یادداشت فنی

پیش یابی ارتفاع موج شاخص در خلیج فارس با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی و مقایسه آن با درخت های تصمیم رگرسیونی

مریم نعمتی[1*] ، علی کرمی خانیکی[2]

۱- کارشناس ارشد فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
۲- دکترای عمران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

چکیده:

پیش‌بینی مشخصات امواج در مهندسی سواحل و دریا از اهمیت بسیاری برخوردار است. در این تحقیق، پیش‌یابی ارتفاع موج شاخص در خلیج فارس با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور از اطلاعات ساعتی ثبت شده باد و موج بویه در منطقه عسلویه به مدت یک سال استفاده شده است. پارامتر سرعت باد در زمان ثبت ارتفاع موج و سرعت باد در ساعات قبلی به ورودی‌های شبکه عصبی افزوده شد و خروجی آن ارتفاع موج در فواصل زمانی۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت آینده مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که روش شبکه‌های عصبی در پیش‌یابی ارتفاع موج از دقت بالایی برخوردار است و افزودن سرعت باد به‌عنوان ورودی‌های شبکه می‌تواند دقت پیش‌یابی ارتفاع موج را افزایش دهد. همچنین پیش‌یابی ارتفاع موج در فواصل زمانی نزدیک (۱، ۳ و ۶ ساعت آینده) با دقت بالاتری انجام می‌شود. روش شبکه‌های عصبی با روش درخت‌های تصمیم رگرسیونی مقایسه شده است و نتایج آن حاکی از نزدیک بودن دقت پیش‌یابی ارتفاع موج در دو روش می باشد.

کلمات کلیدی : پیش‌یابی، موج، شبکه‌های عصبی مصنوعی، درخت‌های تصمیم رگرسیونی، خلیج فارس، عسلویه

TECHNICAL NOTE

Online Significant Wave Height Prediction in Persian Gulf Using Artificial Neural Networks and Regression Trees

M. Nemati[1], A. Karami Khaniki[2]

1- M.S in physical oceanography, Center for Science and Research, I. A. University
2- P.H.D. in civil, Research Center for Soil Protection and Water Resources

Abstract

Prediction of wave height is of great importance in marine and coastal engineering. In this study, the performances of artificial neural networks (feed forward with back propagation algorithm) for online significant wave heights prediction, in Persian Gulf, were investigated. The data set used in this study comprises wave and wind data gathered from shallow water location in Persian Gulf. Current wind speed (u) and those belonging up to eight previous hours are given as input variables, while the significant wave height with leading time of 1-24 hour are the output parameters. Results show that the artificial neural networks can perform very well in predicting significant wave height, when shorter intervals of predictions (6 hour) were involved. Small interval predictions were made more accurately than the large interval ones.

* نویسنده مسوول مقاله mari_nemati@yahoo.com

[Downloaded from marine-eng.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1390.7.14.9.1]

Results of artificial neural networks were compared with those of regression trees. Results indicate that error statistics of neural networks and regression trees were nearly similar.
Keywords: Prediction, wave, Artificial Neural Networks, Regression Trees, Persian Gulf, Asaluye

