کاربرد مدل‌های هوشمند عصبی در پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب مخازن سدها (مطالعه موردی: سد اکباتان همدان)

محمد رستمی[۱]، حسین منتصری[۲*]، مریم بیات ورکشی[۳]،محمد پروین نیا[۲]، رضا خلیلی[۴]

۱- دانشجو کارشناس ارشد، مهندسی عمران گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشگاه یاسوج

۲* – استادیار گروه مهندسی عمران،مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشگاه یاسوج

۳ – استادیار مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر

۴- کارشناس ارشد، مهندسی عمران گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب مدیریت منابع آب، دانشگاه یاسوج

* ایمیل نویسنده مسئول: hmontaseri@yu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲

چکیده

بررسی کیفیت آب مخازن سدها به‌منظور تامین تقاضا منابع آب جهت کاربری‌های مختلف مانند: تامین آب شرب شهر و حق‌آبه کشاورزی در مدیریت منابع آب ضروری می‌باشد. هدف از این پژوهش پیش‌بینی پارامترهای کیفی سد کباتان همدان به تفکیک دوره گرم و سرد می‌باشد.در این مطالعه با تکیه بر توانمندی مدل‌های هوشمند عصبی از ۴ مدل شبکه عصبی مصنوعی، عصبی–فازی، عصبی– موجک و عصبی–فازی– موجک برای پیش‌بینی پارامترهای کیفیت آب سد اکباتان همدان استفاده شده است. بدین منظور از داده های پارامترهای BOD_5، DO، pH، دما، کل جامدات و کدورت آب طی سال‌های 1388و 1389 جهت برآورد فسفات، نیترات، کلیفرم مدفوعی و کلیفرم a استفاده شد. جهت بررسی شرایط محیطی بر دقت نتایج، پیش‌بینی‌ها در دو دوره گرم و سرد سال صورت گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده، مدل تلفیقی شبکه عصبی با نظریه موجک به‌عنوان ساختار بهینه در برآورد هر چهار پارامتر کیفی در هر دو دوره معرفی شد. در بین پارامترهای مورد بررسی در دوره گرم، کمترین خطای جذور میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) و بیشترین ضریب همبستگی به‌ترتیب ۰/۹۰۵ و ۰/۹۹۹و در دوره سرد کمترین مقدار NRMSE و بیشتربن ضریب همبستگی به‌ترتیب ۲/۷۵ و ۰/۹۰۵ برای پارامتر کیفی نیترات مشاهده گردید. در مجموع کاربرد نظریه موجک منجر به بهبود نتایج پیش‌بینی شده پارامترهای کیفی سد اکباتان گردیده است. همچنین پیش‌بینی پارامترهای کیفی در دوره گرم دقت بیشتری نسبت به دوره سرد داشت. این امر اهمیت کاربرد مدل‌های هوشمند عصبی در برآورد پارامترهای کیفی آب در فصول گرم را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی

" هوشمند عصبی "، " نظریه موجک "، " دوره سرد و گرم "، " سد اکباتان "

۱- مقدمه

شناسایی مشکلات کمی و کیفی موجود در سیستم‌های پایش منابع آب یکی از مهمترین گام‌های تدوین ساختار طرح‌های مدیریت سیستم‌های منابع آب و اجرای طرح‌های زیست محیطی کاهش آلودگی می‌باشد(Liu, 2022). استفاده از برخی روش‌های غیر مستقیم برای شبیه‌سازی پارامترهای کیفی در حجم بالا به منظور کاهش هزینه، وقت و دقت زیاد مدنظر قرار می‌گیرد (Khalili , 2021). در زمینه شبیه‌سازی مدل‌های کیفیت آب مدل‌های زیادی گسترش یافته که نیازمند پارامترهای ورودی زیاد چون داده‌های هیدرولوژی، هواشناسی و غیره است که دسترسی به آن‌ها نیازمند صرف هزینه و زمان است(Georganos, 2021). گسترش روز افزون رایانه و استفاده از هوش مصنوعی و استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی به‌طور گسترده‌ای در تخمین پارامترهای کیفی مورد استفاده قرار گرفته است(Urbina,2022). (Rajaee , 2011 در پژوهشی به‌منظور پیش‌بینی پارامتر BOD ایستگاه خروجی سد کرج از روش‌های شبکه عصبی، عصبی – موجک، برنامه‌ریزی ژنتیک و رگرسیون خطی استفاده نمودند نتایج حاکی از آن بود که عملکرد روش ترکیبی عصبی – موجک بیش از دیگر روش‌ها می‌باشد. (Rajaee, 2017) در پژوهشی دیگر مدل تلفیقی شبکه عصبی و موجک را در پیش‌بینی غلظت پارامتر کیفی اکسیژن محلول در مخزن سد بولدر را بهتر از شبکه عصبی مصنوعی ارزیابی نمودند. (Shakeri, 2013)از شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی غلظت فلز سنگین مس در مخزن دریاچه مصنوعی چاه نیمه در استان سیستان و بلوچستان استفاده کردند آن‌ها از شاخص‌های TDS، pH، ECو دما به‌عنوان ورودی‌های مدل و از الگوریتم لونبرگ مارکوات جهت آموزش شبکه استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که شبکه پیشنهادی با پارامترهای ورودی یاد شده نتایج دقیقی را به دست می‌دهد. (Abba , 2020)از شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور مدل‌سازی پارامترهای آب شرب استفاده کردند و شاخص‌های کیفی دما، کدورت، سختی کل، سطح کلسیم و pHقبل از تصفیه، را به‌عنوان ورودی‌های شبکه و شاخص‌های کیفی ECو TDS بعد از تصفیه را به‌عنوان خروجی‌های مدل در نظر گرفتند نتایج کارایی بالای شبکه‌های عصبی مصنوعی را در پیش‌بینی شاخص‌های کیفی آب تصفیه شده نسبت به مدل‌های کلاسیک و کاربردی نشان داد.(Musavi-Jahromi , 2008)نیز به شبیه‌سازی پارامترهای کیفی TDS، EC و SAR رودخانه کارون به کمک شبکه عصبی پرداختند و به دقت بالای ۹۰ درصد در پیش‌بینی پارامترها اشاره نمودند. از جمله پژوهش‌های صورت گرفته در خاج از کشور بر روی پیش‌بینی

