

شبکه ایستگاههای دائم ژئودینامیک ایران

سازمان نقشه برداری کشور
اداره کل نقشه برداری زمینی و بنیادی
اداره ژئودزی و ژئودینامیک



بخش اول:

سیستمهای تعیین موقعیت ماهواره‌ای

تعریف:

► یک سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای، سیستمی است که با استفاده از امواج ارسالی یا منعکس شده از اجرامی که به دور زمین در گردش هستند، موقعیت نقاط در سطح یا در نزدیکی سطح زمین را تعیین می‌کند.

تاریخچه طراحی سیستم‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای



▶ اسپوتنیک نخستین ماهواره فضایی جهان بود که در اکتبر ۱۹۵۷ توسط اتحاد جماهیر شوروی به مدار زمین پرتاب شد. در همین زمان دانشمندان در دانشگاه ماساچوست آمریکا متوجه شدند فرکانس سیگنالهای رادیویی دریافتی از ماهواره روسی به محض نزدیک شدن به زمین افزایش و با دور شدن آن کاهش می‌یابد این کشف سرآغاز طراحی سیستمهای تعیین موقعیت جهانی توسط ایالات متحده آمریکا بود.

▶ اولین سیستم ناوبری ماهواره‌ای کاربردی که نیروی دریایی ایالات متحده آن را در سال ۱۹۶۰ راه اندازی کرد، ترانزیت یا ناوست نام داشت. این سیستم شامل پنج ماهواره بود که تقریباً هر یک ساعت یک بار می‌توانست مختصات یک محل را مشخص کند. این سیستم ابتدا برای فراهم آوردن اطلاعات دقیق مکانی مورد نیاز برای زیردریایی‌های حامل موشک بالستیک پولاریس و همچنین برای سامانه ناوبری کشتیهای نیروی دریایی، آب‌نگاری و زمین‌سنجی استفاده می‌شد. این سیستم از سال ۱۹۶۴ به بعد، به شکل پیوسته خدمات موقعیت‌یابی ماهواره‌ای را ابتدا برای زیردریایی‌های پولاریس و بعدها برای عموم ارائه کرد.

▶ با توجه به سرعت پایین تعیین موقعیت در سیستم ترانزیت، ارتش آمریکا بر آن شد تا سیستمی متشکل از ماهواره‌های فضایی ایجاد کند تا سیگنالهای پیوسته به زمین ارسال کنند. کمپانی Aerospace Corporation در این زمینه پژوهشهایی انجام داد که نتیجه آن مفهومی از فناوری جی پی اس را آفرید که امروزه با آن سر و کار داریم

► سیستم تعیین موقعیت جهانی یا GPS به‌عنوان یکی از مهم‌ترین دستاوردهای فناوری ماهواره‌ای، نقش بسیار مهمی در جهانی‌سازی و ارتباطات امروزی ایفا می‌کند. از زمان شروع استفاده از جی پی اس در سال ۱۹۷۳ توسط ایالات متحده آمریکا به‌عنوان یک سیستم نظامی، این فناوری به‌سرعت به سطوح جدیدی از کاربرد رسیده است.

► در ابتدا، جی پی اس برای اهداف نظامی و امنیتی استفاده می‌شد. در سال ۱۹۸۳ یک هواپیمای مسافربری کره که ۲۶۹ مسافر داشت، از مسیر اصلیش منحرف شد و به اشتباه وارد حریم هوایی شوروی شد. ارتش شوروی هم این ورود ناگهانی را به‌عنوان یک حمله تلقی و هواپیمای مسافربری را سرنگون کرد. بعد از این سانحه غم‌انگیز، رونالد ریگان - رئیس‌جمهور وقت آمریکا - خواستار این شد که سیستم GPS برای استفاده‌های غیرنظامی و به‌صورت رایگان در اختیار همه قرار بگیرد.

► در آغاز، نیروی هوایی آمریکا دو سیگنال دقیق و واضح برای استفاده نظامی و یک سیگنال ضعیف شده و با کیفیت پایین‌تر برای کاربردهای همگانی می‌فرستاد که منجر به خطایی در حدود ۱۰۰ متر می‌شد. در نهایت در سال ۲۰۰۰ (میلادی) در زمان رییس‌جمهور - بیل کلینتون - سیگنال با کیفیت بالا در اختیار همگان قرار گرفت.



بخش دوم

سیستم تعیین موقعیت جهانی

GPS

ساختار سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای GPS

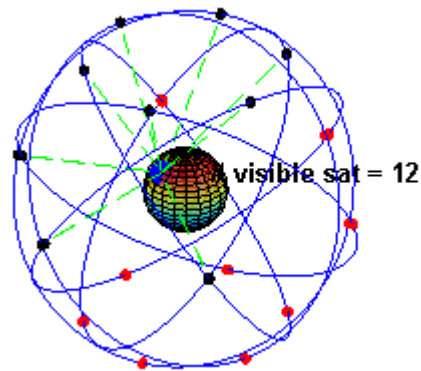
▶ بخش فضایی

▶ بخش کنترل

▶ بخش کاربر

بخش فضایی

▶ بخش فضایی از ماهواره‌های مستقر در مدار زمین تشکیل شده‌است که به اختصار ماشین‌های فضایی نیز نامیده می‌شوند. در طراحی نخستین جی‌پی‌اس، بیست و چهار ماهواره مورد نیاز بود که در هشت مدار دایره‌ای و در هر مدار حداکثر سه ماهواره قرار می‌گرفتند. بعدها این طرح تبدیل به شش مدار شد و در هر مدار حداکثر چهار ماهواره در نظر گرفته شد.



▶ مدارها به شکلی تنظیم شده‌اند که در همه ساعات شبانه روز و تقریباً از همه نقاط سطح زمین، دستکم ۶ ماهواره در خط دید باشند. برای دستیابی به این موضوع، فاصله یکسانی برای ماهواره‌های موجود در مدار مشترک در نظر گرفته نشده‌است (با هم ۹۰ درجه نیستند). اگر ساده‌تر در نظر بگیریم فاصله زاویه‌ای بین بین ماهواره‌ها به شکل ۳۰، ۱۰۵، ۱۲۰ درجه است که در مجموع ۳۶۰ درجه می‌شود.

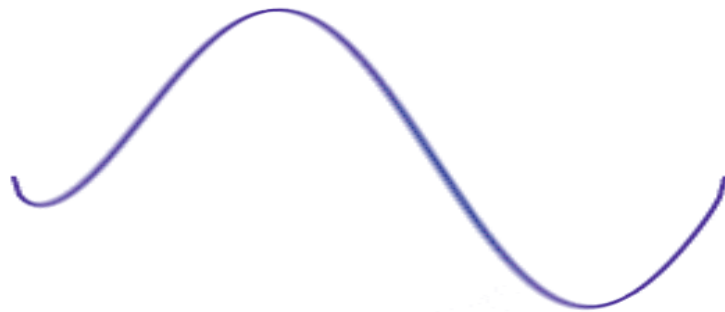
▶ بلندی مداری حداکثر حدود ۲۰۲۰۰ کیلومتر است، یعنی شعاع مداری حداکثر ۲۶۶۰۰ کیلومتر است. هر ماهواره، در هر روز نجومی دو بار و همان مسیر قبلی را نسبت به زمین می‌پیماید.

▶ در فوریه ۲۰۱۶، ۳۲ ماهواره در سامانه جی‌پی‌اس حضور داشتند که ۳۱ ماهواره، فعال بودند. ماهواره‌های اضافی، دقت محاسبات گیرنده‌های جی‌پی‌اس برای اندازه‌گیری‌های دقیق را افزایش می‌دهند. با افزایش شمار ماهواره‌ها چینش آن‌ها در مدارها به شکل ناهمسانی تغییر کرد. مزیت این شکل از چینش نسبت به فرم استاندارد این است که در صورت از دست رفتن یکی از ماهواره‌ها (عدم کارکرد درست)، کارایی سامانه، کاهش نمی‌یابد. با وضعیت امروزی از هر نقطه زمین و در هر زمانی در حدود ۹ ماهواره به شکل هم‌زمان در خط دید قرار دارند. این امر باعث افزایش چشمگیر اعتماد به دقت، نسبت به حضور دستکم ۴ ماهواره، برای تعیین مکان می‌شود.

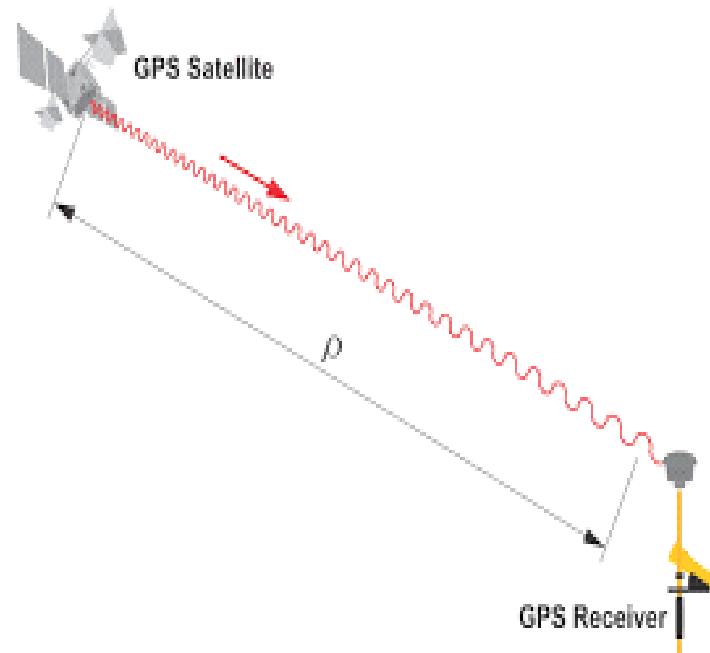
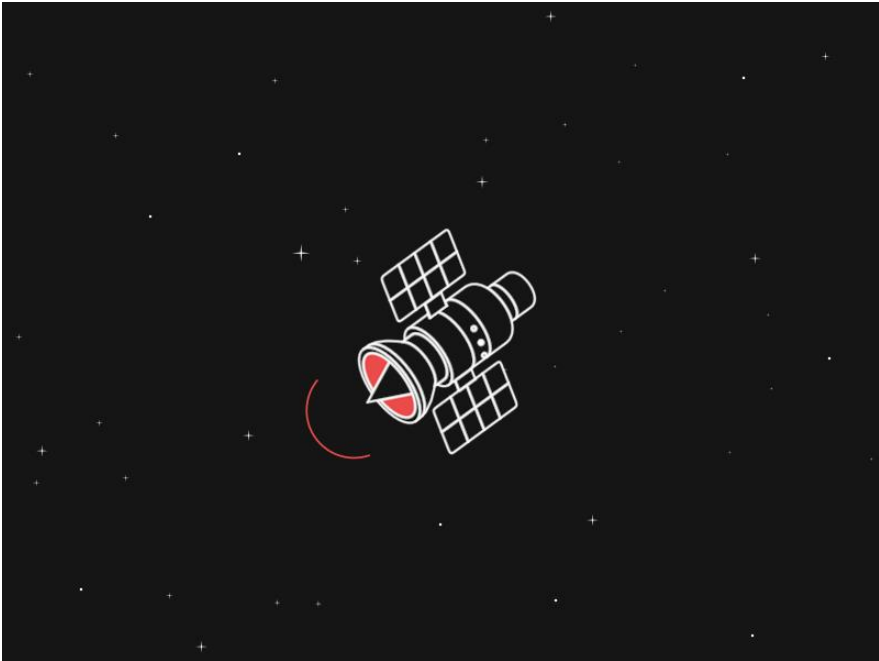
بخش فضایی: سیگنال‌های ارسال شده توسط ماهواره‌ها



در علم پردازش سیگنال و فیزیک، سیگنال به تابعی گفته می شود که اطلاعاتی پیرامون یک پدیده را با خود حمل می کند. این معنی در علم الکترونیک مفهوم بهتری به خود گرفته و اینگونه تعبیر می شود که سیگنال به یک جریان الکتریکی یا الکترومغناطیسی گفته می شود که اطلاعاتی را از یک وسیله یا شبکه به وسیله یا شبکه دیگر انتقال داده و با خود حمل می کند. در علم نقشه برداری منظور از سیگنال آن دسته از اطلاعات مفیدی است که دارای اعتبار بوده و به دست کاربر رسیده است.



سیگنالهای GPS



L5

این سیگنال، سومین سیگنال GPS است که در ۱۱۷۶ مگاهرتز کار می کند. با توجه به اینکه این سیگنال جدید است، هنوز برای کاربران قابل استفاده نیست اما پیش بینی می شود در آینده نزدیک این سیگنال نیز در اختیار کاربران قرار گیرد.

L2

این سیگنال بعد از سیگنال L1 ایجاد شده است و دارای کد نظامی و کد استفاده غیرنظامی می باشد. L2 از فرکانس ۱۲۲۷.۶۰ مگاهرتز استفاده می کند که سریعتر از L1 است. این فرکانس موجب میشود سیگنال بهتر از موانعی مانند پوشش ابر، درختان و... عبور کند. با این حال، از آنجایی که L2 جدیدتر است، زیرساخت آن هنوز کامل نشده است. به همین دلیل، نمی توان از آن به تنهایی استفاده کرد و معمولاً همراه با فرکانس های L1 استفاده شود

L1

این سیگنال قدیمی ترین سیگنال GPS است. دارای دو بخش است: P. P- کد (C/A) و کد دقیق P. code برای استفاده نظامی استفاده می شود، در حالی که C/A برای عموم آزاد است. سیگنال L1 از فرکانس ۱۵۷۵.۴۲ مگاهرتز استفاده می کند. از آنجایی که L1 قدیمی ترین و شناخته شده ترین سیگنال است، حتی ارزان ترین دستگاه های GPS نیز قادر به دریافت آن هستند. با این حال، به دلیل اینکه فرکانس آن نسبتاً آهسته است، در عبور از موانع چندان مؤثر نیست.

بخش فضایی: اطلاعاتی که توسط سیگنالهای ماهواره‌ای ارسال میشوند

- ▶ **فاز موج حامل:** فاز موج حامل ارسالی از سمت ماهواره‌های تعیین موقعیت سیستم GPS، یک سیگنال فرکانسی رادیویی سینوسی است که در فرکانس مشخص، از سمت ماهواره به سمت گیرنده GPS/GNSS ارسال می‌شود. فاز موج حامل در سیستم‌های GPS بصورت تعداد سیکل‌های کامل فاز ارسالی از ماهواره GPS، شمارش می‌گردد.
- ▶ **کد فاصله یابی:** یک مجموعه‌ای از ۰ و ۱ است که اجازه‌ی محاسبه‌ی زمان سیر موج سیگنال ماکروویو از ماهواره تا گیرنده را می‌دهد. به این مجموعه، دنباله‌ی نویز شبه تصادفی Pseudo-Random Noise یا کدهای PRN می‌گویند. این کدها برای هر ماهواره مقدار منحصر به فردی دارند.
- ▶ **داده‌های ناوبری:** یک پیام رمزنگاری شده باینری است که اطلاعاتی تحت عنوان پارامترهای کپلری، موقعیت ماهواره و سرعت آن‌ها بصورت افم‌ریزهای ماهواره، پارامترهای بایاس ساعت ماهواره، آلمانک، وضعیت سلامت ماهواره و سایر اطلاعات تکمیلی را تولید می‌کند. این مقادیر، با استفاده از یک مدولاسیون خاص روی سیگنال‌های ارسال شده از سمت GPS، سوار می‌شوند.

