فصل پنجم

نقشه‌برداری با استفاده از سیستم تعیین موقعیت جهانی(GPS)[1]

مقدمه

از مهم‌ترین امور در تهیهٔ نقشه، تشکیل اسکلت و تعیین موقعیت نقاط مبناست که طی آن پس از انجام عملیاتی، مختصات سه‌بُعدی نقاط (یعنی x و y و z) تعیین می‌گردد.

با توجه به این‌که قبلاً برای این‌کار اندازه‌گیری دقیق زوایا و طول‌های تشکیل‌دهندهٔ اسکلت فوق ضرورت داشت و به‌این منظور نیز لازم بود هر نقطه به نقاط قبل و بعد از خود دید داشته باشد، به‌اجبار این نقاط در روی ارتفاعات و مناطق صعب‌العبور انتخاب می‌شد و انجام اندازه‌گیری‌ها بسیار مشکل و وقت‌گیر بود و از آنجا که به دلیل تغییرات سطح زمین باید هرچند سال یک‌بار هم عملیات تکرار شود انجام این کار برای کل مناطق سطح زمین غیرممکن می‌نمود.

در سال ۱۹۷۳سیستمی به نام (GPS) به‌کار گرفته شد که برمبنای یک سیستم مختصات منحصر به‌فرد جهانی[2] با سرعت فوق‌العاده و دقت بالا قادر است موقعیت هر نقطه در روی سطح زمین را برای افرادی که از گیرنده‌های مخصوص استفاده می‌کنند، تعیین نماید.

این سیستم علاوه بر مکان‌یابی نقاط ثابت درروی زمین، قادر است اجسامی که درحال حرکت هستند، نظیر اتومبیل، کشتی، هواپیما و ... را لحظه به لحظه تعیین موقعیت کند. به این ترتیب نه‌تنها در زمینهٔ مهندسی نقشه‌برداری، بلکه در شاخه‌های جغرافیا ــ محیط زیست ــ تکتونیک ــ ژئوفیزیک ــ حمل و نقل ــ ناوبری ــ ترافیک ــ سنجش از دور ــ شهرسازی و برنامه‌ریزی منطقه‌ای و غیره نیز کاربرد پیدا کرده است.

کاربردهای فراوان و روزافزون این سیستم، رقابت فشرده سازندگان بین‌المللی وسایل الکترونیکی نقشه‌برداری را برانگیخته است. به‌طوری که در کمتر از سه‌دهه، بیش از ۷۰مؤسسه، حداقل ۲۳۰ نوع گیرنده از نوع مختلف سیستم GPS را به بازار عرضه کرده‌اند.

۱ــ Global Positioning System ۲ــ World Geodetic System

هدف‌های رفتاری : از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند :

ــ GPS را معرفی نماید.

ــ بخش‌های اصلی در GPS را نام برده و درباره هر بخش مختصراً توضیح دهد.

ــ سیستم مختصات مبنا در کار با GPS را توضیح دهد.

ــ چگونگی برقراری ارتباط گیرنده با ماهواره را ذکر نماید.

ــ برای تعیین موقعیت دوبُعدی و سه‌بعدی نقاط تعداد ماهواره‌های لازم جهت ارتباط را تعیین نماید.

ــ اصول تعیین موقعیت با GPS را بطور مختصر شرح دهد.

ــ روش‌های تعیین موقعیت با GPS را نام برده، هرکدام را مختصراً توضیح دهد.

ــ کاربردهای GPS را بیان کند.

۱ــ ۵ ــ معرفی سیستم GPS

با پیشرفت معجزه‌آسای علوم و فنون و ورود فن‌آوری‌های جدید در قلمرو فعالیت‌های علمی و نظامی و اکتشافی دنیای متحول امروزی روش‌های مکان‌یابی سنتی و قدیمی جوابگوی نیازمندی‌های ناوبری نظامی نبود، از این‌رو دانشمندان علوم نظامی برای تأمین مقاصد خود ماهواره‌هایی را به‌فضا فرستادند و گیرنده‌هایی اختراع[1] و بر روی ناوهای دریایی و هواپیماهای نظامی نصب کردند تا در هر نقطه از سطح زمین و در هر زمان دلخواه بتوان موقعیت آن نقطه را (برمبنای یک سیستم مختصات جهانی تعریف شده) تعیین نمود.

در سال ۱۹۶۰ پس از پرتاب ماهوارهٔ اسپوتینک[2] توسط شوروی سابق نخستین فعالیت در این زمینه صورت گرفت و وزارت دفاع امریکا در یک رقابت علمی ــ نظامی، با پرتاب ماهواره‌هایی به‌فضا، سیستم جدیدی را در نیروی دریایی خود پایه‌ریزی کرد.

