بررسی تغییرات فصلی دامنهٔ مؤلفه‌های جزرومدی درسواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان

مرجان مشایخ پور[۱]، سید روح الله عمادی[۲*] و مسعود ترابی آزاد[۳]

[۱]کارشناسی ارشد هیدروگرافی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران mashayekhpour@ncc.org.ir
[۲*]نویسندهٔ مسئول، استادیار، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران sr_emadi@azad.ac.ir
[۳]دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران m_azad@iau-tnb.ac.ir

تاریخ دریافت:۹۵/۱۱/۸ تاریخ پذیرش:۹۶/۶/۱۱

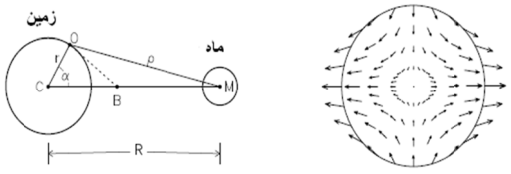
چکیده

هدف اصلی از این مقاله بررسی تغییرات ماهانه در دامنهٔ مؤلفه‌های اصلی جزرومدی در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان است. بدین منظور از داده‌های تاید گیج‌های ساحلی در بنادر بوشهر، جاسک و چابهار استفاده شده است. مدت زمان برداشت اطلاعات تاید گیج از تغییرات سطح لحظه‌ای آب دریا در ایستگاه‌های ذکرشده به‌ترتیب در حدود ۲۴، ۶ و۷ سال است. با آنالیز ماهانهٔ داده‌های جزرومدی، دامنهٔ مؤلفه‌های جزرومدی M_2، S_2، K_1 و O_1 به تفکیک برای هر ماه به دست آمده است. نتایج عددی به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار فورمن نشان می‌دهد، باوجود اینکه بیشترین مقدار دامنهٔ مؤلفه‌های جزرومدی مربوط به مؤلفهٔ 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 فاصلهٔ زمانی ذکرشده در بالا مربوط به مؤلفهٔ K_1 با دامنهٔ 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: *تاید گیج ساحلی، تغییرات فصلی مؤلفه‌های جزرومدی، خلیج فارس، دریای عمان.*

۱. مقدمه

اقیانوس‌ها تأمین‌کنندهٔ منابع غذایی، معدنی و همچنین تنظیم‌کنندهٔ آب و هوای زمین هستند. بیش از ۷۰ درصد سطح کرهٔ 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 کند. این عوامل عبارتند از: نیروهای جاذبهٔ ماه، خورشید و دیگر سیارات، تغییرات جوی (باد، دما، فشارهوا، بارش و تبخیر) و تغییر در گردش جریان های اقیانوسی، تغییر درغلظت و شوری آب دریاها، تخلیهٔ رودخانه‌ها به دریاها، ذوب‌شدن یخ‌های قطبی ناشی از گرم‌شدن زمین و حرکات تکتونیکی بستر و تغییرات توپوگرافی کف دریا. از میان عوامل فوق جزرومد به‌عنوان مهم‌ترین عامل پریودیک تغییر سطح آب دریا شناخته شده است. جزرومد بالا و پایین‌آمدگی سطح زمین و دریا در اثر نیروهای جاذبهٔ 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.



شکل۱. نمایش هندسی ماه و زمین در تعیین نیروی جزرومدی برای نقطه‌ای روی سطح زمین

این اجسام به واسطهٔ جرمشان و به نسبت فاصله‌ای که از زمین دارند طبق قانون جاذبهٔ نیوتنی، نیرویی را بر نقاط واقع بر سطح زمین وارد می‌سازند،$\mathbf{F}(\mathbf{r_o})$، تفاضل این نیرو با نیرویی که از طرف ماه وخورشید بر مرکز ثقل زمین وارد می‌شود،$\mathbf{F(c)}$، نیروی جزرومدی نامیده می‌شود، $\boldsymbol{F_t(r_o) = F(r_o) - F(C)}$. میدان نیروی جزرومدی میدانی پایستاربوده و در بررسی آن می‌توان از پتانسیل جزرومدی استفاده کرد. با درنظر گرفتن خطایی در حدود۰/۰۳ درصد مؤلفهٔ دوم پتانسیل میدان نیروی جزرومدی را می‌توان به صورت زیر نوشت[۲]:

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

در رابطهٔ ۱، D ثابت دودسون جرم سماوی (ماه-خورشید)، φ عرض جغرافیایی نقطهٔ مورد نظر، δ میل جرم سماوی و h زاویهٔ ساعتی ماه و خورشیداست. رابطهٔ ۱ نشان می‌دهد که پتانسیل جزرومدی شامل سه جمله با پریود های نیم روزانه، روزانه و بلندمدت است که هرکدام شامل جملات مختلفی هستند. در جدول ۱ تعدادی از این مؤلفه‌ها و پارامترهای مربوط به آن‌ها آورده شده است[۱].

