

## پیش‌یابی ارتفاع موج شاخص در خلیج فارس با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مقایسه آن با درخت‌های تصمیم رگرسیونی

مریم نعمتی<sup>۱\*</sup>، علی کرمی خانیکی<sup>۲</sup>

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 زمانی ۱، 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 به عنوان 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 می‌باشد.

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<sup>1</sup>, A. Karami Khaniki<sup>2</sup>

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

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 بهره‌گیری از روش‌های پیش‌بینی امواج و آمار ثبت شده باد، آمار دراز مدت امواج را تولید نمود. از کاربرد 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. در طول دهه‌های اخیر، برای پیش‌بینی 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 می‌باشد. 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 روش‌های نوین شناسایی ارتباط بین متغیرهای ورودی و خروجی یک پدیده، استفاده از ابزار محاسبات نرم می‌باشد. روش‌های ابزار محاسبات نرم، ارتفاع و پرپود 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، پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص، برای فواصل زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت آینده بررسی شده است و تأثیر پارامتر سرعت باد در افزایش دقت پیش‌بینی، مورد ارزیابی قرار گرفته است و

سپس، نتایج آن با روش درخت‌های تصمیم رگرسیونی مقایسه شده است [۲].

## ۲- شبکه‌های 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 بر مبنای 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 شبکه‌های عصبی به اینگونه است که ابتدا یک سری مثال‌های آموزشی به شبکه داده می‌شود. 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 می‌یابد تا وزن‌های بهینه برای مثال‌های آموزشی شبکه بدست آید. در یک شبکه پیش‌خور پس انتشار خطا بطور معکوس به شبکه تغذیه شده و وزن‌ها به‌گونه‌ای اصلاح می‌شوند که خطا حداقل شود. در این تحقیق از شبکه‌های عصبی سه لایه پیش‌خور پس انتشار و تابع انتقال سیگموئید استفاده شده است.

## ۳- درخت‌های تصمیم‌گیری

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

داده های 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 می باشد. 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:

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

Z در رابطه (۱) ارتفاع محل اندازه گیری سرعت باد نسبت به سطح دریا بر حسب متر است و  $U_z$  سرعت باد در ارتفاع Z متری از سطح دریا بر حسب متر بر ثانیه می باشد.

#### 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 می باشد، 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، می تواند در دقت پیش یابی ارتفاع موج تاثیرگذار باشد [۵]. در این کار ابتدا از ورودی های ارتفاع موج در زمان ثبت آن و ارتفاع موج در یک ساعت قبل از آن استفاده شده و خروجی، ارتفاع موج در ساعات آینده پیش یابی شده است [۷] و [۸]. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می گردد افزودن سرعت باد در ورودی های شبکه عصبی می تواند در افزایش دقت پیش یابی ارتفاع موج تاثیرگذار باشد. در شکل ۱ مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و پیش یابی شده ارتفاع موج در شبکه ای با دو ورودی و یک خروجی مشاهده می شود که ورودی های آن، ارتفاع موج در زمان ثبت آن و ارتفاع موج در یک ساعت قبل از آن می باشد و ارتفاع موج در ۶ ساعت آینده به عنوان خروجی بررسی شده است. در شکل ۲ مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و پیش یابی شده ارتفاع موج در شبکه ای با سه ورودی مشاهده می شود که خروجی در این شبکه، ارتفاع موج

می پردازد. یعنی درخت تصمیم گیری پیش بینی خود را در قالب یک سری قوانین توضیح می دهد در حالیکه در شبکه های عصبی تنها پیش بینی بیان می شود و چگونگی آن در خود شبکه پنهان باقی می ماند. در مورد خصوصیات درخت تصمیم گیری می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- درخت تصمیم گیری هر داده را بصورتی در هر گروه تقسیم بندی می کند که هیچ داده ای حذف نمی شود (داده ها در گروه مادر با مجموع داده ها در شاخه های ایجاد شده برابر است).

- فهمیدن مدل ایجاد شده توسط درخت تصمیم گیری آسان می باشد. عبارتی با اینکه ممکن است الگوریتم هایی که درخت را ایجاد می کنند چندان ساده نباشند ولی فهمیدن نتایج آن آسان می باشند.