از سال ۱۹۶۴ تا ۱۹۶۷ استفاده از این سیستم صرفاً جنبهٔ نظامی داشت و از آن‌پس تدریجاًتحت شرایطی امکان استفاده برای کشورهای محدودی فراهم گردید.

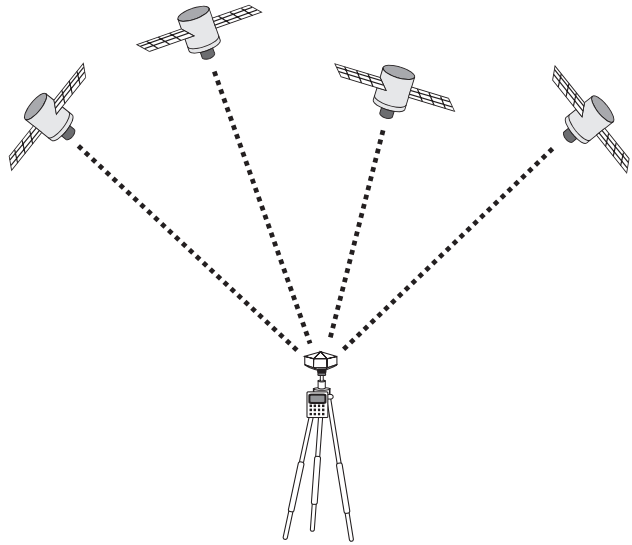
از سال ۱۹۷۳ سیستم GPS برای استفادهٔ عموم تحت توسعه قرار گرفت و خریداران گیرنده‌های

۱ــ اسم کامل این سیستم NAVSTAR GPS (Navigation System with Time and Rarging GPS) است که اطلاعات مربوط به موقعیت دقیق سه‌بعدی و زمان را جهت استفاده‌کنندگانی که به گیرنده‌های خاص مجهز باشند، فراهم می‌آورد.

۲ــ ماهواره اسپوتینک در چهارم اکتبر ۱۹۵۷ به فضا پرتاب شده بود.

ماهواره‌ای حق استفاده از آن را پیدا نمودند و از سال ۱۹۸۳ به‌عنوان روشی برای حل مسایل نقشه‌برداری در جهان مطرح گردید.

GPS نقشه‌برداری زمین به زمین را به اندازه‌گیری زمین به فضا تغییر داده است[۱] .



شکل ۱ــ۵ــ ارتباط ماهواره‌ها با گیرنده

۲ــ ۵ ــ مزایای سیستم تعیین موقعیت جهانی

ــ توانایی کار در هر شرایط آب و هوایی

ــ توانایی کار در طول شبانه روز

ــ تهیهٔ نقشه در مدت زمان کمتر

ــ داشتن دقت بالا

۳ــ ۵ ــ اجزای سیستم تعیین موقعیت جهانی

GPS دارای سه بخش اصلی است که عبارتند از :

الف) بخش فضایی[۲] : که از ماهواره‌ها تشکیل شده است.

ب) بخش کنترل[۳] : که وظیفهٔ ارتباط و بررسی سیستم و ارائهٔ اطلاعات مربوط با موقعیت

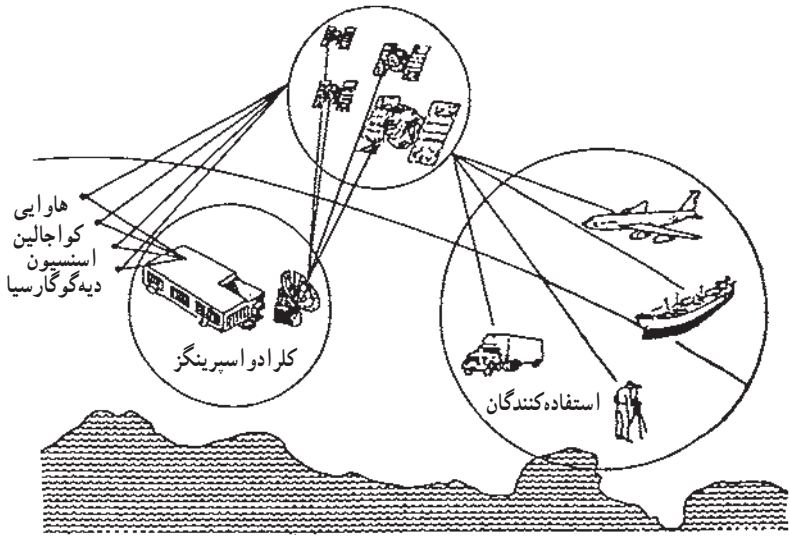
۱ــ قبل از آن در روشی بنام «داپلر» این کار انجام شده است.

