

بررسی تاثیرپذیری مدل های MIKE21 و SWAN از تغییرات باد در شبیه سازی مشخصه موج در منطقه خزر جنوبی

مهدی محمد مهدی زاده^۱، سیدحسین حسن تبار^۲

shh.tabar@yahoo.com

۱- دکترای تخصصی، دانشگاه هرمزگان

۲- کارشناسی ارشد، دانشگاه هرمزگان

چکیده

پیش بینی امواج در سال های اخیر اساس طرح های مدیریتی بنادر بوده و به همین دلیل پیشرفت های چشمگیری در زمینه مدل های عددی مشاهده شده است، به طوریکه به تدریج مدل های عددی کاملتری طراحی و مورد استفاده قرار گرفته است. اما دانستن نقاط ضعف و قوت این مدل ها در شبیه سازی در مناطق و پروژه های حساس دریایی اهمیت مقایسه مدل های عددی با یکدیگر را بیشتر میکند که در همین راستا در این مقاله به بررسی میزان حساسیت دو مدل MIKE21 و SWAN نسبت به باد پرداخته شده است. بدین منظور نتایج این دو مدل در دو حالت باد متغییر و باد ثابت در طول مدت یکساله مورد بررسی قرار گرفته شده اند. با توجه به نتایج، اگرچه نوسانات دو مدل تقریباً با هم مشابه است اما در بررسی خطای نسبی دو مدل، مدل MIKE21 SW در حالت باد متغییر خطای نسبی کمتری نسبت به مدل SWAN را نشان داده است و به مراتب جوابی نزدیکتر به مقدار واقعی ارائه می دهد. بیشترین خطای نسبی محاسبه شده برای هر دو مدل MIKE21 SW و SWAN به ترتیب ۱۶/۷ درصد و ۲۶/۲ درصد بوده است. اما در مقابل در حالت باد ثابت مدل SWAN نتایجی نزدیکتر به واقعیت نشان می دهد. به طور کلی می توان گفت مدل SWAN کاهش نوسانات کندتری دارد ولی در مقابل مدل MIKE21 افزایش نوسانات کندی دارد که همین امر موجب می شود مدل MIKE21 نسبت به تغییرات جزئی باد ورودی حساس تر باشد.

واژگان کلیدی: امواج، مدل سازی عددی، مدل MIKE21-SW، مدل SWAN، خزر جنوبی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۴/۳۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۷/۲۴

۱- مقدمه

مدلسازی عددی روشی شناخته شده در مطالعات دریایی است. مشخصه‌های دریایی به شدت با زمان و مکان در حال تغییر هستند و شناخت مناسب آنان در یک منطقه مستلزم اندازه‌گیری‌های درازمدت در فواصل زمانی مختلف در نقاط متعددی می‌باشد. اما به دلیل هزینه بالای برداشت‌های دریایی به صورت گسترده، امروزه با بالا رفتن سرعت پردازش رایانه‌ها و نیز رشد روش‌های عددی، برای سهولت در پیش بینی خصوصیات پدیده‌های دریایی از مدلسازی عددی استفاده می‌شود.

از جمله این پدیده‌های دریایی مشخصه موج می‌باشد که یکی از پدیده‌های مهم در مناطق ساحلی است. از اهمیت این پدیده دریایی (موج) می‌توان به ساخت سازه‌های دریایی، مدیریت سواحل و بنادر، ساخت و ساز در حریم ساحل و مواردی از این قبیل اشاره کرد که همگی نیازمند به شناخت مشخصه موج در منطقه می‌باشند. بنابراین شهرهای ساحلی به دلیل صنایع شیلات، دریانوردی، مدیریت بنادر و حمل‌ونقل دریایی، نیاز روز افزون به پیش‌بینی مشخصه موج دارند و عدم آگاهی از آن در زمان و مکان معین می‌تواند خسارت جانی و مالی فراوان را به بار آورد [۱].

در طی چند دهه گذشته روش‌ها و مدل‌های مختلفی اعم از روابط تجربی و مدل‌های عددی، توسعه یافته‌اند که میان سرعت باد و پارامترهای موج به صورت مستقیم یا غیرمستقیم رابطه‌ای برقرار کنند. استفاده از فرمولات ریاضی در مدل‌های عددی میزان تاثیرپذیری مدل‌ها از باد را بیشتر کرده تا نتایج دقیق‌تری در مدلسازی امواج حاصل شود. بنابراین تاثیرپذیری مدل‌های عددی از باد بسیار مهم و همچنین بررسی میزان تاثیرپذیری مدل‌ها از باد، بسیار حائز اهمیت است.

از میان این مدل‌های عددی مدل SWAN و MIKE21 از جمله پرکاربردترین مدل‌ها به حساب می‌آیند که با فرمول‌بندی مبانی فیزیکی مربوط به تولید و انتشار امواج ناشی از باد و فرایندهای خاص، نتایج قابل اطمینانی را عرضه می‌کنند [۲]. مدل SWAN مدل نسل سومی برای دستیابی به برآوردهای واقع‌گرایانه پارامترهای موجی در نواحی ساحلی، دریاچه‌ها و دهانه‌های رودخانه‌های بزرگ (مدخل‌ها) با توجه به شرایط باد، کف و جریان است که توسط دانشگاه دلف هلند طراحی شده است. روش عددی مورد استفاده آن

تفاضل محدود به صورت ضمنی است این مدل می‌تواند انتشار موج در فضا و زمان، شکست موج ناشی از جریان و عمق، انتقال فرکانس به علت جریان و عمق غیر ایستا، امواجی که به وسیله باد تولید می‌شوند، برهمکنش‌های سه‌گانه و چهارگانه موج، سفیدک رأس موج، اصطکاک و شکست ناشی از عمق، خیزاب ناشی از عمق، انتقال و انعکاس به خاطر وجود موانع و تفرق را محاسبه کند. این مدل دارای قابلیت اجرای موازی نیز می‌باشد. فرایند اندرکنش موج-موج چهارتایی به یک روش دقیق و دو روش تقریبی، اندرکنش موج-موج سه تایی و اثر بستر به چند روش در این مدل وارد شده است [۷ و ۸]. اما در مقابل مدل MIKE21 که توسط انستیتوی هیدرولیک دانمارک (DHI) تهیه شده است، دارای روش حل حجم محدود به صورت صریح است و در آن برای اندرکنش موج-موج چهارتایی تنها یک روش تقریبی قابل استفاده است و اندرکنش سه تایی موج-موج در آن وارد نشده است این مدل با دارا بودن قابلیت‌های گوناگون در دریافت اطلاعات ورودی در محدوده وسیعی از کاربردهای تحقیقاتی و مهندسی، ابزار دریایی می‌باشد. این مدل ریاضی از مدول‌های متعددی جهت شبیه‌سازی پدیده‌ها استفاده می‌نماید که در این پروژه از مدول SW استفاده شده است. مدول SW شامل یک مدل تولیدکننده موج - باد طیفی مبتنی بر شبکه‌های نامنظم می‌باشد. این مدل رشد، زوال و انتقال امواج ناشی از باد و دورا را در مناطق ساحلی و فراساحلی شبیه‌سازی می‌کند [۹ و ۱۰]. تحقیقاتی نیز در زمینه بررسی عملکرد این دو مدل و شناخت نقاط ضعف و قدرت آنها انجام شده است که در اینجا به برخی از آنها اشاره می‌شود.

