



## راهنمایی مختصر و عملی برای نقشه برداران

# استانداردهای نقشه برداری ارتفاعی (GPS)

نویسنده: Jack Gnipp  
برگردان: خسروخواجه

### چکیده

از آنجایی که دستیابی به دقت دو سانتیمتری یا بهتر از آن، برای ارتفاعات اورومتریک (قائم بر ژئوئید) اشتقاق یافته از GPS امکان پذیر است لذا این مقاله بر آن است که راهنمایی مختصر و عملی را برای کاربری دستگاههای GPS، روشهای تعیین مرجع، گردآوری داده ها و مدل‌های ژئوئید جهت ایجاد ارتفاعات اورومتریک با دقت بالا به نقشه برداران ارائه کند. گرچه این مقاله نقشه برداران امریکایی را در نظر دارد اما کلیه نقشه برداران دیگر نیز می توانند از تجاربی که در این مقاله جمع آمده است، بهره مند شوند. دستیابی به دقت دو سانتیمتری برای ارتفاعات اورومتریک مشتق از GPS را می توان با استفاده از روشهای افزونه ای (تکرار)، رادپالی و GPS استاتیک سریع به همراه یک مدل ژئوئید با توان تفکیک بالا بدست آورد.

این روشها را می توان در وسعتی کمتر از ۳۰ کیلومتر مربع پیاده نمود و از آنجاکه روشهای صحرائی GPS و پرودهای زمانی مشاهده مستقیماً با طولهای خط مبنای متناسب نیستند لذا نمی توان روشها را بلافاصله برای پروژه های بزرگ مقیاس (یعنی زمینهای با بیش از ۳۰ کیلومتر مربع) به اجرا در آورد. نویسنده در این مقاله بر آن است که یک راهنمایی مختصر و عملی ارائه کند و به هیچ وجه قصد ندارد که در مقابل کتاب راهنمای کاربری دستگاههای GPS، جایگزینی ارائه نماید بلکه می خواهد انگیزه ای ایجاد کند تا نقشه برداران راهنمای دستگاهها را دقیقاً مورد مطالعه قرار دهند.

### دستگاهها

به گیرنده های GPS دوفرکانسه P-Code (کد دقیق) نیاز است و در عین حال تأکید می گردد که دستگاههای GPS از آنتن های یکسان برخوردار باشند. گیرنده های GPS ژئودزی شبه فاصله را با تعیین زمان دقیق فاز حامل قابل مشاهده (ارسال اطلاعات) در روی فرکانسهای L1, L2 دستگاه GPS، حتی با وجود سیگنال ضد اغتشاش Anti spoofing تعویض کننده کد P به کد سری Y که تنها استفاده کنندگان نظامی GPS قادر به

### خلاصه روش

- ۱- ایجاد یک جفت نقاط کنترلی WGS84 با GPS استاتیک از ایستگاههای موجود HARN.
- ۲- بستن پنج مارک های (نقاط مبنای ارتفاعی) درجه ۲۹۱ (NGS) (National Geodetic Survey) که با روشهای افزونه ای، رادپالی و GPS استاتیک سریع در اطراف محل (سایت) پروژه توزیع شده اند.
- ۳- ایجاد پنج مارک های جدید با کمک همان روشهای افزونه ای (تکرار)، رادپالی و استاتیک سریع بنحوی که کلیه خطوط مینا زیر ۱۰ کیلومتر و در صورت امکان زیر ۶۰ کیلومتر نگه داشته شوند. موقعیتهای حاصله دقیق خوانند بوند. دارای مرجع مختصات افقی نسبت به مبنای NAD 83 (High Precision Geodetic Network (HPGN است و با ارتفاعات اورومتریک (NAVD 88) در یک دقت (2cm) ساز گاری دارند.

