کاربرد مدل شبکه های عصبی در ارزیابی کیفی رودخانه

مرتضی بختیاری[۱]، نیما شهنی کرم زاده[۲] ،محمد الماسی[۳]، رضا بهروزی راد[۴]، زهرا حسن‌زاده[۵]

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز
E_mail:mortezabakhtiari@yahoo.com Tel:09163628192
۲- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز
۳ - کارشناس ارشد - سازمان آب و برق خوزستان – معاونت حفاظت و بهره برداری منابع آب
۴- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز
۵- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری زهکشی دانشگاه علوم و تحقیقات خوزستان

چکیده:

رودخانه‌ها به عنوان تأمین کننده منبع آب شیرین برای مصارف شرب،کشاورزی و صنعتی از دیر باز مورد توجه بشر بوده است . علاوه بر این از رودخانه به عنوان آبراهه مناسب برای حمل و نقل، استحصال انرژی، پرورش آبزیان،تفریحات‌سالم‌استفاده می‌شود.با توجه به اینکه رودخانه‌ها از بسترها و مناطق مختلفی می‌گذرند و در ارتباط مستقیم با محیط پیرامون خود هستند نوسانات کیفی زیادی دارند لذا بررسی و پیش بینی تغییرات پارامترهای کیفی آب در طول رودخانه باید موردتوجه‌قرارگیرد. بدین منظور مدل‌های کیفیت آب متعددی در زمینه مدیریت کیفی آب استفاده می-شود. اشکال عمده مدل‌های کیفی بطور کلی این است که این مدل ها عموماً برای شرایط خاص بصورت تجربی یا نیمه تجربی بدست آمده‌اند و ممکن است به کارگیری آنها از یک رودخانه به رودخانه دیگر نیاز به کالیبراسیون ضرایب آنها داشته باشند. اخیراً مدل شبکه های عصبی مصنوعی کاربرد زیادی را در مهندسی آب پیدا نموده است تحقیق حاضر بر روی رودخانه کرخه یکی از بزرگترین رودخانه های کشور که اطلاعات بسیار کمی در مورد آن منتشر شده است، صورت گرفته است با استفاده از پارامترهای اندازه گیری شده در ۳ایستگاه هیدرومتری موجود در طول رودخانه (ایستگاههای حمیدیه ،جلوگیر، پای پل) پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR) و کل املاح موجود(TDS) مدل شده است.بدین منظور روزسال،دبی،اشل سطح آب و دمای آب اندازه گیری شده در ایستگاه‌های مورد نظر به عنوان ورودی‌های مدل در نظر گرفته شده و با استفاده از مدل شبکه عصبیAlyuda پارامترهای مزبور پیش بینی گردید. نتایج حاصله توانایی بالای شبکه عصبی مصنوعی را در پیش بینی کیفیت آب رودخانه کرخه نشان می‌دهد.

واژه های کلیدی: کیفیت آب ،شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل Alyuda ،رودخانه کرخه، EC ،SAR ، TDS

۱- مقدمه

رودخانه‌ها به عنوان مهمترین منابع تأمین و انتقال آب مصرفی بخش‌های صنعت، کشاورزی و شهری از اهمیت خاصی برخوردارند. توسعه روزافزون فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و افزایش قابل توجه حجم فاضلاب‌های شهری موجب آلودگی منابع آب، خصوصاً رودخانه‌ها گشته، به نحوی که کیفیت این منبع حیاتی را در بسیاری از نقاط مورد مخاطره جدی قرار داده، بطوری که در برخی نقاط منجر به مرگ بیولوژیکی رودخانه‌ها گردیده است.
عموماً طبقه‌بندی آب آبیاری بر اساس بعضی خصوصیات تعریف شده صورت می‌پذیرد. دامنه طبقه‌بندی‌های موجود، از استفاده وسیع و عمومی بر اساس روش‌های مدیریتی معمول گرفته تا کاربردهای ویژه، برای هر محصول در منطقه‌ای معین متفاوت است. اصولاً تعریف کیفیت آب بدون آنکه کاربرد ویژه-ای مد نظر باشد بی معنا است. شرایط ویژه کاربرد، مطلوب بودن آب مورد نیاز را تعیین می‌کند.کیفیت آب را ترکیب شیمیایی آن مشخص می‌کند، بنابراین هم غلظت کل و هم نوع یون‌های تشکیل دهنده باید مورد ارزیابی قرار گیرند.
از آنجاکه حفاظت کیفی آب رودخانه‌ها نیاز به سرمایه گذاری‌های اضافی برای تصفیه پساب‌ها یا سیستم‌های جمع‌آوری و کنترل زه‌آب ها دارد و از طرفی ممکن است منجربه محدود کردن توسعه فعالیت‌ها در حوزه رودخانه‌ها گردد ازاین رو می‌تواند اثرات اقتصادی قابل توجهی داشته باشد. بنابراین وجود یک ابزار کامپیوتری به منظور شبیه سازی و نشان دادن شرایط موجود و آتی و محدودیت‌های لازم برای دستیابی به استانداردهای کیفی مورد نظر ضروری به نظر می‌رسد.

