

# آشنایی با GPS

مهندس علیرضا آزموده اردلان

مقدمه

GPS (یا سیستم تعیین موقعیت جهانی) یک NAVSTAR (یا سیستم ناوبری با استفاده از زمان و فاصله) است. این سیستم توسط وزارت دفاع آمریکا در حال تکوین است. امور مربوط به ایجاد این سیستم از سال ۱۹۷۳ با ترکیب دو پروژه نیروی هوایی و دریایی آمریکا شروع شده است. طرح این دو پروژه از سال ۱۹۶۰ برای ایجاد سیستم ناوبری یک طرفه به صورت جداگانه به تصویب رسیده بود.

GPS از سه بخش تشکیل شده که عبارت هستند از:

(الف) ماهواره‌ها؛

(ب) کنترل کننده سیستم؛

(ج) استفاده کنندگان از سیستم.

بخش ماهواره‌ای سیستم از ۲۱ ماهواره بلوک ۲ و ۳ ماهواره یدکی واقع در مدار تشکیل خواهد شد. این ماهواره‌ها در شش مدار که با صفحه استوا زاویه ۵۵ می‌سازند قرار خواهند گرفت. مدار ماهواره‌ها دایره‌ای شکل و حداقل فاصله‌شان از سطح زمین ۲۰۱۸۳ کیلومتر خواهد بود. مدت زمان یک دور دوران این ماهواره‌ها به دور زمین ۱۲ ساعت است. هر ماهواره برای مخابره پیامهای ناوبری از دو موج  $L_1$  (۱۵۷۵/۴۲MHz) و  $L_2$  (۱۲۲۷/۶MHz) استفاده می‌کند. این دو موج با دو کد شبه اتفاقی و پیامهای ناوبری مدوله می‌شوند. بخش کنترل از پنج ایستگاه تشکیل شده است. وظایف عمده این ایستگاهها عبارت هستند از:

(الف) کنترل وضعیت سلامت ماهواره‌ها؛

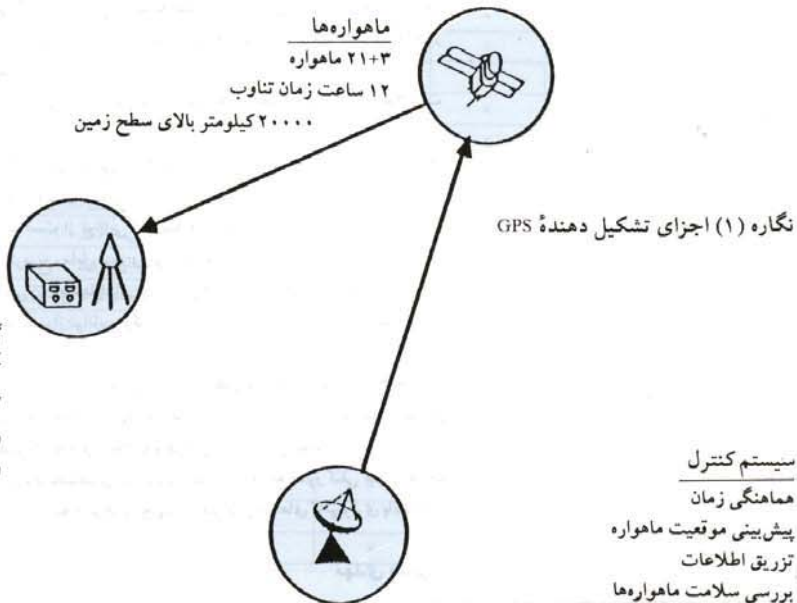
(ب) تعیین موقعیت ماهواره‌ها؛

(ج) کنترل رفتار ساعت اتمی هر ماهواره؛

(د) تزریق پیامهای ناوبری به کلیه ماهواره‌ها.

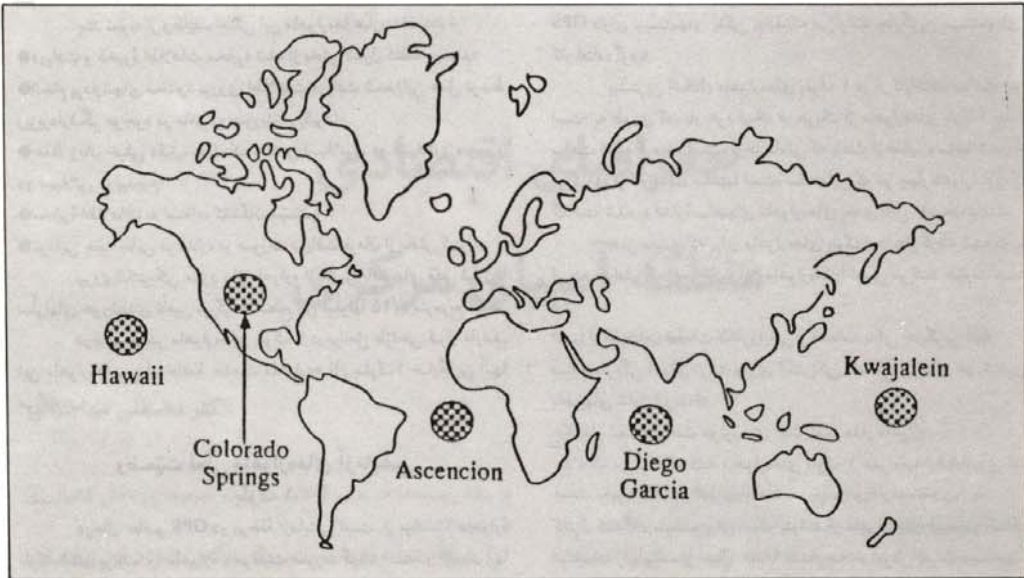
بخش دیگر سیستم را استفاده کنندگان نظامی و غیرنظامی تشکیل می‌دهند. هرچند که هدف اصلی ایجاد سیستم مقاصد نظامی ایالات متحده آمریکا و متحدان پیمان ناتو بوده، در حال حاضر استفاده از آن برای عموم آزاد است. این وضعیت در آینده نیز (البته با محدودیتهایی) ادامه خواهد یافت.

