



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.





نهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی
ICOPMAS 2010
 10-8 آذر ماه (تهران)



مقایسه مدل SWAN و شبکه عصبی مصنوعی در پس بینی ارتفاع موج در خلیج فارس

بهاره کامران زاد، دانشجوی دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران، kamranzad@iust.ac.ir

امیر اعتماد شهیدی، دانشیار، دانشگاه علم و صنعت ایران، etemad@iust.ac.ir

کلید واژه: پس بینی موج، مدل SWAN، شبکه عصبی مصنوعی، خلیج فارس

1- مقدمه

طراحی سازه های دریایی اعم از ساحلی و فرا ساحلی، مستلزم داشتن اطلاعات صحیح و دقیقی از رژیم امواج دریا می باشد. برای تولید این اطلاعات، روش های پیش بینی مختلفی به کار می روند که شامل روش های تجربی، روش های عددی و روش های نرم و یا ترکیب این روش ها می باشند. روش های تجربی که بر مبنای روابطی میان پارامترهای بدون بعد امواج می باشند، به علت سادگی نسبی شان در مقایسه با سایر روش ها، در گذشته در مدل سازی مشخصات امواج دریا کاربرد بیشتری داشته اند. ضرایب ثابت روابط تجربی با استفاده از تحلیل ابعادی اندازه گیری های میدانی تعیین می شوند و بنابراین این روش ها که با توجه به اطلاعات منطقه خاصی توسعه یافته اند، در همه جا، نتایج دقیقی را تولید نمی کنند. در این روش ها، مشخصات موج با استفاده از اطلاعات سرعت باد، طول موجگاه و زمان تداوم به دست می آیند. به عنوان نمونه ای از آن ها، می توان به روش های [1] SMB، [2] Bretschneider، [3] JONSWAP، [4] Donelan، [5] SPM و [6] CEM اشاره نمود.

با توسعه قابلیت های کامپیوتری در حل معادلات پیچیده، استفاده از مدل های عددی در قرن بیستم از مدل های نسل اول تا مدل های نسل سوم در مدل سازی امواج گسترش یافت. مدل های [7] WAM، [8] SWAN، [9] Wavewatch III و [10] Mike 21 SW نمونه ای از مدل های عددی می باشند. مطالعات مختلفی (مانند [11]، [12]، [13]، [14]، [15] و [16]) مدل های عددی را برای مدل سازی امواج دریا به کار بردند.

امروزه با در دسترس داشتن آمار کافی از طریق بویه های ثبت اطلاعات امواج، استفاده از روش های نرم مانند شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، سیستم استنباط فازی (FIS) و الگوریتم ژنتیک (GA) برای پیش بینی امواج گسترش یافته است. اما استفاده از این روش ها، مختص به مناطقی است که در آن ها آمار و اطلاعات باد و موج، موجود باشد و نتایج به دست آمده از این روش ها، هر چند دقیق، تنها در همان مناطق قابل استفاده می باشد. مطالعات زیادی (مانند [17]، [18]، [19] و [20]) از ابزار های نرم و همچنین از ترکیب روش های عددی و نرم (مانند [21]) برای مدل سازی مشخصات امواج دریا استفاده نمودند.

در این مطالعه، از هر دو مدل عددی SWAN و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای پس بینی ارتفاع امواج در خلیج فارس استفاده شده است و نتایج آن ها با هم مقایسه گردیده است. لازم به ذکر است که در هر دو مدل، از مشخصات باد به دست آمده از بویه واقع در بوشهر به عنوان ورودی مدل استفاده شد.

2- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در نزدیکی بندر بوشهر در شمال خلیج فارس واقع می باشد. داده های مورد استفاده، متعلق به بویه سازمان هواشناسی واقع در طول جغرافیایی 50.50° و عرض جغرافیایی 28.58° می باشند. این داده ها، شامل سری های زمانی 1 ساعته پارامترهای باد و موج از تاریخ 2008/3/1 تا 2008/9/7 می باشند. لازم به ذکر است که مشخصات باد در ارتفاع 4 متری از سطح دریا اندازه گیری شده است.

