

تعیین توپوگرافی سطح آب در خلیج فارس و دریای عمان از طریق تلفیق اطلاعات ارتفاعسنجی ماهواره‌ای و مدل ژئوئید جهانی

مجید ابره‌داری^۱، رامین کیامهر^۲، سیدمحمدتقی ساداتی‌پور^۳

^۱فارغ التحصیل کارشناسی ارشد هیدروگرافی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

Majid_Abrehdary@yahoo.com

^۲استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه زنجان

Ramin@infra.kth.se

^۳استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

Sadatipour1960@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق از خاصیت تکرار شونده‌ی زمانی مشاهدات ماهواره ارتفاعسنجی توپکس پوزایدون در طی سالهای ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۳ برای ایجاد سری‌های زمانی در پای حرکت ماهواره در دریای عمان و خلیج فارس استفاده شد. برای این منظور بر هر نقطه مکانی یک سری زمانی ایجاد گردید. سپس با استفاده از روش کمترین مربعات قسمت خطی آن به عنوان برآورد سطح متوسط دریا و بخش وابسته به زمان آن به عنوان تغییرات زمانی سطح متوسط دریا آنالیز گردید. نظر به اهمیت تعیین توپوگرافی سطح آب در مطالعات اقیانوس‌شناسی، تعیین و یکسان‌سازی سطح مبنای ارتفاعی، در این تحقیق مدل جدیدی برای توپوگرافی سطح دریا با استفاده از تلفیق مشاهدات ارتفاعسنجی ماهواره‌ای و مدل ژئوئید جهانی در منطقه خلیج فارس و دریای عمان ارائه شد. به منظور محاسبه این پارامتر، از جدیدترین و دقیق‌ترین مدل ژئوئید جهانی EGM2008 استفاده گردید.

کلمات کلیدی: توپکس پوزایدون، توپوگرافی سطح آب، ژئوئید، ارتفاعسنجی ماهواره‌ای، EGM2008

۱- مقدمه

مدلسازی میدان ثقل زمین نیازمند مشاهدات ثقلی زمینی، دریایی، هوایی و فضایی است. مشاهدات ثقلی دریایی همواره از عدم دقت و نویز بالا رنج برده‌اند. در این میان مشاهدات ارتفاعسنجی ماهواره‌ای امکان اندازه‌گیری تغییرات سطح آب دریا را با دقت بالایی پدید می‌آورد. در این تحقیق امکان تلفیق اطلاعات ارتفاعسنجی ماهواره‌ای و ژئوئید در دریاها جهت تعیین پارامترهای دینامیکی نظیر جزرومد و جریانهای آبهای جنوب ایران بررسی گردیده است. مراحل اصلی روش ارائه شده به شرح ذیل می باشد:

۱- دستیابی به سطح متوسط دریا از طریق ارتفاعسنجی ماهواره‌ای

۲- دستیابی به توپوگرافی سطح دریا از طریق تلفیق با مدل ژئوئید جهانی

روش ارتفاعسنجی ماهواره‌ای برای استفاده متخصصان ژئودزی در تعیین سطح دریا و تعیین توپوگرافی سطح دریا، اقیانوس‌شناسان در مطالعه دینامیک اقیانوسها و ژئوفیزیکدانها در شناخت ساختارهای کف اقیانوسها و فعالیتهای تکتونیکی زیردریایی مورد توجه و علاقه است. کاربردهای این روش در بسیاری از رشته‌ها از جمله اقیانوس‌شناسی، اقلیم‌شناسی، هواشناسی، مدیریت منابع زمینی، ژئودزی، هیدروگرافی و ژئودینامیک مشهود است. در سالهای اخیر فعالیت‌های زیادی در استفاده از ارتفاعسنجی ماهواره‌ای برای مدلسازی تغییرات سطح آب دریا در دریای خزر، خلیج فارس و دریای عمان انجام شده است از جمله رستمی (۱۳۸۱) و پورشریفی (۱۳۸۵) به مدلسازی

توپوگرافی سطح دریا در خلیج فارس و دریای عمان از طریق ارتفاعسنجی ماهواره‌ای پرداختند. مسیب زاده نیز (۱۳۸۱) به تعیین توپوگرافی سطح آب در دریای عمان و خلیج فارس از طریق تلفیق اطلاعات GPS و مشاهدات تایدگیج‌ها پرداخته است؛ هاشمی فراهانی (۱۳۸۲) نقشه‌های هم‌دامنه و هم‌فاز جزرومدی را در مقیاس جهانی از طریق ارتفاعسنجی ماهواره‌ای تعیین نمود؛ جعفری (۱۳۸۵) اقدام به مدلسازی روند تغییرات سطح آب دریای خزر با استفاده از مشاهدات ارتفاعسنجی ماهواره‌ای و تایدگیج‌های ساحلی پرداخت. در این تحقیق یک روش نوین در آنالیز پارامترهای ژئودینامیکی آبهای جنوب ایران از طریق تلفیق اطلاعات ارتفاعسنجی ماهواره‌ای و ژئوئید جهانی پیشنهاد شده است.