جدول ۱. مشخصات بعضی از مؤلفه‌های جزرومدی

مؤلفهٔ 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 مؤلفهٔ نیم روزانهٔ ماه M_2 دارای بیشترین دامنهٔ بین مؤلفه‌ها است. مدل‌سازی جزرومدی حاصل ازآنالیز داده های سطح لحظه‌ای آب که توسط انواع مختلف تایدگیج‌ها تهیه شده‌اند نیزنشان‌دهندهٔ همین مطلب است.

بررسی پژوهش های انجام شده در این حوزه نشان می‌دهد، تحقیق‌های متعددی در خصوص مدل‌سازی جزرومدی انجام گرفته که از آن جمله می‌توان به اردلان و هاشمی، چنگ، کودریاتسف 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 منطقهٔ خلیج فارس و دریای عمان پرداخته‌اند[۷-۱۰]. در این مطالعات با استفاده از تلفیق داده های جزرومدی تایدگیج های 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

جزرومدی با استفاده از روش های مختلف و داده‌های چندسالهٔ تغییرات سطح آب است و در مقابل بررسی تغییرات ماهانه و فصلی در دامنهٔ این مؤلفه‌ها کمتر مورد توجه بوده است. وجود تغییرات فصلی در مؤلفه های اصلی جزرومدی با استفاده از داده های تاید گیج های 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 دامنهٔ تغییرات را برای مؤلفهٔ نیم روزانهٔ ماه M_2 در دو منطقهٔ کاک سهیون و ایسبرگ در بازهٔ زمانی پنج‌ساله بین سال‌های ۱۹۹۲ و ۱۹۹۷ به‌ترتیب در حدود ۷/۸ سانتی‌متر و ۲/۳ سانتی‌متر گزارش کرده است[۱۱]. مولر و همکاران با استفاده از داده‌های نوزده‌سالهٔ ماهواره‌های ارتفاع‌سنجی تأثیر تغییرات سالانهٔ نیروی تابشی خورشید و باد را بر روی دامنهٔ مؤلفهٔ جزرومدی نیم روزانهٔ ماه بررسی کرده‌اند[۱۲]. به‌طور اجمالی از مهم‌ترین عوامل تغییرات در سطح آب می‌توان به مواردی نظیرتغییرات 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 گرم‌شدن 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 دامنهٔ تغییرات فصلی است؟» انجام گرفته است. نحوه و مقدار تغییرات دامنهٔ 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 مؤلفهٔ عمدهٔ 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، سکوهای نفتی، سازه‌های دریایی و شیلات، اطلاع دقیق از رژیم جزرومدی و تغییرات سطح این دریاها را پُراهمیت ساخته است. اهمیت ویژه به‌همراه دردسترس‌بودن داده های 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 مورداستفاده به همراه بازهٔ زمانی جمع‌آوری اطلاعات در آن‌ها ارائه شده است.

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

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	بازهٔ 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 مورداستفاده در سواحل خلیج فارس و دریای عمان

آنالیز داده‌های جزرومدی اساس مدل‌سازی جزرومدی است. تاریخچهٔ آنالیز داده های جزرومدی به بیش از صد سال می‌رسد. اولین بار کلوین در سال ۱۸۸۲ و پس از آن دارویـن 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 مؤلفهٔ مختلف جزرومدی روش کامل‌تری را از آنالیز داده های 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 نرم‌افزار فورمن برای آنالیز ماهانهٔ داده‌های جزرومدی استفاده شده است [۱۶،۱۷]. این نرم‌افزار بر مبنای روش آنالیز طیفی داده‌های جزرومدی بر اساس روش کمترین مربعات بوده که توسط گودین ارائه شده است [۱۸].

