GPS، نقشه‌ها و مهندسی نقشه‌برداری

نویسنده: **Prof. Vidal Ashkenazi**
رئیس مؤسسه مهندسی نقشه‌برداری و ژئودزی‌ماهواره‌ای‌دانشگاه **Nottingham**

مترجم: مهندس عباسعلی صالح‌آبادی
(کارشناس ارشد ژئودزی)

چکیده

با ورود GPS به عرصه جهانی و افزایش کاربرد آن، مفاهیم اساسی علم ژئودزی و نقشه‌برداری تغییر یافته است. GPS قادر به انجام تعیین موقعیت نسبتاً سریع و دقیق در هر شرایط جوّی است. کار با آن، اقتصادی و مقرون به صرفه می‌باشد. از طرف دیگر اختلاف مختصّات حاصل از GPS اکثراً با اهمیت‌تر از مختصّات مشابه استخراجی از نقشه‌های ترسیمی[1] یا رقومی[2] است. اطلاعات نقشه‌ای مشکلات ومسائل دیرینه‌ای را که حاصل از تعیین سطح مبناء مسطحاتی[3]، سیستم‌تصویر، عملیات نقشه‌برداری و خطاهای رایج در آنها می‌باشد، دربردارد.

اما اکنون توسط مختصّات به دست آمده از GPS، این مسائل بهتر نمایان و مشخص می‌شوند. GPS تکنیکی است نسبتاً ارزان، کارآمد و قابل انعطاف که موقعیتهای سه بعدی نقاط را بادقّت بسیار بالا تعیین می‌کند. از این تکنیک می‌توان به طور مؤثر در ناوبری، نقشه‌برداری و ژئودزی استفاده نمود. با این حال هنوز هنگام ترکیب مختصّات GPS با اطلاعات موقعیتی حاصل از روشهای دیگر، مسائل بسیار مهمی وجود دارند که برای ما مشکل‌آفرین هستند. مخصوصاً این مسائل زمانی آشکارتر خواهند شد که اطلاعات موقعیتی فوق از بانک اطلاعات نقشه‌های رقومی استخراج شده باشند. به‌طور کلّی چنین اطلاعاتی از رقومی نمودن نقشه‌های خطی حاصل می‌شوند. بنابراین موقعیتهای حاصل تحت تأثیر انواع خطاهای موجود در این فرآیند هستند. هرگونه کاربرد ترکیبی این گونه موقعیتها با موقعیتهای حاصل از GPS گرفتار یک سری از مراحل محاسباتی معیّن است. این مراحل محاسباتی برای تعیین برآورد مناسب و کسب اطمینان بین دو مجموعه از موقعیتهای ارایه شده می‌باشد.

