تخمین رسوبات معلق رودخانه‌ای با روش ANNs و ANFIS با مدل‌سازی در MATLAB (مطالعه موردی: رودخانه دز خوزستان)

محمدعلی ساکیانی[۱]
هیوا علمیزاده[۲*]
امین ذرتی پور[۳]

۱. گروه زمین‌شناسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ایران.
۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ایران.
۳. دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

* **نویسنده مسئول مکاتبات**
Elmizadeh@kmsu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۱

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد اجرا شده در دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر است.

چکیده

مدل‌سازی و تجزیه‌وتحلیل بار رسوبات معلق در رودخانه‌ها به‌ویژه در مناطقی مانند حوضه‌ی رودخانه دز که به تالاب‌های حساس خوزستان می‌ریزد، به دلیل تاثیر آن بر تغییرات مورفولوژی رودخانه و وجود روابط غیرخطی بین عوامل موثر بر پدیده‌های مختلف هیدرولوژیکی، ابزاری اساسی در مدیریت کیفیت آب و بهره‌برداری سازه‌های هیدرولیکی به شمار می‌رود. در این پژوهش با هدف برآورد بار معلق رسوب رودخانه دز، از داده‌های ماهانه ۳۰ ساله (۱۴۰۱-۱۳۷۱) دبی، اشل و دبی رسوب معلق ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی دزفول استفاده شده است. در این راستا مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANNs) و مدل عصبی- فازی (ANFIS) در محیط نرم‌افزار MATLAB توسعه یافته و کارایی آن‌ها با معیارهای ضریب تعیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب نش- ساتکلیف (NS) و خطای مطلق میانگین (MAE) مورد سنجش قرار گرفت. همچنین، تفکیک داده‌ها بر اساس شرایط جریان، منجر به بهبود معنادار دقت در برازش منحنی سنجه رسوب و خروجی مدل‌ها گردید. نتایج نشان داد که برآوردهای روش‌های ANNs و نروفازی از دقت بالایی برخوردارند. مطابق نتایج تفکیک داده‌ها برای شرایط مختلف بارش و جریان، می‌تواند همگنی لازم را برای ایجاد منحنی سنجه رسوب در داده‌ها با دقّت و صحّت بالاتر ایجاد کند. همچنین نتایج نشان داد مدل ANFIS به دلیل توانایی بالا در شناسایی روابط غیرخطی پیچیده بین متغیرهای هیدرولوژیکی، می‌تواند به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای مدل‌سازی و پیش‌بینی رسوب معلق نه‌تنها در رودخانه دز، بلکه در سایر حوضه‌های مشابه کشور مورد استفاده قرار گیرد. همچنین برای پیش‌بینی متغیرهای فرسایش، رسوب و حجم رواناب به‌عنوان یکی از پیچیده‌ترین مسائل هیدرودینامیکی و اکولوژیکی، مدل هوشمند و غیرخطی نروفازی به دلیل کارایی بالا در شناخت روابط غیرخطی و پیچیده برای شبیه‌سازی فرسایش و رواناب در محدوده مطالعاتی و حوضه‌های مشابه کشور از قابلیت و کارایی بیشتری برخوردارند. کاربست این مدل‌ها می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای برآورد ورودی رسوب به تالاب‌های پایین‌دست، ارزیابی اثرات تغییرات رسوب بر اکوبیولوژی تالاب و درنهایت، کمک به تدوین راهبردهای مدیریت یکپارچه حوضه‌ی آبخیز و اکوسیستم‌های تالابی فراهم کند.

واژگان کلیدی: مدیریت حوضه آبخیز، اکوسیستم تالابی، رسوب‌گذاری، بار معلق رودخانه، رودخانه دز.

مقدمه

رودخانه‌های آبرفتی در چرخه طبیعی خود، همواره در معرض فرسایش و انتقال رسوب قرار دارند. بر همین اساس، برآورد دقیق بار رسوب معلق، یکی از ارکان اصلی در بررسی ویژگی‌های هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی و رسوبی رودخانه‌ها به شمار می‌رود. این برآورد، پایه‌ای اساسی برای مدیریت بهینه منابع آب و خاک در هر حوضه‌ی آبخیز است (Hosseini and Tabatabaei, 2025; Baranwal and Das, 2024; Tanju and Hafzullah, 2020). برآورد دقیق بار رسوبات معلق رودخانه‌ها به دلیل نقش آن در تغییرات مورفولوژیک بستر، طراحی و

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

نگهداری سازه‌های هیدرولیکی و مدیریت کیفیت منابع آب، یکی از مباحث کلیدی در علوم آب و خاک است. این موضوع به‌ویژه در حوضه‌های آبریزی که به اکوسیستم‌های تالابی حساس منتهی می‌شوند، از اهمیتی دوچندان برخوردار است (Bajirao *et al*., 2021; Rezaei *et al*., 2021; Ehteram *et al*., 2021). ورودی بیش از حد رسوب می‌تولند موجب کاهش عمق، افزایش کدورت، تغییر رژیم غذایی و درنهایت اختلال در زنجیره‌های زیستی تالاب شود. بنابراین، ارائه روش‌های دقیق و قابل‌اطمینان برای مدل‌سازی و پیش‌بینی بار معلق، گامی ضروری برای مدیریت یکپارچه و حفاظت از این اکوسیستم‌های ارزشمند به شمار می‌رود. امروزه عواملی مانند خاصیت غیرخطی، عدم قطعیت ذاتی برآورد رسوب، نیاز به اطلاعات وسیع و پیچیده بودن مدل‌های فیزیکی ازجمله دلایلی بوده است که باعث شده محققان برای پیش‌بینی پدیده‌های غیرخطی، روش‌های هوشمند را به‌کار گیرند، سیستم استنتاج فازی- عصبی (ANFIS) و شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) ازجمله این روش‌ها است (Adnan *et al*., 2025; Khan, 2025; Rezaei *et al*., 2021).

مدل‌سازی‌های محاسباتی نوین، با تکیه بر داده‌ها و قابلیت انعطاف‌پذیری بالا، می‌توانند مسائل پیچیده و مبهم مهندسی آب، مانند تخمین رسوبات معلق رودخانه‌ای را با دقت خوبی حل کنند. این روش‌ها به‌ویژه برای پدیده‌هایی کارآمدند که توصیف آنها با روابط ریاضی ساده، دشوار یا غیرممکن است. شبکه عصبی مصنوعی یک ابزار نوین و توانمند در حوزه هیدرولوژی است که برای پیش‌بینی پدیده‌هایی مانند بار معلق رسوب به‌کار می‌رود. این مدل‌ها در شبیه‌سازی رفتار غیرخطی سیستم‌ها کارایی دارند و می‌توانند واقعیت را با دقت مناسبی بازسازی کنند. بنابراین، پیش‌بینی‌های حاصل از آنها به واقعیت نزدیک است. سیستم استنتاج فازی-عصبی (ANFIS) نیز که نوعی سیستم قاعده‌بنیاد فازی است، از منطق زبانی برای بیان رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های مشاهده‌شده یک سیستم استفاده می‌کند. پارامترهای توابع عضویت در این سیستم با روش پس‌انتشار یا ترکیب آن با روش کمترین مربعات تنظیم می‌شوند. مدل نوروفازی (Neuro-Fuzzy) به سیستم ترکیبی حاصل از شبکه‌های عصبی و سیستم استنتاجی فازی گفته شده که نقاط ضعف یکدیگر را تا حدود زیادی پوشش می‌دهند و وارث نقاط قوت هر دو مدل است. به‌طوری‌که در آن شبکه عصبی به‌عنوان تعیین کننده پارامترهای سیستم فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Sirabahenda *et al*., 2020; Rautela *et al*., 2022).

