پیش‌بینی امواج ناشی از باد در تنگه هرمز با استفاده از مدل عددی SWAN

محمودرضا عباسی

استادیار، عضو هیئت علمی دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (علیه السلام)؛ دانشگاه علوم و فنون دریایی امام خامنه‌ای (مدظله‌العالی)؛
phys.ocean.abbasi@gmail.com

چکیده:

دریامانی یکی از موضوعات مهم در اجرای عملیات دریایی است که در هنگام طراحی شناورها مد نظر قرار می‌گیرد. یکی از پارامترهایی که در این راستا مورد توجه قرار دارد، شناخت طیف امواج خاص منطقه‌ی مورد نظر است. بنابراین، بررسی و پیش‌بینی دقیق مشخصّات امواج در این مناطق یک نیاز اساسی منظور می‌گردد. این مهم بر اساس روش‌های متنوعی شامل روش‌های عددی و یا استفاده از روش‌های تجربی صورت می‌گیرد. در این مقاله، برای مدل‌سازی و پیش‌بینی امواج در منطقه‌ی تنگه هرمز از مدل عددیSWAN بهره گرفته‌ایم. پس از برپایی مدل، از داده‌های بویه موج‌نگار مستقر در منطقه برای واسنجی و صحّت‌سنجی نتایج مدل استفاده شده است. مقایسه نتایج حاصل از مدل با داده‌های میدانی اندازه‌گیری‌شده از بویه با استفاده از روش‌های آماری، نشان از دقت خوب مدل در پیش‌بینی امواج در این منطقه‌ی دریایی دارد.

واژه‌های کلیدی:

تنگه هرمز، موج، دریامانی، پیش‌بینی، SWAN.

The forecasting of wind-induced waves in the Strait of Hormuz using the SWAN numerical mode

Mahmud Reza Abbasi Karizbala

Imam hossein University, Science College, Basic Science Department; phys.ocean.abbasi@gmail.com.

Abstract:

Seakeeping is one of the most important issues in the marine missions considered in vessel designing. One of the parameters considered in this regard is the recognition of the specific waves of the area. Therefore, accurate investigation and prediction of the characteristics of waves in these areas is a fundamental requirement. This issue is based on a variety of methods including numerical methods or using empirical methods. In this paper, we use the SWAN numerical model for modeling and predicting waves in the Strait of Hormuz. After the model was set up, the buoy data in the area was used to calibrate and validate the model results. Comparing the results of the model with the measured field data of the buoy by statistical methods proves the good accuracy of the model in forecasting waves in this marine region. Thus this numerical model can use as a appropriate model for marine applications in the Strait of Hormuz.

Keywords:

Hormuz strait, Wave, Seakeeping, Forecasting, SWAN.

۱- مقدمه

به طور کلی، دریامانی رفتار شناورها در امواج است. به عبارت دیگر، توانایی یک شناور برای مقاومت در برابر شرایط خشن در دریا است. امّا، طبق یک تعریف دقیق‌تر **دریامانی** مطالعه‌ی حرکات یک کشتی یا سازه‌ی شناور در معرض امواج و اثرات آن بر روی انسان‌ها، سامانه‌ها و کارخواسته‌های یک مأموریت است[۱]. یک شناور که در معرض امواج قرار می‌گیرد، در تمام شش درجه آزادی حرکت خواهد کرد، اما، حرکت‌هایی که بیشترین مشکلات را ایجاد می‌کنند، آنهایی هستند که دارای نیروی بازگرداننده مرتبط با آنها هستند. عموماً امواج بزرگ‌تر، حرکات بزرگ‌تر ایجاد می‌کنند. بنابراین، شناخت امواج به عنوان اوّلین پارامتر در بحث دریامانی مورد نظر قرار می‌گیرند. البته، علاوه بر امواج ساختار شناور نیز در این مبحث قرار می‌گیرد، به طوری که شناورهای مختلف در امواج یکسان رفتارهای متفاوتی از خود بروز می‌دهند. تاکنون مطالعات زیادی بر روی بخش دوّم دریامانی، یعنی، ساختمان شناور و فُرم هندسی بدنه‌ی آنها برای شناورهای مختلف و با روش‌های مختلف عددی یا تجربی صورت گرفته است[۲-۵]. موضوع اصلی این مقاله، بررسی پارامتر اوّل دریامانی، یعنی، شناخت امواج است. بدین منظور، از مدل عددی SWAN[1] برای بررسی و پیش‌بینی امواج استفاده شده است تا قابلیت این مدل را در مدل‌سازی امواج نشان دهد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مدل عددی SWAN