در این مقدمه به همین مقدار بسنده کرده و به بحث بیشتر و دقیقتر در جای مناسب پرداخته خواهد شد.



سیستم کنترل  
هماهنگی زمان  
پیش‌بینی موقعیت ماهواره  
تزریق اطلاعات  
بررسی سلامت ماهواره‌ها

۴ / دوره سوم، شماره یازدهم

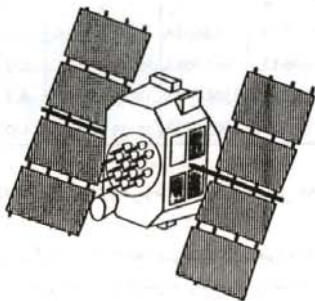


نگاره ۲ - ایستگاههای کنترل GPS

### ماهواره‌های GPS

تاکنون سه نسل از ماهواره‌های GPS طرح ریزی گردیده که به نامهای ماهواره‌های بلوک ۱، بلوک ۲، و بلوک ۳ شناخته می‌شوند. یازده ماهواره بلوک ۱ بین سالهای ۱۹۷۸ تا ۱۹۸۵ ساخته و به فضا پرتاب شده‌اند.

ساخت ۲۸ ماهواره بلوک ۲ در حال خاتمه است. پرتاب ۲۱ ماهواره از این خانواده به معنای آغاز فعالیت اصلی GPS می‌باشد. وزن ماهواره‌های بلوک ۲ در حدود ۸۲۵ کیلوگرم بوده و عمر مفیدشان ۷/۵ سال است. شکل زیر شماتی از این ماهواره‌ها را نشان می‌دهد.



نگاره ۳ - ماهواره GPS

### بخش کنترل کننده GPS

GPS دارای پنج ایستگاه کنترل است، که تقریباً به طور منظم در سراسر کره زمین پخش شده‌اند (شکل ۲). این ایستگاهها سه وظیفه مهم برعهده دارند که عبارت هستند از:

● تعقیب موقعیت لحظه‌ای ماهواره‌ها و استفاده از آن جهت پیش بینی موقعیت های آینده ماهواره‌ها. این عمل با گیرنده‌های دو فرکانسه مجهز به نوسان ساز سزیم و مستقر در ایستگاههای کنترل صورت می‌گیرد. در این ایستگاهها همچنین اطلاعاتی نیز در مورد شرایط جوی جمع‌آوری می‌شود. از این اطلاعات جهت تعیین دقیق تأخیر حاصل از عبور امواج رادیویی از جوی استفاده می‌شود. مختصات این پنج ایستگاه به دقت خیلی بالایی معلوم است.

● سه ایستگاه استنبون، ۷ دبه گوگاریسیا<sup>۴</sup> و کواجالین<sup>۹</sup> می‌توانند به ماهواره‌ها پیام مخابره کنند. این پیامها شامل موقعیتهای جدید ماهواره‌ها، تصحیح ساعت و اطلاعات دیگر است. همچنین کلیه دستوراتی که به ماهواره‌ها داده می‌شود از طریق این سه ایستگاه صورت می‌گیرد.

● ایستگاه کلرادو اسپرینگز<sup>۱۰</sup> ایستگاه کنترل اصلی است. اطلاعات حاصل از تعقیب ماهواره‌ها از کلیه ایستگاههای دیگر جمع‌آوری و به این ایستگاه مخابره می‌شوند. محاسبات مربوط به موقعیت هر ماهواره و تصحیح ساعت آن در این محل صورت می‌گیرد. تغییر و یا تنظیم موقعیت ماهواره‌ها از جمله فرامین این ایستگاه است. جایگزین کردن ماهواره‌ای جدید به جای یک ماهواره از کارافتاده نیز از طریق دستورات این ایستگاه انجام می‌پذیرد.

GPS دارای سیستمهای یدکی بوده، که می‌توانند جایگزین سیستمهای از کار افتاده گردند.

بیشترین اشکال ماهواره‌های بلوک ۱ در از کارافتادن ساعت بوده است. به طوری که، باوجود اینکه در هر یک از ماهواره‌های بلوک ۱ چندین ساعت تعبیه گردیده است، نوعاً عاملی که باعث از فعالیت ساقط شدن آنها می‌گردد، از کارافتادن ساعتها است. ساعت‌هایی که در چهارماهواره اول کار گذاشته شده به اندازه ساعت‌های ماهواره‌های بعدی قابل اطمینان نیستند.

عمر مفیدی که برای ماهواره‌های بلوک ۱ در نظر گرفته شده ۵ سال است. عواملی که عمر مفید این ماهواره‌ها را تعیین می‌کنند عبارت هستند از:

الف) از کارافتادن قطعات الکترونیکی و قطعات یدکی جایگزین آنها؛  
ب) فرسودگی اجزای تولید نیروی الکتریکی (شامل سلولهای خورشیدی و باتریهای شارژ شونده)؛

ج) تمام شدن سوخت موتورهای جت تغییر مدار ماهواره.

