Archive of SID

یادداشت فنی:

پیش‌بینی پارامترهای امواج ناشی از باد در دریای خزر با استفاده از روش درختان تصمیم رگرسیونی و شبکه های عصبی مصنوعی

جواد محجوبی[۱]، حسین اردلان صمغی[۲]

۱- کارشناس ارشد سازه‌های هیدرولیکی، موسسه تحقیقات آب
۲- کارشناس ارشد مهندسی آب، موسسه تحقیقات آب

چکیده

پیش‌بینی مشخصات امواج یکی از موضوعات مهم در مهندسی سواحل و بنادر می‌باشد. در همین راستا مدل‌ها و روش‌های متعددی برای پیش‌بینی پارامترهای امواج دریا ابداع شده است. در سال‌های اخیر با شناخته شدن ابزار محاسبات نرم به عنوان روشی نوین در ایجاد سیستم‌های هوشمند، این ابزار در پیش‌بینی پارامترهای امواج دریا مورد استفاده قرار گرفته‌است. درخت‌های تصمیم‌گیری از ابزارهای قوی و متداول برای دسته‌بندی و پیش‌بینی می‌باشند. در این تحقیق با استفاده از درخت‌های تصمیم رگرسیونی به عنوان یکی از ابزارهای داده‌کاوی، پیش‌بینی مشخصات امواج ناشی از باد در دریای خزر انجام شده است. بدین منظور از اطلاعات میدانی مربوط به دریای خزر در بندر امیرآباد و منطقه نکا استفاده شده است. نتایج حاصل از درخت‌های تصمیم‌گیری با روش شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج حاکی از نزدیکی دقت دو روش در پیش‌بینی پارامترهای امواج ناشی از باد می‌باشد. همچنین سرعت مدل‌سازی و اجرای درخت‌های تصمیم‌گیری بمراتب بیشتر از شبکه‌های عصبی می‌باشد.

کلمات کلیدی: پیش‌بینی، موج، درخت‌های رگرسیونی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، امیرآباد، نکا

PREDICTION OF PARAMETERS OF WIND-INDUCED WAVES IN THE CASPIAN SEA USING REGRESSION TREES AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

J.Mahjoobi[1], H.Ardalan Somghi[2]

1-Master of science in civil engineering, Water research institute
2-Master of science in civil engineering, Water research institute

Abstract

Prediction of wave parameters is necessary for many applications in coastal and offshore engineering. In the literature, several approaches have been proposed to wave predictions classified as empirical based, soft-computing based and numerical based approaches. Recently, soft computing techniques such as Artificial Neural Networks (ANNs) have been used to develop wave prediction models. In this work, the performance of regression trees for prediction of wave parameters was investigated. The data set used in this study comprises of wind and wave data gathered in Caspian Sea. Results of regression trees were compared with those of artificial neural networks. Results indicate that error statistics of regression trees and artificial neural networks were nearly similar. In addition, regression trees need lower run-time.

Keywords: Prediction; Wave; Regression Trees; Artificial Neural Networks; Amir-Abad; Neka

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

تاثیر امواج بر فعالیت‌های مرتبط با محیط دریا از قبیل ساخت و نگهداری سازه‌های ساحلی و فرا ساحلی، کشتیرانی و حمل و نقل دریایی، حفاظت از سواحل و حفظ محیط زیست موجب شده است تا روش‌های گوناگونی برای تعیین مشخصه‌های موج توسط محققین ارایه شود. 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 و ابزار محاسبات نرم اشاره نمود. مدل‌های طیفی- عددی بر اساس حل معادله تعادل انرژی طیف استوار هستند و برای استفاده از این مدل‌ها، اطلاعات گسترده و دقیق 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 برای طراحی اولیه و حتی طراحی‌های نهایی غیراقتصادی می‌باشد. بدین ترتیب در برخی از موارد، مهندسین پارامترهای امواج مانند ارتفاع موج شاخص و یا پریود موج شاخص و یا پریود قله طیف را از مدل‌های ساده و روش‌های تجربی که بر اساس فرض دائمی و یکنواخت بودن میدان باد می‌باشد پیش‌بینی می‌کنند. مبنای اصلی روش‌های تجربی یک سری روابط بین پارامترهای بدون بعد موج است. در این روش‌ها بر اساس قوانین مکانیک سیالات، اعداد بدون بعدی ساخته شده و ضرایب تجربی روابط با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی تعیین می‌شوند. روش‌های ابزار محاسبات نرم به عنوان یک ابزار جدید ارتفاع موج شاخص، پریود موج شاخص و یا پریود قله طیف را بر اساس پارامترهای متفاوتی مانند سرعت باد، جهت 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 شبکه‌عصبی و الگوریتم ژنتیک از این نوع می‌باشند. در گذشته مطالعاتی در زمینه بکارگیری روش‌های مختلف در پیش‌بینی امواج دریای خزر انجام شده، که به برخی از آن‌ها اشاره می شود:

لاری (۱۳۷۶)، ساجدی اسکویی(۱۳۸۲)، عظام (۱۳۸۳)، همتی (۱۳۸۴)، کاظمی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۳)، حاج‌بابایی (۱۳۸۲)، صادقی و همکاران (۱۳۸۳)، لایقی (۱۳۸۲)، چگینی و همکاران (۱۳۸۷) گلشنی و همکاران (۲۰۰۵).

از دیگر روش‌هایی که در یادگیری ماشین[1] کاربرد فراوان دارند، درخت‌های تصمیم‌گیری می‌باشند. در این مقاله با استفاده از درخت‌های رگرسیونی، پیش‌بینی ارتفاع و پریود امواج در دو منطقه نکاء و امیرآباد مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور از الگوریتم CART[2] استفاده شده است. (الگوریتم CART که یکی از معروفترین روش‌های انجام درخت تصمیم‌گیری است بوسیله Breiman et al. (1984) ایجاد گردید.) نتایج حاصل از درخت‌های رگرسیونی با روش شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه مقایسه شده‌است.

۲- درخت‌های تصمیم‌گیری[3]

درخت‌های تصمیم‌گیری از نسل جدید تکنیک‌های داده‌کاوی بشمار می‌آیند که در دو دهه اخیر توسعه زیادی یافته‌اند. از این تکنیک هم می‌توان برای کشف و استخراج دانش از یک پایگاه داده‌ها و هم برای ایجاد مدل‌های پیش‌بینی استفاده نمود. این تکنیک بدلیل توسعه‌هایی که اخیرا یافته‌است بعنوان یک ابزار داده‌کاوی بسیار متداول شده‌است. برای مطالعه بیشتر در این زمینه به Mitchell (1997)، Hand et al. (2001) و Mehmed (2003) مراجعه شود.

۳- شبکه‌های عصبی مصنوعی[4]

هوش مصنوعی یکی از حوزه‌های بین رشته‌ای و پر کاربرد است و شاخه‌های بسیاری را مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی را شامل می‌شود. شبکه‌های عصبی

[1] Machine Learning
[2] Classification and Regression Trees
[3] Decision Trees
[4] Artificial Neural Networks (ANN)

www.SID.ir

Archive of SID

ایده‌ای است که قصد دارد با استفاده از مدل‌های ریاضی و توان کامپیوتر برخی از جنبه های ساده مغز انسان را شبیه‌سازی کند. یکی از کاربردهای بارز شبکه‌های عصبی مصنوعی در عملیات‌های داده‌کاوی می‌باشد تا آنجایی که حوزه‌ای، تحت عنوان داده‌کاوی بر مبنای شبکه‌های عصبی بوجود آمده است.

ایده شبکه عصبی مصنوعی را می‌توان به صورت ذیل تشریح نمود:

- مجموعه‌ای از گره‌ها (واحدها، نرون‌ها، عناصر محاسباتی)
- هر گره ورودی و خروجی دارد.
- هر گره براساس تابعی خاص محاسبه ساده‌ای انجام می‌دهد.
- بین گره‌ها، اتصالات موزون وجود دارد.
- اتصالات براساس معماری شبکه مشخص می‌شوند.
- نتیجه یک شبکه تابعی بسیار پیچیده از ارتباطات موزون می‌باشد.

برای مطالعات بیشتر به منهاج (۱۳۸۱) مراجعه شود.