بخش دوم: سیستم تعیین موقعیت جهانی GPS

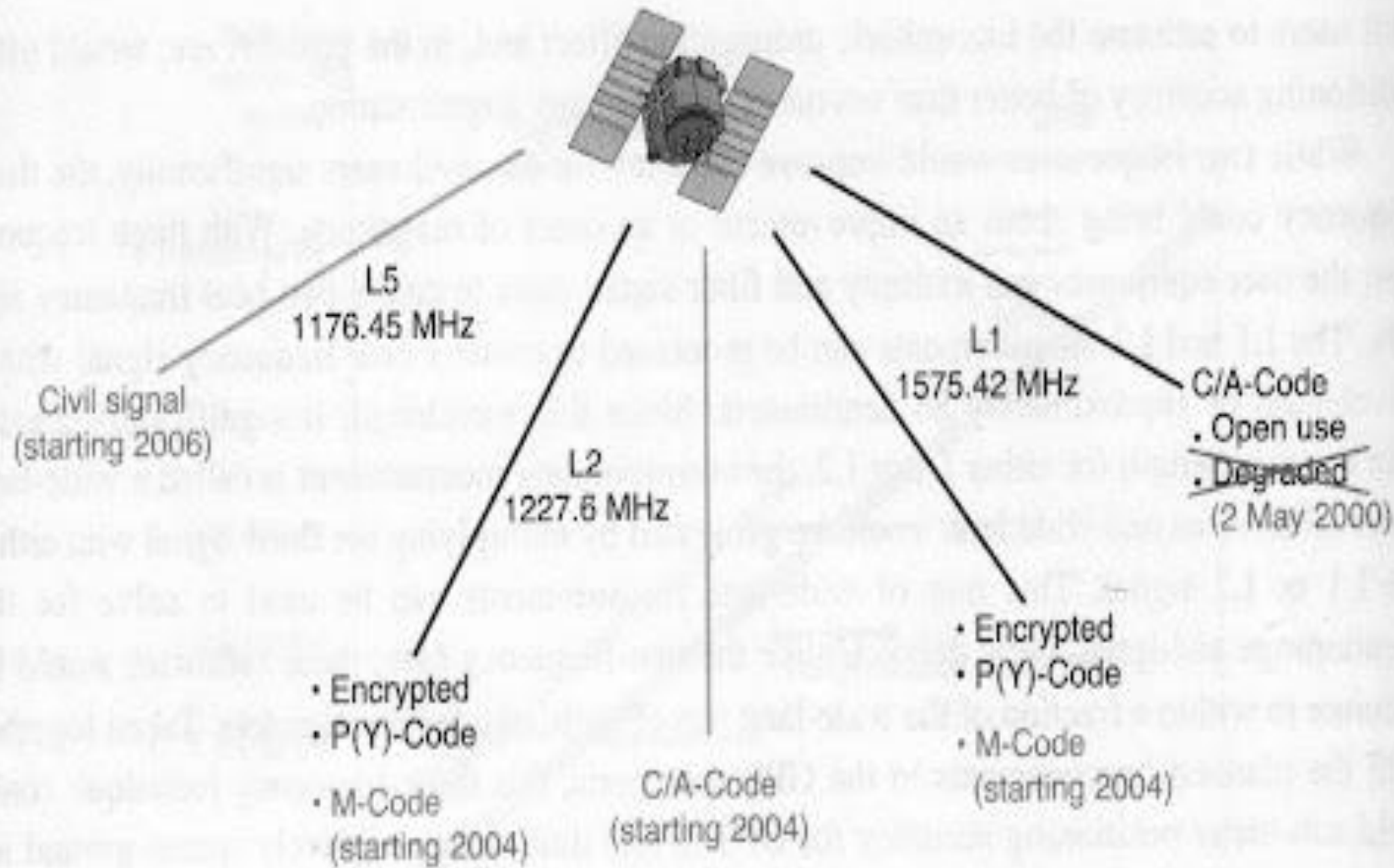
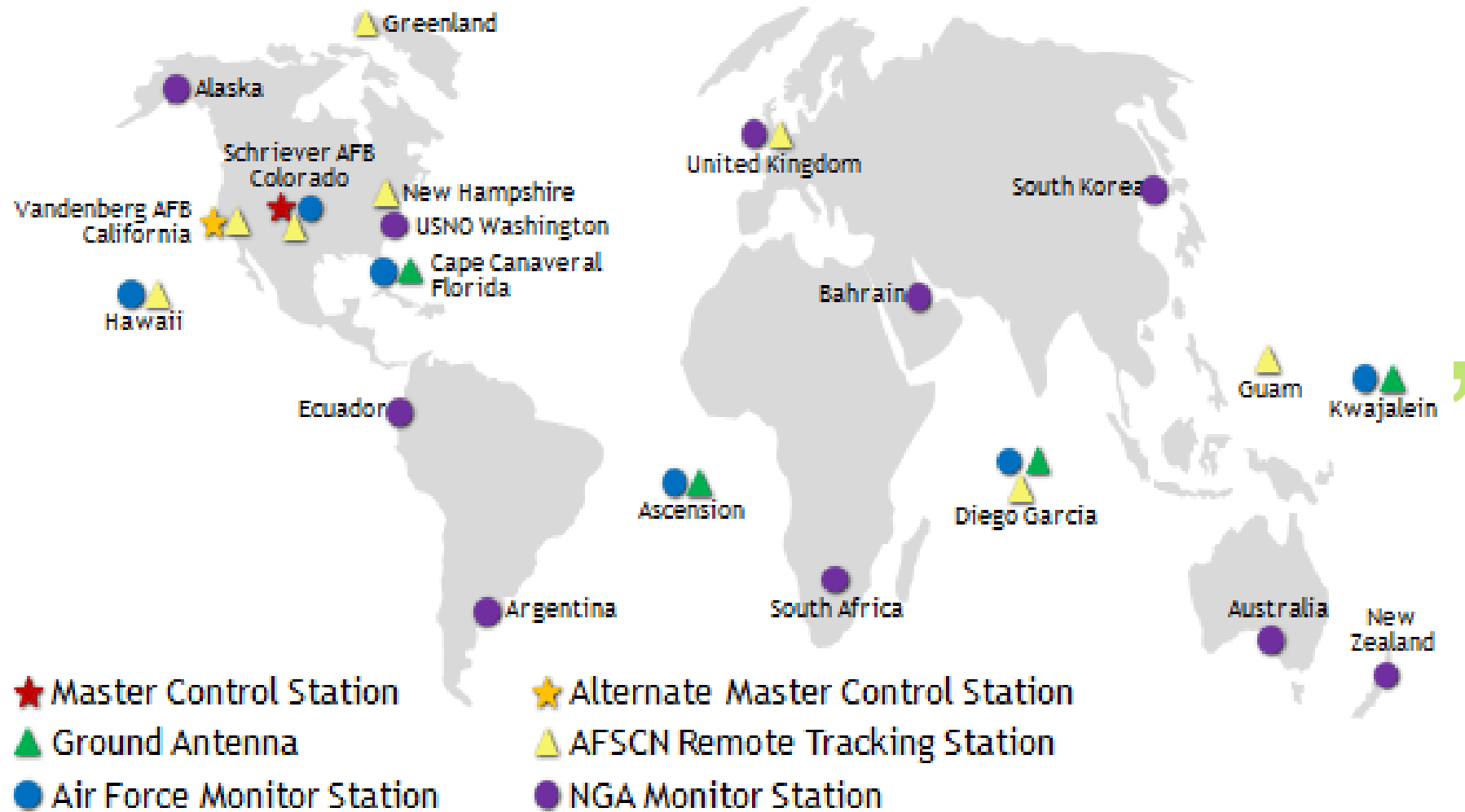


Figure 2.12 GPS signals circa 2010. Each satellite will transmit three signals for the civil users: a C/A-coded signal on both L1 and L2, and a wide-band signal on L5. The P(Y)-coded and M-coded signals will be encrypted.

بخش کنترل

- ▶ این بخش شامل ایستگاه‌های کنترل زمینی است که دارای مختصات معلوم هستند و موقعیت آن‌ها از طریق روش‌های کلاسیک تعیین موقعیت بدست آمده‌است.
- ▶ شمار ایستگاه‌های کنترل زمینی پیشتر ۵ عدد بود که ایستگاه اصلی آن در ایالت کلرادو اسپرینگ ایالات متحده قرار داشت.
- ▶ تعداد این نقاط کنترل زمینی اکنون به حدود ۱۲ ایستگاه رسیده است

بخش دوم: سیستم تعیین
موقعیت جهانی GPS



نقشه پراکندگی ایستگاههای کنترل زمینی

موقعیت مکانی نقاط کنترل زمینی

- ▶ پایگاه هوایی Schriever در کلرادو، به عنوان ایستگاه کنترل اصلی ایفای نقش می‌کند.
- ▶ جزیره استوایی Ascension در اقیانوس اطلس جنوبی، دماغه کاناورال در فلوریدا، جزیره مرجانی دیه‌گو گارسیا واقع در اقیانوس هند و جزیره Kwajalein در اقیانوس آرام نیز به عنوان ایستگاه آنتن زمینی (فرستنده) عمل می‌کنند.
- ▶ ایستگاه‌های پایش (گیرنده) در ابتدا ایستگاه‌های بالا در نظر گرفته شدند اما در سال ۲۰۰۵ ایستگاه‌های جدیدی در آرژانتین، بحرین، انگلستان، اکوادور، واشنگتن دی سی و استرالیا به آن‌ها اضافه شد. لازم به ذکر است که یک ایستگاه کنترل اصلی موقتی پشتیبان در نزدیکی واشنگتن دی سی قرار دارد. یک ایستگاه کنترل اصلی جانشین دائمی نیز در پایگاه هوایی Vanderberg ایالت کالیفرنیا در دست احداث است.

وظایف نقاط کنترل زمینی

- ▶ ایستگاه‌های پایش مدام در حال رهگیری سیگنال‌های ناوبری از همه ماهواره‌ها بوده و دائماً این داده‌ها را به منظور پردازش، به ایستگاه کنترل اصلی ارسال می‌کنند. ایستگاه کنترل اصلی محاسبات مربوط به پیش‌بینی موقعیت مدار را برای هر ماهواره در صورت فلکی و نیز محاسبات مربوط به تصحیحات ساعت‌های ماهواره‌ها را انجام می‌دهد.
- ▶ ایستگاه کنترل اصلی، داده‌های ساعت و مدار به‌روزرسانی شده فوق‌الذکر را به چهار ایستگاه آنتن زمینی ارسال می‌کند. سپس این داده‌ها به منظور حفظ دقت سیستم روزی سه بار از این ایستگاه‌ها به هر ماهواره ارسال می‌شوند. ایستگاه‌های زمینی همچنین دستورات (رایانه‌ای) را به منظور مدیریت روزمره، به‌روزرسانی نرم‌افزار و تنظیمات مدار به ماهواره‌ها ارسال می‌کنند.
- ▶ هر ماهواره همیشه در میدان دید حداقل دو ایستگاه زمینی و معمولاً در میدان دید سه ایستگاه زمینی می‌باشد.

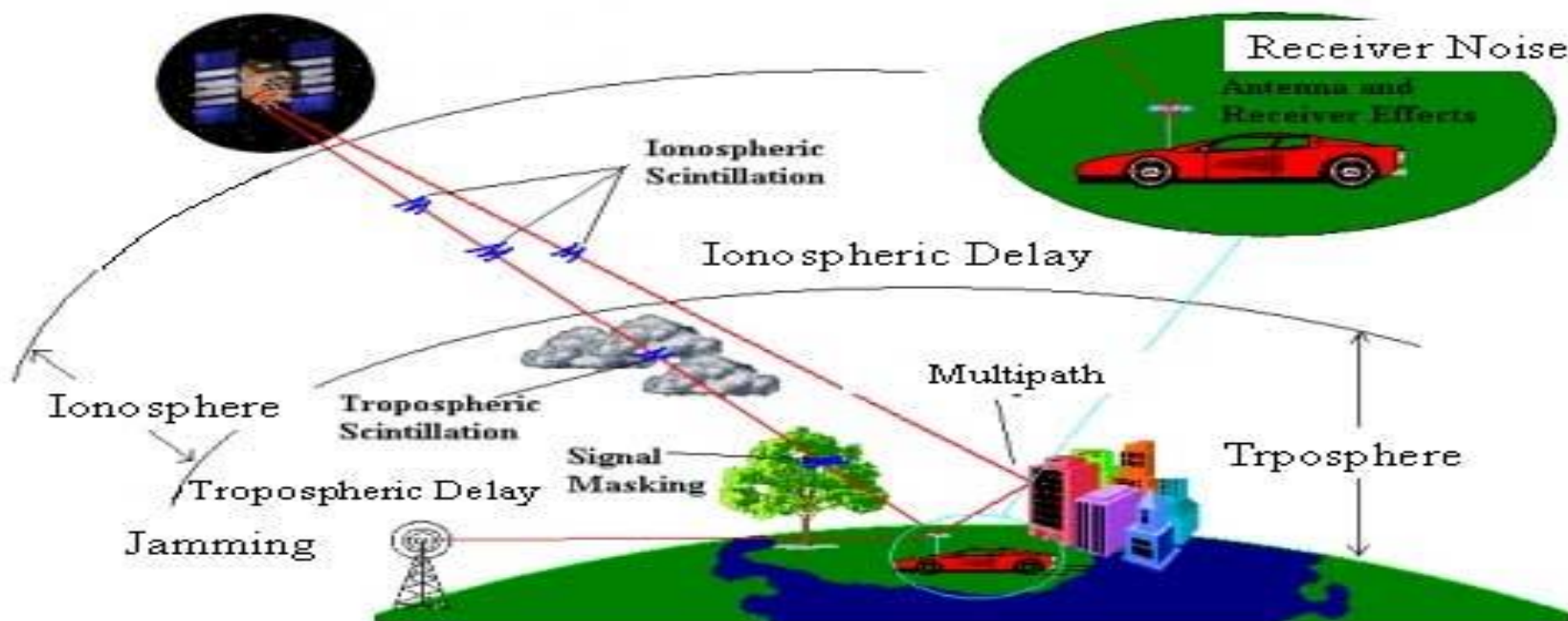
بخش کاربران سیستم تعیین موقعیت جهانی

آخرین بخش از سامانه جی پی اس، قسمت کاربران سامانه است که خود شامل دو بخش است:

- آنتن دریافت کننده اطلاعات ارسالی از ماهواره‌ها
- گیرنده (پردازش کننده اطلاعات دریافتی و تعیین کننده موقعیت محل آنتن)