این نرم‌افزار قادر است تا داده‌های سطح آب را فقط با فاصلهٔ نمونه‌برداری یک‌ساعته 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 فاصلهٔ بازهٔ زمانی مشاهدات قابل تشخیص هستند، استفاده می کند.

در روش کمترین مربعات با استفاده از رابطهٔ ۲ یک تابع سینوسی به مشاهدات برازش داده می‌شود.

در رابطهٔ ۲ MSL سطح متوسط آب و bt ترم خطی است. همچنین a و b ضرایب فوریه و ω فرکانس زاویه‌ای است. با در نظر گرفتن رابطهٔ ۲ و انجام سرشکنی کمترین مربعات، به روش زیر دامنه و فاز مؤلفه‌های جزر ومدی تعیین می‌شوند [۱۹،۲۰].

$$u(\varphi,\lambda,t) = MSL(\phi,\lambda) + bt + \sum_{i=1}^{n} a_i(\Phi,\lambda)\cos\omega_i t + b_i(\varphi,\lambda)\sin\omega_i t \qquad (۲)$$

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

(۳)

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

$$A_{m\times(2n+1)}X_{(2n+1)\times 1} = L_{m\times 1} \qquad (۴)$$

به A ماتریس واندرموند[1] (یا طرح) گفته می‌شود، در نتیجه داریم:

$$\hat{X} = \left(A^T A\right)^{-1} A^T L \qquad (۵)$$

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

$$\text{دامنه } A_{(i)} = \sqrt{a(i)^2 + b(i)^2} \quad (۶)$$

$$\text{فاز } \Phi(i) = 2\tan^{-1}\left(\frac{b(i)}{A_{(i)} + a(i)}\right) \quad (۷)$$

یا

$$\text{فاز } \Phi(i) = \tan^{-1}\left(\frac{b(i)}{a(i)}\right) \quad (۸)$$

نرم‌افزار فورمن در حدود ۶۸ مؤلفه از مؤلفه‌های جزرومدی را مدل می‌کند که کمترین فرکانس ۰/۳۲۲۰۴۵۵۹ آن و بیشترین آن۰/۰۰۰۲۲۸۱۶ دور بر ساعت است. از مزایای این نرم‌افزار، حذف اثر سایر فرکانس‌های جزرومدی به‌خصوص فرکانس‌های پایین نظیر ۰/۰۰۰۰۰۶۳۴ و ۰/۰۰۰۰۱۴۲ دور بر ساعت از سطح متوسط دریا است. قابل توجه است که فرکانس‌های ذکرشده، مربوط به اثر نوتیشن و پرسیژن می باشد که به روش‌های نجومی به دست آمده است [۲۱].

۳. تئوری و محاسبات

با تشکیل سری زمانی یک‌ساعته از داده‌های سه ایستگاه تایدگیج، تشخیص داده‌های پرت (Outlier)در مشاهدات تایدگیج با استفاده از روش ۳σ انجام گرفت. بررسی هیستوگرام باقیمانده‌ها قابل‌قبول بودن روش را تأیید می‌کند [۲۲]. برای تکمیل جاهای خالی از داده نیز از برنامهٔ Slp64[۲] استفاده شده است. بدیهی است بهترین روش پُرکردن جاهای خالی از داده، جایگزینی آن‌ها با مقادیر به‌دست‌آمده از تایدگیج های کمکی با یک سطح مبنا است. در غیر این صورت درون‌یابی 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 نقطهٔ انتهایی گپ) در سری باقیمانده آورده می‌شود و مقادیر این درون‌یابی به پیش‌بینی انتقال داده‌شده در فاصلهٔ گپ اضافه می‌شود. این روش برای گپ های کمتر و مساوی ۲۴ ساعت قابل قبول است [۲۳]. سپس دامنه و فاز مؤلفه‌های جزرومدی حاصل از آنالیز فورمن برای هر یک ماه دادهٔ کشندی به دست آمد وبرای سال‌های متوالی سری زمانی از دامنهٔ هر مؤلفه (حاصل از آنالیز در ماه‌های متوالی) تشکیل شد و ارزیابی گردید.

