Archive of SID

ارزیابی و مقایسه روش‌های نیمه‌تجربی و عددی در پیش‌بینی مشخصات امواج بنادر امیرآباد و بوشهر

فاطمه چگینی[۱]، وحید چگینی[۲]، سهیلا تائبی[۳]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران- آب، دانشگاه تهران
۲- دکتری مهندسی ساحل، عضو هیأت علمی مرکز ملی اقیانوس شناسی
۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، عضو هیأت علمی مرکز ملی اقیانوس شناسی

چکیده

در این مقاله دقت روش‌های نیمه‌تجربی و عددی در پیش‌بینی مشخصات امواج ناشی از باد در بنادر امیرآباد و بوشهر مورد مطالعه، ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. در ابتدا مشخصات امواج با استفاده از داده‌های باد ایستگاه‌های همدیدی بابلسر و بوشهر و بکارگیری روش‌های نیمه‌تجربی SMB، SPM و CEM محاسبه شده است. به علاوه، مقادیر ارتفاع و دورهٔ تناوب امواج پیش‌بینی شده با مشخصات ثبت شده توسط بویه‌های موج‌نگار امیرآباد، نکا و بوشهر مقایسه و خطاهای روش‌های نیمه‌تجربی تعیین شده است. سپس نتایج حاصل از روش‌های نیمه‌تجربی با مشخصات بدست آمده از پروژه مدلسازی امواج دریاهای ایران مقایسه شده است. مدلسازی مزبور با استفاده از داده‌های میدان باد ECMWF اصلاح‌شده و بکارگیری مدول SW نرم‌افزار MIKE21 صورت گرفته است. ارزیابی کاملتری از نتایج بدست آمده، با تحلیل حدی مقادیر ارتفاع موج پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده و محاسبه مقادیر ارتفاع موج شاخص با دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله بصورت کلی و جهتی صورت پذیرفته است.

طبق بررسی‌های انجام شده، روش SPM از بین روش‌های نیمه‌تجربی مناسب‌ترین روش برای تعیین مشخصات امواج بندر امیرآباد و روش‌های نیمه‌تجربی SMB و SPM به ترتیب مناسب‌ترین روش‌ها برای تعیین ارتفاع و دورهٔ تناوب امواج بندر بوشهر می‌باشند. مقایسه نتایج روش‌های نیمه‌تجربی و عددی نشان می‌دهند که خطای روش‌های نیمه‌تجربی در پیش‌بینی مشخصات امواج بندر امیرآباد حدود دو برابر خطای روش عددی است، در صورتی‌که مقادیر بدست آمده از روش‌های نیمه‌تجربی و عددی در بندر بوشهر اختلاف کمی داشته و با مقادیر اندازه‌گیری شده همخوانی دارند. مطالعات نشان می‌دهند که علت اصلی خطای روش‌های نیمه‌تجربی نامناسب بودن میدان باد ورودی است و پیش‌بینی می‌شود در صورت مناسب بودن آمار باد موجود در منطقه، اختلاف ارتفاع موج پیش‌بینی شده به وسیله روش‌های نیمه‌تجربی و عددی قابل قبول باشد.

کلمات کلیدی: پیش‌بینی امواج ناشی از باد، روش نیمه‌تجربی، روش عددی، تحلیل مقادیر حدی

Comparison of Empirical and Numerical Methods in the Prediction of Wave Characteristics in AmirAbad and Bushehr Ports

Abstract

In this article, the accuracy of empirical and numerical methods in prediction of wind wave characteristics in AmirAbad and Bushehr Ports have been studied, evaluated and compared. First, the wave characteristics have been calculated using Babolsar and Bushehr synoptic stations and employing empirical methods including SMB, SPM and CEM. Moreover the errors of empirical methods have been determined by comparing the predicted values of wave heights and periods with wave characteristics recorded by wave buoys of AmirAbad, Neka and Bushehr. Then the results of empirical methods have been compared with the wave characteristics obtained from Iranian Seas Wave Modeling Project. This modeling has been implemented using the modified ECMWF wind field and the SW module of MIKE21 software.

www.SID.ir

Archive of SID

A more complete assessment of the results has been carried out by extreme value analysis of the predicted and recorded wave height and calculating the significant wave height with 2~10 years return periods, totally and in dominant directions.
Results show that the SPM method is the most suitable method among the empirical models for determining the wave characteristics of AmirAbad Port and the SMB and SPM methods are more suitable for predicting the wave heights and periods in Bushehr Port, respectively. The accuracies in predicting wave parameters were found to be compatible for numerical and empirical methods in Bushehr Port and agreed with recorded characteristics. However, in comparison to numerical method, the empirical method yields to poor prediction in Amirabad Port. According to the investigations the errors of empirical methods are mainly due to unsuitable wind data and it is predicted that in the presence of reliable wind data, the results of empirical and numerical methods would be comparable.
Keywords:Wind Induced Waves, Emperical Method, Numerical Method, Extreme Value Analysis

۱- مقدمه

مشخصات امواج از جمله مهمترین پارامترهای طراحی اجزای بنادر و مطالعه و شناخت پدیده‌های مناطق ساحلی محسوب می‌شوند. منظور کردن اثرات امواج در طراحی سازه‌های ساحلی و فراساحلی مستلزم وجود آمار ثبت شدهٔ کافی در طول زمانی مناسب است، اما در نبود آمار کافی می‌توان مشخصات امواج را با استفاده از روش‌های تجربی، نیمه‌تجربی و یا عددی پیش‌بینی کرد. بدیهی است هر چه میزان دقت روش استفاده شده بیشتر باشد، طراحی مورد نظر از قطعیت بیشتری برخوردار است. به دلیل سادگی و هزینهٔ کم روش‌های نیمه‌تجربی، مهندسین مشاور و نهادهای مرتبط عموماً از این روش‌ها استفاده می‌کنند. از سوی دیگر استفاده از مدل‌های عددی برای پیش‌بینی مشخصات امواج نسبت به روش‌های نیمه‌تجربی، صرف زمان و هزینه بیشتری را ایجاب می‌کند و انتظار می‌رود که دقت این مدل‌ها نیز نسبت به هزینه صرف شده برای اجرای مدل، از روش‌های نیمه‌تجربی بیشتر باشد. در حال حاضر، مشخصات امواج ناشی از باد در دریاهای کشور با استفاده از روش‌های مختلف ذکر شده تعیین می‌شود، اما متأسفانه هنوز پژوهش جامعی برای مقایسهٔ نتایج آنها انجام نشده است. هدف از این تحقیق، ارزیابی و مقایسهٔ دقت روش‌های نیمه‌تجربی و عددی در پیش‌بینی مشخصات امواج بنادر امیرآباد و بوشهر می‌باشد.

مطالعات متعددی در خصوص ارزیابی روش‌های نیمه‌تجربی و عددی در شرایط مختلف انجام شده است. بیشاپ (۱۹۸۳) با استفاده از سه روش نیمه‌تجربی SMB، JONSWAP و Donelan، مشخصات امواج را در دریاچه انتاریو پیش‌بینی کرده و روش Donelan را به عنوان مناسب‌ترین روش معرفی کرده است. وی برای ارزیابی و مقایسه این سه روش از امواجی که دارای شرایط طول موجگاه محدود می‌باشند، استفاده کرده است [۱].

کاظمی‌نژاد و همکاران (۲۰۰۵) مشخصات امواج بدست آمده از سیستم استنباط فازی و مدل CEM را در شرایط محدودیت طول موجگاه مقایسه کرده‌اند. نتایج این محققان نشان می‌دهد که روش CEM، پارامتر ارتفاع موج را دست‌بالا و پارامتر دورهٔ تناوب موج را کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده پیش‌بینی می‌کند. آنها روابط به کار رفته در مدل CEM را علت خطای این روش دانسته‌اند [۲]. در تحقیق دیگری کاظمی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۳) با استفاده از آمار باد بویهٔ نفت خزر نکا و روش‌های نیمه‌تجربی SPM و CEM، مشخصات امواج نکا را محاسبه کرده‌اند [۳]. نتایج آنها حاکی از آن است که روش SPM برای تعیین اقلیم امواج نکا مناسب‌تر است. آنها مشخصات امواج پیش‌بینی شده را با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط بویهٔ نکا مقایسه کرده و پارامترهای آماری اریبی (Bias) و شاخص پراکندگی (SI) را برای ارتفاع امواج بزرگتر از

www.SID.ir

Archive of SID

۰/۵ متر به‌ترتیب ۰/۰۳- متر و ۵۳ درصد و برای دورهٔ تناوب موج بیش از ۳ ثانیه ۱/۱- ثانیه و ۳۶ درصد بدست آورده اند.

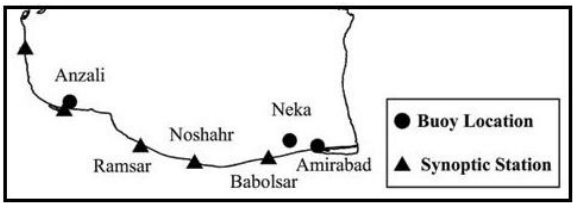
درخشان و همکاران (۱۳۸۳) مشخصات امواج منطقهٔ بوشهر را با استفاده از روش‌های تجربی مختلف پیش‌بینی کرده و نتیجه گرفته‌اند که روش SMB مناسب‌ترین روش برای تعیین ارتفاع موج و روشهای SMB و JONSWAP دارای کمترین خطا در تعیین دورهٔ تناوب موج منطقهٔ بوشهر می‌باشند [۴].

پژوهش دیگری که توسط مظاهری و دارابی‌نیا در سال ۱۳۷۷ انجام شده حاکی از بزرگی مقادیر ارتفاع بدست آمده از روش SMB در مقایسه با روش عددی می‌باشد. نتایج آنها نشان می‌دهد در شرایطی که نسبت طول به عرض پهنهٔ موجگاه زیاد نباشد، استفاده از روش SMB برای بدست آوردن مقادیر پارامترهای امواج آب عمیق مناسب است [۵].

