

تعیین جدایی بین چارت دیتوم و بیضوی مرجع WGS84 با آنالیز داده‌های ارتفاع سنجی ماهواره‌های Jason-1، Topex/Poseidon و مشاهدات تایدگیج‌های ساحلی (مطالعه موردی: خلیج فارس و دریای عمان)

کمال پروازی^{*}، جمال اسگری^۲، علیرضا امیری سیمکویی^۳، بهمن تاج فیروز^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه اصفهان
k_parvazi@yahoo.com

^۲ استادیار گروه مهندسی نقشه برداری - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه اصفهان
jamal.asgari@gmail.com

^۳ دانشیار گروه مهندسی نقشه برداری - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه اصفهان
ar.amirisimkooei@gmail.com

^۴ عضو هیئت مدیره شرکت مهندسی مشاور دریا ترسیم - تهران
bt_firooz@yahoo.com

(تاریخ دریافت مهر ۱۳۹۳، تاریخ تصویب خرداد ۱۳۹۴)

چکیده

در هیدروگرافی سنتی معمولاً چارت دیتوم با استفاده از آنالیز طیفی مشاهدات تایدگیج‌های ساحلی و بر اساس پایین‌ترین سطح آب بدست آمده از این داده‌ها تعیین می‌شود. این در حالی است که با توجه به اختلاف بین دامنه و فاز مولفه‌های جزرومدی در نقاط مختلف، چارت دیتومی که به این صورت تعیین می‌شود تنها بیانگر چارت دیتوم در محل نصب تایدگیج و اطراف ساحل بوده و برای منطقه‌ی عمقیابی که چند ده کیلومتر دور از ساحل می‌باشد معیار صحیحی نخواهد بود. در این تحقیق به تعیین مدل جدایی بین چارت دیتوم و بیضوی مرجع WGS84 با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی Topex/Poseidon بین سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۹۲ و Jason-1 برای بازه‌ی زمانی ۲۰۰۲-۲۰۰۸ و اطلاعات تایدگیج‌های ساحلی در منطقه خلیج فارس و دریای عمان پرداخته شده است. در این تحقیق روش جدیدی برای جدایی بین چارت دیتوم و بیضوی مرجع با تلفیق داده‌های ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای و اطلاعات تایدگیج‌های ساحلی ارائه شده است. برای تعیین این مدل تغییرات تراز آب دریا در اثر جزرومد، حرکت قطبی و حرکات صفحات تکتونیکی و همچنین تمام مولفه‌های موثر در پتانسیل جزرومد از مولفه‌هایی با تاثیر زیاد (M2, S2, K1, O1) تا مولفه‌هایی با تاثیر کمتر مانند مولفه‌هایی با پریود ۱۴ روزه، ماهیانه، نیم سالیانه، سالیانه و ۸/۵ سالیانه و ۱۸/۶ سالیانه به عنوان ۳۰ فرکانس موثر در منطقه مورد نظر در نظر گرفته شده‌اند. این نکته نیز در نظر گرفته شده است که باتوجه به اینکه مولفه‌های موثر در جزر و مد، پریودهای کوتاه‌تری دارند و قابل کشف توسط داده‌های ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای نیستند (چرا که این داده‌های دارای پریود ۹/۱۵ روزانه می‌باشند) بنابراین این مولفه‌ها به صورت دستی به مدل معرفی شده‌اند. جدایی بین چارت دیتوم و بیضوی مرجع از طریق مقایسه داده‌های تایدگیج و ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای برای بازه‌ی زمانی ۲۰۰۲-۲۰۰۵ انجام شده است.

واژگان کلیدی: Jason-1، Topex/Poseidon، ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای، بیضوی WGS84، تایدگیج‌های ساحلی، چارت دیتوم، خلیج فارس، دریای عمان

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

نرمال آب و هوایی و در ترکیب با شرایط نجومی پیش بینی کرد (De Jong, 2002).

در چارت‌ها و نقشه‌های دریایی مولفه‌ی عمق نسبت به سطح مبنای چارت دیتوم تعیین می‌شود. در واقع چارت دیتوم سطحی است که به پایین‌ترین سطح نجومی جزر (LAT) نزدیک می‌باشد و تمام عمق‌های درج شده در نقشه‌های عمق‌یابی و دریانوردی نسبت به این سطح ارائه می‌شوند. باتوجه به اهمیت این سطح مبنای، در هنگام ایجاد این سطح باید موارد زیر در نظر گرفته‌شود:

۱- سطح مبنای باید به گونه‌ای انتخاب شود که همیشه به اندازه‌ی عمق نشان داده‌شده در چارت، آب موجود باشد. پس انتخاب چارت دیتوم تنها با استفاده از داده‌های تایید گنج در سواحل می‌تواند این خطر را به دنبال داشته باشد که ممکن است در جایی دور از ساحل این مهم برآورده نشود. چون دامنه و فاز در نقاط مختلف می‌تواند مقادیر متفاوتی داشته باشد.

۲- مورد بعدی مربوط به آب‌های کم عمق می‌باشد به گونه‌ای که سطح مبنای نباید خیلی پایین در نظر گرفته شود به طوری که حداقل عمق را خیلی کمتر از مقدار واقعی نشان دهد. از طرف دیگر باید با سطوح مبنای مناطق مجاور هماهنگ باشد و در نهایت اینکه سطح مبنای مورد استفاده در چارت‌های دریایی باید به گونه‌ای تعریف شود که سطح آب در هنگام هر جزر به اندازه بیش از ۱۰ سانتیمتر (0.3 فوت) به پایین‌تر از آن نرسد.

بنابراین برای تعیین دقیق چارت دیتوم در یک منطقه نیاز به اطلاعات کامل از تغییرات سطح آب در یک بازه‌ی زمانی بلند مدت می‌باشد. برای این کار باید از مشاهدات تایید گنج‌های ساحلی در منطقه در بازه‌ی زمانی طولانی مدت استفاده شود. اما چارت دیتومی که به این صورت تعیین می‌شود تنها برای منطقه اطراف خود تایید گنج مناسب می‌باشد و برای مناطق دور از ساحل دارای دقت کافی نخواهد بود. برای رسیدن به دقت مناسب در این تحقیق از اطلاعات ماهواره‌های ارتفاع‌سنجی استفاده شده است.

در شکل ۱ ارتباط بین انواع سطوح مبنای ارائه شده به عنوان چارت دیتوم از گذشته تا کنون نشان داده شده است.

بعد از اجرای هر عملیات هیدروگرافی، هیدروگراف باید ارتفاعات و عمق‌های بدست آمده را به سطح مقایسه تبدیل نماید. این سطح مبنای باید از طریق مشاهدات، تجزیه و تحلیل و محاسبات مربوطه تعیین شود. اما این سطح همواره باید به یک نشانه فیزیکی مرجع و معین (Bench Mark) ارجاع داده شود (تاج فیروز، ۱۳۸۵). سطوح مبنایی که برای تهیه نقشه‌های دریایی استفاده می‌شوند باید منطقی و قابل اطمینان باشند. بنابراین این سطوح باید به کمک ترازیابی به یک اشل جزرومدسنج مرتبط شوند. پس لازم است که همه سطوح مبنای بر اساس سطح معینی از دریا تعریف شوند و تمام آنها حداقل به یک نقطه مبنای فیزیکی (Bench Mark) اصلی و در نتیجه به یک سیستم سراسری ترازیابی کشوری مرتبط شوند. به کمک هر یک از این نقاط مبنای هیدروگراف‌ها قادر خواهند بود که ارتفاعات و عمق‌ها را در منطقه نقشه-برداری شده به یک سطح مبنای ملی و یا برای اطمینان بیشتر به سطح مبنایی که در منطقه ایجاد شده است (مقادیر این سطح مبنای نسبت به سطح مبنای ملی شناخته شده است) ارجاع دهند (تاج فیروز، ۱۳۸۵).