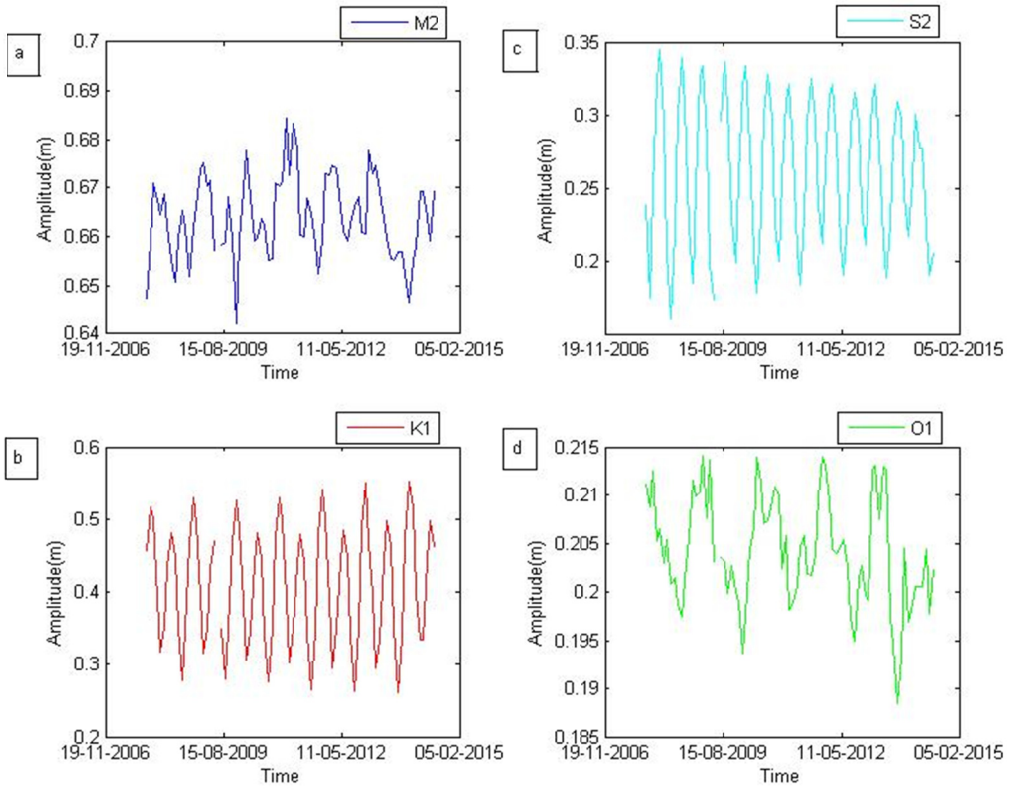
٤. یافته‌ها

در ادامه مقایسهٔ آماری ماهانهٔ 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.

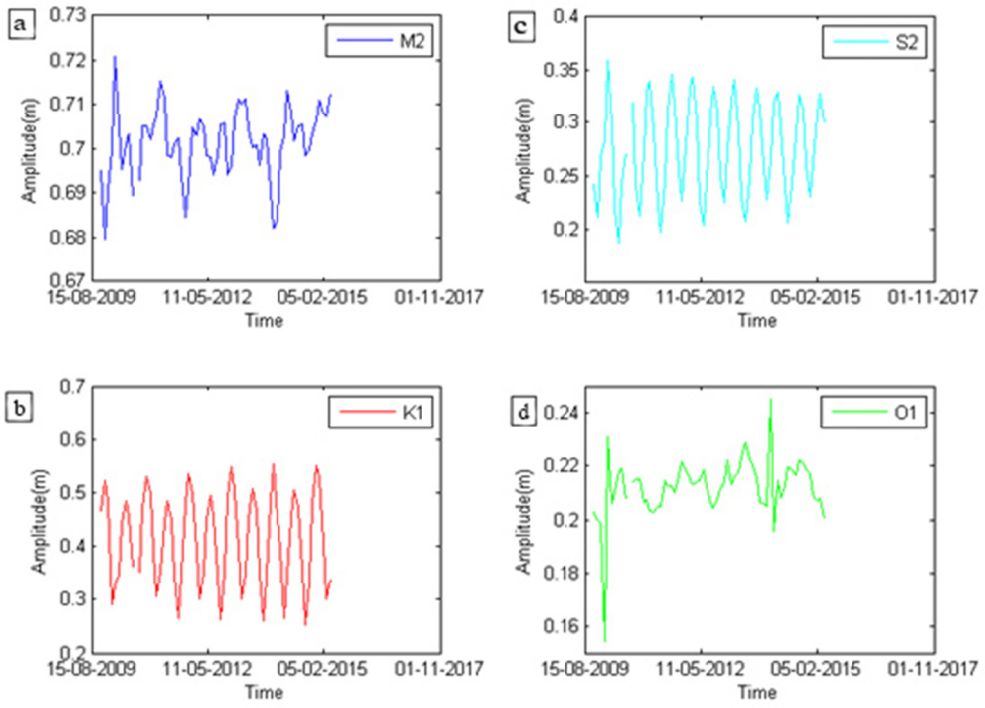
جدول ۳. مقایسهٔ آماری دامنهٔ مؤلفه‌های ایستگاه چابهار و میزان تغییرات آن‌ها