Errors on GPS Signal



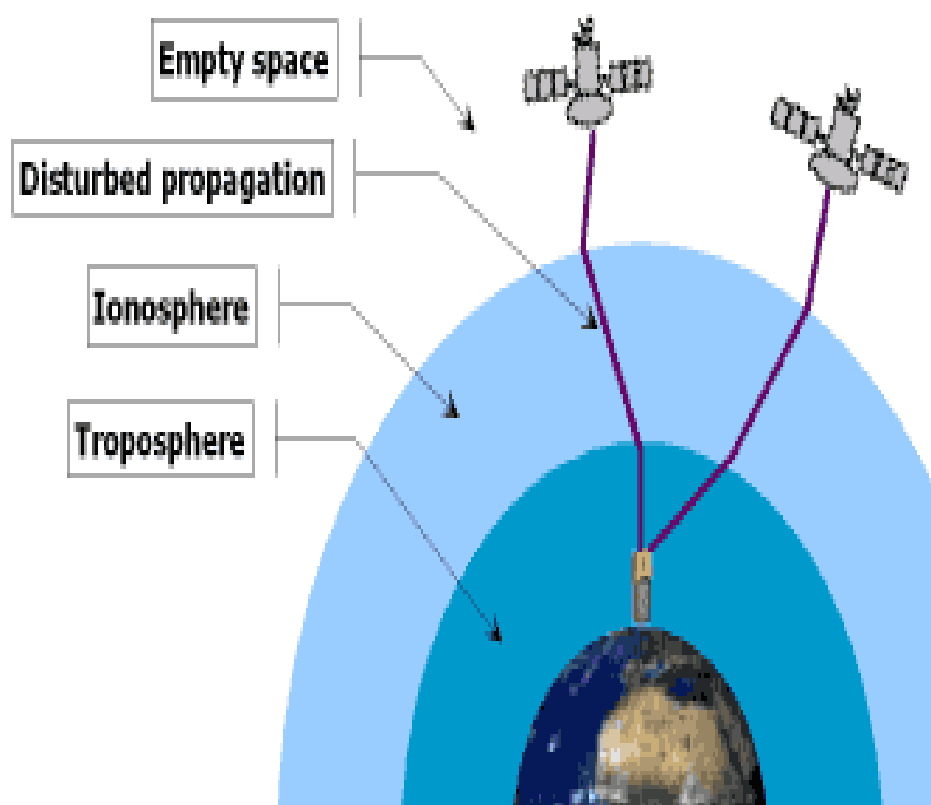
بخش سوم

خطاهای تعیین موقعیت ماهواره‌ای

انواع خطاها

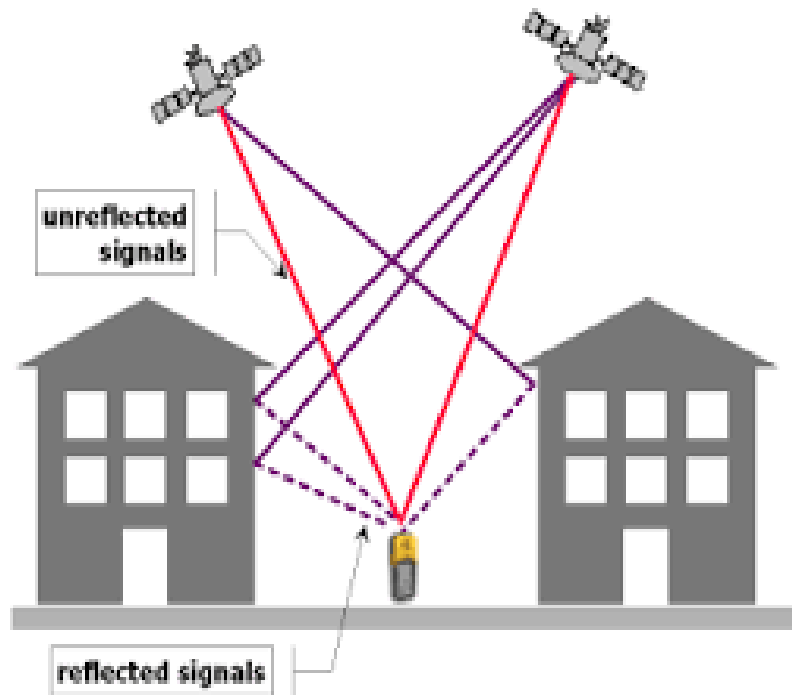
► گیرنده های جی پی اس/جی ان اس در واقع با استفاده از اندازه گیری فاصله بین گیرنده تا ماهواره های جی پی اس/جی ان اس و دانستن موقعیت ماهواره های موجود روی مدارات مختلف با استفاده از اطلاعات دقیقی که ماهواره ها منتشر میکنند (مانند افمیزیهای دقیق)، موقعیت گیرنده های زمینی را محاسبه می کنند. در محاسبه ی این فاصله هندسی، عوامل مختلفی موثر هستند که هر کدام می توانند به نوبه خود باعث ایجاد یکسری خطاها در محاسبه موقعیت گیرنده شوند. گیرنده های جی پی اس بدون اعمال تصحیحات (اطمینان از صحت بالای گیرنده)، در بهترین حالت می توانند دقتی در حد ۳ متر یا بهتر در افق داشته باشند و در اندازه گیری های قائم، می توان با استفاده از گیرنده های GNSS به دقتی در حد ۵ متر یا بهتر در ۹۵ درصد مواقع رسید. (خطاهای موقعیت GPS همیشه از نظر ارتفاعی تقریباً ۱.۵ تا ۲ برابر اندازه گیری های افقی هستند.)

اختلالات اتمسفری



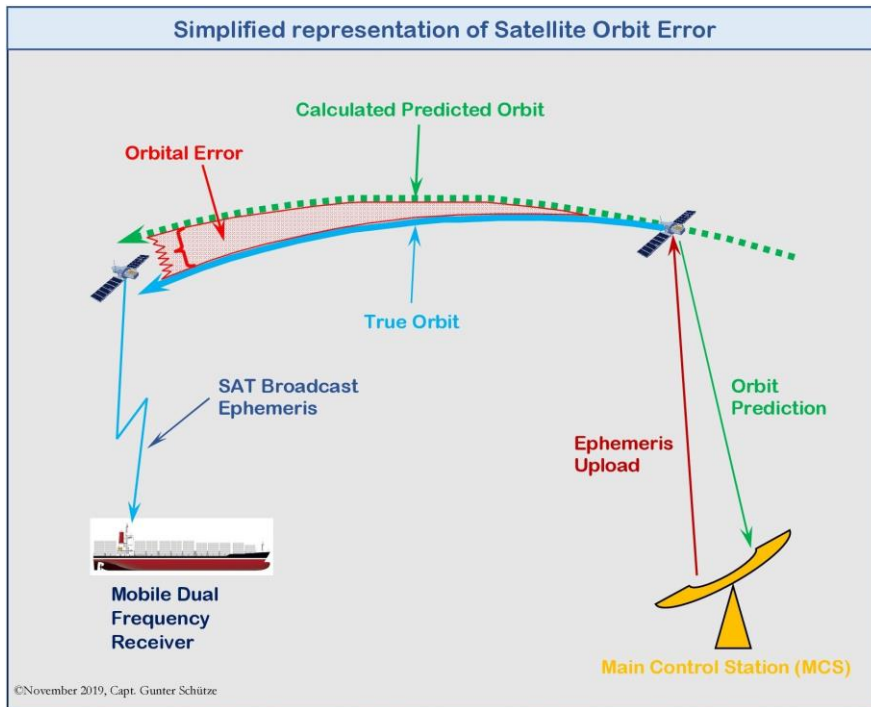
تروپوسفر و یونوسفر می توانند سرعت انتشار سیگنال ماهواره های GPS را تغییر دهند. با توجه به شرایط جوی، لایه لایه بودن اتمسفر می تواند باعث شکست سیگنال های ماهواره هنگام عبور از جو به سمت زمین شود. برای رفع این مشکل، گیرنده میتواند از دو فرکانس جداگانه برای به حداقل رساندن خطای سرعت انتشار استفاده کند. و یا با استفاده از مدل های تهیه شده برای انواع تاثیرات اتمسفر (تروپوسفر و یونوسفر) بسته به شرایط، این نوع خطای موجود روی سیگنال ماهواره ها را جبران نماید. این خطا می تواند تا ۵ متر روی موقعیت هر نقطه تحت اندازه گیری، تاثیر گذار باشد.

خطای چند مسیری



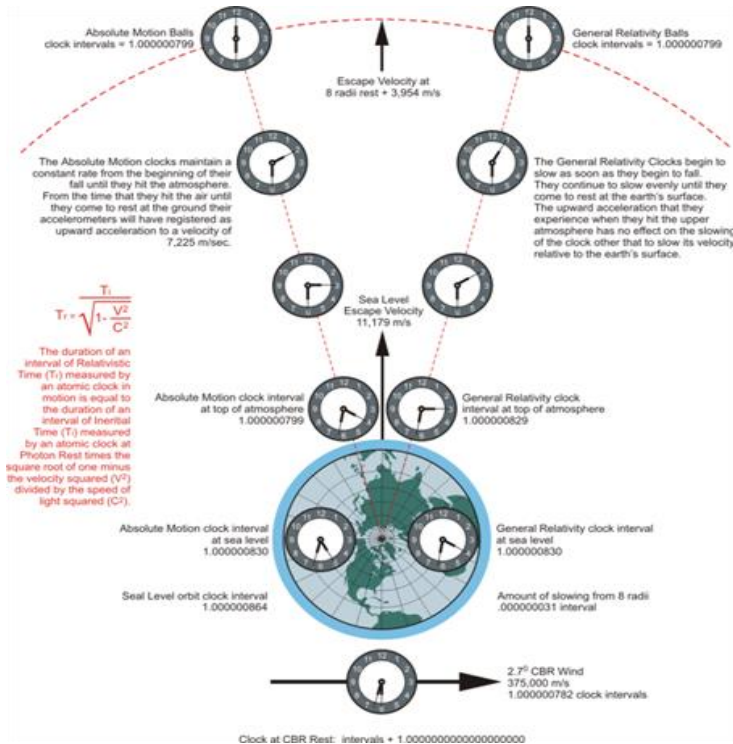
یکی از منابع خطای احتمالی در محاسبات GPS، اثر چند مسیری است. این خطا به علت برخورد سیگنال با موانع موجود در محدوده قرار گیری گیرنده بوجود خواهد آمد. در واقع سیگنال به جای اینکه مستقیماً از ماهواره ارسال شده و توسط گیرنده دریافت شود، پس از یک یا چند شکست به گیرنده می‌رسد و همین باعث تاخیر در زمان رسیدن سیگنال به گیرنده شده و باعث یک خطای احتمالاً بزرگ در تعیین موقعیت به وسیله GPS خواهد شد. برای جلوگیری از ایجاد این نوع از خطاها استفاده از گیرنده‌هایی با آنتن‌هایی با کیفیت بالا و یا مجهز به چوک رینگ بسیار حائز اهمیت است.

خطای انحراف ماهواره از مسیر



سیستم GPS دائماً انحراف ماهواره‌ها از مسیر را مورد بازبینی قرار می‌دهد و تصحیحات افمریس را محاسبه کرده و منتشر می‌کند. با این وجود، ندرتاً به دلیل متوقف شدن تولید تصحیحات و در نتیجه به روز نبودن اطلاعات در بعضی از موارد، وجود خطاهایی در تعیین محل دقیق ماهواره اجتناب‌ناپذیر است.

خطای ساعت ماهواره

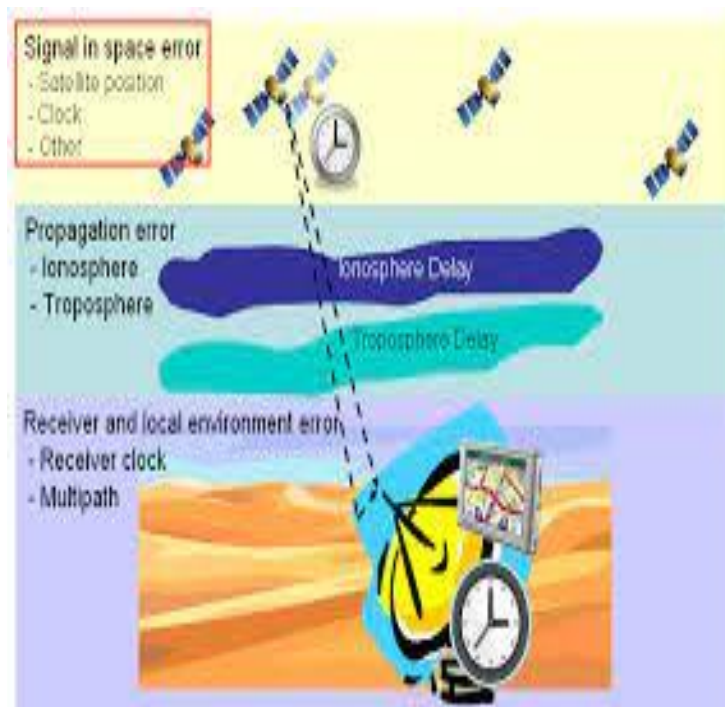


از آن جا که فاصله بین گیرنده تا ماهواره با محاسبه زمان سیر موج محاسبه می شود، دقت ساعت ماهواره های جی پی اس روی دقت موقعیت یابی، بسیار اثر گذار خواهد بود.

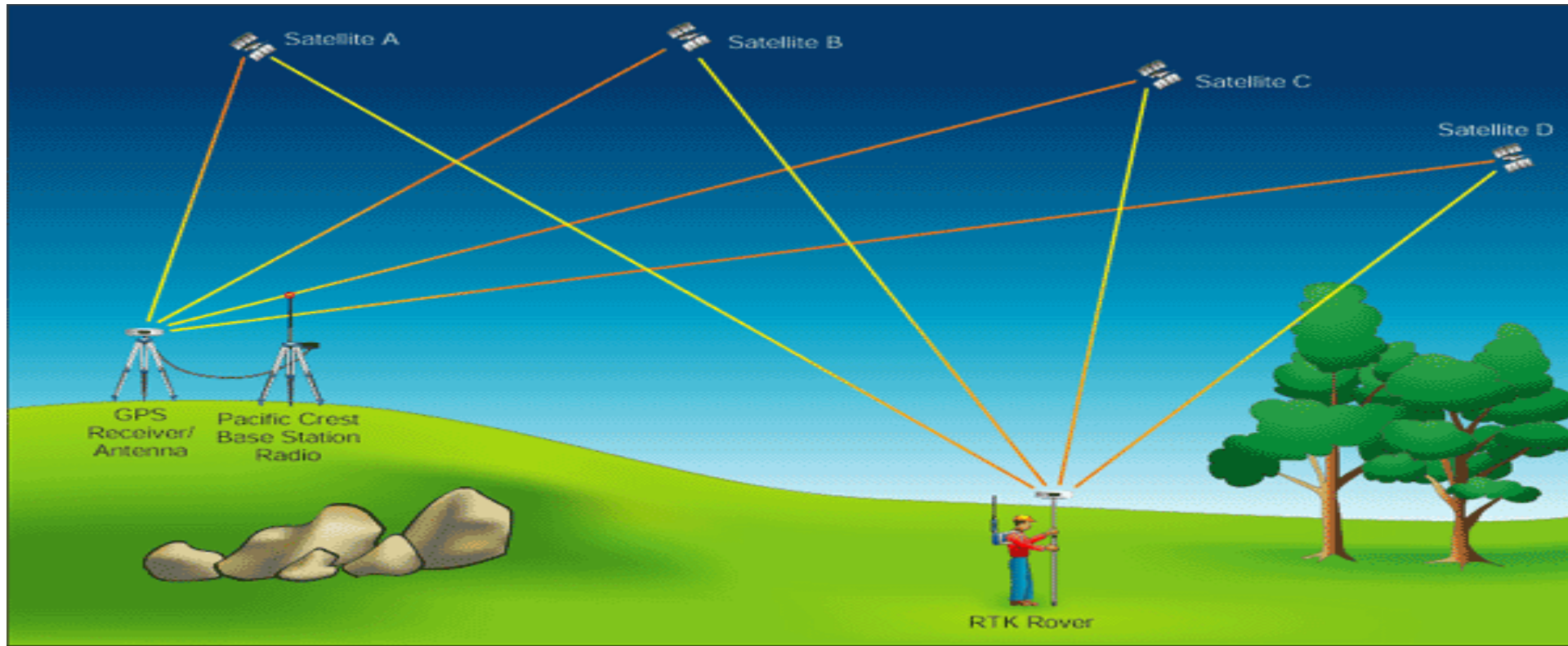
ساعت های موجود در ماهواره های GPS، از نوع اتمی هستند و دقت ساعت اتمی ماهواره های GPS هر تیک ساعت، یک نانو ثانیه است. این مقدار در اندازه گیری های GPS که با ضرب در سرعت نور محاسبه می شوند، بسیار چشمگیر است.

