح الكرة الأرضية بدقة عالية دخلت في الكثير من المجلات العلمية (المجال العسكري، والزراعة والمساحة الأرضية ورسم الخرائط وغيرها). نظرا لما تقدمه من خدمات في تحديد المواقع وحساب المسافات وتحديد الاتجاهات والارتفاعات فقد قامت الدول الكبرى بعمل سباق تنافسي في امتلاك خدمات مشابهة للنظام الأمريكي.

بدأ النظام الأمريكي لتحديد المواقع العالمية في إطلاق الأقمار الصناعية عام ١٩٧٨ واكتمل النظام عام ١٩٩٥، ثم بدأ الاتحاد السوفيتي في عمل مشروع منافس للنظام الأمريكي لتحديد المواقع أطلق عليه اسم غلوناس (Glonass) ثم تبعه النظام الأوربي والذي سمي بنظام جاليليو لتحديد المواقع العالمية ثم قامت الصين والهند واليابان بعمل أنظمة مشابهة يمكن تناول أهم خصائصها كما يلي: –

١- **النظام الأمريكي** (NAVSTAR):

توفِّر الأقمار الصناعية لنظام الملاحة وتحديد المواقع الجغرافية، خدمات متعددة لمستخدميها، حيث أصبح بإمكانهم تحديد مواقعهم ووجهاتهم اليومية، وقد دخلت هذه المنظومة معظم المجالات الحياتية، فهي تستخدم في الترحال والتنقل والزراعة والأمن والطيران والبحث والانفاذ وغيرها من الاستخدامات التي يحتاجها الانسان بشكل يومي.

وقد كان الاستخدام الأول لنظام تحديد المواقع العالمي هو الاستخدام العسكري، حيث قامة وزارة الدفاع الأمريكية بتطوير النظام بهدف مراقبة جيوشها ومعداتها على الأرض وكذلك في البحر والجو، وقد بلغت قدرت النظام في المجال العسكري إلي أن وصلت لتوجيه الصواريخ وتحديد مواقع والأهداف المطلوبة لضربها واصابتها.

تعد خدمة نظام تحديد المواقع العالمي خدمة مجانية في ظاهرها، لكنها عبارة عن خدمة توفر المعلومات الدقيقة لمالك النظام، ومع ذلك فهي تستخدم في الخدمات المدنية في مجالات متعددة من أهمها (الرفع المساحي، البحث والإنقاذ، الزراعة والبحث العلمي، وغيرها).

تتبع منظومة (NAVSTAR) وزارة الدفاع الأمريكية، حيث إنه بعد اكتشاف مدارات الأقمار الصناعية والعلاقة بين حركة دوران القمر الصناعي في مداره وموقع محطة الرصد الأرضي وإمكانية الحصول على معلومات حول المسافة بينهم من خلال المعلومات الخاصة بسرعة الإشارة ووقت انطلاقها وزمن وصولها فقد أمكن تحديد موقع القمر الصناعي وموقع الراصد على الأرض، ومن هذا بدأت فكرة بناء النظام.

تم إطلاق اول قمر صناعي يتبع منظومة (NAVSTAR) الأمريكية عام ١٩٧٨ وقد تم الإعلان عن اكتمال النظام مبدئيا عام ١٩٩٣، اما الاعلان النهائي فقد كان عام ١٩٩٥.

يدار نظام (GPS) من قبل وزارة الدفاع الأمريكية وهي الجهة المسؤولة عن إطلاق الاقمار الصناعية ومراقبتها والتأكد من كفاءة تشغيلها واستبدالها كل فترة زمنية، بحيث تكون اشارات هذه التقنية متاحة ٢٤ ساعة يومياً في كل وقت وحين، ولجميع المستخدمين على سطح الارض. يتكون نظام (GPS) الأمريكي من ثلاثة اقسام او أجزاء رئيسية هي: –

قسم الفضاء (Space Segment):

يعتمد نظام (GPS) الأمريكي على منظومة متكاملة من الأقمار الصناعية تعمل ضمن نظام يطلق عليه Sophisticated Network of Satellites، وهذه الأقمار تقوم بعملية مسح للكرة الأرضية كل ١١ ساعة و ٥٨ دقيقة، أي تدور مرتان حول الأرض في اليوم الواحد. مما يساعد أي مستخدم على الأرض من رؤية ما بين ٥ : ٨ أقمار صناعية في آن واحد (He-Chin, 2009, p5).

يتكون قسم الفضاء في نظام (GPS) الأمريكية من ٢٤ قمرا صناعياً تسمى بالمركبات الفضائية (SVS) موزعة على ٦ مدارات بحيث يكون هناك ٤ اقمار صناعية في كل مدار (طورت لاحقا لتصل إلى ٣١ قمراً صناعياً)، حيث يبعد كل مدار عن الأخر بمقدار ٦٠ درجة (He-Chin, 2009, p5)، مما يسمح بالتغطية الدائمة (اي ظهور ٤ اقمار صناعية على الاقل على شاشة جهاز الاستقبال اليدوي) لكل موقع على سطح الارض في اي لحظة طوال اليوم. وتدور أقمار نظام (GPS) الأمريكي في مدار أرضي متوسط (MEO) على ارتفاع حوالي ٢٠٢٠٠ كيلومتر، مما يتيح لكل قمر صناعي أن يدور حول الأرض مرتين في اليوم.

يحتوي أي قمر صناعي لنظام (GPS) الأمريكي على ٤ ساعات ذرية للحصول على توقيت دقيق جدا مما يساعد في تحديد المواقع بدقة، كما تبث هذه الأقمار نوعين من الإشارات المنخفضة (L1, L2, L5) حيث أن L1 خصص للاستخدامات المدنية بذبذبة مقدارها (1575.42 MHz).

قسم التحكم والسيطرة (Control Segment):

يتكون قسم التحكم نظام (GPS) الأمريكي من محطة رئيسية في ولاية كولورادو الامريكية واربعة محطات مراقبة في عدة مواقع حول العالم.

قسم المستقبلات الارضية (Users Segment):

يضم هذا القسم أجهزة استقبال نظام (GPS) الأمريكي، وهو ما يطلق عليهم مستخدمو النظام (GPS Users) وهم الأشخاص الذين لديهم أجهزة استقبال يدوية تستقبل إشارات الأقمار الصناعية وتتفاعل معها كما تتفاعل أجهزة المحمول التي في أيدينا مع أبراج الاتصالات الهاتفية، حيث يقوم جهاز الاستقبال لنظام (GPS) باستقبال اشارات الاقمار الصناعية وحساب احداثيات المكان الموجود به المستقبل سواء على الارض اوفي الجو او في البحر.

ويقدم نظام تحديد المواقع مجموعة من الخدمات من أهمها: -

- خدمة تحديد المواقع الأصلية (standard Positioning Service) واختصارها (SPS) وتعمل على التردد الأول وتوفر هذه الخدمة البيانات للمستخدمين دون أي تكلفة.
- أما خدمة تحديد المواقع الدقيقة (Precise Positioning Service) واختصارها (PPS) ويتم التصريح بالاستخدام للجيش الأمريكي وحلفائه باستخدام نظام الشفرة وتعمل على الترددين الأول والثاني.
- يمكن لجهاز تحديد المواقع استقبال الاشارة من ١٢ قمرا في حين لا تقل عن ٤ أقمار لكي تتحقق القراءة الصحيحة وكلما زاد عدد الأقمار زادت الدقة. (عبداللاه، .....، ص ٢٢٦).

٢- **نظام أقمار غلوناس** (Glonass): -

نظام غلوناس (GLONASS) هو نظام للملاحة بالأقمار الصناعية مبني على موجات الراديو؛ وهو نظام تابع للاتحاد السوفيتي سابقاً (روسيا الان)، وهو نظام يدار بواسطة قوات الفضاء الروسية.

أطلق على هذا النظام كلمة غلوناس (GLONASS) وهو اختصار لمصطلح (global navigation satellite system) وهو نظام طور على غرار نظام التموضع العالمي (GPS) الأمريكي؛ وهو نظام للملاحة بالأقمار الصناعية بدأ التفكير بتطويره في عام ١٩٧٦ اثناء الحرب الباردة بين الولايات المتحدة الامريكية والاتحاد السوفيتي السابق.

تم إطلاق اول قمر صناعي في نظام غلوناس بتاريخ ١٢ أكتوبر عام ١٩٨٢ وأطلقت بعد ذلك العديد من الصواريخ التي حملت أقمار هذه المنظومة حتى تم الانتهاء منها في ١٩٩٦.

لكن مع تفتت الاتحاد السوفيتي وانهيار اقتصاده ساء حال النظام، وفي أوائل عام ٢٠٠٠ أصبحت استعادة النظام من الأولويات العليا للحكومة الروسية، وزاد

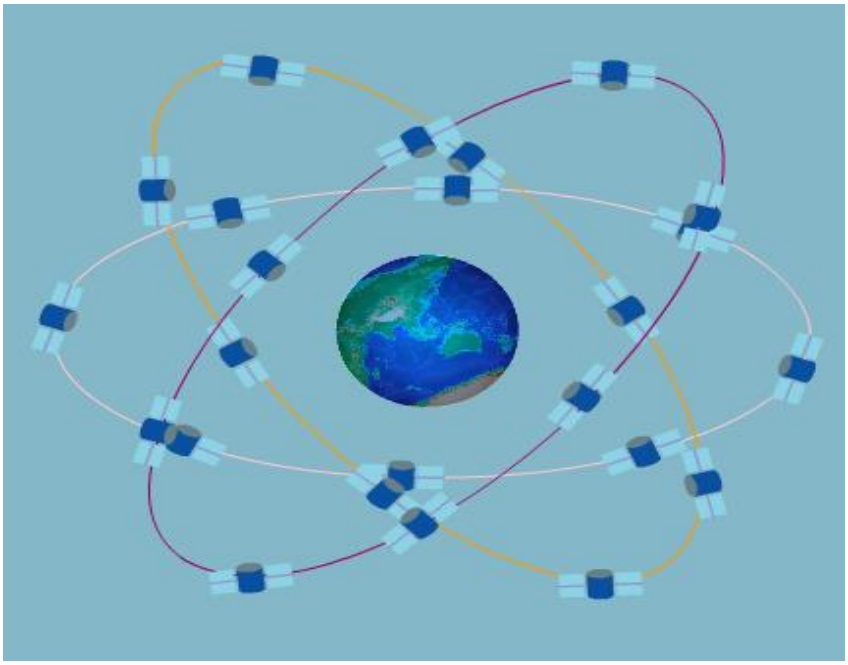
التمويل بشكل ملحوظ حتى تم استعادة النظام مرة أخرى؛ وبحلول عام ٢٠١٠، حقق غلوناس تغطية بنسبة ١٠٠٪ لأراضي روسيا.

يتكون نظام غلوناس من ٢٤ قمراً صناعياً موزعة في ٣ مدارات حول سطح الأرض، أي يدور هناك ٨ أقمار صناعية في كل مدار، وتدور هذه الأقمار على ارتفاع ١٩١٠٠ كم من سطح الارض. وهو نظام بديل ومكمل لنظام التموضع العالمي (GPS) الأمريكي.

اتاحة استعادة كوكبة نظام أقمار غلوناس (Glonass) والتي تضم ٢٤ قمرًا صناعيًا، تغطية عالمية كاملة للكرة الأرضية، وتميل مدارتها بمقدار ٦٤.٨ درجة، وتبلغ الدقة الأفقية ما بين ٥٧–٧٠ متر، أما الدقة الرأسية فتبلغ حوالي ٧٠ متر.

تتضمن كوكبة (GLONASS) المدارية (الجزء الفضائي) ٢٤ جهازاً فضائياً عاملاً في مدارات ١٩١٠٠ كم دائرية عملياً في زاوية ميل قدرها ٦٤,٨° عن خط الاستواء وتكمل الأقمار الصناعية دورة كاملة في مدارها حول الأرض كل ١١ ساعة و١٥ دقيقة.

تتوزع الأقمار الصناعية لنظام غلوناس بالتساوي في ٣ مستويات مدارية، حيث يحتوي كل مدار على ٨ أقمار صناعية (بتباعدات متساوية فيما بينها على خط العرض بمقدار ٤٥°). وتمتلك الأقمار الملاحة في مستوِيات المدار المجاورة تباعداً على خط العرض بمقدار ١٥°؛ حيث يضمن هذا الهيكل الهندسي لكوكبة المدار تغطية عالمية ومستمرة لسطح الأرض بمجال الملاحة، بحيث لا يقل ما يمكن أن يراه الراصد على المستقبل عن ٤ أقمار صناعية في أي لحظة وفي أي نقطة على الأرض (Dvorking, 2009).



شكل (٧١) مدارات الشبكة الروسية للأقمار الصناعية غلوناس (GLONASS)

٣- **نظام أقمار جاليليو** (Galileo):

النظام الاوروبي غاليليو (Galileo) هو نظام أوروبي مدني للملاحة العالمية وتحديد المواقع العالمية من خلال نظام الملاحة بالأقمار الصناعية (Global Navigation Satellite System) وهو نظام تابع لوكالة الفضاء الأوربية واختصاره (GNSS)، ويوفر معلومات محسنة عن المواقع والتوقيت، مما يساعد في العديد من الخدمات للمستخدمين الأوروبيين وغيرهم بصورة مجانية.

يعتبر نظام جاليليو المنافس الأول لنظام (GPS) الأمريكي، يهدف نظام جاليليو إلى تقديم خدمة عالمية دقيقة وذات غطاء عالمي وتحت السيطرة المدنية عكس نظام (GPS) الذي تديره وزارة الدفاع الأمريكية. ومن المتوقع أن يشكل نظام جاليليو مع نظام (GPS) الأمريكي والمنافس الروسي غلوناس منظومة

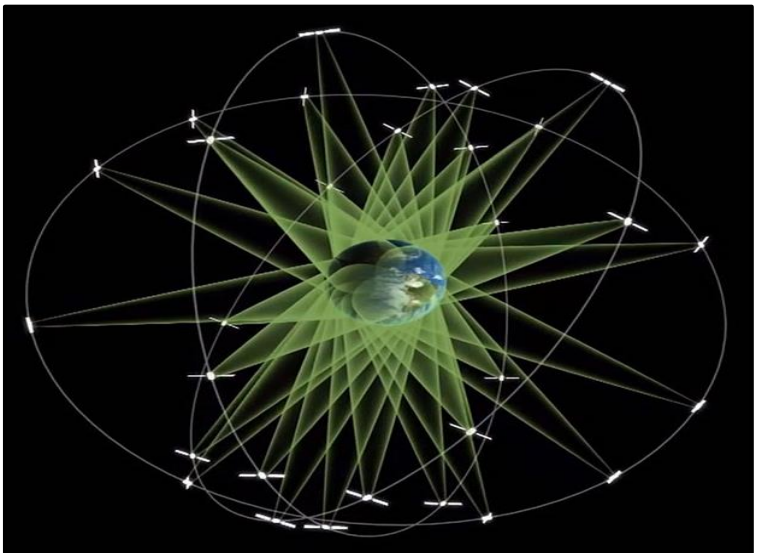
عالمية متكاملة لتحديد المواقع (GNSS)، وهي ما يطلق عليها مصطلح (Global Navigation Satellite Systems) وتقوم وكالة الفضاء الأوربية (European Space Agency) واختصارها (ESA) بتطوير وتشغيل وصيانة نظام جاليليو.

