

بررسی انرژی امواج در بندر امیرآباد دریای خزر با استفاده از نتایج مدل SWAN

احمد دردی زاده بصیرآباد^۱، وحید چگینی^۲، مهدی محمد مهدیزاده^۳، بهاره کامران زاد^۴

۱. موسسه تحقیقات آب خزر

۲. مرکز ملی اقیانوس شناسی

۳. دانشگاه هرمزگان

چکیده

در این تحقیق، از مدل عددی SWAN برای مدل سازی امواج و بدست آوردن ارتفاع موج مشخصه در محدوده ی بندر امیرآباد دریای خزر استفاده شد. برای این کار، ابتدا یک مدل کلی جهت مدل سازی ارتفاع موج در کل محدوده ی دریای خزر ساخته شد. سپس از شرایط مرزی به دست آمده از مدل کلی، با استفاده از عمل آشیانه سازی مدل SWAN، مدل سازی محلی با درشت نمایی بیشتر در منطقه ی بندر امیرآباد استفاده شد. مدل محلی ساخته شده در منطقه ی امیرآباد با استفاده از اطلاعات ثبت شده مشخصات موج توسط بویه ی مستقر در آن منطقه واسنجی و درستی سنجی شد. مقایسه نتایج به دست آمده با اطلاعات اندازه گیری شده توسط بویه ی امیرآباد نشان می دهد که مدل سازی انجام شده در این منطقه از دقت خوبی برخوردار است. سپس مدل SWAN برای زمان سه سال اجرا و در مکان مورد نظر ارتفاع موج مشخصه بدست آمد. در نهایت انرژی موج با استفاده از ارتفاع موج مشخصه به دست آمد.

واژگان کلیدی: مدل SWAN، ارتفاع موج مشخصه، عمل آشیانه سازی، بندر امیرآباد، انرژی موج

۱. مقدمه

امروزه انجام عملیات دریایی نیازمند پیش بینی دقیق مشخصات امواج در مناطق ساحلی و فرا ساحلی می باشد. توسعه انرژی های نو از مهمترین مسائلی است که در تمام کشورها به آن پرداخته شده و دائما در پی ایجاد طرحی نو در این خصوص هستند (شیرین منش و همکاران، ۱۳۹۰).

در حال حاضر تقاضا برای انرژی مصرفی در دنیا به طور پیوسته با منابع پایان پذیر سوخت های فسیلی پاسخ داده می شود، افزایش تقاضا و کاهش عرضه در زمینه ی انرژی باعث افزایش قیمت نفت در دهه های اخیر شده است، این قیمت های بالا به اضافه ی اثرات منفی زیست محیطی ناشی از سوختن سوخت های فسیلی که مهمترین نتیجه آن پدیده ی گرمایش سیاره زمین است، باعث به وجود آمدن بازارهای جدیدی از انواع انرژی های دیگر شد.

مهمترین دسته ی این انرژی ها، انرژی های تجدید پذیر هستند که شامل انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی زمین گرمایی و انرژی های اقیانوسی هستند. این منابع انرژی نسبت به منابع سوخت های فسیلی از چند جهت برتری دارند که عبارتند از:

- منابع این انرژی ها بی پایان هستند (تجدید پذیر).
- این نوع انرژی ها پاک هستند (باعث آلودگی نمی شوند).
- از نظر اقتصادی مقرون به صرفه هستند.

امواج از اثرات باد روی سطح آب ناشی می شوند و به همین دلیل به طور غیر مستقیم از انرژی های خورشیدی محسوب می گردند. یکی از مزایای عمده انرژی امواج نسبت به انرژی خورشیدی و باد، مقدار چگالی بالای انرژی بر واحد سطح است.

کل انرژی موجود در امواج سراسر دنیا حدود TW ۱-۱۰ تخمین زده می شود که تقریبا معادل کل مصرف انرژی دنیا است (منصور بهمنی، ۱۳۹۰).

بنگ چان لی و همکاران (۲۰۰۶)، به پیش بینی امواج ناشی از باد در آب های تایوان با مدل SWAN پرداخته اند. نتایج این شبیه سازی نشان داده که برآورد دوره تناوب موج، همواره کوچکتر از مقدار واقعی است. به علاوه آن ها در این تحقیق به بررسی اتلاف موج و اقتباس یک فرمول اتلاف موج جدید پرداخته اند.

معینی و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی امواج ناشی از باد در دریاچه ی اریه با استفاده از مدل های Mike21 و SWAN و نیز داده های دو بویه پرداخته اند و با بکارگیری روش های آماری درصد خطای مدل های مذکور در موقعیت بویه ها را مورد بررسی قرار داده اند.

فرجامی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی امواج ناشی از باد در خلیج بوشهر با استفاده از مدل SWAN پرداخته اند. نتایج این بررسی نشان داده که برآورد دوره تناوب موج و ارتفاع موج، تطابق خوبی با داده های بویه دارد ولی مقادیر مدل همواره کمی کمتر از مقدار واقعی بویه است.

با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی کشور ایران که $1259 km$ مرز دریایی با خلیج فارس و $784 km$ مرز دریایی با دریای عمان و $657 km$ مرز با دریای خزر دارد و همچنین با در نظر گرفتن اینکه بیش از ۱۰ میلیون نفر از جمعیت آن در استان های ساحلی سکونت دارند، تحقیقات در مورد این منابع و پتانسیل های ذخیره شده در منابع و امکان استفاده از آنها ضروری به نظر می رسد.

هم چنین بندر امیرآباد یکی از بنادر مهم سواحل جنوبی دریای خزر محسوب می شود که تعیین پارامترهای امواج ناشی از باد و انرژی حاصل از آنها از اهمیت بالایی برخوردار است.

