



سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال پنجم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۲
Vol.5, No.3, Autumn 2013

۱-۱۶

پهنه‌بندی کیفیت آلودگی آب رودخانه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سامانه اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی: رودخانه سیمینه‌رود

محمدسعدی مسگری^۱، منوچهر فرج‌زاده اصل^۲، احمد خدادادی دربان^۳، هدایت هاشمی*^۴، جمال امینی^۴

۱. استادیار گروه مهندسی GIS، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
۲. دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس
۳. دانشیار گروه مهندسی معدن دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس
۴. کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۹/۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۳/۷

چکیده

پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانه نخستین و مهم‌ترین مرحله در مدیریت کیفیت آب است، که ذهن تحلیلگر را با روند و چگونگی تغییرات آلودگی برحسب زمان، مکان و شرایط خاص آشنا می‌سازد. پژوهش حاضر درصدد است با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سامانه اطلاعات جغرافیایی به پهنه‌بندی کیفیت آلودگی آب رودخانه سیمینه‌رود بپردازد. داده‌های کیفی استفاده‌شده در تحقیق، حاصل نمونه‌برداری از رودخانه سیمینه‌رود در سه فصل بهار و پاییز ۱۳۸۷ و بهار ۱۳۸۸ است که با استفاده از مدل QUAL2K شبیه‌سازی شد. خروجی مدل با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه گردید و پارامترهای نیترات، اکسیژن محلول و هدایت الکتریکی مربوط به فصل پاییز ۱۳۸۷ به‌عنوان داده‌های هدف انتخاب شدند. داده‌های ورودی شامل داده‌های مربوط به کاربری اراضی، زمین‌شناسی، قابلیت فرسایش و مراکز جمعیتی مربوط به حوضه سیمینه‌رود هستند که به‌همراه داده‌های هدف بعد از آماده‌سازی در محیط GIS به مدل شبکه عصبی معرفی شدند. در این تحقیق از پنج ساختار مختلف مدل FFBP شبکه عصبی استفاده شد و نتیجه ساختار منتخب با خروجی‌های حاصل از مدل رگرسیون چندمتغیره مقایسه گردید، که برتری مدل شبکه عصبی مذکور را نشان داد. نتیجه تحقیق حاضر نشان می‌دهد که شبکه‌های FFBP با ساختار ۳-۴۰-۴۰ بهترین کارایی را دارند، و شبکه عصبی در پهنه‌بندی کیفیت آلودگی آب قابلیت بالایی دارد.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های عصبی مصنوعی، پهنه‌بندی، رودخانه سیمینه‌رود، آلودگی، پارامترهای کیفی، سامانه اطلاعات جغرافیایی.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، میدان سپاه، خ شهید باباخانلو، کوچه ۶، پلاک ۶. تلفن: ۰۹۴۶۲۱۹۱۸۸۹

۱- مقدمه

روند اخیر در مدیریت منابع آب نیاز به تکنیک‌های مدل‌سازی و شبیه‌سازی‌ای را که بتوانند ارائه‌دهنده و نمایشگر دقیق، مؤثر و موثقی برای مسائل پیچیده، غیرخطی و پویای کیفیت آب باشند، افزایش داده است. مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی سازگاری بالایی با مسائل مذکور دارند و از روش‌های سنتی برترند (May et al., 2008). سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان ابزاری توانمند در بررسی‌های مربوط به پدیده‌های مکانی از جمله رودخانه - که عارضه‌ای جغرافیایی است - عمل می‌کند.

در زمینه بررسی خصوصیات کیفی آب با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی تحقیقات مفیدی در خارج و داخل کشور انجام گرفته است. ها و استنستروم^۱ (۲۰۰۳) با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی مصنوعی سعی کردند انواع کاربری اراضی را با استفاده از داده‌های کیفیت آب جریان‌های سیلابی تعیین کنند. آنها یک شبکه عصبی ساختند که رابطه بین کیفیت آب جریان‌های سیلابی و کاربری‌های اراضی را در زمین‌هایی که این جریان‌ها از آن می‌گذرد، بررسی می‌کند. از سامانه اطلاعات جغرافیایی برای استخراج ارزش کاربری‌های اراضی استفاده شده است. شبکه مورد استفاده، یک شبکه بیزین^۲ است که در لایه ورودی ده نرون، در لایه نهان چهار نرون و در لایه خروجی پنج نرون دارد. ورودی‌ها که داده‌های کیفیت جریان‌های سیلابی هستند از این قرارند: پتاسیم، سولفات، خصلت کلیایی، فسفر محلول، نیتريت، کل بار محلول، بار معلق، بار جامد محلول، میزان مس محلول و میزان روی محلول. خروجی‌ها که شامل پنج کلاس کاربری اراضی است، این حیطة‌ها را در بر می‌گیرد: اراضی تجاری، صنعتی، مسکونی، حمل‌ونقل، و سایر. در نهایت بعد از اجرای مدل، دقت طبقه‌بندی ۹۲/۳ درصد

کمبود منابع آب و مدیریت بهینه آن از دغدغه‌های اصلی کارشناسان و دست‌اندرکاران در سال‌های اخیر بوده است. افزایش بی‌رویه جمعیت، کاهش منابع آب قابل استفاده، بالا رفتن سطح زندگی مردم و به تبع آن رشد مصرف‌گرایی، تغییرات اقلیمی اخیر کره زمین و بسیاری عوامل دیگر، افق نگران‌کننده‌ای را از وضعیت آینده منابع آبی جهان ترسیم می‌کند (کنعانی، ۱۳۸۶). در بیشتر موارد، رودخانه‌ها به‌عنوان اصلی‌ترین موارد تأمین نیاز شرب، کشاورزی و صنعت اهمیت فوق‌العاده‌ای دارند. به‌منظور استفاده بهینه از این منابع، افزون بر کمیت و میزان آب رودخانه‌ها، می‌بایست به کیفیت آب نیز به‌عنوان پارامتری مهم توجه کرد و در برنامه‌ریزی‌ها به‌دقت آن را شبیه‌سازی کرد و تخمین زد.

افزایش پیچیدگی آلودگی آب رودخانه‌ها و لزوم صرف هزینه و زمان نسبتاً زیاد برای اندازه‌گیری پارامترهای پایش کیفی جریان آب رودخانه‌ها به روش‌های معمول، سامانه‌های جدید تحلیل و پیش‌بینی الگوهای پایش کیفی آب را لازم ساخته است. شبکه عصبی مصنوعی (ANN) که از زیرشاخه‌های هوش مصنوعی به‌شمار می‌آید، یکی از این سامانه‌هاست. شبکه عصبی مصنوعی (ANN) ایده‌ای است برای پردازش اطلاعات که از سیستم عصبی زیستی الهام می‌گیرد و مانند مغز به پردازش اطلاعات می‌پردازد. این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی به هم پیوسته به اسم نرون تشکیل شده است که برای حل مسئله به‌طور هماهنگ عمل می‌کنند. شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز مانند انسان‌ها با مثال یاد می‌گیرند. شبکه عصبی مصنوعی برای انجام وظیفه‌ای مشخص - نظیر شناسایی الگوها و دسته‌بندی اطلاعات - در طول فرایند یادگیری تنظیم می‌شود (Bael & Jackson, 1998). جذابیت مدل‌های شبکه عصبی به‌خاطر توانایی‌شان در حل مسائل غیرخطی، موازی، حجیم و دارای خطاست. این مدل‌ها توانایی یادگیری حل مسائل فازی و تشخیص الگوها را نیز دارند (Jain et al., 1996).

