

پیش بینی ارتفاع امواج دریای خزر با استفاده از شبکه مصنوعی عصبی

محمد طالقانی، علیرضا امیر تیموری^۱
گروه مدیریت صنعتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت
گروه ریاضیات کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت^۱

چکیده

پیش بینی داده‌های آماری امواج دریا نظیر ارتفاع و دوره تناوب آن‌ها از ضروری‌ترین نیازهای اطلاعاتی مرتبط با محیط دریا است. برای پیش‌بینی وضعیت امواج دریا روش‌های گوناگونی وجود دارد. استفاده از مدل‌های عددی پیچیده‌ای نظیر مدل WAM از جمله‌ی این روش‌ها است. وجود عبارت‌های غیرخطی در معادلات حاکم، مدل‌سازی امواج را امری مشکل‌نموده است. از طرف دیگر توانمندی روش شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل‌سازی مسایل غیرخطی باعث شده است که به موازات کاربرد مدل‌های عددی، از روش شبکه‌های عصبی نیز در پیش‌بینی امواج استفاده شود. در مقاله حاضر از داده‌های واقعی امواج دریای خزر که توسط بویه موج‌نگار و سیستم ADCP اندازه‌گیری شده‌اند، در یک شبکه مصنوعی عصبی استفاده می‌شود. این داده‌ها به دو مکان مختلف و دو فاصله زمانی گوناگون مربوط می‌شوند. شبکه مورد استفاده یک شبکه سه لایه پیشرو بوده که در مرحله آموزش آن، الگوریتم‌های متفاوت آموزش شبکه بکار رفته و از نتایج حاصل برای پیش‌بینی ارتفاع امواج استفاده شده است. برای پیش‌بینی ارتفاع امواج سعی شده تا این کار در دوره‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته صورت پذیرد. به عنوان معیاری از درستی روش، منحنی‌های پراکنندگی امواج و مقادیر ضرایب همبستگی داده‌ها در دو نقطه اندازه‌گیری ارائه شده‌اند. مقایسه داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده توسط سیستم‌های اندازه‌گیری با نتایج حاصل از پیش‌بینی شبکه عصبی، تطابق خوبی را نشان می‌دهد که نشانگر دقت و سرعت خوب روش به کار رفته در دوره‌های زمانی کوتاه مدت می‌باشد.

کلمات کلیدی: پیش‌بینی امواج دریا، شبکه عصبی، ارتفاع و دوره تناوب امواج دریا، مدل موج دریا.

۱ مقدمه

پیش‌بینی ارتفاع و دوره تناوب امواج دریا، بخش مهمی از فعالیت‌های دریائی را همواره به خود اختصاص می‌دهد. یکی از راه‌های دسترسی به این پیش‌بینی آگاهی از میدان باد و حل معادله انتقال انرژی امواج در محدوده مورد نظر بر اساس میدان باد ورودی است. در حال حاضر مدل‌های عددی متفاوتی در نقاط مختلف

^۱عهده دار مکاتبات

جهان در حال استفاده هستند که یکی از مشهورترین آن ها مدل WAM [1] می باشد. برای آگاهی درخصوص انواع مدل ها پیش بینی مرجع [۲] را ببینید. با اینکه این مدل ها به عنوان یک ابزار کارآمد مطرح می باشند، با این حال دقت آن ها به نحو قابل ملاحظه ای به دقت میدان باد ورودی بستگی دارد. همچنین کالیبره کردن نتایج حاصل از مدل و داده های اندازه گیری شده نیز ضروری است.

