



مرکز ملی باوردهای علمی و فناوری

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی

بررسی تأثیر داده‌های میدان باد مدل ECMWF و اندازه‌گیری ماهواره QuikSCAT بر پیش‌یابی امواج خلیج فارس با استفاده از نرم‌افزار MIKE 21

زهرا فراهانی^{۱*}، احمدرضا مصطفی قره‌باغی^۲، محمدرضا چناقلو^۳

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۲۵

*نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۱۳

© نشریه صنعت حمل‌ونقل دریایی ۱۳۹۵، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه صنعت حمل‌ونقل دریایی است.

چکیده

تعیین مشخصات موج از قبیل ارتفاع و پریود، از جمله اقدامات اولیه در طراحی و مطالعات مهندسی سواحل و فراساحل است. در ادبیات فنی روش‌های مختلفی جهت پیش‌بینی مشخصات موج، مطرح و در طول زمان توسعه یافته است. تعدادی از آنها بر اساس روش‌های تجربی و مشاهداتی بوده که نمونه بارز آن روش بویفرت است. پاره‌ای دیگر بر اساس تحلیل ابعادی بوده که می‌توان به روش‌های SPM، SMB و غیر آن اشاره کرد و تعدادی از آنها بر مدل‌های ریاضی استوار می‌باشند که از حل عددی معادله انتشار انرژی استفاده می‌کنند. تاکنون سه نسل از مدل‌های عددی پیش‌بینی موج ارائه شده است که در مدل‌های نسل اول از اندرکنش غیرخطی مؤلفه‌های موج صرف نظر شده است. در مدل‌های نسل دوم این اثرات مدل‌سازی شده ولی در توسعه آنها فرضیات محدودکننده‌ای به کار رفته که این اشکالات در مدل‌های نسل سوم رفع شده است. به این منظور، مدل‌های مختلف نسل سوم توسعه داده شده است. در این مقاله از مدول SW نرم‌افزار MIKE 21 که مدل ریاضی نسل سوم تبدیل باد به موج است و موج ناشی از میدان باد گسترده بر سطح دریا را محاسبه می‌کند، استفاده شده است. اصلی‌ترین ورودی چنین مدل‌های پیش‌بینی موج، پارامترهای مربوط به باد و میدان‌های باد است. در این خصوص مدل‌های مختلفی توسعه یافته که از آن جمله می‌توان به مدل توسعه‌یافته مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان مدت آب و هوایی (ECMWF) اشاره کرد. در این مقاله با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای QuikSCAT و داده‌های مدل هواشناسی ECMWF^۴ مشخصات امواج در منطقه خلیج فارس پیش‌یابی شده و با اندازه‌گیری‌های بویه‌ای مورد مقایسه قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: پیش‌یابی موج، میدان باد، MIKE 21، داده‌های ماهواره‌ای، اندازه‌گیری‌های بویه‌ای

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، Z_Farahani@Sut.ac.ir

۲. دانشیار دانشگاه صنعتی سهند تبریز، Mgharabaghi@Sut.ac.ir

۳. دانشیار دانشگاه صنعتی سهند تبریز، Mrchenaghrou@Sut.ac.ir

4. European Center for Medium Range Weather Forecasting

۱- مقدمه

انتگرال‌گیری از طیف چگالی کنش موج که با چگالی انرژی موج نسبت مستقیم دارد، به دست می‌آید. سمت چپ معادله، مشخص‌کننده تغییرات کامل چگالی کنش موج است که شامل تغییرات زمانی و مکانی چگالی کنش موج و همچنین تغییرات طیفی چگالی کنش موج است. جمله سمت راست معادله، جملات منبج و زوال را نشان می‌دهد که به ترتیب شامل:

S_{in} : انتقال ممتوم انرژی باد برای تولید موج (اندرکنش باد - آب)،

S_{nl} : انتقال غیرخطی انرژی ناشی از اندرکنش موج - موج (اندرکنش غیرخطی امواج)،

$S_{ds,w}$: استهلاک انرژی ناشی از سفیدک راس موج^۴ (شکست در آب عمیق)،

$S_{ds,b}$: استهلاک انرژی موج ناشی از اصطکاک کف،

$S_{ds,br}$: استهلاک انرژی موج ناشی از شکست ناشی از کاهش عمق می‌باشد (MIKE 21, 2007).

۲-۲- توصیف مدل

۲-۱- داده‌های ورودی باد

انتقال انرژی از باد به موج یکی از عوامل مهم رشد امواج است. باد همواره دارای نوسانات است و این نوسانات باعث ایجاد فشار بر سطح آب و تولید موج اولیه و نیز رشد موج می‌گردد. در واقع انرژی از باد به موج توسط تغییرات فشار و تنش برشی انتقال می‌یابد. اگر نوسانات فشار در جهات تصادفی باشد، موجب رشد خطی امواج می‌شود اما اگر جهت این نوسانات، زاویه‌ای با جهت موج داشته باشد باعث رشد توانی امواج می‌شود (MASSEL, 1996).