۲ـ داده‌های میدانی

۲ـ۱ـ اطلاعات باد و موج منطقهٔ امیرآباد

در تحقیق حاضر به علت عدم وجود آمار ثبت شدهٔ باد در منطقهٔ امیرآباد، از آمار باد ایستگاه همدیدی (سینوپتیک) بابلسرکه نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقهٔ امیرآباد می‌باشد، استفاده شده است. ایستگاه همدیدی بابلسر در موقعیت جغرافیایی ۳۶/۷۲ درجه شمالی و ۵۲/۶۵ درجه شرقی واقع شده و مشخصات باد شامل جهت باد به درجه و سرعت باد به نات را در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین، در بازه‌های ۳ ساعته ثبت کرده است. ارزیابی ارتفاع و دورهٔ تناوب موج نیز با استفاده از اندازه‌گیری‌های بویه‌های امیرآباد و نکا انجام شده است. بویهٔ موج‌نگار بندر امیرآباد در عمق ۱۷ متری و در موقعیت جغرافیایی ۳۶/۹۲ درجه شمالی و ۵۳/۴۱ درجه شرقی توسط سازمان بنادر و کشتیرانی نصب گردیده و در فاصلهٔ زمانی دو تاریخ ۲۰۰۲/۲/۱۹ و ۲۰۰۳/۳/۱۹ مشخصات امواج را به صورت کاملاً ناپیوسته ثبت کرده است. گام زمانی ثبت داده‌ها ۲ ساعت می‌باشد. از آنجا که پارامتر جهت موج توسط بویه امیرآباد اندازه‌گیری نشده، از داده‌های بویهٔ نکا برای ارزیابی گلموج بدست آمده استفاده شده است. بویهٔ نکا توسط شرکت نفت خزر به مدت ۱۱ ماه در موقعیت جغرافیایی ۳۷/۱ درجه شمالی و ۵۳/۳ درجه شرقی، در عمق ۵۰ متری نصب شده است. بویهٔ نکا، ارتفاع، دورهٔ تناوب و جهت امواج را بصورت منقطع، در فاصلهٔ زمانی دو تاریخ ۱۹۹۲/۱/۱ و ۱۹۹۲/۱۱/۱ در گام زمانی ۳ ساعت ثبت کرده است. موقعیت جغرافیایی ایستگاه همدیدی بابلسر و بویه‌های نکا و امیرآباد در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱ـ موقعیت جغرافیایی منطقهٔ امیرآباد

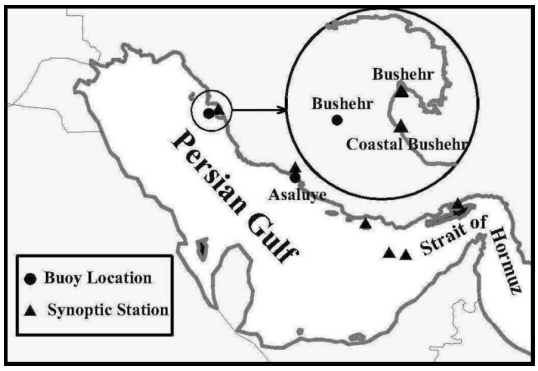
۲ـ۲ـ اطلاعات باد و موج منطقهٔ بوشهر

منطقهٔ بوشهر دارای دو ایستگاه همدیدی بوشهر و بوشهر ساحلی می‌باشد. ایستگاه همدیدی بوشهر در موقعیت جغرافیایی ۲۸/۹۸ درجهٔ شمالی و ۵۰/۸۳ درجهٔ شرقی و ایستگاه بوشهر ساحلی در موقعیت جغرافیایی ۲۸/۹۰ درجهٔ شمالی و ۵۰/۸۲ درجهٔ شرقی واقع شده‌اند. در این دو ایستگاه مشخصات باد شامل جهت باد به درجه و سرعت باد به نات در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین، در بازه‌های ۳ ساعته ثبت شده است. در این مقاله پس از هم‌تراز نمودن داده‌های باد دو ایستگاه بوشهر و بوشهر ساحلی، از میانگین باد دو ایستگاه به عنوان باد ورودی مدل‌های نیمه‌تجربی استفاده شده است. لازم به ذکر است که با وجود فاصلهٔ کم این دو ایستگاه (حدود ۸/۷ کیلومتر)، هیچ‌یک به تنهایی معرف اقلیم باد منطقهٔ نبوده و استفاده از اطلاعات باد هر یک از دو ایستگاه نتایج موج قابل قبولی را به همراه نخواهد داشت. ارزیابی ارتفاع و دورهٔ تناوب موج نیز با استفاده از داده‌های بویهٔ بوشهر انجام شده است. موقعیت ایستگاه‌های همدیدی و بویهٔ بوشهر در شکل (۲) ارایه شده است. بویهٔ بوشهر توسط سازمان هواشناسی در موقعیت جغرافیایی ۲۸/۹۱ درجهٔ شمالی

www.SID.ir

Archive of SID

و ۵۰/۷ درجهٔ غربی و عمق ۲۷ متری نصب شده و ارتفاع، دورهٔ تناوب و جهت امواج را به مدت ۲۹ ماه به صورت ناپیوسته، از تاریخ ۱۹۹۵/۲/۱ تا ۱۹۹۶/۸/۹ و ۱۹۹۹/۲/۲۷ تا ۱۹۹۹/۱۲/۳۱ ثبت کرده است.



شکل۲ـ موقعیت جغرافیایی منطقهٔ بوشهر

۳ـ روش‌های نیمه‌تجربی

۳ـ۱ـ اصلاح سرعت باد و محاسبهٔ زمان تداوم وزش باد و طول موجگاه

در روش‌های نیمه‌تجربی، ارتفاع و دورهٔ تناوب موج بر اساس سرعت باد، طول موجگاه و زمان تداوم باد محاسبه می‌شود. در این تحقیق، اصلاحات تراز اندازه‌گیری باد، پایداری و مکان اندازه‌گیری، مطابق با روش توصیه شده در کتاب راهنمای حفاظت سواحل [۶]، انجام شده است. به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی در مورد دمای آب و هوا، از ضریب اصلاحی ۱/۱ برای اصلاح پایداری باد استفاده شده است [۶]. زمان تداوم باد با استفاده از تعریف باد ثابت محاسبه گردیده است. طبق تعریف، اگر تغییرات سرعت و جهت باد در ساعات متوالی به ترتیب از ۲/۵ ± متر بر ثانیه و ۱۵ ± درجه (نسبت به میانگین) بیشتر نشود، باد مورد نظر، بادی ثابت است [۷]. طول موجگاه نیز از دو روش ذکر شده توسط مدل‌های SPM و SMB، محاسبه شده است [۶ و ۸] .

۳ـ۲ـ روابط روش‌های نیمه‌تجربی

طبق مدل‌های تجربی SMB، SPM و CEM، شرایط رشد موج به سه حالت شرایط محدودیت طول موجگاه، محدودیت زمان تداوم باد و کاملاً توسعه یافته تقسیم می‌شوند.

۳ـ۲ـ۱ـ روش SMB

مدل SMB، رابطه (۱) را جهت محاسبهٔ زمان تداوم لازم برای ایجاد حالت محدودیت طول موجگاه پیشنهاد می‌کند [۸]:

(۱)

$$\begin{cases} \dfrac{gt_{\min}}{U} = 6.5882\exp\left\{A^{0.5} + 0.8798\left(\ln\left(\dfrac{gX}{U^2}\right)\right)\right\} \\ A = 0.0161\left(\ln\left(\dfrac{gX}{U^2}\right)\right)^2 - 0.3692\left(\ln\left(\dfrac{gX}{U^2}\right)\right) + 2.2024 \end{cases}$$

در رابطه فوق، $t_{\min}$ زمان تداوم لازم برای ایجاد حالت محدودیت طول موجگاه بر حسب ثانیه، U سرعت باد برحسب متر بر ثانیه و X طول موجگاه بر حسب متر می‌باشد. روابط (۲) و (۳) برای تعیین ارتفاع و دورهٔ تناوب موج از روش SMB بکار برده می‌شوند:

$$H_s = 0.283\frac{U^2}{g}\tanh\left[0.0125\left(\frac{gX}{U^2}\right)^{0.42}\right] \qquad (۲)$$

$$T_s = 1.20\frac{2\pi U}{g}\tanh\left[0.077\left(\frac{gX}{U^2}\right)^{0.25}\right] \qquad (۳)$$

در حالتی‌که زمان تداوم واقعی باد از زمان تداوم محاسبه شده توسط رابطه (۱) کوچکتر باشد، از رابطه (۴) برای تعیین طول موثر موجگاه استفاده می‌شود.