پارامترهای کیفی آب می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: (Xu , 2013)پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب را به کمک روش‌های شبکه عصبی و روش موجک انجام دادند و برتری روش موجک را به اثبات رسانیدند. (Kim, 2013)از مدل تلفیقی شبکه عصبی و تبدیل موجک به منظور پیش‌بینی غلظت شاخص کیفی کلرفیل a در مخزن دریاچه استفاده نمودند. آن‌ها در این مدل‌ها از ترکیبات مختلف شاخص‌های کیفی و هیدرولوژیکی آب به‌عنوان ورودی‌های شبکه استفاده نمودند و بهترین مدل را از بین مدل‌های یاد شده انتخاب کرده و با تبدیل موجک ترکیب نمودند. مقایسه نتایج نشان داد که استفاده از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی با تبدیل موجک نتایج دقیق-تری نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی دارد. (Najah, 2009) شاخص‌های کیفی رودخانه جوهر مالزی، EC و کل جامدات محلول را به کمک شبکه عصبی پیش‌بینی نموده و به دقت بالای مدل‌های هوشمند عصبی در تخمین پارامتر اشاره نمودند. (Olyaie , 2010)تغییرات شاخص‌های BOD و DO رودخانه دره مراد بیگ همدان را به کمک شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی کردند، نتایج نشان دهنده کارایی بالای مدل در تخمین شاخص‌های کیفی بود. (Diamantopoulou, 2005)مدل‌سازی ماهانه شاخص‌های کیفی رودخانه اکسیوس در شمال یونان را به کمک مدل شبکه عصبی مصنوعی انجام دادند و بر کارایی این مدل در پیش‌بینی مقادیر شاخص‌های کیفی در رودخانه‌ها تأکید کردند. (Karul , 2000)شبکه عصبی مصنوعی را به‌منظور مدل‌سازی کلرفیل a در مخزن سد کبان ترکیه به کار بردند. در این پژوهش داده‌های ورودی شامل PO_4، دما، هدایت الکتریکی، PH، TSS، Alkalinity، NO_3، اکسیژن محلول و عمق دیسک سچی بود و کلرفیل a لایه خروجی را تشکیل می‌داد. آن‌ها در ادامه این کار در سال (۲۰۰۰) سدهای مگان و ایمیر را مورد مطالعه قرار دادند و در نهایت به عملکرد مناسب شبکه عصبی در پیش‌بینی پارامترهای کیفی دست یافتند.در این پژوهش برای اولین بار از روش تلفیقی شبکه عصبی و نظریه موجک با در نظر گرفتن ۶ پارامتر کیفی ورودی به‌منظور پیش‌بینی پارامترهای فسفات، نیترات، کلیفرم مدفوعی و کلیفرم a و مقایسه آن با دیگر روش‌های شبکه عصبی در پیش‌بینی پارامترهای کیفی مخزن سد اکباتان استفاده شد. سد اکباتان مهمترین سد استان همدان است که بر روی رودخانه آبشینه واقع شده است و هدف تامین آب شرب شهر همدان و حق‌آبه کشاورزی را به عهده دارد. کارایی مدل‌های استفاده شده با معیارهای خطاسنجی مجذور میانگین مربعات خطای نرمال و ضریب همبستگی مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

سد اکباتان واقع در شهرستان همدان منطقه مورد مطالعه به‌منظور بررسی این پژوهش می‌باشد. سد اکباتان مهمترین سد استان همدان است که در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر همدان بر روی رودخانه آبشینه (یلفان) پائین تر از محل تلاقی رودخانه‌های یلفان و ابرو واقع شده است. سد اولیه با هدف تامین آب شرب شهر همدان و حق‌آبه کشاورزی با قدرت تنظیم سالیانه ۱۷ میلیون مترمکعب از آب رودخانه آبشینه در سال ۱۳۴۲ به بهره‌برداری رسید. علی‌رغم اینکه متوسط رواناب رودخانه در محل محور سد اکباتان، با ۲۱۳ کیلومتر مربع وسعت حوضه و ۵۰۵ میلی‌متر متوسط بارش سالیانه، حدود ۵۵ میلیون مترمکعب می‌باشد، فقط ۳۱ درصد از آن توسط سد اکباتان تنظیم و به مصرف می‌رسید. به‌منظور انجام مطالعه حاضر، نمونه‌های آب برداشت شده از هفت نقطه مختلف مخزن سد در سال‌های 1388و 1389 مورد سنجش قرار گرفت. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

