تهیه چارت دیتوم برای منطقه خلیج فارس و دریای عمان بر اساس داده‌های ارتفاع‌سنجی ماهواره Jason-1

کامران لاری* مجید ابره دری، علیرضا شریفی سودکلایی

گروه فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

تاریخ دریافت: ۸۹/۷/۱۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۲

چکیده

یکی از مهمترین مراحل عملیات هیدروگرافی، تعیین چارت دیتوم و تبدیل عمقهای اندازه گیری شده نسبت به این سطح مبناء می‌باشد. برای انتخاب چنین سطحی بایستی نوسانات آب دریا در اثر جزرومد و سایر عوامل مشخص گردد. در روشهای کنونی هیدروگرافی از تایدگیجهای ساحلی برای اندازه‌گیری تغییرات جزرومدی سطح آب دریا استفاده شده و نهایتاً چارت دیتوم بر مبنای پایینترین سطح آب تعیین می‌گرد که به علت وجود اختلاف زیاد بین دامنه و فاز جزرومد در نقاط مختلف، این روش برای تعیین چارت دیتوم در مناطق دور از ساحل مناسب نبوده و باید از روشهای دیگری بجای آن استفاده شود. روش مورد استفاده در این تحقیق استفاده از ارتفاع سنجی ماهواره‌ای است، در این روش با استفاده از داده‌های ماهواره ارتفاع سنجیJason-1 در بازه زمانی ۲۰۰۲ الی ۲۰۰۸ در محدوده خلیج فارس و دریای عمان، چارت دیتوم در نقطه عمق‌یابی نسبت به بیضوی WGS84 محاسبه می‌گردد از مهمترین دستاوردهای این تحقیق می‌توان به حذف اثر جزرومد و تعیین چارت دیتوم در نقاط دور از ساحل اشاره کرد.

واژگان کلیدی: Jason-1، چارت دیتوم، ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای، خلیج فارس و دریای عمان

* نویسنده مسوول، پست الکترونیک: k_lari@iau-tnb.ac.ir

۱. مقدمه

یک هیدروگراف می‌بایست پس از پایان عملیات نقشه‌برداری، ارتفاعات و عمقها را نسبت به سطوح مبناء تصحیح نماید. لازم نیست که این سطوح با هم یکسان باشند اما باید اختلاف بین آنها معلوم باشد در واقع برای راحتی کار معمولاً با هم اختلاف دارند، ممکن است یک سطح مبناء به طور دلخواه انتخاب گردد اما لازم است که وضعیت آن نسبت به یک نقطه مبناء (*Benchmark*) فیزیکی مشخص باشد، بدین طریق هیدروگرافان بعدی قادر خواهند بود تا کارشان را به کار اصلی اتصال دهند.

سطوح مبنائی که برای یک چارت انتخاب می گردند باید منطقی و قابل اعتماد باشند. تمام سطوح مبناء بر اساس سطح معینی از دریا تعریف نشده‌اند ولی تمام آنها باید به یک نقطه مبنای ثابت و دارای ارتفاع، اتصال یابند. معمولاً نقطه مبنای اصلی باید به شبکه اصلی نقاط ارتفاعی و ماندگار که تمام سطح کشور را پوشش می‌دهند اتصال داده شود. با استفاده از هر یک از این نقاط ارتفاعی اصلی نقشه‌بردار می‌تواند تمام ارتفاعات و عمقها را در منطقه نقشه‌برداری شده به یک سطح مبنای ملی یا برای راحتی بیشتر به سطوح مبنائی که خود ایجاد کرده و ارتباط آنها با سطح مبنای ملی مشخص است متصل نماید.