تم اقتراح إنشاء نظام جاليليو كمشروع مشترك بين الاتحاد الاوربي مع وكالة الفضاء الاوربية عام ١٩٩٩ ويتكون النظام من قسمين: –

القسم الفضائي:

يتكون نظام جاليليو من ٢٧ قمرا صناعيا، موزعة بالتساوي ٣ مدارات حول الأرض (بينما أقمار النظام الأمريكي تدور في ٦ مدارات)، أي أن هناك ١٠ أقمار صناعية تدور في كل مدار، على ارتفاع ٢٣٢٢٢ كيلومتر من سطح الأرض، وتميل بزاوية ٥٦ درجة إلى خط الاستواء، ويستغرق كل قمر صناعي حوالي ١٤ ساعة ليدور دورة كاملة في مداره حول الأرض.

أطلق أول قمر صناعي في منظومة جاليليو الأوربية عام ٢٠٠٤ واستمر إطلاق أقمار تجريبية طوال عامي ٢٠٠٥ و ٢٠٠٦، حتى تم التأكد من سلامة تشغيله بجودة عالية عام ٢٠١٢.



شكل (٧٢) شبكة الأقمار الصناعية في نظام جاليليو

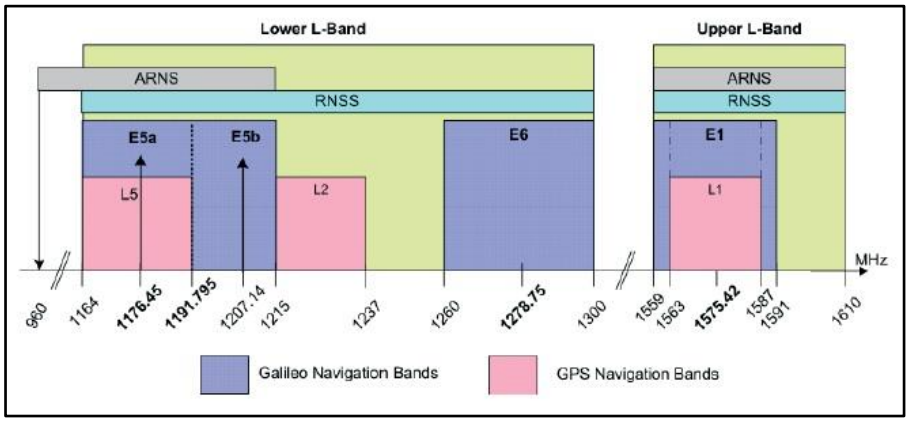
القسم الأرضي:

يتكون الجزء الأرضي من نظام جاليليو من مركزين أرضيين للمراقبة والتحكم (Galileo Control Centers) واختصاره (GCC) إحداها في أوبربافنهوفن (ألمانيا) والأخرى في فوسينو (إيطاليا).

تعمل أجهزت (GPS) في نظام تحديد المواقع العالمي الذي يتبع الاتحاد الأوربي جاليليو (Galileo) عن طريق حساب الفرق في زمن ارسال الاشارات من القمر وزمن استقبالها في جهاز (GPS) اليدوي، كما هو في نظام تحديد المواقع الأمريكي (GPS)، حيث يتطلب هذا الأمر توفر الاشارات من اربعة أقمار مختلفة مما يساعد في تحديد خطوط الطول ودوائر العرض والارتفاع والزمن بالنسبة لموقعة بدقة.

تُرسل إشارات الأقمار الصناعية لنظام (Galileo) في ثلاث نطاقات ترددية هي (E5 و E6 و E1) وتنقسم إشارة E5 إلى إشارات (E5a و E5b) حيث يتم إرسال هذه الإشارات في أربعة نطاقات ترددية كما يوضحه شكل ().

- التردد الأول (E1) بتردد ١٥٧٥.٤٢ ميجاهرتز
- التردد الثاني (E5a) ١١٧٦.٤٥ ميجاهرتز
- التردد الثالث (E5b) ١٢٠٢.٠٢٥ ميجاهرتز
- التردد الرابع (E6) ١٢٧٨.٧٥ ميجاهرتز (He-Chin, 2009, P683)



شكل (٧٣) يوضح النطاقات الترددية لإشارات نظام جاليليو ونظام (GPS)

ويقدم نظام تحديد المواقع الأوربي مجموعة من الخدمات من أهمها: -

١- الخدمة المفتوحة (Open Service) وهي الخدمة المجانية المتاحة لجميع المستخدمين في العالم والتي من المتوقع أن تكون دقتها في حدود ٤ متر أفقيا و٨ متر رأسيا للأجهزة ثنائية التردد.

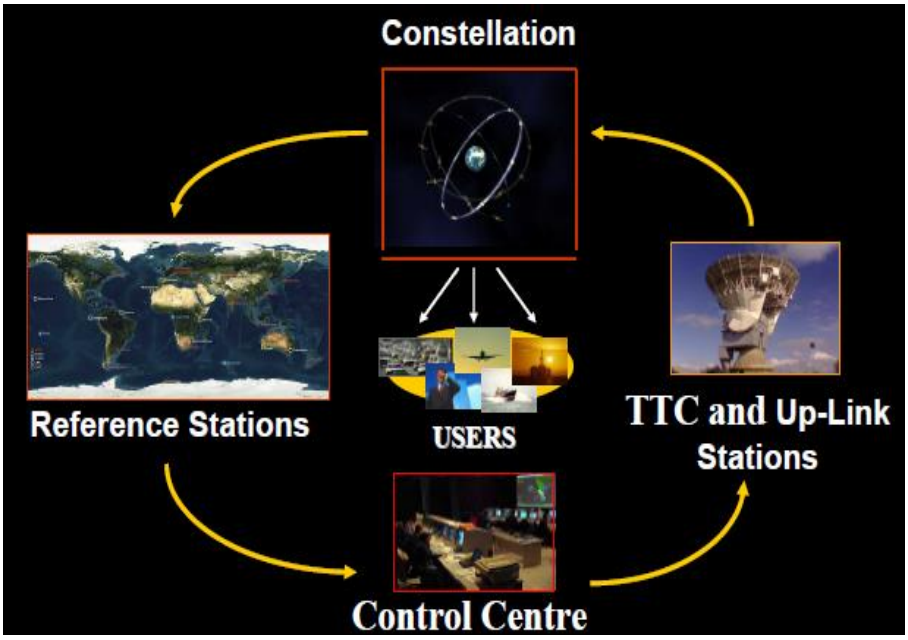
٢- خدمة سلامة الأرواح (Safety of Live Service) وتتميز عن الخدمة المفتوحة بإرسال رسائل وقتية (إنذارات) للمستخدم، في حالة حدوث أي مشاكل في النظام لا تسمح بضمان دقة الإحداثيات المحسوبة.

٣- الخدمة التجارية (Commercial Service) وهي خدمة تجارية باشتراك ودقتها أحسن من دقة الخدمة المفتوحة.

٤- خدمة المرافق العامة (Public Regulated Service) وهي خدمة خاصة للمرافق العامة مثل الشرطة والإسعاف والمطافئ وخاصة في أوقات الطوارئ أو الحروب حيث من الممكن أن تتأثر الخدمة العامة.

٥- خدمة البحث والإنقاذ (Search and Rescue Service) وهي خاصة ستضاف للنظم العالمية الموجودة حاليا لتحسن من دقتها في أعمال الإغاثة والإنقاذ.

يتوقع أن تصل دقة نظام (Galileo) لتحديد المواقع بنسبة خطأ أقل من متر تقريبا، بينما النظام الأمريكي تتدنى دقته إذا ما استخدم لأغرا ض مدنية بنسبة خطأ تتراوح بين ٢٥ إلى ٣٥ مترا، لكن مع التطورات الحديثة في أجهزة الرصد الأرضية والحلول التي تم الوصول لها لحل مشكلات الإشارات في الأقمار الصناعية قد تصل دقة تحديد المواقع من أجهزة (GPS) إلى أقل من المتر تقريباً.



شكل (٧٤) مكونات منظومة الملاحة بأقمار جاليليو

ومن المتوقع أن يحدث نظام جاليليو خاصة عند استخدامه مع نظام (GPS) الأمريكي ثورة تقنية هائلة في عدد من المجالات الهندسية والجغرافية والتنموية التي تعتمد على تحديد المواقع.

جاء قرار بناء نظام جاليليو الأوربي لعدد من الأسباب لعل في مقدمتها أن يكون هناك نظام تحديد مواقع أوربي مستقل حتى لا تكون التنمية في أوربا رهن نظام تابع لدول أخرى، خاصة وأن الاتحاد الأوربي قد قام بإنشاء نظام نقل جوي بحري بري متكامل يحتاج خدمات دقيقة، ومستمرة من نظام تحديد مواقع وملاحة لا يقل عن النظامين الروسي والأمريكي.

على الرغم من أن استخدامات نظام جاليليو مدنية في المقام الأول، إلا أنه قد يستخدم في الأغراض العسكرية أو الاستخباراتية، وقد يوفر نظام جاليليو العديد من فرصة العمل في أوربا. وقد جرت العديد من المحادثات لوزراء النقل في الاتحاد الأوربي حول بناء هذا النظام، وقد مرت هذه الفكرة بمراحل متعددة يمكن ايجازها كما يلي:

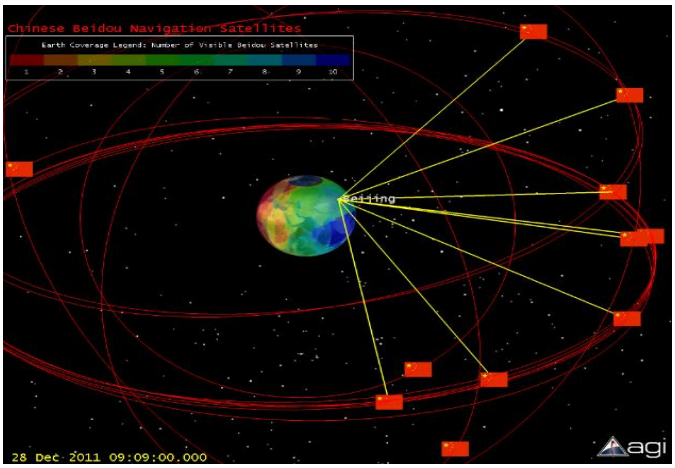
- **مرحلة الدراسة:** لقد تم إجراء دراسات معمقة بلغ حجم تمويلها ٨٠ مليون يورو.
- **مرحلة التطوير:** بدأت بين عامي (٢٠٠١-٢٠٠٦) بتمويل وصل إلى ١.١ مليار يورو من الاتحاد الأوربي ووكالة الفضاء الأوربية، حيث بدأ إنشاء الشركة الأوربية التي ستقوم بتوفير المعدات وتصنيعها أوربيا، وتدريب الكوادر الفنية والإدارية، ومزودي الخدمات... إلخ، وتنتهي بإطلاق أقمار تجريبية.
- **مرحلة التطوير:** بدأت بين عامي (٢٠٠٦-٢٠٠٧) بتمويل وصل إلى ٢.١ مليار يورو معظمها من القطاع الخاص تنتهي بها مرحلة التجارب، وفيها يتم إرسال الجزء الأكبر من أقمار النظام إلى الفضاء.
- **مرحلة التشغيل:** بدأت عام (٢٠٠٨) واعتمد فيها مبلغ ٢٠٠ مليون يورو لأعمال الصيانة السنوية الدورية لأجهزة ومعدات النظام.

٤- **نظام أقمار** (Compass):

نظام البوصلة (Compass Navigation Satellite System) واختصاره (CNSS) هو نظام ملاحي لتحديد المواقع تملكه الصين، ويعرف النظام أيضاً باسم (Beidou navigation satellite system) بدأ البرنامج رسميا في ٢٠٠٥، وبدأ إطلاق الأقمار الصناعية الخاصة به عام ٢٠٠٦ وبدأ تشغيل النظام والعمل به عام ٢٠١٣.

خطط لنظام (Beidou) بأن يتكون من ٣٥ قمرا صناعيا، منها ٥ أقمار صناعية توضع في مدار استوائي ثابت بالنسبة للأرض (GEO) على ارتفاع 35,786 كم من سطح الأرض، و٣ أقمار صناعية مائلة متزامنة مع الأرض (IGSO) بزاوية ميل ٥٥ درجة على ارتفاع ٣٨٣٠٠ من سطح الأرض، و٢٧ قمرا صناعيا في مدار أرضي متوسط (MEO)، على ارتفاع ٢١٥٠٠ كم من سطح الأرض، يمكنها أن تكمل دورة كاملة حول الأرض كل ١٢ ساعة ٥٠

دقيقة، مما يوفر تغطية كاملة للكرة الأرضية (Earth Observation, 2021, PennState, 2021).