۱- مقدمه

تأثیر امواج بر فعالیت‌های مرتبط با محیط دریا از قبیل ساخت و نگهداری سازه‌های ساحلی و فرا ساحلی، کشتیرانی و حمل و نقل دریایی و حفاظت از سواحل موجب شده است تا روش‌های گوناگونی برای تعیین مشخصه‌های موج توسط محققین ارایه شود. اکثر طراحی‌های مربوط به پروژه‌های دریایی بر اساس آمار دراز مدت امواج صورت می‌پذیرد. با توجه به اینکه آمار و اطلاعات امواج در بسیاری از نقاط به اندازه کافی و در دوره زمانی مناسب ثبت نشده است، لذا می‌بایست با بهره گیری از روش های پیش بینی امواج و آمار ثبت شده باد، آمار دراز مدت امواج را تولید نمود. ازکاربرد پیش‌بینی مشخصات موج در کارهای مهندسی، میتوان به برنامه‌ریزی عملیاتی جهت هر گونه فعالیت مهندسی در محیط دریا از قبیل حمل، به آب اندازی، برپاداری و نصب سازه‌های دریایی اشاره نمود. درطول دهه‌های اخیر، برای پیش بینی امواج، چندین روش تجربی و عددی ارائه شده است. استفاده از مدل‌های تجربی در برخی موارد دارای خطاهای قابل توجهی می‌باشد و در مدل‌های عددی مثل مدل‌های نسل سوم، اطلاعات گسترده هواشناسی لازم می باشد. تهیه این اطلاعات و تحلیل‌های کامپیوتری در استفاده از این مدل‌ها مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی می‌باشد که در برخی از موارد، استفاده از این مدل‌ها غیر اقتصادی می‌باشد [۱]. یکی از روش های نوین شناسایی ارتباط بین متغیرهای ورودی و خروجی یک پدیده، استفاده از ابزار محاسبات نرم می‌باشد. روش‌های ابزار محاسبات نرم، ارتفاع و پریود موج شاخص را بر اساس پارامترهای متفاوتی مانند سرعت باد، جهت باد، طول موجگاه و مدت تداوم باد محاسبه می‌کنند. در این مقاله با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، پیش‌یابی ارتفاع موج شاخص، برای فواصل زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت آینده بررسی شده است و تاثیر پارامتر سرعت باد در افزایش دقت پیش یابی، مورد ارزیابی قرار گرفته است و سپس، نتایج آن با روش درخت‌های تصمیم رگرسیونی مقایسه شده است [۲] .

۲- شبکه های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی از نسل جدید تکنیک‌های داده‌کاوی بشمار می‌آیند که در دو دهه اخیر توسعه زیادی یافته‌اند. از این تکنیک‌ها هم می‌توان برای کشف و استخراج دانش از یک پایگاه داده‌ها و هم برای ایجاد مدل‌های پیش‌بینی استفاده نمود. شبکه‌های عصبی مصنوعی برمبنای یک واحد محاسباتی به نام پرسپترون ساخته می‌شود . در واقع شبکه عصبی از واحدهایی تشکیل شده است تا رفتارهای نرون‌های بیولوژیکی را مدل و تقلید کند. این واحدها ورودی‌ها را ترکیب می‌کنند تا یک خروجی حاصل شود که به این عمل ترکیب تابع فعالیت گفته می‌شود. فرایند استفاده از شبکه های عصبی به اینگونه است که ابتدا یک سری مثال های آموزشی به شبکه داده می شود. شبکه با استفاده از ورودی‌ها و خروجی‌های آموزشی، وزن‌ها را طوری تعیین می‌کند که خروجی شبکه به مقدار خروجی واقعی نزدیکتر باشد. شبکه تخمین می‌زند که تغییرات وزن یک ورودی، مقدار خطا را کاهش یا افزایش می‌دهد. سپس واحد وزن خود را طوری تغییر می‌دهد که خطا کم شود. این تغییرات وزن‌ها، برای هر یک از واحدها آنقدر ادامه می یابد تا وزن‌های بهینه برای مثال‌های آموزشی شبکه بدست آید. در یک شبکه پیش خور پس انتشار خطا بطور معکوس به شبکه تغذیه شده و وزن‌ها به‌گونه‌ایی اصلاح می‌شوندکه خطا حداقل شود. در این تحقیق از شبکه‌های عصبی سه لایه پیش خور پس انتشار و تابع انتقال سیگموئید استفاده شده است.

۳- درخت های تصمیم گیری

درخت تصمیم‌گیری یکی از ابزارهای قوی و متداول برای دسته‌بندی و پیش‌بینی می‌باشد. درخت تصمیم‌گیری برخلاف شبکه‌های عصبی به تولید قانون

[Downloaded from marine-eng.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1390.7.14.9.1]