مدل عددی SWAN که در این مقاله برای مدل‌سازی مشخصات امواج در این منطقه مورد استفاده قرار گرفته است، در سال ۲۰۰۹ به صورت رایگان توسط دانشگاه دلفت هلند برای مدل‌سازی عددی مشخصات امواج خصوصاً در ناحیه‌ی ساحلی ارایه گردید. این مدل با توجه به قابلیت‌های متنّوع خود، از جمله کاربری در هر سه مختصات راست‌خط یا منحنی‌الخط، استفاده از شبکه‌بندی منظم و غیرمنظم، قادر به پیش‌بینی و نیز پس‌بینی امواج در دو حالت ایستا و ناایستا است. این مدل قادر به تحلیل فرآیندهای تولید و استهلاک موج ناشی از باد، سفیدک راس موج[2]، اصطکاک بستر دریا و شکست امواج در اثر کاهش عمق، برهمکنش سه‌گانه و چهارگانه امواج است[۶].

۲-۲- داده‌های تحقیق

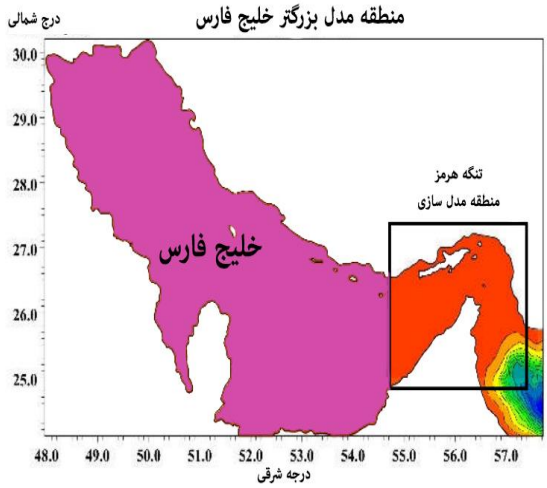
داده‌های مورد نیاز برای این تحقیق شامل داده‌های ورودی برای اجرای مدل و داده‌های مورد نیاز برای واسنجی[3] و صحت‌سنجی[4] مدل بودند. داده‌های ورودی مدل برای اجرا شامل داده‌های باد، شرایط مرزی مدل و داده‌های عمق‌سنجی[5] منطقه مورد مطالعه بودند. داده‌های باد از پایگاه داده‌های ECMWF[6] در بازه زمانی ۲۶ تیرماه تا ۸ شهریور ۱۳۹۷ (۱۷ جولای تا ۳۱ آگوست سال ۲۰۱۸) با گام زمانی ۶ ساعته و نیز بزرگ‌نمایی مکانی ۰/۲ درجه تهیّه گردید. از آنجا که مدل در منطقه تنگه هرمز برای مدل‌سازی در نظر گرفته شده بود، برای شرایط مرزی آن از نتایج مدل بزرگ‌تر گردش عمومی آب خلیج فارس که توسط نگارنده‌ی مقاله قبلاً اجرا شده بود، استخراج گردید شکل ۱).

