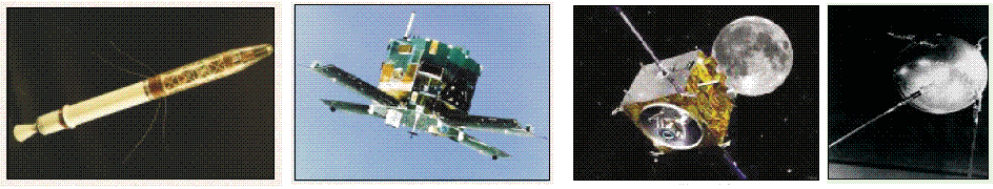
٥-٣ النظام العالمى لتحديد المواقع

٥-٣-١ الأقمار الصناعية

مع بداية النصف الثاني من القرن العشرين الميلادي دخلت المعرفة البشرية منعطفا تقنيا جديدا حيث أستطاع الإنسان أن يرسل أجساما معدنية إلي خارج نطاق الغلاف الجوي لكوكب الأرض، وهي الأجسام التي أصطلح علي تسميتها بالأقمار الصناعية Satellites. يعد إطلاق القمر الصناعي الروسي الأول "سبوتنيك-١ Sputbik-1" في ٤ أكتوبر ١٩٥٧ هو إعلان دخول الإنسان لعصر الأقمار الصناعية. هذا و قد بدأ إطلاق الأقمار الصناعية و غزو الفضاء – بصفة عامة – بعد أن تطورت عدة تقنيات و خاصة الصواريخ و الرادار ، فالصاروخ هو الوسيلة لإيصال القمر الصناعي إلي الفضاء (كان أول صاروخ يطلق للفضاء بواسطة فريق علماء ألمان بقيادة براون في عام ١٩٣٤) و الرادار مهم لتعقب القمر و معرفة موقعه ، كما ساهم التطور في الحاسبات الآلية و أنظمة الاتصالات في الإسراع بالدخول إلي عصر الفضاء.



شكل (٥-٢٠) بعض الأقمار الصناعية

يمكن تقسيم الأقمار الصناعية – بصفة عامة – إلي ثلاثة مجموعات أو أنواع:

أ- أقمار صناعية ملاحية Navigation Satellites يكون هدفها الأساسي تقديم تقنيات ووسائل دقيقة لعمليات الملاحة بين موقعين (سواء الملاحة الأرضية أو البحرية أو الجوية أو حتى الملاحة الفضائية) ، وتأتي في هذه المجموعة من الأقمار الصناعية نظم أو تقنيات مثل نظام الجي بي أس GPS و نظام جاليليو Galileo و نظام دوبلر Doppler و نظام جلوناس GLONASS.

ب- أقمار صناعية للاتصالات Communication Satellites وهي أقمار تساعد في نقل البيانات (مثل البث الإذاعي و التلفزيوني) وتوزيعها علي أجزاء كبيرة من سطح الأرض لتتغلب علي مشكلة كروية الأرض التي تعيق النقل المباشر الأرضي لهذه البيانات. ومن أمثلة هذه النوعية من الأقمار الصناعية: النيل سات و العرب سات المستخدمين في البث التلفزيوني.

ت- أقمار صناعية لدراسة موارد الأرض Earth Resources Satellites ومنها أقمار صناعية خاصة بدراسة البحار و أخري خاصة بدراسة الطقس و ثالثة مخصصة للتصوير الفضائي أو ما يعرف الآن بأقمار الاستشعار عن بعد Remote Sensing Satellites.

تطورت نظم الملاحة بالأقمار الصناعية مع إطلاق نظام الملاحة الأمريكي Navy Navigation Satellite System الذي عرف باسم ترانزيت Transit وأيضا باسم نظام دوبلر Doppler - في الستينات من القرن العشرين الميلادي، وكان الهدف الرئيسي منه تحديد مواقع القطع البحرية في البحار و المحيطات والمعرفة الدقيقة لإحداثيات المواقع الإستراتيجية.

وبالرغم من هذه الأهداف العسكرية إلا أن المهندسين المدنيين قد استخدموا هذا النظام في العديد من التطبيقات المساحية وخاصة إنشاء شبكات الثوابت الأرضية الدقيقة. أعتمد نظام الدوبلر علي عدد من الأقمار الصناعية التي تدور علي ارتفاع حوالي ١٠٠٠ كيلومتر من سطح الأرض حيث يكمل كل قمر دورة كاملة حول الأرض في مدة تبلغ ١٠٧ دقيقة وكانت دقة تحديد المواقع الأرضية اعتمادا علي هذا النظام في حدود ٣٠-٤٠ متر. ومع أن أقمار الدوبلر تغطي معظم أنحاء الأرض إلا أن عددها (٦ أقمار صناعية فقط) لم يكن يسمح بتواصل الإشارات طوال ٢٤ ساعة يوميا – بل لعدة ساعات طبقا للموقع المطلوب علي الأرض – مما لم يلبي حاجة مستخدمي النظام سواء العسكريين أو المدنيين وأدي ذلك إلي بدء وزارة الدفاع الأمريكية - مع بداية السبعينات - في تطوير نظام ملاحي آخر.

٥-٣-٢ تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع: الجي بي أس

بدأت عدة جهات علمية و حكومية اقتراح نظم جديدة و في عام ١٩٦٩ قامت وزارة الدفاع بإنشاء برنامج جديد تحت اسم البرنامج العسكري للملاحة بالأقمار الصناعية DNSS لتوحيد الجهود وراء إطلاق نظام ملاحي جديد. وبالفعل تم اقتراح تقنية جديدة تحت اسم "النظام العالمي الملاحي لتحديد المواقع بقياس المسافة و الزمن باستخدام الأقمار الصناعية NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System" أو اختصارا باسم NAVSRAT GPS ، إلا أنه عرف علي نطاق واسع – بعد ذلك – باسم النظام العالمي لتحديد المواقع أو اختصارا "جي بي أس GPS". تم إطلاق أول قمر صناعي في هذا النظام في ٢٢ فبراير ١٩٧٨ وفي ٨ ديسمبر ١٩٩٣ تم إعلان اكتمال النظام مبدئيا Initial Operational Capability (IOC) ، أما الإعلان النهائي لاكتمال النظام رسميا Fully Operational Capability (FOC) فقد كان في ٢٧ أبريل ١٩٩٥. وفي بدايته كان الجي بي أس مقصورا علي الاستخدامات العسكرية للقوات المسلحة الأمريكية وحلفاؤها حتى أعلن الرئيس الأمريكي ريجان في عام ١٩٨٤ السماح للمدنيين باستخدامه (لكن ليس جميع مميزاته أو مستوي الدقة العالية في تحديد المواقع !). ويدار الجي بي أس من خلال وزارة الدفاع الأمريكية وهي الجهة المسئولة عن إطلاق الأقمار الصناعية و مراقبتها و التأكد من كفاءة تشغيلها واستبدالها كل فترة زمنية بحيث تكون إشارات هذه التقنية متاحة ٢٤ ساعة يوميا وعلي مدار كل الأيام لجميع المستخدمين علي سطح الأرض. وفي عام ١٩٩٦ تم تكوين لجنة عليا تضم عدد من الوزارات الأمريكية لكي تشرف علي نظام الجي بي أس و تضع السياسات المستقبلية اللازمة ، وسميت باللجنة التنفيذية مابين الوزارات Inter-Agency GPS Executive Board أو اختصارا IGEB (الرابط علي شبكة الانترنت في: http://www.igeb.gov/charter.shtml) .