می‌پردازد. یعنی درخت تصمیم‌گیری پیش‌بینی خود را در قالب یکسری قوانین توضیح می‌دهد در حالیکه در شبکه‌های عصبی تنها پیش‌بینی بیان می‌شود و چگونگی آن در خود شبکه پنهان باقی می‌ماند. در مورد خصوصیات درخت تصمیم‌گیری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- درخت تصمیم‌گیری هر داده را بصورتی در هر گروه تقسیم بندی می‌کند که هیچ داده‌ای حذف نمی‌شود (داده‌ها در گروه مادر با مجموع داده‌ها در شاخه‌های ایجاد شده برابر است).
- فهمیدن مدل ایجاد شده توسط درخت تصمیم‌گیری آسان می‌باشد. بعبارتی با اینکه ممکن است الگوریتم‌هایی که درخت را ایجاد می‌کنند چندان ساده نباشند ولی فهمیدن نتایج آن آسان می‌باشند.
- دسته‌بندی‌هایی که در درخت تصمیم‌گیری ایجاد می‌شوند از روی شباهت داده‌های ذخیره شده در پارامترهای پیش‌بینی کننده می‌باشد [۳] و [۴] .

۴- داده های مورد استفاده

۴-۱- خلیج فارس

خلیج فارس آبراهی است که در امتداد دریای عمان و در میان ایران و شبه جزیره عربستان قرار دارد. مساحت آن ۲۳۳۰۰۰ کیلومتر مربع است و پس از خلیج مکزیک و خلیج هودسن سومین خلیج بزرگ جهان بشمار می‌آید. منطقه عسلویه در شرق استان بوشهر در حاشیه خلیج فارس، در۳۰۰ کیلومتری شرق بندر بوشهر و۵۷۰ کیلومتری غرب بندر عباس واقع است و حدود ۱۰۰ کیلومتر با حوزه گاز پارس جنوبی که درمیان خلیج فارس واقع شده (دنباله حوزه گنبد شمالی قطر) فاصله دارد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های باد و موج در خلیج فارس، از ۲۴ آوریل سال ۲۰۰۷ تا ۲۵ آوریل سال۲۰۰۸ می‌باشد که در عرض جغرافیایی N ۲۷° ۳۰´۰۳۹˝ و طول جغرافیایی E˝۱۳´۳۳ °۵۲ جمع‌آوری شده است.

۴-۲- منطقه عسلویه

در این تحقیق، از اطلاعات موج نگاری ثبت شده در منطقه عسلویه استفاده شده است. دستگاه ثبت داده‌های موج بویه Wave scan buoy بوده که اطلاعات باد و امواج را در فواصل یک ساعته ثبت کرده است. عمق آب در محل قرار گیری بویه ۲ متر می‌باشد. سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح آب اندازه گیری شده است که با استفاده از فرمول(۱) به سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری (U_{10}) تبدیل شده است:

$$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{z}\right)^{1/7} \qquad (۱)$$

Z در رابطه (۱) ارتفاع محل اندازه گیری سرعت باد نسبت به سطح دریا برحسب متر است و u_z سرعت باد در ارتفاع z متری از سطح دریا بر حسب متر بر ثانیه می‌باشد.