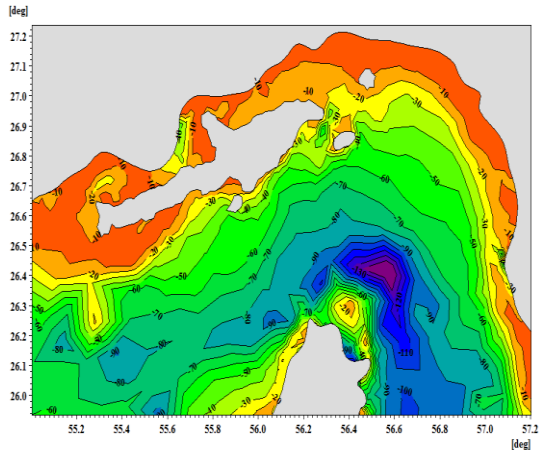
داده‌های عمق‌سنجی نیز از داده‌های اصلاح‌شده ETOPO2 سایت NOAA[7] با بزرگ‌نمایی مکانی ۱/۳۰ درجه تهیّه گردید شکل ۱).

پس از اجرای مدل برای بررسی واسنجی و صحت‌سنجی نتایج مدل از داده‌های بویه مستقر در منطقه تنگه هرمز با مختصات ۵۵/۵۵ درجه شرقی و ۲۶/۳۱ درجه شمالی استفاده گردید که مشخصات موج را در گام زمانی ۱ ساعته برداشت می‌کرد. از داده‌های بویه در بازه زمانی ۲۶ تیر تا ۲۶ مرداد ۹۷ برای واسنجی و در بازه زمانی ۲۷ مرداد تا ۸ شهریور ۹۷ برای صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت.

[1] Simulating Waves Near Shore

[2] White capping
[3] Calibration
[4] Verification
[5] Bathymetry
[6] European Center for Medium Range Weather Forecasting
[7] National Oceanic and Aatmospheric Administration





شکل (۱): بالا: نمایی از منطقه مورد مطالعه تنگه هرمز، پایین: عمق‌سنجی تنگه هرمز.

برای بررسی دقت کمی نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی از شاخص‌های آماری خطای اُریبی[1]، ضریب همبستگی CC[2])، خطای ریشه میانگین مربعات RMSE[3]) و شاخص پراکندگی SI[4]) با روابط زیر استفاده گردید:

$$Bias = \bar{x} - \bar{y}$$

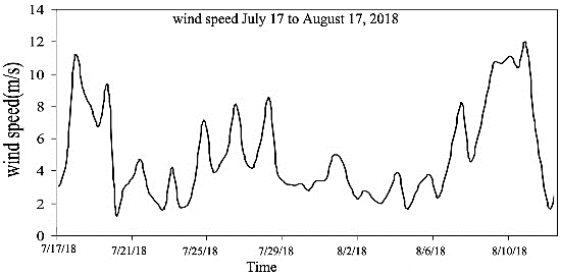
$$CC = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_i (y_i - \bar{y})^2}}$$

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

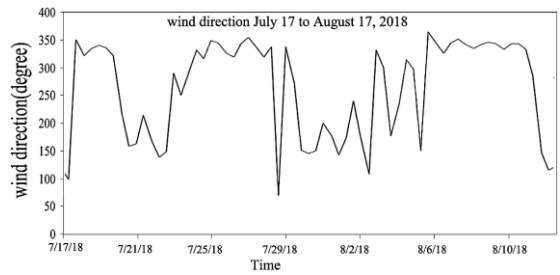
$$SI = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_i (x_i - y_i)^2}}{\bar{x}}$$

۳- واسنجی مدل

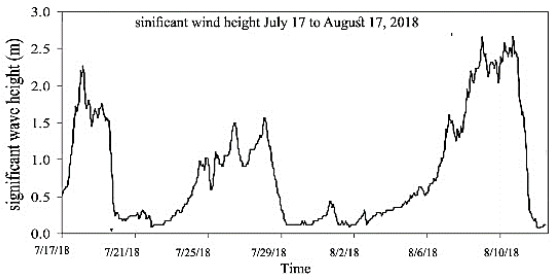
در ابتدا برای بررسی میزان دقت مدل در ارائه نتایج مناسب، این نتایج باید با داده‌های اندازه‌گیری میدانی واسنجی شوند. شکل‌های ۲ تا ۶ واسنجی داده‌های باد و دوره تناوب و ارتفاع شاخص موج را نشان می‌دهند.