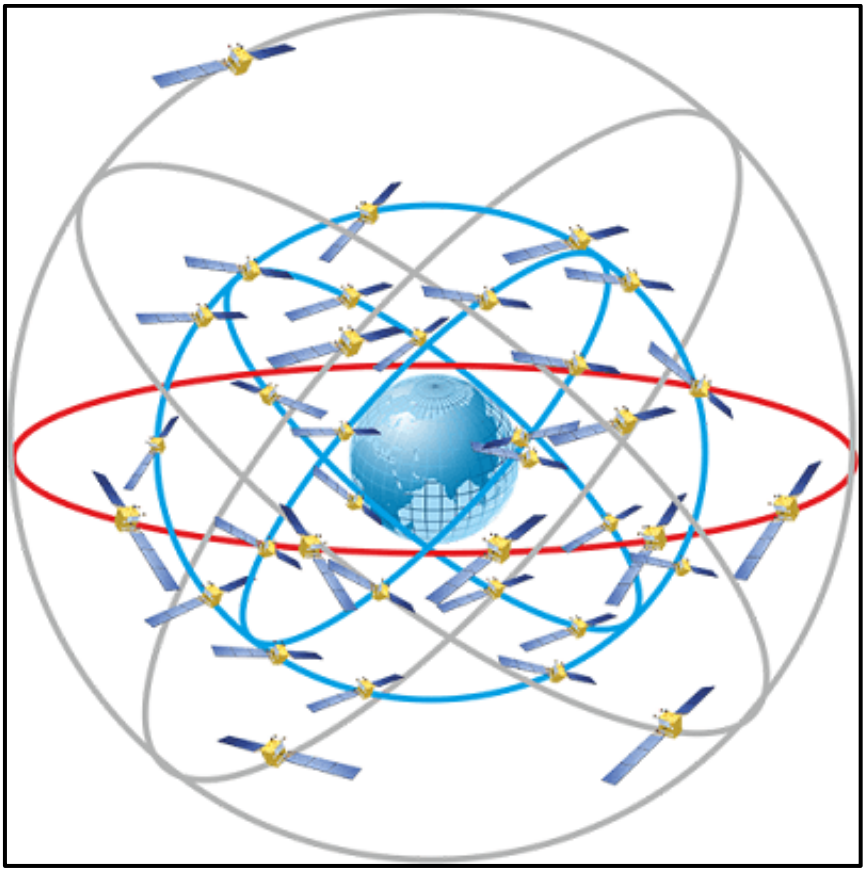


شكل (٧٥) شبكة الأقمار الصناعية لنظام بيدو الصيني المرحلة الأولى

صمم نظام الملاحة الصيني في بادئ الأمر لأغراض الملاحة وتحديد المواقع بدقة عالية للصين ومنطقة جنوب شرق آسيا؛ وقد بدأ بناء وتشغيل النظام الصيني (BeiDou) للملاحة الساتلية (BDS) بشكل مستقل من قِبل الصين مع مراعاة احتياجات الأمن القومي والتنمية الاقتصادية والاجتماعية في البلاد، باعتبارها بنية تحتية فضائية ذات أهمية وطنية، في أواخر القرن العشرين. لذلك فق بدأت الصين في استكشاف طريق لتطوير نظام أقمار صناعية للملاحة يناسب ظروفها الوطنية، وصيغت تدريجياً استراتيجية تطوير من ثلاث مراحل هي: –

- بحلول نهاية عام ٢٠٠٠ أكتمل بناء فكرة نظام BDS-1 وأصبحت تغطي دولة الصين بالكامل.
- بحلول نهاية عام ٢٠١٢، أكتمل بناء نظام BDS-2 وأصبحت تقدم الخدمات الملاحة لمنطقة آسيا والمحيط الهادئ.
- بحلول نهاية عام ٢٠١٨، تم إطلاق ١٩ قمرا صناعيا لاستكمال النظام الأولي للخدمات العالمية.

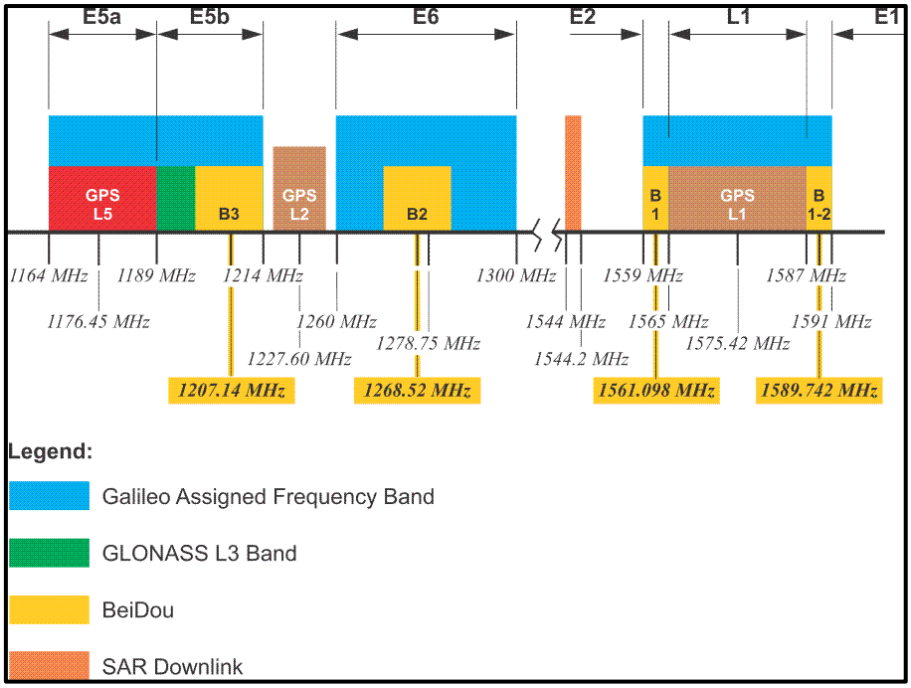
- من المخطط استكمال نشر نظام BDS-3 بشكل شامل مع إطلاق ٣٠ قمرا صناعيا بحلول عام ٢٠٢٠.



شكل (٧٦) مدارات الأقمار الصناعية لنظام بيدو الصيني

تُرسل إشارات الأقمار الصناعية لنظام (Beidou) في ٣ نطاقات ترددية هي:

- التردد الأول وينقسم لترددين هما: (B1-2) 1589.74 ميجاهرتز (E1) والتردد (B1) بتردد 1561.1 ميجاهرتز وتتداخل هذه الإشارات مع إشارات أقمار جاليليو (E2)
- التردد الثاني (B2) 1207.14 ميجاهرتز تتداخل مع إشارة جاليلو (E5b)
- التردد الثالث (B3) 1268.52 ميجاهرتز تتداخل مع إشارة جاليلو (E6) كما يوضحه شكل (٧٧).



شكل (٧٧) تردد اشارات الأقمار الصناعية لنظام بيدو الصيني

يتكون نظام (BeiDou) للملاحة عبر الأقمار الصناعية (BDS) من ثلاثة أجزاء: الجزء الفضائي والجزء الأرضي وقطاع المستخدم.

والجزء الفضائي: الجزء الفضائي عبارة عن مجموعة من الأقمار الصناعية التي تدور في مدارات مختلفة هي (GEO و IGSO و MEO)

الجزء الأرضي: وهو يتكون من محطات أرضية مختلفة، بما في ذلك محطات التحكم الرئيسية ومحطات استقبال فرعية، فضلاً عن عدد من محطات المراقبة.

أما جزء الأجهزة اليدوية: فهو يتكون من شرائح ووحدات وهوائيات، فضلاً عن أنظمة التشغيل والتطبيقات التي قد تعمل بالتكامل مع أنظمة تحديد المواقع الأخرى (GNSS).

فقد انضمت الصين إلى اللجنة الدولية المعنية بالنظم العالمية لأقمار الملاحة (International Committee on GNSS) واختصارها (ICG) التي تدعمها الأمم المتحدة، وتضم اللجنة الدولية المعنية بالملاحة: الصين (CNSS)،

الاتحاد الأوروبي (Galileo، EGNOS)، الهند (IRNSS، GAGAN)، اليابان (QZSS، MSAS)، روسيا (GLONASS)، والولايات المتحدة الأمريكية (GPS، WAAS). ويهدف هذا المنتدى لتقديم أفضل خدمة بأنظمة الملاحة المختلفة كما يوضحه شكل (٧٨).

شكل (٧٨) التكامل بين أنظمة (GPS) بهدف زيادة الدقة والخدمة العامة

أنظمة أخرى:

نظرا لما تتمتع به خدمات تحديد المواقع العالمية للدولة التي يتبع لها النظام، وأن الدول التي تمتلك مثل هذه الأنظمة تصبح مالكة لنظام ملاحي يحقق لها خدمات تجارية ومدنية وعسكرية في نفس الوقت فقد فكرت العديد من الدول لإطلاق أنظمة ملاحة بالأقمار الصناعية تخدم مجالها وأهدافها التنموية وطموحاتها العسكرية، ومن أهم الدول التي سعت لامتلاك أنظمة ملاحية بالأقمار الصناعية على النطاق الملاحي الاقليمي الهند واليابان ويمكن تناول خصائص أنظمة هذه الدول كما يلي: –

النظام الملاحي الهندي (IRNSS):

النظام الملاحي الهندي (the Navigation Indian Constellation) واختصاره (NavIC) هو نظام خاص للملاحة بالأقمار الصناعية، مصمم لتغطية المنطقة الهندية و١٥٠٠ كم في جميع أنحاء البر الرئيسي الهندي. يتكون النظام من ٧ أقمار صناعية؛ وجاري تحديد وتطوير النظام.

النظام الملاحي الياباني (QZSS):

النظام الملاحي الياباني (Quasi-Zenith Satellite System) واختصاره (QZSS) هو نظام ملاحي إقليمي خططت له دولة اليابان لمواكبة التكنولوجيا الرقمية لتحديد المواقع العالمية لمواكبة التطورات في مجال المعلومات المكانية، حيث تم إطلاق مجموعة من الأقمار الصناعية مكونة من ٤ أقمار صناعية قابلة للزيادة، حيث بلغ عددها بحلول عام ٢٠١٨ لتصبح ٧ أقمار صناعية، ومن المقترح زيادة أعدادها في السنوات المقبلة حتى عام ٢٠٢٣.

* * *

الفصل الخامس

تطبيقات نظام GPS

- طرق تحديد الارتفاعات
- تطبيقات (GPS) في تحديد الخرائط
- تطبيقات (GPS) في التتبع
- تطبيقات (GPS) في المجال العسكري
- تطبيقات (GPS) في مجال المساحة الجوية
- تطبيقات (GPS) في المساحة الأرضية
- تطبيقات (GPS) في المسح البحري

مقدمة:

يستخدم نظام تحديد المواقع العالمي (Global Positioning System) في العديد من المجالات مثل أعمال المساحة والمواصلات والطيران بالإضافة إلى الاستخدامات العسكرية، كما يستخدم (GPS) كأداة لتجميع بيانات (GIS) حيث بدأت الأنظار مع التَّقدم التُّكنولوجي الحديث تتجه نحو استخدام تقنية (GPS) كأداة لتجميع البيانات المكانية (Spatial data)؛ ويمكن ايجاز أهم تطبيقات نظام (GPS) كما يلي: –

١- **تحديد الارتفاعات في نظام** (GPS):

يعطي نظام تحديد المواقع العالمية معلومات عن الإحداثيات الجغرافية والتربيعية من خلال المرجع الجيوديسي العالمي (WGS84) حيث إن القراءات التي تعطى من جهاز (GPS) هي إحداثيات جغرافية عبارة عن أرقام توضح خط الطول وخط العرض لأية نقطة، ويعبر عن هذه الاحداثيات بالدرجات والدقائق والثواني.

أما الإحداثيات التربيعية فهي مبنية على أساس نظام ميركيتور المستعرض العالمي (Universal Transverse Mercator) واختصاره (UTM) وهو نظام تربيع عالمي يمكنه تغطية الكرة الأرضية ماعدا الأجزاء الواقعة بالمناطق القطبية. وهو مبني على أساس (٦٠) نطاق (Zone) أي أن كل ست درجات من خط طول تكون نطاق (Zone) وتمتد هذه النطاقات من دائرة عرض (٨٠) درجة جنوباً إلى دائرة عرض (٨٤) درجة شمالاً.

وتعطى الإحداثيات التربيعية بالشماليات (Northing) والشرقيات (Easting)، والوحدة التربيعية في معظم التربيعات هي المتر، وتعرف الخطوط المستقيمة الممتدة أعلى وأسفل الخريطة ب (خطوط الشرقيات) وتزداد في القيمة من الغرب إلى الشرق، بينما تعرف الخطوط المستقيمة الممتدة من أحد جانبي

الخريطة إلى الجانب الآخر ب (خطوط الشماليات) وتزداد في القيمة من الجنوب إلى الشمال.

يفضل في كثير من الأحيان استخدام الإحداثيات التربيعية على الإحداثيات الجغرافية في الخرائط العسكرية وذلك بسبب:

١- سهولة استخراج الإحداثيات التربيعية.

٢- وحدة قياس الإحداثيات التربيعية هي الأمتار وبذلك نحصل على قراءات حقيقية للمسافة.

٣- خطوط الإحداثيات التربيعية مستقيمة وأفقية لذا يمكن رسمها بسهولة وبدقة على الخريطة، بينما خطوط الإحداثيات الجغرافية تكون منحنية وتمر على الأرض الكروية ولا يمكن رسمها بدقة على ورقة مستوية.

٤- عادةً تثبت الإحداثيات الجغرافية والتربيعية على الخرائط الطبوغرافية سواءً العسكرية منها أو المدنية بغض النظر عن مقياس رسم الخريطة.

٥- هناك معدلات رياضية معروفة لغرض التحويل بين النظامين وحسب متطلبات العمل، وتحتوي أجهزة (GPS) الحالية على إمكانية إعطاء الإحداثيات بالقيم التربيعية أو الجغرافية بالإضافة إلى نوع النظام الجيوديسي المستخدم في البلد.

إن الحصول على الإحداثيات الجغرافية أو التربيعية بالإضافة إلى ارتفاع الهدف شيء ذو فائدة كبيرة، ولكن تكون الفائدة أكثر معنى عندما نشاهد هذه الإحداثيات مسقطة على المواقع الحقيقية في الخريطة الطوبوغرافية للمنطقة، أي قياس عملي وحقلي زائداً إسقاط على الخريطة باستخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية (Geographical Information System).

إن عملية تحديد الإحداثيات والارتفاع من قياسات منظومة تحديد الموقع العالمي تعتمد بالأساس على معرفة مواقع الأقمار الصناعية وعلى المسافة بين هذه الأقمار والنقطة التي يتم عندها القياس.

وعادةً يقاس الارتفاع الذي يعطى من منظومة تحديد الموقع العالمي نسبة إلى بعد نقطة القياس من السطح الاهليجية المرجعي (reference ellipsoid surface)، ويمثل هذا السطح الشكل الرياضي التقريبي لسطح الأرض ويستعمل هذا السطح بشكل واسع كسطح مرجعي للإحداثيات الأفقية (خط الطول وخط العرض) في الشبكات الجيوديسية.

ويسمى هذا الارتفاع بالارتفاع الاهليجي (ellipsoid height) نسبة الى السطح الاهليجي المرجعي الذي نعتمد عليه في القياسات، ويختلف هذا الارتفاع عن ذلك الارتفاع الذي يؤخذ من أجهزة التسوية والذي يمثل الارتفاع نسبة إلى مستوى سطح البحر (mean sea level) ويسمى بالارتفاع الاورثومتري (orthometric height) وفي العلوم الجيوديسية يسمى هذا السطح بسطح الجيود (geoid surface) ويكون عادة سطح مستويا وموافقا لمستوى سطح البحر ويمكن أن يمتد داخل جسم الأرض الصلب واتجاه الجاذبية يكون عموديا على هذا السطح.