(۴)

$$\begin{cases} X = \dfrac{U^2}{g}\exp\left(\dfrac{1.76A - 0.369 - \sqrt{0.084A^2 - 1.3A + 6.776}}{1.51}\right) \\ A = \ln t - \ln\left(6.59\dfrac{U}{g}\right) \end{cases}$$

۳ـ۲ـ۲ـ روش SPM

مدل تجربی پیش‌بینی امواج که در کتاب راهنمای حفاظت سواحل (SPM, 1984) ارائه شده است،

www.SID.ir

Archive of SID

برگرفته از روش طیفی JONSWAP می‌باشد [۶]. روش SPM، رابطه (۵) را برای محاسبه زمان تداوم لازم برای ایجاد حالت محدودیت طول موجگاه توصیه کرده است.

$$t_{\min} = 6.88 \times 10 \left(\frac{U_A}{g}\right)\left(\frac{gX}{U_A^2}\right)^{2/3} \qquad (۵)$$

در این رابطه U_A عامل (فاکتور) تنش باد بر حسب متر بر ثانیه می‌باشد و طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$U_A = 0.71U^{1.23} \qquad (۶)$$

در صورتی‌که شرایط رشد موج به وسیلهٔ طول موجگاه محدود شود، ارتفاع و دورهٔ تناوب موج از روابط (۷) و (۸) محاسبه می‌شوند.

$$H_{m_0} = 1.6 \times 10^{-3} \left(\frac{U_A^2}{g}\right)\left(\frac{gX}{U_A^2}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (۷)$$

$$T_p = 2.857 \times 10^{-1} \left(\frac{U_A}{g}\right)\left(\frac{gX}{U_A^2}\right)^{\frac{1}{3}} \qquad (۸)$$

مدل SPM برای امواج با شرایط کاملاً توسعه یافته، مقادیر بیشینه‌ای برای ارتفاع موج شاخص و دورهٔ تناوب اوجی (قله طیف) ارایه کرده است که طبق روابط (۹) و (۱۰) محاسبه می‌شوند.

$$H_{m_0} = 2.433 \times 10^{-1} \left(\frac{U_A^2}{g}\right) \qquad (۹)$$

$$T_p = 8.134 \left(\frac{U_A}{g}\right) \qquad (۱۰)$$

۳ـ۲ـ۱ـ روش CEM

جدیدترین روش پیش‌بینی امواج، روش ارائه شده در کتاب راهنمای مهندسی ساحل می‌باشد [۷]. طبق این روش، زمان تداوم حداقل برای ایجاد حالت محدودیت طول موجگاه از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود. در صورتی‌که زمان تداوم واقعی بزرگ‌تر از $t_{\min}$ باشد، طبق روابط (۱۲) و (۱۳) می‌توان ارتفاع موج شاخص و دورهٔ تناوب اوجی را بدست آورد.

$$t_{\min} = 77.23 \frac{X^{0.67}}{U_{10}^{0.34} g^{0.33}} \qquad (۱۱)$$

$$H_{m_0} = 4.13 \times 10^{-2} \left(\frac{u_*^2}{g}\right)\left(\frac{gX}{u_*^2}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (۱۲)$$

$$T_P = \frac{1}{2.727}\left(\frac{u_*}{g}\right)\left(\frac{gX}{u_*^2}\right)^{\frac{1}{3}} \qquad (۱۳)$$

در روابط فوق u_* سرعت برشی باد بر حسب متر بر ثانیه می‌باشد که از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$u_* = U_{10}\,(0.001(1.1 + 0.035\,U_{10}))^{0.5} \qquad (۱۴)$$

روش CEM برای محاسبه طول موجگاه معادل در شرایط محدودیت زمان تداوم باد رابطه (۱۵) و برای شرایط امواج کاملاً توسعه یافته، روابط (۱۶) و (۱۷) را ارایه کرده است.

$$X = 5.23 \times 10^{-3} \left(\frac{u_*^2}{g}\right)\left(\frac{gt}{u_*}\right)^{\frac{3}{2}} \qquad (۱۵)$$

$$H_{m_0} = 2.115 \times 10^{2} \left(\frac{u_*^2}{g}\right) \qquad (۱۶)$$

$$T_p = 2.398 \times 10^{2} \left(\frac{u_*}{g}\right) \qquad (۱۷)$$

۴ـ ارزیابی نتایج پیش‌بینی مشخصات امواج

۴ـ۱ـ ارزیابی مشخصات امواج پیش‌بینی شده در منطقهٔ امیرآباد

در این تحقیق، با فرض برقرار بودن شرایط آب عمیق، از فرمول‌های حاکم بر رشد امواج در آب عمیق که توسط روش‌های نیمه‌تجربی ارائه شده‌اند، استفاده گردیده است. لذا پس از تعیین مشخصات موج با استفاده از این فرمول‌ها، لازم است شرط آب عمیق کنترل شود. بدین منظور، ابتدا میانگین دوره تناوب یک سوم بلندترین امواج به‌دست آمده از روش‌های نیمه‌تجربی برابر با ۳/۶ ثانیه محاسبه شده و سپس با استفاده از این مقدار، طول موج برابر ۲۰/۲۳ متر محاسبه گردید. با توجه به واقع شدن بویه در عمق ۱۷ متری، نسبت عمق آب به طول موج برابر با ۰/۸۴

www.SID.ir

Archive of SID

به‌دست می‌آید. از آنجا که این نسبت, از مقدار عددی ۰/۵ بزرگ‌تر است، فرض حاکم بودن شرایط آب عمیق صحیح می‌باشد.

برای ارزیابی ارتفاع و دورهٔ تناوب پیش‌بینی شده توسط روش‌های نیمه‌تجربی در بندر امیرآباد از نمودارهای پراکندگی استفاده شده است. در این نمودارها که در شکل‌های (۳) تا (۵) ترسیم شده اند، مقادیر پیش‌بینی شدهٔ ارتفاع و دورهٔ تناوب امواج توسط روش‌های نیمه‌تجربی مختلف با مقادیر اندازه‌گیری شده آنها توسط بویه امیرآباد مقایسه شده است. همچنین پارامترهای آماری نیز که بیانگر دقت انطباق دو سری داده‌ها می‌باشند، محاسبه شده و در جدول (۱) ارایه شده‌اند. این پارامترها عبارتند از:

۱. اریبی $Bias = (\bar{y} - \bar{x})$

۲. ضریب‌همبستگی $CC = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$

۳. جذر متوسط مربع خطاها $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum (y_i - x_i)^2}$

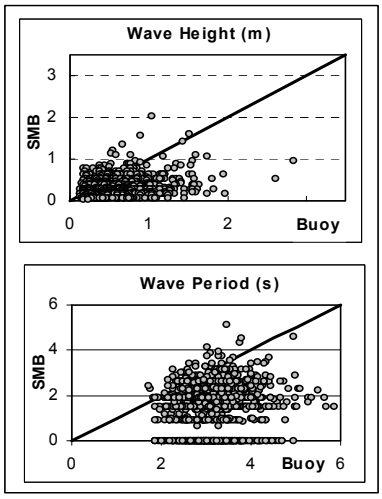
۴. ضریب پراکندگی $SI = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum ((y_i - \bar{y}) - (x_i - \bar{x}))^2}}{\overline{X}}$

در این روابط آماری، x سری آماری نتایج اندازه‌گیری، y سری آماری نتایج پیش‌بینی شده و $\bar{x}$ و $\bar{y}$ متوسط هر یک از این دو سری را نشان می‌دهد. n نیز تعداد کل داده‌ها در سری آماری می‌باشد. لازم به ذکر است که در ترسیم نمودارهای پراکندگی و محاسبه پارامترهای آماری، فقط مقادیر دورهٔ تناوب امواج متناظر با ارتفاع بیش از ۰/۵ متر در نظر گرفته شده‌اند. به دلیل آنکه روش SMB دوره تناوب موج شاخص و روشهای CEM و SPM دوره تناوب قله طیف را پیش بینی می‌کنند. جهت یکسان سازی دو پارامتر فوق، دوره تناوب موج شاخص را در عدد ثابتی ضرب کرده تا به دوره تناوب قله طیف تبدیل گردد. محققین ضرایب مختلفی را پیشنهاد کرده‌اند اما معمولاً در عمل از ضریب ۱ استفاده می شود[۹]. از آنجایی که مقادیر T_z توسط بویه اندازه گیری شده است، لذا برای مقایسه مقادیر پیش بینی شده و اندازه گیری شده از رابطه زیر استفاده شده است:

$$T_s = 1.1T_z \qquad (۱-۶)$$

شایان ذکر است که در شکلها مقادیر T_z با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

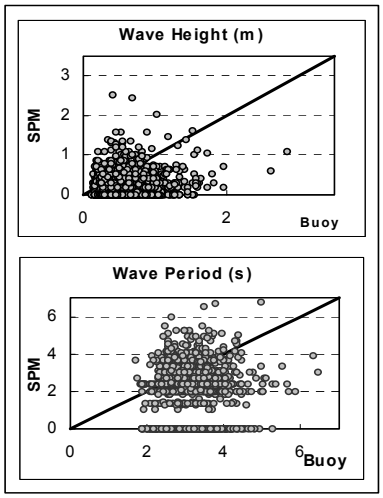
پارامترهای انحراف محاسبه شده نشان می‌دهد که تمامی روش‌های نیمه‌تجربی و طیفی به‌کار برده شده، مقادیر ارتفاع و دورهٔ تناوب موج را در بندر امیرآباد دست پایین پیش‌بینی کرده‌اند. به‌علاوه تمامی روش‌ها، دورهٔ تناوب اوجی را با خطای کمتری نسبت به ارتفاع موج شاخص پیش‌بینی کرده‌اند. با مقایسه پارامترهای آماری روش‌های مختلف مشاهده می‌شود که روش SPM در پیش‌بینی مقادیر ارتفاع و دورهٔ تناوب اوجی موج بندر امیرآباد انحراف کمتری دارد. لازم به ذکر است که نتایج بدست آمده با نتایج سایر محققان مطابقت دارد [۳ و ۱۰].



