

## بررسی تغییرات فصلی دامنه مؤلفه‌های جزرومدی در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان

مرجان مشایخ پور<sup>۱</sup>، سید روح الله عمادی<sup>۲\*</sup> و مسعود ترابی آزاد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد هیدروگرافی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران mashayekhpour@ncc.org.ir

<sup>۲\*</sup> نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران sr\_emadi@azad.ac.ir

<sup>۳</sup> دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران m\_azad@iau-tnb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۸

تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۱۱

### چکیده

هدف اصلی از این مقاله بررسی تغییرات ماهانه در دامنه مؤلفه‌های اصلی جزرومدی در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان است. بدین منظور از داده‌های تایید گنج‌های ساحلی در بندر بوشهر، جاسک و چابهار استفاده شده است. مدت زمان برداشت اطلاعات تایید گنج از تغییرات سطح لحظه‌ای آب دریا در ایستگاه‌های ذکر شده به ترتیب در حدود ۶، ۷ و ۲۴ سال است. با آنالیز ماهانه داده‌های جزرومدی، دامنه مؤلفه‌های جزرومدی  $M_2$ ،  $S_2$ ،  $K_1$  و  $O_1$  به تفکیک برای هر ماه به دست آمده است. نتایج عددی به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار فورمن نشان می‌دهد، با وجود اینکه بیشترین مقدار دامنه مؤلفه‌های جزرومدی مربوط به مؤلفه نیم روزانه ماه  $M_2$  در حدود ۷۲ سانتی‌متر در بندر جاسک می‌باشد، ولی اصلی‌ترین تغییرات ماهانه یعنی اختلاف بین بیشترین و کمترین مقدار دامنه برای تمامی ماه‌ها در فاصله زمانی ذکر شده در بالا مربوط به مؤلفه  $K_1$  با دامنه تغییرات در حدود ۳۰ سانتی‌متر است. همچنین برای سایر مؤلفه‌ها نظیر  $S_2$ ،  $O_1$  و  $M_2$  به ترتیب مقادیر تغییرات ماهانه در حدود ۱۸، ۱۱ و ۹ سانتی‌متر به دست آمده است.

**واژه‌های کلیدی:** تایید گنج ساحلی، تغییرات فصلی مؤلفه‌های جزرومدی، خلیج فارس، دریای عمان.

### ۱. مقدمه

تغییر در گردش جریان‌های اقیانوسی، تغییر در غلظت و شوری آب دریاها، تخلیه رودخانه‌ها به دریاها، ذوب شدن یخ‌های قطبی ناشی از گرم شدن زمین و حرکات تکتونیکي بستر و تغییرات توپوگرافی کف دریا. از میان عوامل فوق جزرومد به عنوان مهم‌ترین عامل پرریودیک تغییر سطح آب دریا شناخته شده است. جزرومد بالا و پایین آمدگی سطح زمین و دریا در اثر نیروهای جاذبه اجرام سماوی نزدیک زمین، نظیر ماه و خورشید است [۱]. در شکل زیر نمایشی از وضعیت ماه، زمین و تأثیری که حضور ماه بر روی نقاط مختلف در سطح زمین دارد، آورده شده است.

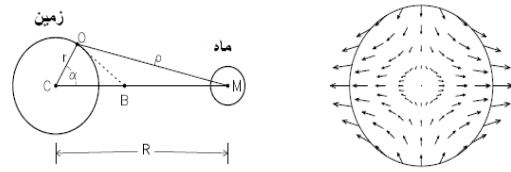
اقیانوس‌ها تأمین کننده منابع غذایی، معدنی و همچنین تنظیم کننده آب و هوای زمین هستند. بیش از ۷۰ درصد سطح کره زمین را آب فراگرفته است؛ از این رو درک صحیحی از دریاها جهت تجزیه و تحلیل محیط پیرامون ما ضروری به نظر می‌رسد. سطح آب دریاها دستخوش تغییرات دائمی است. عوامل متعددی باعث می‌شوند تا سطح آب‌ها یک سطح متعادل دینامیکی نباشد و با زمان تغییر کنند. این عوامل عبارتند از: نیروهای جاذبه ماه، خورشید و دیگر سیارات، تغییرات جوی (باد، دما، فشار هوا، بارش و تبخیر) و

جدول ۱. مشخصات بعضی از مؤلفه‌های جزرومدی

مؤلفه جزرومدی	عدد دودسون	فرکانس (cpd)	دامنه (متر)
$M_f$	۰۷۵/۵۵۵	۰/۰۷۳۲۰۲۲	-۰/۰۶۶۶۱
$M_m$	۰۶۵/۴۵۵	۰/۰۳۶۲۹۱۶	-۰/۰۳۵۱۸
$K_1$	۱۶۵/۵۵۵	۱/۰۰۲۷۳۷۹	۰/۳۶۸۶۴
$O_1$	۱۴۵/۵۵۵	۰/۹۲۹۵۳۵۷	-۰/۲۶۲۲۳
$M_2$	۲۵۵/۵۵۵	۰/۹۳۲۲۷۳۶	۰/۶۳۲۲۱
$S_2$	۲۷۳/۵۵۵	۲/۰۰۰۰۰۰۰	۰/۲۹۴۱۱
$N_2$	۲۴۵/۶۵۵	۱/۸۹۵۹۸۲۰	۰/۱۲۱۰۵

جدول ۱ نشان می‌دهد که مؤلفه نیم روزانه ماه  $M_2$  دارای بیشترین دامنه بین مؤلفه‌ها است. مدل‌سازی جزرومدی حاصل از آنالیز داده‌های سطح لحظه‌ای آب که توسط انواع مختلف تایید گیج‌ها تهیه شده‌اند نیز نشان‌دهنده همین مطلب است.

