



# ژئوئید جدیدی برای استرالیا

امکان نقشه برداری بسیار دقیق با (GPS) از طریق بهبود ژئوئید استرالیا (AUSGEOID 93)

نویسندگان:

دکتر (Will Featherstone)، دکتر (Kefeizhang, Jab Kirby)

از دانشکده نقشه برداری و اطلاعات دانشگاه کترین استرالیا

Bill Karsley استاد دانشکده مهندسی ژئوماتیک دانشگاه نیوساوت

پروفیسور (John Gilliland) از دانشکده اطلاعات زمین، برنامه ریزی و ساختمان

دانشگاه استرالیای جنوبی

مترجم: خسرو خواجه

## (AUSGEOID 93)

فعلاً از مدل ژئوئید گراویمتری استرالیا برای ارتفاعهای (GPS) به سطح مبنای ارتفاعی استرالیا (AHD) استفاده می‌گردد که (A) نامیده شده است. این مدل (AUSGEOID 93) توسط گروه نقشه برداری و اطلاعات زمین استرالیا (AUSLIG) با ترکیب پایگاه داده‌های گراویتی ۱۹۹۸ استرالیا با مدل جهانی (OSU91A) و با استفاده از نرم افزار مجتمع سازی حلقوی که از سوی یکی از استادان دانشکده مهندسی ژئوماتیک دانشگاه نیوساوت ویز استرالیا ارائه شد، محاسبه گردیده است. دقت مطلق (AUSGEOID 93) بین  $(\pm 0.3m)$  برآورد شده است. در مناطقی که (AUSGEOID 93) هموار و خوب تعیین شده است، دقت نسبی می‌تواند عملاً  $(0.1mm/km)$  باشد اما در مناطقی که ژئوئید نامنظم (معمولاً در مناطق ناهموار) است، دقت می‌تواند بدتر شده و به  $(4-5mm/km)$  برسد.

در شرایط بسیار نامناسب به ویژه در مناطق مرتفع و زمین ناهموار می‌توان اغلب با اختلافات سیستماتیکی باندازه  $(10mm/km)$  مواجه شد. با این وجود، باید توجه داشت که این برآوردها با استفاده ارتفاعات (GPS) و ارتفاعات (AHD) به منزله داده‌های کنترلی که خطاهای خود را دارند، بدست آمده است.

## نیاز به ژئوئید جدید

از آنجاکه جزئیات داده‌های توپوگرافی در آن زمان در دسترس نبود، لذا

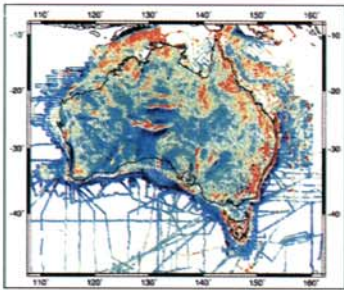
مدل ژئوئیدی که هم اکنون استرالیا از آن استفاده می‌کنند، واقع با استفاده از تلفیق مدل جهانی (OSU91A) و بانک اطلاعات گراویتی استرالیا که در سال ۱۹۸۰ میلادی انتشار یافته است، محاسبه گردیده است. در حال حاضر، به واسطه دسترسی به داده‌های پیشرفته و روشهای محاسباتی دقیق تر می‌توان دقت ژئوئید استرالیا را بهبود بخشید. شورای تحقیقات استرالیا در سال ۱۹۹۸ میلادی بودجه‌ای را برای یک طرح گروهی به تصویب رساند تا درباره تعیین نسل جدیدی از مدل ژئوئید گراویمتری برای استرالیا تحقیقاتی صورت پذیرد.

این مقاله ضمن بیان پاره‌ای از تحقیقات که هم اکنون در مراحل نهایی خود است، تهیه داده‌های جدید، گزینش مناسبترین مدل جهانی که بر مبنای آن ژئوئید جدید استرالیا قرار خواهد داشت و نیز مدل رقومی زمین (DTM) جهت محاسبه اثرات زمین در روی ژئوئید مورد بحث قرار گرفته است. بهبود مدل ژئوئید به نقشه بردار صحرایی امکان می‌دهد که نقشه برداری توپوگرافی بسیار دقیق را با کمک (GPS) در مبنای ارتفاعی استرالیا (Australian Height Datum-AHD) توأم با تقلیل در زمان و هزینه پیاده نماید.