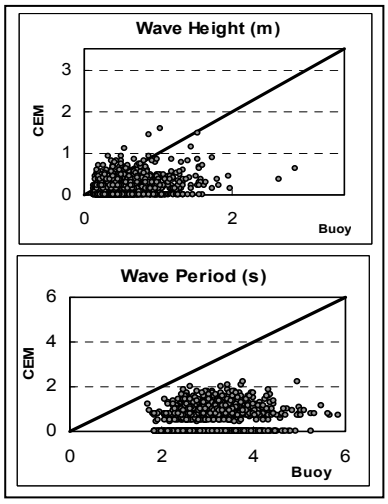
شکل ۳ـ مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده ارتفاع و دورهٔ تناوب موج توسط روش SMB (منطقهٔ امیرآباد)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴ـ مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده ارتفاع و دورهٔ تناوب موج توسط روش SPM (منطقهٔ امیرآباد)

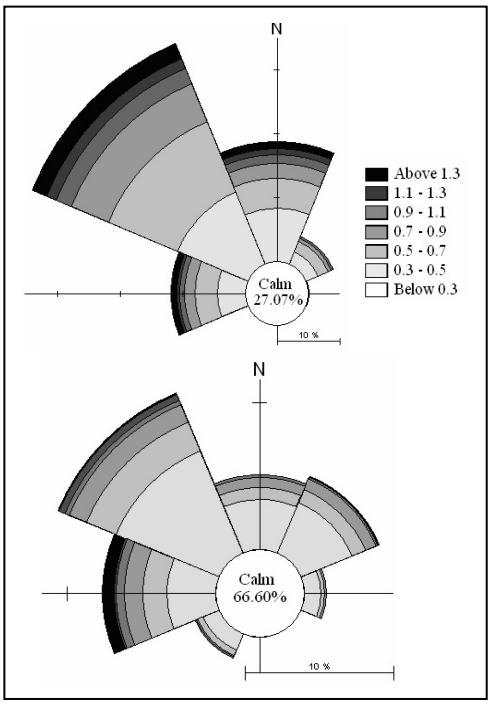


شکل ۵ ـ مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده ارتفاع و دورهٔ تناوب موج توسط روش CEM (منطقهٔ امیرآباد)

جدول ۱ ـ خطای روش‌های نیمه‌تجربی در پیش‌بینی پارامترهای موج (منطقهٔ امیرآباد)

ارتفاع موج	CEM	SPM	SMB
اریبی (متر)	-۰/۳۴	-۰/۲۵	-۰/۲۹
جذر متوسط مربع خطاها (متر)	۰/۴۷	۰/۴۳	۰/۴۳
ضریب همبستگی (درصد)	۳۲	۳۴	۳۹
ضریب پراکندگی (درصد)	۵۹	۶۶	۵۸
دورهٔ تناوب موج	**CEM**	**SPM**	**SMB**
اریبی (ثانیه)	-۲/۵۴	-۱/۴۱	-۱/۷۳
جذر متوسط مربع خطاها (ثانیه)	۲/۶۵	۲	۲/۰۲
ضریب همبستگی (درصد)	۱۰	۱۰	۱۱
ضریب پراکندگی (درصد)	۲۴	۴۵	۳۳

به منظور بررسی درستی جهت‌های پیش‌بینی شدهٔ موج توسط روش‌های نیمه‌تجربی، گلموج حاصل از روش SPM، با گلموج حاصل از اندازه‌گیری یکسالهٔ بویه نکا در سال ۱۹۹۲ مقایسه شده و نتایج آن در شکل (۶) ارائه شده است. با مقایسه گلموج حاصل از روش SPM و اندازه‌گیری، مشاهده می‌شود که اگرچه از نظر شکل کلی و جهات غالب موج، دو گلموج مطابقت خوبی را نشان می‌دهند، اما از لحاظ درصد فراوانی موج در جهات مختلف تفاوت وجود دارد.



شکل ۶ ـ مقایسه گلموج پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده یکساله در منطقهٔ امیرآباد (بالا: بویهٔ نکا، پایین: روش SPM)

همانطور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، جهت غالب در راستای شمال‌غربی قرار دارد که فراوانی آن در گلموج‌های حاصل از اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی به ترتیب ۲۸٪ و ۱۲٪ می‌باشد. روش SPM مقدار ارتفاع بیشینه موج (H_{max}) را در جهت شمال‌غربی ۲/۱ متر و مقدار $H_{1/3}$ را در این جهت ۰/۲۲ متر پیش‌بینی کرده است. در صورتیکه این مقادیر توسط بویه به ترتیب برابر ۳/۴۴ و ۰/۷۴ متر اندازه‌گیری شده است. شایان ذکر است که تفاوت فراوانی دو گلموج اندازه‌گیری و پیش‌بینی در حالت شرایط آرام (Calm)

www.SID.ir

Archive of SID

به حداکثر مقدار خود یعنی ۴۸٪ بالغ می‌شود. علت این اختلاف آن است که هنگام صفر بودن سرعت باد، روش‌های نیمه‌تجربی ارتفاع موج را برابر صفر پیش‌بینی می‌کنند، در حالی‌که امواج ثبت شده در دریا احتمالاً تحت تأثیر باد و امواج قبلی بوده و صرفاً حاصل از باد جدید نمی‌باشند. این مسأله یکی از معایب روش‌های نیمه‌تجربی محسوب می‌شود.

۴ـ۲ـ ارزیابی مشخصات امواج پیش‌بینی شده در منطقهٔ بوشهر

در ابتدا به منظور بررسی شرط آب عمیق میانگین دوره تناوب یک سوم بلندترین امواج به‌دست آمده از روش‌های نیمه‌تجربی برابر ۴/۵ ثانیه محاسبه شده و سپس با استفاده از این مقدار, طول موج برابر ۳۱/۶ متر محاسبه گردید. با توجه به واقع شدن بویه در عمق ۲۷ متری، نسبت عمق آب به طول موج برابر با ۰/۸۵ به‌دست می‌آید. از آنجا که این نسبت, از مقدار عددی ۰/۵ بزرگ‌تر است، فرض حاکم بودن شرایط آب عمیق صحیح می‌باشد.

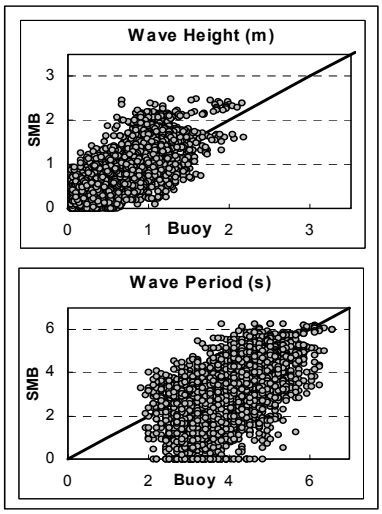
برای ارزیابی ارتفاع و دورهٔ تناوب پیش‌بینی شده توسط روش‌های نیمه‌تجربی در بندر بوشهر، از نمودارهای پراکندگی استفاده شده است. در این نمودارها که در شکل‌های (۷) تا (۹) ترسیم شده‌اند، مقادیر پیش‌بینی شدهٔ ارتفاع و دورهٔ تناوب امواج توسط روش‌های نیمه‌تجربی مختلف با مقادیر اندازه‌گیری شدهٔ آنها توسط بویهٔ بوشهر مقایسه شده است. همچنین پارامترهای آماری مربوط در جدول (۲) ارایه شده‌اند. لازم به ذکر است که مشابه منطقهٔ امیرآباد، فقط مقادیر دورهٔ تناوب امواج متناظر با ارتفاع بیش از ۰/۵ متر در نظر گرفته شده‌اند.

پارامترهای آماری محاسبه شده نشان می‌دهند که روش قدیمی‌تر SMB برای تعیین ارتفاع موج منطقهٔ بوشهر مناسب‌ترین روش بوده و خطای آن در تعیین ارتفاع امواج بزرگتر از یک متر حدود ۲۳ درصد می‌باشد. علاوه بر آن روش SPM نامناسب‌ترین روش برای تعیین ارتفاع موج بوده و ارتفاع موج را دست بالا پیش‌بینی می‌کند. بر خلاف ارتفاع موج، روش SPM برای تعیین دورهٔ تناوب امواج منطقهٔ بوشهر، مناسب‌ترین روش می‌باشد. لازم به ذکر است که خطای روش CEM در تعیین دورهٔ تناوب موج بسیار زیاد است (شکل ۹).

به منظور بررسی درستی جهت‌های پیش‌بینی شده موج توسط روش‌های نیمه‌تجربی، گلموج حاصل از روش SMB با گلموج حاصل از اندازه‌گیری بویهٔ بوشهر در سالهای ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶ مقایسه شده و نتایج آن در شکل (۱۰) ارایه شده است.

جدول ۲ـ خطای روش‌های نیمه‌تجربی در پیش‌بینی پارامترهای موج (منطقهٔ بوشهر)

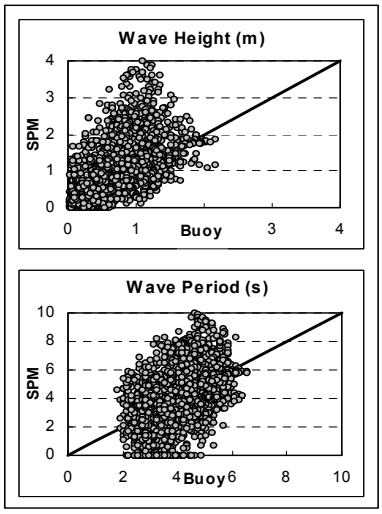
ارتفاع موج	CEM	SPM	SMB
اریبی (متر)	-۰/۲	۰/۰۲	-۰/۰۴
جذر متوسط مربع خطاها (متر)	۰/۴۵	۰/۵۴	۰/۴۲
ضریب همبستگی (درصد)	۵۹	۵۵	۶۷
ضریب پراکندگی (درصد)	۵۵	۷۴	۵۸
دورهٔ تناوب موج	**CEM**	**SPM**	**SMB**
اریبی (ثانیه)	-۲/۹	-۰/۷۹	-۱/۳۶
جذر متوسط مربع خطاها (ثانیه)	۳/۰	۱/۸۳	۱/۹۱
ضریب همبستگی (درصد)	۴۴	۴۰	۴۹
ضریب پراکندگی (درصد)	۲۲	۳۹	۳۲