تشتمل تقنية الجي بي أس علي العديد من المميزات التي ساعدت علي انتشارها بصورة لم يسبق لها مثيل ومنها:

- متاح طوال ٢٤ ساعة يوميا ليلا و نهارا وعلي مدار العام كله.
- يغطي جميع أنحاء الأرض.
- لا يتأثر بأية ظروف مناخية مثل درجات الحرارة و المطر و الرطوبة والرعد و البرق و العواصف.
- الدقة العالية في تحديد المواقع لدرجة تصل إلي ملليمترات في بعض التطبيقات و طرق الرصد الجيوديسية أو دقة أمتار قليلة للتطبيقات الملاحية.

- الوفرة الاقتصادية بحيث أن تكلفة استخدام الجي بي أس تقل بنسبة أكبر من ٢٥% بالمقارنة بأي نظام ملاحي أرضي أو فضائي آخر.
- لا يحتاج لخبرة تقنية متخصصة لتشغيل أجهزة الاستقبال (وخاصة المحمولة يدويا) لدرجة أن بعض مستقبلات الجي بي أس أصبحت تدمج في الساعات اليدوية و أجهزة الاتصال التليفوني.

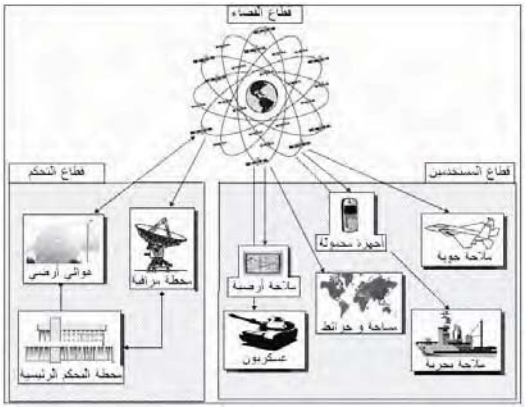
تعددت التطبيقات المساحية لتقنية الجي بي أس بصورة كبيرة في السنوات الماضية وتشمل بعضها:

١. إنشاء الشبكات الجيوديسية للثوابت الأرضية الدقيقة وتكثيف الشبكات القديمة منها (عن طريق إضافة محطات جديدة لها).
٢. رصد تحركات القشرة الأرضية.
٣. رصد إزاحة أو هبوط المنشئات الحيوية كالكباري و الجسور و السدود و القناطر.
٤. أعمال الرفع المساحي التفصيلي و الطبوغرافي.
٥. إنتاج خرائط طبوغرافية و تفصيلية دقيقة و في صورة رقمية.
٦. تحديد المواقع لعلامات الضبط الأرضي للصور الجوية Aerial Photogrammetryو المرئيات الفضائية لنظم الاستشعار عن بعد Remote Sensing.
٧. تطبيقات المساحة التصويرية الأرضية Close-Range Photogrammetry.
٨. تطوير نماذج الجيويد الوطنية بالتكامل مع أسلوب الميزانية الأرضية.
٩. تجميع البيانات المكانية عند استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems أو GIS ، وخاصة لتطبيقات تحديد مواقع الخدمات المدنية Location-Based Services وتطبيقات النقل الذكي Intelligent Transportation وأيضا تطبيقات نظم معلومات الأراضي Land Information Systems أو LIS.
١٠. الربط بين المراجع الجيوديسية المختلفة للدول في حالات المشروعات الحدودية المشتركة.
١١. نظم الخرائط المحمولة Mobile Mapping Systems أو MMS.
١٢. الرفع الهيدروجرافي و تطوير الخرائط البحرية و النهرية.
١٣. تثبيت و توثيق مواقع العلامات الحدودية بين الدول.
١٤. بدمج تقنيتي الجي بي أس و نظم المعلومات الجغرافية أمكن إنتاج خرائط رقمية و قواعد بيانات محمولة يدويا للمدن بكافة تفاصيلها و خدماتها.

٥-٣-٣ مكونات نظام الجي بي أس

يتكون نظام الجي بي أس من ثلاثة أجزاء أو أقسام (شكل ١٥-٥) هي:

- قسم الفضاء ويحتوي الأقمار الصناعية Space Segment.
- قسم التحكم و السيطرة Control Segment.
- قسم المستقبلات الأرضية أو المستخدمون User Segment.

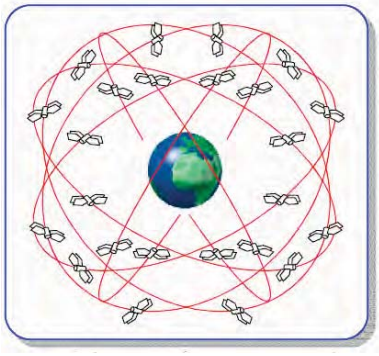


شكل (٥-٢١) أقسام الجي بي أس

وسنستعرض الملامح الرئيسية لكل قسم من هذه الأقسام الثلاثة.

قسم الفضاء أو الأقمار الصناعية:

يتكون قسم الفضاء - اسميا - من ٢٤ قمرا صناعيا (٢١ قمر عامل + ٣ أقمار احتياطية spare موجودة في الفضاء) موزعة في ٦ مدارات بحيث يكون هناك ٤ أقمار صناعية في كل مدار مما يسمح بالتغطية الدائمة (أي وجود علي الأقل ٤ أقمار صناعية) لكل موقع علي سطح الأرض في أي لحظة طوال اليوم (شكل ١٥-٦). وقد يصل عدد الأقمار الصناعية في وقت معين إلي ما هو أكثر من ٢٤ قمرا طبقا لخطة إطلاق الأقمار الصناعية. وتدور الأقمار الصناعية في مدارات شبه دائرية علي ارتفاع حوالي ٢٠٢٠٠ كيلومتر من سطح الأرض ليكمل كل قمر صناعي دورة كاملة حول الأرض في مدة ١١ ساعة و ٥٦ دقيقة بالتوقيت الزمني الأرضي العالمي GMT. ويتراوح وزن القمر الصناعي بين ٤٠٠ و ٨٥٠ كيلوجرام ويبلغ عمره الافتراضي (للأجيال الحديثة من الأقمار الصناعية) حوالي سبعة سنوات و نصف، ويستمد طاقته من خلال صفيحتين لالتقاط الطاقة الشمسية بالإضافة لوجود ثلاثة بطاريات احتياطية من النيكل تزوده بالطاقة عندما يمر بمنطقة ظل الأرض. ويقوم كل قمر صناعي بتوليد موجتين علي ترددين مختلفين Frequency يسموا L1 و L2 بالإضافة لشفرتين Codes و رسالة ملاحية Navigation Message يتم بثهم علي هذين الترددين. كما يحتوي كل قمر علي عدد من الساعة الذرية Atomic Watch سواء من نوع السيزيوم cesium أو الرابيديوم rubidium.