به دلیل همگام نبودن ساعت اتمی ماهواره ها، این مقدار از خطا در ساعت ماهواره می تواند اندازه گیری موقعیت را تا ۲ متر یا بیشتر دچار خطا کند.

خطای ساعت گیرنده



همانند خطای ساعت ماهواره، خطای ساعت گیرنده نیز اختلاف زمانی بین ساعت گیرنده و زمان GPS است و می‌توان آن را به شکل یک مدل ساده چند جمله‌ای نمایش داد. البته می‌دانیم که قبل از شروع هر پروژه نقشه‌برداری با GPS، گیرنده‌های ژئودتیک با زمان GPS هم زمان می‌شوند. اما این همزمان‌سازی تنها تا کسری از یک میلی‌ثانیه اعتبار دارد و همان مقدار باقی‌مانده خطای ساعت گیرنده را تشکیل می‌دهد. این نوع خطا در گیرنده‌های مختلف دارای مقادیر متفاوتی می‌باشد که به سخت‌افزار داخلی و نوسان‌ساز بکار رفته در گیرنده بستگی دارد. به‌عنوان مثال دامنه این خطا از ۲۰۰ نانو ثانیه تا چند میلی‌ثانیه گزارش شده است که عامل تعیین‌کننده‌ای در قیمت گیرنده‌ها است.



بخش چهارم

انواع روشهای تعیین موقعیت ماهواره‌ای

SPP(SINGLE POINT POSITIONING)

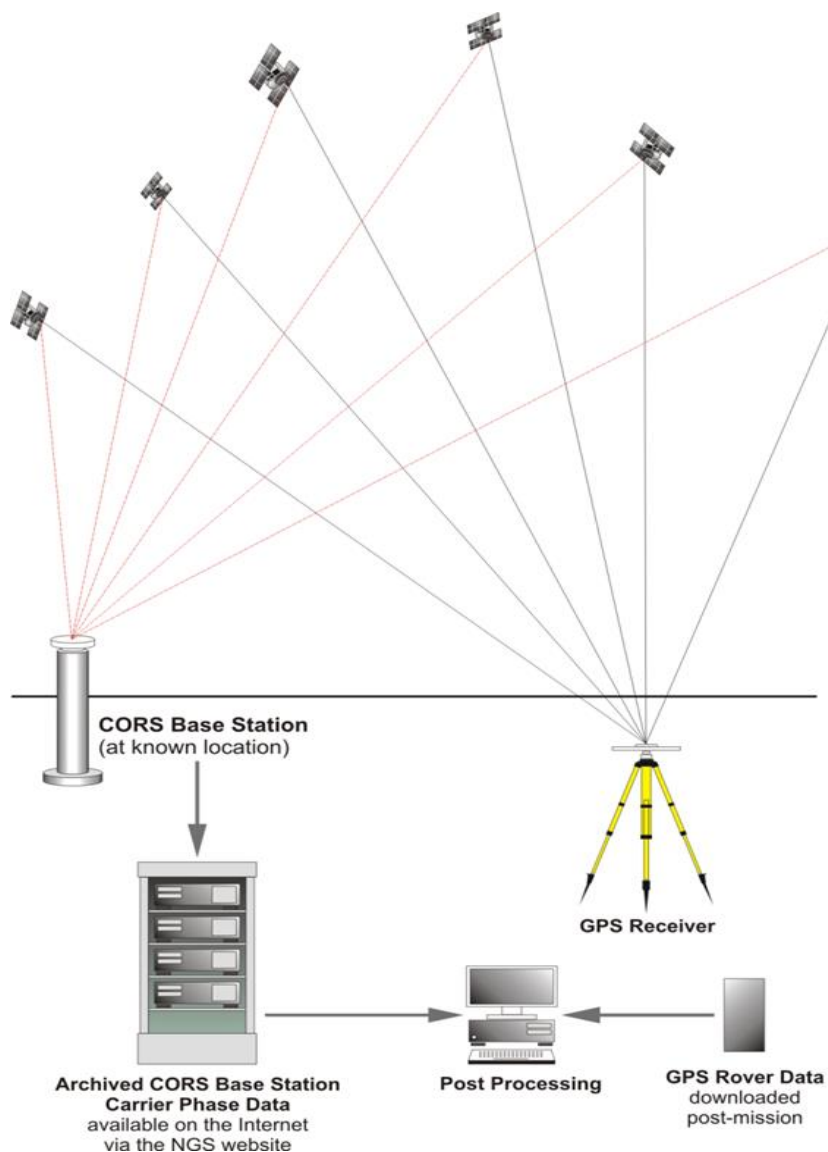
▶ یکی از روش‌های متداول در استفاده از سیستم جی‌پی‌اس است که بدون نیاز به دسترسی به اطلاعات دقیق ساعت و مدارهای ماهواره‌ها، می‌تواند موقعیت را تعیین کند. دقت این روش در حدود ۱ تا ۳ متر است که بسته به شرایط مختلف محیطی ممکن است متغیر باشد.

▶ در این روش، تنها از مشاهدات شبه‌فاصله برای تعیین موقعیت، بدون استفاده از اطلاعات دقیق مسیر و زمانی ماهواره‌ها استفاده می‌شود. به عبارت ساده‌تر، در روش SPP برای تعیین موقعیت، فقط با استفاده از اطلاعات مشاهدات شبه‌فاصله که از ماهواره‌ها دریافت می‌شود، موقعیت مورد نظر به روز و تعیین می‌شود. این روش به دلیل سادگی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

PPP(PRECISE POINT POSITIONING)

▶ یک تکنیک تعیین موقعیت که با استفاده از مشاهدات کد و فاز خطاهای سیستم GNSS را حذف و یا مدل میکند تا موقعیت با استفاده از تنها یک گیرنده، با دقت بالا بدست آید. روش PPP به تصحیحات ساعت و مدار ماهواره‌های GNSS که در یک شبکه از ایستگاه‌های مرجع جهانی تولید می‌شوند وابسته است. به محض اینکه تصحیحات محاسبه شدند، از طریق ماهواره‌ها و یا اینترنت به کاربران ارسال می‌شوند. این تصحیحات توسط گیرنده به کار گرفته شده و منتج به تعیین موقعیت در سطح سانتیمتر و یا بهتر، بدون نیاز به ایستگاه مبنا می‌شوند.

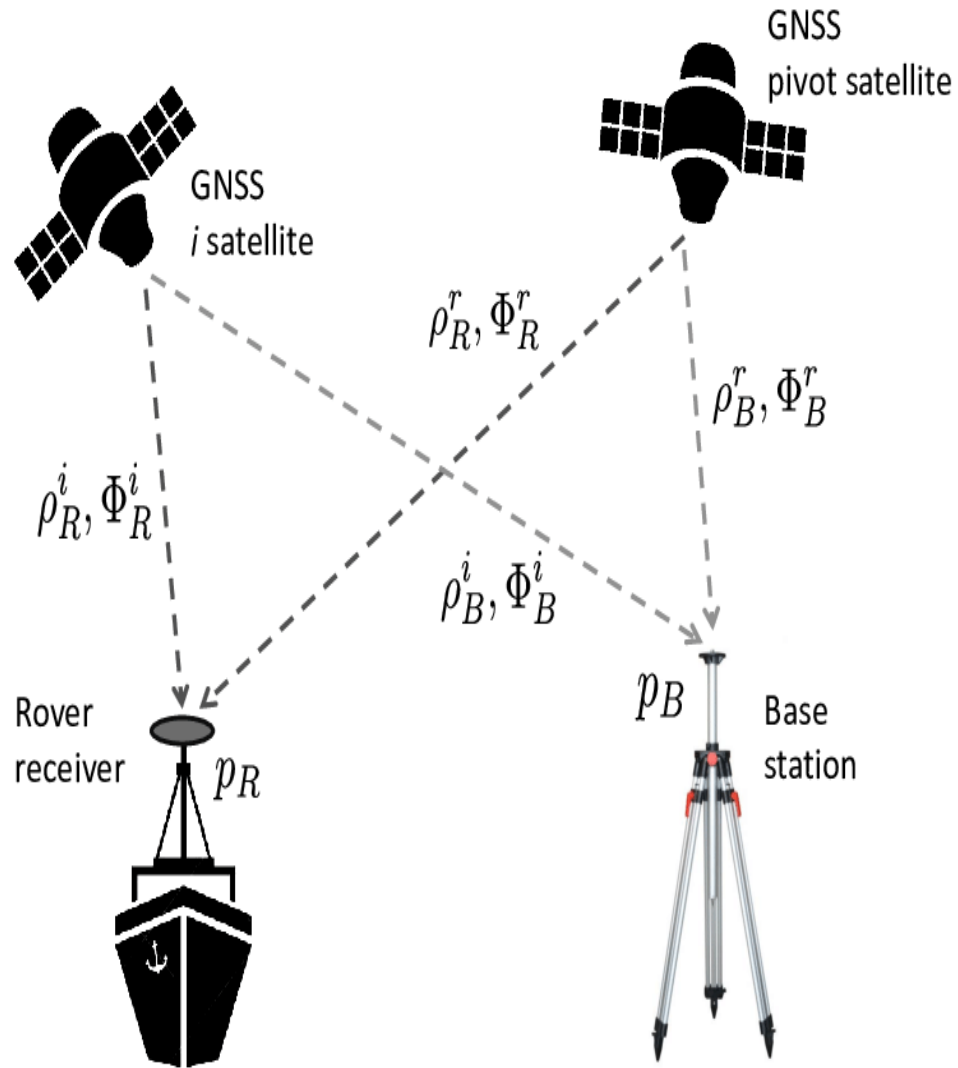
static



روش اندازه‌گیری تعیین موقعیت نسبی به روش استاتیک متشکل از تعدادی گیرنده ثابت است که طی مدت تقریباً ۳۰ دقیقه تا چندین ساعت حداقل تعداد چهار ماهواره را ردیابی می‌کند. در این روش به کمک حداقل دو گیرنده و به طور همزمان مشاهدات (ضربان) فاز و شبه فاصله به ماهواره‌های قابل دید در طول مدت اندازه‌گیری انجام شده، مشاهدات مربوطه پس از اندازه‌گیری به صورت پس پردازش، پردازش می‌شوند. بنابراین، این روش تعیین موقعیت یکی از روش‌های غیر آنی تعیین موقعیت محسوب می‌شود. از این روش در تعیین موقعیت شبکه نقاط کنترل و به طور کلی در تعیین موقعیت دقیق استفاده می‌شود. متناسب با طول موردنظر، اندازه شبکه و مدت زمان اندازه‌گیری در این روش دقت تا زیر سانتی‌متر را می‌توان انتظار داشت. که پس از پردازش، مختصات نقطه مجهول را محاسبه می‌کند. این نوع بررسی در درجه اول برای ایجاد کنترل در جایی که هیچ کنترلی با دقت بسیار بالا وجود ندارد استفاده می‌شود. تعیین موقعیت استاتیک دقیق‌ترین روش تعیین موقعیت با جی پی اس محسوب می‌شود.

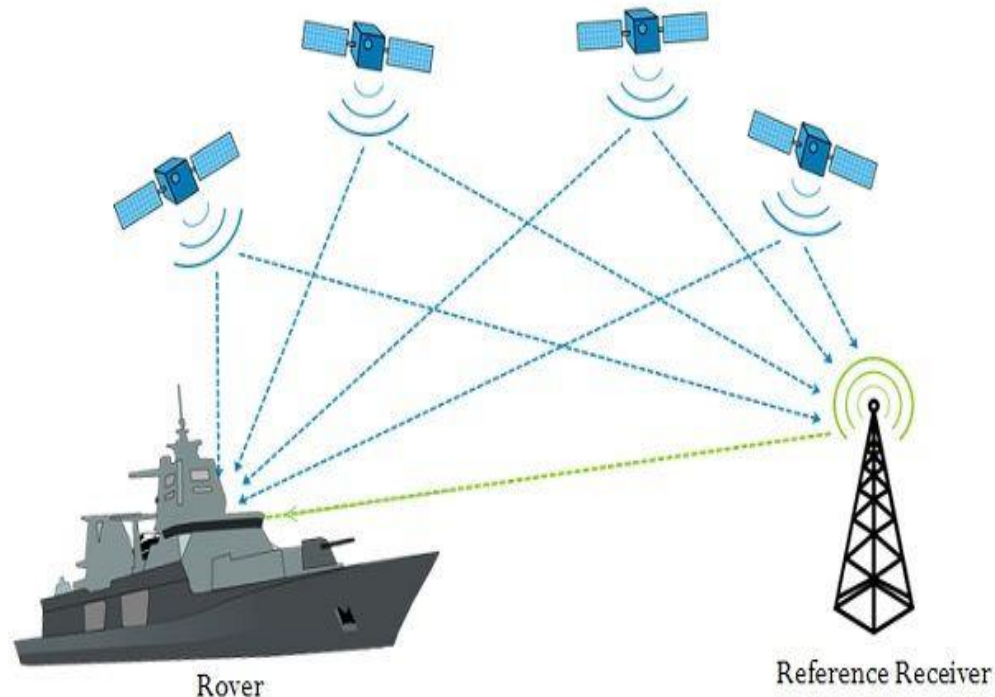
بخش چهارم: انواع روشهای
تعیین موقعیت ماهواره‌ای

Kinematic



این روش زمانی استفاده میشود که
نیاز است موقعیت یک جسم
متحرک مانند ماشین یا کشتی
محاسبه شود

