علوم و مهندسی آبیاری
جلد ۴۱، شماره‌ی۲، تابستان ۹۷، ص. ۱۶۶-۱۵۱

تخمین ارتفاع امواج ناشی از باد با استفاده از سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی، درخت تصمیم و روش‌های تجربی در بندر بوشهر

لیاقت بزرگ‌زاده[۱]، مرتضی بختیاری[۲*]، نیما شهنی‌کرم‌زاده[۳] و محمد اسماعیل دوست[۴]

۱-کارشناسی ارشد مهندسی سواحل، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.
۲*- نویسنده مسئول، استادیارگروه مهندسی سازه‌های دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر mortezabakhtiari@yahoo.com
۳- استادیارگروه مهندسی سازه‌های دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.
۴- استادیار گروه الکترونیک و مخابرات دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۱

چکیده

اطلاعات حاصل از پیش‌بینی امواج بعنوان اساس طراحی‌های مهندسی دریا، نقش مهمی در ساخت، نگهداری و مدیریت پروژه‌های عمرانی ساحلی و فراساحلی، دارد. امواج ناشی از باد، به دلیل دارا بودن بیش‌ترین انرژی و فراوانی، از مهم‌ترین امواج در دریا محسوب می‌شوند. در تحقیق حاضر، از سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی، برای پیش‌بینی خصوصیات امواج استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه، بندر بوشهر و پیش بینی‌ها برای بازه زمانی سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۱۰ در نظر گرفته شده است. نتایج نشان داد در پیش‌بینی ارتفاع امواج ناشی از باد، دقت مدل سیستم عصبی- فازی در مقایسه با درخت تصمیم، در مدت زمان سه و شش ساعته مشابه بدست آمد. به‌طوری‌که در مدت زمان سه ساعته ضریب همبستگی ۸۶ و ۸۳ درصد برای پیش بینی سه ساعته و ۷۸ و ۷۴ درصد برای پیش‌بینی شش ساعته دارای دقتی بالاتر از مدل‌های تجربی می‌باشند مقایسه‌ی نتایج پیش‌بینی با روش‌های تجربی نشان داد، که روش SMB با ضریب همبستگی بیشتر و درصد خطای کمتر نسبت به بقیه روش‌های تجربی، در برآورد ارتفاع امواج بیش‌ترین دقت را در محاسبات داشت . علاوه بر آن روش SPM با ضریب همبستگی ۷۲ و ۶۳ درصد برای پیش‌بینی سه و شش ساعته، نامناسب‌ترین روش برای تعیین ارتفاع موج بوده و ارتفاع موج را کمتر از شرایط واقعی پیش‌بینی می‌کند.

کلید واژه‌ها: امواج ناشی از باد، ارتفاع امواج، سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی، درخت تصمیم، بندر بوشهر.

مقدمه

امواج دریا از پدیده‌های طبیعی بوده که علیرغم پیچیدگی، تا حد زیادی قابل پیش‌بینی می‌باشند. بررسی‌ها نشان می‌دهد بخشی از خرابی‌های سازه‌ای و هم‌چنین شکست در طرح‌های اجرایی، یا ناشی از کمتر در نظر گرفتن ارتفاع امواج در طراحی‌های اولیه و یا غیر اقتصادی شدن طرح‌ها به علت تخمین بیش از حد ارتفاع امواج بوده است. از اینرو تخمین هر چه دقیق‌تر ارتفاع موج در دقت طراحی است. با دسترسی به داده‌های پیش‌بینی امواج، می‌توان با برنامه‌ریزی مناسب فعالیت‌های دریایی، به میزان قابل‌توجهی از رخداد حوادث دریایی جلوگیری نمود. پیش‌بینی خصوصیات امواج اخیراً مورد توجه محققین مختلف بوده است که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

Chegini et al (2008)، دقت روش‌های نیمه تجربی و عددی در پیش‌بینی مشخصات امواج ناشی از باد در بندرها امیرآباد و بوشهر را موردمطالعه، ارزیابی و مقایسه قراردادند. آن‌ها در ابتدا مشخصات امواج را با استفاده از داده‌های باد ایستگاه‌های بابلسر و بوشهر با به‌کارگیری روش‌های نیمه تجربی SMB، SPM و CEM محاسبه نموده و سپس، مقادیر ارتفاع و دوره تناوب امواج پیش‌بینی‌شده با مشخصات ثبت‌شده توسط بویه‌های موج نگار امیرآباد، نکا و بوشهر مقایسه و خطاهای روش‌های نیمه تجربی را تعیین گردید سپس نتایج حاصل از روش‌های نیمه تجربی را با مشخصات به‌دست‌آمده از پروژه مدل‌سازی امواج دریاهای ایران مقایسه کردند.

Zarghani (2006) ،خصوصیات امواج ناشی از باد در آب‌های دور از ساحل جزیره خارک را موردتحقیق و بررسی قرارداد. او برای انجام این بررسی، از مدل SPM استفاده نمود. نتایج به‌دست‌آمده از مدل نشان داد که مرتفع‌ترین موج، ۳/۷ متر با دوره تناوب ۸/۰۶ ثانیه بوده است.

Taleghaniو Amirteimori (2008) ،داده‌های میدانی امواج دریای خزر را که توسط بویه موج نگار اندازه‌گیری شده‌اند، در یک شبکه عصبی مصنوعی مورداستفاده قراردادند. درنهایت، مقایسه داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده توسط سیستم‌های اندازه‌گیری با نتایج حاصل از شبکه عصبی، تطابق خوبی را نشان داده که نشانگر

دقت و سرعت خوب روش به‌کاررفته در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت است.

Kamranzad و Etemad Shahidi (2011) ،پیش‌بینی امواج ناشی از باد در عسلویه با استفاده از مدل عددی SWAN را مورد بررسی قراردادند. نتایج صحت سنجی مدل نشان داد که نتایج مدل واسنجی از دقت مناسبی برخوردار می‌باشند. شاخص‌های خطای محاسبه‌شده در دوره‌های صحت سنجی نیز دقت قابل‌قبول مدل‌سازی SWAN را نشان داد. بنابراین از مدل ساخته‌شده قابلیت پیش‌بینی ارتفاع موج و دوره تناوب در عسلویه را دارا بود.

Mavedatnia et al (2014)، پیش‌بینی خصوصیات امواج، درخور موسی (بندر امام خمینی) را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی موردبررسی قراردادند. داده‌های مورداستفاده او، شامل سری‌های زمانی مشخصات باد و موج ایستگاه‌های شهید دهگان ، شهید رشیدی و بویه خور موسی در نزدیکی بندر امام خمینی واقع بود، طی تحقیق --- مشخص گردید که فرمول‌های تجربی برای این منطقه ابزار مناسبی برای پیش‌بینی امواج نمی‌باشند و مدل‌های ALYUDA و شبکه عصبی توانمندی بهتری برای پیش‌بینی دارند.

Tsai et al (2002) ، به منظور پیش‌بینی ارتفاع موج، شاخص و دوره تناوب موج، از مدل شبکه عصبی مصنوعی و بهره‌گیری از داده‌های مشاهداتی موج، استفاده نمودند. نتایج ایشان برتری مدل شبکه عصبی را تأیید نمود.

Deo et al (2001) ،برای پیش‌بینی موج، از شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمودند. ایشان دریافتند که پرنمودن داده‌های از دست رفته سری زمانی ارتفاع موج، با استفاده از روش‌های زمانی و مکانی، می‌تواند قابلیت یادگیری مدل را افزایش دهد. هم‌چنین ایشان دریافتند کمبود داده‌های میدانی در حدود دو درصد به ازای هر سال، موجب پیش‌بینی ۱۲ ساعته با دقت حدود هشت سانتی‌متر ارتفاع موج، می‌شود.

Zamani et al (2008)، برای پیش‌بینی ارتفاع موج در دریای خزر، از دو روش شبکه عصبی مصنوعی و روش یادگیری مبتنی بر مثال استفاده نمودند. ایشان به منظور تعیین داده‌های ورودی ازروش تحلیل اطلاعات میانگین متقابل، استفاده نمودند. آنها جهت باد را به عنوان پارامتر ورودی منظور نمودند. نتایج آنها حاکی از برتری روش شبکه عصبی مصنوعی نسبت به روش یادگیری مبتنی بر مثال، بود.