۴- داده‌های مورد استفاده

۴-۱- بندرامیرآباد

بندر امیرآباد در کناره جنوب شرقی دریای خزر، در مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی واقع شده است. آمار باد استفاده شده در این تحقیق (برای پیش‌بینی امواج ناشی از باد در بندرامیرآباد) از ایستگاه هواشناسی بابلسر، که مشخصات باد شامل جهت و سرعت باد را در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین ثبت کرده است، استخراج شده است. ایستگاه سینوپتیک بابلسر نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه بندر امیرآباد می‌باشد. این ایستگاه در موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی واقع گردیده و در سال ۱۹۵۱ تاسیس شده است. برای داده‌های موج نیز از آمار داده‌های بویه موج‌نگار بندر امیرآباد که در عمق ۱۷ متری و در موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه و ۲۷ ثانیه شمالی و ۵۳ درجه و ۲۴ دقیقه و ۳۷ ثانیه شرقی نصب شده است، استفاده گردیده است. مدت زمان ثبت امواج توسط این بویه از تاریخ ۲۰۰۲/۲/۱۹ تا ۲۰۰۳/۳/۱۹ بوده که این داده‌ها همانند داده‌های باد به صورت کاملا ناپیوسته اندازه‌گیری شده‌اند. فاصله‌ی زمانی اندازه‌گیری مشخصات امواج ۲ ساعت می‌باشد. از بین داده‌های موجود، دو سوم برای ساخت و یک‌سوم برای ارزیابی مدل‌ها انتخاب شده است.

۴-۲- منطقه نکا

در این تحقیق از اطلاعات هواشناسی و موج‌نگاری ثبت شده در منطقه نکا در دوره زمانی نوامبر ۱۹۸۸ تا نوامبر ۱۹۸۹ استفاده شده است. لازم به یادآوری است که دستگاه موج نگار، اطلاعات مربوط به امواج را در فاصله زمانی ژوئن تا آگوست ۱۹۸۹ ثبت نکرده است. بویه توسط شرکت نفت خزر در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی نزدیک نکا در جایی که عمق آب ۴۸ متر می‌باشد مستقر شده است. بویه اطلاعات هواشناسی و موج‌نگاری را بصورت همزمان و در فواصل زمانی ۳ ساعته ثبت کرده است. تعداد کل داده‌ها ۲۳۰۹ داده می‌باشد.

۵- ساخت مدل درخت رگرسیونی و ارزیابی آن در مقایسه با شبکه‌های عصبی مصنوعی

۵-۱- بندر امیرآباد

با استفاده از الگوریتم CART درختان جداگانه‌ایی برای ارتفاع موج شاخص و میانگین دوره‌های تناوب عبور از صفر بالارونده ساخته شده است. پس از ساخت درخت تصمیم رگرسیونی و ارزیابی درخت ساخته شده ، بمنظور محاسبهٔ میزان خطا در پیش‌بینی ارتفاع و پریود موج، از پارامتر انحراف (Bias) و شاخص پراکندگی(SI) , ضریب همبستگی (R) و جذر متوسط مربع خطاها (RMSE) استفاده شده است.

مقادیر محاسبه شده پارامترهای خطا در جدول (۱) مشاهده می‌شود. میزان پارامتر انحراف برای ارتفاع امواج (۰,۰۱- متر) نشان دهنده تخمین دست پایین و

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار آن برای پریود امواج (۰,۲۱ ثانیه) نشان دهنده تخمین دست بالای الگوریتم CART می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود ضریب پراکندگی برای ارتفاع موج (۴۳,۳۶٪) تقریبا در حدود دو برابر مشابه آن برای پریود (۲۱,۳٪) موج می‌باشد.

در مجموع روش درخت‌های تصمیم‌گیری در پیش‌بینی مشخصات امواج ناشی از باد در بندر امیر آباد ارتفاع موج را کمی دست پایین و پریود موج را دست بالا پیش‌بینی می‌کنند. به نظر می‌رسد مهمترین منبع ایجاد خطا در پیش‌بینی مشخصات امواج استفاده از باد منطقه بابلسر برای منطقه دریایی امیرآباد که به فاصله ۶۶ کیلومتری از آن قرار دارد، می‌باشد.