بررسی پژوهش‌های انجام شده در این حوزه نشان می‌دهد، تحقیق‌های متعددی در خصوص مدل‌سازی جزرومدی انجام گرفته که از آن جمله می‌توان به اردلان و هاشمی، چنگک، کودریاتسوف و وانگ اشاره نمود [۳-۶]. همچنین بررسی تحقیق‌های داخلی نیز نشان می‌دهد جلیل نژاد، سلطان پور، سبزواری و ترابی به بررسی و مدل‌سازی دقیق جزرومدی در منطقه خلیج فارس و دریای عمان پرداخته‌اند [۷-۱۰]. در این مطالعات با استفاده از تلفیق داده‌های جزرومدی تایید گیج‌های ساحلی و ماهواره‌ای مختلف ارتفاع‌سنجی دامنه و فاز مؤلفه‌های مختلف جزرومدی در مناطق دریایی و ساحلی به دست آمده است. در تمامی این موارد هدف اصلی تعیین دامنه و فاز مؤلفه‌های



شکل ۱. نمایش هندسی ماه و زمین در تعیین نیروی جزرومدی برای نقطه‌ای روی سطح زمین

این اجسام به واسطه جرمشان و به نسبت فاصله‌ای که از زمین دارند طبق قانون جاذبه نیوتنی، نیرویی را بر نقاط واقع بر سطح زمین وارد می‌سازند،  $F(r_0)$ ، تفاضل این نیرو با نیرویی که از طرف ماه و خورشید بر مرکز ثقل زمین وارد می‌شود،  $F(c)$ ، نیروی جزرومدی نامیده می‌شود،  $F_f(r_0) = F(r_0) - F(c)$ . میدان نیروی جزرومدی میدانی پایستار بوده و در بررسی آن می‌توان از پتانسیل جزرومدی استفاده کرد. با در نظر گرفتن خطایی در حدود ۰/۰۳ درصد مؤلفه دوم پتانسیل میدان نیروی جزرومدی را می‌توان به صورت زیر نوشت [۲]:

$$W_2 = D \left[ \cos^2 \phi \cos^2 \delta \cos 2h + \sin 2\phi \sin 2\delta \cos 2h + \frac{1}{3} \left( \sin^2 \phi - \frac{1}{3} \right) \left( \sin^2 \delta - \frac{1}{3} \right) \right] \quad (1)$$

در رابطه ۱،  $D$  ثابت دودسون جرم سماوی (ماه - خورشید)،  $\phi$  عرض جغرافیایی نقطه مورد نظر،  $\delta$  میل جرم سماوی و  $h$  زاویه ساعتی ماه و خورشید است. رابطه ۱ نشان می‌دهد که پتانسیل جزرومدی شامل سه جمله با پریودهای نیم روزانه، روزانه و بلندمدت است که هر کدام شامل جملات مختلفی هستند. در جدول ۱ تعدادی از این مؤلفه‌ها و پارامترهای مربوط به آن‌ها آورده شده است [۱].

عمده روزانه و نیم روزانه که دارای بیشترین دامنه در مقایسه با سایرین هستند، در مناطق سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان پرداخته شده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

ویژگی‌های بارز اقتصادی و بازرگانی دریای عمان و خلیج فارس و همچنین نیازهای مهندسی همچون ساخت اسکله‌ها، موج‌شکن‌ها، سکوی نفتی، سازه‌های دریایی و شیلات، اطلاع دقیق از رژیم جزرومدی و تغییرات سطح این دریاها را پُراهمیت ساخته است. اهمیت ویژه به‌همراه دردسترس بودن داده‌های مورد نیاز دلایل اصلی در انتخاب این منطقه بوده است. بدین منظور از داده‌های تاید گیج‌های ساحلی جاسک، چابهار و ایستگاه بوشهر استفاده شده است. در جدول ۲ مشخصات مربوط به ایستگاه‌های مورد استفاده به همراه بازه زمانی جمع‌آوری اطلاعات در آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۲. مشخصات مربوط به ایستگاه‌های تاید گیج خلیج فارس و دریای عمان

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	بازه زمانی
چابهار	۲۵/۲۹	۶۰/۶۰	۲۰۰۷-۲۰۱۴
جاسک	۲۵/۶۳	۵۷/۷۷	۲۰۰۹-۲۰۱۵
بوشهر	۲۸/۹	۵۰/۷۵	۱۹۹۰-۲۰۱۴



شکل ۲. موقعیت تاید گیج‌های ساحلی مورد استفاده در سواحل خلیج فارس و دریای عمان

جزرومدی با استفاده از روش‌های مختلف و داده‌های چندساله تغییرات سطح آب است و در مقابل بررسی تغییرات ماهانه و فصلی در دامنه این مؤلفه‌ها کمتر مورد توجه بوده است. وجود تغییرات فصلی در مؤلفه‌های اصلی جزرومدی با استفاده از داده‌های تاید گیج‌های ساحلی از گذشته قابل مشاهده بوده است. امروزه مشاهدات ماهواره‌های ارتفاع‌سنجی بررسی این تغییرات را در مناطق دور نیز امکان‌پذیر ساخته است. هیوس و اندرسن با استفاده از مشاهدات ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای، بیشترین دامنه تغییرات را برای مؤلفه نیم روزانه ماه  $M_2$  در دو منطقه کاک سهیون و ایسبرگ در بازه زمانی پنج‌ساله بین سال‌های ۱۹۹۲ و ۱۹۹۷ به ترتیب در حدود  $7/8$  سانتی‌متر و  $2/3$  سانتی‌متر گزارش کرده است [۱۱]. مولر و همکاران با استفاده از داده‌های نوزده‌ساله ماهواره‌های ارتفاع‌سنجی تأثیر تغییرات سالانه نیروی تابشی خورشید و باد را بر روی دامنه مؤلفه جزرومدی نیم روزانه ماه بررسی کرده‌اند [۱۲]. به‌طور اجمالی از مهم‌ترین عوامل تغییرات در سطح آب می‌توان به مواردی نظیر تغییرات در چگالی آب دریا به‌علت تغییرات در شوری و دمای آب، تغییرات شدت و جهت جریان باد، تغییر در مقدار ورودی آب رودخانه‌ها به دریا، تغییرات ناشی از گرم شدن زمین و تغییرات ناشی از تغییر موقعیت ماه و خورشید اشاره کرد. این تحقیق جهت پاسخ‌گویی به این سؤال که «از میان مؤلفه‌های اصلی جزرومدی کدامیک دارای بیشترین دامنه تغییرات فصلی است؟» انجام گرفته است. نحوه و مقدار تغییرات دامنه این مؤلفه‌ها می‌تواند به‌منظور بررسی و شناخت دقیق‌تر رفتارهای جزرومدی برای محققان علوم دریایی قابل استفاده باشد. با توجه به کثرت مؤلفه‌های جزرومدی و تنوع مناطق دریایی در این مقاله تنها به بررسی چهار مؤلفه