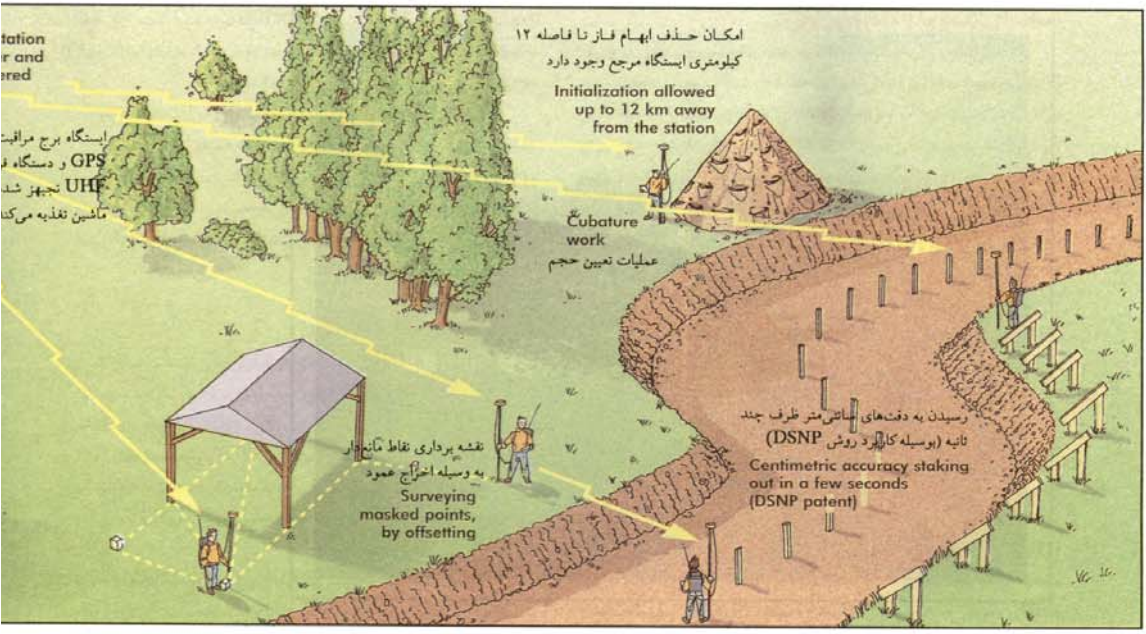
پیشگفتار

این مسئله که به طور وسیع در کارهای ژئودتیک و ژئوفیزیک حل شده است، گروهی از استفاده کنندگان موقعیتهای فنی نظیر نقشه‌برداران دریایی (هیدروگرافها)، کارتوگرافها، ناوبرهای هوایی وپرواز و کاربران **GIS** (در مورد مصارف عمومی و ملّی) و مهندسان ساختمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این مقاله انواع منابع خطا در داده‌های نقشه رقومی را تشریح می‌کند، و ما را نسبت به احتمال ترکیب این خطاها در هنگام اجرای پروژه‌های مهندسی نقشه‌برداری مطلع می‌سازد و راه حلهای ساده‌ای با انتخاب یک سری موقعیتهای معلوم و با ثبات برای غلبه براین مشکلات ارایه می‌نماید.

مسئله تعیین سطح مبناء مسطحاتی[۴]

عدم آگاهی اکثریت کاربران عام از نیاز به داشتن مقادیر معلوم مختصّات برای اتصال به یک سطح مبناء خاص، مسئله مهمی را دربردارد که همواره در هنگام تعیین سطوح مبناء ژئودتیکی مطرح بوده است. به عنوان مثال در کشورانگلستان سطوح مبناء مختلفی مانند OS(SN)80، OSGB36 یا سطح مبناء قبل ازآن یعنی OSGB70 وجود دارد. مختصّات نقاط مختلف اروپامی‌تواند درسطوح مبناء اروپایی ED 87 و ED 50 یا سطح مبنای قدیمی آن ED79، یا درسطح مبناء جانشین آن EUREF89 تعیین شوند. موقعیتهای ژئودتیکی جهانی‌نیزمی‌توانند درسطوح WGS84و یاسطوح مبناء جهانی قدیمی دیگر مانند WGS72 (وWGS60یاWGS66) بیان شوند. ممکن است این سئوال مطرح شود که «مگر سطح مبناء GPS یعنی WGS84 به‌طور جهانی انتخاب نشده است؟». جواب این است که این سطح مبناء در واقع با دقّت انطباق ± یک متر نسبت به ژئوئید، به‌طور جهانی تعیین شده است. که این دقّت ممکن است برای بعضی از اهداف، همانند تهیه نقشه‌های پوششی کوچک مقیاس و کاربردهای ناوبری مناسب باشد. ولی همین سطح دقّت نمی‌تواند برای کاربردهای دقیقی همچون اندازه‌گیریهای پیوسته ژئودزی، علوم زمینی (حرکات دینامیکی پوسته)، اقیانوس‌شناسی (مشاهده تغییرات سطح متوسط آبهای آزاد) مناسب باشد. به همین جهت هر کشور باید وابسته به یک سیستم مرجع دقیق ژئودتیکی باشد. مانند سیستم مختصّات متوسط زمینی ITRF که یک سیستم مرجع کارتزین جهانی[۵] است.