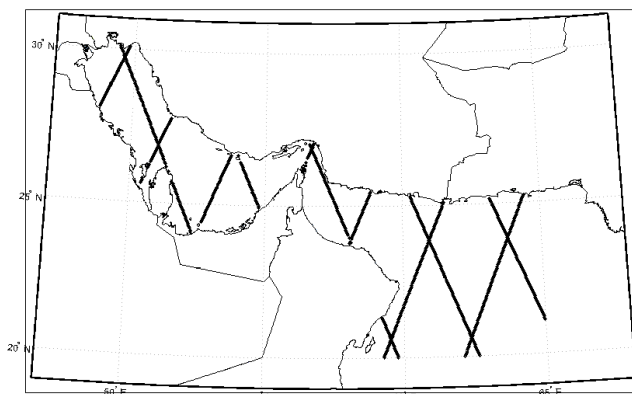
۲- تعیین سطح متوسط دریا

سطح متوسط دریا از متوسط‌گیری بلند مدت تغییرات سطح لحظه‌ای آب دریا بدست می‌آید. اگر سطح لحظه‌ای آب دریا را از کلیه عوامل تغییر دهنده آن تصحیح کنیم، به سطح تراز متوسط دریا^۱ می‌رسیم و در غیر اینصورت فقط سطح متوسط دریا^۲ بدست می‌آید. اقیانوس‌شناسها تمایل دارند برخی عوامل را بر روی سطح دریا بررسی کرده و تنها تأثیرات جاذبی را بر روی سطح دریا بردارند، اما ژئودزینها می‌خواهند همه عوامل را حذف نموده و سپس متوسط‌گیری نمایند. معمولاً سطح متوسط دریا را از مشاهدات نقاط یک شبکه منظم بدست می‌آید، مشاهدات این نقاط از طریق ایستگاههای تایدگیجی سراسر جهان و یا به وسیله روش ارتفاعسنجی ماهواره‌ای بدست می‌آیند. سطح متوسط دریا از دیر باز به عنوان نقطه صفر ارتفاعی و سطح تعادل دریا در ساحل منظور شده است که برای رسیدن به آن باید فرکانسهای جزرومدی در بازه‌های زمانی محدودی حذف و سطح باقیمانده را پس از حذف تغییرات تناوبی به عنوان سطح متوسط دریا در نظر گرفت. این سطح از طریق اتصال به پنج مارکهای ساحلی امکان انتقال صفر ارتفاعی به خشکی را فراهم می‌آورد.

۳- تعیین سطح متوسط دریا

۳-۱- داده‌های ماهواره توپکس پوزایدون

داده‌های ماهواره توپکس پوزایدون که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است شامل داده‌های خام ۱۱ سال (۲۰۰۳-۱۹۹۲) از مشاهدات ماهواره‌ای واقع در سایکلهای ۰۱۱ تا ۳۷۰ (۳۶۰) می‌باشد که از سایکلهای ۰۱ تا ۱۰ به دلیل برخی خطاها استفاده نشده است. هر سایکل شامل ۱۲۷ مدار و ۲۵۴ گذر است که به فرمت باینری MGDR-B در سایت سازمان فضایی آمریکا قابل دسترسی می‌باشد. همانطور که در شکل ۱ مشهود است تعداد گذرهای واقع در محدوده خلیج فارس و دریای عمان ۱۳ عدد می‌باشد که پوشش نسبتاً خوبی را پدید آورده است. در ادامه طریقه ایجاد و شکل‌گیری اطلاعات تشریح خواهد شد.



شکل ۱. خطوط گذرهای زمینی ماهواره توپکس پوزایدون در محدوده خلیج فارس و دریای عمان

۳-۲- محاسبه ارتفاع سطح لحظه‌ای آب^۳

ارتفاع لحظه‌ای سطح آب در نقطه مشاهداتی نسبت به بیضوی مرجع از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$SSH(\lambda, \varphi, t) = H_{sat}(\lambda, \varphi, t) - Range(\lambda, \varphi, t) \quad (1)$$

از آنجائیکه ارتفاع لحظه‌ای سطح آب به شرایط اتمسفریک بین ماهواره و سطح دریا و نحوه بازگشت سیگنال از سطح دریا بستگی دارد، بنابراین برای تعیین ارتفاع سطح آب دریا در نقطه مشاهداتی نسبت به بیضوی مرجع ابتداء باید خطاهای سیستماتیک فاصله ماهواره از سطح دریا که توسط ارتفاع سنج اندازه‌گیری شده است را تصحیح نمود. تصحیحات لازم برای حذف این خطاها عبارتند از:

تصحیح تروپوسفر تر (Δw)، تصحیح تروپوسفر خشک (Δd)، تصحیح یونسفر (ΔI)، تصحیح بایاس تأثیر معکوس فشار (ΔIB)، بایاس وضع دریا (تصحیح بایاس الکترومغناطیس) (ΔE)، تصحیح جزرومد آب دریا، تصحیح جزرومد قطبی (ΔpT) و تصحیح تغییرات مرکز ثقل آنتن ارتفاع سنج (Δc).