بوده که توسط گودین ارائه شده است [۱۸].

این نرم افزار قادر است تا داده‌های سطح آب را فقط با فاصله نمونه برداری یک ساعته آنالیز کند. فایل اجرایی آن بر اساس برنامه‌ای به زبان فرترن در اختیار کاربران است. این برنامه از روش کمترین مربعات، برای تعیین دامنه و فاز مؤلفه‌های جزرومدی که در فاصله بازه زمانی مشاهدات قابل تشخیص هستند، استفاده می‌کند.

در روش کمترین مربعات با استفاده از رابطه ۲ یک تابع سینوسی به مشاهدات برازش داده می‌شود. در رابطه ۲ MSL سطح متوسط آب و bt ترم خطی است. همچنین a و b ضرایب فوریه و  $\omega$  فرکانس زاویه‌ای است. با در نظر گرفتن رابطه ۲ و انجام سرشکنی کمترین مربعات، به روش زیر دامنه و فاز مؤلفه‌های جزرومدی تعیین می‌شوند [۱۹، ۲۰].

$$u(\varphi, \lambda, t) = MSL(\varphi, \lambda) + bt + \sum_{i=1}^n a_i(\varphi, \lambda) \cos \omega_i t + b_i(\varphi, \lambda) \sin \omega_i t \quad (2)$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} u(\varphi, \lambda, t_1) \\ u(\varphi, \lambda, t_2) \\ \vdots \\ u(\varphi, \lambda, t_m) \end{bmatrix}}_{L_{m \times 1}} = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & \cos \omega_1 t_1 & \sin \omega_1 t_1 & \dots & \cos \omega_n t_1 & \sin \omega_n t_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 1 & \cos \omega_1 t_m & \sin \omega_1 t_m & \dots & \cos \omega_n t_m & \sin \omega_n t_m \end{bmatrix}}_{A_{m \times (2n+1)}} \underbrace{\begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \\ \vdots \\ a_n \\ b_n \end{bmatrix}}_{(2n+1) \times 1}^{MSL} \quad (3)$$

به A ماتریس واندروموند<sup>۱</sup> (یا طرح) گفته می‌شود، در نتیجه داریم:

$$\hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (5)$$

آنالیز داده‌های جزرومدی اساس مدل‌سازی جزرومدی است. تاریخچه آنالیز داده‌های جزرومدی به بیش از صد سال می‌رسد. اولین بار کلونین در سال ۱۸۸۲ و پس از آن داروین در سال ۱۹۰۱ آنالیز داده‌های جزرومدی را بر اساس مختصات اجرام سماوی (ماه و خورشید) ارائه کردند. دودسون نیز در مقالاتی که منتشر کرد، با معرفی پتانسیل جزرومدی علاوه بر معرفی چهارصد مؤلفه مختلف جزرومدی روش کامل تری را از آنالیز داده‌های جزرومدی ارائه نمود [۱۳، ۱۴]. این روش بعدها توسط کارت رایت و تیلور با اصول و مبانی مدرن محاسباتی تکمیل شد [۱۵]. در این مقاله از نرم افزار فورمن برای آنالیز ماهانه داده‌های جزرومدی استفاده شده است [۱۶، ۱۷]. این نرم افزار بر مبنای روش آنالیز طیفی داده‌های جزرومدی بر اساس روش کمترین مربعات

در این جا اگر m مشاهده تاید گیج یا ارتفاع سنجی و n مؤلفه جزرومدی باشند، داریم:

$$A_{m \times (2n+1)} X_{(2n+1) \times 1} = L_{m \times 1} \quad (4)$$

درون یابی خطی به همراه داده‌های پیش‌بینی استفاده می‌شود. یعنی سری پیش‌بینی جزرومدی در زمان انتقال پیدا می‌کند تا با مشخصات زمانی سری مشاهدات انطباق پیدا کند. سپس یک درون‌یابی خطی بین دو سر (دو نقطه انتهایی گپ) در سری باقیمانده آورده می‌شود و مقادیر این درون‌یابی به پیش‌بینی انتقال داده‌شده در فاصله گپ اضافه می‌شود. این روش برای گپ‌های کمتر و مساوی ۲۴ ساعت قابل قبول است [۲۳]. سپس دامنه و فاز مؤلفه‌های جزرومدی حاصل از آنالیز فورمن برای هر یک ماه داده‌کنشده به دست آمد و برای سال‌های متوالی سری زمانی از دامنه هر مؤلفه (حاصل از آنالیز در ماه‌های متوالی) تشکیل شد و ارزیابی گردید.

