

مقاله پژوهشی

DOR: [20.1001.1.24767131.1401.8.2.13.3](https://doi.org/10.1001.1.24767131.1401.8.2.13.3)

درصد همانندی: ۱۱٪

طراحی نرم افزار برای تعیین ارتفاع و زاویه فاز جزرومد در سواحل شمالی دریای عمان
(جاسک-چابهار)سیدفریدالدین حسینی^۱، مسعود ترابی آزاد^۲، کامران لاری^۳^۱ کارشناس ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

faridhosseini333@gmail.com

^۲ نویسنده مسئول، استاد گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

m_azad@iau-tnb.ac.ir

^۳ دانشیار گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

k_lari@iau-tnb.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۲

چکیده:

جزرومد در سواحل شمالی دریای عمان به لحاظ تردد شناورها و فعالیت‌های زیست‌محیطی اهمیت زیادی دارد. در این تحقیق نرم‌افزاری طراحی شده که با استفاده از داده‌های یک‌ماهه سطح تراز آب ثبت‌شده در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ در مناطق جاسک و چابهار، دامنه و زاویه فاز ۲۳ مؤلفه جزرومدی را به روش آنالیز کمترین مربعات محاسبه می‌کند. همچنین عدد کشند جاسک و چابهار را در هرماه به دست می‌آورد. در نتیجه نوع کشند منطقه شناسایی شده و میانگین ارتفاع آب در هرماه نیز مشخص می‌شود. همچنین با نرم‌افزار ArcGIS خطوط هم‌دامنه و هم‌فاز جزرومدی سواحل شمالی دریای عمان، رسم شد. تغییرات ارتفاع جزرومد در این سواحل و اختلاف دامنه و زاویه فاز جاسک و چابهار محاسبه شد. برای صحت‌سنجی نتایج از داده‌های اندازه‌گیری شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که دامنه مؤلفه‌های O_1 و K_1 ، S_2 ، M_2 برای جاسک به ترتیب ۳۱، ۴۰، و ۲۰ سانتی‌متر و چابهار به ترتیب برابر ۶۳، ۲۷، و ۴۱ و ۲۰ سانتی‌متر است. همچنین با توجه به اینکه مقدار عدد کشند در محدوده بین ۰/۲۵ و ۱/۵ قرار دارد، نوع جزرومد در این مناطق از نوع مختلط عمدتاً نیمه روزانه است. با مقایسه اختلاف بین حداقل و حداکثر ارتفاع آب در جاسک و چابهار مشخص شد که تغییرات ارتفاع آب در جاسک بیشتر از چابهار است.

کلمه‌های کلیدی: ارتفاع جزرومد، زاویه فاز جزرومد، تقریب کمترین مربعات، عدد کشند، دریای عمان

۱. مقدمه

دریای عمان قسمتی از اقیانوس هند است که بین کشورهای ایران، پاکستان، هند و عمان واقع شده است. به علت نزدیکی به خط استوا یکی از دریاها ی گرم آسیای جنوب غربی است. عمق این دریا در کناره‌های ایران بیش از کناره‌های کشور عمان است [۱].

سطح آب دریاها دستخوش تغییرات دائمی است. عوامل متعددی باعث می‌شوند تا سطح آب‌ها یک سطح متعادل دینامیکی نباشد و با زمان تغییر کند. جزرومد مهم‌ترین عامل متناوب تغییر سطح آب دریا و اقیانوس‌ها شناخته شده است و انسان از زمان‌های دور با آن آشناست [۲]. این حرکات تناوبی به دلیل گردش ماه و زمین و با تغییرات نیروی جاذبه ماه و خورشید به وجود می‌آیند. به دلیل فاصله ماه تا زمین عمده تأثیر جزرومدی بر روی آب‌های آزاد، ناشی از حرکت ماه است. یک فراکشند بلند ممکن است عمق لازم را برای عبور کردن از یک منطقه کم‌عمق، برای کشتی فراهم سازد. درحالی‌که یک فروکشند بلند می‌تواند از داخل یا خارج شدن یک کشتی از بندر ممانعت کند. همچنین جریانات کشندی می‌توانند به پیشروی شناور کمک کنند یا اینکه آن را به عقب برانند. اطلاع از دامنه (ارتفاع) و زمان جزرومد به‌خصوص در بنادر و معابر کم‌عمق و دهانه رودها برای کشتیرانی امری ضروری است. دامنه و دوره جزرومد به سبب عمق و شکل سواحل و عوامل دیگر در هر محل متفاوت است [۳].

ویژگی‌های طبیعی تغییر سطح دریا، جزرومد نجومی و برکشند طوفان در یک منطقه ساحلی به عوامل ژئومورفولوژیکی مانند عرض فلات قاره، میزان انحراف شیب ساحلی و غیره بستگی دارد [۴].

بر اساس تئوری تعادلی، ترازهای جزرومدی به‌صورت تئوری در هر نقطه از زمین می‌توانند به‌صورت مجموع تعدادی از جملات هارمونیک در قالب یک بسط چندجمله‌ای، تخمین زده و پیش‌بینی شوند. باین حال تغییرات عملی جزرومد کاملاً منطبق بر این مقادیر تئوری پیش‌بینی نیست.

دلیل آن تأثیر اصطکاک، اینرسی و همچنین اختلاف بین عمق و نحوه توزیع جرم در مناطق خشکی در جریان است. به دلیل پیچیدگی‌های فوق و تأثیر عوامل مختلف بر میزان جزرومد در یک منطقه خاص از زمین، امکان پیش‌بینی دقیق جزرومد منطقه یا تخمین تمامی مؤلفه‌های مؤثر بر آن بر اساس روش تئوری، در عمل وجود ندارد. باین حال نیروهای تولیدکننده جزرومد (و جملات مؤلفه‌های بسط آن‌ها)، به‌صورت همساز یا هارمونیک هستند. بنابراین می‌توانند به‌صورت یک تابع کسینوسی بیان شوند. به‌طوری‌که بر مبنای معیار شناخته‌شده سرعت، آرگومان (زاویه) آن‌ها به‌صورت خطی با زمان افزایش می‌یابد.

آنالیز هارمونیک روش کلاسیک برای تجزیه و تحلیل جزرومد و پیش‌بینی است. اولین بار توسط تامسون پیشنهاد شد و بعدها بسیاری از محققان آن را توسعه دادند (دودسون، ۱۹۲۱؛ هورن، ۱۹۶۰؛ کارترایت و تایلر) [۵].

از طریق دامنه‌های جزرومدی و فاز آن‌ها می‌توان جزرومد‌های اقیانوسی را در آینده در محل موردنظر با استفاده از جدول‌های نجومی استاندارد، محاسبه کرد [۶].

تحقیقات بسیاری در داخل و خارج کشور در زمینه آنالیز و پیش‌بینی جزرومد، توسط گودین، فورمن، لیپرست، لردکلون، سرویلیام تامسون، سرجرج ایری، تنبر و... انجام گرفته است. خلیل آبادی و همکاران در سال ۱۳۹۰ تأثیر ابر طوفان "GONU" بر تغییرات سطح دریا در سواحل ایران را مطالعه نمودند [۷] و در سال ۱۳۹۹ با استفاده از مدل Mike3D جریان‌های دریایی در خلیج عمان را بررسی کردند [۸].

ایشان همچنین به مطالعه و تحلیل میانگین ماهانه تغییرات سطح آب قسمت شمالی خلیج فارس در بنادر بوشهر، بندرعباس و امام حسن پرداختند [۹].

در خلیج فارس جزرومد نیمه روزانه دارای دو نقطه آمفیدرومیک در شمال غربی و جنوب است، درحالی‌که جزرومد روزانه دارای یک نقطه آمفیدرومیک در مرکز

نیمروزه و در صورتی که $3 < F < 1/5$ باشد، نوع کشند ترکیبی عمدتاً روزانه است [۱۵].

نکته قابل توجه اینکه H دامنه مؤلفه جزرومد به عدد کشند بستگی دارد. چنانچه عدد کشند کوچک‌تر از $0/25$ باشد، کشند نیمروزه بوده و در نتیجه H مساوی با ۲ برابر دامنه M_2 و پیروید کشند $14/8$ می‌باشد. اگر عدد کشند بزرگ‌تر یا مساوی ۳ باشد، کشند از نوع روزانه بوده و دامنه جزرومدی برابر با دو برابر دامنه K_1 و دوره کشند $13/7$ خواهد بود. اگر عدد کشند کوچک‌تر از $1/5$ و بزرگ‌تر از $0/25$ باشد، کشند از نوع ترکیبی عمدتاً نیمروزه و دامنه جزرومدی مساوی با ۲ برابر مجموع S_2 و M_2 خواهد بود. دوره جزرومدی برابر $12/42$ خواهد شد. در صورتی که عدد کشند بزرگ‌تر از $1/5$ و کوچک‌تر از ۳ باشد کشند ترکیبی عمدتاً روزانه و دامنه جزرومدی مساوی با ۲ برابر مجموع O_1 و K_1 خواهد بود و پیروید $23/93$ است [۱۶].

اگر مؤلفه S_2 معلوم نباشد، می‌توان از معیار آمریکایی استفاده کرد بر اساس معیار آمریکایی، چنانچه نسبت دامنه‌های جزرومدی $\frac{K_1+O_1}{M_2}$ مقدار کمتر از $0/5$ را داشته باشد، جزرومد به صورت نیمروزه و اگر این نسبت بین $0/5$ و ۲ باشد، جزرومد ترکیبی (آمیخته) و چنانچه از ۲ بیشتر باشد، جزرومد به صورت روزانه است [۷].

مطالعه تغییرات ارتفاع جزرومد در سواحل شمالی دریای عمان می‌تواند در ایجاد جریان‌های ساحلی، فرسایش و رسوب گذاری و تأثیر بر سازه‌های ساحلی بااهمیت باشد. در فواصل بین ایستگاه‌های جاسک و چابهار تغییرات ارتفاع و زاویه فاز جزرومد را نداریم، بنابراین ضروری است در این مناطق نیز برآوردی از این پارامترها داشته باشیم. موقعیت جغرافیایی سواحل شمالی دریای عمان در شکل (۱) آورده شده است. هدف این است که مشخص شود در طی چهار سال گذشته در اثر جزر و مد تغییرات ارتفاع آب و زاویه فاز در سواحل شمالی دریای عمان (جاسک - چابهار) چگونه بوده است؟

خلیج فارس، نزدیک بحرین است. همچنین نشان می‌دهد که مؤلفه‌های اصلی و اولیه M_2 ، S_2 ، K_1 و O_1 هستند [۱۰].

اطلاعات سطح تراز آب دریا که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور، سازمان بنادر و دریانوردی و سایر ارگان‌ها تهیه می‌شود، برای اعتبارسنجی مدل‌های عددی که به‌عنوان یک ابزار اصلی برای سیستم هشدار طوفان در خلیج فارس در حال ظهور هستند، مفید خواهد بود [۱۱].

اندازه‌گیری پارامترهای هیدروفیزیکی [۱۲]، محیطی، تعیین موقعیت و ژرفاسنجی در اقیانوس‌ها و دریاها در ناوبری و فعالیت‌های دریایی از اهمیت زیادی دارد [۱۳].