نظر به اینکه تاکنون تحقیقی که روش‌های محاسباتی نرم مانند شبکه عصبی–فازی و درخت تصمیم را در مقایسه با روش‌های تجربی، بررسی نماید، انجام نشده، لذا ضرورت تحقیق حاضر را مبنی بر بررسی روش‌های نرم برای تخمین ارتفاع موج، نشان می‌دهد. همچنین در بسیاری از تحقیقات گذشته، سرعت باد در ارتفاع دو و یا ده متری به‌عنوان پارامتر ورودی برای پیش‌بینی خصوصیات امواج ناشی از باد منظور شده است. ولی بررسی‌ها نشان می‌دهد با توجه به ماهیت امواج ناشی از باد، پارامتر سرعت برشی می تواند پارمتر موثرتری باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در تحقیق حاضر از داده‌های باد و موج ثبت‌شده توسط بویه بوشهر استفاده گردیده است. بویه بوشهر توسط سازمان بنادر و دریانوردی در این منطقه مستقرشده است. اطلاعات آن به‌صورت سری‌های زمانی یک ساعته در دسترس می‌باشد. این داده‌ها شامل داده‌های موج نگاری و هواشناسی شامل سرعت باد، جهت باد، دمای هوا و فشار هوا و اطلاعات موج نگاری نظیر ارتفاع موج و دورهٔ تناوب موج می‌باشد. بویه موج نگار منطقه بوشهر در عمق ۳۰ متری و در موقعیت طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی و عرض ۲۸ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی، توسط سازمان بنادر و کشتیرانی نصب گردیده است. در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

شرح انجام تحقیق

داده‌های مورداستفاده شامل سری‌های زمانی مشخصات باد و موج در بویه بندر بوشهر مستقر در منطقه آب عمیق در خلیج‌فارس و در نزدیکی بندر بوشهر می‌باشد. این داده‌ها شامل ۱۴۰۰۰ سری در فاصله زمانی سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۱۰، می‌باشند. دو روش متداول محاسباتی نرم با عنوان سیستم استنتاج تطبیقی عصبی – فازی و درخت تصمیم و روشهای تجربی SPM، SMB و CEM مدلسازی برای پیش بینی ارتفاع موج مورد استفاده قرار گرفته است. جدول (۱) مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین پارامترهای مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات آماری پارامترهای اندازه‌گیری شده در بویه بندر بوشهر(دوره زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ میلادی)

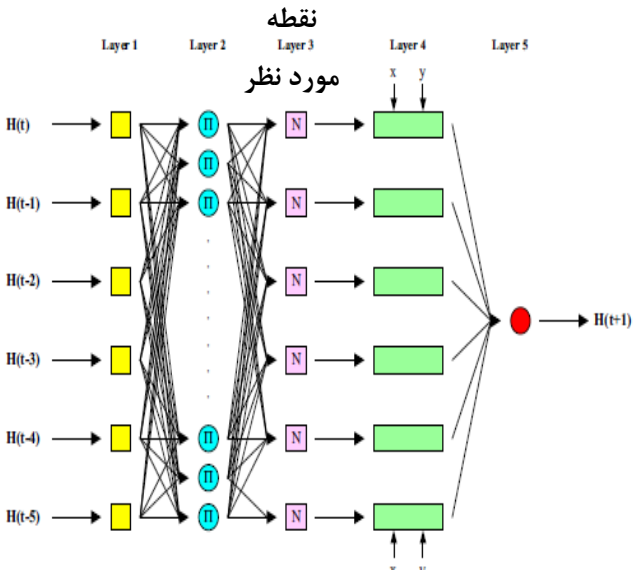
ردیف	پارامترهای اندازه‌گیری شده	حداکثر	حداقل	میانگین
۱	سرعت باد (متر بر ثانیه)	۱۴/۵۳	۰	۲/۳۲
۲	جهت باد (درجه)	۳۵۸/۵۹	۰	۲۲۷/۱۳
۳	دمای هوا(درجه سانتی‌گراد)	۳۸/۸۶	۹	۱۹/۶۴
۴	دمای آب(درجه سانتی‌گراد)	۳۹/۹۳	۵	۲۶/۵۶
۵	فشار هوا (پاسکال)	۱۰۳۱/۵۱	۰	۱۰۰۹/۷۲
۶	ارتفاع موج (متر)	۲/۸	۰	۰/۴۷

سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی

شبکه عصبی- فازی، از ترکیب دو ساختار شبکه‌های عصبی و سیستم‌های فازی، تشکیل‌شده است. بدین ترتیب هم از مزایای شبکه عصبی و هم سیستم فازی بهره‌گیری شده است. شبکه تطبیقی، شبکه‌ای چندلایه، شامل گره‌ها و لینک‌های ارتباطی جهت‌دار (روبه‌جلو) است. در این شبکه، همه یا تعدادی از گره‌ها تطبیقی هستند. به‌عبارت‌دیگر خروجی آن‌ها به پارامترهایی بستگی دارد که بر اساس الگوریتم‌های یادگیری، به‌منظور کاهش خطای مدل‌سازی، تنظیم می‌شوند. در شبکه تطبیقی، هر یک از گره‌ها، تابع مشخصی را بر سیگنالی که دریافت می‌کند، اجرا می‌نماید. این تابع که از گره‌ای به گره دیگر تغییر می‌کند، وابسته به پارامترهای گره است. با فرض اینکه یک شبکه تطبیقی دارای L لایه بوده و k امین لایه آن دارای K گره باشد، گره‌ای که در i امین جایگاه k امین لایه است با (k,i) و خروجی گره با Oki نمایش داده می‌شود. خروجی هر گره به پارامترهای آن (...,a, b, c) و سیگنال ورودی که تابع خروجی گره پیشین است، بستگی دارد. بنابراین می‌توان نوشت (Shahidi et al.,2010).

$$O_i^k = \left(O_1^{k-1} .\ O_2^{K-1} \ldots . O_{k-1}^{k-1} . a . b . c \ldots .\right) \qquad (۱)$$

در شکل (۲) ساختار شبکه عصبی- فازی نشان داده شده است.



شکل ۲- ساختار شبکه عصبی- فازی

درخت تصمیم‌گیری

درخت تصمیم‌گیری یکی از روش‌های داده‌کاوی بشمار آمده که در دو دهه اخیر توسعه زیادی یافته‌اند. درخت تصمیم‌گیری برخلاف شبکه عصبی به تولید قانون می‌پردازد. یعنی به این معنی که درخت تصمیم‌گیری پیش‌بینی در قالب یک سری قوانین، توضیح می‌دهد درحالی‌که شبکه عصبی صرفاً پیش‌بینی بیان نموده و چگونگی آن در شبکه پنهان می‌ماند. الگوریتم درخت تصمیم‌گیری با انتخاب نوع آزمون برای بهترین جداسازی دسته‌ها شروع می‌شود. از این‌رو روش‌های مزبور هم برای کشف و استخراج دانش از پایگاه داده‌ها و هم برای ایجاد مدل‌های پیش‌بینی استفاده می‌شوند.

روش‌های تجربی پیش‌بینی موج

در مدل‌های تجربی که بر مبنای داده‌های اندازه‌گیری شده و استفاده از تحلیل ابعادی، روابطی ارائه‌شده که در این خصوص می‌توان روش‌های SMB، SPM و CEM را نام برد. مبنای اصلی روش‌های تجربی، وجود یک سری روابط بین پارامترهای بدون بعد موج است. در این روش‌ها، بر اساس قوانین مکانیک سیالات، اعداد بدون بعدی استفاده‌شده و ضرایب تجربی روابط، با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی تعیین می‌شوند. این روش‌ها بر اساس فرض دائمی و یکنواخت بودن میدان باد استوار هستند. در روش-های تجربی، ارتفاع و دوره تناوب موج شاخص، بر اساس سرعت باد، طول‌موجگاه و زمان تداوم باد محاسبه می‌شود. (Coastal Engineering Manual , 2002).

روش SMB

یکی از روش‌های تجربی پیش‌بینی امواج ناشی از باد، روش SMB است. این روش ابتدا توسط Sverdrup و Munk (1947) ارائه گردید. سپس با استفاده از داده‌های بیشتر، توسط Bretshneider (1958) اصلاح شد. از اینرو این روش، SMB نام گرفت (Shahidi et al.,2010).