صرفنظر از این موضوع، ممکن است دقتی که بیضوی WGS84 فراهم می‌سازد برای بعضی از کشورها مناسب و رضایت بخش باشد. این کشورها احتمالاً می‌توانند پارامترهای دَوَران و انتقال برای تغییر مختصّات از سیستم مرجع ملّی خویش به سیستم جهانی WGS84 و یا برعکس را محاسبه و تعیین نمایند. بدین گونه که مختصّات نقاط شبکه ژئودتیک ملّی یک کشور تماماً موجود می‌باشد و می‌توان آنها را به‌وسیله یک سری مجزّا از پارامترهای انتقال و دوران، به سیستم جهانی WGS84 تبدیل نمود. امّا در عمل چنین وضعیتی رخ نخواهد داد. به عنوان مثال: مقادیر پارامترهای انتقال و دوران بین WGS84 (سطح مبناء GPS) و OS(SN)80 (سطح مبناء ژئودتیکی) کشور انگلستان در حد چندین متر در سطح کشور متغیر است. این تغییرات برای بیضویهای WGS84 و OSGB36 (سطح مبناء نقشه‌های خطی و ملّی)، به ده‌ها متر می‌رسد و از همه بدتر آنکه این تغییرات مشکلات بزرگی رابرای تعیین دقیق موقعیتهای جغرافیایی ایجاد می‌کند. در طول سالهای گذشته سازمان نقشه‌برداری ملّی[۶] تلاش بسیاری نمود تا این وضعیّت را بهبود ببخشد، و در حال حاضر این سازمان براساس تبادلات تجاری، این مشکل را اصلاح نموده است. بدین گونه، که به‌وسیله ارایه یک سری از پارامترهای انتقال و دوران بر مبنای اختلاف مقادیر مختصّات (شیفتها) در جهات شمال و شرق بین دو سطح OSGB36 (سطح مبناء نقشه‌های ملّی) و OS(SN)80 (سطح مبناء ژئودتیکی) و یا برعکس، وضعیت فوق را ترمیم نموده است.