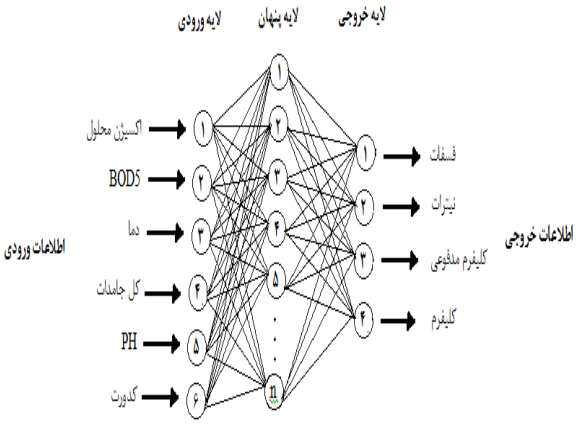
شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه‌ها	موقعیت ایستگاه های مورد مطالعه			
	مشخصات	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	نزدیک دیواره سد	"۳۴°۴۵'۲۳/۱۱	"۴۸°۳۶'۱/۶۶	۱۹۶۳
۲	مرکز سد	"۳۴°۴۵'۱۳/۱۹	"۴۸°۳۶'۳/۴۲	۱۹۶۶
۳	حاشیه شرقی دریاچه	"۳۴°۴۵'۴/۴۴	"۴۸°۳۶'۱۰/۲۷	۱۹۶۶/۰۳
۴	حاشیه غربی دریاچه	"۳۴°۴۵'۵/۴۴	"۴۸°۳۶'۱/۸	۱۹۶۷/۱۹
۵	مرکز دریاچه	"۳۴°۴۵'۵۵/۵۲	"۴۸°۳۶'۸/۱۸	۱۹۶۷/۸۷
۶	ورودی رودخانه یلفان	"۳۴°۴۵'۳۲/۵۶	"۴۸°۳۶'۱۲/۹۰	۱۹۶۸/۵۱
۷	ورودی رودخانه ابرو	"۳۴°۴۵'۳۸/۰۲	"۴۸°۳۶'۵/۶۶	۱۹۶۸/۷۷

- **انتخاب نقاط نمونه برداری**

نمونه‌برداری از ایستگاه‌های نام برده طی ۱۲ ماه سال ۱۳۸۹-۱۳۸۸و به صورت ماهیانه (اواسط هر ماه) انجام گرفت. برداشت و نگهداری و سنجش با استفاده از روش‌های استاندارد (۷۲) در آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان انجام گردیده است. در این تحقیق ۱۰ پارامتر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی شامل BOD_5، DO، PH، دما، کل جامدات، کدورت، نیترات، فسفات، کلروفیل a و کلیفرم مدفوعی مورد آزمایش قرار گرفتند. برمبنای زمان اندازه‌گیری، داده-ها به دو بخش دوره سرد (فصل پاییز و زمستان) و گرم (فصل بهار و تابستان) تقسیم گردید سپس مقادیر فسفات، نیترات، کلیفرم مدفوعی و کلیفرم a با استفاده از پنج مدل هوشمند عصبی شامل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، سیستم استنتاج تطبیقی عصبی - فازی[1](CANFIS)، روش عصبی - موجک (Wavelet - ANN)، و روش عصبی – فازی – موجک (Wavelet - CANFIS - ANN) پیش‌بینی شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از مدل‌های هوشمند عصبی در نرم‌افزارSolution -Neuro و نظریه موجک در نرم‌افزار MATLAB صورت گرفت. مراحل انجام کار بدین صورت بود که در گام اول کاربرد روش‌های هوشمند عصبی در پیش‌بینی پارامترهای نام‌برده مورد سنجش قرار گرفت. یکی از فاکتورهای مهم در کاربرد روش‌های هوشمند عصبی، انتخاب تعداد و نوع پارامترهای ورودی است. بدین منظور اطلاعات داده‌های اکسیژن محلول، BOD_5، دما، کل جامدات، pH و کدورت به‌عنوان ورودی لحاظ گردید. مطابق معمول، معماری شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده از نوع پرسپترون چند لایه (MLP[2])، مطابق شکل ۱ بود. تعداد نرون‌های لایه میانی (N_h) با استفاده از روش سعی و خطا بین ۴ تا ۱۰ قرار داده شد.



شکل ۱- معماری شبکه عصبی مورد استفاده

اجرای شبکه عصبی مصنوعی با توابع فعالیت تانژانت[3]، سیگموئید[4]، تانژانت خطی[5] و سیگموئید خطی[6] و قوانین آموزش لونبرگ مارکوات[7] صورت گرفت. در گام بعدی کاربرد منطق فازی در قالب سیستم استنتاج تطبیق عصبی – فازی[8] (CANFIS) انجام گرفت. در این روش، بر خلاف ساختار ANFIS[9]، کاربر قادر است مشخصات شبکه عصبی مصنوعی و مدل فازی را به تفکیک انتخاب و به ساختار بهینه آن به روش آزمون و خطا دست یابد. به‌منظور پیش‌بینی، مدل استنتاج سوگنو[10] با توابع عضویت زنگوله‌ای[11] و گوسین[12] اجرا گردید. تعداد توابع عضویت نیز ۲ دسته درنظر گرفته شد.

[1] Co-active Neuro-Fuzzy Inference System
[2] Multi-Layer Perception

[3] Tanh Axon
[4] Sigmoid Axon
[5] Linear Tan Axon
[6] Linear Sigmoid Axon
[7] Levenberg Marquate
[8] Fuzzy Logic
[9] Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
[10] Sugeno
[11] Bell
[12] Gaussian

در نهایت به‌منظور ارزیابی به کمک نظریه موجک، ابتدا مقادیر ورودی با بکارگیری موجک میر (موجک پیچیده) و موجک هار (موجک ساده) و توسط تبدیل موجک گسسته به ۵ زیرسری معین $d(t)_1$, $d(t)_2$, $d(t)_3$, $d(t)_4$, $d(t)_5$, $a(t)_5$ تجزیه شدند. از آنجا که هدف از تجزیه موجکی، ساده‌سازی سیگنال می‌باشد، با استفاده از کد برنامه نوشته شده در MATLAB مشاهده شد که در سطح تجزیه ۵ زیر سری تقریبی به مرحله‌ای می‌رسند که در آن‌ها بسامدی مشاهده نمی‌گردد. در نتیجه $d(t)_1$, $d(t)_2$, $d(t)_3$, $d(t)_4$, $d(t)_5$ به‌عنوان زیر سری-های جزئی و $a(t)_5$ به‌عنوان زیرسری تقریبی، در ورودی شبکه عصبی مصنوعی و شبکه عصبی – فازی برای تخمین پارامترهای کیفی به‌کار گرفته شدند.معیار ارزیابی دقت روش‌های مورد استفاده، شاخص‌های خطا سنجی مجذور میانگین مربعات خطای نرمال[1] (NRMSE) و ضریب همبستگی[2] (r) طبق روابط زیر بودند:

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(P_i - O_i)^2}{n}}}{\overline{O}} \qquad (۱)$$

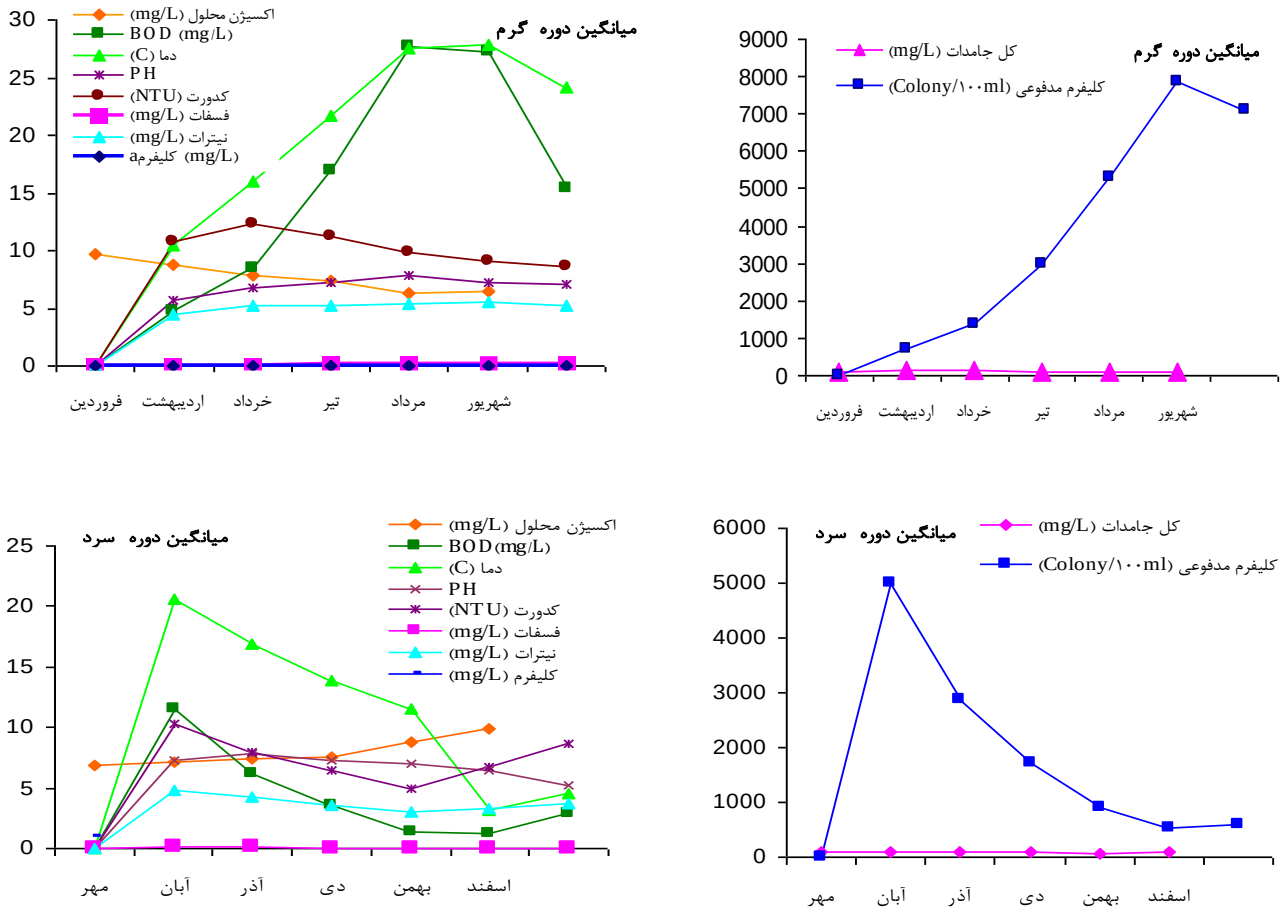
$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} (O_i - \overline{O})(P_i - \overline{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (O_i - \overline{O})^2 (P_i - \overline{P})^2}} \qquad (۲)$$

در این روابط O_i مقدار مشاهده شده ، $\overline{O}$ میانگین مقدار مشاهده شده ، P_i مقدار برآورد شده و $\overline{P}$ میانگین مقدار برآورد شده و n تعداد داده‌ها می‌باشند(khalili, 2020).

۳- نتایج

مقدار میانگین پارامتر های اندازه‌گیری شده نقاط نمونه‌برداری به تفکیک دوره گرم و سرد سال در اواسط ۱۲ ماه سال ۸۹-۱۳۸۸ در شکل ۲ ارائه شده است.

[1] Normal Root Mean square Error (NRMSE)
[2] Coefficient Of Correlation (r)



شکل ۲- میانگین پارامترهای کیفی به تفکیک دوره گرم و سرد

با توجه به شکل در دوره گرم سال تمامی پارامترهای مورد بررسی در ماه فروردین دارای کم‌ترین مقدار می‌باشند و سپس روندی صعودی به‌خود می‌گیرند. پارامتر BOD، دما و کلیفرم مدفوعی در ماه مرداد دارای حدکثر مقدار می‌باشند که مقادیر آن به ترتیب ۲۷/۲۸ میلی‌گرم بر لیتر، ۲۷/۸ درجه سانتی‌گراد و ۷۸۵۷/۱۴ کولونی بر ۱۰۰ میلی‌لیتر است. سپس با رسیدن دوره سرد مجدد مقدار پارامترها کاهش می‌یابد. در دوره سرد سال نیز روند ابتدا افزایشی است و در ماه آبان اغلب پارامترها دارای حداکثر مقدار می‌باشد و بعد آبان ماه روندی نزولی داشته و پارامتر دما دارای بیشترین مقدار در بین سایر پارامترها می‌باشد. در هر دو دوره مورد بررسی پارامترهای pH، فسفات، کلیفرم a و کل جامدات بر خلاف سایر پارامترها نوسان زیادی نداشته و تغییر کمتر طی ۱۲ ماه مورد بررسی دارند در مقابل دما، BOD و کلیفرم مدفوعی نوسان بیشتری را طی دوره اندازه‌گیری شده دارا می‌باشند. نتایج اجرای مدل-های هوشمند همانگونه که در بخش مواد و روش‌ها شرح داده شد شامل شبکه عصبی، شبکه عصبی – فازی، شبکه عصبی – موجک و شبکه عصبی – فازی – موجک با قانون آموزش لونبرگ مارکوات برای پیش‌بینی ۴ پارامتر کیفی فسفات، نیترات، کلیفرم مدفوعی و کلیفرم a به تفکیک دوره سرد و گرم سال در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است. نتایج ارائه شده در هر جدول بر اساس بهترین ساختار هر شبکه در هر دوره می‌باشد.