استفاده آن می باشد، (گیرنده های نظامی دقتی تا ۱ متر دارند و گیرنده های شخصی از دقت کمتری بین ۱۵ متر تا ۱۰۰ متر برخوردارند) اندازه گیری می کند. گیرنده های GPS دوفرکانسه کد (P) امکان می دهند که زمان ضروری برای تعیین یک خط مبنای کاشش یابد و در نتیجه هر چه تعداد ماهواره ها بیشتر باشد، پریود مشاهده کوتاه تر می گردد. گیرنده های دوفرکانسه امکان می دهند تأخیرهایی که برای سیگنالهای ماهواره ای بوسیله شکست یونسفر (تغییر در سرعت انتقال سیگنال بهنگام عبور از یونسفر زمین) پدیدمی آید، حذف گردد. خط مبنایی بطول یک کیلومتر را می توان در ۶ تا ۸ دقیقه بدقت تعیین نمود و خط مبنایی با طول ۱۰ کیلومتر را نیز می توان به همان ترتیب فقط در عرض مدت زمان ۱۰ دقیقه با 2cm دقت 3D تعیین نمود اگر در جریان کار با جهش فاز (قطع شدن ارتباط فاز با سیگنال ماهواره که باعث ایجاد پرش در اطلاعات می شود) یا با قطع ارتباط روبرو نشویم. آنتن های همسان و یکدست قادر می سازد که انحراف مرکز فاز آنتن یا ارتفاع ثابت پایه سازگاری داشته باشد. برای حذف خطاهای آنتن به ارتفاع ثابت سه پایه یا پایه آنتن نیاز می باشد.

### تعیین مرجع نسبت (HARN)

(High Accuracy Reference Network)  
برای اطمینان از اینکه شبکه محلی شما به شبکه سراسری بسته شده است، پروژه شما می باید نسبت به دو ایستگاه HARN از INGS (شبکه مرجع با دقت بالا) متصل گردد. برای دستیابی به حداکثر دقت ممکن تعیین مرجع نسبت به شبکه HARN ضروری می باشد. برای هر ۱۰ متر خطا در مختصات ژئودزی ایستگاه (طول، عرض و ارتفاع) خطایی ۱ تا ۲ میلی متر در هر کیلومتر در راه حل نهایی پدیدمی آید. این خطا ممکن است ناچیز بنظر برسد اما ایستگاه مبنایی که با

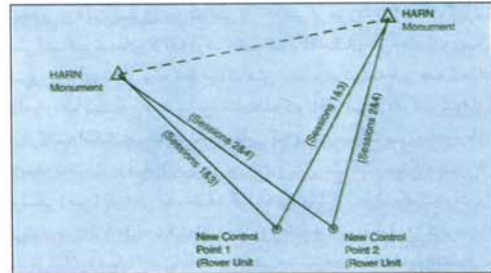


۱۰۰ متر اختلاف تعیین موقعیت شده است می تواند تا یک سانتیمتر (1cm) خطا در طول یک کیلومتر خط مبنا را بوجود آورد. این خطا چشمگیر و قابل اجتناب است. دست کم دو نقطه کنترلی GPS باید نسبت به دو ایستگاه HARN که از نظر هندسی کاملاً توزیع شده‌اند، مرجع بایی گردد. (نگاره ۱) این دو نقطه کنترلی را می باید با روش GPS استاتیک در محل پروژه ایجاد نمود. مشاهدات را می باید با گیرنده متحرک در هر دو نقطه کنترلی جدید در طی پروندهای یک ساعته (اگر فقط سه گیرنده مورد استفاده قرار گیرد) پیاده نمود. این فرآیند را با حرکت و مشاهده دوباره هر دو نقطه کنترلی جدید GPS برای دومین پرونده یک ساعته تکرار می کنیم. این روش امکان تغییر منطقی در ژئومتری ماهواره‌ای را پدید می آورد، از مشاهدات افزونی (اضافی) خطوط مبنا مستقل تحلیل بستن لوب بدست می آید و می توان آنرا در کمتر از ۶ ساعت به انجام رساند.