۲ ــ Satellite Segment ۳ ــ Control Segment

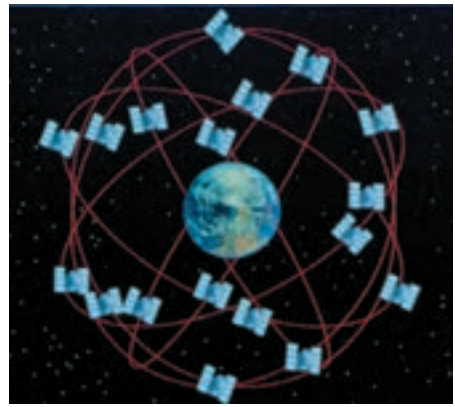
ماهواره‌ها را داراست.

ج) بخش کاربر[1] : که شامل انواع مختلف گیرنده‌هاست.

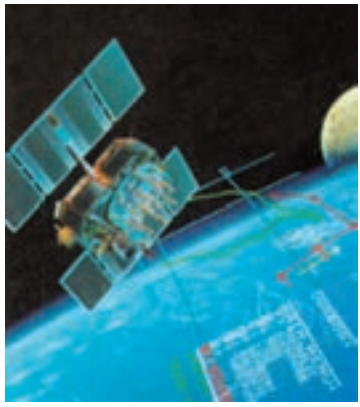
۱ــ۳ــ۵ ــ بخش فضایی : ماهواره‌های GPS از پایگاهی در فلوریدای امریکا توسط موشک براساس یک برنامهٔ زمان‌بندی شده به‌فضا پرتاب شده‌اند. ابتدا تعداد این ماهواره‌ها تا ۱۸ عدد بود و سپس به ۲۴ عدد افزایش یافت و قرار است در آیندهٔ نزدیک تعداد آنها به ۳۲ عدد برسد که نتیجهٔ آن کاهش زمان ارتباط برای تعیین موقعیت و رسیدن به دقت بیشتر و صرفه‌جویی در هزینه‌هاست، این ماهواره‌ها



شکل ۲ــ۵ــ ایستگاه‌های کنترل



شکل ۳ــ۵ــ مدارات ماهواره‌ها



شکل ۴ــ۵ــ هر ماهواره دارای یک فرستنده، یک گیرنده، یک آنتن، یک میکروپروسسور و ۱۵ وسیلاتور است.

۱ ــ User Segment

در ارتفاع حدود ۲۰۱۰۰ کیلومتری از زمین در مدارهای مختلف بیضی‌شکل به‌دور زمین درگردش‌اند و مدارهای آنها طوری طرح‌ریزی شده که تمام کرهٔ زمین را پوشش می‌دهند به‌طوری که در فضای متناظر با هر نقطه از کرهٔ زمین اعم از خشکی و دریا حداقل چهار ماهواره در مدارهای خود در گردش‌اند.

الکتریسیتهٔ موردنیاز از دو صفحه متشکل از باطریهای خورشیدی که سطح ۷/۲ متر مربع را پوشش می‌دهد تأمین می‌گردد و باطریهای نیکل ــ کادمیم انرژی مورد نیاز را در زمان گرفتگی خورشیدی در دسترس ماهواره قرار می‌دهد، وزن هر ماهواره حدود ۸۴۵ کیلوگرم است.

ماهواره‌ها اطلاعات مربوط به موقعیت مداری خویش را نسبت به یک سیستم مختصات جهانی[۱] به زمین ارسال می‌کنند.

۲ــ۳ــ۵ ــ بخش کنترل : درحال‌حاضر مرکز کنترل فعالیت ماهواره‌های سیستم در یک پایگاه نیروی‌هوایی به‌نام فالکون[۲] در ایالت کلرادو قرار دارد. مأموریت مهمّ این مرکز هماهنگ کردن پیغام‌های اطلاعاتی ماهواره‌هاست. به‌غیر از این ایستگاه کنترل اصلی که ایستگاه مادر نامیده می‌شود، ایستگاه‌های کنترل دیگری[۳] نیز ردگیری حرکت ماهواره‌ها را به‌عهده دارند و اطلاعات مربوط به مسیر

شکل ۵ــ۵ــ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های کنترل

۱ــ این سیستم که مبدأ آن در مرکز زمین است (World Geodetic System ۱۹۸۴) و به‌اختصار WGS ۸۴ نامیده شده است.

۲ ــ Falcon

۳ ــ این ایستگاه‌ها در جزایر Diego Garcia و Ascen sion در جنوب اقیانوس اطلس و Kwajalein در جزایر مارشال و هاوایی و شهر Colorado springs قرار گرفته‌اند.