در سال‌های اخیر استفاده از سیستم‌های هوشمند در راستای افزایش دقت برآورد میزان رسوبات رودخانه مرسوم گردیده است (Alijanpour *et al*., 2024; Karbasi *et al*., 2024; Wang and Yu, 2019; Yadav *et al*., 2021; Yadav *et al*., 2022). در این رابطه مرادی نژاد و همکاران (۱۴۰۳) با مدل‌سازی بار معلق رودخانه نتیجه گرفتند که این روش کارایی و دقت بالایی برای مدل‌سازی رسوبات معلق و مدیریت منابع آب دارد. Nourani و همکاران (۲۰۲۱) نیز با تخمین بار رسوب معلق با استفاده از مدل گروهی مبتنی بر هوش مصنوعی، کارایی مدل‌های هوشمند در برآورد رسوبات معلق رودخانه را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که این روش‌ها تطابق خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده دارد. دهقانی و وفاخواه (۱۳۹۲) و کیا و عمادی (۱۳۹۲) به ترتیب با مقایسه‌ی شبکه عصبی با منحنی سنجه رسوب و بررسی روش‌های آماری مختلف، نشان دادند که رویکردهای نوین قادر به کاهش خطای برآورد در بلندمدت هستند. همچنین، مطالعه‌ی Dastranj و همکاران (2014) و Khazayi و همکاران (2014) بر روی روش‌های اصلاحی برآورد رسوب معلق، لزوم به‌کارگیری تکنیک‌های پیشرفته‌تر برای جبران کاستی روش‌های رایج را خاطرنشان کردند. همچنین Buyukyildiz و Kumcu (2017) نیز جهت برآورد بار رسوب معلق از سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه تطبیقی، ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine) و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمودند و Patel و همکاران، (2017) نیز نشان دادند که شبکه عصبی از نظر حل مشکلات پیچیده رگرسیون غیرخطی، عملکرد مطلوبی دارد. Adib و Mahmoodi (2017) نیز مدل مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک را برای پیش‌بینی بار رسوبات معلق در رودخانه‌های کارون و مارون اعمال نمودند. آنها از GA برای بهینه‌سازی پارامترهای ورودی، اتصال و تعداد نورون‌های لایه پنهان در ANN استفاده نمودند. نتایج حاکی از غلظت بالای بار رسوب معلق بود. Srinivas و Singh (2018) با ارزیابی یک مدل شبیه‌سازی پیشرفته فرکانس‌سازی مبتنی بر فازی

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

برای مطالعه رسوب حوضه رودخانه، کارایی آن را در توسعه بهینه‌ترین سناریوهای مدیریت منابع آب نشان دادند. Kumar ، Kumar و Tripathi (2012) با تخمین رواناب و رسوب با استفاده از ANN و ANFIS در حوضه گوداوری، هند نشان دادند که این مدل‌ها از نظر حل مشکلات پیچیده رگرسیون غیرخطی، عملکرد مطلوبی دارد. حوضه رودخانه دز، به‌عنوان یکی از رودخانه‌های مهم و پرآب کشور، نقش حیاتی در تأمین آب، کشاورزی و حفظ سلامت اکولوژیکی تالاب‌های پایین‌دست خود در استان خوزستان ایفا می‌کند. سد تنظیمی دزفول به‌عنوان یک سازه کنترل‌کننده، متأثر از حجم قابل‌توجه رسوباتی است که از بالادست حمل می‌شود. با توجه به عوامل توپوگرافی مسیر جریان رود دز (شیب، جنس سنگ بستر، سرعت، پوشش گیاهی و...) سالانه هزاران تن رسوب توسط رودخانه دز از مناطق بالادست به سمت سد سرازیر می‌شود. عدم برآورد دقیق این رسوبات می‌تواند پیامدهای عملیاتی برای سازه و همچنین اثرات نامطلوبی بر کمیت و کیفیت آب ورودی به شبکه‌های آبیاری و پهنه‌های آبی پایین‌دست، ازجمله تالاب‌ها داشته باشد. با وجود مطالعات متعدد در زمینه مدل‌سازی رسوب، ارزیابی تطبیقی و هم‌زمان مدل‌های ANN و ANFIS با در نظر گرفتن پارامتر مؤثر ارتفاع آب (اشل) در این ایستگاه خاص و با توجه ویژه به پیامدهای محیط‌زیستی نتایج برای اکوسیستم‌های وابسته، کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

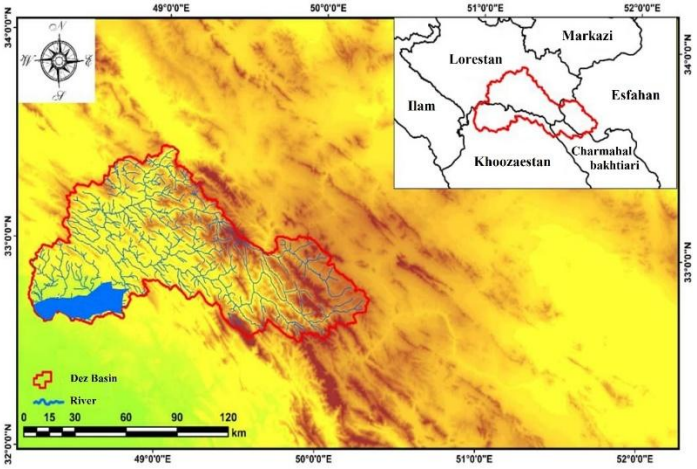
لذا با توجه به اهمیت موضوع رسوب و موضوعات مربوط به آن در این منطقه، ضرورت انجام این پژوهش و برآورد رسوبات رودخانه دز را دوچندان می‌کند. از این‌رو پژوهش حاضر نیز با این هدف حوضه رودخانه دز را مورد مطالعه قرار داده و سعی شده که با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی دزفول، اقدام به برآورد و مدل‌سازی رسوبات معلق رودخانه دز نموده و مدل شبکه عصبی مصنوعی و ساختار ANFIS شبیه‌سازی و مقایسه گردد. در این پژوهش برای بررسی مدل‌های فازی و شبکه عصبی علاوه بر دو پارامتر دبی و رسوب رودخانه دز از پارامتر اِشل (ارتفاع آب) نیز استفاده شده است که کاری نو و جدید محسوب می‌شود. این مطالعه می‌تواند مبنای علمی برای تصمیم‌گیری‌های بهتر در زمینه کنترل رسوب و حفاظت از منابع آب و اکوسیستم‌های حساس پایین‌دست فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه حوضه پایانی رودخانه دز، یکی از زیرحوضه‌های اصلی کارون بزرگ با مساحت ۶۲۸۸ کیلومتر مربع است که از مناطق کشاورزی شهرستان دزفول و شوش عبور کرده و درنهایت به دشت‌های پست و تالاب‌های استان خوزستان می‌ریزد (شکل ۱). رودخانه دز پس از خروج از سد دز به تدریج از کوهستان خارج گردیده و وارد جلگه خوزستان و دشت‌های محدوده مطالعاتی دزفول- اندیمشک می‌گردد. ۲۴۹۶ کیلومتر مربع از وسعت محدوده را دشت و ۳۷۹۲ کیلومتر مربع از وسعت محدوده را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. بیشترین ارتفاع محدوده ۲۶۳۹ متر از سطح دریا در قسمت‌های شمالی حوضه و کمترین ارتفاع محدوده ۲۰ متر مربوط به خروجی حوضه است. عمده جریان ورودی به محدوده مطالعاتی از طریق دو رودخانه مهم سزار و بختیاری از سمت شمال، تأمین می‌گردد. این رودخانه‌ها دو شاخه اصلی رودخانه دز هستند. انتخاب این منطقه به دلیل اهمیت حیاتی رودخانه دز در تأمین آب و رسوب برای کشاورزی، صنعت و اکوسیستم‌های پایین‌دست، به‌ویژه تالاب‌ها بوده است.