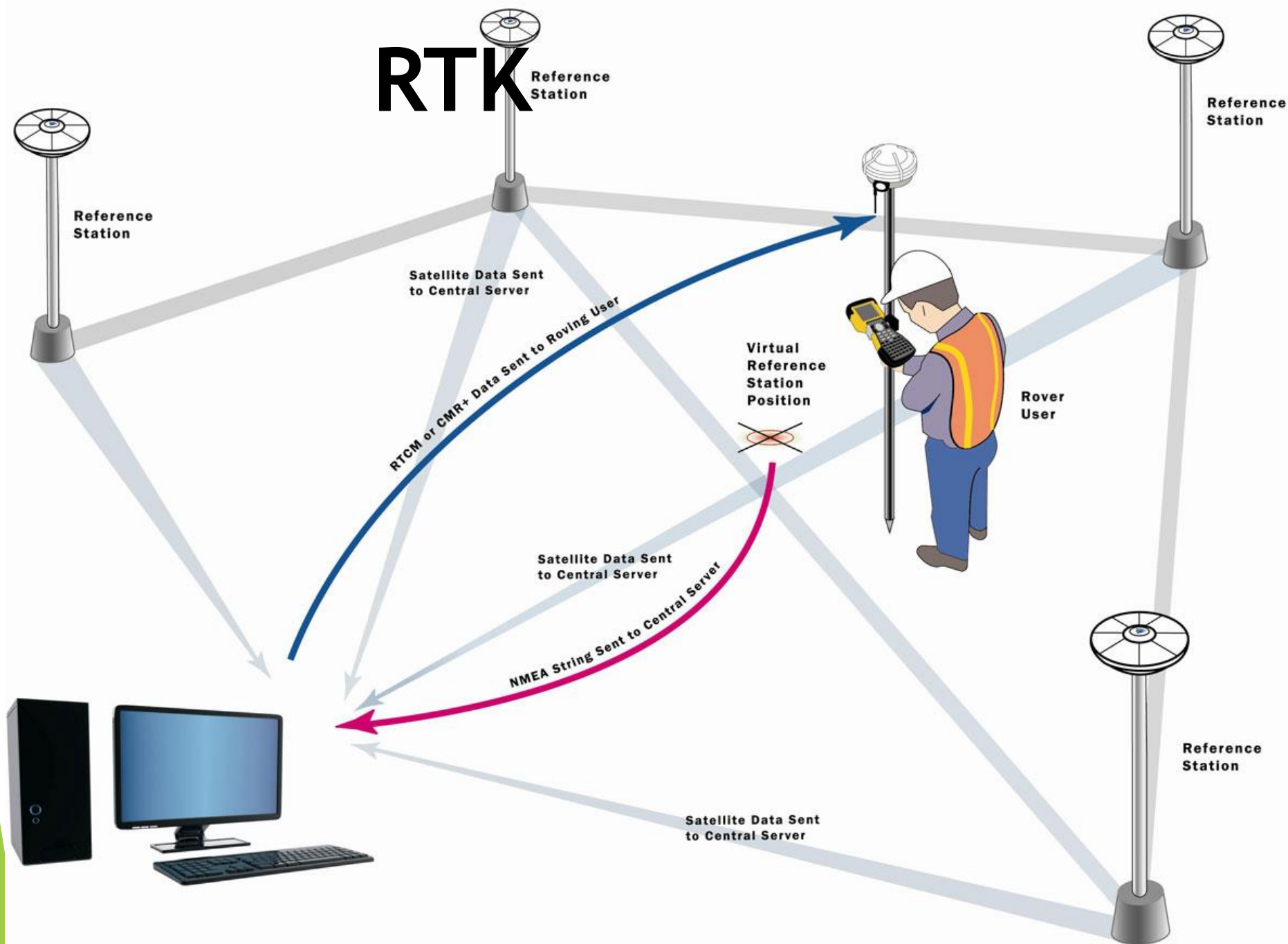
DGPS



بخش چهارم: انواع روشهای
تعیین موقعیت ماهواره‌ای

روش موقعیت یابی تفاضلی بر این فرض بنا شده است که هر دو گیرنده نزدیک به هم (به عنوان مثال در محدوده ای به شعاع چند صد کیلومتر) خطاهای اتمسفری یکسانی را متحمل می شوند. به این دلیل، GPS یا GNSS تفاضلی از حداقل دو گیرنده استفاده می کند. یک گیرنده باید در یک موقعیت (یا نقطه) معلوم و دقیق قرار گیرد؛ این گیرنده به عنوان بیس یا ایستگاه رفرنس (مرجع) در نظر گرفته می شود، و گیرنده دیگر به عنوان گیرنده روور. گیرنده بیس اختلاف بین موقعیت حاصل از ماهواره GNSS و مقدار واقعی و معلوم را محاسبه می کند. این اختلاف به عنوان یک فاکتور تصحیح خطا به گیرنده روور (یا چند گیرنده روور) به منظور تصحیح مشاهدات ارسال می شود. این اطلاعات تصحیح شده را می توان به صورت آنی در عملیات میدانی با استفاده از سیگنال های رادیویی به کار گرفت، یا از طریق پس پردازش بعد از جمع آوری دیتا با استفاده از نرم افزار پردازش مخصوص استفاده کرد.

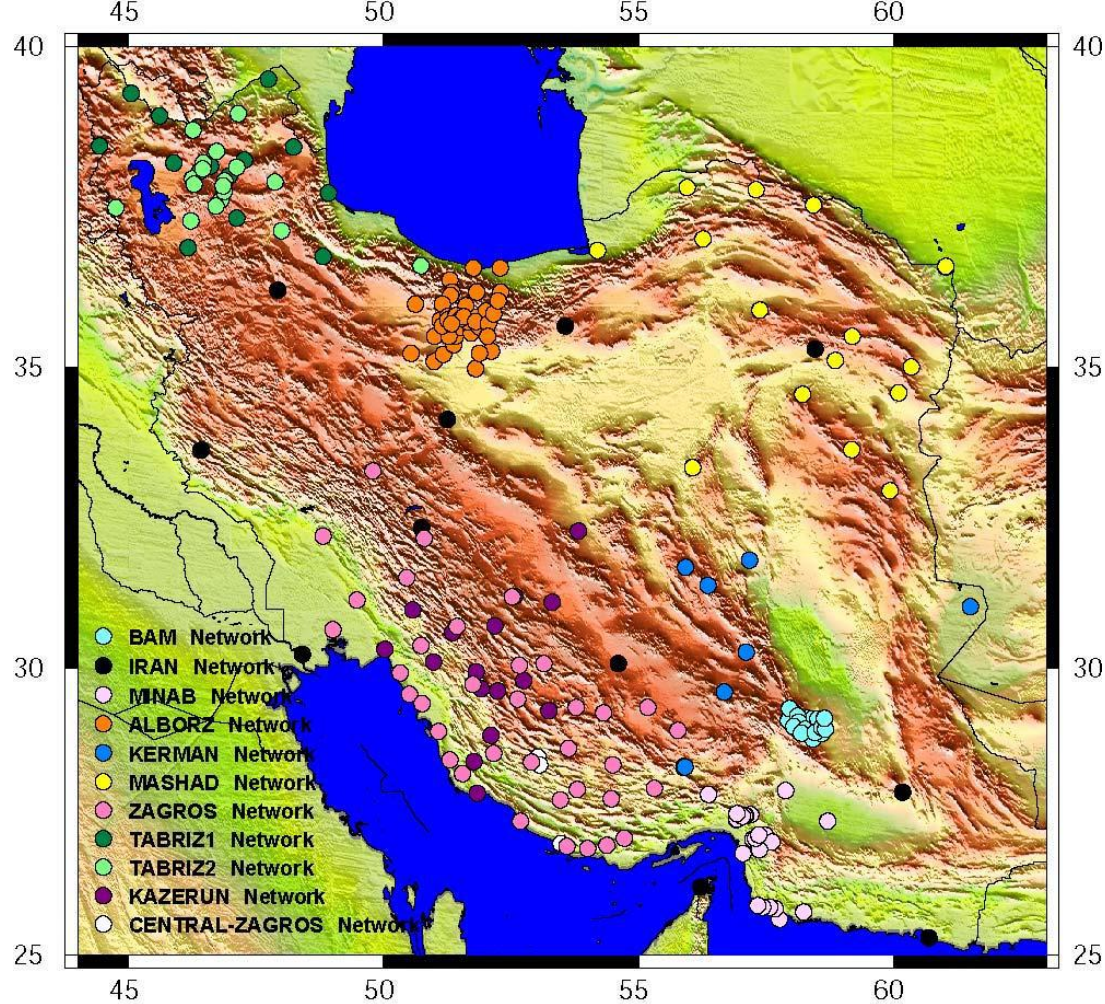
بخش چهارم: انواع روشهای
تعیین موقعیت ماهواره‌ای



REAL TIME KINEMATIC

▶ روش تعیین موقعیت آنی، RTK، در اواسط دهه ۹۰ توسط سازندگان GPS ارائه گردید که با استفاده از آن می‌توان به صورت آنی به دقت‌های مورد نظر در نقشه‌برداری دست یافت. در روش RTK کاربر برای تعیین موقعیت به طور معمول نیاز به یک ایستگاه مرجع در فاصله حداکثر ۱۰ کیلومتری دارد تا بتواند به دقت سانتیمتری در تعیین موقعیت دست یابد.

▶ وجه تشابه DGPS و RTK در این است که هر دو تکنیک، از دو گیرنده بهره می‌برند. گیرنده مبنا، روی یک نقطه با مختصات معلوم تنظیم شده است. گیرنده متحرک نیز شما هستید. داده‌ها در گیرنده مبنا جمع‌آوری می‌شوند. تفاوت این دو روش این است که در روش RTK، این داده‌ها به صورت آنی به گیرنده متحرک فرستاده می‌شوند ولی در روش DGPS، این داده‌ها، ذخیره می‌شوند تا در مراحل بعدی پردازش شوند.



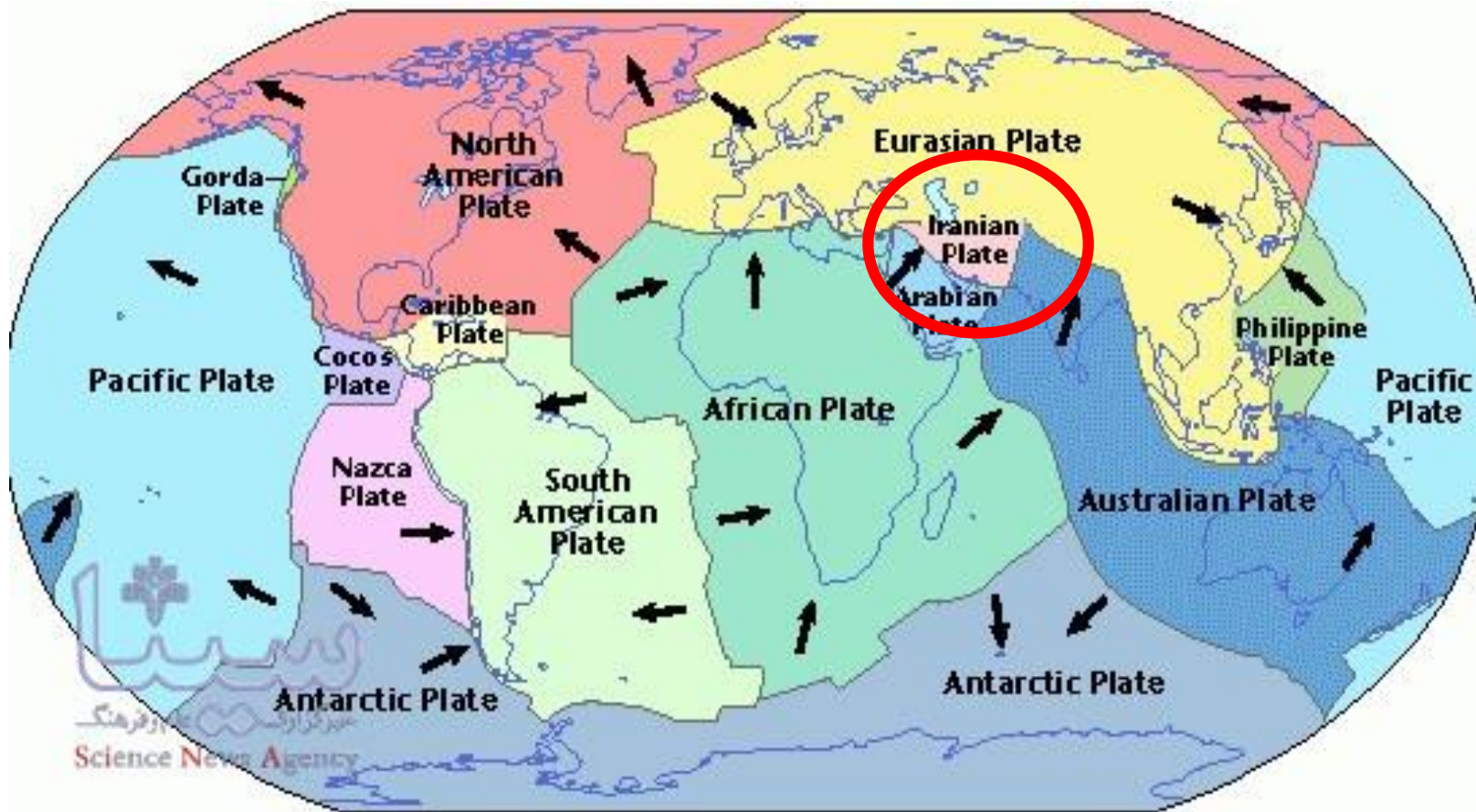
بخش پنجم

شبکه سراسری ژئودینامیک کشور

مقدمه:

نظریه زمین ساخت صفحه‌ای

▶ نظریه زمین ساخت صفحه‌ای به بررسی و مطالعه حرکات وسیع مقیاس در پوسته زمین می‌پردازد. براساس این نظریه، پوسته کره زمین از صفحاتی تشکیل می‌شود که شامل ۷ یا ۸ صفحه اصلی است و در مواردی خود از تعدادی صفحه کوچکتر ساخته شده است. این صفحات به‌صورت مداوم در حال حرکت هستند و بر اثر برخورد این صفحات، پدیده‌هایی همچون زلزله، شکستگی، کوه، درازگودال، چین خوردگی و دیگر پدیده‌ها حاصل می‌شود. میزان حرکت این صفحات از کمترین حد یعنی صفر میلی‌متر در سال تا بیشترین حد، در حدود ۱۰۰ میلی‌متر در سال، بسته به نوع، جایگاه و شرایط آن‌ها تخمین زده می‌شود. صفحه ایران صفحه تکتونیکی کوچکی است که با صفحات اوراسیا، عربستان، هند-استرالیا و آدریاتیک-ترکیه-یونان هم‌مرز است و ایران و افغانستان و بخش‌هایی از پاکستان و عراق را دربر می‌گیرد