هدف از تحقیق حاضر، بهره‌گیری از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از اطلاعات اندازه گیری شده در۳ ایستگاه هیدرومتری موجود در طول رودخانه کرخه (ایستگاه‌های پای پل، حمیدیه و جلوگیر) جهت ارائه یک مدل کیفی به منظور شبیه سازی کیفیت آب این رودخانه می‌باشد.
تحقیقات بسیار زیادی در جهان در مورد کاربرد شبکه‌های عصبی در علوم آب صورت گرفته است که می‌توان به پیش‌بینی بارندگی [۵]، مدل‌سازی آبهای زیرزمینی [۸] و پیش‌بینی جریان رودخانه [۴،۳] اشاره کرد. کاشفی‌پور و همکاران (۲۰۰۲)، ضریب انتشار را به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی تخمین و سپس نتایج آن را با آخرین معادلات موجود تجربی مقایسه و نتیجه گرفته‌اند که مدل ANN با دقت نسبتاً بالایی نسبت به سایر مدل‌ها این فاکتور هیدرولیکی را تخمین می‌زند. همچنین کاشفی‌پور و همکاران (۲۰۰۵) و لین و همکاران (۲۰۰۳)، غلظت آلودگی بیولوژیکی کالیفرم را در سواحل اسکاتلند به کمک ANN شبیه سازی نموده اند.

۲- روش تحقیق و منطقه مورد نظر

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر برروی رودخانه کرخه صورت گرفته است. رودخانه کرخه از مناطق میانی و جنوب غربی رشته کوه‌های زاگرس درنواحی غرب و جنوب غرب کشور سرچشمه گرفته است این رودخانه از به هم پیوستن رودخانه‌های کوچک و بزرگ متعددی، از جمله سه رودخانه بزرگ گاماسیاب، قره‌سو و کشکان تشکیل می‌گردد و در نهایت به هورالعظیم وارد می‌شود. این رودخانه با سطح حوزه ای بالغ بر ۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع و متوسط آبدهی سالانه ۱۷۷ متر مکعب بر ثانیه پس‌از رودخانه های کارون و دز سومین رودخانه بزرگ ایران است(شکل ۱). پتانسیل بالای آبدهی و سطوح وسیع اراضی مستعد کشاورزی بویژه در دشت‌های پایین دست رودخانه کرخه این ناحیه را در شمار منابع غنی و بالقوه آب و خاک کشور درآورده است بطوریکه با کنترل و بهره برداری از جریان رودخانه ،حدود ۳۱۰۰۰۰ هکتار از اراضی این مناطق،می‌توانند به عنوان قطب‌های کشاورزی در شکوفایی و رونق اقتصاد منطقه و کشور سهم بسزایی داشته باشند.با توجه به اهمیت این رودخانه چه از نظر اقتصادی و چه از نظر اجتماعی و با توجه به اینکه تا کنون اطلاعات زیادی در مورد این رودخانه منتشر نشده است لذا مطالعه بر روی این رودخانه صورت گرفته است. شکل شماره ۱ تصویری از منطقه مورد مطالعه می-باشد.