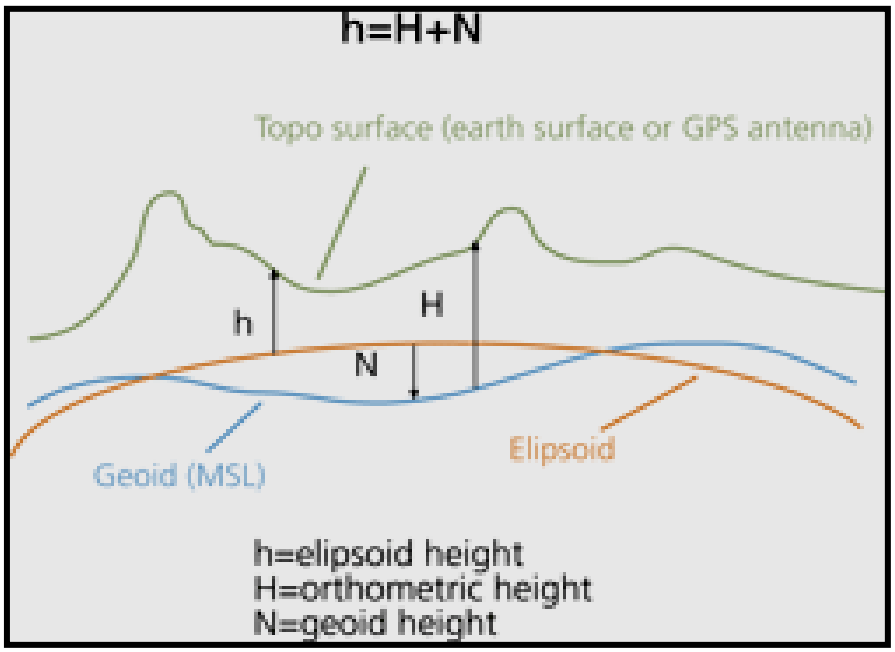
ولا يمكن للسطح الجيودي أن يتطابق مع السطح الاهليجي عموماً، وذلك بسبب التشويهات المحلية لسطح الأرض ناتجة عن عدم انتظام الكثافات داخل الأرض وعدم انتظام التضاريس الأرضية السطحية.

إن الفرق العمودي بين السطح الجيودي والسطح الاهليجي المرجعي يدعى الانحراف الجيودي (geoid undulation)، والعلاقة الهندسية بين الانحراف الجيودي (N) والارتفاع الاهليجي (h) والارتفاع الارثومتري (H) (الذي يتم الحصول عليه عادة من أجهزة التسوية) هي بالتقريب موضحة بالشكل (١٦) وتعطى بالمعادلة التالية:

الارتفاع الاهليجي (h) = الارتفاع الارثومتري (H) + الانحراف الجيودي (N).

إن الانحراف الجيودي يمكن أن ينتج من عدة ظواهر وأكثرها أهمية هي وجود الشذوذ الجذبي (gravitational anomalies) والذي يتسبب من الطبيعة غير المتجانسة للأرض. من خلال المعادلة السابقة يصبح من

الضروري معرفة قيمة الانحراف الجيودي لغرض عملية التحويل بين الارتفاع الاهليجي إلى الارتفاع الجيودي وبالعكس.



شكل (٧٩) العلاقة بين الارتفاع الاهليجي والارثومتري والانحراف الجيودي

شكل الأرض الجيوئيد وتحديد الارتفاعات:

إن الشكل الطبيعي للأرض غير منتظم، ونظراً لصعوبة تمثيله رياضياً فقد اتفق العلماء على أن شكل الأرض هو ذلك الشكل الَّذي يأخذه سطح المياه المتصلة والسَّاكنة بدون مد أو جزر وامتداده تحت اليابسة، وأطلقوا على هذا السَّطح اسم الجيوئيد (geoid). إنَّ سطح الجيوئيد غير منتظم وبالتالي إذا أردنا حساب الإحداثيات الجيوديسية لنقاط ثابتة على سطح الأرض لابد من فرض سطح إسناد رياضي، وأفضل تلك السطوح ملائمةً لسطح الأرض هو الإهليلج الأرضي (spheroid or ellipsoid).

نظراً لاختلاف توزع الكتل فإنَّ الفرق بين الجيوئيد والإهليلج الأرضي لا يزيد عن ± ١٠٠ m، ويسمى بتموجات الجيوئيد (geoidal undulation). بناءً عليه تصح مقولة أحد الجيوديسيين الألمان (draheim) الَّتي تقول بأنَّ:

"الجيوديسيين يقومون بالقياس على سطح لا يمكنهم الحساب عليه (سطح الأرض الطبيعية)، وبالحساب على سطح لا يمكنهم القياس عليه (الإهليلج الأرضي)، وذلك بهدف الحصول على سطح لا يمكنهم الحساب ولا القياس عليه (الجيوئيد)".

تُعطى الإحداثيات الجيوديسية من الأقمار الصناعية على سطح إسناد عالمي متمركز (global geocentric datum)، بينما الإحداثيات الجيوديسية القديمة (النَّاتجة عن القياسات الأرضية) فإنَّها معرَّفة بالنسبة لسطح إسناد محلي غير متمركز (local nongeocentric datum). لذا لا بدَّ من إجراء الأعمال التَّالية لتحويل الإحداثيات العالمية إلى إحداثيات محلية:

١. تحويل الإحداثيات الجيوديسية من سطح الإسناد العالمي إلى المحلي.
٢. تطبيق نظام الإسقاط المعتمد في البلاد للحصول على الإحداثيات المستوية من الإحداثيات الجيوديسية.
٣. الرَّبط (matching) بين خرائط النِّظامين العالمي والمحلي بهدف الملائمة بينها.

٢- **تطبيق نظام** (GPS) **في تنفيذ مشروعات** (GIS):

يساعد التكامل بين أنظمة تحديد المواقع العالمية والأجهزة المساحة في توفير بيانات دقيقة تخدم مجال نظم المعلومات الجغرافية خاصة في المشاريع الهندسية، حيث يحتاج أي مشروع يُعتمد فيه على التكامل بين نظام (GPS) ونظام (GIS) إلى السير على مراحل متتالية من أهمها:

- جمع البيانات (data acquisition): وهو تحديد وتحصيل البيانات الخاصة بالمشروع المزمع تنفيذه وهذا بدوره يحتوي على العديد من الإجراءات.
- اختيار التقنية جمع البيانات: بعد تحديد البيانات المطلوبة لمشروع GIS نقوم باختيار التقنية أو التقنيات المراد استخدامها لتحصيل هذه البيانات كما يوضحها الجدول التالي، حيث يمكن الجمع بين الأساليب والتقنيات

المختلفة لجمع البيانات المكانية والتي من أهمها: الاعتماد على صور الأقمار الصناعية أو الاعتماد على الصور الجوية، كما يمكن استخدام أنظمة تحديد المواقع العالمية والخرائط الرقمية وذلك بهدف جمع بيانات دقيقة حول المشروع المحدد.

جدول (١) الدقة المكانية لتقنيات جمع البيانات الجغرافية

التقنية		مجال الدقة
صور الأقمار		1 m - 1 Km
التصوير الجوي		< 0.01 m - 1 m
المحطة المتكاملة		< 0.01 m
GPS		0.01 m - 100 m
خرائط الترقيم		0.1 m - 100 m

- تجهيز ومعالجة البيانات (data preprocessing): وهي ترتيب البيانات بصورة لائقة لإدخالها في المشروع.
- إدارة البيانات (data management): أي تكوين قاعدة البيانات والدُّخول إليها، إضافةً إلى تحديثها.
- تنظيم وتحليل البيانات (data manipulation and analysis): وتمثِّل إعادة ترتيب البيانات وتحليلها للحصول على معلومات جديدة.
- المنتج النِّهائي (product generation): بمعنى الشَّكل الَّذي تظهر به نتائج العمليات السَّابقة الَّتي جاءت وليدةً لاستخدام نظم المعلومات الجغرافية.

وتُوصف البيانات المكانية بأنَّها القلب النَّابض لنظم المعلومات الجغرافية حيث تُقسم إلى:

☜ البيانات المكانية (spatial data): تكون مرتبطة بجملة إحداثيات جغرافية، أو مستوية ومصدرها الخرائط، أو الصُّور الجوية، أو القياسات الحقلية.

☜ البيانات الوصفية أو الغرضية (attribute or thematic data): تُعبَّر عن صفات الحقائق وهي مرتبطة بالبيانات المكانية وتنسق ضمن جداول مُحدَّدة.

يساعد الاختيار السليم للبيانات المكانية في الإجابة بدقة عن الاستفسارات التالية التي قد تجول بخاطر أي متخصص مسؤول ومنها:

- ما الهدف من المشروع؟
- ما البيانات المطلوبة لهذا المشروع؟
- ما الخصائص الجغرافية المطلوب تحديدها؟
- ما البيانات الوصفية للمعطيات الجغرافية المطلوبة؟
- ما الحدود الجغرافية لمنطقة الدراسة؟
- ما نوع بيئة التَّشغيل المستخدمة في المشروع؟
- ما هو برنامج GIS المستخدم؟
- كم عدد المستخدمين المسموح لهم بالدخول إلى البيانات؟
- متى نُحتاج المعلومات؟
- هل يطلب تحديث البيانات دورياً وإذا كان كذلك ما التِّكرار؟

٣- **تطبيقات نظام** (GPS) **في قطاع النقل**:

تعد تقنية (GPS) من أفضل التقنيات الحديثة التي دعمت مجال النقل بكافة أنواعه البري والبحري والجوي، حيث أصبح بالإمكان تتبع مسارات الشاحنات وتحديد وجهاتها وغير ذلك ويمكن تناول أهم فوائد النظام كما يلي: –

استخدام تقنية GPS **للتتبُّع والملاحة:**

إنَّ كلاً من التقنيتين تستفيد من الإشارات المرسلة من أقمار منظومة GPS التي تدور حول الأرض. وكلاً منهما لها استخداماتها وأهدافها، فبينما يكثر استخدام تقنية GPS للملاحة من قبل سائقي المركبات بهدف معرفة موقعهم الحالي إضافةً إلى إرشادهم إلى الوجهة الصحيحة وغير ذلك من المعلومات

المفيدة، فإنه يكثر استخدام تقنية GPS للتتبُّع بشكل خاص من قبل شركات النقل والشحن بهدف متابعة ومراقبة المركبات التابعة لأسطولها أو قد تُستخدم هذه التقنية في حالات التتبُّع الشخصي.

يمكن القول إن تقنية **(GPS) للملاحة** تجيب على السؤال التالي: "أين أنا؟" ("Where I am") بينما تجيب تقنية **GPS للتتبُّع** على السؤال التالي: "أين أنت؟" "Where are you?".

استخدام تقنية الملاحة GPS Navigation:

إنَّ جهاز GPS للملاحة (جهاز GPS الذي يؤدي وظيفة الملاحة Navigation) هو عبارة عن مستقبل الـ GPS الذي يقوم باستقبال الإشارات المرسلة من أقمار نظام الـ GPS الصناعية ومن ثم إجراء الحسابات اللازمة لتحديد إحداثيات الموقع على الأرض. ومن هناك تستخدم البرمجيات اللازمة لِيقوم بإظهار الإحداثيات كنقاط على شاشة الجهاز. ولا تقتصر المعلومات التي يستطيع جهاز الـ GPS للملاحة تحصيلها على إحداثيات الموقع فحسب، وإنما يمكنه أيضاً تحصيل معلومات أخرى مثل الطريق، الاتجاه والسرعة.

استخدام تقنية التتبُّع GPS Tracking:

يتألف أي جهاز (GPS) بهدف التتبُّع (Tracking) من قسمين هما:

١. **جهاز (GPS)** للملاحة أي مستقبل (GPS).

٢. **مودم هاتف خلوي** (يستخدم شبكة الهواتف الخلوية) أو مودم لاسلكي فضائي (يستخدم شبكة أقمار صناعية) يسمح بإرسال المعلومات المحصَّلة بواسطة جهاز GPS إلى الجهة التي تريد الحصول على هذه المعلومات.

<u>مجالات تطبيق تقنية GPS للتتبُّع:</u>

نميز الحالتين التاليتين بشكل بارز في تطبيقات تقنية GPS للتتبُّع:

١. تقنية GPS لتتبُّع المركبات GPS Vehicle Tracking: وتطبق هذه التقنية في قطاع النقل من أجل تتبُّع جميع أنواع المركبات من: سيارات، شاحنات، مقطورات، عربات سكك حديدية، حاويات، وقوارب.

٢. تقنية GPS للتتبُّع الشخصي GPS Personal Tracking: وتطبق من أجل تتبُّع الأشخاص أما بهدف حمايتهم وأمنهم مثل: الأطفال، كبار السن، فاقدي الذاكرة أو ذوي الاحتياجات الخاصة، وكذلك من أجل الموظفين. أو بهدف متابعة تحركات أشخاص معيَّنين ومراقبتهم.