#### ۴. یافته‌ها

در ادامه مقایسه آماری ماهانه دامنه‌های مؤلفه‌های جزرومدی و اختلاف آن‌ها در ایستگاه‌های مورد نظر در قالب شکل‌های مجزا برای هر مؤلفه به همراه جدول آماری ۳ آورده شده است.

جدول ۳. مقایسه آماری دامنه مؤلفه‌های ایستگاه چابهار و میزان تغییرات آن‌ها

مؤلفه جزرومدی	بیشترین	کمترین	متوسط	دامنه تغییرات (متر)	انحراف از معیار
$M_2$	۰/۶۸۴	۰/۶۴۲	۰/۶۶۴	۰/۰۴۲	۰/۰۰۸
$K_1$	۰/۵۵۲	۰/۲۶۲	۰/۴۱۰	۰/۲۹۰	۰/۰۰۸
$S_2$	۰/۳۴۵	۰/۱۶۱	۰/۲۶۱	۰/۱۸۴	۰/۰۵۰۲
$O_1$	۰/۲۱۴	۰/۱۸۸	۰/۲۰۴	۰/۰۲	۰/۰۰۵

شکل ۳ آنالیز جزرومدی ماهانه مؤلفه‌های جزرومدی اصلی ایستگاه چابهار را نشان می‌دهد. در این شکل مشخص است که مؤلفه‌های جزرومدی روند متناوبی و دامنه مؤلفه  $K_1$  بیشترین تغییرات را دارد.

که دامنه و فاز مؤلفه‌های جزرومدی از روابط ۶ تا ۸ تعیین می‌شوند:

$$A(i) = \sqrt{a(i)^2 + b(i)^2} \quad (6)$$

$$\Phi(i) = 2 \tan^{-1} \left( \frac{b(i)}{A(i) + a(i)} \right) \quad (7)$$

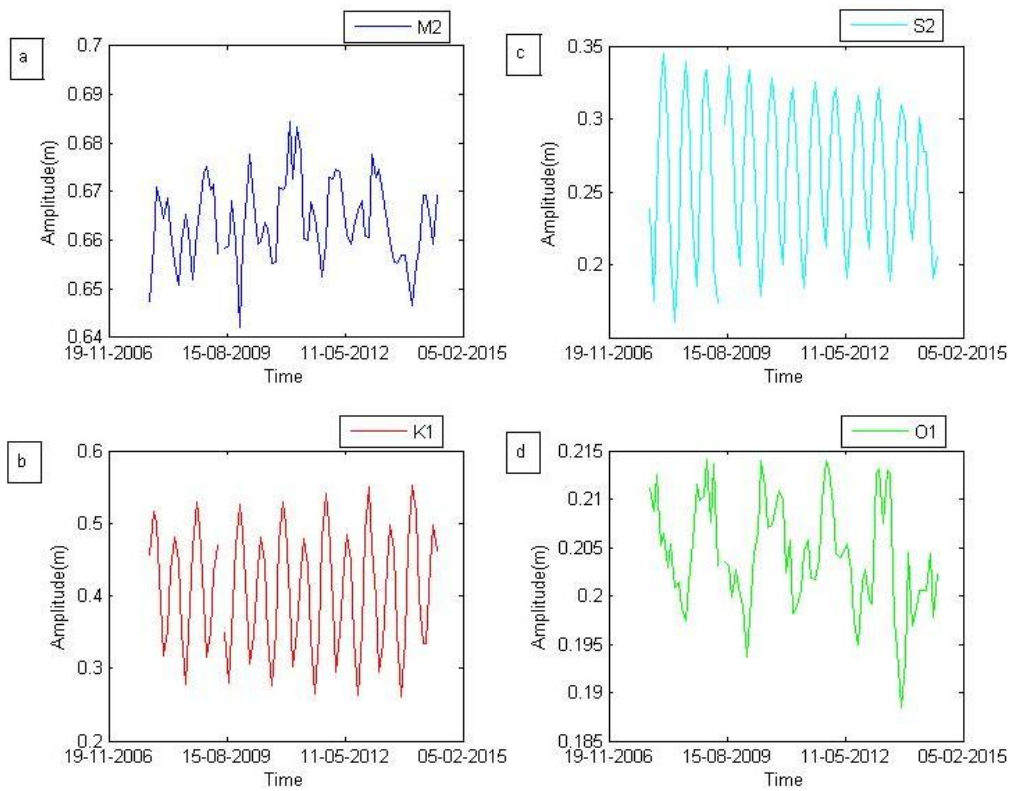
یا

$$\Phi(i) = \tan^{-1} \left( \frac{b(i)}{a(i)} \right) \quad (8)$$

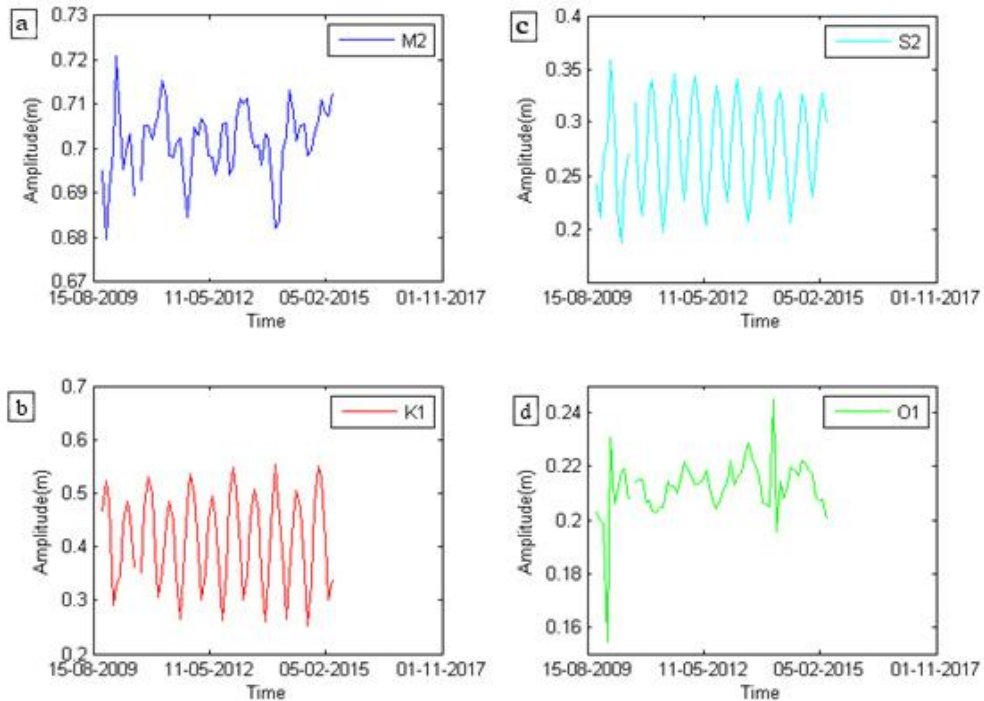
نرم‌افزار فورمن در حدود ۶۸ مؤلفه از مؤلفه‌های جزرومدی را مدل می‌کند که کمترین فرکانس ۰/۳۲۲۰۴۵۵۹ آن و بیشترین آن ۰/۰۰۲۲۸۱۶ دور بر ساعت است. از مزایای این نرم‌افزار، حذف اثر سایر فرکانس‌های جزرومدی به خصوص فرکانس‌های پایین نظیر ۰/۰۰۰۰۶۳۴ و ۰/۰۰۰۰۱۴۲ دور بر ساعت از سطح متوسط دریا است. قابل توجه است که فرکانس‌های ذکر شده، مربوط به اثر نویسن و پرسیشن می‌باشد که به روش‌های نجومی به دست آمده است [۲۱].

#### ۳. تئوری و محاسبات

با تشکیل سری زمانی یک‌ساعته از داده‌های سه ایستگاه تاید گیج، تشخیص داده‌های پرت (Outlier) در مشاهدات تاید گیج با استفاده از روش ۳σ انجام گرفت. بررسی هیستوگرام باقیمانده‌ها قابل قبول بودن روش را تأیید می‌کند [۲۲]. برای تکمیل جاهای خالی از داده نیز از برنامه Slp64<sup>۲</sup> استفاده شده است. بدیهی است بهترین روش پُر کردن جاهای خالی از داده، جایگزینی آن‌ها با مقادیر به دست آمده از تاید گیج‌های کمکی با یک سطح مبنا است. در غیر این صورت



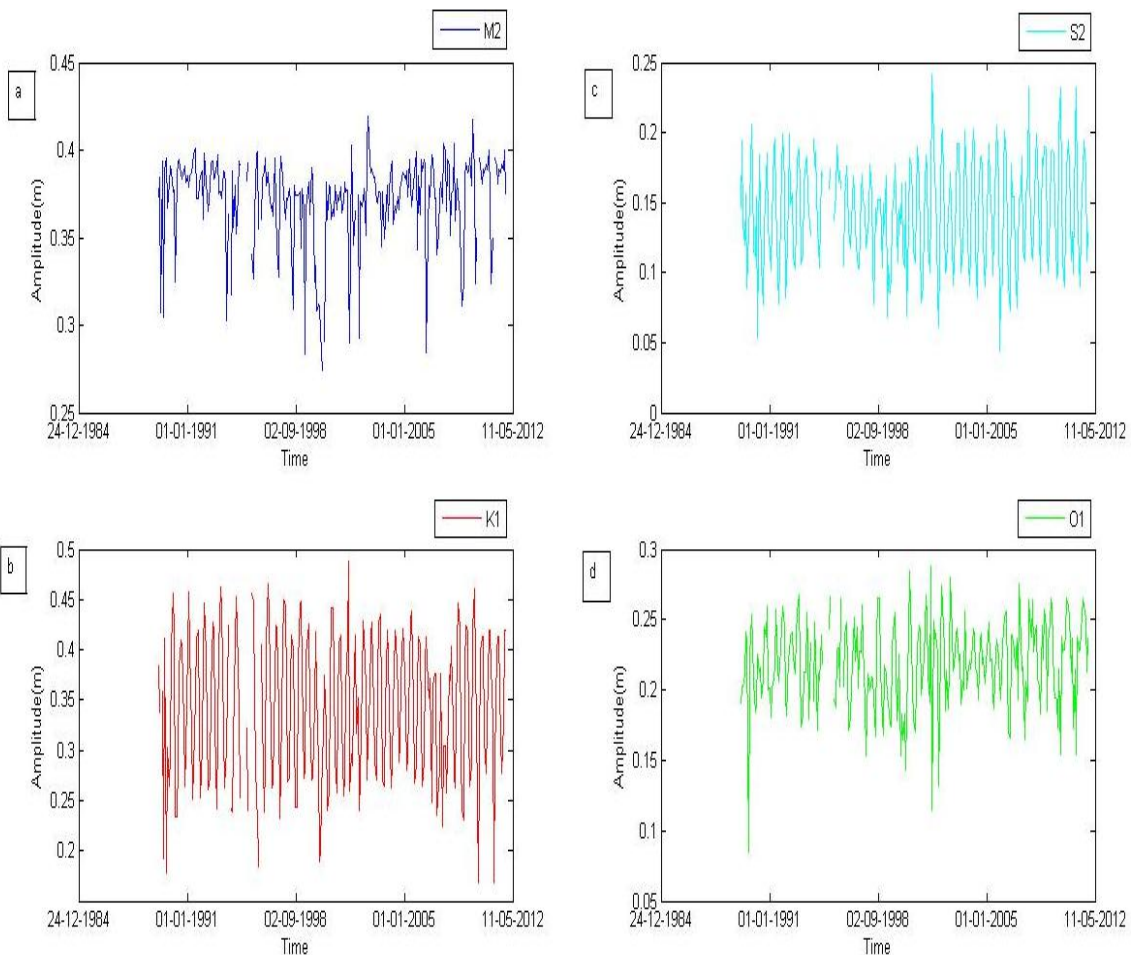
شکل ۳. نمایش دامنه ماهیانه مؤلفه‌های جزرومدی اصلی برای ایستگاه چابهار (a مؤلفه  $M_2$ ، b مؤلفه  $K_1$ ، c مؤلفه  $S_2$  و d مؤلفه  $O_1$  است).