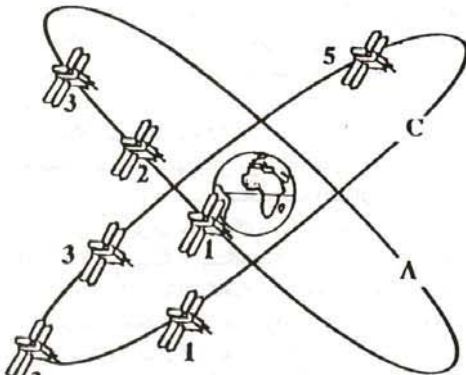
ملاحظه می‌گردد که کلیه ماهواره‌های بلوک ۱ عمر مفیدشان سپری شده است. بنابراین کارکرد آنها از راندمان خوبی برخوردار نیست.

کنترل کنندگان سیستم برای اینکه بتوانند از ماهواره‌های قدیمیتر حداکثر استفاده را ببرند، از سال ۱۹۸۶ اقدام به خاموش کردن سیستمهای الکترونیکی این ماهواره‌ها به هنگام عبور از سایه زمین نموده‌اند. این عمل باعث کاهش پوشش ماهواره‌های در این لحظات می‌گردد.

### مدارهای ماهواره‌های

#### بلوک GPS ۱

نگاره زیرهفت ماهواره فعال بلوک ۱ را در مدارهای مربوطه نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، این ترکیب با شکل نهایی سیستم (منظومه متشکل از ۶ مدار و درهمدار چهار ماهواره) کاملاً مغایر است. علت انتخاب این ترکیب ایجاد بهترین پوشش در شمال قاره آمریکا و امکان آزمایش سیستم در ایالات متحده آمریکا بوده است.



نگاره ۴- وضعیت مداری ماهواره‌های آزمایشی بلوک ۱

چند نمونه از وظایف اصلی این ماهواره‌ها عبارت هستند از:

- دریافت و ذخیره اطلاعات مخابره شده از بخش کنترل کننده سیستم؛
  - انجام پردازشهای محدود بروی اطلاعات دریافت شده (این عمل توسط ریزپردازشگر موجود در ماهواره صورت می‌گیرد)؛
  - حفظ زمان خیلی دقیق، به کمک چندین اسیلاتور، دو اسیلاتور سزیم و دو اسیلاتور روبیدیوم؛
  - مخابره اطلاعات به استفاده کنندگان سیستم؛
  - توانایی جابه جایی در مدار، در صورت دریافت فرمان از بخش کنترل.
- نیروی الکتریکی مورد نیاز ماهواره از طریق باتریهای قابل شارژ با سلولهای خورشیدی تأمین می‌گردد. سطح این سلولها ۷/۲۵ مترمربع است. درحال حاضر ماهواره‌های بلوک ۳ درمراحل طراحی قرار دارند. این ماهواره‌ها پس از خاتمه خدمت ماهواره‌های بلوک ۲ جایگزین آنها می‌گردند.

### وضعیت فعلی ماهواره‌های آزمایشی

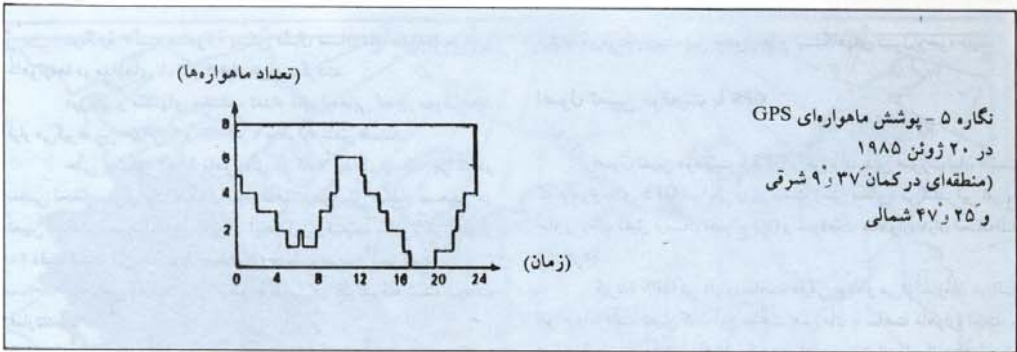
#### بلوک ۱

درحال حاضر GPS در مرحله آزمایشی است. از میان ۱۱ ماهواره بلوک ۱ تنها پرتاب ۱۰ ماهواره با موفقیت صورت گرفته است، و از میان آنها هم، اکنون تنها ۷ ماهواره در حال انجام وظیفه‌اند. از این هفت ماهواره، سه ماهواره نیز از سلامت خوبی برخوردار نمی‌باشند (ماهواره‌های ۳، ۴ و ۸). در جدول زیر این یازده ماهواره برحسب زمان پرتاب مرتب شده‌اند.