مؤلفهٔ جزرومدی	بیشترین	کمترین	متوسط	دامنهٔ 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	۰/۰۸
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 ماهیانهٔ مؤلفه های جزرومدی اصلی ایستگاه چابهار را نشان می‌دهد. در این شکل مشخص است که مؤلفه‌های جزرومدی روند متناوبی و دامنهٔ مؤلفهٔ K_1 بیشترین تغییرات را دارد.



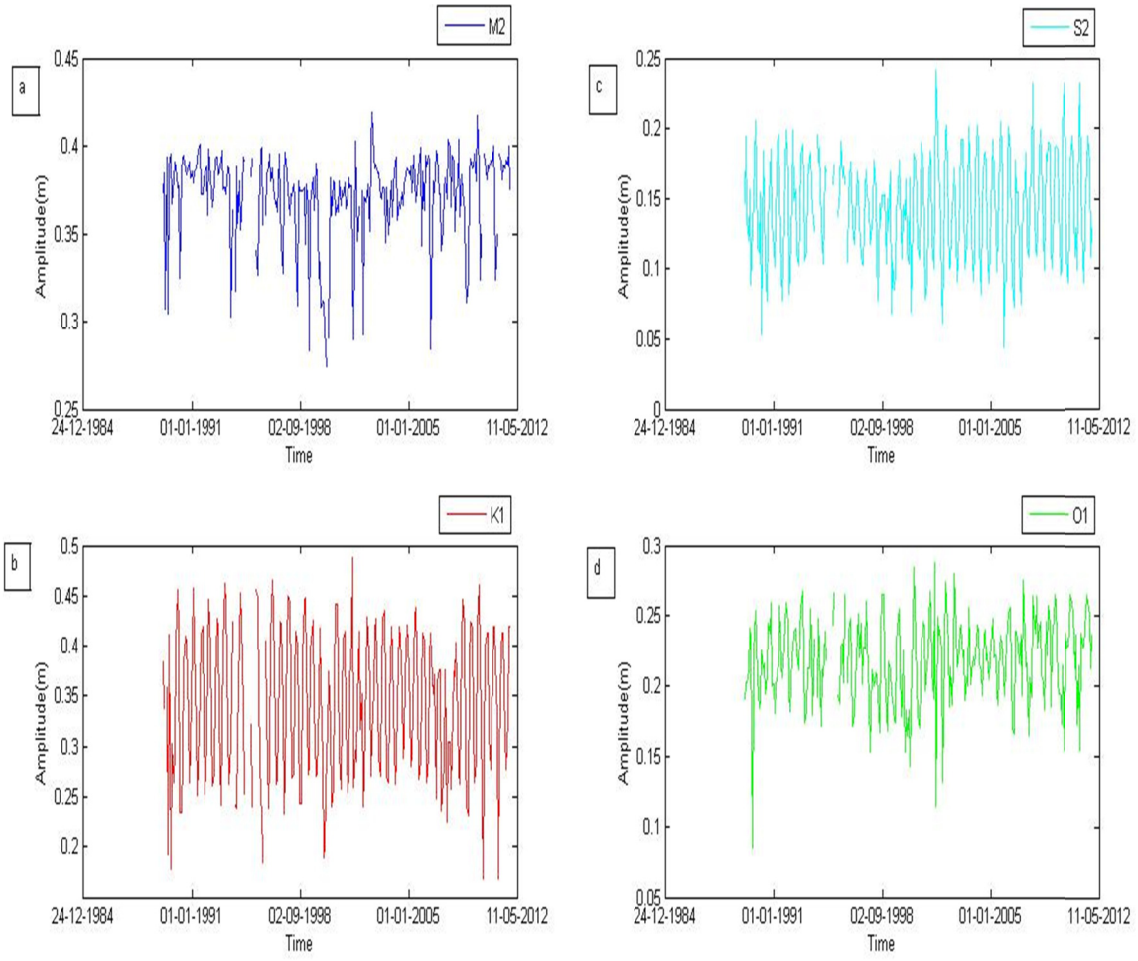
شکل ۳. نمایش دامنهٔ ماهیانهٔ مؤلفه‌های جزرومدی اصلی برای ایستگاه چابهار (a مؤلفهٔ M_2 ، b مؤلفهٔ K_1 ،c مؤلفهٔ S_2 و d مؤلفهٔ O_1 است.)