شکل ۴. نمایش دامنه ماهیانه مؤلفه‌های جزرومدی اصلی برای ایستگاه جاسک (a مؤلفه  $M_2$ ، b مؤلفه  $K_1$ ، c مؤلفه  $S_2$  و d مؤلفه  $O_1$  است).

جدول ۴. مقایسه آماری دامنه مؤلفه‌های جزرومدی ایستگاه جاسک و مقدار تغییرات آن‌ها

مؤلفه جزرومدی	بیشترین	کمترین	متوسط	دامنه تغییرات (متر)	انحراف از معیار
$M_2$	۰/۷۲۱	۰/۶۸۰	۰/۷۰۱	۰/۰۴۱	۰/۰۰۸
$K_1$	۰/۵۵۴	۰/۲۵۳	۰/۴۱۲	۰/۳۰۱	۰/۰۸۶
$S_2$	۰/۳۵۹	۰/۱۸۶	۰/۲۷۷	۰/۱۷۳	۰/۰۴۶
$O_1$	۰/۲۴۵	۰/۱۵۵	۰/۲۱۲	۰/۰۹۱	۰/۰۱۱



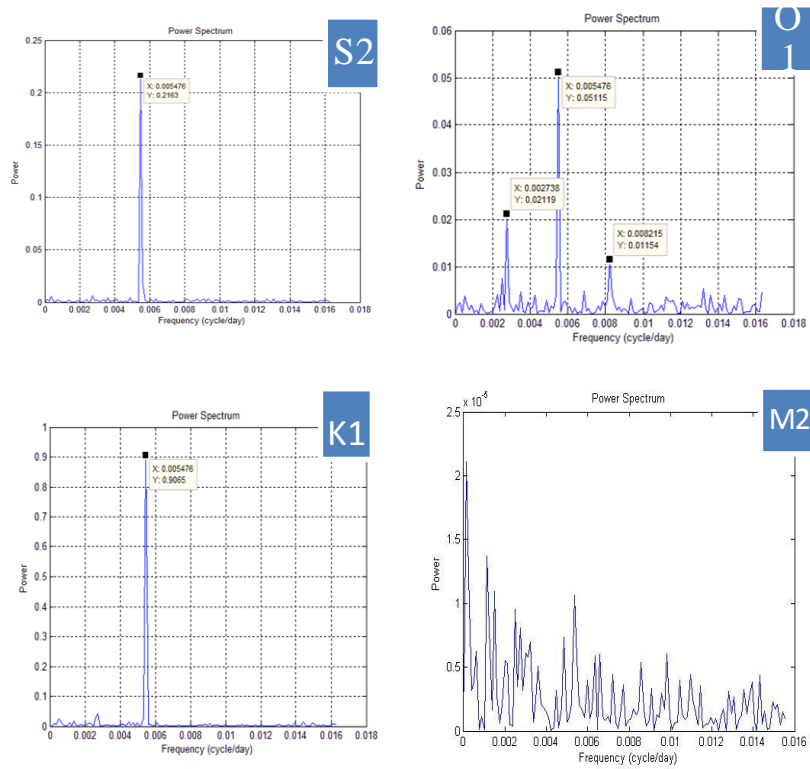
شکل ۵. نمایش دامنه ماهیانه مؤلفه‌های جزرومدی اصلی برای ایستگاه بوشهر (a مؤلفه  $M_2$ ، b مؤلفه  $K_1$ ، c مؤلفه  $S_2$  و d مؤلفه  $O_1$  است).

با استفاده از آنالیز طیفی بر روی سری زمانی حاصل از تحلیل جزرومدی ماهیانه مؤلفه‌های اصلی جزرومدی، پریرودهای نیم سالیانه و سالیانه مشخص شد؛ البته در مؤلفه جزرومدی  $O_1$  نیز یک پریرود چهارماهه مشاهده گردید (شکل‌های ۶ تا ۸).