در مدل عددی به کاررفته در نرم‌افزار MIKE 21، برای محاسبه اندرکنش باد و آب از روش WAM4 استفاده شده است؛ که جمله مربوط به اندرکنش باد - آب بر مبنای مکانیزم‌های فلیپس و مایلز می‌باشد که برای تولید امواج و فرایند رشد موج بیان شده است که برای امواج ناشی از باد توسعه یافته و در حقیقت بهم وابسته‌اند و فرایند تولید امواج را به شکل زیر مدل می‌کنند (Janssen, 2004):

$$S_m = \alpha + \beta E \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{2\pi g^2} [U_{*max} [0, \cos(\theta - \theta_w)]]^4 H \quad (3)$$

$$H = \exp\left(-\left(\frac{\sigma}{\sigma_{PM}^*}\right)^4\right) \quad (4)$$

$$\sigma_{PM}^* = \frac{0.13g}{28U_*} 2\pi \quad (5)$$

$$\beta = \max \left[0, 0.25 \frac{\rho_a}{\rho_w} \left[28 \frac{U_*}{c} \cos(\theta - \theta_w) - 1 \right] \right]^4 \sigma \quad (6)$$

U_* : سرعت برشی باد،

θ_w : جهت وزش باد،

θ : جهت انتشار موج،

σ : فرکانس زاویه‌ای،

اطلاعات حاصل از پیش‌بینی امواج دریا که اساس طراحی‌های مهندسی سواحل و فراساحلی قرار می‌گیرد نقش مهمی در طراحی، ساخت، نگهداری و مدیریت پروژه‌های عمرانی در دریا و یا ساحل بازی می‌کند. تخمین نادرست پارامترهای امواج، به افزایش قیمت پروژه‌ها و یا در نقطه مقابل، خسارت ناشی از طرح ضعیف پروژه منجر خواهد شد. از میان پدیده‌های محیطی مختلفی که در محیط دریا وجود دارند، امواج ناشی از باد به دلیل دارا بودن بیشترین انرژی و فراوانی از مهم‌ترین عوامل در مهندسی دریا محسوب می‌شوند.

۱-۱- پیشینه پژوهش

امروزه شاهد پیشرفت‌های چشم‌گیری در به دست آوردن مشخصات امواج با به کارگیری مدل‌های عددی مبتنی بر معادله بقای انرژی مشاهده می‌شود. از کاربردی‌ترین آنها مدل‌های عددی طیفی نسل سوم است. از جمله آنها مدل طیفی نسل سوم MIKE21-SW است. تاکنون پژوهش‌های زیادی در داخل و خارج از کشور در خصوص مدل‌سازی امواج با روش‌های عددی انجام شده است. به تعدادی از این تحقیقات (داخل کشور)، در زیر اشاره شده است.

موسسه ملی اقیانوس‌شناسی در فاز اول پروژه ISWM، امواج دریاهای ایران را برای بازه زمانی (۲۰۰۳-۱۹۹۲) مدل‌سازی کرده و در فاز دوم داده‌های موردنیاز برای انجام پروژه، از قبیل باد، موج عمق و ... را جمع‌آوری و تحلیل کرد. بدین منظور از مدول SW نرم‌افزار MIKE21 استفاده شد و امواج ناشی از باد محاسبه و کالیبراسیون با داده‌های اندازه‌گیری انجام شد پروژه (مدل‌سازی امواج دریاهای ایران، ۱۳۸۵).

با استفاده از مدل‌های عددی، پارامترهای موج در دریاچه ارومیه به دست آمد (Moeini and Shahidi, 2007). نیز مشخصه‌های امواج ناشی از باد با استفاده از مدل‌های ریاضی SWAN و MIKE 21 و مدل پارامتریک SPM در خلیج چابهار محاسبه و با هم مقایسه شد (سیادت موسوی و بدیعی، ۱۳۸۵). پیش‌بینی و بررسی اقلیم موج در بندر امیرآباد، با اجرای مدل محلی MIKE 21-SW انجام شد (طالقانی و گلشنی، ۱۳۹۰).

۲- روش تحقیق

۲-۱- معادلات حاکم

معادله تعادل انرژی طیفی موج که برای به دست آوردن مشخصات موج در محدوده مورد نظر حل می‌شود و به عنوان معادله تعادل کنش موج نیز شناخته می‌شود، عبارت است از:

(1)

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_{gx} N}{\partial x} + \frac{\partial c_{gy} N}{\partial y} + \frac{\partial c_{\sigma} N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_{\theta} N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \quad \text{and}$$

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds,w} + S_{ds,b} + S_{ds,br}$$

که در این معادله $N(x,y,\theta,\sigma,t)$ چگالی کنش موج، x و y مختصات جغرافیایی، c سرعت انتشار در جهت x,y,θ,σ,t می‌باشد، σ فرکانس زاویه‌ای و θ جهت انتشار موج است. در این مدل مشخصات موج به وسیله

مولفه های (f_1, \bar{k}_1) و (f_2, \bar{k}_2) در رابطه پراکنش صدق می کند:

$$\omega^2 = gk \tanh(kh) \quad (11)$$

C_{ph} : سرعت فاز
 ρ_w : چگالی آب
 ρ_a : چگالی هوا می باشد.