از گذشته تا کنون سطوح مبنای گوناگونی به عنوان سطح مبنای چارت در نظر گرفته شده است. از جمله این سطوح می‌توان به MLWS اشاره کرد. این سطح در واقع متوسط جزرهایی است که در زمان Spring رخ می‌دهند و معمولا در یک پریود یک ساله در نظر گرفته می‌شود. این کمیت با توجه به مولفه‌های جزرومد نیم‌روزانه به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$MLWS = Z_0 - (M_2 + S_2) \quad (1)$$

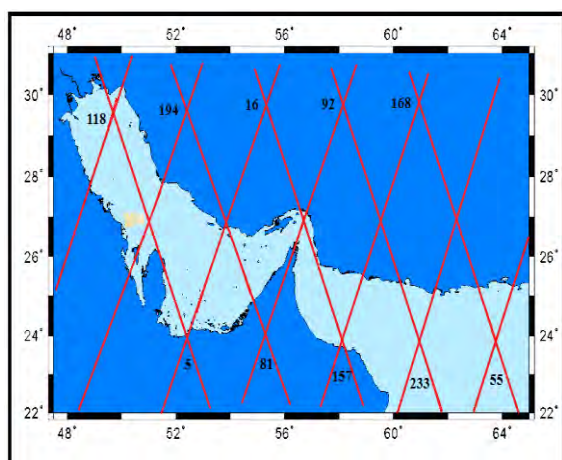
که در آن Z_0 متوسط سطح آب دریا، M_2 مولفه‌ی نیم روزانه مربوط به ماه و S_2 مولفه‌ی نیم روزانه مربوط به خورشید می‌باشد. سطح مبنای دیگری که به عنوان سطح مبنای چارت در نظر گرفته شده است، سطح مبنای LAT^۲ می‌باشد. این سطح به عنوان پایین‌ترین سطح جزرومد نجومی تعریف می‌شود که می‌توان آن را تحت شرایط

^۱ Mean Low Water Spring

^۲ Lowest Astronomical Tide

است. برای دانلود این داده‌ها می‌توان به سایت <http://sealevel.jpl.nasa.gov> مراجعه کرد.

تعداد گذرهای واقع در خلیج فارس و دریای عمان ۱۲ گذر می‌باشد که برای منطقه مورد نظر در این تحقیق گذرهای این دو ماهواره تقریباً بر روی همدیگر قرار می‌گیرند. این گذرها در خلیج فارس و دریای عمان شامل، گذرهای شماره ۵، ۱۶، ۸۱، ۱۰۷، ۱۸۳، ۱۱۸، ۱۹۴، ۵۵، ۹۲، ۱۵۷، ۱۶۸ و ۲۳۳ می‌باشند. در شکل ۲ گذرهای دو ماهواره‌ی Jason-1 و Topex/Poseidon در منطقه خلیج فارس و دریای عمان نشان داده شده است.

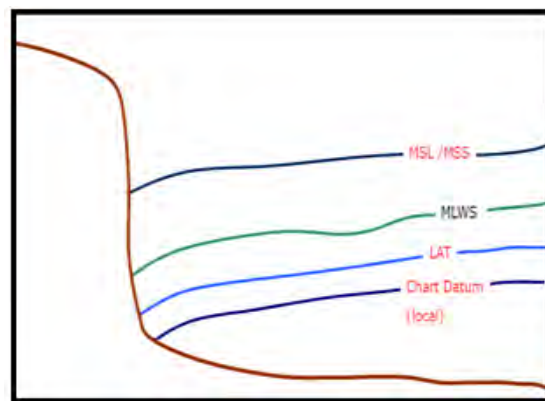


شکل ۲- گذرهای دو ماهواره Jason-1 و Topex/Poseidon در منطقه خلیج فارس و دریای عمان

۲-۲- مشاهدات تایدگیج‌های ساحلی

تاید گیج‌های ساحلی می‌توانند نقش مهمی در مدل-سازی تغییرات سطح آب دریاها به کمک مشاهدات ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای ایفا کنند. چرا که مشاهدات تایدگیج‌های ساحلی دارای دقت بالایی هستند. این در حالی است که مشاهدات ارتفاع‌سنجی در سواحل دارای دقت کمتری می‌باشد. بنابراین تلفیق مشاهدات ارتفاع-سنجی ماهواره‌ای با مشاهدات تایدگیج‌ها می‌تواند ضعف مشاهدات ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای در سواحل را مرتفع سازد (آزموده اردلان و طوریان، ۱۳۸۹ و آزموده اردلان و مسیب زاده، ۱۳۸۲).

تایدگیج‌های استفاده شده در این تحقیق دارای این حسن می‌باشند که به گذر ماهواره‌های مورد استفاده نیز نزدیک می‌باشند. موقعیت این تایدگیج‌ها و همچنین کلیه اطلاعات مربوط به این تایدگیج‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- انواع سطوح مبنای جزرومدی (Andersen, 2010)

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مشاهدات ماهواره‌های ارتفاع‌سنجی

یک ماهواره ارتفاع‌سنجی (آلتیمتری) مجهز به دستگاه رادار در مدار خود به دور زمین، با پریودهای زمانی کوتاه، ارتفاع خود را از سطح آزاد دریا و اقیانوس اندازه‌گیری می‌کند. با احتساب موقعیت مداری دقیق ماهواره، اندازه‌گیری‌های ماهواره با دقت قابل قبول تبدیل به اندازه‌گیری‌های ارتفاع سطح آزاد آب دریاها نسبت به یک سطح مرجع مشخص بین‌المللی (بیضوی مرجع WGS84) می‌گردند. با توجه به عبورهای متوالی و مکرر ماهواره در مسیرهای مشخص و متقاطع از بالای دریاها می‌توان دریافت که ماهواره در یک شبکه منظم و با توزیع یکنواخت از نقاط روی دریا (sub-satellite points) به صورت مکرر ارتفاع سطح آزاد دریا را اندازه‌گیری می‌کند. بعد از اعمال تصحیحات هندسی و فیزیکی، این اندازه‌گیری‌ها شبیه اندازه‌گیری‌های دستگاه تایدگیج می‌شوند با این مزیت که عاری از مشکلات موجود در مورد داده‌های تایدگیج (در نقاط دور از ساحل دقت کافی نخواهند داشت) هستند (لاری، ۱۳۹۱ و Fu, 2001).

در اینجا از خاصیت تکرار شونده‌ی زمانی مشاهدات ماهواره‌های ارتفاع‌سنجی در پای محل عبور ماهواره‌ها در دریای عمان و خلیج فارس استفاده شده است. بنابراین برای هر نقطه یک سری زمانی ایجاد می‌شود. در این تحقیق از داده‌های ماهواره‌ی Topex/Poseidon در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۳-۱۹۹۲ و همچنین داده‌های ماهواره‌ی Jason-1 در طی سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۲ استفاده شده

جدول ۱- مختصات تایدگیج‌های ساحلی منطقه خلیج فارس و دریای عمان

Name	φ_{GPS} (Degree)	λ_{GPS} (Degree)	h_{WGS84} (m)
BUSHEHR	28°59'22.53"	50°50'14.34"	-20.008
KANGAN	27°49'47.64"	3°32.19'0.52°	-21.939
JASK	25°38'44.17"	57°46'1.03"	-21.843

از جمله مزایای ارتفاعسنجی ماهواره‌ای می‌توان به چگال و هموزن بودن توزیع نقاط مشاهده شده در سطح دریا، دقت و صحت بالای این داده‌ها و نیز دسترسی آسان به این مشاهدات اشاره کرد. همانطور که گفته شده است این داده‌ها در سواحل دارای دقت کمتری می‌باشند. در این تحقیق برای جبران و بهبود این کاهش دقت در سواحل، از تلفیق اطلاعات تایدگیج‌های ساحلی و داده‌های ارتفاعسنجی ماهواره‌های Topex/Poseidon و Jason-1 به صورت نقطه‌ای برای بدست آوردن چارت دیتوم و یا به عبارتی مدل جدایی بین چارت دیتوم و بیضوی مرجع WGS84 پرداخته می‌شود. نتیجه این کار افزوده شدن ۸۸۷ نقطه "مشاهده‌ی شبه تایدگیج" از طریق مشاهدات ماهواره‌ی Topex/Poseidon و ۵۱۷ "مشاهده شبه تایدگیج" از طریق مشاهدات ماهواره‌ی Jason-1 می‌باشد.