شكل (٥-٢٢) قطاع الفضاء في تقنية الجي بي أس

قسم التحكم و المراقبة:

يتكون قسم التحكم و المراقبة من محطة التحكم الرئيسية في ولاية كلورادو الأمريكية وأربعة محطات مراقبة في عدة مواقع حول العالم (شكل ١٥-٨). تستقبل محطات المراقبة كل إشارات الأقمار الصناعية وتحسب منها المسافات لكل الأقمار المرصودة وترسل هذه المعطيات بالإضافة لقياسات الأحوال الجوية إلي محطة التحكم الرئيسية والتي تستخدم هذه البيانات في حساب المواقع اللاحقة للأقمار وسلوك (تصحيحات) ساعاتها وبالتالي تكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي. تقوم محطة التحكم الرئيسية بعمل التصحيحات اللازمة لمدارات الأقمار الصناعية وكذلك تصحيح ساعات الأقمار ، ثم تقوم بإرسال هذه المعلومات للأقمار الصناعية (مرة كل ٢٤ ساعة) والتي تقوم بتعديل مساراتها و أزمانها وبعد ذلك ترسل هذه البيانات المصححة كإشارات إلي أجهزة الاستقبال الأرضية.

شكل (٥-٢٣) قسم التحكم و السيطرة

قسم المستقبلات الأرضية:

يضم هذا القطاع أجهزة استقبال الجي بي أس (مستخدمو النظام) التي تستقبل إشارات الأقمار الصناعية وتقوم بحساب موقع – إحداثيات – المكان الموجود به المستقبل سواء علي الأرض أو في الجو أو في البحر ، بالإضافة لسرعة واتجاه حركة المستقبل إن كان متحركا أثناء فترة الرصد (شكل ١٥-٩). بصفة عامة يتكون جهاز الاستقبال من: هوائي مع مضخم إشارة ، وحدة تردد راديوي أو لاقط الإشارات، مولد ترددات ، وحدة تأمين الطاقة الكهربائية ، وحدة التحكم للمستخدم ، بالإضافة إلي وحدة ذاكرة لتخزين القياسات. تتعدد أنواع أجهزة الاستقبال بصورة كبيرة جدا طبقا لعدد من العوامل:

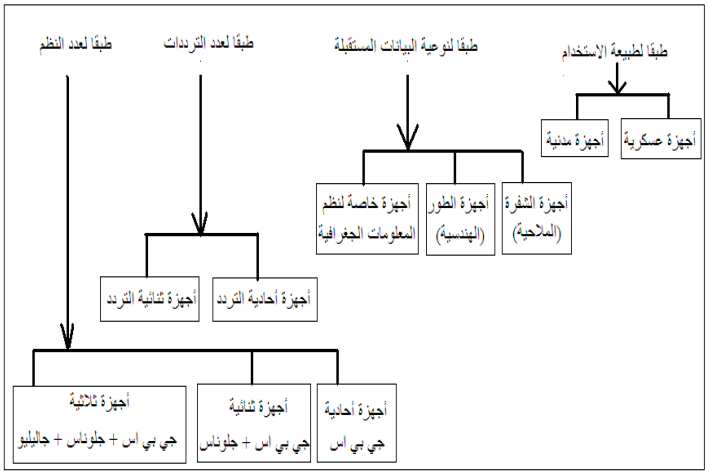
أ- طبقا لطبيعة الاستخدام: توجد أجهزة استقبال عسكرية (تستطيع التعامل مع الشفرة العسكرية التي تبثها الأقمار الصناعية وتفك شفرتها للحصول علي دقة عالية جدا في حساب المواقع) وأجهزة استقبال مدنية.

ب- طبقا لنوعية البيانات المستقبلة: توجد مستقبلات تسمي بأجهزة الشفرة Code ومشهورة أيضا باسم الأجهزة الملاحية Navigation Receivers أو الأجهزة المحمولة يدويا Hand-Held Receivers ، وتوجد أجهزة تسمي بأجهزة قياس الطور Phase ومعروفة أيضا باسم الأجهزة الهندسية أو الجيوديسية Geodetic Receivers ،

وظهرت حديثا الفئة الثالثة من الأجهزة والتي أطلق عليها أجهزة تجميع البيانات لنظم المعلومات الجغرافية GIS-Specific Receivers (شكل ١٥-١٠).

ج- طبقا لعدد الترددات: توجد أجهزة تستقبل تردد واحد من الترددين الذين تبثهما الأقمار الصناعية وتسمي أجهزة أحادية التردد Single-Frequency Receivers أو أجهزة التردد الأول L1-Receivers ، وأجهزة ثنائية التردد Dual-Frequency Receivers التي تستطيع استقبال كلا ترددي الجي بي أس L1 and L2 (وهي أغلي قليلا من الأجهزة أحادية التردد).

د- طبقا لعدد النظم: هناك أجهزة تتعامل فقط مع إشارات نظام الجي بي أس ، وأجهزة ثنائية النظام تستقبل الإشارات من كلا من الجي بي أس و النظام الملاحي الروسي جلوناس، وأجهزة ثلاثية النظم حيث يمكنها أيضا استقبال إشارات النظام الملاحي الأوروبي جاليليو عند بدء العمل به،



شكل (٥-٢٤) أنواع أجهزة استقبال الجي بي أس

شكل (٥-٢٥) بعض أجهزة استقبال الجي بي أس

٥-٣-٤ فكرة عمل الجي بي أس في تحديد المواقع:

تعتمد نظرية عمل نظم الملاحة أو الجيوديسيا بالأقمار الصناعية علي مبدأ قياس الزمن الذي تستغرقه الموجة الراديوية منذ صدورها من وحدة البث (القمر الصناعي) وحتى وصولها لوحدة الاستقبال (المستقبل) ، ومن ثم يمكن حساب المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال من المعادلة:

$$D = c \cdot \Delta t \qquad (5\text{-}10)$$

حيث D المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال ، c سرعة الإشارة وتساوي سرعة الضوء = ٢٩٩٧٩٢.٤٥٨ كيلومتر/ثانية ، Δt فرق الزمن = زمن الاستقبال – زمن الإرسال لهذه الموجة الراديوية.