شماره ترتیب در مدار پرتاب	شماره در نظامی	شماره NASA	شماره بین المللی	تاریخ پرتاب	وضعیت
۱	C-4	۵۱۱۱	۱۰۶۸۲	78-02-22	از کارافتاده
۲	A-4	۵۱۱۲	۱۰۸۹۳	78-05-13	از کارافتاده
۳	A-3	۵۱۱۳	۱۱۰۵۲	78-10-07	سالم
۴	C-3	۵۱۱۴	۱۱۱۴۱	78-12-11	سالم
۵	C-1	-	۱۱۶۹۰	80-02-09	از کارافتاده
۶	A-2	۵۱۱۸	۱۱۷۸۳	80-04-26	سالم
۷	-	-	-	81-12-18	پرتاب ناموفق
۸	C-2	۹۷۹۲	۱۴۱۸۹	83-07-14	سالم
۹	C-1	۹۵۲۱	۹۳۰۳۹	84-06-13	سالم
۱۰	A-1	۹۷۸۳	۱۵۲۷۱	84-09-08	سالم
۱۱	C-5	۶۳۷۴	۱۶۱۲۹	85-10-09	سالم

توضیح: اطلاعات این جدول مربوط به تاریخ ۲۸ آوریل ۱۹۸۶ است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد هرماهواره دارای سه شماره شناسایی بین المللی، ناسا<sup>۱</sup> و ارتش آمریکا است. از میان ۱۰ ماهواره‌ای که در مدار قرار دارند، سه ماهواره ۱، ۳ و ۵ از کار افتاده‌اند. تمام ماهواره‌های



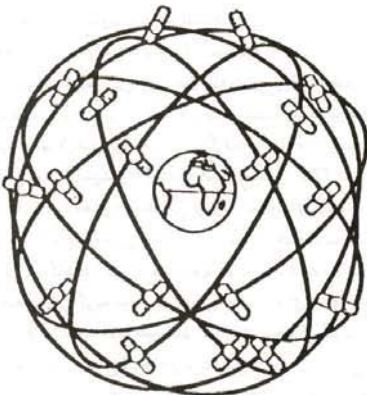
### منظومه نهایی GPS

در حال حاضر به نظر نمی‌رسد که تکمیل منظومه نهایی GPS زودتر از اوایل سال ۱۹۹۲ میسر باشد. در ترکیب نهایی در هر زمان و مکان حداقل ۴ ماهواره قابل رؤیت خواهند بود. منظومه نهایی مشتمل بر ۲۱ ماهواره است که در ۶ مدار قرار خواهند گرفت.

علاوه بر این ۲۱ ماهواره ۳ ماهواره فعال نیز به صورت یدکی در مدار نگهداری شده تا در صورت لزوم جایگزین ماهواره‌های ازکارافتاده گردند. پوششی که با ۲۴ ماهواره (۲۱ ماهواره اصلی و سه ماهواره یدکی) ایجاد می‌شود، بهتر از پوشش ۲۱ ماهواره‌ای (حداقل ماهواره‌هایی که سعی می‌گردد به صورت سالم در مدار حفظ شوند) است.

این ماهواره‌ها در مدارهای تقریباً دایره‌ای و به شعاع ۲۰,۰۰۰ کیلومتر (سه برابر شعاع زمین) از سطح زمین قرار خواهند گرفت.

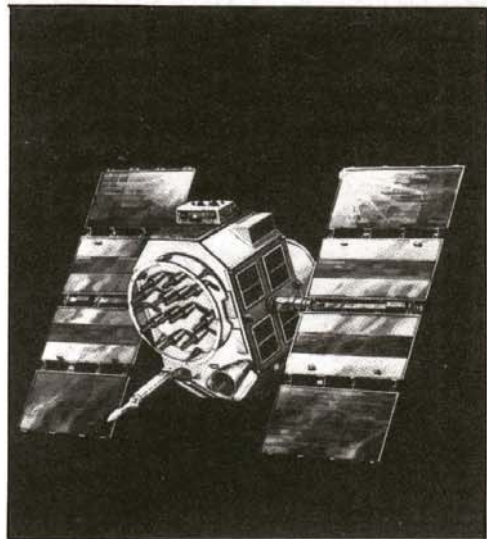
نگاره ۶ منظومه ماهواره‌های GPS را پس از تکمیل نشان می‌دهد. در هر یک از شش مدار این منظومه چهار ماهواره در فواصل مساوی قرار می‌گیرند. هر مدار با استوا زاویه ۵۵° و با مدار مجاور زاویه ۶۰° می‌سازد.



نگاره ۶ - وضعیت نهایی ماهواره‌های بلوک ۲ در مدار

بالین ترکیب، تعداد ماهواره‌های قابل رؤیت در مناطق و ساعات مختلف متفاوت است. به عنوان مثال نگاره ۵ نمودار ماهواره‌های قابل رؤیت را در ۲۴ ساعت شبانه روز در منطقه‌ای واقع در ۳۷° و ۹° طول شرقی و ۲۵° و ۴۷° عرض شمالی در ۲۰ ژوئن ۱۹۸۵ نشان می‌دهد.

از آنجایی که ماهواره‌های GPS در فاصله حدود ۲۰,۰۰۰ کیلومتری بالای سطح زمین قرار دارند، در هر شبانه روز نجومی دوبار به دور زمین می‌گردند<sup>۱۲</sup>. تفاوت زمان خورشیدی و نجومی (یک ساعت نجومی ۱/۰۰۲۷۳۷۹ برابر سریعتر از ساعت خورشیدی است) باعث می‌گردد که به وقت خورشیدی (ساعت‌های معمولی) زمان حضور یک ماهواره مشخص در یک مکان، هر روز ۴ دقیقه<sup>۱۳</sup> زودتر از روز پیش اتفاق بیافتد. این بدین معنی است که مثلاً نمودار شکل صفحه قبل هر روز چهار دقیقه به سمت چپ حرکت می‌کند.





ارتباط دوطرفه پیوسته بین ماهواره‌ها و ایستگاههای کنترل وجود دارد.

### اصول تعیین موقعیت با GPS

اصول تعیین موقعیت با GPS را می‌توان بدین صورت بیان داشت که ماهواره‌های GPS امواجی را به سمت زمین مخابره می‌کنند. این امواج حاوی زمان دقیق ارسال امواج ( $t_p$ ) و موقعیت ماهواره در آن لحظه‌اند  $(x_p, y_p, z_p)$ .

