تخمین مقدار انتقال رسوب در امتداد ساحل با استفاده از فرمول‌های نیمه تجربی و شبکه عصبی مصنوعی در سواحل نور

طیب صادقی فر[۱]، سید علی آزرم سا[۲]*، مهدی وفاخواه[۳]

[۱] کارشناس ارشد، گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس؛ tsadeghifar@yahoo.com
[۲] دانشیار، گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس؛ azarmsaa@modares.ac.ir
[۳] استادیار، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس؛ vafakhah@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۰۸/۳۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۵/۲۹
تاریخ انتشار مقاله: ۱۳۹۲/۰۶/۳۱

کلمات کلیدی:
انتقال رسوب
شبکه عصبی مصنوعی
فرمول‌های نیمه تجربی
دریای خزر

چکیده

مقایسه‌ای بین فرمول‌های نیمه‌تجربی سرک (C.E.R.C)، والتون و برنو (W.B)، فن در میر (V)، کامفوس (Kamphuis) و روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) با مقادیر اندازه‌گیری شده در بازه زمانی مهر تا آخر آذرماه سال ۱۳۹۰ با استفاده از تله‌گیر عمودی رسوب انجام شده است. در مدل مبتنی بر روش شبکه عصبی، شش متغیر اصلی موثر در نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل در نظرگرفته شد. نتایج نشان داد که در میان فرمول‌های نیمه تجربی بررسی شده، فرمول کامفوس تقریباً نتایج نزدیک‌تری به واقعیت را ارائه نموده است و مقدار ۷٪ اختلاف نتایج حاصل از آن با مقادیر مشاهداتی ممکن است مربوط به خطا در اندازه‌گیری پارامترهای مدل باشد. در مقایسه، نتایج حاصل از مدل مبتنی بر روش شبکه عصبی مصنوعی با داده های میدانی به میزان حدود ۶٪ خطا اختلاف داشته و لذا، به دلیل دقت بالاتر در برآورد نرخ انتقال رسوب جهت استفاده در تحقیقات مشابه توصیه می گردد.

Prediction of Alongshore Sediment Transport Rate Using Semi-Empirical Formulas and an Artificial Neural Networks (ANNs) model in Noor Coastal zone

Tayeb Sadeghifar[1], Seyed Ali Azarmsa[2]*, Mehdi Vafakhah[3]

[1] MSc., Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor; tsadeghifar@yahoo.com
[2] Associate Professor, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor; azarmsaa@modares.ac.ir
[3] Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor; vafakhah@modares.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 20 Nov. 2012
Accepted: 20 Aug. 2013
Available online: 22 Sep. 2013

Keywords:
Sediment Transport
Artificial Neural Network
Semi-Empirical Formulas
Caspian Sea

ABSTRACT

Comparisons made between the measured data carried out from September to December 2012 using a streamer trap and the results of some semi-empirical formulas including C.E.R.C, Walton and Bruno (W.B), van der Meer (V), Kamphuis (K), and an Artificial Neural Network (ANN) model. Six dominant variables are considered in the ANN model to estimate long-shore sediment transport rate. Results reveal that among the semi-empirical formulas, Kamphuis formula has provided more reliable results than others and its %7 errors related to the observed data is partially resulted from the errors in input parameters. In contrast, the ANN model provides more accurate results with %6 error related to measured data and thus it is recommended to be applied in long-shore sediment transport rate estimation in similar research contexts.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.17.1.3]

۱- مقدمه

یکی از وظایف مهم مهندسین سواحل پیش‌بینی نرخ انتقال رسوب در نواحی ساحلی می‌باشد. با برآورد صحیح از نرخ انتقال رسوب، می‌توان پیش‌بینی مناسبی از تغییرات مورفولوژی سواحل و تاثیر آن بر ساختار خطوط ساحلی انجام داد [۱].

امواج از طریق وزش باد بر روی سطح آب انرژی گرفته و تشکیل می‌شوند و هنگام رسیدن به منطقه شکست مقدار زیادی از انرژی خود را از دست می‌دهند. شکست امواج باعث آشفتگی در ستون آب و حرکت رسوبات می‌گردد. به‌طور کلی انتقال رسوب در نواحی ساحلی به دو دسته انتقال رسوب موازی ساحل و انتقال رسوب عمود بر ساحل تقسیم می‌شود. مورد اول به خاطر سرعت جریان ناشی از امواج اتفاق افتاده، در حالی که انتقال رسوب عمود بر ساحل به دلیل نیروی امواج، سرعت‌های مداری مربوطه و جریان-های زیرکش به وجود می‌آید. هر کدام از این شیوه‌های انتقال رسوب به نوبه خود توسط دو مکانیزم انتقال بار بستر و بار معلق رسوب صورت می‌گیرند [۲،۳].

شکست امواج در نزدیکی منطقه ساحلی و جریانات ساحلی به عنوان دو عامل اصلی شناخته شده در انتقال رسوب در سواحل می‌باشند [۴].

فرمول‌های محاسبه نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل، در طی سالیان مختلف تحول یافته‌اند. فرمول سرک (C.E.R.C) که در سال ۱۹۸۴ پیشنهاد شد، توانایی برآورد نرخ انتقال رسوب ناشی از امواج را فقط با توجه به مشخصات موج داشت. درحالی‌که فرمول-های پیشنهادی توسط کامفوس تاثیر شیب بستر را نیز در نظر گرفته و مقادیر واقعی‌تری را ارائه می‌دهد [۵].

مشهورترین و ساده‌ترین فرمول برای تخمین نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل فرمول سرک (C.E.R.C) می‌باشد [۶]. این فرمول توسط باج و کراوس ارائه شده است که در آن، مقدار انتقال رسوب در امتداد ساحل به صورت حجمی به دست می‌آید. بیشترین تلاش‌ها در زمینه مطالعه انتقال رسوب در امتداد ساحل-که متاثر از مولفه‌های موازی ساحل است، گسترش یافته است [۷، ۸]. کامفوس در ادامه مطالعات خود بر روی مدل‌های سه بعدی برای محاسبه نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل، اثر دوره‌ی تناوب موج را نیز وارد مطالعات نمود و با استفاده از خاصیت پارامترهای بدون بعد و حذف بعضی از پارامترهای غیر ضروری به معادله جدیدی دست یافت [۹].