مصطفی سیادت موسوی و همکاران، ۱۳۸۹، مشخصات موج حاصل از دو مدل ریاضی WAVEWATCH و MIKE21 را با داده‌های اندازه‌گیری شده توسط بویه‌های نکاء و انزلی در دریای خزر مقایسه کردند. در این مقایسه مشاهده شد که دو مدل رفتار مشابهی داشته‌اند اما مدل MIKE21-SWAN نسبت به تغییرات جزئی باد ورودی حساس‌تر بوده و مقادیر بیش‌تری برای ارتفاع مشخصه و زمان تناوب نسبت به مدل WAVEWATCH بدست داده است [۳]. همچنین در تحقیقی دیگر استراس و همکاران (۲۰۰۷) در منطقه ساحل طلایی استرالیا، نتایج دو مدل موج MIKE21 و SWAN را با هم مقایسه کردند. واسنجی شرایط مرزی با توجه به داده‌های موج گرفته شده از سایت NOAA انجام شد و

بنابراین بررسی میزان تاثیرپذیری مدل‌ها از باد در شبیه سازی امواج، به منظور شناخت نحوه عملکرد مدل‌ها در شبیه سازی، بسیار حائز اهمیت است. در همین راستا این مقاله در پی بررسی میزان تاثیرپذیری دو مدل MIKE21 و SWAN از باد درخزر جنوبی و منطقه دریایی امیرآباد به دنبال پاسخگویی به این سوال می‌باشد که، دو مدل MIKE21 و SWAN در منطقه امیرآباد با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه، با تغییرات باد چگونه تغییر کرده و کدامیک حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات باد نشان می‌دهند؟ بدین منظور برای پاسخ دهی به سوال مربوطه، این پژوهش به مقایسه نتایج حاصل از هر یک از مدل‌های MIKE21 و SWAN با داده‌های میدانی پرداخته و به منظور بررسی میزان تاثیر پذیری دو مدل از باد، نتایج این دو مدل را در دو حالت باد ثابت و باد متغیر مورد بررسی قرار می‌دهد. در این تحقیق به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات میدانی در سطح وسیع، نتایج تنها به صورت نقطه‌ای و در منطقه امیرآباد بررسی می‌شود. در همین راستا پس از جمع‌آوری داده‌های اولیه و برپایی مدل‌ها و اطمینان از صحت سنجی آن‌ها، دو مدل به مدت یکسال در شرایط متعارفی و در دو حالت باد ثابت و باد متغیر به صورت مجزا اجرا شده و اطلاعات مورد نیاز موج از آن‌ها خارج می‌گردد. سپس با توجه به داده‌های میدانی در منطقه امیرآباد، به جهت شناخت میزان تاثیرپذیری دو مدل از تغییرات باد، به بررسی نتایج حاصل از دو مدل پرداخته می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

برای توصیف تقریبی رفتارهای اقیانوس و پدیده‌های مرتبط با آن و پدیده‌های متأثر از آن میتوان از مدل‌های اقیانوسی استفاده کرد. علم اقیانوس شناسی بر مبنای مشاهدات استوار است، به همین دلیل برای اینکه یک مدل مفید باشد بایستی ارتباط آن با مشاهدات، یک ارتباط بسیار قوی باشد [۶]. بنابراین باید هندسه و شرایط طبیعی مسئله با حداکثر دقت ممکن، وارد مدل شود.

۲-۱- داده‌های ورودی

اولین قدم در شبیه‌سازی عددی پدیده‌های دریایی و طراحی مدل‌های ریاضی، تهیه اطلاعات مختصات تراز نقاط مختلف کف دریا (bathymetry) می‌باشد. طول شبکه محاسباتی و

سرانجام خروجی دو مدل با داده‌های ثبت‌شده بویه در منطقه مورد مطالعه مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از کار آنان نشان داد که ۲ مدل نتایجی نزدیک به هم داشته‌اند و در هر دو مدل، جهت موج به تدریج به طرف شرق منطقه افزایش یافته است و دوره تناوب نیز تغییراتی کمتر از مقدار واقعی نشان داده است [۴].

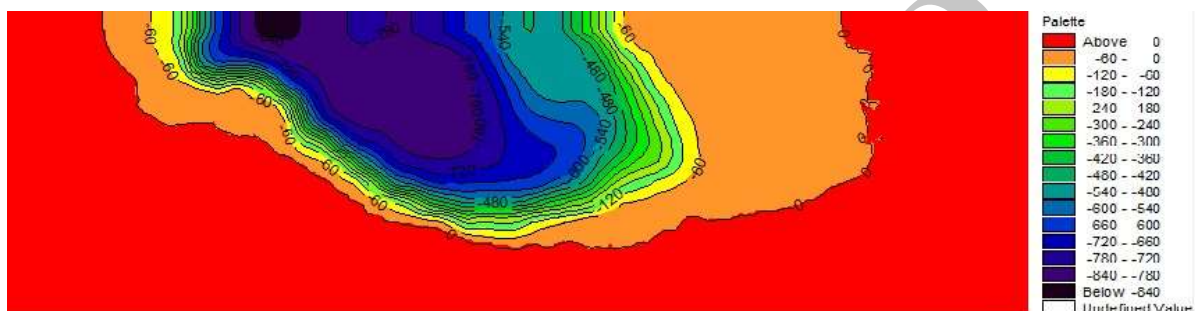
همانطور که گفته شد، در بررسی عملکرد مدل‌های عددی در شبیه سازی امواج، بررسی نقاط ضعف و قدرت مدل‌ها بسیار اهمیت دارد. برخلاف تحقیقات پیشین که عملکرد مدل‌ها در شرایط غیر متعارفی (متفاوت با شرایط عادی منطقه) مقایسه شد، در این تحقیق تنها به بررسی میزان تاثیر پذیری دو مدل از باد و نحوه عملکرد مدل‌ها در اثر نوسانات باد در شرایط عادی منطقه پرداخته شده است. به همین منظور از روش حذف باد در شبیه سازی امواج استفاده می‌شود. روشی که در آن مدل‌ها در شرایط عادی منطقه و در دو حالت بدون باد و همراه با باد اجرا شده و نتایج با داده‌های میدانی مقایسه می‌شوند. در این روش با توجه به نتایج حاصل از مدل‌ها در حالتی که باد ثابت است و یا بادی وجود ندارد و همچنین در حالت باد متغیر، توانایی مدل‌ها در شبیه سازی امواج بررسی شده و بدین ترتیب میتوان میزان تاثیرپذیری مدل‌ها از باد را بررسی کرد. در این مقاله نیز با تکیه بر این روش به بررسی میزان تاثیرپذیری دو مدل MIKE21 و SWAN از باد پرداخته شده است و به منظور انجام این کار، خزر جنوبی به دلیل وجود بنادر مهم و شرایط آب و هوایی مناسب و داشتن امواج دائمی در طول سال برای اجزای دو مدل انتخاب شده است.