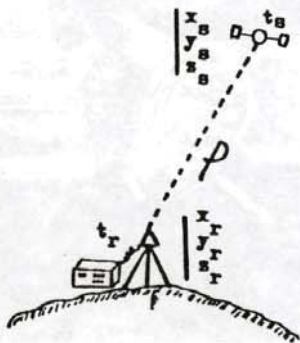
گیرنده GPS نیز دارای ساعت دقیقی بوده و می‌تواند زمان دریافت امواج را به دقت تعیین کند. این ساعت هم زمان با ساعت ماهواره است. با در اختیار داشتن مدت زمان طی شده برای رسیدن امواج از ماهواره تا گیرنده ( $t_r - t_p$ ) و سرعت سیر امواج الکترومغناطیس (c) که تقریباً همان سرعت نور است - می‌توان فاصله ماهواره تا گیرنده را به دست آورد.

$$\rho = (t_r - t_p) \cdot c$$

از طرفی  $\rho$  را بر حسب مختصات ماهواره و گیرنده می‌توان به صورت زیر نوشت.

$$\rho = [(x_p - x_r)^2 + (y_p - y_r)^2 + (z_p - z_r)^2]^{1/2}$$

در معادله فوق مختصات ماهواره  $(x_p, y_p, z_p)$  از کمیت‌های معلوم می‌باشد. چون جزء اطلاعاتی است که ماهواره ارسال می‌کند. بنابراین تنها مجهولاتی باقی می‌مانند مختصات گیرنده‌اند. لذا اگر گیرنده بتواند در یک لحظه فاصله خود تا سه ماهواره را اندازه بگیرد از حل دستگاه سه معادله سه مجهولی حاصل مختصات گیرنده به دست خواهد آمد. تا اینجا فرض کرده‌ایم که هیچگونه خطایی در اندازه‌گیری وجود نداشته و می‌توانیم فاصله واقعی گیرنده تا فرستنده را اندازه بگیریم. عملاً هیچ موقع چنین فرضی تحقق نخواهد یافت و همواره طول اندازه‌گیری شده همراه با خطا می‌باشد. این طول همراه با خطا را اصطلاحاً «طول کاذب»<sup>۱۸</sup> می‌نامیم. برای رسیدن به مختصات واقعی گیرنده لازم است تمام خطاها از طول اندازه‌گیری شده حذف گردند. اگر تنها خطای ساعت گیرنده را در نظر بگیریم، رسیدن به طول واقعی نیازمند تعیین این مجهول به هنگام حل دستگاه معادلات فوق‌الذکر است. توجه داشته باشید که این خطا به صورت مقدری ثابت در کلیه طولهای اندازه‌گیری شده



درنگاره ۶ سه ماهواره یزدکی قمرال نشان داده نشده‌اند. این ماهواره‌ها در مدارهای ۱، ۳ و ۵ قرار خواهند گرفت.

در زمان و مکانهای مختلف تعداد ماهواره‌هایی که در معرض دید قرار می‌گیرند بین حداقل ۴ و حداکثر ۹ ماهواره متغیر هستند.

حتی پوشش ۳+۲۱ ماهواره‌ای نیز کاملاً ایده‌آل نیست، چرا که در بعضی لحظات برای یک نقطه ایجاد وضعیت هندسی بسیار ضعیفی در تعیین موقعیت می‌نماید. مدت زمان ایجاد این وضعیت معمولاً کوتاهتر از ۱۰ دقیقه است. این حالت را اصطلاحاً وضعیت «پرت»<sup>۱۹</sup> می‌نامند. دوطرفی که قبلاً برای منظومه‌نمایی در نظر گرفته شده بودند، عبارتند از:

● ۲۴ ماهواره در سه مدار (یعنی هشت ماهواره در هر مدار). پایین ترکیب تعداد حالت‌های پرت به مراتب کمتر می‌گردند.

● ۱۸ ماهواره در سه مدار (یعنی شش ماهواره در هر مدار). این ترکیب ایجاد حالت‌های پرت بیشتری می‌کند.

### مقایسه بین GPS و سیستم‌های ماهواره‌ای دیگر

یک مقایسه اجمالی بین GPS و روش‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای دیگر می‌تواند بسیار مفید واقع شود. سیستم‌های ماهواره‌ای که در حال حاضر وجود دارند، عبارت هستند از: GPS، ترازیت<sup>۱۵</sup> و گلوناس<sup>۱۶</sup>. این سه سیستم اساساً برای مقاصد نظامی طراحی شده، و جزء سیستم‌های یک طرفه به شمار می‌روند. در یک سیستم تعیین موقعیت یک طرفه، گیرنده تنها با دریافت پیام‌های ماهواره‌ای مختصات را تعیین می‌کند. این ویژگی از نقطه نظر نظامی بسیار حائز اهمیت است، چرا که مانع تشخیص موقعیت گیرنده از طریق سیگنال‌های ساطع شده از آن می‌گردد. بنابراین از طریق سیگنال‌های رادیویی نمی‌توان به حضور گیرنده‌ای یک طرفه در یک مکان پی برد.