طول موجگاه روش SMB

طول بادگیر، عبارت است از فاصله بین نقطه موردنظر و خط ساحل که باد روی آن امتداد یا سطح، وزیده و در آن امتداد، امواج به وجود می‌آیند. برای محاسبه طول بادگیر، در این روش باید در دو محدوده ۴۵° ± ، نسبت به راستای اصلی وزش باد، شعاع‌هایی با فواصل شش درجه ترسیم کرده و تا ساحل مقابل، امتداد داده سپس شعاع‌های ترسیمی را اندازه گرفت و سپس با استفاده از میانگین وزنی طول شعاع‌های ترسیمی، مطابق رابطه (۲) طول بادگیر محاسبه می‌شود (Shahidi et al.,2010).

$$X = \frac{\sum Xi \cos \theta i}{\sum \cos \theta i} \qquad (۲)$$

که در آن فوق X طول بادگیر، X_i طول شعاع‌های ترسیم شده و θ_i زاویه هرکدام از شعاع‌های ترسیم‌شده نسبت به جهت وزش باد است.

روش SPM

روش SPM یکی دیگر از روش‌های پیش‌بینی امواج است که با ساده‌سازی مدل‌های پارامتریک، ارائه گردید (Bishop, 1983).

طول موجگاه روش SPM

برای تعیین طول بادگیر در روش SPM ، باید از نه شعاع از نقطه موردنظر، که باهم زاویه سه درجه می‌سازند، استفاده می‌شود سپس شعاع‌های مزبور باید تا نقطه‌ای که خط ساحل را برای نخستین بار قطع کنند، امتداد می‌یابد. نقطه شروع شعاع‌ها،

محل پیش‌بینی امواج و نقطه‌ی انتهای آن روی خط ساحل روبرو می‌باشد. طول موجگاه، از میانگین طول نه شعاع مزبور مطابق رابطه (۳)، به‌دست می‌آید(Shahidi et al.,2010).

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{9} X_i}{9} \quad (۳)$$

با روش SPM ، می‌توان امواج تولیدشده را در شرایط محدود طول موجگاه و زمان تداوم باد، پیش‌بینی کرد. به این منظور ابتدا باید زمان تداوم واقعی باد موردنظر را به دست آورد. سپس طبق رابطه (۴)، زمان تداوم لازم برای ایجاد حالت محدود طول‌موجگاه را محاسبه نمود(Shahidi et al.,2010).

$$t_{min} = 6.88 \times 10 \left(\frac{gX}{U_A^2}\right)^{2/3} \quad (۴)$$

که در آن، t_{min} زمان تداوم لازم برای ایجاد حالت محدود طول موجگاه برحسب ثانیه، U_A سرعت باد برحسب متر بر ثانیه، X طول بادگیر برحسب متر و g برابر ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه است. درصورتی‌که زمان تداوم واقعی باد، از مقدار به‌دست‌آمده از رابطه (۴) بیشتر باشد، با استفاده از رابطه (۵)، می‌توان ارتفاع موج را در آب عمیق محاسبه نمود(Shahidi et al.,2010).

$$\frac{gH_{mo}}{U_A^2} = 1.6 \times 10^{-3} \left(\frac{gX}{U_A^2}\right)^{1/2} \quad (۵)$$

که در آن، H_{mo} ارتفاع موج آب عمیق بر حسب متر و U_A سرعت باد اصلاح‌شده به روش SPM است.

روش CEM

با روش CEM، می‌توان امواج تولیدشده در شرایط محدودیت طول‌موج گاه و محدودیت زمان تداوم باد را پیش‌بینی کرد. . به این منظور ابتدا باید زمان تداوم واقعی باد موردنظر را به دست آورد. سپس طبق رابطه‌ی (۶)، زمان تداوم لازم برای ایجاد حالت محدودیت طول‌موج گاه را محاسبه نمود. (Shahidi et al.,2010).

$$t_{x,u} = 77.23 \frac{X^{0.67}}{U_{10}^{0.34} g^{0.33}} \quad (۶)$$

که در آن، $t_{x,u}$ زمان تداوم لازم برای ایجاد حالت محدودیت طول‌موج گاه برحسب ثانیه، U_{10} سرعت باد در تراز ۱۰ متری برحسب متر بر ثانیه، X طول بادگیر برحسب متر و g برابر ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه است. درصورتی‌که زمان تداوم واقعی باد، از مقدار به‌دست‌آمده از رابطه (۶)، بیشتر باشد با استفاده از رابطه (۷)، می‌توان ارتفاع و دورهٔ تناوب موج را در آب عمیق محاسبه نمود (Shahidi et al.,2010).

$$H_{mo} = 4.13 \times 10^{-2} \left(\frac{u_o^2}{g}\right) \left(\frac{gX}{u_o^2}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (۷)$$

اطلاعات و داده‌ها

داده‌های مورداستفاده در تحقیق حاضر شامل ۱۴۰۰۰ سری داده بوده که پس از بررسی حدود ۲۱۰۰ داده که به‌صورت اطلاعات یک ساعته توسط بویه ثبت‌شده است. به منظور آماده سازی داده‌ها ابتدا داده‌ها به دو سری آموزش و آزمون تقسیم گردید. ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۱۵ درصد برای صحت‌سنجی و ۱۵ درصد نیز برای آزمون شبکه در نظر گرفته شد. داده‌ها در یک فایل اکسل دارای سه‌برگه‌ی با عناوین Train، Total، Test، بوده که در برگه Total کل داده‌های موجود، در برگه Train داده‌های مربوط به آموزش مدل و در برگه Test، داده‌های مربوط به تست مدل قرارگرفته است. در برگه‌های نام‌برده شده در ستون‌های اول تا پنجم داده‌های ورودی مدل قرار دارند و در ستون آخر داده‌های هدف جاگذاری شده‌اند. برای مقایسه و بررسی نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های مختلف، می‌توان از ملاک‌های آماری که بیانگر میزان انطباق دو سری داده‌ها است، استفاده نمود. به این منظور از ملاک‌های آماری زیر، استفاده شده است.

الف) ضریب همبستگی

$$CC = \frac{\sum(X_i - X_m)(Y_i - Y_m)}{\sum(X_i - X_m)^2 (Y_i - Y_m)^2} \quad (۸)$$

ب) جذر متوسط مربع خطاها

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Y_i - Y_m)^2} \quad (۹)$$

ج) ضریب پراکندگی

$$\mathrm{SI} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum ((Y_i - Y_m) - (X_i - X_m))^2}}{X_m} \quad (۱۰)$$

در روابط آماری فوق، X سری آماری مشاهده‌ای، Y سری آماری پیش‌بینی‌شده، X_m متوسط سری آماری مشاهده‌ای و Y_m سری آماری پیش‌بینی‌شده را نشان می‌دهد. n نیز تعداد کل داده‌ها در سری آماری است.

تحلیل ابعادی و شناخت پارامترهای موثر

طبق بررسی‌های به عمل آمده از تئوری حاکم بر تحقیق، روابط تجربی و همچنین سایر تحقیقات گذشته پارامترهای شتاب ثقل (g)، زمان تداوم باد (t)، سرعت باد (U)، جهت باد (deg) ، ارتفاع موج (H)، دورهٔ تناوب موج(T)، طول موجگاه (X) ، دمای هوا(T_a) ، فشار هوا (P). به منظور استفاده از سرعت باد در

پیش‌بینی خصوصیات امواج، Zamani et al (2008) ، استفاده از پارامتر سرعت برشی باد (U_*) را بجای سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری (U_{10}) توصیه می کنند. سرعت برشی از رابطه (۱۱) محاسبه می‌گردد (Zamani et al.,2008).

$$U_* = U_{10}\sqrt{C_D} \qquad (۱۱)$$

در رابطه فوق C_D ضریب دراگ باد بوده و از رابطه (۱۲) محاسبه می‌گردد (Zamani et al.,2008).