به موازات استفاده از روش های عددی، روش های آماری متکی بر پیش بینی سری های زمانی و همچنین بهره گیری از روش شبکه های عصبی نیز در امر پیش بینی امواج مورد استفاده قرار گرفته اند. در روش های عددی متکی بر حل معادلات حاکم بر انتشار و زوال امواج، حل معادلات حاکم و مدل سازی تمامی پدیده هایی که بصورت تصادفی رخ می دهند، کاری دشوار بوده و در مقابل به دلیل وجود رفتار تصادفی در مورد امواج دریا، کاربرد روش های آماری و شبکه های عصبی و استخراج خروجی های تصادفی به ازای ورودی های تصادفی از مزیت های روش یاد شده است و اما در مقایسه روش های آماری با روش های استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی ملاحظه می شود که روش شبکه های عصبی مصنوعی بر روش های آماری دیگر برتری دارند. این مزیت از آنجا ناشی می شود که در روش شبکه های عصبی برای تخمین سری های زمانی هیچ پیش فرض خاصی در روند پیش بینی انجام نمی گیرد. به عنوان نمونه در روش آماری موسوم به ARMA که به پیش بینی رفتار تصادفی یک سری زمانی در زمان t از روی p عدد داده های زمان های ماقبل آن نظیر $t-1, t-2, \dots, t-p$ می پردازد از فرض ساکن بودن فرآیند استفاده می شود [3] در حالی که با استفاده از یک روش مبتنی بر کاربرد شبکه های عصبی مصنوعی چنین پیش فرض هایی مورد نیاز نیست.

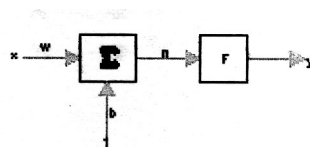
در این مقاله از بین روش های یاد شده، از روش شبکه های عصبی برای مقاصد پیش بینی امواج دریای خزر استفاده می شود. زمینه های تئوری شبکه های عصبی را می توان در مراجع مفیدی نظیر مراجع [4] و [5] دنبال کرد. علاوه بر این زمینه های متفاوت دیگری در مهندسی دریا و رودخانه وجود دارند که در آن ها از شبکه های عصبی برای پیش بینی ارتفاع امواج استفاده شده است [6] و [7].

سازماندهی بخش های بعدی مقاله به صورت زیر است:

یک مقدمه از روش شبکه های عصبی در بخش بعدی آمده است. شیوه تحلیل داده ها در محل اندازه گیری در بخش چهارم گنجانده شده است. نتیجه گیری در بخش پنجم آمده است.

۲ روش شبکه های عصبی

روش شبکه های عصبی بر مفهوم نرون استوار است. شکل شماره (۱) یک نرون ساده را نشان می دهد.

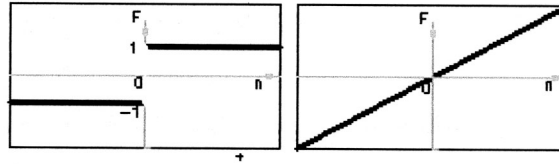


شکل ۱: یک نرون ساده

ارتباط بین ورودی نرون (x) و خروجی آن (y) به کمک مقادیر پارامترهای وزن (w) و بایاس (b) و تابع فعال کننده (F) و بر اساس رابطه (۱) مشخص می گردد:

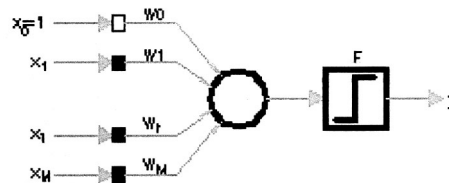
$$y = F(wx + b) \quad (1)$$

تابع F می‌تواند دارای شکل‌های گوناگونی باشد. به عنوان نمونه در شکل شماره (۲) دو نمونه از تابع F آمده است. تابع سمت چپ تابع پله‌ای و تابع سمت راست تابع خطی است.