در این سیستم‌ها همچنین ماهواره می‌بایست بتواند در یک مدت زمان نسبتاً طولانی بدون ارتباط با ایستگاه‌های کنترل زمینی به فعالیت خود ادامه دهد. این مسئله باعث پیچیدگی سیستم‌های یک طرفه و در نظر داشتن مسائل بسیاری در طراحی و ساخت ماهواره‌ها و گیرنده‌های آن می‌گردد. با وجود نظامی بودن هدف ایجاد این گونه سیستم‌ها، کاربردهای غیرنظامی بسیار زیاد آنها در سال‌های اخیر باعث گردیده که تعداد استفاده‌کنندگان غیرنظامی به مراتب بیشتر از استفاده‌کنندگان نظامی آنها گردد.<sup>۱۷</sup>

در کاربردهای غیرنظامی نیازی به داشتن گیرنده‌های ساکت رادیویی، و با ماهواره‌هایی که لازم باشد برای یک مدت طولانی بدون ارتباط با ایستگاه‌های کنترل زمینی به فعالیت خود ادامه دهند، وجود ندارد. بدین خاطر در این گونه موارد می‌توان از سیستم‌های ماهواره‌ای دوطرفه استفاده کرد. در یک سیستم غیرنظامی می‌توان پیچیدگی گیرنده و ماهواره‌ها را به بخش کنترل منتقل کرد. دو سیستمی که برای چنین کاربردهایی طراحی شده‌اند، عبارت هستند از: Geostar و NAVSAT. در این دو سیستم که هنوز در مراحل طراحی و آزمایش‌های مقدماتی قرار دارند، نیاز به

شرکت خواهد کرد. بنابراین لازم است حداقل چهار معادله - چهارطول - داشته تا بتوان این مجهولات را نیز هم زمان با مختصات به دست آورد. بدین خاطر در عمل همواره برای تعیین مختصات سه بعدی حداقل به چهار ماهواره نیاز خواهد بود.

### سیگنالهای GPS

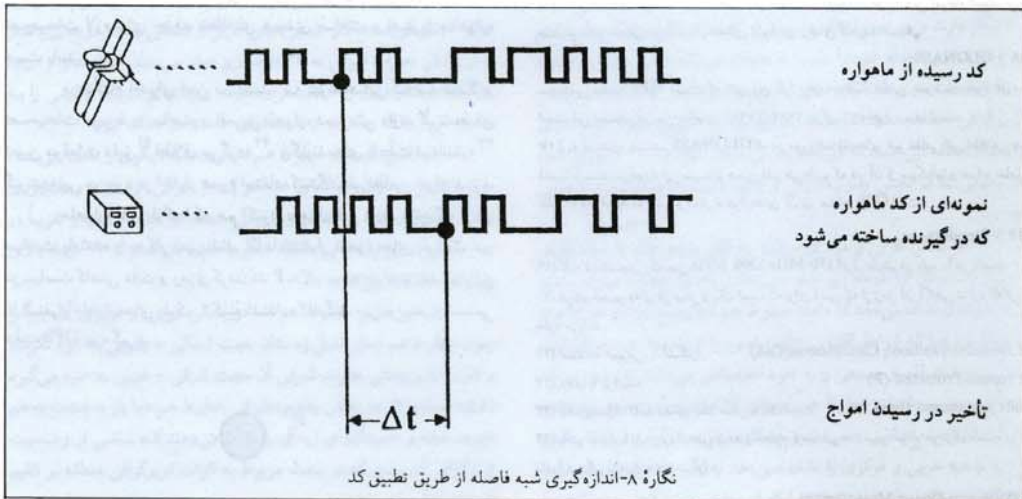
هر ماهواره GPS تعدادی سیگنال مسخا بره می‌کند که می‌توانند برای تعیین موقعیت به کار روند. دو موج حامل L1 و L2 که در باند فرکانس  $L_1$  قرار دارند، با مجموعه‌ای از کدهای شبه اتفاقی  $C/A$  مدوله می‌شوند. فرکانس  $L_1$  حامل کدهای  $C/A$  و  $P$  بوده و  $L_2$  تنها حامل کد  $P$  است. هر دو سیگنال  $L_1$  و  $L_2$  علاوه بر کد، با پیامهای ناوبری 50 بیت بر ثانیه‌ای  $C/A$  نیز مدوله می‌گردند. این پیامها شامل اطلاعاتی درباره تصحیح ساعت ماهواره، موقعیت ماهواره و مطالبی در رابطه با کلیه ماهواره‌های موجود در منظومه‌اند. اکثر گیرنده‌های ناوبری موجود (اگر نگوئیم تمام آنها) در ابتدا کد  $C/A$  واقع بر  $L_1$  را تعقیب و آشکار میکنند. طرز کار این گیرنده‌ها بدین گونه است که ابتدا یک کد  $C/A$  نظیر کد  $C/A$  ماهواره تولید می‌کنند، سپس این کد را آنقدر حرکت داده تا منطبق بر کد  $C/A$  دریافتی گردد. چون کدها توسط ساعت‌های خیلی دقیق ماهواره و گیرنده تولید شده و این ساعتها هم زمان می‌باشند، اختلاف زمان موجود بین کد تولید شده در گیرنده و کد دریافتی ناشی از فاصله بین ماهواره و گیرنده است. لذا از میزان جابه جایی لازم برای انطباق آنها می‌توان به مدت زمان طی شده جهت رسیدن امواج از ماهواره تا گیرنده پی برد. این روش را اصطلاحاً شبه فاصله سنجی  $P$  با استفاده از تطابق کد  $P$  می‌نامند.