مدل‌های جهانی و منطقه‌ای کشندی موجود، به‌تنهایی نمی‌توانند اطلاعات لازم و کافی را برای شرایط مرزی مناطق خاص و ساحلی مانند دهانه خورها، تنگه‌ها و بعضی مناطق با پیچیدگی‌های توپوگرافی فراهم کنند. از آنجا که مشاهدات طولانی مدت همیشه نمی‌تواند در دسترس باشد، پس استفاده از مشاهدات کوتاه‌مدت می‌تواند راهگشا باشد. یکی از راهکارهای عملی برای استفاده از مشاهدات کوتاه‌مدت کشند استفاده از روش‌های استاندارد تحلیل و پیش‌بینی کشندی موسوم به IOS و آدمیرالیتی از ابزار نرم‌افزار مایک ۲۱ است [۱۴].

اولین مرحله در آنالیز واقعی جزرومد ثبت شده، برآزش کمترین مربعات به ازای اجزاء اصلی دامنه و فاز است.

یکی از معیارهای تشخیص نوع جزرومد، معیاری است که در آن جزرومد بر اساس اهمیت نسبی چهار جزء اصلی عمده (M_2, S_2, K_1, O_1) و با استفاده از عدد شکل کشند F طبقه‌بندی می‌شوند، به طوری که

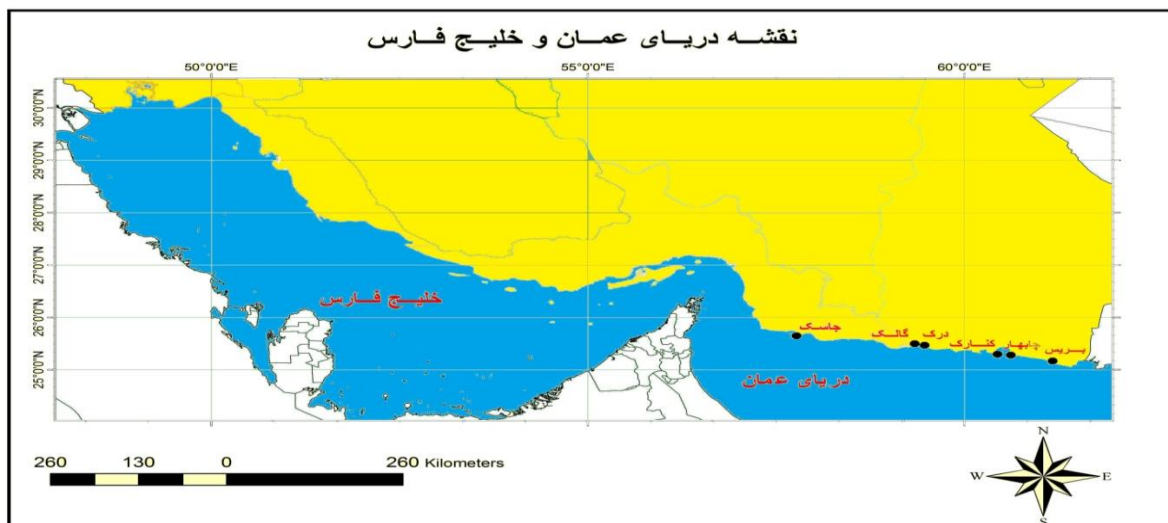
$$F = \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2} + H_{S_2}} \quad (1)$$

مقادیر H (دامنه جزرومد و $2H =$ ارتفاع یا محدوده جزرومد) در جدول‌های مشخصی ارائه می‌شوند. اگر $F \leq 0/25$ باشد، کشندهای نیمروزه و اگر $F \geq 3$ باشد، کشند روزانه و اگر $1/5 < F < 0/25$ باشد، کشند ترکیبی عمدتاً

۱۸/۶ ساله تأثیر می‌گیرند. این مدولاسیون‌ها که نمی‌توان آن‌ها را به‌طور مستقل از داده‌های یک‌ساله به‌دست آورد، باید از روش خاصی محاسبه و نمایش داده شوند. در بسط کامل هارمونیک این مدولاسیون به‌صورت جملات مجزا از جمله اصلی و توسط سرعت‌های زاویه‌ای به‌دست می‌آیند.

همچنین تغییرات ارتفاع جزرومد در این سواحل محاسبه شود و نقاط با حداکثر و حداقل جزرومد در طی فصل‌های سال معلوم شود.

برخی از مؤلفه‌های قمری به‌ویژه مؤلفه L2 از سیکل ۸/۸۵ ساله تأثیر می‌پذیرند و همه مؤلفه‌های قمری از سیکل نودال



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی سواحل شمالی دریای عمان

فاکتورهایی که u و f را برای مؤلفه‌های اصلی قمری تعیین می‌کنند، در جدول (۱) آورده شده‌اند. برای مؤلفه‌های K_1 و K_2 تنها قسمت قمری دارای مدولاسیون نودال بوده و این امر در بسط عبارت مؤثر است. جملاتی که نشان‌دهنده تغییرات در انحراف زاویه‌ای هستند، بیشترین تغییرات نودال را دارند. دامنه O_1 ، ۱۸/۷ درصد و K_1 ، ۱۱/۵ درصد و K_2 ، ۲۸/۶ درصد نوسان از خود نشان می‌دهند. در این بسط‌ها جملات کوچک‌تر از جمله آرگومان‌های 3N و 2N حذف شده‌اند. آنالیز داده‌های زمانی سطح دریا شامل حذف سیگنال‌های متعلق به جزرومد می‌شود [۱۹].

جدول ۱. عبارت‌های مدولاسیون نودال اساسی برای مؤلفه‌های اصلی

قمری [۲۰]

u	f	مؤلفه‌های جزرومدی
0.0°	$1.000-0.130\cos(N)$	M_m
$-23.7^\circ \sin(N)$	$1.043+0.414\cos(N)$	M_f
$10.8^\circ \sin(N)$	$1.009+0.187\cos(N)$	Q_1, O_1
$-8.9^\circ \sin(N)$	$1.006+0.115\cos(N)$	K_1
$-2.1^\circ \sin(N)$	$1.000-0.037\cos(N)$	$2N_2, \mu_2, \nu_2, N_2, M_2$
$-17.7^\circ \sin(N)$	$1.024+0.286\cos(N)$	K_2

مدولاسیون‌هایی که نمی‌توان آن‌ها را با تحلیل داده‌های یک‌ساله به‌صورت مؤلفه‌های مستقل درآورد، در بسط هارمونیک به‌وسیله ضرایب تصحیح u و f نمایش داده می‌شوند. همه مؤلفه‌ها برحسب درجه نوشته می‌شوند:

$$H_n f_n \cos[\sigma_n t - g_n (V_n + u_n)] \quad (2)$$

در اینجا V_n زاویه فاز در زمان صفر، f_n ضریب نودال و u_n زاویه نودال هستند. ضرایب و زاویه نودال برای مؤلفه‌های شمسی به ترتیب ۱ و ۰ هستند. کاربرد توابع نودال را می‌توان از طریق تغییرات M_2 نشان داد. اگر تحلیل‌های سالیانه از طریق دوره‌های نودال ۱۸/۶۱ ساله انجام شوند، آنگاه میزان دامنه M_2 زیاد می‌شود و کمتر از حدود ۴ درصد مقدار میانگین خواهد بود. اگر تصحیحات نودال انجام نشوند، تحلیل‌های انجام‌شده با داده‌های سالیانه در زمانی که انحرافات زاویه‌ای در حداکثر میزان خود قرار دارند، مقدار H_{M2} را به دست خواهند داد که این مقدار ۷/۵ درصد پایین‌تر از نتایج ۹/۳ سال بعد خواهند بود [۱۸].

۲. مواد و روش ها

اساس کار نرم افزار طراحی شده بر مبنای برآزش کمترین مربعات است. در این تحقیق دامنه و فاز ۲۳ مؤلفه جزرومدی که اکثراً مؤلفه های مهم آب های کم عمق می باشند، محاسبه شد. در این تحقیق از داده های سطح تراز آب در سواحل شمالی دریای عمان (جاسک-چابهار) مربوط به سال های ۲۰۰۵، ۲۰۰۶، ۲۰۰۷، ۲۰۰۸ که از سوی سازمان نقشه برداری تهیه شده، استفاده شده است.

کارشناسان این سازمان ارتفاع جزرومد را در هر ساعت اندازه گیری کرده اند و در هر روز ۲۴ داده جزرومدی تهیه شده است.

از این داده ها به عنوان ورودی نرم افزار طراحی شده استفاده شده است. فرمت این داده ها بدین گونه است که در آن کد ایستگاه، تاریخ، سطح تراز آب با آهنگ یک ساعت به مدت ۲۹ روز در محیط اکسل آماده شده است.

در این تحقیق از فیلتر FIR پایین گذر یا همان پاسخ ضربه ای محدود برای فیلتر کردن داده ها استفاده شده است [۲۰].

دامنه ۲۳ مؤلفه مهم جزرومدی که در نوسانات سطح آب دریا شرکت دارند از داده های مشاهده شده به روش حداقل مربعات و به کمک فیلترهای FIR محاسبه می شوند. عبارت متداول باقی مانده تراز دریا^۱ معادل با تراز مشاهده شده منهای جزرومد است. که در واقع پدیده های غیر جزرومدی در زمان t_i است. این قسمت در اثر عوامل هواشناسی، فعالیت های زمین لرزه ای و تعدادی دیگر از عوامل مؤثر است که در محل یا چند هزار کیلومتر دورتر ایجاد شده است. بادهای قدرتمند، فشار جو بالا یا پایین و دمای آب علل متداول این موضوع هستند [۲۱].

اثرات باد به ویژه سرعت باد نیز به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر میزان تبخیر و سطح تراز آب به شمار می رود [۲۲].