شکل ۲: دو نمونه از توابع F ، شکل سمت چپ تابع پله‌ای و شکل سمت راست تابع خطی

یک نرون می‌تواند از تعداد ورودی‌های زیادتری برخوردار باشد. به عنوان نمونه شکل شماره (۳) یک شبکه با M ورودی x_1, \dots, x_M را نشان می‌دهد. در این حالت هر یک از ورودی‌ها به ترتیب در وزن‌های w_1, \dots, w_M ضرب می‌شوند. علاوه بر ورودی‌های معمول، مقدار ورودی بایاس یک انتخاب شده $(x_0 = 1)$ و با وزن w_0 (یا b) به مجموع توزین شده ورودی‌ها اضافه می‌شود. پس از آن مجموع سیگنال ورودی وزن دار شده در اختیار تابع F قرار می‌گیرد تا خروجی y به دست آید.



شکل ۳: نرون با چند ورودی

بدین ترتیب خروجی برابر است با:

$$y = F\left(\sum_{i=1}^M w_i x_i + b\right) = F\left(\sum_{i=1}^M w_i x_i\right) \quad (2)$$

افزایش تعداد لایه‌ها بین ورودی و خروجی به همراه اضافه کردن تعداد نرون‌ها در هر لایه منجر به پیدایش شبکه‌های پیچیده‌تری می‌شود.

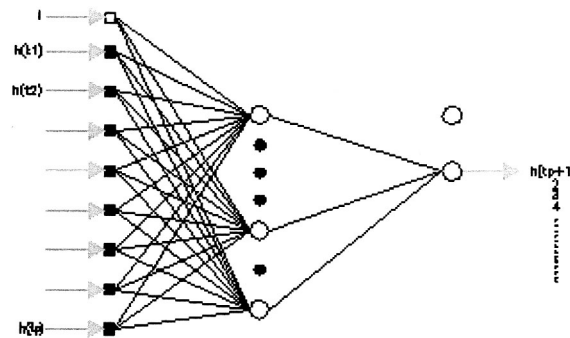
در این حالت مجموعه ورودی‌ها و خروجی‌ها توسط المان‌های بردارهای X و Y قابل بیان بوده و بطور نمونه برای یک شبکه سه لایه با M ورودی، H نرون در لایه پنهان و N نرون در لایه خروجی، رابطه زیر برقرار است:

$$y_k = F_k \left[\sum_{j=1}^H w_{kj} F_h \left(\sum_{i=1}^M w_{ji} x_i \right) \right] \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

در رابطه (۳)، F_0 و F_h توابع فعال‌کننده در لایه‌های پنهان و لایه خروجی هستند.

۳ شبکه عصبی مورد استفاده در کار حاضر

بر اساس تجارب حاصل از کارهای قبلی در زمینه پیش بینی امواج [8] در کار حاضر از یک شبکه سه لایه مطابق با آنچه در شکل شماره (۴) نشان داده شده، استفاده گردیده است. لایه ورودی مربوط به ارتفاع امواج در زمان های گذشته است. لایه خروجی نیز ارتفاع موج در زمان آینده را پیش بینی می کند. تعداد نرون های لایه میانی نیز به گونه ای انتخاب می شوند که بهترین تقریب را از شبکه بتوان به دست آورد. پارامترهای ورودی به شبکه، داده های واقعی اندازه گیری شده در محیط دریا هستند. این داده ها به کمک وسایل اندازه گیری نظیر بویه های موج نگار، جریان سنج های اکوستیکی، ... اندازه گیری می شوند. معمولاً اندازه گیری در این تجهیزات به صورت هر سه ساعت یکبار صورت می گیرد و به همین دلیل فاصله زمانی داده ها سه ساعته است. بدین ترتیب در یک روز هشت رکورد موج می تواند وجود داشته باشد. بدیهی است که در شکل شماره (۴) P را می توان مساوی هشت انتخاب کرد.