۲-۳- تجزیه و تحلیل داده‌های ارتفاعسنجی ماهواره‌ای

داده‌های ارتفاعسنجی مورد استفاده در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار Basic Radar Altimetry Toolbox (BRAT) تجزیه و تحلیل و پردازش شده‌است. این نرم‌افزار در وب سایت http://earth.esa.int/BRAT/html/data/toolbox_en.html قابل دانلود می‌باشد.

با توجه به وجود لایه‌های مختلف جو بین ماهواره و سطح دریا خطاهایی وارد مشاهدات می‌شود. از جمله‌ی این خطاها می‌توان به خطای تروپوسفر تر (w)، خطای تروپوسفر خشک (d)، خطای یونسفر (I) اشاره کرد. خطاهای دیگری مانند خطای جزرومد آب دریا، خطای جزرومد قطبی (ΔpT)، بایاس تأثیر معکوس فشار (IB)، بایاس وضع دریا (بایاس الکترومغناطیس، E)، و خطای تغییرات مرکز - ثقل آنتن ارتفاعسنج (c) نیز مشاهدات را تحت تأثیر قرار می‌دهد (تراپی، ۱۳۸۵).

در ابتدا با اعمال تصحیحات بالا به مشاهدات ارتفاعسنجی ماهواره‌ای می‌توان SSH^۱ (ارتفاع سطح آب دریاها) را از روی ISL^۲ (سطح لحظه‌ای آب دریاها) با توجه به این روابط بدست آورد (Podaac, 2008 و Podaac, 1996). با توجه به رابطه شماره ۲ می‌توان ارتفاع سطح آب دریا را نسبت به بیضوی مرجع محاسبه کرد.

$$SSH(\varphi, \lambda, t) = H_{sat}(\varphi, \lambda, t) - Range(\varphi, \lambda, t) \quad (۲)$$

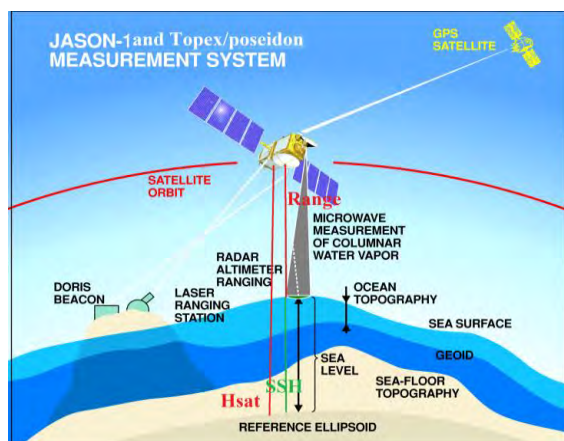
که در آن H_{sat} ارتفاع ماهواره از بیضوی مرجع و Range ارتفاع ماهواره از سطح آب دریا می‌باشد. برای بدست آوردن ارتفاع تصحیح شده سطح آب دریا نسبت به بیضوی مرجع ابتدا باید فاصله‌ی تصحیح شده بین ماهواره و سطح آب دریا را طبق رابطه زیر محاسبه کرد.

$$Corrected\ Range = Range + \Delta w + \Delta d + \Delta I + \Delta IB + \Delta c + \Delta pT + \Delta E \quad (۳)$$

و سپس از رابطه ۴ می‌توان SSH تصحیح شده را بدست آورد.

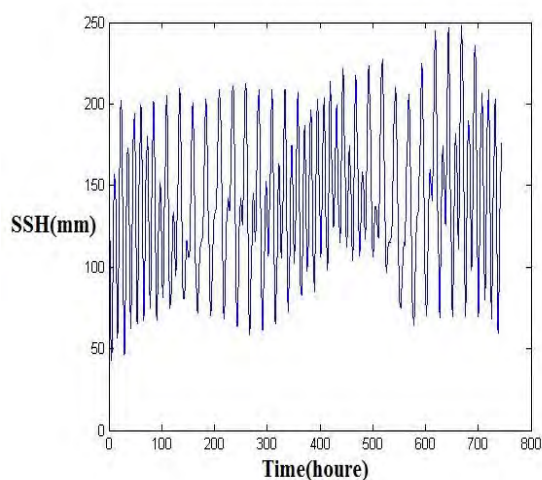
$$SSH(\lambda, \varphi, t) = H_{sat}(\lambda, \varphi, t) - Coorrected\ Range(\lambda, \varphi, t) \quad (۴)$$

در شکل ۳ نحوه‌ی اندازه‌گیری مشاهدات توسط ماهواره‌های ارتفاعسنجی Topex/Poseidon و Jason-1 نشان داده شده‌است.



شکل ۳- اساس اندازه‌گیری مشاهدات ارتفاعسنجی ماهواره‌ای (Richardson, 2003)

^۱ Sea Surface Height
^۲ Instant Sea Level



شکل ۵- نمونه‌ای از یک سری زمانی با استفاده از داده‌ای تاییدگیج-
های ساحلی در منطقه مورد بررسی

۴-۲- تجزیه و تحلیل داده‌های تاییدگیج‌های ساحلی

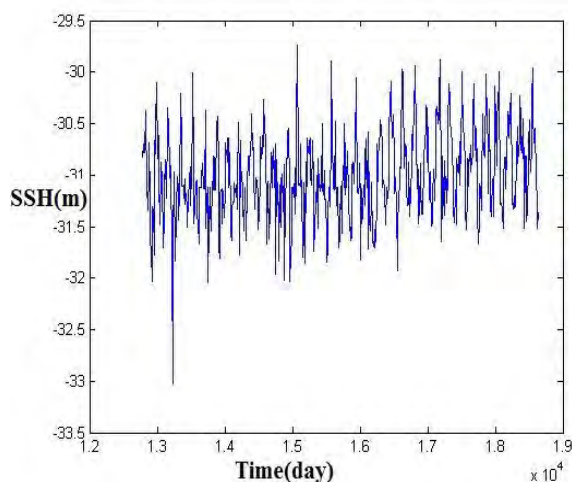
روش متداول برای تعیین سطح متوسط دریا قبل از ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای، استفاده از اندازه‌گیری‌های دستگاه تاییدگیج بوده است. این دستگاه تغییرات ارتفاعی پریودیک جزرومدی سطح دریا را در مدت زمان طولانی در محل نصب آن اندازه‌گیری می‌کند. این دستگاه بر حسب نوع آن در ساحل، و یا در کف دریا کار گذاشته می‌شود.

اندازه‌گیری سطح لحظه‌ای آب دریا یا به صورت پیوسته و آنالوگ و با یک مقیاس کوچکتر از واحد روی کاغذ میلیمتری رسم یا به صورت دیجیتال (رقومی) با فواصل زمانی معین در دستگاه ذخیره می‌شود. اندازه‌گیری ارتفاع سطح لحظه‌ای نسبت به خود دستگاه (صفر دستگاه) انجام می‌گیرد. اگر اختلاف ارتفاع دستگاه نسبت به یک بنج مارک مستقر در ساحل معلوم باشد می‌توان تغییرات ارتفاعی سطح دریا را نسبت به بنج مارک در ساحل بدست آورد.