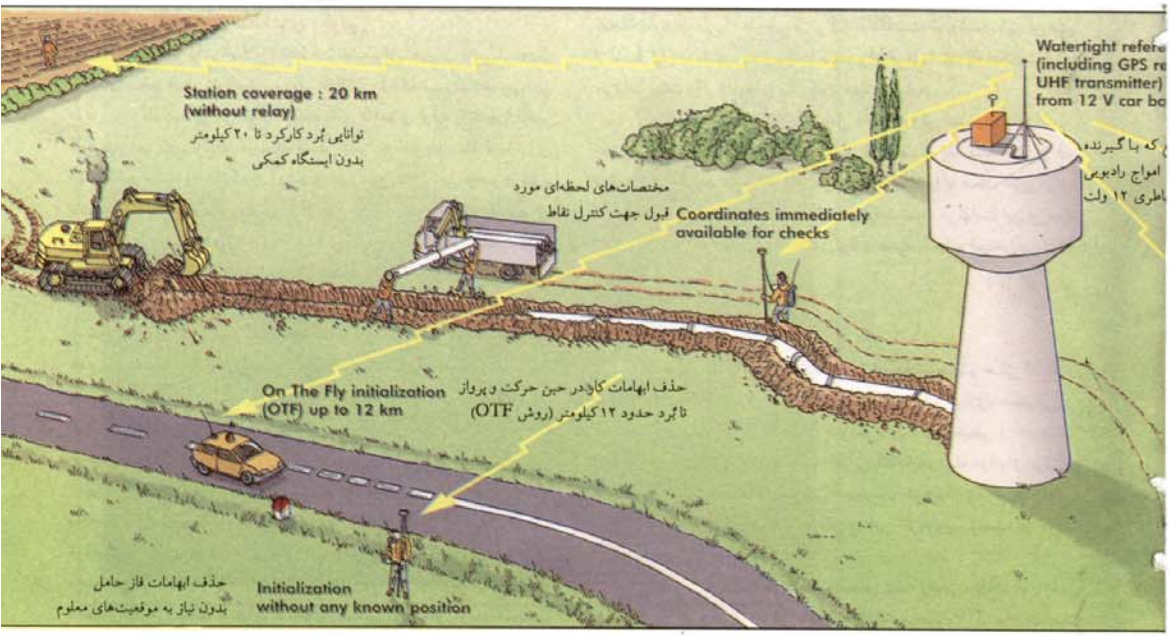


خطاهای شبکه سیستم تصویر

نقشه‌برداران همواره از مشکلات تغییر مقیاس و تغییر ژیزمان[7] موجود در نقشه‌ها آگاهی دارند. مختصات شبکه سیستم تصویر خواه به صورت φ , λ (طول و عرض ژئودتیک) یا به شکل E , N (موقعیتهای شمالی - شرقی) صفحه سیستم تصویر، از خطاهای ناشی از جهت و مقیاس مختص به خود لطمه فراوان خورده‌اند. بعضی از سیستم‌های تصویر ممکن است دارای ویژگی خاصی بوده و نیز برای کاربردهای خاصی مفید و سودمند باشند.

به‌عنوان‌نمونه‌سیستم‌تصویر Transverse Mercator (T.M) که اساس شبکه تصویر نقشه‌های ملّی کشور انگلستان را تشکیل می‌دهد، یک سیستم تصویر متشابه[8] می‌باشد که برای مثال شکل عوارض را بدون تغییر به‌طور ثابت تصویر می‌نماید. در چنین سیستم تصویری مقیاس یک نقطه از نقشه در تمامی جهات یکسان است ولی از لحاظ موقعیت از نقطه‌ای به نقطه دیگر، مقیاس تغییر خواهد نمود. بنابراین می‌توان تصحیحات مقیاس را برای طول بین نقاط، براساس یک فرمول تقریبی محاسبه و برطول مورد نظر اعمال نمود.

البته باید توجّه داشت که هر چقدر طول بین نقاط بلندتر باشد تأثیر خطای مقیاس بیشتر است، و حل مسئله خطای شبکه سیستم تصویر، برای بکارگیری موقعیتهای ژئودتیکی و انجام تصحیح وتر به قوس در محاسبات



ژئودزی لازم است. کاربرد فرمولهای مثلثاتی صفحه‌ای بدون بکارگیری هرگونه تصحیح ناشی از خطای مقیاس و ژیزمان می‌تواند خطاهای عمده‌ای را تولید کند.

تستهای عددی بسیار ساده، نشان می‌دهد که استفاده از فرمولهای مثلثاتی بدون استفاده از هر گونه تصحیح برای مقیاس و ژیزمان می‌تواند خطاهای بزرگی را ایجاد نماید (به جدول ۱ رجوع شود).

جدول (۱)

نمونه خطاها به سانتیمتر برای فرمولهای مثلثاتی شبکه سیستم تصویر					
طول به کیلومتر		۱	۵	۱۰	۲۰
اختلاف مختصات نقشه‌ای	ΔN	۲۵	۱۲۵	۲۴۹	۴۹۲
	ΔE	۵۵	۱۷۵	۳۳۸	۷۱۲
کلّ خطا		۶۱	۲۱۵	۴۲۰	۸۶۵

مقادیرخطای فهرست شده درجدول(۱)براساس شبکه‌نقشه‌های ملّی‌کشور انگلستان هستند.(برای مثال، سیستم‌تصویر Transverse Mercator است که برای طولی با آزیموت ۴۵ درجه از شمال محاسبه و تعیین شده است).