پرواز و شرایط جوی را به ایستگاه کنترل اصلی می‌فرستند. ایستگاه کنترل اصلی، اطلاعات مربوط به موقعیت ماهواره‌ها و رفتار ساعت‌های هرماهواره را از پیش تعیین و ازطریق آنتن‌های زمینی ایستگاه به ماهواره‌ها ارسال می‌نماید. هماهنگی زمانی ماهواره‌ها نیز از وظایف بخش کنترل است که مستقیماً براساس استاندارد زمانی رصدخانه نیروی دریایی ایالات متحده امریکا واقع در «واشنگتن دی‌سی» هماهنگ می‌شود.

۳ــ۳ــ۵ ــ بخش کاربر : این بخش شامل انواع گیرنده‌هایی است که قادرند با ماهواره‌ها ارتباط برقرار کنند و از آنها سیگنال‌های حامل اطلاعات را دریافت نمایند. پس از ذخیره اطلاعات در حافظه گیرنده و انتقال آنها به نرم‌افزارهای موردنظر نقطه‌ای که آنتن گیرنده در آن قرار گرفته تعیین موقعیت می‌شود. نمونه‌هایی از گیرنده‌ها را در این صفحه و صفحه بعد می‌بینید.

شکل ۶ــ۵ــ چند نمونه دستگاه تعیین موقعیت ماهواره‌ای

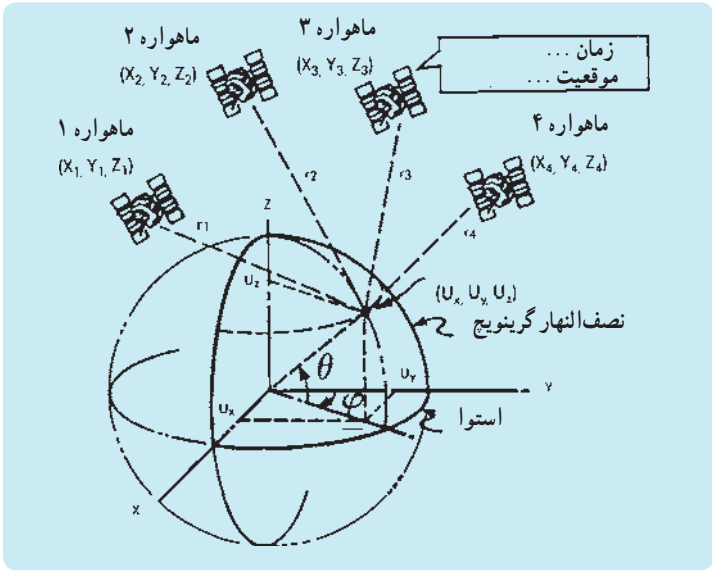
شکل ۷ــ۵ــ چند نمونه گیرنده‌های دقیق تعیین موقعیت ماهواره‌ای (GPS)

۴ــ۵ــ تعیین موقعیت با سیستم GPS

سیستم مختصات مبنای مورد استفاده در کار با (GPS) که به‌طور خلاصه WGS84[1] نامیده می‌شود، برای اولین بار در اواخر دهه ۱۹۵۰ در آژانس نقشه‌برداری دفاع امریکا (DMA)، مورد استفاده قرار گرفته است.

۱ ــ (World Geodetic System ۱۹۸۴)

آژانس فوق در قسمت‌های مختلف دنیا نقشه‌ها و چارت‌های متفاوت تهیه نموده و تصمیم گرفت، یک سیستم مبنای جهانی که بتواند برای کلیهٔ محصولات فوق به‌عنوان «مرجع جهانی واحد» مورداستفاده قرار گیرد، طراحی نماید که هدف از آن ابداع سیستم بود.



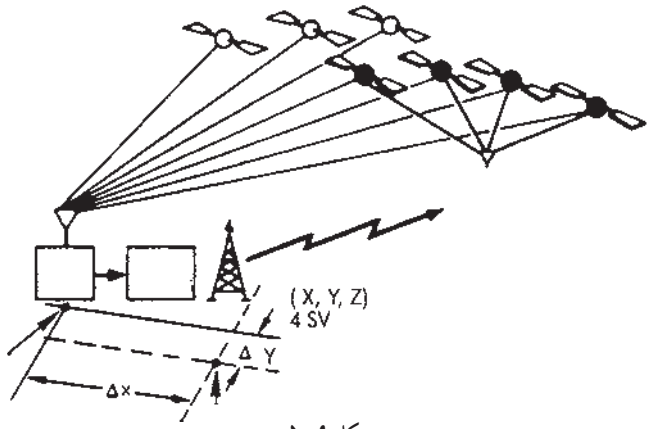
شکل ۸ــ۵ــ سیستم مختصات مبنا

هر کشوری تا مدتی قبل به‌طور مستقل سطح مبنایی برای خود انتخاب می‌کرد. این امر، باعث می‌شد تا یک مکان یکسان، بر روی نقشه‌های کشورهای مختلف، مختصات گوناگونی داشته باشد.