جدول ۲- نتایج اجرای مدل‌های هوشمند برای دوره گرم

دوره	پارامتر	روش	تابع فعالیت	تابع عضویت	r (-)	NRMSE (-)
گرم	فسفات	عصبی	سیگموئید خطی	--	۰/۸۰۲	۱۹/۹۴
		عصبی – فازی	سیگموئید خطی	زنگوله‌ای	۰/۶۳۵	۲۹/۳۱
		عصبی – موجک	تانژانت خطی	--	۰/۹۸۹	۵/۶۵
		عصبی – فازی – موجک	تانژانت خطی	**گوسین**	**۰/۹۸۸**	**۵/۲۷**
	نیترات	عصبی	تانژانت	--	۰/۹۷۱	۶/۶۲

	عصبی – فازی	تانژانت	گوسین	۰/۶۲۰	۲۸/۱۶
	عصبی - موجک	**تانژانت خطی**	--	**۰/۹۹۹**	**۰/۹۰۵**
	عصبی – فازی – موجک	تانژانت خطی	گوسین	۰/۹۹۸	۱/۷۶
کلیفرم مدفوعی	عصبی	سیگموئید	--	۰/۹۸۴	۲۲/۹۲
	عصبی – فازی	سیگموئید	گوسین	۰/۹۳۷	۵۹/۹۶
	عصبی - موجک	**تانژانت خطی**	--	**۰/۹۹۹**	**۱/۱۲**
	عصبی – فازی – موجک	تانژانت خطی	زنگوله‌ای	۰/۹۹۶	۱۲/۵۴
کلیفرم a	عصبی	سیگموئید	--	۰/۸۳۸	۱۷/۷۷
	عصبی – فازی	سیگموئید	گوسین	۰/۸۱۱	۱۸/۱۷
	عصبی – موجک	تانژانت خطی	--	۰/۹۹۹	۱/۱۹
	عصبی – فازی – موجک	تانژانت خطی	**زنگوله‌ای**	**۰/۹۹۹**	**۰/۸۳٤**

جدول ۲ نشان می‌دهد که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین نتایج اجرای ساختارهای مختلف مدل‌های هوشمند عصبی وجود دارد. ساختار بهینه به‌منظور پیش‌بینی عنصر فسفات و کلیفرم a در دوره گرم با در نظر گرفتن کمترین مقدار خطای NRMSE و بیشترین مقدار ضریب همبستگی (r)، نتایج اجرای مدل عصبی – فازی – موجک با لحاظ قانون آموزش لونبرگ مارکوات و تابع فعالیت تانژانت خطی در ساختار شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. مقادیر دقت و ضریب همبستگی این دو پارامتر به‌ترتیب ۵/۲۷، ۰/۹۹۸ و ۰/۸۳۴، ۰/۹۹۹ به‌دست آمد که نسبت به ۴ روش دیگر عملکرد بهتری دارد. همان‌گونه که از جدول ۲ مشاهده می‌شود، روش عصبی – موجک نیز در این دوره به‌عنوان ساختار بهینه برای دو عنصر نیترات و شناخته شد، تابع فعالیت اجرا شده در هر دو پارامتر کیفی تانژانت خطی و مقدار ضریب همبستگی نیز ۰/۹۹۹ به‌دست آمده است، این بدان معنی است که کاربرد نظریه موجک منجر به بهبود نتایج شبکه عصبی مصنوعی شده است. (Rajaee, 2011)در پیش‌بینی پارامتر BOD سد کرج در پژوهش دیگری (Rajaee , 2017)در سد بولدر برای پیش‌بینی پارامتر اکسیژن محلول برتری روش عصبی – موجک را ارائه دادند که همسو با نتایج ارائه شده این پژوهش و نشان دهنده دقت بالای روش‌های ترکیبی با نظریه موجک در پیش‌بینی پارامتر کیفی می‌باشد. در بین ۴ روش مورد بررسی برای ۴ پارامتر کیفی اندازه‌گیری شده روش عصبی – فازی در مرحله اول و روش عصبی در مرحله بعدی دارای کمترین مقدار ضریب همبستگی و بیشترین مقدار خطا هستند.