خطاهای نقشه‌ها و داده‌های رقومی

حتّی اگر ما در اصلاح مختصّات نقشه برای تغییرات ناشی از دوران و انتقال سطح مبناء ژئودتیکی وبرای خطاهای شبکه سیستم تصویر نیز موفّق بوده باشیم، این موضوع، کیفیّت ذاتی داده‌های اولیه را تحت تأثیر خود قرار نمی‌دهد. ولیکن در آینده ممکن است بتوانیم به‌وسیله جمع‌آوری آنهااز منابع متنوّع و به‌کارگیری روشهای فنی مختلف، بر این خاصیت ذاتی داده‌ها غلبه نماییم (منظور از روشهای فنی به‌طور کلّی همان تکنیکهای نقشه‌برداری زمینی، فتوگرامتری و سنجش از دور است). هر کدام از این تکنیکها باعث ایجاد یک سری از خطاهایی هستند که با خطاهای اندازه‌گیری ناشی از اشتباه در تشخیص و تعبیر و تفسیر عوارض و نسخه‌برداری و استخراج و گردآوری داده‌ها، در حال تغییر می‌باشند. با این همه حتّی هیچکدام از پردازشگرهای ریاضی نیز نمی‌توانند با در نظرگیری تصحیحات مربوط به انتقال سطوح مبناء ژئودتیک شبکه‌های تصویر، کیفیّت ذاتی داده‌های حاصل از نقشه‌های خطی را اصلاح نمایند. در حال حاضر این امکان وجود دارد که بتوان نقشه را برای انواع کارهای مشاهداتی تعبیر و تفسیر به‌کار برد امّا این کاربرد تنها به انتخاب و استخراج مختصّات محدود نمی‌شود مخصوصاً هنگامی که از آن در کارهای دقیق تعیین موقعیت و ناوبری استفاده می‌کنند. نقشه‌های رقومی از تمامی خطاهای مختصاتی که قبلاً به آنها اشاره نمودیم زیان خواهند دید. زیرا منبع اولیه داده‌های رقومی همان شیتهای نقشه‌های خطی[9] و سنّتی اولیه هستند. خطاها یا به عبارتی اشتباهات، می‌توانند در حین دیجیت نمودن[10] نقشه وارد کار شوند. به هر حال بزرگترین منبع و پتانسیل مشکلات در حین مواجهه باداده‌های رقومی (دیجیت شده) در اصل جدایی مقادیر مختصّات خام نقشه از منبع اطلاعات توصیفی آنان است. البته این امکان که بتوانیم حجم بزرگی از اطلاعات را از یک شیت نقشه خطی و سنّتی استخراج نماییم همیشه وجود دارد. امّا تجدید نظر مجدّد در مورد داده‌های نقشه‌ای باعث ارایه سطح بالاتری از دقّت برای اطلاعات نقشه‌برداری معمول است. ممکن است مقیاس نیز چیز دیگری در مورد دقّت نقشه‌برداری بگوید. در تمامی شیت نقشه‌ها معمولاً یک دستور چاپ شده در زمینهٔ نوع سطح مبناء مختصّات ژئودتیکی و شبکه سیستم تصویر وجود دارد. تاکنون فورمت (Format) رقومی به‌کار برده شده به‌وسیله سازمان نقشه‌برداری ملّی اشاره به سطح مبناء OSTF[11] دارد.

ضمن این که این فورمت توانایی انجام تمامی کارهای فوق را دارد امّا با این حال فقط به صورت یک بلوک راهنما در فایل داده‌ها انجام وظیفه می‌کند. مقادیر خام مختصّات مطلقاً شامل این اطلاعات نمی‌شوند. بنابراین کاملاً امکان آن هست که یک فایل اطلاعاتی بدون حضور بلوک راهنما استخراج شود و وضعیّت بدتر از آن، زمانی است که بلوک راهنما غلط باشد، که در آن صورت نیز امکان فوق وجود دارد. به عنوان نمونه، ممکن است این مسئله زمانی حاصل شود که انتقال مختصّات بدون ثبت در بلوک راهنما، روی داده‌های خام اولیه صورت پذیرفته باشد. OSTF معمولاً فورمت انتقال ملّی[12] جایگزین شده است، این فورمت توسط گروه استفاده کنندگان ارتباط ملّی[13] طراحی و در BS7567 ثبت شده است. این فورمت از لحاظ کیفیّت دارای خصوصیّات منحصر به فردی است که امکان نمایش جزئیات بیشتری از داده‌ها را برای کاربر مهیّا می‌سازد.

به‌طور مثال این جزئیات شامل دقّت و روش استخراج داده است. خصوصیّات کیفی فورمت NTF برای هر نقطه هم در بُعد مسطحاتی و هم در بُعد ارتفاع فراهم می‌شود، و از طرفی می‌توان آن را به همان خوبی برای کلّ شبکه و یا زنجیره‌ای از نقاط مشخص فراهم نمود. در نهایت این فورمت تضمین می‌کند که مختصّات خام می‌توانند همراه با منابع استخراجی‌شان باقی بمانند.