کلیه این تصحیحات در فایل‌های اطلاعاتی ماهواره به نام MGDR-B وجود دارد. این تصحیحات برای هر نقطه بصورت جداگانه ارائه شده و با داشتن این تصحیحات می‌توان به صورت زیر مقدار فاصله تصحیح شده را بدست آورد:

$$Corrected Range = Range + \Delta w + \Delta d + \Delta I + \Delta IB + \Delta E + \Delta pT + \Delta c \quad (2)$$

قابل ذکر است که برای رسیدن به سطح متوسط دریا لازم به تشکیل سری زمانی از ارتفاع لحظه‌ای سطح آب و آنالیز این سری‌ها می‌باشد، بنابراین نمی‌بایستی تصحیح ناشی از جزرومد را به مشاهدات اعمال نمود. بعد از آن که فاصله بین ماهواره تا سطح لحظه‌ای آب تصحیح گردید، می‌توان با داشتن مقدار ارتفاع ماهواره از سطح بیضوی مرجع در همان نقطه، ارتفاع سطح آب در آن نقطه را نسبت به بیضوی مرجع در همان لحظه به صورت زیر بدست آورد:

$$SSH(\lambda, \varphi, t) = H_{sat}(\lambda, \varphi, t) - Corrected Range \quad (3)$$

۳-۳- استخراج اطلاعات مورد نیاز از فایل باینری مشاهدات ارتفاع سنجی ماهواره توپکس پوزایدون

به منظور آماده سازی مشاهدات، در این تحقیق ابتداء باید ۲۰ داده اصلی شامل: شماره روز، زمان با دقت میلی ثانیه، ارقام میکروثانیه زمان، عرض جغرافیایی نقطه نادیر، طول جغرافیایی نقطه نادیر، ارتفاع ماهواره از سطح بیضوی، فاصله ماهواره از سطح دریا، مقدار RMS فاصله ماهواره از سطح دریا، تصحیح تغییرات مرکز ثقل آنتن ارتفاع-سنج، تصحیح تروپوسفر خشک، تصحیح معکوس فشار، تصحیح تروپوسفر تر، تصحیح یونسفر، تصحیح بایاس

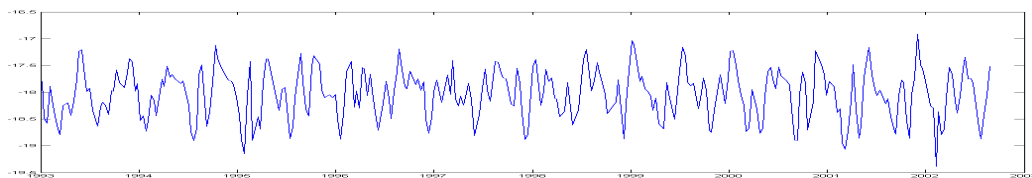
الکترومغناطیس، ارتفاع سطح متوسط دریا، ارتفاع ژئوئید، جزرومد الاستیک دریا، جزرومد قطبی، عمق دریا و نشان گر نوع جنس زمین از نظر آب، خاک یا یخ را از فایل‌های باینری با یک برنامه کامپیوتری decode نمود که سپس با اعمال رابطه (۱) بر اطلاعات decode شده فاصله تصحیح شده مربوط به هر نقطه محاسبه می‌شود. سپس مقادیر مورد نظر در رابطه (۲) قرار گرفته و ارتفاع لحظه‌ای هر نقطه از بیضوی رفرنس محاسبه می‌گردد.

۳-۴- تشکیل سری زمانی در نقاط پای ماهواره ارتفاع سنج توپکس پوزایدون

فاصله زمانی میان دو گذر متوالی ماهواره ارتفاع سنجی توپکس پوزایدون از یک نقطه حدود ۹/۹۱۵ روز است، بنابراین با توجه به اطلاعات حاصل از این ماهواره می‌توان در سطح دریاها و اقیانوس‌ها نقاط مشخصی را یافت که وضعیت ارتفاع سطح آب در آنها هر ۹/۹۱۵ روز یک بار اندازه‌گیری شده است. لازم به ذکر است که ارتفاع سنجی ماهواره در گذرهای متوالی دقیقاً روی نقاط مشابه صورت نمی‌گیرد و لذا بایستی محدوده‌ای را برای پذیرش نقاط در نظر گرفت و فرض نمود که وضعیت جزرومدی این نقاط به دلیل نزدیکی یکسان است. با توجه به آن که حداقل فاصله میان دوبار ارتفاع سنجی متوالی در سطح دریا حدود ۶ کیلومتر است شعاع دایره جستجو برای پذیرش نقاط به عنوان نقاط با جزرومد یکسان ۳ کیلومتر در نظر گرفته می‌شود.

با انجام برخی پردازش‌های مناسب اطلاعات را به گونه‌ای ساختار بندی می‌کنیم که اطلاعات موجود در گذرهای مشابه مربوط به سایکلهای مختلف در یک ماتریس ذخیره شوند.