تعداد زیادی از فرمول‌های تجربی و مدل‌های پارامتریک برای پیش‌بینی نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل به صورت تابعی ازمشخصه‌های امواج شکنا وشیب ساحل پیشنهاد شده‌اند[۴]. مدل-های پیچیده‌تر محاسبه انتقال رسوب تابعی از شرایط امواج، جریانات و ارزیابی تغییرات مکانی در حین انتقال، به منظور تعیین عوارض مورفولوژیکی می‌باشند[۱۰]. فرمول انتقال رسوب بایکریکی دیگرازفرمول‌های توسعه یافته برای امواج و جریانات ترکیبی است که بر اساس فرمول‌های انتقال رسوب برای رودخانه پیشنهادشده به وسیله کالینسکه-فریجلینک طراحی شد [۱۱، ۱۲]. بایلارد و اینمان فرمول‌های مشتق شده برای میزان انتقال رسوب در امتداد ساحل را بر اساس رابطه بگنولد محاسبه کردند [۱۳، ۱۴]. نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل نیز با استفاده از ارتفاع شکست، عرض منطقه خیزآب ساحلی[1] و میانگین سرعت جریان در امتداد ساحل در منطقه خیزآب ساحلی محاسبه می‌شود [۱۵]. فن راینیک فرمول مشتق شده برای محاسبه میزان انتقال رسوب در امتداد ساحل را بر اساس تئوری میزان انتقال رسوب در رودخانه‌ها به دست آورد و واتانابه فرمولی برای بار کل بر اساس ایده مدل توانی[2]مطرح کرد[۱۶، ۱۷]. فرمول واتانابه و ضرایب آن توسط داده-های آزمایشگاهی و میدانی کالیبره و تائید شده است. با این وجود، هنوز مقادیر ضرایب ثابت در فرمول شناخته نشده و وابسته به شرایط امواج و رسوب می‌باشد. فن در میر فرمولی نیمه تجربی برای اندازه‌گیری انتقال رسوب ساحلی بر روی سواحل سنگی، شنی یا ماسه‌ای ارائه کرد[۱۸]. بایرام و همکارانمیزان انتقال رسوب در امتداد ساحل را در منطقه خیزآب ساحلی و منطقه یورش موج مطالعه و ارزیابی مناسبی از قابلیت پیش‌بینی فرمول مشهور سرک را براساس داده‌ها میدانی به‌دست آوردند [۱۹]. کبیری سامانی و همکاران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل درسواحل جنوبی ایران را مورد ارزیابی قرار داده و نتیجه‌گیری کردند که شبکه عصبی با کمترینRMSE و بیشترین R^2 بهترین جواب را ارائه می‌نماید [۴]. کومار و همکاران با مقایسه مقادیر به دست آمده از تله‌های رسوب‌گیر مستقر بر روی یک خط پوشا در منطقه خیزآب و تخمین نرخ انتقال رسوب در امتداد سواحل هندوستان با استفاده از فرمول‌های نیمه‌تجربی سرک، والتون و برنو و فن راین، به این نتیجه رسید که از میان فرمول‌های نیمه‌تجربی، فرمول سرک بهترین تخمین را ارائه می‌نماید [۲۰]. بختیار و همکاران تخمین نرخ انتقال رسوب در امتداد سواحل ارگی در کشور هندوستان را با استفاده از سیستم استنتاج فازی عصبی به دست آوردند و نشان دادند که سیستم استنتاج فازی عصبی قابلیت بهتری را دارا می-باشد [۲۱]. مرور منابع نشان می‌دهد که هیچ یک از این روش‌ها میزان انتقال رسوب در امتداد ساحل را به صورت دقیق تعیین نمی‌کنند.

یکی از جدیدترین روش‌هائی که در زمینه پیش‌بینی معرفی شده است روش شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد که برای کاربردهای مختلف استفاده شده است. نمونه‌های مطالعه شده مربوط به استوبر و همکاران برای پیش‌بینی سیل، ازمسیلله و همکاران برای برآورد

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.17.1.3]

دبی روزانه سرریز، سینگ و همکاران و روچی کالرا و همکارانبرای تخمین ارتفاع موج می‌باشند[۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵]. همچنین کبیری سامانی و همکاران شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی را در پیش‌بینی انتقال رسوب استفاده نمودند [۴].

تاکنون، در منطقه ساحلی نور، مطالعه‌ای در زمینه تخمین نرخ انتقال رسوب انجام نگرفته است. برای انجام عملیات مهندسی و حفاظت از سواحل برآورد این نرخ و بررسی مناطق فرسایشی و رسوب‌گذاری ضروری است. بنابراین هدف از تحقیق حاضر برآورد مقدار انتقال رسوب در امتداد ساحل شهرستان نور در دریای خزر با استفاده از فرمول‌های نیمه‌تجربی و یک مدل شبکه عصبی مصنوعی، مقایسه نتایج و دقت آن‌ها و تعیین مناسب‌ترین فرمول یا مدل می‌باشد.

این تحقیق بر این اساس سازماندهی شده است که:

در بخش ۲ مواد و روش‌ها شامل خصوصیات منطقه مورد مطالعه و چگونگی اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز به صورت مشاهداتی و اندازه‌گیری شده و توضیحی در مورد فرمول‌های نیمه‌تجربی مورد استفاده و شبکه عصبی مصنوعی ارائه می‌گردد. در بخش ۳ نتایج حاصل از کاربرد فرمول‌های نیمه تجربی و شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط تله‌گیر انجام می‌گیرد. در پایان نتیجه‌گیری و پیشنهادهای تحقیاتی برای کارهای آتی ارائه می شود.

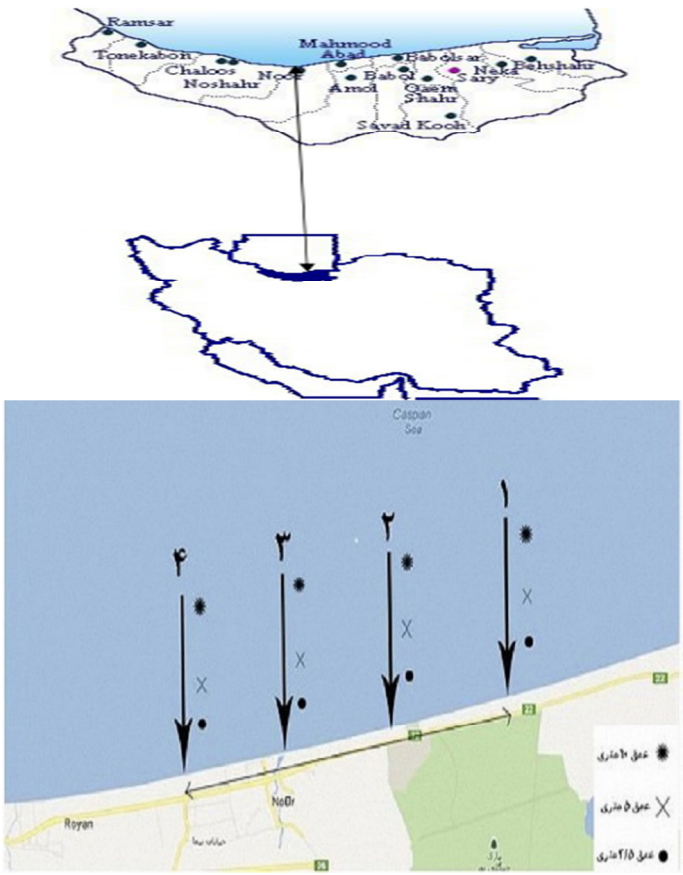
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ - خصوصیات منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در منطقه ساحلی شهرستان نور در جنوب دریای خزر به طول ۲۴۰۰ متر واقع در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی ″۵/۲۰ ′۵۲ °۳۶تا″۴۰/۹۳ ′۱۷ °۳۷ شمالی و طول‌های جغرافیایی ″۱۸/۳۷ ′۲۷ °۵۳تا″۱۶/۱۷ ′۳۲ °۵۰ شرقی در ۴ ایستگاه در طی مهرماه تا آخر آذرماه سال ۱۳۹۰ انجام شد. خصوصیات ایستگاه‌های برداشت داده‌ها واقع در خط ساحلی با فواصل مناسب در حدود ۶۰۰ متر در نظر گرفته شد و نمونه برداری به صورت روزانه در زمان مشخص برای هر ایستگاه انجام گرفت (شکل ۱).

