

## بررسی میزان حساسیت نرم افزار جزرومدی IOS به طول دوره آماری و نقص در داده های ورودی سطح آب

سید علی آزرمتسا، علی رضا مجتهدی  
دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس  
sazarmsa@yahoo.com  
(دریافت: ۸۲/۱۲/۱۶؛ پذیرش: ۸۳/۸/۲۷)

### چکیده

مطالعه و شناخت دقیق جزرومد، به دلیل تأثیری که در حل مسائل ناوبری دریایی، شیلات، مدیریت بنادر و... دارد، موضوعی دارای اهمیت است. یکی از روش های بررسی جزرومد، آنالیز هارمونیک جزرومد است. آنالیز هارمونیک جزرومد بر اساس سری فوریه انجام می شود و یکی از بهترین روش ها برای پردازش آن استفاده از روش حداقل مربعات است. یکی از نرم افزارهای جزرومدی که بر اساس این روش عمل می کند، نرم افزار IOS است.

به دلیل هزینه بر بودن و زمان بری ثبت تغییرات تراز آب و عدم وجود داده های مشاهده ای کافی در بسیاری از مناطق دریایی به ویژه در کشور ما و همچنین وجود نقصان در بسیاری از داده های ثبت شده، تعیین تأثیر طول دوره آماری داده های جزرومدی و نیز نقص در داده های جزرومدی بر صحت نتایج آنالیز و پیش بینی های جزرومدی ضروری است. هدف ما در این مقاله، تعیین میزان دقت و صحت آنالیزها و پیش بینی های جزرومدی در منطقه دریایی بوشهر است که با داده های محدود صورت می گیرد و برای این منظور از نرم افزار جزرومدی IOS استفاده می شود.

به این منظور، داده های ساعت به ساعت پنج ایستگاه مختلف با دوره های آماری متفاوت از ۱۳ ساعت تا ۳۰ روز، به عنوان ورودی های نرم افزار IOS مورد استفاده قرار گرفته است. سپس، با انجام آنالیز حساسیت و با مقایسه نتایج حاصل از پیش بینی های جزرومدی در هر حالت با داده های مشاهده ای، در مورد صحت و دقت اطلاعات خروجی نتیجه گیری شده است.

همچنین، با توجه به این که گاهی اوقات در چند ساعت از یک روز، داده مشاهده ای وجود ندارد و یا در برخی روزها، ممکن است قرائت جزرومدی وجود نداشته باشد، تأثیر نقص در داده ها بر نتایج این نرم افزار مورد بررسی قرار می گیرد.

**واژه های کلیدی:** جزرومد، سری فوریه، آنالیز کمترین مربعات، ایران، بوشهر.

## ۱- مقدمه

صعود و نزول دوره‌ای سطح اقیانوس‌ها و دریاها، متأثر از ماه و در محدوده‌ای کوچک‌تر ناشی از خورشید و سایر اجرام آسمانی، جزرومد اقیانوسی نامیده می‌شود. یکی از روش‌های تحلیل جزرومد، روش آنالیز هارمونیک جزرومد است که بر این اصل استوار است که با استفاده از سری فوری می‌توان معادله‌ای به صورت:

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

برای هر تابع قطعه به قطعه پیوسته نوشت. با توجه به خصلت نسبتاً پریودیک تغییرات سطح آب در جزرومد، تراز سطح آب در جزرومد یک محل می‌تواند به صورت یک سری زمانی شامل  $N$  مؤلفه‌ی کسینوسی در نظر گرفته شود. فرکانس‌های این ترکیب جزرومدی ( $\sigma_j$ )، با توجه به حرکت‌های ماه و خورشید قابل محاسبه و لذا معلوم است و بنابراین مجهولات ترکیب  $A_j$  و  $\phi_j$  هستند.

فرکانس‌های مؤلفه‌های ترکیب جزرومدی ( $\sigma_j$ )، با علائم اختصاری متفاوتی نام‌گذاری می‌شوند (مانند  $M 2$  و  $S 2$  و  $K 1$  و ...). مثلاً مؤلفه‌ی  $M 2$ ، مؤلفه‌ای است که دوره‌ی تناوب آن برابر با دوره‌ی تناوب ماه است اگر در صفحه‌ای تخت به دور استوای زمین در مداری کاملاً دایره‌ای بچرخد و یا  $S 2$  برابر با دوره‌ی تناوب خورشید با شرایط ذکر شده در بالا است. همان‌گونه که گفته شد برای آنالیز هارمونیک جزرومد ابتدا باید فرکانس مؤلفه‌های نیروی مولد جزرومد را به دست آورد. دادسون (Doodson, 1921) با استفاده از داده‌های نجومی، به بسط تئوری پتانسیل جزرومدی پرداخت و دوره‌ی تناوب و فرکانس مؤلفه‌های مولد جزرومد را حساب کرد. این نتایج با اصلاحاتی هم‌چنان به کار می‌رود.