۲. مواد و روش ها

SWAN^۱، مدل موج نسل سومی برای دستیابی به برآوردهای واقع گرایانه پارامترهای موجی در نواحی

مدل سازی، میدان باد ECMWF^۵ اصلاح شده است که دارای بزرگنمایی مکانی ۰/۲ درجه و بزرگنمایی زمانی ۶ ساعت است. اصلاح میدان باد ECMWF در مناطق ساحلی و توسط اطلاعات اندازه گیری شده توسط ایستگاه های همدمیدی انجام شد.

داده های بویه ی بندر امیرآباد در این پژوهش برای واسنجی (کالیبراسون) و صحت سنجی استفاده شده است. داده های بویه ی بندر امیرآباد از موسسه ملی اقیانوس شناسی دریافت شده است. از طرفی چون فقط برای سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ داده های باد وجود داشت، مدل برای این ۳ سال و با گام زمانی ۶ ساعت اجرا شد.

به دلیل عدم وجود داده های مناسب برای سایر پارامترها از همان پیش فرض های مدل استفاده شده است.

شبکه ی محاسباتی^۶ اولیه (بزرگتر)^۷ برای این پژوهش به صورت المان های مربعی منظم تعریف شده است. طول این شبکه ۸/۵ درجه در راستای شرق- غرب از ۴۶/۵ درجه ی شرقی تا ۵۶ درجه ی شرقی و عرض آن ۱۱ درجه در راستای شمال - جنوب از ۳۶/۵ درجه ی شمالی تا ۴۷/۵ درجه ی شمالی است، مستطیلی به طول تقریباً ۱۲۰۱ کیلومتر و عرض ۸۴۱ کیلومتر است که در شکل ۱ نشان داده شده است. دقت داده های عمق سنجی در شبکه ی بزرگتر یک دقیقه انتخاب گردید که بهترین دقت موجود در سایت NOAA است. مدل کوچکتر^۸ که برای رسیدن به نتایج دقیق تر انتخاب گردید، دارای طول ۱/۲ درجه در راستای شرق - غرب از ۵۲/۸ درجه ی شرقی تا ۵۴ درجه ی شرقی و عرض آن ۰/۵ درجه در راستای شمال - جنوب از ۳۶/۸ درجه ی شمالی تا ۳۷/۳ درجه ی شمالی است. شبکه ی کوچکتر به ۱۲۰ قسمت در راستای شرقی - غربی و ۵۰ قسمت در راستای شمال - جنوب تقسیم شده اند. برای

ساحلی، دریاچه ها و دهانه های رودخانه های بزرگ (مدخل ها) با توجه به باد، شرایط کف و جریان است. اگر چه SWAN را می توان بر روی هر مقیاس و برای امواج ثقلی سطحی ناشی از باد مورد استفاده قرار داد. این مدل، بر مبنای معادله تعادلی رفتار موجی به همراه منابع و چاه ها است.

در استفاده های عملی، مدل در ابتدا برای نقاط و محدودیت های زمانی خاصی واسنجی می شود و سپس صحت سنجی^۱ مدل واسنجی شده با یک سری داده های جدید انجام می شود. چنانچه شبیه سازی پدیده در محدوده ی مناسبی باشد، می توان از نتایج واسنجی برای اجراهای بعدی نیز استفاده کرد. به طور کلی مدل سازی امواج با استفاده از مدل SWAN شامل مراحل جمع آوری داده های ورودی، برپایی^۲ مدل، واسنجی و صحت سنجی مدل، شبیه سازی^۳ امواج یا اجرای مدل و ارائه ی نتایج است.

داده های مورد استفاده در این مدل سازی، شامل اطلاعات موج ثبت شده توسط بویه ی بندر امیرآباد است. بویه ی بندر امیرآباد توسط سازمان بندر و دریانوردی در این منطقه مستقر شده و اطلاعات آن به صورت گام زمانی یک ساعته اطلاعات موج در دسترس است. محل استقرار این بویه در ۵۳/۴۱ درجه ی شرقی و ۳۶/۹۲ درجه شمالی و در عمق ۲۵ متری است.

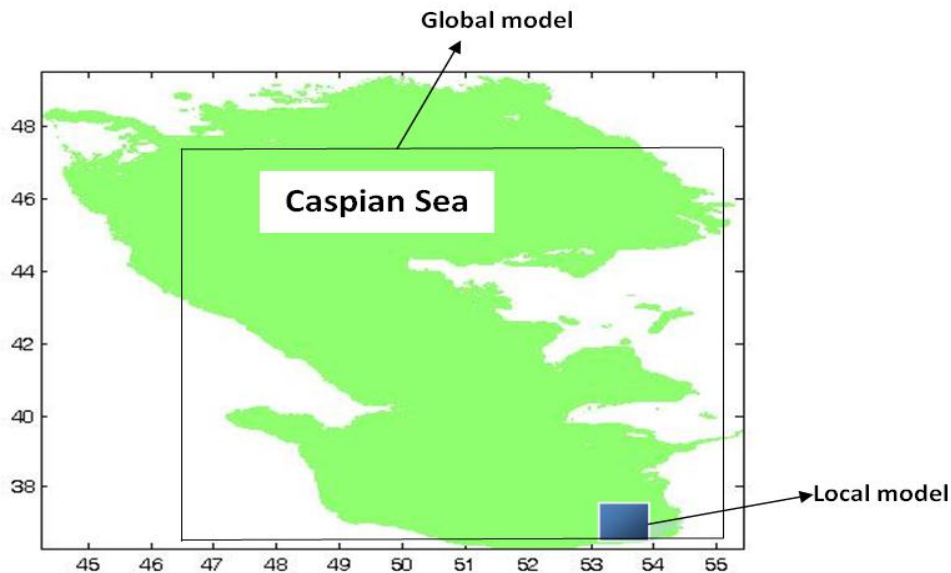
اطلاعات ژرفاسنجی و همچنین داده های باد هر دو برای استفاده، جهت ورودی های مدل SWAN ضروری اند. اطلاعات عمق سنجی به صورت یک شبکه ی مستطیلی با بزرگنمایی ۱/۶۰ درجه و از سایت NOAA^۴ تهیه گردیده است که کل دریای خزر را پوشش می دهد. داده های باد مورد استفاده در این

1. Verification
2. Set-up
3. Simulation
4. National Oceanic and Atmospheric Administration
5. European Center for Medium-range Weather Forecasts

6. Computational Grid
7. Global
8. Local
9. Nest

کامل با ۱۸ قطاع در نظر گرفته شده و شبکه ی بسامدی، از بسامد $0/08$ تا ۱ را شامل شده و به ۲۰ قسمت به صورت لگاریتمی تقسیم شده است.

