یادداشت فنی

تخمین آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل با استفاده ازمدل‌های محاسباتی نرم

طیب صادقی فر[۱]، سید علی آزرم سا[*۲]

[۱] کارشناس ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس؛ *tsadeghifar90@gmail.com*
[۲] مسئول مکاتبات و دانشیار گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس؛ *azarmsaa@modares.ac.ir*

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۲۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۵/۱۳
تاریخ انتشار مقاله: ۱۳۹۳/۰۶/۳۱

کلمات کلیدی:
آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل
فرمول‌های نیمه تجربی
ساحل نور
شبکه عصبی مصنوعی
سامانه استنتاج عصبی- فازی

چکیده

طی دهه‌های اخیر فرمول‌های تجربی مختلفی جهت برآورد آهنگ انتقال رسوب ساحلی توسط محققان زیادی ارائه شده است که هریک از روش‌ها تحت شرایط محدود نیم‌رخ بستر و برای محدوده مشخصی از دانه‌بندی رسوب کالیبره و استفاده شده‌اند. روابط تجربی موجود عمدتاً براساس روش‌های برازشی بر روی داده‌های مشاهداتی و اندازه‌گیری شده ارائه شده، بنابراین می‌توان با استفاده از ابزارهای محاسباتی هوشمند و با کاربرد داده‌های موجود، مدل دقیقتری برای پیش‌بینی این پدیده‌ها ارائه نمود. روش‌های محاسباتی نرم، نظیر شبکه عصبی مصنوعی و سامانه استنتاج فازی- عصبی، روش‌های غیر خطی هستند که در مواردی که سایر روش‌ها قادر نیستند روش محاسباتی دقیق از مسئله ارائه دهند مورد استفاده قرار می‌گیرند. عدم نیاز به جزئیات کامل و دقیق مسئله مهترین مزیت روش‌های محاسباتی نرم است. یک مقایسه جامع بین دو مدل شبکه عصبی مصنوعی، سامانه استنتاج فازی- عصبی و فرمول‌های نیمه تجربی حاضر نشان دهنده توانایی بالا شبکه عصبی در پیش‌بینی آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل می‌باشد.

Estimated Alongshore Sediment Transport Rates Using Soft Computing (SF) Models

Tayeb Sadeghifar[1], Seyed Ali Azarmsa[2]*

[1] department of marine physics, factulty Department of Marine physics,Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor 46417-76489, Iran; tsadeghifar90@gmail.com
2 Corresponding Author, Department of Marine physics, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor 46417-76489, Iran; azarmsaa@modares.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 17 Feb. 2013
Accepted: 4 Aug. 2014
Available online: 22 Sep. 2014

Keywords:
Alongshore Sediment Transport Rate
Semi-Empirical Formulas
Noor Coastal Zone
ANN
ANFIS

ABSTRACT

Many empirical methods for estimating LSTR have been introduced by scientists during the recent decades, but these methods have been calibrated and applied under limited conditions of bed profile and specific range of bed sediment size. The existing empirical relations are linear or exponential regressions based on the observation and measurements data and there's a great potential to build more accurate models to predict sediment transport phenomena by means of Soft computation approach . Contemporarily soft computing (SF) models, Artificial Neural Networks (ANN), Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) have been accepted as potentially valuable tool for modeling and forecasting complex nonlinear systems. In other words, SF is very helpful when the mathematical and physical scheme couldn't propose accurate solution to the encountered problem. The main advantage of SF model is that the accurate detail of the problems is not required. A comprehensive comparison between both ANN and ANFIS models and the existing empirical formulae will be presented to demonstrate capacity of ANNs.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.5.8]

۱ - مقدمه

انتقال رسوب هنوز یک علم در حال تکامل است، زیرا به فرآیندهای پیچیده‌ای وابسته است. شایان ذکر است تعدادی از این فرآیندها اندازه‌گیری نشده و یا به‌طور کامل درک نشده‌اند، بنابراین توجه مهندسان به این مطلب ضروری است که حتی بهترین پیش‌بینی-های موجود در زمینه انتقال رسوب نیز نسبت به پیش‌بینی‌های مورد انتظار در دیگر رشته‌ها و زمینه‌های علوم و مهندسی دارای حاشیه خطای وسیع‌تری می‌باشند[۱].

مدل‌های انتقال رسوب که مدل‌های عددی می‌باشند، بر پایه حل عددی معادلات انتقال رسوب بر روی شبکه محاسباتی با در نظر گرفتن معادله پیوستگی و مومنتوم عمل می‌کنند. در مدل‌های دو بعدی انتقال رسوب از سرعت میانگین‌گیری شده در عمق استفاده می‌شود و مفاهیم آشفتگی، تنش‌های برشی، انتقال رسوبات معلق و بار بستر، به‌همراه تاثیر موج به‌کار می‌روند.

امواج یکی از مهمترین پدیده‌های موثر بر انتقال رسوب در مناطق دریایی و از جمله دریای خزر می‌باشند. با توجه به موقعیت جغرافیایی و ابعاد این دریاچه، بر خلاف دریاهای جنوب کشور، نوسانات کشندی (جزر و مدی) قابل توجه‌ی در آن مشاهده نمی-شود، ولی در عوض طول بادگیر کافی برای تشکیل امواج مرتفع وجود دارد. امواج تشکیل شده در نزدیکی ساحل می‌شکنند و در آب کم عمق باعث رخداد انتقال رسوب در امتداد ساحل و عمود بر ساحل می‌گردند.