در گذشته از میانگین پایینترین سطح آب دریا[1] و سطوح متعدد دیگری بعنوان سطح مبنای چارت استفاده می‌شد ولی هدف این است که در چارتهای جدید از پائینترین سطح جزرومدی نجومی[2] بعنوان سطح مبناء استفاده شود. پائینترین سطح جزرومدی نجومی، پائینترین سطحی است که رسیدن به آن سطح تحت شرایط متوسط آب و هوایی و با هر ترکیبی از شرایط نجومی قابل پیش‌بینی باشد، مقدار سطح L.A.T بصورت دقیق فقط با بررسی پیش‌بینی‌های جزرومدی در سالهای متمادی (به طور مطلوب حدود 18 سال) قابل دستیابی است زیرا سطح دریا هر ساله به این سطح نمی‌رسد. حتی زمانی که سطح L.A.T با این روش بدست می‌آید اگر پیش‌بینی‌های جزرومدی بر اساس مشاهدات خیلی قدیمی و یا مشاهداتی با پریُد زمانی کوتاه (کمتر از یکسال) و یا مشاهدات انجام شده در شرایط غیر عادی آب و هوائی باشند امکان دارد دارای خطاهای جزئی باشد.

بنابراین با توجه به موارد یاد شده سطح مبنای مورد استفاده در چارتهای دریایی کلاً طوری تعریف می‌شده که سطح هیچ جزر پیش‌بینی شده‌ای بیش از ۱۰ سانتیمتر (۰/۳ فوت) به پائینتر از آن سطح نرسد(سهرابی،۱۳۸۲).

شکل ۱ نوعی ارتباط بین تعدادی از سطوح تعریف شده و سطح مبنای چارت را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل مشهود است یک سطح مبنای مناسب می‌تواند در بین "چارت دیتوم" و L.A.T انتخاب شود. باید توجه داشت که اگر شرایط آب و هوائی غیر عادی ایجاد گردد ممکن است سطح آب به پائینتر از سطح L.A.T نیز برسد. در آبهای غیرجزرومدی معمولاً سطح متوسط دریا را بعنوان سطح مبنای چارت در نظر می‌گیرند (U.S.ArmyCE, 2002).

در نقشه‌های جغرافیایی سطح مبنای ارتفاعی، سطح متوسط آب دریا یا همان ژئوئید می‌باشد. این سطح مبناء عملاً با استفاده از مشاهدات ارتفاع سطح آب دریا در تایدگیج مبنای یک کشور از طریق مشاهدات طولانی‌مدت تعیین می‌گردد. ولی در چارتهای دریایی سطح مبنای مولفه ارتفاعی (عمق)، چارت دیتوم می‌باشد. یکی از مهمترین مراحل عملیات هیدروگرافی، تعیین چارت دیتوم و تبدیل عمقهای اندازه‌گیری شده نسبت به چارت دیتوم می‌باشد در واقع چارت دیتوم سطحی است که تمام عمقهای اندازه‌گیری شده در هنگام درج برروی یک چارت دریائی نسبت به آن تصحیح شده و تمام پیش‌بینی‌ها و سطوح جزرومدی بالاتر از این سطح می‌باشند. در واقع این سطح باید طوری انتخاب گردد که:

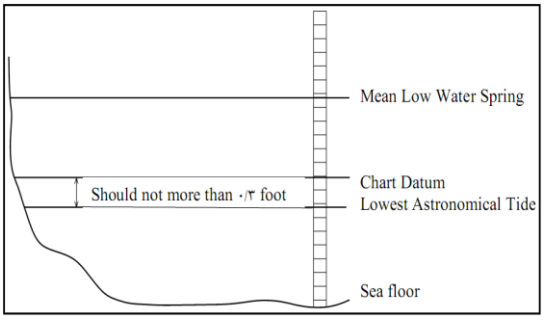
(۱) هرگز حداقل ارتفاع آب (جزر) کمتر از آن نشود لذا هر دریانورد می‌تواند مطمئن باشد که تحت

شرایط معمول آب و هوایی کمترین ارتفاع آب بیشتر از مقدار نشان داده شده روی چارت است.

(۲) آنقدر پائین نیست که عمقها را بیش از حد کمتر نشان دهد لذا سطح آن نباید پائینتر از سطح پائینترین جزری باشد که اتفاق افتاده است.