درحال‌حاضر تمام گیرنده‌های (GPS) می‌توانند موقعیت‌ها را برحسب سیستم WGS84 گزارش دهند علاوه بر آن قادرند مختصات نقاط را از WGS84 به سطح مبنای نقشه‌های تهیه شده در کل جهان تبدیل نمایند.

از هر ماهواره GPS دو موج با دو فرکانس مختلف به زمین ارسال می‌شود و گیرنده‌های مستقر در روی زمین از طریق آنتن این امواج را می‌گیرند و درنتیجه ارتباط بین گیرنده و ماهواره‌ها برقرار می‌شود. پس از برقراری ارتباط، گیرنده بایستی ماهواره‌ها را ردیابی کند (و این بدان معناست که گیرنده موقعیت ماهواره‌ها را شناسایی می‌نماید). چنان‌چه با سه ماهواره ارتباط برقرار شود، گیرنده قادر است موقعیت دوبُعدی محل استقرار را تعیین کند. برای یک تعیین موقعیت سه‌بعدی ارتباط، حداقل چهار ماهواره ضروری است و ارتباط با ماهواره‌های بیشتر باعث کنترل محاسبات می‌شود.

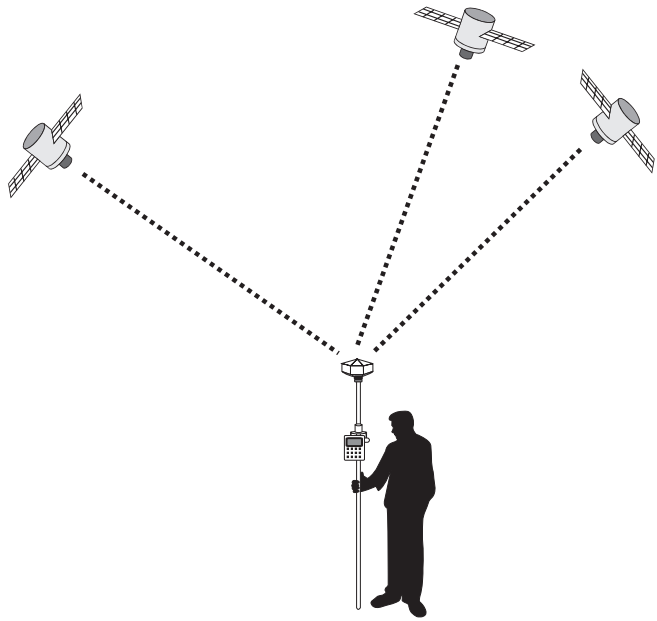
ارتباط با بیش از چهار ماهواره این حُسن را دارد که چنان‌چه گیرنده در کنار عوارض مرتفع (مانند صخره) یا مثلاً در جنگل قرار گرفته شد، خطر قطع ارتباط وجود ندارد، چرا که در این نوع مناطق زمانی از گیرنده‌ای استفاده می‌شود که تنها با چهار ماهواره در ارتباط است. ممکن است بعضی از امواج به‌ناگاه قطع شوند، دراین صورت باید منتظر ماند تا با ماهواره جدید ارتباط برقرار شود. در صورتی که اگر گیرنده از نوعی باشد که بیش از چهار ماهواره را ردیابی می‌کند، از دست دادن امواج یک ماهواره باعث ایجاد وقفه در کار نمی‌شود. ضمناً ارتباط با ماهواره چهارم باعث کنترل ارتباط با سه ماهواره دیگر نیز می‌شود. زیرا برای محاسبهٔ موقعیت گیرنده به‌راحتی اطلاعات را از بقیه ماهواره‌ها می‌گیرد و مورد استفاده قرار می‌دهد. غالب گیرنده‌ها می‌توانند بین ۸ تا ۱۲ ماهواره را ردیابی کنند.



شکل ۹ــ۵

۱ــ۴ــ۵ــ اصول تعیین موقعیت با GPS : اگرچه فن‌آوری به‌کار رفته در ماهواره‌ها و گیرنده‌های زمینی سیستم **GPS** بسیار پیچیده است ولی اصول تعیین موقعیت نقاط در این سیستم ساده و قابل درک می‌باشد. در این سیستم ماهواره‌ها در مدارهایی حول زمین در گردش هستند که موقعیت نقطه به نقطه این مدارها در سیستم مختصات مبنا مشخص است و با استقرار گیرنده بر روی نقطه‌ای نامعلوم در روی زمین و پس از برقراری ارتباط، فاصله نقطه مذکور تا تمامی ماهواره‌های قابل مشاهده تعیین می‌شود. سپس با مشخص بودن فواصل گیرنده از ماهواره‌ها به روشی که در نقشه‌برداری «ترفیع[1] فضایی» نام دارد، موقعیت نقطه مجهول محاسبه می‌گردد. درواقع هر نقطه زمینی محل تلاقی سه کره است که مرکز هریک از این کره‌ها در یک ماهواره است و شعاع آن برابر با فاصله آن ماهواره تا نقطه زمین می‌باشد.