در جدول (۲) خطای پیش‌بینی ارتفاع امواج برای امواج با ارتفاع کمتر از ۱ متر و امواج با ارتفاع بیشتر از ۱ متر به تفکیک ارائه شده است. با مشاهده خطاهای ذکر شده در جدول (۲) مشاهده می‌شود که ارتفاع محاسبه شده از روش درخت تصمیم‌گیری در مقادیر پایین (ارتفاع کمتر از ۱ متر) تطابق بهتری با داده‌های بویه‌ای دارند، در حالی که در مقادیر بالاتر(ارتفاع بیشتر از ۱ متر) اختلاف ارتفاع موج محاسبه شده با مقادیر اندازه‌گیری شده بیشتر است.

همچنین از آنجا که یک شبکه عصبی مصنوعی سه لایه، به ترتیب شامل لایه‌های ورودی، میانی وخروجی قادر به تقریب هر تابع غیر خطی ریاضی می‌باشد لذا در این مقاله نیز از یک شبکه سه لایه تغذیه رو به جلو با الگوریتم انتشار به عقب برای پیش‌بینی ارتفاع امواج استفاده شده است. پارامترهای ورودی برای مدل شبکه عصبی، سرعت باد و جهت باد، می باشد و در خروجی، ارتفاع و پریود امواج در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از روش شبکه‌های عصبی در جدول (۳) آورده شده است. با مقایسه نتایج بدست آمده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و درخت‌های تصمیم رگرسیونی، مشاهده می‌شود که دقت هر دو روش تقریبا یکسان می‌باشد.

جدول ۱- مقادیر پارامترهای مختلف خطا در پیش‌بینی ارتفاع و پریود موج (الگوریتم CART- امیرآباد)

پارامترهای خطا	Bias	SI (%)	R	RMSE
مقدار خطای حاصل از مدل درخت تصمیم در پیش‌بینی ارتفاع موج	-۰,۰۱	۴۳,۳۶	۰,۶۱	۰,۲۴
مقدار خطای حاصل از مدل درخت تصمیم در پیش‌بینی پریود موج	۰,۲۱	۲۱,۳	۰,۲	۰,۶۶

جدول ۲- مقادیر پارامترهای مختلف خطا در پیش‌بینی ارتفاع امواج (الگوریتم CART- امیرآباد)

پارامترهای خطا	Bias	SI (%)	R	RMSE
مقدار خطای پیش‌بینی ارتفاع امواج کمتر از ا متر	۰,۰۲	۰,۴۰	۰,۴۸	۰,۱۹
مقدار خطای پیش‌بینی ارتفاع امواج بیشتر از ۱ متر	۰,۳۹	۰,۴۰	۰,۱۸	۰,۴۸

جدول ۳ - مقادیر پارامترهای مختلف خطا در پیش‌بینی ارتفاع و پریود موج (روش شبکه های عصبی مصنوعی- امیرآباد)

پارامترهای خطا	Bias	SI (%)	R	RMSE
مقدار خطای حاصل از روش شبکه های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی ارتفاع موج	-۰,۰۲	۴۳,۸۶	۰,۶۱	۰,۲۴
مقدار خطای حاصل از روش شبکه های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی پریود موج	۰,۲۴	۲۱,۲۸	۰,۲۴	۰,۶۶

www.SID.ir

Archive of SID

برای مقایسه نتایج به دست آمده از پیش‌بینی مشخصات امواج ناشی از باد در بندر امیرآباد به کمک درخت‌های تصمیم رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی، از نتایج حاصل از مقاله چگینی و همکاران (۱۳۸۷) که در آن دقت و صحت روش‌های نیمه‌تجربی SMB، SPM، CEM و روش طیفی JONSWAP در آب‌های دور از ساحل بندر امیرآباد مورد ارزیابی قرار گرفته و همچنین مطالعه گلشنی و همکاران (۲۰۰۵) که با استفاده از روش عددی (نرم افزار Mike 21) که در این منطقه انجام شده استفاده شده است. داده‌های استفاده شده در ۲ مقاله مذکور با داده‌های به کاربرده شده در این تحقیق تقریبا یکسان می‌باشند. نتایج حاکی از آن است که به طور میانگین خطای حاصل از پیش‌بینی مشخصات امواج توسط روش‌های تجربی حدود دو برابر خطای مدل‌های به کار برده شده در این مقاله می‌باشد. به عنوان مثال جذر متوسط مربع خطاهای (RMSE) روش SPM که در مرجع مذکور به عنوان مناسبترین روش تجربی جهت پیش‌بینی مشخصات امواج انتخاب شده است، در پیش‌بینی ارتفاع موج ۰,۴۳ متر و دوره تناوب ۲ ثانیه می‌باشد. نتایج حاصل از ۲ مطالعه ذکر شده به همراه نتایج حاصل از این تحقیق به منظور مقایسه در جدول (۴) آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، در پیش‌بینی ارتفاع موج مقدار پارامترهای خطای RMSE, Bias, SI حاصل از مدل درختی از همه کمتر و میزان R حاصل از روش عددی از همه بیشتر می‌باشد. و در پیش‌بینی پریود موج مقدار پارامترهای Bias, RMSE حاصل از روش درختی از همه کمتر می‌باشد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت مدل‌های درختی و عصبی با دقت بیشتری نسبت به روش عددی پارامترهای امواج ناشی از باد در بندر امیرآباد را پیش‌بینی کرده‌اند.