شکل ۴. نمایش دامنهٔ ماهیانهٔ مؤلفه‌های جزرومدی اصلی برای ایستگاه جاسک (a مؤلفهٔ M_2، b مؤلفهٔ K_1 ، c مؤلفهٔ S_2 و d مؤلفهٔ O_1 است.)

جدول ۴. مقایسهٔ آماری دامنهٔ مؤلفه‌های جزرومدی ایستگاه جاسک و مقدار تغییرات آن‌ها

مؤلفهٔ جزرومدی	بیشترین	کمترین	متوسط	دامنهٔ 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

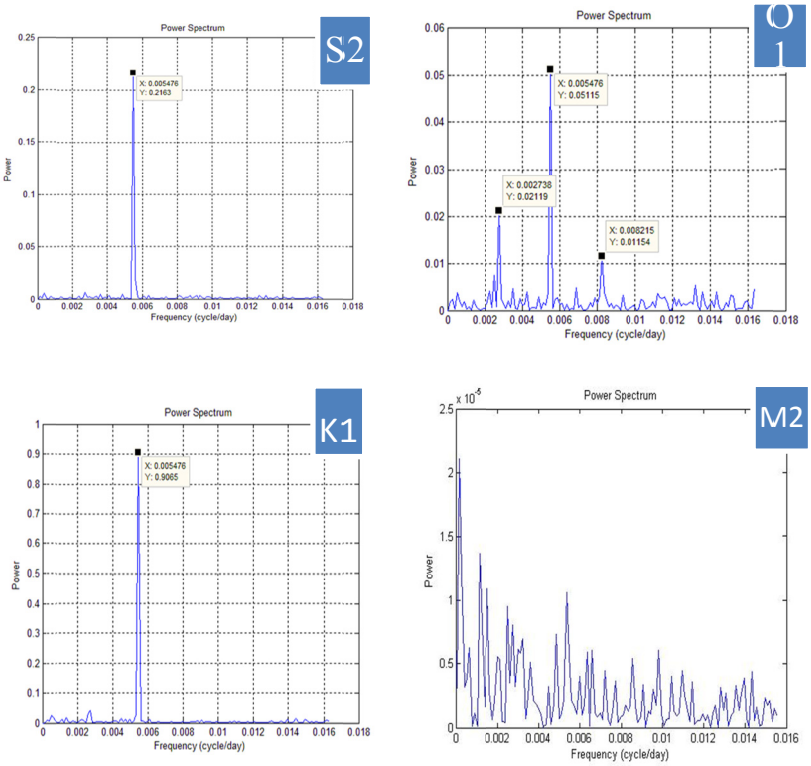


شکل ۵. نمایش دامنهٔ ماهیانهٔ مؤلفه‌های جزرومدی اصلی برای ایستگاه بوشهر (a مؤلفهٔ M_2 ، b مؤلفهٔ K_1، c مؤلفهٔ S_2 و d مؤلفهٔ O_1 است.)