۱ ــ Trilatration



شکل ۱۰ــ۵

۲ــ۴ــ۵ــ روش‌های تعیین موقعیت با(GPS) :

ــ روش استاتیک[1] *:* در این روش تنها مختصات نقاطی که گیرنده بر روی آنها مستقراست اندازه‌گیری می‌شود و برای نقاط با فواصل بلند (بیش از ۲۰ کیلومتر) کاربرد دارد.

نقشه‌برداری استاتیک یک روش استاندارد برای تعیین موقعیت نقاط با دقت‌های بالا و مناسب برای مناطق گسترده و شبکه نقاط کنترل کشوری و قاره‌ای و برای نظارت در جابه‌جایی و حرکات زمینی با زمان استقرار نسبتاً طولانی (درحال حاضر بیش از ۳۰ دقیقه) می‌باشد.

شکل ۱۱ــ۵

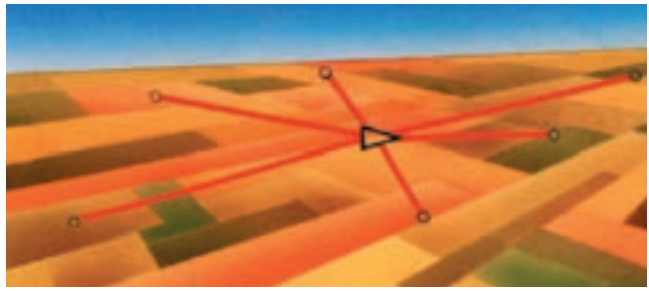
۱ ــ Static

دقت این روش برای دستگاه‌های دقیق ۵mm + ۱ppm می‌باشد. در روش استاتیک، یک گیرنده روی نقطه معلوم و گیرنده دیگر روی نقطه مجهول قرار می‌گیرد و هر دو گیرنده همزمان مشاهدات یکسانی را انجام می‌دهند.

ـ روش استاتیک سریع[1] : در این روش که برای فواصل تا ۱۵ کیلومتر کاربرد دارد، یک گیرنده روی نقطه‌ای ثابت است و به‌عنوان ایستگاه مرجع[2] موقتی عمل می‌کند و گیرنده دوم روی نقاط دیگر حرکت می‌کند و در مدتی کوتاه با ماهواره‌ها در تماس است (۵ تا ۱۵ دقیقه) و جابجا می‌شود. می‌توان به‌هنگام حرکت سیستم را خاموش کرده و در مصرف باطری صرفه‌جویی نمود.

این روش را می‌توان درمورد نقشه‌برداری‌های کنترلی، انبوه‌سازی و نقشه‌های تفضیلی به‌کار برد. همچنین می‌توان به‌جای پیمایش و مثلث‌بندی‌های سنتی از آن استفاده کرد.

در شرایط مطلوب دقت این روش۱ppm+ ۱۰mm ~ ۵ می‌باشد.



شکل ۱۲ـ۵

ـ روش ایست ـ رو[3] : روشی است سریع که در آن، یک گیرنده روی نقطه معلوم قرار می‌گیرد و گیرنده دیگر روی نقاط مجهول حرکت می‌کند. زمان استقرار گیرنده متحرک[4] کوتاه است (حداکثر یک دقیقه) و در تمام مدت بدون خاموشی دستگاه گیرنده باید با حداقل چهار ماهواره ارتباط داشته‌باشد. ضمناً در نقطه اول گیرنده متحرک نیازمند ۵ تا ده دقیقه همزمانی[5] و توجیه است (فیکس اولیه[6]).

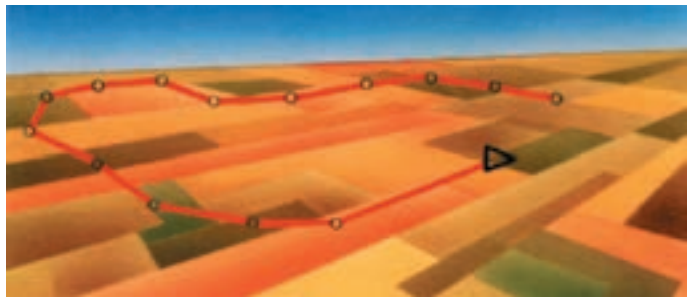
این روش برای نقشه‌برداری‌های محدود و فواصل کوتاه مناسب است.