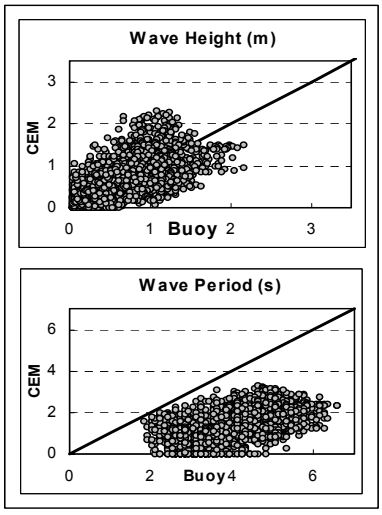
شکل ۷ـ مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده ارتفاع و دورهٔ تناوب موج توسط روش SMB (منطقهٔ بوشهر)

www.SID.ir

Archive of SID

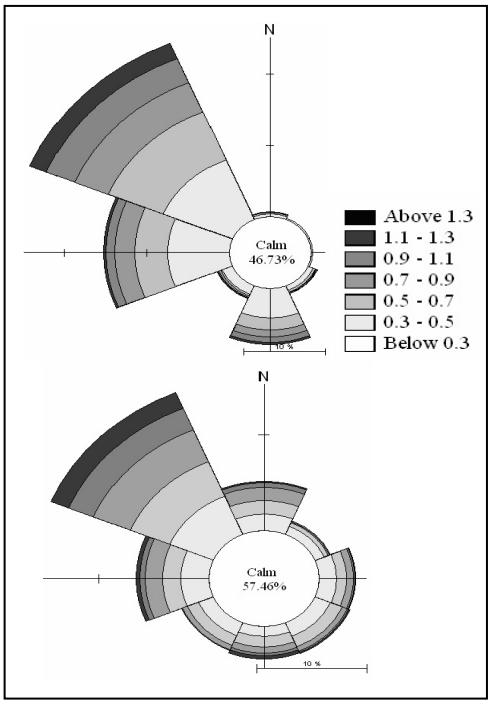


شکل ۸ ـ مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده ارتفاع و دورهٔ تناوب موج توسط روش SPM (منطقهٔ بوشهر)



شکل۹ـ مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده ارتفاع و دورهٔ تناوب موج توسط روش CEM (منطقهٔ بوشهر)

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، اگرچه گلموج‌های حاصل از روش SMB و اندازه‌گیری از نظر شکل کلی و جهت‌های غالب موج، تطابق خوبی دارند، اما از نظر فراوانی امواج به وقوع پیوسته در جهت‌های مختلف با یکدیگر متفاوتند. جهت غالب اصلی در راستای شمال‌غربی بدست‌آمده است که فراوانی آن در گلموج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی به ترتیب ۲۸٪ و ۱۸٪ می‌باشند. این در حالی است که روش SMB ارتفاع موج را در راستای غالب بصورت دست‌بالا و در جهت اطمینان پیش‌بینی می‌کند.



شکل ۱۰ـ مقایسه گلموج پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده دو ساله در منطقهٔ بوشهر (بالا: بویهٔ بوشهر، پایین: روش SMB)

۵ ـ مقایسه با نتایج روش عددی

به منظور مقایسهٔ روش‌های نیمه‌تجربی با روش عددی، از نتایج پروژه مدلسازی امواج دریاهای ایران [۱۱ و ۱۲]، استفاده شده است. در این پروژه پس از جمع‌آوری و تحلیل داده‌های مورد نیاز برای مدلسازی، امواج ناشی از میدان باد با استفاده از مدول SW نرم‌افزار Mike 21 محاسبه شده است. شایان ذکر است که این مدل در زمرهٔ مدل‌های ریاضی نسل سوم پیش‌بینی موج قرار دارد. در پروژه مدلسازی امواج دریاهای ایران، پس از مقایسه میدانهای باد منابع مختلف و اجراهای آزمایشی مدل موج با استفاده از آنها و مقایسه نتایج حاصله، باد مدل Operational موسسه ECMWF [1] به عنوان بهترین منبع اطلاعات باد انتخاب شد. البته این میدان باد به دلیل زبری غیر واقعی در نظر گرفته شده در مناطق ساحلی، بعداً با جایگزین کردن باد ایستگاه‌های همدیدی در نقاط مجاور آن ایستگاه‌ها، جایگزین کردن باد دور از ساحل

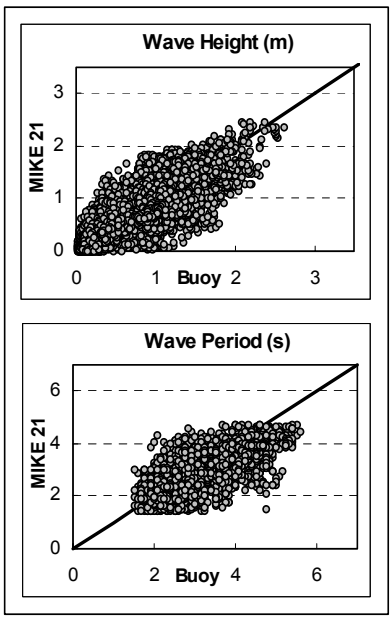
[1] European Centre for Medium Range Weather Forecasting

www.SID.ir

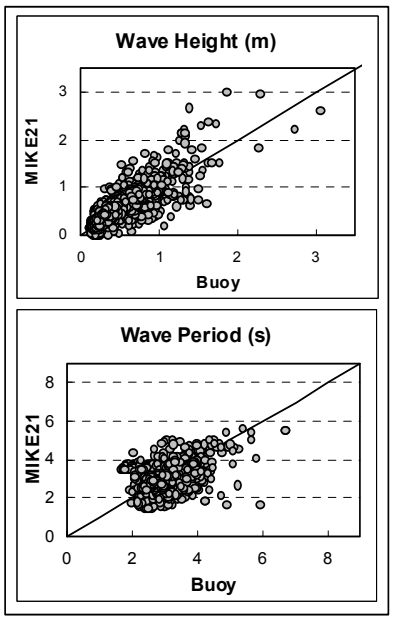
Archive of SID

در مناطق ساحلی که ایستگاه همدیدی مناسبی نداشتند، و اعمال ضرایب اصلاح موضعی در میدان باد اصلاح شد. برپایی[2] و واسنجی (کالیبراسیون) مدل و همچنین درستی‌سنجی[3] نتایج آن پس از اجرا به کمک داده‌های موج و باد اندازه‌گیری‌شده و کنترل‌شده از نظر کیفی، انجام شده است. این پروژه بازهٔ زمانی ژانویهٔ ۱۹۹۲ تا دسامبر ۲۰۰۳ را پوشش می‌دهد.

برای ارزیابی نتایج مدل عددی و مقایسه آن با نتایج روش‌های نیمه‌تجربی از نمودارهای پراکندگی استفاده شده است. در این نمودارها که در اشکال (۱۱) و (۱۲) ارایه شده‌اند، مقادیر ارتفاع و دورهٔ تناوب بدست آمده از روش عددی با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شده است. علاوه بر آن، گلموج‌های حاصل از مدلسازی عددی در بنادر بوشهر و امیرآباد در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده‌اند.



شکل۱۱- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده ارتفاع و دورهٔ تناوب موج توسط روش عددی (منطقهٔ بوشهر)



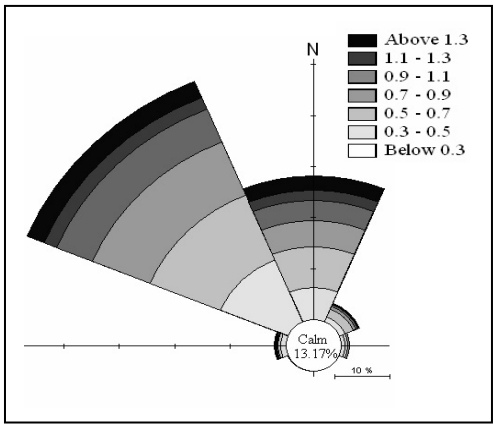
شکل۱۲ـ مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده ارتفاع و دورهٔ تناوب موج توسط روش عددی (منطقهٔ امیرآباد)

با توجه به اینکه روش‌های SPM و SMB مناسب‌ترین روش‌های نیمه‌تجربی برای پیش‌بینی مشخصات امواج بنادر امیرآباد و بوشهر می‌باشند، خطای حاصل از پیش‌بینی مشخصات موج توسط هر یک از این روش‌ها با خطای حاصل از مدلسازی مشخصات امواج توسط روش عددی در بنادر بوشهر و امیرآباد مقایسه شده و نتایج حاصل در جداول (۳) و (۴) ارایه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که خطای روش‌های نیمه‌تجربی در پیش‌بینی ارتفاع موج بندر امیرآباد حدود دو برابر خطای روش عددی است، در صورتی‌که خطای روش SMB در پیش‌بینی ارتفاع موج بندر بوشهر کم بوده و حدود ۱۰ درصد بیشتر از خطای روش عددی می‌باشد. خطای روش نیمه‌تجربی در پیش‌بینی دورهٔ تناوب امواج بندر بوشهر در مقایسه با خطای روش عددی بسیار بالاست.