رسیدن به چنین دقت بالایی از دستور آشیانه سازی استفاده گردید. در مدل SWAN شبکه ی طیفی به دو بخش شبکه ی زاویه ای و شبکه ی بسامدی تقسیم می شود. شبکه ی زاویه ای به صورت دایره ی



شکل ۱. موقعیت شبکه های محاسباتی مدل های کلی و محلی

حداقل دو بویه ی مختلف بوده است، اما به دلیل فقدان اندازه گیری های همزمان بویه ها در بازه ی زمانی که باد ورودی مدل ECMWF خریداری شده است، چنین امری میسر نگردید و تنها بازه های زمانی مناسب برای واسنجی و درستی سنجی مدل SWAN، بازه ی زمانی داده های موجود از بویه ی بندر امیرآباد در نظر گرفته شد.

واسنجی مدل

برای واسنجی مدل در حالت کلی از تغییر ضرایب مربوط به سفیدک راس موج، شکست موج و اصطکاک بستر استفاده می شود. پارامترهای مربوط به مکانیسم سفیدک راس موج که کنترل کننده ی میزان رشد موج است، در دسترس ترین و مناسب ترین پارامترهای مدل برای واسنجی نتایج هستند. از طرفی چون محل قرار گیری بویه در آب عمیق است و در آب عمیق، پارامتر سفیدک راس موج است که بر رشد موج تاثیرگذار است (Goda 1979)، در نتیجه

مدل سازی محلی پس از مدل سازی کلی و استخراج اطلاعات مربوط به مرزهای مدل محلی از آن انجام شد که در ادامه شرح داده خواهد شد.

انتخاب دوره های واسنجی و درستی سنجی مدل

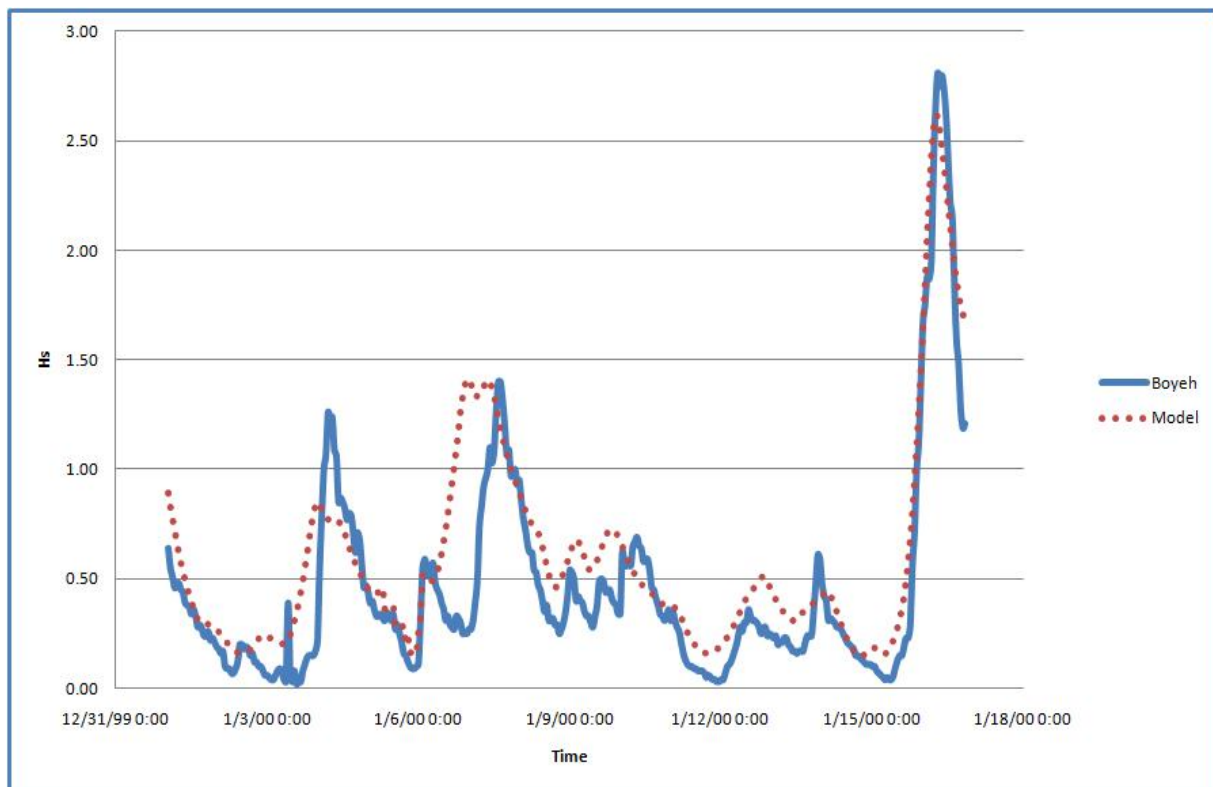
مدل برپا شده باید برای یک دوره ی زمانی واسنجی شود تا اختلاف نتایج با مقادیر اندازه گیری شده کاهش یابد. انتخاب محل و محدوده ی زمانی نقاط واسنجی و درستی سنجی مدل کاملاً به داده های موجود بستگی دارد. از نظر محل، بویه های بندر انزلی و امیرآباد و بویه ی نیروگاه نکا تنها محل هایی هستند که اطلاعات اندازه گیری شده ی قابل اتکایی از مشخصات امواج را دارا هستند.