1. Ha & Stenstrom
2. Bayesian

وجود فاکتورهای ناشناخته زیادی که ناشی از نوسان کیفیت آب دریا بود و نیز مقدار محدود داده‌ها، همبستگی نسبتاً خوبی (۸۰ تا ۹۰ درصد) بین داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده مشاهده شده است. دوگان^۶ و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی میزان BOD را در رودخانه ملن در ترکیه مدل کرده‌اند. هدف اصلی این تحقیق ارزیابی توانایی شبکه‌های عصبی مصنوعی در بهبود دقت تخمین BOD است. پارامترهای کیفی‌ای که بر میزان BOD مؤثرند از ۱۱ ایستگاه در حوضه رودخانه ملن در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ نمونه‌برداری شده و عبارت‌اند از: COD، درجه حرارت آب رودخانه، اکسیژن محلول، شدت جریان آب، کلروفیل و ماده مغذی، آمونیاک، نیتریک، و نیترات. برای دستیابی به ساختار بهینه شبکه عصبی استفاده شده در این تحقیق، داده‌ها در دو دسته آموزش و آزمایش تقسیم شدند. برای اجرای مدل، لایه نهان با تعداد ۲، ۳، ۵ و ۱۰ نرون آزمایش شد و در نهایت یک ساختار شبکه عصبی با ۸ نرون در لایه ورودی و ۳ نرون در لایه نهان و یک نرون در لایه خروجی به‌عنوان ساختار بهینه انتخاب شد. مقایسه نتایج مدل شبکه عصبی با الگوریتم‌های معمول برآورد BOD دقت شبکه عصبی را مورد قبول نشان داد.

میثاکی و محمدی (۱۳۸۳) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، تغییرات کیفی آب رودخانه زاینده‌رود را پیش‌بینی کردند. آنها در تحقیق‌شان از اطلاعات کیفی BOD و DO که در ۱۴ ایستگاه موجود در طول رودخانه زاینده‌رود با باتلاق گاوخونی اندازه‌گیری شده بود، استفاده کردند و هدف‌شان ایجاد مدل شبیه‌سازی

و میزان^۱ RMSE در حد ۰/۱۵۷ به‌دست آمد، که نتیجه رضایت‌بخشی محسوب می‌شود. مایر^۲ و همکاران (۲۰۰۴) از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی میزان آلومینیوم به‌عنوان یکی از پارامترهای کیفی آب که تأثیر زیادی در پدیده انعقاد^۳ آب رودخانه‌ها دارد، استفاده کردند. روش معمول در سنجش میزان پدیده انعقاد آب، الگوریتم Raw Test است، اما به‌دلیل مشکلاتی نظیر هزینه‌بر بودن و زمان‌بر بودن و ناتوانی در نمایش تغییرات کیفیت آب خام^۴ در این تحقیق روش شبکه‌های عصبی مصنوعی پیشنهاد شده و برای رسیدن به تخمین دقیقی از پارامترهای مطلوب از سه ساختار شبکه عصبی با ورودی‌ها و خروجی‌های متفاوت استفاده شده است. پارامترهای به‌کار رفته در شبکه اینها هستند: میزان کدوری آب، میزان pH، میزان قلیایی بودن آب، میزان COD، رنگ آب، جذب ماوراء بنفش در طول موج ۲۴۵ نانومتر، میزان رسوب آلومینیوم، و میزان دولومیت (سولفات مضاعف آلومینیوم و پتاسیم). در نهایت و بعد از اجرای مدل برای خروجی‌های متفاوت، ضریب همبستگی بین ۹۰ تا ۹۸ درصد و میانگین خطای مطلق (MAE) ۰/۰۱ تا ۲/۲ به‌دست آمد، که قابلیت بالای شبکه‌های عصبی مصنوعی را نشان می‌دهد. پالانی^۵ و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، خصوصیات کیفی آب‌های سواحل سنگاپور را پیش‌بینی کردند. نمایش روابط خطی و غیرخطی بین پارامترها و یادگیری این موارد از طریق داده‌هایی که مدل شده‌اند، از برتری‌های الگوریتم مذکور به‌شمار می‌آیند. پارامترهای کیفی‌ای که در این تحقیق پیش‌بینی شده‌اند، اینها هستند: شوری آب، درجه حرارت آب، اکسیژن محلول و میزان کلروفیل (Chl-a). پس از اجرای مدل، مشاهده شد که مدل GRNN برای پیش‌بینی اکسیژن محلول و Chl-a، و مدل MLP برای پیش‌بینی میزان شوری و درجه حرارت برترند. به‌رغم

1. Root-mean-Squared Error
2. Maier
3. Coagulation
4. Raw Water
5. Palani
6. Dogan

به دست آمده را با شبکه‌های عصبی مقایسه کرده، که مؤید کارایی و دقت این شبکه‌ها در پیش‌بینی بار معلق رودخانه بوده است. کنعانی (۱۳۸۶) از شبکه‌های عصبی برای تخمین میزان شوری آب رودخانه‌ها استفاده کرده است. حوضه آبریز رودخانه آجی‌چای و ایستگاه ونیار که از ایستگاه‌های بسیار مهم این رودخانه به‌شمار می‌آید، به‌عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شده است. وی برای پیش‌بینی شوری از پارامترهای مؤثر دبی و از کل املاح محلول به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده استفاده کرده و دو مدل شبکه‌های عصبی را به‌عنوان ابزار شبیه‌سازی به‌کار گرفته است. در پژوهش وی شبکه‌های پرسپترون چند لایه MLP و شبکه‌های با ورودی تأخیریافته^۴ IDDN به‌عنوان نمونه‌هایی از شبکه‌های عصبی استاتیکی و دینامیکی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاکی از قابلیت کلیه شبکه‌های عصبی استفاده‌شده در پیش‌بینی شوری بود. دقت شبکه‌های دینامیکی بیش از شبکه‌های استاتیکی بود، که با توجه به ماهیت زمان‌مند پیش‌بینی شوری طبیعی به‌نظر می‌رسد و بهترین نتیجه از شبکه IDDN حاصل شد.

با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده و بحران کمبود آب در کشور، انجام تحقیقات جامع در مورد آلودگی‌های رودخانه‌های کشور از لحاظ کمی و کیفی به‌منظور پیش‌بینی، کنترل و کاهش آلودگی و ایجاد شرایط بهینه بهره‌برداری، ضروری به‌نظر می‌رسد و پژوهش حاضر درصدد است با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سامانه اطلاعات جغرافیایی به پهنه‌بندی کیفیت آلودگی آب رودخانه سیمینه‌رود بپردازد. از آنجاکه پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه استفاده از شبکه‌های عصبی در بررسی خصوصیات کمی و کیفی آب رودخانه‌ها و منابع آبی دیگر کمتر در