۵- ساخت مدل شبکه های عصبی

۵-۱- بررسی تأثیر پارامتر سرعت باد در افزایش دقت پیش یابی ارتفاع موج

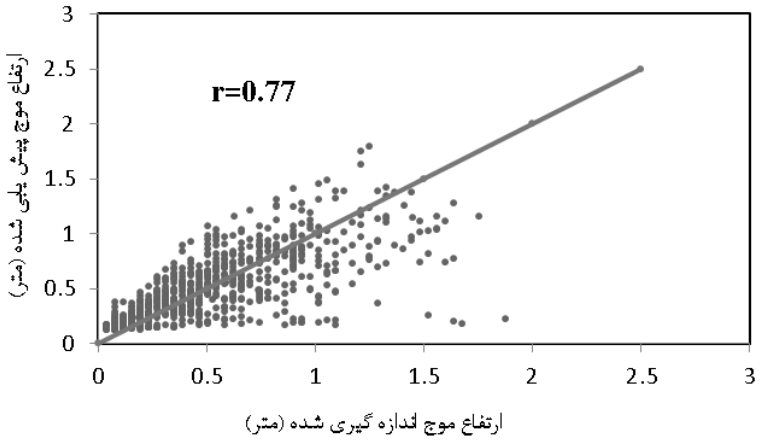
از آنجا که یک شبکه عصبی مصنوعی سه لایه، قادر به تقریب هر تابع غیر خطی ریاضی می‌باشد، لذا در این مقاله نیز از یک شبکه سه لایه پیش خور پس انتشار برای پیش یابی ارتفاع امواج استفاده شده است. استفاده از پارامترهای سرعت باد و جهت باد در لایه ورودی، می‌تواند در دقت پیش‌یابی ارتفاع موج تاثیرگذار باشد [۵]. در این کار ابتدا از ورودی‌های ارتفاع موج در زمان ثبت آن و ارتفاع موج در یک ساعت قبل ازآن استفاده شده و خروجی، ارتفاع موج در ساعات آینده پیش یابی شده است [۷] و[۸] . همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد افزودن سرعت باد در ورودی های شبکه عصبی می تواند در افزایش دقت پیش یابی ارتفاع موج تاثیر گذار باشد. در شکل ۱ مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش یابی شده ارتفاع موج در شبکه‌ای با دو ورودی و یک خروجی مشاهده می‌شود که ورودی‌های آن، ارتفاع موج در زمان ثبت آن و ارتفاع موج در یک ساعت قبل از آن می‌باشد و ارتفاع موج در ۶ ساعت آینده به عنوان خروجی بررسی شده است. در شکل ۲ مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده وپیش‌یابی شده ارتفاع موج در شبکه‌ای با سه ورودی مشاهده می‌شود که خروجی در این شبکه، ارتفاع موج

[Downloaded from marine-eng.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1390.7.14.9.1]

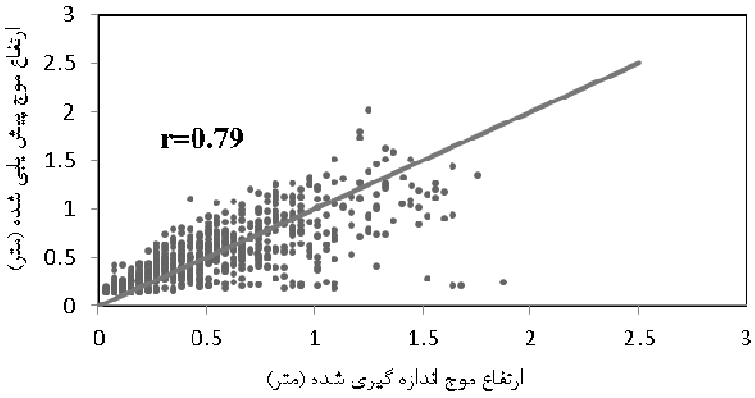
در ۶ ساعت آینده مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۲ تطابق بیشتری بین داده های بویه و داده های پیش یابی شده دیده می شود.

جدول ۱- مقایسه ضریب همبستگی در دو شبکه عصبی با ورودی‌های مختلف برای فواصل زمانی ۱،۳، ٦ ،۱۲و ۲٤ ساعت آینده

زمان / ورودی‌ها	ارتفاع موج در زمان ثبت آن و ارتفاع موج در یک ساعت قبل	ارتفاع موج در زمان ثبت آن و ارتفاع موج در یک ساعت قبل از آن و سرعت باد
T+۱(یک ساعت بعد)	۰/۹۷	۰/۹۷۲
T+۳(سه ساعت بعد)	۰/۹۰۱	۰/۹۰۴
T+۶(شش ساعت بعد)	۰/۷۷۹	۰/۷۹۵
T+۱۲(دوازده ساعت بعد)	۰/۶۱۹	۰/۶۳۸
T+۲۴(بیست و چهار ساعت بعد)	۰/۲۸۸	۰/۳۰۵



شکل ۱- مقایسه مقادیر اندازه گیری شده وپیش‌یابی شده ارتفاع موج با دو ورودی ارتفاع موج در زمان ثبت آن و ارتفاع موج در یک ساعت قبل از آن، برای ٦ ساعت آینده



شکل ۲- مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و پیش یابی شده ارتفاع موج با سه ورودی ارتفاع موج در زمان ثبت آن و ارتفاع موج در یک ساعت قبل از آن و سرعت باد، برای ۶ ساعت آینده.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1390.7.14.9.1]