- دسته بندی هایی که در درخت تصمیم گیری ایجاد می شوند از روی شباهت داده های ذخیره شده در پارامترهای پیش بینی کننده می باشد [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 می آید. منطقه عسلویه در شرق استان بوشهر در حاشیه خلیج فارس، در ۳۰۰ کیلومتری شرق بندر بوشهر و ۵۷۰ کیلومتری غرب بندر عباس واقع است و حدود ۱۰۰ کیلومتر با حوزه گاز پارس جنوبی که در میان خلیج فارس واقع شده (دنباله حوزه گنبد شمالی قطر) فاصله دارد. داده های مورد استفاده در این تحقیق شامل داده های باد و موج در خلیج فارس، از ۲۴ آوریل سال ۲۰۰۷ تا ۲۵ آوریل سال ۲۰۰۸ می باشد که در عرض جغرافیایی  $27^{\circ} 30' 39'' N$  و طول جغرافیایی  $52^{\circ} 33' 13'' E$  جمع آوری شده است.

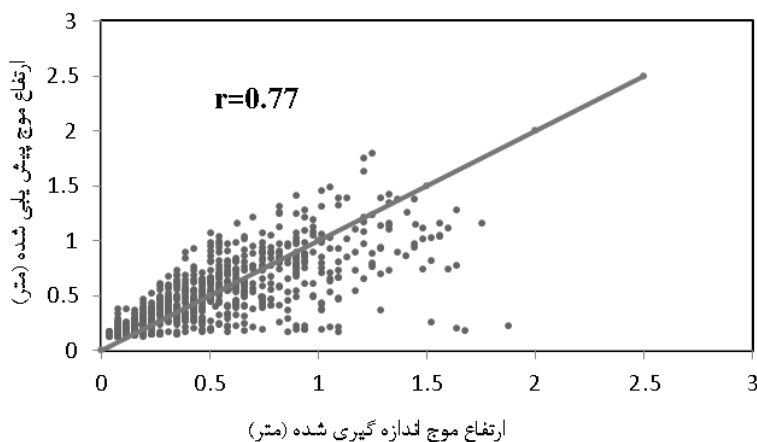
##### ۴-۲- منطقه عسلویه

در این تحقیق، از اطلاعات موج نگاری ثبت شده در منطقه عسلویه استفاده شده است. دستگاه ثبت

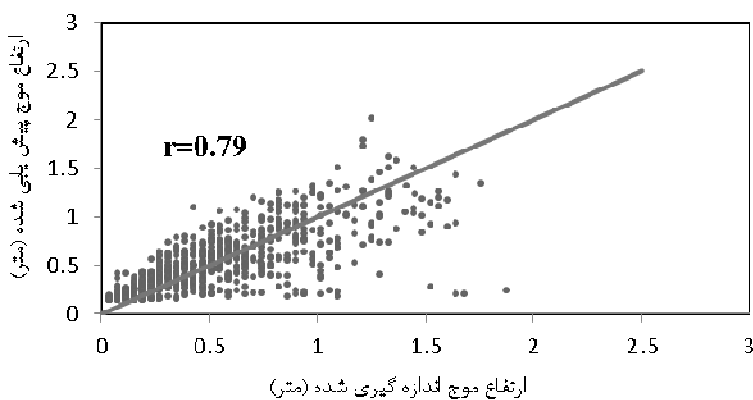
در ۶ ساعت آینده مورد بررسی قرار گرفته است. در پیش یابی شده دیده می شود. شکل ۲ تطابق بیشتری بین داده های بویه و داده های

جدول ۱- مقایسه ضریب همبستگی در دو شبکه عصبی با ورودی های مختلف برای فواصل زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت آینده

ورودی ها زمان	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 و پیش یابی شده ارتفاع موج با دو ورودی ارتفاع موج در زمان ثبت آن و ارتفاع موج در یک ساعت قبل از آن، برای ۶ 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.

### 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 می تواند دارای هر تعداد لایه پنهان باشد ولی معمولا یک لایه پنهان کافی است. هر چه تعداد لایه های پنهان بیشتر باشد شبکه بیشتر و بهتر می تواند الگوها را تشخیص دهد ولی با افزایش تعداد لایه های پنهان، شبکه الگوهایی که یکبار تکرار شده اند را نیز شناسایی می کند. برای جلوگیری از این کار، تعداد لایه های پنهان را نباید زیاد انتخاب کرد. پس از در نظر گرفتن تعداد لایه های مناسب برای شبکه، مرحله بعد تعیین تعداد نرون های موجود در هر لایه می باشد. تعداد نرون ها در لایه های اول و آخر یعنی در لایه های ورودی و خروجی به نوع مسئله بستگی دارد، اما تعداد نرون ها در لایه وسط را می توان اعداد مختلفی در نظر گرفت. پس از ساخت مدل شبکه عصبی، به منظور محاسبه میزان خطا در پیش یابی ارتفاع موج از پارامتر انحراف، شاخص پراکندگی، ضریب همبستگی و جذر متوسط میانگین خطاها استفاده شده است.