دریای خزر (Caspian Sea) از شمال به روسیه، از جنوب به ایران، از غرب به جمهوری آذربایجان و از شرق به جمهوری ترکمنستان و قزاقستان محدود می‌شود. منطقه امیرآباد نیز یکی از مناطق مهم حاشیه جنوبی دریای خزر است که به دلیل وجود بندر مهم شمال کشور از اهمیت سیاسی و اقتصادی بسیاری برخوردار است [۵]. وضعیت آب و هوایی منطقه امیرآباد، نیاز به بررسی همه جانبه و پیش‌بینی خصوصیات امواج در این منطقه را ضروری میکند که در همین راستا نیاز به یک پایش همیشگی در منطقه احساس می‌شود.

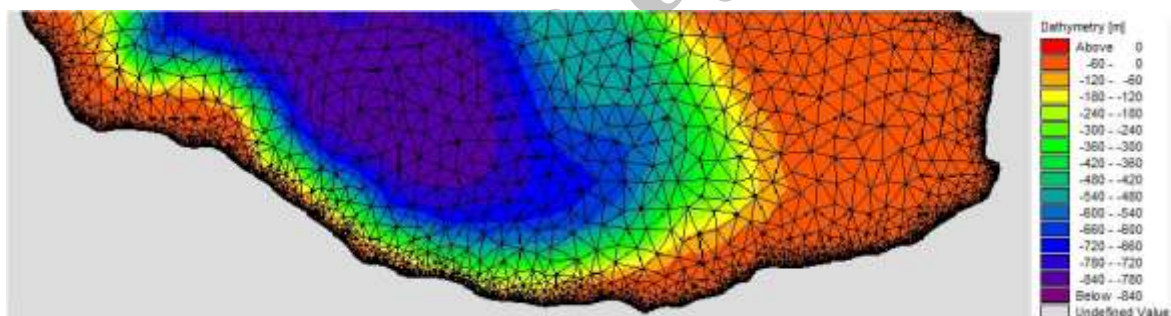
همانطور که اشاره شد، تاثیرپذیری بیشتر مدل‌های عددی از باد، در شبیه سازی امواج، نتایج بهتری را بدست می‌دهد.

شده است که شبکه نهایی مورد استفاده آن شامل ۶۳۲۹۰ المان و ۳۸۴۲۱ گره می‌باشد. شکل (۱) و شکل (۲) به ترتیب عمق سنجی دو مدل SWAN و MIKE21 را نشان می‌دهد. از آنجا که مدل MIKE21-SW توسط سازمان ملی اقیانوس شناسی برای کل دریای خزر اجرا شده است، پارامتر موج خروجی این مدلسازی برای ورودی مرز باز در مدل‌ها استفاده شده است. لازم به ذکر است با توجه به بزرگ بودن منطقه مدل شده و بررسی نتایج در نقاط دور از مرز، دقت نتایج چندان به اطلاعات مرز باز شمالی وابسته نیست.

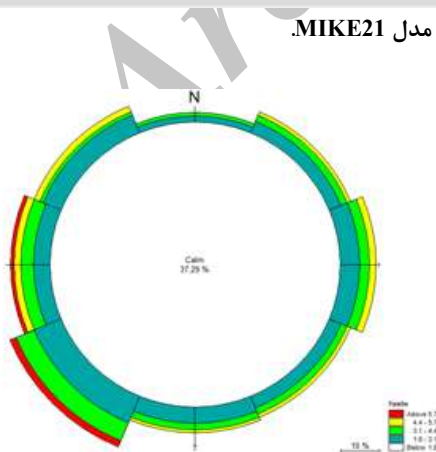
نقشه هیدروگرافی ۸ درجه در راستای شرقی - غربی، از ۴۸ درجه شرقی تا ۵۶ درجه شرقی و عرض آن ۱/۷ درجه در راستای شمال - جنوب است، از ۳۶/۰۱ درجه شمالی تا ۳۷/۰۸ درجه شمالی است که از دیتابیس جیبکو تهیه شده است [۱۱]. شبکه محاسباتی برای مدل SWAN به صورت المان‌های مربعی منظم تعریف شده است که مستطیلی به طول ۱۲۳۷/۵ کیلومتر و عرض ۷۰۵ کیلومتر را تشکیل می‌دهد. و برای مدل MIKE21-SW دلیل اساس مدول SW، از شبکه بندی غیر منظم و المان‌های مثلثی استفاده



شکل (۱) موقعیت شبکه محاسباتی مدل SWAN.



شکل (۲) موقعیت شبکه محاسباتی مدل MIKE21.



شکل (۳) گلباد داده‌های باد مورد استفاده، در منطقه امیرآباد.

در این پژوهش از دو نوع باد استفاده شده است. باد نوع اول، باد ثابت است که میانگین باد ماهیانه داده بویه می‌باشد که به منظور شبیه سازی امواج در شرایط باد ثابت از آن استفاده شده است. باد نوع دوم داده باد شبکه‌بندی شده با سری زمانی متغییر در مکان و زمان است که از خروجی مدل هواشناسی WRF گرفته شده است و کل سطح خزر را پوشش می‌دهد. شکل (۳) گلباد این داده (باد متغییر) را به صورت موردی در منطقه امیرآباد نشان می‌دهد.

۳- بررسی نتایج

۳-۱- صحت سنجی

شروع بازه زمانی صحت سنجی ساعت ۱۲:۰۰ ظهر تاریخ ۲۰۰۸/۳/۴ و زمان خاتمه آن ساعت ۱۸:۰۰ تاریخ ۲۰۰۸/۴/۱۴ انتخاب گردید. در مدل MIKE21-SW به جهت کالیبره مدل و همخوانی میان داده‌های حاصل از اجرای مدل با داده‌های بویه، ضریب اصطکاک بستر شامل زبری Nikurads به صورت ثابت در منطقه و به مقدار 0.004 در نظر گرفته شده است، علاوه بر این ضریب درگ m with $\beta = 7.8 - 0.0$ و $\alpha = 0.00063$ (سفیدک رأس موج) نیز به صورت ثابت و برابر $\Delta dis = 2.5$ و $Cdis = 5$ همچنین در مدل SWAN ضریب سفیدک رأس موج $4/1e - 5$ انتخاب شده و برای ضریب اصطکاک و شکست موج پیش‌فرض‌های مدل SWAN در نظر گرفته شده است. به منظور ارزیابی ارتفاع موج پیش بینی شده توسط دو مدل و بررسی میزان همخوانی نتایج حاصله با واقعیت، در درجه اول از نمودار مقایسه‌ای استفاده شده است. در این نمودارها که در شکل‌های (۴) و (۵) ترسیم شده‌اند، مقادیر حاصل از اجرای دو مدل MIKE21 و SWAN با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط بویه سازمان هواشناسی در منطقه امیرآباد (داده میدانی) مقایسه شده است. همچنین علاوه بر نمودار از پارامترهای آماری که بیانگر دقت انطباق دو سری داده‌های میدانی و پیش بینی شده می‌باشند نیز استفاده شده است، که روابط ریاضی آنها در زیر آمده است [۱۲، ۱۳].