جدول ۳- نتایج اجرای مدل‌های هوشمند در دوره سرد

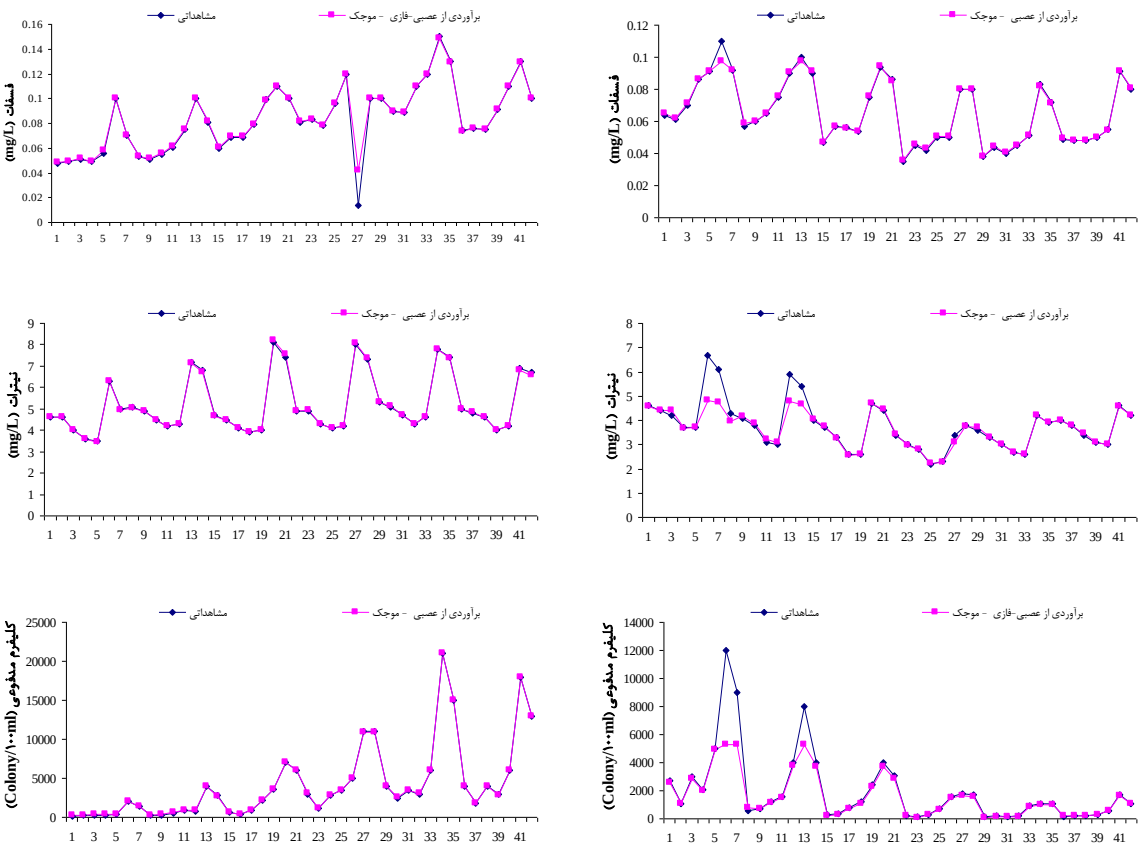
دوره	پارامتر	روش	تابع فعالیت	تابع عضویت	r (-)	NRMSE (-)
سرد	فسفات	عصبی	تانژانت	--	۰/۹۷۹	۶/۱۱
		عصبی – فازی	تانژانت	گوسین	۰/۹۴۵	۹/۸۱
		عصبی - موجک	**تانژانت خطی**	--	**۰/۹۹٤**	**۳/۱۸**
		عصبی – فازی – موجک	**تانژانت خطی**	گوسین	۰/۳۵۳	۶۸/۵۶
	نیترات	عصبی	تانژانت خطی	--	۰/۸۹۸	۱۲/۲۶
		عصبی – فازی	تانژانت خطی	زنگوله‌ای	۰/۸۵۳	۱۴/۹۵
		عصبی - موجک	**تانژانت**	--	**۰/۹۹۵**	**۲/۷۵**
		عصبی – فازی – موجک	**تانژانت**	گوسین	۰/۹۹۴	۲/۷۷
	کلیفرم مدفوعی	عصبی	سیگموئید خطی	--	۰/۸۲۶	۸۴/۱۰
		عصبی – فازی	سیگموئید خطی	زنگوله‌ای	۰/۸۸۲	۸۱/۹۹
		عصبی – موجک	سیگموئید	--	۰/۹۴۱	۶۸/۴۲
		عصبی – فازی – موجک	سیگموئید	**زنگوله‌ای**	**۰/۹۳۱**	**٦٥/۰۷**
	کلیفرمa	عصبی	سیگموئید	--	۰/۹۱۷	۲۵/۰۰
		عصبی – فازی	سیگموئید	گوسین	۰/۶۸۸	۷۳/۴۹

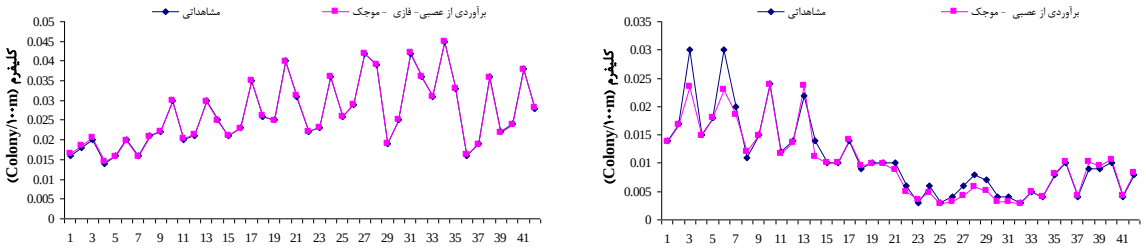
عصبی – موجک	**تانژانت**	--	**۰/۹۹۵**	**۶/۲۶**
عصبی – فازی – موجک	**تانژانت**	زنگوله‌ای	۰/۹۷۲	۱۵/۱۳

با توجه به نتایج ارائه شده از اجرای ۴ مدل برای ۴ پارامتر کیفی ساختار بهینه پیش‌بینی شده در دوره سرد در جدول ۳ برای پارامترهای کیفی فسفات، نیترات و کلیفرم a روش شبکه عصبی – موجک با مقدار ضریب همبستگی به‌ترتیب ۰/۹۹۴، ۰/۹۹۵ و ۰/۹۹۵ و بیشترین دقت در پیش‌بینی با میزان ۳/۱۸، ۲/۷۵ و ۶/۲۶ است. ساختار بهینه کلیفرم مدفوعی نیز روش عصبی – فازی – موجک با تابع عضویت زنگوله‌ای که در بین ۴ روش اجرا شده برای این پارامتر کیفی بیشترین میزان دقت و ضریب همبستگی (۶۵/۰۷ و ۰/۹۳۱) را داراست. مشابه دوره گرم در این دوره نیز استفاده از نظریه موجک منجر به بهبود نتایج شده است و پیش‌بینی سه پارامتر نیترات، کلیفرم مدفوعی و کلیفرم a به روش عصبی – فازی و سپس روش عصبی از دقت کمتری برخوردار می‌باشند.در کل با توجه به نتایج در هر دو دوره در می‌یابیم استفاده از روش‌های ترکیبی با نظریه موجک در پیش‌بینی تمامی پارامترها دقت بیشتری داشته است.