از این ماتریسها استفاده نموده و سری زمانی مربوط به هر نقطه را تشکیل می‌دهیم. لازم به ذکر است که هر سری زمانی در نقطه‌ای به مختصات $\bar{\lambda}(i), \bar{\varphi}(i)$ تشکیل می‌شود و این نقطه در حقیقت مرکز هندسی نقاطی از گذرهای متوالی ماهواره است که در یک دایره جستجو به شعاع ۳ کیلومتر واقع شده‌اند. در ادامه یک سری زمانی شبیه سازی شده با پیوند ۹/۹۱۵ روز و به مدت ۱۱ سال مطابق با مشاهدات ماهواره توپکس پوزایدون تولید می‌کنیم.



شکل ۲. مشاهدات تغییرات سطح لحظه‌ای آب در فاصله زمانی ۹/۹۱۵ روز بر حسب متر طی ۱۱ سال

۳-۵- استفاده از روش آنالیز طیفی فوریه برای یافتن فرکانس موجود در سری‌های زمانی و روش کمترین مربعات به منظور دستیابی به فرکانسهای دقیقتر، دامنه و فاز موج

با فرض اینکه سری زمانی $h\{t_i\}, i=1,2,\dots,n$ مشاهدات ارتفاع سطح لحظه‌ای سطح آب در نقطه معینی باشد مدل مناسب برای مدلسازی جزرومد به صورت زیر است:

$$h(t)|_{\varphi,\lambda} = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i \cos(\omega_i t) + b_i \sin(\omega_i t) \quad (4)$$

در رابطه فوق a_0 بیانگر میانگین کل داده‌ها و a_i, b_i اعداد حقیقی هستند که می‌بایست به عنوان ضرایب فوریه تعیین شوند. در حقیقت تعیین ضرایب فوریه موجود در بسط فوق باعث تعیین مدل برای رفتار یک پدیده می‌-

شود که این ضرایب با استفاده از نمونه و تشکیل یک دستگاه معادلات پارامتریک به فرم زیر تعیین و در حل این دستگاه معادلات از روش کمترین مربعات استفاده می‌شود.

(۵)

$$\begin{bmatrix} 1 & t_1 & \cos(\omega_1 t_1) & \sin(\omega_1 t_1) & \dots & \cos(\omega_k t_1) & \sin(\omega_k t_1) \\ 1 & t_2 & \cos(\omega_1 t_2) & \sin(\omega_1 t_2) & \dots & \cos(\omega_k t_2) & \sin(\omega_k t_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & t_n & \cos(\omega_1 t_n) & \sin(\omega_1 t_n) & \dots & \cos(\omega_k t_n) & \sin(\omega_k t_n) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_0 \\ b_0 \\ a_1 \\ b_1 \\ \dots \\ a_k \\ b_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h(t_1) \\ h(t_2) \\ \dots \\ h(t_{n-1}) \\ h(t_n) \end{bmatrix}$$

$$Ax = L \rightarrow \hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T L$$

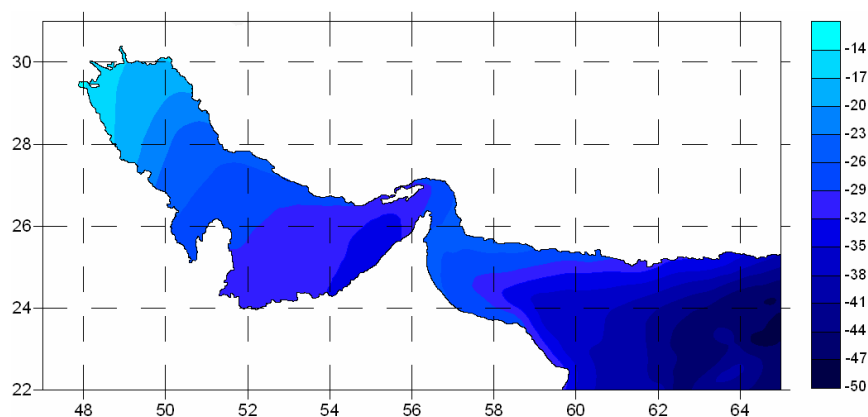
روش فوریه یک روش برای یافتن فرکانس از روی اطلاعات می‌باشد. اما برای اینکه بتوانیم اثر جزرومد را از روی سطح متوسط آب جدا کنیم، باید سایر عوامل هر موج را نیز شناسایی کنیم. برای اینکه یک موج سینوسی را بتوان استخراج نمود، باید سه المان هر موج یعنی فرکانس، دامنه و اختلاف فاز آن موج را بدست آورد. تا اینجا توانستیم یک سری فرکانس موجود در داده‌ها را بیابیم. اما اکنون می‌خواهیم مجهولات دامنه و اختلاف فاز را بیابیم. یک روش یافتن این فاز و دامنه، تقسیم منحنی کسینوسی به دو منحنی ساده است.