۵-۲- توپولوژی شبکه عصبی

همانطور که گفته شد شبکه های عصبی از سه لایه ورودی، میانی و خروجی تشکیل شده اند. به طور کلی، یک شبکه عصبی می‌تواند دارای هر تعداد لایه پنهان باشد ولی معمولا یک لایه پنهان کافی است. هر چه تعداد لایه‌های پنهان بیشتر باشد شبکه بیشتر و بهتر می‌تواند الگوها را تشخیص دهد ولی با افزایش تعداد لایه‌های پنهان، شبکه الگوهایی که یک‌بار تکرار شده‌اند را نیز شناسایی می‌کند. برای جلوگیری از این کار، تعدادلایه‌های پنهان را نباید زیاد انتخاب کرد. پس از درنظرگرفتن تعداد لایه‌های مناسب برای شبکه، مرحله بعد تعیین تعداد نرون‌های موجود در هر لایه می‌باشد. تعداد نرون‌ها درلایه های اول و آخر یعنی درلایه‌های ورودی و خروجی به نوع مسئله بستگی دارد، اما تعداد نرون‌ها در لایه وسط را می‌توان اعداد مختلفی در نظر گرفت. پس از ساخت مدل شبکه عصبی، به منظور محاسبهٔ میزان خطا در پیش یابی ارتفاع موج از پارامتر انحراف، شاخص پراکندگی، ضریب همبستگی و جذر متوسط میانگین خطاها استفاده شده است.

درجدول ۲ مدل های شبکه عصبی دیده می شود که خروجی آن برای ۱، ۳، ۶، ۱۲و ۲۴ ساعت آینده بررسی شده است. دراین مدل ها، میزان خطاهای مختلف در پیش یابی ارتفاع موج محاسبه شده است. نتایج نشان می دهد که در روش شبکه های عصبی، پیش یابی ارتفاع موج در فواصل زمانی۱، ۳و ۶ ساعت آینده، تطابق بسیار خوبی با داده های بویه دارند. در حالی که در فواصل زمانی ۱۲ و ۲۴ ساعت آینده اختلاف ارتفاع موج محاسبه شده با مقادیر اندازه گیری شده بیشتراست. در رابطه (۲) شبکه ای در نظر گرفته شده است که خروجی آن H_{t+1} ارتفاع موج در یک ساعت آینده می باشد و ورودی های آن، ارتفاع موج در زمان ثبت آن H و ارتفاع موج در یک ساعت قبل از آن H_{t-1} ، سرعت باد در زمان ثبت ارتفاع موج و سرعت های هشت ساعت ماقبل آن می باشد. در روابط (۳) تا (۶) نیز شبکه هایی با ورودی های ذکر شده تشکیل شده است که خروجی های آن، پیش یابی ارتفاع موج به ترتیب برای ۳ ساعت، ۶ ساعت، ۱۲ ساعت و ۲۴ ساعت آینده، مورد بررسی قرارگرفته است.

$$H_{t+1} = f_1(U_t, U_{t-1}, U_{t-2}, U_{t-3}, U_{t-4}, U_{t-5}, U_{t-6}, U_{t-7}, H_t, H_{t-1}) \quad [۲]$$

$$H_{t+3} = f_2(U_t, U_{t-1}, U_{t-2}, U_{t-3}, U_{t-4}, U_{t-5}, U_{t-6}, U_{t-7}, H_t, H_{t-1}) \quad [۳]$$

$$H_{t+6} = f_3(U_t, U_{t-1}, U_{t-2}, U_{t-3}, U_{t-4}, U_{t-5}, U_{t-6}, U_{t-7}, H_t, H_{t-1}) \quad [۴]$$

$$H_{t+12} = f_4(U_t, U_{t-1}, U_{t-2}, U_{t-3}, U_{t-4}, U_{t-5}, U_{t-6}, U_{t-7}, H_t, H_{t-1}) \quad [۵]$$

$$H_{t+24} = f_5(U_t, U_{t-1}, U_{t-2}, U_{t-3}, U_{t-4}, U_{t-5}, U_{t-6}, U_{t-7}, H_t, H_{t-1}) \quad [۶]$$