توان بالای موجک در شناسایی سیگنال‌ها و جداسازی سیگنال‌های خطا در ترکیب با شبکه عصبی برای تخمین پارامترهای کیفی رودخانه در نتایج (Banejad, 2013)نیز آورده شده است. به‌منظور ارزیابی بهتر نتایج، مقادیر مشاهداتی هر یک از پارامترهای کیفی در مقابل مقادیر پیش‌بینی دشه از ساختار بهینه به تفکیک دوره سرد و گرم در شکل ۳ ارائه شده است.

سرد **گرم**





شکل ۳- مقایسه مقادیر مشاهداتی و برآوردی از روش بهینه در دو دوره سرد و گرم

همانگونه که از شکل ۳ نمایان است روند تغییرات مقادیر مشاهداتی هر یک از پارامترها و مقدار برآوردی هریک از آن‌ها به تفکیک دوره گرم و سرد رسم گردیده است. تغییرات هر ۴ پارامتر کیفی مورد بررسی در دوره گرم دقت بیشتری نسبت به دوره سرد دارد به‌طوری‌که هم‌پوشانی بیشتری بین مقادیر برآوردی و مشاهداتی در دوره گرم نسبت به دوره سرد دیده می‌شود. در دوره سرد پیش‌بینی هر ۴ پارامتر کیفی مورد بررسی در بعضی موارد تطابق کامل با مقادیر مشاهداتی نداشته و در دوره گرم نیز مقدار فسفات برآوردی با استفاده از روش عصبی – فازی – موجک از دقت بالایی در پیش‌بینی پارامتر کیفی برخوردار نبود، در مقابل سه پارامتر دیگر مقدار پیش‌بینی شده منطبق بر مقدار مشاهداتی آن می‌باشد.

٤- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به‌منظور پیش‌بینی پارامترهای کیفی فسفات، نیترات، کلیفرم مدفوعی و کلیفرم a سد اکباتان همدان از ۴ مدل هوشمند استفاده شد. معیارهای خطاسنجی میزان دقت و همخوانی با مقدار اندازه‌گیری شده مورد بررسی قرار گرفت. در مجموع روش تلفیقی شبکه عصبی و نظریه موجک به‌عنوان ساختاری بهینه با ضریب همبستگی بالا و میزان خطای کمتر نسبت به سایر روش‌ها برای هر دو دوره سرد و گرم معرفی گردید. مقدار پیش‌بینی شده با استفاده از این روش بیشترین همخوانی را با مقدار اندازه‌گیری شده دارد. استفاده از مدل‌های هوشمند هزینه و زمان را کاهش داده و از دقت بالایی نیز برخوردار می‌باشد. همچنین دقت پیش‌بینی پارامترهای کیفی مورد بررسی در دوره گرم بیش از دوره سرد می‌باشد.

منابع :

- Abba, Sani Isah, Quoc Bao Pham, Gaurav Saini, Nguyen Thi Thuy Linh, Ali Najah Ahmed, Meriame Mohajane, Mohammadreza Khaledian, Rabiu Aliyu Abdulkadir, and Quang-Vu Bach. 2020. “Implementation of Data Intelligence Models Coupled with Ensemble Machine Learning for Prediction of Water Quality Index.” Environmental Science and Pollution Research 27(33):41524–39.
- Banejad, Hossein, Mahsa Kamali, Kimia Amirmoradi, and Ehsan Olyaie. 2013. “Forecasting Some of the Qualitative Parameters of Rivers Using Wavelet Artificial Neural Network Hybrid (W-ANN) Model (Case of Study: Jajroud River of Tehran and Gharaso River of Kermanshah).” Iranian Journal of Health and Environment 6(3).
- Diamantopoulou, Maria J., Dimitris M. Papamichail, and Vassilis Z. Antonopoulos. 2005. “The Use of a Neural Network Technique for the Prediction of Water Quality Parameters.” Operational Research 5(1):115–25.
- Georganos, Stefanos, Tais Grippa, Assane Niang Gadiaga, Catherine Linard, Moritz Lennert, Sabine Vanhuysse, Nicholus Mboga, Eléonore Wolff, and Stamatis Kalogirou. 2021. “Geographical Random Forests: A Spatial Extension of the Random Forest Algorithm to Address Spatial Heterogeneity in Remote Sensing and Population Modelling.” Geocarto International 36(2):121–36.
- Karul, Cüneyt, Selçuk Soyupak, Ahmet F. Çilesiz, Nihat Akbay, and Emin Germen. 2000. “Case Studies on the Use of Neural Networks in Eutrophication Modeling.” Ecological Modelling 134(2–3):145–52.
- Khalili, Reza, Hossein Montaseri, and Hamed Motaghi. 2021. “Evaluation of Water Quality in the Chalus River Using the Statistical Analysis and Water Quality Index (WQI).” Water