۲-۲-۳- اندرکنش غیرخطی چهارتایی امواج

شکل دیگر اندرکنش به صورت اندرکنش غیرخطی چهارتایی امواج^۶ است. برای منظور کردن اثرات این اندرکنش، از تقریب^۷ DIA استفاده می شود. در این تقریب فرض می شود دو تا از عددهای موج برابرند یعنی $\bar{k}_1 = \bar{k}_2$ و دو عدد موج دیگر \bar{k}_3 و \bar{k}_4 دارای طول موج متفاوت بوده و با زاویه هایی قرار می گیرند که تشدید رخ دهد. همچنین فرض می شود محدودیتی برای فرکانس های مولفه های شرکت کننده در اندرکنش نیز وجود دارد. بدین ترتیب شرایط اندرکنش به طور خلاصه به صورت زیر قابل بیان است:

$$\begin{cases} \bar{k}_1 \pm \bar{k}_2 = \bar{k}_3 \\ \bar{k}_1 = \bar{k}_2 = k \\ \sigma_1 \pm \sigma_2 = \sigma_3 \pm \sigma_4 \end{cases} \begin{cases} \omega_1 = \omega_2 = \omega \\ \omega_3 = (1+\mu)\omega_1, 0 < \mu < 1 \\ \omega_4 = (1-\mu)\omega_1 \end{cases} \quad (12)$$

بر اساس تجربه به کارگیری $\mu = 0.25$ تقریب مناسب تری با واقعیت دارد (Tolman and Chalikov, 1996).

۳-۲-۳- زوال ناشی از شکست در آب کم عمق

پدیده دیگری که در مدل سازی امواج دریا می بایستی منظور شود، زوال انرژی موج ناشی از شکست موج در آب کم عمق است؛ که در رابطه زیر ارائه شده است (Eldeberky and Battjes, 1996):

$$S_{ds,br} = \left(\frac{\sigma}{4}\right) f_c Q_b H_m^2 \frac{E(f)}{E_t} \quad (13)$$

E_t : کل انرژی موج،

α : پارامتر تنظیم و از مرتبه ۱،

f_c : فرکانس مشخصه

Q_b درصد امواج شکسته (احتمال شکست امواج) می باشد.

H_m حداکثر موج نشکسته در محل است، در این رابطه فرض بر عدم وابستگی شکست موج از سایر فرایندهای موثر در رشد و زوال امواج می باشد.

۲-۴- مدل سازی منطقه خلیج فارس

۱-۲-۴ شبکه بندی

به منظور به کارگیری مدل SW از نرم افزار MIKE 21 ابتدا بایستی منطقه مورد مطالعه شبکه بندی شود. بدین منظور ابعاد المان ها متفاوت اختیار شده به نحوی که در نزدیکی خطوط ساحلی از المان های ریزتر و در قسمت های عمیق تر از المان های درشت تر استفاده شد. محدوده شبکه محاسباتی در این مدل از طول جغرافیایی ۴۷،۸۳ تا ۵۷،۱۸ شرقی و از عرض جغرافیایی ۲۳،۹۵ تا ۳۰،۳۵ شمالی را شامل می شود. در این خصوص شبکه های مختلفی ایجاد و پس از اجرای حساسیت سنجی، شبکه

۲-۲-۲- میرایی ناشی از شکست موج در آب عمیق

یکی از پدیده هایی که در حین انتشار موج پیش می آید، فرآیند سفیدک (White capping) رأس موج است که به صورت ایجاد یک توده کف آلود در جلو تاج موج به وجود می آید. Hasselmann برای مدل سازی این پدیده فرض کرد که ابعاد توده کف آلود در مقایسه با ارتفاع و طول موج کوچک است. این توده بر بخش جلوی موج فشاری رو به پایین اعمال می کند و توده پایینی نیز می خواهد رو به سمت بالا حرکت کند. Hasselmann فشار وارد از توده بخش جلوی تاج را تعیین و به کمک آن زوال انرژی امواج را به شکل زیر معرفی کرد:

$$S_{ds,w} = C_{ds} \left((1-\delta) + \delta \frac{k}{\bar{k}} \right) \left(\frac{\sigma}{\bar{\sigma}_{PM}} \right)^p \sigma \frac{k}{\bar{k}} E(\sigma, \theta) \quad p=2 \quad (7)$$

$$\bar{k} = \left(\frac{1}{\sqrt{k}} \right)^2, \quad \bar{\sigma}_{PM} = 3.02 * 10^{-3}$$

$$\bar{\sigma} = E \bar{k}^2 g^{-2} \quad (8)$$

در روابط فوق \bar{K} نشان دهنده میانگین گیری روی کل طیف می باشد.

در این فرمول بندی $C_{ds} = 4.5 * 10^{-5}$ و $\delta = 0$ فرض می شود (Komen et al., 1996).