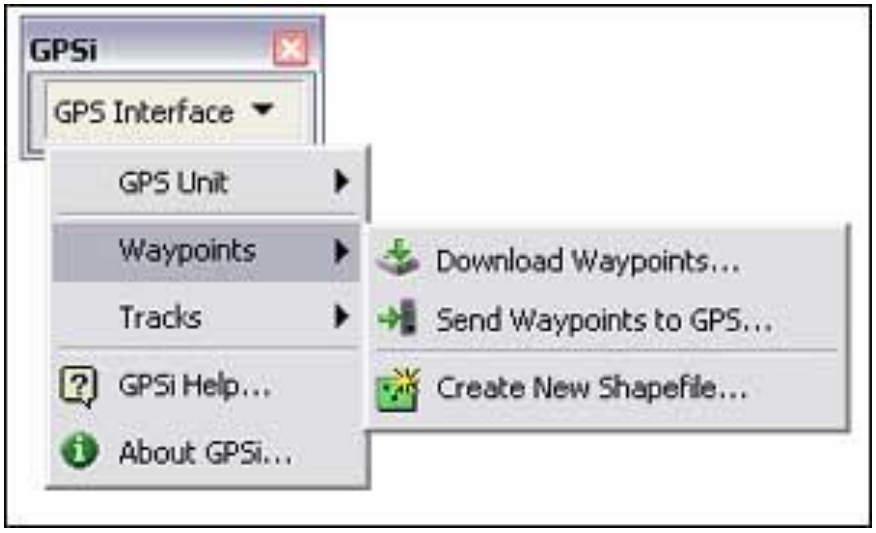
تحديد مواقع ومسارات السيارات (Waypoints and Tracks):

يمكّنُنا جهاز نظام تحديد المواقع العالمي الشخصي من تخزين إحداثيات المواقع التي نريدها؛ فمثلاً لتخزين إحداثيات منزلي أقوم بالخروج إلى الشارع قرب المنزل حيث يمكن للجهاز استقبال إشارة الأقمار الصناعية، ثم أقوم بالضغط على زر حفظ الموقع فيطلب مني الجهاز إعطاء اسم لهذا الموقع فأقوم بإدخال اسم مناسب مثل "My Home" وعندها يظهر موقع منزلي على الخريطة الموجودة على شاشة الجهاز ويمكن وقتها إذا ابتعدت عن المنزل أن أعرف المسافة التي تفصلني عنه واتجاهه بالنسبة إلي والزمن اللازم للوصول إليه في حالة كنت أقود السيارة باتجاهه مثلاً. بنفس هذه الطريقة يمكن تخزين مواقع محطات الوقود والمطاعم وأية أماكن أخرى مهمة، ويطلق على هذه المواقع المخزنة مصطلح "Waypoints".

من جهة أخرى فإن جهاز نظام تحديد المواقع العالمي يمكن أن يقوم بتسجيل الإحداثيات التي نتواجد فيها كل بضعة ثوان، وبالتالي يمكن من خلال الوصل بين تلك النقاط المسجلة أن يتشكل لدينا خط يمثل المسار الذي سلكناه أثناء تشغيلنا للجهاز، مع عرض هذا المسار على الشاشة، ويمكننا استخدام هذا المسار لمعرفة طريق العودة، فإذا ذهبنا إلى مكان في وسط الصحراء مثلاً يمكن بسهولة أن نعود أدراجنا على نفس الدرب الذي أتينا منه وذلك بالتتبع العكسي للمسار الذي رسمه الجهاز فلا نتعرض للضياع، ويطلق على المسارات المخزنة اصطلاح "Tracks".

يمكن نقل بيانات المواقع والمسارات من الجهاز إلى الحاسوب وعرضها من خلال برامج متخصصة للخرائط مثل برنامج (ArcGIS)، حيث نشاهد تلك المواقع والمسارات على الخريطة المفصلة.

- انقر هنا لفتح الصفحة الخاصة بالأداة التي تمكنك من ربط أجهزة جارمن مع برنامج ArcGIS وتنزيل المواقع والمسارات على هيئة ملف شكل (Shape File).
- أما إذا كنت من مستخدمي أجهزة ماجلان فانقر هنا للانتقال إلى صفحة الأداة الخاصة بهذا الجهاز.



شكل (٨٠) أداة تنزيل المواقع والمسارات من الجهاز إلى برنامج أرك ماب

ومن أهم فوائد استخدام (GPS) لتتبُع المركبات GPS Tracking Vehicle أنه يُمكن المستخدمين من تحقيق الفوائد التالية عند تطبيق تقنية الـ (GPS) لتتبُّع المركبات:

١. تخفيض تكاليف الوقود.

٢. تحسين الإنتاجية وتقديم خدمة أفضل للعملاء.

٣. رصد سرعة المركبة وبالتالي زيادة السلامة الشخصية والمرورية.

٤. الرقابة ومساءلة السائقين.

٥. الحدّ من فقدان المركبات.

٦. عمل أرشيف لخطوط سير المركبات في تسلسل زمني، وذلك من خلال حفظ نتائج التتبُّع في قاعدة بيانات خاصة بالشركة المالكة للأسطول بهدف العودة إليها لاحقاً عند الحاجة.

في مجال الطيران والملاحة الجوية:

تستخدم الطائرات نظام الـ GPS لتحديد الطرق الجوية، ومناطق الاقتراب من المطار، وعملية الهبوط الآلي على الممرات. ويُستخدم كذلك في المطارات ذات الأجواء الضبابية، وانعدام الرؤية، وتم اعتماده بشكل كلي في المطارات الأمريكية للدقة العالية، وتفادياً للأخطاء البشرية. كما أفاد هذا النظام شركات الطيران إذ وفر لها كثيراً من نفقات التشغيل لرحلاتها الجوية حيث إنه يعطي أقصر الطرق الجوية لمطارات الوصول.

ويمكن حصر أهم أعمال نظام (GPS) في خدمة مجال الطيران المدني (Aviation) والملاحة الجوية فيما يلي: –

- مساعدة الطائرات بالهبوط السليم في حال الرؤيا الصعبة.
- تأمين طريقة مرنة ودقيقة لعمل نقاط وسائل تحكم الطائرات وحركات مركبات الخدمة الأرضية بين الطائرات أثناء عمليات الهبوط والإقلاع.
- تنظيم جدولة الرحلات الجوية الكثيفة بدقة وفي الوقت المناسب.

في مجال الملاحة البحرية:

لقد غيَّر نظام GPS من الطريقة التي كان يسير بها العالم. وهذا ينطبق بوجه خاص على العمليات البحرية التي تشمل عمليات البحث والإنقاذ. كما يوفر أسرع وأدق وسيلة للملاحة البحرية فيما يتعلق بقياس السرعة وتحديد موقع السفينة. وهو الأمر الذي يوفّر مستويات أعلى من السلامة والكفاءة للبحارة في جميع أرجاء العالم.

يهتم قبطان السفينة خلال الملاحة البحرية بأن يكون على علم بموقع سفينته عندما تكون في عرض البحر، وأيضاً في الموانئ المزدحمة والمعابر المائية. ويحتاج القبطان عندما يكون في عرض البحر إلى تحديد دقيق لموقع سفينته وسرعتها ووجهتها، لضمان أن تصل السفينة إلى وجهتها بأعلى درجات السلامة، وبأقل التكاليف، وفي الوقت المحدد حسبما تسمح الظروف. وتكتسب الحاجة إلى معلومات دقيقة حول الموقع الذي تكون السفينة فيه أهمية أكبر عند مغادرة السفينة للميناء وعند العودة إليه.

يَستخدم البحارة بصورة متزايدة البيانات التي يوفرها نظام الـ GPS في مسح الأعماق وتثبيت العوامات وتحديد مواقع الخطورة الملاحية ورسم الخرائط. وتستخدمه أساطيل الصيد التجاري في الإبحار إلى أفضل مناطق الصيد، وفي تتبُّع هجرات الأسماك، وفي ضمان الالتزام بالقوانين المعمول بها في هذا الشأن. وكذلك يُستخدم هذا النظام للاستدلال على أماكن السفن المفقودة في البحار، وتقوم شركات النقل البحري بمتابعة حركة سفنها، ومساراتها في البحار، كما يُستخدم في قوارب النزهات أيضاً.

ويمكن حصر أهم تطبيقات نظام (GPS) في خدمة عمليات الملاحة البحرية: –

١) تأمين عوامل الإنقاذ في حالة الطوارئ.

٢) إبقاء السفينة على مسارها الصحيح والسريع.

٣) توافق عمليات تصميم وصيانة الموانئ والمرافئ البحرية مع الخرائط المصممة لها.

٤) تعيين العمق الدقيق للمرافق ومراقبة معدل الرواسب المتراكمة و إزالتها من القاع بشكل فعال.

في مجال النقل البري:

توفر الإنتاجية والدقة اللتان تنجمان عن استخدام نظام الـ GPS فعاليات متزايدة وسلامة مرتفعة لوسائل النقل ومستخدميه وهي التي تستخدم الطرق

السريعة وأنظمة النقل العام. وقد انخفضت المشاكل المرتبطة بتحديد المسارات ومتابعة وسائل النقل التجارية بصورة ملحوظة بمساعدة هذا النظام. إنه ينطبق أيضاً على إدارة أنظمة النقل العام وأطقم صيانة الطرق ومعدات الطوارئ.

هذا ويساعد نظام الـ GPS المسؤولين في مهمة رسم استراتيجيات فعالة تستطيع أن تحافظ على مواعيد وصول وانطلاق عربات النقل العام وفقاً للجداول المعروفة، وأن تُخبر المسافرين بمواعيد الوصول الدقيقة. كما تستخدم أنظمة النقل العام هذه الإمكانية في تتبُّع خطوط الباصات، وسائر الخدمات لتحسين الأداء، كما يساهم في رفع مستوى السلامة المرورية من خلال تتبع حركة المركبات وتوجيهها.

إنَّ استخدام تكنولوجيا نظام الـ GPS في التتبُّع والتنبؤ بحركة شحنات البضائع ساهم في تطبيق ما يسمى بالتسليم في وقت محدد سلفاً. وفي إطار هذا التطبيق تستخدم شركات الشحن نظام GPS في تتبع المسارات حتى تضمن التسليم في الموعد المحدد سواء على بعد مسافة قصيرة أو عبر مناطق شاسعة.

تستخدم بلدان كثيرة حول العالم هذا النظام للمساعدة في مسح شبكات الشوارع والطرق السريعة في أراضيها. وهذه الشبكات تشمل محطات الخدمة والصيانة والطوارئ والتموين وممرات الدخول والخروج والعطب الذي يصيب الشبكة الخ.. وتضاف هذه البيانات إلى المعلومات التي يجمعها "نظام المعلومات الجغرافية" (GIS) وتساعد هذه القاعدة المعلوماتية وكالات النقل في تخفيض تكاليف الصيانة والخدمة، وتعزز سلامة السائقين الذين يستخدمون هذه الطرق.

يُعد نظام الـ GPS أيضاً عنصراً أساسياً في مستقبل "نظم النقل الذكية" Intelligent Transportation System واختصاراً (ITS). وتضم نظم النقل الذكية نطاقاً واسعاً من المعلومات التي تستند إلى المواصلات والتكنولوجيا الإلكترونية. ويجري حالياً بحث في مجال النظم المتقدمة لمساعدة السائقين، والتي تشمل نظم الانحراف عن الطريق وتجنب الاصطدام عند تغيير السائق

للحارة التي يقود فيها سيارته أو شاحنته. وتحتاج هذه النظم إلى تقدير موقع السيارة أو الشاحنة بالنسبة للحارة وحافة الطريق بدرجة من الدقة لا تترك هامشاً للخطأ أكثر من عشرة سنتيمترات.

يُستخدم أيضاً نظام GPS لتوجيه سائقي السيارات وخصوصاً عند قيادتهم في أماكن يجهلونها. حيث أُدخل هذا النظام في الكثير من السيارات المصنعة حديثاً والتي توفر للسائقين خرائط تفصيلية للأماكن والشوارع المتواجدين فيها، وأفضل الطرق وأقصرها والتي ينبغي سلوكها أثناء تنقلاتهم.

في مجال السكك الحديدية:

يمكن لشبكات السكك الحديدية أن تستخدم نظام GPS بالتضافر مع أجهزة استشعار وأجهزة كمبيوتر، ونظم اتصال من أجل تحسين مستوى السلامة والأمان وكفاءة التشغيل. كما تساعد هذه التقنيات في تخفيض عدد الحوادث والتأخيرات وتكاليف التشغيل، وكذلك تساهم في زيادة قدرة الخطوط الحديدية وتوفير الراحة للمسافرين وتخفيض ما ينفق من أموال. ثم إنها توفّر جملة من المعلومات الدقيقة والفورية حول مواقع القاطرات وعربات السكك الحديدية ومعدات الصيانة المستخدمة على القضبان والمعدات المتمركزة بجانب الخطوط الحديدية يتكامل مع التشغيل الكفء لشبكات السكك الحديدية.

يُعد ضمان مستويات عالية من السلامة، وتحسين كفاءة تشغيل السكك الحديدية، وتوسيع قدراتها أهدافاً أساسية لصناعة مسارات السكك الحديدية اليوم. إن معظم شبكات السكك الحديدية تتكون من امتدادات طويلة من مجموعة منفردة المسار، ولذلك فالقطارات التي تسير إلى وجهات تُعد بالآلاف، يتعيَّن عليها أن تتشارك في وقتٍ متزامن في استخدام هذه المسارات المنفردة الخط.

تساعد المعرفة الدقيقة للموقع المحدد للقطار على منع وقوع الاصطدامات، والحفاظ على التدفق السلس لحركة السير، وتقليل حالات التأخير إلى أدنى حدٍ ممكن. لذلك من المهم، ولأسباب تتعلَّق بالسلامة والكفاءة، أن نعرف موقع هذه القطارات وأداءَها بصورة فردية وكذلك على مستوى الشبكة ككل.

إنَّ التحسين الذي دخل على الإشارة الرئيسية لـ "نظام المواقع العالمي"، وهو التحسين المعروف باسم "نظام تحديد المواقع العالمي التفاضلي"Differential Global Positioning System، واختصاراً (DGPS) يعزز درجة الدقة والسلامة داخل نطاق المناطق التي يغطيها النظام. ثم أن المعلومات التي تتوفر عن الموقع تمكِّن مسؤول الإشارة من تحديد على أي من المسارين المتوازيين يقع أي قطار. وعندما نضيف "نظام المواقع العالمي التفاضلي" إلى الوسائل الأخرى للملاحة، وتحديد الموقع في حساب الوقت داخل الأنفاق، وخلف التلال، ومختلف العوائق الأخرى فإن هذا النظام (DGPS) يستطيع توفير قدرة دقيقة يعتمد عليها في تحديد الموقع عند إدارة حركة سير قطارات السكك الحديدية.

يعتبر "نظام المواقع العالمي التفاضلي" (DGPS) عنصراً أساسياً في مفهوم "التحكم الإيجابي في مسار القطارات" Positive Train Control واختصاراً (PTC)، وهو المفهوم الذي يجري حالياً تبنيه في كثير من مناطق العالم. ويشتمل المفهوم على تقديم معلومات دقيقة عن موقع كل قطار على امتداد خط السكك الحديدية إلى نظم تحكم وقيادة عالية الكفاءة في سبيل وضع أو إنتاج أفضل خطة تشغيل ممكنة: سرعات متنوعة للقطارات، حركة تسيير مرنة لا ترتبك لتغيير المسارات، وأطقم صيانة تنتقل من هنا إلى هناك بأمان سواء على خطوط السكك الحديدية أو خارجها.