پیش‌پردازش داده‌ها و روش‌های مدل‌سازی: داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل سری‌های زمانی ماهانه دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه)، ارتفاع آب (اشل، متر) و دبی رسوب معلق (تن در روز) ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی دزفول برای دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۷۱-۱۴۰۱) بودند. انتخاب این ایستگاه به دلیل موقعیت آن در آستانه ورود به دشت و نزدیکی به مناطق تالابی پایین‌دست، جهت برآورد بار رسوب ورودی به این اکوسیستم‌ها، حیاتی است. در این راستا داده‌های ثبت شده دبی و رسوب ایستگاه سد تنظیمی دزفول دریافت و کنترل کیفی شد. پس از حذف داده‌های ناقص (داده‌های پرت) و بازسازی مجموعه داده‌ها، برای هماهنگ‌سازی نوع و محدوده داده‌ها، تمامی داده‌های ورودی با استفاده از روش نرمال‌سازی مین-ماکس در بازه(۰,۱) نرمال شدند. داده‌ها به‌صورت تصادفی به سه بخش تقسیم شدند: ۷۰ درصد برای آموزش مدل (۴۰۴ داده)، ۱۵ درصد برای اعتبارسنجی (۸۶ داده) و ۱۵ درصد برای آزمون نهایی مدل‌ها (۸۶ داده).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]



شکل ۱ : موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش برای مدل‌سازی و پیش‌بینی رسوب، از شبکه عصبی MLP با شیوه آموزش با نظارت با استفاده از الگوریتم لونبرگ- مارکوات (LM) استفاده شده است (جدول ۱). در روش ANN ابتدا عناصر تأثیرگذار بر میزان رسوب مشخص و سپس جهت ورود به شبکه پرسپترون چندلایه اقدام به تشکیل ماتریس مربوطه گردید. بدین‌صورت که ورودی‌های شبکه مربوط به متغیرهای اشل (ارتفاع آب) و دبی به‌صورت ماهانه مربوط به ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی دزفول بوده و میزان رسوب ماهانه متناظر در این ایستگاه به‌عنوان خروجی شبکه انتخاب شده است. سپس در مرحله اعتبارسنجی نتایج روش شبکه عصبی با آزمودن تست داده‌ها با ۱۵ درصد داده‌های کنار گذاشته شده انجام شد. همچنین مشخصات مدل ANFIS به‌منظور پیش‌بینی میزان رسوب ایستگاه سد دزفول به شرح (جدول ۲) است.

جدول ۱ : جزئیات شبکه عصبی استفاده شده برای پیش‌بینی رسوب

پارامتر	مقدار
نوع شبکه عصبی	MLP
تعداد نورون‌های لایه ورودی	۲
تعداد نورون‌های اولین لایه پنهان	۶
تعداد نورون‌های دومین لایه پنهان	۵
تعداد نورون‌های لایه خروجی	۱
تابع محرک لایه اول	tansig (تانژانت سیگموئید)
تابع محرک لایه دوم	logsig (سیگموئید)
تابع محرک لایه سوم	purelin (خطی)
داده‌های آموزش	۷۰ درصد
داده‌های صحت سنجی	۱۵ درصد
داده‌های آزمون	۱۵ درصد
الگوریتم آموزش	LM
تعداد تکرارها	۲۰۰۰
مقدار هدف	۱e-۸

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

جدول ۲ : مشخصات مدل ANFIS برای پیش‌بینی رسوب

پارامتر	مقدار
نوع سیستم FIS	سوگنو
تعداد ورودی‌ها	۲
تعداد خروجی‌ها	۱
روش AND	ضرب
روش OR	ماکزیمم
روش غیرفازی سازی	ماکزیمم
رابط ایجاب (Implication)	ضرب
غیرفازی سازی میانگین مراکز	ماکزیمم
تعداد قوانین	۲۵

در این پژوهش از شبکه عصبی مصنوعی (ANNs) با الگوریتم آموزش پس‌انتشار خطا استفاده شد. انتخاب این روش به دلیل توانایی اثبات‌شده آن در مدل‌سازی روابط غیرخطی پیچیده بین متغیرهای هیدرولوژیکی است. شبکه عصبی با ساختار سلسله‌مراتبی خود می‌تواند الگوهای پیچیده موجود در داده‌ها را بدون نیاز به فرضیات پیشین درباره توزیع داده‌ها یادگیری کند. معماری بهینه شبکه پس از آزمون‌وخطاهای متعدد به دست آمد که شامل دو لایه پنهان با توابع فعال‌سازی تانژانت سیگموئید و خطی بود. همچنین مدل سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی ANFIS به‌عنوان یک سیستم هیبرید که مزایای شبکه‌های عصبی (قدرت یادگیری) و منطق فازی (قابلیت استدلال تحت عدم قطعیت) را ترکیب می‌کند، انتخاب شد. این انتخاب به دلیل ماهیت ذاتی داده‌های رسوبی که همراه با عدم قطعیت و ابهام هستند، صورت گرفت. ANFIS با استفاده از توابع عضویت فازی و قواعد «اگر-آنگاه»، امکان مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده را با قابلیت تفسیرپذیری بهتر فراهم می‌آورد. در این تحقیق از سیستم استنتاجی سوگنو با روش استنتاج ماکزیمم-ضرب استفاده شد.

علت اصلی انتخاب این دو روش برای مقایسه، ماهیت متمایز رویکردهای آنهاست: شبکه عصبی یک مدل جعبه سیاه با قدرت پیش‌بینی بالا اما تفسیرپذیری محدود است، درحالی‌که ANFIS یک مدل جعبه خاکستری است که علاوه بر دقت قابل‌قبول، امکان استخراج قواعد فازی و درک مکانیزم‌های مؤثر بر سیستم را فراهم می‌کند. این مقایسه به ارزیابی توأمان دقت پیش‌بینی و قابلیت تفسیر برای اهداف مدیریتی می‌پردازد. در این پژوهش ورودی‌های شبکه مربوط به متغیرهای اشل (ارتفاع آب) و دبی به‌صورت ماهانه مربوط به ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی دزفول بوده و میزان رسوب ماهانه متناظر در این ایستگاه به‌عنوان خروجی شبکه انتخاب شده و عناصر تأثیرگذار بر میزان رسوب مشخص گردید. در ادامه به‌منظور ارزیابی نتایج برآورد مدل و با استفاده از نرم‌افزار MATLAB، داده‌های مربوط به اندازه‌گیری‌های غلظت یا دبی رسوب با دبی جریان متناظر آنها در طول دوره زمانی، به یک محور لگاریتمی منتقل شده و از طریق ایجاد رابطه بین دبی رودخانه، دبی رسوب و تعمیم این رابطه به آمار جریان رودخانه، بهترین خط برازش با استفاده از روش حداقل مربعات از میان نقاط عبور داده شد و برون‌یابی گردید. در این راستا به‌منظور ارزیابی نتایج مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، نروفازی (سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی) و مقایسه آنها با برآوردهای رگرسیونی، این مدل‌ها شبیه‌سازی شده و از معیارهای ضریب تعیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب ناش- ساتکلیف (NS)، انحراف معیار (STDVE) و میانگین قدر مطلق خطای نسبی (MAE) استفاده شده است.