(۳) عمقها در محل اتصال مناطق مجاور که سطوح مبنای متفاوتی دارند با یکدیگر همخوانی داشته باشند و بعبارتی تغییر سطح مبناء از یک مرحله به مرحله دیگر نباید بسیار زیاد باشد.

بنابراین انتخاب چارت دیتوم مستلزم داشتن اطلاعات کافی و طولانی‌مدت از نوسانات سطح آب دریا در یک منطقه می باشد. در روشهای کنونی هیدروگرافی از تایدگیجهای نصب شده در سواحل برای اندازه‌گیری تغییرات جزرومدی سطح آب دریا استفاده شده و نهایتاً چارت دیتوم بر مبنای پایینترین سطح آب تعیین می‌گردد. تصحیحات لازم برای تبدیل عمقهای اندازه‌گیری شده به چارت دیتوم از تفاوت لحظه‌ای آب سطح دریا با چارت دیتوم محاسبه و اعمال می‌گردد.



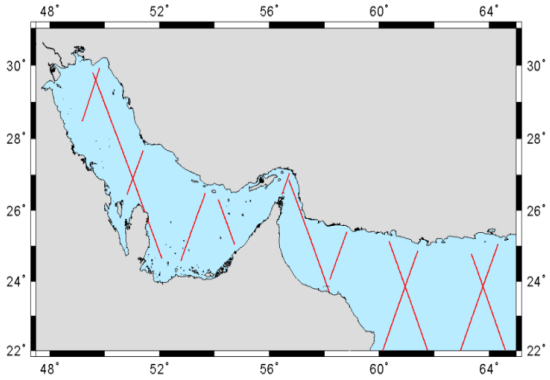
شکل ۱. سطوح مبنای مختلف جزرومد

۲. مواد و روش ها

ماهواره‌های ارتفاع سنجی اطلاعات ارتفاعی مفیدی از نقاط مختلف سطح زمین در اختیار ما قرار می‌دهند یکی از این ماهوارها، ماهواره ارتفاع سنجی Jason-1می‌باشد. داده‌های ماهواره Jason-1 که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است شامل داده‌های خام ۶ سال (۲۰۰۸-۲۰۰۲) از مشاهدات واقع در سایکلهای (هر سایکل از ۱۲۷ مدار و یا ۲۵۴ عبور تشکیل شده است.) ۱ تا ۴۰۰ می باشد. این سایکلها به فرمت باینری MGDR-B در سایت فضایی آمریکا قابل دسترسی است (فروتن،۱۳۸۷).

جهت آماده سازی مشاهدات ماهواره Jason-1 در این مقاله ابتداء ۲۰ داده اصلی شامل؛ شماره روز، زمان با دقت میلی‌ثانیه، ارقام میکروثانیه زمان، عرض-جغرافیایی نقطه نادیر، طول‌جغرافیایی نقطه‌ی نادیر، ارتفاع ماهواره از سطح بیضوی، فاصله ماهواره از سطح دریا، مقدار RMS فاصله ماهواره از سطح دریا، تصحیح تغییرات مرکز ثقل آنتن ارتفاع‌سنج، تصحیح تروپسفرخشک، تصحیح معکوس فشار، تصحیح تروپسفرتر، تصحیح یونسفر، تصحیح بایاس الکترومغناطیس، ارتفاع سطح متوسط دریا، ارتفاع ژئوئید، جزرومدالاستیک دریا، جزرومد قطبی، عمق دریا و نشان‌گر نوع جنس زمین از نظر آب، خاک یا یخ را از فایل‌های باینری decode می‌نماییم. در نهایت ماتریس‌هایی شامل ۲۰۰ ماتریس برای Jason-1 شامل عرض و طول جغرافیایی و SSH خواهیم داشت(Beckley *et al.*,2007).جهت ایجاد سری زمانی در هر نقطه توجه به این نکته لازم بوده که عبورهای متوالی در ارتفاع‌سنجی ماهواره دقیقاً روی نقاط مشابه و یکسان قبلی 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 حد-اقل فاصله میان دوبار ارتفاع‌سنجی 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 در نهایت اطلاعات را به گونه‌ای ساختاربندی می‌کنیم که اطلاعات موجود در گذرهای مشابه مربوط به سایکلهای مختلف در یک ماتریس ذخیره شوند. از این ماتریس‌ها استفاده نموده و سری‌زمانی مربوط به هر نقطه را تشکیل می-دهیم و در انتها با قرار دادن یک فیلتر مناسب نقاط موجود در منطقه را جدا می‌سازیم. لازم به ذکر است که هر سری‌زمانی در نقطه‌ای به مختصات $\bar{\lambda}(i),\bar{\varphi}(i)$