شکل ۴: شبکه سه لایه مورد استفاده در مقاله حاضر

در لایه خروجی زمان پیش بینی می تواند به صورت مقادیر ۱+، ۲+، ۳+ و ... واحد زمانی بعد از زمان حال انتخاب شود. بنابر این قرارداد، زمان $t+1$ ، پیش بینی سه ساعته، زمان $t+2$ ، پیش بینی ۶ ساعته و ... را نشان می دهند. برای آموزش و ارزیابی شبکه از داده های ثبت شده بوسیله بویه موج نگار و یا سیستم اکوستیکی استفاده می شود. همچنین روش های آموزش مختلفی نظیر روش بیشترین شیب، روش گرادیان مزدوج، و روش PLA مورد استفاده قرار گرفت [5].

روش های فوق بر این مبنا استوار هستند که حاصل مجموع مربعات خطای کمی شبکه که توسط رابطه (۴) محاسبه می شود به کمترین مقدار خود برسد.

$$E = \sum_i (a_i - t_i)^2 \quad (4)$$

در رابطه (۴)، E خطای کل، a_i خروجی شبیه سازی شده توسط شبکه و t_i خروجی واقعی مورد نظر است. برای آموزش و ارزیابی شبکه از داده های اندازه گیری شده در دو فاصله زمانی و در دو مکان مختلف استفاده گردید. این مکان ها ایستگاه های اندازه گیری در دریای خزر هستند. اندازه گیری در ایستگاه A (بندر انزلی) شامل ۱۸۹ برداشت سه ساعته و اندازه گیری در ایستگاه B (بندر نوشهر) شامل ۱۵۰۰ برداشت می باشد. اندازه-

گیری ها در ایستگاه A با استفاده از سیستم آکوستیکی صورت می گیرد و در ایستگاه B اندازه گیری ها با به کارگیری سیستم بویه حاصل می شود.

۴ تحلیل داده ها در محل اندازه گیری

برای هر کدام از موقعیت های برداشت اطلاعات A و B، حدود هفتاد درصد از داده ها برای آموزش شبکه و سی درصد از آن ها برای ارزیابی صحت نتایج پیش بینی مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا به بررسی اطلاعات موجود در هر کدام از ایستگاه های اندازه گیری پرداخته و شبکه را برای آن ها آموزش داده و سپس به ارزیابی آن ها می پردازیم.

۴-۱ ایستگاه A

برای موقعیت A از ۱۸۹ اطلاعات برداشت شده، حدود ۱۵۰ برداشت اولیه آن برای آموزش شبکه استفاده شد که نتایج آن در شکل شماره (۵) نمایش داده شده است. همان گونه که در این شکل دیده میشود در محدوده این اطلاعات موج بلندی با ارتفاع حدود ۴ متر رخ داده که گویای وقوع یک طوفان در فاصله اندازه گیری شده است.

شکل شماره (۶) نتایج پیش بینی در موقعیت A را برای چهار حالت مختلف به همراه داده های واقعی نشان می دهد. حالت a به یک دوره زمانی پیش بینی ۳ ساعته مربوط بوده و حالت های b، c و d به ترتیب به دوره های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته مربوط می شوند. بررسی دقیق این شکل نشان می دهد که آموزش ۳ ساعته دارای نتایج بسیار مطلوبی است. پیش بینی ارتفاع امواج با چنین شبکه آموزش دیده ای در شکل شماره ۶ (حالت a) نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می شود پیش بینی ها خوب هستند. با افزایش زمان پیش بینی به دوره های ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته وضعیت پیش بینی ها دچار خطای بیشتری می شود. این نتایج به ترتیب در حالت های b، c و d از شکل شماره (۶) نشان داده شده اند. در حالت b در نواحی آرام دریا پیش بینی ها بسیار خوب هستند ولی با نزدیک شدن به نواحی متلاطم و افزایش ارتفاع موج، میزان خطای پیش بینی افزایش یافته است. این روند در حالت c نیز مشاهده می شود. در حالت d میزان انحراف از نتایج واقعی زیاد بوده و بنابراین خطای استفاده از پیش بینی غیرقابل قبول است. به عبارتی امکان انجام پیش بینی ۲۴ ساعته کاری مشکل است. بدین معنی که با استفاده از اطلاعات مربوط به ۸ گام زمانی یعنی ۲۴ ساعت قبل امکان پیش بینی ۳ ساعت بعد میسر بوده، در حالی که اگر از همین اطلاعات بخواهیم برای پیش بینی ۲۴ ساعت بعد استفاده کنیم، نتیجه دقیقی حاصل نخواهد شد. به عبارت دیگر انجام پیش بینی ۲۴ ساعته میسر نیست.