فرکانس موج حامل L1  
فرکانس موج حامل L2

فرکانس: ۱۵۷۵/۴۲ مگاهرتز طول موج: تقریباً ۱۹/۰ متر	فرکانس: ۱۲۲۷/۶ مگاهرتز طول موج: ۰/۲۴ متر
کد C/A فرکانس: ۱/۰۲۳ مگاهرتز طول موج: ۳۰ متر زمان تکرار کد: ۱ میلی ثانیه پیام: ۵۰ بیت بر ثانیه	
کد P (با کد Y) فرکانس: ۱۰/۲۳ مگاهرتز طول موج: ۳ متر زمان تکرار کد: تقریباً یک هفته پیام: ۵۰ بیت بر ثانیه	کد P (با کد Y) فرکانس: ۱۰/۲۳ مگاهرتز طول موج: ۳ متر زمان تکرار کد: تقریباً یک هفته پیام: ۵۰ بیت بر ثانیه

نگاره ۷- سیگنالهای ماهواره‌های GPS

چون کد C/A کوتاه است  $C/A$  مقایسه بیت  $C/A$  به بیت آن برای تطابق کامل کد تولید شده با کد دریافتی نسبتاً سریع انجام می‌گیرد. دقت انجام این مقایسه در حد کسری از مدت زمان یک بیت کد  $C/A$  است. دریافت کد  $P$ ، که بسیار بلندتر می‌باشد  $P$  مشکلتز است. بدین خاطر گیرنده‌ها ابتدا کد C/A را تعقیب می‌کنند. فرکانس بالا تر کد  $P$  امکان مقایسه و تطابق دقیقتر کدها را پدید می‌آورد. اما ارزش واقعی کد  $P$  در بالا بردن دقت از مخابره آن بر روی دو فرکانس  $L_1$  و  $L_2$  ناشی می‌شود. برای روشن شدن مطلب بد نیست بدانید که گیرنده‌های GPS برای تأخیر امواج در عبور از





## پاورقی

- 1) Global Positioning System(GPS)
- 2) Navigation System using Time and Ranging(N A V S T A R)
- 3) United States Department of Defense (US DoD)
- ۴) کلبه تاریخچه‌ای که در اینجا ذکر خواهند شد، تاریخهای میلادی است.
- 5) U.S. Navy's TIMATION Program & U.S. Air Force 621B Project.
- 6) North Atlantic Treaty Organization(NATO)

پیمان آناتلیتیک شمالی، پیمانی بین چندکشور اروپایی، آمریکا و ایسلند. براساس این پیمان کشورهای یادشده در صورت لزوم به یکدیگر کمک نظامی خواهند کرد.

- 7) Ascension
- 8) Diego Garcia
- 9) Kwajalein
- 10) Colorado Springs
- 11) National Aeronautics and Space Administration(N A S A)

مدیریت علوم هوایی و فضایی ملی

۱۲) براساس قانون دهم کپلر مجذور زمان تناوب دوران هم‌راهواره بر مکتب نصف قطر

اطول بیضی مدارش مقداری ثابت است. یعنی:  

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$
 مقدار ثابت -  
 GM حاصل ضرب ثابت جهانی نیوتن در جرم زمین و برابر  $3/986 \times 10^{12} \frac{m^3}{sec^2}$  و  $a = 20,000 km$  است، بنابراین T برابر ۱۲ ساعت نجومی به دست می‌آید.

۱۳) به طور دقیقتر ۳ دقیقه و ۵۶/۵۶ ثانیه.

- 14) Outage
- 15) TRANZIT:

سیستمی است که در سال ۱۹۶۴ آغاز به کار کرده و تا سال ۱۹۹۴ همچنان به فعالیت خود ادامه خواهد داد. این سیستم به طور متوسط دارای چهار ماهواره قابل استفاده است. این سیستم تأثیر عظیمی بر دقت شبکه‌های ژئودزی برجای گذارده است.

- 16) GLONASS:

سیستمی مشابه GPS است، که شوروی آنرا برای استفاده خاص خود به وجود آورده است. این سیستم در بین سالهای ۱۹۸۲ تا ۱۹۸۲ دارای ۱۲ ماهواره بوده است.  
 ۱۷) به استثنای سیستم GLONASS که در مورد استفاده‌های غیر نظامی اش اطلاعی در دست نیست، در مورد این سیستم همین قدر می‌دانیم که در آن از سیگنالها و امواج حامل نظیر GPS استفاده شده و مدار ماهواره‌های آن نیز مشابه GPS است.

- 18) Pseudorange

۱۹) کلبه فرکانسهای که بین 390 MHz تا 1550 MHz قرار دارند در باند L می‌باشند.  
 ۲۰) هرکدام مجموعه‌ای از صفر و یک است که برای کسی که از رمز آن آگاهی ندارد اتفاقی جلوه می‌کند.

- ۲۱) استفاده عمومی یا آشکار Coarse/Acquisition یا Clear/Access (C/A)
- ۲۲) دقیق یا پوشیده Precise یا Protected (P)
- ۲۳) یک بیت (bit) به معنای یک صفر یا یک است bits per second (bps)
- ۲۴) با در اختیار داشتن زمان طی شده و معلوم بودن سرعت سیر امواج می‌توان فاصله بین ماهواره و گیرنده را به دست آورد.

- 25) Pseudo-Range Measurement

لايه‌های یونسفر<sup>۲۲</sup> زمانی را به صورت فرضی در نظر می‌گیرند که معمولاً با ۵ تا ۸ متر خطا همراه است. این خطا را با اندازه‌گیری هم‌زمان شبه فاصله بروی دوج L<sub>1</sub> و L<sub>2</sub> می‌توان واقعاً حذف کرد. از آنجایی که کد P تنها کد سوار شده بر موج P<sub>2</sub> می‌باشد، اجرای این روش تنها با گیرنده‌هایی که می‌توانند کد P را دریافت کنند امکان پذیر است. به طوری که بعداً خواهیم دید، بنابراین مصالح دپارتمان دفاع<sup>۲۳</sup> ایالات متحده آمریکا این کد در اختیار استفاده کنندگان غیر وابسته به ارتش آمریکا قرار نخواهد گرفت.