باویری و مسدد (۲۰۱۲) آهنگ انتقال رسوب را در دریای خزر محاسبه کردند و بیشترین آهنگ انتقال را ۳۹۲۷/۴۵ مترمکعب در روز، در فصل سرد در بندر انزلی و کمترین آهنگ انتقال را ۱۲۲/۵۳ مترمکعب در روز، در طی فصل گرم در بندر نوشهر گزارش نمودند[۲]. نیک منش (۱۳۸۰) روابط نیمه تجربی کومار و اینمان سال ۱۹۷۰، گالوین سال ۱۹۷۲، فرمول سرک سال ۱۹۷۷، رابطه دیگارد و همکارانش سال ۱۹۸۶ و کمفیوس سال ۱۹۹۱ را برای سواحل ایران مورد ارزیابی قرار داد[۳]. طالب بیدختی و نیک منش(۱۳۸۰) یک مدل رایانه‌ای برای پیش‌بینی آهنگ انتقال رسوب ساحلی در بندر انزلی در دریای خزر را با استفاده از برنامه رایانه‌ایPLSTP و از طریق کنترل نیمرخ‌های غلظت، سرعت جریان ساحلی و توزیع انتقال رسوب در ناحیه ساحلی ارائه نمودند[۴]. کبیری سامانی و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل در ایران را مورد ارزیابی قرار داده و در بین مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی و الگوریتم شیب نزولی خطا[1] این الگوریتم عملکرد بهتری داشته است[۵]. هاشمی و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی تغییرات فصلی در پروفیل ساحل در خلیج ترومادوک در ایرلند را مورد مطالعه قرار دادند[۶]. بختیار و همکاران (۲۰۰۸) تخمین آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل در سواحل ارگی[2] در کشور هندوستان را با استفاده از سامانه استنتاج فازی عصبی به‌دست آوردند [۷]. صادقی‌فر و همکاران(۱۳۹۲) با استفاده از فرمول‌های نیمه‌تجربی و شبکه عصبی مصنوعی آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل در سواحل جنوبی دریای خزر (شهرستان نور) را مورد مطالعه قراردادند [۸]. کراوس و همکاران (۱۹۸۹) در گزارش نهایی در مورد پژوهش‌های انتقال رسوب در منطقه خیزآب ساحلی در داک ۸۵ [3] در ویسبورگ می‌سی‌سی‌پی در ایالات متحده با استفاده از تله‌گیر ستونی رسوب قابل حمل به نتایج قابل اعتماد و سازگار با جریان دست یافتند. در این گزارش تله‌گیرها به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه در بازه زمانی ۶ روزه آهنگ انتقال رسوب در منطقه خیزآب ساحلی را محاسبه نمودند [۹].

کشور ایران دارای سواحل طولانی و پر اهمیت در مرزهای شمالی و جنوبی است. از این رو شناخت دقیق رفتار تغییرات فصلی و اندرکنش سواحل با سازه‌های ساحلی، در طراحی سازه‌های دریایی؛ نظیر اسکله‌ها، دیوارهای ساحلی، موج شکن؛ از اهمیت بسیار بالایی برخودار است. همچنین جهت تخمین میزان دقیق نقل و انتقالات ساحل و تعادل رسوبی در سواحل، نیاز مبرم به شناخت کافی از پدیده انتقال رسوب در امتداد ساحل می‌باشد.

در این پژوهش با بهره‌گیری از مشاهدات و اندازه‌گیری‌های میدانی انجام شده با تله‌گیر رسوب و استفاده از مدل‌های ANN، ANFIS، آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل تعیین و مورد مقایسه قرار گرفته است تا ضمن بررسی دقت هر یک از روش‌ها، امکان استفاده از روش‌های نرم،که معمولاً کاربرد آن‌ها راحت‌تر می‌باشد، مورد بررسی قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در منطقه ساحلی نور در جنوب دریای خزر به طول ۲۴۰۰ متر واقع در عرض جغرافیایی ″۵/۲۰ ′۵۲ °۳۶ تا ″۴۰/۹۳ ′۱۷ °۳۷ شمالی و طول جغرافیایی″۳۷/۱۸ ′۲۷ °۵۳ تا″۱۷/۱۶ ′۳۲ °۵۰ شرقی در ۴ ایستگاه از اول فروردین تا آخر تیرماه سال ۱۳۹۰ انجام شد. خصوصیات و موقعیت‌های ایستگاه-های اندازه‌گیری در تحقیق صادقی‌فر و همکاران (۱۳۹۲) آورده شده است[۸].

۲-۲- داده‌ها اندازه‌گیری شده

خلاصه اطلاعات مربوط به داده‌های اندازه‌گیری شده در جدول ۱ ارائه شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.5.8]

۲-۳- اندازه‌گیری آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل

در این پژوهش آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل با استفاده از تله‌گیرهای رسوب اندازه‌گیری گردید (شکل ۱). این تله‌گیرها توسط محققین این تحقیق طراحی و ساخته شده است.