پارامترهای اندازه‌گیری‌شده به‌منظور آنالیز سریع تغییرات میزان آلودگی در طول رودخانه بوده است. در پژوهش ایشان از سامانه جغرافیایی صرفاً برای نمایش عوارض مکانی استفاده شده است. در نهایت آنها با مقایسه نتایج حاصل از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل کیفی E2QUAL به این نتیجه رسیدند که مدل‌های شبکه عصبی می‌توانند به‌عنوان مدل شبیه‌ساز تغییرات کیفیت آب در طول رودخانه، مورد استفاده قرار گیرند و با مدل‌های نظری کیفی رقابت کنند. میرزایی و همکاران (۱۳۸۴)، در تحقیقی که در مورد پهنه‌بندی کیفی رودخانه جاجرود انجام دادند، با استفاده از شاخص کیفی آب^۱ شاخص‌بندی کیفیت آب شاخص‌بندی کیفیت آب رودخانه جاجرود را بررسی کردند. شاخص‌های کیفیت آبی که آنها به‌کار گرفتند شامل اینهاست. شاخص کیفیت آب سازمان ملی بهداشت (NSF-WQI) و شاخص کیفیت آب احمدسعدی (AhmadSaid WQI). مطالعه ایشان نشان داد که کیفیت آب رودخانه جاجرود در برخی نقاط مجاور مراکز جمعیتی به‌دلیل افزایش مقادیر مشخصه‌های میکروبی و ذرات جامد معلق در آب کاهش می‌یابد. نظم‌آرا (۱۳۸۵) با استفاده از شبکه‌های عصبی سعی در پیش‌بینی بار معلق رودخانه‌ها داشته و برای این منظور از داده‌های سه ایستگاه مرکید، ونیار و آخولا روی رودخانه آجی‌چای در استان آذربایجان شرقی استفاده کرده است. اطلاعات این ایستگاه‌ها شامل دبی و رسوب روزانه است. در پژوهش وی از دو نوع شبکه پیش‌خور پس‌انتشار خطا^۲ و شبکه‌های رگرسیون تعمیم‌یافته^۳ برای تخمین رسوب استفاده شده است. وی برای بررسی تأثیر رسوب و دبی ایستگاه‌های بالادست افزون بر ایستگاه آخولا از داده‌های ایستگاه‌های ونیار و مرکید برای آموزش شبکه عصبی استفاده کرده، که بهترین نتیجه را برای ایستگاه مذکور در پی داشته است. او در ادامه، روش‌های منحنی سنجه و رگرسیون خطی چندمتغیره را برای برآورد رسوب این ایستگاه‌ها به‌کار گرفته و نتایج

1. Water Quality Index
2. Feed Forward Back Propagation
3. Generalized Regression Neural Network
4. Input Delay Neural Network

حوضه آبریز سیمینه‌رودند که داده‌های ورودی مدل شبکه عصبی را تشکیل می‌دهند. داده‌های دسته دوم شامل داده‌های مربوط به خصوصیات رودخانه‌اند که از تحلیل نمونه‌های برداشت‌شده از ایستگاه‌های نمونه‌برداری به دست آمده و به عنوان داده‌های هدف در شبکه عصبی از آنها استفاده شده است.

بعد از آماده‌سازی‌های اولیه، ورودی مدل‌های شبکه عصبی شامل داده‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی، قابلیت فرسایش و مراکز جمعیتی به سیستم وارد شدند. داده‌های زمین‌شناسی از سازمان زمین‌شناسی، داده‌های کاربری اراضی و قابلیت فرسایش از سازمان جنگل‌ها و مراتع، و داده‌های جمعیتی از مرکز آمار دریافت شده‌اند. سایر داده‌های استفاده‌شده مربوط به خصوصیات رودخانه سیمینه‌رود است. این داده‌ها در اصل داده‌های کیفی رودخانه‌اند که پژوهشکده زمین‌شناسی و پژوهشکده محیط‌زیست دانشگاه تربیت مدرس در سه فصل نمونه‌برداری بهار ۱۳۸۷، پاییز ۱۳۸۷ و بهار ۱۳۸۸، آنها را از ۱۵ ایستگاه نمونه‌برداری واقع بر رودخانه سیمینه‌رود نمونه‌برداری کرده است. جدول ۱ پارامترهای کیفی استفاده‌شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جهت پهنه‌بندی کیفیت آلودگی آب رودخانه‌ها بوده، در پژوهش حاضر کوشش شده است مدلی ارائه گردد که بتواند ارتباط بین پارامترهای کیفی آب و داده‌های محیطی را به خوبی تخمین بزند و توزیع مکانی آنها را نشان دهد.

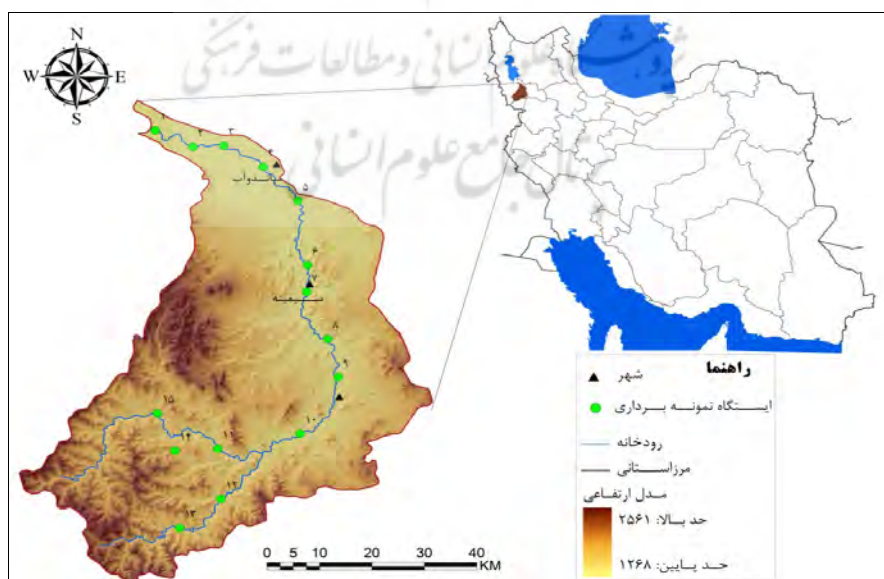
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز سیمینه‌رود در مختصات جغرافیایی $35^{\circ}45'$ تا $36^{\circ}11'$ شرقی و $56^{\circ}37'$ عرض شمالی واقع شده، و شیب آن حداکثر ۳ تا ۵ درصد است. مساحت حوضه آبریز سیمینه‌رود ۳۸۸۴ کیلومتر مربع با ارتفاع حداکثر ۲۸۰۴ و حداقل ۱۲۷۶ متر است. ارتفاع متوسط حوضه تقریباً ۲۰۴۰ متر، ارتفاع غالب آن ۱۶۵۰ متر و شیب متوسط نیز حدود ۱/۳۷ درصد است. شیب عمومی منطقه از جنوب‌غربی به شمال‌شرقی است. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعه‌شده را نشان می‌دهد.

۲-۲- داده‌های استفاده‌شده

داده‌های استفاده‌شده در این تحقیق شامل دو دسته هستند. دسته نخست، داده‌های مربوط به خصوصیات



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه‌شده

جدول ۱. پارامترهای کیفی استفاده شده در تحقیق

پارامتر	مخفف	واحد	توضیحات
درجه حرارت (Temperature)	T	°C	درجه حرارت آب رودخانه مدنظر است.
اکسیژن محلول (Dissolved Oxygen)	DO	mg/l	نمایانگر میزان اکسیژن محلول در آب است و با میزان آلودگی رابطه عکس دارد.
تقاضای بیولوژیکی اکسیژن (Biochemical Oxygen Demand)	BOD	mg/l	معرف میزان اکسیژن مصرفی به وسیله میکروارگانیسم‌ها در تجزیه ترکیبات آلی فاضلاب است و با میزان آلودگی رابطه مستقیم دارد.
اسیدیته (pH)	pH	pH unit	اسیدی یا قلیایی بودن آب رودخانه را نشان می‌دهد.
کل بار جامد (Total Suspended Solid)	TSS	mg/l	معرف کل بار جامد است و با آلودگی فیزیکی رودخانه نسبت مستقیم دارد.
هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity)	EC	µS/cm	معرف میزان هدایت الکتریکی آب رودخانه است و با میزان آلودگی فیزیکی و بار جامد رابطه مستقیم دارد.
نیترات (Nitrate)	NO3	mg/l	معرف میزان نیترات آب است.
فسفات (Phosphorus)	PO4	mg/l	معرف میزان فسفات آب است و با آلودگی رودخانه نسبت مستقیم دارد.