برای پردازش معادله‌ی (۱) روشهای مختلفی وجود دارد یکی از این روشها، استفاده از تکنیک آنالیز حداقل مربعات است که گودین (Godin, 1972, 1991) با ارائه مقالات متعدد به توضیح چگونگی استفاده از این تکنیک در آنالیز و پیش‌بینی جزرومد پرداخت، با استفاده از نتایج مقالات بالافورمن (Foreman, 1977, 1978; Foreman et al., 1995) برنامه‌هایی کامپیوتری به زبان فرترن ۷۷ (FORTRAN77) برای آنالیز و پیش‌بینی تغییرات سطح آب ناشی از جزرومد و نیز جریانات جزرومدی نوشت، که بعدها در چند مرحله اصلاحاتی را در آن انجام داد.

از این برنامه‌ها اکنون به عنوان نرم‌افزار استاندارد جزرومدی در مؤسسه اقیانوس‌شناسی و شیلات کانادا استفاده می‌شود.

پاولویچ و همکاران (Pawlowicz *et al.*, 2002) نیز همین برنامه را برای استفاده ساده‌تر مجدداً در متلب (MATLAB) بازنویسی کرده و موارد دیگری چون برآورد خطا را نیز به آن افزودند.

مشخصات جزرومدی از نقطه‌ای به نقطه دیگر تغییر می‌کند و لذا برای انجام تحلیلهای جزرومدی با دقت کافی، اندازه‌گیری و ثبت داده‌ها در هر منطقه مورد نیاز است. اما انجام مشاهدات جزرومدی به خصوص در دوره‌های طولانی مدت هزینه بر است. این مسئله برای کشور ما که دارای سواحل طولانی می‌باشد حادتر است. ضمناً عدم توجه به اندازه‌گیری‌های دریایی در گذشته نیز به علت افزوده و موجب عدم وجود داده‌های جزرومدی در اکثر مناطق دریایی کشور به جز در چند بندر و ناحیه مهم شده است.

بنابراین، تعیین حداقل طول دوره آماری داده‌هایی که برای انجام تحلیلهای جزرومدی بهینه با نتایج قابل قبول، ضروری است دارای اهمیت زیادی است. به این منظور، داده‌های ساعت به ساعت ۵ ایستگاه مختلف به صورت ۱۳ ساعته، ۵ روزه، ۱۰ روزه، ۱۵ روزه، ۲۰ روزه و ۳۰ روزه به نرم‌افزار IOS داده شده است. سپس، با اجرای قسمت‌های آنالیز و پیش‌بینی این نرم‌افزار، میزان صحت پیش‌بینی‌های این نرم‌افزار با توجه به طول دوره آماری داده‌های ورودی و با مقایسه با داده‌های مشاهداتی مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت. هم‌چنین، برای این که تأثیر نقص در داده‌های ورودی بر تحلیل‌های جزرومدی تعیین گردد، صفر تا ۳۰ درصد داده‌های ۳۰ روزه در هر ایستگاه جزرومدی به طور تصادفی حذف و تأثیر آن بر نتایج مشخص شد.

## ۲- مواد و روشها

در این تحقیق برای تحلیل جزرومد از نرم‌افزار IOS استفاده شده است. در این نرم‌افزار از تکنیک حداقل مربعات برای آنالیز جزرومد استفاده شده است. به این ترتیب که اگر  $\sigma_0$  فرکانس (برحسب  $cycles/h$ ) برای مؤلفه‌های انتخاب شده طبق معیار رایلی (در این مورد بعداً توضیح داده می‌شود) باشد و  $j = 1, \dots, M$  باشد، آن‌گاه مسأله‌ی اصلی ما یافتن دامنه‌های  $A_j$  و فازهای  $\phi_j$  برای تابع (۱) است، به گونه‌ای که بهترین انطباق را با مجموعه مشاهدات  $y(t_i)$  (برای  $i = 1, \dots, N$ ) داشته باشد، با این فرض که  $N \geq 2M + 1$  است، به راحتی دیده می‌شود که سیستم معادلات:

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

به سادگی حل نخواهد شد، چرا که معادله‌ای چند جوابی است و بنابراین ضرورت دارد معیاری برای یافتن مقادیر بهینه‌ی یکتا برای پارامترهای  $A_j$  و  $\phi_j$  پیدا شود. برای این کار رابطه‌ی (۲) به صورت:

$$\sum_{j=1}^M [C_j \cos(2\pi\sigma_j t_i) + S_j \sin(2\pi\sigma_j t_i)] \quad (3)$$