يمكن التعبير عن هذه المسافة بدلالة الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية لكلا من القمر الصناعي (Xs, Ys, Zs) و جهاز الاستقبال (Xr, Yr, Zr) كالآتي:

$$D = \sqrt{[\,(Xs-Xr)^2 + (Ys-Yr)^2 + (Zs-Zr)^2\,]} \qquad (5\text{-}11)$$

حيث أن إحداثيات القمر الصناعي في أي لحظة تكون معلومة فأن المعادلة (٥-٣-١٥) تحوي علي ٣ قيم مجهولة وهم إحداثيات جهاز الاستقبال ذاته (Xr, Yr, Zr). مما يدل علي أنه يلزم وجود ٣ معادلات حتى يمكن حلهم معا آنيا simultaneously لحساب قيم الإحداثيات الثلاثة لجهاز الاستقبال. أي بمعني آخر: يلزم لجهاز الاستقبال رصد ٣ أقمار صناعية في نفس اللحظة.

حيث أن سرعة الإشارة (سرعة الضوء) كبيرة جدا فأنه للوصول لدقة عالية في حساب المسافة يلزمنا دقة عالية أيضا في قياس الزمن أو حساب فرق الزمن Δt. لاحظ أن الإشارة لا تستغرق أكثر من ٠.٠٦ ثانية لتقطع مسافة ٢٠،٠٠٠ كيلومتر من القمر الصناعي إلي سطح الأرض. إن الساعة الموجودة في القمر الصناعي من النوع الذري عالي الدقة جدا في تحديد زمن الإرسال (زمن خروج الإشارة من القمر الصناعي) لكن الساعة الموجودة في جهاز الاستقبال ليست بنفس هذه الدقة العالية (وإلا فأن سعرها سيكون مرتفعا جدا بصورة تجعل سعر أجهزة الاستقبال غير متاحة لكل المستخدمين). أبتكر العلماء فكرة جديدة وذكية للتغلب علي مشكلة عدم دقة الساعة في أجهزة الاستقبال ، وهي إضافة قيمة الخطأ في ساعة المستقبل وحلها من خلال معادلة رياضية:

$$D = c \cdot (\Delta t + Et) \qquad (5\text{-}12)$$

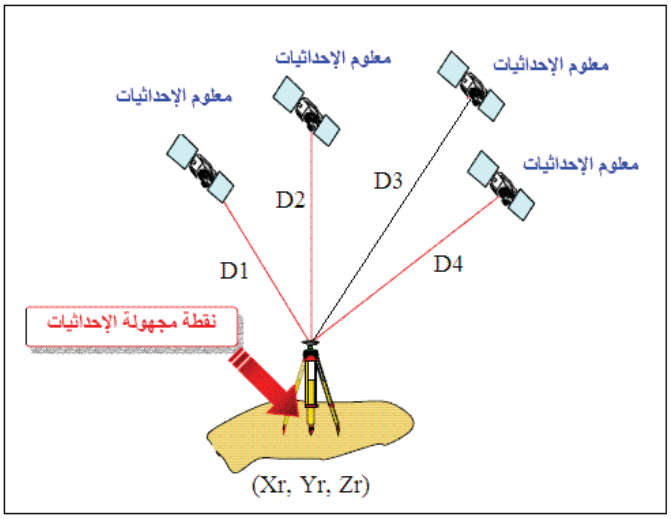
$$D + \Delta D = \sqrt{[\,(Xs-Xr)^2 + (Ys-Yr)^2 + (Zs-Zr)^2\,]} \qquad (5\text{-}13)$$

حيث Et هو الخطأ المطلوب حسابه لزمن الاستقبال الذي يقيسه جهاز المستقبل ، ΔD هو قيمة الخطأ في المسافة المحسوبة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال. وبالتالي فأن عدد القيم المجهولة Unknowns أصبح ٤ وليس ٣ (ثلاثة إحداثيات لموقع جهاز الاستقبال Xr, Yr, Zr وتصحيح المسافة الناتج عن خطأ ساعة الجهاز ΔD) مما يلزم وجود ٤ معادلات حتى يمكن حساب قيم العناصر الأربعة المجهولة:

$$
\begin{aligned}
D_1 + \Delta D_1 &= \sqrt{[\,(Xs_1-Xr)^2 + (Ys_1-Yr)^2 + (Zs_1-Zr)^2\,]} \\
D_2 + \Delta D_2 &= \sqrt{[\,(Xs_2-Xr)^2 + (Ys_2-Yr)^2 + (Zs_2-Zr)^2\,]} \\
D_3 + \Delta D_3 &= \sqrt{[\,(Xs_3-Xr)^2 + (Ys_3-Yr)^2 + (Zs_3-Zr)^2\,]} \\
D_4 + \Delta D_4 &= \sqrt{[\,(Xs_4-Xr)^2 + (Ys_4-Yr)^2 + (Zs_4-Zr)^2\,]}
\end{aligned}
\qquad (5\text{-}14)
$$

حيث D_1, D_2, D_3, D_4 المسافات المقاسة بين جهاز الاستقبال و الأقمار الصناعية الأربعة ، (Xs_1, Ys_1, Zs_1) و (Xs_2, Ys_2, Zs_2) و (Xs_3, Ys_3, Zs_3) و (Xs_4, Ys_4, Zs_4) تمثل إحداثيات الأقمار الصناعية الأربعة ، (Xr, Yr, Zr) تمثل إحداثيات جهاز الاستقبال ، Er يمثل خطأ زمن جهاز الاستقبال.

إذن: المطلوب لحل مجموعة المعادلات هذه هو أن يقوم جهاز الاستقبال برصد ٤ أقمار صناعية في نفس اللحظة. وهذا هو ***الشرط الأساسي*** لحساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد باستخدام الجي بي أس (نكتفي برصد ٣ أقمار صناعية فقط لحساب الإحداثيات ثنائية الأبعاد أي بإهمال حساب ارتفاع الموقع). فإذا توفر لدينا عدد من المعادلات أكبر من ٤ (أي تم رصد أكثر من ٤ أقمار صناعية في نفس اللحظة) فستؤدي هذه الأرصاد الزائدة Redundant Measurement إلى زيادة دقة و جودة حل المعادلات ومن ثم زيادة دقة الإحداثيات المستنبطة.



شكل (٥-٢٦) مبدأ الرصد في نظام الجي بي أس

٥-٣-٥ إشارات الأقمار الصناعية في الجي بي أس:

يقوم كل قمر صناعي من أقمار الجي بي أس بإرسال إشارتين راديوتين علي ترددين carrier frequencies ومحمل عليهما نوعين من الشفرات الرقمية digital codes بالإضافة لرسالة ملاحية navigation message. يبلغ تردد الإشارة الأولي – تسمي L1 – ١٥٧٥.٤٢ ميجاهرتز بينما يبلغ تردد الإشارة الثانية – تسمي L2 – ١٢٢٧.٦٠ ميجاهرتز. كما يبلغ طول الموجة wavelength لتردد L1 ١٩ سنتيمتر بينما يبلغ ٢٤.٤ سنتيمتر لتردد L2. السبب الرئيسي وراء وجود ترددين صادرين من كل قمر صناعي هو تقدير و حساب

الخطأ الذي تتعرض له الإشارات عند مرورها في طبقات الغلاف الجوي (سنتعرض للأخطاء بالتفصيل لاحقا). أما طريقة وضع modulation الشفرة علي التردد الحامل له فتختلف من قمر صناعي لآخر حتى يتم تقليل أخطاء تداخل الإشارات.