## خدمات تعیین موقعیت دقیق<sup>۲۴</sup> و استاندارد<sup>۲۵</sup>

دپارتمان دفاع ایالات متحده<sup>۲۶</sup> قصد دارد محدودیت‌هایی را در کارایی GPS برای استفاده کنندگان غیر وابسته به ارتش خود پدید آورد. این محدودیت‌ها شامل جلوگیری از دسترسی به کد P و کاهش دقت می‌گردند. از آنجایی که آگاهی از فرمول کد امکان تولید کدهای گمراه کننده را توسط دشمن پدید می‌آورد، دپارتمان دفاع ایالات متحده در صدد تغییر کد شناخته شده P به کد Y است، که برخلاف کد P فرمول آن در اختیار عموم قرار نخواهد گرفت.<sup>۲۷</sup> این تغییر روشی برای جلوگیری از تولید کدهای اغفال کننده است اما به هرحالت باعث عدم دسترسی استفاده کنندگان غیر نظامی به کد P و از بین رفتن امکان مقایسه دقیق کدها و اندازه‌گیری و حذف خطای یونسفریک می‌گردد. اقدام دیگر که دسترسی انتخابی<sup>۲۸</sup> نام گرفته است، کاهش دقت کد C/A مورد استفاده استفاده کنندگان غیر نظامی می‌باشد. در اجرای سیاست اخیر خطاهایی عمدی در ساعت و افریز<sup>۲۹</sup> ماهواره وارد می‌گردند. به طوری که دقت مسطحانی و ارتفاعی قابل دسترس با گیرنده‌های غیر نظامی به ترتیب به ۱۰۰ متر و ۱۵۶ متر کاهش خواهند یافت.<sup>۳۰</sup> اما به هنگام اعمال این سیاست نیز استفاده کنندگان مجاز، از نظر دپارتمان دفاع ایالات متحده، می‌توانند از طریق پیامهای ناوبری رمزی به تصحیحات لازم برای حذف خطاهای عمدی ساعت و افریز ماهواره دست یابند.

در هنگام اجرای این سیاست، به گیرنده‌هایی که به کد Y و تصحیحات مربوط به ساعت و افریز ماهواره دسترسی دارند گیرنده‌های تعیین موقعیت دقیق<sup>۳۱</sup> اطلاق می‌گردد<sup>۳۲</sup>، و گیرنده‌های با دقت استاندارد<sup>۳۳</sup> گیرنده‌هایی موجود در اختیار عموم استفاده کنندگان غیر نظامی خواهند بود. ماهواره‌های بلوک ۱ که هم اکنون در مدار قرار دارند هیچیک از دو سیاست یادشده را به کار نمی‌بندند. اما با استقرار ماهواره‌های بلوک ۲، هر دو سیاست کاهش دقت و رمزی کردن کد P به کار بسته خواهند شد. بنابراین تا استقرار ماهواره‌های بلوک ۲ کلبه استفاده کنندگان می‌توانند از تمامی دقت GPS بهره‌گیرند.

برای یک نقطه به دست خواهد آمد در داخل استوانه‌ای به شعاع قاعده ۱۰۰ متر و به ارتفاع ۱۵۶ قرار خواهد داشت.

41) Precise Positioning Service Receivers

(۲۲) این گیرنده‌ها اختصاص به ارتش آمریکا و هم پیمانان نظامی‌اش خواهد داشت.

43) Standard Positioning Service Receivers

26) Code Correlation

(۲۷) کد C/A از ۱۰۲۳ بیت (bit)  $\frac{1}{1,023,000}$  ثانیه‌ای تشکیل شده است.

28 ) Bit

(۲۹) طول یک بیت (bit) کد C/A  $\frac{1}{1,023,000}$  ثانیه یا تقریباً یک میکروثانیه است.

(۳۰) کد P تقریباً از  $6/1871.02 \times 10^{12}$  بیت (bit)  $\frac{1}{1,023,000}$  ثانیه‌ای تشکیل شده است.

(۳۱) فرکانس کد P  $1.023/23$  مگاهرتز است، یعنی طول هر بیت (bit) آن  $\frac{1}{1,023,000}$  ثانیه می‌باشد.

(۳۲) لایه‌ای است که در ارتفاع ۵۰ کیلومتر تا ۵۰۰ کیلومتر بالای سطح زمین قرار دارد و از طبقاتی از گازهای یونیزه شده تشکیل گردیده است.

منابع و مآخذ

1) Guide to GPS Positioning. D. Wells, Canadian GPS ASSOCIATES.

2) GPS Accuracy For Civil Marine Navigation. G. W. Zachmann, A paper Presented at national marine electronics association, Boston, Massachusetts, October 11, 1988.

3) GPS Perspectives. T. A. Stansell, JR. , Paper Presented at international navigation congress, Sydney, Australia, February 2-5, 1988.

33) Department of Defense (DOD)

34) Precise Positioning Services (PPS)

35) Standard Positioning Services (SPS)

36) US Department of Defense (DoD)

(۳۷) این سیاست اصطلاحاً AS (Anti - Spoofing) نامیده می‌شود.

38 ) Selective Availability (S/A)

39) Ephemeris:

مختصات ماهواره به صورت تابعی از زمان

(۴۰) این دقتها مربوط به فاصله اطمینان ۹۵٪ است. یعنی به احتمال ۹۵٪ کلیه مختصات که