۲-۲- روش تحقیق

به منظور انجام تحقیق، پارامترهائی مانند ارتفاع موج شکنا(H_{sb})، دوره‌ی تناوب موج (T)، زاویه امواج شکنا (α_b) و عرض منطقه خیزآب ساحلی(W) با استفاده از مشاهدات میدانی رصد و ثبت گردید. اندازه‌گیری سرعت جریان در امتداد ساحل(V) با استفاده از سرعت سنج[۱]، و شیب ساحل(m_b)در هر ایستگاه با استفاده از اندازه‌گیری عمق آب و فاصله افقی بین خط ساحل و عمق ۲/۵ متری به دست آمد. نمونه‌برداری از رسوبات منطقه برای تعیین دانه‌بندی رسوبدر خط ساحلی و در اعماق ۲/۵ متری، ۵ متری و ۱۰ متری با استفاده از گراپ برداشت شد و به آزمایشگاه انتقال یافت. برای تعیین محدوده اندازه‌های نمونه‌های رسوب مراحل شستن، خشک کردن و الک کردن نمونه‌های رسوب براساس دستور العمل استاندارد انگلیس (BSI;1967,1986) انجام شد. متوسط اندازه نمونه‌ی رسوب D_{50} (یا φ_{50}) به طور مستقیم از منحنی توزیع رسوب به دست آمد (جدول ۱).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه ساحل خزر، شهرستان نور (• عمق ۲/۵ متری ،× عمق ۵ متری ،* عمق ۱۰ متری)

سرعت جریان در منطقه خیزآب ساحلی یکنواخت نیست. لذا، این سرعت با استفاده از روش تزریق رنگ و بر حسب مسافت و زمان طی شده از نقطه تزریق رنگ تا خط ساحلی نیز محاسبه شد. اندازه‌گیری ارتفاع امواج با استفاده از مشاهدات میدانی و بر اساس دستور العمل بخش مهندسی سواحل ارتش آمریکاصورت گرفت [۲۶]. برای به دست آوردن دوره‌ی تناوب امواج، فاصله زمانی بین دو موج متوالی را با کرونومتر اندازه‌گیری نموده و متوسط حداقل ۳ مقدار به دست آمده از این روش به عنوان دوره‌ی تناوب امواج در نظر گرفته شد. زاویه امواج شکنا با خط ساحل نیز با مشاهده و استفاده از یک نقاله تعیین شد [۲۶].

[۱]-سرعت سنج آلمانی(Current meter) مدل 1205

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.17.1.3]

جدول ۱- مشخصات آماری قطر دانه‌ها در ایستگاه‌ها با میانگین‌گیری بین هر دو ایستگاه (بر حسب میلی‌متر) در ساحل خزر ، شهرستان نور

مکان	عمق ۲/۵ متری			عمق ۵ متری			عمق ۱۰ متری		
قطر دانه	D_{16}	D_{50}	D_{84}	D_{16}	D_{50}	D_{84}	D_{16}	D_{50}	D_{84}
S_1	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۷
S_2	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۲۵	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۶
S_3	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۲۵	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۸
S_4	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۰۸۵	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۶

۲-۳- فرمول سرک (C.E.R.C)

فرمول سرک از جمله فرمول‌هائی است که به‌طور گسترده برایمحاسبه انتقال رسوب کلQ_{Ls}مورد استفاده قرار می‌گیرد. شایان ذکر استQ_{Ls}در سرتاسرعرض منطقه شکست انتگرال‌گیری شده است. فرمول سرک را می‌توان به شکلی سازگار از نظر ابعادی تبدیل کرد [۲]. نسخه‌های متفاوتی از این فرمول به وسیله کاربران مورد استفاده قرار گرفته است؛ تفاوت عمده این نسخه‌ها در نحوه در نظر گرفتن سرعت گروهی موج (C_g) و معیار شکست می‌باشد. با درنظر گرفتن $C_g=(gh)^{0.5}$ در منطقه شکست، و $H_{sb}=0.8h$، فرمول ساده (۱) حاصل می‌شود.

$$Q_{Ls}=\frac{0.023g^{0.5}H_{sb}^{2.5}\sin(2\alpha_b)}{s-1} \qquad (۱)$$

که در آن؛ Q_{Ls}= نرخ انتقال رسوب($\frac{m^3}{s}$)انتگرال‌گیری شده در سرتاسر عرض منطقه شکست، بر حسب حجم رسوبات (بدون در نظر گرفتن فضای منفذی) عبوری در واحد زمان، g= شتاب ثقل؛ H_{sb} = ارتفاع موج موثر در نقطه شکست، α_b= زاویه موج و خط ساحلی در نقطه شکست، و s = جرم مخصوص نسبی رسوبات می‌باشد. معادله ۱ ساده‌ترین شکل معادله سرک است که با به کار بردن تئوری خطی امواج آب کم عمق به دست آمده است [۲۷].

۲-۴- فرمول والتونو برنو ((۱۹۸۹)

فرمول والتون و برنو(۱۹۸۹) به صورت معادله ۲ می‌باشد.

$$Q=\frac{\mathrm{KAg}H_{sb}(\mathrm{WV}C_f)}{0.78(\frac{5\pi}{2})(\frac{\mathrm{v}}{\mathrm{v_0}})_{\mathrm{LH}}} \qquad (۲)$$

که در آن:

C_f= ضریب اصطکاک برابر ۰/۰۰۵، W= عرض منطقه خیزآب ساحلی بر حسب متر،V= میانگین سرعت جریان در امتداد ساحل بر حسب متر بر ثانیه، $(\frac{\mathrm{v}}{\mathrm{v_0}})_{\mathrm{LH}}$= سرعت جریان در امتداد ساحل برابر با ۰/۴ با پارامترهای مختلط است [۹]، Q= نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل بر حسب متر مکعب بر سال، K= ثابت بدون بعد متناسب با شار انرژی انتقال رسوب در امتداد ساحل با مقدار ۰/۳۹، $A=(\frac{1}{(\rho_S-\rho)g(1-P)})$، ρ_S= جرم مخصوص رسوب برابر با ۲۶۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، ρ= جرم مخصوص آب دریا برابر با ۱۰۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب، g= شتاب ناشی از گرانش برابر با ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه، P= تخلخل رسوب برابر با ۰/۴، H_{sb}= ارتفاع موج شکنا بر حسب متر [۲۳].

۲-۵- فرمول کامفوس

فرمول کامفوس شامل تاثیرات دوره‌ی تناوب موج، شیب ساحل و اندازه دانه است و به صورت معادله (۳) می‌باشد.

$$Q=2.27H_{sb}^2T^{1.5}m_b^{0.75}D^{-0.25}sin^{0.6}(2\alpha_b) \qquad (۳)$$

که در آن Q = معادل نرخ انتقال رسوب بر حسب کیلوگرم بر ثانیه است و می‌توان آن را به صورت معادله (۴) بازنویسی کرد:

$$Q=6.4\times10^4H_{sb}^2T^{1.5}m_b^{0.75}D^{-0.25}sin^{0.6}(2\alpha_b) \qquad (۴)$$

که در آن؛ Q= نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل ($\frac{m^3}{year}$)؛ H_{sb} = ارتفاع موج شکنا، T = دوره‌ی تناوب موج، α_b = زاویه موج شکنا، m_{b}= شیب ساحل و D= اندازه دانه‌بندی می‌باشد [۱۳].