۲-۳-۱- تله گیر رسوب[۴]

تله‌گیر رسوب اساساً برای اندازه‌گیری آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل در منطقه خیزآب ساحلی طراحی شده است. چهارچوب تله‌گیر از جنس $P.V.C$ ساخته شد. بخش مستطیلی، در دهانه تله‌گیر رسوب دوخته شده است. شش میله فلزی قرار گرفته در داخل لوله‌ها برای نصب تله‌گیر در بستر دریا استفاده شد. بنابراین، دهانه تله‌گیر در جریانات بالا و در طول توزیع جریان نگه داشته می‌شود. فاکتورهای کنترل شامل، سرعت جریان در امتداد ساحل، ارتفاع موج، عمق آب، اندازه دانه‌ها و طول مدت نمونه-برداری می‌باشد، وابستگی این فاکتورها قابل بررسی است. طول تله‌گیر معلق درحدود ۱/۲ متر است. بیشترین رسوب جمع‌آوری شده در تله‌ها براثرکاهش جریان‌ها است.

۲-۳-۲- تحلیل آهنگ انتقال رسوب

از تله‌گیرها جهت اندازه‌گیری شار رسوب، به عنوان مثال، وزن شن و ماسه عبوری از نازل در سطح مقطع خاصی در زمان نمونه‌برداری استفاده شد. اگر نمونه‌برداری در یک جریان یک سویه انجام شود که در این‌جا بدین صورت بوده است، شار می‌تواند مستقیماً با جریان توسعه یافته با استفاده از فرمول‌های پیش‌بینی به صورت نسبی به دست آید [۹].

شار رسوب F در ستون K با استفاده از معادله۱به‌دست آمد:

$$F(K) = \frac{S(K)}{\Delta h \Delta w \Delta t} \qquad (۱)$$

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

جدول ۱- پارامترهای آماری داده ها اندازه‌گیری شده در ساحل شهر نور

پارامترها	تعداد	بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
H(m)	۱۲۳	۰/۸۷	۰/۰۱	۰/۳	۰/۱۸	۰/۶
T(sec)	۱۲۳	۷	۲/۳	۴/۵۶	۰/۹	۰/۲
α(Deg)	۱۲۳	۴۵	۵	۲۷/۸	۱۱/۵	۰/۴۱
W(m)	۱۲۳	۱۷۰	۳۰	۸۳/۳	۳۱/۶	۰/۳۸
V(m/s)	۱۲۳	۰/۵	۰/۱	۰/۲	۰/۰۹	۰/۴۵
m	۱۲۳	۰/۲۶	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۰۴۵	۰/۳۲
D(φ)	۱۲۳	۵/۱۲	۰/۲	۱/۲۲	۱/۲۵	۱/۰۲

۲-۳-۳- آهنگ انتقال کلی رسوب

توزیع‌های عمود بر ساحل به‌دست آمده در آب‌های کم عمق در تله‌گیرها و یا در نقطه شکست (جایی که در آن آهنگ انتقال صفر در نظر گرفته می‌شود) در مجموع آهنگ کلی انتقال رسوب گفته می‌شود. اندازه‌گیری آهنگ کلی انتقال رسوب تبدیل به نرخ وزن غوطه‌وری انتقال، که با نماد I نشان داده می‌شود به‌نام پارامتر دبی[۵] به‌صورت معادله۲ تعریف می‌شود [۱۰، ۱۱].

$$R = V X_b H_b \qquad (۲)$$

R= پارامتر دبی (متر مکعب بر ثانیه)، V= میانگین سرعت جریان در امتداد ساحل (متر بر ثانیه)، X_b= میانگین عرض منطقه خیزآب ساحلی (متر)، H_b = میانگین ارتفاع موج شکنا در نقطه شکست (متر).

آهنگ کلی انتقال در امتداد ساحل تابعی از پارامتر دبی است. یک رابطه تقریباً خطی در نتیجه، معادله مناسب از ریشه کمترین مربعات به صورت $I = 207(R - R_c)$ (ضریب همبستگی$r^2 = 0.76$)، که در آن مقدار تقاطع R_c برابر با ۳/۹ متر مکعب بر ثانیه که به عنوان یک مقدار آستانه برای مکان در نظر گرفته شده برای انتقال در امتداد ساحل می‌باشد و I در اینجا بر حسب واحد مترمکعب بر ثانیه است [۱۰].

۲-۴- فرمول‌های نیمه‌تجربی

بعضی از فرمول‌های موجود، آهنگ کلی انتقال رسوب ساحلی در عرض ناحیه شکست را ارائه می‌نمایند به چنین روش‌هائی، روش کلی محاسبه آهنگ انتقال رسوب ساحلی می‌گویند که خود می-تواند شامل اصول تئوریک بر پایه انرژی موج و یا هیدرودینامیک ناحیه شکست و تنش برشی بستر باشد و یا این‌که پایه تجربی داشته باشد.

در مقابل روش‌هائی نیز وجود دارند که آهنگ انتقال رسوب در هر نقطه از ناحیه شکست و در هر لحظه از زمان را محاسبه می‌نمایند و اثر توام موج و جریان‌های مختلف ساحلی را نظر می‌گیرند که به آنها روش‌های جزئی محاسبه انتقال رسوب می‌گویند. در پژوهش حاضر از فرمول‌های نیمه‌تجربی (سرک $(C.E.R.C)$، والتون و برنو $(W.B)$، گالوین (G) و کمفیوس $(Kamphuis)$ استفاده شد که در جدول۲ فرمول‌های نیمه‌تجربی به همراه پارامترهای ورودی نشان داده شده است[۸].

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.5.8]

۲-۵- شبکه‌های عصبی مصنوعی [۶]

ساختار شبکه عصبی در این پژوهش، شبکه سه لایه شامل یک لایه ورودی، یک لایه مخفی و یک لایه خروجی می‌باشد. این نوع شبکه‌ها معمولاً به وسیله الگوریتم انتشار به عقب[۷] آموزش داده می‌شوند. برای جلوگیری از کوچک شدن بیش ازحد وزن‌های شبکه‌های عصبی‌مصنوعی، ورودی‌های شبکه‌بایداستاندارد شوند[۸].