الشفرة الأولي تسمي شفرة الحصول الخشن Coarse-Acquisition Code وترمز لها بالرمز C/A وأحيانا نسميها الشفرة المدنية (لأنها المتاحة للأجهزة المدنية للتعامل معها وقراءة محتوياتها) ، بينما الشفرة الثانية تسمي الشفرة الدقيقة Precise Code ويرمز لها بالرمز P والبعض يطلق عليها أحيانا اسم الشفرة العسكرية (لان التعامل معها وقراءتها لا يتم إلا باستخدام أجهزة استقبال خاصة غير متاحة إلا لأفراد الجيش الأمريكي). تتكون كل شفرة من سيل من الأرقام صفر و واحد ، ولذلك تعرف الشفرة بمصطلح الضجة العشوائية الزائفة Pseudo Random Noise أو PRN لان الشفرة تشبه الإشارة العشوائية ، لكن في الحقيقة فأن الشفرة يتم توليدها من خلال نموذج رياضي وليست عشوائية. تحمل شفرة C/A علي التردد الأول L1 فقط بينما تحمل الشفرة P علي كلا الترددين L1, L2. تجدر الإشارة – دون الدخول في تفاصيل فنية معقدة – أن الشفرة P أدق كثيرا من الشفرة C/A ولذلك فقد تم منع إمكانية قراءتها من قبل المستخدمين المدنيين منذ فبراير ١٩٩٤ وقصرها فقط علي التطبيقات العسكرية للولايات المتحدة الأمريكية و حلفاؤها (عن طريق إضافة قيم مجهولة لها تسمي W-code بحيث تتغير الشفرة من P إلي ما يسمي الشفرة Y-code).

وبذلك يمكن القول أن نظام الجي بي أس يقدم نوعين من الخدمات:

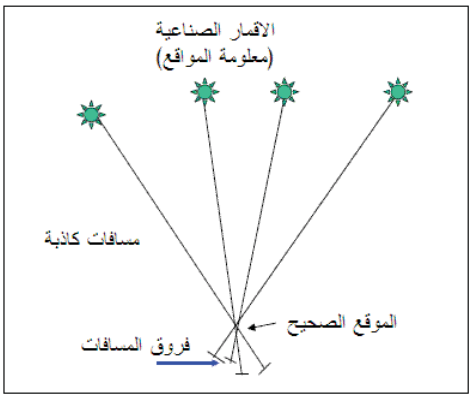
١. خدمة التحديد القياسي للمواقع Standard Positioning Service أو اختصارا SPS والتي تعتمد علي استقبال و قراءة واستخدام البيانات من الشفرة المدنية C/A ، ولذلك تسمي هذه الخدمة بالخدمة المدنية.
٢. خدمة التحديد الدقيق للمواقع Precise Positioning Service أو اختصارا PPS والتي تعتمد علي استقبال و قراءة واستخدام البيانات من الشفرة الدقيقة P ولذلك تسمي هذه الخدمة بالخدمة العسكرية.

٥-٣-٦ أرصاد الجي بي أس:

إن دراسة الأرصاد (أساليب القياس) التي يوفرها نظام الجي بي أس من الأهمية لمستخدم هذه التقنية حتى يلم بطرقها المختلفة ودقة تحديد الموقع الممكن الوصول إليها في كل نوع من الأرصاد المستخدمة. يوفر نظام الجي بي أس أربعة أنواع من الأرصاد (أو طرق قياس المسافات بين جهاز الاستقبال و الأقمار الصناعية) إلا أن نوعين فقط هما الشائعي الاستخدام والمطبقين في أجهزة الاستقبال ، وهما المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة (البعض يسميها أشباه المسافات) و فرق طور الإشارة الحاملة. تختلف دقة تحديد المواقع بدرجة كبيرة جدا باختلاف نوع الأرصاد ، فالأجهزة الملاحية تطبق طريقة المسافة الكاذبة ودقتها في حساب الإحداثيات بحدود عدة أمتار بينما تطبق الأجهزة الجيوديسية أسلوب فرق طور الإشارة الحاملة لتصل إلي مستوي عدة سنتيمترات في دقة تحديد المواقع. وسنتعرض لكلا نوعي الأرصاد في الأجزاء التالية.

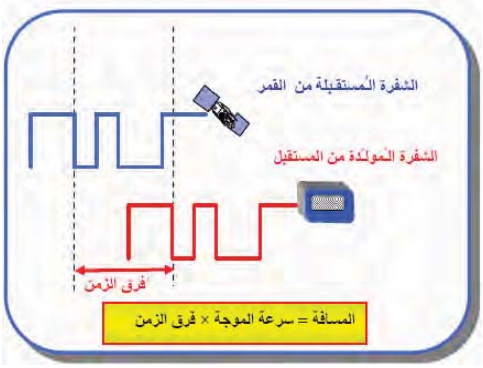
٥-٣-٦-١ أرصاد المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة:

يعتمد هذا الأسلوب أو هذا النوع من أرصاد الجي بي أس علي الفكرة البسيطة التي تعرضنا إليها سابقا وهي أن المسافة بين جهاز الاستقبال و القمر الصناعي تساوي سرعة الإشارة مضروبة في الزمن المستغرق. لكن بسبب وجود عدة مصادر للأخطاء فأن هذه المسافة المحسوبة لن تساوي المسافة الحقيقية بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال ، ولذلك تسمي المسافة الكاذبة Pseudorange.



شكل (٥-٢٧) مبدأ المسافات الكاذبة

لقياس المسافة الكاذبة يقوم جهاز الاستقبال بتطوير شفرة داخله (سواء الشفرة المدنية C/A أو الشفرة العسكرية الدقيقة P طبق لنوع جهاز الاستقبال ذاته) مماثلة للشفرة التي يستقبلها من القمر الصناعي. بمقارنة كلا الشفرتين يمكن حساب فرق الزمن الذي استغرقته الإشارة منذ صدورها من القمر الصناعي وحتى وصولها لجهاز الاستقبال ، ومن ثم يمكن حساب قيمة المسافة الكاذبة.



شكل (٥-٢٨) طريقة قياس المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة

من أهم مميزات ها النوع من أرصاد تقنية الجي بي أس أنه لا يتطلب مواصفات تقنية عالية تدخل في تصنيع أجهزة الاستقبال ، فاستخدام الشفرة لا يتطلب أجزاء الكترونية متقدمة وبالتالي فأن سعر جهاز الاستقبال لن يكون غاليا. ومن هنا فأن جميع أجهزة الاستقبال الملاحية

Navigation أو المحمولة يدويا Hand-Held تطبق أسلوب المسافة الكاذبة باستخدام الشفرة في تحديد المواقع.