۳-۲-۲- زوال ناشی از اصطکاک بستر

همه روابط مربوط به استهلاک انرژی ناشی از اصطکاک کف براساس

تئوری خطی به صورت معادله زیر بیان می شود:

$$S_{ds,b} = -C_b \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta) \quad (9)$$

d عمق آب و k عدد موج می باشد و برای C_b روابطی توسط

دانشمندان مختلف ارائه شده است (Johnson and Kofoid-) (Hansen, 1999).

۲-۳- دیگر فرایندهای فیزیکی

۱-۲-۳- اندرکنش غیر خطی سه تایی امواج

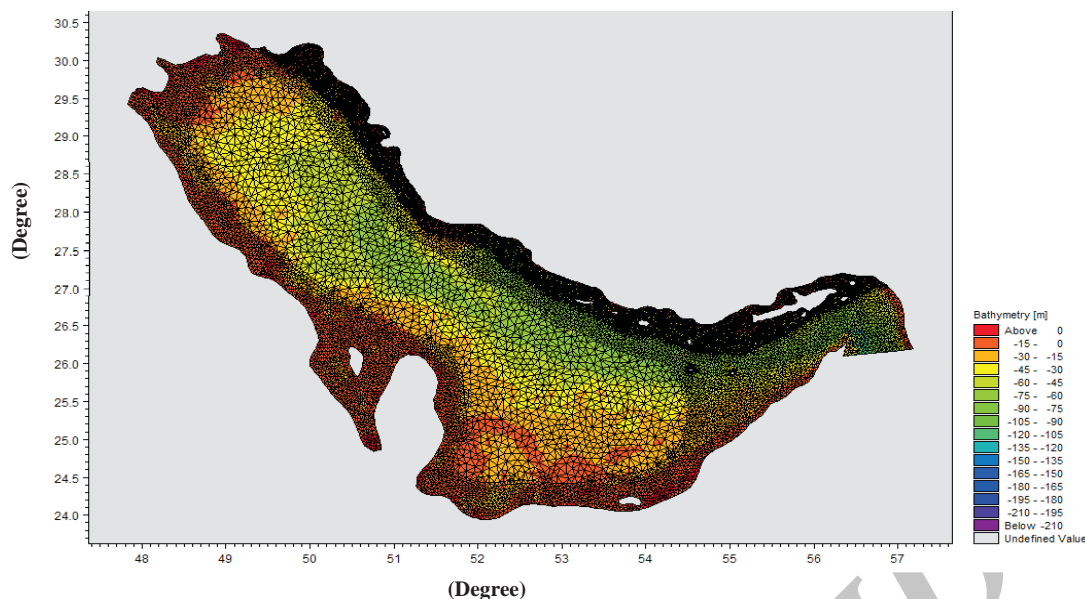
جمله مربوط به اندرکنش غیرخطی موج به دو صورت به کار رفته که یکی اندرکنش سه تایی امواج^۵ می باشد. مشاهدات در آب کم عمق و قبل از شکست موج نشان می دهد که میدان موج از شکل تقریباً " سینوسی در آب عمیق تغییر کرده و به شکلی تیزتر با شیب زیادتر در تاج و با شیب کمتر در نشیب تبدیل می شود. این تغییرات به همراه تغییرات ناشی از شکست موج، موجب اختلاف زیاد بین پارامترهای موج در آب کم عمق می شود. این امر ناشی از بروز پدیده اندرکنش سه تایی امواج می باشد. این پدیده در شرایط زیر صدق می کند (Eldeberky, 1996):

$$f_1 \pm f_2 = f_3, \quad k_1 \pm k_2 = k_3 \quad (10)$$

6. Quadruplet wave-wave interaction

7. Discrete interaction approximation

5. Triad wave-wave interaction



شکل (۱): شبکه بکار رفته جهت مدل‌سازی منطقه خلیج فارس

انجام و هر مورد به‌طور جداگانه بررسی شد.

۳-۲-۱- داده‌های باد

از داده‌های باد در دو بازه زمانی متفاوت، مربوط به سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۲ و سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۸ استفاده شد و برای بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۸ انطباق بهتری با اندازه‌گیری‌های بویه مشاهده شد. این نتایج در شکل‌های (۲) و (۳) ارائه شده است. البته بایستی توجه داشت که ممکن است با توجه به پیشرفت‌های حاصله در روش‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری، دقت داده‌های مربوط به بازه زمانی ۲۰۰۹-۲۰۰۸ بیشتر باشد. در ضمن مدل‌های هواشناسی نیز در این مدت دچار تغییراتی شده‌اند.

۳-۲-۲- ضریب اصطکاک کف

افزایش ضریب اصطکاک کف در آب کم‌عمق منجر به افزایش میرایی انرژی، کاهش ارتفاع و افزایش پریود موج می‌شود. در آب عمیق به دلیل اینکه امواج کف احساس نمی‌شود می‌توان از ضریب اصطکاک چشم‌پوشی کرد. پس وقتی یک موج از آب عمیق به طرف آب کم‌عمق منتشر می‌شود، بستر بر روی موج تأثیر گذاشته؛ لذا اثر اصطکاک بستر در جمله مربوط به منبع در معادله بقای انرژی اهمیت پیدا می‌کند.