۲-۶- سامانه استنتاج تطبیقی عصبی- فازی [۸]

توانایی پیاده‌سازی دانش بشری با استفاده از مفاهیم برچسپ‌های زبانی و قواعد فازی، غیر خطی بودن و قابلیت سازش‌پذیری این سامانه‌ها و دقت بهتر آنها در مقایسه با سایر روش‌ها در شرایط محدودیت داده‌ها، از جمله مهمترین ویژگی‌های سامانه ANFIS است [۱۲].

از طرفی، شبکه‌های عصبی مصنوعی به دلیل قابلیت آموزش‌پذیری با استفاده از الگوهای مختلف آموزشی می‌توانند ارتباط مناسبی بین متغیرهای ورودی و خروجی ایجاد نمایند.

لذا استفاده ترکیبی از سامانه استنباط فازی و شبکه عصبی مصنوعی به عنوان ابزاری قدرتمند که قابلیت پیش‌بینی نتایج با استفاده از داده‌های عددی موجود را دارند، تحت عنوان سامانه استنتاج تطبیقی عصبی– فازی معرفی می‌شود. لذا این سامانه از الگوریتم‌های شبکه عصبی و منطق فازی به منظور طراحی نگاشت غیر خطی بین فضای ورودی و خروجی استفاده می‌کند. سامانه استنتاج تطبیقی عصبی– فازی شبکه‌ای ۵ لایه متشکل از گره‌ها و کمان‌های اتصال دهنده گره‌ها می‌باشد. ساختار مناسب سامانه عصبی– فازی متناسب با داده‌های ورودی، درجه عضویت، قوانین و توابع درجه عضویت خروجی انتخاب می‌شوند. شکل (۳) نمایشی از معماری شبکه عصبی– فازی با دو ورودی، یک خروجی و دو قانون می‌باشد.



شکل ۱- تله گیر رسوب مورد استفاده در تعیین نرخ انتقال رسوب در ساحل شهر نور

در لایه اول (ورودی) میزان تعلق هر ورودی به بازه‌های مختلف فازی توسط کاربر مشخص می‌شود. با ضرب مقادیر ورودی به هر گره در یکدیگر، وزن قانون‌ها (W_i) در لایه دوم به دست می‌آید. در لایه سوم عمل محاسبه وزن نسبی در مرحله آموزش با اصلاح پارامترهای درجه عضویت براساس میزان خطای قابل قبول، مقادیر ورودی به مقادیر واقعی نزدیک‌تر می‌شوند. روش آموزش اصلی در این سامانه، روش پس انتشار خطا است. در این روش با استفاده از الگوریتم شیب نزولی خطا، مقدار خطا به سمت ورودی‌ها پخش می‌گردد و پارامترها تصحیح می‌شوند تصادفی بودن اطلاعات آموزش، عدم توانایی تخمین اطلاعات خارج از دامنه، نرمال‌سازی داده‌های ورودی برای حصول نتایج بهتر و تعداد داده‌های بیشتر جهت آموزش از خصوصیات شبکه عصبی- فازی است[۱۳].

قبل از به‌کارگیریANFIS ابتدا نرمال‌سازی و استانداردسازی داده‌ها انجام گرفت و به دو دسته داده‌ی آموزش (۷۰ درصد)، ۱۵ درصد داده‌های برای صحت سنجی و ۱۵ درصد برای آزمون تقسیم شدند. انتخاب داده‌ها به صورت تصادفی صورت گرفت.

۲-۷- نمایه‌های آماری مورد استفاده

معیارهای مورد استفاده برای اندازه‌گیری عملکرد مدل، ضریب کارآیی (CE)، خطای ریشه میانگین مربعات ($RMSE$)، شاخص پراکندگی (SI)، نرمال شده به وسیله میانگین مقادیر مشاهده شده از مقادیر مرجع به صورت معادلات ۴-۷ تعیین می‌شوند:

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O}_m)} \quad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2} \quad (۵)$$

$$SI = \frac{RMSE}{averageobservedvalue} \times 100 \quad (۶)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(O_i - \overline{O}_m)(P_i - \overline{P}_m)}{\left(\sum_{i=1}^{N}(O_i - \overline{O}_m)^2\right)^{0.5}\left(\sum_{i=1}^{N}(P_i - \overline{P}_m)^2\right)^{0.5}} \quad (۷)$$

R^2 ضریب همبستگی و $\overline{P}_m$ میانگین مقدار پیش‌بینی شده است. مقدار مجذور میانگین مربعات خطا بین صفر و یک قرار دارد و مقدار آن هرچه به صفر نزدیکتر باشد نشانگر دقت بالا پیش‌بینی است. شاخص پراکندگی بر حسب درصد می‌باشد و بیانگر درصد پراکندگی داده‌های پیش‌بینی شده نسبت به مقادیر واقعی می‌باشد که مقدار صفر بیان کننده عدم پراکندگی در پیش‌بینی است. همچنین مقدار ضریب همبستگی (R) بین ۱- تا ۱ می‌باشد و مقدار ۱ بیان کننده پیش‌بینی بدون خطا می‌باشد. دامنه CE از منفی بی‌نهایت (مدل ضعیف) تا ۱ (مدل خوب) است.