گزارشات و تجربه‌های دست اول حاکی از آن است که کاربرد ژئوئید گراویمتری با (GPS) به منزله گزینه‌ای برای تراز یابی فوری می‌تواند بین  $100\%$  و  $300\%$  به صرفه جویی در زمان و هزینه بیانجامد.

استرالیا را نسبت به ساده‌ترین کاربرد آن یعنی تبدیل ارتفاعات بیضوی به ارتفاعات (AHD) را نشان می‌دهد.

مجموعه‌ای از ایستگاههای GPS در استرالیا وجود دارد که مختصاتشان با دقت مشخص شده‌اند و به سیستم جهانی مرجع زمینی (International Terrestrial Reference Frame) که شبکه فیدوشل استرالیایی (AFN) و شبکه ملی استرالیا (ANN) را تشکیل می‌دهد، بسته شده‌اند. پنجاه و نه تا از این تعداد نقاط دارای ارتفاعات (AHD) هستند که عمدتاً با تراز یابی نوری درجه سوم ایجاد شده‌اند. از اختلاف بین ارتفاعات GPS و (AHD) برای تولید تخمین هندسی ژئوئید استرالیا استفاده شده است که در (نگاره ۱) ملاحظه می‌شود.



نگاره ۲: پوشش ۴۸۷ و ۶۳۷ مشاهدات پایگاه داده‌ای گراویتی زمینی استرالیا را نشان می‌دهد.

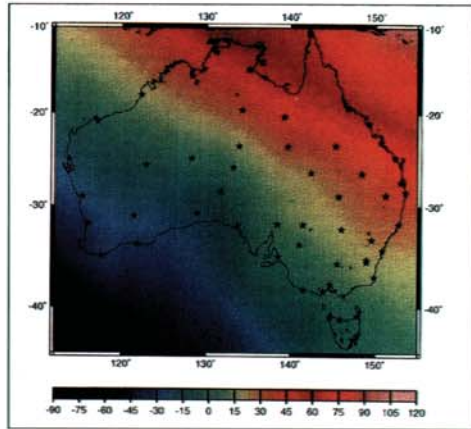
### گراویتی زمینی

از انتشار پایگاه داده‌ای گراویتی استرالیا در ۱۹۸۰ میلادی تقریباً ۲۵۰۰۰۰ مشاهدات گراویتی افزوده شده است. این داده‌ها برای خطاهایی که داشتند مورد بررسی و گزینش قرار گرفتند و از این عمل تعداد ۵۲۶/۰۴۱ مشاهدات در زمین و تعداد ۱۱۱/۳۹۵ مشاهدات گراویتی در دریا به دست آمد. با این حال باید خاطر نشان کرد که این داده‌ها تاکنون فقط برای مقاصد ژئوفیزیکی جمع‌آوری شده بود و در نتیجه نیازمندیهای ژئودزی را برآورده نمی‌کند. بنابراین ناهنجاریهای گراویتی نیز محاسبه شده بود. به منظور تبعیت از مختصات GPS و مبنای ژئوستریک جدید استرالیا، نسل جدید ژئوئید در رابطه با بیضوی مرجع (GRS80) ارائه خواهد شد. بنابراین، داده‌های گراویتی قبل از محاسبه به این سیستم مختصات تبدیل گردید. انحراف استاندارد که با ناهنجاریهای گراویتی جریان هوای آزاد است. به  $+1$  تا  $2$  میلی‌متر کال (1-2mgal) در زمین و  $+3$  تا  $5$  میلی‌متر کال (3-5mgal) در دریای تخمین زده شده است.