نهایی برای مدل انتخاب شد. در مدل تهیه شده، کلیه مرزهای خشکی بسته و مرز آبی مرتبط با دریای عمان به صورت مرز باز تعریف شد. شبکه به کار رفته در شکل (۱) ارائه شده است.

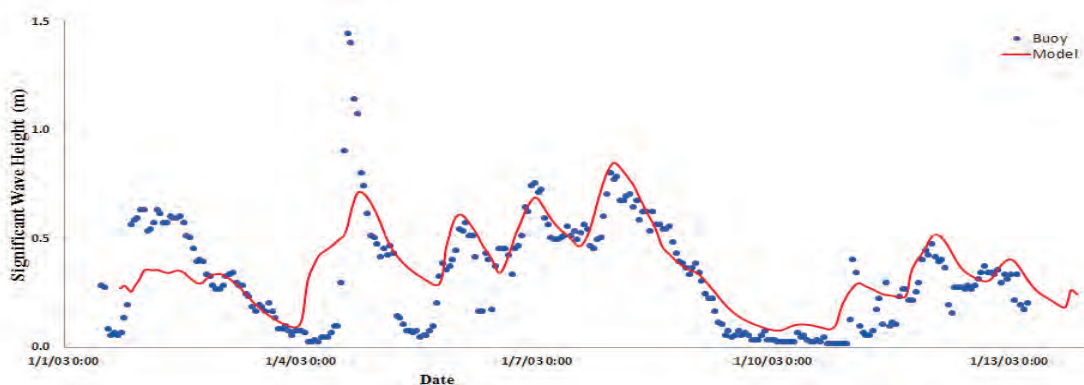
۳- تجزیه تحلیل داده‌ها

۳-۱- داده‌های مورد استفاده

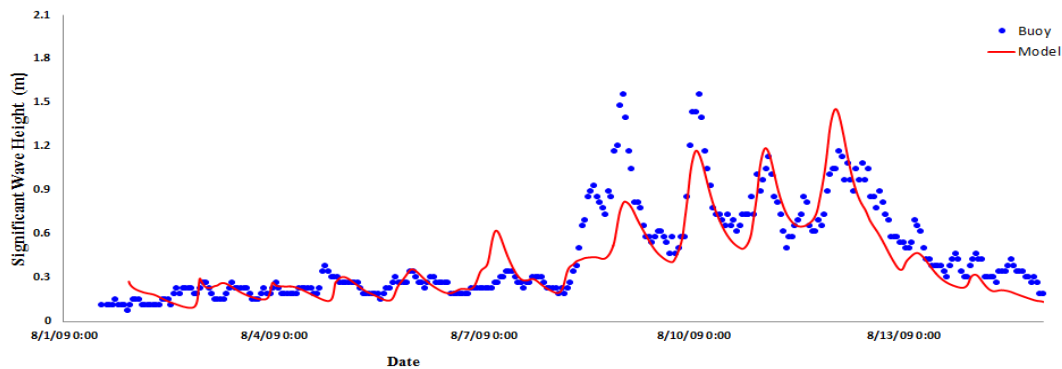
داده‌های مورد استفاده در مدل‌سازی شامل داده‌های عمق سنجی خلیج فارس، داده‌های مربوط به باد برای بازه‌های زمانی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۲ و ۲۰۰۹-۲۰۰۸ است. به منظور واسنجی و همین‌طور صحت‌سنجی نتایج از داده‌های بویه عسلویه که در موقعیت جغرافیایی ۵۲٫۵ شرقی و ۲۷٫۵ شمالی در محلی به عمق ۲۵ متری قرار دارد، استفاده شد. برای مرز باز و بازه‌های زمانی مورد مطالعه دریای عمان از داده‌های موج شامل ارتفاع شاخص، زمان تناوب پیک، جهت میانگین و شاخص پراکندگی استفاده شد.

۳-۲- واسنجی مدل

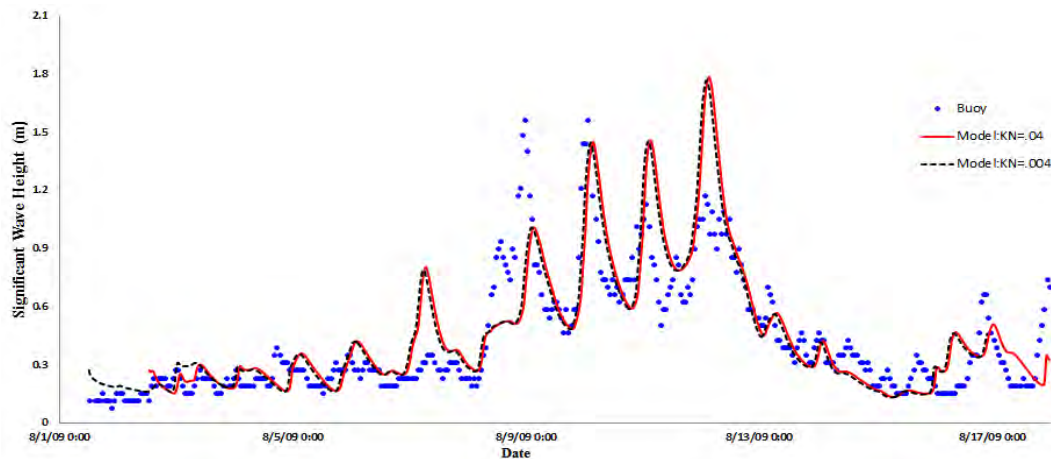
به منظور واسنجی مدل، پارامترهایی نظیر داده‌های باد، ضریب اصطکاک کف و متغیرهای مربوط به سفیدک راس موج تحلیل حساسیت