تشکیل می‌شود و این نقطه در حقیقت مرکز هندسی نقاطی از عبورهای متوالی ماهواره است که در یک دایره جستجو به شعاع ۳ کیلومتر واقع شده-اند(ترابی،۱۳۸۵).



شکل ۲. خطوط گذرهای زمینی ماهواره Jason-1 در محدوده خلیج فارس و دریای عمان

روشهای مختلفی برای محاسبه چارت دیتوم وجود دارد. مشاهدات طولانی‌تر مقادیر قابل قبولتری از این سطح را به دست می‌دهد. چارت دیتوم در هر منطقه بستگی به رفتار و طبیعت جزرومد در آن منطقه دارد. در مناطق مختلف جهان سرویسهای هیدروگرافی بین المللی از روابط ریاضی گوناگونی برای محاسبه چارت دیتوم استفاده می‌کنند.

برای محاسبه چارت دیتوم از رابطه پائینترین جزر اقیانوس هند می‌توان استفاده کرد، پائینترین جزر اقیانوس هند (I.S.L.W)[1] سطحی از آب است که توسط جورج داروین به عنوان چارت دیتوم اقیانوس هند پیشنهاد شده است. این سطح از تفاضل مجموع دامنه مؤلفه‌های اصلی جزرومدی نیم روزانه ناشی از ماه و خورشید و جزرومدی روزانه ماه و جزرومد ترکیبی ماه و خورشید از سطح متوسط دریا بدست می‌آید که طبق رابطه زیر نشان داده شده است (Hydrographic Office, 1969):

(۱)

$$\text{Indian Spring Low Water} = Z_0 - (M_2 + S_2 + K_1 + O_1)$$

که در آن Z_0 سطح متوسط دریا و مقادیر M_2، S_2، K_1 و O_1 دامنه‌های اصلی مؤلفه‌های جزرومدی نیم‌روزانه و روزانه می‌باشند.

چارت دیتومی که بدین صورت تعریف می‌شود برای بسیاری از مناطق جهان از جمله جنوب و غرب خلیج فارس و قسمتهائی از هند و مالزی مناسب است.

در روشهای رایج هیدروگرافی پس از آنالیز هارمونیک اطلاعات ایستگاههای جزرومدی نصب شده در سواحل، دامنه مولفه‌های اصلی جزرومد را محاسبه می‌کنند و در نهایت بسته به رفتار جزرومد (روزانه و نیم روزانه) در منطقه از روابط ریاضی مختلفی نظیر رابطه ذیل ارتفاع چارت دیتوم را نسبت به صفر تایدگیج ساحلی محاسبه می‌کنند:

(۲)

$$h_{CD} = Z_0 - 1.1(A_{O1} + A_{K1} + A_{M2} + A_{S2})$$

با توجه به اینکه دامنه جزرومد در نقاط مختلف با هم متفاوت بوده پس استفاده از چارت دیتوم تعیین شده در ساحل برای منطقه عملیاتی که می‌تواند دهها کیلومتر دور از ساحل قرار داشته باشد معیار صحیحی نبوده و عمقهای نمایش داده شده در چارت عمق واقعی آب نخواهد بود. برای حل مشکل فوق در این مقاله روش جدیدی برای تعیین چارت دیتوم در نقطه عمق یابی با استفاده از اطلاعات ارتفاع سنجی ماهواره ای مطرح و ارائه شده است.