جدول ۴- مقایسه خطای پیش‌بینی پارامترهای موج توسط روش‌های نیمه تجربی (SPM)، عددی، عصبی و درختی (امیرآباد)

پارامتر	ارتفاع موج (متر)				پریود موج (ثانیه)			
روش پیش‌بینی	نیمه تجربی (SPM)	عددی(Mike21)	عصبی	درختی	نیمه تجربی (SPM)	عددی(Mike21)	عصبی	درختی
Bias	-۰,۰۲۵	۰,۰۹	-۰,۰۲	-۰,۰۱	-۱,۴۱	۰,۰۲۷	۰,۲۴	۰,۲۱
RMSE	۰,۴۳	۰,۲۶	۰,۲۴	۰,۲۴	۲	۰,۷۳	۰,۶۶	۰,۶۶
R	۰,۳۴	۰,۷۸	۰,۶۱	۰,۶۱	۰,۱	۰,۳۷	۰,۲۴	۰,۲
SI (%)	۶۶	۴۵	۴۴	۴۳,۳۶	۴۵	۲۳	۲۱,۲۸	۲۱,۳

جدول ۵- مقادیر پارامترهای خطا در پیش‌بینی ارتفاع موج (نکا)

پارامترهای خطا	Bias	SI (%)	R	RMSE
مقدار خطای حاصل از مدل درخت تصمیم در پیش‌بینی ارتفاع موج	-۰,۰۲	۵۱	۰,۶۸	۰,۲۷
مقدار خطای حاصل از شبکه عصبی در پیش‌بینی ارتفاع موج	-۰,۰۳	۵۳	۰,۶۶	۰,۲۸
مقدار خطای حاصل از مدل درخت تصمیم در پیش‌بینی پریود موج	۰,۰۲	۱۹,۱۸	۰,۲۲	۱
مقدار خطای حاصل از شبکه عصبی در پیش‌بینی پریود موج	۰,۰۵	۱۸,۶۵	۰,۲۵	۱

www.SID.ir

Archive of SID

۵-۲- منطقه نکا

از میان داده‌های موجود، دو قسمت برای ساخت مدل‌ها و یک قسمت برای ارزیابی آن‌ها استفاده شده است. ورودی‌های ساخت درخت رگرسیونی، سرعت و جهت باد و خروجی آن نیز ارتفاع و پریود موج می‌باشد. با بکارگیری الگوریتم CART درخت رگرسیونی ساخته شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین مشابه قبل با استفاده از یک شبکه عصبی مصنوعی سه لایه تغذیه رو به جلو با الگوریتم انتشار به عقب پیش‌بینی مشخصات امواج انجام شده است. مقادیر محاسبه شده پارامترهای خطا در جدول (۵) مشاهده می‌شود.

همانگونه که در جدول (۵) مشاهده می‌شود. مقدار پارامتر انحراف هر دو روش در پیش‌بینی ارتفاع و پریود امواج بسیار ناچیز می‌باشد. میزان دقت هر دو روش بسیار به هم نزدیک بوده، در حالی که روش شبکه‌های عصبی اندکی بهتر از درخت رگرسیونی هم ارتفاع و هم پریود امواج را پیش‌بینی کرده است.

