

شبیه‌سازی مقایسه‌ای امواج ناشی از باد دریای خزر با داده‌های ERA5 و ERA-Interim

محمد بارانی پورمقدم^۱، سرمد قادر^۲، عباسعلی علی‌اکبری بیدختی^۳، سید عباس حق شناس^۴
^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، mohamad.barani.pm@ut.ac.ir
^۲دانشیار، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، sghader@ut.ac.ir
^۳استاد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، bidokhti@ut.ac.ir
^۴استادیار، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، sahashshenas@ut.ac.ir

چکیده

امروزه به دلایل متعددی اقیانوس‌ها و دریاها بر زندگی بشر تاثیرگذارند، یکی از مولفه‌های مهم شرایط آبی امواج هستند که تاثیر آنها بر کلیه فعالیت‌های ساحلی و دریایی سبب می‌شود تا اولین قدم جهت شناخت عوامل تأثیرگذار بر محیط‌های دریایی و نواحی ساحلی، تعیین الگوهای امواج باشد. هزینه‌ی اندک مدلسازی ریاضی موجب شده تا این روش، روش مطلوب جهت مطالعه پدیده‌های دریایی باشد اما دستیابی به نتایج بهتر در گروی بهینه‌سازی مداوم مدل‌ها و داده‌های ورودی آنها است. پیرو اهمیت این موضوع در پژوهش انجام گرفته پس از کاوش تحلیل‌های حساسیت متعدد، امواج ناشی از باد در دریای خزر با بهره‌گیری از داده‌های باد ERA-Interim و نسل جدید آن ERA5 از پایگاه ECMWF با مدل SWAN برای مقایسه شبیه‌سازی شده‌اند. در بررسی‌های کمی و کیفی انجام شده، داده‌های باد ERA5 در مقایسه با ERA-Interim با اختلاف قابل قبولی عملکرد بهتری ارائه داده‌اند.

واژه‌های کلیدی: موج، باد، ERA5، ERA-Interim، SWAN

Comparative simulations of wind-induced waves in the Caspian Sea using ERA5 and ERA-Interim's data

Mohammad Barani Pourmoghdam¹, Sarmad Ghader², A. A. Bidokhti³, Seyed Abbas Haghshenas⁴

¹Masters student, Institute of Geophysics, University of Tehran, mohamad.barani.pm@ut.ac.ir

²Associate Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, sghader@ut.ac.ir

³Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, bidokhti@ut.ac.ir

⁴Assistant Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, sahashshenas@ut.ac.ir

Abstract

Today, for various reasons, oceans and seas affect human life. One of the important components of water conditions is waves, which affect all coastal and marine activities, It causes the first factor to be identified in the affecting the marine environment and coastal areas, including the patterns of waves. The low cost of mathematical modeling has made it the preferred method for studying marine phenomena, but achieving better results depends on continuous optimization of models and their input data. Following the importance of this issue in this research, after exploring various sensitivity analyzes, wind-induced waves in the Caspian Sea were studied using ERA-Interim wind data and also the new generation ERA5 from ECMWF database with SWAN model for similar comparison. In quantitative and qualitative studies, ERA5 wind data performed better than ERA-Interim with a reasonable difference.

Keywords: Wind waves, ECMWF, ERA5, ERA-Interim, SWAN

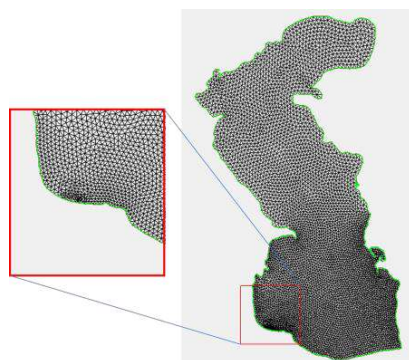
۱ مقدمه

شبیه‌سازی پدیده‌های آبی و دریایی بیش از پیش مورد توجه واقع شده است حال آنکه هزینه‌ی شبیه‌سازی‌های آزمایشگاهی بیشتر بوده و هر نمونه‌ی آن تنها برای تعداد محدودی از موارد تحقیقاتی قابل استفاده است. از این رو