۳- نتایج و بحث

در این پژوهش، دستگاه تله‌گیر را به صورت روزانه به مدت یک ساعت در زمان مشخص در منطقه خیزآب ساحلی در بستر دریا

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]

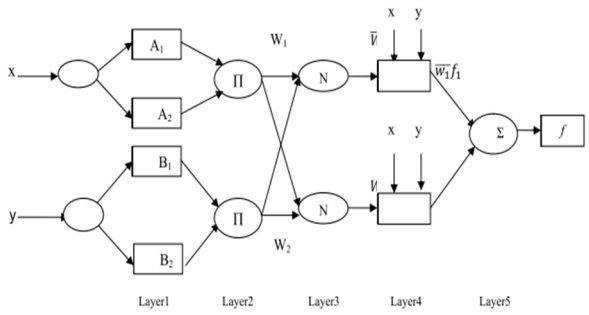
[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.5.8]

نصب و نمونه‌برداری از رسوب انجام شد. بعد از مدت زمان یک ساعت دستگاه را به ساحل آورده و رسوب جمع آوری شده در تله-گیر را در ظروف تخلیه و به آزمایشگاه منتقل، و به مدت ۲۴ ساعت در دمای (C^0)۱۰۵ خشک و بعد از خشک کردن رسوب وزن شده و آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل به صورت ساعتی و روزانه محاسبه شد. نتایج در شکل ۴ برای دوره‌ی نمونه‌برداری از اول فروردین تا تیرماه سال ۱۳۹۰ نشان داده شد.

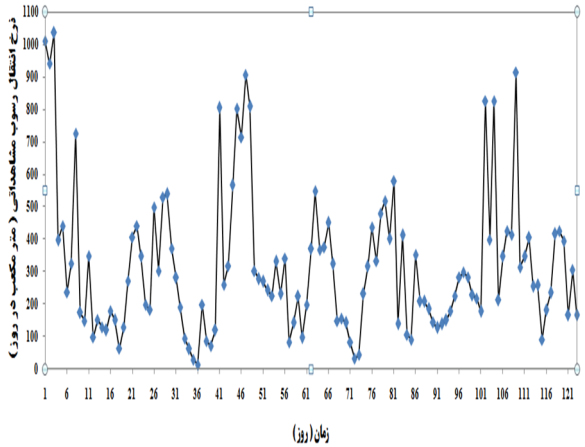
براساس مشاهدات میدانی و با استفاده از تله‌گیر رسوب استفاده شده نتایج به دست آمده به صورت جدول (۳) نشان داده شده است. سپس با استفاده از داده‌های مشاهداتی به‌دست آمده و روش-های مذکور مقادیر آهنگ انتقال رسوب به دست آمد(جدول۴). برای ارزیابی عملکرد فرمول‌های سرک (C.E.R.C)، والتون و برنو (W.B)، کمفیوس (Kamphuis)، گالوین (G) و نیز شبکه عصبی مصنوعی و سامانه استنتاج فازی- عصبی، آهنگ‌های انتقال رسوب در امتداد ساحل با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده و کاربرد هر یک از روش‌های فوق محاسبه (جدول ۳) و نتایج مقایسه در جداول ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده است.

همان‌طور که در بخش قبلی ذکر گردید در این پژوهش به منظور پیش‌بینی آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل با شبکه عصبی مصنوعی از نوع پیش‌خور و الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا استفاده شد. از آن‌جایی که قاعده خاصی به منظور انتخاب بهینه تعداد لایه پنهان و تعداد نورون‌های این لایه ها وجود ندارد لذا بایستی از روش سعی و خطا به بهینه‌ترین حالت رسید. داده‌های ورودی در این تحقیق عبارتند از: ارتفاع موج شکنا (H_b)، زاویه موج شکنا (α_b)، دوره‌ی تناوب موج (T)، شیب ساحل (m) و اندازه مشخصه دانه‌ها (D) و داده خروجی عبارت است از آهنگ انتقال رسوب مشاهداتی (Q_s) که در شبکه عصبی مصنوعی منظور گردید. شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده در این پژوهش شبکه-ای با ۵ ورودی، ۱۲ تکرار، ۱۵ لایه مخفی و یک خروجی است. آماره‌های خطای ریشه میانگین مربعات ($RMSE$)، شاخص پراکندگی (SI)، R^2، MAE، MRE و ضریب بهره‌وری (CE) در دوره‌های آموزش و آزمون توسط یک شبکه با ساختار سه لایه (ورودی، مخفی و یک لایه خروجی) در جدول (۶) ارائه شده است. پارامترهای آماری در قسمت آزمایش مدل ANFIS در جدول ۷ ارائه شده است.

نتایج به‌دست آمده در جداول ۶ و ۷ نشان دهنده کارآیی مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل ANFIS می‌باشد. در اشکال ۵ و ۶ نمودار پراکندگی آهنگ انتقال رسوب پیش‌بینی شده توسط دو مدل، به ترتیب، شبکه عصبی مصنوعی و ANFIS نشان داده شده است.