برای محاسبه دامنه مولفه‌های اصلی جزرومد از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$h(\varphi,\lambda,t) = U_0(\varphi,\lambda) + S(\varphi,\lambda)t + \sum_{i=1}^{n}\{U_i(\varphi,\lambda).\cos(2\pi f_i t) + V_i(\varphi,\lambda).\sin(2\pi f_i t)\}$$

(۳)

در رابطه فوق $h(\varphi,\lambda,t)$ ارتفاع سطح آب از بیضوی مرجع در موقعیت (φ,λ)و در زمان t و $U_0(\varphi,\lambda)$ بیانگر سطح متوسط دریا و $S(\varphi,\lambda)$ نرخ تغییرات خطی سطح دریا می‌باشد و U_i, V_iدامنه امواج جزرومدی هستند که 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 (Ellmer and Goffinet 2006).

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & \cos(\omega_1 t_0) & \sin(\omega_1 t_0) & \cdots & \cos(\omega_k t_0) & \sin(\omega_k t_0) \\ 1 & c(t_1-t_0) & \cos(\omega_1 t_1) & \sin(\omega_1 t_1) & \cdots & \cos(\omega_k t_1) & \sin(\omega_k t_1) \\ 1 & c(t_2-t_0) & \cos(\omega_1 t_2) & \sin(\omega_1 t_2) & \cdots & \cos(\omega_k t_2) & \sin(\omega_k t_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ 1 & c(t_{n-1}-t_0) & \cos(\omega_1 t_{n-1}) & \sin(\omega_1 t_{n-1}) & \cdots & \cos(\omega_k t_{n-1}) & \sin(\omega_k t_{n-1}) \\ 1 & c(t_n-t_0) & \cos(\omega_1 t_n) & \sin(\omega_1 t_n) & \cdots & \cos(\omega_k t_n) & \sin(\omega_k t_n) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_0 \\ S \\ U_1 \\ V_1 \\ \vdots \\ U_k \\ V_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h(t_1) \\ h(t_2) \\ \vdots \\ h(t_{n-1}) \\ h(t_n) \end{bmatrix} \quad (۴)$$

(۵)

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

انتخاب تعداد مولفه‌ها تابع عوامل مختلفی همچون مدت زمان انجام مشاهدات است. پس از حل کمترین مربعات معادله (۴) دامنه و فاز i ام جزرومد از رابطه زیر محاسبه می‌شوند .

(۶)

$$A_i = \sqrt{U_i^2 + V_i^2}$$

(۷)

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{U_i}{V_i}\right)$$

جدول ۱. سطح متوسط دریا، نرخ تغییرات خطی سطح دریا و مولفه های در نظر گرفته شده در محدوده خلیج فارس و دریای عمان

نام مولفه	میانگین مقدار	ماکزیمم و مینیمم مقدار	نام مولفه	میانگین مقدار	ماکزیمم و مینیمم مقدار
U_0	-۳۹/۷۲۱	۶۱/۱۰۹ & -۱۷/۵۳۴	P_1	۰/۱۱۹	۰/۰۰۲ &۰/۱۸۵
S	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴&۰/۰۱۸	K_2	۰/۰۶۱	۰/۰۱۴ &۰/۲۹۱
M_2	۰/۵/۷۸	۰/۰۶۶&۱/۰۳۷	S_a	۰/۰۵۲	۰/۰۱۲ &۰/۴۷۷
K_1	۰/۳۵۱	۰/۰۳۳& ۰/۹۴۲	S_{sa}	۰/۰۴۸	۰/۰۰۱ &۰/۱۱۷
S_2	۰/۲۴۸	۰/۰۲۹ &۰/۳۹۷	T_2	۰/۰۲۰	۰/۰۰۰ &۰/۳۲۲
O_1	۰/۱۵۷	۰/۰۳۵ & ۰/۴۱۲	M_m	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰ &۰/۲۲۷
N_2	۰/۱۳۲	۰/۰۱۷& ۰/۲۴۳	M_f	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰ &۰/۲۲۱