بهنگام بستن پنج مارکهای NGS و ایجاد پنج مارکهای جدید از ایستگاههای کنترل جدید GPS فقط باید از روشهای استاتیک یا استاتیک سریع استفاده شود و در نتیجه نمی توان روشهای GPS جنبشی یا جنبشی بدون تأخیر را بکاربرد. با ردیابی پنج ماهواره یا بیشتر می توان به بالاترین دقت جهت زمانهای مشاهداتی کوتاهتر دست یافت. باز دیابی چهار ماهواره می توان به نتایج بسیار خوبی دست یافت اما این امر نیاز به پرونده طولانی تری برای مشاهده دارد. روشهای استاتیک به پروندهای مشاهداتی حداقل سه دقیقه‌ای نیاز دارد که در آن داده‌ها در فواصل هر پانزده ثانیه ثبت می گردد. داشتن ۵ پرونده استاتیک ۱/۲ یا بیشتر برای مشاهدات National Geodetic Survey HARN غیر عادی نمی باشد.

### گردآوری داده‌ها

بهنگام بستن پنج مارکهای NGS و ایجاد پنج مارکهای جدید از ایستگاههای کنترل جدید GPS فقط باید از روشهای استاتیک یا استاتیک سریع استفاده شود و در نتیجه نمی توان روشهای GPS جنبشی یا جنبشی بدون تأخیر را بکاربرد. با ردیابی پنج ماهواره یا بیشتر می توان به بالاترین دقت جهت زمانهای مشاهداتی کوتاهتر دست یافت. باز دیابی چهار ماهواره می توان به نتایج بسیار خوبی دست یافت اما این امر نیاز به پرونده طولانی تری برای مشاهده دارد. روشهای استاتیک به پروندهای مشاهداتی حداقل سه دقیقه‌ای نیاز دارد که در آن داده‌ها در فواصل هر پانزده ثانیه ثبت می گردد. داشتن ۵ پرونده استاتیک ۱/۲ یا بیشتر برای مشاهدات National Geodetic Survey HARN غیر عادی نمی باشد.



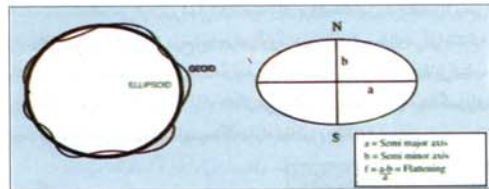
نگاره ۱: روش تعیین مرجع نقاط کنترل جدید نسبت به شبکه HARN

### طول خط مبنا

چنانچه از پروندهای زمانی یک ساعته استفاده می شود، طول خطوط مبنا نباید بیش از ۲۰ کیلومتر (۱۲ مایل) باشد. خطوط مبنا بلندتر نیاز به پروندهای مشاهداتی طولانی تر دارند. برای خط مبنا کوتاه (زیر ۶ کیلومتر) حلهای ثابت L1 (صحیح) مطلوب است. سیگنالهای L2 از ماهواره‌ها ۴۰٪ ضعف‌تر از سیگنالهای L1 می باشد و عملاً می توانند باعث افزودن نویز به راه حل نهایی گردند. با این حال، راه حل نهایی فقط با سیگنال L1 با استفاده از داده‌های فرکانس دوگانه برای حل ابهامات عدد صحیح آمیبوتی L1 تولید شده است. راه حلهای ثابت عدد صحیح برای خطوط مبنا بلندتر مطلوب است. این راه حل از داده‌هایی استفاده می کند که از هر سیگنال L1 و L2 دریافت می گردد و برای تصحیح خطاهایی که بوسیله لایه یونسفر بوجود می آید بکار گرفته می شود و بهترین راه حل در همه شرایط است. در صورت تمایل به یک تعدیل شبکه نیز نیاز می باشد که در آن نقاط، تعدیل نقشه برداری HARN بصورت قائم و افقی تعیین گردد.

