



## پیش بینی ارتفاع امواج ناشی از باد با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی

جواد محجوبی، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشگاه علم و صنعت ایران

تلفن: ۰۹۱۵۱۲۵۴۲۱۱ پست الکترونیکی: [j\\_mahjoobi@civileng.iust.ac.ir](mailto:j_mahjoobi@civileng.iust.ac.ir)

امیر اعتماد شهیدی، دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

تلفن: ۰۲۱- 7896623 پست الکترونیکی: [etemad@iust.ac.ir](mailto:etemad@iust.ac.ir)

محمد حسین کاظمی نژاد، کارشناس ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشگاه علم و صنعت ایران

تلفن: ۰۹۱۲۳۱۸۳۰۸۲ پست الکترونیکی:

### چکیده

تخمین ارتفاع امواج در طراحی سازه های ساحلی و فرا ساحلی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در همین راستا مدل ها و روش های متعددی برای پیش بینی پارامترهای امواج دریا ابداع شده که از آن جمله می توان به مدل های طیفی و عددی و روش های تجربی اشاره نمود. در سال های اخیر با شناخته شدن ابزار محاسبات نرم به عنوان روشی نوین در ایجاد سیستم های هوشمند، این ابزار در بسیاری از رشته های مهندسی مورد استفاده قرار گرفته است. ابزار محاسبات نرم شامل شبکه های عصبی مصنوعی، سیستم استنباط فازی و الگوریتم های تکاملی می باشد. در این تحقیق با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی چند لایه پرسپترون و الگوریتم انتشار به سمت عقب، و به کارگیری اطلاعات میدانی ثبت شده دریاچه آنتاریو در سالهای ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵، شبکه های متفاوتی از نظر تعداد گره های لایه میانی، برای پیش بینی ارتفاع موج شاخص، ساخته شده و نتایج با یکدیگر مقایسه شده اند. و در پایان شبکه ای که دارای کمترین مقدار خطا در پیش بینی مذکور می باشد مشخص شده است.

کلید واژه : ارتفاع موج شاخص، پیش بینی، شبکه های عصبی مصنوعی

### ۱- مقدمه

برنامه ریزی برای ایجاد و توسعه فعالیتها و پروژه های اقتصادی در حیطه کارهای دریایی با استفاده از آمار درازمدت شرایط محیطی از جمله امواج صورت می گیرد. امواج ناشی از باد از مهمترین عوامل در طراحی سازه های ساحلی و فراساحلی می باشند. بنابراین شناخت دقیق مشخصات امواج ناشی از باد به دلیل انرژی بالای آنها، برای طراحی سازه های ساحلی و فراساحلی مورد نیاز می باشد. طراح سازه های دریایی می بایست یک درک کلی از مبانی تولید موج، رفتار و مشخصات موج داشته باشد تا بتواند نیروهای ناشی از این امواج را محاسبه نماید. در این رابطه شناخت مشخصات موج در آب عمیق و تغییرات ایجاد شده روی مشخصات موج حین انتقال آن از آب عمیق به آب کم عمق نیز لازم می باشد. در نظر گرفتن ارتفاع امواج کمتر از مقدار واقعی باعث خرابی سازه ای و تخمین دست بالای آن موجب غیراقتصادی شدن طرح می گردد.



ساحلی نیز، ارتفاع موج مهمترین پارامتری است که به طور مستقیم در محاسبه نرخ انتقال رسوب مؤثر می‌باشد. همچنین در بررسی پدیده‌های فرسایش سواحل و یا آبستگي پای سازه‌ها و لوله‌های کف دریا، ارتفاع امواج (و جریان‌های ناشی از شکست آنها) از اهمیت بسیاری برخوردار است. برای تهیه مشخصات امواج جهت محاسبات مهندسی باید اطلاعات آماری کافی در طول یک دوره زمانی مناسب موجود باشد. به دلیل اینکه طراحی اکثر پروژه‌های دریایی و ساحلی براساس آمار درازمدت امواج صورت می‌پذیرد، وجود اطلاعات درازمدت امواج الزامی می‌باشد. با توجه به اینکه آمار و اطلاعات امواج در کشور ما و بسیاری از کشورهای دیگر به اندازه کافی و در دوره زمانی مناسب اندازه‌گیری و ثبت نشده است، لذا می‌بایست با بهره‌گیری از روشهای مناسب پیش‌بینی امواج و آمار ثبت شده باد، آمار درازمدت امواج را تولید نمود. طبیعی است هر چه میزان دقت روش استفاده شده بیشتر باشد، طرح مورد نظر از قطعیت بیشتری برخوردار خواهد بود. در همین راستا در دهه‌های گذشته، مدلها و روشهای متعددی برای پیش‌بینی پارامترهای امواج و مدلسازی امواج دریا توسعه یافته است که در میان آنها می‌توان به روشهای تجربی و مدل‌های طیفی - عددی اشاره نمود. روشهای ابزار محاسبات نرم به عنوان یک ابزار جدید ارتفاع موج شاخص را بر اساس پارامترهای متفاوتی مانند سرعت باد، طول موجگاه، مدت تداوم باد و دمای آب و ... محاسبه می‌کنند، شبکه‌های عصبی، سیستم استنباط فازی و ترکیب سیستم استنباط فازی با الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند شبکه عصبی (ANFIS) و الگوریتم ژنتیک از این نوع می‌باشند. در این مقاله با استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی، ارتفاع امواج ناشی از باد، پیش‌بینی شده است. همچنین اهمیت نسبی ورودی‌های شبکه نیز محاسبه شده است.