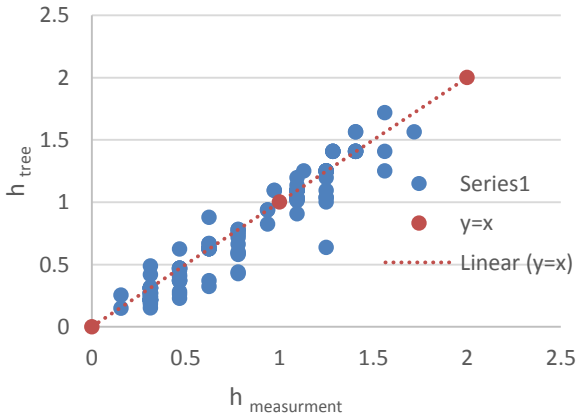
$$C_D = \begin{cases} 1.2875 \times 10^{-3} & if\ U_{10} < 7.5\frac{m}{s} \\ (0.8 + 0.065 \times U_{10}) \times 10^{-3} & if\ U_{10} \geq 7.5\frac{m}{s} \end{cases} \qquad (۱۲)$$

علاوه بر پارامتر سرعت، پارامترهای جهت باد و موج از پارمترهای موثر در شکل‌گیری و رشد امواج می‌باشند. لذا این پارامترها باید به درستی در مدل‌ها منظور گردند. به منظور در نظر گرفتن اثر جهت باد و موج، از تابع $(\cos(\emptyset - \theta))$ استفاده شده است که در آن $\emptyset$ جهت باد و θ جهت موج می‌باشند. لازم به ذکر است، تابع مزبور از روابط تجربی استخراج شده است (Donelan, 1980). هم‌چنین پارامترهایی نظیر طول موجگاه و زمان تداوم، می‌توانست به‌عنوان پارامترهای ورودی و موثر بر ارتفاع موج شاخص، در نظر گرفته شوند، که با توجه به تحلیل حساسیت اولیه صورت گرفته و مطالعات پیشین اهمیت آنها کمتر تشخیص داده شد (Deo et al , 2001) , Etemad-Shahidi and Mahjoobi , 2009)

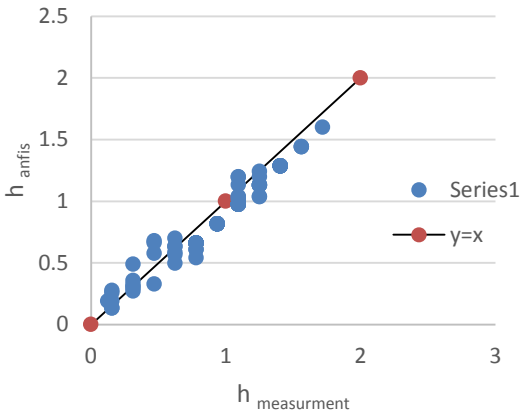
در تحقیق حاضر پس از انتخاب پارامترهای موثر و همچنین در نظر گرفتن ترکیب‌های مختلف از پارامترهای ورودی و الگوریتم‌های یادگیری متنوع، اقدام به مدل‌سازی و پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص گردید. الگوریتم مورد استفاده در انفیس، الگوریتم هایبرید می باشد. این الگوریتم از ترکیب دو الگوریتم پس انتشار خطا، همراه با گرادیان نزولی می باشد. الگوریتم پس انتشار خطا، متداولترین نوع شبکه عصبی است. شبکه ای چند لایه دو نوع سیکنال، استفاده می‌شود. یک نوع سیگنال در مسیر رفت و دیگری در مسیر برگشت از راست به چپ حرکت می کند. لازم به ذکر است داده‌های ورودی، شامل سرعت باد، جهت باد، دمای هوا، دمای آب و فشار هوا می‌باشند که در نهایت ارتفاع موج و موج به عنوان خروجی از مدل‌ها و روش‌های تجربی استخراج می‌گردد.

صحت سنجی مدل‌های مورد استفاده

همان‌گونه که پیش از این بیان گردید در تحقیق حاضر، برای پیش‌بینی ارتفاع امواج، از مدل‌های سیستم استنتاج تطبیقی عصبی– فازی، درخت تصمیم از نرم‌افزار متلب استفاده شده است. صحت سنجی و واسنجی مدل‌های مورد استفاده، به این صورت است که ابتدا داده‌ها، به دو سری آموزش و آزمایش تقسیم می‌شود. ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۱۵ درصد برای اعتبارسنجی و ۱۵ درصد نیز برای آزمایش کردن شبکه در نظر گرفته می‌شود. داده‌ها در یک فایل اکسل دارای سه‌برگه‌ی با عناوین Train، Total، Test، بوده که در برگه Total کل داده‌های موجود، در برگه Train داده‌های مربوط به آموزش مدل و در برگه Test، داده‌های مربوط به تست مدل قرارگرفته است. در شکل‌های (۳) و (۴) نتایج حاصل صحت سنجی و در جدول (۲)، بررسی آماری نتایج ارائه شده است.



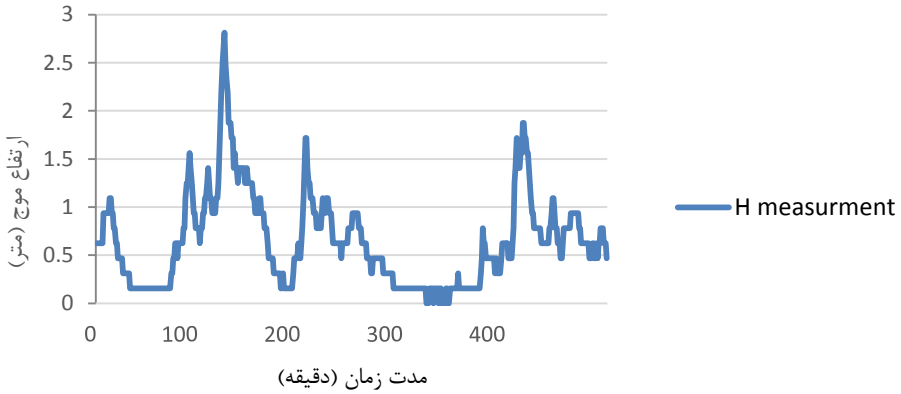
شکل۳- صحت سنجی پیش‌بینی ارتفاع امواج با استفاده از مدل درخت تصمیم



شکل ٤- صحت سنجی پیش‌بینی ارتفاع امواج با استفاده از مدل سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی

جدول ۲- مقایسه پارامترهای خطا حاصل از صحت سنجی نتایج مدل‌ها

نام مدل	RMSE	r
شبکه عصبی- فازی	۰/۱۶	۹۷
درخت تصمیم	۰/۱۴	۹۶



شکل ۵- نمودار ارتفاع موج اندازه‌گیری شده در بویه

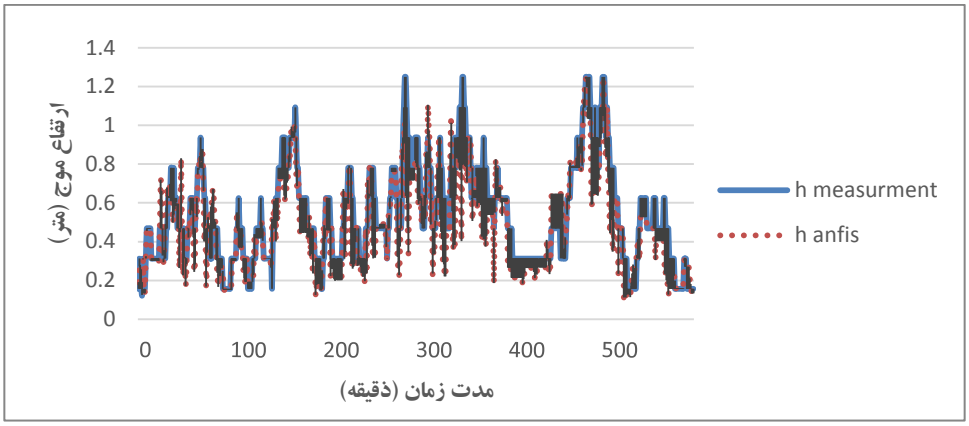
نتایج و بحث

بررسی وضعیت بادهای منطقه

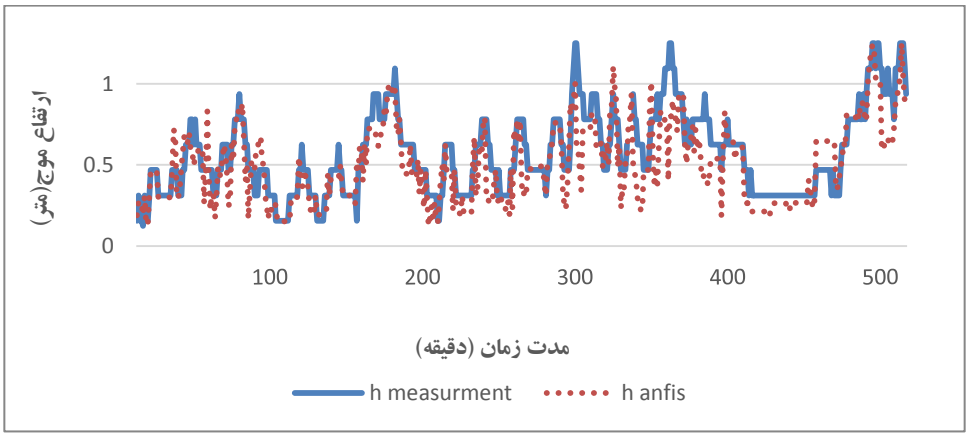
بررسی‌های انجام شده با توجه به گلباد منطقه نشان می‌دهد، باد غالب باد شمال غربی است. بیش‌ترین محدوده سرعت باد بین ۴-۱ متر بر ثانیه است که حدود ۶۳/۶٪ کل فراوانی بر اساس سرعت را شامل می‌گردد.