جدول ۲- میزان خطاهای مختلف در پیش یابی ارتفاع موج (روش شبکه های عصبی – عسلویه)

مدل	ضریب همبستگی	جذر متوسط خطاها	شاخص پراکندگی	پارامتر انحراف
f_1	۰/۹۷	۰/۰۹	۰/۲	۰/۰۲
f_3	۰/۹	۰/۱۶	۰/۳۶	۰/۰۱
f_6	۰/۷۹	۰/۲۲	۰/۵۱	۰/۰۰۴
f_{12}	۰/۶۳	۰/۲۸	۰/۶۵	۰/۰۰۴
f_{24}	۰/۳	۰/۳۶	۰/۸۴	-۰/۰۰۸

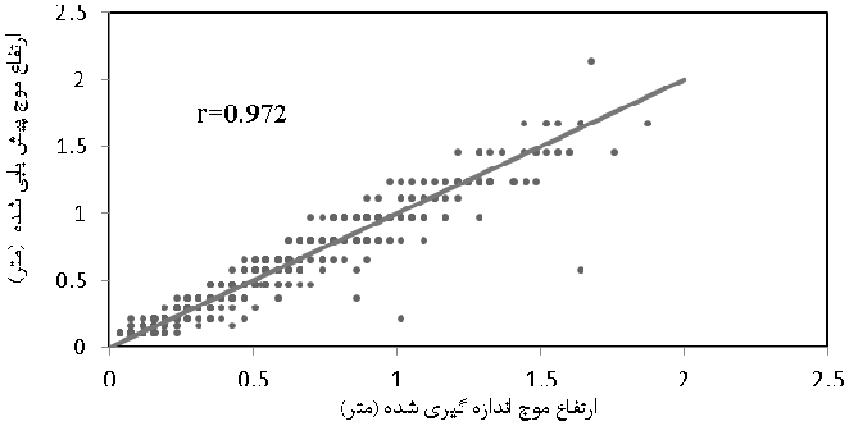
[Downloaded from marine-eng.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1390.7.14.9.1]

۶- درخت های تصمیم رگرسیونی

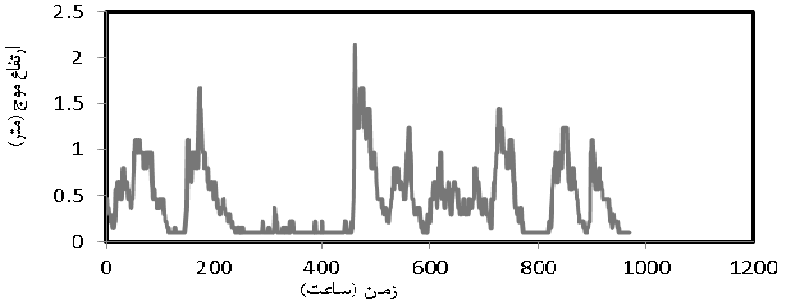
با بکارگیری الگوریتم CART درخت رگرسیونی ساخته شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است. از میان داده های موجود، دو قسمت برای ساخت مدل ها و یک قسمت برای ارزیابی آنها استفاده شده است. مقادیر ضریب همبستگی در پیش یابی ارتفاع موج ناشی از باد، به روش شبکه های عصبی مصنوعی و درخت های تصمیم رگرسیونی، در جدول ۳ آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود میزان دقت در پیش یابی ارتفاع موج در روش های فوق به هم نزدیک است، همچنین می توان نتیجه گرفت که در روش درخت های تصمیم گیری تطابق خوبی بین داده های ارتفاع موج پیش یابی شده و ارتفاع موج اندازه گیری شده توسط بویه، برای ۱و ۳ ساعت آینده وجود دارد. مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و پیش یابی شده ارتفاع موج، برای یک ساعت آینده به روش درخت‌های تصمیم در شکل ۳ مشاهده می شود. در شکل ۴ سری زمانی مقادیر پیش یابی شده ارتفاع موج، برای یک ساعت آینده به روش درخت‌های تصمیم گیری ترسیم شده است که ماکزیمم ارتفاع موج، ۲/۱۳ متر و ماکزیمم ارتفاع موج پیش یابی شده به روش شبکه های عصبی ۲/۰۵ متر می باشد.