## ۲- مروری بر مطالعات قبلی

در گذشته چندین مطالعه در زمینه بکارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی امواج انجام شده است ([Agrawal and Deo \(2002\)](#) [1] تحقیقی را ارائه دادند که در آن با استفاده از شبکه عصبی، مدلی برای پیش‌بینی ارتفاع امواج ارائه شد که بر اساس ارتفاع امواج در ساعات قبلی، ارتفاع امواج در ساعات بعدی پیش‌بینی می‌شود. با استفاده از مدل ساخته شده، ارتفاع امواج برای دوره زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت پیش‌بینی شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل ساخته شده برای پیش‌بینی ارتفاع امواج در ۳ و ۶ ساعت آینده دقت خوبی دارد. ([Tsai et al. \(2002\)](#) [2] با استفاده از شبکه عصبی، ارتفاع امواج در یک ایستگاه را بر اساس ارتفاع امواج در ایستگاههای مجاور آن پیش‌بینی کرده‌اند. البته در این تحقیق میانگین ارتفاع روزانه امواج پیش‌بینی شده است و برای آموزش شبکه نیز از همین اطلاعات استفاده شده است.

([Deo et al. \(2001\)](#) [3] با استفاده از شبکه عصبی ارتفاع و پرپود موج را پیش‌بینی نموده‌اند. در این تحقیق مدلی ساخته شده است که ورودیهای آن سرعت باد، طول موجگاه و زمان تداوم باد می‌باشد و خروجیهای آن ارتفاع و پرپود موج می‌باشد. این مدل براساس اطلاعات ۳ ایستگاه بطور جداگانه ساخته و



توسط بویه در آب عمیق توسعه یافته است از دقت بیشتری برخوردار بوده ولی در عین حال ضریب پیوستگی بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده ارتفاع امواج تقریباً ۰/۶ بدست آمده است. مطالعات مشابه دیگری نیز در زمینه پیش‌بینی امواج انجام شده است که می‌توان به کار **Makarynskyy (2004)** اشاره نمود. [4]

### ۳- روش شبکه های عصبی مصنوعی

شبکه های عصبی از نسل جدید تکنیکهای داده کاوی بشمار می آیند که در دو دهه اخیر توسعه زیادی یافته اند. از این تکنیک هم می توان برای کشف و استخراج دانش از یک پایگاه داده ها و هم برای ایجاد مدل‌های پیش بینی استفاده نمود. شبکه‌های عصبی ایده‌ای است که قصد دارد با استفاده از مدل‌های ریاضی و توان کامپیوتر برخی از جنبه های ساده مغز انسان را شبیه سازی کند.

می توان ایده شبکه عصبی مصنوعی را به صورت ذیل تشریح نمود:

- مجموعه ای از گره ها (واحدها، نرون ها، عناصر محاسباتی)

- هر گره ورودی و خروجی دارد.

- هر گره بر اساس تابعی خاص محاسبه ساده‌ای انجام می دهد.

- بین گره ها، اتصالات موزون وجود دارد.

- اتصالات بر اساس معماری شبکه مشخص می‌شوند.

- نتیجه یک شبکه تابعی بسیار پیچیده از ارتباطات موزون می‌باشد.

برای مطالعات بیشتر به منابع [5], [6], [7] مراجعه شود.