بیان می‌شود طوری که در آن:

$$A_j = (C_j^2 + S_j^2) \quad (4)$$

$$2\pi\phi_j = \arctan \frac{S_j}{C_j} \quad (5)$$

خواهد بود. بنابراین تابع (۳) نسبت به پارامترهای  $C_j$  و  $S_j$  خطی می‌شود و مقادیر این پارامترها ساده‌تر به دست می‌آید. با دوباره نوشتن  $y(t_i)$  به صورت  $y_i$ ، هدف تکنیک حداقل مربعات می‌نیمم کردن (min) عبارت زیر است:

$$T = \sum_{i=1}^M \left[ y_i - C_0 - \sum_{j=1}^M (C_j \cos(2\pi\sigma_j t_i) + S_j \sin(2\pi\sigma_j t_i)) \right]^2 \quad (6)$$

که با تغییراتی ماتریسی به صورت زیر به دست خواهد آمد:

$$\begin{pmatrix} N & C_1 & C_2 & \dots & C_M & S_1 & S_2 & \dots & S_M \\ C_1 & CC_{11} & CC_{12} & \dots & CC_{1M} & CS_{11} & CS_{12} & \dots & CS_{1M} \\ C_2 & CC_{21} & CC_{22} & \dots & CC_{2M} & CS_{21} & CS_{22} & \dots & CS_{2M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_M & CC_{M1} & CC_{M2} & \dots & CC_{MM} & CS_{M1} & CS_{M2} & \dots & CS_{MM} \\ S_1 & SC_{11} & SC_{12} & \dots & SC_{1M} & SS_{11} & SS_{12} & \dots & SS_{1M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ S_M & SC_{M1} & SC_{M2} & \dots & SC_{MM} & SS_{M1} & SS_{M2} & \dots & SS_{MM} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_M \\ S_1 \\ \vdots \\ S_M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^N y_i \\ \sum_{i=1}^N y_i \cos 2\pi\sigma_1 t_i \\ \sum_{i=1}^N y_i \cos 2\pi\sigma_2 t_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^N y_i \cos 2\pi\sigma_M t_i \\ \sum_{i=1}^N y_i \sin 2\pi\sigma_1 t_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^N y_i \sin 2\pi\sigma_M t_i \end{pmatrix} \quad (7)$$

که در آن:

$$C_k = \sum_{i=1}^N \cos 2\pi\sigma_k t_i \quad (8)$$

$$S_k = \sum_{i=1}^N \sin 2\pi\sigma_k t_i \quad (9)$$

$$CC_{kj} = \sum_{i=1}^N (\cos 2\pi\sigma_k t_i)(\cos 2\pi\sigma_j t_i) = CC_{jk} \quad (10)$$

$$SS_{kj} = \sum_{i=1}^N (\sin 2\pi\sigma_k t_i)(\sin 2\pi\sigma_j t_i) = SS_{jk} \quad (11)$$

که به این ترتیب می توان  $C_j$  و  $S_j$  را به دست آورده و با آن ها دامنه و فاز را به دست آورد. معیار رایلی: از این معیار به قصد پاسخ به این سؤال استفاده می شود که آیا یک مؤلفه با فرکانسی نظیر  $F_0$  شامل آنالیز می شود یا خیر. اگر  $F_1$  فرکانس مؤلفه ای باشد که قبلاً تحت آنالیز واقع شده باشد و  $T$  زمان پیشنهادی برای آنالیز باشد، آن گاه فقط مؤلفه هایی شامل آنالیز می شوند که در شرط

$$|F_0 - F_1|T \geq RAY \quad (12)$$

صدق کنند. مقدار RAY عموماً ۱ است.

به‌عنوان مثال مؤلفه‌ی اصلی روزانه K 1 با فرکانس  $0.418 \text{ cph}$  (دور در ساعت) می‌تواند با ثبت‌های طولانی‌تر از ۲۴ ساعت تعیین شود، لذا برای جداسازی مؤلفه‌ی O 1 با فرکانس  $0.378 \text{ cph}$ ، از مؤلفه‌ی اصلی K 1 محتاج ثبته‌ی برابر

$$T \left\langle \frac{1}{|f(K_1) - f(O_1)|} \right\rangle = 328h \text{ خواهیم بود.}$$

برای پیش‌بینی ارتفاع جزرومدی  $h(t)$  در یک ایستگاه منحصربه‌فرد نیز از فرمول زیر استفاده شده است:

$$h(t) = \sum_{j=1}^m f_j(t) A_j \cos[2\pi(V_j(t) + u_j(t) - g_j)] \quad (13)$$

که در آن  $A_j$  و  $g_j$  دامنه و تأخیر فاز مؤلفه‌ی  $j$ ام و  $f_j(t)$  و  $u_j(t)$  دامنه نوسانی گرهی و فاز تصحیح شده مؤلفه‌ی مذکور و  $V_j(t)$  آرگومان نجومی مؤلفه است.