ارزیابی نتایج حاصل از اجرای شبکه عصبی – فازی تطبیقی در مقایسه با موج مشاهده‌شده

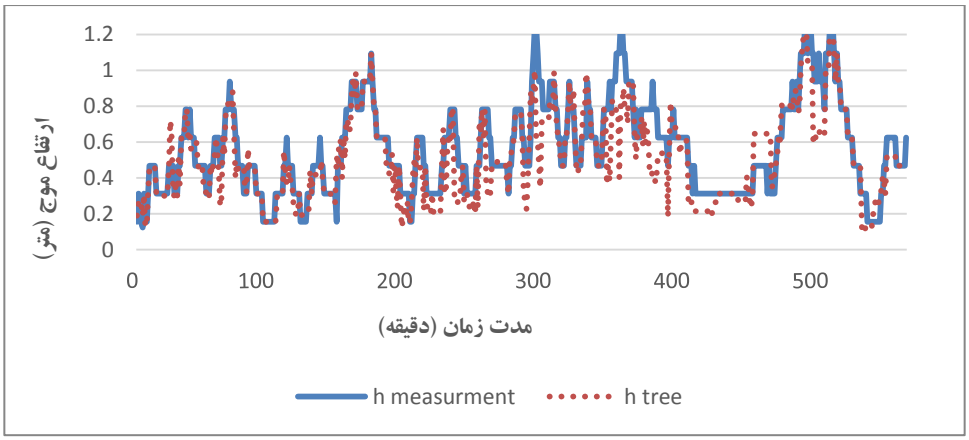
با استفاده از روابط مربوط به روش استنتاج تطبیقی عصبی – فازی ، ارتفاع امواج محاسبه شده و نمودار پراکندگی آن در قالب نمودار سری زمانی سه ساعته آن در شکل‌های (۵) تا (۷) رسم گردید. در نهایت خطای نتایج به‌دست‌آمده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده، طبق جدول (۳) و (۴) آورده شده است.



شکل ٦- مقایسه ارتفاع موج به‌دست‌آمده از روش شبکه عصبی فازی تطبیقی نسبت به موج مشاهده‌شده با استفاده از سری زمانی سه ساعته



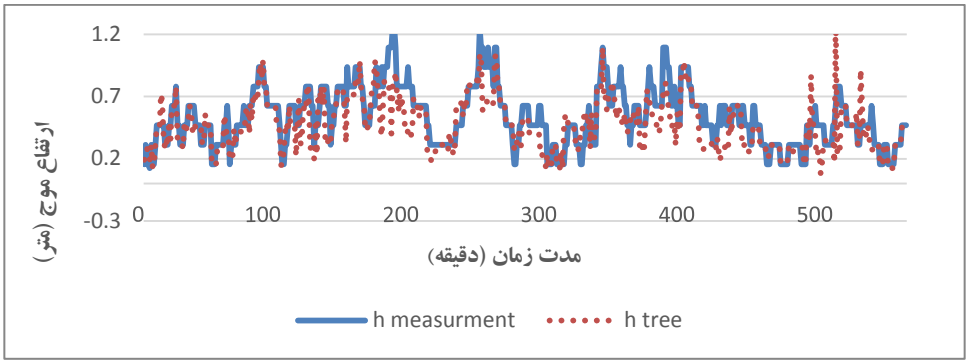
شکل ۷- مقایسه ارتفاع موج به‌دست‌آمده از روش شبکه عصبی فازی تطبیقی نسبت به موج مشاهده‌شده با استفاده از سری زمانی شش ساعته



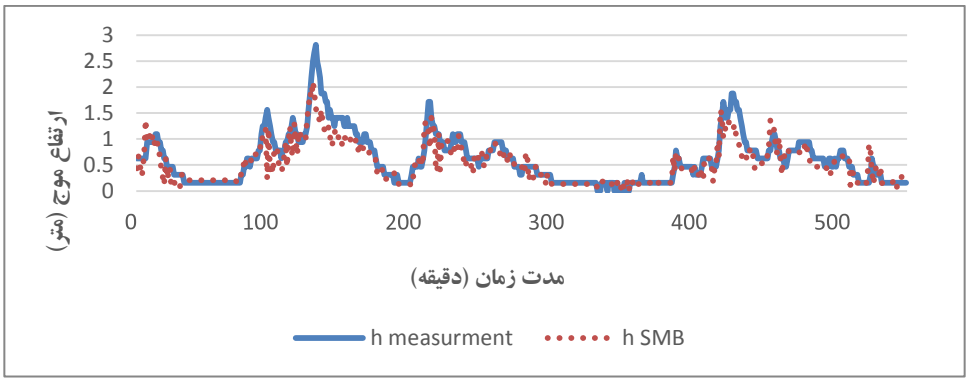
شکل ۸- مقایسه ارتفاع موج به‌دست‌آمده از درخت تصمیم نسبت به موج مشاهده‌شده با استفاده از سری زمانی سه ساعته

ارزیابی نتایج حاصل از اجرای درخت تصمیم در مقایسه با موج مشاهده‌شده

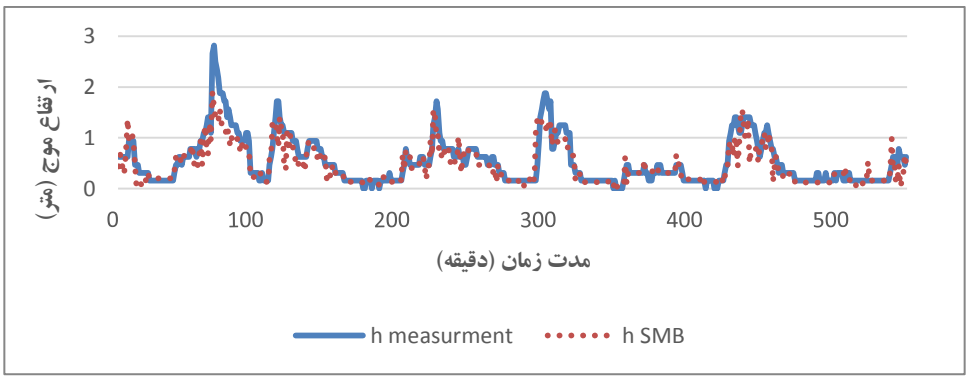
با استفاده از روابط مربوط به روش درخت تصمیم ، ارتفاع امواج محاسبه شده و نمودار پراکندگی آن در قالب نمودار سری زمانی سه ساعته آن در شکل‌های (۸) و (۹) رسم گردید و درنهایت خطای نتایج به‌دست‌آمده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده طبق جدول (۴) و (۵) آورده شده است.