با استفاده از عدد شکل کشند^۲ نوع جزرومد مشخص شده است. همچنین حداقل و حداکثر ارتفاع آب در هر ماه و اختلاف بین حداقل و حداکثر ارتفاع آب در جاسک و چابهار مشخص و با هم مقایسه شده اند. خطوط هم فاز و هم

دامنه جزرومدی چهار مؤلفه M_2, S_2, K_1 و O_1 با استفاده از نرم افزار ArcGIS رسم شد که برای بهتر شدن این خطوط از ایستگاه درک، آب شیرین کن، کنارک و گلک که در بین جاسک و چابهار قرار دارند و ایستگاه بریس که خارج از محدوده مورد مطالعه است، استفاده شده اند. در نهایت دامنه مؤلفه های اصلی جزرومد به دست آمده حاصل از خروجی نرم افزار با دامنه مؤلفه های اصلی جزرومد با استفاده از مشاهدات یک ماهه سازمان نقشه برداری کشور و با دامنه مؤلفه های اصلی جزرومد با استفاده از مشاهدات ۱۰ ساله ماهواره توپکس پوزایدون مقایسه می شوند. دامنه مؤلفه های اصلی جزرومد حاصل از خروجی نرم افزار با استفاده از مشاهدات یک ماهه در ۶ ایستگاه جزرومدی جاسک، چابهار، درک، کنارک، گلک و بریس در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲: دامنه مؤلفه های اصلی جزرومد در ۶ ایستگاه جزرومدی با استفاده از ایستگاه های جزرومدی سواحل برحسب سانتی متر

ایستگاه	M_2	S_2	K_1	O_1
جاسک	۶۶	۳۱	۴۰	۲۰
چابهار	۶۳	۲۷	۴۰	۲۰
درک	۶۶	۲۷	۴۸	۲۱
کنارک	۶۷	۳۱	۳۴	۲۰
گلک	۶۷	۲۵	۴۸/۵۴	۲۱
بریس	۶۴	۳۳	۳۷/۴۲	۲۰

دامنه مؤلفه های اصلی جزرومد با استفاده از مشاهدات یک ماهه در چهار ایستگاه جزرومدی که توسط سازمان نقشه برداری کشور محاسبه شده است در جدول (۳) آمده است. دامنه مؤلفه های اصلی جزرومد در ۴ ایستگاه با استفاده از مشاهدات ده ساله ماهواره توپکس پوزایدون نیز در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ۳: دامنه مؤلفه های اصلی جزرومد در ۴ ایستگاه جزرومدی با استفاده از ایستگاه های جزرومدی سواحل برحسب سانتی متر [۲۱]

ایستگاه	M_2	S_2	K_1	O_1
جاسک	۶۶	۲۷	۴۰	۲۰
گلک	۶۸	۲۱	۴۹	۲۱
درک	۶۷	۲۳	۴۸	۲۱
چابهار	۶۹	۲۴	۴۳	۲۰

سرعت بسیار پایین اجرای برنامه‌هایی مانند برنامه‌های به زمان مطلب و به‌منظور رفع مشکلات ناشی از عدم وجود حافظه (memory)، (RAM) در بعضی سیستم‌های رایانه‌ای، برنامه مورد اشاره به زبان جاوا در محیط کاری Net Beans، نوشته شده است. در برنامه جزرومدی استفاده‌شده در این نرم‌افزار، فرکانس‌های مؤلفه‌های جزرومدی به‌عنوان ورودی به شرح جدول (۵) تعریف شده‌اند.

جدول ۴. دامنه مؤلفه‌های اصلی جزرومد در ۴ ایستگاه با استفاده از مشاهدات ۱۰ ساله ماهواره توپکس پوزایدون برحسب سانتی‌متر [۲۱]

ایستگاه	M ₂	S ₂	K ₁	O ₁
جاسک	۸۱	۲۷	۳۷	۲۳
گلک	۷۸	۲۷	۳۷	۲۲
درک	۷۸	۲۷	۳۷	۲۱
چابهار	۶۹	۲۴	۳۷	۲۱

۳. تئوری و محاسبات

با توجه به اینکه زبان جاوا به محیط خاصی وابستگی ندارد و می‌تواند روی پلتفرم‌های مختلف اجرا شود، نیز به دلیل

جدول ۵. فرکانس‌های مؤلفه‌های جزرومدی

ردیف	فرکانس مؤلفه‌های جزرومدی	ردیف	فرکانس مؤلفه‌های جزرومدی	ردیف	فرکانس مؤلفه‌های جزرومدی
۱	$M_2 = 28.9841042 \times \frac{\pi}{180}$	۹	$MS_4 = M_2 + S_2$	۱۷	$MK_3 = M_2 + K_1$
۲	$S_2 = 30 \times \frac{\pi}{180}$	۱۰	$MSf = M_2 - S_2$	۱۸	$MN_4 = M_2 + N_2$
۳	$N_2 = 28.4397295 \times \frac{\pi}{180}$	۱۱	$SO_1 = S_2 - O_1$	۱۹	$2MS_6 = 2 \times M_2 + S_2$
۴	$K_1 = 15.0410686 \times \frac{\pi}{180}$	۱۲	$MNS_2 = M_2 + N_2 - S_2$	۲۰	$M_8 = 4 \times M_2$
۵	$O_1 = 13.9430356 \times \frac{\pi}{180}$	۱۳	$MO_3 = M_2 + O_1$	۲۱	$K_2 = 30.0821 \times \frac{\pi}{180}$
۶	$M_4 = 2 \times M_2$	۱۴	$2SM_2 = 2 \times S_2 - M_2$	۲۲	$Mf = 1.098 \times \frac{\pi}{180}$
۷	$M_6 = 3 \times M_2$	۱۵	$2MS_2 = 2 \times M_2 - S_2$	۲۳	$Q_1 = 13.3987 \times \frac{\pi}{180}$
۸	$S_4 = 2 \times S_2$	۱۶	$MSN_2 = M_2 + S_2 - N_2$	۲۴	

σ_j به ترتیب دامنه ثابت و ϕ_j فرکانس و فاز مرتبط با مؤلفه Φ_j نام هستند. $C_r(t_i)$ سهم ناشی از سایر پدیده‌های غیر جزرومدی در زمان خاص t_i است.

به عبارتی اولین مرحله در آنالیز واقعی جزرومد ثبت شده برآزش کمترین مربعات به ازای اجزاء اصلی دامنه و فاز است. اگر δz به ازای $M, j=1, 2, \dots$ فرکانس $\left(\frac{cycles}{h}\right)$ متفاوت اجزاء اصلی جزرومدی انتخاب شده در آنالیز به‌وسیله معیار رایلی باشد، آنگاه مسئله پیدا کردن دامنه‌ها (A_j) و فازها (ϕ_j) در تابع

$$C_0 + \sum_{j=1}^M A_j \cos [2\pi(\sigma_j t_i - \phi_j)] + C_r(t_i) \quad (4)$$

است که بهترین برآزش سری مشاهدات $y(t_i)$ به ازای $i=1, 2, \dots, N$ است.

با فرض اینکه تغییرات نوسانات سطح آب دریا متشکل از M مؤلفه هارمونیک جزرومدی باشند و لا سری زمانی حاصل از اندازه‌گیری تغییرات ارتفاع آب در اثر جزرومد باشد، آنگاه به دلیل ماهیت تناوبی جزرومد این سری زمانی را می‌توان با تقریب فوریه زیر بیان کرد.

معادله (۳) تابع ریاضی تغییرات سطح آب را با توجه به مؤلفه‌های جزرومد به‌صورت زیر بیان می‌کند [۲۳].

$$y(t_i) = C_0 + \sum_{j=1}^M A_j \cos [2\pi(\sigma_j t_i - \phi_j)] + C_r(t_i) \quad (3)$$

در معادله بالا $y(t_i)$ ، ارتفاع آب در لحظه t_i ، C_0 میانگین مقادیر ثبت شده نسبت به چارت دیتوم در زمان معلوم $t_i = n\Delta t$ ، و $M, j=1, 2, \dots$ تعداد مؤلفه‌های جزرومدی و A_j و

می نویسیم هدف تکنیک کمترین مربعات کمینه کردن یا به حداقل رساندن است [۱۶].

شکاف داده های ثبت شده به آسانی به وسیله روش کمترین مربعات بررسی می شود. (از مشاهدات ساعت به ساعت به دست می آیند). برای اینکه لزومی ندارد که زمان های مشاهده t_i ($i = 1, N$) فاصله یکنواختی داشته باشند. مثلاً اگر این تحلیل یک دوره بازه زمانی ۱۰۰ ساعته را شامل شود اما ساعت ۵۰ تا ۷۴ مورد مشاهده قرار نگیرند آنگاه t_{50} بیانگر هفتاد و پنجمین ساعت خواهد بود.

برای به دست آوردن دامنه ها و فازها از فرمول ها، همچنین از ضرایب تصحیح زیر استفاده می کنیم (جدول های ۶ تا ۸).

$$Nm = 259.16 - 19.3282 \times (y_s - 1900) - 0.053 \times D_i \quad (7)$$

در اینجا Nm زاویه ساعتی (زاویه ماه با صفحه زمین)، y_s سال نمونه برداری و $D_i = D + \text{fix} \left(\frac{y_s - 1901}{4} \right)$ است که در آن D روز آغاز نمونه برداری است. البته به جای فرمول (۷) می توان از رابطه (۸) نیز استفاده نمود.

$$Nm = 259.16 - 1934.14^\circ \times T + 0.0021^\circ \times T^2 \quad (8)$$

جدول ۶. عناصر مداری مورد استفاده برای جملات هارمونیک کشند تعادلی [۱۸]

$S=277.02^\circ+481267.89^\circ.T+0.0011^\circ.T^2$	میانگین طول جغرافیایی ماه ^۳
$h=280.19^\circ+36000.77^\circ.T+0.0003^\circ.T^2$	میانگین طول جغرافیایی خورشید ^۴
$p=334.39^\circ+4069.04^\circ.T-0.0103^\circ.T^2$	طول جغرافیایی حضیض قمری ^۵
$N=259.16^\circ-1934.14^\circ.T+0.0021^\circ.T^2$	طول جغرافیایی گره بالایی (صعودی) حضیض قمری ^۶
$p'=281.22^\circ+1.72^\circ.T+0.0005^\circ.T^2$	طول جغرافیایی حضیض خورشیدی ^۷

لازم به یادآوری است سال ۱۹۰۰ کیسه نیست اما سال ۲۰۰۰ کیسه است.

$$Nmr = Nm \times \frac{\pi}{180} \quad (10)$$

$$FM_2 = 1 - 0.037 \text{ Cos}(Nmr) \quad (11)$$

با فرض $N > 2M + 1$ می بینیم که حل کردن دستگاه معادله (۳) کاملاً غیرممکن است زیرا بیشتر از حد واقعی تخمین زده شده است. بنابراین ضروری است معیاری اتخاذ شود که بتواند مقادیر بهینه منحصر به فردی را برای پارامترهای A_j و \emptyset_j پیدا کند.

معمول ترین معیار بهینه سازی استفاده شده، یک معیار برگزیده در اینجا، تکنیک کمترین مربعات است. عبارت

$$\sum_{j=1}^M A_j \cos [2\pi(\sigma_j t_i - \emptyset_j)] \quad (5)$$

را به صورت زیر می نویسیم:

$$\sum_{j=1}^M [C_j \cos(2\pi\sigma_j t_i) + S_j \sin(2\pi\sigma_j t_i)] \quad (6)$$

در اینجا $2\pi\emptyset_j = \tan^{-1} \frac{S_j}{C_j}$ و $A_j = (C_j^2 + S_j^2)^{\frac{1}{2}}$ است. بنابراین تابع بر حسب پارامترهای C_j و S_j به صورت خطی برازش شده و نیز راحت تر حل می شود. در معادله (۶) ضرایب مجهول C_j و S_j با استفاده از روش حداقل مربعات طوری به دست می آیند که مربع جمله $C_r(t_i)$ در حداقل مقدار ممکن باقی بماند. عبارت $y(t_i)$ را به صورت y_i

T زمان بر حسب واحدهای یک قرن ژولین (۳۶۵۲۵ روز متوسط خورشیدی) در نیمه شب نصف النهار گرینویچ در ساعت صفر روز اول ژانویه سال ۱۹۹۰ است. برای ساعت صفر GMT روز D در سال y_s داریم:

$$T = \frac{365(y_s - 1900) + (D - 1) + i}{36525} \quad (9)$$

در اینجا i قسمت صحیح $\frac{y_s - 1901}{4}$ و y_s سال نمونه برداری و D روز آغاز نمونه برداری است [۲۴].