در این تحقیق، برای انجام تحلیل‌های جزرومدی موردنظر، ۵ ایستگاه مذکور در زیر در منطقه‌ی دریایی بوشهر انتخاب می‌گردد:

بوشهر با مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه‌ی شرقی و ۲۸ درجه و ۵۹ دقیقه‌ی شمالی،

ریگ با مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه‌ی شرقی و ۲۹ درجه و ۳۹ دقیقه‌ی شمالی،  
گناوه با مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۱ دقیقه‌ی شرقی و ۲۹ درجه و ۳۴ دقیقه‌ی شمالی،  
خارک با مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۰ دقیقه‌ی شرقی و ۲۹ درجه و ۱۶ دقیقه‌ی شمالی،  
امام‌حسن با مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۵ دقیقه‌ی شرقی و ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه‌ی شمالی.

برای اجرای برنامه‌ی آنالیز در بسته‌ی نرم‌افزاری IOS داده‌های ساعت به ساعت سطح آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. دیگر داده‌های ورودی برای اجرای برنامه آنالیز عبارت‌اند از: طول و عرض جغرافیایی هر ایستگاه، ساعت، روز، ماه، سال و قرن شروع و پایان داده‌ها. در صورت تمایل مؤلفه‌هایی که با ملاک رایلی تعیین نمی‌شوند، با استنتاج از مؤلفه‌های منطقه‌ی مجاور محاسبه می‌گردند. نقص در داده‌ها نیز توسط نرم‌افزار قابل پذیرش است.

داده‌های استفاده شده در آنالیز عبارت‌اند از داده‌های ساعت به ساعت سطح آب، که در جدول ۱ ارائه گردیده‌اند:

جدول ۱- زمان ابتدا و انتهای داده‌های مورد استفاده در آنالیز

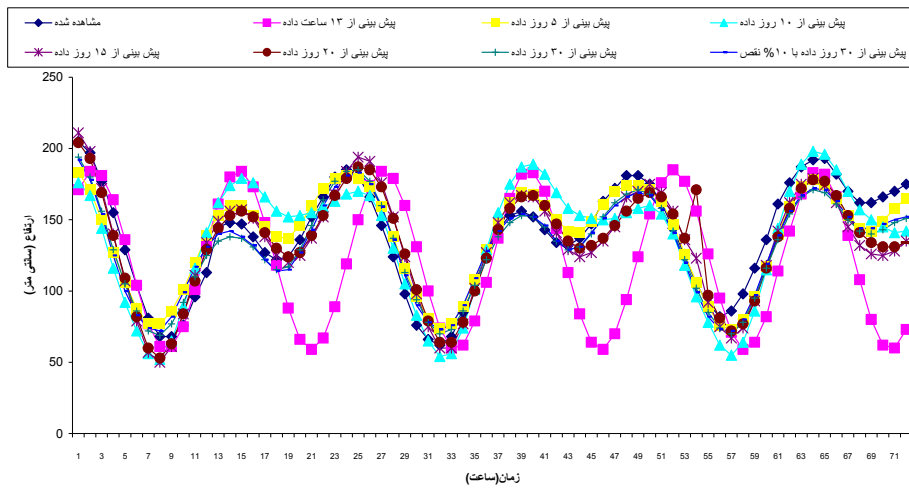
نام ایستگاه	ساعت ابتدای داده‌ها	تاریخ ابتدای داده‌ها	ساعت انتهای داده‌ها	تاریخ انتهای داده‌ها
بوشهر	۱	۲۰۰۱/۱/۱	۲۴	۲۰۰۱/۱/۳۱
گناوه	۱۶	۱۹۹۹/۷/۳۱	۱۵	۱۹۹۹/۸/۳۰
خارک	۱۶	۲۰۰۱/۱/۱	۲۴	۲۰۰۱/۲/۱
ریگ	۱۷	۱۹۹۹/۷/۲۹	۱۵	۱۹۹۹/۸/۲۹
امام حسن	۱	۱۹۹۹/۱/۱	۲۴	۱۹۹۹/۱/۲۰