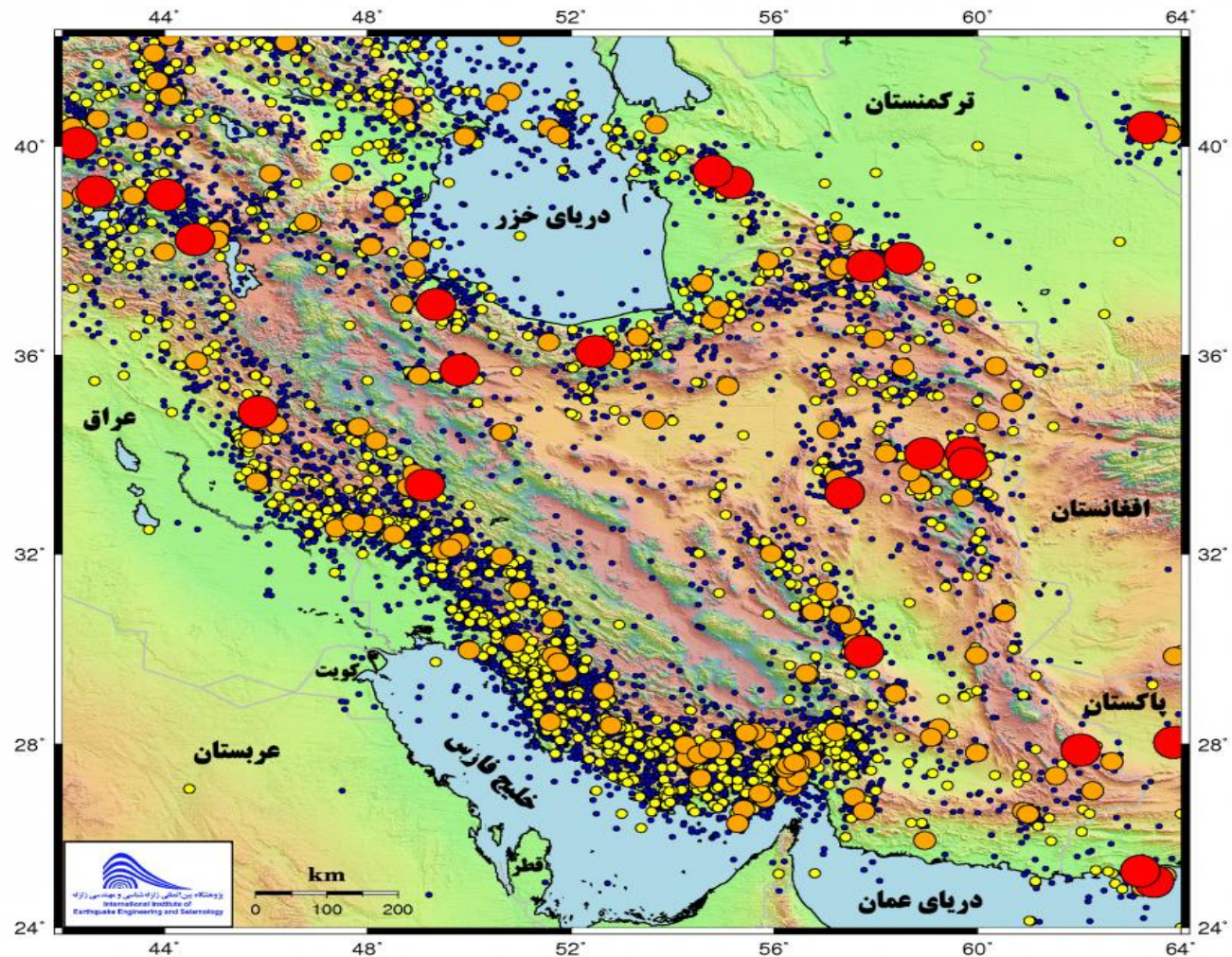
موقعیت صفحه ایران در صفحات تکتونیکی زمین

► دریای تتیس که زمانی تمام ایران را می پوشاند در آغاز دوره نوزیستی در ۶۵ میلیون سال پیش تقریباً از بین رفت؛ از سوی دیگر آنچه که امروزه با عنوان منطقه دریای سرخ - خلیج عدن می شناسیم در حال گسترش بیشتری بود. در نتیجه این رویداد، بخشی بزرگ به نام صفحه عربستان جدا شد و شروع به حرکت به سمت شمال-شرق نمود. حرکت این صفحه، صفحه ایران را به شدت فشرد و باعث شد تا کوه های زاگرس ارتفاع یابند. این جابجایی صفحه ای امروز نیز در جریان است و بیشتر زمین لرزه های ایران در مرز برخورد این دو صفحه در منطقه زاگرس متمرکز است. همچنین صفحه ایران در نقطه ای جنوبی تر (در مکران واقع در جنوب شرقی ایران) با پوسته اقیانوسی برخورد نمود که این پوسته به زیر صفحه ایران رفت. نتیجه این برخورد پدید آمدن رشته کوه هایی عظیم بود؛ اما در مقایسه با منطقه زاگرس، فعالیت های زمین لرزه ای کمتری در اینجا وجود دارد. بنابراین کشور ایران به دلیل قرار گرفتن میان صفحات عربستان و اوراسیا مدام در حال تغییر شکل و حرکت است که این حرکات پوسته ای گاه منجر به زمین لرزه های ویرانگری شده که خسارات جانی و مالی فراوانی بر جای گذاشته است.

Seismicity Map of Iran

نقشه لرزه خیزی ایران

بخش پنجم: شبکه سراسری
ژئودینامیک کشور

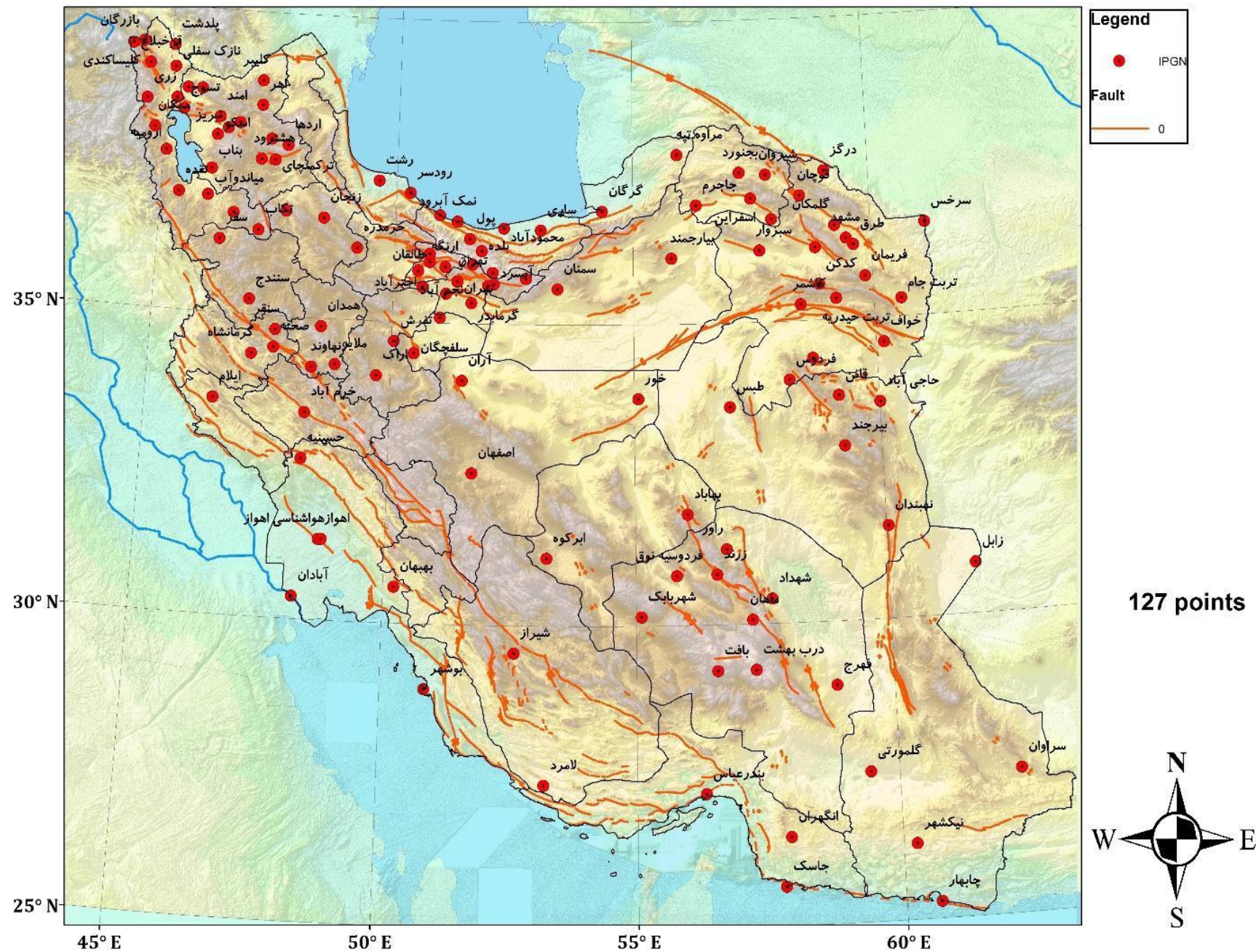


8916 events during 1900/01/01 to 2020/05/10			
Magnitude			
● $4 \leq M < 5$	● $5 \leq M < 6$	● $6 \leq M < 7$	● $7 \leq M \leq 8$
N=7466	N=1277	N=150	N=23

ایجاد شبکه سراسری ژئودینامیک کشور

▶ با توجه به لرزه‌خیزی کشور ایران و زلزله‌های مرگباری که در این منطقه جغرافیایی روی داده است، لزوم انجام پایش تغییرات پوسته زمین و حرکات تکتونیکی مربوط به آن احساس می‌شد. مطالعات ژئودینامیک از دیرباز مورد توجه پژوهشگران بوده و سازمان نقشه‌برداری کشور به‌عنوان یکی از متولیان این امر با همکاری سازمان زمین‌شناسی کشور، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و پژوهشگاه زلزله‌شناسی تحقیقات ارزنده‌ای در این زمینه انجام داده است. پس از زلزله ویرانگر بم در سال ۱۳۸۲، ایده اولیه ایجاد شبکه‌ای سراسری و دائمی از ایستگاههای GPS مطرح شد تا حرکات پوسته زمین و ساز و کار گسله‌های موجود در کشور مورد بررسی قرار گیرد. در راستای تحقق این ایده، شبکه ایستگاههای دائمی موسوم به شبکه دائمی ژئودینامیک کشور توسط سازمان نقشه‌برداری ایجاد گردید و فاز اول آن شامل ۱۰۶ ایستگاه در اوایل دی‌ماه ۱۳۸۵ به بهره‌برداری رسید. محل استقرار این ایستگاهها با توجه به تراکم جمعیت و لرزه‌خیزی منطقه انتخاب شده بود. این شبکه به‌مرور زمان و با خرید گیرنده‌های جدید گسترش یافت و در سال ۱۳۹۲ تعداد ایستگاههای آن به ۱۲۷ ایستگاه رسید. این شبکه هم‌اکنون با ۱۱۰ ایستگاه در سراسر ایران در حال فعالیت است.

بخش پنجم: شبکه سراسری ژئودینامیک کشور



نمای کلی از یک ایستگاه ژئودینامیک

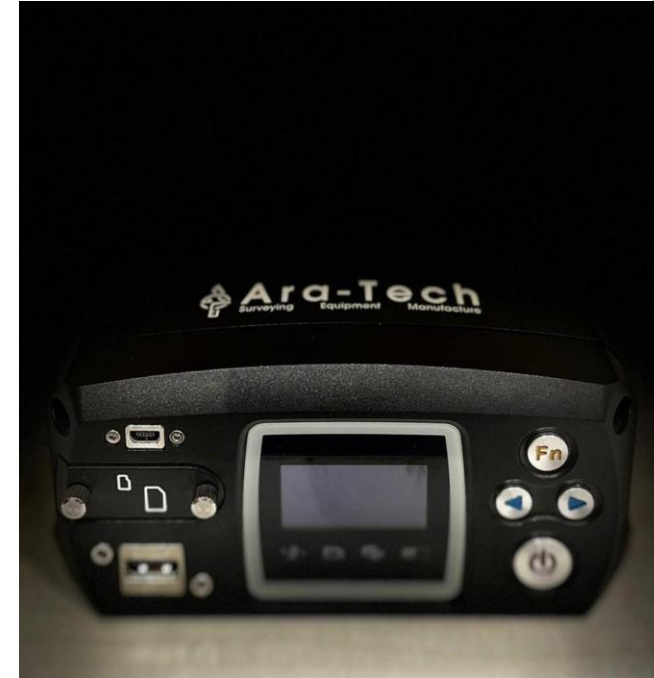
نصب شده به صورت پشت بامی



نصب شده بر روی پیلار



تجهیزات مستقر در ایستگاه (انواع گیرنده)



تجهیزات مستقر در ایستگاهها (انواع آنتن)



تجهیزات مستقر در ایستگاه (سنسور هواشناسی)



حسگر هواشناسی بر روی ۴۹ ایستگاه از ایستگاههای شبکه ژئودینامیک نصب شده است و از داده های آن می توان جهت اهداف هواشناسی استفاده نمود.

تجهیزات مستقر در ایستگاهها (مودم)



تجهیزات مستقر در ایستگاه (انواع رک)



تجهیزات مستقر در ایستگاه (UPS)



نحوه جمع آوری اطلاعات ایستگاههای ژئودینامیک

► داده‌های ارسالی از ماهواره‌ها نظیر مشاهدات کد، فاز موج حامل، اطلاعات مداری ماهواره‌ها و سایر اطلاعات مورد نیاز در فاصله زمانی ۲۴ ساعت و با نرخ ۳۰ ثانیه در گیرنده‌های ایستگاه‌های ژئودینامیک ذخیره می‌شوند. داده‌های خام ذخیره شده در هر گیرنده با فرمت خاصی ذخیره می‌شود که متفاوت از گیرنده‌های دیگر است. به منظور جلوگیری از معرفی فرمت‌های مختلف به نرم‌افزارهای پردازش داده‌ها، فرمت استاندارد راینکس برای پس‌پردازش این داده‌ها تعریف شده است. این فرمت داده شامل سه نوع فایل اسکی مشاهدات، اطلاعات ناوبری و اطلاعات اتمسفری و هواشناسی است. در صورت آنلاین بوده گیرنده، این داده‌ها به صورت مستقیم از گیرنده تخلیه می‌شود. در صورتی که گیرنده آفلاین باشد، این اطلاعات با حضور در محل ایستگاه و به وسیله کابل تخلیه گیرنده و نرم‌افزار مایکرومنیجر، تخلیه می‌شود.