$$FQ_1 = 1.009 + 0.187 \cos(Nmr) \quad (15) \quad FK_1 = 1.006 + 0.115 \cos(Nmr) - 0.009 \cos(2Nmr) \quad (12)$$

$$FK_2 = 1.024 + 0.286 \cos(Nmr) \quad (16) \quad FO_1 = 1.009 + 0.187 \cos(Nmr) - 0.015 \cos(2Nmr) \quad (13)$$

$$FMf = 1.043 + 0.414 \cos(Nmr) \quad (14)$$

جدول ۷. فرمول‌ها و ضرایب تصحیح برای محاسبه دامنه

تصحیح دامنه	مؤلفه‌ها	ردیف	تصحیح دامنه	مؤلفه‌ها	ردیف
$H(MO3) = \frac{R(MO3)}{f(M2) * f(o1)}$	MO ₃	۱۳	$H(M2) = \frac{R(M2)}{F M2}$	M ₂	۱
$H(2SM2) = \frac{R(2SM2)}{F M2}$	2SM ₂	۱۴	$H(S2) = R(S2)$	S ₂	۲
$H(2MS2) = \frac{R(2MS2)}{F M2}$	2MS ₂	۱۵	$H(N2) = \frac{R(N2)}{F M2}$	N ₂	۳
$H(MSN2) = \frac{R(MSN2)}{f2(M2)}$	MSN ₂	۱۶	$H(K1) = \frac{R(K1)}{F k1}$	K ₁	۴
$H(MK3) = \frac{R(MK3)}{f(M2) * f(k1)}$	MK ₃	۱۷	$H(O1) = \frac{R(O1)}{Fo1}$	O ₁	۵
$H(MN4) = \frac{R(MN4)}{f2(M2)}$	MN ₄	۱۸	$H(M4) = \frac{R(M4)}{f2(M2)}$	M ₄	۶
$H(2MS6) = \frac{R(2MS6)}{f2(M2)}$	2MS ₆	۱۹	$H(M6) = \frac{R(M6)}{f3(M2)}$	M ₆	۷
$H(M8) = \frac{R(M8)}{f4(M2)}$	M ₈	۲۰	$H(S4) = R(S4)$	S ₄	۸
$H(K2) = \frac{R(K2)}{F k2}$	K ₂	۲۱	$H(MS4) = \frac{R(MS4)}{F M2}$	MS ₄	۹
$H(Mf) = \frac{R(Mf)}{F Mf}$	M _f	۲۲	$(Msf) = \frac{R(Msf)}{F M2}$	M _{sf}	۱۰
$H(Q1) = \frac{R(Q1)}{F Q1}$	Q ₁	۲۳	$H(SO1) = \frac{R(SO1)}{F o1}$	SO ₁	۱۱
			$H(MNS2) = \frac{R(MNS2)}{f2(M2)}$	MNS ₂	۱۲

R دامنه مؤلفه‌های جزرومدی تصحیح نشده و H دامنه مؤلفه‌های جزرومدی تصحیح شده‌اند.

$$U_{m2} = -2.1 \sin(Nmr) \quad (17)$$

$$U_{K1} = -8.9 \sin(Nmr) + 0.7 \sin(2Nmr) \quad (18)$$

$$U_{O1} = 10.8 \sin(Nmr) - 1.3 \sin(2Nmr) + 0.2 \sin(3Nmr) \quad (19)$$

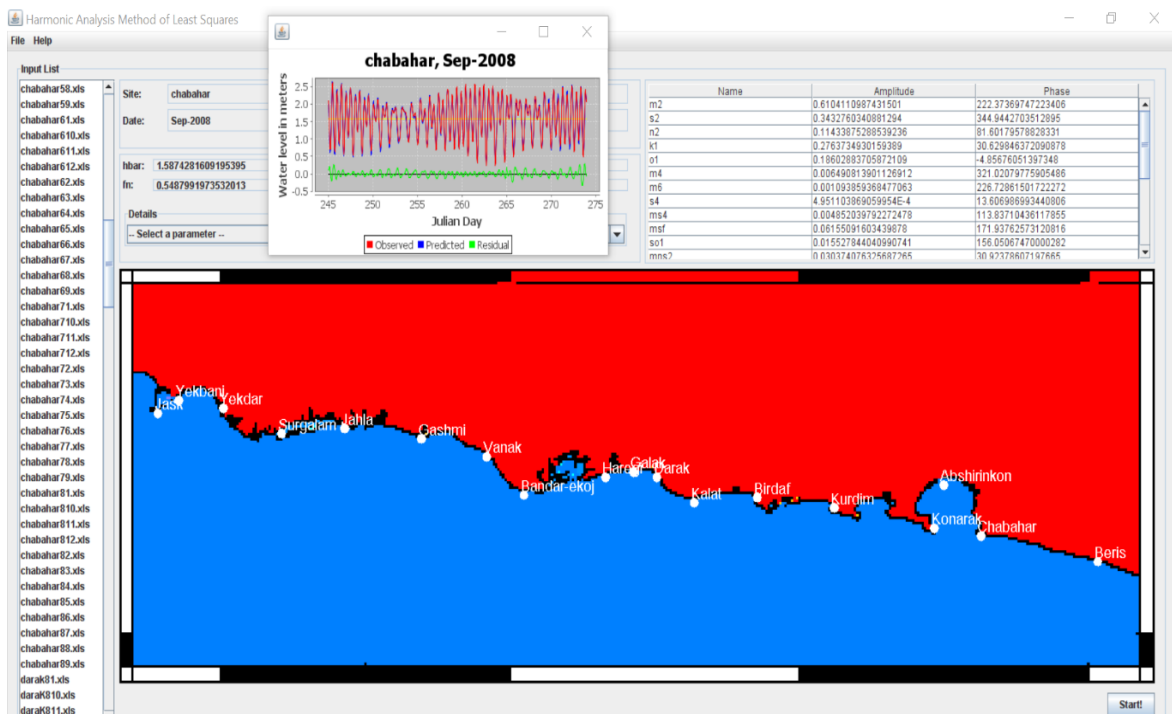
$$U_{mf} = -23.7 \sin(Nmr) \quad (20)$$

$$U_{Q_1} = 10.8 \sin(Nmr) \quad (21)$$

$$U_{K_2} = -17.7 \sin(Nmr) \quad (22)$$

جدول ۸. فرمولها و ضرایب تصحیح برای محاسبه زاویه فاز

ردیف	مؤلفه‌ها	زاویه فاز	ردیف	مؤلفه‌ها	زاویه فاز
۱	M_2	$\deg(M_2) = \deg(M_2) + U_{m2}$	۱۳	MO_3	$\deg(MO_3) = \deg(MO_3) + (U_{m2} \times U_{o1})$
۲	S_2	$\deg(S_2) = \deg(S_2)$	۱۴	$2SM_2$	$\deg(2SM_2) = \deg(2SM_2) + U_{m2}$
۳	N_2	$\deg(N_2) = \deg(N_2) + U_{m2}$	۱۵	$2MS_2$	$\deg(2MS_2) = \deg(2MS_2) + U_{m2}$
۴	K_1	$\deg(K_1) = \deg(K_1) + U_{k1}$	۱۶	MSN_2	$\deg(MSN_2) = \deg(MSN_2) + U_{m2}$
۵	O_1	$\deg(O_1) = \deg(O_1) + U_{o1}$	۱۷	MK_3	$\deg(MK_3) = \deg(MK_3) + (U_{m2} \times U_{k1})$
۶	M_4	$\deg(M_4) = \deg(M_4) + 2U_{m2}$	۱۸	MN_4	$\deg(MN_4) = \deg(MN_4) + 2U_{m2}$
۷	M_6	$\deg(M_6) = \deg(M_6) + 3U_{m2}$	۱۹	$2MS_6$	$\deg(2MS_6) = \deg(2MS_6) + 2U_{m2}$
۸	S_4	$\deg(S_4) = \deg(S_4)$	۲۰	M_8	$\deg(M_8) = \deg(M_8) + 4U_{m2}$
۹	MS_4	$\deg(MS_4) = \deg(MS_4) + U_{m2}$	۲۱	K_2	$\deg(K_2) = \deg(K_2) + U_{k2}$
۱۰	M_{sf}	$\deg(M_{sf}) = \deg(M_{sf}) + U_{m2}$	۲۲	M_f	$\deg(M_f) = \deg(M_f) + U_{mf}$
۱۱	SO_1	$\deg(SO_1) = \deg(SO_1) + U_{o1}$	۲۳	Q_1	$\deg(Q_1) = \deg(Q_1) + U_{Q1}$
۱۲	MNS_2	$\deg(MNS_2) = \deg(MNS_2) + 2U_{m2}$			



شکل ۲. شمای کلی از نرم افزار طراحی شده

۴. یافته‌ها

در این تحقیق اختلاف دامنه و زاویه فاز مؤلفه‌های اصلی جزرومد حاصل از نرم‌افزار طراحی شده در جاسک و چابهار بر اساس جدول‌های ۹ و ۱۰ محاسبه گردید.

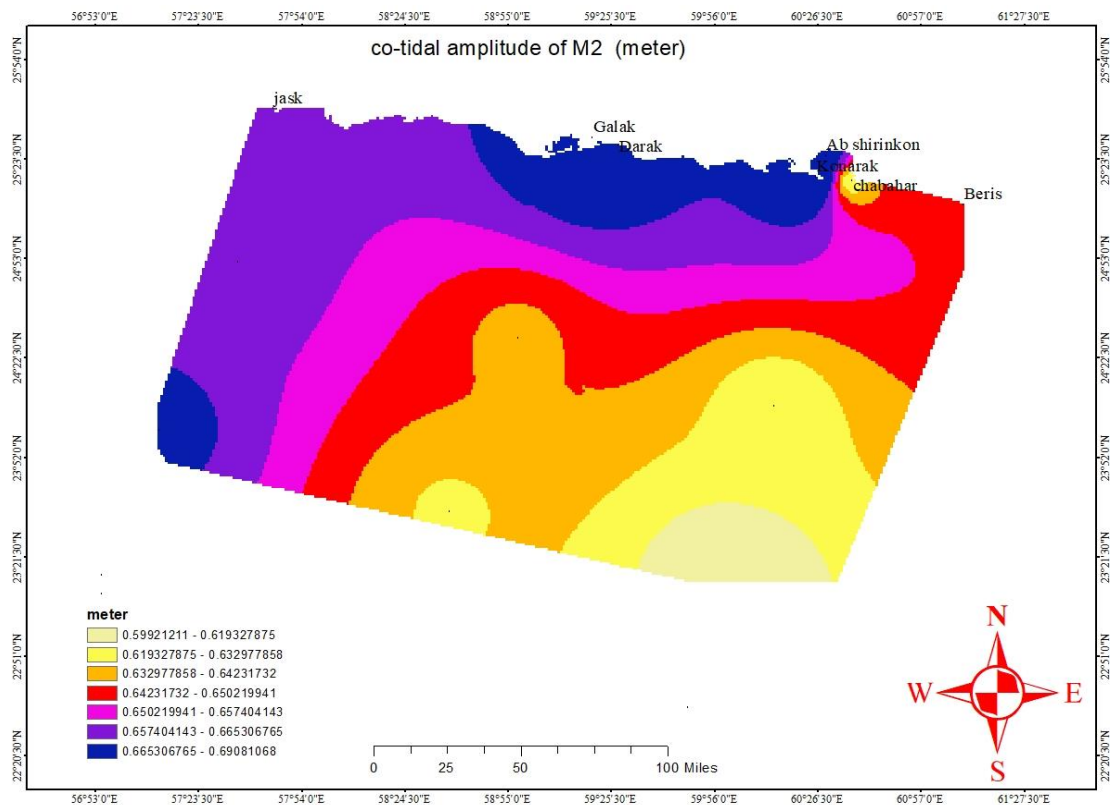
جدول ۹. اختلاف دامنه مؤلفه‌های جزرومدی جاسک و چابهار برحسب متر (۲۰۰۸)