### ۳- نتایج و بحث

برای تعیین میزان حساسیت بسته‌ی نرم‌افزاری IOS به طول دوره آماری داده‌ها، ابتدا داده‌های ساعت‌به‌ساعت تراز آب دریا مذکور در جدول ۱ به صورت ۱۳ ساعته (۱۳ ساعت حداقل زمانی است که با داشتن داده‌های آن عمل آنالیز در این نرم‌افزار، البته با خطای زیاد، صورت می‌گیرد) ۵ روزه، ۱۰ روزه، ۱۵ روزه، ۲۰ روزه و ۳۰ روزه به عنوان ورودی به برنامه‌ی آنالیز جزرومدی وارد می‌شوند. لازم به ذکر است که در مورد ایستگاه امام حسن با توجه به عدم وجود داده‌های مشاهداتی کافی در تحلیل‌ها حداکثر از داده‌های ۲۰ روزه استفاده شده است. به این ترتیب طبق معیار رایلی دامنه و فاز  $Z_0$  و یک مؤلفه دیگر برای داده‌های ۱۳ ساعته، ۸ مؤلفه دیگر برای داده‌های ۵ روزه، ۹ مؤلفه دیگر برای داده‌های ۱۰ روزه، ۱۷ مؤلفه دیگر برای داده‌های ۱۵ روزه و ۲۰ روزه و ۲۹ مؤلفه دیگر برای داده‌های ۳۰ روزه به عنوان خروجی محاسبه می‌شوند. سپس، این خروجی‌ها به‌عنوان ورودی به برنامه‌ی پیش‌بینی جزرومد در نرم‌افزار IOS وارد شده و در تمامی ایستگاه‌های فوق‌الذکر در ۷۲ ساعت اول تاریخ‌های ذکر شده در جدول ۱ نتایج حاصل از پیش‌بینی‌های جزرومدی استخراج و با داده‌های مشاهداتی در همان زمان مقایسه می‌گردند.

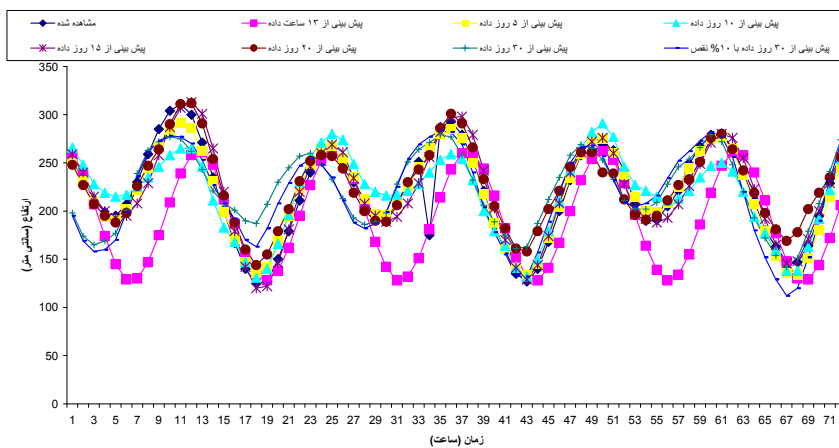
هم‌چنین برای این‌که تأثیر نقص در داده‌ها بررسی شود، برای تمامی موارد پس از آنالیز ۳۰ روزه، ۱۰ درصد از داده‌ها به صورت تصادفی حذف می‌شود. سپس دامنه و فاز مؤلفه‌ها با توجه به این نقص‌ها محاسبه می‌گردد. نتایج حاصل در نمودارهای ۱ تا ۵ ارائه شده‌اند.

### بوشهر



نمودار ۱- نمودار داده‌های اصلی و نیز پیش‌بینی‌های انجام شده در بوشهر.

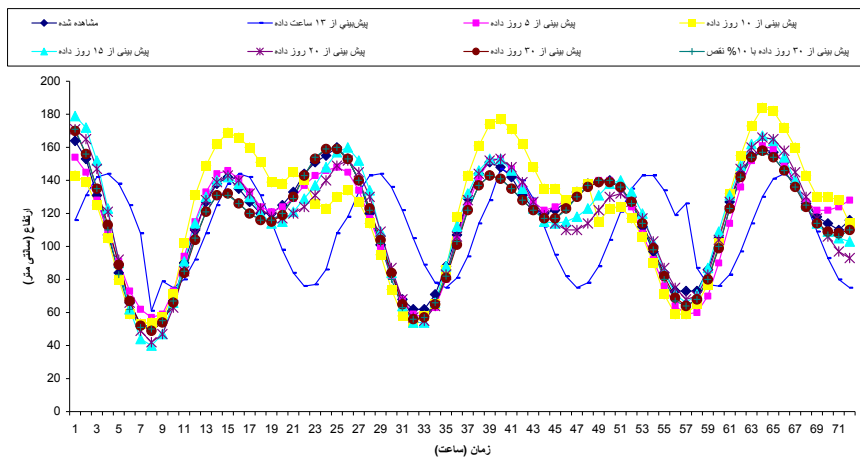
### گناوه



نمودار ۲- نمودار داده‌های اصلی و نیز پیش‌بینی‌های انجام شده در گناوه.