مشکل عمده در آنالیز داده‌های ارتفاعی با دستگاه تاییدگیج، نسبی بودن آنها می‌باشد. به عبارت دیگر، داده‌ها نسبت به خود دستگاه اندازه‌گیری می‌شوند در حالیکه خود دستگاه در طول اندازه‌گیری دارای موقعیت ارتفاعی ثابت نبوده و در معرض انواع حرکت‌های ارتفاعی جزرومدی زمین (body tide) و حرکت‌های صفحات تکتونیکی پوسته زمین قرار دارد.

پس از اعمال تصحیحات گفته شده به مشاهدات ارتفاع‌سنجی می‌توان برای هر نقطه مشاهداتی در سطح دریا یک سری زمانی تشکیل داد. این سری‌های زمانی شامل دو مولفه طول و عرض جغرافیایی برای هر نقطه، زمان هر مشاهده و ارتفاع نقطه از بیضوی مرجع می‌باشند. نحوه‌ی محاسبه‌ی ارتفاع دقیق در قسمت قبل بیان شده است. برای محاسبه دامن و فاز مولفه‌های اصلی جزر و مد (مولفه‌های روزانه و نیم روزانه ماه و خورشید) با توجه به اینکه پریود داده‌های ماهواره‌ای حدود ۹,۹۱۵ روز می‌باشد، فرکانس‌ها به صورت دستی به مدل معرفی شده‌اند. در این تحقیق تعداد ۸۸۷ سری زمانی برای ماهواره Jason و Topex/Poseidon و ۵۱۷ سری زمانی برای ماهواره Jason 1 استفاده شده است.

پریود زمانی میان دو گذر متوالی ماهواره‌های ارتفاع-سنجی Jason-1 و Topex/Poseidon از یک نقطه روی دریا در حدود ۹/۹۱۵ روز می‌باشد. پس با تکیه بر اطلاعات حاصل از این ماهواره‌ها می‌توان در سطح دریاهای اقیانوس‌ها نقاط مشخصی را یافت که وضعیت ارتفاع سطح آب در آنها هر ۹/۹۱۵ روز یک بار اندازه‌گیری شده است. نمونه‌ای از این سری‌های زمانی استفاده شده برای منطقه خلیج فارس و دریای عمان در شکل ۴ و ۵ ارائه شده است.



شکل ۴- نمونه‌ای از یک سری زمانی با استفاده از داده‌ای ارتفاع-سنجی ماهواره‌ای در منطقه مورد بررسی

جزر و مد در واقع بالا و پایین شدن سطح آب در اثر نیروی جاذبه اجرام سماوی می‌باشد. در این بین ماه و خورشید بیشترین تاثیر را دارا می‌باشند. پریودهای مختلفی از جمله پریودهای نیم‌روزانه، روزانه، ماهیانه، نیم-سالیانه، سالیانه، ۸/۵ سالیانه و ۱۸/۶ سالیانه وجود دارند (Hashemi and Ardalan, 2004).

در جدول ۲ اطلاعات مربوط به ۳۰ مولفه‌ی اصلی جزر و مد ارائه شده است.

بزرگترین مولفه، مولفه نصف روزانه می‌باشد که حدود ۹۰ درصد کل فرایند جزرومدی را تشکیل می‌دهد. میزان تاثیر هر مولفه تابعی از عرض جغرافیایی محل می‌باشد. این در حالی است که طول جغرافیایی بر روی فاز مولفه‌ها موثر می‌باشد.

مشکل دیگر دستگاه تایدگیج محدودیت محل نصب آن در پهنه دریا می‌باشد. یعنی نمی‌توان یک شبکه با توزیع یکنواخت از دستگاه‌ها را در ساحل، دور از ساحل و یا داخل دریا ایجاد کرد. بنابراین، محاسبات سطح متوسط دریا از اندازه‌گیری‌های دستگاه تایدگیج در صورت فرموله کردن صحیح حرکت‌های منسوب به پوسته زمین، تنها در سواحل معتبر خواهد بود.

جدول ۲- اطلاعات مربوط به ۳۰ مولفه‌ی اصلی جزر و مد

Name	Frequency (cycles/ hour)	Name	Frequency (cycles/ hour)
MSM	0.00130978	M3	0.12076710
MSF	0.00282193	MK3	0.12229215
2Q1	0.03570635	SK3	0.12511408
Q1	0.03721850	MN4	0.15951064
O1	0.03873065	M4	0.16102280
NO1	0.04026859	MS4	0.16384473
K1	0.04178075	S4	0.16666667
J1	0.04329290	2MK5	0.20280355
OO1	0.04483084	2SK5	0.20844743
UPS1	0.04634299	MN6	0.24002205
N2	0.07899925	M6	0.24153420
M2	0.08051140	2MS6	0.24435613
S2	0.08333334	2SM6	0.247178082
ETA2	0.08507364	3MK7	0.28331494
MO3	0.11924206	M8	0.32204559

در این تحقیق از داده‌های ۳ تایدگیج بندر بوشهر، بندر کنگان و بندر جاسک که در خلیج فارس و دریای عمان قرار دارند استفاده شده است.

هر کدام از مولفه‌ها را با توجه به پریودیک بودن آنها می‌توان بصورت یک تابع کسینوسی با پارامترهای دامنه (A_j)، سرعت زاویه‌ای (ω_j) و تاخیر فاز هر مولفه

نسبت به مولفه‌ی نظیرش در نصف النهار مبدا گریجوی (θ_j) نشان داد.

کل فرایند جزرومدی در یک زمان مشخص بصورت رابطه زیر فرموله می‌شود (Boon and Kevin, 1978).

$$S(\varphi, \lambda, t) = \sum_{j=1}^K A_j \cos(\omega_j t - \theta_j(\varphi, \lambda)) \quad (5)$$

برای راحتی کار می‌توان رابطه غیر خطی ۵ را از بسط به تابع کسینوس بصورت رابطه ۶ به دست آورد. رابطه ۶ معادل رابطه ۵ می‌باشد.

$$S(\varphi, \lambda, t) = \sum_{j=1}^K [a_j(\varphi, \lambda) \cos(\omega_j t) + b_j(\varphi, \lambda) \sin(\omega_j t)] \quad (6)$$

مجهولات رابطه ۶، a_j و b_j می‌باشند. به کمک این پارامترها و براساس رابطه ۷ مجهولات دامنه و فاز مولفه-های جزرومدی محاسبه می‌شوند.

$$A_j = \sqrt{a_j^2 + b_j^2} \quad \& \quad \theta_j = \tan^{-1} \left(\frac{b_j}{a_j} \right) \quad (7)$$

برای نقطه‌ای با مختصات ارائه شده در جدول ۲ پارامترهای دامنه و فاز مولفه‌های اصلی جزرومدی در جدول ۳ ارائه شده است

جدول ۳- دامنه و فاز مولفه‌های اصلی جزرومدی

Name	Amplitude (m)	Phase (Radian)
M2	0.4042	1.0641
K1	0.1418	2.6178
S2	0.2046	1.6651
O1	0.0966	1.6920

۲-۵- مدل ریاضی برای آنالیز داده‌های ارتفاع-سنجی ماهواره‌ای

برای بدست آوردن مقدار دقیق ارتفاع لحظه‌ای سطح آب دریاها همانطور که در قسمت‌های قبلی گفته شده است باید عوامل تاثیر گذار بر روی تغییرات لحظه‌ای سطح آب را نیز مدل‌سازی کرده و به معادله ۶ اضافه کرد. عامل مهم و اصلی که باعث تغییر سطح آب دریاها می‌شود پدیده جزرومد می‌باشد که اثر آن در نظر گرفته شده است. عوامل دیگری نیز وجود دارند که اگرچه تاثیر کمتری نسبت به جزرومد دارند اما از اهمیت ویژه‌ای

و در نهایت با جایگذاری مقدار $S'(\varphi, \lambda, t)$ رابطه زیر بدست می آید.

$$\begin{aligned} SSH(\varphi, \lambda, t) &= MSL(\varphi, \lambda, t_0) \\ &+ \sum_{j=1}^k [a_j(\varphi, \lambda) \cos(\omega_j t) + b_j(\varphi, \lambda) \sin(\omega_j t)] \end{aligned} \quad (12)$$

برای تشکیل سری زمانی برای مشاهدات در ایستگاه-های تایدیج به همان ترتیب ایستگاه‌های ارتفاع‌سنجی عمل می‌شود با این تفاوت که در اینجا دیگر مقید به فاصله زمانی طولانی ۹/۹۱۵ روز بین مشاهدات نبوده، بلکه می‌توان از فاصله زمانی تا حد امکان کوچک (قدرت تفکیک بالا) برای گسسته سازی (discretization) اندازه-گیری‌ها یا رکوردهای پیوسته دستگاه تایدیج استفاده کرد.