مدل‌سازی‌های عددی بصره‌تر و کاربردی‌تر خواهند بود. در مدل‌های عددی اقیانوسی از داده‌های بازتحلیل هواشناسی نیز میتوان برای تامین داده‌های موردنیاز واداشت‌های لازم بهره برد. دو سری از جدیدترین داده‌های بازتحلیل مرکز ECMWF (مرکز اروپایی پیشبینی‌های میان مقیاس آب و هوا)، ERA-Interim (دی و همکاران، ۲۰۱۱) و ERA5 (هرسباک و همکاران، ۲۰۲۰) می‌باشد که این دو علاوه بر بازه‌ی زمانی تحت پوشش، تفاوت‌هایی از قبیل مولفه‌های موثر ورودی، میزان تفکیک مکانی و زمانی، میزان دقت در جهت امواج اقیانوس، مدل به کار رفته شده و غیره نیز دارند. زمانی که بحث مدلسازی امواج به میان می‌آید عموماً امواج ناشی از باد مدنظر هستند، تلمن و همکاران (۱۹۹۶). این امواج در نواحی دور از ساحل تنها بر دینامیک لایه سطحی موثر هستند، ولی در نواحی ساحلی و آب‌های کم‌عمق کل شرایط هیدرودینامیک ساحلی را با تغییرات چشمگیر مواجه می‌کنند. نخستین مدل موج نسل سوم که معادلات طیف موج را بدون محدودیت‌های نسل‌های پیشین خود در نظر می‌گرفت با نام WAM در سال ۱۹۸۵ توسعه داده شد، هنریک تلمن (۲۰۰۲). استفاده از مدل‌های طیفی نسل سوم برای شبیه‌سازی امواج امروزه بسیار مرسوم است. مدل‌سازی امواج در ایران با پروژه ISWM (مدل‌سازی امواج دریاهای ایران) به‌طور جدی موردتوجه قرار گرفته‌است. رجبی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی از اطلاعات باد مرکز ECMWF در ورودی مدل SWAN برای مدل‌سازی امواج ناشی از باد در منطقه انزلی بهره بردند و کمیجانی و همکاران (۱۳۹۳) نیز از مدل SWAN و داده‌های باد ERA-Interim برای شبیه‌سازی امواج در جنوب دریای خزر استفاده و نهایتاً خروجی را با نتایج ISWM II مقایسه کردند. همچنین بیرام‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی برای ارزیابی مهارت مدل SWAN از انواع داده‌های باد (ERA5 و ERA-Interim و CCMP) در دریای سرخ بهره برده و نتایج را با هم مقایسه کردند. در زمینه‌ی موضوع مقایسه‌ای-تحلیلی تحقیق پیش‌رو تاکنون کار مشابه‌ای انجام نشده، هرچند از این نوع داده‌ها در جهت مقاصد مطالعاتی دیگری استفاده شده است. هدف این پژوهش مدلسازی امواج منطقه دریای خزر با استفاده از داده‌های بازتحلیل باد از دو نسل ERA5 و ERA-Interim و مقایسه نتایج حاصل شده از آن‌ها است. در این میان برای صحت سنجی نیز از داده‌های مشاهداتی منطقه جنوب خزر استفاده کرده تا در نهایت به دلیل و میزان برتری کاربردی هر کدام از این دو داده بپردازیم.

۲ روش تحقیق

به‌منظور اجرای مدل و شبیه‌سازی امواج در آب عمیق و انتقال این امواج به نواحی نزدیک ساحل، می‌بایست ویژگی‌های هندسی محدوده جغرافیایی هدف، اطلاعات باد و شرایط اولیه را به‌عنوان ورودی مدل در اختیار داشت، رابرت سورنسن (۲۰۰۶). محدوده‌ی مورد مطالعه ما دریای خزر می‌باشد و داده‌های مشاهداتی موجود داده‌های اندازه‌گیری شده توسط سازمان بنادر و دریانوردی در نزدیکی بندر انزلی (شکل ۱) است، از جمله اقدامات اولیه صورت گرفته شبکه‌زنی بهینه (شکل ۲) بر روی دریای خزر می‌باشد، به گونه‌ای که برای نیمه شمالی آن شبکه درشت‌تر و نیمه جنوبی شبکه ریزتر و در محدوده‌ای که داده مشاهداتی داریم شبکه متراکم‌تر طراحی شده است. کوچک‌ترین اندازه شبکه (gridsize) ۱۶۶۵ متر و بزرگ‌ترین آن حدود ۱۴.۵ کیلومتر می‌باشد. برای انتخاب گام زمانی مناسب علاوه بر بررسی‌های تجربی از قاعده کورانت (CFL)، بهره‌گیری و نهایتاً گام زمانی ۲ دقیقه برای انجام محاسبات انتخاب شد. از دیگر اقدامات اولیه انجام شده بررسی داده‌های مشاهداتی برای انتخاب بازه‌ی زمانی مناسب بود و تصمیم بر آن شد تا محدوده‌ای انتخاب شود که در آن رویدادهایی با ارتفاع موج بیش از ۳ متر مشاهده شده و در عین حال در داده‌ها شکاف (gap) نباشد. نهایتاً یک بازه‌ی ۱۰ روزه از ۲۰ تا ۳۰ نوامبر ۲۰۱۸ با دو رویداد قابل توجه انتخاب شد. همچنین برای این مطالعه تحلیل‌های حساسیت متعددی درحوزه‌های مدت زمان موردنیاز برای گرم شدن (warmup) مدل، تفکیک مکانی واداشت باد، فرمول‌بندی فیزیکی مدل و زبری بستر مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۲. شبکه‌زنی بهینه‌ی انجام شده در دریای خزر.