دقت این روش ۱ppm + ۱cm برای دستگاه‌های دقیق می‌باشد.

---

۱ ـ Rapid Static
۲ ـ Refrence
۳ ـ Stop and Go
۴ ـ Rover
۵ـ مدت زمان مشترک اندازه‌گیری روی نقاط معلوم و مجهول را زمان مفید اندازه‌گیری (همزمانی) می‌گویند.
۶ ـRapid – static Fix

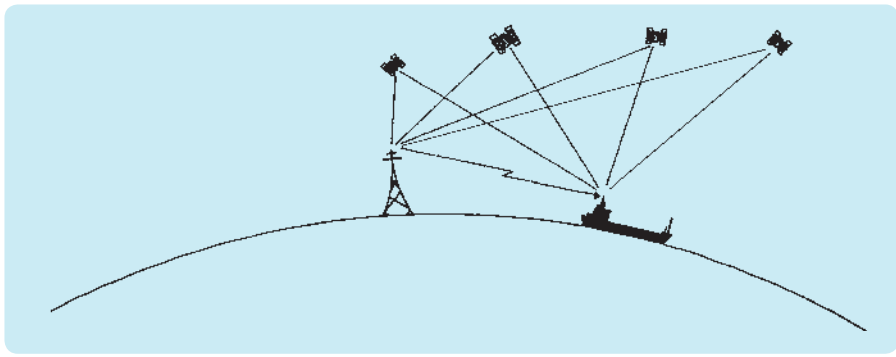
تفاوت روشهای استاتیک سریع و ایست ــ رو به‌جز مدت زمان استقرار آن است که در روش استاتیک سریع وقتی که از یک نقطه به نقطه دیگر حرکت می‌کنیم دستگاه بین راه خاموش است. درحالی‌که در روش ایست ــ رو لازم است همواره دستگاه روشن باشد.



شکل ۱۳ــ۵

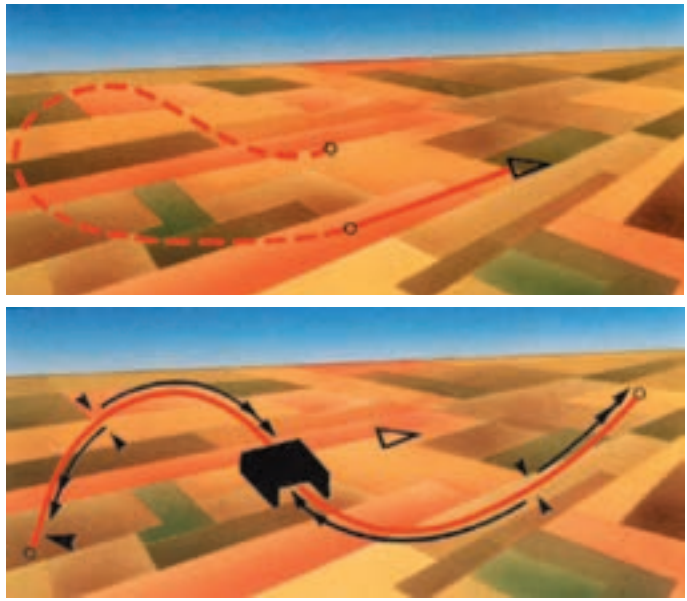
ــ روش کینماتیک[1] : در این روش پس از استقرار یک گیرنده روی نقطه معلوم، گیرنده دیگر بر روی وسیله متحرکی مانند اتومبیل یا کشتی و غیره قرار می‌گیرد.

در روش کینماتیک طرز عمل مانند روش ایست ــ رو است با این تفاوت که بعد از (فیکس اولیه) گیرنده متحرک دائماً در حرکت است و به‌صورت خودکار هریک (یا چند) ثانیه یک‌بار عمل اندازه‌گیری را انجام می‌دهد. در این روش نیز دستگاه گیرنده متحرک باید دائماً با حداقل چهار ماهواره در ارتباط باشد.



شکل ۱۴ــ۵

۱ــ Kinematic



شکل ۱۵ــ۵ــ دو نمونه تعیین موقعیت کینماتیک

۵ــ۵ــ پردازش اطلاعات در GPS

هر گیرنده‌ای فرمت خاص خود را دارد و مشاهدات در آن بر اساس این فرمت تعریف می‌شوند لذا داده‌های جمع‌آوری شده از انواع مختلف گیرنده‌ها نمی‌توانند با یک نرم‌افزار خاص پردازش شوند به عبارت دیگر هر نوع گیرنده نرم‌افزار خاص خود را داراست و داده‌های جمع‌آوری شده با آن تنها با نرم‌افزار خاص آن نوع گیرنده قابل تخلیه و پردازش است. امروزه در بیشتر گیرنده‌های GPS نرم افزار تبدیل از فرمت خاص گیرنده به فرمت Rinex وجود دارد. در واقع Rinex یک مبدل بین گیرنده‌ها و نرم‌افزارهای مختلف پردازشگر است. این فرمت ۳ فایل زیر را داراست.