ماه	مؤلفه M_2			مؤلفه S_2			مؤلفه K_1			مؤلفه O_1		
	جاسک	چابهار	اختلاف	جاسک	چابهار	اختلاف	جاسک	چابهار	اختلاف	جاسک	چابهار	اختلاف
Jan	۰/۶۹	۰/۶۴	۰/۰۵	۰/۳۶	۰/۳۱	۰/۰۵	۰/۵۰	۰/۴۹	۰/۰۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰
Feb	۰/۶۷	۰/۶۴	۰/۰۳	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۰۲	۰/۳۹	۰/۳۹	۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰
Mar	۰/۶۳	۰/۶۴	-۰/۰۱	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۰۱	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۰۱	۰/۱۹	۰/۲۰	-۰/۰۱
Apr	۰/۶۷	۰/۶۳	۰/۰۴	۰/۳۰	۰/۳۰	۰	۰/۳۵	۰/۳۵	۰	۰/۲۰	۰/۲۱	-۰/۰۱
May	۰/۷۱	۰/۶۳	۰/۰۸	۰/۲۷	۰/۲۹	-۰/۰۲	۰/۴۴	۰/۴۳	۰/۰۱	۰/۲۰	۰/۲۰	۰
Jun	۰/۷۲	۰/۶۳	۰/۰۹	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۰۲	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۰۱	۰/۲۱	۰/۲۰	۰/۰۱
Jul	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۰۶	۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۰۸	۰/۴۴	۰/۴۴	۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰
Aug	۰/۶۰	۰/۶۱	-۰/۰۱	۰/۳۵	۰/۲۳	۰/۱۲	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۰۱	۰/۱۹	۰/۲۰	-۰/۰۱
Sep	۰/۵۶	۰/۶۲	-۰/۰۶	۰/۴۰	۰/۳۴	۰/۰۶	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۰۱	۰/۱۸	۰/۱۹	-۰/۰۱
Oct	۰/۵۷	۰/۶۱	-۰/۰۴	۰/۳۳	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۳۴	۰/۳۵	-۰/۰۱	۰/۱۹	۰/۲۰	-۰/۰۱
Nov	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۰۲	۰/۲۹	۰/۱۹	۰/۱۰	۰/۴۶	۰/۴۷	-۰/۰۱	۰/۲۰	۰/۲۰	۰
Sep	۰/۷۲	۰/۶۴	۰/۰۸	۰/۲۴	۰/۲۰	۰/۰۴	۰/۵۲	۰/۵۲	۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰
میانگین	۰/۶۶	۰/۶۳	۰/۰۳	۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۰۸	۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۰۱	۰/۲۰	۰/۲۰	۰

جدول ۱۰. اختلاف فاز مؤلفه‌های جزرومدی جاسک و چابهار برحسب درجه (۲۰۰۸)

ماه	مؤلفه M_2			مؤلفه S_2			مؤلفه K_1			مؤلفه O_1		
	جاسک	چابهار	اختلاف	جاسک	چابهار	اختلاف	جاسک	چابهار	اختلاف	جاسک	چابهار	اختلاف
Jan	۱۸۸	۱۸۸	۰	۳۰۰	۲۹۰	-۱۰	۲۷	۲۵	-۲	۳۳۶	۳۴۲	۶
Feb	۱۸۶	۱۹۲	۶	۳۰۵	۲۹۰	-۱۵	۳۳/۵	۳۱/۴	-۲/۱	۳۳۵	۳۴۲	۷
Mar	۱۹۴	۱۹۸	۴	۳۰۶	۲۸۹	-۱۹	۲۶/۵	۲۳/۷	-۲/۸	۳۴۱	۳۴۳	۲
Apr	۲۲۰	۲۳۴	۱۴	۳۲۰	۳۲۵	۵	۲۱/۰۷	۲۷/۲۳	۶/۱۶	۳۵۲	۳۵۵	۳
May	۲۲۳	۲۴۱	۱۸	۳۱۰	۳۱۹	۹	۲۳/۲۶	۲۸/۷۴	۵/۴۸	۳۵۲	۳۵۶	۴
Jun	۲۲۳	۲۴۳	۲۰	۲۹۹	۳۱۷	۱۸	۳۴/۲۵	۳۹/۵	۵/۲۵	۳۵۲	۳۵۶	۴
Jul	۲۲۲	۲۴۱	۱۹	۲۹۰	۳۱۲	۲۲	۴۵/۵	۵۰/۹۳	۵/۴۳	۳۴۹	۳۵۵	۶
Aug	۲۱۹	۲۳۶	۱۷	۲۹۰	۳۱۰	۲۰	۵۰/۳	۵۴/۵	۴/۲	۳۴۹	۳۵۶	۷
Sep	۲۱۲	۲۲۲	۱۰	۳۲۷	۳۴۵	۱۸	۳۰/۶	۳۰/۶۲	۰/۰۲	۳۵۰	۳۵۵	۵
Oct	۱۸۹	۱۹۴	۵	۲۷۰	۲۶۴	-۶	۳۶۰	۳۵۹/۷۴	-۰/۲۶	۳۴۱	۳۴۵	۴
Nov	۱۹۰	۱۹۱	۱	۲۷۴	۲۶۲	-۱۲	۳۶۱	۳۶۱	۰	۳۴۲	۳۴۶	۴
Sep	۱۹۰	۱۹۰	۰	۲۷۶	۲۶۶	-۱۰	۱۴	۱۳/۳۴	-۰/۶۶	۳۴۱	۳۴۷	۶
میانگین	۲۰۵	۲۱۴	۹	۲۹۷	۲۹۹	۲	۸۵/۶	۸۷/۱۴	۱/۸	۳۴۵	۳۵۰	۵

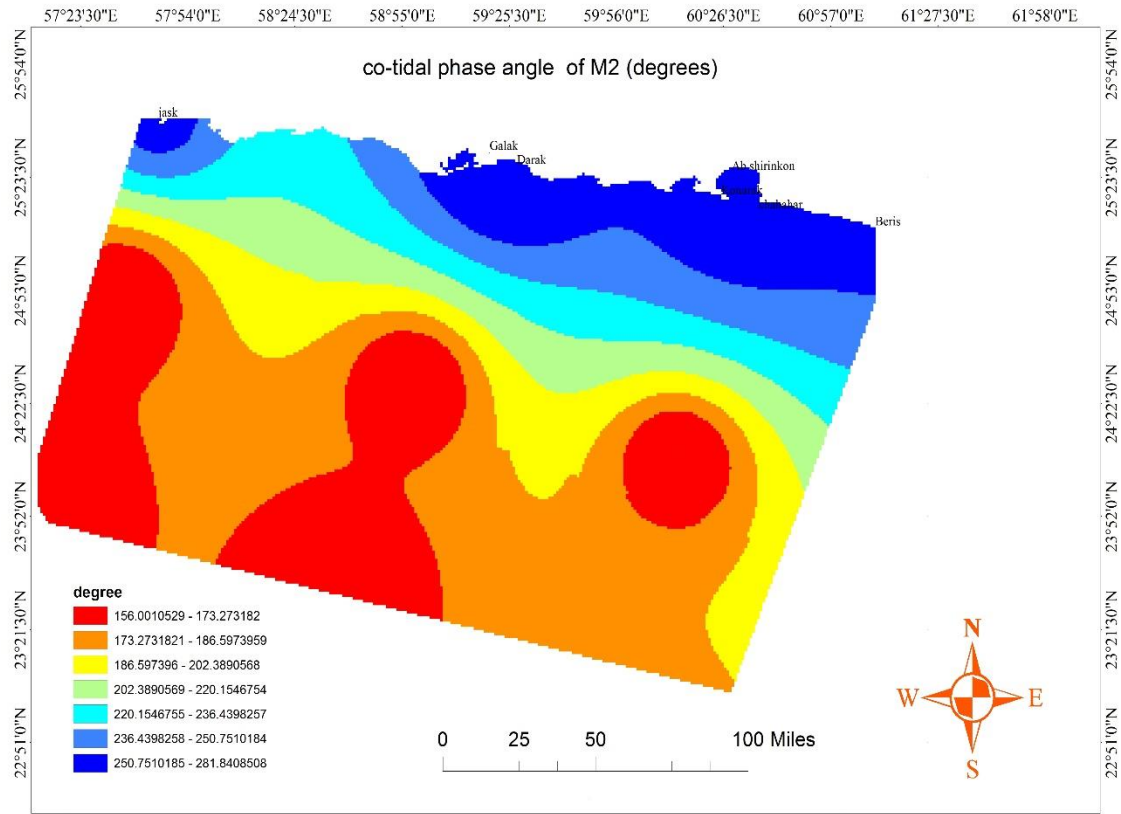
خطوط هم فاز و هم دامنه جزرومدی چهار مؤلفه M_2 , S_2 , K_1 و O_1 با استفاده از نرم افزار ArcGIS رسم شد. (شکل های ۳ تا ۱۰) همچنین با استفاده از نرم افزار طراحی شده برای چهار مؤلفه مورد اشاره مقادیر میانگین، بیشترین دامنه و کمترین دامنه جزرومد برای سواحل شمالی دریای عمان برحسب متر به دست آمد. (جدول های ۱۱ تا ۱۴)