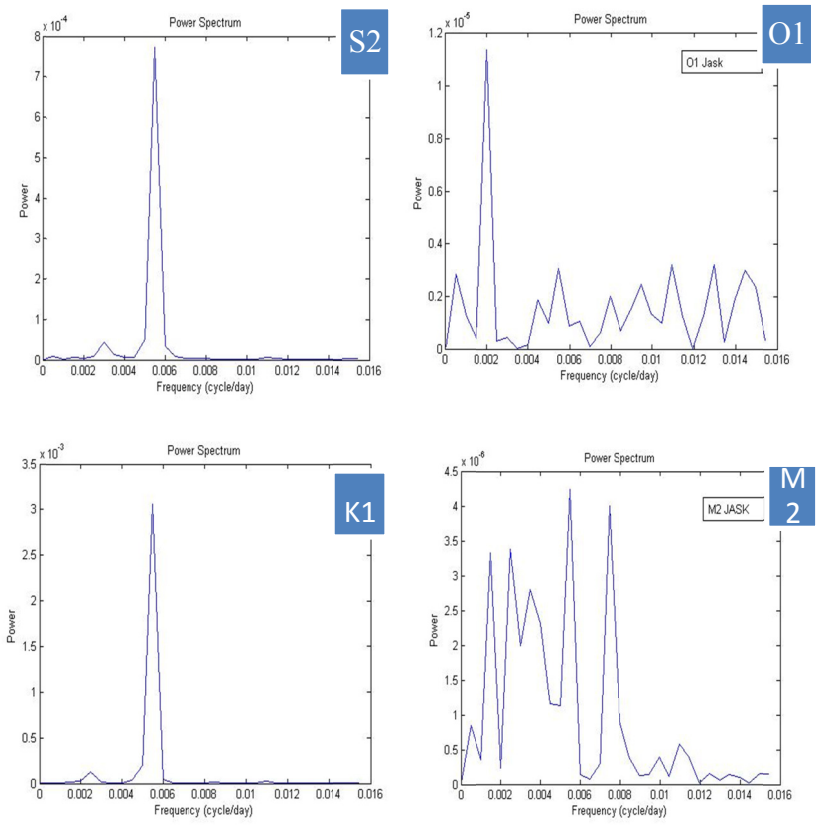
جدول ۵. مقایسهٔ آماری دامنهٔ مؤلفه‌های جزرومدی ایستگاه بوشهر و میزان تغییرات آن‌ها

مؤلفهٔ جزرومدی	بیشترین	کمترین	متوسط	دامنهٔ 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

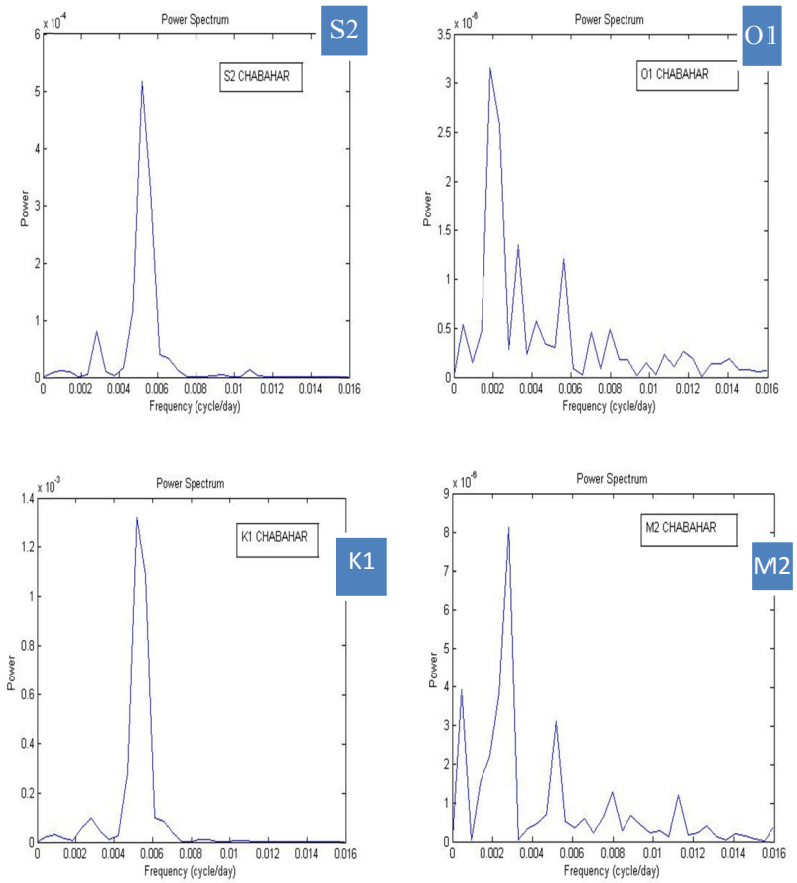
با استفاده از آنالیز طیفی بر روی سری زمانی حاصل از تحلیل جزرومدی ماهیانهٔ مؤلفه های اصلی جزرومدی، پریودهای نیم سالیانه و سالیانه مشخص شد؛ البته در مؤلفهٔ جزرومدی O_1 نیز یک پریود چهارماهه مشاهده گردید (شکل‌های ۶ تا۸).