### تعیین مرجع نسبت به سطح مبنا NAVD 88

هر پروژه‌ای می باید نسبت به NAVD 88 (سطح مبنا ارتفاعی سال ۱۹۸۸ امریکای شمالی) تعیین مرجع گردد. نقطه طبیعی NAVD 88 بنج مازکی است که در نقطه‌ای موسوم به Fathers Point واقع در

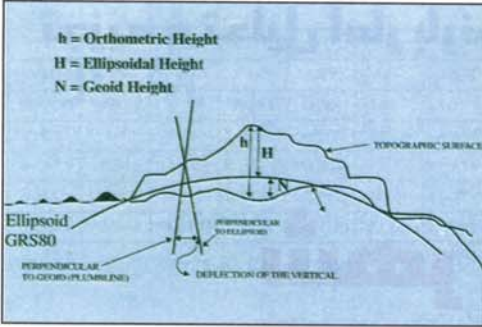


نگاره (۲): ژئوئید در کشور قاره مانند ایالات متحده همواره زیر بیضی GRS80/NAVD 88 است و در نتیجه ارتفاع ژئوئید همواره بصورت منفی نشان داده می شود. این جدایی ژئوئید دامنه‌ای از ۸- تا ۵۳- متر دارد.

### تعدیل دقت (نسبت بین دقت تعیین موقعیت و دقت اندازه گیری)

داده‌ها باید در پروندهای PDOP (ضریب دقت هندسی موقعیت سه بعدی) با تعداد کافی ماهواره‌ها جمع آوری گردد و همچنین باید به VDOP (ضریب دقت هندسی موقعیت قائم) توجه گردد. از آنجاکه  $PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2$  است لذا به حداقل رساندن HDOP (ضریب دقت هندسی موقعیت افقی) دشوار است. متأسفانه، بهترین صورفلکی ماهواره‌ها برای اندازه گیری افقی بهترین صورفلکی

مارکهای جدید تعیین نمود. ژئوئید 96 مدعی دقتی در حدود ۲/۵ سانتیمتر (میزان خطای محتمل) در فواصل پنجاه کیلومتری است. این مقاله به خطوط مبنایی توجه دارد که طولشان بطور چشمگیری کمتر از ۵۰ کیلومتر است و دامنه دقت دلان (جدایی ژئوئید از بیضوی) از ۱ تا ۲ سانتیمتر است.



نگاره (۳): جدایی بین ارتفاعات بیضوی GPS (h) و ارتفاعات اورتومتریک (H) بنام ارتفاع ژئوئید (N) خوانده می‌شود. به عبارت دیگر، ارتفاع ژئوئید اختلاف قائم از بیضوی نسبت به سطح تراز ژئوئید است. در نتیجه:  $h = H + N$  می‌باشد.

### فواصلی که هرگز واقعاً اندازه گیری نشد

بردارها (فاصله مایل) بین نقاط مشتق از GPS هرگز واقعاً اندازه گیری نشد و تنها وارونه (معکوس) هستند.

یک پروید مشاهده بین دو گیرنده GPS دستیابی به بردار سه بعدی (3D) بین آن دو گیرنده فراهم می‌آورد که از محاسبه کمترین مربعات بدست می‌آید. در این کمترین مربعات از داده‌هایی استفاده می‌شود که از مشاهده هر دو گیرنده با ماهواره‌های عادی، به همراه سایر پارامترها بدست آمده است. دومین پروید باید تحت همان وضعیت هندسی ماهواره‌ای لیکن به طور چشمگیری متفاوت اجرا گردد تا بتوان به دومین مجموعه مختصات دست یافت. این مشخصه در راه‌حل نهایی شبکه، ایجاد مشاهدات اضافی (افزونگی) می‌کند و مقایسه اختلافات دلنای دو راه حل موقعیتی را در نظر می‌گیرد. فقط بعد از انجام این مقایسه می‌توان با قاطعیت تأیید نمود که دقت مطلوب تحقق یافته است.

### سخنان پایانی

هدف از این مقاله ایجاد انگیزه برای مطالعه همه کتب راهنما می‌باشد. کتابهای راهنمایی که از سوی سازنده‌ها ارائه می‌گردد لازم است خواننده و فهمیده شوند. کتابهای درسی با موضوعاتی نظیر «GPS برای نقشه برداران» همراه با دوره‌های GPS که توسط دانشگاهها برگزار می‌گردد، می‌توانند گامهایی ارزنده در جهت تقویت دانش GPS باشند. GPS ابزار دقتی است، اما بشرطی که فقط در دست کاربران تحصیل کرده باشد. از اینرو نقشه برداران GPS نیاز دارند در جستجوی خود به کمال افرادی با انگیزه بالا باشند.