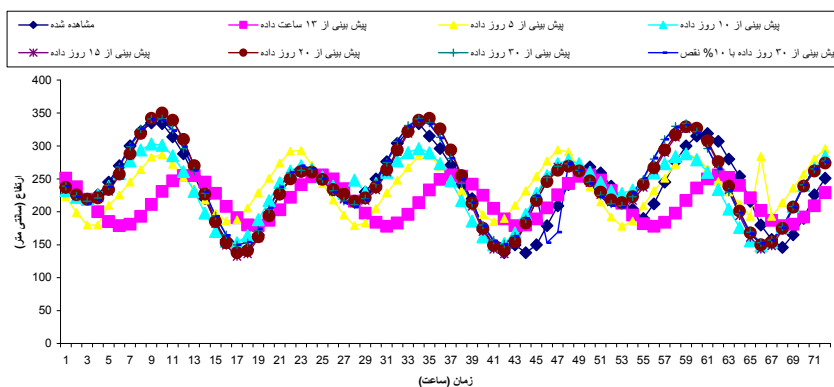


### خارک

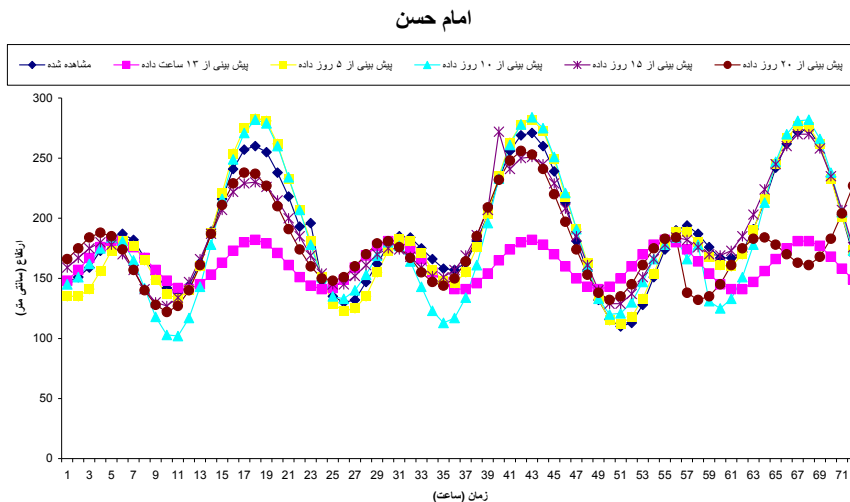


نمودار ۳- نمودار داده‌های اصلی و نیز پیش‌بینی‌های انجام شده در خارک.

### ریگ



نمودار ۴- نمودار داده‌های اصلی و نیز پیش‌بینی‌های انجام شده در ریگ.



نمودار ۵- نمودار داده‌های اصلی و نیز پیش‌بینی‌های انجام شده در امام حسن.

سپس درصد خطای پیش‌بینی‌های ناشی از هر آنالیز با استفاده از فرمول (۱۳)

$$\varepsilon = \left( \frac{\sum (F_{measured} - F_{calculated})^2}{\sum (F_{measured})^2} \right)^{0.5} \quad (13)$$

محاسبه می‌گردد. خلاصه‌ی نتایج حاصله در جدول ۲ ارائه شده است:

جدول ۲- خلاصه درصد خطاها در پیش‌بینی تراز آب

تعداد روز	۱۳ ساعت	۵ روز	۱۰ روز	۱۵ روز	۲۰ روز	۳۰ روز
<b>ایستگاه</b>						
بوشهر	۳۳/۷٪	۱۷/۰٪	۱۵/۰٪	۱۲/۵٪	۱۲/۴٪	۹/۵٪
خارک	۲۸/۹٪	۱۵/۵٪	۱۴/۰٪	۶/۶٪	۷/۵٪	۳/۸٪
گناوه	۲۱/۰٪	۱۲/۱٪	۱۱/۲٪	۱۰/۱٪	۹/۱٪	۷/۶٪
ریگ	۲۲/۲٪	۱۹/۵٪	۱۳/۸٪	۱۱/۰٪	۱۰/۷٪	۹/۸٪
امام حسن	۲۳/۵٪	۱۰/۸٪	۹/۸٪	۷/۶٪	۷/۰٪	