۲-۶- فرمول فن در میر (۱۹۹۰)

فن در میر فرمولی برای محاسبه نرخ انتقال رسوب در طول سواحل شنی ارائه نمود که در آن اثر انکسار امواج نیز وارد می‌شود [۱۸].

$$(\frac{Q_s}{g d_{n50}^2})=0.0012(\frac{H_{sb}\sqrt{cos\beta}}{D_{n50}})\left\{\frac{H_{sb}\sqrt{cos\beta}}{D_{n50}}-11\right\}T\sin\beta \qquad (۵)$$

حدود کاربرد فوق برای $5010>\frac{H_{sb}}{\Delta D_{n50}}$ می‌باشد. Q_Sبه دست آمده دارای واحد ($\frac{m^3}{s}$) می‌باشد. در معادله ۵ Q_Sوابسته به قطر ذرات است. برای قطر ذارت کوچکتر با حذف فاکتور ۱۱ معادله به صورت ساده معادله ۶ تبدیل می‌شود:

$$Q_s=0.0038H_{sb}^2\left(\frac{gT}{2\pi}\right)\sin(2\beta) \qquad (۶)$$

این فرمول برای دامنه $50\frac{H_{sb}}{\Delta D_{n50}}>$ صادق است [۱۸]. که در آن؛β = زاویه شکست موج، H_S= ارتفاع موج مشخصه،D_{n50}= قطر اسمی (میانه) اندازه ذرات،T= دوره‌ی تناوب موج غالب، Q_S= نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل وΔ=چگالی نسبی رسوب اشباع شده می‌باشد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.17.1.3]

۲-۷- توزیع اندازه دانه رسوب

خصوصیات دانه‌بندی رسوبات سواحل ماسه‌ای معمولاً بعد از نمونه-گیری و آزمایش مشخص می‌شود. معمولاً جرم حجمی رسوبات و اندازه ذرات رسوب، دو پارامتر مهم می‌باشند که از طریق آزمایشات معمول و مشابه آنچه که بر روی نمونه‌های خاک انجام می‌شود به دست می‌آید. در این تحقیق نمونه‌برداری از رسوبات در ۴ ایستگاه و در امتداد عمود بر ساحل (شکل ۱) و در اعماق ۲/۵متری، ۵ متری، و ۱۰متری با استفاده از نمونه بردار رسوب (گراپ) انجام گرفت. سپس، نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال یافته و بعد از شستن و خشک کردن با استفاده از دستگاه شیکر و الک‌های مختلف، مطابق دستور العمل استاندارد انگلیس (BSI; 1967, 1986) دانه‌بندی نمونه‌ها انجام شد.

۲-۸- اندازه‌گیرینرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل

به‌منظور محاسبه نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل روش‌های متعددی وجود دارد که نتایج حاصل از روابط ارائه شده برای محاسبه نرخ انتقال رسوب، تفاوت‌های عمده با یکدیگر دارند. این اختلاف‌ها عمدتاً ناشی از روشی است که معادله براساس آن به دست آمده است. از آن‌جایی که این روابط برای سواحل خاصی به دست آمده‌اند، احتمال دارد که جواب‌های حاصل از آن در سواحل دیگر، جواب‌های مناسبی نباشند. بنابراین قبل از استفاده از این معادلات در هر منطقه باید محدودیت استفاده از آنها را مورد بررسی قرار داد. برای محاسبه نرخ انتقال رسوب مشاهداتی از تله-گیر رسوب استفاده شد و بعد از نمونه‌برداری مقدار رسوب گرفته شده تخلیه و به آزمایشگاه انتقال یافت و در آون خشک شد. شار رسوب Fدر ستون Kبا استفاده از معادله ۷ به دست آمد.

$$F(K) = \frac{S(K)}{\Delta h \Delta w \Delta t} \qquad (۷)$$

که در آن؛ F= شار رسوب ($\frac{Kg}{m^2.s}$)، K= تعداد تله‌گیر، افزایش در تعداد در بستر ($K = 1$) و با کاهش ستون‌ها ($K = N$) = S وزن خشکرسوب (Kg)، Δh = ارتفاع ستون نازل (۰/۱۵متر برای این تحقیق)،Δw = عرض نازل تله‌گیر (۰/۲۵ متر برای این تحقیق) وΔt =فاصله زمانی نمونه‌برداری (بر حسب ثانیه).

۲-۹- شبکه عصبی مصنوعی[۳]

با استفاده از نتایج، مقایسه‌ای بین شبکه عصبی مصنوعی و فرمول-های نیمه تجربی سرک(C.E.R.C)، والتون و برنو، فن در میر و کامفوس با اندازه‌گیرهای میدانی انجام شد.آموزش شبکه‌از طریق الگوریتم انتشار به عقب[۴]بوده است. ساختار شبکه عصبی در این تحقیق، شبکه‌ی سه لایه شامل یک لایه ورودی، یک لایه مخفی و یک لایه خروجی می‌باشد. برای جلوگیری از کوچک شدن بیش از حد وزن‌های شبکه عصبی مصنوعی، ورودی‌های شبکه استاندارد شدند [۲۸]. پس از استاندارد کردن داده‌ها با استفاده از آزمونM^{Δ}و میزان ارزش گاما تعداد داده‌های آموزش شبکه تعیین شد [۲۹]. در مرحله بعد تعداد نرون‌های لایه ورودی و تعداد نرون‌های لایه مخفی تعیین شد [۳۰].

مدل شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از مجموعه آموزشی تحت آموزش قرار می‌گیرد و ترکیبات مختلفی از ورودی‌ها ساخته می‌شوند. به منظور ارزیابی نتایج شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن‌ها، از معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب کارآیی و نمودار پراکنش داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی استفاده شد. معیارهای آماری مورد استفاده دراین مطالعه عبارتند از اریبی ($Bias$)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، شاخص پراکندگی (SI)، ضریب کارآیی(CE)، میانیگن مربعات خطا (MSE) و ضریب همبستگی (R^2). مقدار مجذور میانگین مربعات خطا بین صفر و یک قرار دارد و مقدار آن هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد نشانگر بالا بودن دقت پیش-بینی است. شاخص پراکندگی بر حسب درصد می‌باشد و بیانگر درصد پراکندگی داده‌های پیش‌بینی شده نسبت به مقادیر واقعی می‌باشد که مقدار صفر بیان‌کننده عدم پراکندگی در پیش‌بینی است. همچنین مقدار ضریب همبستگی (R) بین۱- تا ۱ می‌باشد و مقدار ۱ و ۱- بیان‌کننده پیش‌بینی بدون خطا می‌باشد. روابط ۸ الی ۱۳روابط محاسبه معیارهای آماری می‌باشند.

$$Bias = \frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)\right. \qquad (۸)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2} \qquad (۹)$$

$$MSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2 \qquad (۱۰)$$

$$CE = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(P_i - \bar{O}_m)^2}\right. \qquad (۱۱)$$

$$SI = \left(\frac{\text{RMSE}}{\text{Average observed value}}\right) \times 100 \qquad (۱۲)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(O_i - \overline{O}_m)(P_i - \overline{P}_m)}{\left(\sum_{i=1}^{N}(O_i - \overline{O}_m)^2\right)^{0.5}\left(\sum_{i=1}^{N}(P_i - \overline{P}_m)^2\right)^{0.5}} \qquad (۱۳)$$

که O_i=مقدار مشاهده شده، P_i=مقدار پیش‌بینی شده، N= تعداد داده‌های مشاهداتی، =$\bar{O}_m$ مقدار میانگین مشاهدات و =$\overline{P}_m$ مقدار میانگین پیش‌بینی شده است. مقدار عددی ضریب کارآیی بین منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است و مقدار یک نشان دهنده تطابق کامل می-باشد. هر چه مقادیر سایر ضرایب به عدد یک نزدیک‌تر باشد، تناسببین داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهداتی بیشتر خواهد بود [۳۱].