بخش پنجم: شبکه سراسری ژئودینامیک کشور

```

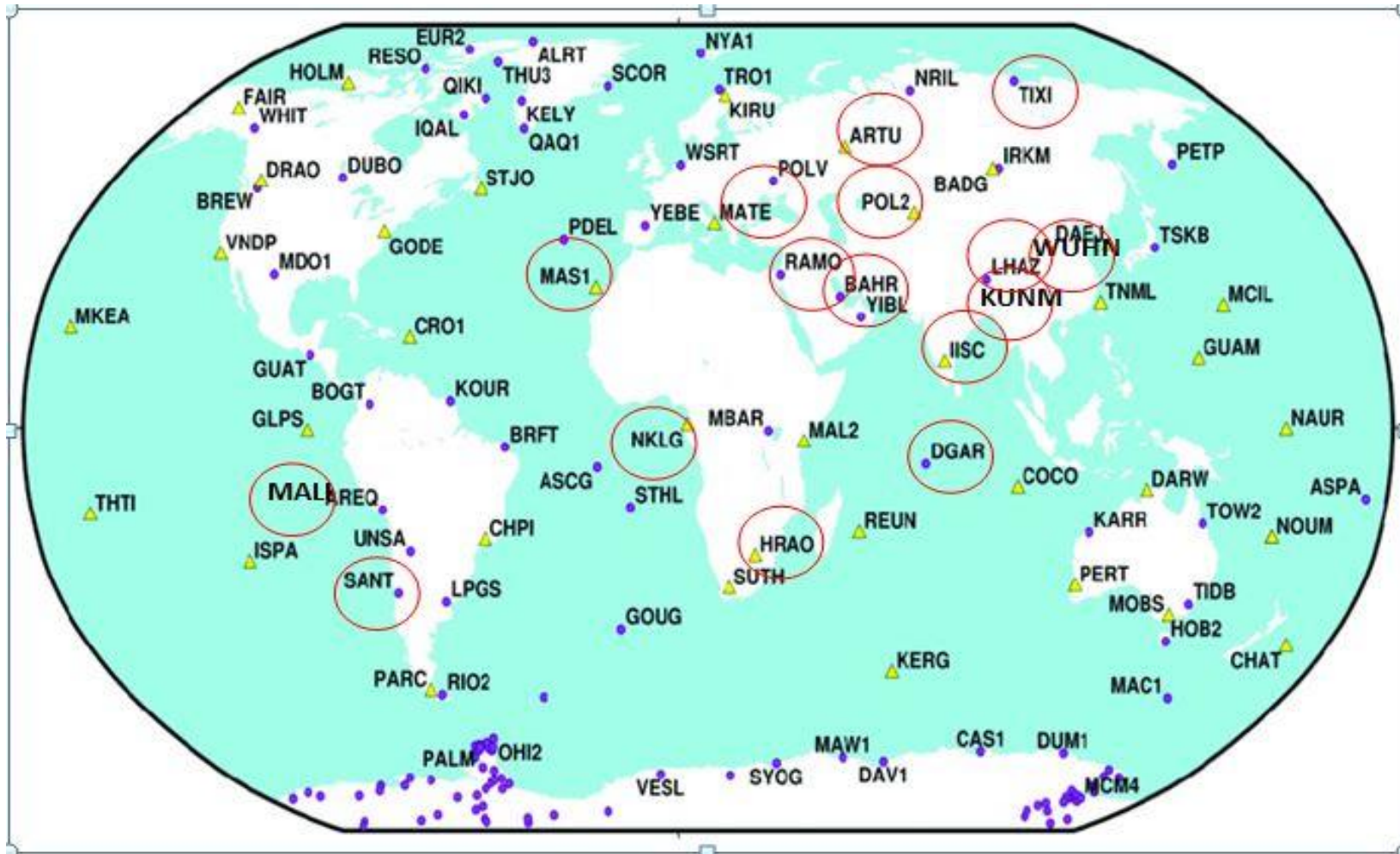
3.02      OBSERVATION DATA  M (MIXED)      RINEX VERSION / TYPE
BLANK OR G = GPS, R = GLONASS, E = GALILEO, M = MIXED COMMENT
CHC Navigation    CHC Navigation    06-12-24 03:29 PGM / RUN BY / DATE
AKHT MARKER NAME
AKHT MARKER NUMBER
whoever CHC Navigation OBSERVER / AGENCY
Unknown HITARGET 2.0 REC # / TYPE / VERS
Unknown HITAT35101CR HITS ANT # / TYPE
3296595.1236 4013422.1571 3691883.5891 APPROX POSITION XYZ
0.1440 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
G 9 C1C C2W C5I L1C L2W L5I S1C S2W S5I SYS / # / OBS TYPES
R 7 C1C C1P C2P L1C L2P S1C S2P SYS / # / OBS TYPES
C 9 C1I C7I C6I L1I L7I L6I S1I S7I S6I SYS / # / OBS TYPES
E 15 C1X C5X C7X C8X C6X L1X L5X L7X L8X L6X S1X S5X S7X SYS / # / OBS TYPES
S8X S6X SYS / # / OBS TYPES
30.000 INTERVAL
2024 12 6 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
1 1 1 0 0 0.0000000 GPS TIME OF LAST OBS
0 RCV CLOCK OFFS APPL
18 LEAP SECONDS
HUACE ANT REFERENCEPOINT COMMENT
> 2024 12 06 00 00 0.0000000 0 21 END OF HEADER
G02 25127522.912 25127527.147 0.000 132046044.906 102893011.283 0.000 37.000 22.000 0.000
G08 21726411.901 21726420.210 21726416.065 114173021.778 88966053.742 85259120.840 46.000 47.000 50.000
G10 21167581.777 21167590.086 21167585.101 111236507.068 86677883.067 83066300.335 50.000 54.000 53.000
G18 24633490.601 24633496.426 24633498.160 129449774.687 100870120.856 96667219.649 36.000 20.000 41.000
G21 23133782.101 23133787.676 0.000 121568811.494 94728997.084 0.000 44.000 30.000 0.000
G23 23081009.408 23081016.001 23081016.591 121291677.437 94513105.249 90575052.748 41.000 30.000 46.000
G24 24453080.531 24453090.663 24453086.482 128501881.155 100131318.558 95959154.569 34.000 28.000 39.000
G27 21535601.185 21535610.316 21535606.135 113170353.686 88184746.435 84510336.046 48.000 52.000 52.000
G28 24853234.839 24853242.130 24853243.702 130604607.777 101769882.991 97529465.796 32.000 16.000 37.000
G32 20702354.027 20702362.015 20702358.030 108791657.123 84772813.302 81240582.468 54.000 55.000 53.000
R01 19931813.077 19931811.397 19931817.527 106547210.111 82869976.123 46.000 44.000
R02 19757821.829 19757820.489 19757825.867 105431814.053 82002443.032 51.000 51.000
R03 23427922.622 23427921.086 23427927.608 125411542.360 97542302.599 32.000 33.000
R17 20528333.402 20528332.258 20528337.762 109851331.872 85439890.885 48.000 48.000
R23 23208008.289 23208007.270 0.000 124147260.923 0.000 38.000 0.000

```

یک نمونه فایل راینکس ذخیره شده در گیرنده

پردازش اطلاعات دریافت شده از ایستگاهها

► داده‌های آرشیو شده در بخش پردازش مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای پردازش این داده‌ها از نرم‌افزار گامیت-گلوبک استفاده می‌شود که یک نرم‌افزار علمی با دقت بالا برای پردازش داده‌های GPS است. این نرم‌افزار توسط انستیتو فناوری ماساچوست توسعه یافته و تحت سیستم عامل لینوکس اجرا می‌شود. برای پردازش داده‌های ژئودینامیک، از پارامترهای مداری دقیق استفاده می‌شود که معمولاً با سه الی چهار هفته تأخیر در سایت‌های مربوطه قرار می‌گیرد. همچنین برای دستیابی به دقت بیشتر و نیز اتصال به شبکه جهانی، از برخی ایستگاههای جهانی GPS نیز در پردازش این شبکه استفاده می‌شود. این ایستگاهها در سراسر جهان پراکنده‌اند و اطلاعات مربوط به آنان نظیر فایل راینکس، مختصات، سری زمانی و سایر مشخصات ایستگاه برای عموم قابل دسترس است. برای ورود این ایستگاهها به پردازش داده‌های ژئودینامیک، پارامترهایی نظیر قدمت ایستگاه و کمیت و کیفیت داده‌های آن مدنظر قرار می‌گیرد ضمن اینکه سری زمانی ایستگاه نیز از جهت فرونشست و خطاهای سیستماتیک بررسی می‌شود.



پراکندگی ایستگاههای IGS مورد استفاده در پردازش طرح سراسری ژئودینامیک

نتایج حاصل از پردازش داده‌های ژئودینامیک

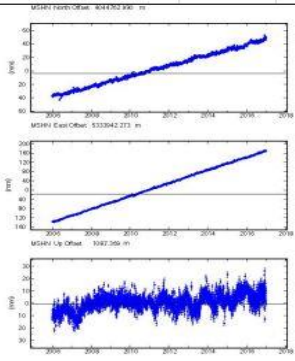
- ▶ مختصات دقیق ایستگاه‌ها به همراه دقت محاسبات
- ▶ بردار سرعت ایستگاه‌ها
- ▶ سری زمانی تغییرات ایستگاه‌ها
- ▶ محاسبه چارچوب مرجع مختصات ملی

بخش پنجم: شبکه سراسری ژئودینامیک کشور



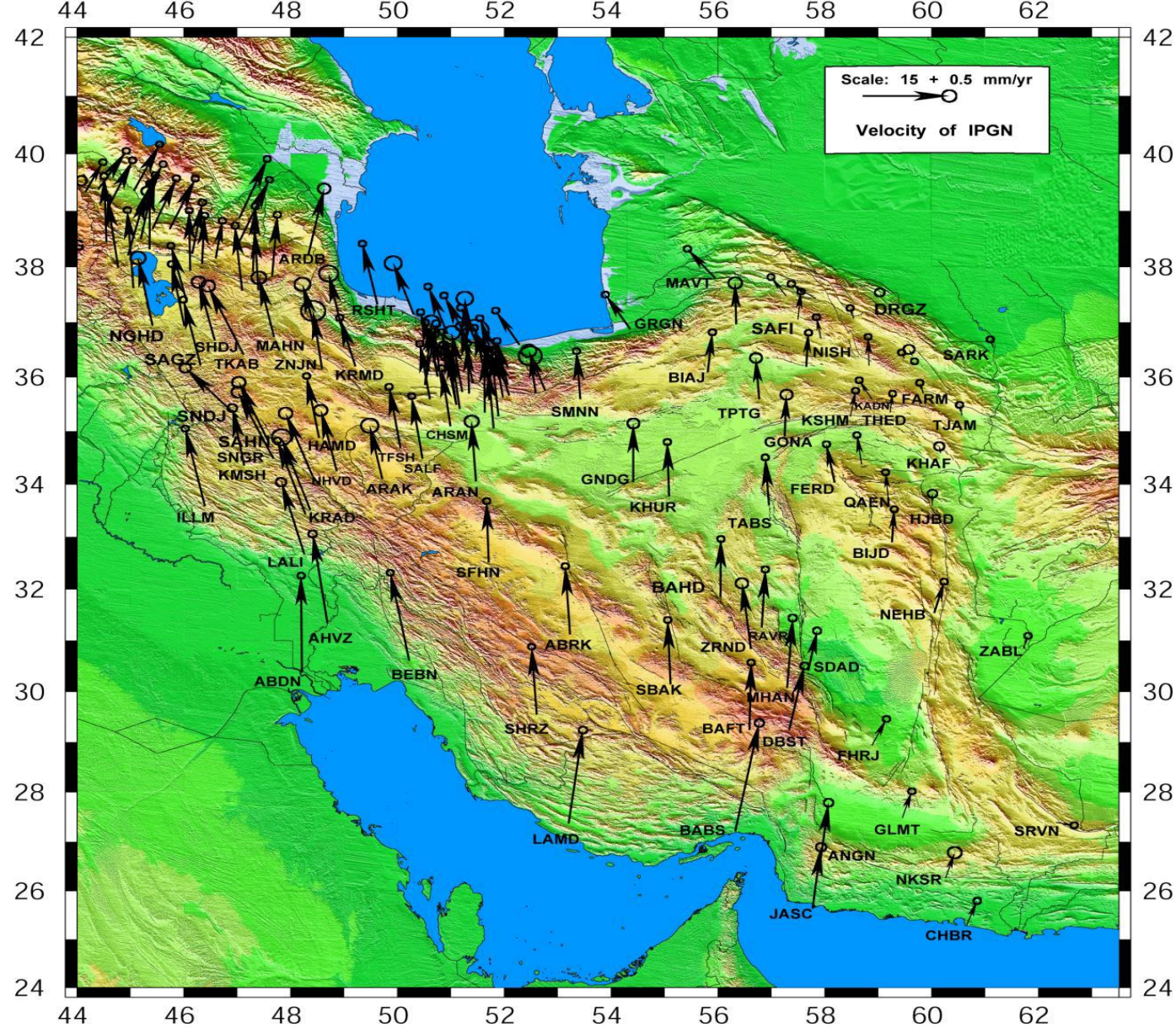
N. C. C.

شناسنامه ایستگاه دائمی ژئودینامیک و GNSS
Description Form of Permanent Geodynamic and GNSS Station

مختصات:																													
نام ایستگاه: مشهد			کد استاندارد: MSHN			استان: خراسان رضوی																							
Station Name: MASHHAD			Standard code: MSHN			Province: KHORASAN RAZAVI																							
شهرستان: مشهد			تاریخ راه اندازی: ۱۳۸۱/۰۵/۱۰			سایر اطلاعات: ساختمان قدیم سازمان نقشه برداری																							
Town: MASHHAD			Date of installation: 2002/08/01			Further Information:																							
مختصات:																													
توضیحات	ایک مرجع	بیضوی مرجع	ارتفاع بیضوی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	مبنای مختصاتی ملی																							
Descriptions	Reference epoch	Ellipsoid	Height (m)	Longitude	Latitude	Iranian Geodetic Datum																							
مبنای مسطحی قدیم	2010.01.01	WGS84 (original)	1086.8566	47.31716	36.20	IRGD2010																							
بر هارمونی مرجع مختصات ITRF2014	2017.01.01	GRS80	1087.6637	47.351413	36.20	IRGD2017																							
مبنای مسطحی قدیم بروزر شده	2017.01.01	WGS84 (original)	1087.1336	47.317195	36.20	IRGD2010_R1																							
تجهیزات مستقر در ایستگاه:																													
گیرنده	آنتن	ارتفاع آنتن	Phase center offset(vertical)		مدت استقرار																								
Receiver	Antenna	Height of antenna	L2	L1	Duration																								
TRIMBLE4000SSI	TRM29659.00	0.000	0.0905	0.1177	2002(213)-2004(355)																								
ASHTech UZ-12	ASH701945G_M	0.000	0.0915	0.1202	2004(356) UP TO NOW																								
توضیحات:																													
IRGD2010: مبنای مسطحی قدیم کشور IRGD2017: مبنای مسطحی جدید کشور منطبق با تعیین موقعیت نقطه‌ای دقیق (PPP) در ایک مرجع 2017.01.01 IRGD2010_R1: مبنای مسطحی قدیم بروزر شده پس از حذف اثرات حرکات پوسته (سازگار با نقشه‌های قدیمی موجود) • داده‌ها بصورت 22 ساعته و با نرخ 30 ثانیه و با استفاده از پارامترهای مداری دقیق (IGS) پردازش شده است. • پارامترهای ترانسفورماسیون از مبنای مسطحی IRGD2017 به IRGD2010 بر اساس مدل Molodensky-Badekas با نقطه مرکزی ($\phi = 32^\circ, \lambda = 54^\circ, h = 1200m$) <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">پارامترهای انتقال</th> <th colspan="2">پارامترهای دوران</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$t_x(m)$</td> <td>0.729</td> <td>$\epsilon_x(^{\circ})$</td> <td>-0.005836</td> </tr> <tr> <td>$t_y(m)$</td> <td>-0.416</td> <td>$\epsilon_y(^{\circ})$</td> <td>-0.007477</td> </tr> <tr> <td>$t_z(m)$</td> <td>-0.921</td> <td>$\epsilon_z(^{\circ})$</td> <td>-0.002842</td> </tr> <tr> <td colspan="2">مقیاس</td> <td>$k(ppm)$</td> <td>0.014070</td> </tr> </tbody> </table>										پارامترهای انتقال		پارامترهای دوران		$t_x(m)$	0.729	$\epsilon_x(^{\circ})$	-0.005836	$t_y(m)$	-0.416	$\epsilon_y(^{\circ})$	-0.007477	$t_z(m)$	-0.921	$\epsilon_z(^{\circ})$	-0.002842	مقیاس		$k(ppm)$	0.014070
پارامترهای انتقال		پارامترهای دوران																											
$t_x(m)$	0.729	$\epsilon_x(^{\circ})$	-0.005836																										
$t_y(m)$	-0.416	$\epsilon_y(^{\circ})$	-0.007477																										
$t_z(m)$	-0.921	$\epsilon_z(^{\circ})$	-0.002842																										
مقیاس		$k(ppm)$	0.014070																										
																													