يستطيع نظام "التحكم الإيجابي في القطارات" (PTC) تتبُّع موقع قطار ما وسرعته بصورة أدق مما كان عليه الحال في الماضي، كما يستطيع توفير معلومات عن حركة القطار لمسؤولي إدارة السكك الحديدية الذين يستطيعون عندئذٍ أن يعززوا السرعات وحدود الأوزان حسب الضرورة. وعن طريق توفير تتبُّع أفضل لموقع القطارات وسرعتها، فإن نظام (PTC) يزيد من كفاءة التشغيل، ويتيح مقدرة أعلى لخط السكة الحديدية ويعزز قدرات أطقم القيادة ويوفر الراحة

للمسافرين والسلامة للشحنات، كما ينتج عنه توفير بيئة طبيعية أكثر أماناً للأشخاص العاملين في الخط.

يستطيع "نظام المواقع العالمي التفاضلي" (DGPS) أيضاً أن يساعد في مسح ورسم الخرائط لهيكل خطوط السكك الحديدية لأغراض الصيانة والتخطيط المستقبلي للنظام. وعن طريق استخدام "نظام المواقع العالمي التفاضلي" (DGPS) يستطيع المرء أن يحدد بدقة موقع الأعمدة التي ستحمل أرقام الأميال (أو الكيلو مترات)، وصواري الإشارات ونقط الإبراق والجسور، ونقط التقاطع مع الشوارع، ومعدات الإشارة الخ... كما يستطيع "نظام المواقع العالمي" أن يرتفع إلى المستوى العالي من الدقة الذي يحتاج إليه التشغيل في مناطق المحطات النهائية، وفي أفنية السكك الحديدية (مخازن القطارات) حيث نجد أنه من الممكن أن تسير عشرات الخطوط بشكلٍ متوازٍ.

٤- **تطبيق نظام** (GPS) **في المجال العسكري**:

فجهاز تحديد الموقع GPS يستخدم في الحروب الحديثة على سبيل المثال في حرب الخليج، هذا الجهاز جعل من الحرب وكأنها لعبة كمبيوتر يقوم فيها المهاجم بتحديد احداثيات الهدف بدقة والقذيفة الموجهة تعتمد على نظام GPS للوصول الى الهدف المحدد. فقد شاهدنا كيف يمكن مهاجمة أهداف معينة بدقة متناهية وكأن تلك القذائف ترى وتعرف ماذا تفعل.

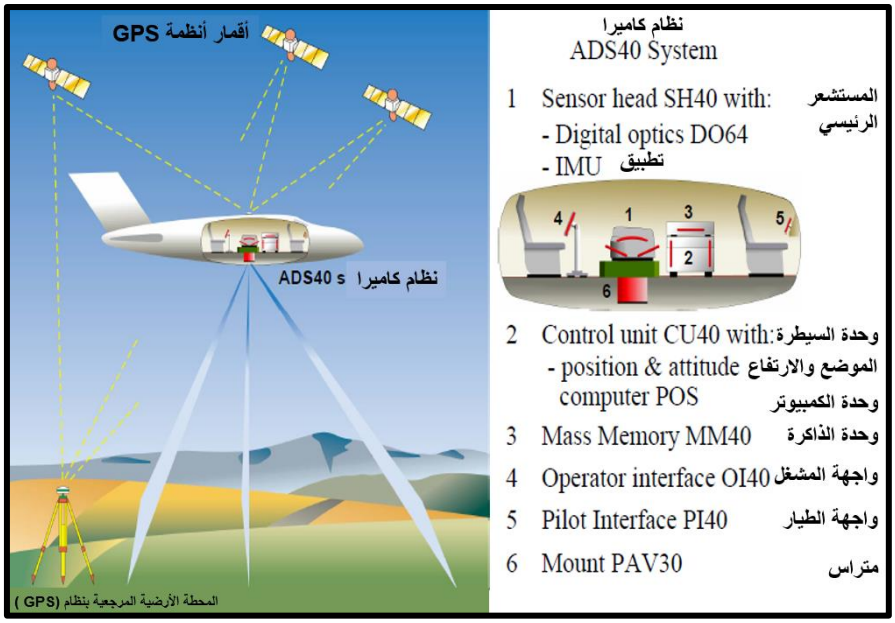
شكل (٨١) استخدام تقنيات (GPS) في المجال العسكري

٥- **تطبيق نظام** (GPS) **في المساحة الجوية**:

أمكن الربط بين تقنية نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) مع تقنية التَصوير الجوي بتثبيت أجهزة (GPS) على متن الطائرة من أجل تحديد موقع الطائرة وكاميرا التصوير في الجو أثناء عملية المسح الجوي، مما ساعد على توفير صور جوية مصححة وتقليل نقاط التحكم الأرضية المطلوبة لتحديد موقع الصور الجوية المصورة وربطها بإحداثياتها الجغرافية، ومن ثمَّ يمكن إنجاز القياسات المطلوبة بدقة عالية.

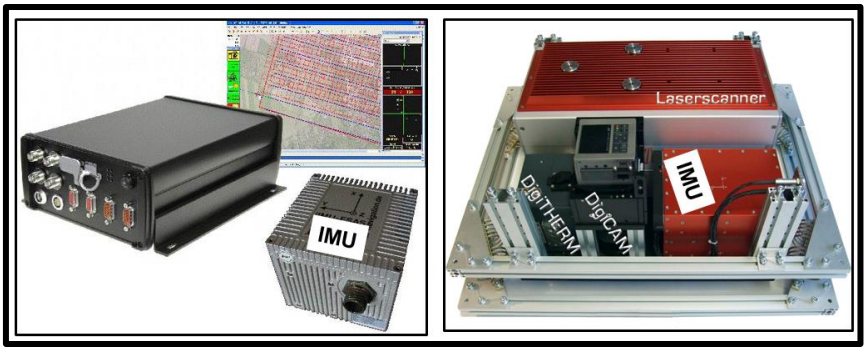
تساعد حلول النظام التفاضلي (Novatel DGPS) الذي يستخدم في طائرات التصوير الجوي في تقليل عدد نقاط الربط الأرضية اللازمة لضبط الصور، ويساعد اقتران الكاميرا مع جهاز استقبال (GPS) المحمولة جوا، وجهاز (IMU) في تسجيل المواقع (positions) والاتجاهات (orientations) لكل صورة لحظة التعريض (exposure) أو التصوير بدقة عالية، كما هو الحال في كاميرا من نوع (Vexcel UltraCamXp).

لزيادة الدقة في نظام التعقب للطائرة بأنظمة (GPS) يتم تجهيز محطة أرضية ثابتة (base station) مثبة على نقطة منسوب محلي (روبير) ثم يتم ربطها مع جهاز التتبع على متن الطائرة لاسلكياً وتنسب القراءات المأخوذة منهما لنظام تحديد المواقع العالمي (GPS) على المرجع الجيوديسي المحلي للمحطة الأرضية، وذلك يضمن سلامة البيانات ودقتها عند عمل التثليث الجوي (triangulated) بحيث لا يتجاوز المسافة بين الطائرة ومحطتي التصحيح الأرضي (ground base stations) حوالي (١٠٠ كم) شكل (٨٢) لضمان سلامة الاتصال والاستقبال بينهم.



شكل (٨٢) تجهيز وإعداد الطائرة وتركيب كاميرا (ADS40)

تستخدم مع أجهزة التتبع في الطائرة مجموعة من البرامج والأجهزة المساعدة على زيادة الدقة بأنظمة GPS ومنها برنامج (ORIMA) وهو عبارة عن برنامج أو أداة تستخدم في عمليات التثليث الجوي والتوجيه (orientation and triangulation) حيث يمكن منه معالجة إحداثيات الصورة، ونقاط المراقبة الأرضية، وبيانات أجهزة (GPS) وذلك للقضاء على الأخطاء، وضمان رسم خرائط التصوير الجوي بدقة عالية؛ كذلك يستخدم جهاز (IMU) وهو وحدة قياس ذاتية (inertial measurement unit) تعتمد عليها أداة (ORIMA) لقياس وتصحيح بيانات أجهزة (GPS)، وهو جهاز قائم بذاته يمكن منه قياس حركة الزوايا والخطوط، مع ثلاثة جيروسكوبات (gyroscopes)، وهي أدوات حفظ توازن الطائرة صورة (١٨)



(www.igi.eu/, www.aerotopol.com)

صورة (١٨) وحدة قياس القصور الذاتي (IMU)

تساعد حلول النظام التفاضلي للطائرة (KGPS) في معالجة الفروق بين نظام (GPS) وكل محطة أرضية بشكل منفصل مع مقارنتمها وقبول أقصى نسبة خطأ (RMS) للوضع الأفقي (Horizontal) بمقدار (١٠ سم) وللوضع الرأسي (Vertical) بمقدار (١٥ سم)، على أن يتم جمع بيانات (GPS) وقراءتها من ٥ أقمار صناعية على الأقل لضمان زيادة الدقة، كما يتم جمع البيانات وتصحيحها جغرافياً (Geo-referencing) من خلال جهاز (POS AV) أو (POSTrack) وهو عبارة جهاز متكامل يمكنه عمل التصحيح الجغرافي وإدارة الرحلات (Flight) مباشرة، صمم خصيصاً لجمع البيانات المكانية المصورة من الجو، بهدف تنفيذ أعمال المساحة الجوية صورة (١٩).

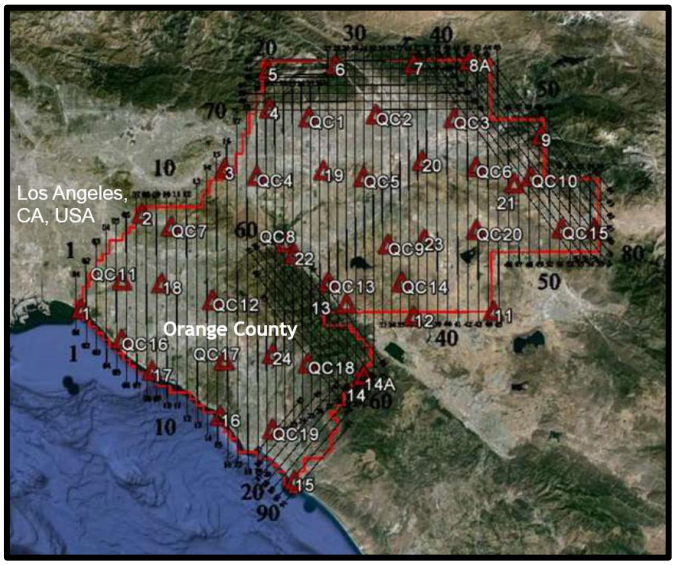
www.applanix.com

صورة (١٩) جهاز التتبع (POSTrack)

استخدام (GPS) في المسح الجوي:

نقاط الربط الأرضية (GCPs) هي عبارة عن علامات أرضية خاصة بالأعمال المساحية، مثبتة بشكل دائم أو مؤقت، تستخدم في المساحة الجوية لإتمام عملية الضبط والإرجاع الجغرافي للصور الجوية وأعمال التثليث الجوي، يتم توزيعها داخل الدولة في أماكن متفرقة، قبل البدء في عملية التصوير الجوي، طبقاً للمرجع الجيوديسي المعتمدة داخل الدولة وليكن على سبيل المثال المرجع الجيوديسي لدولة الكويت بنظام الإسقاط (KTM) والمعمول به في بلدية الكويت (Kuwait Municipality)، وبالتالي تظهر العلامات الأرضية التي يتم توزيعها داخل الصور الجوية ومنها يتم ربط الصورة الجوية بتلك النقاط معلومة الإحداثيات الجغرافية ومن ذلك يسهل إنتاج صور مصححة بدقة عالية.

ولإحكام عملية توزيع نقاط الربط الأرضية يقوم قسم المساحة والتخطيط بالمشروع بعمل مخطط للمنطقة (شفافة) توقيع عليها خطوط الطيران، مع تحديد مراكز جميع الصور الجوية، ثم يقوم بتوقيع نقاط الربط الأرضية الثابتة والمؤقتة، لتقلل الأعمال الحقلية مع مراعات تحقيق الدقة المطلوبة، مع العناية في توزيع النقط على الصور الجوية شكل (٨٣).



شكل (٨٣) توزيع نقاط الربط الأرضية داخل حدود منطقة التصوير الجوي

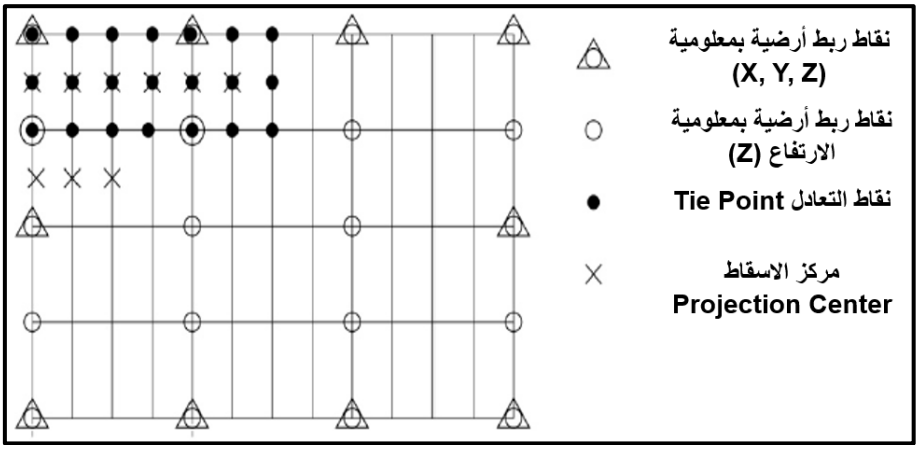
يتم أيضاً إنشاء جداول خاصة تحدد فيها خصائص كل نقطة مثل (الرقم التسلسلي، إحداثياتها، ارتفاعها، موضعها، وقت وتاريخ الرصد، اسم المساح، صورة فوتوغرافية لنقطة التحكم، وغير ذلك) كما يوضحه جدول (٤). ولضمان عملية التثليث الجوي بدقة عالية يجب توزيع نقاط الربط الأرضية على المنطقة بأكملها بحيث تظهر في مواضع الصور الملتقطة، مع ضمان توفر وتكثيف نقاط الربط الأرضية على المناطق الساحلية والحدودية.

جدول (٤) توزيع نقاط الربط الأرضية التي ستستخدم في أعمال التثليث الجوي

Ground Control Used in Triangulation			
Point ID	X m	Y m	Z m
1	397198	3734566	2.561
2	410929.3	3756071	115.143
3	429493.6	3766228	245.532
4	439557.3	3779758	651.929
5	439221.1	3788537	1280.186
6	454401.1	3789585	941.465
7	471916.1	3789699	1344.638
8A	484324.7	3790417	1600.359
9	500373.3	3773448	1141.295
10	512201.7	3752333	666.324
11	489489.1	3733727	494.97
12	471643.3	3732647	539.395
13	456597.8	3735582	341.792
14A	460385.1	3719294	598.617
15	444761.9	3695578	33.418
16	428292.4	3710248	19.306
17	413058.5	3720564	2.906

After: USGS, 2014.