شکل ۱. موقعیت داده‌های مشاهداتی.

با انجام دو اجرای مشترک مدت زمان گرم شدن مدل در حدود ۱۲ ساعت بدست آمد، با بررسی و اجرای مدل با استفاده از داده‌های باد با تفکیک‌های مکانی متفاوت تفکیک ۰/۲۵ درجه انتخاب شد، در باب تحلیل‌های حساسیت مربوط به فرمول‌بندی فیزیکی مدل نسل سوم برای باد ورودی، مدل JANSSEN با اساس یک نظریه شبه خطی موج-باد عملکرد بهتری نسبت به KOMEN و WESTHUYSEN در محدوده‌ی موردنظر از خود نشان داد و برگزیده شد.

$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + B \times E(\sigma, \theta) \quad (1)$$

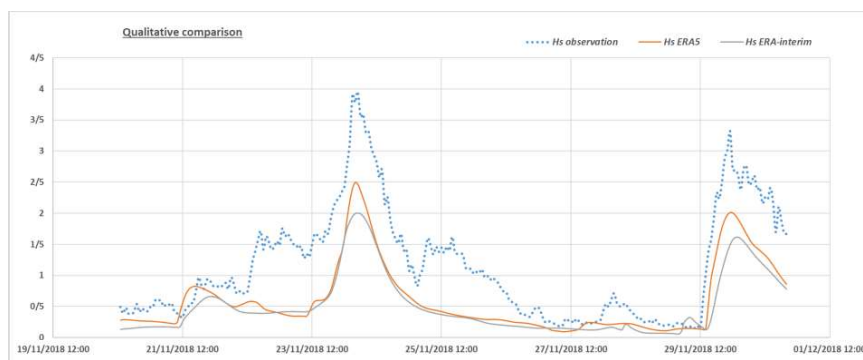
در رابطه‌ی (۱)، S_{in} متناظر با چشمه‌ی رشد موج توسط باد، E چگالی انرژی، σ فرکانس نسبی، θ جهت موج و A و B وابسته به بسامد و جهت موج و سرعت و جهت باد هستند که A مولفه‌ی رشد خطی و B مولفه‌ی رشد نمایی می‌باشد. مدل JANSSEN در رابطه‌ی (۱) که بیانگر رشد موج توسط باد است با در نظر گرفتن اثرات لایه مرزی جو و طول ناهمواری سطح دریا، تعامل بین باد و امواج را به وضوح توضیح می‌دهد. این روش در نسخه چهارم WAM نیز استفاده می‌شود، محمد هادی معینی و امیر اعتماد شهیدی (۲۰۰۷). در تحلیل‌های حول زبری بستر نیز بر اساس این قاعده که اوربیتال‌های یک موج حدوداً به اندازه‌ی نصف طول موج آن در عمق آب نفوذ می‌کنند و با توجه به عمق محل داده‌های مشاهداتی ما و همچنین محدوده‌ی مقادیر طول موج‌ها در آن محل، لمس شدن بستر توسط اوربیتال‌های موج و لزوم وجود زبری بستر در محاسبات مدل منتج شد.

پس از حذف داده‌های مربوط به مدت زمان گرم شدن مدل برای مقایسه‌ی کیفی نموداری از داده‌های مشاهداتی و نتایج شبیه‌سازی با داده‌های ERA5 و ERA-Interim رسم شده و برای مقایسه کمی نتایج از سنجه‌های آماری‌ای همچون سوگیری نرمال شده (NBIAS)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبستگی (CC)، ضریب پراکندگی (SI) و انحراف استاندارد نرمال شده (NSTD) استفاده شده است.