مدل عددی [8] SWAN، یک مدل نسل سوم است که در این مطالعه، برای مدل سازی مشخصات امواج دریا در منطقه بوشهر در خلیج فارس به کار رفته است. نگارش به کار رفته این نرم افزار در این تحقیق، SWAN Cycle III version 40.72 می باشد که در سال 2009 توسط دانشگاه صنعتی دلفت هلند تهیه شده است. لازم به ذکر است که این مدل برای مناطق ساحلی توسعه یافته است. هدف اصلی مدل SWAN، حل معادله تعادل کنش طیفی، بدون هیچ قید و شرط از پیش تعیین شده ای بر روی طیف، برای تکامل رشد امواج است که معادله مذکور، اثرات انتشار مکانی، انکسار، ژرفا کاستگی، تولید، استهلاک و بر هم کنش های غیر خطی موج-موج را نشان می دهد. برای مدل سازی با استفاده از مدل SWAN، می بایست بردار باد در ارتفاع 10 متری از سطح دریا به عنوان ورودی مدل مورد استفاده قرار گیرد. برای تبدیل سرعت باد در ارتفاع 4 متری از سطح دریا به سرعت باد در ارتفاع 10 متری از سطح دریا از رابطه (1) استفاده شد [6].

$$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{z} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (1)$$

که U_{10} سرعت باد در ارتفاع 10 متری از سطح دریا و U_z سرعت باد در ارتفاع z از سطح دریا می باشند. مدل SWAN سرعت باد در ارتفاع 10 متری از سطح دریا را با استفاده از رابطه (2) به سرعت برشی باد (U_*) تبدیل می کند.

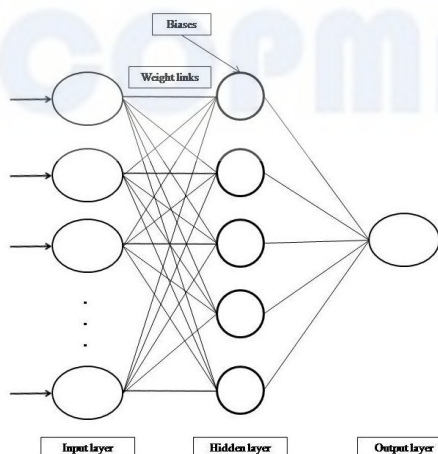
$$U_* = U_{10} \sqrt{C_D} \quad (2)$$

که C_D از رابطه (3) محاسبه می شود: [22]

$$C_D = \begin{cases} 1.2875 \times 10^{-3} & \text{if } U_{10} < 7.5 \frac{m}{s} \\ (0.8 + 0.065 \times U_{10}) \times 10^{-3} & \text{if } U_{10} \geq 7.5 \frac{m}{s} \end{cases} \quad (3)$$

4- شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه عصبی مصنوعی ابزاری نرم است که به دلیل سهولت در اجرای مدل، کم هزینه بودن و ارائه نتایج با دقت قابل قبول، استفاده از آن در مدل سازی موج در دهه اخیر گسترش یافته است. در این ابزار، هر بردار ورودی از داده های تصادفی با بردار خروجی متناظرش مرتبط می شود [23]. شکل 1 نمونه ای از یک شبکه عصبی مصنوعی 3 لایه را شامل لایه های ورودی، پنهان و خروجی می باشد، نشان می دهد. در این شبکه، لایه خروجی دارای 1 نرون (ارتفاع موج شاخص) است و تعداد نرون های لایه ورودی با توجه به تعداد ورودی های مدل، تعیین می گردد. تعداد بهینه نرون ها در لایه پنهان نیز با استفاده از سعی و خطا برابر با 10 نرون انتخاب شد.