شکل۱:تصویر منطقه مورد مطالعه

۲-۲- معرفی مدل و نرم‌افزار مورد استفاده

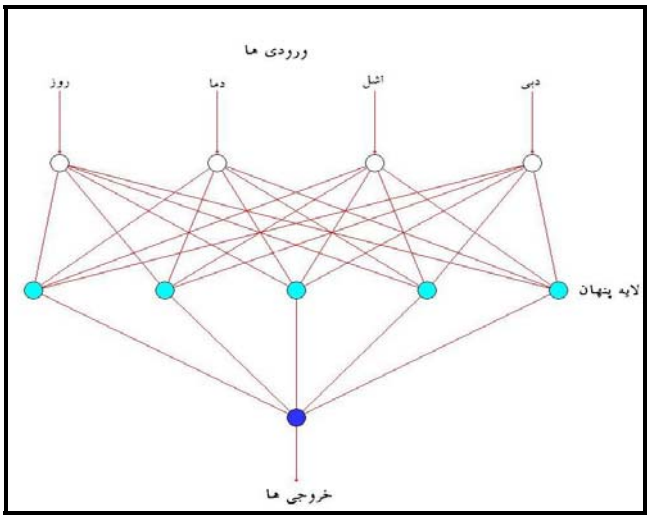
در این مطالعه از نرم افزار Alyuda که یک نرم افزار شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد، استفاده شده است .در زیر ابتدا مقدمه‌ای در مورد شبکه‌های عصبی مصنوعی آورده شده است و پس از آن در مورد نرم افزار مورد استفاده و قابلیت‌های آن توضیح داده شده است .

۲-۲-۱- شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون

شبکه عصبی مصنوعی مدلی ریاضی است که توانایی مدل‌سازی و ایجاد روابط غیر خطی برای درون یابی را دارا می‌باشد. یک مدل با ساختار پرسپترون چند لایه[1] (MLP) از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل شده است (شکل ۲). در هـر لایه یک یا چند نرون وجود دارد، بطوری که عملکـرد این نرون‌ها شبـیه به عملکـرد نرون‌های‌مغـزانسان می‌باشد. در یک ساختار شبکه عصبی، مجموعه‌ای از نرون‌ها دخالت دارند که هر نرون با همه نرون‌های لایه بعدی مرتبط است. تعداد نرون‌های لایه ورودی برابر تعداد متغیرهای مستقل سیستم مورد نظر (در این تحقیق، پارامترهای روز سال، دبی، اشل سطح آب و دمای آب) می‌باشد. هر یک از نرون‌های لایه ورودی در وزنی ضرب می‌شوند، مقدار این وزن همانند تقاطعات سیناپتیک در نرون‌های زیستی، تعیین کننده تأثیر هر متغیر بر میزان عملکرد لایه ورودی است.

هر نرون از دو بخش تشکیل شده است، در بخش نخست، مجموع وزنی مقادیر ورودی محاسبه می‌شود و در بخش دوم خروجی بخش نخست در یک تابع ریاضی قرار گرفته و خروجی نرون را محاسبه می‌نماید. بین هر دولایه مقداری معادل واحد، تحت عنوان بایاس[2] در نظر گرفته می‌شود که آن نیز در وزن مربوط به خود در ارتباط با لایه بعد ضرب شده و با مجموع حاصل ضرب جمع می‌گردد. این تابع ریاضی، تابع محرک یاآستانه نامیده می‌شود و دارای انواع مختلفی نظیر توابع تانژانت هیپربولیک، سیگموئید، خطی، باینری و گوسی می‌باشد. همه این توابع پیوسته و مشتق پذیرند و خروجی آنها در یک محدوده عددی خاصی (عموماً بین صفر و یک یا بین یک و منهای یک) قرار می‌گیرند. مرسوم ترین و پر کاربردترین توابع در این زمینه، توابع سیگموئیدی هستند. رابطه (۱):

$$f(z) = \frac{1}{1+\exp(-z)} \qquad (۱)$$



شکل۲: نمای شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چند لایه برای بهترین آرایش

1- Multilayer Preceptron
2- Bias

۲-۲-۲- معرفی نرم افزار مورد استفاده

Alyuda یک نرم افزار شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده جهت کمک به کارشناسان جهت حل مشکلات مربوط به رشته تخصصی آنها می-باشد. این نرم افزار بسیار سریع، هوشمند، و کار کردن با آن بسیار آسان می‌باشد.