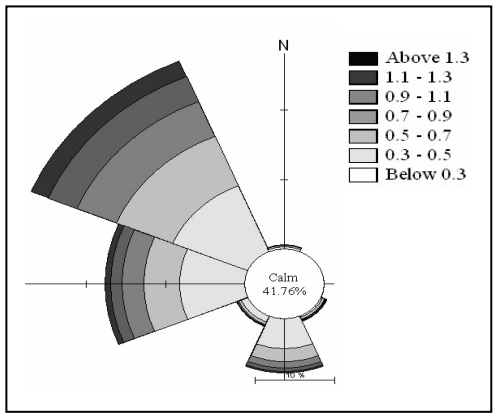
[2] Set-up
[3] Verification

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۳ـ گلموج یکساله حاصل از مدلسازی عددی (بندر امیرآباد)



شکل ۱۴ـ گلموج دو ساله حاصل از مدلسازی عددی (بندر بوشهر)

جدول ۳- مقایسه خطای روش‌های نیمه‌تجربی و عددی در پیش‌بینی پارامترهای موج (منطقهٔ امیرآباد)

ارتفاع موج	نیمه تجربی (SPM)	عددی
اریبی (متر)	-۰/۲۵	۰/۰۹
جذر متوسط مربع خطاها (متر)	۰/۴۳	۰/۲۶
ضریب همبستگی (درصد)	۳۴	۷۸
ضریب پراکندگی (درصد)	۶۶	۴۵
دورهٔ تناوب موج	**نیمه تجربی (SPM)**	**عددی**
اریبی (ثانیه)	-۱/۴۱	۰/۰۲۷
جذر متوسط مربع خطاها (ثانیه)	۲	۰/۷۳
ضریب همبستگی (درصد)	۱۰	۳۷
ضریب پراکندگی (درصد)	۴۵	۲۳

جدول۴- مقایسه خطای روش‌های نیمه‌تجربی و عددی در پیش‌بینی پارامترهای موج (منطقهٔ بوشهر)

ارتفاع موج	نیمه تجربی (SMB)	عددی
اریبی (متر)	-۰/۰۴	۰/۰۰۶
جذر متوسط مربع خطاها (متر)	۰/۴۲	۰/۲۸
ضریب همبستگی (درصد)	۶۷	۸۱
ضریب پراکندگی (درصد)	۵۸	۳۹
دورهٔ تناوب موج	**نیمه تجربی (SPM)**	**عددی**
اریبی (ثانیه)	-۰/۷۹	-۰/۳۱
جذر متوسط مربع خطاها (ثانیه)	۱/۸۳	۰/۷
ضریب همبستگی (درصد)	۴۰	۶۷
ضریب پراکندگی (درصد)	۳۹	۱۸

۶ ـ تحلیل حدی داده‌ها

تحلیل مقادیر حدی، روشی علمی است که بر مبنای آن می‌توان بین مقادیر یک پدیدهٔ تصادفی و احتمال یا دوره بازگشت وقوع آن ارتباط برقرار کرد. برای ارزیابی دقیق‌تر روش نیمه‌تجربی و مقایسهٔ آن با روش عددی، مقادیر ارتفاع موج پیش‌بینی شده توسط مدل عددی و روش‌های مناسب نیمه‌تجربی در بنادر امیرآباد و بوشهر، پس از محاسبهٔ کلی نتایج، در ۸ جهت اصلی و فرعی تفکیک شده و ارتفاع‌های موج با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، و ۱۰ ساله محاسبه شده است. علاوه بر آن، تحلیل مشابهی بر روی داده‌های بویه‌ای صورت گرفته است. به دلیل عدم ثبت جهت امواج توسط بویهٔ امیرآباد، از داده‌های بویهٔ نکا برای مقایسهٔ مقادیر حدی ارتفاع موج استفاده شده است. به منظور یکسان‌سازی شرایط داده‌های محاسباتی و ثبت شده، از مقادیر پیش‌بینی شده در بازهٔ زمانی مشترک با داده‌های بویه استفاده شده است.

بکارگیری سه روش تابع توزیع تجمعی[4]، روش بیشینهٔ سالانه[5] و روش بیشینه‌های جزئی[6] برای انتخاب داده‌های مورد استفاده در تحلیل مقادیر حدی متداول است. در روش بیشینهٔ سالانه به دلیل کم بودن سالهای

[4] Total Sample Method
[5] Annual Maximum Series
[6] Partial Duration Series

www.SID.ir

Archive of SID

مدلسازی، داده‌های کافی جهت برازش توزیع به داده‌ها وجود ندارد و لذا در این پژوهش، از روش بیشینه‌های جزئی استفاده شده است. ازسوی دیگر در روش بیشینهٔ سالانه، در صورتی‌که دو یا چند رویداد بزرگ در یک سال رخ دهند، فقط بزرگترین رویداد در تحلیل حدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت روش بیشینه‌های جزئی نسبت به روش بیشینه‌های سالانه، انتخاب رویدادهای بزرگ در کل مجموعهٔ داده‌ها بدون توجه به زمان وقوع رویداد می‌باشد. همچنین در این روش محدودیتی در تعداد رویدادهای انتخاب شده وجود ندارد. با این وجود، در انتخاب تعداد رویدادها باید به گونه‌ای عمل کرد که در عین حال که داده‌های کافی برای برازش توزیع وجود داشته باشد، داده‌های غیرحدی وارد محاسبات نشده و شکل توزیع را تغییر ندهند. از بین توابع توزیع توصیه شده برای یک پدیدهٔ خاص، هرکدام که بهترین برازش را به داده‌های موجود داشته باشد، بکار برده می‌شوند. توزیع‌های رایج برای مقادیر بیشینهٔ باد و موج، شامل توزیع‌های گامبل، گامبل کوتاه شده[7] و ویبول می‌باشد. توزیع گامبل کوتاه شده که به اختصار TGUM نامیده می‌شود، توزیع اصلاح شدهٔ گامبل است که با محدود کردن کرانهٔ پایین توزیع به مقدار آستانهٔ ثابت (x_0) بدست می‌آید. در نوشتار حاضر توزیع گامبل کوتاه شده که مناسبترین توزیع برای مقادیر بیشینهٔ موج بوده و دارای کمترین انحراف معیار است [۱۰ و ۱۱]، به داده‌ها برازش داده شده است. کلیه محاسبات فوق با استفاده از مدول EVA نرم‌افزار MIKE21 انجام شده است [۱۳ و ۱۴].

مقادیر ارتفاع موج با دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله برای منطقهٔ امیرآباد در جدول (۵) و برای منطقهٔ بوشهر در جدول (۶) ارایه شده‌اند. در جداول ذکر شده از جهت‌هایی که ارتفاع موج ناچیز بوده صرفنظر شده است. شایان ذکر است که مقادیر ارایه شده در جداول فوق با در نظر گرفتن رواداری (تلورانس) کافی (معادل دو برابر انحراف معیار استاندارد) برای محاسبه حدهای بالایی و پایینی ارتفاع امواج حاصل از تحلیل حدی قابل قبول می‌باشند. مقایسهٔ نتایج بدست آمده از این تحقیق با نتایج سایر پژوهش‌های انجام شده تطابق خوبی را نشان می‌دهد [۱۰ و ۱۵].

نتایج تحلیل حدی مقادیر ارتفاع موج بیانگر آن است که روش نیمه‌تجربی SPM، امواج منطقهٔ امیرآباد را با خطای زیاد و کمتر از مقادیر واقعی پیش‌بینی می‌کنند، در صورتی‌که روش SMB ارتفاع امواج بندر بوشهر را با خطای بسیار کمتر و در جهت اطمینان پیش‌بینی می‌کند. در منطقهٔ امیرآباد، روش SPM ارتفاع موج با دورهٔ بازگشت ۱۰ ساله را در جهت غالب (شمال‌غربی) حدود یک متر کمتر از بویهٔ نکا پیش‌بینی کرده است. در حالی‌که ارتفاع موج پیش‌بینی شده با دورهٔ بازگشت ۱۰ ساله توسط روش نیمه‌تجربی در بندر بوشهر، در جهت غالب شمال‌غربی تنها ۰/۳۲ متر و در جهت غالب بعدی (جنوب) ۰/۲ متر با ارتفاع موج بویه اختلاف دارد. علاوه بر آن، مقادیر ارتفاع موج بدست آمده از روش نیمه‌تجربی SMB در بندر بوشهر با مقادیر حاصل از مدلسازی عددی تفاوت اندکی دارند.

۷ـ بحث و بررسی

دقت روش‌های نیمه‌تجربی به عوامل مختلفی بستگی دارد. از جمله این عوامل می‌توان به محاسبات مربوط به طول موجگاه، اعتبار روابط این روش‌ها در اصلاح سرعت باد و روابطی که مشخصات امواج را با استفاده از سرعت باد پیش‌بینی می‌کنند، اشاره کرد [۹]. در این قسمت، سعی بر آن است که هر یک از عوامل فوق در بنادر بوشهر و امیرآباد مورد بررسی قرار گرفته و علت خطای روش‌های نیمه‌تجربی در این بنادر پیش‌بینی شود.

در روش‌های نیمه‌تجربی، ارتفاع و دورهٔ تناوب موج بر اساس سرعت باد، طول موجگاه و زمان تداوم باد محاسبه می‌شود. در این تحقیق، محاسبات طول موجگاه با فرض محدود شدن طول موجگاه به ساحل مقابل نقطهٔ مورد نظر انجام شده است، درنتیجه این امکان وجود دارد که طول موجگاه محاسبه شده از طول موجگاه واقعی بیشتر باشد. اما از آنجا که شرایط رشد امواج در بنادر بوشهر و امیرآباد غالباً محدود به زمان وزش باد می‌باشد، خطای روش‌های نیمه‌تجربی در این بنادر به نحوهٔ محاسبه طول موجگاه بستگی ندارد.