این معیارها به‌صورت جامع توانایی مدل‌ها در برآورد دقیق و پایدار بار رسوب معلق را مورد سنجش قرار می‌دهند. برآورد دقیق بار معلق با بهترین مدل، ورودی کلیدی برای ارزیابی میزان رسوب‌گذاری در پایین‌دست و اثرات آن بر کیفیت آب و زیستگاه‌های تالابی فراهم می‌کند. این خروجی می‌تواند در مدل‌های کیفی آب و ارزیابی اکولوژیک مورد استفاده قرار گیرد.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

نتایج

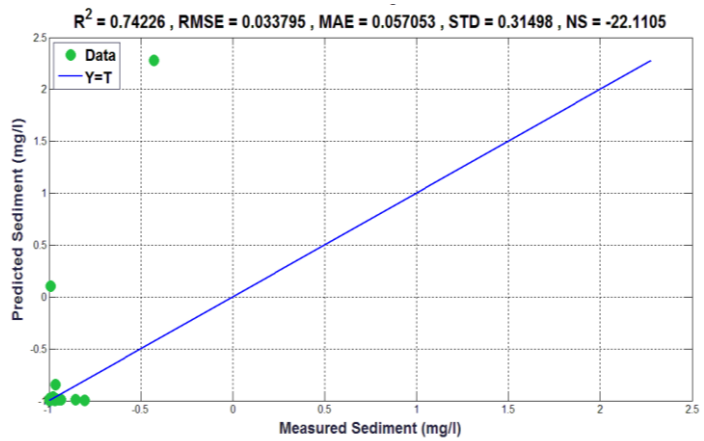
عملکرد نهایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی (ANFIS) پس از آموزش و بهینه‌سازی، با اســتفاده از داده‌های آزمون (۱۵ درصــد نهایی) مورد ارزیابی قرار گرفت. عملکرد نهایی مدل‌های ANN و ANFIS با اســتفاده از معیارهای آماری در جدول ۳ ارزیابی شد. بر اساس نتایج، مدل ANFIS با ضریب تعیین (R^2) بالاتر و خطای کمتر (RMSE و MAE)، به طور واضحی از دقت بالاتری نسـبت به مدل ANN برخوردار اسـت. برای نمونه، مقدار R^2 در مرحله آزمون برای ANFIS به ۰/۹۲ می‌رسـد، درحالی‌که این مقدار برای ANN برابر با ۰/۸۷ اسـت. این برتری نشـان‌دهنده توانایی بهتر سـاختار هیبریدی ANFIS در بازتولید روابط غیرخطی پیچیده بین متغیرهای ورودی و خروجی است.

جدول ۳ : معیارهای تعیین خطاها در روش‌های ANFIS و ANNs

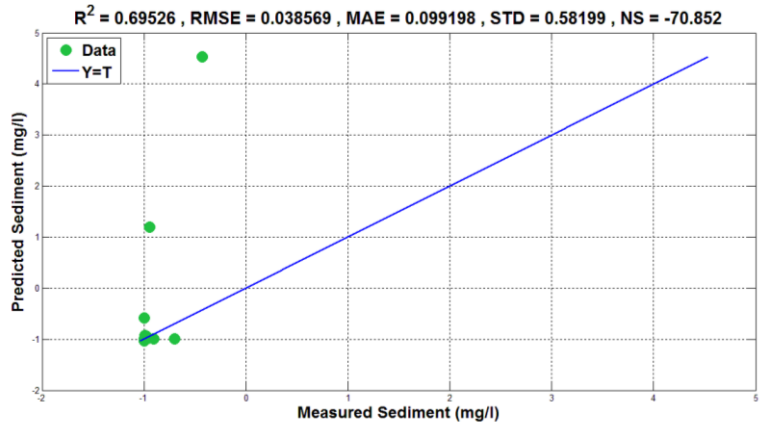
مقدار قابل‌قبول	ANFIS	ANNs	معیارتعیین خطا
بین صفر تا یک تغییر می‌کند و مقدار بهینه آن یک است.	۰/۷۴	۰/۶۹	R^2
بین صفر تا بی نهایت متغییر است. مقدار بهینه آن صفراست.	۰/۰۳۳	۰/۰۳۸	RMSE
بهترین روش و دارای کمترین خطاست. هرچه میزان آن پایین‌تر باشد، بهتر است.	۰/۰۵۷	۰/۰۹۹	MAE
بین صفر تا بی‌نهایت است. هرچه مقدار آن کمتر باشد، داده‌ها نزدیک به میانگین هستند.	۰/۳۱	۰/۵۸	STD
بین منفی بی‌نهایت تا یک است و مقدار بهینه آن مثبت یک است. اگر ضریب بالاتر از ۰/۵ باشد، مدل شبیه‌سازی خوبی داشته است.	-۲۲/۱۱	-۷۰/۸۵	NS

برای بررسی بصری همخوانی مقادیر پیش‌بینی‌شده با مقادیر مشاهداتی، نمودارهای پراکنش مربوط به ANFIS و شبکه عصبی مصنوعی در شکل‌های ۲ و ۳ ترسیم شده‌اند. خط نیم‌ساز (y=x) به‌عنوان معیار برازش کامل در نظر گرفته شده است. نزدیکی بیشتر نقاط به این خط، نشان‌دهنده دقت بالاتر مدل است. همان‌طور که از این نمودارها مشخص است، خط آبی رنگ، نیم‌ساز ربع اول در محور عمودی و افقی است. مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده بر روی محور X و مقادیر رسوب پیش‌بینی شده بر روی محور Y جانمایی شده‌اند. هر چقدر این مقادیر به نیم‌ساز ربع اول (خط آبی رنگ) نزدیک‌تر باشند، بیانگر برازش عالی و برآورد دقیق خروجی‌های شبکه ANFIS و ANNs (پیش‌بینی دقیق‌تر رسوب) خواهد بود. در شکل۲ به‌خوبی مشخص است که درصد بالایی از مقادیر رسوب به خط نیمساز ربع اول نزدیک می‌باشند. همان‌طور که در نمودارهای پراکنش (شکل‌های ۲ و ۳) مشاهده می‌شود، تراکم نقاط در محدوده مقادیر پایین بار رسوب معلق بیشتر است. این پدیده عمدتاً ناشی از ماهیت توزیع طبیعی داده‌های هیدرولوژیکی در رودخانه دز است، به‌طوری که بیشتر روزهای سال (شرایط جریان پایه) با دبی و بار رسوب کم سپری می‌شود و رویدادهای اوج رسوب (همراه با سیلاب) کوتاه‌مدت و نادر هستند. درنتیجه، مجموعه داده آموزشی تحت سلطه مقادیر پایین است. این امر می‌تواند باعث سوگیری (bias) مدل به سمت پیش‌بینی دقیق‌تر مقادیر متوسط و کم شود. اگرچه این دقت برای برآورد رسوبدهی سالانه کلی حائز اهمیت است، اما تخمین کمتر از واقع (underestimation) مقادیر اوج رسوب را به همراه دارد. این محدودیت، چالشی شناخته‌شده در مدل‌سازی رسوب با استفاده از روش‌های داده‌محور است. معیارهای تعیین خطاها در روش شبکه ANFIS نیز در (جدول ۳) نمایش داده شده است. برازش مقادیر پیش‌بینی‌شده با مقادیر مشاهداتی برای مدل بهینه ANFIS در شکل ۲ نشان داده شده است. بر این اساس تمرکز بیشتر نقاط حول خط نیم‌ساز (y=x) حاکی از دقت مناسب مدل است. بااین‌حال، همان‌طور که مشاهده می‌شود، در محدوده مقادیر بالای رسوب (بیش از ۱۰۰۰ تن در روز)، پراکندگی نقاط افزایش یافته و مدل تمایل به تخمین کمتر از واقع دارد. این رفتار احتمالاً ناشی از تعداد محدود نمونه‌های آموزشی در این محدوده افراطی است که یک چالش شناخته‌شده در مدل‌سازی هیدرولوژیکی محسوب می‌شود.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]