می‌شوند. در الگوریتم آموزش Backpropagation، خطای خروجی با مقایسه مقدار خروجی با مقدار در نظر گرفته شده در داده‌های آزمایشی، محاسبه می‌گردد و برای تصحیح شبکه و تغییر وزن یال‌ها از آن استفاده می‌شود. این محاسبه از گره خروجی شروع می‌شود و برای هر رکورد موجود در بانک اطلاعاتی تکرار می‌گردد. شبکه‌های FFBP شبکه‌های Feed Forward هستند که از الگوریتم آموزش Backpropagation استفاده می‌کنند. شکل ۲ ساختار شبکه FFBP را نشان می‌دهد.

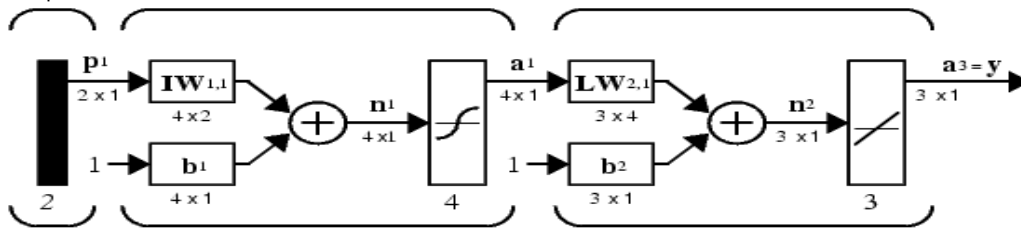
1. Feed Forward Backpropagation

پارامترهای جدول ۱ از مهم‌ترین شاخص‌های کیفی رودخانه به‌شمار می‌آیند و برای محاسبه اکثر شاخص‌های کیفی آب مانند Ahmad Said WQI و NSF WQI استفاده می‌شوند.

۲-۳- روش کار

در پژوهش حاضر از مدل شبکه عصبی FFBP^۱ برای پهنه‌بندی کیفی آلودگی رودخانه استفاده شده است. Forward در مدل مذکور به این معنی است که مقدار پارامتر خروجی براساس پارامترهای ورودی و وزن‌های اولیه تعیین می‌گردد. مقادیر ورودی با هم ترکیب می‌شوند و در لایه‌های نهان به کار می‌روند، مقادیر این لایه‌های نهان نیز برای محاسبه مقادیر خروجی ترکیب

پهنه‌بندی کیفیت آلودگی آب رودخانه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سامانه اطلاعات جغرافیایی



شکل ۲. ساختار شبکه عصبی FFBP

زیست‌محیطی و زمین‌شناسی، در سه گروه عمده از نظر پتانسیل خطر آلودگی قرار گرفتند، که بدین شرح‌اند:

- سنگ‌های آذرین، دگرگونی درجه بالا، شیل، رسوبات کواترنری و مخروط‌افکنه در گروه با پتانسیل خطر آلودگی بالا؛
- سنگ‌های آذرین اسیدی تا حد واسط، سنگ‌های رسوبی ریزدانه رسی، و سنگ‌های کربناته در گروه با پتانسیل خطر آلودگی متوسط؛ و
- سایر سنگ‌ها در گروه با پتانسیل خطر آلودگی پایین.

بدین ترتیب سازندهای زمین‌شناسی در سه کلاس a، b و c طبقه‌بندی شدند که در جدول ۲ به جزئیات آنها اشاره شده است.

جدول ۲. طبقه‌بندی زمین‌شناسی منطقه براساس پتانسیل آلودگی

طبقه	وزن	مساحت برحسب هکتار	مساحت برحسب درصد
c	۰/۱	۱۱/۸۳	۴/۸
b	۰/۲۵	۸۲/۲۲	۳۳/۵
a	۰/۶۵	۱۵۱/۱۵	۶۱/۶
	۱	۲۵۴/۲۱	۱۰۰

براساس جدول ۲ بیش از ۶۰ درصد حوضه مطالعه‌شده را سازندهایی با پتانسیل بالای آلودگی تشکیل می‌دهد.

به‌منظور وزن‌دهی به لایه‌های کاربری اراضی و قابلیت فرسایش نیز براساس دیدگاه‌های کارشناسی

به‌منظور شبیه‌سازی جریان انتقال آلودگی در رودخانه برای استخراج داده‌های لازم برای ورود به شبکه‌های عصبی مصنوعی، داده‌های نمونه‌برداری در محیط نرم‌افزار QUAL2K که از مدل‌های شبیه‌ساز کیفی رفتار رودخانه به‌شمار می‌آید، شبیه‌سازی شده است. بعد از اجرای مدل برای همه فصل‌های نمونه‌برداری، با توجه به عدد همبستگی داده‌های مشاهده‌ای و خروجی مدل، از پارامترهای اکسیژن محلول (DO)، هدایت الکتریکی (EC) و نیترات (NO3) به‌منظور استفاده در شبکه عصبی استفاده شد، که بیشترین همبستگی را بین داده‌های مشاهده‌ای و جواب مدل دارند و از داده‌های فصل پاییز سال ۱۳۸۷ گرفته شده‌اند. تا این مرحله داده‌هایی که به‌عنوان داده‌های هدف^۱ در شبکه عصبی استفاده می‌شوند، مشخص گردید.

آماده‌سازی و همگون‌سازی لایه‌های اطلاعاتی که برای ورود به شبکه عصبی در نظر گرفته شد، مرحله بعدی تحقیق است. این لایه‌ها شامل اطلاعاتی از کاربری اراضی، لیتولوژی، قابلیت فرسایش و سکونتگاه‌های انسانی است که نقش اصلی را در آلودگی رودخانه دارند. در این مرحله هر کدام از کلاس‌های لایه‌های اطلاعاتی کاربری اراضی، قابلیت فرسایش و لیتولوژی، براساس قابلیت و پتانسیل آلودگی و نیز طبق نظر کارشناسی وزن‌دهی شدند.

در مورد سازندهای زمین‌شناسی این گونه عمل شد که برای ارزیابی اولیه آلودگی سازندهای زمین‌شناسی، کل سازندهای زمین‌شناسی حوضه آبریز سیمینه‌رود پس از مطالعه، با نظر کارشناسان

1. Target

مبتنی بر پتانسیل آلودگی، به هر کلاس در بازه (۰، ۱) وزن اختصاص داده شد. جدول ۳ حاصل وزن‌دهی به کلاس‌های فرسایش است. تأثیر کلاس‌های مختلف کاربری اراضی بر آلوده کردن منابع آب‌های سطحی متفاوت است و سکونتگاه‌های شهری بیشترین تأثیر و مناطق جنگلی کمترین تأثیر و پتانسیل آلودگی را در این زمینه دارند. جدول ۴ وزن‌های تعلق‌گرفته به هر کلاس کاربری

اراضی را نشان می‌دهد. پس از هم‌پوشانی شبکه زهکشی (رودخانه اصلی با کلیه زیرشاخه‌های اصلی و فرعی) و لایه‌های اطلاعاتی مذکور، مراحل زیر در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی به ترتیب انجام گرفت:

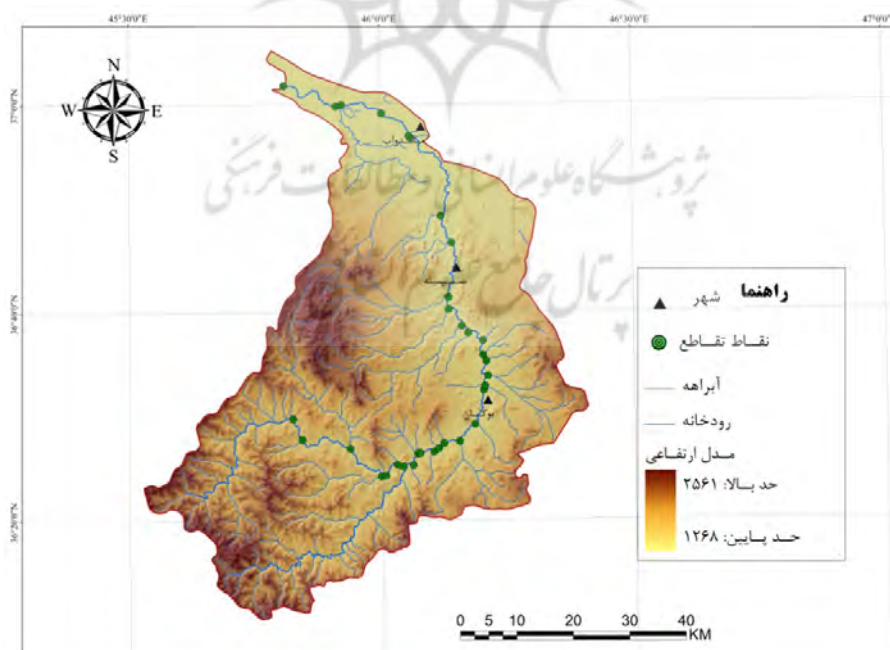
- ایجاد یک نقطه در محل تقاطع آبراهه با رودخانه اصلی، که در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. وزن کلاس‌های فرسایش

کلاس فرسایش	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
وزن	۰/۰۲۸	۰/۰۴۲	۰/۰۵۶	۰/۰۷	۰/۰۸۴	۰/۰۹۸	۰/۱۱۲	۰/۱۴	۰/۱۶۸	۰/۱۹۶

جدول ۴. وزن لایه کاربری اراضی

کاربری	زراعت دیم	جنگل	زراعت آبی	مرتع ضعیف	مرتع متراکم	شهر
وزن	۰/۱۵۴	۰/۰۰۱	۰/۲۰۵	۰/۰۷۷	۰/۰۵۱	۰/۵۱۳

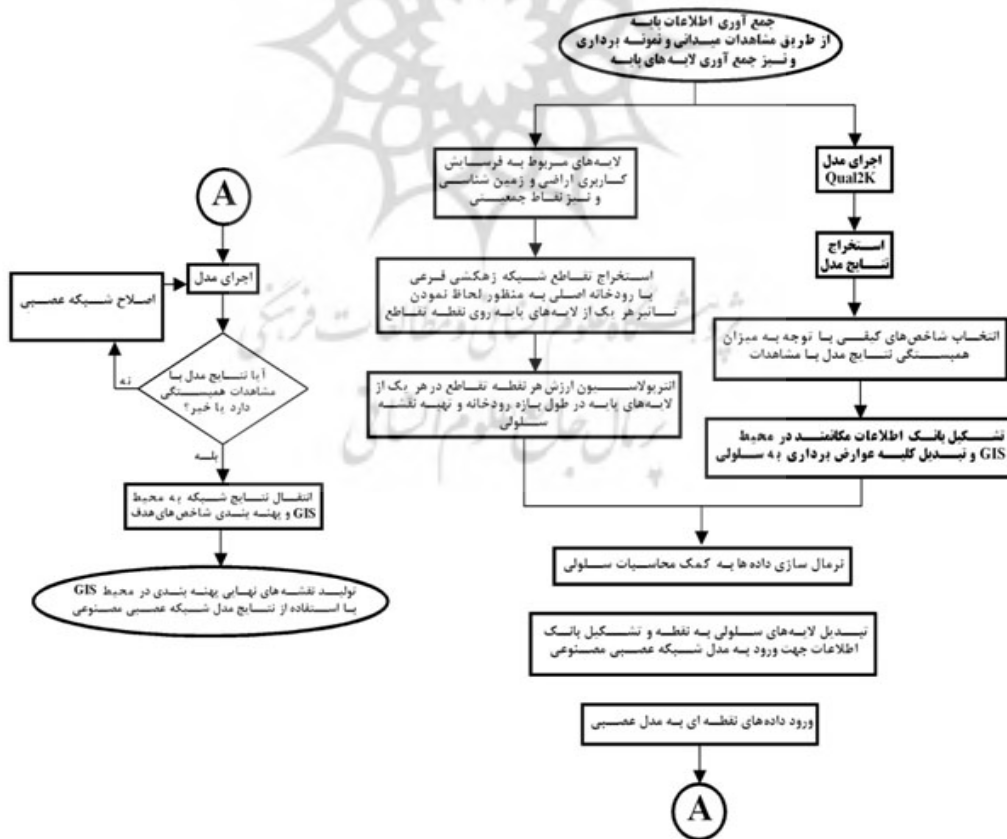


شکل ۳. نقاط تقاطع رودخانه اصلی با زهکش‌های فرعی

پهنه‌بندی کیفیت آلودگی آب رودخانه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سامانه اطلاعات جغرافیایی

تا این مرحله از تحقیق، داده‌های ورودی و هدف شبکه عصبی مشخص گردید. برای داده‌های که در قسمت قبلی به‌عنوان داده‌های هدف و با استفاده از مدل QUK2K انتخاب شدند نیز عملیات مشابهی صورت می‌گیرد؛ که در آن ۲۰۰ نقطه با فاصله‌های مساوی بین ایستگاه اول و ایستگاه آخر انتخاب می‌شود و سپس این نقاط در محیط نرم‌افزار روی رودخانه اصلی قرار می‌گیرد. درون‌یابی با حریم ۳۰۰ متر که برای درون‌یابی داده‌های ورودی و هدف انتخاب شده، صرفاً به‌منظور بهبود نمایش بصری روند تغییرات پارامترهای ورودی هدف و خروجی‌های مدل است. در این مرحله، داده‌ها آماده ورود به مدل هستند، که این کار در محیط نرم‌افزار MATLAB صورت می‌گیرد. روندنمای تحقیق در شکل ۴ ارائه شده است.

- ایجاد یک فایل برداری شامل نقاط تقاطع آبراهه با رودخانه اصلی.
- مشخص کردن هر کدام از نقاط گفته‌شده به‌عنوان خروجی و محاسبه میزان تقاطع شبکه زهکشی بالادست هر یک از نقاط تقاطع با کلاس‌های مختلف لایه‌های اطلاعاتی.
- محاسبه ارزش نهایی هر یک از نقاط تقاطع به‌وسیله محاسبه مجموع حاصل ضرب وزن کلاس لایه‌های اطلاعاتی در طول آبراهه‌هایی که از هر یک از این کلاس‌ها عبور کرده است.
- ایجاد یک پایگاه داده برای نقاط تقاطع که در آن هر نقطه شامل ارزش کاربری اراضی، لیتولوژی، قابلیت فرسایش و جمعیت انسانی است.
- درون‌یابی نقاط تقاطع در مسیر سرشاخه اصلی با اعمال حریم ۳۰۰ متری رودخانه با روش IDW.