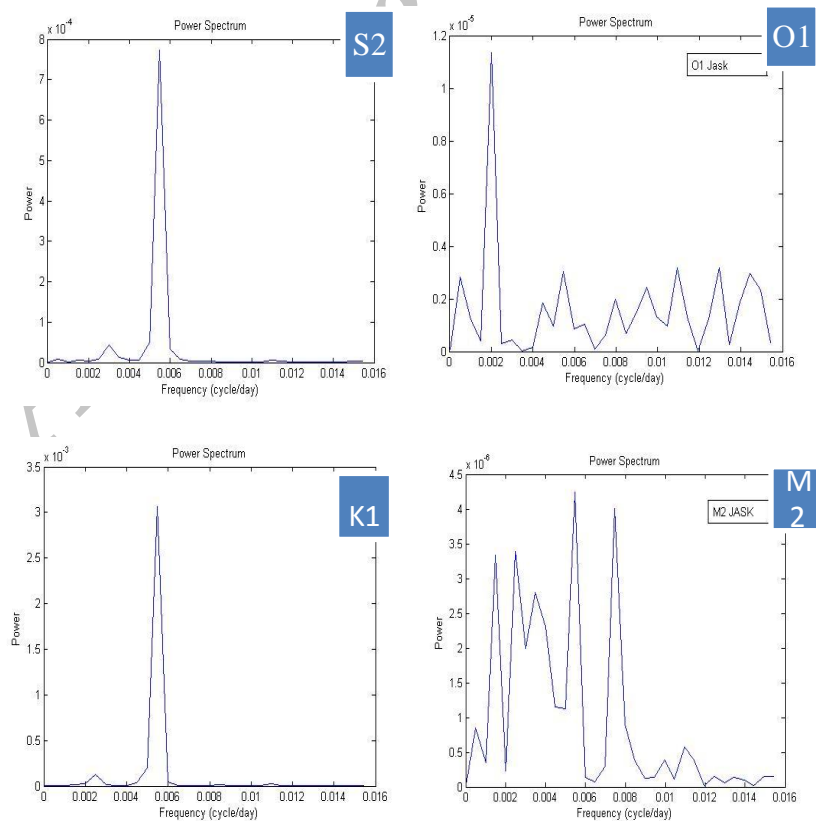
جدول ۵. مقایسه آماری دامنه مؤلفه‌های جزرومدی ایستگاه بوشهر و

میزان تغییرات آن‌ها

مؤلفه جزرومدی	بیشترین	کمترین	متوسط	دامنه تغییرات (متر)	انحراف از معیار
$M_2$	۰/۴۰۱	۰/۳۰۳	۰/۳۷۵	۰/۰۹۹	۰/۰۲۱
$K_1$	۰/۴۶۶	۰/۲۳۲	۰/۳۴۵	۰/۲۳۵	۰/۰۷۴
$S_2$	۰/۱۹۹	۰/۰۵۳	۰/۱۴۵	۰/۱۴۶	۰/۰۳۳
$O_1$	۰/۲۶۸	۰/۱۵۳	۰/۲۱۹	۰/۱۱۵	۰/۰۲۶

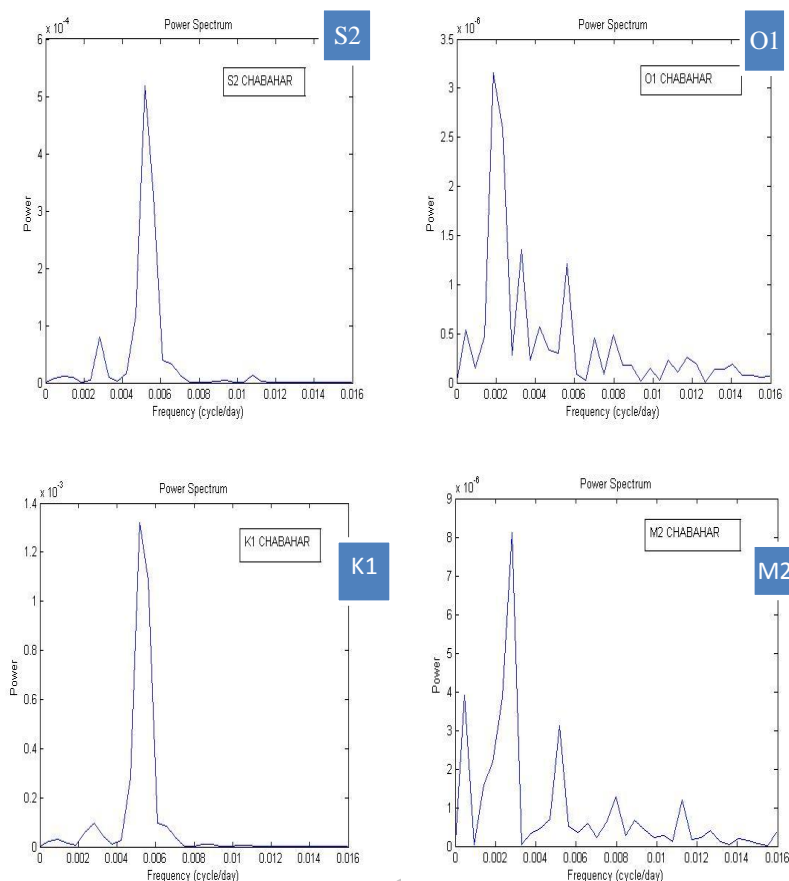


شکل ۶. نمایش Power Spectrum سری زمانی دامنه مؤلفه‌های بوشهر ۲۰۱۱-۱۹۹۰



شکل ۷. نمایش Power Spectrum سری زمانی دامنه مؤلفه‌های جاسک ۲۰۱۵-۲۰۰۹





شکل ۸. نمایش Power Spectrum سری زمانی دامنه مؤلفه‌های چابهار ۲۰۱۴-۲۰۰۷

اصلی جزرومدی بوشهر، پر بود های نیم سالیانه و سالیانه مشخص شده است؛ البته در مؤلفه  $O_1$  نیز یک پر بود چهار ماهه مشاهده گردیده است. نتایج همچنین نشان می‌دهد در رابطه با تغییرات مکانی مؤلفه های جزرومدی، حرکت بر روی یک نصف النهار از بالا به پایین مقادیر دامنه ها متفاوت می‌شود، اما فاز بین آن‌ها تغییری نمی‌کند؛ اما اگر بر روی یک مدار حرکت شود آنگاه مقادیر دامنه‌ها تقریباً ثابت بوده اما فاز آن‌ها تغییر می‌کند.

#### مراجع

- [1] Agnew DC. Earth Tides. Herring T, editor. In: Treatise on Geophysics: Geodesy. New York: Elsevier; 2007. p.163-95.
- [2] Vaníček P, Krakiwsky EJ. Geodesy: the concepts. 2nd edition. North Holland, Amsterdam: Elsevier science; 1986.