شکل ۲ : پراکنش میان مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده رسوب توسط ANFIS



شکل ۳ : پراکنش میان مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده رسوب توسط شبکه عصبی

در نمودارهای پراکنش (شکل‌های ۲ و ۳)، یک نقطه دادگی (داده پرت) قابل مشاهده است که به‌طور محسوس از الگوی کلی سایر داده‌ها فاصله دارد. بررسی مجدد سوابق هیدرومتری مربوط به این داده نشان می‌دهد که این مقدار، متناظر با یک رویداد سیلابی (فروردین ۱۳۸۴) است که دبی لحظه‌ای بسیار بالا و در نتیجه بار رسوب غیرمعمولی را ثبت کرده است. در فرآیند پیش پردازش، این داده به دلایل زیر حذف نشد:

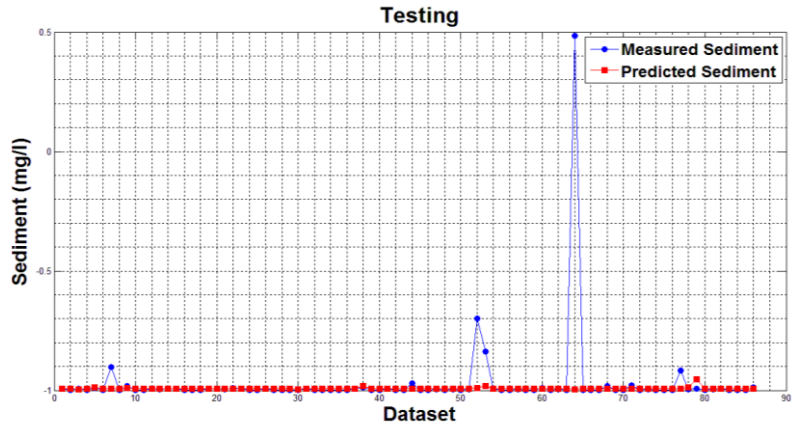
۱. این مقدار یک خطای اندازه‌گیری یا ثبت نبوده، بلکه بازتاب یک پدیده هیدرولوژیکی واقعی و شدید است.

۲. یکی از اهداف مدل‌سازی، شبیه‌سازی رفتار سیستم در شرایط حدی است. حذف چنین داده‌هایی اگرچه ممکن است معیارهای آماری کلی (مانند R^2) را بهبود بخشد، اما مدل را از یادگیری رفتار سیستم در شرایط بحرانی محروم می‌کند و توانایی آن در پیش‌بینی رویدادهای نادر اما بااهمیت مدیریتی را کاهش می‌دهد.

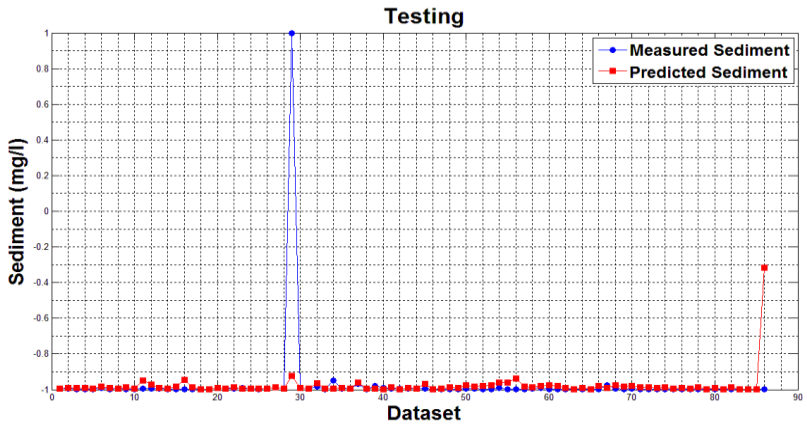
این امر لزوم افزایش طول دوره آماری و استفاده از روش‌های مدل‌سازی خاص داده‌های نامتعادل را برای مطالعات آتی پررنگ می‌سازد. همچنین در (شکل‌های۴ و۵) میزان تطبیق و سازگاری مربوط به مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده رسوب ماهانه در مرحله آزمایش توسط ANFIS و ANNs نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودارهای سری زمانی (شکل‌های ۴ و ۵) مشاهده می‌شود، هر دو مدل ANFIS و ANN توانسته‌اند روند کلی تغییرات ماهانه بار رسوب معلق را نشان دهند و مقادیر را در بازه میانی (شرایط جریان پایه و

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

معمولی) با دقت مناسبی تخمین بزنند. این امر نشان‌دهنده توانایی کلی مدل‌های هوشمند در یادگیری رابطه پایه بین دبی، اشل و رسوب است.



شکل ۴ : مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط ANFIS



شکل ۵ : پراکنش مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده رسوب توسطANNs

بحث و نتیجه‌گیری

مدل‌سازی و تخمین بار رسوب معلق در رودخانه‌ها، به دلیل تاثیر آن بر تغییرات مورفولوژی رودخانه و وجود روابط غیرخطی بین عوامل موثر بر پدیده‌های مختلف هیدرولوژیکی، ابزاری اساسی و مهم در مدیریت منابع آب و بهره‌برداری سازه‌های هیدرولیکی و محاسبه حجم مرده سدها به شمار می‌رود. یافته‌های این پژوهش نشان داد که مدل ANFIS عملکردی برتر نسبت به مدل ANN در پیش‌بینی بار رسوب معلق ماهانه رودخانه دز دارد. این برتری در تمامی معیارهای خطای (RMSE، MAE) نیز مشهود بود. همچنین، افزودن پارامتر اشل به‌عنوان ورودی دوم به همراه دبی، موجب بهبود حدود ۵ درصدی در معیار R^2 برای هر دو مدل شد که نشان‌دهنده اهمیت این پارامتر هیدرولیکی در مدل‌سازی است. در اغلب تحقیقات انجام‌شده در زمینه شبیه‌سازی رسوبات معلق رودخانه‌ای، از دبی جریان به‌عنوان تنها متغیر تخمین‌گر مقدار رسوب استفاده می‌شود و این در حالی است که دبی جریان به تنهائی نمی‌تواند واریانس رسوب رودخانه را به‌خوبی در فصول مختلف سال تبیین نماید.