شکل ۴. روندنمای تحقیق

۳- نتایج

۳-۱- تحلیل خروجی مدل QUAL2K

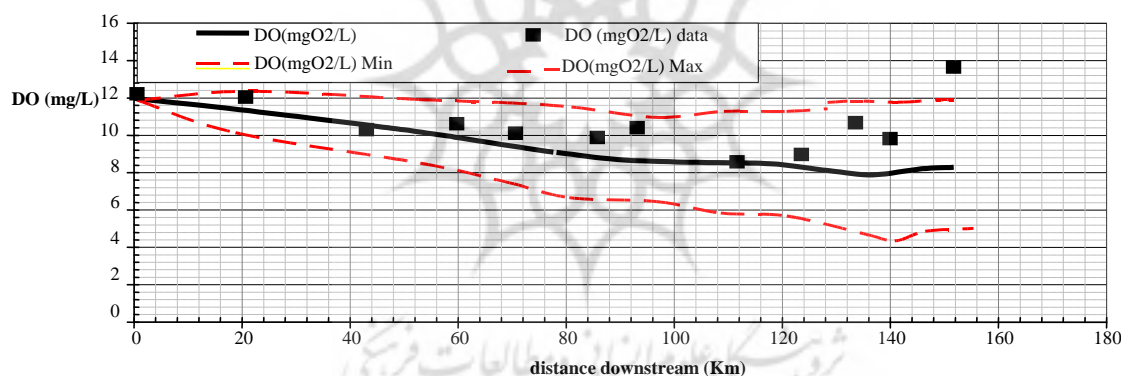
همان‌گونه که در بخش قبلی اشاره شد، برای شبیه‌سازی جریان انتقال آلودگی در رودخانه به‌منظور استخراج داده‌های لازم برای ورود به شبکه‌های عصبی مصنوعی، داده‌های به‌دست‌آمده از نمونه‌برداری در محیط نرم‌افزار QUAL2K شبیه‌سازی شد و خروجی‌های مدل با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه گردید. شکل‌های ۵ تا ۷ نتایج مدل را برای داده‌های اکسیژن محلول، BOD، و هدایت الکتریکی در فصل پاییز ۱۳۸۷ نشان می‌دهد.

نمودار شکل ۵ سیر تغییرات اکسیژن محلول را در طول رودخانه نشان می‌دهد. خط‌چین‌ها کران بالا و کران پایین مدل را نشان می‌دهند. همان‌گونه که در

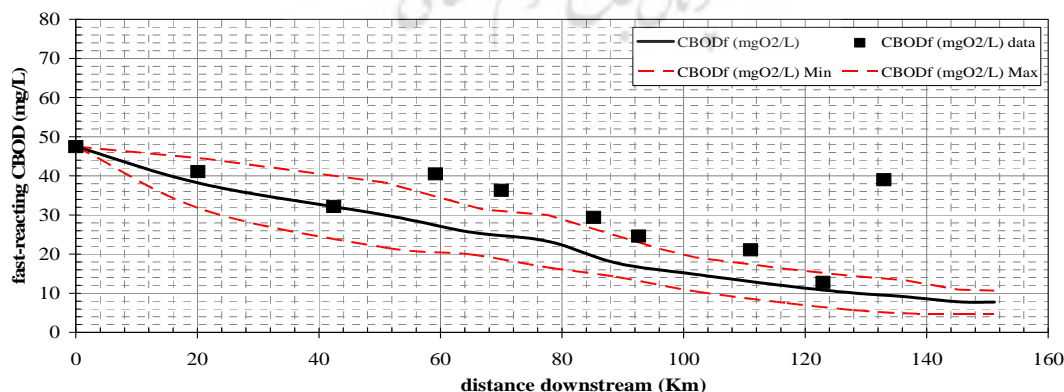
نمودار به‌وضوح دیده می‌شود، داده‌ها تقریباً سیر نزولی دارند و از ایستگاه‌های اول به‌طرف ایستگاه‌های آخر اکسیژن محلول کاهش پیدا می‌کند. در ایستگاه‌های انتهایی بی‌نظمی‌هایی مشاهده می‌شود که از روند کلی تبعیت نمی‌کند.

شکل ۶ سیر تغییرات BOD را در طول رودخانه نشان می‌دهند. خط‌چین‌ها کران بالا و پایین مدل را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در نمودار نیز به‌وضوح دیده می‌شود داده‌ها سیر نزولی دارند. البته در ایستگاه انتهایی، BOD به‌شدت کاهش می‌یابد. منحنی مشکی خروجی مدل QUAL2K را نشان می‌دهد.

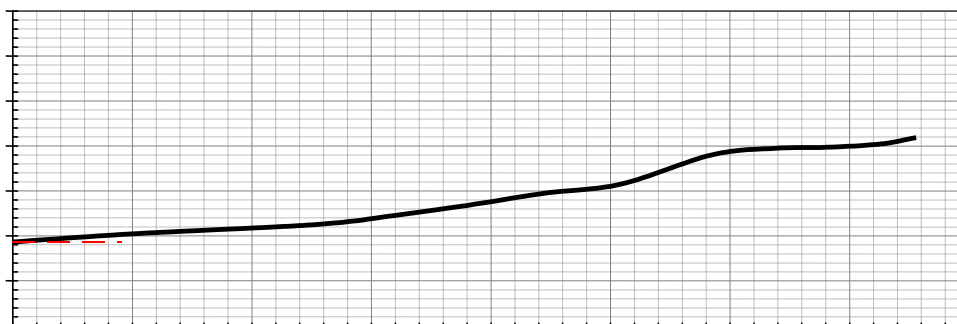
شکل ۷ نشان‌دهنده تغییرات هدایت الکتریکی در طول رودخانه است که روند آن تقریباً عکس نمودار شکل‌های ۵ و ۶ است.



شکل ۵. تغییرات اکسیژن محلول در طول رودخانه شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل، پاییز ۱۳۸۷



شکل ۶. تغییرات BOD در طول رودخانه شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل، پاییز ۱۳۸۷



شکل ۷. تغییرات هدایت الکتریکی در طول رودخانه شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل ، پاییز ۱۳۸۷

جدول ۵. مقایسه پارامترهای مربوط به همبستگی داده‌های خروجی مدل QUAL2K و داده‌های مشاهده‌ای

بهار ۱۳۸۸		پاییز ۱۳۸۷		بهار ۱۳۸۷		پارامتر
R ²	R	R ²	R	R ²	R	
—	—	۰/۷۴۷	۰/۸۶	—	—	EC
۰/۲۷۷	۰/۵۲۶	۰/۷۵۳	۰/۸۶۷	۰/۱۰۸	۰/۳۲۸	DO
۰/۳۷۵	۰/۵۴	۰/۰۰۱	۰/۰۳۱۲	—	—	BOD
۰/۳۵۱	۰/۵۹۵	۰/۰۰۳	۰/۰۵۵	۰/۱۲۷	۰/۳۵۶	PH
۰/۳۸۹	۰/۶۲۴	۰/۸۹۹	۰/۹۵	۰/۰۵۴	۰/۲۳۲	NO3
۰/۲۶۲	۰/۵۱۲	۰/۲۶۲	۰/۵۱	۰/۱۳۸	۰/۳۷۱	COD
۰/۲۶۹	۰/۵۱۹	—	—	۰/۳۳۷	۰/۵۸۱	TSS
۰/۲۴	۰/۴۹	۰/۲۱	۰/۴۶۹	۰/۴۷۲	۰/۶۸۷	T
—	—	۰/۴۲۶	۰/۶۵	۰/۳۲	۰/۵۶	PO4

فصل بهار ۱۳۸۸ و بهار ۱۳۸۷ همبستگی مناسبی بین داده‌های خروجی مدل و داده‌های مشاهده‌ای ندارند. همبستگی بین داده‌های مدل و مشاهده‌ای در فصل پاییز از دو فصل دیگر مطلوب‌تر است، که البته این برتری برای همه پارامترها صادق نیست. میزان ضریب همبستگی برای پارامتر نیترات، ۹۵ درصد و برای پارامترهای هدایت الکتریکی و اکسیژن محلول، ۸۶ درصد است، که ضریب همبستگی خوبی است. لذا این سه پارامتر برای استفاده در مدل‌های شبکه عصبی (به‌عنوان داده‌های هدف) انتخاب شده‌اند.