به عنوان یک معیار کمی برای سنجش کارایی شبکه، عدد همبستگی که با رابطه (۵) تعریف می شود را می توان محاسبه نمود:

$$R = \frac{\sum_i (t_i - \bar{t})(a_i - \bar{a})}{\sqrt{\sum_i (t_i - \bar{t})^2 \sum_i (a_i - \bar{a})^2}} \quad (5)$$

در رابطه (5) ضریب همبستگی، مقادیر \bar{a} و \bar{t} به ترتیب متوسط مقادیر خروجی شبکه و مقادیر اندازه-گیری شده‌اند. نتایج مربوط به این محاسبات در جدول شماره ۱ (۱) نشان داده شده‌است. نتایج به دست آمده در این جدول نشان می‌دهند که برای زمان‌های کوتاه پیش‌بینی، ضریب همبستگی داده‌ها به عدد یک نزدیک‌تر بوده و پیش‌بینی موج به مقدار واقعی آن نزدیکتر است. در این جدول علاوه بر ضریب همبستگی، مجدداً متوسط مربع خطا نیز داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود با زیاد شدن فاصله زمان پیش‌بینی با زمان حال، ضریب همبستگی داده‌ها از عدد یک دور شده و خطای میانگین نیز افزایش می‌یابد. در هر حال روند تغییر داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های شبیه‌سازی شده توسط شبکه عصبی رفتار مناسبی را از خود نمایش می‌دهد. برای کسب آگاهی بهتر از نتایج پیش‌بینی شده منحنی توزیع پراکندگی^۲ برای حالت‌های (a) و (d) در شکل شماره (۷) نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که می‌دانیم در یک منحنی پراکندگی اگر نتایج پیش‌بینی و مقادیر واقعی به هم نزدیک باشند نتایج باید حول یک خط راست با زاویه ۴۵ درجه متمرکز شود. بررسی شکل شماره (۷) نمایانگر این حقیقت است که در حالت پیش‌بینی ۳ ساعته پراکندگی از وضعیت نسبی خوبی برخوردار است در حالی که در حالت بعدی که به پیش‌بینی ۲۴ ساعته بر می‌گردد پراکندگی ناپجا است.

۴-۲ ایستگاه B

برای موقعیت B حدود ۱۲۵۰ برداشت اولیه آن برای آموزش شبکه به کار رفت و از ۲۵۰ داده باقیمانده برای ارزیابی آن استفاده شد. خلاصه نتایج برای دوره‌های زمانی پیش‌بینی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته در جدول شماره (۱) ذکر شده است. روند تغییرات در ایستگاه B نیز مشابه با ایستگاه A بوده و کماکان با فاصله گرفتن از زمان حال از دقت پیش‌بینی‌ها کاسته می‌شود.

۵ نتیجه‌گیری

کاربرد روش شبکه‌های عصبی به همراه داده‌های اندازه‌گیری شده ابزار کارآمدی را جهت مقاصد پیش‌بینی امواج ارایه می‌دهد. برای زمان‌های کوتاه پیش‌بینی، ضریب همبستگی داده‌ها به عدد یک نزدیک‌تر بوده و پیش‌بینی موج به مقدار واقعی آن نزدیکتر است. با زیاد شدن فاصله زمان پیش‌بینی با زمان حال، ضریب همبستگی داده‌ها از عدد یک دور شده و خطای میانگین نیز افزایش می‌یابد. در هر حال روند تغییرات داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های شبیه‌سازی شده توسط شبکه عصبی، رفتار مناسبی را از خود نمایش می‌دهد.