به منظور یافتن دوره های مناسب برای واسنجی، اندازه گیری های انجام شده به وسیله ی بویه ها در بازه ی زمانی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. اگرچه اولویت اساسی در انتخاب دوره ها، همزمانی آنها برای

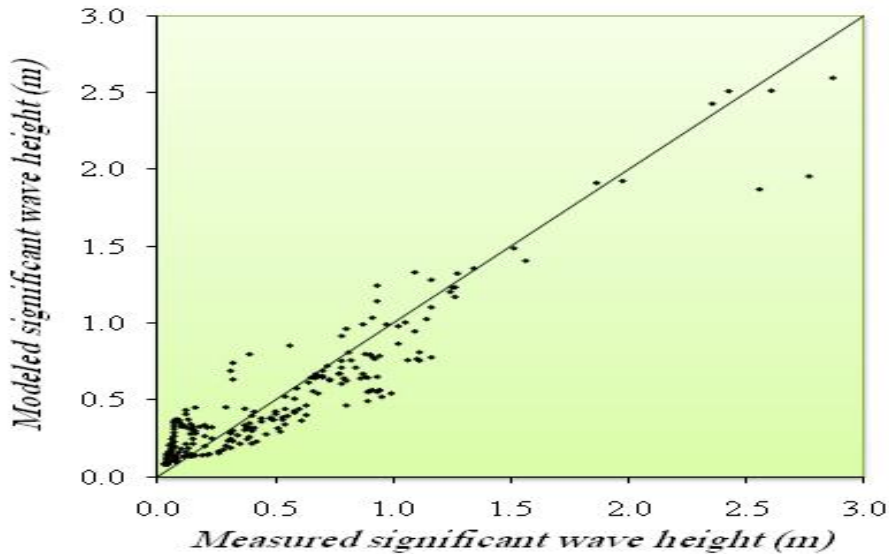
نیز کاهش سرعت اجرا به دلیل افزایش دمای CPU در اجراهای طولانی مدت، گام زمانی را محدودتر کرده و برای اجرای سه ساله ی مدل، گام زمانی ۶ ساعت انتخاب شده است.

انتخاب محدوده ی زمانی نقاط واسنجی مدل کاملاً به داده های موجود بستگی دارد. به همین دلیل شروع بازه ی زمانی واسنجی ساعت ۱:۰۰ سال ۲۰۰۰/۰۱/۰۱ و زمان خاتمه ی آن ۱۹:۰۰ سال ۲۰۰۰/۰۱/۱۶ انتخاب گردید. زمان ذکر شده در دوره ی واسنجی تنها زمانی است که اطلاعات اندازه گیری شده ی قابل اتکایی از مشخصات امواج را در سال ۲۰۰۰ دارا هستند. نتایج واسنجی در شکل های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

برای ضریب اصطکاک و دیگر پارامترها از پیش فرض های مدل SWAN استفاده شد. همچنین تحلیل حساسیت ها نشان داده که در این مدل سازی، تغییر ضریب سفیدک راس موج بیشترین تاثیر را بر دقت نتایج حاصله دارد (چگینی و همکاران، ۱۳۹۱). بنابراین از ضریب مذکور جهت واسنجی مدل استفاده شد. مدل برپا شده برای دوره ی زمانی مربوطه واسنجی شد. ضریب سفیدک راس موج $5 - 3e$ انتخاب شد. در این مدل سازی از طیف JONSWAP که پیش فرض مدل است، انتخاب گردید. گام زمانی نیز طوری باید انتخاب گردد که پایداری لازم برای اجرای مدل را ایجاد کند. در این تحقیق برای به حداقل رساندن اشکالات احتمالی ناشی از قطع برق و



شکل ۲. سری زمانی ارتفاع موج اندازه گیری شده و مدل سازی شده در دوره ی واسنجی



شکل ۳. نمودار پراکندگی ارتفاع موج حاصل از مدل در مقایسه با اندازه گیری بویه امیرآباد در دوره ی واسنجی

در این روابط، \bar{x} میانگین داده های ثبت شده ی بویه و \bar{y} میانگین مقادیر پیش بینی شده مدل است. در حالت آرمانی، اگر مقادیر \bar{y} و \bar{x} کاملاً بر هم منطبق باشند؛ شاخص پراکندگی (SI) و پارامتر خطای اریبی (Bias) برابر صفر خواهد بود. بنابراین هر چه مقادیر این دو پارامتر به صفر نزدیک تر باشد؛ دقت مدل بالاتر است. در حالت کلی محدوده ی پارامتر خطای اریبی از -۱ تا +۱ و شاخص پراکندگی از صفر تا ۱۰۰ است. بنابراین در واسنجی مدل، آهنگ تغییر اتلاف سفیدک رأس موج طوری تنظیم و انتخاب شد تا خطا (شاخص پراکندگی) در ارتفاع موج عمده (H_S) شبیه سازی شده، به کوچکترین مقدار ممکن برسد.

درستی سنجی مدل

به دست آوردن نتایج درستی سنجی مدل به این صورت است که ضرایب بدست آمده از مرحله ی واسنجی، بدون تغییر برای یک دوره ی دیگر اجرا می شود. شروع بازه ی زمانی درست سنجی ساعت ۱۰:۰۰ سال ۲۰۰۱/۰۹/۲۹ و زمان خاتمه ی آن ۱۰:۰۰ سال ۲۰۰۱/۱۰/۱۸ انتخاب گردید نتایج درستی سنجی مدل برای دوره ی مربوطه در شکل های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

چنان که شکل های ۲ و ۳ نشان می دهد، سری زمانی مشخصات موج مدل سازی شده تطابق خوبی با سری زمانی مشخصات موج اندازه گیری شده دارند. برای بررسی کمی دقت نتایج، شاخص خطای اریبی (Bias)، ضریب همبستگی (CC)، جذر خطای مربع میانگین (RMSE) و شاخص پراکندگی (SI) مطابق روابط (۱) تا (۴) محاسبه شده و در جدول ۱ نشان داده شده اند.