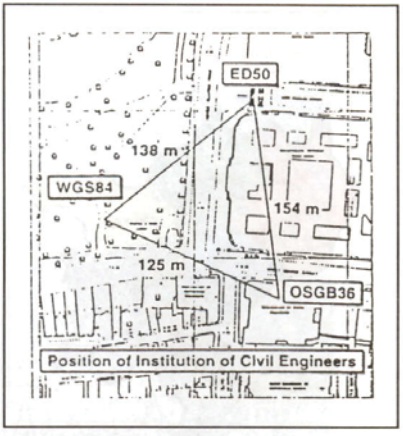
GIS و GPS

با ظهور GIS، دامنه وسیعی از کاربردهای منظّم خلق گردیده است. کاربردهای منظّم در زمینه‌های جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، دستیابی و استخراج و بکارگیری داده‌های فیزیکی، زیست محیطی و داده‌های اقتصادی و اجتماعی از آن جمله‌اند. کارآیی GIS به‌وسیله دولتهای مرکزی و محلی و استفاده کنندگان شخصی، مهندسان نقشه‌برداری، عمران، منابع طبیعی، معدن و شرکتهای حمل و نقل دریایی خریداری، نصب و مورد استفاده قرار می‌گیرد.

معمولاً به‌وسیله خریداری داده‌های نقشه رقومی، بانک اطلاعات توپوگرافی[14] تهیه می‌گردد. این بانک اطلاعات مختصّات اگر برای مقاصد غیر از آنچه که خریداری شده به‌کار برده شود در آن صورت مشکلات عدیده‌ای را بوجود می‌آورد. برای نمونه، این بانک به عنوان یک مرجع یا چهارچوب برای جنبه‌های فیزیکی و نشانهای اقتصادی و اجتماعی است. امّا تصوّر آنکه همین بانک اطلاعات در مورد خودش دارای یک نشان فضایی ویژه‌ای است می‌تواند درست باشد. به فرض مثال، هنگامی که سازمان آب تلاش می‌کند تا از طریق داده‌های ارتفاعی موجود در بانک اطلاعات توپوگرافی GIS گرادیانتهای بسیار دقیق (جابه‌جاییهای قائم) سطح آب را محاسبه نماید،مشکلات اساسی و بسیاری را تجربه و آزمایش می‌کند.

این گونه از مختصّات و داده‌های ارتفاعی ممکن است به عنوان مرجع برای مقاصد ترسیمی و پیش‌بینی‌ها و دیگر مقاصد آماری، مناسب و مفید باشند. امّا نباید بدون توجّه به ملاحظات علمی، آنها را در کاربردهای دقیق مهندسی بکار گرفت. براستی ممکن است مختصّات سه بعدی خوب بطور مفهومی بعنوان یک نشان یا ویژگی مثبت و صحیح در نظر گرفته شود.

در این مفهوم «خوبی» بطور کلّی نه تنها اشاره به دقّت بالا دارد بلکه به تعداد دیگری از خصوصیّات و نشانها همانند منبع یا منشاء اطلاعات، جریانی یا مکث زمانی، دقّت بالا و یا صحّت اطمینان و یا اعتماد و اعتبار آنان نیز دلالت می‌کند. این موضوع موجب بکارگیری موقعیتهای رقومی استاندارد در کاربردهای اولیه، تصوّری برای آنان است. این کاربردها به‌طور اسمی چهارچوبی برای دیگر نشانهای مورد نظر همچون نشان فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی یا فضای هندسی است. ممکن است مجموعه‌ای از



داده‌های مختصّات هندسی و فضایی با نقطه‌ای که توسّط مختصّات شبکه‌بندی نقشه معرفی شده است درارتباط تنگاتنگ باشند. این داده‌ها شامل مختصّات کارتزین سه بعدی ودقیق برروی سطوح مبناء WGS84 و یا ITRF و یا EUREF89 و یا مختصّات ژئودتیکی (طول و عرض جغرافیایی) برروی یک سطح مبناء محلی و ملّی و یا مختصّات دقیق در سیستم تصویر نقشه نسبت به سطح مبناء دقیق پروژه و یا بسیاری دیگر از اطلاعات مورد نظر باشند. آنها فقط می‌خواهند نشانه‌های GIS مناسب را معرفی نمایند، (البته زمانی که مجموعه مترادفی از مقادیر مختصّات با نشانه‌های اضافی مترادف و یا خصوصیّات ذکر شده پیشین همراه باشند). امّا در مورد ارتفاعات به یک پارامتر اضافی دیگر یعنی ارتفاع ژئوئید از بیضوی مقایسه در نقطه مورد نظر نیازمندیم.