[7] Truncated Gumbel

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- نتایج تحلیل حدی ارتفاع موج در منطقهٔ امیرآباد

جهت	کلی			شمال			شمال شرقی		
دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲	۵	۱۰	۲	۵	۱۰
بویه نکا	۳/۱ ± ۱/۰	۳/۷ ± ۱/۱	۴/۰ ± ۱/۳	۲/۰ ± ۰/۵	۲/۳ ± ۰/۷	۲/۵ ± ۰/۸	۱/۳ ± ۰/۳	۱/۵ ± ۰/۴	۱/۷ ± ۰/۴
مدل عددی	۳/۴ ± ۰/۶	۳/۸ ± /۸۴	۴/۱ ± ۱/۰	۳/۴ ± ۰/۸	۴/۰ ± ۱/۰۱	۴/۲ ± ۱/۲	۲/۲ ± ۰/۶	۲/۶ ± ۰/۸	۲/۹ ± ۰/۹
SPM	۲/۵ ± ۰/۸	۳/۱ ± ۰/۹	۳/۴ ± ۱/۰	۲/۵ ± ۰/۵	۳/۰ ± ۰/۷	۳/۳ ± ۰/۸	۱/۵ ± ۰/۳	۱/۷ ± ۰/۴	۱/۸ ± ۰/۴
جهت	شرق			غرب			شمال‌غربی		
دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲	۵	۱۰	۲	۵	۱۰
بویه نکا	۰/۸ ± ۰/۲	۱/۰ ± ۰/۴	۱/۲ ± ۰/۴	۲/۷ ± ۰/۹	۳/۳ ± ۱/۲	۳/۷ ± ۱/۷	۳/۱ ± ۰/۸	۳/۷ ± ۱/۱	۴/۱ ± ۱/۳
مدل عددی	۱/۲ ± ۰/۲	۱/۳ ± ۰/۳	۱/۵ ± ۰/۴	۲/۶ ± ۰/۹	۳/۳ ± ۱/۲	۳/۷ ± ۱/۷	۳/۰ ± ۰/۶	۳/۵ ± ۰/۸	۳/۹ ± ۰/۹
SPM	۱/۲ ± ۰/۳	۱/۴ ± ۰/۵	۱/۵ ± ۰/۶	۲/۸ ± ۰/۸	۳/۴ ± ۱/۲	۳/۸ ± ۱/۴	۲/۵ ± ۰/۷	۲/۸ ± ۰/۹	۳/۰ ± ۰/۹

جدول ۶- نتایج تحلیل حدی ارتفاع موج در منطقهٔ بوشهر

جهت	کلی			شمال غربی			غرب		
دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲	۵	۱۰	۲	۵	۱۰
بویه بوشهر	۲/۴ ± ۰/۳	۲/۷ ± ۰/۴	۲/۸ ± ۰/۵	۲/۳ ± ۰/۳	۲/۶ ± ۰/۴	۲/۷ ± ۰/۵	۱/۴ ± ۰/۲	۱/۶ ± ۰/۲	۱/۷ ± ۰/۳
مدل عددی	۲/۴ ± ۰/۳	۲/۶ ± ۰/۴	۲/۷ ± ۰/۵	۲/۴ ± ۰/۳	۲/۶ ± ۰/۴	۲/۷ ± ۰/۵	۲/۱ ± ۰/۶	۲/۴ ± ۰/۸	۲/۵ ± ۰/۸
SMB	۲/۶ ± ۰/۳	۲/۸ ± ۰/۴	۳/۰ ± ۰/۵	۲/۶ ± ۰/۳	۲/۸ ± ۰/۴	۲/۹ ± ۰/۵	۱/۶ ± ۰/۲	۱/۷ ± ۰/۲	۱/۸ ± ۰/۳
جهت	جنوب غربی			جنوب			جنوب شرقی		
دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲	۵	۱۰	۲	۵	۱۰
بویه بوشهر	۱/۱ ± ۰/۳	۱/۴ ± ۰/۵	۱/۶ ± ۰/۵	۱/۷ ± ۰/۴	۱/۹ ± ۰/۶	۲/۱ ± ۰/۸	۱/۳ ± ۰/۱	۱/۷ ± ۰/۱	۱/۸ ± ۰/۱
مدل عددی	۱/۲ ± ۰/۳	۱/۴ ± ۰/۴	۱/۶ ± ۰/۵	۱/۹ ± ۰/۵	۲/۳ ± ۰/۷	۲/۵ ± ۰/۸	۱/۵ ± ۰/۱	۱/۸ ± ۰/۲	۲/۰ ± ۰/۲
SMB	۰/۹ ± ۰/۲	۱/۰ ± ۰/۴	۱/۰ ± ۰/۴	۱/۸ ± ۰/۴	۲/۲ ± ۰/۷	۲/۳ ± ۰/۸	۱/۴ ± ۰/۱	۱/۷ ± ۰/۱	۱/۹ ± ۰/۱

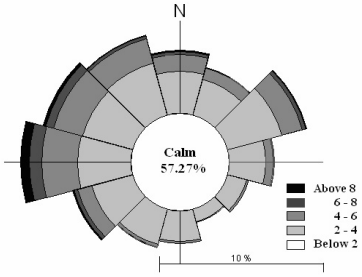
همان‌طور که ذکر شد، یکی از عواملی که ممکن است موجب بروز خطا در پیش‌بینی مشخصات امواج توسط روش‌های نیمه‌تجربی گردد، نحوه اصلاح سرعت باد است. ضرایب اصلاح پایداری و مکان اندازه‌گیری باد و رابطه اصلاح تراز اندازه‌گیری باد از جمله عوامل مؤثر در اصلاح سرعت باد محسوب می‌شوند. طبق روابط (۲) تا (۱۳)، ارتفاع و دورهٔ تناوب امواج، هر دو با سرعت باد اصلاح شده متناسبند. اگر خطای روش‌های نیمه‌تجربی در پیش‌بینی مشخصات امواج بندر بوشهر (جدول ۲) تنها به دلیل خطای‌حاصل از محاسبات اصلاح باد باشد، لازم است هر دو پارامتر ارتفاع و دورهٔ تناوب امواج پیش‌بینی شده، از مقادیر اندازه‌گیری شده کمتر و یا بیشتر باشد. در حالی‌که روش SPM دورهٔ تناوب امواج را در بندر بوشهر کمتر از مقدار واقعی و ارتفاع امواج را در جهت اطمینان پیش‌بینی کرده است. علاوه بر آن، خطای روش‌های نیمه‌تجربی در پیش‌بینی ارتفاع امواج کمتر از خطای پیش‌بینی دورهٔ تناوب امواج است. در مورد بندر امیرآباد، اگرچه تمامی روش‌های نیمه‌تجربی به طور میانگین ارتفاع و دورهٔ تناوب موج را کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی کرده‌اند، اما مقایسه گلموج‌های

www.SID.ir

Archive of SID

اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده (شکل۶) و نتایج تحلیل حدی ارتفاع موج (جدول۵)، نشان می‌دهند که روش SPM، ارتفاع موج را در جهت غرب بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده و در جهت غالب شمال‌غربی بسیار کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده پیش‌بینی کرده است. لذا به نظر می‌رسد خطای روش‌های نیمه‌تجربی در بندر امیرآباد به دلیل محاسبات سرعت باد اصلاح شده نیست.

همان‌طور که توضیح داده شد، روش SPM ارتفاع موج را در برخی راستاها در جهت اطمینان و در راستاهای دیگر، کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده پیش‌بینی کرده است. لذا لازم است داده‌های باد ایستگاه همدیدی بابلسر مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به گلباد ایستگاه همدیدی بابلسر که در شکل (۱۵) نشان داده شده است، جهت باد غالب در بابلسر در راستای غرب قرار دارد. مقایسه گلموج پیش‌بینی شده (شکل ۶) و گلباد ایستگاه همدیدی بابلسر نشان دهندهٔ آن است که به دلیل حاکم بودن شرایط محدودیت زمان وزش باد در بندر امیرآباد، روش نیمه‌تجربی SPM جهت موج را مطابق با جهت باد و در راستای غرب بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده پیش‌بینی می‌کند. در نتیجه، به نظر می‌رسد خطای روش‌های نیمه‌تجربی در بندر امیرآباد از نامناسب بودن آمار باد ایستگاه همدیدی بابلسر ناشی می‌شود. لذا در ادامه فقط به خطای روش‌های نیمه‌تجربی در پیش‌بینی مشخصات امواج بندر بوشهر پرداخته می‌شود.



شکل ۱۵ـ گلباد ایستگاه همدیدی بابلسر

مطابق روابط (۷) و (۸) مقادیر ارتفاع و دوره‌تناوب موج پیش‌بینی شده توسط روش SPM ، هر دو به عامل تنش باد (U_A)، بستگی دارند. حسب نتیجهٔ بیشاپ و همکاران، یکی از عوامل خطا در پیش‌بینی مشخصات امواج با روش SPM از محاسبه U_A ناشی می‌شود [۹]. با پذیرش فرض فوق انتظار می‌رود نمودارهای پراکندگی ارتفاع و دورهٔ تناوب موج پیش‌بینی شده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده (شکل ۸) از روند یکسانی پیروی کنند. این بدین معنی است که در صورتی‌که خطای روش SPM در پیش‌بینی امواج کوتاه کمتر از امواج بلند باشد، انتظار می‌رود که این روش مقادیر کوچک دورهٔ تناوب موج را نیز با خطای کمتری نسبت به مقادیر بزرگتر پیش‌بینی کند. با توجه به شکل (۸)، روش SPM ارتفاع امواج بلندتر را با خطای بیشتری نسبت به امواج کوتاه‌تر پیش‌بینی می‌کند، در صورتی‌که خطای این روش در پیش‌بینی دورهٔ تناوب امواج چندان تابع مقدار دورهٔ تناوب موج نیست. لذا به نظر نمی‌رسد با تصحیح عامل تنش باد، خطای روش SPM در بندر بوشهر کاهش یابد.

روش CEM و SMB هر دو، مقادیر دورهٔ تناوب موج را در بندر بوشهر بسیار کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده پیش‌بینی می‌کنند. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، این خطا ناشی از محاسبات طول موجگاه و اصلاح سرعت باد نمی‌باشد. در نتیجه احتمالاً روابط استفاده شده در مدل‌های CEM و SMB برای پیش‌بینی دورهٔ تناوب موج باید مورد بازنگری قرار گیرند. این نتیجه با نتایج تحقیق کاظمی‌نژاد و همکاران نیز همخوانی دارد [۳].