شکل 1) نمونه ای از یک شبکه عصبی مصنوعی پیش خور

شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده در این تحقیق از نوع Feed Forward-Conjugate gradient با تابع انتقال سیگموئید می

باشد. همچنین، نرخ یادگیری و تکرارها با استفاده از سعی و خطا به ترتیب 0.01 و 1000 انتخاب شدند. به علاوه، معیار توقف آموزش شبکه، افزایش مقدار خطای مربع میانگین قرار داده شد. همچنین، در نظر گرفتن تاخیر (lag) های مختلف برای سرعت باد آزمایش شد و در نهایت، مناسب ترین مدل با در نظر گرفتن سرعت های برشی باد 3 ساعت قبل نیز به عنوان ورودی های مدل مطابق رابطه (4) انتخاب شد.

$$H_t = f(U_{*t}, U_{*t-1}, U_{*t-2}, U_{*t-3}) \quad (4)$$

که در آن H و U_* به ترتیب نشان دهنده ارتفاع موج شاخص و سرعت برشی باد می باشند.

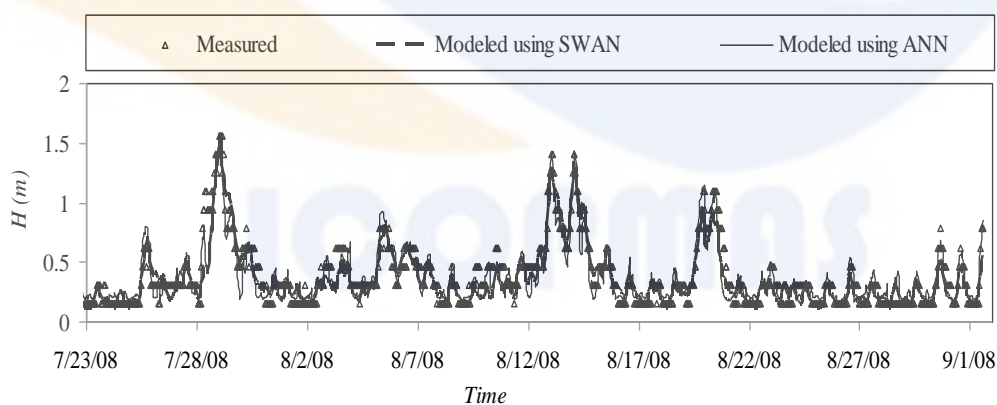
5- مقایسه نتایج مدل سازی

برای پیش بینی ارتفاع موج شاخص، دوره زمانی 40 روزه برای واسنجی (آموزش) مدل و دوره زمانی 43 روزه نیز برای صحت سنجی (آزمایش) مدل ها در نظر گرفته شد. انتخاب دوره های مذکور به گونه ای انجام شد که ورودی مدل یعنی اطلاعات باد، در هر دو دوره از مشابهت آماری برخوردار باشد. مشخصات آماری اطلاعات باد نشان داده شده در جدول 1، مشابهت آماری را تأیید می نماید.

جدول 1) مشخصات آماری اطلاعات باد در دوره های واسنجی (Calibration) و صحت سنجی (Verification)

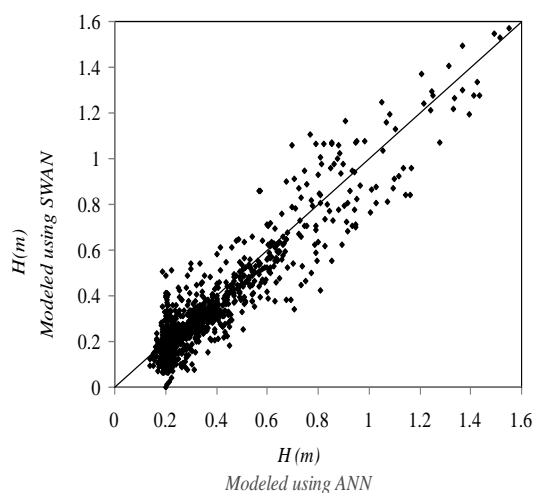
Parameter	Period	Minimum	Average	Maximum	Standard Deviation
Wind Speed	Calibration	0.00	3.75	13.09	2.41
(m/s)	Verification	0.00	4.08	12.02	2.59

سری زمانی نتایج مدل سازی در دوره زمانی واسنجی به همراه مقادیر اندازه گیری شده ارتفاع امواج در شکل 2 نشان داده شده است. این شکل نشان می دهد که نتایج هر دو مدل با مقادیر اندازه گیری شده مطابقت دارند و روند تغییرات ارتفاع موج مدل سازی شده توسط هر دو مدل در زمان، مشابه روند تغییرات ارتفاع موج اندازه گیری شده می باشد.