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]

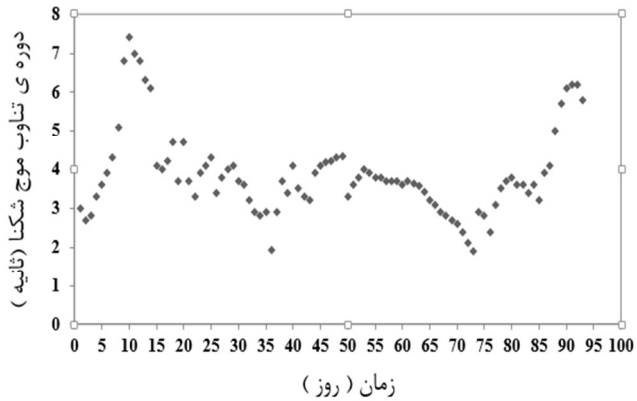
[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.17.1.3]

۳- نتایج و بحث

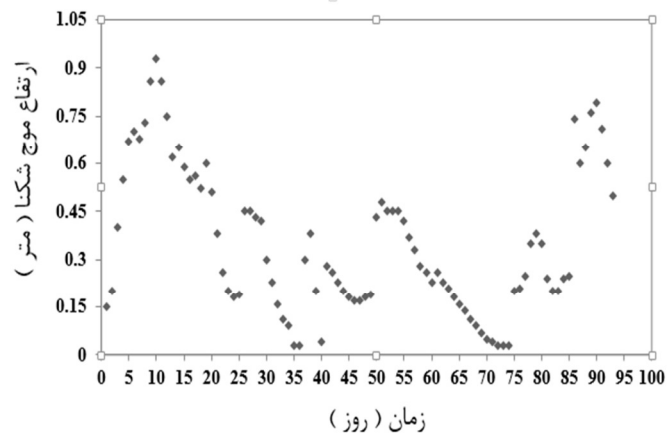
۳-۱- مشخصه‌های شکست

نحوه تغییرات روزانه ارتفاع،دوره‌ی تناوب و زاویه موج شکنا و سرعت جریان در امتداد ساحل در اشکال۲- ۵نشان داده شده است. ارتفاع موج شکنا متغیر و بین مقادیر ۰/۰۳متر تا ۰/۹۳ متر با مقدارمتوسط ۰/۴۸ متر از اول مهر تا آخر آذرماه است.دوره‌ی تناوب موج متغیر از ۱/۹ ثانیه تا ۷/۴ ثانیه با مقدار متوسط ۴/۷ ثانیه می‌باشد. زاویه موج شکنای غالب ۲۳/۵ درجه می‌باشد. میانگین عرض منطقه خیرآب ساحلی در فصل پاییز در حدود ۲۲۵ متر می‌باشد.مقادیر مختلف سرعت ۰/۱ متر بر ثانیه تا ۰/۶ متر بر ثانیه با مقدارمتوسط ۰/۳۵ متر بر ثانیه است.

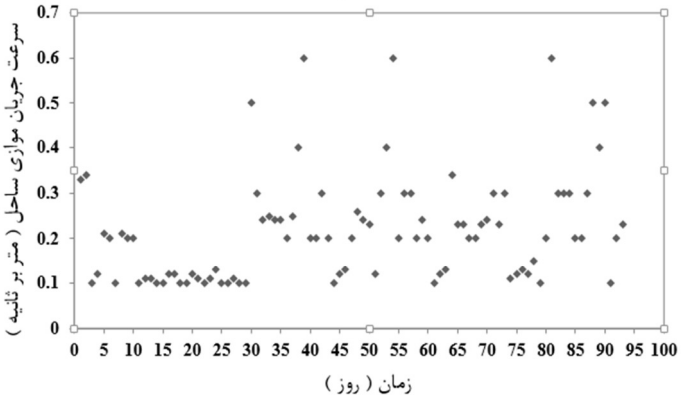
در ادامه ذکر این نکته ضروی است که انحراف معیار به عنوان یک شاخص پراکندگی مناسب در آمار به کار می‌رود ولی از آن‌جائی که این شاخص مرکزی نیز، متاثر از طبعیت داده‌ها و به ویژه واحدهای اندازه‌گیری است لذا برای دوری از این خطا، شاخص پراکندگی نسبی یا ضریب تغییرات ($C.V$) مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شاخص نشان دهنده این است که میزان پراکندگی، چند درصد میانگین است که پارامترهای به‌دست آمده را در جدول ۲ نشان داده شد



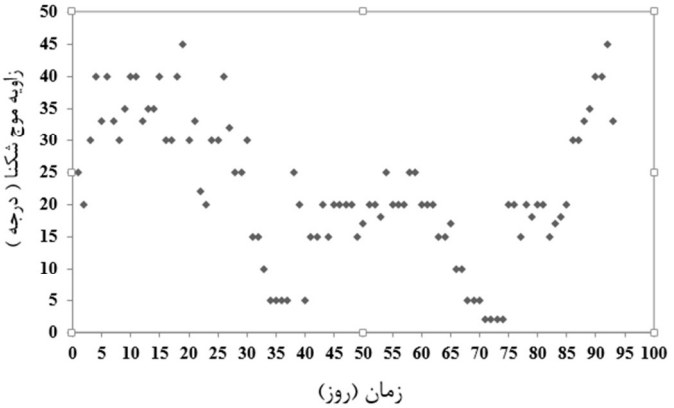
شکل۲- دوره‌ی تناوب موج‌شکنا



شکل۳- ارتفاع موج‌شکنا



شکل۴- سرعت جریان در امتداد ساحل



شکل۵- زاویه موج‌شکنا

جدول ۲- خصوصیات آمارتوصیفی به دست آمده از داده‌ها اندازه‌گیری شده از ایستگاه‌های مورد نظردر ساحل خزر شهرستان نور

متغییر		میانگین	بیشینه	کمینه	واریانس	انحراف معیار	چولگی	ضریب تغییرات
دوره تناوب موج (ثانیه) (T)	آموزش	۳/۸	۷	۱/۹۱	۱/۲	۱/۱	۱/۱۱	۰/۲۹
	صحت سنجی	۴/۱۷	۷/۴	۲/۷	۱/۵	۱/۲	۳/۶	۰/۲۹
	آزمون	۴/۲	۷/۴	۲/۷	۱/۵	۱/۲۲	۱/۸	۰/۲۹
ارتفاع موج شکنا (متر) (H)	آموزش	۰/۳۵	۰/۸۶	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۲۲	۰/۵	۰/۶۳
	صحت سنجی	۰/۴۱	۰/۹۳	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۲۷	-۰/۹۳	۰/۶۶
	آزمون	۰/۴۱	۰/۹۳	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۲۷	۰/۶۱	۰/۶۶
زاویه موج شکنا (درجه) (α_b)	آموزش	۲۲/۲	۴۵	۲	۱۲۶/۳	۱۱/۳	۰/۰۳	۰/۵۱
	صحت سنجی	۲۵	۴۰	۵	۱۱۹/۲	۱۰/۹	-۰/۶	۰/۴۴
	آزمون	۲۵	۴۰	۵	۱۱۹/۲	۱۰/۹	-۰/۱۵	۰/۴۴
سرعت جریان در امتداد ساحل (متر	آموزش	۰/۲۵	۰/۶	۰/۱	۰/۰۲	۰/۱۲	۱/۴۸	۰/۴۸

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.17.1.3]

جدول ۲- خصوصیات آمارتوصیفی به دست آمده از داده‌ها اندازه‌گیری شده از ایستگاه‌های مورد نظردر ساحل خزر شهرستان نور (ادامه)