هدف از اجرای مدل QUAL2K در این تحقیق استفاده از خروجی‌های مدل برای ورود به مدل‌های شبکه عصبی است. شرط استفاده از این داده‌ها وجود همبستگی مناسب بین داده‌های مدل و داده‌های مشاهده‌ای (نتایج نمونه‌برداری) است. برای داده‌های نمونه‌برداری شده در فصل‌های بهار ۱۳۸۸ و بهار ۱۳۸۷ نیز مدل اعمال شده، اما به دلیل جلوگیری از اطاله کلام و ماهیت تحقیق، از توضیح آنها خودداری شده و فقط به ذکر نتایج محاسبه ضرایب همبستگی بین داده‌های مدل و داده‌های مشاهده‌ای بسنده شده است. جدول ۵ نشان می‌دهد که هیچ کدام از پارامترهای

۳-۲- نتایج مدل شبکه عصبی

همان‌گونه که اشاره شد، مدل شبکه عصبی استفاده‌شده در این تحقیق، مدل FFBP است و از تابع Tan Sigmoid (TANSIG) به‌عنوان تابع انتقال استفاده شده است. الگوریتم آموزش این مدل، روش Levenberyt-Marqward (TRANLM) است. در این روش با استفاده‌نکردن از محاسبه ماتریس Hessin از حجم محاسبه‌ها کاسته شده و در نتیجه زمان اجرای مدل کوتاه‌تر شده است. این روش، سریع‌ترین روش پیاده‌سازی در MATLAB به‌شمار می‌آید (Kia, 2008). برای دستیابی به ساختار بهینه مدل مذکور تعداد نرون‌های لایه میانی تغییر یافته است. در جدول ۶ نتایج مدل FFBP برای ساختارهای گوناگون نشان داده شده است. مقایسه ساختارهای مختلف شبکه

عصبی به کار گرفته شده در این تحقیق نشان می‌دهد که شبکه‌های FFBP با ساختار ۳-۴۰-۴۰-۴ بهترین کارایی را دارند. همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، این ساختار شبکه، از نظر میزان ضریب همبستگی در داده‌های آزمون، داده‌های اعتبارسنجی، داده‌های آموزش، و میزان میانگین مربع خطاها بر ساختارهای دیگر ارجحیت دارد. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد نرون لایه‌های میانی، عملکرد شبکه بهبود می‌یابد و البته بعد از ساختار ۳-۴۰-۴۰-۴ این وضعیت برعکس می‌شود.

در شکل ۸ نقشه پهنه‌بندی اکسیژن محلول در رودخانه سیمینه‌رود با استفاده از ساختار منتخب مدل FFBP در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی نشان داده شده است.

جدول ۶. مقایسه کارایی ساختارهای مختلف مدل FFBP

ساختار شبکه	داده‌های آموزشی	ضریب همبستگی (R) داده اعتبارسنجی	داده‌های آزمون	خطای میانگین مربعات MSE
۳-۱۰-۱۰-۳	۰/۹۴۹	۰/۹۵۴	۰/۹۴۸	۰/۰۰۸۳
۳-۲۰-۲۰-۳	۰/۹۶۴	۰/۹۶۶	۰/۹۶۱	۰/۰۰۴۸
۳-۳۰-۳۰-۳	۰/۹۶۵	۰/۹۶۸	۰/۹۷	۰/۰۰۵۹۱
۳-۴۰-۴۰-۳	۰/۹۶	۰/۹۷۳	۰/۹۷	۰/۰۰۴۳
۳-۶۰-۶۰-۳	۰/۹۳۸	۰/۹۵۲	۰/۹۴۱	۰/۰۰۹۸
۳-۸۰-۸۰-۳	۰/۹۲۲	۰/۹۵۱	۰/۹۱۹	۰/۰۱۳



شکل ۸. پهنه‌بندی اکسیژن محلول با استفاده از ساختار منتخب مدل FFBP

۳-۳- نتایج مدل رگرسیون چندمعیاره

مدل‌های رگرسیون چندمتغیره ارتباط و همبستگی بین متغیرهای چندگانه را به‌عنوان متغیر مستقل با متغیری واحد به‌عنوان متغیر وابسته بررسی می‌کند. شبکه‌های عصبی به‌عنوان مدل تشخیص روندهای ناپارامتری و غیرخطی می‌توانند روابط غیرخطی پیچیده یا لایه‌های پنهان بین متغیرهای وابسته و مستقل را بیابند و با دقتی بهتر از روش‌های رگرسیونی عمل کنند. زمانی که بین پارامترها رابطه غیرخطی آشکاری وجود نداشته باشد، شبکه عصبی نمی‌تواند نتیجه‌ای بهتر از رگرسیون به‌دست دهد (Farajzadeh et al., 2009). در این مرحله، از داده‌هایی که در شبکه عصبی به‌عنوان داده‌های هدف استفاده شد (DO, NO₃, EC) در نقش متغیر وابسته و از داده‌های ورودی به شبکه (کاربری اراضی، جمعیت، قابلیت فرسایش و زمین‌شناسی) در نقش متغیر مستقل در تحلیل رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. سپس همبستگی بین خروجی‌های مدل و داده‌های متغیر وابسته که نقش داده‌های مشاهده‌ای را

دارند، محاسبه گردید. داده‌های مربوط به DO حاصل از خروجی مدل با داده‌های DO ورودی مدل به محیط نرم‌افزار Excel وارد شد و همبستگی آنها محاسبه گردید. برای No و Ec نیز به همین شکل عمل شده است.

نتایج حاصل از مدل رگرسیون چندمتغیره با نتایج شبکه عصبی FFBP که شبکه بهینه این تحقیق است، مقایسه شد. نتایج داده‌های آموزش و صحت‌یابی در جدول‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. نتایج جدول‌های مذکور، کارایی و دقت بالای شبکه‌های عصبی مصنوعی را در تخمین و پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول‌ها مشاهده می‌شود، میزان ضریب تعیین برای داده‌های تست و داده‌های آموزش (ساختار شبکه عصبی منتخب برای هر سه پارامتر هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول، و نیترات از میزان این شاخص برای مدل رگرسیون چندمتغیره بالاتر است.