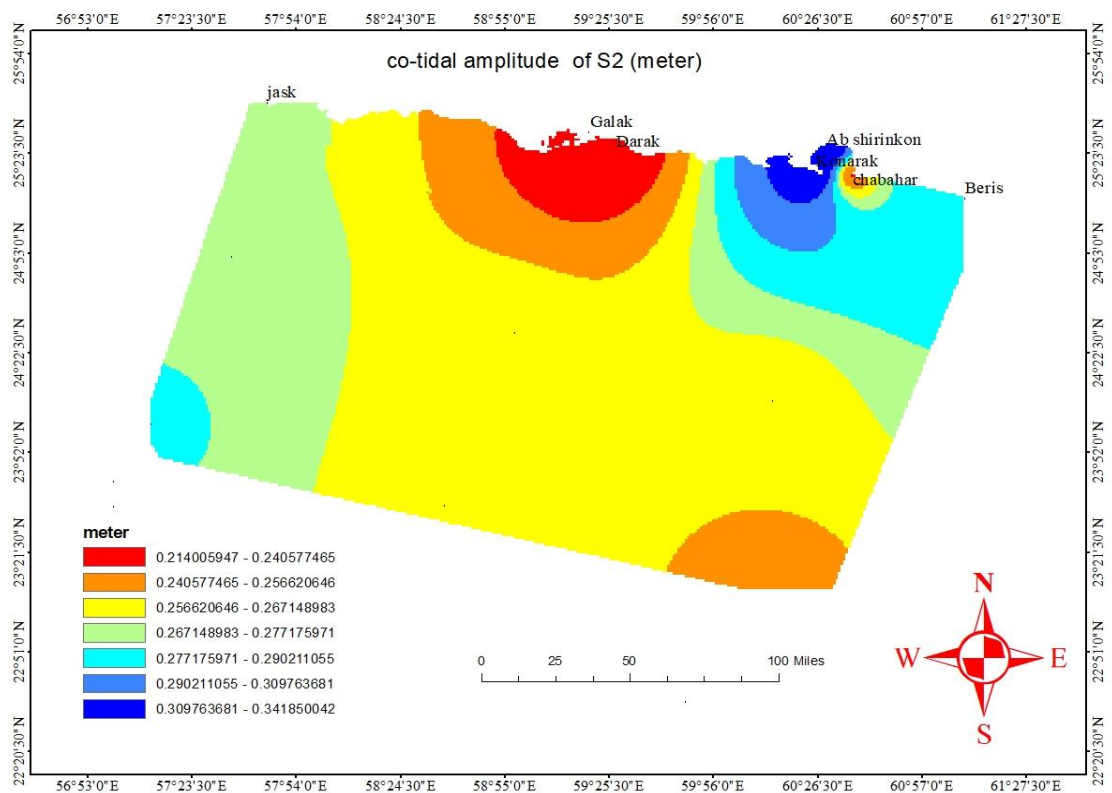
شکل ۳. خطوط هم دامنه مؤلفه جزرومدی نیم روزانه قمری (M_2) در سواحل شمالی دریای عمان (جاسک-بیریس) برحسب متر

جدول ۱۱. دامنه مؤلفه جزرومدی نیم روزانه قمری (M_2) در سواحل شمالی دریای عمان (جاسک-بیریس) برحسب متر

کمترین دامنه	بیشترین دامنه	میانگین	سواحل شمالی دریای عمان
۰/۱۶۲۸	۰/۱۶۷۶	۰/۱۶۵۲	



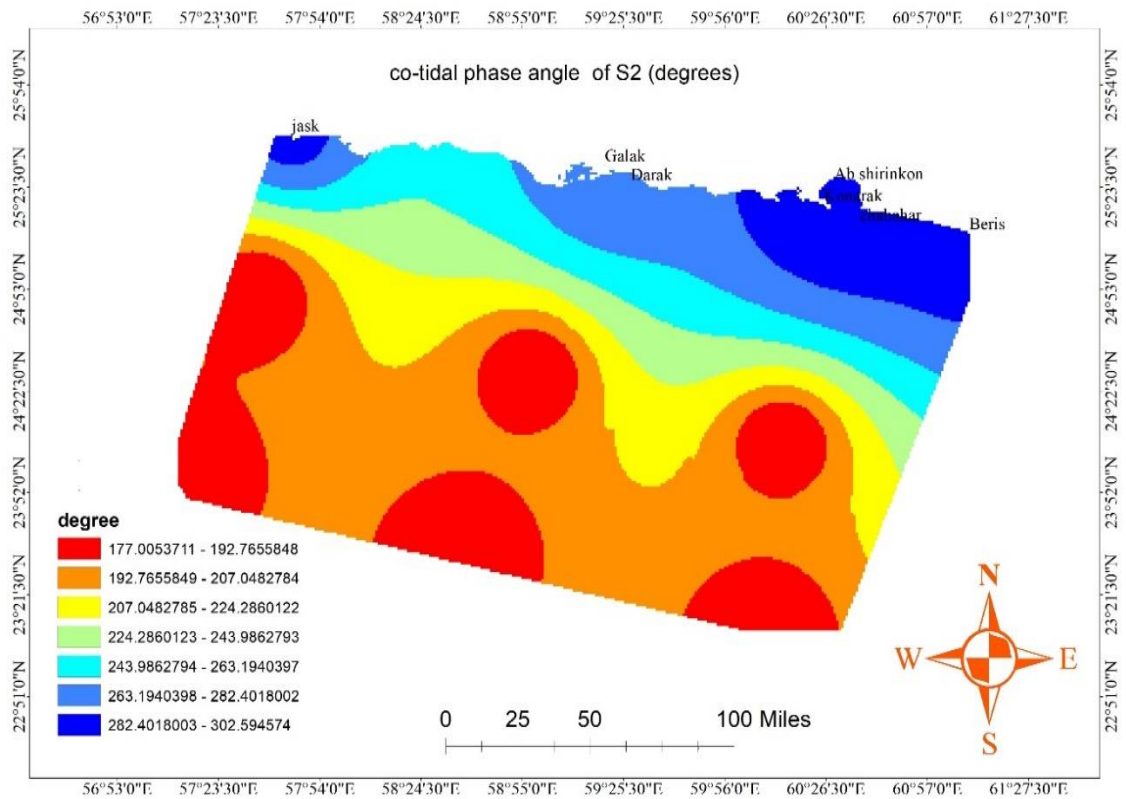
شکل ۴. خطوط هم‌فاز مؤلفه جزرومدی نیم‌روزانه قمری (M_2) در سواحل شمالی دریای عمان (جاسک‌برییس) برحسب درجه



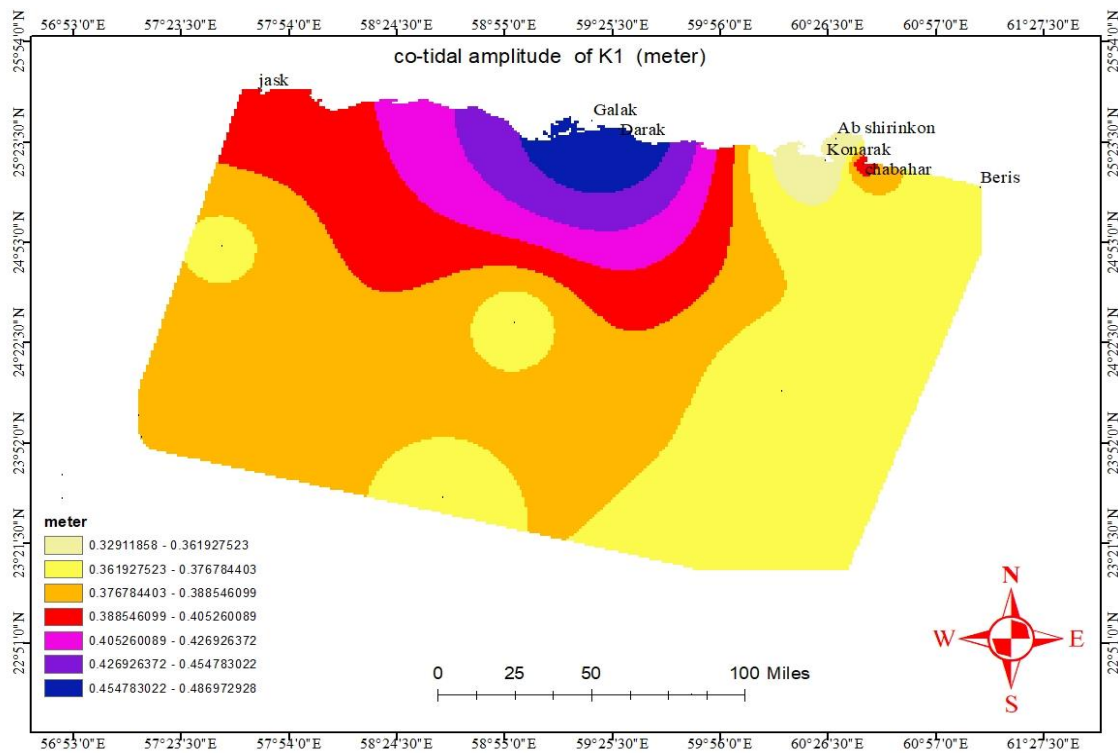
شکل ۵. خطوط هم دامنه مؤلفه جزرومدی نیم‌روزانه خورشیدی (S_2) در سواحل شمالی دریای عمان (جاسک‌برییس) برحسب متر

جدول ۱۲. دامنه مؤلفه جزرومدی نیمروزانه خورشیدی (S_2) در سواحل شمالی دریای عمان (جاسک-بریس) برحسب متر

کمترین دامنه	بیشترین دامنه	میانگین	سواحل شمالی دریای عمان
۰/۲۵	۰/۴۲	۰/۳۳۵	



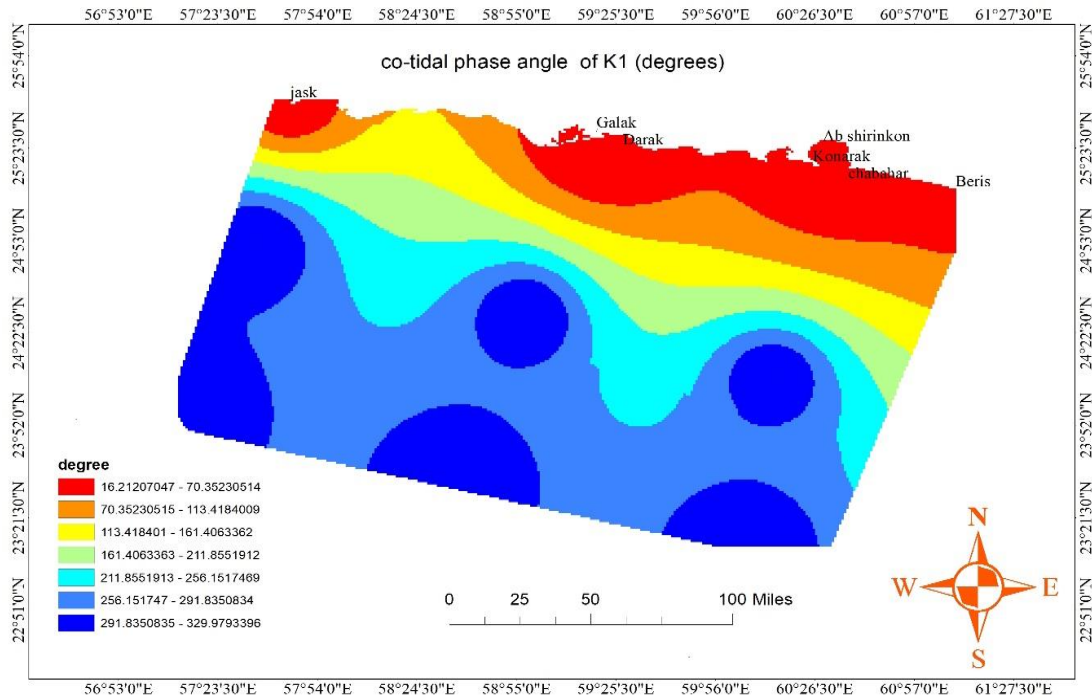
شکل ۶. خطوط هم فاز مؤلفه جزرومدی نیمروزانه خورشیدی (S_2) در سواحل شمالی دریای عمان (جاسک-بریس) برحسب درجه