(ا) اریبی (Bias):

یکی از مشخصه‌هایی است که میزان اختلاف میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های محاسباتی را نشان می‌دهد. هر چه مقادیر این پارامتر به صفر نزدیکتر باشد دقت مدل بالاتر است.

$$Bias = \bar{y} - \bar{x} \quad (1)$$

جذر میانگین مربع خطاها (RMSE):

یکی از مشخصه‌هایی است که برای پراکندگی دو متغیر با واحد یکسان به کار گرفته می‌شود. این مشخصه میزان پراکندگی متغیرها از مقدار واقعی را نشان می‌دهد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_i - x_i)^2} \quad (2)$$

(ب) ضریب همبستگی (CC):

شاخصی است که به منظور تعیین نوع همبستگی بین دو متغیر به کار می‌رود. این مشخصه میزان همخوانی و همبستگی نسبت به داده‌های واقعی را نشان می‌دهد. مقادیر این ضریب در بازه $-1 \leq CC \leq 1$ می‌باشد، $CC=1$ همبستگی کامل، $CC=-1$ همبستگی کامل ولی معکوس و $CC=0$ عدم همبستگی بین دو متغیر را نشان می‌دهد.

$$CC = \frac{\sum_i ((x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

(ت) ضریب پراکندگی (SI):

این ضریب پراکندگی دو متغیر را به صورت مطلق نشان می‌دهد. چنانچه در مقدار داده‌ها پراکندگی وجود نداشته باشد و مقادیر x و y بر هم منطبق باشند، مقدار این ضریب صفر است. بنابراین هر چه مقادیر به صفر نزدیکتر باشد میزان دقت مدل بالاتر است.

$$SI = \frac{RMSE}{\bar{x}} \times 100 \quad (4)$$

در روابط فوق:

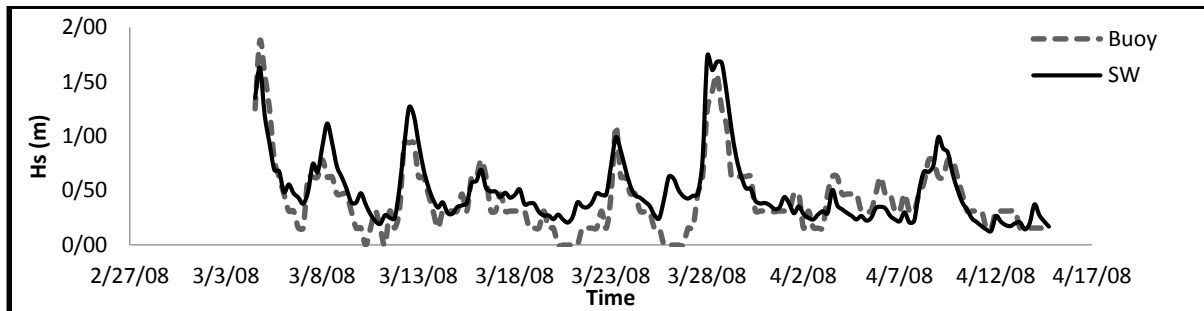
x = سری آماری نتایج اندازه‌گیری، y = سری آماری نتایج مربوط به مدل. \bar{x} = متوسط سری آماری نتایج اندازه‌گیری، \bar{y} = متوسط سری آماری مربوط به مدل، n = تعداد کل داده‌ها در سری آماری می‌باشد.

جدول (۱) مقادیر معمول هر یک از پارامترهای فوق برای ارتفاع موج رانشان می‌دهد. لازم به ذکر است در اکثر تحقیقات و مراجع موجود، محدوده مذکور برای ارتفاع امواج منطقه به‌دست آمده و برای پیروی موج مقادیر مشخصی ارائه شده است [۷].

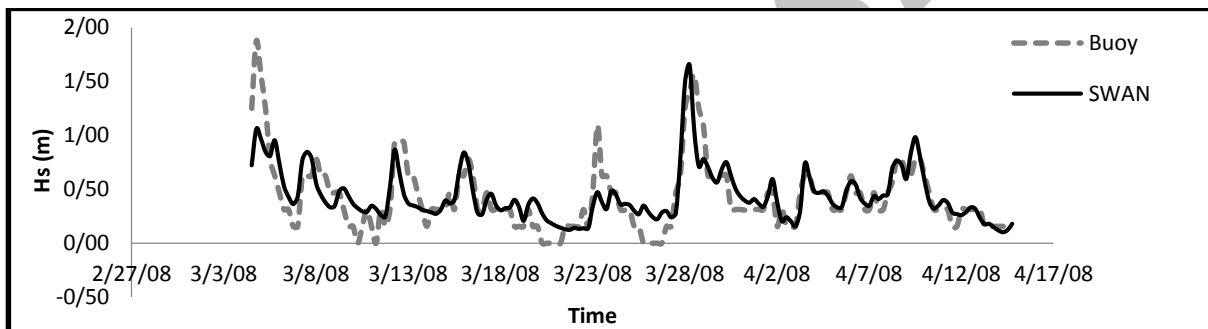
همان‌طور که مشاهده می‌شود دو مدل در نشان دادن نوسانات همخوانی خوبی با داده‌های بویه دارند بنابراین می‌توان از مدل ساخته شده با اطمینان برای پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص استفاده نمود. علاوه بر این در جدول (۲) نیز نتایج پارامترهای آماری محاسبه شده آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود پارامترها برای هر دو مدل در محدوده نرمال می‌باشد که بیانگر دقت مناسب نتایج مدل‌سازی است. همان‌طور که گفته شد، به منظور بررسی میزان تاثیرپذیری دو مدل از باد، مدل‌ها در دو حالت باد ثابت و باد متغیر اجرا شده‌اند تا بدین ترتیب میزان تاثیرپذیر مدل‌ها از باد بررسی شود.

جدول (۱) مشخصات پارامترهای آماری مورداستفاده در ارزیابی نتایج صحت سنجی مدل برای ارتفاع موج.

پارامترها	علامت اختصاری	واحد	محدوده نرمال	محدوده آرمانی
اریبی	Bias	m	۰/۲ - ۰/۵	کمتر از ۰/۳
جزر میانگین مربع خطاها	RMSE	m	۰/۱ - ۰/۷	کمتر از ۰/۵
ضریب همبستگی	Cc	بدون واحد	۰/۷۵ - ۰/۹	بیشتر از ۰/۸
ضریب پراکندگی	SI	بدون واحد	۰/۱۵ - ۰/۳۵	کمتر از ۰/۳



شکل (۴) سری زمانی ارتفاع موج اندازه‌گیری شده و مدل‌سازی شده در دوره صحت سنجی مدل MIKE21 SW.



شکل (۵) سری زمانی ارتفاع موج ثبت‌شده و مدل‌سازی شده در دوره صحت سنجی مدل SWAN.