$$h(t_i) = a \cos(\omega t_i) + b \sin(\omega t_i), \omega = 2\pi f_k \quad (۶)$$

$$A = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (۷)$$

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (۸)$$

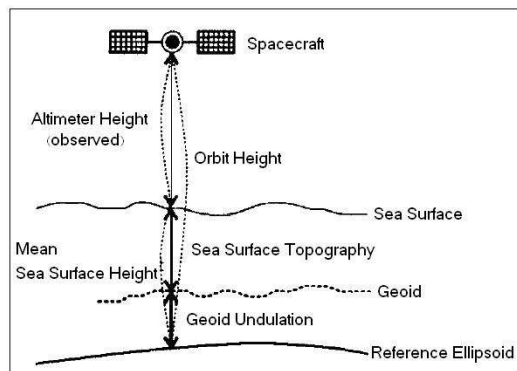
همانطور که می‌دانیم سطح متوسط دریا سطحی می‌باشد که پس از محاسبه کلیه مؤلفه‌های پریودیک سطح دریا و حذف دامنه این مؤلفه‌ها از روی ارتفاعات لحظه‌ای سطح آب بدست می‌آید. بنابراین برای محاسبه این سطح ابتداء باید کلیه مقادیر دامنه و فاز مؤلفه‌های پریودیک سطح آب را محاسبه نمود که برای رسیدن به این امر با انجام مجدد آنالیز طیفی فوریه و روش کمترین مربعات به مدل کامل جزرومدی دست می‌یابیم و هم اکنون می‌توانیم بگوییم که a_0 بدست آمده همان سطح متوسط دریاست.



شکل ۳. سطح متوسط دریا در واحد متر

۴- تعیین توپوگرافی سطح دریا

ژئوئید سطح مبنای ارتفاعی است که در عمل ژئوئید و سطح متوسط دریا یکسان فرض می‌شوند اما در حقیقت، ژئوئید بر MSL منطبق نیست و تحت تأثیر پدیده‌های متفاوتی از جمله فشار جو، درجه حرارت، شوری آب دریا، تخلیه رودخانه به دریا، نیروی جاذبه گرانشی ماه و خورشید، جریانهای دریایی و غیره، اختلافی بین MSL و ژئوئید پدید می‌آید که به آن توپوگرافی سطح دریا^۴ گفته می‌شود.

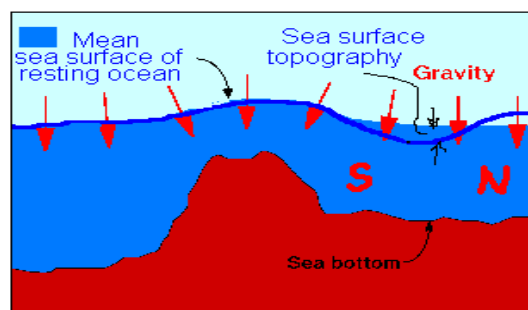


شکل ۴. سطح متوسط دریا، ژئوئید و توپوگرافی سطح دریا

منطبق در نظر گرفتن MSL و ژئوئید در عمل موجب بروز تفاوت در صفر ارتفاعی کشورهای گوناگون شده است که راهکار مناسب برای حل این مشکل، مدلسازی توپوگرافی سطح دریا در هر ایستگاه جزرومدی مبناء و اعمال آن به صفر ارتفاعی است.

توپوگرافی سطح دریا در مقابل توپوگرافی بستر دریا مطرح بوده و همانطور که در شکل (۵) نشان داده شده است تا حدودی ارتباط نزدیکی بین دو سطح از نظر جاذبی وجود دارد. در واقع آرامش سطح دریا متناسب با شکل توپوگرافی بستر دریاست.

در شکل (۵) سطح عمود بر بردارهای شتاب ثقل در هر نقطه، سطح دریا را نشان میدهد. چگالی آب نیز یک عامل واسطه بین عوامل دینامیکی و جاذبی محسوب می‌شود. زیرا تغییر چگالی آب ناشی از عوامل دینامیکی مثل تغییر دما و فشار سطح دریا و تغییر شوری آب دریا بوده و از طرف دیگر تغییر چگالی آب باعث تغییر سطح دریا ناشی از تغییرات جاذبه می‌شود.



شکل ۵. ارتباط توپوگرافی سطح دریا و توپوگرافی بستر دریا

همانطور که در شکل (۵) آمده است، تعیین توپوگرافی دقیق سطح دریا به دو عامل بستگی دارد:

۱- یکی سطح متوسط دقیق دریا و دیگری ژئوئید می‌باشد. در تعیین سطح متوسط دریا به روش ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای می‌توان به یک سطح متوسط نسبتاً دقیق از سطح دریا رسید. پس سطح متوسط مطلوب سطحی است که از مشاهدات بلند مدت بدست می‌آید که هر چه طول این مدت بلندتر باشد خطای ناشی از آن روی سطح متوسط دریا نیز کمتر می‌شود. بدلیل عدم وجود سری زمانی داده‌های سطح لحظه‌ای دریا تا بی‌نهایت و عدم پیوستگی داده‌ها، سطح متوسط دریا بر سطح هم‌پتانسیل ژئوئید منطبق نمی‌باشد. زیرا هنوز خطاهایی در تعیین این سطح باقی بوده و در نتیجه سطح نیمه استاتیک را خواهیم داشت. میتوان گفت لزوماً سطح متوسط دریا بر ژئوئید منطبق نیست اما میتوان سطح متوسط دریا را با خطای یک درصد ژئوئید نامید.