شکل 2) نمودار سری زمانی ارتفاع موج اندازه گیری شده و مدل سازی شده توسط SWAN و ANN

شکل 3 نمودار پراکندگی نتایج حاصل از مدل سازی با استفاده از مدل عددی SWAN و ابزار نرم ANN را نشان می دهد. مطابق این شکل، نتایج به طور نسبی با یکدیگر مطابقت دارند و همچنین مدل SWAN، امواج با ارتفاع کم را عموماً دست پایین تخمین زده است.



شکل 3) نمودار پراکندگی ارتفاع موج مدل سازی شده توسط SWAN و ANN

برای مقایسه کمی نتایج، شاخص های خطا مطابق روابط 5 تا 7 محاسبه شدند که در آن ها $Bias$ میزان اریبی، R ضریب همبستگی و SI شاخص پراکندگی را نشان می دهند.

$$Bias = \bar{p} - \bar{o} \quad (5)$$

(6)

$$R = \frac{\sum((o_i - \bar{o}) \times (p_i - \bar{p}))}{\sqrt{\sum(o_i - \bar{o})^2 \sum(p_i - \bar{p})^2}}$$

$$SI = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum(o_i - p_i)^2}}{\bar{o}} \times 100 \quad (7)$$

که o_i ، p_i ، \bar{o} و \bar{p} به ترتیب ارتفاع موج اندازه گیری شده و مدل سازی شده، مقادیر متوسط ارتفاع موج اندازه گیری شده و مدل سازی شده و تعداد داده ها می باشند. نتایج محاسبه شاخص های خطای فوق در جدول 2 نشان داده شده است. این جدول نشان می دهد که هر دو مدل، نتایج تقریباً مشابهی را ارائه می نمایند. اگرچه میزان اریبی ($Bias$) نتایج مدل SWAN اندکی منفی یا به عبارتی نتایج آن کمی دست پایین است.

جدول 2) شاخص های خطا مربوط به ارتفاع موج مدل سازی شده توسط SWAN و ANN

Error index	SWAN	ANN
$Bias$ (m)	-0.03	0.00
R	0.92	0.91
SI (%)	29.16	30.43

6- جمع بندی و نتیجه گیری

در این تحقیق، ارتفاع امواج در محل بویه ای در نزدیکی بندر بوشهر با استفاده از مدل های SWAN و ANN پس بینی شد. همچنین باد اندازه گیری شده توسط بویه مذکور به عنوان ورودی مدل ها مورد استفاده قرار گرفت. مشابه با مدل SWAN که سرعت باد را به سرعت برشی باد تبدیل می کند، در مدل سازی به وسیله ANN نیز سرعت برشی باد به عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شد. مقایسه کمی و کیفی نتایج نشان

داد که دقت نتایج مدل سازی با استفاده از هر دو مدل مشابه می باشد. لازم به ذکر است که در مدل سازی امواج در سایر نقاط، دومی توان از شبکه عصبی به کار رفته در این تحقیق استفاده نمود و شبکه به کار رفته تنها مختص نقطه مورد تحقیق می باشد، زیرا این شبکه تنها با اطلاعات نقطه مذکور آموزش داده شده است. اما در شرایطی که مدل سازی ارتفاع امواج دریا در یک نقطه مد نظر باشد، استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به دلیل ارائه نتایج قابل قبول، کمتر بودن زمان اجرا و ساده تر بودن آن نسبت به مدل SWAN، پیشنهاد می شود.

7- تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از سازمان هواشناسی بوشهر برای تهیه داده های این مطالعه و همچنین از گروه SWAN دانشگاه صنعتی دلفت برای در دسترس گذاشتن رایگان مدل تشکر می نمایند.