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد داده‌های ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای در نزدیکی دریا دارای دقت مناسب نمی‌باشند بنابراین برای رفع این مشکل از اطلاعات تایدیج‌های ساحلی استفاده می‌شود. باید یادآور شد که مشاهدات در تایدیج‌ها نسبت به صفر دستگاه بوده و برای ارجاع آنها به بیضوی مرجع، ارتفاع بنچ مارک ساحلی از بیضوی مرجع به مشاهدات افزوده می‌شود.

۷-۲- تلفیق مشاهدات ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای و تایدیج‌های ساحلی

مدل‌های ریاضی ۹ و ۱۴ که مشاهدات تغییرات سطح دریا را با ماهواره‌های ارتفاع‌سنجی و دستگاه تایدیج فرموله می‌کنند هر دو در بر گیرنده پارامترهای مجهول (پارامترهای جزرومد و سطح متوسط دریا) با تعاریف یکسان می‌باشند. بنابراین پارامترهای جزرومد و سطح متوسط دریا برآورد شده از هر دو مدل ریاضی قابل تلفیق می‌باشند.

باید توجه شود که برای تلفیق داده‌های ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای و تایدیج‌های ساحلی برای برآورد پارامترهای جزرومدی و مخصوصاً سطح متوسط دریا، لازم است که مشاهدات ماهواره‌ای و تایدیج دیتوم مشترک داشته باشند. مشاهدات ماهواره ارتفاع‌سنجی همه منسوب به بیضوی مرجع ماهواره‌ای خود می‌باشند. ولی مشاهدات تایدیج‌ها هر کدام منسوب به صفر دستگاه یا بنچ مارک

برخورد دارند که تاثیر این عوامل نیز باید در مدل‌سازی تغییرات سطح آب دریاها نیز وارد شود. این عوامل شامل تغییرات طولانی مدت (تقریباً دائمی) و خطی ناشی از ذوب یخ‌های قطبی و حرکت صفحات تکتونیکی می‌باشند. با در نظر گرفتن هر سه عامل ذکر شده ارتفاع لحظه‌ای سطح آب دریاها بصورت رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$SSH(\varphi, \lambda, t) = MSL(\varphi, \lambda, t_0) + S(\varphi, \lambda, t) \quad (8)$$

حال به جای $S(\varphi, \lambda, t)$ می‌توان مقدار آن از رابطه ۶ را جایگذاری کرد. بنابراین خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} SSH(\varphi, \lambda, t) &= MSL(\varphi, \lambda, t) \\ &+ \sum_{j=1}^k [a_j(\varphi, \lambda) \cos(\omega_j t) + b_j(\varphi, \lambda) \sin(\omega_j t)] \end{aligned} \quad (9)$$

در رابطه ۹، SSH ارتفاع لحظه‌ای سطح آب دریا، MSL متوسط سطح دریا در بازه‌ی موردنظر می‌باشد. k نیز با توجه به تعداد مولفه‌های استفاده شده مشخص می‌شود.

۶-۲- مدل ریاضی برای آنالیز داده‌های تاییدیج‌های ساحلی

دستگاه تاییدیجی که در ساحل نصب شده باشد خود سوار بر موج جزرومد خشکی (body tide) بوده و دارای تمام حرکات پریودیک ناشی از جزرومد خشکی و حرکت یکنواخت خشکی (پوسته زمین) ناشی از پلیت‌های تکتونیکی می‌باشد. بنابراین کمیت اندازه‌گیری شده توسط دستگاه (tide gauge measurement) در واقع عبارت است از اختلاف حرکات ارتفاعی جزرومدی دریا (ocean tide) و حرکات ارتفاعی جزرومدی خشکی (body tide):

$$\text{Tide gauge measurement} = \text{ocean tide} - \text{body tide} \quad (10)$$

در اینجا نیز باید دو عامل بالا آمدگی دائمی سطح آب ناشی از ذوب یخ‌های قطبی و بالا آمدگی سطح خشکی ناشی از حرکت تکتونیکی را نیز در نظر گرفت. با در نظر گرفتن این عوامل، معادله مشاهده سطح دریا با دستگاه تاییدیج به صورت رابطه زیر می‌باشد.

$$SSH(\varphi, \lambda, t) = MSL(\varphi, \lambda, t_0) + S'(\varphi, \lambda, t) \quad (11)$$

معرف ایستگاه خود می‌باشند. با توجه به کثرت مشاهدات یا داده‌های ارتفاع‌سنجی در مقابل داده‌های تاییدگیج، بیضوی مرجع ماهواره به عنوان دیتوم مشترک انتخاب می‌گردد. بنابراین، بایستی داده‌های تاییدگیج به دیتوم مشترک انتقال یابند. برای این کار ارتفاع پنج مارک‌ها بایستی از مرجع ژئوئید به مرجع بیضوی مرجع ماهواره تبدیل یافته و مشاهدات مربوطه در تاییدگیج‌ها تصحیح گردند.

۳- نتایج

در گذشته میانگین پایین‌ترین سطح آب دریاها (Mean low water spring) در طول یک سال را به عنوان چارت دیتوم در نظر گرفته می‌شد. در بعضی مناطق مانند اقیانوس هند سطحی که به عنوان چارت دیتوم تعریف می‌شود، سطح Indian spring low water است. روش بدست آوردن آن مطابق رابطه زیر می‌باشد.

$$ISLW = Z_0 - (M2 + S2 + K1 + O1) \quad (13)$$

در رابطه $O1, K1, S2$ و $M2$ دامنه‌ی مولفه‌های اصلی مربوط به جزرومد روزانه و نیم‌روزانه ماه و خورشید می‌باشند. این چارت دیتوم برای منطقه دریای عمان نیز قابل استفاده می‌باشد. برای بدست آوردن این چارت دیتوم باید دامنه‌ی مولفه‌های اصلی جزرومد را با استفاده از حداقل مشاهدات یک ماه بدست آورد. افزایش زمان مشاهدات باعث افزایش دقت مولفه‌های جزرومدی می‌شود. روابط ریاضی دیگری نیز برای تعیین چارت دیتوم استفاده می‌شود (Gonzalez, 2012):

$$h_{CD} = MSL - (M_2 + N_2 + S_2 + K_1 + O_1) \quad (14)$$

با توجه به رفتار جزرومدهای نیم‌روزانه و روزانه در هر منطقه، از رابطه‌ی زیر نیز برای محاسبه چارت دیتوم استفاده می‌شود.

$$h_{CD} = MSL - 1.1(M_2 + N_2 + S_2 + K_1 + O_1) \quad (15)$$

چارت دیتومی که به این صورت تعیین می‌شود تنها بیانگر چارت دیتوم در اطراف خود ایستگاه تاییدگیج می‌-

باشد. و برای مناطقی که چند ده کیلومتر دورتر از ایستگاه تاییدگیج قرار دارند معیار صحیحی نخواهد بود. چرا که دامنه و فاز مولفه‌های اصلی و تاثیر گذار در جزرومد در نقاط مختلف مقدار متفاوتی خواهند داشت. بنابراین با توجه به ضعف مشاهدات ارتفاع‌سنجی در سواحل و پوشش خوب آنها در نواحی دور از ساحل و همچنین دقت خوب مشاهدات تاییدگیج در سواحل، در این تحقیق از ایده‌ی تلفیق این دو مشاهده استفاده شده است.