۲- عامل دوم یعنی تعیین ژئوئید که خود بستگی به عوامل بسیاری از جمله نوع و میزان داده‌ها، روش به کارگیری و غیره دارد.

تعیین توپوگرافی سطح آب دریاها از آنجا برای ما دارای اهمیت می‌باشد که با در اختیار داشتن نقشه‌های مربوط به آن می‌توان سطح مبنای ارتفاعی کشورها و مناطق مختلف را یکسان‌سازی نمود.

۵- ژئوئید

بنابر تعریف گوس لیستینگ ژئوئید سطحی است هم‌پتانسیل در میدان ثقل زمین که به بهترین وجه بر سطح متوسط دریاها منطبق می‌گردد. جدایی این سطح نسبت به بیضوی جهانی بین ۸۳ و ۱۰۶- متر می‌باشد.

تعیین ژئوئید در دریاها بسیار ساده‌تر از تعیین ژئوئید در خشکی‌هاست. زیرا امروزه با وجود روش ارتفاع-سنجی ماهواره‌ای امکان تعیین ژئوئید در دریاها با دقت بالایی فراهم شده است. سابقه روش ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای برای تعیین ژئوئید به سه دهه قبل باز می‌گردد.

روشی که معمولاً بسیار رایج می‌باشد روش تعیین ارتفاع ژئوئید از مدل ژئوپتانسیل می‌باشد. تعیین این نوع ژئوئید تقریبی بوده و به علت وجود جریانهای توپوگرافی زمین در نقاط مختلف همراه با خطایی در حد چند دسی‌متر می‌باشد که این موضوع سبب شده تا ضرایبی را به عنوان تصحیحات برای تعیین ژئوئید برای این روش محاسبه در نظر گرفته و در کنار مدل ژئوپتانسیل قرار دهند.

۵-۱- مدل جهانی ژئوپتانسیل EGM2008^۵

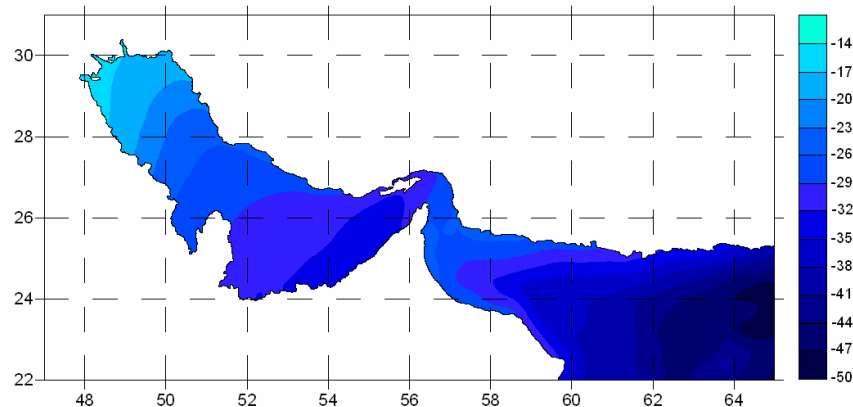
جدیدترین مدل ژئوپتانسیل جهانی که موسوم به EGM می‌باشد با درجه و مرتبه ۲۱۶۰ در سال ۲۰۰۸ میلادی در اختیار کاربران قرار گرفت. این مدل بر مبنای استفاده از داده‌های اصلاح شده اطلاعات ثقلی ۵ دقیقه در ۵ دقیقه سراسر جهان و مدل‌های ژئوپتانسیل بدست آمده از ماهواره GRACE شکل گرفته است.

آخرین مدل ژئوپتانسیل زمین که توسط سازمان NGA در اواسط دهه ۹۰ میلادی تولید شده بود EGM96 نام داشت. این مدل از درجه و مرتبه ۳۶۰ می‌باشد که با استفاده از داده‌های ثقلی ۳۰ دقیقه در ۳۰ دقیقه سراسر جهان و اطلاعات طول موج بلند تقریباً ۴۰ ماهواره، داده‌های ارتفاعی استخراج شده از ۲۹ منبع مختلف و داده‌های ارتفاع‌سنجی ماهواره‌های TOPEX, ERS-1, GEOSAT برای نواحی دریایی توسعه یافته است.

دقت RMS مدل EGM96 در حدود ۱-۵/۰ متر تخمین زده شده است که این دقت توسط انجمن بین‌المللی ژئودزی تأیید شده است. دقت مورد انتظار برای مدل جدید EGM2008 بسیار اغراق‌آمیز است زیرا که

پراکندگی متوسط ثقلی ۵ دقیقه در ۵ دقیقه و معادل درجه و مرتبه ۲۱۶۰ و دقت ژئوئید جهانی با ۱۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. این دقت، نیازمند داده‌های ماهواره GRACE برای اصلاح طول موج بلند مدل، و داده‌های ماهواره‌ای ارتفاع‌سنجی و زمینی اصلاح شده از میان پایگاه‌های اطلاعاتی داده‌های ثقل زمینی می‌باشد.