يوجد العديد من أشكال نقاط الربط الأرضية التي تدخل في إطار المساحة الجوية منها نقاط ربط بثلاث معلومات هي خطوط الطول ودوائر العرض والإرتفاع (X, Y, Z)، ومنها نقاط بمعلومية نقطة الارتفاع فقط، وهي تستخدم بكثرة لإتمام عملية التثليث الجوي، إضافة إلي مجموعة من نقاط الربط الآلية (Tie Points) التي تنتج آلياً بعملية التثليث الجوي ونقطة مركز الصورة كما يوضحه شكل (٨٤) ويتم توزيع هذه النقاط بحيث تغطي كافة أنحاء منطقة التصوير ويزداد أعدادها في حالة استخدام الكاميرات الإطارية ويقل باستخدام الكاميرات ذات الماسح بالمستشعر Sensor.



شكل (٨٤) تخطيط نقاط الربط الأرضية حسب خصائصها

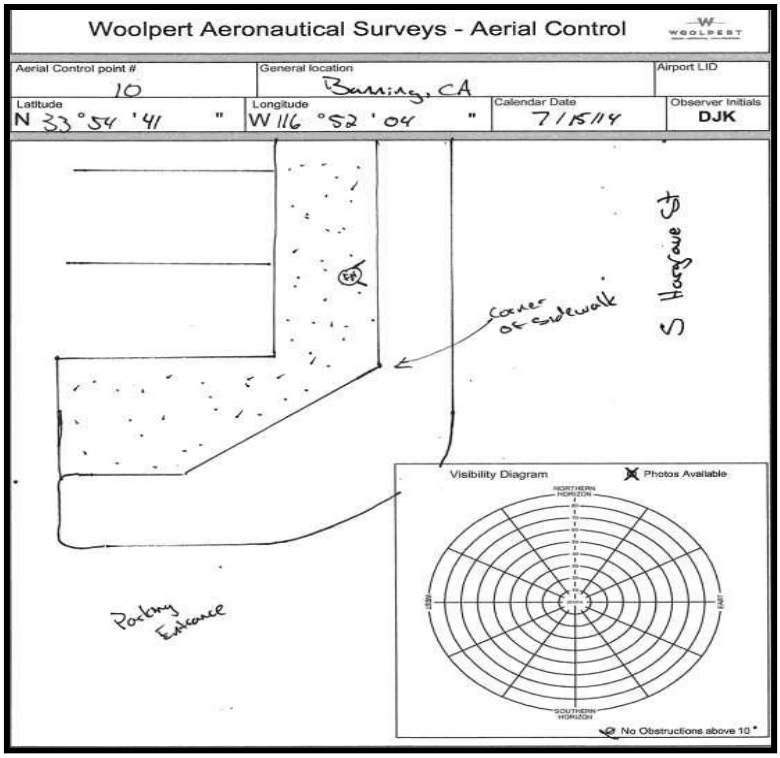
بالنسبة لنقاط الربط الأرضية المؤقتة يتم توزيعها قبل عملية التصوير الجوي بأيام قليلة لضمان عدم تدميرها بالعوامل المناخية أو البشرية، وهي تستخدم فقط في عملية المسح الجوي (Aerial Survey)، وهي تصنع من الرقائق الخشبية (plywood) أو البولي ايثيلين (polyethylene) وتقطع طبقاً للأبعاد التصميمية لنقاط الربط الأرضي، وتوضع في مناطق مسطحة ومكشوفة لإمكانية رؤيتها داخل الصور الجوية المصورة، كما تثبت بواسطة مسمار قلاووز (nail and screw) لضمان عدم تحركها قبل وأثناء عملية التصوير صورة (٢٠).

كما يقوم مشرف الفريق المساحي بوضع علامة تحذير حول نقاط الربط المؤقتة، باللغة العربية أو الإنجليزية لتجنب أي شخص العبث بها قبل وأثناء فترة التصوير الجوي، مثل كتابة مصطلح (تم وضع هذه العلامات من قبل بلدية الكويت لعملية التصوير الجوي) أو باللغة الإنجليزية كتابة مختصر لها (we had established for the aerial photography survey flights)، لذلك يجب أن تكون نقاط الربط المؤقتة بعيدة عن مسارات الطرق (المدقات) والمناطق التي تزداد الحركة عليها.

صورة (٢٠) نماذج لنقاط التحكم الأرضي المؤقتة التي توضع في الأراضي الفضاء

كذلك يتم اختيار نقاط الربط الأرضية المؤقتة مجاورة لمعلم ثابت مثل تقاطع طريق أو زاوية حائط حديقة صورة (٢١)، وبالتالي يسهل وصف النقطة الأرضية وتوثيقها داخل جدول الملاحظات، مع تدوين كل المعالم الرئيسية المحيطة بها في رسم كروكي أو أخذ صورة فوتوغرافية للموقع لتوثيق موضع النقطة الأرضية عند مطابقتها على الصورة الجوية. شكل (٨٥)

صورة (٢١) نقاط الربط الأرضي المؤقتة بالمناطق العمرانية



شكل (٨٥) نموذج لتوثيق نقاط الربط الأرضية بعمل رسم كروكي يحدد موقعها وما يجاورها

أدوات العمل الميداني:

تستخدم في أعمال المساحة الأرضية الحقلية مجموعة من الأجهزة والمعدات لعل أهمها أجهزة (GPS، Total Station) بعد التأكد من سلامتها لعملية التصوير الجوي ومعايرتها (calibrated)، بحيث تكون نسبة الخطأ الرأسي أقل من ٢٥ سم، وأقل من ٥ سم للزحزحة الأفقية، وتستخدم أجهزة (GPS) حديثة عالية الدقة، لتحديد إحداثيات نقاط الربط الأرضي، ومن أمثلتها جهاز (Trimble) ذو التردد المزدوج لضمان الحصول على دقة أقل من ٥ سم صورة رقم (٢٢).

تتطلب أجهزة (GPS) عند استخدامها لتحديد إحداثيات نقاط الربط الأرضية أن يكون بعيداً عن أجهزة الراديو والمعدات الكهربائية لسلامة استقبال الإشارات

بين المستقبل والأقمار الصناعية، ثم يتم تسجيل مجموعة من البيانات في كل عملية رصد داخل أجندة الملاحظات الخاصة بالرفع المساحي أهمها: –

- رقم المحطة أو الرمز الجيوديسي Geodetic Code.
- بداية ونهاية مدة التشغيل (occupation) بالتوقيت المحلي.
- وقت وتاريخ الالتقاط بالتقويم اليوليوسي (Julian Day).
- اسم المساح والمساعد.
- تحديد الرقم التسلسلي لجهاز الاستقبال (Receiver) والهوائي (Antenna).
- تحديد ارتفاع الهوائي بالمتر مع تحديد مركز الجهاز (centering device).
- وصف المحطة مع صورة فوتوغرافية.
- المحطة الرئيسية (Base Station).
- رقم الجلسة (Session Number).
- الموقع والقطاع (Location, Sector).
- محطات المراقبة (Stations Observing).
- أسم الملف (File Name).
- بيانات إحداثيات وارتفاع الموضع (Lat, Long, Ellipsoidal height).
- المركبات الفضائية (Satellite Vehicles).
- الصور الرقمية الرأسية Digital orthophographs (DOPs)
- ملاحظات أخرى.

صورة (٢٢) تحديد إحداثيات نقاط الربط الأرضية بأجهزة GPS

بنهاية عملية المسح الأرضي ووضع نقاط الربط الأرضية يتم تسليم تقرير ما تم إنجازه في الميدان بما يتضمن (عدد الأجهزة المستخدمة ونوعها، عدد فريق المسح الأرضي، نسبة الأخطاء التي تم رصدها، عدد نقاط الربط الأرضية التي تم عملها، وغير ذلك بما يتعلق بأعمال المساحة الأرضية).

الدقة والأخطاء Accuracy and Errors:

تعتمد دقة المسح الجوي على مقياس الرسم المطلوب من التصوير الجوي، والأخطاء التي قد تنتج أثناء عملية المسح الجوي. يجب أن يكون مقياس رسم الصورة أصغر من مقياس رسم الخريطة، ومع ذلك لا ينبغي أن تكون النسبة بين المقياسين أكبر من ثمانية بالمئة. على سبيل المثال يمكن حصر الأخطاء التي قد تنتج عند إنتاج صور رأسية (Orthophoto) في النقاط التالية: –

- قد تحدث أخطاء ناتجة عن كاميرا التصوير الجوي ومعايرتها (calibration).
- أيضاً هناك أخطاء يمكن أن تحدث من أجهزة الماسح الضوئي في حجم الصورة مما يؤثر على مقياس رسمها.

- تؤثر نقاط الربط الأرضية (GCP) على الدقة الأرضية للصورة والإزاحة، وذلك إذا حدث خطأ في دقتها أو كان عددها غير كاف أو تم توزيعها بشكل غير ممنهج.
- قد يحدث خطأ في عملية التثليث الجوي سواء كان في (التصميم، أو القياس، أو الحساب) مما يؤثر على دقة الصورة الجوية المنتجة.
- ترتبط دقة نماذج الارتفاعات الرقمية (DEM) بخصائص التضاريس؛ مسافة العينات (sampling)، طريقة الاستيفاء المكاني (interpolation) لشبكة الخلايا، والقدرة على توفير معلومات الارتفاع فوق سطح الأرض (مثل ارتفاع المباني).
- تتوقف دقة البيانات أيضاً على الأسلوب المتبع في التصحيح ونوع البرنامج المستخدم، فقد تحدث أخطاء ناتجة عن طريقة التصحيح المتبعة سواء كانت تصحيح صورة بأخرى أو بغيرها.

استخدم (GPS) في الطائرات بدون طيار:

نظراً لصعوبة أخذ المعلومات وحاجة الدول للتجسس على أعدائها في أوقات محددة وخوفاً على طاقم الطائرات من السقوط أثناء جمع المعلومات السرية، فقد تم إنتاج وابتكار الطائرات بدون طيار لهذه المهمة، وقد استخدمت أيضاً الطائرات بدون طيار في الأنشطة المدنية للضرورة الملحة لعملية التصوير السريع وقد ظهرت العديد من شركات التصنيع لعل أهمها شركة (Sensflay) والتي أنتجت طائرة (eeBee) كما توضحها صورة (٢٣).

تتم عمليات المسح والتصوير الجوي بالطائرات دون طيار وعمليات توجيهها من خلال أنظمة تحديد المواقع العالمية (GPS) وبالتالي يمكن إتمام عملية التصوير واعداد خطوط الطيران من خلال تحديد المسارات وإعطاء الطائرة مواضع ونقطة البداية والنهاية لعمليات التصوير مما يساعد في عمل مسح جوي بطريقة آلية كما في شكل (٨٦).

صورة (٢٣) طائرة بدون طيار من نوع eeBee

شكل (٨٦) عمليات المسح الأرضي بالطائرات دون طيار

٦- **تطبيق نظام** (GPS) **في المساحة الأرضية**:

تستخدم نظم الملاحة بالأقمار الصناعية في عمليات المسح الأرضي بطرق متعددة ومجالات مختلفة حيث تدخل في مجال تنظيم وإدارة الموارد الطبيعة (Natural Resource Management) والتي منها عمليات تختص بالبحث عن المعادن وأعمال المناجم ومنها يمكن عمل: –

- رسم خرائط ممرات المِناجم وأحواض التخزين المائية وتحديد مناطق صيد الأسماك.
- إمكانية تنفيذ الكثير من الأعمال المتكررة والضرورية بشكل سهل وأتوماتيكي كصيانة الخرائط الدقيقة وتطوير الخدمات العامة.
- السهولة البالغة في مسح طرق جديدة في الغابات الضخمة.
- السرعة بتنظيم وإيقاف زحف حرائق الغابات.

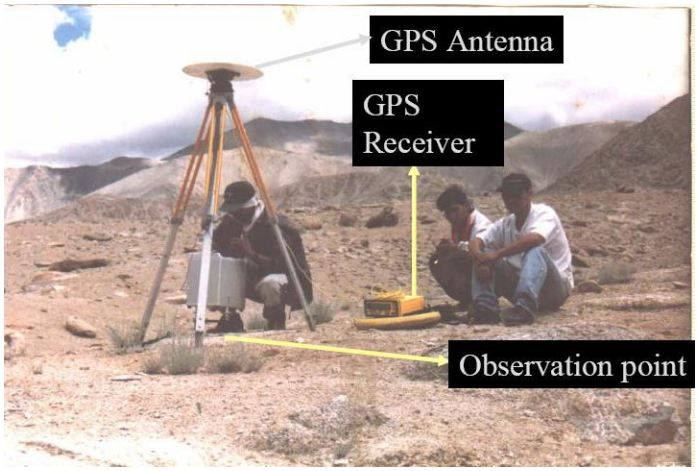
وفي مجال الأعمال الزراعة (Agriculture) يمكن عمل:

- حماية البيئة عن طريق تنظيم رحلات الطائرات الزراعية التي تغطي المنطقة الواجب رشها بالبذور بدقة عالية جدا.
- رفع المناطق الزراعية وتسوية الأراضي.

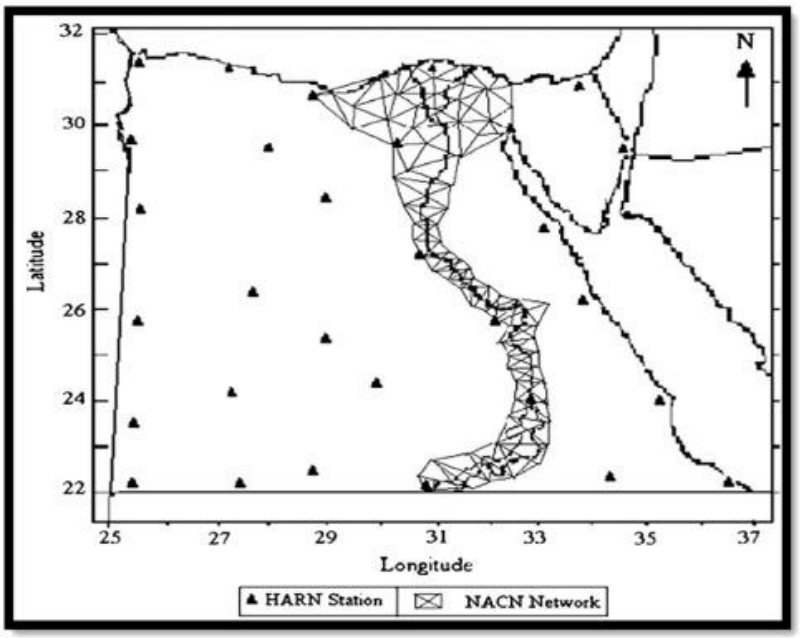
شكل (٨٧) نماذج لطرق الرفع والتوقيع المساحي باستخدام نظام (GPS)

أعمال تثبيت نقاط الربط الأرضية الثابتة للدول:

يمكن من خلال أنظمة تحديد المواقع العالمية (GPS) القيام بأعمال المساحة الأرضية وإجراء توزيع لنقاط الربط الأرضية التي تخدم الدول في مناطقها الجديدة وعمل شبكة جيوديسية محلية للدول باستخدام أجهزة دقيقة لتنسيب نقاط الربط الأرضية مع نظام الملاحة بالأقمار الصناعية كما يوضحه شكل رقم (٨٨).