and Soil Management and Modelling. doi: 10.22098/mmws.2021.9300.1031.
- khalili, reza, mohammad parvinnia, and hamed motaghi. 2020. "Evaluation of Bashar River Water Quality Using CCME Water Quality Index." Journal of Environmental Science Studies 5(3):2807–14.
- Kim, Mi Eun, Tae Seok Shon, and Hyun Suk Shin. 2013. "Forecasting Algal Bloom (Chl-a) on the Basis of Coupled Wavelet Transform and Artificial Neural Networks at a Large Lake." Desalination and Water Treatment 51(19–21):4118–28.
- Liu, Yaru, Lei Wang, Kaixuan Gu, and Min Li. 2022. "Artificial Neural Network (ANN)-Bayesian Probability Framework (BPF) Based Method of Dynamic Force Reconstruction under Multi-Source Uncertainties." Knowledge-Based Systems 237:107796.
- Musavi-Jahromi, S. H., and M. Golabi. 2008. "Application of Artificial Neural Networks in the River Water Quality Modeling: Karoon River, Iran."
- Najah, Ali, Ahmed Elshafie, Othman A. Karim, and Othman Jaffar. 2009. "Prediction of Johor River Water Quality Parameters Using Artificial Neural Networks." European Journal of Scientific Research 28(3):422–35.
- Olyaie, E., H. Banejad, M. T. Samadi, A. R. Rahmani, and M. H. Saghi. 2010. "Performance Evaluation of Artificial Neural Networks for Predicting Rivers Water Quality Indices (BOD and DO) in Hamadan Morad Beik River." Water and Soil Science 20(3):199–210.
- Rajaee, Taher, Hamideh Jafari, and Roghaye Rahimi. 2017. "Performance Improvement of Biological BOD in Rivers Based on De-Noising Comparison Wavelet-ANN Conjunction, GP, ANN and MLR Methods (Case Study: Karaj Dam Outlet Station)." Amirkabir Journal of Civil Engineering 49(2):273–84.
- Rajaee, Taher, Vahid Nourani, Mohammad Zounemat-Kermani, and Ozgur Kisi. 2011. "River Suspended Sediment Load Prediction: Application of ANN and Wavelet Conjunction Model." Journal of Hydrologic Engineering 16(8):613–27.
- SHAKERI, ABDOLMALEKI ALIREZA, AHANGAR AHMAD GHOLAMALIZADEH, and Jaber Soltani. 2013. "Artificial Neural Network (Ann) Approach for Predicting Cu Concentration in Drinking Water of Chahnimeh1 Reservoir in Sistan-Balochistan, Iran."
- Urbina, Fabio, Filippa Lentzos, Cédric Invernizzi, and Sean Ekins. 2022. "Dual Use of Artificial-Intelligence-Powered Drug Discovery." Nature Machine Intelligence 4(3):189–91.
- Xu, Longqin, and Shuangyin Liu. 2013. "Study of Short-Term Water Quality Prediction Model Based on Wavelet Neural Network." Mathematical and Computer Modelling 58(3–4):807–13.

Application of Intelligent Neural Models in Determining the Water Quality Parameters of Dams Reservoirs (Case study: Ekbatan dam of Hamadan)

Mohammad Rostami 1, Hossein Montaseri 2*, Maryam Bayat Verkeshi 3, Mohammad Parvin Nia 2, Reza Khalili [4]

[1]M.Sc. Student of Civil Engineering of Water Resources Management, Engineering Faculty, Yasuj University

[2 *]Assistant Professor of Civil Engineering, Engineering Faculty, Yasuj University

3Assistant Professor of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Malayer University

[4] Senior Expert, Civil Engineering, Water Resources Engineering and Management, Yasouj University

[*]Email Address**:** hmontaseri@yu.ac.ir

Abstract

Introduction:

Identifying the quantitative and qualitative problems in water resources monitoring systems is one of the most important steps in formulating the structure of water resources systems management plans and implementing pollution reduction environmental plans. It is considered to use some indirect methods to simulate qualitative parameters in high volume in order to reduce cost, time and high accuracy. In the field of simulating water quality models, many models have been developed that require a lot of input parameters such as hydrological, meteorological data, etc., which require spending time and money to access them. The increasing expansion of computers and the use of artificial intelligence and the use of artificial neural network methods have been widely used in the estimation of qualitative parameters.

Methodology:

In the present study, Based on the ability of intelligent neural models of four models such as artificial neural network, neuro-fuzzy, neural-wavelet and neuro-fuzzy-wavelet were used to predict the water quality parameters of Hamadan Ekbatan dam. For this purpose, BOD5, DO, pH, temperature, total solids and water turbidity were measured during 1388and 1389 to estimate phosphate, nitrate, fecal coliform and total chlorophyll a. in order to evaluation of the environmental conditions on the accuracy of the results , predictions were made in the last two warm and cold periods of the year .

Conclusion:

Based on the results, the combined model of neural network with wavelet theory was introduced as the optimal structure for estimating all four qualitative parameters in both periods. Among the parameters studied during the warm period, the lowest normal root mean square error (NRMSE) and the highest correlation coefficient were 0.990 and 0.999, Furthermore, in the cold period, the least amount of NRMSE and the most correlation coefficient was 2.75 and 0,905 have seen for the nitrate quality parameter Overall, The application of wavelet theory led to improvement of the predictive results of Ekbatan dam quality parameters. The prediction of the quality parameters during the warm period was more accurate than the cold period. This study shows the importance of using smart neural models in estimating the water quality parameters in warm seasons. In this research, ٤ smart models were used to predict the quality parameters of phosphate, nitrate, faecal coliform and coliform a of Ekbatan Dam in Hamedan. The error measurement criteria of accuracy and agreement with the measured value were examined. In general, the combined method of neural network and wavelet theory was introduced as an optimal structure with a high correlation coefficient and a lower error rate than other methods for both cold and warm periods. The predicted value using this method has the most agreement with the measured value. Using smart models reduces cost and time and has high accuracy. Also, the accuracy of forecasting of qualitative parameters is more in hot period than in cold period.

Keywords:

"Neural Intelligence", "Wave Theory", "Cold and Hot Period", "Ekbatan Dam"