بنابراین برای بدست آوردن مولفه‌های اصلی جزرومد و سطح متوسط آب دریا در هر نقطه، از آنالیز هارمونیک استفاده می‌شود.

آنالیز هارمونیک، روشی بسیار مفید برای تجزیه و تحلیل و پیش بینی ارتفاع و جریان‌های جزرومدی است و به دو روش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱- آنالیز هارمونیک داده‌های سطح دریا با استفاده از بسط به سری فوریه

۲- آنالیز هارمونیک داده‌های سطح دریا با استفاده از روش رگرسیون خطی می‌باشد. روش آنالیز هارمونیک اولین بار توسط لرد کلون در سال ۱۸۶۷ استفاده شده است (Forman, 1996 and Forman, 1998).

در روش آنالیز طیفی فوریه، فرض بر این است که فرکانس‌های جزرومدی ما اعداد صحیحی می‌باشند ولی در عمل فرکانس‌ها دارای مقادیری صحیح نمی‌باشند. این امر باعث می‌گردد توابع پایه‌ی ما در طول داده‌ها دیگر متعامد نباشند.

در نتیجه برای رفع این مشکل در این تحقیق از روش رگرسیون خطی و روش آنالیز کمترین مربعات استفاده شده است.

در روش رگرسیون خطی اگر $SSH(\varphi, \lambda, t)$ یک سری زمانی حاصل از اندازه‌گیری تراز آب در اثر جزرومد باشد، آنگاه به دلیل ماهیت تناوبی جزرومد، این سری زمانی در کل فرایند جزرومدی در هر نقطه طبق رابطه زیر فرموله می‌شود:

$$SSH(\varphi, \lambda, t) = MSL(\varphi, \lambda, t_0) + S(\varphi, \lambda) \times t + \sum_{j=1}^k [a_j(\varphi, \lambda) \cos(\omega_j t) + b_j(\varphi, \lambda) \sin(\omega_j t)] \quad (16)$$

با توجه به روش کمترین مربعات، مجهولات از رابطه ۱۹ بدست می آیند.

$$\hat{x} = (A^T P A)^{-1} A^T P Y \quad (19)$$

فرضی که در نظر می گیریم این است که مشاهدات ما دارای وزن واحد ($P=I$) می باشند.

دو نکته دیگر که باید مورد توجه قرار داد یکی محاسبه ی فاکتور وریانس ثانویه مشاهدات و دیگری محاسبه ی ماتریس وریانس-کوریانس مجهولات می باشد که از رابطه های ۲۰ و ۲۱ محاسبه می شوند.

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\hat{r}^T \hat{r}}{n - 2k - 2} \quad (20)$$

$$\hat{r} = A \hat{x} - Y \quad (21)$$

$\hat{r}$ بردار باقیمانده های سرشکن شده مشاهدات می باشد.

$$C_{\hat{x}} = \hat{\sigma}_0^2 (A^T A)^{-1} \quad (21)$$

مولفه های بدست آمده از مشاهدات ارتفاع سنجی ۱۱ ساله ماهواره ی Topex/Poseidon و ۶ ساله ماهواره ی Jason-1 در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- مولفه های بدست آمده از مشاهدات ارتفاع سنجی ماهواره ی Jason-1 و Topex/Poseidon

Name	Mean value(A) (m)	Min & Max Values (A) (m)
M_2	0.5448	0.0437 & 1.0918
K_1	0.3598	0.0254 & 0.9396
S_2	0.2342	0.0189 & 0.4474
O_1	0.1835	0.0132 & 0.3597
N_2	0.1232	0.0093 & 0.2746

پس از محاسبه ی مجهولات مورد نظر برای مولفه های اصلی جزرومدی و به دست آوردن دامنه و فاز این مولفه ها اکنون برای محاسبه جدایی چارت دیتوم نسبت به بیضوی مرجع WGS84 بصورت نقطه به نقطه در منطقه خلیج فارس و دریای عمان بر اساس استانداردهای سازمان نقشه برداری از رابطه زیر استفاده می شود.

$$H_{CD}(\varphi, \lambda) = MSL - 1.1 \left[\sum_{j=1}^k \sqrt{a_j^2(\varphi, \lambda) + b_j^2(\varphi, \lambda)} \right] \quad (22)$$

اگر معادله ۱۶ برای تمام مشاهدات یک نقطه در تمام زمان های $t_0, t_1 \dots t_n$ نوشته شود دستگاه معادلات مشاهدات زیر تشکیل می شود.

$$\begin{bmatrix} SSH(t_1) \\ SSH(t_2) \\ \vdots \\ SSH(t_{n-1}) \\ SSH(t_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & \cos \omega_1 t_1 & \sin \omega_1 t_1 & \dots & \cos \omega_k t_1 & \sin \omega_k t_1 \\ 1 & t_2 & \cos \omega_1 t_2 & \sin \omega_1 t_2 & \dots & \cos \omega_k t_2 & \sin \omega_k t_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & t_{n-1} & \cos \omega_1 t_{n-1} & \sin \omega_1 t_{n-1} & \dots & \cos \omega_k t_{n-1} & \sin \omega_k t_{n-1} \\ 1 & t_n & \cos \omega_1 t_n & \sin \omega_1 t_n & \dots & \cos \omega_k t_n & \sin \omega_k t_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} MSL \\ S \\ a_1 \\ b_1 \\ \vdots \\ a_k \\ b_k \end{bmatrix} \quad (17)$$

دستگاه معادلات ۱۷ شامل n معادله و $2k+2$ مجهول می باشد. و در آن $SSH(t_n)$ ارتفاع آب در لحظه t_n ، MSL مقدار متوسط سری زمانی (ارتفاع آب)، $j=1,2,3,\dots,k$ تعداد مولفه ها، a_j و b_j دامنه جملات کسینوس و سینوس، ω_j سرعت زاویه ای مولفه ی j ام، $n=1,2,3,\dots$ تعداد دفعات نمونه برداری می باشد.

در انتخاب مولفه ها به عنوان مولفه های مرجع و یا مولفه های مرجع مجاور، توجه به دونگته ضروری است.

۱- شدت نسبی مولفه ها در ایجاد پتانسیل های جزرومدی ۲- طول مدت اندازه گیری می باشد. بنابراین در این تحقیق ۳۰ مولفه ی جزرومدی در نظر گرفته شده است که در جدول ۱ مهمترین مولفه ها ارائه شده است.

برای بدست آوردن ضرایب مجهول در دستگاه معادلات ۱۹ از روش کمترین مربعات استفاده می شود.

بنابراین دستگاه معادلات را می توان به فرم ساده شده، طبق رابطه زیر نوشت.

$$Y = AX \quad (18)$$

در معادله ۱۸، Y بردار مشاهدات (ارتفاع لحظه ای سطح آب)، A ماتریس ضرایب و x بردار مجهولات شامل b_j و همچنین مجهول MSL و S می باشد.

گذرهای نزدیک به ایستگاه‌های تایدگیج ساحلی در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- نتایج آنالیز مشاهدات ارتفاعسنجی ماهواره‌ای

Name	Bushehr	Jask	Kangan
M2	0.1923	0.7988	0.4679
K1	0.3199	0.3616	0.1228
S2	0.0974	0.2527	0.2394
O1	0.1964	0.2284	0.0879

در جدول ۸ نیز اختلاف چهار مولفه بدست آمده از مشاهدات تایدگیج‌های ساحلی و ارتفاع سنجی ماهواره‌ای ارائه شده است.