مقایسه روش‌های نیمه‌تجربی و عددی و نتایج تحلیل حدی ارتفاع موج در بندر بوشهر نشان می‌دهد که مقادیر ارتفاع امواج پیش‌بینی شده توسط روش نیمه‌تجربی به مقادیر بدست آمده از مدل عددی نزدیکند. ممکن است دلیل این امر استفاده از آمار باد ایستگاه همدیدی بوشهر در مدل عددی باشد. لذا پیش‌بینی می‌شود در شرایطی که امواج منطقهٔ نوع موج دوراً نباشند، در صورت استفاده از میدان باد یکسان، مقادیر ارتفاع امواج بدست آمده از دو روش عددی و نیمه‌تجربی تفاوت کمی خواهند داشت. با توجه به نتایج تحلیل مقادیر ارتفاع موج و نزدیکی گلموج پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده ، به نظر می‌رسد روش SMB روشی مناسب برای تعیین ارتفاع امواجی

www.SID.ir

Archive of SID

باشد که برای محاسبات رسوب سالیانه در منطقهٔ بوشهر مورد نیاز است.

۸ ـ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در مقالهٔ حاضر، نخست مشخصات امواج بنادر بوشهر و امیرآباد با استفاده از روش‌های نیمه‌تجربی SMB، SPM و CEM پیش‌بینی شده و سپس با مقایسه مقادیر محاسبه و اندازه‌گیری شده توسط بویه، خطای این روش‌ها تعیین شده است. علاوه بر آن، نتایج بدست آمده از روش‌های نیمه‌تجربی با نتایج پروژه مدلسازی امواج دریاهای ایران مقایسه شده است. با توجه به مقایسه‌های انجام شده، برخی از دلایل مربوط به بروز خطا در بکارگیری روش‌های نیمه‌تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. مهمترین نتایج این تحقیق عبارتند از:

- روش‌های نیمه‌تجربی به طور میانگین ارتفاع و دورهٔ تناوب موج را در منطقهٔ امیرآباد و دورهٔ تناوب موج را در منطقهٔ بوشهر دست پایین پیش‌بینی می‌کنند.

- در میان روش‌های نیمه‌تجربی، روش SPM مناسب‌ترین روش برای پیش‌بینی مشخصات امواج منطقهٔ امیرآباد و روش‌های SMB و SPM به ترتیب مناسب‌ترین روش برای تعیین ارتفاع و دورهٔ تناوب امواج بندر بوشهر می‌باشد.

- خطای روش‌های نیمه‌تجربی در پیش‌بینی مشخصات امواج منطقهٔ امیرآباد بسیار زیاد است، در صورتی‌که خطای این روش‌ها در پیش‌بینی ارتفاع امواج بیش از یک متر در بندر بوشهر تنها ۲۳ درصد و در پیش‌بینی دورهٔ تناوب امواج بیش از ۱ ثانیه به میزان ۳۰ درصد می‌باشد.

- نتایج مقایسه روش‌های نیمه‌تجربی و عددی نشان می‌دهند که خطای روش نیمه‌تجربی در پیش‌بینی مشخصات امواج منطقهٔ امیرآباد حدود ۲ برابر خطای روش عددی است، در حالی‌که مقادیر ارتفاع امواج بدست آمده از روش نیمه‌تجربی در بندر بوشهر بسیار نزدیک به مقادیر بدست آمده از روش عددی می‌باشد.

- جهت غالب موج پیش‌بینی شده توسط روش‌های نیمه‌تجربی در بندر امیرآباد در راستای شمال‌غرب و جهت غالب بعدی در راستای غرب می‌باشد. روش نیمه‌تجربی ارتفاع امواج را در جهت شمال‌غرب کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده و در جهت غرب بیشتر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌کند. با مقایسه گلموج حاصل از روش نیمه‌تجربی و گلباد ایستگاه همدیدی بابلسر می‌توان نتیجه گرفت که روش نیمه‌تجربی جهت غالب موج را در جهت غالب باد پیش‌بینی می‌کند.

- جهت موج غالب در منطقهٔ بوشهر، جهت شمال‌غربی است. روش SMB فراوانی وقوع موج را در جهت غالب کمتر از مقدار واقعی و ارتفاع موج را در این جهت بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده پیش‌بینی می‌کند.

- ارتفاع امواج با دوره بازگشت ۱۰ ساله در جهت غالب شمال‌غربی در منطقهٔ امیرآباد برابر با ۴/۱۱ متر می‌باشد. روش عددی این مقدار را ۳/۸۵ متر پیش‌بینی کرده است، در صورتی‌که روش نیمه‌تجربی SPM این ارتفاع را حدود ۱ متر کمتر از مقدار واقعی و برابر با ۳/۰۳ متر پیش‌بینی کرده است.

- ارتفاع امواج با دوره بازگشت ۱۰ ساله در جهت غالب شمال‌غربی در بندر بوشهر ۲/۶۹ متر می‌باشد. روش عددی و روش SMB پارامتر مذکور را بسیار نزدیک به هم و به ترتیب برابر ۲/۷۲ و ۲/۹۱ متر پیش‌بینی کرده‌اند.

- با توجه به نتایج حاصله به نظر می‌رسد یکی از علل اصلی خطای روش‌های نیمه‌تجربی در منطقهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

امیرآباد، نامناسب بودن داده‌های باد ورودی به دلیل عدم وجود اطلاعات مورد نیاز در منطقهٔ مورد نظر است. به علاوه، نتایج نشان می‌دهند که استفاده از میانگین آمار باد ایستگاه همدیدی بوشهر و بوشهر ساحلی، برای تعیین اقلیم امواج بندر بوشهر راه حل مناسبی برای تعیین داده‌های باد مورد نیاز برای استفاده از روش‌های نیمه‌تجربی پیش‌بینی موج است.

- با توجه به خطای حاصل از روش‌های نیمه‌تجربی و نتایج حاصل از تحلیل مقادیر حدی توصیه می‌شود از روش‌های نیمه‌تجربی به منظور پیش‌بینی و تعیین امواج با دوره بازگشت بالا در بندر امیرآباد استفاده نشود.

- مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که روش SMB روش مناسبی برای تعیین ارتفاع موج مورد نیاز جهت محاسبه رسوب سالیانه در آب‌های عمیق منطقهٔ بوشهر است.

- پیش‌بینی می‌شود، در صورت مناسب بودن میدان باد موجود در منطقهٔ مورد نظر، اختلاف ارتفاع موج پیش‌بینی شده به وسیله روش‌های نیمه‌تجربی و عددی قابل قبول باشد.

۹ـ تقدیر و تشکر

این تحقیق با حمایت مالی مرکز ملی اقیانوس‌شناسی انجام شده است و بدینوسیله از حمایت و پشتیبانی مسئولین محترم این مرکز تشکر و قدردانی می‌شود.

۱۰ـ مراجع

1-Bishop, C.T. (1983), “Comparison of Manual Wave Prediction Models”, J.Waterways, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, 109(1), pp1-17.

2-Kazeminezhad, M.H, Etemad-Shahidi, A., Mousavi, S.J. (2005), “Application of Fuzzy Inference System in the Prediction of Wave Parameters”, J. Ocean Engineering, 32 (2005) pp 1709–1725.

3-Kazeminezhad, M.H., Etemad-Shahidi, A., Mousavi, S.J. (2004), “Application of Simplified Methods in the Prediction of Wave Parameters in Neka”, 6th International Conference on Coastal, Ports & Marine Structures.

۴- درخشان، ش.، غره باقی، ا.م.، چناقلو، م.ر. (۱۳۸۳)، "پیش‌بینی مشخصات امواج دریا با روشهای تجربی در منطقهٔ بوشهر"، اولین کنگره ملی مهندسی عمران.

۵- مظاهری، م.، دارابی‌نیا، ف. (۱۳۷۷)، " مقایسه بین روش SMB و مدول OSW نرم‌افزار MIKE21 در خصوص تعیین امواج آب عمیق در خلیج فارس"، سومین کنفرانس بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، جلد دوم، ص۷۲.

6-“Shore Protection Manual” (1984), U.S. Army Coastal Engineer Waterways Station, Vicksburg, MS, 2 Volumes, 4th Edition.

7-“Coastal Engineering Manual” (2003), Chapter II-2: “Meteorology and Wave Climate”, Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.

8-“Shore Protection Manual” (1977), U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, VA, 3 Volumes, 3rd Edition.

9-Bishop, C.T., Donelan, M.A. and Kahma K.K. (1992), “Shore Protection manual’s wave prediction reviewed”, Coastal Eng., Vol. 17, pp 25-48.

۱۰- همتی، س.، (۱۳۸۴)، "پیش‌بینی امواج ناشی از باد در منطقهٔ دور از ساحل بندر امیرآباد با استفاده از اطلاعات بویه موج‌نگار"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، دانشکده علوم و فنون دریایی.

۱۱- مرکز ملی اقیانوس‌شناسی، (۱۳۸۴)، "پروژه مدلسازی امواج دریاهای ایران"، گزارش نهایی فاز دوم، دریای خزر.

www.SID.ir

Archive of SID

۱۲- مرکز ملی اقیانوس‌شناسی، (۱۳۸۴)، "پروژه مدلسازی امواج دریاهای ایران"، گزارش نهایی فاز سوم، خلیج فارس و دریای عمان.

13-DHI Water and Environment, (2000), "EVA Extreme Value Analysis User Guide".

14-DHI Water and Environment, (2000), "EVA Extreme Value Analysis Reference Manual".

۱۵- مرکز ملی اقیانوس شناسی، (۱۳۸۵)، "گزارش پروژه تحلیل حدی باد و موج به تفکیک جهت در دریاهای ایران".

www.SID.ir