این پژوهش با هدف مقایسه عملکرد دو مدل هوش محاسباتی، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی (ANFIS)، در برآورد بار رسوب معلق ماهانه در ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی دزفول انجام شد. یافته‌های کمی و کیفی به‌وضوح نشان داد که مدل ANFIS با برتری قابل‌توجهی نسبت به ANN از خود عمل کرد (با مقادیر بالاتر R^2 و NSE و خطای کمتر RMSE

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

و MAE). این برتری را می‌توان به قابلیت ذاتی ANFIS در مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی با درجاتی از عدم قطعیت و همچنین تلفیق منطق زبانی (فازی) با قدرت یادگیری (عصبی) نسبت داد. نتایج حاصل از پیش‌بینی و تخمین رسوبات معلق در رودخانه دز دلالت بر برتری FIS نسبت به شبکه عصبی مصنوعی دارد. در این رابطه مدل‌های بر مبنای شبکه عصبی بیشتر در زمینه پیش‌بینی‌های نقطه‌ای کارایی دارند و توانایی انعکاس و در نظر گرفتن رفتار استوکستیک متغیرهای هیدرولوژیکی را نداشته و عدم قطعیت پیش‌بینی را در خروجی نمی‌توانند منعکس نمایند. همچنین در FIS امکان در نظر گرفتن مقادیر غیرصریح در تعریف پیش‌بینی کننده‌های اقلیمی و انجام پیش‌بینی‌های بلندمدت به‌صورت بازه‌های ممکن به جای یک مقدار خاص و همچنین رابطه غیرخطی بین متغیرهای مستقل و وابسته وجود دارد. همچنین، استفاده از پارامتر ارتفاع آب (اشل) به همراه دبی جریان به عنوان ورودی مدل، نقش مؤثری در بهبود دقت برآورد هر دو مدل داشت که نشان‌دهنده اهمیت در نظر گرفتن پارامترهای هیدرولیکی مکمل در مدل‌سازی رسوب است.

بررسی نتایج حاصل از مقایسه مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج فازی–عصبی (ANFIS) نشان داد که سیستم استنتاج فازی–عصبی توانسته ۸۵ درصد از تغییرات دبی اوج و ۹۹ درصد از تغییرات حجم رواناب را توجیه نماید و با روش جداسازی خوشه‌ای با داشتن کمترین خطا و ضریب کارایی بالا توانسته رسوب معلق محدوده مطالعاتی را برآورد نماید. به این ترتیب با بالا رفتن درصد داده‌های آموزش و یادگیری (Train) نسبت به داده‌های احتمال و آزمایش (Test)، روش ANFIS جواب مناسب‌تری می‌دهد. تفاوت این دو روش در چگونگی تعیین تابع عضویت است. هنگامی‌که تعداد متغیرهای ورودی کم باشد، روش تفکیک شبکه‌ای برای طبقه‌بندی داده‌ها مناسب است. درحالی‌که اگر تعداد متغیرهای ورودی زیاد باشد، سرعت آموزش شبکه عصبی– فازی تطبیقی با جداسازی خوشه‌ای نسبت به شبکه عصبی– فازی تطبیقی با جداسازی شبکه‌ای بهتر است. نتایج این تحقیق با یافته‌های محققانی مانند Kisi و Yaseen (2019) Yaseen و همکاران (2017) همسو است که بر کارایی بالای مدل‌های ترکیبی عصبی–فازی در مسائل هیدرولوژیکی پیچیده تأکید کرده‌اند. همچنین Keshtegar و همکاران (2017) و Saplioglu و Kucukerdem (2018) در پیش‌بینی و تخمین داده‌های جریان مفقودی، توانایی بالای مدل ANFIS در شناسایی الگوهای پیچیده را نشان دادند. این موضوع، یافته‌ی کلیدی پژوهش حاضر در مورد برتری ANFIS نسبت به ANN را تقویت می‌کند، چراکه ساختار هیبریدی ANFIS امکان مدل‌سازی هم‌زمان روابط غیرخطی و عدم قطعیت ذاتی داده‌های هیدرولوژیکی را بهتر فراهم می‌آورد. مطالعات Yaseen و همکاران (2017) در پیش‌بینی جریان و الگوی بارش با مدل‌های هیبریدی ANFIS-FFA نیز موید همین قابلیت است. درحالی‌که بسیاری از مطالعات مانند Moeeni و Bonakdari (2017) بر تاثیر روش‌های نرمال‌سازی و انتخاب ورودی بر عملکرد مدل‌هایی مانند ARMAX-ANN تاکید داشتند، این تحقیق به‌طور خاص نشان داد که افزودن پارامتر هیدرولیکی اشل به داده‌ی دبی می‌تولند به‌عنوان یک راهکار موثر برای بهبود دقت مدل‌های هوشمند عمل کند. همچنین برخلاف مطالعاتی که عمدتاً بر جنبه‌های فنی مدل‌سازی متمرکز بودند (مانند Padulano و همکاران (2017) و Sirabahenda و همکاران (2020)، این تحقیق به‌صراحت پیوند بین خروجی مدل و تصمیم‌گیری برای حفاظت از تالاب‌ها را برقرار کرده است.

نتایج تحقیق نشان داد که استفاده از دبی جریان به همراه متغیرهای اشل و رسوب به‌عنوان متغیرهای تاثیرگذار در تخمین رسوبات معلق حوضه، می‌تواند کارایی مدل‌سازی را به مقدار زیادی افزایش دهد. به این ترتیب با توجه به محل قرار گرفتن ایستگاه سد تنظیمی دزفول در کم ارتفاع‌ترین نقطه حوضه آبریز مورد مطالعه و به دلیل داشتن شیب زیاد و جهت متمایل به سمت ایستگاه مورد مطالعه و نیز با توجه به جنس سنگ بستر مسیل عبور سرشاخه‌های رودخانه دز که از نوع رسوبی و آهکی هستند، میزان رسوبات معلق این رودخانه زیاد است و این موضوع هم در فرآیند فرسایش و هم در پایین‌دست، در محل ورود رود به مناطق دارای شیب کمتر، در امر رسوب‌گذاری باعث به وجود آمدن اشکال مختلف ژئومورفولوژیکی ازجمله مئاندرهای فراوان و تراس‌های آبرفتی در مسیر جریان رودخانه دز شده است. درمجموع، نتایج این تحقیق و ساختار مدل‌سازی به‌کار رفته در آن، می‌تواند به‌عنوان الگویی مناسب در برآورد و یا پیش‌بینی رسوب معلق سایر رودخانه‌های کشور نیز مورد استفاده قرار گیرد. این مدل می‌تواند برای تخمین کمّی و قابل‌اطمینان بار سالانه رسوب ورودی به تالاب‌های مهم خوزستان که از رودخانه دز تغذیه می‌شوند، به‌کار رود. این برآورد، داده‌ای اساسی برای مطالعات میزان رسوب‌گذاری، تغییرات