شکل ۳- ساختار سامانه استنتاج تطبیقی عصبی– فازی (ANFIS)



شکل۴- مقادیر رسوب مشاهداتی به دست آمده با استفاده از تله‌گیر رسوب در ساحل شهرستان نور

جدول۲- طبقه بندی روش‌های مختلف برآورد نرخ انتقال رسوب ساحلی

ردیف	نام روش	اصول تئوریک روش	فرمول	ورودی	خروجی
۱	*C.E.R.C*	مبتنی بر انرژی موج و شامل ارتفاع و زاویه موج در نقطه شکست موج در ساحل	$Q= KA\ (\rho g^2/64\pi)\ T\ H_b^2\ sin\ (2\alpha_b)$	H_b, α_b, T	دبی رسوب عبوری کل (حجمی) از عرض ناحیه شکست
۲	*W.B*	مبتنی بر انرژی موج و شامل ارتفاع شکست موج در ساحل، اندازه‌گیری عرض منطقه خیزآب ساحلی و میانگین سرعت جریان موازی ساحل	$Q = KAgH_b\left(\frac{wc_f}{0.78\left(\frac{5\pi}{2}\right)\left(\frac{v}{v_0}\right)_{LH}}\right)$	H_b, w, v	دبی رسوب عبوری کل (حجمی) از عرض ناحیه شکست
۳	*G*	فرمول تجربی و شامل ارتفاع شکست (متوسط سالیانه) موج	$Q = 1.646 \times 10^6 \times H^2$	$H_b,$	دبی رسوب عبوری کل (حجمی) از عرض ناحیه شکست

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.5.8]

۴	*Kamphuis*	مبتنی بر انرژی موج و شامل اندازه ذره و شیب ساحل و ارتفاع و زاویه شکست	$Q = 6.4 \times 10^4 H_b^2 T^{1.5} m_b^{0.75} D^{-0.25} sin^{0.6}(2\alpha_b$	H_b, α_b, T D, m_b	دبی رسوب عبوری کل (مستغرق) از عرض ناحیه شکست

جدول۳- مقادیر به دست آمده از اندازه گیری میدانی با استفاده از تله‌گیر رسوب

داده ها	تعداد داده‌ها	$Q(\frac{m^3}{day})$	$Q(\frac{m^3}{year})$	میانگین (x_{mean})	انحراف معیار	$\frac{x_{mean}}{SD}$	X_{max}	X_{min}	چولگی	کشیدگی
مشاهدات	۱۲۳	۵۷۵/۰۴	۲۰۲۲۸۸/۸	۳۱۶/۳۶	۹/۲۹	۱/۴۲	۱۰۳۶/۸	۱۲/۶۷	۱/۳۸	۰/۴۳

جدول ۴- مقادیر به دست آمده از مشاهدات میدانی، فرمول های نیمه تجربی، شبکه عصبی مصنوعی و سامانه استنتاج عصبی - فازی.

فرمول ها	$Q(\frac{m^3}{year})$	$Q(\frac{m^3}{day})$
نرخ انتقال مشاهداتی	۲۰۲۲۸۸/۸	۵۷۵ /۰۴
سرک (C.E.R.C)	۲۶۹۲۹۶/۲۱	۷۳۷/۷۶
کمفیوس (Kamphuis)	۲۲۰۵۹۹/۱۴	۶۰۴/۳۲
والتون و برنو (W.B)	۲۳۸۶۶۴/۸۳	۶۷۰/۳۲
گالوین (G)	۲۴۹۷۴۳/۱۶	۶۸۴/۲۴
شبکه عصبی مصنوعی	۲۱۶۱۶۵/۴	۵۹۲/۳۲
استنتاج تطبیقی عصبی- فازی	۲۵۳۱۷۹/۷	۶۹۳/۶

جدول ۵ - آماره‌های ارزیابی آهنگ انتقال رسوب مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط فرمول‌های نیمه تجربی(سرک ، والتون و برنو، گالوین و کمفیوس)

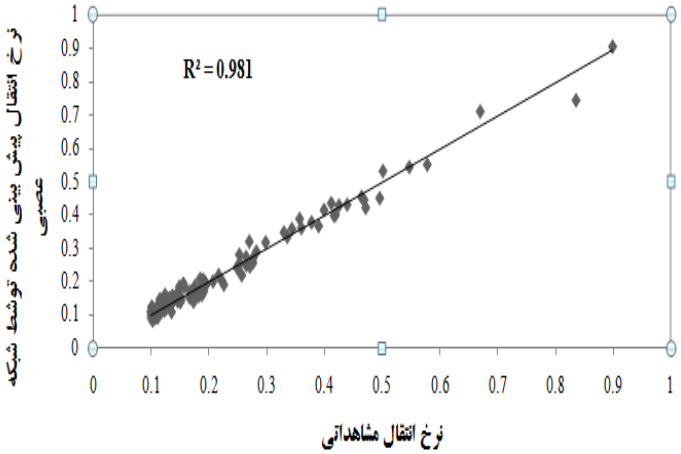
نمایه آماری	بایاس (Bias)	مجذور میانگین مربعات (RMSE)	شاخص پراکندگی(SI)	ضریب همبستگی (R)
سرک	۱۴۵/۳۲	۸/۷۳	٪۸۵/۵	۰/۶۴
والتون‌وبرنو	۱۵۸/۵	۱۹۱/۳۶	٪۷۲/۳	۰/۲۱
کامفوس	۱۳۲/۰۴	۷/۶۴	٪۸۰/۶	۰/۷۱
گالوین	۲۱۰/۴	۲۴/۱۲	٪۷۰/۶	۰/۳۵