8- مراجع

- [1] Sverdrup, H.U., Munk, W.H. (1947), Wind sea and swell: theory of relations for forecasting, Publication 601, U.S. Navy Hydrographic office, Washington, DC.
- [2] Bretschneider, C.L. (1958), Revisions in wave forecasting: Deep and shallow water, in proceedings, 6th Conference on Coastal Engineering, Council on wave research, University of California, Berkeley, 1-18.
- [3] Hasselmann, K., Barnett, T.P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Weing, J.A., Gienapp, H., Hasselmann, D.E., Kruseman, P., Meerburg, A., Muller, P., Olbers, K.J., Richter, K., Sell, W., Walden, W.H. (1973), Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), Deutsche Hydrograph, Zeit., Erganzung-self Reihe, A8(12).
- [4] Donelan, M.A. (1980), Similarity theory applied to the forecasting of wave heights, Periods and Directions, In Proceeding of the Canadian Coastal Conference, National Research Council of Canada, 47-61.
- [5] US Army. (1984), Shore Protection Manual, 4th ed. 2vols. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- [6] US Army. (2003), Coastal Engineering Manual, Chapter II-2, Meteorology and Wave Climate, Engineer Manual 1110-2-1100. U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- [7] Komen, G.J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S., and Janssen, P.A.E.M. (1994), Dynamics and modeling of ocean waves, Cambridge University Press.
- [8] Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H. (1999), A third-generation wave model for coastal regions. 1. Model Description and validation, Journal of Geophysical Research, Vol. 104, 7649-7666.
- [9] Tolman, H.L. (1991), A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents, Journal of Physical Oceanography, Vol. 21, 782-797.
- [10] DHI Water & Environment. (2004), MIKE 21 spectral wave module, Scientific documentation.
- [11] Moeini, M.H., Etemad-Shahidi, A., Chegini, V. (2010), Wave modeling and extreme value analysis off the northern coast of the Persian Gulf, Applied Ocean Research, in press.
- [12] Moeini, M.H., Etemad-Shahidi, A. (2007), Application of two numerical models for wave hindcasting in Lake Erie, Applied Ocean Research, Vol. 29, 137-145.
- [13] Rogers, W.E., Kaihatu, J.M., Hsu, L., Jensen, R.E., Dykes, J.D., Holland, K.T. (2007), Forecasting and hindcasting waves with the SWAN model in the Southern California Bight, Coastal Engineering, Vol. 54, 1-15.
- [14] Signell, R.P., Carniel, S., Cavaleri, L., Chiggiato, J., Doyle, J., Pullen, J., Sclavo, M. (2005), Assessment of wind quality for oceanographic modelling in semi-enclosed basins, Journal of Marine Systems, Vol. 53, 217-33.
- [15] Rusu, E., Pilar, P., Guedes Soares, C. (2008), Evaluation of the wave conditions in Madeira Archipelago with spectral models, Ocean Engineering, Vol. 35, 1357-1371.
- [16] Bolaños-Sanchez, R., Sanchez-Arcilla, A., Cateura, J. (2007), Evaluation of two atmospheric models for wind-wave modeling in the NW Mediterranean, Journal of Marine Systems, Vol. 65, 336-353.
- [17] Kazeminezhad, M.H., Etemad-Shahidi, A., Mousavi, S.J. (2005), Application of fuzzy inference system in the prediction wave parameters, Ocean Engineering, Vol. 32, 1709-1725.
- [18] Etemad-Shahidi, A., Mahjoobi, J. (2009), Comparison between M5' Model Tree and Neural Networks for Prediction of Significant Wave Height in Lake Superior, Ocean Engineering, Vol. 36, 1175-1181.
- [19] Mahjoobi, J., Etemad-Shahidi, A., Kazeminezhad, M.H. (2008), Hindcasting of wave parameters using different soft computing methods, Applied Ocean Research, Vol. 30, 28-36.
- [20] Agrawal, J.D., Deo, M.C. (2002), On-line wave prediction, Marine Structures, Vol. 15, 57-74.

- [21] Malckmohamadi, I., Ghiassi, R., Yazdanpanah, M.J. (2008), Wave hindcasting by coupling numerical model and artificial neural networks, *Ocean Engineering*, Vol. 35, 417-425.
- [22] Wu, j. (1982), Wind stress coefficients over sea surface from breeze to hurricane, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 87, 9704-9706.
- [23] Jain, P., Deo, M.C. (2006), Neural networks in ocean engineering, *International Journal of Ships and Offshore Structures*, Vol. 1, 25-35.