### مدلهای ژئوئید جهانی

(AUSGEOID 93) بر مبنای مدل جهانی (OSU91A) دانشگاه ایالتی اوهایو قرارداد کرده بهترین مدل موجود در آن زمان بود. از آن زمان به بعد،

تأثیر کامل توپوگرافی در طی محاسبه (AUSGEOID 93) در مدنظر قرار نگرفت و این امر به نوبه خود می‌تواند اختلافاتی را که در مناطق کوهستانی و روبرومی‌شویم، روشن سازد. اگر قرار باشد که GPS با تمام پتانسیل خود در این گونه مناطق به کار گرفته شود، آنگاه باید تأثیرات توپوگرافی را در نظر بگیریم.



نگاره ۱: تصویر رنگی از تخمین هندسی ژئوئید استرالیا از ایستگاه 59GPS-AHD (واحدها بر حسب متر سیستم تصویر مرکاتور است)

موضوع دیگر نگرانی فقدان داده‌های گراویتی مفصل و مشروح برای نواحی دور از ساحل استرالیا است (نگاره ۲) که تعیین ژئوئید را در نزدیکی‌های ساحل با محدودیت مواجه ساخته است. از آنجایی که (AUSGEOID 93) تنها ژئوئید مقدماتی استرالیا بود که تاکنون مورد بررسی قرار می‌گرفت، طرح تحقیقاتی که در این مقاله ارائه شده با این هدف است که امکان تولید ژئوئیدی با دقت نسبی (1-2mm/km) بدون در نظر گرفتن موقعیت، دقت مطلق به اندازه (0.2m) و توان تفکیک مکانی چند کیلومتر در مناطق مربوطه فراهم گردد. انتظارات فوق با نتایج ژئوئیدی که در دیگر مناطق قاره‌ای از قبیل امریکای شمالی و اروپا به دست آمده، متناسب و هم‌اندازه است.

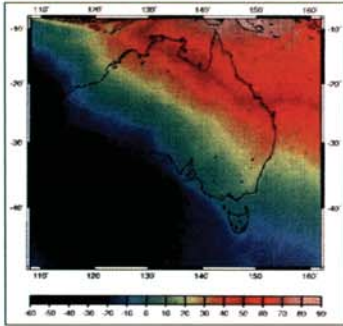
### GPS و داده‌های تراز یابی نوری

روش اصلی که فعلاً برای تحقیق و معتبرسازی یک ژئوئید گراویمتری به کار برده می‌شود و اختلاف بین GPS و داده‌های تراز یابی نوری است. با تفریق ارتفاع (H) از ارتفاع بیضوی (h) ایستگاه ارتفاع ژئوئید هندسی ناهمبسته‌ای (N) حاصل می‌شود که با آن می‌توان ژئوئید گراویمتری را مقایسه نمود. لیکن، این رویکرد قابلیت سازگاری ژئوئید

خواهد شد. (نگاره ۳) مؤلفه طول موج بلند ژئوئید استرالیا را همانطور که مدل جهانی ژئوئید (EGM95) اشتقاق یافته است، نشان می‌دهد.

### داده‌های رقمی زمین

(AUSLIG) مجموعه‌ای از (۷۱۷) نقاط ارتفاعی از سرتاسر استرالیا با دقت تقریبی (+1.5m) و مجموعه دیگری نیز متشکل از یک مدل رقمی زمین (DEM) بر مبنای تک شبکه (250m)  $q$  تهیه نمود.



نگاره ۳: مؤلفه طرح موج بلند ژئوئید استرالیا را همانطور که با مدل جهانی ژئوئید (EGM95) به دست آمده است، نشان می‌دهد. (واحدها برحسب متر است و سیستم تصویر مرکاتور می‌باشد)

مدل رقمی زمین (DEM) با استفاده از نقاط ارتفاعی و ارتفاعات ایستگاه گراویتی که به عنوان پایگاه داده‌ای استرالیا نگهداری شده است، ساخته گردید. با اعمال زهکشی نسبت به دریاچه‌ها و رودخانه به توان تفکیک مکانی بالایی دست یافته شد.

به منظور نشان دادن بهبود بالقوه‌ای که کاربرد تصحیحات گراویمتری زمین (C)، تأثیر مستقیم آنها بر روی ژئوئید (NC) و تأثیر مستقیم آنها در روی ژئوئید (Nind) بدست می‌دهد، یک (DEM) موقتی (1x1) از داده‌های نقاط ارتفاعی و ارتفاعات ایستگاه گراویتی ساخته شد.