جدول ۶- پارامترهای آماری مورد استفاده در مدل شبکه عصبی مصنوعی

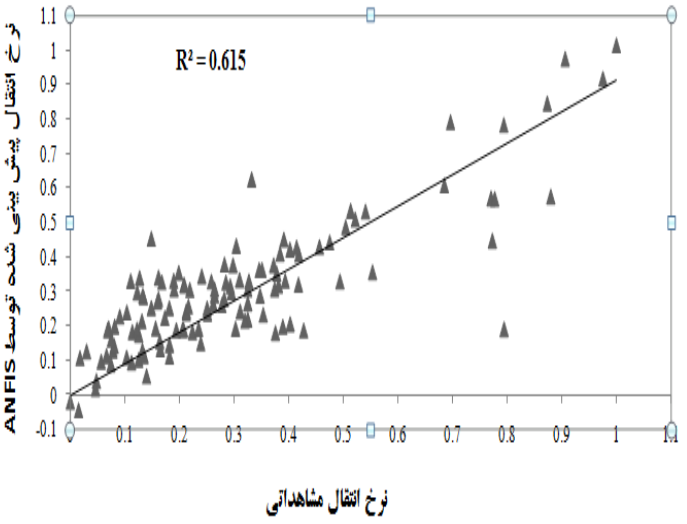
شبکه عصبی	RMSE	SI	R^2	MAE	MRE	CE
آموزش	۰/۰۳	۱/۸	۰/۹۹	۰/۰۱۴	۷/۲	۰/۹۹
آزمون	۰/۰۲	۱۰/۸	۰/۹۹	۰/۰۱۶	۱۹/۱	۰/۹۹

جدول ۷- پارامترهای مورد استفاده در مدل سامانه استنتاج فازی- عصبی

پارامتر	نوع تابع عضویت	تعداد تکرار	تعداد تابع عضویت	RMSE	SI	R^2	CE
ساحل نور	زنگوله‌ای	۱۰۰۰	۲	۰/۰۹	۳/۲	۰/۹۶	۰/۹۳



شکل ۵- نمودار پراکندگی نرخ انتقال رسوب پیش بینی شده توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی (۵-۱۵-۱).



شکل ۶- نمودار پراکندگی نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل پیش بینی شده با استفاده از مدل ANFIS(MF2)

با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده حاصل از مشاهدات میدانی در ساحل شهر نور شامل؛ ارتفاع موج، دوره‌ی تناوب موج، زاویه موج شکنا، عرض منطقه خیزآب ساحلی، دانه‌بندی و شیب ساحل، آهنگ انتقال رسوب محاسبه شده با کاربرد هر یک از فرمول‌های نیمه تجربی ذکر شده، به دست آمد. سپس، مقدار اندازه‌گیری شده آهنگ انتقال رسوب و مقادیر به دست آمده برای آن از فرمول‌های

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.5.8]

نیمه‌تجربی و مقدار حاصل از شبکه عصبی مصنوعی و سامانه استنتاج فازی- عصبی مورد مقایسه قرار گرفته و به صورت نموداری در جدول ۸ نشان داده شده است تا نزدیک‌ترین فرمول به واقعیت و یا نزدیک‌ترین روش برای شرایط منطقه انتخاب گردد.
با توجه به جدول۸، فرمول سرک ۲۳٪ بیشتر از حد واقعی برآورد نموده است به طوری که:

$$Q_{\mathrm{C.E.R.C}} = 1.23 Q_{\mathrm{observation}}$$

$Q_{\mathrm{C.E.R.C}}$ = مقدار حاصل از فرمول سرک (C.E.R.C)
بنابراین توصیه می‌شود که هنگام استفاده از فرمول فوق برای برآورد سالیانه آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل برای شرایط شهر نور مقدار ثابت در فرمول کاهش یابد. به این منظور و برای تصحیح ضریب ثابت فرمول سرک برای ساحل شهر نور، پیشنهاد می‌گردد تا از ضریب ثابت ۰/۳۲ در این فرمول استفاده شود.
روش کمفیوس مقدار رسوب سالانه را ۰/۹۳ برابر از مقدار واقعی آن برآورد نموده است. به طوری‌که:

$$Q_{Kamphuis} = 0.93 Q_{observation}$$

Q_{Kamphuis} = مقدار حاصل از فرمول کامفوس
این میزان خطا می‌تواند مربوط به عدم قرارگیری شرایط ساحل مورد نظر در محدوده کالیبراسیون این فرمول باشد. مقدار ضریب ثابت در فرمول بر حسب مترمکعب بر ثانیه برابر با ۱/۲۸ می‌باشد. به منظور تصحیح ضریب ثابت در فرمول کمفیوس، پیشنهاد می‌گردد تا از ضریب ۱/۳۷ در منطقه ساحلی نور استفاده گردد.
فرمول والتون و برنو مقدار رسوب را ۰/۷ برابر از مقدار واقعی آن برآورد نموده است. به طوری‌که:

$$Q_{W.B} = 0.7 Q_{observation}$$

$Q_{\mathrm{W.B}}$= مقدار حاصل از فرمول والتون و برنو. مقدار ۰/۳٪ - اختلاف می‌تواند مربوط به خطا در مشاهدات چشمی در اندازه‌گیری مشخصه موج و عرض منطقه خیزآب ساحلی باشد. بنابراین انتظار می‌رود که هنگام استفاده از فرمول فوق برای برآورد سالیانه آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل برای شرایط ساحل شهر نور مقدار ثابت در فرمول کاهش یابد.