شکل ۹- مقایسه ارتفاع موج به‌دست‌آمده از درخت تصمیم نسبت به موج مشاهده‌شده با استفاده از سری زمانی شش ساعته



شکل ۱۰- مقایسه ارتفاع موج به‌دست‌آمده از روش SMB با ارتفاع موج مشاهده‌شده به‌صورت سری زمانی سه ساعته



شکل ۱۱- مقایسه ارتفاع موج به‌دست‌آمده از روش SMB با ارتفاع موج مشاهده‌شده به‌صورت سری زمانی شش ساعته

نتایج استفاده از روش‌های تجربی

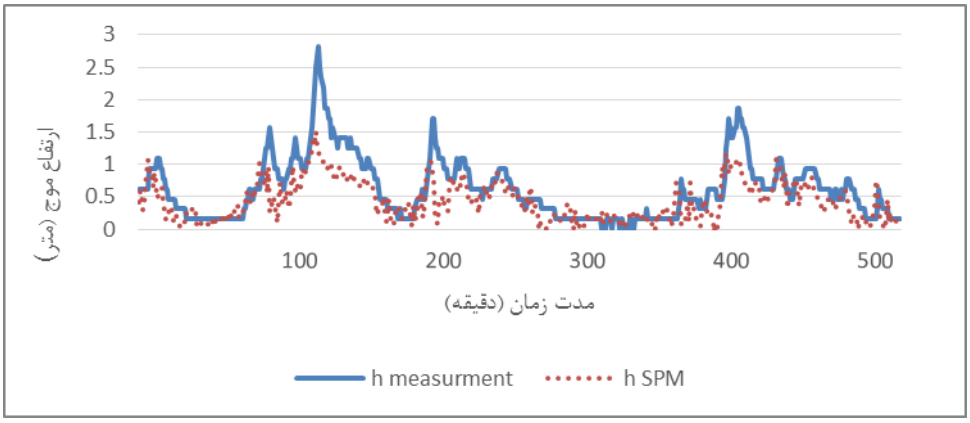
روش‌های تجربی مورداستفاده در این بخش SMB، SPM و CEM می‌باشند. پس از محاسبه خصوصیات امواج با استفاده از روش‌های تجربی مقایسه میان نتایج شبکه‌های عصبی – فازی تطبیقی و درخت تصمیم و روش‌های تجربی صورت گرفته است.

روش تجربی SMB

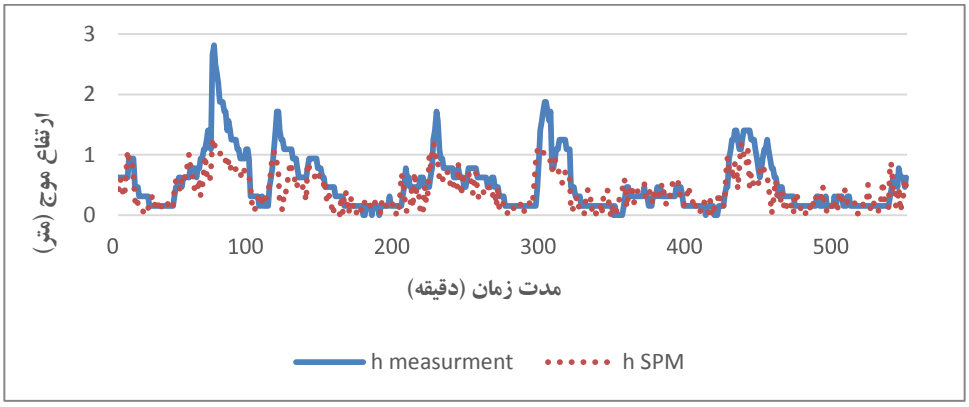
نتایج حاصل از روش تجربی SMB به صورت نمودار پراکندگی و نمودار سری زمانی آن طبق شکل‌های (۱۰) و (۱۱) رسم گردید و درنهایت خطای نتایج به‌دست‌آمده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده محاسبه شد که جذر متوسط مربع خطاهای حاصل از ارتفاع موج به‌دست‌آمده از این روش نسبت به ارتفاع موج، اندازه‌گیری شده طبق جدول (۴) برابر۰/۲۴ متر محاسبه گردید.

روش تجربی SPM

نتایج حاصل از روش تجربی SPM به صورت نمودار پراکندگی و نمودار سری زمانی آن طبق شکل‌های (۱۲) و (۱۳) رسم گردید و درنهایت خطای نتایج به‌دست‌آمده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده محاسبه شد که جذر متوسط مربع خطاهای حاصل از ارتفاع موج به‌دست‌آمده از این روش نسبت به ارتفاع موج، اندازه‌گیری شده طبق جدول (۳) برابر ۰/۳۰ متر محاسبه گردید.



شکل ۱۲- مقایسه ارتفاع موج به‌دست‌آمده از روش SPM با ارتفاع موج مشاهده‌شده به‌صورت سری زمانی سه ساعته



شکل ۱۳- مقایسه ارتفاع موج به‌دست‌آمده از روش SPM با ارتفاع موج مشاهده‌شده به‌صورت سری زمانی شش ساعته

جدول ۳- مقایسه خطای روش‌های شبکه عصبی- فازی، درخت تصمیم و روشهای تجربی در پیش‌بینی ارتفاع موج برای پیش‌بینی‌های سه ساعته

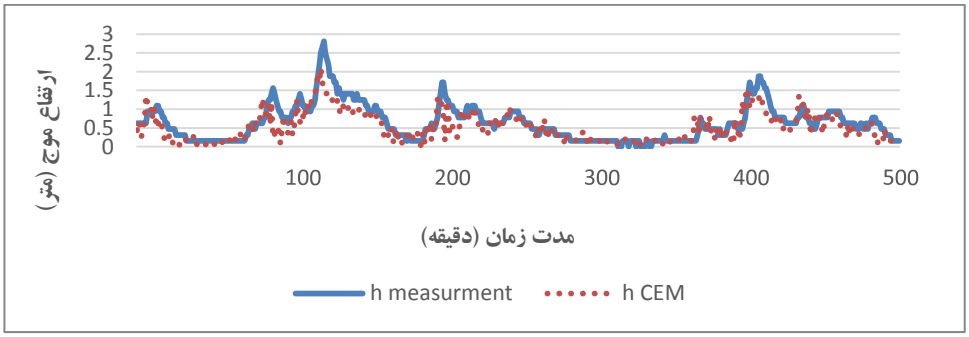
ارتفاع موج	جذر متوسط مربع خطاها (متر)	ضریب همبستگی (درصد)	ضریب پراکندگی (درصد)
شبکه عصبی –فازی	۰/۱۶	۸۶	۴۴
درخت تصمیم	۰/۱۴	۸۳	۴۸
SMB	۰/۲۴	۷۹	۵۸
SPM	۰/۳	۷۲	۷۴
CEM	۰/۲۷	۷۵	۵۵

روش تجربی CEM

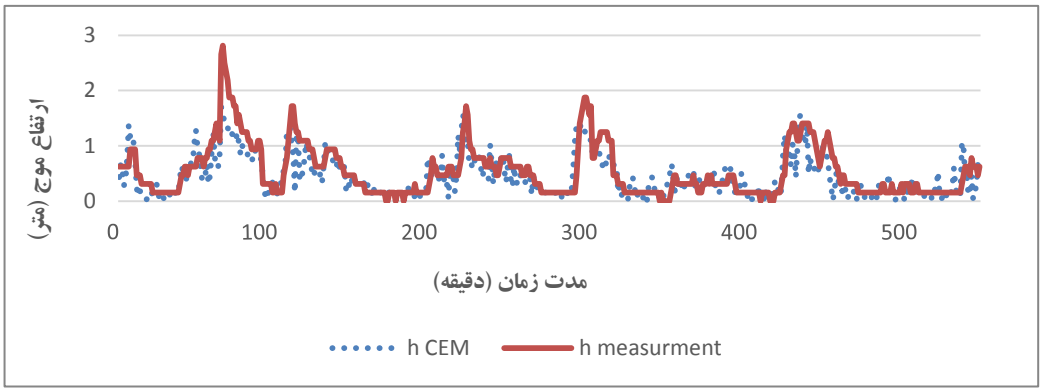
نتایج حاصل از روش تجربی CEM به صورت نمودار پراکندگی و نمودار سری زمانی آن طبق شکل‌های (۱۴) و (۱۵) رسم گردید و درنهایت خطای نتایج به‌دست‌آمده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده محاسبه شد که خطای جذر متوسط مربع خطاهای حاصل از ارتفاع موج به‌دست‌آمده از این روش نسبت به ارتفاع موج اندازه‌گیری شده طبق جدول (۳) برابر ۰/۲۷ متر محاسبه گردید.

ارزیابی خطاهای حاصل از پیش بینی امواج با استفاده از شبکه عصبی- فازی نسبت به ارتفاع موج مشاهده شده

به منظور بررسی دقت اجرای مدل‌های ذکر شده، خطاهای آماری آنها محاسبه شده است. جذر متوسط مربع خطاها، ضریب همبستگی و ضریب پراکندگی شاخص‌های مورد نظر در ارزیابی مدل‌های مذکور در جدول‌های (۳) و (۴) به ترتیب برای پیش‌بینی‌های سه و شش ساعته نشان داده شده است.