عرض خیزآب ساحلی (متر) (W)	صحت سنجی	۰/۲	۰/۵	۰/۱	۰/۰۱۲	۰/۱۱	-۰/۶۳	۰/۵۵
	آزمون	۰/۲	۰/۵	۰/۱	۰/۰۱۲	۰/۱۱	۱/۷	۰/۵۵
	آموزش	۲۲۸	۲۵۰	۲۰۰	۱۷۳/۹	۱۳/۲	-۰/۴۵	۰/۰۶
	صحت سنجی	۲۲۴	۲۵۰	۲۰۰	۲۲۶/۴	۲۲۶/۴	۳/۹	۰/۰۲
	آزمون	۲۲۴	۲۵۰	۲۰۰	۲۲۶/۴	۱۵/۰۴	-۰/۲۴	۰/۰۷

۳-۲- مقادیر رسوب مشاهداتی اندازه‌گیری شده با استفاده از تله‌گیر رسوب

مقادیر رسوب مشاهداتی اندازه‌گیری شده با استفاده از تله‌گیر رسوب در سواحل شهرستان نور بعد از نمونه‌برداری و خشک کردن در آون در دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت و وزن کردن رسوب خشک شده و جاگذاری مقادیر در فرمول مربوطه، محاسبه و نتایج آن به صورت شکل ۶ ترسیم شد.

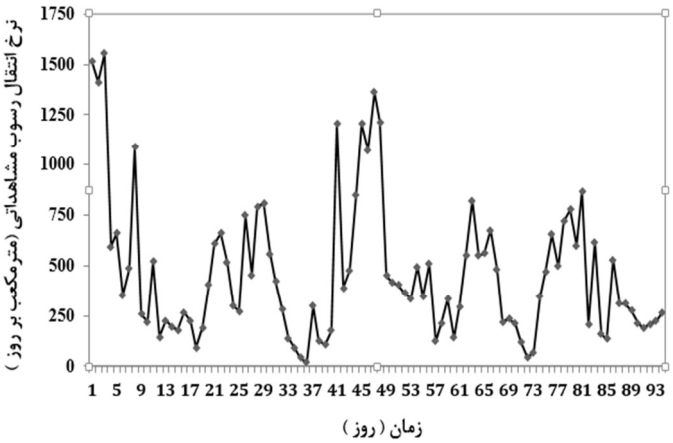
۳-۳- نتایج شبکه عصبی مصنوعی

نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از فرمول ۱۴انجام گردید.

$$N_i = \left(\left(\frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}\right) \times 0.8\right) + 0.1 \qquad (۱۴)$$

که در آن N_i = مقدار داده نرمال‌سازی شده، x_i= داده اولیه، x_{max}=بزرگترین داده و x_{min}=کوچکترین داده است. در اینآزمون ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش[۶]، ۱۵ درصد برای صحت‌سنجی[۷] و ۱۵ درصد برای آزمون[۸] استفاده شد و تعدادلایه‌ها مخفی در نظر گرفته شده برای شبکه عصبی مصنوعی۷ لایه بود. تعداد نورون در لایه مخفی از ۲ تا ۱۵ عدد تغییر داده شد که در جدول ۳ نتایج حاصل از شبکه عصبی نشان داده شد.

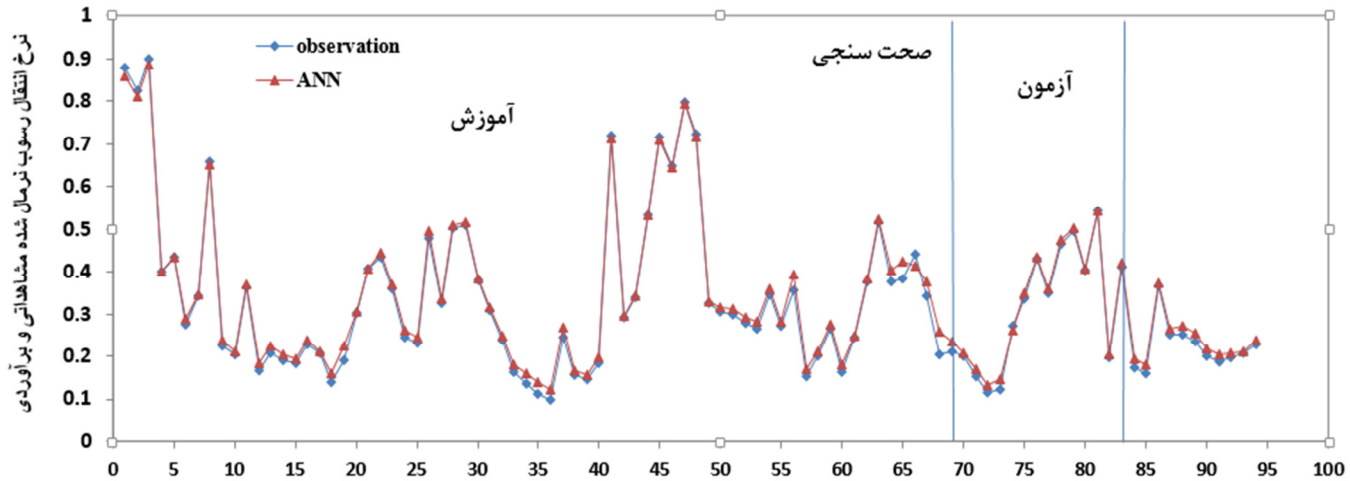
با استفاده از مقدار ضریب تبیین R^2 و خطای میانگین مربعات (MSE) می‌توان تعیین کرد. مدلی که دارای ضریب R^2 بیشتر و خطای ام اس ای (MSE) کمتری در قسمت آزمون است جواب مناسب‌تری می‌باشد. در این تحقیق برای این کار از شش متغیر استفاده شد. که عبارتند از: ارتفاع موج شکنا (H_{sb})، دوره‌ی تناوب موج (T)، زاویه موج شکنا (α_b)، شیب ساحل (m)، اندازه دانه رسوب (D)، نرخ انتقال رسوب در امتدادساحل(Q_S) [۴]. مقایسه نتایج به دست آمده از شبکه عصبی مصنوعی با نتایج داده‌ها میدانی در شکل ۷ ارائه شده است.



شکل ۶- مقادیر رسوب مشاهداتی از تله‌گیر رسوب

جدول ۳- نتایج حاصل از شبکه عصبی مصنوعی در ساحل خزر، شهرستان نور

	مرحله	تعداد نمونه	Bias	RMSE	R^2	SI	CE
ANN	آموزش	۶۵	$۸/۴\times۱۰^{-۵}$	$۴/۸\times۱۰^{-۴}$	۰/۹۹	۰/۱۹	۰/۹۹
	صحت سنجی	۱۴	$۹/۸\times۱۰^{-۵}$	۵×۱۰^{-۴}	۰/۹۹	۰/۲	۰/۹۹
	آزمون	۱۴	$۴/۷\times۱۰^{-۵}$	$۶/۳\times۱۰^{-۴}$	۰/۹۸	۰/۲۵	۰/۹۹



شکل۷- برازش داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی با تابع تانژانت هیپر بولیک در مرحله آموزش ، صحت سنجی و آزمون

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.17.1.3]

۳-۴- مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده رسوب و مقادیر حاصل از فرمول‌ها

در این قسمت با مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر به دست آمده از فرمول‌های نیمه‌تجربی و مقادیرحاصل از شبکه عصبی مصنوعی (جدول۴) و محاسبه نسبت بین این دو مقدار و نمایش نتایج به صورت نموداری در شکل ۸ سعی شده است تا نزدیک‌ترین فرمول به واقعیت و یا نزدیک‌ترین روش برای شرایط منطقه انتخاب گردد.