#### ۵. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این تحقیق، بیشترین تغییر دامنه مؤلفه جزرومدی در حد ۳۰ سانتی متر مربوط به مؤلفه  $K_1$  برای سه بندر چابهار و جاسک و بوشهر مشخص شد. برای سایر مؤلفه‌ها نظیر  $O_1$ ،  $S_2$  به ترتیب مقادیر تغییرات ماهانه در حدود ۱۸، ۱۱ و ۹ سانتی متر به دست آمده است. مؤلفه  $M_2$  بیشترین مقدار دامنه را در بین مؤلفه های جزرومدی به میزان ۷۲ سانتی متر دارد. تغییرات فصلی در دامنه مؤلفه  $M_2$  نشانگر آن است که در فصل زمستان دامنه آن بیشترین مقدار است و با تغییر در فصول گرم کاهش پیدا کرده است. با توجه به ضریب فرم فاکتور که برای جاسک ۱/۰۸ و برای چابهار ۰/۶۶۰۳۱۵ و برای بوشهر ۱/۰۸ است، جزرومد غالب در جاسک و چابهار و بوشهر از نوع آمیخته نیم روزانه است. با استفاده از آنالیز طیفی بر روی سری زمانی حاصل از آنالیز جزرومدی ماهیانه مؤلفه های

- [۱۰] ترابی مسعود. آنالیز طیفی نقطه‌ای مشاهدات ماهواره ارتفاع سنجی T/P به منظور مدل‌سازی سطح متوسط دریا [پایان نامه کارشناسی ارشد]. تهران: گروه مهندسی نقشه برداری هیدروگرافی، دانشکده فنی دانشگاه تهران؛ ۱۳۸۵.
- [11] Huess V, Andersen OB. Seasonal variation in the main tidal constituent from altimetry. *Geophysical research letters*. 2001 Feb 15;28(4):567-70.
- [12] Müller M, Cherniawsky JY, Foreman MG, von Storch JS. Seasonal variation of the M2 tide. *Ocean Dynamics*. 2014 Feb 1; 64(2):159-77.
- [13] Doodson AT. The harmonic development of the tide-generating potential. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*. 1921 Dec 1;100(704):305-29.
- [14] Doodson AT. The analysis of tidal observations for 29 days. *International Hydrographic Review*. 1954 May;31:63-92.
- [15] Cartwright DE, Tayler RJ. New computations of the tide-generating potential. *Geophysical Journal International*. 1971 Jun; 1;23(1):45-73.
- [16] Foreman M. *Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction*. 1977.
- [17] Foreman M. *Manual for tidal currents analysis and prediction*. 1978.
- [18] Godin G. *The Analysis of Tides*. Liverpool: Liverpool University Press; 1972. p.264.
- [۱۹] عمادی روح اله، نجفی علمداری مهدی، پیروز نیا محمود. مدل‌سازی جزرومدی دریای خزر با استفاده از داده‌های تایید گنج‌های ساحلی. همایش سازمان نقشه برداری؛ ۱۳۹۴ اردیبهشت ۲۷-۲۹؛ تهران، ایران.
- [3] Ardalan A, Hashemi H. Empirical global ocean tide and Mean Sea Level modeling using satellite altimetry data Case study: A new empirical global ocean tide and Mean Sea Level model based on Jason-1 satellite altimetry observations. *Nonlinear Time Series Analysis in the Geosciences*. 2008:175-221.
- [4] Cheng KC. *Analysis of Water Level Measurement Using GPS*. Columbus: Theohiostate University, Department of Geological Science; 2005 Nov. (Report No.476).
- [5] Kudryavtsev SM. Improved harmonic development of the Earth tide-generating potential. *Journal of Geodesy*. 2004 Jun 1;77(12):829-38.
- [6] Wang Y. *Ocean Tide Modeling in Southern Ocean*. Columbus: Ohio state University, Department of Geodetic Science; 2004. (Report No.471)
- [۷] جلیل نژاد مجید. ارزیابی مدل‌های مختلف به کاررفته در تعیین MSL با استفاده از مشاهدات ارتفاع سنجی ماهواره ای [پایان نامه کارشناسی ارشد]. تهران: دانشکده فنی دانشگاه تهران؛ ۱۳۸۵.
- [8] Soltanpour A, Pirooznia M, Aminjafari S, Zareian P. Persian Gulf and Oman Sea tide modeling using satellite altimetry and tide gauge data (TM-IR01). *Marine Georesources & Geotechnology*. 2017 Sep 22:1-11.
- [۹] سبزواری مهرداد. تلفیق داده‌های ارتفاع سنجی ماهواره ای و دستگاه‌های تایید گنج برای تعیین نقشه‌های هم دامنه و هم فاز جزرومدی در منطقه خلیج فارس و دریای عمان [پایان نامه کارشناسی ارشد]. تهران: دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال؛ ۱۳۹۱.

## پی نوشت

1. Vandermond
2. Hourly Sea Level Data Processing and Quality Control Software

[۲۰] پیروزیا محمود. بررسی تغییرات زمانی تکنونیک دریای خزر با استفاده از ماهواره‌های ارتفاع سنجی و تایید گیج‌های ساحلی [پایان نامه کارشناسی ارشد]. تهران: دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال؛ ۱۳۹۳.

[۲۱] حسینی سیده صدیقه. آنالیز داده‌های تایید گیج و GPS برای تعیین سطح متوسط دریا در منطقه نای آلساند نروژ. همایش ژئوماتیک؛ ۱۳۸۶؛ تهران، ایران.

[22] Toorian MJ. Tidal Analysis in Persian Gulf and Oman Sea using TOPEX/Poseidon and Coastal Tide Gauges [dissertation]. Tehran: University of Tehran; 2006.

[23] Caldwell P. SLP64 User Manual. 2014:32-33.

Archive of SID