ماهواره‌های ارتفاع سنجی اطلاعات ارتفاعی مفیدی از نقاط مختلف سطح زمین در اختیار ما قرار می‌دهند. یکی از این ماهواره‌ها، ماهواره ارتفاع سنجی Jason-1می‌باشد. این ماهواره در مدارات تعریف شده و در فواصل زمانی تقریباً ثابتی عبور کرده و با دقت ۲ تا ۳ سانتیمتر ارتفاع سطح لحظه ای دریا را نسبت به بیضوی مقایسه اندازه‌گیری می‌کند یکی از کاربردهای پیشنهادی در این مقاله استفاده از داده‌های ارتفاع سنجی در تعیین چارت دیتوم نقطه ای است در این روش برای تعیین چارت دیتوم در منطقه خلیج فارس و دریای عمان تغییرات سطح آب دریا به صورت رابطه (۳) مدلسازی گردید.

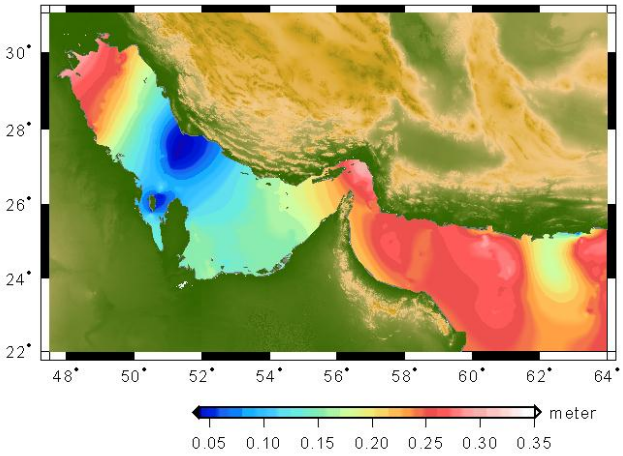
در این مدلسازی برای تشکیل بردار مشاهدات از تمام داده های ۶ ساله جمع آوری شده توسط ماهواره در منطقه خلیج فارس و دریای عمان استفاده شد و پس از محاسبه مجهولات مدل، چارت دیتوم در موقعیت (φ, λ) از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$h_{CD}(\varphi,\lambda) = U_0(\varphi,\lambda) - \left[\sum_{i=1}^{12}\sqrt{U_i(\varphi,\lambda)^2 + V_i(\varphi,\lambda)^2}\right] \quad (۱۰)$$

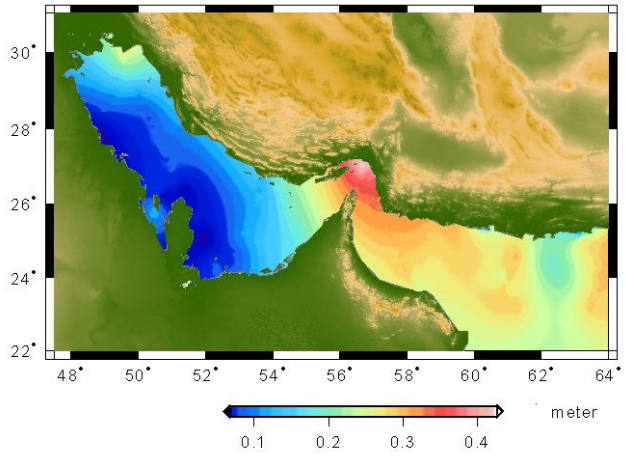
باید توجه داشت که می‌توان با پیش بینی طولانی‌مدت جزرومد در نقاط مورد مشاهده و مقایسه کمترین وقوع جزر نجومی (LAT) با مقدار سطح مبنای محاسبه شده صحت چارت دیتوم را مورد آزمایش قرار دهیم (Hashemi and Ardalan,2004).