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

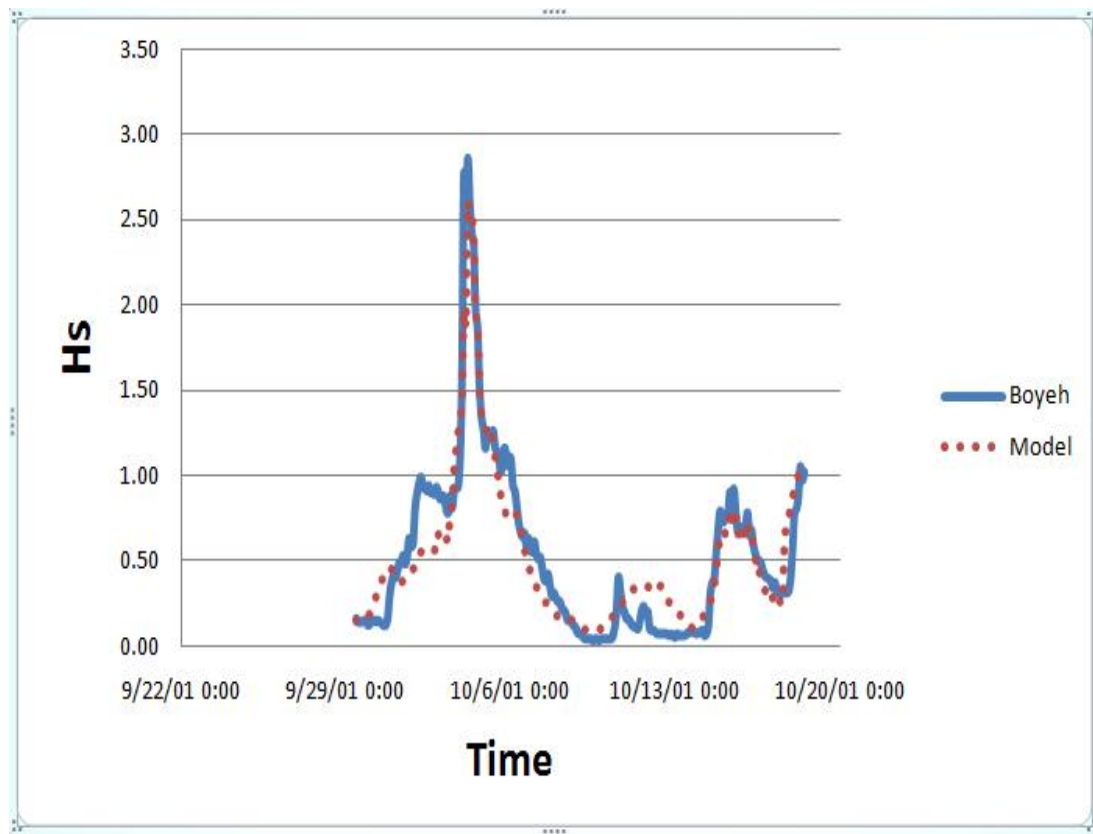
$$CC = \frac{\sum_i ((x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (3)$$

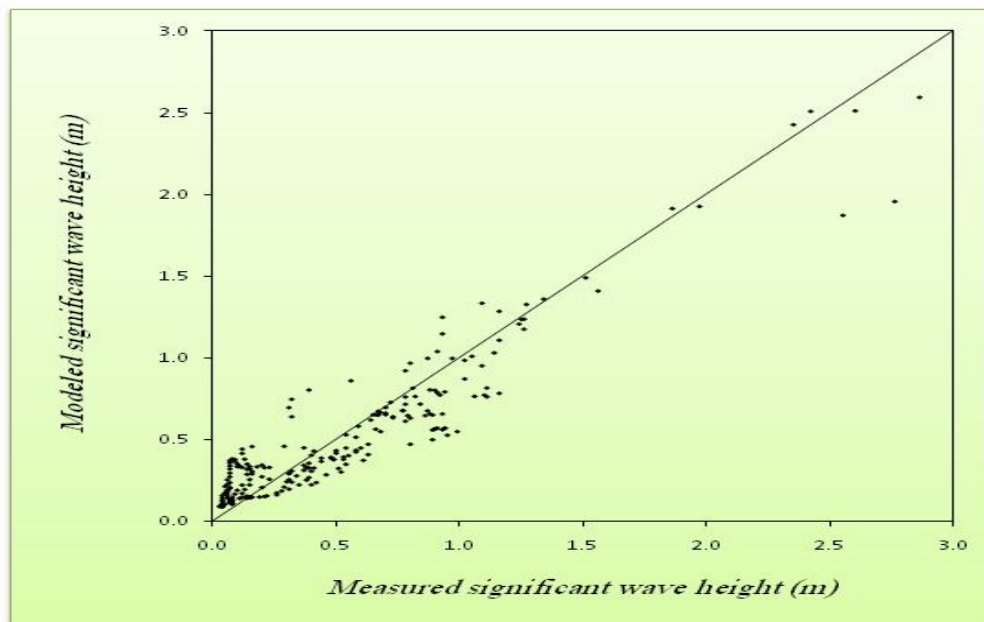
$$SI = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - y_i)^2} \times 100 \div \bar{x} \quad (4)$$

جدول ۱. شاخص های خطا در دوره ی واسنجی

شاخص خطا	ارتفاع موج شاخص
Bias	۰/۱۳
CC	۰/۹۷
RMSE	۰/۰۰
SI (%)	۰/۱۰



شکل ۴. سری زمانی ارتفاع موج اندازه گیری شده و مدل سازی شده در دوره ی درستی سنجی



شکل ۵. نمودار پراکندگی ارتفاع موج حاصل از مدل در مقایسه با اندازه گیری بویه امیرآباد در دوره ی درستی سنجی

جدول ۳، مقادیر معمول هر یک از پارامترهای زیر را که در ارزیابی مدل های موج مختلف در مراجع معتبر ارائه شده است، برای ارتفاع موج نشان می دهد. ضمن اینکه باید توجه داشت در اکثر تحقیقات و مراجع موجود، محدوده ی مذکور با توجه به ارتفاع موج به دست آمده است و مقادیر مشخصی برای دوره ی تناوب ارائه نشده است (چگینی و همکاران، ۱۳۹۱).