شکل ١٤- مقایسه ارتفاع موج به‌دست‌آمده از روش CEM با ارتفاع موج مشاهده‌شده به‌صورت سری زمانی سه ساعته



شکل ١٥- مقایسه ارتفاع موج به‌دست‌آمده از روش CEM با ارتفاع موج مشاهده‌شده به‌صورت سری زمانی ٦ساعته

جدول ٤- مقایسه خطای روش‌های شبکه عصبی- فازی، درخت تصمیم و روشهای تجربی در پیش‌بینی دوره ارتفاع موج برای پیش‌بینی‌های شش ساعته

ارتفاع موج	جذر متوسط مربع	ضریب همبستگی (درصد)	ضریب پراکندگی (درصد)
شبکه عصبی- فازی	۰/۱۸	۷۸	۳۹
درخت تصمیم	۰/۱۵	۷۴	۴۵
SMB	۰/۲۶	۶۹	۵۳
SPM	۰/۳۱	۶۳	۶۹
CEM	۰/۳۸	۶۴	۵۰

نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان می‌دهد، پیش‌بینی‌ها برای دوره‌های زمانی کوتاه‌تر در شبکه استنتاج عصبی- فازی مطابقت بیشتری با داده‌های ثبت شده میدانی دارند بدین معنی است که افزایش دوره زمانی مدلسازی شده دقت نتایج را کمتر می‌سازد این نتیجه با نتایج سایر محققین از جمله Kamranzad et al (2011) مطابقت دارد. نظر به فرم معادله حاکم بر الگوریتم بهینه آموزش می‌توان دلیل این نتیجه را بدین صورت تفسیر نمود که همبستگی ارتفاع موج با خصوصیات قبلی موج و باد در دوره‌های زمانی بالاتر کمتر بوده است. مقایسه‌ی نتایج پیش‌بینی از طریق روش‌های تجربی نشان می‌دهد که در بین روش‌های تجربی، روش SMB با ضریب همبستگی بیشتر و ضریب پراکندگی کمتر و درصد خطای کمتر نسبت به بقیه روش‌های تجربی در برآورد ارتفاع امواج بیش‌ترین دقت را در محاسبات دارا است. علاوه بر آن با افزایش زمان پیش‌بینی از سه ساعت به شش ساعت دقت مدل‌ها کاهش می‌یابد. چون با افزایش پیش‌بینی‌ها از سه ساعت به شش ساعت، ضریب همبستگی کاهش‌یافته و مقدار خطا افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش با نتایج Derakhshan et al (2004) در مورد مقایسه روش‌های تجربی در بندر بوشهر همخوانی دارند.

نتیجه‌گیری

به طورکلی نتایج حاصل از تحقیق حاضر را می توان به این صورت خلاصه نمود که گلباد سالیانه و جدول فراوانی باد منطقه بندر بوشهر نشان می‌دهد که باد شمال غربی با ۱۵/۱۶ درصد روی منطقه حاکم است. و بیش‌ترین فراوانی سرعت باد، بین یک تا چهار متر بر ثانیه با ۶۳/۲ درصد است. مقایسه‌ی نتایج پیش‌بینی از طریق روش‌های تجربی نشان می‌دهد که در بین روش‌های تجربی، روش SMB با ضریب همبستگی بیشتر و درصد خطای کمتر نسبت به بقیه روش‌های تجربی در برآورد ارتفاع امواج بیش‌ترین دقت را در محاسبات دارا است. علاوه بر آن، روش SPM نامناسب‌ترین روش برای تعیین ارتفاع موج بوده و ارتفاع موج را دست پایین پیش‌بینی می‌کند، همچنین نتایج نشان می‌دهد که افزایش فاصله پیش‌بینی‌ها از سه ساعت به شش ساعت منجر به کاهش دقت در پیش‌بینی‌ها می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش با نتایج Chegini et al (2008) پیش‌یابی مشخصات امواج با استفاده از شبکه‌های عصبی در بندر بوشهر هم‌خوانی دارند. همچنین نتایج نشان می‌دهند که دقت مدل‌های ANFIS و درخت تصمیم مشابه هم بوده و از دقت مدل‌های تجربی بیشتر می‌باشند؛ و اشتباهات مدل ANFIS در پیش‌بینی ارتفاع موج کمتر از دیگر روش‌های پیش‌بینی امواج است.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان این مقاله از دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر به جهت ایجاد شرایط انجام تحقیق حاضر ، سپاسگزاری می نمایند.

منابع

1- Anonymous 2002. Coastal Engineering Manual. US Army Corps of Engineers. Part 2. Chapter 1.

2- Bishop, C. T .1983.Comparison of Manual wave Prediction Models. *Journal of Waterway Port Coastal & Ocean Engineering, ASCE*, 109.pp. 1-17.

3- Chegini, F., Chegini, V. and Taebi, S.2008. Evaluating and comparing semi-experimental and numerical methods in predicting the characteristics of the waves of Amirabad and Bushehr ports. *Journal of Marine Engineering,4(7)*.pp.(In Persian).

4- Deo, M.C., Jha, A., Chaphekar, A.S. and Ravikant ,K. 2001. Neural network for wave forecasting *Journal of Waterway Port Coastal & Ocean Engineering* .28.pp. 889–898.

5- Derakhshan,Sh., Mostafa Gharebaghi,A. and Chanaghloo, M.2004. Projection of sea waves with experimental methods in Bushehr area. *In 1th national Civil Engineering Conference*, Sharif University of Technology, Iran. (In Persian).

6- 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*.pp. 47–61.

7- Etemad-Shahidi, A., Mahjoobi, J .2009. Comparison between M5– model tree and neural networks for prediction of significant wave height in Lake Superior, *Journal of Waterway Port Coastal & Ocean Engineering. 36*.pp. 1175–1181.

8- Kamranzad, B. and Etemad Shahidi,A.2011. Prediction of wind waves in Assaluyeh using numerical model. Thesis. *Iran University of Science and Technology*. 120p.(In Persian).

9- Kamranzad, B., Etemad-Shahidi, A. and Kazeminezhad, M.H. 2011. Wave height forecasting in Dayyer, the Persian Gulf. *Journal of Ocean Engineering. 38 (2011)*.pp. 248–255.

10- Mavedatnia,H., Bakhtiari,M., Bahrami,H. and Behdarvandi Asgar,M.2014. Prediction of Wave Characteristics in Imam Khomeini Port Using Artificial Neural Network Software. Thesis, *Khorramshar University of Marine Science and Technology*.120p.

11- Shahidi,A.E.,Moeini,M.H. and Kazeminezhad,M.H.,2010.Wind –induced Waves: theory, prediction methods and models. *Iran University of Science and Technology*. .(In Persian).

12- Taleghani, M.and Amir Teimori,A. 2008. Projection of Caspian Sea Waves Using Artificial Neural Network. *Journal of Applied Mathematics.,5(18),*Pp.39-47.(In Persian).

13- Tsai, C.P., Lin, C., Shen, J.N., 2002. Neural network for wave forecasting among multi- stations. Journal of *Ocean Engineering 29*.pp.1683–1695.

14- Zamani, A., Solomatine, D., Azimian, A. and Heemink ,A. 2008. Learning from data for wind wave forecasting. *Journal of Waterway Port Coastal & Ocean Engineering .35*.pp. 953–962.

15- Zarghani.2006. Prediction of distant waves from the island of Khark. *Thesis, Science and Reacherch Branch Islamic University of Tehran*, Iran. 131p. (In Persian).

Irrigation Sciences and Engineering Vol. 41, No. 2, Summer 2018, p. 151-166

Shahid Chamran University of Ahvaz

EXTENDED ABSTRACT

Height prediction of the Wind – Induced Waves using Adaptive – Network –Based Fuzzy Inference System, Decision Tree and Empirical Methods (Case study: Bushehr Port) Bushehr Port

L. Bozorgzadeh[1], M. Bakhtiari[2*], N. ShahniKaramzadeh[3] and M. Esmaeel Doust[4]

1- Master of science coastal Engineering , Khorramshhar university of Marine Sciecne and Technology.

2*- Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Maine Structures , Khorramshhar University of Marine Sciecne and Technology.*(mortezabakhtiari@yahoo.com)*

3- Assistant Professor, Department of Maine Structures , Khorramshhar university of Marine sciecne and Technology.