توسعه مدل جدید ژئوپتانسیل، بر اساس استفاده از آخرین اطلاعات ثقل با پوشش جهانی بدست آمده از اطلاعات خشکی، دریایی، هوایی و ماهواره‌ای می‌باشد. برجسته‌ترین نکته در مدل EGM2008 استفاده و ترکیب داده‌ها و مدلها برای دستیابی به مدل ثقلی می‌باشد. روشها و مدل‌های بسیاری در فرآیند توسعه این مدل آزمایش و بهبود یافته‌اند. بعنوان بخشی از این کوششها، گروهی از انجمن بین المللی ژئودزی تشکیل شد تا با استفاده از داده‌های حاصله از GPS/Leveling، مدار ماهواره‌ها، داده‌های انحراف قائم، ثقل دریایی و مدل توپوگرافی سطح دریا و غیره صحت و کارکرد مدل ژئوپتانسیل ۲۰۰۸ را ارزیابی کند. برنامه‌های نرم افزاری متعددی برای آزمایش ضرایب ۲۱۶۰ در ۲۱۶۰ این مدل توسط مؤسسه NGA تهیه شده است. گروه دیگری نیز از مؤسسه IAG نیز به آزمایش مستقل مدل EGM2008 پرداختند. انتظار می‌رود مدل EGM2008 بتواند نقش مهمی در جهت بهبود دقت مورد نیاز در کاربردهای ژئودزی و ژئوفیزیک ایفا کرده و نیازهای جوامع نقشه برداری و ژئوفیزیک را با دقت نسبتاً بالاتری برآورده کند. برای مثال ژئوئید حاصل از EGM می‌تواند نقشه برداران و ژئودزینها را به تعیین موقعیت ارتفاعی و ارتفاع ارتومتریک با دقت به مراتب بهتر قادر سازد. این مورد می‌تواند سهم به‌سزایی در توسعه زیر ساختهای اطلاعات ژئودتیک در کشورهای جهان داشته باشد.

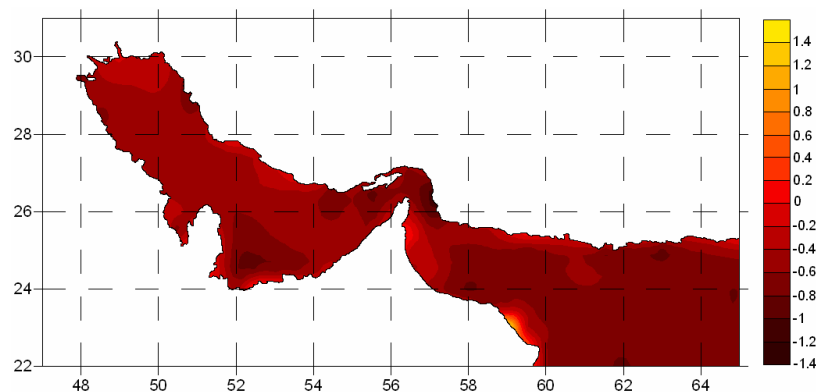


شکل ۶. ژئوئید مدل ژئوپتانسیل EGM2008 در واحد متر

بنابراین در این قسمت پس از محاسبه ژئوئید از مدل ژئوپتانسیل EGM2008 و همچنین محاسبه MSL با استفاده از روش ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای باید کمیت SST را محاسبه کنیم که همانطور که می‌دانیم برابر اختلاف بین ژئوئید و سطح متوسط دریا می‌باشد.

$$SST|_{\varphi,\lambda} = MSL|_{\varphi,\lambda} - N_{geoid}|_{\varphi,\lambda} \quad (9)$$

نتیجه حاصل از محاسبه مقدار SST از مدل ژئوئید در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷. توپوگرافی سطح آب (حاصل از EGM2008) در واحد متر

۶- نتایج و پیشنهادات

نتایج ذیل را می‌توان بصورت خلاصه از این تحقیق ارائه نمود:

برآورد صحیح و کاملی را از تغییرات زمانی آب دریاها با تکیه بر مشاهدات ۱۱ ساله ماهواره توپکس پوزایدون نمی‌توان ارائه کرد، چون مؤلفه‌های با پریود ۱۸/۶ سال از این مشاهدات قابل کشف نمی‌باشد. از آن‌جا که در ساختار پدیده جزرومد مؤلفه‌هایی با پریود بلند (تا ۱۸/۶ سال) وجود دارد، باید سری زمانی‌هایی با طول مدت بالا را بکار برد. این سری‌های زمانی را می‌توان با استفاده از مشاهدات پی‌درپی ماهواره‌های مختلف که یکی پس از دیگری در مدار قرار داده شده‌اند، بدست آورد. همچنین علاوه بر استفاده پیاپی داده‌های ماهواره‌های مختلف می‌توان داده‌های پوششی آنها را نیز با یکدیگر تلفیق نمود. بدین طریق در تمامی نقاط روی سطح دریا می‌توان مدلسازی را انجام داد و داده ما محدود به عرض جغرافیایی خاصی نمی‌شود.