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



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



شکل۸ نمایش Power Spectrum سری زمانی دامنهٔ مؤلفه‌های چابهار ۲۰۱۴-۲۰۰۷

۵. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این تحقیق، بیشترین تغییر دامنهٔ مؤلفهٔ جزرومدی در حد ۳۰ سانتی‌متر مربوط به مؤلفهٔ K_1 برای سه بندر چابهار و جاسک و بوشهر مشخص شد. برای سایر مؤلفه‌ها نظیر S_2، O_1 و M_2 به‌ترتیب مقادیر تغییرات ماهانه در حدود ۱۸، ۱۱ و ۹ سانتی‌متر به دست آمده است. مؤلفهٔ M_2 بیشترین مقدار دامنه را در بین مؤلفه های جزرومدی به میزان ۷۲ سانتی‌متر دارد. تغییرات فصلی در دامنهٔ مؤلفهٔ M_2 نشانگر آن است که در فصل زمستان دامنهٔ آن بیشترین مقدار است و با تغییر در فصول گرم کاهش پیدا کرده است. با توجه به ضریب فرم فاکتور که برای جاسک ۰/۶۳۶۹۱۱ و برای چابهار ۰/۶۶۰۳۱۵ و برای بوشهر ۱/۰۸ است، جزرومد غالب در جاسک و چابهار و بوشهراز نوع آمیخته نیم روزانه است. با استفاده از آنالیز طیفی بر روی سری زمانی حاصل از آنالیز جزرومدی ماهیانهٔ مؤلفه های اصلی جزرومدی بوشهر، پریودهای نیم‌سالیانه و سالیانه مشخص شده است؛ البته در مؤلفهٔ O_1 نیز یک پریود چهارماهه مشاهده گردیده است. نتایج همچنین نشان می‌دهد در رابطه با تغییرات مکانی مؤلفه‌های جزرومدی، حرکت بر روی یک نصف‌النهار از بالا به پایین مقادیر دامنه ها متفاوت می‌شود، اما فاز بین آن ها تغییری نمی کند؛ اما اگر بر روی یک مدار حرکت شود آنگاه مقادیر دامنه ها تقریباً ثابت بوده اما فاز آن‌ها تغییر می کند.

مراجع

[1] Agnew DC. Earth Tides. Herring T, editor. In: Treatise on Geophysics: Geodesy. New York: Elsevier; 2007. p.163-95.

[2] Vanícek P, Krakiwsky EJ. Geodesy: the concepts. 2nd ed. North Holland, Amsterdam: Elsevier science; 1986.

[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 درتعیین MSL بااستفاده ازمشاهدات ارتفاع سنجی ماهواره ای [پایان نامه]. تهران: 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 تایدگیج برای تعیین نقشه‌های هم دامنه و هم فاز جزرومدی در منطقه خلیج فارس و دریای عمان [پایان نامه]. تهران: دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال؛ ۱۳۹۱.

[۱۰] ترابی مسعود. آنالیز طیفی نقطه‌ای مشاهدات ماهواره ارتفاع سنج T/P به منظور مدلسازی سطح متوسط دریا [پایان نامه]. تهران: 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. Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay; 1977.

[17] Foreman M. Manual for tidal currents analysis and prediction. Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay; 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 تایدگیج‌های ساحلی. ارائه شده در: همایش سازمان نقشه برداری؛ ۱۳۹۴ اردیبهشت ۲۷-۲۹؛ تهران، ایران.

[۲۰] پیروزنیا محمود . بررسی تغییرات زمانی تکتونیکی دریای خزر با استفاده از ماهواره‌های ارتفاع سنجی و تاید گیج های ساحلی [پایان نامه]. تهران: دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال؛ ۱۳۹۳.

[۲۱] حسینی سیده صدیقه. آنالیز داده‌های تاید گیج و GPSبرای تعیین سطح متوسط دریا در منطقه نای آلساند نروژ. ارائه شده در:همایش ژئوماتیک؛ ۱۳۸۶؛ تهران، ایران.

[22] Toorian MJ. Tidal Analysis in Persian Gulf and Oman Sea using TOPEX/Poseidonand Coastal Tide Gauges [disseration]. Tehran: Univ. Tehran; 2006.

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

پی‌نوشت

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