جدول ۷. مقایسه نتایج رگرسیون چندمتغیره و شبکه عصبی (برای داده‌های آزمون)

ضریب همبستگی بین داده‌های پیش‌بینی شده به‌وسیله مدل و داده‌های مشاهده‌ای (آزمون)						
رگرسیون چندمتغیره			شبکه‌های عصبی			
پارامتر	R	R	R	R	R	R
NO ₃	چندجمله‌ای درجه ۲	چندجمله‌ای درجه ۳	چندجمله‌ای درجه ۴	شبکه‌های عصبی FFBP	لگاریتمی	خطی
	۰/۶۹۴	۰/۶۹۵	۰/۷۰۱	۰/۹۶۱	۰/۶۶۶	۰/۶۶۷
DO	۰/۸۱۹	۰/۸۱۹	۰/۸۲	۰/۹۵۷	۰/۶۷۳	۰/۶۶۷
EC	۰/۷۶۱	۰/۷۶۲	۰/۷۷۲	۰/۹۳۹	۰/۷۱۱	۰/۷۱۸

جدول ۸. مقایسه نتایج رگرسیون چندمتغیره و شبکه عصبی (برای داده‌های آموزش)

ضریب همبستگی بین داده‌های پیش‌بینی شده به‌وسیله مدل و داده‌های مشاهده‌ای برای (آموزش)						
رگرسیون چندمتغیره			شبکه‌های عصبی			
پارامتر	R	R	R	R	R	R
NO ₃	چندجمله‌ای درجه ۲	چندجمله‌ای درجه ۳	چندجمله‌ای درجه ۴	شبکه‌های عصبی FFBP	لگاریتمی	خطی
	۰/۶۸۱	۰/۶۸۲	۰/۶۸۷	۰/۹۸۳	۰/۶۱۲	۰/۶۶۶
DO	۰/۸۰۹	۰/۸۱۱	۰/۸۴۱	۰/۹۴	۰/۷۷۹	۰/۸۱
EC	۰/۷۷	۰/۷۷۲	۰/۷۸۲	۰/۹۴۱	۰/۷۲	۰/۷۷۲

۴- نتیجه‌گیری

در مطالعه‌های پیشین، داده‌های پایه شبکه عصبی - که شامل داده‌های ورودی و داده‌های هدف است - متعلق به داده‌های تحلیل شده از نقاط نمونه‌برداری است. در این تحقیق‌ها با استفاده از شبکه‌های مذکور، یکی از پارامترهای آنالیز شده یا یک شاخص منتج از این پارامترها براساس سایر پارامترها پیش‌بینی و تخمین زده شده است. در این مورد می‌توان به تحقیقات مایر و همکاران (۲۰۰۴)، دوگان و همکاران (۲۰۰۹)، میرزایی و همکاران (۱۳۸۴)، احمدزاده (۱۳۸۵) و کنعانی (۱۳۸۶) اشاره کرد، که در همه آنها هر دو دسته از داده‌های ورودی و هدف، متعلق به داده‌های کیفی بوده‌اند.

مقایسه بین ساختارهای مختلف شبکه عصبی به کار گرفته شده در این تحقیق نشان می‌دهد که شبکه‌های FFBP با ساختار ۳-۴۰-۴۰-۴ بهترین کارایی را دارد. همان‌طور که در جدول ۶ نمایان است، این ساختار شبکه از نظر میزان ضریب همبستگی در داده‌های آزمون، داده‌های اعتبارسنجی، داده‌های آموزش و میزان میانگین مربع خطاها به ساختارهای دیگر ارجح است. مدل‌های شبکه عصبی استفاده شده در این زمینه در کشف رابطه مذکور موفق عمل کردند. به‌طور کلی نتیجه نهایی این تحقیق قابلیت مناسب شبکه عصبی را در پهنه‌بندی کیفیت آلودگی آب نشان می‌دهد.

۵- منابع

- Beale, R. and Jackson, T., 1998, **Neural Computing: An introduction**, University of New York.
- Cengel, Y.A., 1998, **Heat Transfer: A Practical Approach**, McGraw-Hill, New York.
- Chapra, S.C. and Pelletier, G.J., 2003, **QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality: Documentation and User Manual**, Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University.
- Dogan, E., Sengorur, B. & Koklu, R., 2009, **Modeling Biological Oxygen Demand of the Melen River in Turkey Using an Artificial Neural Network Technique**, Journal of Environmental Management, 90, PP. 1229-1235.
- Farajzadeh, M. & Darand, M., 2009, **Evaluation of Artificial Neural Network and Linear Regression in Prediction Death Rate (Case study: Tehran)**, Hakim, 3, PP. 45-53.

یکی از نقاط قوت این تحقیق ایجاد و تبیین رابطه بین محیط اطراف رودخانه با پارامترهای تحلیل شده است. این پارامترها که شاخص‌های کیفی آلودگی آب هستند منطقی‌اً باید با ویژگی‌های حوضه آبریز رودخانه مرتبط باشند. در تحقیقی که ها و ستروم (۲۰۰۳) در مورد بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی انواع کاربری اراضی با استفاده از داده‌های کیفیت آب انجام دادند، تلاشی برای کشف رابطه بین محیط اطراف رودخانه با پارامترهای تحلیل شده صورت گرفته است. تفاوت مطالعه آنها با تحقیق حاضر، نوع داده‌های ورودی و هدف است. ها و ستروم داده‌های کاربری اراضی را که در زمره داده‌های محیطی است به‌عنوان داده‌های هدف، و داده‌های کیفی را به‌عنوان داده ورودی به شبکه عصبی در نظر گرفتند. در تحقیق حاضر عکس این مورد اعمال شده است، به‌گونه‌ای که داده‌های کیفی به‌عنوان داده‌های هدف و داده‌های محیطی (کاربری اراضی، زمین‌شناسی، مراکز جمعیتی و قابلیت فرسایش) در نقش داده‌های ورودی به شبکه عصبی به کار گرفته شدند. در این تحقیق رابطه مذکور با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی بررسی شد.

- Ha, H., Stenstrom, M.K., 2003, **Identification of Land Use with Water Quality Data in Stormwater Using a Neural Networ**, Water Resources Research, 37, 4222–4230.
- Haykin S., 1994, **Neural Networks – A Comprehensive Foundation**, Macmillan College Publishing Company, New York.
- Hsu, K., Gupta, H.V. and Sorooshian, S., 1995, **Artificial Neural Network Modeling of the Rainfall-runoff Process**, Water Resource Reserch, 31(10), PP. 2517-2530.
- Jain, A.K., Mao J. and Mohiuddin, K.M., 1996, **Artificial Neural Networks: A Tutorial Computer**, IEEE, PP. 31-44.
- Kanani, S., 2007, **River Basin Salinity Estimate Using Artificial Neural Network**, M.Sc. dissertation, University of Tarbiat Moalem.
- Kia, M., 2008, **Artificial Neural Network in MATLAB**, Rayane sabz.
- Maier, H.R., Morgan, N. & Chow, W.K., 2004, **Use of Artificial Neural Networks for Predicting Optimal Alum Doses and Treated Water Quality Parameters**.
- May, B.D. & Sivakumar, M., 2005, **Prediction of Urban Stormwater Quality Using Artificial Neural Networks**, Environmental Modelling & Software, 24, PP. 296–302.
- May, R.J., Dandy, C.G. , Maier, H. R. & Nixon, B.G., 2008, **Application of Partial Mutual Information Variable Selection to Ann Forecasting of Water Quality In Water Distribution Systems**, Environmental Modeling & Software, 24, PP. 1289–1299
- Mirzaie, M., Nazari, A. & Yari, A., 2004, **JAJRUD River Quality Zonation**, Mohitshenasi, 37, PP. 17–26.
- Misaqi, F., & Mohamadi, K., 2002, **Prediction of Zayandehrud River Qulity Variation Using Artificial Neural Network**, Presented in 2th national symposium water & soil resource, Shiraz, Iran.
- Nazmara, H., 2006, **Prediction of River Suspended Material Using Artificial Neural Network**, M.Sc. dissertation, University of Tabriz.
- Palani, S., Liong, S., Tkalich, P. & Palanchamy, J., 2008, **Development of a Neural Network Model for Dissolved Oxygen**, Indian jurnal of marine sciences, 38, PP. 151-159.
- Perry J., Vander Klien E., 2002, **Water Quality: Management of a Natural Resource**.