۳-۲- نتایج مربوط به باد ثابت

برای مدل‌سازی در شرایط باد ثابت، میانگین داده‌های بویه استفاده شده است. به منظور کمتر شدن میزان خطا در شبیه‌سازی، طول دوره یکساله شبیه‌سازی به صورت ماهانه تقسیم شده و برای هر دوره، داده باد به صورت میانگین ماهانه داده‌های بویه استفاده شده است که شامل سرعت و جهت باد ثابت در منطقه می‌باشد. بدین ترتیب مشخصه موج توسط دو مدل MIKE21 و SWAN در بازه زمانی یکساله (سال ۲۰۰۸) شبیه‌سازی شده است. پس از اجرای مدل و بررسی نتایج حاصل از مدل‌سازی، برای تحلیل بهتر داده‌ها و مقایسه آنها با داده میدانی، مشخصه آماری ارتفاع موج برای دو مدل در قالب متوسط و بیشینه سالانه ارتفاع موج تعیین شده و مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از فرمول (۵) خطای نسبی آنها محاسبه گردید.

$$R_e = \left| \frac{Y_0 - Y_e}{Y_0} \right| \times 100 \quad (5)$$

Y_0 = مقدار مشاهده‌ای متغیر ، Y_e = مقدار تخمینی متغیر، R_0 = خطای نسبی.
در جدول (۳) مشخصات آماری ارتفاع موج برای حالت باد ثابت نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، میزان خطای مربوط به حالت متوسط سالانه برای مدل‌های MIKE21 و SWAN به ترتیب ۲۳/۶۳ و ۵۲/۷۲ می‌باشند و مدل SWAN در شبیه‌سازی امواج در حالت باد ثابت میزان خطای کمتری را نشان می‌دهد.

۳-۳- نتایج مربوط به حالت باد متغیر

همانطور که گفته شد در این قسمت از باد متغیر با زمان و مکان در سطح خزر استفاده شده است. پس از اجرای مدل‌ها به منظور بررسی نتایج حاصل از دو مدل و برای اینکه بتوان نتایج را در قالب جدول و نمودار نشان داد، طول زمان اجرای مدل به تعداد ۱۲ ماه تقسیم‌بندی شده است. مقادیر میانگین ماهانه مشخصه آماری ارتفاع موج شاخص برای دو مدل

صورتی که مدل MIKE21 همبستگی بهتری با نوسانات داشته (میانگین خطا: $7/83$) و به مراتب خطایی کمتر از مدل SWAN دارد. به طوریکه در مدت دوازده ماه داده‌های میانگین ماهانه موج حاصل از مدل MIKE21، در نه مورد جوابی نزدیکتر به داده واقعی داشته و به مراتب خطای کمتری داشته است. به منظور نشان دادن روند مدل‌سازی و مقایسه دو مدل، سه ماه از سال که ارتفاع موجی کمتر از دو متر دارند به صورت موردی انتخاب شده و نمایش داده شده است. در اشکال (۷) تا (۱۲) نمودار تغییرات سرعت باد به همراه تغییرات ارتفاع موج حاصل از دو مدل را در طول ماه اول (فروردین)، ماه چهارم (تیر) ماه هفتم (مهر) نشان داده است.

SWAN و MIKE21 به همراه داده‌های میدانی ثبت‌شده توسط بویه امیرآباد و همچنین خطای نسبی محاسبه شده، در جدول (۴) آمده است و در شکل (۶) نمودار مقایسه‌ای آن‌ها به نمایش گذاشته شده است. با توجه به داده‌های جدول، مشاهده می‌شود که نتایج حاصل از دو مدل نزدیک به هم و خطای نسبی محاسبه شده برای هر دو مدل در محدوده قابل قبولی می‌باشد، بیشترین مقدار خطا برای مدل MIKE21 و SWAN به ترتیب $16/72$ و $26/2$ محاسبه شده است که مربوط به ماه یازدهم می‌باشد. دو مدل نوسانات را به خوبی نشان داده اما در فرایند افزایش و کاهش مقادیر که ناشی از تغییرات باد است، مدل SWAN خطای بیشتری را از خود نشان می‌دهد (میانگین خطا: $11/21$) در

جدول (۲) شاخص‌های آماری در دوره صحت سنجی ۲ مدل SWAN و MIKE21 در محدوده امیرآباد.

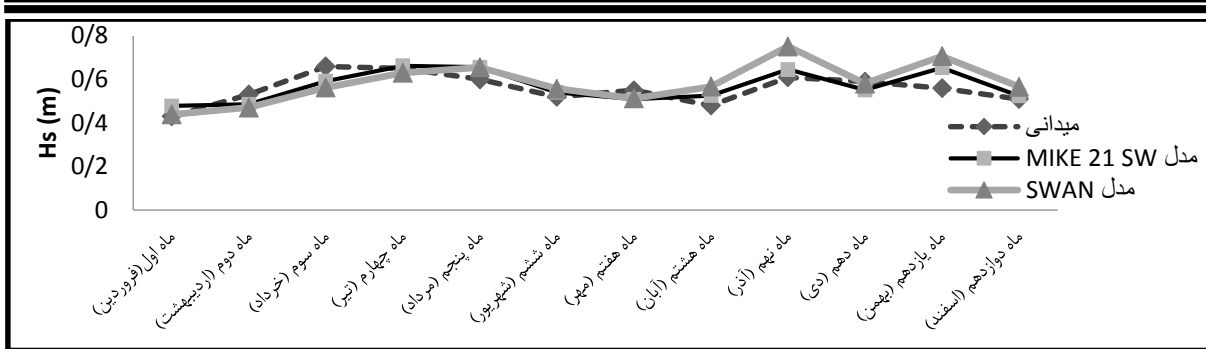
شاخص خطا	ارتفاع موج حاصل از مدل SWAN	ارتفاع موج حاصل از مدل MIKE21
Bias	۰/۰۲	۰/۰۸
RMAE	۰/۱۳	۰/۱۴
Cc	۰/۸۱	۰/۸۴
SI (%)	۲۰/۸	۲۱/۴۹

جدول (۳) مشخصات ارتفاع موج برای حالت باد ثابت در محدوده امیرآباد.

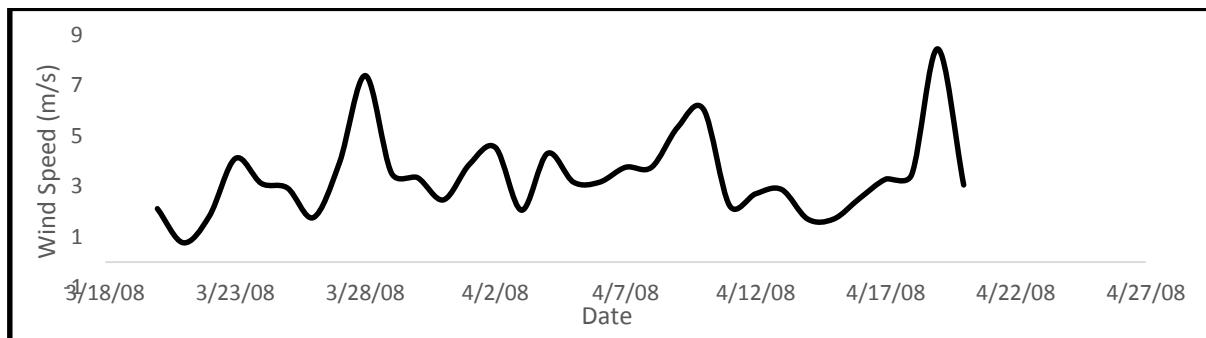
مشخصه ارتفاع موج	مدل MIKE 21 SW (m)	مدل SWAN (m)	میدانی (m)	خطای نسبی مدل MIKE21 (%)	خطای نسبی مدل SWAN (%)
متوسط سال	۰/۲۶	۰/۴۲	۰/۵۵	۵۲/۷۲	۲۳/۶۳
بیشینه سال	۰/۳۸	۰/۶۶	۲/۶۶	۸۵/۷۱	۷۵/۱۸

جدول (۴) میانگین ماهانه ارتفاع موج شاخص حاصل از ۲ مدل SWAN و MIKE 21.