### ۳-۱- شبکه های عصبی با تغذیه رو به جلو (Feed Forward)

شکل (۱) یک شبکه عصبی رو به جلو را نشان می دهد که مقدار خروجی را از روی مقادیر ورودیها محاسبه می کند. ساختار این شبکه از نمونه شبکه های متداول برای پیش بینی می باشد. واحد ها در سه نوع لایه سازماندهی شده اند. لایه سمت چپ به ورودیها وصل است. که این ورودیها به مقیاس بین ۰ تا ۱ تبدیل شده اند این واحد ها را لایه های ورودی می نامند. هر واحد لایه ورودی دقیقاً به یکی از منابع متصل است. لایه بعدی لایه پنهان نام دارد و علت این نامگذاری این است که نه به ورودیهای شبکه متصل است و نه به خروجیهای آن. تمام واحدهای این لایه به تمام واحدهای لایه قبل متصل هستند یک شبکه عصبی می تواند دارای هر تعدادی لایه پنهان باشد ولی معمولاً یک لایه پنهان کافی می باشد. هر چه تعداد لایه های پنهان بیشتر باشد شبکه بیشتر و بهتر می تواند الگوها تشخیص دهد ولی با افزایش تعداد لایه های پنهان شبکه الگوهایی که یکبار تکرار شده اند را نیز شناسایی می کند. هدف، تعمیم الگوها می باشد نه حفظ و به حافظه سپردن آن. در واقع سعی بر آن است که شبکه الگوها را شناسایی کند و الگوهای کلی را تعمیم دهد نه اینکه تمامی داده ها را بخاطر بسپرد. برای جلوگیری از این کار لایه های پنهان را نباید زیاد در نظر بگیریم. این مسائل سبب شده تعیین تعداد لایه های پنهان همواره مساله ای مورد بحث باشد و علت آن این است که هنوز معیار با دلیل و دقیقی برای تعیین لایه های پنهان مشخص نشده است. آخرین واحد که در سمت راست شبکه است لایه خروجی می باشد این واحد به تمامی خروجیهای لایه پنهان قبلی متصل می باشد.



### ۳-۲- تنظیم شبکه توسط انتشار معکوس (Back Propagation)

آموزش شبکه عبارت است از فرآیند تعیین بهترین وزنهای هر واحد در شبکه عصبی. هدف این است که با استفاده از مثالهای مجموعه آموزشی وزنهای طوری تعیین شوند که خروجی شبکه برای بسیاری از مثالهای مجموعه آموزشی تا آنجا که ممکن است به مقدار خروجی مطلوب (واقعی) نزدیکتر باشد. متداولترین روش برای اینکار روش انتشار معکوس است که از مراحل زیر تشکیل شده است:

۱- شبکه مثالهای آموزشی را دریافت کرده و با استفاده از وزنهای موجود خروجی یا خروجیهای شبکه را محاسبه می کند.

۲- با استفاده از اختلاف بین نتیجه مطلوب مقدار واقعی خطا محاسبه می شود.

۳- خطا بطور معکوس به شبکه تغذیه شده و وزنهای طوری اصلاح می شوند که خطا حداقل شود.

در پایان باید به این نکته توجه داشت که معمولاً مدل‌های بدست آمده در شبکه های عصبی در مدت کوتاهی کارا می باشند و باید در طول زمان بروز در آیند. یعنی با گذشت زمان باید عملکرد شبکه بطور مداوم مورد بررسی قرار گیرد و در صورت زیاد شدن خطا در مدل تجدید نظرهایی صورت گیرد.

### ۴- داده های مورد استفاده

داده های مورد استفاده در این مطالعه، شامل داده های باد و موج دریاچه آنتاریو، (Lake Ontario) از ۲۷ ماه اکتبر تا ۹ ماه نوامبر سال ۲۰۰۴ و ۶ ماه اکتبر تا ۱ ماه دسامبر سال ۲۰۰۵ می باشد که توسط مرکز اطلاعات بویه ملی (National Data Buoy Center) در ایستگاه ۴۵۰۱۲ در عرض جغرافیایی  $37^{\circ} 37' 09'' N$  و  $77^{\circ} 24' 18'' W$  جمع آوری شده است. شکل (۲). دریاچه آنتاریو چهاردهمین دریاچه بزرگ جهان است می باشد و در آمریکای شمالی واقع است. دریاچه آنتاریو در بین دریاچه های کبیر چهارمین رتبه را از نظر حداکثر عمق دارد ولی از نظر میانگین عمق در رده دوم قرار دارد. مشخصات این دریاچه در جدول ۱ آورده شده است.

### ۵- شبکه به کار گرفته شده و ارائه نتایج

با استفاده از سرعت و جهت باد، مدت زمان تداوم وزش باد و طول موجگاه، با توجه به روابط موجود

محاسبه شده است. (CEM(2003) [8].