شاخص های خطای محاسبه شده برای دوره ی درستی سنجی در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. شاخص های خطا در دوره ی درستی سنجی

شاخص خطا	ارتفاع موج شاخص
Bias	-۰/۰۱
CC	۰/۷۵
RMSE	۰/۰۲
SI (%)	۰/۲۴

جدول ۳ مشخصات پارامترهای آماری مورد استفاده در ارزیابی واسنجی و درستی سنجی مدل برای ارتفاع موج

پارامتر	علامت اختصاری	واحد	محدوده ی نرمال	محدوده ی آرمانی
ضریب همبستگی	CC	بدون واحد	۰/۷۵ - ۰/۹	بیشتر از ۰/۸
جذر متوسط مربع خطاها	RMSE	متر	۰/۱ - ۰/۷	کمتر از ۰/۵
ضریب پراکندگی	SI	درصد	۱۵ - ۳۵	کمتر از ۳۰
اریبی	Bias	متر	۰/۲ - ۰/۵	کمتر از ۰/۳

۳. نتایج

چندین گام زمانی طول می کشد تا مدل، پس از اعمال شرایط مرزی، اثرات شرایط خاص را در محدوده شبیه سازی شده، منعکس نماید و به همگرایی مطلوب برسد. این تعداد گام زمانی، تحت عنوان گرم شدن مدل^۲ مطرح است. بنابراین زمان کوتاهی به مدت زمان شبیه سازی برای عبور از مرحله ی گرم شدن، اضافه می گردد. در تحقیق حاضر، پس از اجراهای مدل بر روی شبکه بزرگ و کوچک این نتیجه حاصل شد که مدل پس از ۴۸ ساعت به پایداری خواهد رسید. پس از بررسی های اولیه و کسب اطمینان از اینکه مدل به درستی نصب و اجرا شده است، مدل به مدت سه سال یعنی ۲۰۰۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ اجرا شد. قابل ذکر است که اجراهای اولیه بر روی شبکه ی بزرگتر انجام گرفته و پس از آن که شبکه ی کوچکتر تعریف شد اجراهای بعدی بر روی این شبکه انجام گرفت. دلیل این کار این است که در مرز های محدوده ی بندر امیرآباد موج ورودی را نمی توان صفر در نظر گرفت. به همین دلیل،

شاخص های خطای محاسبه شده در دوره ی درستی سنجی نیز دقت قابل قبول مدل سازی در بندر امیرآباد توسط مدل SWAN را نشان می دهند. بنابراین از مدل ساخته شده می توان برای پیش بینی ارتفاع موج شاخص در بندر امیرآباد استفاده نمود. مقدار انرژی موج، روی یک طول موج، در واحد سطح به مقدار عمق آب یا طول موج بستگی ندارد بلکه به طور ساده متناسب با مربع ارتفاع موج است. به خاطر طبیعت نامنظم باد، امواج تولید شده توسط باد، ارتفاع ها و دوره ی تناوب های نامنظمی دارند. بنابراین برای محاسبه ی انرژی از داده های طیفی که از طیف چگالی انرژی بدست آمده اند استفاده شده است، یعنی در معادله ی انرژی موج، به جای H از H_S استفاده شده است و معادله به صورت زیر در آمده است.

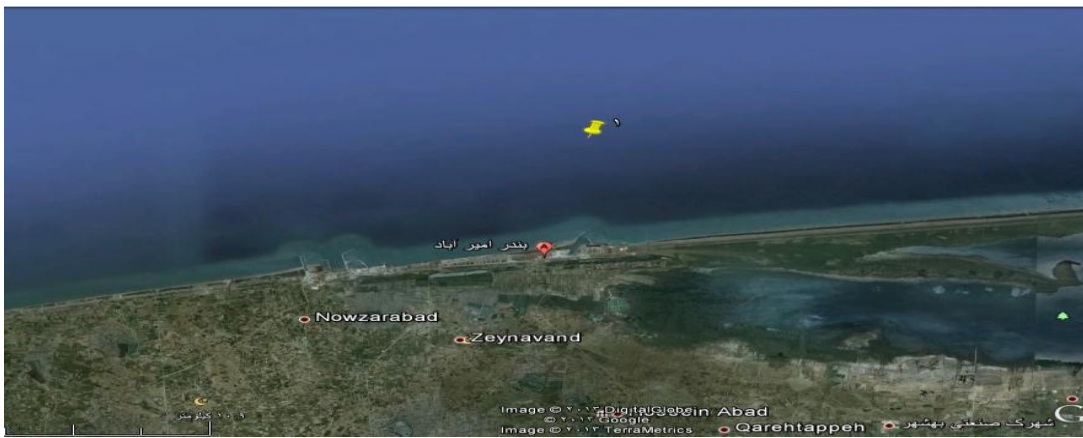
$$E = \frac{1}{8} \rho g H_S^2 \quad (5)$$

ی دستور NEST که به معنی آشیانه سازی است، صورت می گیرد. برای بررسی دقیق تر بندر امیرآباد، نقطه ای در عمق حدود ۵۰ متری در آب مشخص گردید که در شکل ۶ موقعیت مکانی آن قابل مشاهده است. موقعیت جغرافیایی نقطه در جدول ۴ آمده است.