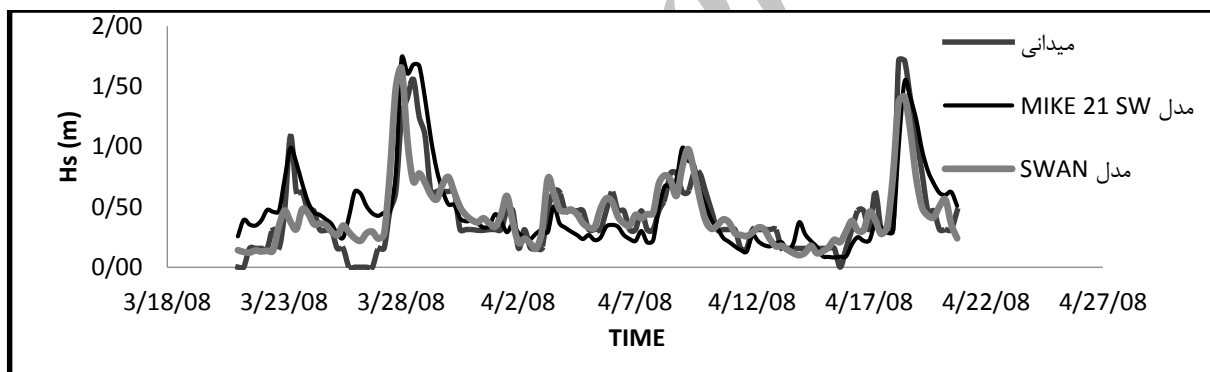
ردیف	ماه‌های سال	SWAN (m)	MIKE21 SW (m)	میدانی (m)	خطای نسبی مدل SWAN (%)	خطای نسبی مدل MIKE21 SW (%)
۱	ماه اول (فروردین)	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۴۳	۲/۱۳	۱۱/۱۸
۲	ماه دوم (اردیبهشت)	۰/۴۷	۰/۴۸	۰/۵۳	۱۱/۱۲	۸/۴۱
۳	ماه سوم (خرداد)	۰/۵۶	۰/۵۹	۰/۶۶	۱۴/۷۲	۱۰/۲۶
۴	ماه چهارم (تیر)	۰/۶۳	۰/۶۶	۰/۶۵	۳/۰۴	۲/۰۰
۵	ماه پنجم (مرداد)	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶	۹/۲۴	۹/۳۵
۶	ماه ششم (شهریور)	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۵۲	۷/۲۴	۴/۰۰
۷	ماه هفتم (مهر)	۰/۵۱	۰/۵	۰/۵۵	۶/۷۴	۷/۴۰
۸	ماه هشتم (آبان)	۰/۵۶	۰/۵۲	۰/۴۸	۱۸/۱۸	۹/۵۱
۹	ماه نهم (آذر)	۰/۷۵	۰/۶۴	۰/۶۱	۲۳/۲۷	۵/۸۲
۱۰	ماه دهم (دی)	۰/۵۸	۰/۵۵	۰/۵۹	۱/۴۹	۶/۴۶
۱۱	ماه یازدهم (بهمن)	۰/۷	۰/۶۵	۰/۵۶	۲۶/۲	۱۶/۷۲
۱۲	ماه دوازدهم (اسفند)	۰/۵۶	۰/۵۲	۰/۵۱	۱۱/۱۳	۲/۸۴



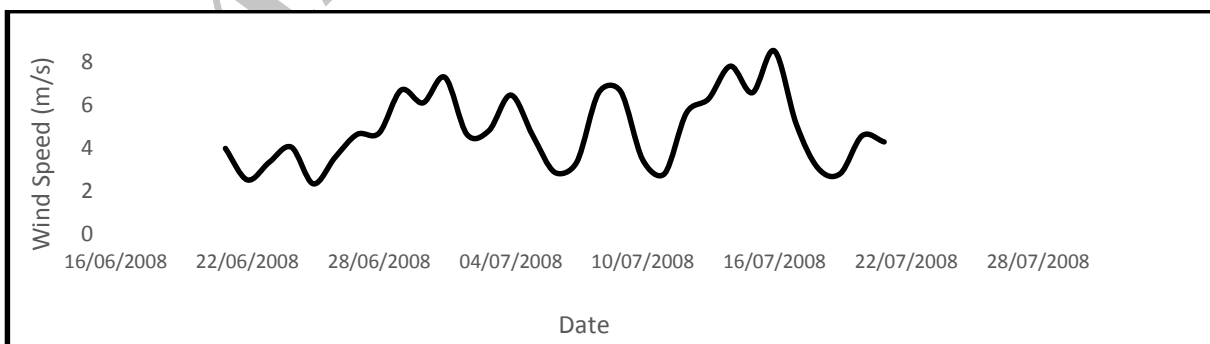
شکل (۶) مقایسه ماهیانه ارتفاع موج شاخص حاصل از مدل SWAN و MIKE21.



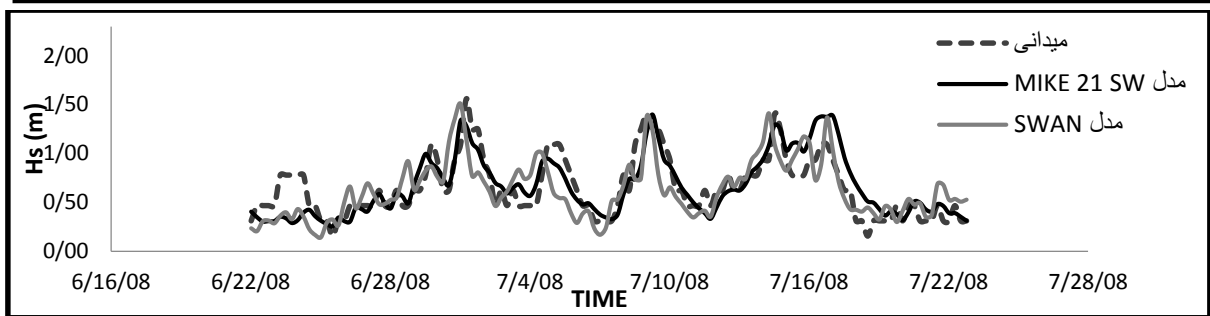
شکل (۷) نوسانات سرعت باد در طول ماه اول.



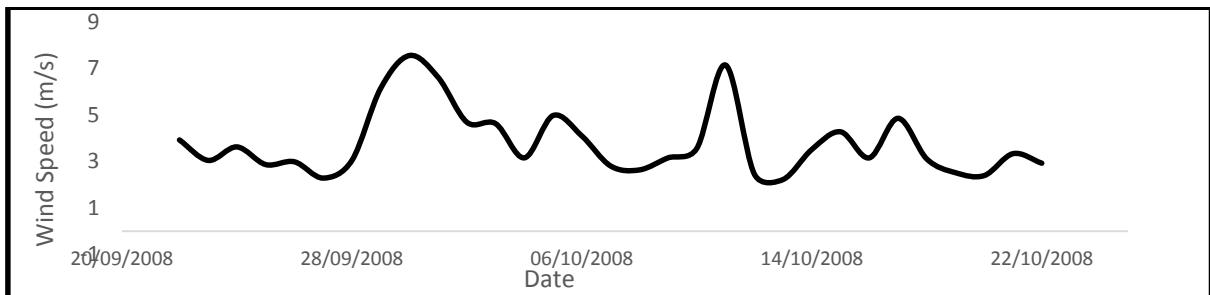
شکل (۸) نتایج مدل ۲ همراه مقادیر میدانی در ماه اول.