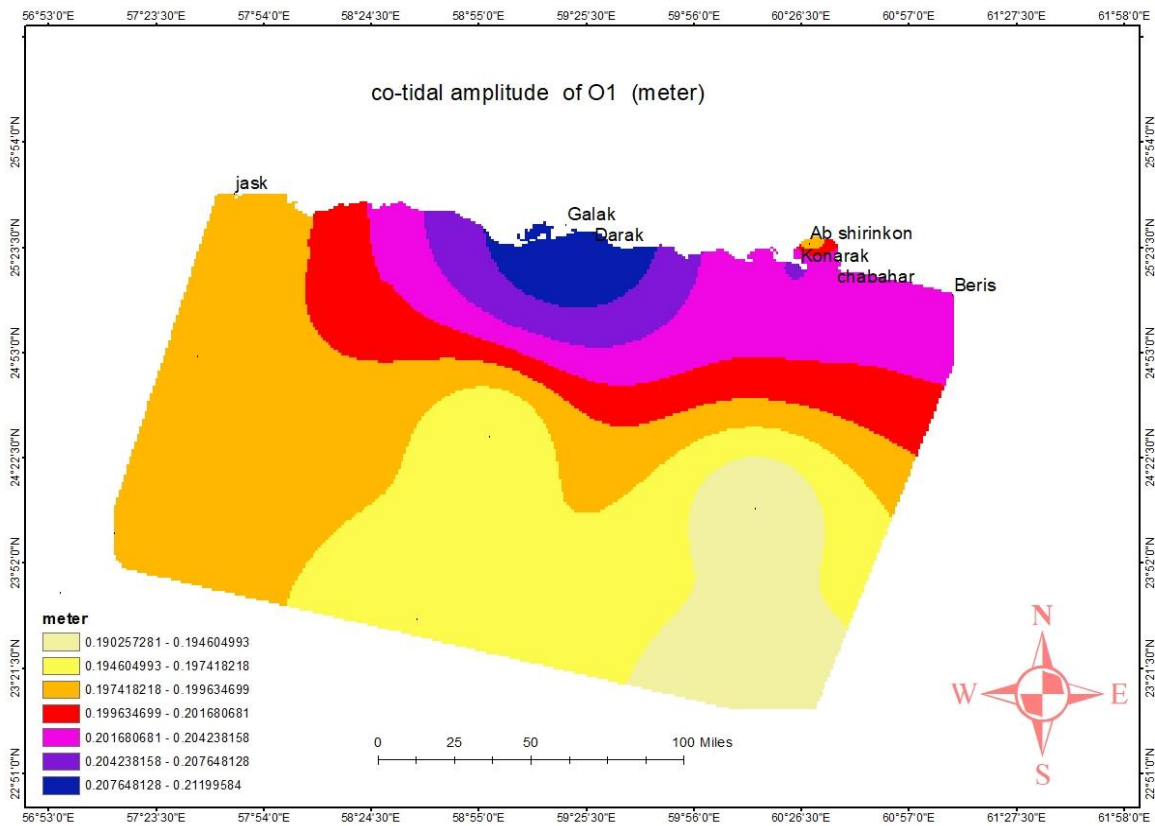
شکل ۷. خطوط هم دامنه مؤلفه جزرومدی روزانه قمری - خورشیدی (K_1) در سواحل شمالی دریای عمان (جاسک-بریس) برحسب متر

جدول ۱۳. دامنه مؤلفه جزرومدی روزانه قمری - خورشیدی (K_1) در سواحل شمالی دریای عمان (جاسک بَریس) بر حسب متر

کمترین دامنه	بیشترین دامنه	میانگین	سواحل شمالی دریای عمان
۰/۳۲	۰/۴۹	۰/۴۰۵	



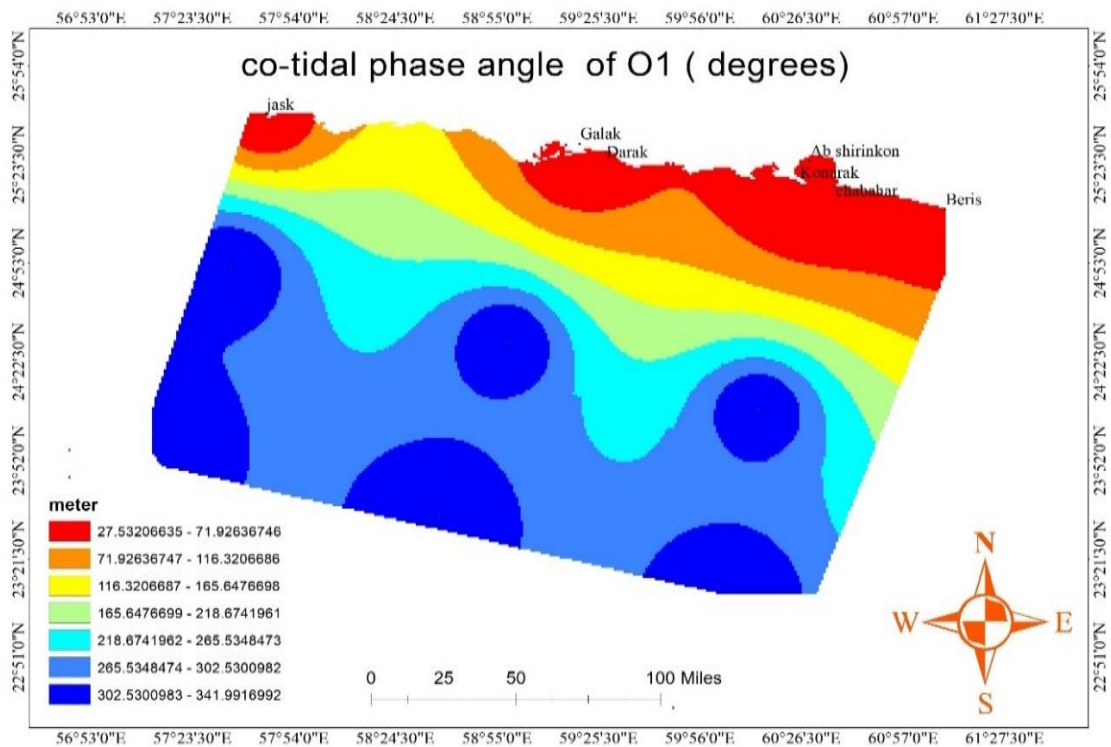
شکل ۸. خطوط هم فاز مؤلفه جزرومدی روزانه قمری - خورشیدی (K_1) در سواحل شمالی دریای عمان (جاسک بَریس) بر حسب درجه



شکل ۹. خطوط هم دامنه مؤلفه جزرومدی روزانه قمری (O_1) در سواحل شمالی دریای عمان (جاسک بَریس) بر حسب متر

جدول ۱۴. دامنه مؤلفه جزرومدی روزانه قمری (O_1) در سواحل شمالی دریای عمان (جاسک بئریس) برحسب متر

کمترین دامنه	بیشترین دامنه	میانگین	سواحل شمالی دریای عمان
۰/۱۹۵۵	۰/۲۱۰۵	۰/۲۰۳	



شکل ۱۰. خطوط هم‌فاز مؤلفه جزرومدی روزانه قمری (O_1) در سواحل شمالی دریای عمان (جاسک بئریس) برحسب درجه

۵. بحث

مقایسه دامنه مؤلفه‌های اصلی جزرومد و شکل کشند (F) حاصل از نرم‌افزار طراحی شده با داده‌های سازمان نقشه‌برداری و داده‌های به‌دست‌آمده از ماهواره توپکس پوزایدون در بندر جاسک، چابهار، گالک و درک در جدول‌های ۱۵ تا ۲۲ ارائه شده است.

جدول ۱۵. مقایسه دامنه مؤلفه‌های اصلی جزرومد حاصل از نرم‌افزار با داده‌های سازمان نقشه‌برداری در جاسک (برحسب سانتی‌متر)

F	O_1	K_1	S_2	M_2	
۰/۶۲	۲۰	۴۰	۳۱	۶۶	خروجی نرم‌افزار طراحی شده
۰/۶۴۵	۲۰	۴۰	۲۷	۶۶	داده‌های سازمان نقشه‌برداری
-۰/۰۲۵	۰	۰	۴	۰	خطای مطلق
۳/۸۷	۰	۰	۱۴/۸	۰	درصد خطای نسبی
جزرومد ترکیبی عمدتاً نیم‌روزه					نوع جزرومد

جدول ۱۶. مقایسه دامنه مؤلفه‌های اصلی جزرومد حاصل از نرم‌افزار با داده‌های سازمان نقشه‌برداری در چابهار (برحسب سانتی‌متر)

F	O ₁	K ₁	S ₂	M ₂	
۰/۶۶	۲۰	۴۰	۲۷	۶۳	خروجی نرم‌افزار طراحی شده
۰/۶۷	۲۰	۴۳	۲۴	۶۹	داده‌های سازمان نقشه‌برداری
- ۰/۰۱	۰	-۳	۳	-۶	خطای مطلق
۱/۴۹	۰	۶/۹۷	۱۲/۵	۸/۶	درصد خطای نسبی
جزرومد ترکیبی عمدتاً نیمروزه					نوع جزرومد

جدول ۱۷. مقایسه دامنه مؤلفه‌های اصلی جزرومد حاصل از نرم‌افزار با داده‌های سازمان نقشه‌برداری در حوزه گالک (برحسب سانتی‌متر)

F	O ₁	K ₁	S ₂	M ₂	
۰/۷۵	۲۱	۴۸,۵۴	۲۵	۶۷	خروجی نرم‌افزار طراحی شده
۰/۷۸۹	۲۱	۴۹	۲۱	۶۸	داده‌های سازمان نقشه‌برداری
- ۰/۰۳۹	۰	- ۰/۲۶	۴	- ۱	خطای مطلق
۴/۹۴	۰	۰/۹۳	۱۹	۱/۴۷	درصد خطای نسبی
جزرومد ترکیبی عمدتاً نیمروزه					نوع جزرومد

جدول ۱۸. مقایسه دامنه مؤلفه‌های اصلی جزرومد حاصل از نرم‌افزار با داده‌های سازمان نقشه‌برداری در حوزه درک (برحسب سانتی‌متر)

F	O ₁	K ₁	S ₂	M ₂	
۰/۷۴	۲۱	۴۸	۲۷	۶۶	خروجی نرم‌افزار طراحی شده
۰/۷۶۶	۲۱	۴۸	۲۳	۶۷	داده‌های سازمان نقشه‌برداری
- ۰/۰۴۹	۰	۰	-۴	۱	خطای مطلق
۳/۳۹	۰	۰	۱۷/۳	۱/۴	درصد خطای نسبی
جزرومد ترکیبی عمدتاً نیمروزه					نوع جزرومد

جدول ۱۹. مقایسه دامنه مؤلفه‌های اصلی جزرومد حاصل از نرم‌افزار با داده‌های به‌دست‌آمده از ماهواره توپکس پوزایدون در جاسک (برحسب سانتی‌متر)

F	O ₁	K ₁	S ₂	M ₂	
۰/۶۱	۲۰	۴۰	۳۱	۶۶	خروجی نرم‌افزار طراحی شده
۰/۵۵۵	۲۳	۳۷	۲۷	۸۱	حاصل از داده‌های ماهواره توپکس
۰/۰۵۵	۳	-۳	-۴	۱۵	خطای مطلق
۹/۹	۱۳	۸/۱	۱۴/۸	۱۸/۵	درصد خطای نسبی
جزرومد ترکیبی عمدتاً نیمروزه					نوع جزرومد