شكل (٨٨) أعمال الرفع المساحي الدقيق بأجهزة (GPS)



شكل (٨٩) بناء شبكة جيوديسية أرضية باستخدام نظام (GPS)

٧- **استخدام** (GPS) **في إنتاج وتحديث الخرائط الإليكترونية**:

تعد خرائط الويب (Web maps) هي من أفضل ما توصلت إليه التكنولوجيا الحديثة من الخرائط الإليكترونية حيث توفر الوقت والجهد وتكلفة الطباعة وسهلة الحمل والتنقل وتستخدم على أجهزة التليفون المحمول كما أنها عند ارتباطها بأنظمة الخادم (Server) يمكن تتبع معالمها لتصبح خرائط حية (Live) تحدث تلقائياً كل لحظة مثل خرائط حركة المرور (Google Traffic) التي تعرض الخدمات المرورية والازدحام وحركة النقل بأنظمة الاستشعار من خلال جهاز التليفون المحمول الذي يستخدمه أي شخص بمجرد الدخول واتصاله بالانترنت واستخدام برامجها.

كما أن من مميزات الخرائط الإليكترونية خاصية ربطها بأنظمة تحديد المواقع العالمية (GPS) لرصد حركة حامل الجهاز ومشغل برنامج الخرائط ومنها يتم تحديد السرعة والاتجاه والموقع والارتفاع، ومن خلال هذه الخاصية أيضاً يمكن تحدد مسارات الطائرات ومواقعها واتجاهاتها وبلد المغادرة والوصول وهي مفيدة جدا في تتبع مسارات الطائرات والحالة الأمنية للطائرات.

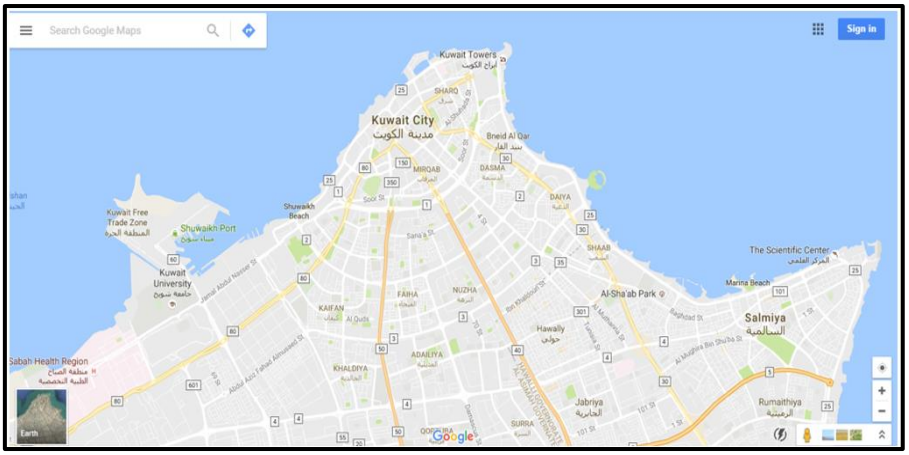
كما أصبحت الخريطة من مجرد معلومات مسجلة على لوح من الورق يتم تحديثها كل فترة من الزمن، إلى خرائط حية (Live) يتم تحديثها كل لحظة، مما أضاف إلي علم الخرائط نظاماً متكاملاً تستفيد منه كل الجهات بمختلف تخصصاتها، من خلال النظام الذي يقوم بتحديث نفسه بنفسه، بالإضافة إلي مميزاتها في توفير تكلفة الطباعة وحمل الخرائط، حيث يمكن للأفراد حمل خرائط العالم على هواتفهم الجوالة دون معاناة.

بتقدم العلوم التي اعتمدت على الخريطة في تمثيل وإخراج المعلومات، ظهرت العديد من الخرائط التي تخدم الكثير من المجالات المختلفة، حيث ظهرت الخرائط ثلاثية الأبعاد، وتطورت عملية إخراج الخرائط من الخرائط المطبوعة واللوحات الجدارية إلى الخرائط الرقمية وخرائط الويب، وظهر نوع أخر من الخرائط وهي الخرائط التي يتم عرضها في شكل ثلاثي الأبعاد (3D).

تقدمت الخرائط الجغرافية تقدماً كبيراً بظهور وتطور نظام المعلومات الجغرافية (GIS)، حيث تطور شكل ومضمون مخرجات الخرائط التي ارتبطت بالتكنولوجيا الحديثة، والتي تم فيها ابتكار طرق جديدة في التصميم والإخراج وصولاً إلى تصفحها عبر الانترنت بدلاً من طباعتها في شكل ورقي.

خرائط الويب هي عبارة عن خرائط تم إعدادها بنظام خاص يتم فيه إظهار طبقات محددة وإخفاء أخرى آلياً أثناء عملية التصفح والتكبير والتصغير، وتخزن قاعدة البيانات لهذه الخرائط على أجهزة الخادم (Server) الذي يعمل دون توقف، يمكن تصفح خرائط الويب من خلال برنامج المستكشف أو متصفح الانترنت (Explorer, Chrome, etc.) وذلك باستخدام مجموعة من الأيقونات منها للتكبير، والتصغير. ويمكن من هذه الخرائط البحث عن معالم مختلفة مثل إجراء عملية بحث عن (مدينة محددة، أو اسم طريق، أو مدرسة) حيث يقوم البرنامج بالبحث في قاعدة بيانات ضخمة تشمل الكرة الأرضية بأكملها، ومنها يمكن عرض مجموعة من المدن المتشابهة ليختار منها المستخدم ما يريد البحث عنه إن وجد.

تعد خرائط جوجل (Google Map) أفضل مثال على خرائط الويب الإليكترونية، ويمثل نظام الترميز فيها كما يوضحه شكل (٩٠) ومن مميزات هذا النوع من الخرائط أنه وحد رموز الخريطة ودلالاتها على مستوى العالم مثل وضع رمز موحد للمدارس والمساجد على مستوى العالم، وبالتالي أصبحت الخريطة لغة واحدة يقرأها كل فرد بنفس تفسير وقراءة الأخر، مما يساعد على نشر وتوحيد لغة الخريطة عالمياً؛ وبالتالي تعد الخريطة أكثر الوسائل التي تجمع سكان الكرة الأرضية على لغة واحدة.



شكل (٩٠) نماذج لخرائط الويب (Google Map)

ويمكن عرض خرائط الويب في شكل خرائط رقمية خطية مدون عليها النصوص، كما يمكن وضع صورة قمر صناعي عالية الدقة أسفل طبقة شبكة الطرق بعمل تراكب للبيانات (Overlap) مما يعطي الخريطة قيمة كبيرة لدى قارئها وتسهل عملية التحليل والتفسير، كما يمكن دمج الخرائط الرقمية مع نظام التصوير الفوتوغرافي لمعالم سطح الأرض المنتشرة على طول شبكة الطرق في شكل صوراً فوتوغرافية مصححة جغرافياً يمكن ايجازها في الآتي: -

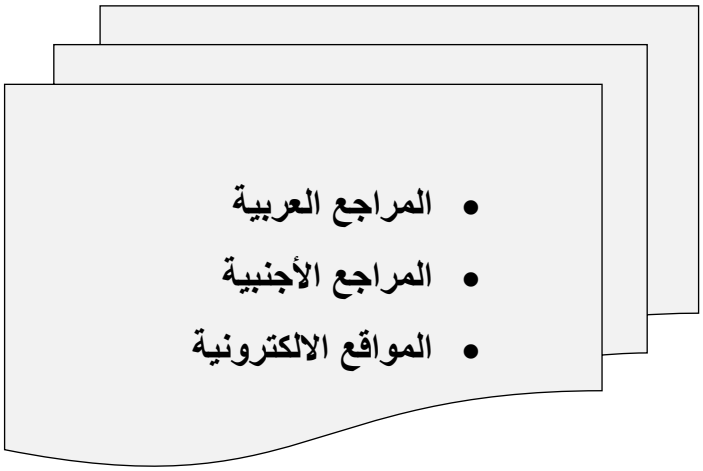
- **خرائط الويب المصورة:**

استخدمت حديثاً كاميرات ثلاثية الأبعاد يمكنها تصوير معالم سطح الأرض تصويراً فوتوغرافياً بنظام الاحداثيات ويمكن منه عمل القياسات، وطبق هذا النظام لدول محددة حسب رغبتها في ذلك، وبالتالي أمكن عرض معالم سطح الأرض على الويب في شكل خرائط مصورة، تساعد المستخدم على رؤية المكان كأنه في الميدان شكل (٩١)، وتستخدم معها كاميرات (360) لتصوير واجهات المباني والمنشآت الموجودة على امتداد الطرق تربط مع نظام تحديد المواقع العالمية (GPS) وذلك بهدف بناء خرائط مصورة بمواقعها الجغرافية مما ساعد في تطور الخرائط الرقمية (Digital maps).

شكل (٩١) نموذج للخرائط الويب المصورة (تايوان)

* * *

قائمة المراجع



أولا: المراجع العربية:

١- علي، صباح حسين (٢٠١٧): جامعة الموصل، مركز التحسس النائي، رسالة ماجستير غير منشورة.

٢- عبد الفتاح، صديق عبداللاه، (٢٠١٤): أجهزة تحديد المواقع GPS global position system.

٣- حموي، هيثم نوري، (١٩٩٧): مدخل إلى جيوديزيا الأقمار الصناعية، فيينا، النمسا.

٤- المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني (١٤٢٦): النظام الكوني لتحديد المواقع، المملكة العربية السعودية.

٥- الاتحاد الدولي للاتصالات (٢٠١٠) نقل إشارات التوقيت والترددات وبثها بالساتل، المكتبة الإلكترونية للاتحاد الدولي للاتصالات.

ثانياً: المراجع الأجنبية:

1- Sabah, H. A., and Sahar, S. Q., 2005, "Difference Contouring Map for Iraq Between Clarke1880 and WGS84 Systems", Journal of Education and Science, vol.12, no.1.

2- Hassan, A. k., and Amin, H., 2004, "Telegeoinformatics Location-Based Computing and Services", Chapter Three, CRC Press LLC.

3- Charles, D. G., 1999, "Geodetic Models for the Earth", Penn State Surveying Program, U.S.A, pp.1-15.

4- Sabah, H. A.,2006,"UTM coordinates correction between WGS84 and Clarke1880 ellipsoid in Mosul by using GPS, Journal of Education and Science, vol.(17), no.(4).

5- Weikko, A. H., and Helmut, M., (1967), "Physical Geodesy", W. H. FREEMAN AND COMPANY, LONDON, pp.47-50.

6- Sabah, H. A., and Sahar, S. Q., 2005, "Difference Contouring Map for Iraq Between Clarke1880 and WGS84 Systems", Journal of Education and Science, vol.12, no.1 .

7- Hassan, A. k., and Amin, H., 2004, "Telegeoinformatics Location-Based Computing and Services", Chapter Three, CRC Press LLC.

8- Charles, D. G., 1999, “Geodetic Models for the Earth”, Penn State Surveying Program, U.S.A, pp.1-15.
9- Sabah, H. A.,2006,"UTM coordinates correction between WGS84 and Clarke1880 ellipsoid in Mosul by using GPS, Journal of Education and Science, vol. (17), no.(٤) .
10- Weikko, A. H., and Helmut, M., (1967), “Physical Geodesy”, W. H. FREEMAN AND COMPANY, LONDON, pp.47-50.
11- Djazmati, S. & Makdissi, S. “Geographic Information Systems” Dar Al-Shark Al-Arabi 2000 (in arabic) .
12- Habib, M. “A Proposed Conformal Mapping In Syria And Development Of Software Package For Transformation Problems” PhD Thesis, Egypt 2000 .
13- Hamoui, H. “Satellite Geodesy”, Arab Scientific Publisher 1998 (in Arabic) .
14- Kennedy, M. “The Global Positioning System and GIS” Ann Arbor Press 1996 .
15- Khalil, R. “Geographic Information Systems” Egypt 1996 (in Arabic) .
16- Mostafa, M. “Developments in Surveying Using Global Positioning and Geographic Information Systems” M. Sc. Thesis, Egypt 1994.
17- Dhiraj Sunehra, M.Tech (2013) ESTIMATION OF PROMINENT GLOBAL POSITIONING SYSTEM MEASUREMENT ERRORS FOR GAGAN APPLICATIONS, European Scientific Journal May 2013 edition vol.9, No.15 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
18- He-Chin Chen & other (2009) THE PERFORMANCE COMPARISON BETWEEN GPS AND BeiDou-2/COMPASS: A PERSPECTIVE FROM ASIA,Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 32, No. 5, pp. 679-689 (2009).
19- Dvorkin and other (2009) The Russian global navigation satellite program, Herald of the Russian Academy of Sciences 79(1):7-13

ثالثاً: المواقع الالكترونية:

1- http://www.trimble.com/gps/
2- http://www.nasm.si.edu/exhibitions/gps/
3- http://electronics.howstuffworks.com/gps.htm
4- www.physicsacademy.org
5- http://www.globe.gov
6- www.hazemsakeek.com

7- www.physicsacademy.org
8- http://www.nasm.si.edu/exhibitions/gps/
9- http://electronics.howstuffworks.com/gps.htm
10- www.hazemsakeek.com
11- www.physicsacademy.org
12- http://www.gis.com
13- http://www - aadc.aad.gov.au
14- http://www.autodesk.com
15- http://www.gmat.unsw.edu.au
16- http://www.esri.com
17- http://albahethon.com/?page=show_det&id=1099

* * *