جدول ۸- اختلاف مولفه‌های بدست آمده از مشاهدات تایدگیج‌های ساحلی با مشاهدات ارتفاعسنجی ماهواره‌ای

Name	Bushehr	Jask	Kangan
M2	0.1848	0.1478	0.093
K1	0.0243	0.0429	0.1050
S2	0.0441	0.0205	0.0326
O1	0.0317	0.0215	0.0302

بعد از بدست آوردن مولفه‌های اصلی جزرومدی، اکنون می‌توان سطح متوسط آب دریا و همچنین ارتفاع چارت دیتوم در سه ایستگاه تایدگیج را با استفاده از دو نوع مشاهده‌ی ارتفاعسنجی ماهواره‌ای و مشاهدات تایدگیج-های ساحلی در بازه‌ی زمانی مورد نظر بدست آورد. این نتایج در جدول ۹ و ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۹- متوسط سطح دریا با استفاده از مشاهدات تایدگیج‌های ساحلی و ارتفاعسنجی ماهواره‌ای و اختلاف آنها

Name	Bushehr	Jask	Kangan
MSL(m) Tide gauge	-21.4952	-25.0279	-21.4952
MSL(m) Altimetry	-21.0552	-25.0474	-21.0552
Difference	-0.44	0.0195	-0.44

جدول ۱۰- مقدار چارت دیتوم با استفاده از مشاهدات تایدگیج‌های ساحلی و ارتفاعسنجی ماهواره‌ای و اختلاف آنها

Name	Bushehr	Jask	Kangan
H_CD (m) Tide gauge	-24.9998	-26.253	-22.6951
H_CD (m) Altimetry	-24.8717	-26.8531	-21.9418
Difference(m)	-0.1281	0.6001	-0.7536

در شکل ۶ و ۷ سطح متوسط آب دریا در منطقه خلیج فارس و دریای عمان به صورت نقطه‌ای و جدایی بین چارت دیتوم و بیضوی مرجع WGS84 نشان داده شده است.

باید توجه کرد که انتخاب k بستگی به تعداد مولفه‌های مورد استفاده در مدل دارد. در منطقه‌ی خلیج فارس و دریای عمان با توجه به استانداردهای سازمان نقشه برداری از چهار مولفه‌ی موثر استفاده شده است و از مولفه‌هایی که دامنه‌ی کوچکتری نسبت به این چهار مولفه داشته‌اند صرف‌نظر شده است. بنابراین در منطقه‌ی مورد بررسی در این تحقیق مقدار مناسب برای k عدد چهار می‌باشد.

در جدول ۵ نیز مقدار ماکزیمم، مینیمم و میانگین بدست آمده برای ارتفاع چارت دیتوم و MSL نسبت به بیضوی مرجع در این منطقه باتوجه به داده‌های ارتفاع-سنجی ماهواره‌ای ارائه شده است.

جدول ۵ - عددی چارت دیتوم و MSL از مشاهدات ارتفاعسنجی

Name	Mean value (m)	Values Min & Max (m)
MSL	-31.3627	-45.9113 & -16.4318
h_{CD}	-32.0913	-46.8598 & -17.1338

در نهایت در این تحقیق از مشاهدات تایدگیج‌هایی که در نزدیکی سری‌های زمانی تشکیل شده از مشاهدات ماهواره‌های ارتفاعسنجی Topex/Poseidon و Jason-1 قرار دارند برای بدست آوردن جدایی بین چارت دیتوم و بیضوی مرجع نیز استفاده شده است. پس از هم دیتوم شدن داده‌های تایدگیج‌های ساحلی و داده‌های ارتفاع-سنجی ماهواره‌ای تلفیق این داده‌ها صورت می‌گیرد. چرا که به علت ضعف داده‌های ارتفاعسنجی در ساحل و همچنین در آب‌های کم عمق تلفیق این دو نوع داده دقت تعیین چارت دیتوم را افزایش می‌دهد.

نتایج حاصل از آنالیز مشاهدات تایدگیج‌های ساحلی برای چهار مولفه‌ی اصلی جزرومدی برای سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۰۵ در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- نتایج آنالیز مشاهدات تایدگیج‌های ساحلی

Name	Bushehr	Jask	Kangan
M2	0.3771	0.6510	0.5609
K1	0.3442	0.4045	0.2278
S2	0.1415	0.2732	0.2068
O1	0.2281	0.2069	0.1181

برای داده‌های ارتفاعسنجی ماهواره‌ای نیز بین سال-های ۲۰۰۲-۲۰۰۵ مقادیر مربوط به چهار مولفه‌ی اصلی جزرومدی (M2, K1, S2, O1) با استفاده از نقاط بر روی

در جدول زیر نتایج تلفیق مشاهدات ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای و مشاهدات تایدگیج‌های ساحلی و همچنین میزان بهبود دقت نتایج با روش تلفیق داده‌ها در سه ایستگاه تایدگیج ارائه شده است.

جدول ۱۱- تلفیق مشاهدات تایدگیج و مشاهدات آلتیمتری

Name	BUSHEHR	KANGAN	JASK
MSL (m)	-21.453	-25.0357	-23.2887
H_CD (m)	-22.65	-26.221	-24.9725
میزان بهبودی (MSL)	90.4091	60.0000	94.5899
میزان بهبودی (H_CD)	94.0130	94.6676	78.6885

در جداول زیر نیز اختلاف نتایج بدست آمده در دو حالت مشاهدات تایدگیج و مشاهدات آلتیمتری با حالتی که این دو نوع مشاهده با هم تلفیق شده‌اند ارائه شده است.

جدول ۱۲- اختلاف مشاهدات تلفیق شده با مشاهدات آلتیمتری

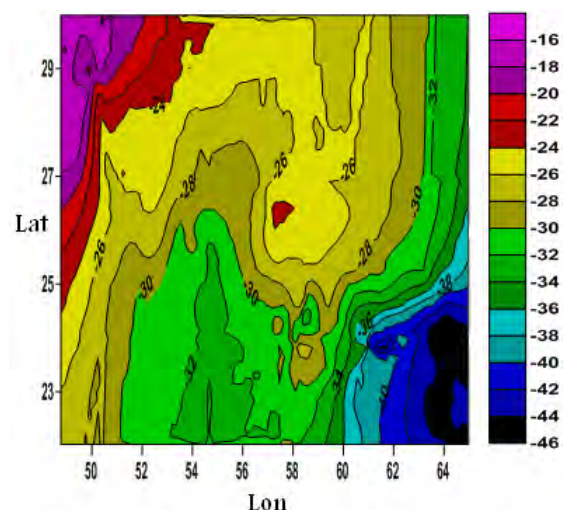
Name	BUSHEHR	KANGAN	JASK
MSL (m)	-0.3978	0.0117	0.4832
H_CD (m)	-0.7084	0.6320	-0.1008

جدول ۱۳- اختلاف مشاهدات تلفیق شده با مشاهدات تایدگیج

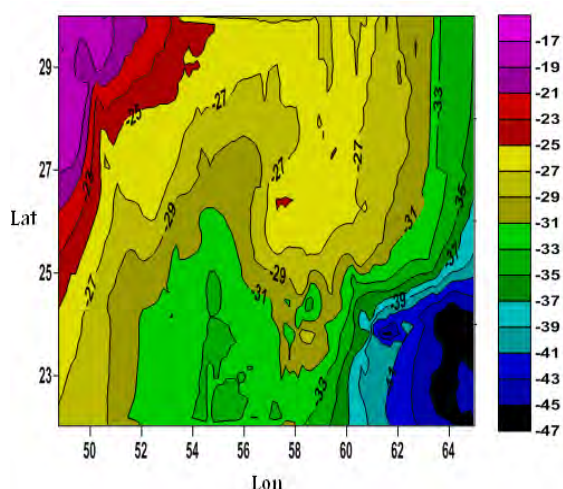
Name	BUSHEHR	KANGAN	JASK
MSL (m)	0.0422	-0.0078	0.0248
H_CD (m)	0.0449	0.0319	0.0273