زمان پیش‌بینی	موقعیت A		موقعیت B	
	R	RMSE(m)	R	RMSE(m)
+۱	۰/۹۱۱	۰/۱۶۰	۰/۸۰۶	۰/۲۱۱
+۲	۰/۸۸۹	۰/۱۸۷	۰/۷۱۵	۰/۲۴۷
+۴	۰/۵۸۵	۰/۳۱۱	۰/۶۰۳	۰/۲۸۴
+۸	۰/۳۵۶	۰/۳۵۲	۰/۱۶۶	۰/۳۷۰

جدول ۱: خلاصه نتایج به دست آمده از پیش‌بینی امواج در موقعیت‌های A و B

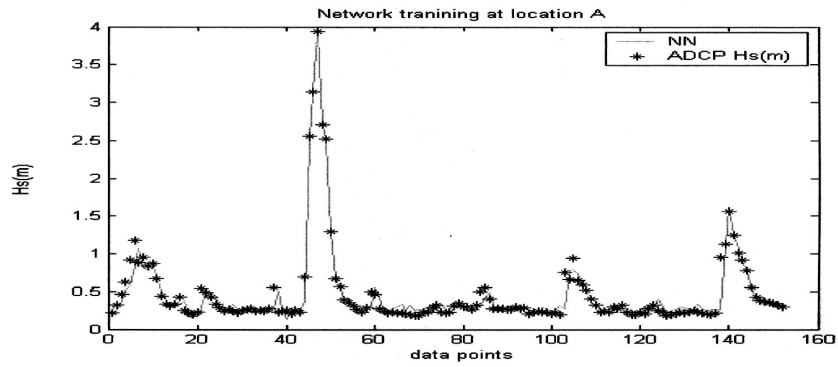
^۲ - Scatter plot

۶ تشکر و قدردانی

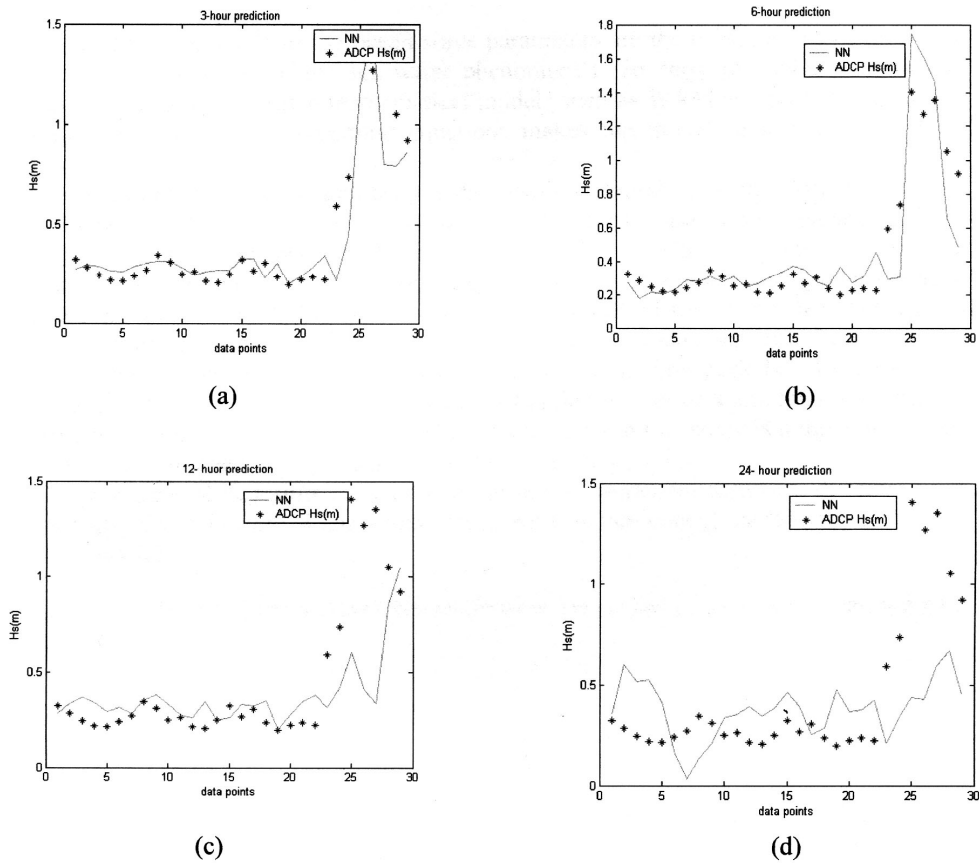
در پایان نگارندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از سازمان بنادر و کشتیرانی و شرکت نفت خزر که داده‌های میدانی را در اختیار آن‌ها قرار داده‌اند، تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