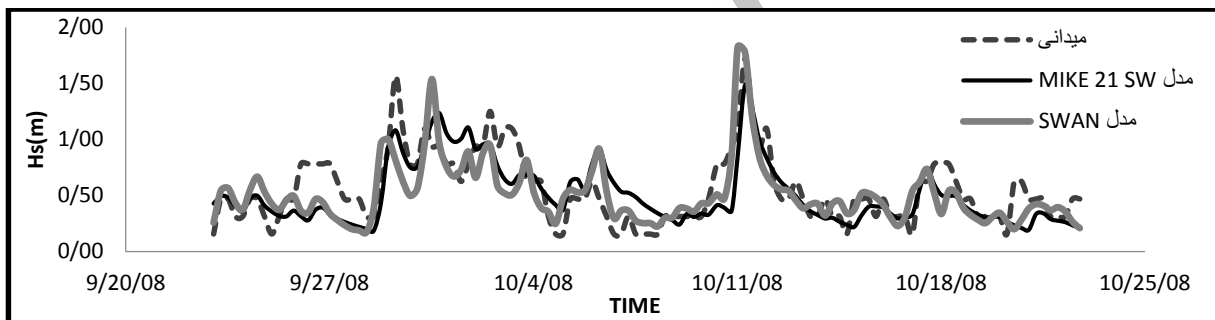
شکل (۹) نوسانات سرعت باد در طول ماه چهارم.



شکل (۱۰) نتایج ۲ مدل به همراه مقادیر میدانی در ماه چهارم.



شکل (۱۱) نوسانات سرعت باد در طول ماه هفتم.



شکل (۱۲) نتایج ۲ مدل به همراه مقادیر میدانی در ماه هفتم.

به شرایط متعادل می‌رسد و نتایجی با درصد خطا کمتر ارائه می‌دهد. روند دیگر قابل مشاهده این است که در مدل MIKE21 همبستگی بیشتری با نوسانات باد مشاهده می‌شود، یعنی با تغییرات جزئی سرعت باد، مدل MIKE21 نوسانات بهتری نشان می‌دهد.

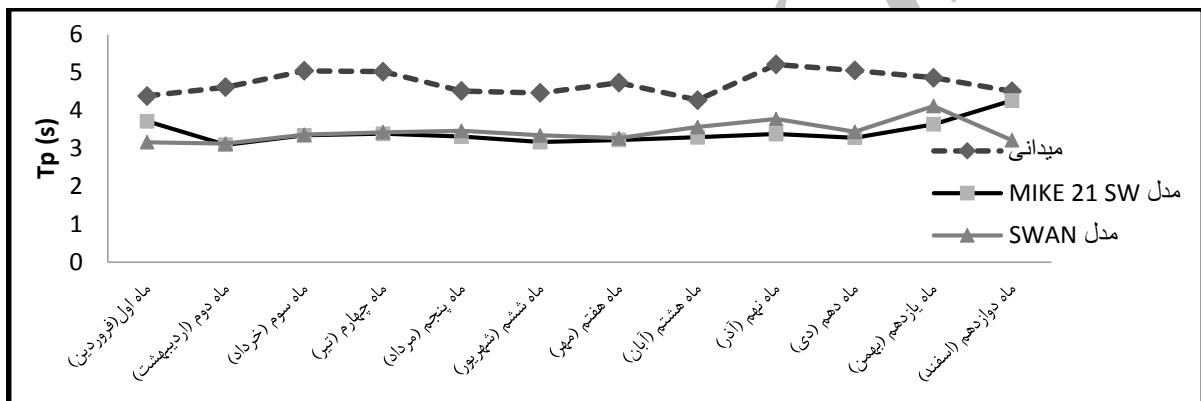
۳-۲- مقایسه زمان تناوب غالب

مقادیر میانگین ماهانه دوره تناوب برای دو مدل SWAN و MIKE21 به همراه داده‌های میدانی ثبت شده توسط بویه در جدول (۵) آمده است و در شکل (۱۳) به نمایش گذاشته شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که دوره تناوب حاصل از مدل‌ها با واقعیت، نه از نظر اندازه و نه از نظر روند تغییرات مشابه نیست.

با توجه شکل‌ها و مشاهده نوسانات باد و تغییرات موج‌های شبیه سازی شده توسط دو مدل در هر ماه، مشاهده می‌شود که با نوسانات باد دو مدل نیز نوساناتی را انجام می‌دهند و در شرایط متعارفی دو مدل نوسانات مناسب و نتایج خوبی را نشان می‌دهند. همانطور که قبلاً هم به آن اشاره شده است، خطاهای ایجاد شده زمانی بوجود می‌آید که سرعت باد افزایش یا کاهش پیدا می‌کند. مقادیر ارتفاع موج در مدل SWAN با افزایش سرعت باد به صورت ناگهانی افزایش یافته به طوریکه در شبیه سازی ارتفاع‌های بالای موج، مقادیر بالاتر از واقعیت را پیش بینی می‌کند. مدل MIKE21 رشد آرام‌تری دارد. به عبارتی دیگر با افزایش سرعت باد، ارتفاع موج در مدل MIKE21 طی گام‌های زمانی بیشتری افزایش می‌یابد و در شرایط متعارفی که رشد باد کاهش می‌یابد زودتر

جدول (۵) میانگین ماهانه دوره تناوب حاصل از مدل SWAN و MIKE21

ردیف	ماه‌های سال	SWAN (s)	MIKE21 (s)	میدانی (s)	خطای نسبی SWAN (%)	خطای نسبی MIKE21 SW (%)
۱	ماه اول (فروردین)	۳/۱۵	۳/۷۱	۴/۳۸	۲۷/۸۷	۱۵/۲۹
۲	ماه دوم (اردیبهشت)	۳/۱۲	۳/۰۹	۴/۶۱	۳۲/۲۷	۳۲/۹۰
۳	ماه سوم (خرداد)	۳/۳۵	۳/۳۳	۵/۰۴	۳۳/۴۰	۳۳/۷۴
۴	ماه چهارم (تیر)	۳/۴۲	۳/۳۸	۵/۰۲	۳۱/۸۱	۳۲/۶۴
۵	ماه پنجم (مرداد)	۳/۴۵	۳/۳	۴/۵۱	۲۳/۳۲	۲۶/۶۳
۶	ماه ششم (شهریور)	۳/۳۴	۳/۱۶	۴/۴۶	۲۵/۱۱	۲۹/۰۸
۷	ماه هفتم (مهر)	۳/۲۶	۳/۲۱	۴/۷۳	۳۰/۹۵	۳۱/۹۷
۸	ماه هشتم (آبان)	۳/۵۶	۳/۲۹	۴/۲۷	۱۶/۶۱	۲۲/۹۰
۹	ماه نهم (آذر)	۳/۷۷	۳/۳۷	۵/۲۱	۲۷/۶۲	۳۵/۲۰
۱۰	ماه دهم (دی)	۳/۴۳	۳/۲۷	۵/۰۵	۳۱/۹۷	۳۵/۱۰
۱۱	ماه یازدهم (بهمن)	۴/۱۱	۳/۶۳	۴/۸۶	۱۵/۳۵	۲۵/۲۳
۱۲	ماه دوازدهم (اسفند)	۳/۲۱	۴/۲۶	۴/۵	۲۸/۶۶	۵/۳۰