شکل (۱): سری زمانی سرعت باد تنگه هرمزدر دوره واسنجی.

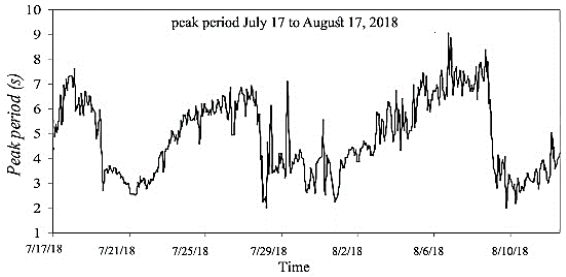


شکل (۳): سری زمانی جهت باد تنگه هرمز در دوره واسنجی.

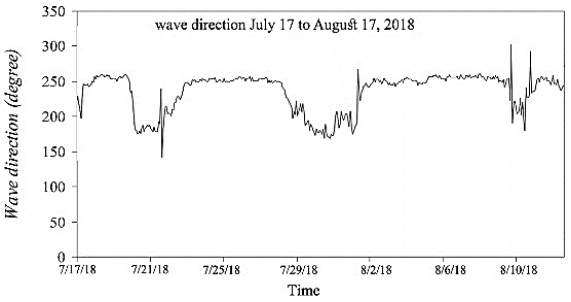


شکل (۴): سری زمانی ارتفاع موج شاخص تنگه هرمز در دوره واسنجی.

[1]Bias
[2]Correlation coefficient
[3] Root Mean Square Error
[4]Scatter Index



شکل (۵): سری زمانی دوره تناوب اوجی تنگه هرمز در دوره واسنجی.



شکل (۶): سری زمانی جهت موج تنگه هرمز در دوره واسنجی.

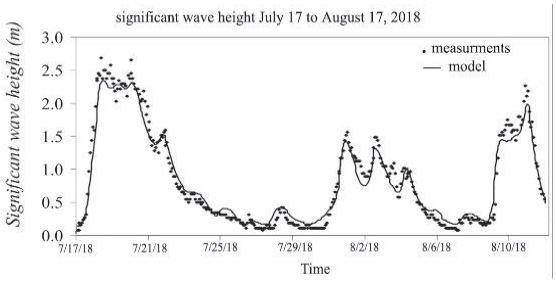
همانگونه که از شکل‌های ۲ و ۴ دیده می‌شود، تطابق بسیار خوبی بین سری‌های زمانی سرعت باد ECMWF و ارتفاع موج شاخص مدل در تنگه هرمز در دوره واسنجی وجود دارد. با نگاهی به جهت باد غالب ورودی مدل دیده می‌شود که این جهت بین ۲۲۰ تا ۳۲۰ درجه با میانگین ۲۵۰ درجه است که همخوانی خوبی با جهت موج در تنگه هرمز که حدوداً بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ است، دارد. همچنین، جدول ۱ شاخص‌های آماری بین موج مدل‌سازی شده و باد را نشان می‌دهد.

جدول (۱): شاخص‌های آماری باد و موج در دوره واسنجی.