جدول (۳) ارقام تأثیرات زمین در سرتاسر استرالیا را بر روی ژئوئید نشان می‌دهد. از (جدول (۳)) چنین برمی‌آید که تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم زمین می‌تواند تأثیرات قابل ملاحظه‌ای را بر روی ژئوئید گراویمتری ایجاد نماید به نحوی که در بخشهای شرقی استرالیا به (۷۹ cm) می‌رسد.

بر اساس آنچه که تئوری پیش‌بینی می‌کند، می‌بایست همواره از این تصحیحات در محاسبه ژئوئید استفاده گردد و انتظار می‌رود که بعد از بررسی این تأثیرات (AUSGEOID 93) در مناطق کوهستانی بهبود یابد. این ادعا تا حد مطمئن با استفاده از داده‌های کنترلی (GPS-AHD) مورد آزمون قرار گرفت.

مدل (EGM95) آژانس نقشه‌برداری وزارت دفاع آمریکا (DMA) و مرکز پرواز فضایی گوارد سزاسمان (GSFC) ارائه گردید.

به منظور دستیابی به برآزش مناسب آماری نسبت به ژئوئید و میدان گراویتی برای استرالیا، ناهنجاریهای گراویتی از مدل‌های جهانی گوناگونی مورد محاسبه قرار گرفت و آنگاه از نقطه‌نظر آماری با (۴۸۷ و ۶۳۷) ناهنجاریهای جریان هوای آزاد (جدول (۱)) مورد مقایسه قرار گرفتند.

جدول (۱): میانگین و انحراف استاندارد اختلاف بین (۴۸۷ و ۶۳۷) ناهنجاریهای گراویتی هوای آزاد زمین و مقدار مدل‌های جهانی ژئوئید (OSU91A) و (EGM95) در یک موقعیت مشاهده‌ای را نشان می‌دهد.

(واحدها برحسب (mgal) می‌باشد)

RMS	انحراف استاندارد	میانگین	حد اقل	حد اکثر	مدل جهانی
۱۱/۸۷۲	۱۱/۸۱۳	-۱/۱۸۲	-۲۳۶/۷۳۲	۲۱۳/۰۹۹	OS91A
۱۱/۸۷۰	۱۱/۸۲۵	-۱/۰۰۰	-۲۳۸/۱۷۷	۱۹۴/۵۳۰	EGM96

این فرایند برای پنجاه و نه ایستگاه تکرار شده که در آنها داده‌های تراز یابی نوری (AHD) و (GPS) به عنوان بخشی از دوشبکه مبتنایی استرالیا موسوم به (ANN, AFN) هم موقعیت بودند و ارقام اختلاف در (جدول (۲)) ارائه گردیده است.

جدول (۲): میانگین و انحراف استاندارد بین ایستگاهها (GPS-AHP) و

مقدار مدل‌های جهانی ژئوئید (OSU91A) و (EGM96) در یک موقعیت

مشاهده‌ای را نشان می‌دهد. (واحدها برحسب متر است)

RMS	انحراف استاندارد	میانگین	حد اقل	حد اکثر	مدل جهانی
-۰/۴۸۲	-۰/۴۷۶	-۰/۰۷۴	-۰/۹۸۹	۱/۱۸۹	OS91A
-۰/۴۱۰	-۰/۴۰۹	-۰/۰۱۷	-۰/۹۱۳	-۰/۸۵۱	EGM96

جدول (۳): آمارهای تصحیحات هندسی زمین (C)، تأثیر مستقیم آن بر روی ژئوئید (NC) و تأثیر غیرمستقیم آن را بر روی ژئوئید (Nind) را نشان می‌دهد که از (DEM) 1x1 سراسر قاره استرالیا محاسبه شده است.