۱ــ فایل مشاهدات

۲ــ فایل شرایط آب و هوایی

۳ــ فایل پیغام‌های ناوبری

اطلاعات دریافتی از ماهواره :

ــ ساعت ماهواره

ــ شماره ماهواره و تعداد آنها

ــ موقعیت ماهواره‌ها

ـ شرایط آب و هوای جو

اطلاعات پس از دریافت در گیرنده پردازش و در هر لحظه موقعیت گیرنده را نشان می‌دهد و برای داشتن دقت بهتر باید از تمامی اطلاعات ذخیره شده و اعمال تصحیحات لازم استفاده نموده و توسط نرم‌افزارهای پردازشگر مختصات دقیق نقاط استخراج می‌گردد.

۶ـ۵ـ کاربردهای GPS

۱ـ۶ـ۵ـ هدایت‌گری (ناوبری) : تصور کنید داخل کشتی نشسته‌اید و هیچ نشانه‌ای برای توجیه موقعیت در اختیار ندارید. یعنی نه ساحلی دیده می‌شود و نه آفتابی و نه ستاره‌ای. حال، چگونه می‌توان موقعیت خود را پیدا نمود و جهت را تشخیص داد؟ یا در داخل هواپیمایی برفراز ابرها مسافرت می‌کنید؛ در این صورت، چگونه به موقعیت خود پی‌خواهید برد؟

۲ـ۶ـ۵ـ استفاده در علوم : استفادهٔ دقیق GPS در بررسی تکتونیک، زلزله و آتش‌فشان، بررسی محور دورانی زمین و بررسی سطح تراز آب‌های آزاد، هم‌چنین برای بررسی آب‌شدن یخ‌ها، هواشناسی، آب و هوای قاره‌ای، بررسی یونیسفر، نیز در آب‌شناسی (هیدرولوژی)، محیط‌شناسی و نمونه‌های بسیاری، کاربرد دارد.

۳ـ۶ـ۵ـ مهندسی نقشه‌برداری یا مدیریت پروژه‌ها : از روش‌های دقیق این شیوه، می‌توان برای کارهای گوناگون استفاده نمود که عبارت‌اند از :

علم نقشه‌برداری، بررسی جابه‌جایی سدها، بررسی فرونشینی یا خاکریزها، جمع‌آوری اطلاعات برای GIS [۱] مهندسی ارتباطات، مهندسی کشاورزی، اکتشافات طبیعی، پیش‌بینی هوا، بخار آب و دیگر ترکیبات اتمسفر.

۴ـ۶ـ۵ـ در علوم نظامی : در علوم نظامی نیز GPS کاربرد بسیاری دارد؛ برای مثال، در هدایت نیروهای نظامی به سمت اهداف از قبل تعیین شده، پرتاب موشک‌های دوربرد با دقت بسیار بالا و دیگر اهداف نظامی خاص.

۵ـ۶ـ۵ـ پیش‌بینی هوا : با بررسی تأخیر امواج ارسالی از ماهواره‌ها می‌توان به بخار آب موجود در فضا و دیگر ترکیبات موجود در اتمسفر پی‌برد. به‌وسیلهٔ شبکهٔ نقاط GPS می‌توان اطلاعات بسیار مهمی برای شبیه‌سازی و مدل‌های پیش‌بینی هوا به دست آورد.

۱ـ Geographic Information System

خودآزمایی

۱ــ GPS چیست؟ راجع به آن توضیح دهید.

۲ــ بخش‌های اصلی در (GPS) را نام برده و درباره هر بخش توضیح دهید.

۳ــ درباره سیستم مختصات مبنا در اندازه‌گیری با (GPS) توضیح دهید.

۴ــ طرز برقراری ارتباط با ماهواره را در یک دستگاه (GPS) شرح دهید.

۵ ــ تعداد ماهواره‌های لازم جهت برقراری ارتباط را درتعیین موقعیت‌های دوبعدی و سه‌بعدی ذکر نمایید.

۶ــ محاسن ارتباط با بیش از چهار ماهواره را بیان نمایید.

۷ــ اصول تعیین موقعیت با (GPS) را به‌طور مختصر توضیح دهید.

۸ ــ روش‌هایی را که برای تعیین موقعیت با (GPS) می‌دانید ذکرنموده درباره هرکدام مختصراً توضیح دهید.

۹ــ اطلاعات دریافتی از ماهواره را بیان کنید.

۱۰ــ کاربردهای GPS را شرح دهید.