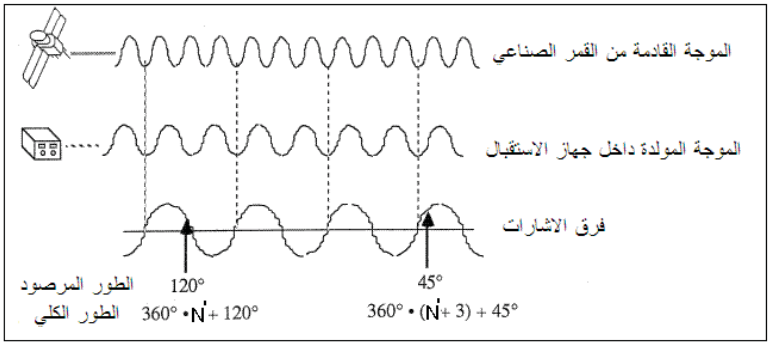
علي الجاني الآخر فأن أهم عيوب هذا النوع من أرصاد الجي بي أس يتمثل في أن الدقة المتوقعة لتحديد المواقع بهذا الأسلوب لن تكون عالية الدقة. يمكن تقدير دقة أرصاد المسافة الكاذبة بقيم تتراوح بين ±٦ متر (عند انحراف معياري 1σ أي بنسبة احتمال تبلغ ٦٨.٣%) و ±١٩ متر (عند انحراف معياري 3σ أي بنسبة احتمال تبلغ ٩٩.٧%) للإحداثيات الأفقية ، بينما ستكون الدقة أكبر من هذه الحدود في الاحداثي الرأسي (من ±١١ إلي ±٤٢ متر). وبالطبع فقد تكون هذا الدقة في تحديد المواقع مناسبة للأعمال الاستكشافية و الجغرافية والخرائط ذات مقياس الرسم الصغير و بعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية ، إلا أنها دقة غير مناسبة للأعمال المساحية و الجيوديسية.

تجدر الإشارة إلي أن هذا النوع من أرصاد الجي بي أس يسمي أيضا التحديد المطلق للنقطة Absolute Point Positioning حيث أنه يعتمد علي استخدام جهاز استقبال واحد فقط لتحديد موقع أو إحداثيات النقطة المرصودة في نفس لحظة رصدها.

٥-٣-٦-٢ أرصاد فرق طور الإشارة الحاملة:

يقوم جهاز الاستقبال (الجيوديسي النوع) بتطوير موجة داخلية ثابتة تشبه الموجة التي يبثها القمر الصناعي ، ثم يقوم بمقارنة طور phase كلا الموجتين عن طريق قياس فرق الطور carrier phase or carrier beat phase والذي يكون دالة في المسافة بين القمر الصناعي و جهاز الاستقبال في لحظة الرصد. لكن هذا الفرق في الطور يتكون من جزأين: (١) العدد الصحيح integer للموجات الكاملة ، (٢) أجزاء الموجات عند كلا من جهاز الاستقبال و القمر الصناعي. وهنا تأتي أهم المشاكل التي تواجه نوع هذه الأرصاد: جهاز الاستقبال يستطيع وبكل دقة قياس أجزاء الموجات لكنه لا يستطيع تحديد عدد الموجات الكاملة. ومن ثم فأن العدد الصحيح للموجات الكاملة ويسمي الغموض الصحيح Integer Ambiguity أو اختصارا الغموض Ambiguity (N') يتم اعتباره قيمة مجهولة مطلوب حسابها أثناء إجراء حسابات تحديد المواقع (شكل ١٥-١٥ وشكل ١٥-١٦).

شكل (٥-٢٩) أرصاد فرق طور الموجة الحاملة



شكل (٥-٣٠) كيفية قياس فرق طور الموجة الحاملة

من عيوب ها النوع من أرصاد تقنية الجي بي أس أنه يتطلب مواصفات تقنية عالية تدخل في تصنيع أجهزة الاستقبال ، فتوليد موجة داخل أجهزة الاستقبال يتطلب أجزاء الكترونية متقدمة وبالتالي فأن سعر جهاز الاستقبال سيكون غاليا مقارنة بأجهزة قياس المسافات الكاذبة. ومن هنا فأن أجهزة الاستقبال الملاحية Navigation أو المحمولة يدويا Hand-Held لا تطبق هذا الأسلوب ، إنما هو فقط مطبق في تحديد المواقع باستخدام الأجهزة الجيوديسية.

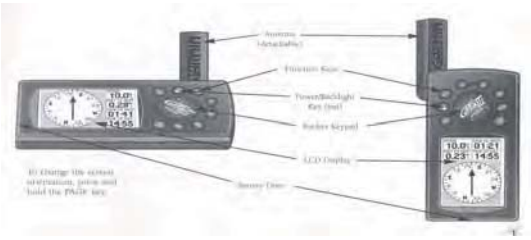
علي الجاني الآخر فأن أهم مميزات أرصاد الجي بي أس باستخدام فرق طور الإشارة الحاملة يتمثل في أن الدقة المتوقعة لتحديد المواقع بهذا الأسلوب تكون عالية. فالقاعدة العامة أن أقل مسافة يمكن قياسها بهذا النوع من الأرصاد = (٣٦٠/٢) من طول الموجة ، فمثلا طول موجة التردد الأول L1 = ١٩ سنتيمتر ، مما يسمح لنا بقياس مسافات تصل إلي ١ ملليمتر. وبالطبع فأن هذا المستوي العالي من الدقة في تحديد المواقع مناسبة للأعمال المساحية و الجيوديسية.

٥-٣-٧ نموذج لتشغيل أجهزة الجي بي أس الملاحية:

تجدر الإشارة إلي أن **كل أجهزة الجي بي أس الملاحية أو المحمولة يدويا تعطي نفس الدقة** في الإحداثيات مهما أختلف نوع الجهاز أو مواصفاته. يظن البعض أن مواصفات الجهاز (حجم الشاشة و حجم الذاكرة الداخلية وسعة البطارية .... الخ وأيضا ارتفاع سعر الجهاز) قد تعني دقة أفضل، وهذا ظن خاطئ تماما. كما سبق القول أن أجهزة الجي بي أس إما (١) أجهزة هندسية نعطي دقة سنتيمترات، أو (٢) أجهزة ملاحية تعطي دقة عدة أمتار (أقل من ٨ متر) أو (٣) أجهزة مخصصة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية تعطي دقة أقل من متر واحد. يجب علي الجميع وضع هذه القاعدة في الاعتبار حيث أن أسعار أجهزة الجي بي أس الملاحية أو المحمولة يدويا تتراوح بين ٥٠ و ٥٠٠ دولار أمريكي، لكن هذا الاختلاف في السعر لا يعني علي الإطلاق اختلاف في دقة الإحداثيات المقاسة إنما هو فقط اختلاف في إمكانيات الجهاز من حيث الشاشة و الذاكرة و البطارية ...الخ فقط لا غير.

في هذا الجزء سنقدم – فقط و علي سبيل المثال – خطوات تشغيل أحد أجهزة الجي بي أس من النوع الملاحي أو المحمول يدويا بهدف اطلاع القارئ علي أن هذه التقنية تتميز ببساطة التشغيل والاستخدام دون محاولة الترويج لجهاز معين أو شركة معينة.