برای اندازه گیریهای قائم نیستند. بعلاوه، بهترین صورفلکی ماهواره‌ها این نیست که آنها خوشه‌ای باشند، یا اینکه در امتداد یک خط مستقیم یا به شکل دایره‌ای قرار گرفته باشند.

### خطوط مبنای اضافی (تکراری)

لازم است که خطوط مبنا را دوبار در زمانهای مختلف روز اندازه گیری نماییم. وقتی که دست کم پنج ماهواره در بالای زاویه ۱۵ درجه در دسترس باشد. وقتی طول خط مبنا ۱ الی ۶ کیلومتر باشد، حداقل زمان مشاهده باید ۳۰ دقیقه باشد، درحالی که برای خطوط مبنای بین ۶ تا ۱۰ کیلومتر زمان مشاهده به ۴۵ دقیقه می‌رسد. پرویدهای مشاهده استاتیک سریع معمولاً ۲۰ دقیقه یا کمتر است. زمان بستگی به وضعیت هندسی ماهواره و طول خط مبنا دارد. داده‌ها باید در فواصل ۵ ثانیه‌ای فرکانس داده‌های GPS رکورد و ثبت گردد. برای اینکه به راه حل ثابت L1 دست یافت باید طول‌های خط مبنا زیر ۶ کیلومتر نگه داشته شود. خطوط مبنایی که بیش از ۶ کیلومتر طول دارند را باید از طریق راه حل ثابت بدون تأثیر خطای یونسفر بدست آورد. از اینرو حداقل زمانهای زیر باید بکار رود: منهای ۱۵ دقیقه برای ۱ تا ۶ کیلومتر خط مبنا، منهای ۲۰ دقیقه برای ۶ تا ۱۰ کیلومتر خط مبنا.

### شاخص‌های کیفیت قائم

خطوط مبنای با مشاهدات اضافی را می‌توان به آسانی در نرم‌افزار تعدیل شبکه مورد بررسی قرار داد. این مقادیر بصورت مؤلفه‌های دلنای، دلنا، دلناز بیان می‌گردند و بطورنسبی با سایر بردارهای (اندازه گیریهای) آن مقایسه می‌شوند و اساس مقایسه نیز سیستم مختصات دکارتی سه بعدی (3D1 EC) (زمین مرکزی) است. مقایسه دلناز با مانده‌های مؤلفه «فراز» شاخصهای سودمندی برای کیفیت قائم است. مانده‌های مؤلفه «فراز» یعنی (du) در یک مفهوم دقیق کاملاً با اختلاف در ارتفاع بیضوی (dh) برابر نیستند. اما جایی که خطوط مبنا کمتر از ۱۰۰ کیلومتر هستند و خطای بسط بین تکرار خطوط مبنا کمتر از ۵ سانتیمتر باشد، این خطا برای کارمان برابر است. خط مبنایی که اختلاف در ارتفاعات بیضوی بین مشاهدات اضافی (تکراری) بیش از ۱۸ میلیمتر باشد لازم است که این اختلاف مجدداً مورد مشاهده قرار گیرد.

### ژئوئید

به یک مدل ژئوئید با دقت و با توان تفکیک بالا (نگاره (۲) و (۳)) یعنی GEOID 96 نیاز است که توسط NGS (National Geodetic Survey) ارائه شده است و از محاسبه تقریباً ۱/۸ میلیون قرائت گراویتری از پایگاه داده‌های NGS بدست آمده است. این مدل ژئوئید تقریباً ۸۳ ۳۰۰۰ ارتفاع اورتومتریک را در خود ترکیب و تلفیق نموده است و تبدیل مستقیم بین ارتفاعات GPS NAD83 و ارتفاعات اورتومتریک NAVD 88 را میسر می‌سازد. ارتفاعات اورتومتریک پنج مارکهای NAVD88 در تعدیل نهایی شبکه ثابت شده‌اند تا بتوان ارتفاعات اورتومتریک را برای پنج