۳. نتایج

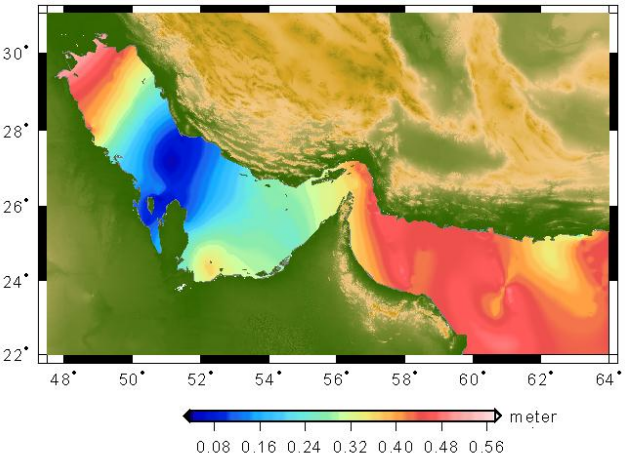
پس از انجام محاسبات لازم، سطح متوسط دریا، نرخ تغییرات خطی سطح دریا و دامنه دوازده مؤلفه اصلی جزرومد بدست آمد (جدول۱) همچنین نقشه-های هم‌دامنه چهار مولفه اصلی و سطح متوسط دریا نسبت به بیضوی WGS84 در واحد **متر** ترسیم شد (شکلهای۳ الی ۷).



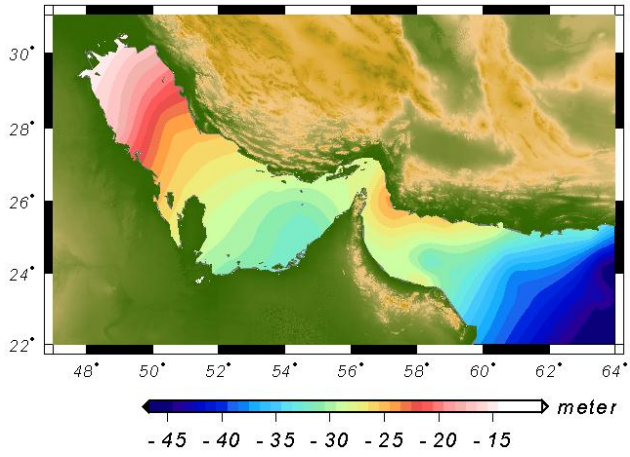
شکل ۳. نقشه هم دامنه مولفه کناری روزانه ماه O1 بر حسب متر



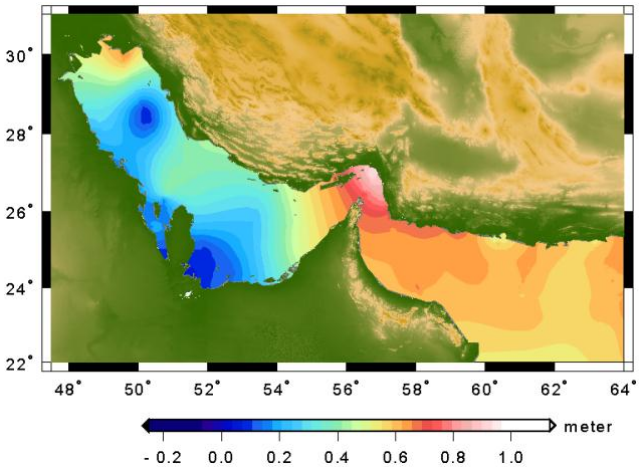
شکل ۶. نقشه هم دامنه مولفه نیم‌روزانه خورشیدی S2 بر حسب متر



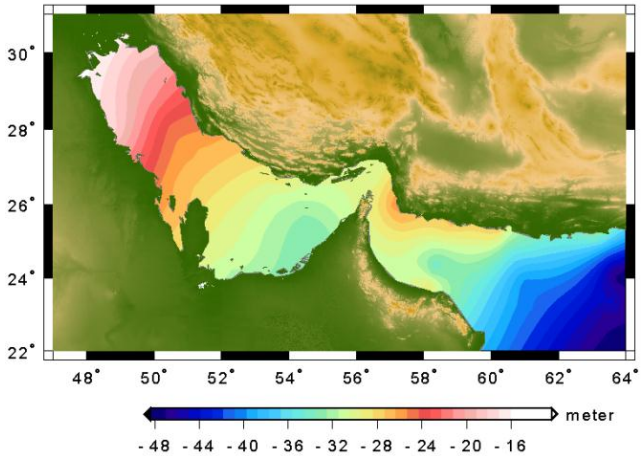
شکل ۴. نقشه هم دامنه مولفه روزانه خورشیدی K1 بر حسب متر