خطوات استخدام جهاز جي بي أس GPS من شركة Garmin موديل GPS III Plus



تركيب البطاريات:

يعمل الجهاز باستخدام ٤ بطاريات جافة من حجم AA (البطارية القلم) وتوضع البطاريات طبقا لترتيب الأقطاب الكهربائية وذلك من خلال فتح غطاء البطاريات الموجود أسفل الجهاز (في حالة الإمساك بالجهاز باليد في وضعة الرأسي و ليس الأفقي).

وظائف مفاتيح الجهاز:

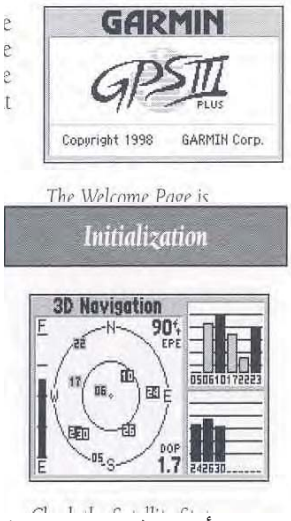
المفتاح	الوظيفة
المفتاح الأحمر	بدء و إيقاف تشغيل الجهاز (عن طريق ضغطة طويلة)
QUIT	للخروج من أي قائمة أو شاشة عرض
GOTO	لاختيار الهدف أو الموقع المطلوب الوصول (الملاحة) إليه
IN	لتكبير مقياس رسم الخريطة علي الشاشة (إظهار منطقة أصغر)
OUT	لتصغير مقياس رسم الخريطة علي الشاشة (إظهار منطقة أكبر)
PAGE	للتنقل بين شاشات العرض المختلفة للجهاز (في حالة الضغط علي هذا المفتاح ضغطة طويلة يغير العرض علي الشاشة من الوضع الأفقي إلي الوضع الرأسي و العكس)
MENU	لإظهار قائمة الاختيارات
ENTER/MARK	للتأكيد أو الاختيار من القائمة ، وكذلك لتخزين الموقع الحالي داخل ذاكرة الجهاز
المفتاح الكبير GPS III	يستخدم بدلا من الأسهم للحركة لأعلي و أسفل و لليمين و لليسار

تحذيرات التشغيل:

يجب ملاحظة أن جهاز جي بي أس يتم ضبطه و اختيار طريقة العمل و تحديد المعاملات الهندسية لتشغيله بواسطة مهندس متخصص ، لذلك لا يجب إطلاقا تغيير هذه المعاملات Setup وإلا فستكون النتائج علي الشاشة أو التي يتم تخزينها خاطئة تماما. بناءا عليه يجب في حالة الدخول في أي قائمة من قوائم التشغيل وليست لدينا فكرة جيدة عنها ، يجب الخروج منها فورا بالضغط علي مفتاح QUIT دون تغيير أيه معلومة أو رقم ثابت.

حتى يمكن لجهاز الجي بي أس استقبال إشارات الأقمار الصناعية فيجب أن يكون الجهاز في مكان مفتوح وبعيد بدرجة كافية عن المباني و الأشجار وأي أجسام في المنطقة المحيطة به. كذلك يجب رفع أنتنا الاستقبال لأعلي حيث أنها هي الجزء الخاص باستقبال الإشارات اللاسلكية الصادرة من الأقمار الصناعية.

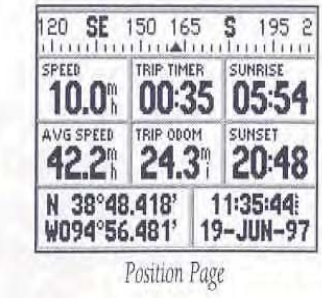
شاشات الجهاز و استخداماتها:



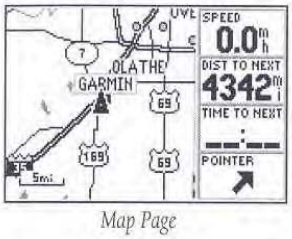
عند الضغط علي المفتاح الأحمر يبدأ تشغيل الجهاز وتظهر شاشة عليها اسم الشركة و موديل الجهاز

بعد حوالي ثلاثة ثواني تظهر شاشة تحذيرية من أن مسئولية التشغيل تقع علي من يشغل الجهاز ولا أضرار علي الشركة. تختفي هذه الشاشة بعد خمسة ثواني أو عند الضغط علي مفتاح ENTER

أول شاشة من شاشات التشغيل هي شاشة الأقمار الصناعية والتي توضح عدد و حالة الأقمار الصناعية التي يستقبل الجهاز الإشارات منها في هذه اللحظة ، كذلك يوجد مؤشر طولي علي يسار الشاشة يبين قوة البطاريات الكهربائية ويتراوح المؤشر بين حرف F أي بطاريات قوية وحرف E أي بطاريات ضعيفة تحتاج لتغييرها.



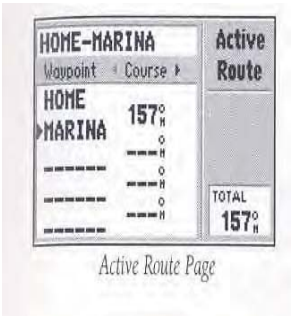
عندما يسمكن الجهاز من استقبال إشارات ٤ أقمار صناعية علي الأقل فأنه يستطيع حساب موقع (أو إحداثيات) المكان الحالي ، وعندئذ تختفي مباشرة شاشة الأقمار الصناعية لتظهر شاشة الإحداثيات. في الجزء الأسفل علي يسار هذه الشاشة تظهر إحداثيات الموقع الحالي الموجود به الجهاز وهذه الإحداثيات أما أن تكون من نوع الإحداثيات الجغرافية (خط الطول و خط العرض بالزوايا: درجة-دقيقة-ثانية) أو من نوع الإحداثيات الكيلومترية (الاحداثي الشرقي و الاحداثي الشمالي بالأمتار) وهذا طبقا لشروط التشغيل التي تمت برمجة الجهاز عليها من قبل الفني المختص.



إذا ضغطت مفتاح PAGE فستظهر شاشة الخريطة والتي توضح خريطة المنطقة الحالية و ما فيها من مظاهر جغرافية (الطرق و المدن) ويظهر الموقع الحالي للجهاز برمز المثلث الأسود المصمت.

إذا ضغطت مفتاح PAGE فستظهر شاشة البوصلة والتي توضح بوصلة رقمية مدرجة ، حيث يشير مؤشرها إلي انحراف أو اتجاه خط السير للشخص الذي يحمل الجهاز ، لاحظ أن إذا كان الجهاز في وضع الثبات ولا يسير حامله من نقطة لآخري فأن اتجاه البوصلة هنا سيكون خطأ حيث أن الجهاز لا يمكن من تحديد اتجاه السير إلا عندما يتحرك الشخص الذي يحمل الجهاز ويكون الجهاز في وضع الحركة وليس الثبات.