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

مورفولوژی و کاهش عمق تالاب‌ها فراهم می‌کند. توانایی مدل در شبیه‌سازی دقیق‌تر اوج‌های رسوب (هم‌روند با سیلاب‌ها)، به مدیران این امکان را می‌دهد تا پیامدهای اکولوژیک ورود ناگهانی حجم بالای رسوب (مانند افزایش کدورت، اختناق آبشش‌های ماهیان و کاهش نفوذ نور برای تولید اولیه) را پیش‌بینی و برای کاهش اثرات آن برنامه‌ریزی کنند. همچنین مدل توسعه‌یافته می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای سناریوسازی و ارزیابی تأثیر فعالیت‌های انسانی در بالادست (نظیر جنگل‌زدایی یا توسعه کشاورزی) بر بار رسوب و درنتیجه سلامت تالاب‌های پایین‌دست مورد استفاده قرار گیرد. بااین‌حال، مدل‌ها در برآورد دقیق مقادیر اوج (پیک‌های سیلابی) با چالش مواجه بوده‌اند و این مقادیر را عمدتاً کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی کرده‌اند. این نتیجه را می‌توان به دو دلیل عمده نسبت داد:

۱. ماهیت نامتوازن مجموعه داده‌های آموزشی: در یک دوره آماری ۳۰ ساله، تعداد نمونه‌های مربوط به شرایط سیلابی افراطی بسیار کم است، درحالی‌که نمونه‌های شرایط جریان عادی و پایه اکثریت داده‌ها را تشکیل می‌دهند. در نتیجه، مدل به سمتی، سوگیری (bias) می‌شود که دقت خود را بر روی بازه پرتکرار متمرکز کند و در یادگیری الگوهای نادر اما مهم (سیلاب) ضعف نشان دهد.

۲. پیچیدگی ذاتی فرآیندهای رسوب‌زایی در سیلاب: در دبی‌های بسیار بالا، رابطه ساده بین دبی و رسوب ممکن است به دلیل عوامل دیگری مانند فرسایش‌پذیری فوق‌العاده بالا در حین سیلاب، تأخیر زمانی و تامین‌پذیری رسوب پیچیده‌تر شود.

این محدودیت، اگرچه از چالش‌های شناخته‌شده در حوزه مدل‌سازی رسوب با رویکردهای آماری و هوش مصنوعی است، اما برای اهداف مدیریتی که حساسیت بالایی به پیش‌بینی دقیق رویدادهای حدی دارند (مانند طراحی سازه‌ها یا ارزیابی خطر رسوب‌گذاری در تالاب‌ها) حائز اهمیت است. برای بهبود این ضعف در مطالعات آتی، راهکارهایی مانند تفکیک داده‌ها بر اساس رژیم جریان و ساخت مدل‌های مجزا، استفاده از روش‌های وزن‌دهی که اهمیت بیشتری به خطای پیش‌بینی اوج‌ها می‌دهند، یا ادغام داده‌های راداری و سنجش از دور برای بهبود کالیبراسیون مدل در رویدادهای حدی پیشنهاد می‌شود.

درنهایت، این مطالعه نشان داد که مدل‌های شبکه عصبی و نروفازی به دلیل کارایی بالا در شناخت روابط غیرخطی و پیچیده برای شبیه‌سازی فرسایش و رواناب نسبت به مدل‌های رگرسیونی از قابلیت و کارایی بیشتری برخوردارند. با توجه به موقعیت حساس این رودخانه در تغذیه تالاب‌های پایین‌دست، کاربرد این مدل می‌تواند پلی بین مهندسی آب و اکوبیولوژی تالاب ایجاد کند و به‌عنوان یک ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری، در راستای تحقق مدیریت یکپارچه حوضه آبخیز و حفاظت از خدمات اکوسیستمی ارزشمند تالاب‌ها به کار گرفته شود. از این رو مدل‌های هوشمند و غیرخطی شبکه عصبی به دلیل کارایی بالا در شناخت روابط غیرخطی و پیچیده برای شبیه‌سازی فرسایش و رواناب در محدوده مطالعاتی و حوضه‌های مشابه کشور پیشنهاد می‌شوند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از داوران محترم که با نظرهای سازنده خود باعث ارتقا مقاله شدند، قدردانی می‌گردد.

منابع

مرادی نژاد، امیر، خسرو بیگی، سعید، اکبری، محمود و حسینی، سید احمد. ۱۴۰۳. ارزیابی روش‌های محاسبات نرم در برآورد رسوب معلق رودخانه (ایستگاه حسن‌آباد رودخانهٔ تیره). مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۴(۲)، ۲۶۰-۲۴۱.

دهقانی، ن. و وفاخواه، م. ۱۳۹۲. مقایسه برآورد بار رسوب معلق روزانه با استفاده از منحنی سنجه رسوب و مدل‌های شبکه عصبی (مطالعه موردی: ایستگاه قزاقلی استان گلستان)، تحقیقات حفاظت خاک و آب. دوره ۲۰، شماره ۲، صفحات ۲۳۰-۲۲۱.

کیا، ع. و عمادی، ع. ر. ۱۳۹۲. مقایسه روش‌های آماری برای برآورد رسوب معلق درازمدت (مطالعه موردی: رودخانه بابُل‌رود)، پژوهش‌های مدیریت حوضه آبخیز .جلد ۴، شماره ۸، صفحات ۱۵۰-۱۲۷.

Adib, A. and Mahmoodi, A., 2017. Prediction of suspended sediment load using ANN GA conjunction model with markov chain approach at flood conditions. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21 (1), 447–457.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

Adnan, R., Wang, M., Masood, A., Kisi, O., Shahid, S., and Zounemat-Kermani, M. 2025. Applications of advanced optimized neuro fuzzy models for enhancing daily suspended sediment load prediction. *Computer Modeling in Engineering and Sciences*, *143*(1), 1249.

Alijanpour Shalmani, A., Vaezi, A., and Tabatabaei, M. R. 2024. Estimating daily suspended sediment by intelligent and traditional models (Case Study: Kasalian and Rood Zard watersheds, Iran). *Advances in Environmental Technology*, *10*(2), 102-117.

Bajirao, T. S., Kumar, P., Kumar, M., Elbeltagi, A., and Kuriqi, A. 2021. Superiority of hybrid soft computing models in daily suspended sediment estimation in highly dynamic rivers. *Sustainability*, *13*(2), 542.

Baranwal, A., and Das, B. S. 2024. Live-bed scour depth modelling around the bridge pier using ANN-PSO, ANFIS, MARS, and M5Tree. *Water Resources Management*, *38*(12), 4555-4587.

Buyukyildiz, M., and Kumcu, S. Y. 2017. An Estimation of the Suspended Sediment Load Using Adaptive Network Based Fuzzy Inference System, Support Vector Machine and Artificial Neural Network Models. Water Resources Management, 31(4), 1343–1359.

Dastranj A, Kazemi M, Kazemi M, Falah S, Adeli B., 2014. Assessment corrective methods for estimating suspended sediment (Case Study: Beshaar Watershed). Environmental Erosion Research; 4 (3) :47-57

Ehteram, M., Ahmed, A. N., Latif, S. D., Huang, Y. F., Alizamir, M., Kisi, O., and El-Shafie, A. 2021. Design of a hybrid ANN multi-objective whale algorithm for suspended sediment load prediction. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(2), 1596-1611.

Hosseini, S. A., and Tabatabaei, M. R. 2025. Evaluating of the efficiency of hybrid artificial neural network models and Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm in estimating suspended sediment, a case study of Kozehtopraghi and Hir chai hydrometric stations in Ardabil Province. *Watershed Engineering and Management*, *17*(3), 285-301.