شکل (۱۳) میانگین ماهیانه دوره تناوب حاصل از مدل SWAN و MIKE21

به جهت صحت سنجی و بررسی همخوانی نتایج مدلها با واقعیت، دو مدل در مدت ۴۴ روز اجرا شده و نتایج موج با داده‌های بویه امیرآباد مقایسه شد. با توجه به نمودارهای صحت سنجی، دو مدل همخوانی خوبی با داده‌های میدانی داشته و همچنین شاخص‌های آماری محاسبه شده تماما در محدوده آرمانی بوده و نتایج قابل قبولی را نشان دادند که نشاندهنده دقت مدل‌ها در شبیه سازی مشخصه‌های موج بوده است.

به طور کلی می‌توان گفت در شبیه سازی امواج حاصل از باد، تغییرات سرعت و جهت باد یکی از اصلی ترین پارامترهای موثر بر نوسانات امواج است به طوری که در زمینه شبیه سازی این نوع امواج توسط مدل‌های عددی، مدلی نتایج بهتری را ارائه خواهد داد که حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات باد از خود نشان دهد.

توجه به داده‌های جدول، مقادیر پریود حاصل از اجرای دو مدل با مقادیر میدانی فاصله داشته و در بعضی موارد میزان خطا به بیش از ۳۲ درصد می‌رسد. بیشترین خطا برای مدل SWAN در حدود ۳۰ درصد و بیشترین خطا برای مدل MIKE21 در حدود ۳۵ درصد می‌باشد. اگر چه پریود اندازه گیری شده توسط بویه برای امواج تولید شده از باد در منطقه امیرآباد اندکی زیاد به نظر می‌رسد ولی در مقایسه دو مدل با یکدیگر، با توجه به شکل (۱۳)، مدل MIKE21 به طور مشخص تر مقدار بیش تری برای پریود غالب می‌دهد.

۴. نتیجه گیری

با توجه به هدف این مقاله که بررسی میزان تاثیرپذیری دو مدل MIKE21 و SWAN از باد بوده است، دو مدل در دو حالت باد ثابت و باد متغییر به مدت یکسال اجرا شده است.

مجله فیزیک زمین و فضا، شماره ۲، صفحه ۲۱۰-۱۹۳، ۱۳۹۰.

[۳] سیادت موسوی، م، بدیعی، پ، "مقایسه نتایج مدل‌های ریاضی تعیین مشخصه‌های امواج ناشی از باد و اندازه‌گیری‌های محلی در بخش جنوبی دریای خزر"، هفتمین همایش بین‌المللی سواحل و بنادر و سازه‌های دریایی، سازمان بنادر و کشتیرانی، آذر ماه ۱۳۸۹.

[4] Strauss, D., Miraferendesk, Tomlinson, H., "Comparison of Teo Wave Models for Gold Cost, Australia", *Jurnal of Coastal Research*, pp 312-316, 2007.

[5] Pwww.pmo.ir

[۶] منصور بهمنی، ا، "بررسی انرژی امواج در سواحل ایرانی دریای عمان با استفاده از مدل swan". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هرمزگان، ۱۳۹۰.

[۷] دردی زاده بصیرآبادی، ا، "بررسی انرژی امواج در بندر امیرآباد دریای خزر با استفاده از مدل SWAN"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هرمزگان، ۱۳۹۱.

[8] Booij, N., Haagsma, I., Hothuijsen, L., Kieftenburg, A., Ris, R., Van der Westhuysen, A., Zijlema, M., "User Manual of SWAN", Version 40.72, Delft University of Technology, 2009.

در طول شبیه‌سازی امواج ناشی از باد ثابت، با بررسی میانگین سالانه، مدل SWAN مقدار ارتفاع موج نزدیکتری به واقعیت را بدست می‌دهد. اما در این حالت (حالت باد ثابت) میانگین سالانه مقدار ارتفاع موج بدست آمده از مدل MIKE21 تطابق کمتری با واقعیت دارد که این نشان دهنده این است که مدل MIKE21 برای شبیه‌سازی بهتر، به اطلاعات جزئی تری از نوسانات باد نیاز دارد.

همچنین در شبیه‌سازی امواج ناشی از باد متغییر، با بررسی نتایج حاصل از دو مدل، می‌توان گفت در طی افزایش باد نتایج حاصل از دو مدل MIKE 21 و SWAN نیز افزایش یافته است. مدل MIKE21 در طی نوسانات بعدی باد تغییرات محسوس تری نشان داده است به طوری که در بیشتر موارد خطای نسبی کمتری نسبت به مدل SWAN داشته است. تفاوت اصلی دو مدل در رشد و کاهش مقادیر موج بر اثر افزایش و یا کاهش مقادیر باد است. مدل SWAN در کاهش و مدل MIKE21 در افزایش نوسانات به کندی عمل می‌کنند، به عبارت دیگر مدل SWAN با افزایش مقادیر باد به ناگاه افزایش یافته ولی پس از کاهش باد در گام‌های زمانی بعدی به آرامی کاهش میابد به همین دلیل مدل SWAN در مقادیر بالای ارتفاع موج، مقادیری بیشتر از واقعیت را نشان می‌دهد اما در مقابل مدل MIKE21 با افزایش مقادیر باد به کندی رشد می‌کند و به همین دلیل اگر مقادیر پس از یک یا دو گام زمانی دیگر کاهش یابند، مدل سریعتر به حالت نرمال و مقادیر واقعی می‌رسد و همچنین اگر مقادیر باد به افزایش خود ادامه دهند این مدل بعد از چند گام زمانی به مقدار واقعی نزدیک می‌شود که این امر نشان دهنده حساسیت بیشتر مدل MIKE21 نسبت به تغییرات باد است. بنابراین در مدلسازی ارتفاع موج در مناطقی که نوسانات باد زیاد است می‌توان از مدل MIKE21 استفاده کرد تا نتایجی نزدیکتر به واقعیت حاصل شود. اما در مقابل در مناطقی که باد ثابت است بهتر است از مدل SWAN برای شبیه‌سازی ارتفاع موج استفاده کرد.

۵- مراجع

[۱] فرجامی، ح، حسینی، ط، چگینی، و، محمدی، س، "شبیه‌سازی امواج ناشی از باد در خلیج بوشهر با مدل عددی SWAN"، نشریه اقیانوس‌شناسی، سال ۲، صفحه ۸۷-۷۹، ۱۳۹۰.

[۲] . طالقانی، م، گلشنی، ع، "بررسی اقلیم موج در بندر امیرآباد با اجرای مدل محلی MIKE21-SW و روش‌های نیمه تجربی"،