شکل (۲): پیش‌بینی امواج در محل نصب بویه بر اساس داده‌های باد مربوط به بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۲



شکل (۳): پیش‌یابی امواج در محل نصب بویه بر اساس داده‌های باد مربوط به بازه زمانی سالهای ۲۰۰۹ - ۲۰۰۸



شکل (۴): مقایسه تاثیر مقادیر ضریب زبری Nikuradse خط ممتد $KN=0.04$ و خط چین $KN=0.004$ در پیش‌یابی امواج دریا در محل نصب بویه

مدل نقش مهم‌تری ایفا می‌کنند. در این خصوص، مقدار پیش‌فرض برنامه از هر دو پارامتر استفاده شد و نتایج مربوط به زبری Nikuradse با اندازه‌گیری‌ها میدانی مطابقت بهتری را نشان داد. نتایج مربوط به مدل‌های مذکور جهت مقایسه در شکل (۴) ارائه شده است. ملاحظه می‌شود با تغییر ضریب زبری نتایج تغییر نمی‌کند.

در نرم افزار MIKE 21 برای اصطکاک کف، ضریب میرایی (پارامتر زبری Nikuradse و یا اندازه مصالح بستر) تعیین می‌شود. در این مطالعه از هر دو پارامتر استفاده شد و نتایج مربوط به زبری Nikuradse با اندازه‌گیری‌ها میدانی مطابقت بهتری را نشان داد. نتایج مربوط به مدل‌های مذکور جهت مقایسه در شکل (۴) ارائه شده است. ملاحظه می‌شود با تغییر ضریب زبری نتایج تغییر نمی‌کند.

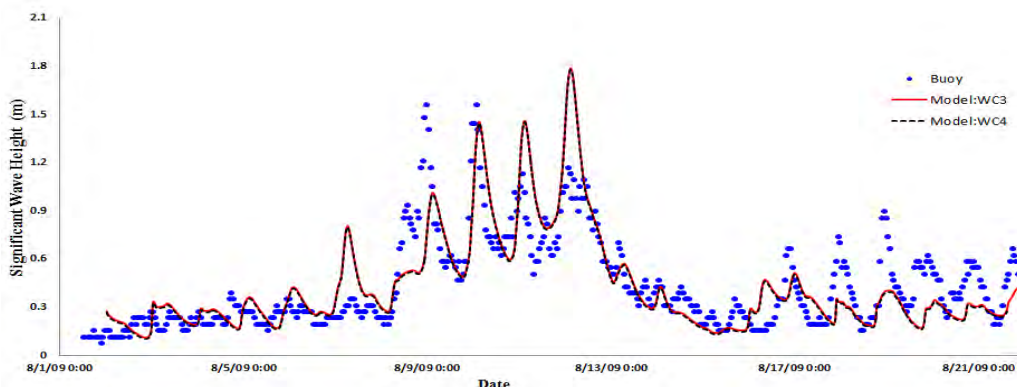
جدول (۱): مقادیر مختلف پارامترهای سفیدک راس موج به کار رفته در واسنجی مدل

	WC1	WC2	WC3	WC4
C_{ds}	۴/۵	۴/۵	۲	۲
δ	۰/۵	۰/۸	۰/۵	۰/۸

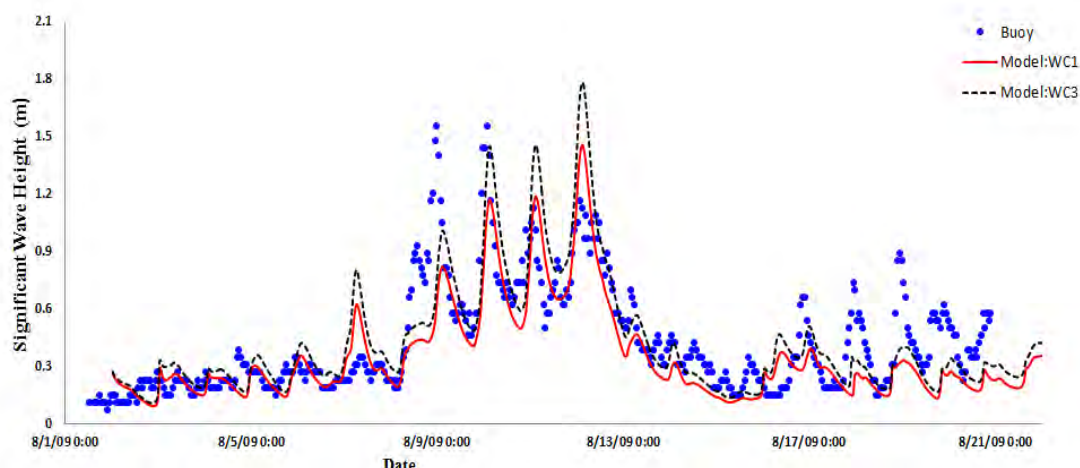
۳-۲-۳- پارامترهای مربوط به پدیده سفیدک راسب