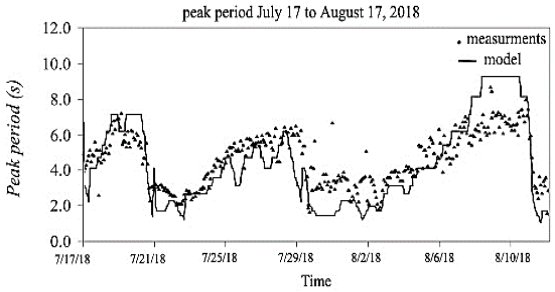
پارامتر	SD[1]	بیشینه	میانگین	کمینه
ارتفاع موج شاخص	0.58	2.1	0.65	0.03
دوره تناوب اوجی	1.13	8.28	3.8	1.52
جهت موج	28.12	300	250	150
سرعت باد	3.11	10	4	2
جهت باد	85.3	320	270	100

[1] Standard Deviation

برای انجام واسنجی مدل پارامترهای مدل مانند سفیدک رأس موج، شکست موج ناشی از کاهش عمق و اصطکاک بستر دریا مورد بررسی و حساسیت‌سنجی قرار گرفتند. تحلیل حساسیت نشان داد که مدل در منطقه تنگه هرمز نسبت به تغییرات ضریب سفیدک رأس موج بیشترین تأثیر را بر دقت نتایج حاصله دارد که از آن برای واسنجی مدل استفاده شد. بنابراین، ارتفاع و دوره تناوب اوجی مدل در بازه زمانی واسنجی با داده‌های اندازه‌گیری‌شده توسط بویه موج‌نگار مقایسه گردید که در شکل‌های ۷ و ۸ دیده می‌شود.



شکل (۷): ارتفاع موج اندازه‌گیری‌شده و مدل‌سازی‌شده در دوره واسنجی.



شکل (۸): دوره تناوب اوجی اندازه‌گیری‌شده و مدل‌سازی‌شده در دوره واسنجی.

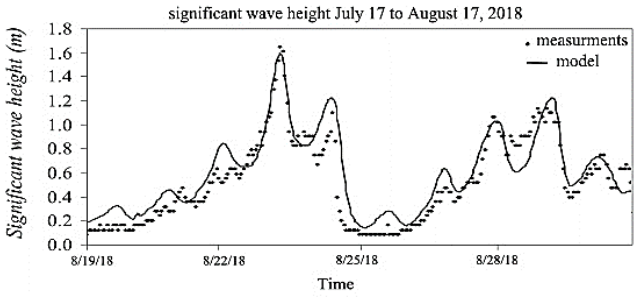
جدول ۲ شاخص‌های آماری خطا بین نتایج مدل و داده‌های اندازه‌گیری‌شده بویه را در دوره واسنجی نشان می‌دهد.

جدول (۲۱): شاخص‌های آماری خطا بین مدل و داده‌های بویه در دوره واسنجی.

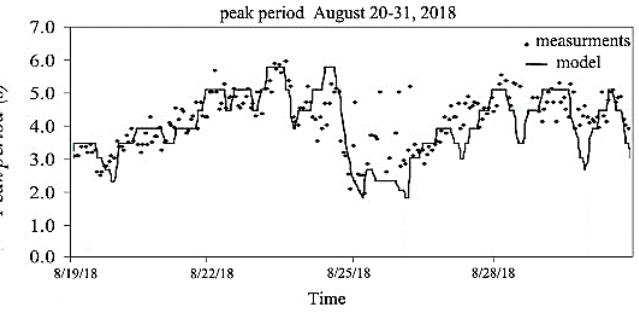
شاخص خطا	دوره تناوب اوجی	ارتفاع موج شاخص
Bias	-۰,۲۵	-۰,۰۱۵
CC	۰,۸۸	۰,۸۳
RMSE	۱,۲	۰,۱۱
SI	۲۵,۱۳	۱۸,۵۵

۴- صحت‌سنجی مدل

پس از واسنجی مدل، برای ارزیابی صحت نتایج حاصل از مدل‌سازی، فرآیند صحت‌سنجی مدل انجام گردید. بدین منظور، ارتفاع شاخص موج و نیز دوره تناوب اوجی موج با داده‌های بویه موج‌نگار مقایسه گردید (شکل‌های ۹ و ۱۰).