Karbasi, M., Ghasemian, M., Jamei, M., Malik, A., and Kisi, O. 2024. Developing extended and unscented kalman filter-based neural networks to predict cluster-induced roughness in gravel bed rivers. *Water Resources Management*, *38*(8), 3023-3048.

Keshtegar, B., Kisi, O., Ghohani Arab, H., and Zounemat-Kermani, M. 2017. Subset Modeling Basis ANFIS for Prediction of the Reference Evapotranspiration. Water Resources Management, 32(3), 1101–1116.

Khan, M. Y. A. 2025. Regional ANN model for estimating missing daily suspended sediment load in complex, heterogeneous catchments. *Journal of Geochemical Exploration*, *269*, 107643.

Khazayi, M., Dastranj A, Kazemi M, Falah S, Adeli, B. 2014. Assessment corrective methods for estimating suspended sediment (Case Study: Beshaar Watershed). E.E.R. 2014; 4 (3) :47-57.

Kisi, O., and Yaseen, Z. M. 2019. The potential of hybrid evolutionary fuzzy intelligence model for suspended sediment concentration prediction. CATENA, 174, 11–23.

Kumar, A., Kumar, P., and Tripathi, V. K. 2021. Runoff and sediment estimation using ANN and ANFIS: case study of Godavari Basin, India. In *Field Practices for Wastewater Use in Agriculture* (pp. 261-326). Apple Academic Press.

Moeeni, H., and Bonakdari, H. 2017. Impact of Normalization and Input on ARMAX-ANN Model Performance in Suspended Sediment Load Prediction. Water Resources Management, 32(3), 845–863.

Nourani, V., Gokcekus, H., and Gelete, G. 2021. Estimation of suspended sediment load using artificial intelligence-based ensemble model. *Complexity*, *2021*(1), 6633760.

Padulano, R., Fecarotta, O., Del Giudice, G., and Carravetta, A. 2017. Hydraulic Design of a USBR Type II Stilling Basin. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 143(5), 04017001. doi:10.1061/(asce)ir.1943-4774.0001150.

Patel, A.K., Chatterjee, S., and Gorai, A.K., 2017. Development of machine vision-based ore classification model using support vector machine (SVM) algorithm. *Arabian Journal of Geosciences*, 10 (5), 107.

Rautela, K. S., Kumar, D., Gandhi, B. G. R., Kumar, A., and Dubey, A. K. 2022. Application of ANNs for the modeling of streamflow, sediment transport, and erosion rate of a high-altitude river system in Western Himalaya, Uttarakhand. *RBRH*, *27*, e22.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

Rezaei, K., Pradhan, B., Vadiati, M., and Nadiri, A. A. 2021. Suspended sediment load prediction using artificial intelligence techniques: comparison between four state-of-the-art artificial neural network techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, *14*(3), 215.

Saplioglu, K., and Kucukerdem, T. S. 2018. Estimation OF Missing Streamflow Data Using ANFIS Models and Determination of the Number of Datasets for ANFIS: the case of yesilirmak river. Applied Ecology and Environmental Research, 16(3), 3583–3594.

Sirabahenda, Z., St-Hilaire, A., Courtenay, S. C., and van den Heuvel, M. R. 2020. Assessment of the effective width of riparian buffer strips to reduce suspended sediment in an agricultural landscape using ANFIS and SWAT models. CATENA, 195, 104762.

Srinivas, R., and Singh, A. P. 2018. An integrated fuzzy-based advanced eutrophication simulation model to develop the best management scenarios for a river basin. Environmental Science and Pollution Research, 25(9), 9012–9039.

Tanju, Akar and Hafzullah, Aksoy 2020. Stochastic and analytical approaches for sediment accumulation in river reservoirs, Hydrological Sciences Journal, 65:6, 984-994

Wang, R., and Yu, G. 2019. Suspended sediment concentration measurement based on optical fiber technology. Measurement Science and Technology, 30(7), 075205.

Yadav, A., Chatterjee, S., and Equeenuddin, S. M. 2021. Suspended sediment yield modeling in Mahanadi River, India by multi-objective optimization hybridizing artificial intelligence algorithms. International Journal of Sediment Research, 36(1), 76–91.

Yadav, A., Hasan, M. K., Joshi, D., Kumar, V., Aman, A. H. M., Alhumyani, H., and Mishra, H. 2022. Optimized scenario for estimating suspended sediment yield using an artificial neural network coupled with a Genetic Algorithm. *Water*, *14*(18), 2815.

Yaseen, Z. M., Ghareb, M. I., Ebtehaj, I., Bonakdari, H., Siddique, R., Heddam, S., Deo, R. 2017. Rainfall Pattern Forecasting Using Novel Hybrid Intelligent Model Based ANFIS-FFA. Water Resources Management, 32(1), 105–122.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

Estimation of River Suspended Sediments using ANNs and ANFIS Methods with Modeling in MATLAB (Case Study: Dez River, Khuzestan)

Mohamad ali Sakiani[1]
Heeva Elmizadeh[2]*
Amin Zoratipour[3]

1. Department of Marine Geology, Khorramshahr University of Marine Sciences and Technology, Iran.
2. Associate Professor, Department of Marine Geology, Khorramshahr University of Marine Sciences and Technology, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani. Iran.

*Corresponding author:
Elmizadeh@kmsu.ac.ir

Received date: **December/20/2025**
Accepted date: **January/31/2026**

Abstract

Modeling and analyzing suspended sediment loads in rivers, especially in areas like the Dez River basin which flows into the sensitive wetlands of Khuzestan, is a fundamental tool for water quality management and the operation of hydraulic structures. This importance stems from its impact on river morphological changes and the existence of nonlinear relationships between factors affecting various hydrological phenomena. In this study, with the aim of estimating the suspended sediment load of the Dez River, 30 years of monthly data (1992–2022) including discharge, water level, and suspended sediment discharge from the Dez Regulating Dam hydrometric station were utilized. In this regard, Artificial Neural Network (ANN) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) models were developed in the MATLAB software environment, and their efficiency was evaluated using the coefficient of determination (R^2), Root Mean Square Error (RMSE), Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), and Mean Absolute Error (MAE) criteria. Furthermore, separating the data based on flow conditions led to a significant improvement in the accuracy of fitting the sediment rating curve and the model outputs. The results indicated that the estimates of the ANNs and neuro-fuzzy methods possess high accuracy. According to the results, separating data for different precipitation and flow conditions can create the necessary homogeneity to generate a sediment rating curve with higher accuracy and validity. Additionally, the results showed that the ANFIS model, due to its high ability to identify complex nonlinear relationships between hydrological variables, can be used as a powerful tool for modeling and predicting suspended sediment not only in the Dez River but also in other similar basins of the country. Moreover, for predicting erosion, sediment, and runoff volume variables—which constitute some of the most complex hydrodynamic and ecological issues—the intelligent and nonlinear neuro-fuzzy model demonstrates greater capability and efficiency due to its high performance in recognizing nonlinear and complex relationships for simulating erosion and runoff in the study area and similar basins. The application of these models can provide a suitable scientific basis for estimating sediment input to downstream wetlands, assessing the effects of sediment changes on the wetland's ecobiology, and ultimately, assisting in the formulation of integrated management strategies for the watershed and wetland ecosystems.

Keywords: Watershed management, Wetland ecosystem, Sedimentation, River suspended load, Dez River.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]