۳-۱- مقایسه جامع بین روش‌ها

با توجه به نتایج به دست آمده فرمول‌های مورد استفاده تا حدودی بهترین فرمول‌های نیمه‌تجربی برای به دست آوردن آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل در سواحل نور می‌باشند. فرمول کمفیوس در سال ۱۹۹۱ به نظر بهترین فرمول برای محاسبه آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل می‌باشد. و فرمول سرک به دلیل اینکه برآورد خیلی بالا دارد، نمی‌تواند زیاد صحیح باشد. و به نسبت می‌توان نتیجه گرفت که شبکه عصبی هم پیش‌بینی بهترین برآورد را از آهنگ انتقال رسوب دارد.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش پس از اندازه‌گیری آهنگ انتقال رسوب با استفاده از مشاهدات میدانی، روش‌های تجربی و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و سامانه استنتاج تطبیقی عصبی– فازی مورد کاربرد، ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند. همچنین، دقت تخمین آهنگ انتقال رسوب محاسبه شده با استفاده از فرمول‌های نیمه‌تجربی سرک، والتون و برنو و کمفیوس بررسی و پیشنهاداتی برای تصحیح مقدار ثابت K در این فرمول‌ها برای اخذ پیش‌بینی‌های دقیق‌تر در منطقه ساحلی نور ارائه شد. شایان ذکر است که بهترین ارزیابی توسط فرمول کمفیوس به دست آمده است که به دلیل وجود پارامترهای نظیر؛ شیب ساحل و اندازه دانه‌بندی است که در این فرمول منظور گردیده است. ولیکن اگرچه کاربرد فرمول سرک به دلیل نیاز و کاربرد پارامترهای کمتر، ساده‌تر می‌باشد، به دلیل نادیده گرفتن تاثیر شیب ساحل و دانه‌بندی رسوب، در مقایسه با فرمول کمفیوس نتایج ضعیف‌تری را در ساحل شهر نور ارائه نموده است.
در خصوص مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و سامانه استنتاج فازی–عصبی نیز برآوردهای به دست آمده از آهنگ انتقال رسوب و نمایه‌های آماری مورد استفاده نشان دهنده برتری شبکه عصبی نسبت به مدل ANFIS می‌باشد.
توصیه می‌گردد که در مطالعات بعدی زمان نمونه برداری مشاهداتی برای آهنگ انتقال رسوب افزایش یابد. همچنین مدل‌های دیگر نظیر؛ سری‌های زمانی، رگرسیون، موجک، منطق فازی، و الگوریتم ژنتیک نیز استفاده شده و نتایج آن‌ها با نتایج این پژوهش مقایسه گردد.

جدول۸- نسبت مقادیر محاسبه شده نرخ انتقال رسوب به مقادیر اندازه‌گیری شده برای روش‌های مختلف

روشها	C.E.R.C	W.B	G	K	ANN	ANFIS
نسبتها	۱/۲۳	۰/۷	۱/۱۸	۰/۹۳	۱/۰۶	۱/۲۵

کلید واژگان

1- Gradient Descent Method
2- Arge
3- DUCK85
4- The Streamer Trap
5- Discharge Parameter
6- Artificial Neural Network
7- Back Propagation
8- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.5.8]

۵- مراجع

1- Azramsa, S.A., (2002), *Dynamics of marine sands*,TarbiatModares University Press, 226 p. (In Persian)

2- Boveiri.H.R. and Musddad.S.M. (2012). *Sedimentation Rrate in Waters around Iran*, International Journal of Research in Management 2(2):239-246.

3- Nikmanesh, M., (2001) *Assessment of feasibility study using relationship for calculated sediment transport rate in coastal area at Iran*, International conference on hydraulic structures, Kerman .Iran, 493-500. (In Persian).

4- 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)

5- Kabiri_Samani, A.K, Aghaee_ Tarazjani, J, Boraghei, S.M. and Jeng .D.S. (2011). *Application of neural networks and fuzzy logic models to long shore sediment transport*, science direct, 11:2880-2887.

6- Hashemi, M.R, Ghadampour, Z. and Neill, S.P. (2010). *Using an Artificial Neural Network to Model Seasonal Changes in Beach Profiles*. Ocean Engineering 37:1345-1356.

7- Bakhtyar.R, Yeganeh-Bakhtiary. A. and Ghaheri.A. (2008). *Application of neuro-fuzzy approach in prediction of runup in swash zone*. Applied Ocean Research, 30:17–27.

8- Sadeghifar, T., Azarmsa, S. A. Vafakhah, M (2013). Prediction *of Alongshore Sediment Transport Rate Using Semi-Empirical Formulas and an Artificial Neural Networks (ANNs) model in Noor Coastal zone,* International Journal of Maritime Technology, 77-86. (In Persian)

9- Kraus. N.C. Gingerich. K.J and Rosati. J.D. (1989).*DUCK85 Surf Zone Sand transport experiment.technical report C.E.R.C 89-5.Department of the army waterways experiment station of engineers* PO Box 631, Vicksburg, Mississippi 39181-0631.

10- Kraus, N.C. and Nakashima. L. (1986). *Field method for rapidly determining the dry weight of wet sand samples*. Journal of Sedimentary Petrology, 56 (4), 550-551.

11- Kraus, N. C and Dean. J. L. (1987). "*Longshore sediment transport rate measured by trap*." Proc. Coastal Sediments '87, ASCE, 881-896.

12- Dezfouli, K.A., (2005), *Principles of fuzzy theory and its applications in water engineering,* publications Jahad, Amir Kabir University Printed. . (In Persian)

13- Soltani, F., (2006. *Optimal utilization of quantitative - qualitative reservoirs to help integrate adaptive fuzzy neural inference system and genetic algorithm*. Master Thesis Civil Engineering Water Engineering. School of Civil Engineering, Tehran University. (In Persian)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.5.8]