۳ نتیجه‌گیری

ابتدا لازم است یادآور شویم که داده‌های مشاهداتی نیز حاوی خطا هستند و در اینجا بطور ساده به عنوان مرجع برای مقایسه استفاده می‌شوند، همچنین شبکه محاسباتی، تنظیمات مدل و دیگر شرایط برای هر دو اجرا یکسان بوده است. نموداری که در ادامه در شکل (۳) مشاهده می‌کنید مقایسه‌ی کیفی بین نتایج حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های ERA-Interim و ERA5 در کنار داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد. با نگاهی به نمودار به راحتی می‌توان پی برد که داده‌های حاصل از شبیه‌سازی در اغلب اوقات تخمین پایین گرفته‌اند، اما شبیه‌سازی‌ها بخصوص شبیه‌سازی با داده‌های ERA5 در پیش‌یابی رویدادهای بزرگ عملکرد نسبتاً مناسبی از خود نشان داده‌اند.

مقادیر بدست آمده برای سنجه‌های آماری در جدول (۱) قابل رویت است، همانطور که در مقایسه‌ی کیفی نیز مشهود بود، نتایج حاصل از ERA5 در سوگیری تخمین کم گرفتن بهتر از ERA-Interim عمل کرده است، همچنین میزان خطا نیز در نتایج حاصل از این داده‌ها کمتر از ERA-Interim است، سنجه‌ی ضریب همبستگی برای هر دو داده رقم بالا و بسیار مناسبی بدست آمده و نتایج حاصل از ERA-Interim با اختلاف ناچیزی بهتر از ERA5 بوده است،



شکل ۳. نمودار مقایسه‌ی کیفی خروجی شبیه‌سازی حاصل از داده‌های باد ERA5 و ERA-Interim در کنار داده‌های مشاهداتی.

پراکندگی نیز برای نتایج حاصل از داده‌های ERA-Interim رقم بالاتری به دست آمده و نشانگر عملکرد ضعیف‌تر این داده‌ها در مقایسه با ERA5 می‌باشد، همچنین همانطور که از انحراف استاندارد نرمال شده برمی‌آید میزان تغییرپذیری نتایج حاصل از داده‌های ERA5 نسبت به داده‌های مشاهداتی نیز بهتر از ERA-Interim بوده است.

جدول ۱. مقادیر محاسبه شده‌ی سنجه‌های آماری.

	NBIAS	RMSE	CC	SI	NSTD
ERA5	0.38	0.71	0.91	0.68	0.63
ERA-Interim	0.45	0.81	0.92	0.83	0.54

به طور کلی نتایج حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های واداشت باد ERA5 به دلیل سوگیری نرمال شده، ضریب پراکندگی و جذر میانگین مربعات خطای کمتر، عملکرد بهتری در مقایسه با ERA-Interim را نشان می‌دهند.

منابع

- رجبی، س.، چگینی، و.، لاری، ک.، کامران‌زاد، ب.، حسینی، ط.، ۱۳۹۲، مدل‌سازی امواج ناشی از باد در منطقه انزلی با استفاده از مدل عددی SWAN: نشریه علمی-پژوهشی اقیانوس‌شناسی، شماره ۱۵، پاییز ۱۳۹۲، ۸۳-۸۹.
- کمپانی، ف.، صدری‌نسب، م.، چگینی، و.، سیادت‌موسوی، م.، ۱۳۹۳، شبیه‌سازی امواج در جنوب دریای خزر با به‌کارگیری میدان باد ERA-Interim و مقایسه با نتایج ISWM II: نشریه علمی-پژوهشی اقیانوس‌شناسی، شماره ۲۳، پاییز ۱۳۹۴، ۷۷-۸۵.
- Beyramzade, M., Siadatmousavi, S. M., Nik, M. M., 2019, Skill assessment of SWAN model in the red sea using different wind data: Regional Studies in Marine Science, 30.10.1016/j.rsma.2019.100714.
- Dee, D. P., et al., 2011, The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system: Q. J. Roy. Meteor. Soc., 137, 553-597.
- Hersbach, H., et al., 2020, The ERA5 global reanalysis: Q. J. Roy. Meteor. Soc., 146, 1999-2049.
- Mocini, M.H., Etemad-Shahidi, A., 2007, Application of two numerical models for wave hindcasting in Lake Erie: Appl. Ocean Res. 29, 137-145.
- Sorensen, R. M., 2006, Basic Coastal Engineering Basic: Springer Science & Business Media, 10, 324pp.
- Tolman, H. L., Balasubramanian, B., Burroughs, L. D., Chalikov, D. V., Chao, Y. Y., Chen, H. S., Gerald, V. M., 2002, Development and implementation of wind-generated ocean surface wave Modelsat NCEP: Weather and forecasting, 17(2), 311-333.
- Tolman, H. L., Chalikov, D., 1996, Source terms in a third-generation wind wave model: Journal of Physical Oceanography, 26(11), 2497-2518.