موج

همان‌گونه که اشاره شد، متغیرهای C_{ds} و δ که در مدل‌سازی پدیده سفیدک راس موج به کار می‌روند، جهت انطباق بهتر نتایج، در واسنجی



شکل (۵-الف): مقایسه نتایج پیش‌یابی امواج برای مقادیر مختلف متغیرهای مربوط به پدیده سفیدک راس موج مطابق جدول (۱)



ادامه شکل (۵-ب): مقایسه نتایج پیش‌یابی امواج برای مقادیر مختلف متغیرهای مربوط به پدیده سفیدک راس موج مطابق جدول (۱)

تأثیر پارامترهای سفیدک راس موج در آب‌های عمیق بیشتر محسوس می‌باشد، به خصوص این اثرات در ارتفاع موج بیشتر می‌باشد. با کاهش Cds استهلاک کاهش یافته و ارتفاع موج افزایش بیشتری می‌یابد (شکل ۵). ضریب همبستگی پررود اوج و میانگین جهت موج به میزان جزئی تغییر می‌کند (جدول ۲).

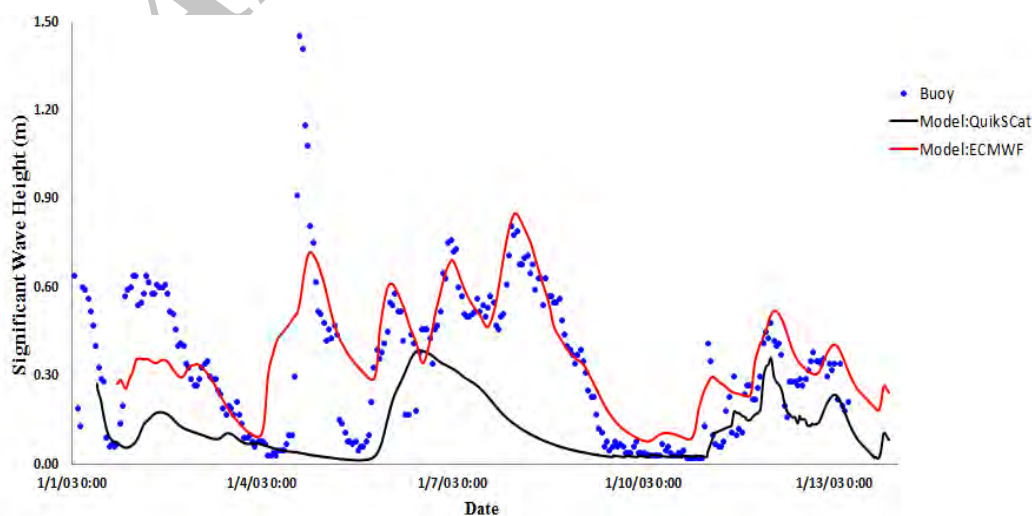
همان‌طور که در شکل (۵-الف) ملاحظه می‌شود با تغییر مقادیر δ (حالت ۳ و ۴ مطابق جدول ۱) نتایج تغییر نمی‌کند. در جدول (۲) شاخص آماری مربوط به دو حالت ۱ و ۳ پارامترهای واسنجی جدول (۱) به صورت جمع‌بندی نشان داده شده است.

جدول (۲): مقایسه نتایج مدل با داده‌های نقطه واسنجی و صحت سنجی

پارامتر موج	شاخص آماری	ضرایب واسنجی حالت ۱	ضرایب واسنجی حالت ۳
ارتفاع موج	CC	۰/۸۶۱۰	۰/۸۲۰۰
شاخص (متر)	RMSE	۰/۲۰۷۰	۰/۱۷۹۰
	Bias	-۰/۰۵۶۰	-۰/۰۰۳۴
دوره تناوب موج (ثانیه)	CC	۰/۵۶۰۰	۰/۵۵۰۰
	RMSE	۱/۰۴۰۰	۱/۰۰۲۲
	Bias	-۰/۳۲۱۰	-۰/۰۷۶۰
میانگین جهت موج (درجه)	CC	۰/۸۸۰۰	۰/۸۸۶۰
	RMSE	۲۴/۱۹۰۰	۲۴/۱۸۰۰
	Bias	-۰/۹۰۳۰	-۲/۷۵۰۰

۳-۲-۴- مقایسه نتایج پیش‌یابی موج مربوط به داده‌های مدل باد ECMWF با داده‌های ماهواره QuikSCAT