جدول ۳- مقایسه ضریب همبستگی پیش یابی ارتفاع موج برای فواصل زمانی۱، ۳، ٦، ۱۲و۲٤ ساعت آینده

زمان	شبکه عصبی	درخت‌های تصمیم گیری
T+۱ (یک ساعت بعد)	۰/۹۷۲	۰/۹۷۲
T+۳(سه ساعت بعد)	۰/۹۰۴	۰/۸۹۱
T+۶(شش ساعت بعد)	۰/۷۹۷	۰/۷۸۲
T+۱۲(دوازده ساعت بعد)	۰/۶۳۸	۰/۶۳۴
T+۲۴(بیست وچهار ساعت بعد)	۰/۳	۰/۲۸۵



شکل ۳- مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و پیش‌یابی شده ارتفاع موج، برای یک ساعت آینده به روش درخت‌های تصمیم گیری



شکل ٤- سری زمانی مقادیر پیش یابی شده ارتفاع موج، برای یک ساعت آینده به روش درخت‌های تصمیم گیری

[Downloaded from marine-eng.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1390.7.14.9.1]

۷- خلاصه و نتیجه گیری

در این تحقیق قابلیت شبکه های عصبی در مقایسه با روش درخت های تصمیم رگرسیونی برای پیش یابی ارتفاع موج، مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور از اطلاعات ساعتی باد و موج بویه به مدت یک سال استفاده شده است. با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان گفت که شبکه عصبی مصنوعی، در پیش یابی ارتفاع موج، برای فواصل زمانی نزدیک، (یک، سه و شش ساعت آینده) دقت بالایی دارد.

همچنین افزودن پارامتر سرعت باد در ورودی شبکه، در دقت پیش یابی ارتفاع موج برای فواصل زمانی ۶ ، ۱۲ و ۲۴ ساعت آینده موثر می باشد و برای فواصل زمانی ۱و ۳ ساعت آینده تاثیر چندانی نداشته است. از مقایسه روش شبکه عصبی و درخت تصمیم گیری، در پیش یابی ارتفاع موج، در می یابیم که دقت پیش یابی ارتفاع موج، در دو روش به یکدیگر نزدیک بوده و نتایج مشابهی می دهد.

۸- مراجع

1-Mahjoobi, J., Ardalan Somghi, H., (2009), Prediction of parameters of wind-induced waves in the Caspian Sea using regression trees and artificial neural networks, Journal of Marine Engineering, vol.9, p. 65-71.(In persion).

2-Mahjoobi, J., Etemad-Shahidi, A., (2009), Comparison between M5 model tree and neural networks for prediction of significant wave height in Lake Superior, Journal of Ocean Engineering, vol.36, p.1175-1181.

3-Mahjoobi, J., Adeli Mosabbeb, E., (2009), prediction of significant wave height using regressive support vector machines, Journal of Ocean Engineerring, vol.36, p.339-347.

4-Mahjoobi, J., Etemad-Shahidi, A.(2008), An alternative approach for prediction of significant wave height based classification and regression trees, Journal of Applied Ocean Research, vol.30, p.172-177.

5-Kazeminezhad, M.H., Etemad-Shahidi, A., Mousavi, S.J., (2005), Application of fuzzy inference system in the prediction wave parameters, Journal of Ocean Engineering, vol.32, p.1709-1725.

6-Mahjoobi, J., Etemad-Shahidi, A., Kazeminezhad, M.H., (2008), Hindcasting of wave parameters using different soft computing methods, Journal of Applied Ocean Reseaarch, vol.30, p.28-36.

7-Agrawal, J.D., Deo. M.C., (2002), On-line wave prediction, Journal of Marine Structures, vol.15, p.57-74.

8-Deo, M.C., Jha, A., Chaphekar, A.S., Ravicant, K., (2001), Neural networks for wave forecasting, Journal of Ocean Engineering, vol.28, p.339-3.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1390.7.14.9.1]