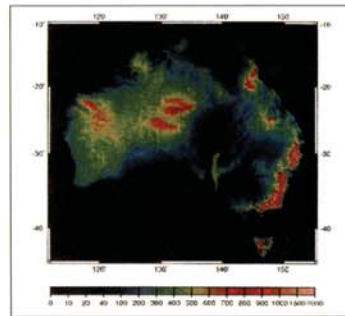
RMS	انحراف استاندارد	میانگین	حد اقل	حد اکثر	مدل جهانی
-۰/۴۶۲	-۰/۴۵۱	-۰/۱۰۰	-۰/۰۰۰	۲۵/۴۷۴	C(mgal)
-۰/۱۲۵	-۰/۰۹۷	-۰/۰۷۸	-۰/۰۱۳	-۰/۷۹۳	Nc(m)
-۰/۰۰۹	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۴	-۰/۲۱۵	-۰/۰۰۰	Nind(m)

هنوز واضح نیست که کدام مدل جهانی ژئوئید برای قاره استرالیا بهتر است. البته، انتظار این امر بود زیرا مقدار با اهمیتی از داده‌های گراویتی اضافی استرالیا در مدل (EGM96) منظور نشده است.

به هر حال، با توجه به بهبود پوشش داده‌های جهانی و روشهای محاسباتی که برای تعیین (EGM95) مورد استفاده قرار گرفته است، احتمال می‌رود که از این مدل به عنوان مبنای ژئوئید جدید استرالیا استفاده

به طور کلی، اصلاحاتی را که این ژئوئید جدید استرالیا ارائه می‌کند بسیار دلگرم کننده است و انتظار می‌رود که کلیه نقشه‌برداران استرالیا از آن بهره‌مند شوند.

علاوه بر مزایای چشم‌گیر برای نقشه‌برداران، این ژئوئید جدید امکان می‌دهد که بتوان از تمام ظرفیت (GPS) استفاده نمود. GPS و ژئوئید از نظر صرفه‌جویی در زمان و هزینه، جایگزینی را برای تعیین ارتفاعات (AHS) ارائه می‌کند.



نگاره (۴): مدل رقومی زمین قاره استرالیا را نشان می‌دهد. (واحدها برحسب متر داده شده است و سیستم تصویر مرکاتور می‌باشد)

(جدول (۴)) ارقام اختلافات را بین پنجاه و نه ارتفاع ژئوئید هندسی و خود (AUSGEOID 93) و همان ارقام را برای (AUSGEOID 93) بعد از اینکه مجموع تأثیر بر روی ژئوئید (ترکیب اثرات مستقیم و غیرمستقیم) افزوده شده است، نشان می‌دهد. از نتایج جدول (۴) چنین برمی‌آید که تأثیر زمین بهبود اندک ولی سیستماتیکی نسبت میانگین اختلاف بین مدل‌های ژئوئید گراویمتری و هندسی در برداشته است. لذا، این نتایج هیچگونه بهبود قابل ملاحظه‌ای را در انحراف استاندارد اختلافات نشان نمی‌دهد. این هم به احتمال زیاد به دلیل تعداد نسبتاً اندک ایستگاههای کترلی (GPS) واقع در مناطق کوهستانی است (نگاره (۱)).

جدول (۴):

مدل جهانی	حد اکثر	حداقل	میانگین	انحراف استاندارد	RMS
AUSGEOID93 alone	+۰/۶۷۶	-۱/۱۸۵	-۰/۱۵۴	+۰/۴۲۰	+۰/۴۴۷
Terrain correct	-۰/۸۰۰	-۱/۱۵۹	+۰/۰۸۰	+۰/۴۰۹	+۰/۴۱۸
AUSGEOID93					

### کارآیی

از نتایجی که در این مقاله کوتاه ارائه شده است، بهبودهایی بر روی (AUSGEOID 93) تحقق یافته است و اصلاحات بیشتری هم انتظار می‌رود. این اصلاحات بیشتر شامل ترکیب بهینه داده‌های آلتیمتری ماهواره‌ای با داده‌های گراویتی دریاپی، کاربرد (DEM) (q) قاره جهت محاسبه مجموع تأثیر زمین و افزایش توان تفکیک مکانی ژئوئید و کاربرد شبکه‌های منطقه‌ای (GPS) برای ارزیابی دقت ژئوئید در مناطق دارای توپوگرافی گوناگون می‌باشد.