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، هدف از این مطالعه بررسی تأثیر داده‌های ورودی میدان باد در پیش‌یابی امواج دریا در منطقه خلیج فارس می‌باشد. بدین منظور پس از واسنجی مدل برای میدان باد مربوط به مدل ECMWF، در مرحله بعدی همین کار برای میدان باد مربوط به اندازه‌گیری‌های ماهواره QuikSCAT انجام شد. داده‌های باد به کاررفته در مرحله واسنجی مربوط به سال ۲۰۰۹ می‌باشد که برای آنها نیز نتایج نشان می‌دهد ضریب اصطکاک Nikuradse با مقدار ثابت ۰/۰۰۴۰ و متغیرهای $C_{ds} = ۴/۵$ و $\delta = ۰/۵$ برای مدل‌سازی پدیده سفیدک راس موج،



شکل (۶): پیش‌یابی امواج در محل نصب بویه براساس داده‌های باد مدل هواشناسی ECMWF و داده ماهواره‌ای مربوط به بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۰۳

مراجع

- ۱- موسسه اقیانوس‌شناسی، پروژه مدل‌سازی امواج دریاهای ایران، ۱۳۸۵.
- ۲- سیادت موسوی، سید مصطفی و بدیعی، پیمان، "مقایسه نتایج ریاضی تعیین مشخصه‌های امواج ناشی از باد و مدل پارامتریک با SWAN و MIKE21-SW و SPM در خلیج چابهار"، هفتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، ۱۳۸۵.
- ۳- طالقانی قربانی، مهدی و گلشنی، علی اصغر، "بررسی اقلیم موج در بندر امیرآباد با اجرای مدل محلی و روش‌های نیمه تجربی"، مجله فیزیک دریا، ۱۳۹۰، صص ۱۹۳-۲۱۰.
- 4- M.H. Moeini, A.E.-Shahidi, Application of two numerical models for wave hindcasting in Lake Erie. Ocean Research, 2007.
- 5- Enviromant, D.W.a., Mike21 Wave Modelling User Guide. 2007.
- 6- S.R., M., Ocean surface waves: Their physics and predictions. Advanced series on ocean engineering, 1996. Volume 11 (World scientific).
- 7- Janssen., P., (2004).The interaction of ocean waves and wind. Cambridge University Press.
- 8- Komen G.J., C.L., Donelan M., Hasselmann K., Hasselmann S., Janssen P.A.E.M., (1996). Dynamics and modeling of ocean waves. Cambridge University Press.
- 9- Johnson., H, K., and Kofoed-Hansen., H., (1999) influence of Bottom Friction on Sea Surface Roughness and Its Impact on Shallow Water Wind Wave Modeling. Danish Hydraulic Institute, Horsholm, Denmark.
- 10- Y, E., Nonlinear transformation of wave spectra in the nearshore zon. university of technology Delft, 1996.
- 11- Tolman, H.L., Chalikov, source terms in a third-generation wind wave model. ocean modelling branch, 1996.
- 12- Eldeberky, Y. and Battjes, J. A. (1996). "Spectral modeling of wave breaking: application to Boussinesq equations." Geophys. Res., Vol. 101 (C1), PP. 1253-1264.

همخوانی بهتری را با اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد. در مرحله بعد مدل واسنجی‌شده برای داده‌های ماهواره QuikSCAT برای داده‌های باد مربوط به سال ۲۰۰۲ اجرا و نتایج پیش‌یابی مربوطه با نتایج مربوط به مدل ECMWF در شکل (۶) با هم مقایسه شده است. همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود به دلیل بازه‌های زمانی ۱۲ ساعته داده‌های ماهواره‌ای و نادیده گرفتن طوفان‌ها در این بازه زمانی، نتایج مدل‌سازی با اندازه‌گیری‌های بویه‌ها تطابق خوبی ندارد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله از مدول SW نرم‌افزار MIKE 21 که مدل ریاضی نسل سوم تبدیل باد به موج است جهت پیش‌یابی امواج خلیج فارس استفاده شده است. با توجه به اینکه اصلی‌ترین ورودی چنین مدل‌های پیش‌بینی موج، پارامترهای مربوط به باد است بدین منظور داده‌های ماهواره‌ای QuikSCAT و داده‌های مدل هواشناسی ECMWF جهت پیش‌یابی امواج مورد استفاده قرار گرفت. پس از تحلیل حساسیت‌های مختلف برای پارامترهای تأثیرگذار و واسنجی مدل تهیه‌شده، پیش‌یابی‌های انجام‌شده در بازه زمانی ۲۰۰۲ با اندازه‌گیری‌های بویه مقایسه شد. با توجه به اینکه داده‌های باد ماهواره در فواصل زمانی ۱۲ ساعته و داده‌های مدل ECMWF برای فواصل زمانی ۶ ساعته است، نتایج پیش‌یابی بر اساس داده‌های باد ماهواره QuikSCAT قادر به پیش‌یابی بعضی حوادث که در فاصله بین این ۱۲ ساعت اتفاق افتاده نیست. نتایج پیش‌یابی مربوط به مدل ECMWF نیز علیرغم پیش‌یابی نسبتاً خوب، در بعضی موارد مقادیر کمتر یا بیشتری را نتیجه می‌دهد.