شکل ۸ نشان دهنده این است که فرمول کامفوس به طور تقریب ۷٪ کمتر از مقدار واقعی رسوب منطقه را برآورد نموده است به طوری‌که:

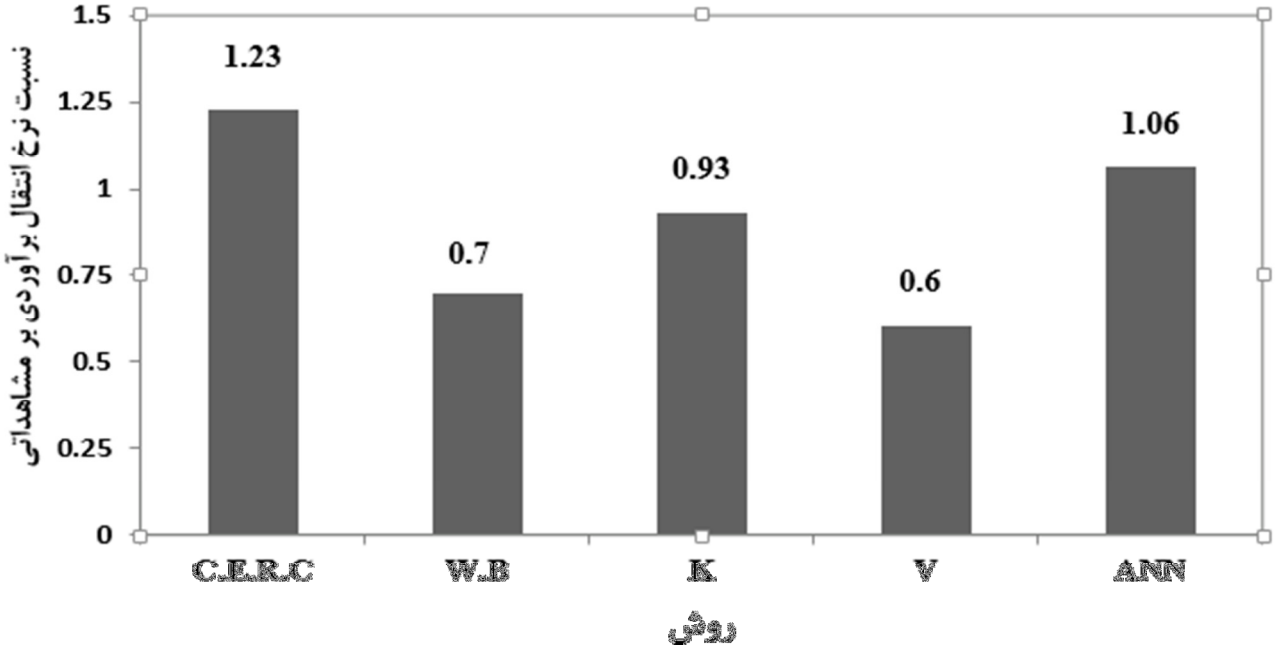
$$Q_{KAMPHUIS} = 0.93 Q_{Observation} \qquad (۱۵)$$

لذا، می‌توان نتیجه گرفت که از بین فرمول‌های نیمه تجربی، فرمول کامفوس نتایج نزدیک‌تری به واقعیت را ارائه نموده است. بخشی از مقدار۷٪ اختلاف مربوط به خطاهای اندازه‌گیری پارامترهای ورودی و بخش دیگر به دقت و توانائی این فرمول در تخمین مقدار انتقال رسوب در امتداد ساحل مرتبط است.

جدول۴- مقادیر به دست آمده از روش‌های مختلف از اول مهرماه تا آخر آذرماه۱۳۹۰ در ساحل خزر، شهرستان نور

فرمول نیمه تجربی	نرخ انتقال (متر مکعب بر روز)	نرخ انتقال (متر مکعب بر ساعت)
سرک (C.E.R.C)	۲۳۳/۴۹	۹/۷۳
والتون و برنو (W.B)	۱۲۶/۶	۵/۲۷
کامفوس (KAMPHUIS)	۱۷۵/۷	۷/۳۲
فن در میر (Van der Meer)	۱۱۲/۲۶	۴/۶۷
مشاهداتی (Observation)	۱۸۹/۶	۷/۹
شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	۲۰۱/۶	۸/۴

همچنین با توجه به مقدار به دست آمده از شبکه عصبی می‌توان نتیجه گرفت که این مدل نتایج واقعی‌تری را نسبت به نتایج فرمول‌های نیمه تجربی ارائه می‌دهد. مقدار ۶٪ درصد خطای این روش پیش‌بینی را می‌توان ناشی از خطای شبکه دانست. با توجه به برآورد همراه با خطای بیشتر فرمول‌های نیمه تجربی، پیشنهاد می‌گردد که از این فرمول‌ها در منطقه مطالعاتی استفاده نگردد و یا قبل از استفاده نسبت به انجام آنالیز حساسیت و کالیبره نمودن ضرائب معادله اقدام گردد.



شکل۸- نسبت مقادیر محاسبه شده نرخ انتقال رسوب به مقادیر اندازه‌گیری شده برای روش‌های مختلف.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.17.1.3]

مقایسه خطاهای این تحقیق با میزان خطا در نتایج چند تحقیق بین المللی در زمینه مشابه، نشان از دقت بالای نتایج این تحقیق دارد. نتایج برخی از این تحقیقات به شرح ذیل می باشد. مطالعات سای و همکاران (۲۰۰۸) که از یک معادله ترکیبی از شبکه و رگرسیون غیر خطی برای محاسبه نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل استفاده کردند، و مقدار R^2 و $RMSE$ برای داده‌های آنها به ترتیب برابر با ۰/۸۳ و ۴/۳۵ کیلوگرم بر ثانیه بدست آمد [۲۳].

هاشمی و همکاران (۲۰۱۰) در سواحل ترمادوک ایرلند برای دوره ۷ ساله در ۱۹ ایستگاه نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل را مورد بررسی قرار دادند و نتایج خود را با داده‌های میدانی مقایسه نمودند. خواص هندسی ساحل، داده‌ها باد، اقلیم موج و تغییرات مربوط به ساحل در نظر گرفته شد. میانگین مربعات خطا برابر با ۰/۰۰۰۷ به دست آمد [۲۹]. کبیری سامانی و همکاران (۲۰۱۰) با در نظر گرفتن ارتفاع موج شکنا، دوره‌ی تناوب موج، زاویه موج شکنا، شیب ساحل و اندازه دانه‌بندی به عنوان ورودی و نرخ انتقال رسوب به عنوان خروجی در یک شبکه عصبی مقادیر R^2 و RMSE را به ترتیب برابر با ۰/۶ و ۰/۶ و ۰ بدست آوردند [۴]. نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر نشان داده است که مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب برابر با۰/۹۸ و $۶/۳\times۱۰^{-۴}$ بود که مبتنی بر کارآیی این مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل می باشد.