إذا ضغطت مفتاح PAGE فستظهر شاشة الطريق وفيها تظهر قيم السرعة (سواء كان الجهاز في يد شخص مترجلا أو في سيارة) والمسافة المتبقية و الاتجاه المطلوب وذلك إذا كان مستخدم الجهاز قد قام بتحديد موقع أو هدف معين يريد أن يتوجه إليه.
إذا ضغطت مفتاح PAGE فستظهر شاشة خط السير والتي تظهر ترتيب الأهداف التي يريد المستخدم الوصول إليها تباعا (يجب أن يكون المستخدم قد قام فعلا بتحديد هذه الأهداف للجهاز).



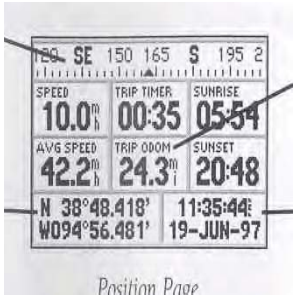
Active Route Page

إذا ضغطت مفتاح PAGE فستظهر الشاشة الأولي (شاشة الأقمار الصناعية) وتبدأ نفس الدورة في التكرار أو التنقل بين الشاشات مرة أخري.

معرفة إحداثيات الموقع الحالي:

تظهر إحداثيات الموقع الحالي للجهاز في الركن الأسفل علي اليسار من شاشة الإحداثيات وهي أحد نوعين:

مثال ١: الإحداثيات الجغرافية

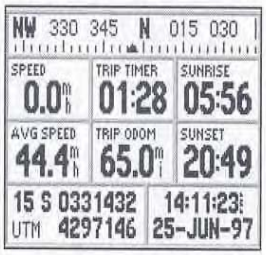


Position Page

خط العرض = ٣٨ درجة ، ٤٨.٤١٨ دقيقة ، والرمز N أي شمال خط الاستواء

خط الطول = ٤٩ درجة ، ٥٦.٤١٨ دقيقة ، والرمز W أي غرب خط طول جرينتش (لاحظ أن إحداثيات المملكة العربية السعودية في خط الطول يكون رمزها E أي شرق خط طول جرينتش).

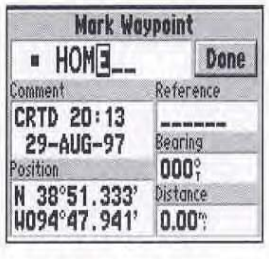
مثال ٢: الإحداثيات الكيلومترية بنظام UTM العالمي:



Position Page showing UTM

15 S يشير إلي اسم الشريحة داخل نظام الإحداثيات العالمية لهذا الموقع الحالي.
٠٣٣١٤٣٢ الاحداثي الشرقي بالمتر مقاسا من المحور الطولي للشريحة الحالية.
٤٢٩٧١٤٦ الاحداثي الشمالي بالمتر مقاسا من خط الاستواء.

تسجيل إحداثيات الموقع الحالي داخل ذاكرة الجهاز:



في الحالة البسيطة و الأسهل يمكن الاكتفاء بتسجيل اسم و إحداثيات كل موقع نذهب له في ورقة خارجية. لكن يجب العلم أن أي جهاز الجي بي أس يوجد به ذاكرة داخلية تسمح بتسجيل الإحداثيات ومن ثم يمكن استرجاعها بعد انتهاء العمل الميداني وكذلك يمكن توصيل الجهاز

بالحاسوب لنقل الإحداثيات إليه. لإتمام التسجيل داخل ذاكرة الجهاز و أثناء ظهور شاشة الإحداثيات نضغط علي مفتاح ENTER/MARK ضغطة طويلة (لمدة ٣ ثواني متصلة) فتظهر شاشة تخزين الموقع و بها تاريخ الرصد و إحداثيات الموقع الحالي. كل المطلوب هنا هو اختيار اسم لهذا الموقع الذي سيتم تخزين إحداثياته بالجهاز:

هنا نستخدم مفتاح الأزرار GPS III (المفتاح الكبير الدائري) فإذا حركناه لأعلي أو لأسفل يبدأ في عرض الأحرف الأبجدية الانجليزية حتى نستقر علي الحرف المطلوب في أول خانة من خانات اسم الموقع ، ثم نتحرك بنفس المفتاح لليمين لينتقل إلي الخانة الثانية ونكرر نفس الحركة لأعلي أو لأسفل حطي نستقر علي الحرف الثاني من أحرف الاسم المطلوب ، ونكرر هذه الخطوات لاختيار أحرف اسم الموقع حرفا بحرف حطي ننتهي من كتابة الاسم المطلوب (بحد أقصي ٦ خانات). نضغط مفتاح ENTER حطي يكون المؤشر علي كلمة DONE (أي تمت كتابة الاسم المطلوب) فنضغط علي مفتاح ENTER للتسجيل، وبذلك يكون الموقع الحالي لجهاز الجي بي أس قد تم تخزينه داخل ذاكرة الجهاز.

<u>استخراج إحداثيات موقع تم تخزينه داخل ذاكرة الجهاز:</u>

بعد الانتهاء من العمل الميداني في الطبيعة يمكن تشغيل الجهاز (حتى داخل مكتب مغلق مع أنه لن يستطيع رصد أو استقبال إشارات الأقمار الصناعية) وذلك بهدف استخراج إحداثيات المواقع التي تم رصدها و تخزينها طوال اليوم:

'Map Setup' allows you to

ابدأ تشغيل الجهاز والضغط علي مفتاح PAGE عدة مرات حتي تظهر شاشة الخريطة.

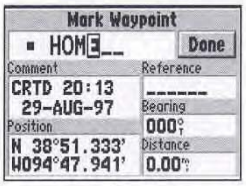
الآن اضغط مفتاح MENU فتظهر قائمة الاختيارات.
استخدم المفتاح الكبير الدائري للتحرك بين مفردات هذه القائمة حتي يكون المؤشر علي MAP SETUP ، ثم اضغط مفتاح MENU مرة أخري.

Press MENU twice to display

تظهر الآن قائمة فرعية جديدة أول سطورها هو WAYPOINTS أي النقط التي تم تخزينها.

اضغط مفتاح ENTER (وليس مفتاح MENU) فتظهر قائمة بأسماء جميع النقاط أو المواقع التي تم تخزينها بذاكرة الجهاز ، استخدم المفتاح الكبير للتحرك من نقطة لاخري حتي تصل لاسم الموقع المطلوب (نفس الاسم الذي اخترته أثناء تخزين الموقع في الحقل) ثم اضغط مفتاح ENTER

تظهر الآن شاشة بها معلومات هذه النقطة التي تم اختيارها وتتكون من اسم النقطة ، تاريخ تسجيلها ، إحداثيات الموقع ، ... الخ



بعد نقل البيانات أو إحداثيات الموقع المطلوب اضغط مفتاح QUIT ٣ مرات للعودة لشاشة الخريطة من جديد ، واتبع الخطوات المعتادة لإيقاف تشغيل الجهاز.