اجرای مدل SWAN به دو قسمت تقسیم شد. ابتدا مدل بزرگتر که خروجی آن، موج های ورودی درمرزهای محدوده ی بندر امیرآباد است و اجرای دوم مدل SWAN بر روی شبکه ی محلی با استفاده از خروجی مدل بزرگتر، در خود محدوده ی بندر امیرآباد است. در مدل SWAN این امکان به وسیله

جدول ۴. موقعیت جغرافیایی نقطه ی مورد مطالعه

موقعیت جغرافیایی	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)
نقطه ی یک (۱)	۵۳.۳۷۵	۳۶.۹۲۵



شکل ۶. موقعیت مکانی نقاط مورد مطالعه

هر فصل شامل سه ماه است. میانگین ارتفاع موج مشخصه (عمده) برای هر فصل از دوره، در جدول ۵ آمده است.

به دلیل این که تعداد داده ها زیاد است و امکان مقایسه ی آنها در یک نمودار نیست، طول زمان اجرای مدل به تعداد فصول تقسیم بندی شد و بنابراین کل زمان سه سال به ۱۲ فصل تقسیم شد که

جدول ۵. میانگین ارتفاع موج مشخصه نقطه ی یک در طی فصل ها

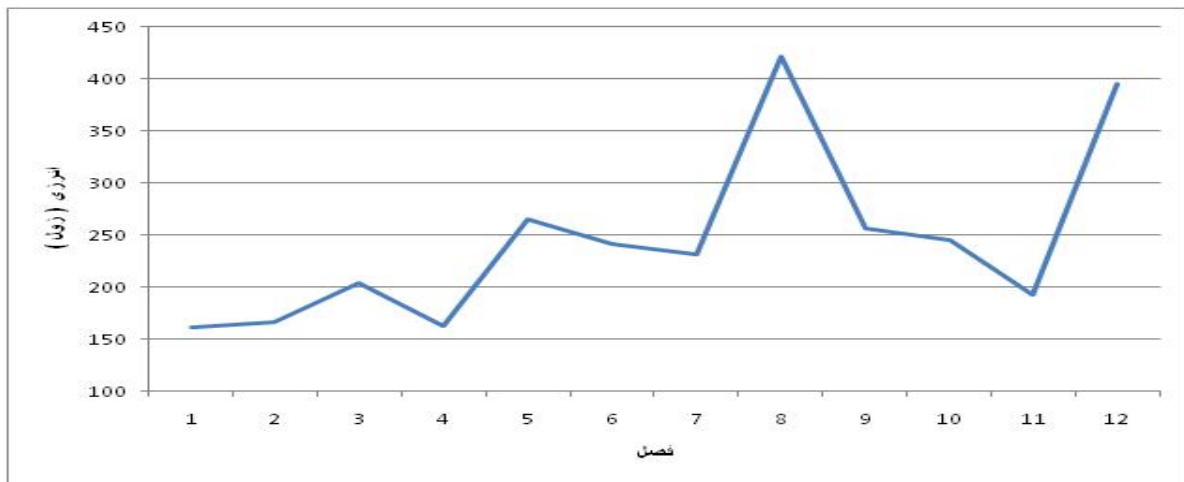
مقدار (متر)	میانگین ارتفاع موج مشخصه (عمده)
۰/۳۴۰	فصل اول (بهار ۲۰۰۰)
۰/۳۴۹	فصل دوم (تابستان ۲۰۰۰)
۰/۳۷۲	فصل سوم (پاییز ۲۰۰۰)
۰/۳۳۹	فصل چهارم (زمستان ۲۰۰۰)
۰/۳۳۹	فصل پنجم (بهار ۲۰۰۱)
۰/۳۸۸	فصل ششم (تابستان ۲۰۰۱)
۰/۳۹۶	فصل هفتم (پاییز ۲۰۰۱)
۰/۴۹۳	فصل هشتم (زمستان ۲۰۰۱)
۰/۴۰۲	فصل نهم (بهار ۲۰۰۲)
۰/۴۱۶	فصل دهم (تابستان ۲۰۰۲)
۰/۳۴۹	فصل یازدهم (پاییز ۲۰۰۲)
۰/۴۸۴	فصل دوازدهم (زمستان ۲۰۰۲)

با استفاده از فرمول ۵ برای انرژی در نقطه ی یک خواهیم داشت:

جدول ۶. مشخصات آماری انرژی در نقطه ی یک

اندازه (ژول)	مشخصات آماری انرژی در نقطه ی یک
۲۴۲/۲۶۱	متوسط سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲
۱۶۴/۲۶۲	متوسط سال ۲۰۰۰
۲۸۹/۸۳۴	متوسط سال ۲۰۰۱
۲۷۲/۷۳۵	متوسط سال ۲۰۰۲
۳۳۷/۵۷۹	بیشینه سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲
۱۳۷۳/۹۱۲	بیشینه سال ۲۰۰۰
۳۳۷۰/۵۷۹	بیشینه سال ۲۰۰۱
۲۲۸۴/۶۲۸	بیشینه سال ۲۰۰۲
۵/۹۵۴	کمینه سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲
۱۰/۰۰۱	کمینه سال ۲۰۰۰
۵/۹۵۴	کمینه سال ۲۰۰۱
۶/۵۶۸	کمینه سال ۲۰۰۲

میانگین تغییرات انرژی در طول فصل ها، به صورت شکل ۷ است.



شکل ۷. میانگین تغییرات انرژی در طول فصل ها

مطالعات و تحقیقات منابع آب دریای خزر در قسمت نتایج آمده است که در سال آبی ۲۰۰۰-۲۰۰۱ تراز آب دریای خزر به شدت ناآرام بوده است به طوری که نسبت به سال های قبلی، روند فصلی آن نامتقارن شده است.