از آنجا که یک شبکه سه لایه، به ترتیب شامل لایه های ورودی، میانی و خروجی قادر به تقریب هر تابع غیر خطی ریاضی می باشد لذا در این مقاله نیز از یک شبکه سه لایه تغذیه رو به جلو با الگوریتم انتشار به عقب برای پیش بینی ارتفاع امواج استفاده شده است. پارامترهای ورودی برای مدل شبکه عصبی، سرعت باد، جهت باد، مدت زمان تداوم وزش باد و طول موجگاه می باشد و در خروجی، ارتفاع موج در نظر گرفته شده است. اعداد گره‌های ورودی به تعداد و نوع ویژگی‌های مجموعه داده‌ها (در اینجا ۴ گره) تعداد گره‌های خروجی به نوع عملیات پیش بینی (در اینجا ۱ گره) بستگی دارد. لیکن تعداد گره‌ها (نرون‌های)



آقایان هانگ و فو در سال ۲۰۰۲ در مقاله خود فرمول زیر را برای تعداد گره های لایه میانی برای جلوگیری از بیش برآزش داده ها ارائه کردند [9]

$$h = 2z + 1 \quad (1)$$

که در آن  $h$  تعداد گره های لایه میانی و  $z$  تعداد گره ها در لایه ورودی می باشد. در این مقاله با توجه به فرمول فوق و سعی و خطا برای ۲ تا ۱۰ نرون در لایه میانی شبکه های مختلف ایجاد و با هم مقایسه شده اند.

برای آموزش شبکه از اطلاعات سال ۲۰۰۴ دریاچه آنتاریو و برای تست شبکه از داده های سال ۲۰۰۵ آن دریاچه استفاده شده است.

بمنظور محاسبه میزان خطا در پیش بینی ارتفاع موج، از پارامتر انحراف (Bias) و شاخص پراکندگی (SI) و ضریب همبستگی (R) استفاده شده است. این سه پارامتر مطابق روابط زیر محاسبه شده است:

$$\text{Bias} = \bar{y} - \bar{x} \quad (1)$$

$$SI = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum ((y_i - \bar{y}) - (x_i - \bar{x}))^2}}{\bar{x}} \quad (2)$$

$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

که در هر سه فرمول فوق  $x_i$  داده های اندازه گیری شده،  $y_i$  داده های پیش بینی شده،  $\bar{x}$  میانگین داده های اندازه گیری شده و  $\bar{y}$  میانگین داده های پیش بینی شده می باشند.

خطای برخی از شبکه های ایجاد شده در جدول شماره ۲ آورده شده است و همانگونه که مشاهده می شود کمترین مقدار خطا مربوط به شبکه ای با ۷ گره در لایه میانی می باشد، و این نشان دهنده آن است که هنوز معیار با دلیل و دقتی برای تعیین تعداد گره های لایه پنهان مشخص نشده است و فرمول آقای هانگ نیز در این زمینه نمی تواند شبکه ای با کمترین خطا را حاصل کند. در شکل ۳ مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده ارتفاع موج توسط شبکه عصبی با کمترین میزان خطا را نشان می دهد. در این مقاله اهمیت نسبی ورودی ها نیز توسط شبکه عصبی محاسبه شده و در جدول شماره ۳ آورده شده است. همانگونه که مشاهده می شود سرعت و جهت باد بیشترین تاثیر را در بین ورودی دارا می باشد.

#### ۶- نتیجه گیری

www.civiliran.com, www.ccsofts.com, www.anjomanelmi.com

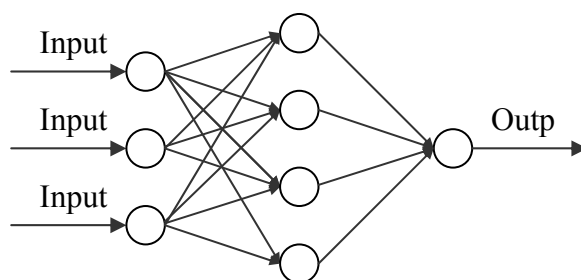
می باشند. خرابی های ناشی از تخمین پایین دست ارتفاع امواج در سازه های دریایی یا در نقطه مقابل غیر



اقتصادی شدن طرح به علت تخمین بالای ارتفاع امواج، همگی حاکی از اهمیت پیش بینی های مشخصات امواج می باشد. امواج ناشی از باد به دلیل انرژی بالایشان از اهمیت فراوانی در پروژه های ساحلی و دریایی برخوردار می باشند. در این مقاله با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی سه لایه، و آزمودن تعداد متفاوت گره در لایه میانی این پیش بینی انجام شده است و همچنین از بین ورودی های داده شده به شبکه سرعت و جهت باد به عنوان تاثیر گذارترین عوامل در ایجاد امواج شناخته شده اند.