در جدول ۲ مدل های شبکه عصبی دیده می شود که

خروجی آن برای ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت آینده بررسی شده است. در این 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 زمانی ۱، ۳ و 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 بیشتر است. 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  $H_{t-1}$  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 قرار گرفته است.

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

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

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

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

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

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

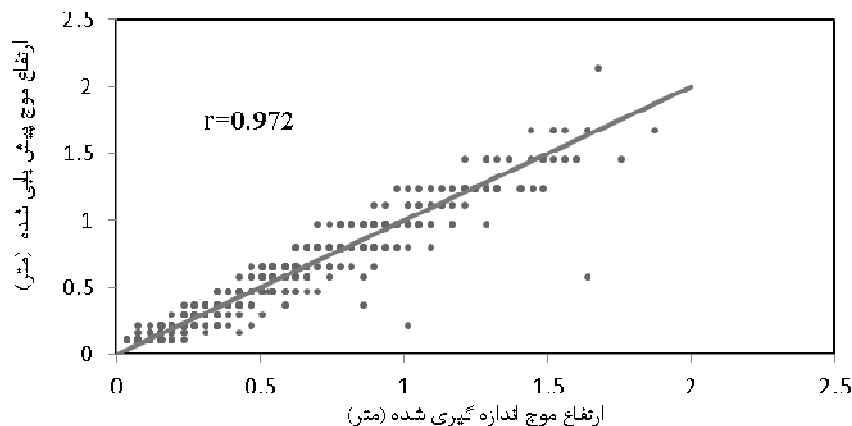
## ۶- درخت های تصمیم رگرسیونی

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

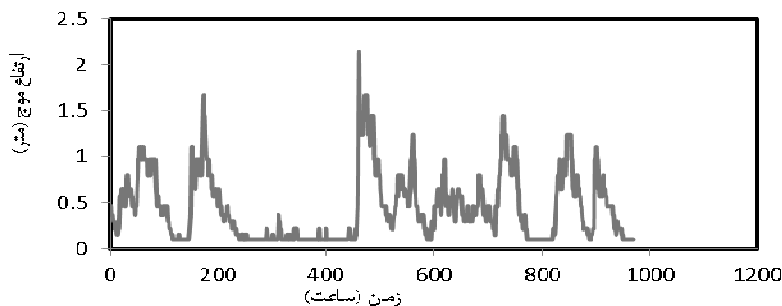
درخت های تصمیم گیری تطابق خوبی بین داده های ارتفاع موج پیش یابی شده و ارتفاع موج اندازه گیری شده توسط بویه، برای ۱ و ۳ ساعت آینده وجود دارد. مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و پیش یابی شده ارتفاع موج، برای یک ساعت آینده به روش درخت های تصمیم در شکل ۳ مشاهده می شود. در شکل ۴ سری زمانی مقادیر پیش یابی شده ارتفاع موج، برای یک ساعت آینده به روش درخت های 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 زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت آینده

زمان	شبکه عصبی	درخت های تصمیم گیری
T+1 (یک ساعت بعد)	۰/۹۷۲	۰/۹۷۲
T+3 (سه ساعت بعد)	۰/۹۰۴	۰/۸۹۱
T+6 (شش ساعت بعد)	۰/۷۹۷	۰/۷۸۲
T+12 (دوازده ساعت بعد)	۰/۶۳۸	۰/۶۳۴
T+24 (بیست و چهار ساعت بعد)	۰/۳	۰/۲۸۵



شکل ۳- مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و پیش یابی شده ارتفاع موج، برای یک ساعت آینده به روش درخت های تصمیم گیری



شکل ۴- سری زمانی مقادیر پیش یابی شده ارتفاع موج، برای یک ساعت آینده به روش درخت های تصمیم گیری

- 6-Mahjoobi, J., Etemad-Shahidi, A., Kazeminezhad, M.H., (2008), Hindcasting of wave parameters using different soft computing methods, *Journal of Applied Ocean Research*, 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.

#### ۷- خلاصه و نتیجه‌گیری

در این تحقیق قابلیت شبکه‌های عصبی در مقایسه با روش درخت‌های تصمیم‌گیری برای پیش‌یابی 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 پیش‌یابی 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 پیش‌یابی ارتفاع موج برای فواصل زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت آینده موثر می‌باشد و برای فواصل زمانی ۱ و ۳ ساعت آینده تاثیر چندانی نداشته است. از مقایسه روش شبکه عصبی و درخت تصمیم‌گیری، در پیش‌یابی ارتفاع موج، در می‌یابیم که دقت پیش‌یابی ارتفاع موج، در دو روش به یکدیگر نزدیک بوده و نتایج مشابهی می‌دهد.

#### 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 persian).
- 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 Mosabbebe, 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.