طبق داده های جدول ۶، بیشینه ی و کمینه ی انرژی در طی سه سال مربوط به سال ۲۰۰۱ به دست

با توجه به شکل ۷ و مقایسه ی داده های جدول ۵، دیده می شود که نوسانات ارتفاع آب در سال ۲۰۰۰ با دو سال دیگر مقداری نامتقارن است، به طوری که در سال ۲۰۰۰ بیشترین ارتفاع موج عمده در تابستان سال ۲۰۰۰ رخ داده است ولی در سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ در اواخر زمستان و ابتدای بهار رخ داده است. در گزارش سال آبی ۲۰۰۰-۲۰۰۱ مرکز

از آن جا که تاکنون در مطالعات انجام شده با مدل SWAN، در نظر گرفتن عمل آشیانه سازی کمتر مورد توجه بوده است؛ لذا ویژگی مهم و بارز این تحقیق، انجام آشیانه سازی روی SWAN درشت (مدل SWAN روی کل دریای خزر) و استخراج شرایط مرزی برای SWAN ریز (مدل SWAN در بندر امیرآباد) و شبیه سازی همزمان امواج در کل دریای خزر و محدوده ی بندر امیرآباد با دقت ۱ دقیقه است.

منابع

- چگینی، و.، گلشنی، ع.ا.، تائبی، س.، چگینی، ف. ۱۳۹۱. امواج ناشی از باد و پیش بینی آنها در خلیج فارس، دریای عمان و دریای خزر، انتشارات موسسه ی ملی اقیانوس شناسی، صفحات ۳۲۰ - ۳۵۰.
- شیرین منش، س.، چگینی، و. ۱۳۹۰. مطالعه و بررسی برآورد انرژی قابل استحصال از موج و جریانات جزر و مدی در خلیج چابهار، مجله علوم و فنون دریایی، دوره ی ۱۰، شماره ی ۲، صفحات ۹۱ - ۱۰۷.
- فرجامی، ح.، حسینی، س.، چگینی، و.، محمدی، س. ۱۳۹۰. شبیه سازی امواج ناشی از باد در خلیج بوشهر با مدل عددی SWAN، نشریه ی علمی پژوهشی اقیانوس شناسی، سال دوم، چاپ ۸، صفحات ۸۷ - ۷۹.
- قانقرمه، ع. ۱۳۷۹. گزارش سالانه ی نوسانات سطح آب دریای خزر در سال آبی ۷۹-۱۳۷۸. مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر وابسته به موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، صفحه: ۳۷ - ۳۴.
- قانقرمه، ع. ۱۳۸۰. گزارش سالانه ی نوسانات سطح آب دریای خزر در سال آبی ۸۰-۱۳۷۹. مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر وابسته به موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، صفحه: ۳۹ - ۳۵.
- قانقرمه، ع. ۱۳۸۱. گزارش سالانه ی نوسانات سطح آب دریای خزر در سال آبی ۸۱-۱۳۸۰. مرکز ملی

آمده است که با توجه به داده های جدول ۵ به دست آوردن چنین نتیجه ای منطقی است. هم چنین مقایسه ی متوسط انرژی در طی این سه سال نشان می دهد که در سال ۲۰۰۱ مقدار آن نسبت به دو سال دیگر بیشتر است. به خاطر این که در سال ۲۰۰۱ متوسط ارتفاع موج نسبت به دو سال دیگر طبق جدول ۵ بیشتر است، به دست آوردن چنین نتیجه ای منطقی است.

۴. بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه پارامتر ارتفاع موج مشخصه (H_s) در محدوده ی بندر امیرآباد دریای خزر با داده های بویه ی اقیانوسی در این منطقه برای ۱۶ روز در دوره ی واسنجی و ۲۰ روز در دوره ی درستی سنجی با استفاده از مدل SWAN مورد بررسی قرار گرفت و مقدار خطای مدل برای پیش بینی ارتفاع موج مشخصه (H_s) محاسبه گردید. نتایج به دست آمده را به صورت کلی می توان به صورت زیر بیان کرد:

روند تغییر ارتفاع موج مدل SWAN در بندر امیرآباد تطابق خوبی با داده های بویه ی هواشناسی دارد به طوری که طی مدت واسنجی، پارامتر Bias برای ارتفاع موج ۰/۱۳ است و در مرحله ی صحت سنجی این مقدار پارامتر به ۰/۰۱- بدست آمد. بنابراین SWAN می تواند مدل مناسبی برای پیش بینی و شبیه سازی امواج در دریای خزر باشد.

بررسی آماری نتایج مدل SWAN در طی این سه سال و مقایسه ی آن با گزارش سالانه ی مرکز مطالعات و تحقیقات منابع دریای خزر نشان می دهد که مطابقت خیلی خوبی بین این نتایج وجود دارد.

خطای مدل می تواند به دلیل خطاهای موجود در ورودی های مدل (داد های عمق و باد) باشد. این اختلاف می تواند ناشی از خطای موجود در داده های باد ECMWF، داده های باد بویه و تبدیل این باد به باد در ارتفاع ۱۰ متر، عمق سنجی ها، خصوصا عمق سنجی حوزه ی بندر امیرآباد باشد.

International Offshore and Polar Engineering Conference, San Francisco, California, USA, May 28-June 2, 2006.

Moeini, M.H.; Etemad-Shahidi A. 2007. Application of two numerical models for wave hindcasting in Lake Erie. Applied Ocean Research 29 (2007) 137-145.

Goda, Y., H. Takeda and Y. Moriya, 1967: Laboratory investigation of wave transmission over breakwaters, Rep. port and Harbour Res. Inst., 13 (from Seelig, 1979).

مطالعات و تحقیقات دریای خزر وابسته به موسسه

تحقیقات آب وزارت نیرو، صفحه: ۳۶ - ۳۳.

منصور بهمنی، الف. ۱۳۹۰. بررسی انرژی امواج در

سواحل ایرانی دریای عمان با استفاده از مدل

SWAN، پایان نامه ی کارشناسی ارشد دانشگاه

هرمزگان، ۱۳۵ صفحه.

Lee, B.C.; Cheng, H.Y.; Kao, C.C.; Fan, Y.M. 2006. On the Estimation of Wind Wave of Taiwan Water by using Swan Wave Model. Proceedings of the Sixteenth (2006)