GPS و داده‌های ارتفاعی

مختصّات کارتزین سه بعدی مطلق یا نسبی و یا اختلاف مختصّات حاصل از GPS را می‌توان به مختصّات افقی و ارتفاعات، تقسیم نمود. مختصّات یا اختلاف مختصّات افقی برروی یک بیضوی مقایسه تعریف شده‌اند و ارتفاعات یااختلاف ارتفاعات نیز نسبت به همین سطح بیضوی تعیین می‌شوند. ارتفاعات بیضوی یااختلاف ارتفاعات حاصل از GPS اندکی کم دقّت‌تر از موقعیتها و اختلاف موقعیتهای افقی است. به‌طور کلّی این تنزّل دقّت را که ناشی از طبیعت هندسی ارتفاع و تأثیرات نامتعادل شرایط اتمسفری است و به نظر مهم نیز می‌رسد، با تقریب مرتبه اوّل و با دقّت یک برابر بزرگی کلّ خطا، صرفنظر نموده آنرا اندازه‌گیری نمی‌کنند. روی طولهای بلند به بزرگی چند صد کیلومتر، اختلاف ارتفاعات اندازه‌گیری شده با GPS دقیقتر از نتایج به دست آمده ناشی از ترازیابی هندسی مستقیم است، امّا مشکل این است که برای بیشتر کاربردهای هندسی و ژئوفیزیکی ارتفاعات یا اختلاف ارتفاعات بالای سطح ژئوئید (یا سطح متوسط آبهای آزاد) مورد نیاز است. ارتفاعات بیضوی می‌توانند به ارتفاعات ارتومتریک تبدیل شوند بدین گونه که اگر ارتفاعات ژئوئید نسبت به بیضوی را از ارتفاعات بیضوی کسر نماییم ارتفاعات ارتومتریک حاصل می‌شوند. ارتفاعات ژئوئید را می‌توان به‌طور مجزّا از یک روش مستقل همانند انجام محاسبات وسیع و پیچیده روی اطلاعات حاصل از ثقل‌سنجی و داده‌های ماهواره‌های ارتفاع سنجی[15] در کشور یا منطقه مورد نظر، تهیه و محاسبه نمود. مجدداًاعلام می‌شود که با وجود دیگر نشانهای فضای هندسی، ارتفاعات ژئوئید نیز باید قبل از آنکه وارد GIS شوند با نشانهایی همچون دقّت، اعتبار و اطمینان،تصدیق مکث زمانی و جریانی همراه باشند.

نتیجه‌گیری

به‌علاوه اگر مختصّات حاصل از GPS را بخواهیم در GIS وارد نماییم در این صورت توصیه می‌شود که با آنها به‌عنوان نشانهای مجزّایی از موقعیّت هندسی رفتار شود که همواره با موقعیتهای جغرافیایی خاصّ همراه هستند و نباید آنها را با مختصّات کم دقّت شبکه سیستم تصویر اشتباه نمود. زیرا آنها عامل اصلی در معرفی و به خدمت گیری چهارچوب مرجع در انواع نشانهای فضایی هستند. □

پاورقی:

1) Analog
2) Digital
3)Datum
4) The Datum Problem
5) International Terrestrial Reference Frame
6) ordnance survey
7) Bearing
8) Orthomorphic
9) Analog map sheet
10) Digitisation
11) The Ordnance Survey Transfer Format
12) The National Transfer Format : (NTF)
13) The National Joint Utilities Group: (NJUG)
14) Database
15) Satellite Altimetery data