همانگونه که ملاحظه می‌شود در ایستگاه خارک، علیرغم افزایش طول دوره آماری از ۱۵ روز به ۲۰ روز، درصد خطا از ۶/۶٪ به ۷/۵٪ افزایش یافته است. به عبارت دیگر، در این مورد با وجود زیادتر شدن داده‌ها دقت در پیش‌بینی کاهش یافته است. در واقع این امر ربطی به طول دوره آماری داده‌ها نداشته و علت واقعی، مربوط به اختلالات ناشی از نامساعد بودن شرایط جوی نظیر وجود بادهای و طوفان‌ها و نوسانات فشار جوی به هنگام ثبت داده‌ها و تأثیر آنها بر تغییر تراز آب است. به همین دلیل و با توجه به نظم بالای تغییرات جزر و مدی در یک نقطه خاص و عدم تغییرات قابل توجه مشخصه‌های جزر و مدی با زمان در دوره‌های کوتاه مدت، ضروری است تا اندازه‌گیری‌های جزر و مدی انجام شده در شرایط مطلوب جوی مبنای تحلیل‌ها قرار گیرد و با ثبت و استفاده از اطلاعات تکمیلی در مورد شرایط جوی و ... و انجام تحلیل‌های مرتبط، تأثیر شرایط جوی تا حد ممکن مشخص و فیلتر شود. برای اصلاح خطای حاصل از این اختلالات به جای استفاده از مقادیر مذکور در جدول ۲ با میانگین‌گیری از نتایج قابل اعتمادتر ارائه شده در جدول ۳ استفاده می‌شود.

جدول ۳ - میانگین درصد خطاهای پیش‌بینی تراز آب در ایستگاهها

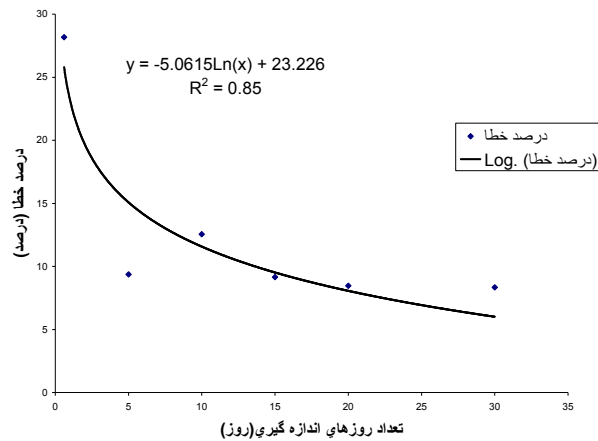
تعداد روزها	۱۳ ساعت	۵ روز	۱۰ روز	۱۵ روز	۲۰ روز	۳۰ روز
درصد خطا	۲۵/۹٪	۱۵/۰٪	۱۲/۸٪	۹/۶٪	۹/۳٪	۷/۷٪

نمودار ۶ نشان دهنده نحوه تغییرات درصد خطای حاصل از پیش‌بینی‌ها نسبت به طول دوره آماری داده‌ها است. با استفاده از روش کمترین مربعات بهترین منحنی قابل پردازش بر این داده‌ها نیز تعیین شده و منحنی نتیجه شده در نمودار ۶ نشان داده شده است. در ضمن ضریب همبستگی توانی درصد خطاهای پیش‌بینی تراز آب نسبت به طول دوره آماری داده‌ها نیز در نمودار ۶ ارائه شده است. در ضمن برای آن که دقت نرم‌افزار برای محاسبه‌ی زمان مد یا جزر مشخص شود با استفاده از رابطه‌ی ۱۴ درصد خطا برای زمان‌های مد یا جزر مطابق جدول ۴ محاسبه می‌گردد.

$$RE_{QP} = \left| \frac{Q_{PO} - Q_{PE}}{Q_{PO}} \right| \quad (14)$$

در رابطه‌ی ۱۴،  $Q_{PO}$  زمان مد یا جزر مشاهده شده و  $Q_{PE}$  مقدار نظیر برآورد شده توسط نرم‌افزار می‌باشد.

نمودار درصد خطا بر حسب روزهای اندازه گیری

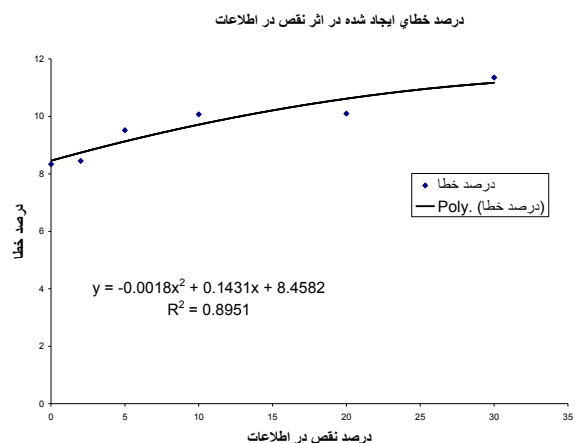


نمودار ۶- نحوه تغییر درصد خطای پیش بینی تراز آب نسبت به افزایش طول دوره آماری داده ها و ضریب همبستگی آنها.