۵- نتیجه‌گیری

برآورد نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل یکی از پیچیده‌ترین امور است که تحت تاثیر بسیاری از متغیرهای تصادفی است. با توجه به ماهیت این نوع پدیده‌ها، روش‌های مرسوم برای برآورد نرخ انتقال رسوب دارای خطا می‌باشند. نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده در این تحقیق، نشان داد که نرخ انتقال رسوب در سواحل نور را می‌توان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مورد پیش‌بینی قرارداد. ضمناً با توجه به مقادیر R^2و $RMES$ به دست آمده برای شبکه عصبی مصنوعی که به ترتیب برابر با ۰/۹۸و $۶/۳\times۱۰^{-۴}$ است، می‌توان با به‌دست آوردن نسبت نرخ انتقال رسوب به دست آمده از فرمول‌های نیمه تجربی، شبکه عصبی مصنوعی و مقدار اندازه‌گیری شده با استفاده از تله‌گیر رسوب مقادیر ضرائب ثابت در هر فرمول و ضرائب پیشنهادی جدید را برای شرایط سواحل نور ارائه نمود. توصیه می‌گردد که در مطالعات بعدی زمان نمونه‌برداری مشاهداتی برای نرخ انتقال رسوب افزایش یابد. مدل‌های دیگر نظیر؛ رگرسیون، سری‌های زمانی، موجک، منطق فازی و ANFIS[۹] استفاده گردد و نتایج آن با شبکه عصبی مصنوعی مقایسه گردد.

کلید واژگان

1- Surf zone
2-Power Model Concept
3- Artificial Neural Network
4-Back Propagation
5-M-test
6- Training
7- Validation
8- Testing
9-Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

۵- مراجع

1- Talebbeydokhti, N., Nikmanesh, M., (2002), *Development of a Computer Model for the Prediction of Littoral Sediment Transport Rate*, Journal Esteghlal, Isfahan University, 3(20), 77-91. (In Persian)

2- Fredsoe G., Deigaard R., (1992), *Mechanics of Coastal Sediment Transport*, Worlds Scientific Publication, Advanced series on Ocean Engineering – volume 3, 393p.

3- Fredsoe, G., (1993), *Modeling of Non-Cohesive Sediment Transport Processes in the Marine Environment*, Coastal Engineering 21, 71-103.

4- Kabiri_Samani,A.K.,Aghaee_Tarazjani, J., Boraghei, S.M., Jing, D.S., (2011), *Application of neural networks and fuzzy logic models to long shore sediment transport*, Applied Soft Computing,11,2880-2887, dio:10.1016/j.asoc.2010.11.021.

5- Kamphuis, J.W, (2000), *introduction to coastal engineering and management*, World Scientific Publishing. 16, 105-108.

6- Shore Protection Manual ., (1984), *U.S. Army Coastal Engineering Research Center*, Department of the Army, Corps of Engineers, U.S. Govt. Printing Office, Washington, DC, USA, Vols. 1 and 2.

7- Bagnold, R.A., (1963), *Mechanism of marine sedimentation*, The Sea, Institution of Civil Engineers. 3, 507-528.

8- Bailard, J. A., Inman, D. L., (1981), *An energetic bed load model for a plane sloping beach - local transport*, Journal of Geophysical Research-Oceans and Atmospheres, 86(NC3), 2035–2043.

9- Kamphuis, J.W., Davies, M.H., Nairn, R.B., Sayao, O.J., (1985), *Calculation of littoral sand transport rate*, Coastal Engineering. 10. pp.1-21.

10- Wang, P., Ebersole, BA, Smith, ER, Johnson, BD., (2002), *Temporal and spatial variations of surf-zone currents and suspended sediment concentration*, Coastal Engineering; 46, 175–211.

11- Bijker, EW, (1971), *Longshore transport computations*, Journal of the waterway, harbors and coastal engineering division 97(4), 687-703.

12- Kamphuis, J.W., Davies, M.H., Nairn, R.B., Sayao, O.J., (1985), *Calculation of littoral sand transport rate*, Coastal Engineering. 10. pp.1-21.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.17.1.3]

13- Kamphuis,J.W,(1991), *Alongshore sediment transport rate*, Journal of Waterway , Port, Coastal and Ocean Engineering 117(6), 624-640.
14- Bodge, K. R., Kraus, N. C., (1991), *Critical examination of long-shore transport rate magnitude*, Proceedings Coastal Sediments, ASCE Press, New York, pp. 139-155, doi:10.1016/j.advengsoft.2007.07.004.
15- Longuet-Higgins, M, S., (1970), *Long-shore currents generated by obliquely incident waves*, 1 and 2. Journal of Coastal Research 1970; 75(33), 6778–801.
16- Van Rijn, L. C., (1993), *Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Sea*, The Netherlands (Amsterdam), Delft Hydraulics: AQUA Publication.
17- Watanabe, A., (1999), *Total rate and distribution of long shore sand transport*, In: Proceedings of the 23rd Coastal Engineering Conference; pp. 2528–2541.
18- Pilarczyk.K.W. (1990), *Coastal Protection*. A.A.Balkman/Rotterdam Brookfield.
19- Bayram, A., Larson, M., Miller, HC, Kraus, NC, (2001), *Cross-shore distribution of long shore sediment transport: Comparison between predictive formulas and field measurements*, Coastal Engineering 44, 79–99.
20- Kumar, VS., Anand, NM, Chandramohan, P., Naik, GN., (2003), *Long shore sediment transport rate – Measurement and estimation*, central west coast of India. Coastal Engineering; 48, 95–109.
21- Bakhtyar, A., Ghaheri, A., Yeganeh-Bakhtiary, A., Baldock, T.E., (2008), *Long shore sediment transport estimation using a fuzzy inference system*, Applied Ocean Research 30, 273-286, dio : 10.1016/j.apor .2008012.001.
22- Azmathullah, H.M., Deo. MC, Deolalikar, PB., (2008), *Alternative neural networks to estimate scour below spillways*, Advance in Engineering Software, 39(8), 689-698.
23- Ruchi Kalra, Deo. MC., Kumar.R., Agarwal.VK., (2006), *RBF neural network for spatial mapping of wave heights*, Marine Structures 2006; 18, 289–300.
24- Singh, AK., Deo, MC., Kumar,VS., (2008), *Prediction of littoral drift with artificial neural networks*, hydrology and earth systems sciences discussions. European Geophysical Union; 12, 267–75.
25- Stuber, M., Gemmar, P., Greving, M., (2000), *Machine supported development of fuzzy–flood forecast systems*, In: European conference on advanced in flood research 2, 504–515.
26- Thomas, L. J and Seabergh, W. C, (1997), *Littoral Environment Observations*, U.S. Army Engineering Waterways Experiment Station. Coastal Engineering Research Center 3909 Halls Feny Road, Viiurg. Missiiippi 39180-6lS9.
27- Azramsa, S. A. (2002), *Dynamics of marine sands*, Tarbiat Modares University Press, 226 p. (In Persian)
28- Vafakhah, M., (2008), *Simulation of snowmelt runoff using artificial neural networks*, fuzzy logic, and data measuring snow Taleghan basin, Ph.D. Thesis, Tehran University, 116 p. (In Persian)
29- Kisi, O., (2008), *River flow forecasting and estimation is using different artificial neural network techniques*, Hydrology Research, 39(1), 27-40.
30- Hashemi .M.R., Ghadampour.Z, Neill. S.P., (2010), *uses an Artificial Neural Network to Model seasonal changes in beach profiles*, Ocean Engineering 37, 1345-1356.
31- Blaker, R.S., Norton, J.P., (2007), *Efficient Investigation of the Feasible Parameter Set for Large Models, Proceedings of the International Congress on Modeling and Simulation*, MODSIM: Modeling and Simulation Society of Australia and New Zealand Inc. (MSSANZ), Oxley, L., Kulasiri, D. (Eds), Christchurch, N.Z., 1526-1532.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1392.9.17.1.3]