## 7- مراجع

- [1] Agrawal, J.D., Deo, M.C., 2002. "On-line wave prediction", Mar. Struct. 15, 57-74
- [2] Tsai, C.P., Lin, C., Shen, J.N., 2002. "Neural network for wave forecasting among multi stations", Ocean Engineering, Vol. 29, pp.1683-1695.
- [3] Deo, M.C., Jha, A., Chaphekar, A.S., and Ravikant, K. (2001). "Neural networks for wave forecasting", Ocean Engineering, Vol. 28, pp. 889-898.
- [4] Makarynsky, O. (2004). "Improving wave predictions with artificial neural networks", Ocean Engineering, Vol. 31, pp. 709-724.
- [5] Haykin, S., 1994. Neural Networks. A Comprehensive Foundation. Macmillan College Publishing Company, New York, 696 p.
- [6] منہاج، محمد باقر (۱۳۸۱) "مبانی شبکه های عصبی" تهران: مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- [7] غضنفری، مهدی - کاظمی، زهره (۱۳۸۱) "مبانی هوش مصنوعی" تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت
- [8] Coastal Engineering Manual. (2003). Chapter II-2, Meteorology and Wave Climate. Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- [9] Huang, W., Foo, S., 2002. Neural network modelling of salinity variation in Apalachicola river. Water Research 36, 356-362



شکل ۱: شبکه عصبی با تغذیه رو به جلو



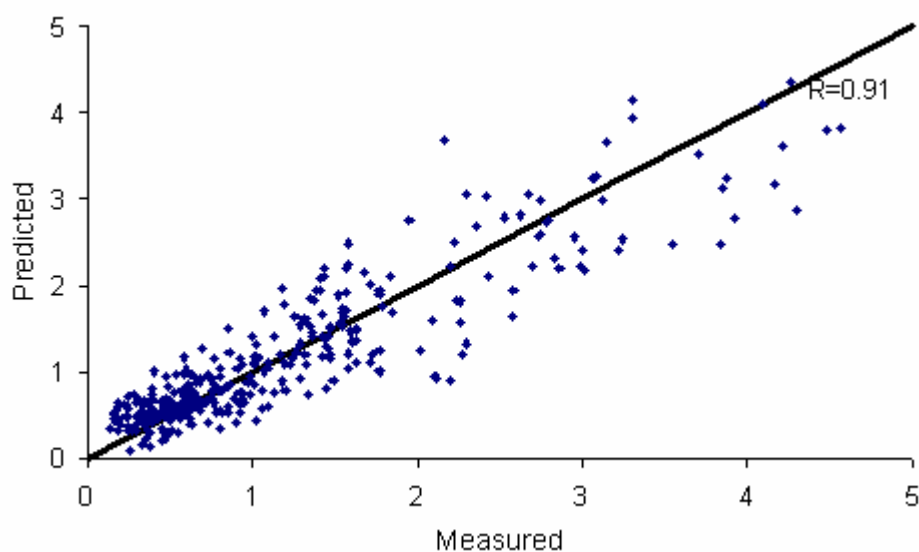
Shoreline Length(km)	Volume ( $km^3$ )	Water Surface Area( $km^2$ )	Max Depth(m)	Ave Depth(m)	Breadth (km)	Length (km)
<b>1168.38</b>	<b>1640</b>	<b>19010.42</b>	<b>244</b>	<b>86</b>	<b>85.3</b>	<b>311</b>



شکل ۲: دریاچه آنتاریو و موقعیت ایستگاه ۴۵۰۱۲

جدول ۲: خطای مدل‌های شبکه عصبی در پیش بینی ارتفاع موج

neurons in the input × hidden × output layers	Bias	SI (%)	R
4×2×1	-0.005	32.75	0.9
4×7×1	0.002	32	0.91
4×8×1	0.048	40.98	0.85
4×9×1	0.0568	38.9	0.87
4×10×1	0.083	40.9	0.86



شکل ۳: مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده ارتفاع موج توسط شبکه عصبی با کمترین میزان خطا

جدول ۳: اهمیت نسبی ورودی ها

ورودی ها	اهمیت نسبی ورودی ها
سرعت باد	0.79
جهت باد	0.11
طول موجگاه	0.06
زمان تداوم باد	0.04