جدول ۲۰. مقایسه دامنه مؤلفه‌های اصلی جزرومد حاصل از نرم‌افزار با داده‌های به‌دست‌آمده از ماهواره توپکس پوزایدون در چابهار (برحسب سانتی‌متر)

F	O ₁	K ₁	S ₂	M ₂	
۰/۶۶۶	۲۰	۴۰	۲۷	۶۳	خروجی نرم‌افزار طراحی شده
۰/۶۲۳	۲۱	۳۷	۲۴	۶۹	حاصل از داده‌های ماهواره توپکس
۰/۰۴۳	۱	-۳	-۳	۶	خطای مطلق
۶/۹	۴/۷	۸/۱	۱۲/۵	۸/۶۹	درصد خطای نسبی
جزرومد ترکیبی عمدتاً نیمروزه					نوع جزرومد

جدول ۲۱. مقایسه دامنه مؤلفه‌های اصلی جزرومد حاصل از نرم افزار با داده‌های به دست آمده از ماهواره توپکس پوزایدون در حوزه گالک (سانتی متر)

F	O ₁	K ₁	S ₂	M ₂	
۰/۷۵۵	۲۱	۴۸/۵۴	۲۵	۶۷	خروجی نرم افزار طراحی شده
۰/۵۶۱	۲۲	۳۷	۲۷	۷۸	حاصل از داده‌های ماهواره توپکس
۰/۱۹۴	۱	-۱۱/۵۴	۲	۱۱	خطای مطلق
۳۴/۵	۴/۵	۳۱/۱	۷/۴	۱۴/۱	درصد خطای نسبی
جزرومد ترکیبی عمدتاً نیمروزه					نوع جزرومد

جدول ۲۲. مقایسه دامنه مؤلفه‌های اصلی جزرومد حاصل از نرم افزار با داده‌های به دست آمده از ماهواره توپکس پوزایدون در حوزه درک (سانتی متر)

F	O ₁	K ₁	S ₂	M ₂	
۰/۷۴	۲۱	۴۸	۲۷	۶۶	خروجی نرم افزار طراحی شده
۰/۵۵	۲۱	۳۷	۲۷	۷۸	حاصل از داده‌های ماهواره توپکس
۰/۱۹	۰	۱۱	۰	۱۲	خطای مطلق
۳۴/۵	۰	۲۹/۷	۰	۱۵/۳	درصد خطای نسبی
جزرومد ترکیبی عمدتاً نیمروزه					نوع جزرومد

۶. میانگین دامنه مؤلفه جزرومدی نیمروزانه قمری (M_2) در سواحل شمالی دریای عمان ۰/۶۵ متر است؛
۷. میانگین دامنه مؤلفه جزرومدی نیمروزانه خورشیدی (S_2) در سواحل شمالی دریای عمان ۰/۳۳۵ متر است؛
۸. میانگین دامنه مؤلفه جزرومدی روزانه قمری-خورشیدی (K_1) در سواحل شمالی دریای عمان ۰/۴۰۵ متر است؛
۹. میانگین دامنه مؤلفه جزرومدی روزانه قمری (O_1) در سواحل شمالی دریای عمان ۰/۲۰ متر است؛
۱۰. از آنجا که عدد کشند در محدوده ۰/۲۵ و ۱/۵ قرار دارد، میانگین دامنه مؤلفه جزرومدی طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ در جاسک ۱/۹۴ متر و در چابهار ۱/۸ متر است؛
۱۱. با مقایسه ارتفاع جزرومد در جاسک و چابهار درمی‌یابیم که ارتفاع جزرومد در جاسک بیشتر از چابهار است و با توجه به عدد کشند به دست آمده، میانگین ارتفاع جزرومد در طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ در جاسک ۳/۸۸ متر و در چابهار ۳/۶ متر است؛
۱۲. در صورت وجود اطلاعات سطح تراز آب یک ماهه، نرم افزار طراحی شده برای تمام بنادر جنوبی ایران قابل استفاده است.

۶. نتیجه گیری

- بررسی اطلاعات جزرومدی سواحل شمالی دریای عمان (جاسک - چابهار) نشان می‌دهد که:
۱. با توجه به اینکه برنامه نرم افزار طراحی شده به زبان جاوا است، بر روی سیستم‌های رایانه‌ای با حافظه پایین نیز قابل نصب و اجرا می‌باشد؛
 ۲. دامنه مؤلفه‌های M_2 ، S_2 ، K_1 و O_1 در جاسک به ترتیب ۶۶، ۳۱، ۴۰ و ۲۰ سانتی متر و در چابهار به ترتیب برابر ۶۳، ۲۷، ۴۱ و ۲۰ سانتی متر است؛
 ۳. با مقایسه خروجی این نرم افزار با داده‌های سازمان نقشه برداری و داده‌های به دست آمده از ماهواره توپکس پوزایدون، درمی‌یابیم که خروجی این نرم افزار به داده‌های سازمان نقشه برداری نزدیک تر است که این مهم می‌تواند به دلیل دقت پایین مشاهدات ماهواره‌ای در نزدیک سواحل باشد؛
 ۴. با توجه به اینکه در این تحقیق دامنه و فاز مؤلفه‌های مهم آب‌های کم عمق در نظر گرفته شده‌اند، خروجی این نرم افزار دقت بیشتری نسبت به داده‌های سازمان نقشه برداری و داده‌های به دست آمده از ماهواره توپکس پوزایدون، دارد؛
 ۵. با توجه به اینکه مقدار عدد کشند در محدوده بین ۰/۲۵ و ۱/۵ قرار دارد، نوع جزرومد در این مناطق از نوع مختلط عمدتاً نیمه روزانه است؛

سپاسگزاری

این مقاله از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته علوم دریایی و اقیانوسی - فیزیک دریا مصوب و دفاع شده در دانشگاه آزاد اسلامی (واحد تهران شمال) استخراج شده است. نویسندگان

خواص هیدروفیزیکی دریای عربی شمالی در خلال مونسون: مطالعه عددی. هیدروفیزیک. ۱۳۹۸؛ ۵(۲):۴۷-۵۹.

[13] Ghorbani A, Khalilabadi MR. Positioning using classification and regression: Case study of Oman Sea. International Journal Of Coastal, Offshore And Environmental Engineering (ijcoe). 2020 Oct 1;5(3):35-41.

[۱۴] تاج فیروز بهمن، بیدختی علی اکبر، عظام مجتبی، لاری کامران. ارزیابی و مقایسه روش‌های تحلیل و پیش‌بینی کشتند در نرم‌افزار مایک ۲۱. مجله ژئوفیزیک ایران. ۱۳۹۷؛ ۱۲(۳):۱-۲۰.

[۱۵] چگینی وحید، نظریه‌های موج / شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری. تابستان ۱۳۷۷.

[16] Forman M. Manual for tidal heights analysis and prediction. pacific marine science; 1996, pp. 77.

[17] Parker BB. Tidal Analysis and prediction. Maryland: Silver spring; 2007 July.

[18] Pugh DT. Tides, surges and mean sea-level (reprinted with corrections).

[19] Zygmunt Kowaljk. The distribution and tapping tidal energy. 2004. p.291-331.

[20] Davi j, Defatta, Joseph G, Lucas. Digital Signal Processing. 1988.

[۲۱] سهرابی اطهر مصطفی، تهیه چارت‌های دریایی با استفاده از مختصات سه‌بعدی GPS و مشاهدات ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای، گروه مهندسی نقشه‌برداری هیدروگرافی، دانشکده فنی دانشگاه تهران؛ ۱۳۸۲.

[22] Mahpeykar O, Khalilabadi MR. Numerical modelling the effect of wind on Water Level and Evaporation Rate in the Persian Gulf. International Journal Of Coastal, Offshore And Environmental Engineering (ijcoe). 2021 Feb 1;6(1):47-53.

[23] Bosboom J. Stive JFM. coastal Dynamics 1, Lecture notes CLE4305; 2015. P: 137-155.

[۲۴] تاج فیروز بهمن. تجزیه و تحلیل هارمونیک مشاهدات طولانی مدت جزرومد خلیج فارس - بندر شهید رجایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال؛ ۱۳۷۷.

بر خود لازم می‌دانند مراتب قدردانی و تشکر صمیمانه خود را از اساتید و مسئولان محترم پژوهشی دانشکده علوم و فنون دریایی دانشگاه آزاد اسلامی (واحد تهران شمال) بعمل آورند.

منابع

[۱] نظری بابک، ترابی آزاد مسعود، صادقی فرطیب. مدل‌سازی الگوی جریان‌های سطحی ناشی از باد در منطقه ساحلی خلیج جاسک. مجله مطالعات جغرافیایی نواحی ساحلی. ۱۴۰۰؛ ۲(۲): ۶۱-۷۷.

[۲] مشایخ پور مرجان، عمادی سید روح‌الله، ترابی آزاد مسعود، بررسی تغییرات فصلی دامنه مؤلفه‌های جزرومدی در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان. فصلنامه هیدروفیزیک. ۱۳۹۵؛ ۲(۲): ۶۷-۷۷.

[۳] جداری عیوضی جمشید، ۱۳۱۶ - جغرافیای آب‌ها / تألیف جمشید جداری عیوضی. - [ویرایش ۳]. - تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ، ۱۳۸۳.

[4] Mohanty PC, Mahendra RS, Nayak RK, Manche SS, Joseph S, Nair TB, Kumar TS. Characteristics of astronomical tides and their modulation on sea level extremes along the Indian coast. Ocean & Coastal Management. 2023 Jan 1;231:106398.

[5] Gao F, Wang G, Liu L, Xu H, Liang X, Shi Z, Ren D, Hu H, Sun X. Tidal analysis and prediction based on the Fourier basis pursuit spectrum. Ocean Engineering. 2023 Jun 15;278:114414.

[6] Knauss JA, Garfield N. Introduction to physical oceanography. Waveland Press; 2016 Dec 2.

[7] Khalilabadi MR, Mansouri D. Effect of super cyclone "GONU" on sea level variation along Iranian coastlines.

[8] Derakhshan Alamdarloo P, Khalilabadi M, Dehghani Ashkezari G. Modeling marine currents in the gulf of Oman using the Mike3D model. Journal of Environmental Science Studies. 2020 Mar 20;5(1):2404-12.

[9] Heidari M, Khalilabadi MR, Bidokhti AA. Monthly sea level variations in the northern part of Persian Gulf.

[10] Teubner MD, Najafi HS, Noye BJ, Rasser PE. Modelling tides in the Persian Gulf using dynamic nesting. In: Modelling Coastal Sea Processes. 1999; p.57-80.

[11] Khalilabadi MR. The effect of meteorological events on sea surface height variations along the northwestern Persian Gulf. Current Science. 2016 Jun 10;2138-41.

[۱۲] ملا اسماعیل پور؛ سعید، محمد مهدی زاده مهدی، حسن زاده سعید، خلیل‌آبادی محمدرضا. بررسی

پی‌نوشت‌ها

1. Residual
2. Tide From Number
3. Mean longitude of moon
4. Mean longitude of sun
5. longitude of lunar perigee
6. longitude of lunar perigee ascending node
7. longitude of perihelion