۶- خلاصه و نتیجه‌گیری

در این مقاله قابلیت درخت‌های تصمیم رگرسیونی در مقایسه با روش شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی امواج ناشی از باد در دریای خزر مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور از اطلاعات میدانی مربوط به دریای خزر در بندر امیرآباد و منطقه نکا استفاده شده است. نتایج حاکی از نزدیکی جواب‌های دو روش به یکدیگر می‌باشد. در بندر امیرآباد، دقت روش‌های درختی و عصبی حدود دو برابر روش‌های نیمه‌تجربی و طیفی بوده و با روش‌های عددی برابری می‌کند. در منطقه نکا نیز دقت دو روش تقریبا یکسان می‌باشد. در این منطقه روش شبکه‌های عصبی اندکی بهتر از درخت‌های رگرسیونی، ارتفاع و پریود امواج را پیش‌بینی کرده است. همچنین می‌توان گفت درخت‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی در دریا ی خزر ارتفاع امواج ناشی از باد را اندکی دست پایین و پریود امواج را کمی دست بالا تخمین زده‌اند. همچنین می‌توان به سرعت بسیار بالای اجرای درخت رگرسیونی نسبت به شبکه‌های عصبی اشاره کرد. دست یافتن به بهترین توپولوژی (در اینجا تعداد گره‌های لایه میانی) در شبکه‌های عصبی، نیازمند سعی و خطای فراوان می‌باشد. در حالی که در درخت‌های رگرسیونی این مشکل وجود ندارد.

۷- مراجع

1-Breiman, L. Friedman, J. Olshen, R. & Stone, C. (1984); "Classification and regression trees", Monterey, CA: Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software.

2-Hand, D. Heikki, M. Padhraic, S. (2001); "Principles of Data Mining", The MIT press.

3-Golshani, et al. (2005): "Wave hindcast study of the Caspian Sea". Journal of Marine Engineering, Iranian Association of Naval Architecture & Marine Engineering, Vol.1, No.2, pp.19-25.

4-Mehmed, K. (2003); "Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms", John Wiley & Sons.

5-Mitchell, T.M. (1997); "Machine Learning" McGrow-Hill.

۶- چگینی ف، چگینی و ، تائبی س.(۱۳۸۷) "ارزیابی و مقایسه روش‌های نیمه تجربی و عددی در پیش‌بینی مشخصات امواج بنادر امیرآباد و بوشهر" مجله مهندسی دریا، سال چهارم، شماره ۷، ۴۱-۵۷.

۷- حاج بابایی ن. (۱۳۸۲). ارزیابی مدلهای پیش‌بینی امواج ناشی از باد و ارائه مدل مناسب برای سواحل شهرستان بابلسر، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

۸- ساجدی، ا. (۱۳۸۲)" پیش‌بینی مشخصه‌های امواج ناشی از باد با استفاده از روش‌های آماری برای منطقه دریایی انزلی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، دانشکده علوم و فنون دریایی.

۹- عظام، م. (۱۳۸۳) " ارزیابی روش‌های پیش‌بینی امواج ناشی از باد در آب‌های دور از ساحل بندر انزلی با استفاده از داده‌های موجود و ارائه روش مناسب"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، دانشکده علوم و فنون دریایی.

۱۰- کاظمی‌نژاد م.، اعتماد شهیدی ا.، موسوی س.ج. (۱۳۸۳). "بررسی کاربرد روش SPM در تعیین مشخصات امواج آبهای انزلی". اولین کنگره ملی مهندسی عمران، کد مقاله ۱۲۸۷-۸۳.

www.SID.ir

Archive of SID

۱۱- لاری ک. (۱۳۷۶). پیش‌بینی امواج ناشی از باد در دریای خزر، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
۱۲- لایقی ب. (۱۳۸۲). پیش‌بینی عددی مشخصه‌های امواج ناشی از باد در سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از مدل WAM و اطلاعات ایستگاه هواشناسی بندر انزلی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
۱۳- منهاج، محمد باقر(۱۳۸۱) "مبانی شبکه های عصبی" تهران: مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۱۴- همتی، س. (۱۳۸۴) "پیش‌بینی امواج ناشی از باد در منطقه دور از ساحل بندر امیرآباد با استفاده از اطلاعات بویه موج‌نگار"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، دانشکده علوم و فنون دریایی.

www.SID.ir