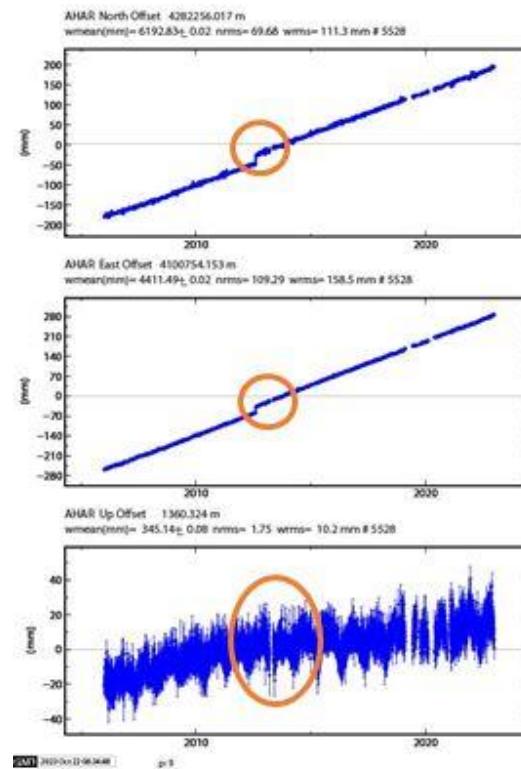
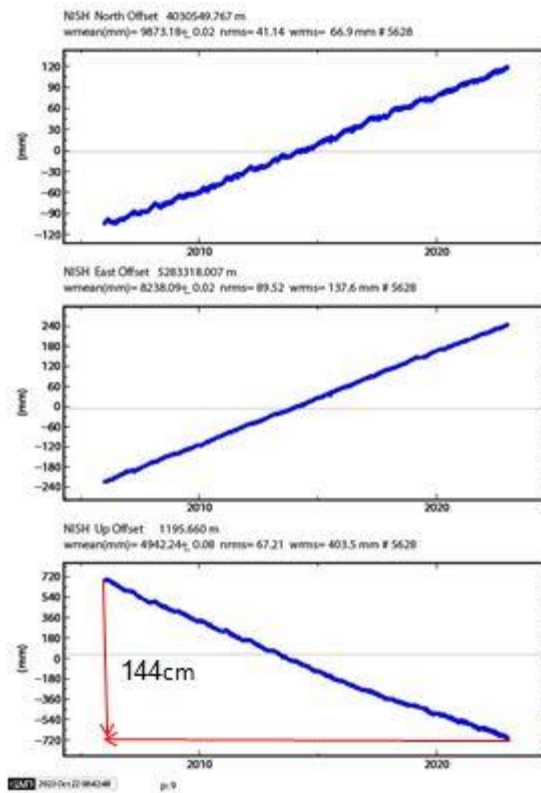
نمونه‌ای از شناسنامه نقاط ژئودینامیک شامل مشخصات ایستگاه، مختصات دقیق و سری زمانی

بخش پنجم: شبکه سراسری
ژئودینامیک کشور



بردار سرعت ایستگاههای ژئودینامیک

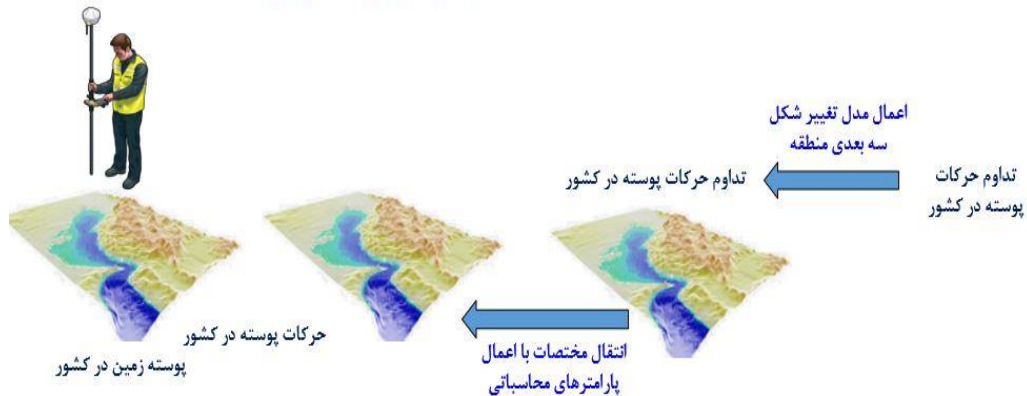
محاسبه سری زمانی تغییرات ایستگاههای ژئودینامیک



محاسبه چهارچوب مرجع مختصات ملی IRGD

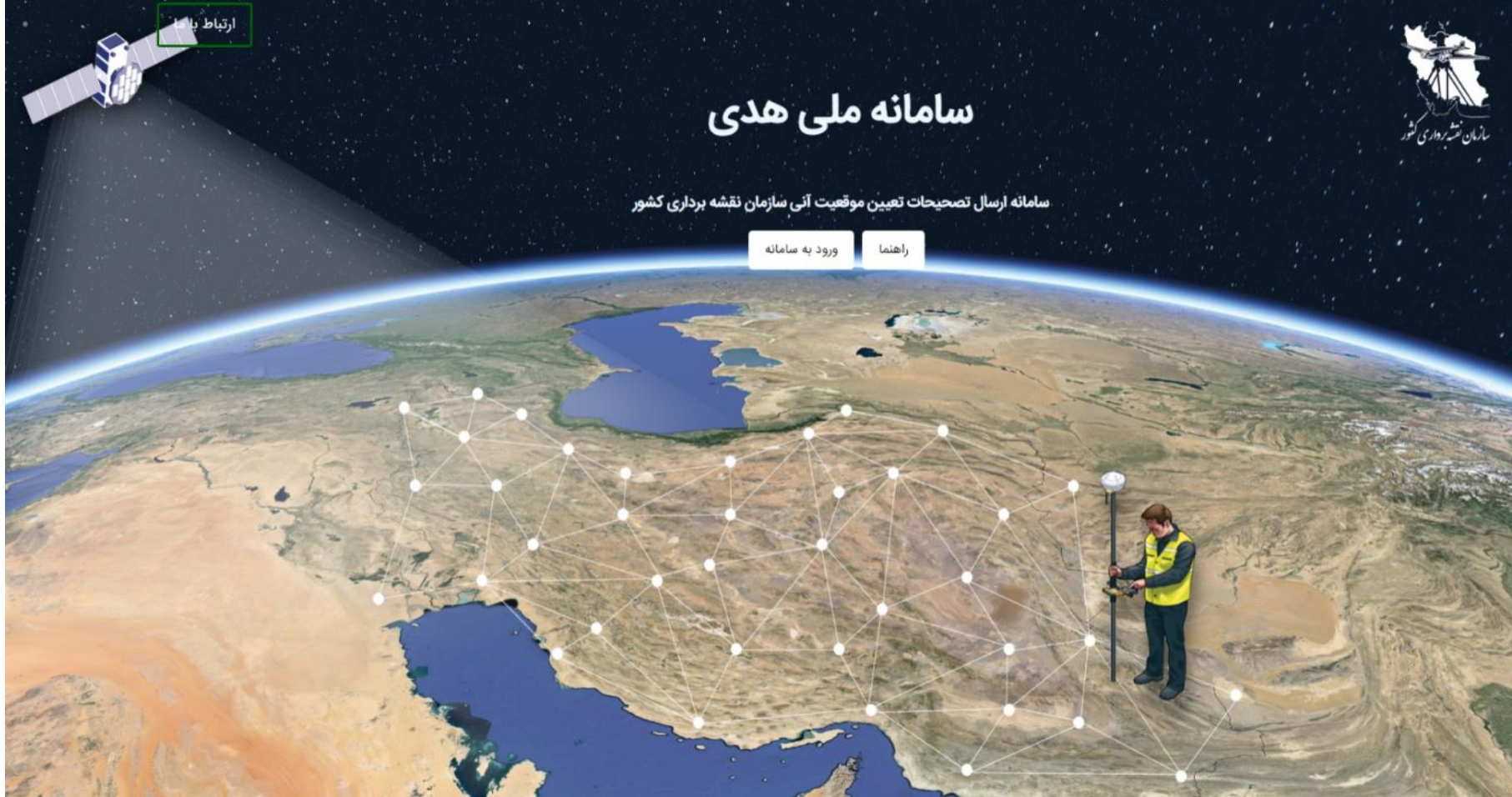
فرایند تعیین موقعیت نقاط و عوارض بر روی نقشه
با توجه به تغییرات پوسته زمین در کشور

در نظر گرفتن یک اپک زمانی
(لحظه) مشخص به عنوان
چارچوب مرجع مختصاتی ملی



بر اساس پردازش داده های شبکه های مبنایی سازمان نقشه برداری کشور

از آنجایی که ایستگاههای شبکه مبنایی کشور بر روی صفحات تکتونیکی قرار دارند، تغییرات این صفحات نسبت به هم موجب می شود که مختصات نقاط در چارچوب مرجع مختصات جهانی تغییر کند. این مختصات متغیر در زمان برای استفاده در پروژه های اجرایی مناسب نیست. از این رو برای رفع وابستگی مختصات به زمان، معمولا از مبنای مسطحاتی ملی یا منطقه ای با در نظر گرفتن اپک مرجع استفاده می شود. لازم به ذکر است که آخرین به روز رسانی مبنای مسطحاتی کشور تحت عنوان IRGD2017 ارائه شده و با توجه به نیاز کاربران، مبنای مسطحاتی قدیم کشور نیز با عنوان IRGD2010_R1 به روز رسانی گردید.



بخش هفتم

سامانه ملی هدی و سامانه پشتیبان هدی پرو
سامانه ارسال تعیین موقعیت آبی به کاربران

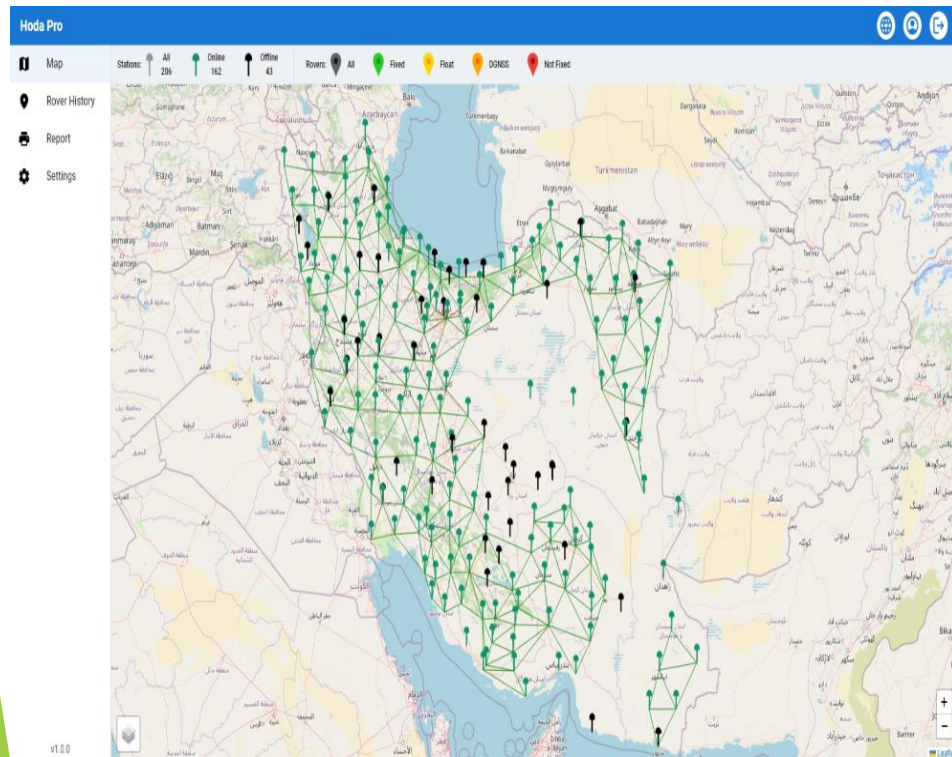
سامانه ملی هدی

سامانه ارسال تصحیحات تعیین موقعیت آنی

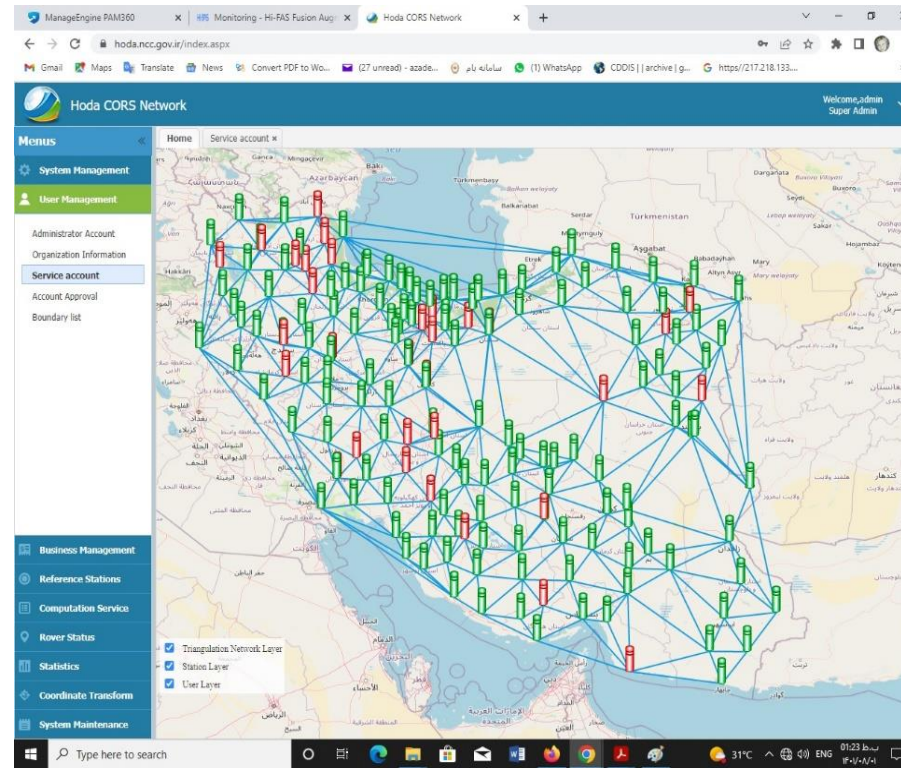
در سال ۱۳۸۹ طرحی در سازمان نقشه‌برداری کشور به تصویب رسید که براساس آن تعدادی ایستگاه GNSS به ایستگاههای GPS طرح سراسری ژئودینامیک اضافه شد. برخلاف آنالیز داده‌های شبکه ژئودینامیک که به صورت پس‌پردازش انجام می‌شود، این طرح به منظور تولید تصحیحات آنی برای کاربران طراحی شد. به همین دلیل گیرنده این ایستگاهها از نوع GNSS بود به این معنی که علاوه بر ماهواره‌های GPS، می‌توانست سیگنال سایر ماهواره‌ها از قبیل گلوناس، بیدو، گالیلئو و ... را نیز دریافت کند. این ایستگاهها علاوه بر تولید تصحیحات آنی، در طرح شبکه ژئودینامیک نیز مورد استفاده قرار می‌گرفتند. این طرح هم‌اکنون با ۲۵۰ ایستگاه فعال تحت عنوان سامانه ملی هدی فعالیت کرده و کاربران بسیاری را تحت پوشش خود قرار داده است. این ۲۵۰ ایستگاه شامل ایستگاههای سازمان نقشه‌برداری کشور و ایستگاههای سامانه شمیم متعلق به سازمان ثبت اسناد کشور است که در راستای طرح هم افزایی دو سامانه هدی و شمیم در اختیار سازمان نقشه‌برداری کشور قرار گرفته است. کاربران با ثبت نام در سایت خدمات غیرحضوری سازمان میتوانند از خدمات این سامانه به صورت رایگان بهره‌مند شوند.

شمای کلی دو سامانه ارسال تصحیحات آنی

سامانه پشتیبان هدی پرو



سامانه ملی هدی



طرح جامع توسعه سامانه ارسال تصحیحات تعیین موقعیت آنی