شکل (۹): ارتفاع موج اندازه‌گیری‌شده و مدل‌سازی‌شده در دوره درستی‌سنجی.



شکل (۱۰): دوره تناوب اوجی اندازه‌گیری‌شده و مدل‌سازی‌شده در دوره درستی‌سنجی.

جدول ۳ شاخص‌های آماری خطای بین نتایج مدل و داده‌های بویه را در دوره صحت‌سنجی نشان می‌دهد.

جدول (۳): شاخص‌های آماری خطا بین مدل و داده‌های بویه در دوره صحت‌سنجی.

شاخص خطا	دوره تناوب اوجی	ارتفاع موج شاخص
Bias	-۰,۲۶	۰,۰۵
CC	۰,۶۵	۰,۸۰
RMSE	۱,۱	۰,۱۳
SI	۲۲	۲۸

با نگاهی به جدول ۳ دیده می‌شود که نتایج مدل‌سازی امواج توسط مدل عددی SWAN از دقت قابل قبولی در مقایسه با داده‌های میدانی بویه موج‌نگار برخوردار است و بنابراین، از این مدل می‌توان برای مدل‌سازی امواج در تنگه هرمز استفاده کرد.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، سعی در مدل‌سازی عددی امواج بادرانده در منطقه تنگه هرمز و نیز پیش‌بینی امواج در این ناحیه بر اساس مدل عددی SWAN نمودیم. این مدل بر اساس داده‌های باد ECMWF مورد واسنجی قرار گرفت. گرچه خطاهایی در داده‌های ورودی مدل از قبیل باد و حتی عمق‌سنجی منطقه از یک سو و عدم دقت مدل‌سازی ناشی از معین نبودن ضرایب مدل در دوره واسنجی وجود داشت، اما با انجام حساسیت‌سنجی مدل به ضرایب و پارامترهای مختلف مدل و تصحیح ضریب سفیدک رأس موج مدل، مقایسه نتایج مشخصات موج مدل با داده‌های بویه موج‌نگار، نشان از تدقیق مدل دارد. این تدقیق به گونه‌ای است که مدل در دوره صحت‌سنجی دقت خوبی در تطابق با داده‌های میدانی بویه برخوردار می‌شود.

۶- مراجع

[1] Gillmer, T. C., and Johnson, B., "Introduction to naval architecture," US Naval Institute, Annapolis, MD. 1982.

[۲] تقوا، حمیدرضا، قاسمی، حسن، «تحلیل دریامانی و مانور شناورهای سطحی با استفاده از روابط تجربی»، پنجمین همایش ملی شناورهای تندرو، تهران، انجمن علمی پژوهشی دریایی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۹۶.

[۳] رضایی، حمید، کریمی، محمدحسین، باقرزاده، محسن، «تحلیل دریامانی شناور پروازی در نرم‌افزار ANSYS-CFX»، پنجمین همایش ملی شناورهای تندرو، تهران، انجمن علمی پژوهشی دریایی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۹۶.

[۴] قاسمی، حسن؛ مجدفر، سهراب؛ گیل، ولی‌الله؛ فروزان، حمید؛ «تحلیل و بررسی دریامانی شناور تندرو Monohedral»، چهارمین همایش ملی شناورهای تندرو، تهران، انجمن علمی پژوهشی دریایی، ۱۳۹۴.

[۵] قاسمی، حسن؛ مجدفر سهراب؛ گیل، ولی‌الله؛ فروزان، حمید؛ «تحلیل عددی اثر تغییرات ابعادی بر روی رفتار دریامانی شناور DDG 51»، فصلنامه علوم و فناوری دریا ۷۳، ۱۳۹۴.

[6] The SWAN team, "Swan technical documentation and user manual," Delft Univ. of Tech. 2007.