شکل ۷. سطح متوسط دریا نسبت به بیضوی WGS84 در واحد متر



شکل ۵. نقشه هم دامنه مولفه نیم‌روزانه ماه M2 بر حسب متر



شکل ۸. چارت دیتوم در محدوده خلیج فارس و دریای عمان نسبت به بیضوی WGS84 بر حسب متر

۴. بحث و نتیجه‌گیری

چارت دیتومی که بر مبنای مشاهدات تایدگیج واقع در سواحل تهیه می‌شود تنها بیانگر چارت دیتوم در محل تایدگیج بوده و برای منطقه عمق‌یابی که می‌تواند دهها کیلومتر دور از ساحل باشد معیار صحیحی نخواهد بود بنابراین برای بدست آوردن چارت دیتومی دقیقتر که پوشش یکنواختی داشته باشد استفاده از مشاهدات ارتفاع سنجی ماهواره‌ای پیشنهاد می‌گردد داده‌های حاصل از ارتفاع سنجی ماهواره‌ای باب جدیدی را در مطالعات دریایی و بخصوص مدلسازی جزرومد در سطح جهانی باز نموده است، که کارآیی و توان لازم برای اینگونه مطالعات را داراست.

به منظور تهیه چارت دیتوم پیشنهاد شده در محدوده دریای عمان و خلیج فارس، از اطلاعات داده-های ماهواره ارتفاع سنجی Jason-1 به صورت نقطه-ای در طی سالهای ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ استفاده گردید و چارت دیتوم حاصل از ارتفاع سنجی ماهواره‌ای به طور میانگین ۲۹/۴۷- متر نسبت به بیضوی مرجع WGS84 ارزیابی گردید.

برای ارزیابی بهتر توصیه می‌شود از تلفیق اطلاعات ایستگاههای جزرومدی و اطلاعات ارتفاع سنجی ماهواره‌های مختلف و ایجاد مدلی دقیق برای تعیین چارت دیتوم استفاده شود تا نیاز به مشاهدات جزرومدی در عملیات هیدروگرافی را به طور کامل حذف کند.

منابع

ترابی، م. ۱۳۸۵. آنالیز طیفی نقطه‌ای مشاهدات ماهواره ارتفاع سنجیT/P به منظور مدلسازی سطح متوسط دریا. پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی نقشه برداری هیدروگرافی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

سهرابی اطهر، م. ۱۳۸۲. تهیه چارتهای دریائی با استفاده از مختصات ۳ بعدی GPS و مشاهدات ارتفاع سنجی ماهواره ای، پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی نقشه برداری ژئودزی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

فروتن، ا. ۱۳۸۷ .آنالیز چند سنجنده‌ای تغییرات دریاچه ویکتوریا، پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی نقشه برداری هیدروگرافی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

Beckley, B.D., Lemoine F.G., Luthcke S.B., Ray R.D., Zelensky N.P.2007. A reassessment of global and regional mean sea level trends from TOPEX and Jason-1 altimetry based on revised reference frame and orbits. Geophys. Res. 34: 5-11.

Ellmer, W., Goffinet, P. 2006. Tidal Correction Using GPS-Determination of the Chart Datum. XXIII International FIG Congress, Germany.

Hashemi, H., Ardalan, A. 2004. A new model for global ocean tide based on ortho-normalized base functions and 11 years of Topex/Poseidon satellite altimetry data Geophysical Research Abstracts p6.

Hydrographic Office 1969. Admiralty manual of hydrographic surveying. Volume 2. Hydrographer of the Navy, London, p.134-170.

U.S. Army Corps of Engineers 2002. Engineering and design hydrographic Surveying. Department of The Army Washington, DC, Manual No.1110-2-1003.