- [1] The WAMDI Group: Hasselmann S., Hasselman, K., Bauer, E., Janssen, P., Cardone, V. C., Greenwood, J. A., Reistad, M., Zambresky, L., and Ewing, J. A., The WAM Model-A third Generation Ocean Wave Prediction Model, J. Phys. Oceanogr. 18: 1775-1810, 1988.
- [2] WMO, Guide to Wave Analysis and Forecasting, No. 702, Secretariat of World Meteorological Organization, Geneva, 1988.
- [3] Kimura A. Statistical of Random Wave Groups, Proceedings of 17th Coastal Engineering Conference, Vol 3, Sydney, ASCE, 1980, PP 2955-73.
- [4] Haykin, S. Neural Networks – A Comprehensive Foundation, 2nd Ed, Prentice Hall, Inc. 1999.
- [5] Hagan, M. T, Demuth, H.B, Neural Network Design, PWS Publishing company, 1995.
- [6] Thirumalaiah, K., Deo, M. C., River Stage Forecasting Using Neural Networks, ASCE Journal of Hydrologic Engineering, 3(1), 26-32, 1998.
- [7] Thirumalaiah, K., Deo, M. C. Some Studies on Hydrological Forecasting Using Neural Network, ASCE Journal of Hydrologic Engineering, S (2), 180-189, 2000.
- [8] Agrawal J. D., Deo, M.C. On-Line Wave prediction, Marine Structures, Elsevier, Oxford, 28-2001.



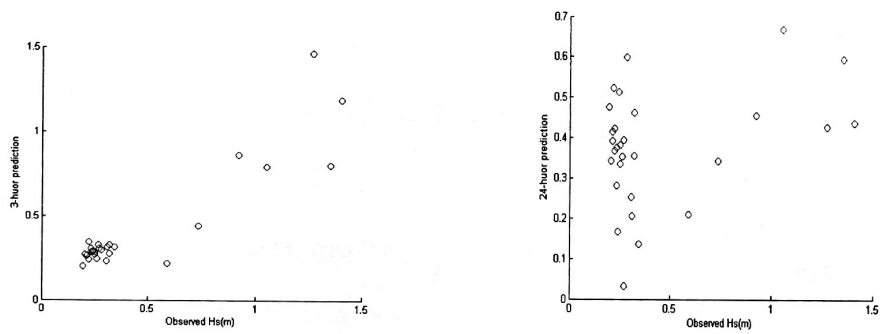
شکل ۵: آموزش شبکه در موقعیت A



شکل ۶: نتایج پیش بینی در موقعیت A

A

a- پیش بینی ۳ ساعته، b- پیش بینی ۶ ساعته، c- پیش بینی ۱۲ ساعته و d- پیش بینی ۲۴ ساعته



شکل ۷: منحنی پراکندگی داده‌های موقعیت A برای حالت های a و b نشان داده شده در شکل (۶)