4- Assistant Professor , Department of marine Electronic and communication Engineering , Khorramshhar University of Marine Sciecne and Technology.

Received:15 October 2016 Accepted:19 February 2017

Keywords: Wind – induced waves, Waves height, Adaptive – Network –Based Fuzzy Inference System, Decision tree, Bushehr port.

Introduction

Derived Information from the predicted waves will be the basis for engineering design and plays an important role in the construction, maintenance and management of coastal and offshore construction projects. The wind-induced-waves due to having high energy and frequency are of great importance in the sea. In this research, the adaptive network based fuzzy inference system was selected to predict the waves' characteristics.. Study About prediction of wave Characteristics is carried out by several researchers. Zarghani et al (2006) studied the characteristics of wind-induced waves at the coast of Khark island They used the SPM model to conduct the survey. The results obtained from the model showed that the highest wave was 3.7 m with rotation period of 6.8 seconds. Taleghani and Amirteimori (2008) used the field data of the Caspian Sea waves measured by a waveguide buoy in an artificial neural network. Finally, the comparison of real data measured by the measurement systems with the results of the neural network is a good match that indicates the accuracy and speed of the method used in the short term. Kamranzad and Etemad Shahidi (2011) studied the prediction of wind-induced waves in Assaluyeh using the SWAN numerical model. The validation results of the model showed that the results of calibration model have a good accuracy. The calculated error indices in validation periods also showed the acceptable accuracy of SWAN modeling. Therefore, the constructed model had the ability to predict wave height and period of time in Assalouyeh. In order to do present research, the Adaptive Nero-Fuzzy Inference System as one of the soft computing methods is used. The study area chosen Bushehr and forecasts for the period December 2008 to 2010 is considered. The results showed that, in prediction height of wave induced by wind, accuracy of the Adaptive Nero-Fuzzy Inference System and decision tree are same and are higher than the empirical methods. The comparison results of prediction from empirical methods showed that among the experimental methods, SMB method with high correlation coefficient and less error percent than the other experimental methods has higher accuracy in estimating height of waves in addition the SPM method is not suitable method for determining the height of waves and under estimated the real values.

Methodology

İn this research used two soft computational methods and three emperical mthods.

Adaptive Neuro-Fuzzy Interference System & Decision tree

Modify network-based fuzzy inference (ANFIS) is a combination of two soft-computing methods of ANN and fuzzy logic. Fuzzy logic has the ability to change the qualitative aspects of human knowledge and insights into the process of precise quantitative analysis. However, it does not have a defined method that can be used as a guide in the process of transformation and human thought into rule base fuzzy inference system (FIS), and it also takes quite a long time to adjust the membership functions (MFs). Unlike ANN, it has a higher capability in the learning process to adapt to its environment.

Decision-tree induction algorithms are highly used in a variety of domains for knowledge discovery and pattern recognition. They have the advantage of producing a comprehensible classification/regression model and satisfactory accuracy levels in several application domains, such as medical diagnosis and credit risk assessment. In this chapter, we present in detail the most common approach for decision-tree induction: top-down induction. Furthermore, we briefly comment on some alternative strategies for induction of decision trees. Our goal is to summarize the main design options one has to face when building decision-tree induction algorithms. These design choices will be specially interesting when designing an evolutionary algorithm for evolving decision-tree induction algorithms.

Results and Discussion

The Extracted result of this study was in five sections including the neuro-fuzzy, decision tree, SMB,SPM and CEM. In this part results of the neuro-fuzzy and decision method are illustrated within the graph and other results are summarized in Table (1).

Evaluation of the results of the implementation of comparative neuro-fuzzy network comparison with observed wave

Using the relations of the neuro-comparative inference method, the wave height was calculated and its dispersion graph was plotted in the form of a time series graph Fig (1).

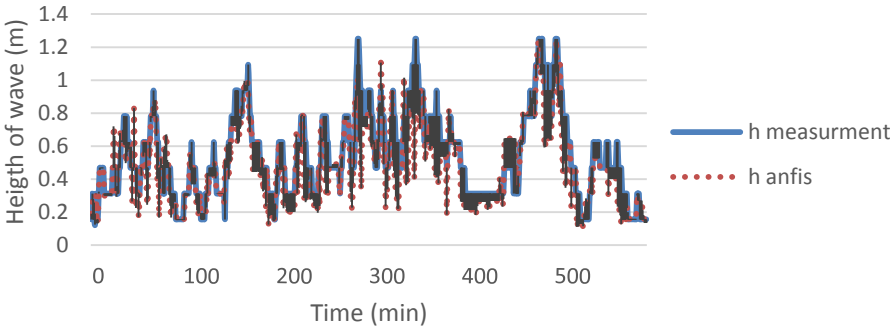


Fig 1- Comparison of the received wave height from the comparative fuzzy neural network approach to the observed wave using a three-hour time series

Evaluation the results of the decision tree implementation compared to the observed wave

Using the relations of the **decision** tree method, the wave height was calculated and its dispersion graph was plotted in the form of a time series graph Fig (2).

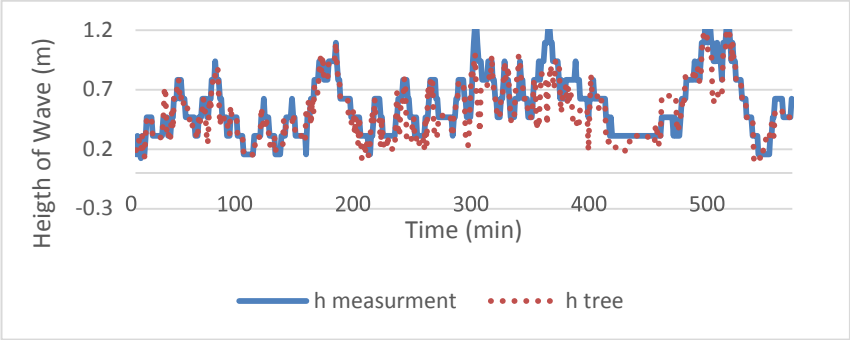


Fig 2- Comparison of the received wave height from the Decision tree relative to the observed wave using a 3-hour time series

In order to verify the accuracy of the mentioned models, their statistical errors are calculated. The root mean square error, the coefficient of correlation of the indices considered in the evaluation of the models in tables (1) are shown for three hour forecasts respectively, respectively.

Table 1- Comparison of Errors Used in Wave Height Forecasting for Three Hour Estimates

Height of Wave	r	RMSE
Neuro-fuzzy	86	0.16
Decision tree	83	0.14
SMB	79	0.24
SPM	72	0.3
CEM	75	0.27

The results of the study showed that the predictions for shorter periods in the neural-fuzzy inference network are more consistent with field record data. This means that the increase in the modeling time period will reduce the accuracy of the results. This result is consistent with the results of other researchers, including Kamranzad et al (2011). According to the form of the equation governing the optimal training algorithm, the reason for this conclusion is that the correlation of the wave height with the previous characteristics of the wave and the wind was lower in higher periods of time.

Conclusions

In general, the results of this study can be summarized as follows that The annual windfall and wind abundance of the Bushehr port indicate that the northwest wind dominates with 16.15 percent. And the highest frequency of wind speed is between one to four meters per second with 63.2%. Comparison of prediction results by empirical methods shows that SMB method with more correlation coefficient and lower error rate than most other experimental methods have the highest accuracy in calculations in estimating wave height. In addition, the SPM method is the most inappropriate way to determine the wave height and predict the wave height downstream. Also, the results show that increasing the forecast distance from three hours to six hours leads to a reduction in the accuracy of predictions. The results also show that the accuracy of the ANFIS models and the decision tree is similar and that the accuracy of the experimental models is higher; the ANFIS's errors in predicting wave height are less than other wave prediction methods.

References

1- Kamranzad, B. and Etemad Shahidi,A.2011. Prediction of wind waves in Assaluyeh using numerical model. Thesis. *Iran University of Science and Technology*. 120p.(In Persian).

2- Taleghani, M.and Amir Teimori,A. 2008. Projection of Caspian Sea Waves Using Artificial Neural Network. *Journal of Applied Mathematics.,5(18),*Pp.39-47.(In Persian).

3- Zarghani.2006. Prediction of distant waves from the island of Khark. *Thesis, Science and Reacherch Branch Islamic University of Tehran*, Iran. 131p. (In Persian).