استفاده از ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای در آبهای کم عمق و سواحل دقت و صحت لازم را ندارد. برای حل مشکل ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای در مناطق کم‌عمق و سواحل بایستی سری زمانی حاصل از تایدگیج‌های موجود در سواحل را نیز در مدلسازی شرکت داد. دقت ژئوئید بدست آمده از مدل ژئوپتانسیل EGM2008 حدود ۴۲ سانتیمتر است. در مورد شعاع جستجو برای پذیرش نقاط نزدیک برای ساخت سری زمانی می‌توان شعاع‌های مختلفی را مورد آزمایش قرار داد، تا بتوان شعاع بهینه‌ای را یافت که با آن سری زمانی‌هایی با گپی کمتر و مشاهدات طولانی‌تر ایجاد شده و در عین حال دقت مدلسازی نیز حفظ شود.

منطبق در نظر گرفتن ژئوئید و سطح متوسط دریا موجب بروز تفاوت در صفر ارتفاعی کشورهای گوناگون شده است که راهکار مناسب برای حل این مشکل مدلسازی توپوگرافی سطح دریا در هر ایستگاه جزرومدی مبناء و اعمال آن به صفر ارتفاعی است.

مراجع

- ۱- مسیب زاده، م، ۱۳۸۱، تعیین توپوگرافی سطح آب در خلیج فارس و دریای عمان از طریق تلفیق GPS و مشاهدات تایدگیج‌ها، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه برداری ژئودزی، دانشکده فنی دانشگاه تهران
- ۲- رستمی، ق، ۱۳۸۱، تعیین توپوگرافی سطح آب دریای عمان و خلیج فارس از طریق مشاهدات ماهواره‌ای، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه برداری ژئودزی، دانشکده فنی دانشگاه تهران

۳- هاشمی فراهانی، ح، ۱۳۸۲، آنالیز وضعیت جزرومدی و تهیه نقشه های هم دامنه و هم فاز با استفاده از مشاهدات ماهواره ارتفاع سنجی T/P، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه برداری ژئودزی، دانشکده فنی دانشگاه تهران

۴- ترابی، م، ۱۳۸۵، آنالیز طیفی نقطه ای مشاهدات ماهواره ارتفاع سنجی T/P به منظور مدلسازی سطح متوسط دریا، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه برداری هیدروگرافی، دانشکده فنی دانشگاه تهران

۵- طوریان، ج، ۱۳۸۵، مدلسازی جزرومد در دریای عمان و خلیج فارس با استفاده از داده های ارتفاع سنجی و تایدگیج های ساحلی، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه برداری هیدروگرافی، دانشکده فنی دانشگاه تهران

۶- پورشریفی، ع، ۱۳۸۵، تعیین توپوگرافی سطح دریا در خلیج فارس و دریای عمان با تلفیق داده های آلتیمتری T/P و ERS1 و با استفاده از مدل جزرومدی بدست آمده از آلتیمتری، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه برداری ژئودزی، دانشکده نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۷- کیامهر، ر، ۱۳۸۵، تعیین مدل ژئوئید جاذبی برای ایران براساس روش تبدیل کمترین مربعات رابطه استوکس از راه تلفیق اطلاعات داده های گرانی و مدل های جهانی ماهواره ای GRACE و STRM، مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۲، شماره ۱، صفحه ۱۱۷

- 8- Sandwill D., Smith W., 1999, Bathymetric Estimation, NOAA, Laboratory for Satellite Altimetry
- 9- Randall, A., 2000, The Laplace Tidal Equations and Atmospheric Tides, Department of Atmospheric Science.
- 10- Cheny, R., 2001, Satellite Altimetry, Laboratory for Satellite Altimetry.
- 11- Fu, L., Cazenave, A., 2001, Satellite Altimetry and earth Science, Volume 69, International Geophysics Series.
- 12- Seeber, G., 2003, Satellite Geodesy, University Hanover
- 13- Wang, Y., 2004, Ocean Tide Modeling in Southern Ocean, Department of civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, Report No.471, The ohio state University Columbus.
- 14- Ardalan, A., and Hashemi H., 2004, A new estimate for gravity potential value of geoid W0, SST, and global geoid based on 11 years of Topex/Poseidon satellite altimetry data, Geophysical Research Abstracts 6: 00663. European Geosciences Union 2004.
- 15- Hashemi, H., and Ardalan, A., 2004, A new model for global ocean tide based on orthonormalized base functions and 11 years of Topex/Poseidon satellite altimetry data Geophysical Research Abstracts 6: 00649. European Geosciences Union 2004.
- 16- Kiamehr, R., 2006, A strategy for determining the regional geoid by combining limited ground data with satellite-based global geopotential and topographical models: a case study of Iran, Division of Geodesy, Royal Institute of Technology.
- 17- Andersen, B., Knudsen, P., 2008, The DNSC08BAT bathymetry developed from satellite altimetry, DTU-SPACE.
- 18- Andersen, B., Berry, P., Kenyon, S., 2008, The DNSC08 Ocean-wide altimetry, DTU-SPACE, EAPRS LAB, De Montford, UK, NGA.

MSL¹
MSS²
Sea Surface Height³
Sea Surface Topography⁴
Earth Gravitational Model⁵