جدول ۴- درصد خطای زمان وقوع مد یا جزر

تعداد روزها	۱۳ ساعت	۵ روز	۱۰ روز	۱۵ روز	۲۰ روز	۳۰ روز	۳۰ روز با ۱۰٪ نقص
درصد خطا	۲۱/۲	۴/۸	۳/۲	۲/۵	۲/۳	۱/۹	۲/۲
%							

نتایج ارائه شده در جدول ۴ بیانگر آن است که، دقت نرم افزار در مورد پیش بینی زمان وقوع مد یا جزر، بیش از دقت آن در مورد پیش بینی تراز آب است. همان گونه که دیده می شود با زیاد شدن طول دوره آماری داده ها، به طور میانگین مقدار دقت پیش بینی زمان وقوع مد یا جزر در نرم افزار افزایش می یابد. در انتها برای این که تأثیر نقص در داده ها بیشتر مشخص گردد، برای تمامی موارد پس از آنالیز ۳۰ روزه، ۰٪ تا ۳۰٪ درصد از داده ها به صورت تصادفی حذف می شود. سپس خطای حاصل در هر مورد و برای هر ایستگاه با استفاده از فرمول (۱۳) محاسبه می گردد. نهایتاً با تجزیه و تحلیل مقادیر به دست آمده برای ایستگاه ها به ازای هر درصد نقص در اطلاعات و متوسط گیری از این مقادیر، خطای متوسط ناشی از هر درصد نقص تعیین می شود. نتایج حاصل در نمودار ۷ ارائه شده اند.



نمودار ۷- نحوه تغییر درصد خطای پیش‌بینی تراز آب نسبت به افزایش نقص در دوره آماری ۳۰ روزه داده‌ها و ضریب همبستگی آنها

#### ۴- نتیجه‌گیری

دقت پیش‌بینی‌های جزر و مدی انجام شده براساس داده‌های مشاهده‌ی جزرومدی ۱۵ روزه نسبت به نتایج مبتنی بر اطلاعات ۲۰ و ۳۰ روزه تفاوت چندانی ندارد. بنابراین در موارد اضطراری می‌توان از ۱۵ روز داده‌های مشاهده‌ی نیز برای پیش‌بینی‌های جزر و مدی استفاده کرد. در شرایط مساعد جوی، طولانی‌تر شدن دوره آماری داده‌ها به افزایش دقت در پیش‌بینی تراز آب و زمان وقوع جزرومد منتهی می‌شود.

نقص ۲ تا ۳۰ درصدی در دوره آماری ۳۰ روزه به ترتیب از ۰/۱۲ درصد تا ۲/۹۸ درصد از دقت پیش‌بینی‌ها می‌کاهد.

اندازه‌گیری‌های جزر و مدی باید در شرایط مطلوب جوی صورت پذیرد. ضمناً با ثبت هم‌زمان اطلاعات جوی و انجام تحلیل‌های مربوط تأثیر عوامل جوی بر تغییرات تراز آب حذف گردد تا داده‌های مورد استفاده در پیش‌بینی از دقت بالاتری برخوردار و نتایج پیش‌بینی نیز قابل اعتمادتر گردند.

#### ۵- قدردانی

از مسئولین سازمان نقشه برداری کشور به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های مورد استفاده تشکر می‌گردد.

## References

- Doodson, A.T. (1921) *The harmonic development of the tide-generating potential*, Proc. Roy. Soc., **227**, 223-279.
- Foreman, M.G.G. (1977) *Manual for tidal heights analysis and prediction*, Pacific Marine Science Report 77-10, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, BC, 97pp.
- Foreman, M.G.G. (1978) *Manual for tidal currents analysis and prediction*. Pacific Marine Science Report 78-6, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, BC, 57pp.
- Foreman, M.G.G., Crawford, W.R., and Marsden, R.F. (1995) *De-tiding: theory and practice*. In: Lynch, D.R., Davies, A.M. (Eds.), Quantitative Skill Assessment for Coastal Ocean Models. Coastal and Estuarine Studies, American Geophysical Union, **47**, 203–239.
- Godin, G. (1972) *The analysis of tides*, university of Toronto press, 264pp.
- Godin, G. (1991) *The analysis of tides and currents*. In: B.B Parker, Editor, *Tidal Hydrodynamics*, Wiley, New York, pp. 675–709.
- Pawlowicz, R., B. Beardsley and S. Lentz (2002) *Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T-TIDE*, computers and Geosciences, **28(8)**, 929-937.