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای تهیه مدل جدید جدایی بین چارت دیتوم و بیضوی مرجع WGS84 بصورت نقطه‌ای در منطقه‌ی خلیج فارس و دریای عمان از مشاهدات ارتفاع‌سنجی ماهواره‌های Topex/Poseidon برای سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۹۲ و Jason-1 در طی سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۰۸ و همچنین مشاهدات تایدگیج‌های ساحلی که در نزدیکی سری‌های زمانی ایجاد شده از مشاهدات ماهواره‌ای قرار دارند استفاده شده است. نتایج مربوط به چهار مولفه‌ی اصلی و تاثیر گذار در منطقه‌ی مورد بررسی، سطح متوسط دریا و مهم‌تر از همه ارتفاع چارت دیتوم نسبت به بیضوی مرجع WGS84 آورده شده است.



شکل ۶- سطح متوسط آب دریا در منطقه خلیج فارس و دریای عمان



شکل ۷- جدایی بین چارت دیتوم و بیضوی مرجع WGS84

لازم به ذکر است که برای مقایسه مشاهدات ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای با مشاهدات تایدگیج در ایستگاه‌های بندر بوشهر، بندر کنگان و بندر جاسک، مشاهدات ماهواره‌ای از روش کمترین مربعات وزندار محاسبه شده‌اند. اکنون می‌توان با تلفیق داده‌های تایدگیج با مشاهدات ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای چارت دیتوم را با دقت بهتری تعیین کرد. چرا که اضافه کردن مشاهدات تایدگیج‌ها موجب برطرف شدن ضعف داده‌های ماهواره‌ای در ساحل، و استفاده از داده‌های ماهواره‌ای موجب افزایش دقت چارت دیتوم در تمام نقاط دریا شده است.

بنابراین چارت دیتومی که به این صورت تعیین می‌شود هم در ساحل و هم در نقاطی که در فواصل دورتری نسبت به تایدگیج قرار دارند دارای اعتبار می‌باشد و از دقت و صحت بالایی برخوردار می‌باشد.

مزیت عمده‌ی روش بکار رفته در این تحقیق:

همانطور که گفته شد مشاهدات ارتفاع‌سنجی ماهواره-ای در سواحل و همچنین آب‌های کم عمق از دقت مطلوبی برخوردار نیستند.

راه‌حل مناسب برای حل این مشکل استفاده از مشاهدات تایدگیج‌های ساحلی که در نزدیکی سری‌های زمانی تولید شده از مشاهدات ماهواره‌ای قرار دارند می‌باشد.

از طرفی تعیین چارت دیتوم بر اساس مشاهدات تایدگیج‌های ساحلی به تنهایی، فقط برای نواحی نزدیک آن ایستگاه مناسب می‌باشد و با توجه به اختلاف بین دامنه و فاز مولفه‌های جزرومدی در نقاط مختلف دریا این چارت دیتوم از دقت مطلوبی برای نواحی که در فواصل دورتری نسبت به ایستگاه تایدگیج قرار دارند برخوردار نمی‌باشد.

در این تحقیق به تلفیق مشاهدات ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای و داده‌های تایدگیج‌های ساحلی پرداخته شده

است و هر دو مشکل ذکر شده (ضعف مشاهدات ارتفاع-سنجی ماهواره‌ای، کم دقت بودن تعیین چارت دیتوم با مشاهدات تایدگیج‌های ساحلی به تنهایی) با توجه به ایجاد سری‌های زمانی بصورت نقطه‌ای در منطقه مورد نظر و ایجاد نقاط "شبه تایدگیج" از طریق مشاهدات ارتفاع-سنجی ماهواره‌ای برطرف شده است و تعیین چارت دیتوم با دقت و صحت بالاتری را میسر ساخته است.

برای رسیدن به دقت بهتر توصیه می‌شود که از مشاهدات ایستگاه‌های تایدگیج بیشتری استفاده شود. چرا که با توجه به فاصله‌ی چشمگیر بین ایستگاه‌های تایدگیج و سری زمانی در نظر گرفته شده حاصل از مشاهدات ماهواره‌ای (گاهی به بیشتر از ۲۰ کیلومتر می‌رسد)، این کار امکان ایجاد یک شبکه منظم و پیوسته از مشاهدات تایدگیج را در منطقه فراهم می‌آورد و افزایش دقت کار را میسر می‌سازد.

مراجع

- [1] Lari, K. abrehdary, M. 2013 Combining TP and Jason-1 satellite altimetry data to determine the topography of the sea surface in the Sea of Oman and the Persian Gulf, Volume 11, Number 3, Journal of Marine Science and Technology.
- [2] Ardalan, A. A. Torian, M.J. 2011. Sea of Oman and the Persian Gulf tide modeling using data from satellite altimetry and coastal Taydgyj, Volume 36, Number 3, the journal Physics of the Earth and space.
- [3] Tajfirooz, B. 2006, Hydrography surveying, Khaje Nasir Toosi University of Technology. Tehran.
- [4] Torabi, M. 2006. Spectral analysis of satellite altimetry observations point T / P to model the average sea level. Master thesis. School of surveying Khaje Nasir Toosi University of Technology University. Tehran.
- [5] Ardalan, A. A. Moseyebzade, M. 2001. Determine the topography of the surface of the water in the Sea of Oman and the Persian Gulf using GPS observations and coastal Taydgyj, Volume 37, Number 2, the journal of the Faculty of Engineering, Tehran.
- [6] JavieraGonzalez, A. 2012 Comparative methodologies for sounding reduction applied to a bathymetric survey referenced to the WGS-84 ellipsoid, executed in Concepcion Bay and Gulf of Arauco, VIII region, Chile. Hydrographic and Oceanographic Service of the Chilean Navy Elliot N. Arroyo-Suarez, Naval Oceanographic Office.
- [7] Andersen, B. 2010. Satellite derived reference surfaces for surveying. Dtu-Space. Copenhagen. Denmark. Aviso and Podaac. 2008. Aviso and Podaac Users Handbook Igdr and Gdr Jason Products. Jpl, D-21352, October. Smm-Mu-M5-Op-13184-Cn.
- [8] Hashemi, H., 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.
- [9] Hashemi, H., Ardalan, A. 2004. A new model for global ocean tide based on spherical harmonics and 11 years of Topex/Poseidon satellite altimetry data. Geophysical Research Abstracts 6: 00645. European Geosciences Union.

- [10] Richardson.A. Jasnow.M. 2003. Oceanography from Space. Nasa/Jet Propulsion Laboratory Pasadena, California.
- [11] DeJong, C.D., Lachapelle, G., Skone, S., Elema, I.A. 2002. Hydrography.” Delft University. The Netherlands.
- [12] Fu. L.L., Cazenave. A. 2001. Satellite Altimetry and earth Science. A Handbook of Techniques and Applications. Academic Press, 463p.
- [13] Forman, M.G.G. 1998. Manual for tidal currents analysis and prediction, pacific marine science report. Podaac and Podaac Merged Gdr (Topex/Poseidon) Users Handbook. Jpl, D-11007, November.
- [14] Forman, M.G.G. 1996. Manual for tidal heights analysis and prediction. Pacific marine science.
- [15] Boon, J. D., Kevin P. Kiley. 1978. Harmonic analysis and tidal prediction by the method of least squares. Va. Inst. Mar. Sci., Gloucester Point, Va., Spec. Rep 186: 49.