این نرم افزار به منظور اهداف زیر به کار می‌رود:

آنالیز و تجزیه و تحلیل داده‌ها

یافتن بهترین معماری شبکه عصبی مصنوعی

آموزش، تست و بهینه نمودن شبکه‌های عصبی مصنوعی

آموزش شبکه جهت حل مسائل و مشکلات

در مورد این نرم افزار باید گفت که این نرم‌افزار به منظور پیش بینی، طبقه بندی ومشکلات تقریبی تابع بهینه شده است.

سیستم عامل مورد نیاز برای نصب این نرم افزار XP, 2000, ME, WIN 98 می‌باشد.

- از جمله قابلیت‌های این مدل می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
- قابلیت همگن نمودن داده‌های پرت و بازسازی داده‌هایی که موجود نیستند،را دارا می‌باشد.
- مقادیر را بر حسب تاریخ و زمان به صورت عددی کدگزاری می‌کند.
- قالب بندی داده ها
- به شکل اتوماتیک (تصادفی و منطقی) و دستی صورت می‌گیرد.
- قابلیت داده های فرآیند سازی شده را دارا می‌باشد.
- انتخاب خاصیت داده های ورودی
- انتخاب روش سری زمانی
- شبکه عصبی را به دو روش معماری می‌کند.

۲-۳-پارامترهای کیفی و متغیرهای مؤثر

این تحقیق با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در طول رودخانه که توسط سازمان آب و برق خوزستان که در بازه زمانی سال های ۱۳۶۱ تا ۱۳۸۴اندازه‌گیری شده، صورت گرفته است.اطلاعات اندازه گیری در ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در طول رودخانه شامل کلیه اطلاعات کیفی از جمله غلظت یون‌های مختلف EC، SAR، TDS، دبی ،اشل سطح آب دما و همچنین تاریخ اندازه‌گیری بود. با توجه به اینکه در این تحقیق ما تخمین پارامترهای PH، SAR، EC مورد نظر ما بود لذا ابتدا باید پارامترهای مؤثر را شناسایی نمود. پارامترهای مؤثر روز- سال، دبی، اشل سطح آب و دما تشخیص داده شدند . با توجه به اینکه داده‌ها بر حسب تاریخ اندازه‌گیری آنها ثبت شده بودند بنابراین ابتدا تاریخ اندازه‌گیری به روز- سال تبدیل شد. برای استفاده از این مدل (مدلAlyuda) باید داده ها از طریق نرم افزار note pad به مدل داده شوند. که این کار نیز صورت پذیرفت و پس از آن اقدام به اجرای مدل گردید.

۳- نتایج و بحث

همان‌گونه که قبلاً ذکر شد در این تحقیق به منظور پیش‌بینی کیفیت آب رودخانه کرخه از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه استفاده شد. در اینجا شبکه با تعداد ۱، ۲و ۳ لایه پنهان و هر بار با ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ نرون در لایه پنهان (با در نظر گرفتن تعداد ۴ نرون لایه ورودی) مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین تابع Logestic به عنوان تابع محرک شبکه در نظر گرفته شد و ترم مومنتم، میزان سرعت یادگیری و حداکثر تکرارها در شبکه به ترتیب برابر ۰/۸ ، ۰/۰۱ و ۱۰۰۰۰ انتخاب گردید. دلیل انتخاب حداکثر تکرار۱۰۰۰۰ این بود که آزمایش تکرارهای مختلف نشان داد که در تکرارهای بالاتر ضریب همبستگی۳ (r) آموزش شبکه، بالا بود ولی ضریب همبستگی تست شبکه مقدار پایینی را نشان می‌داد و بالعکس در تعداد تکرارهای پایین‌تر از۱۰۰۰۰ مقدار ضریب همبستگی برای آموزش و تست شبکه، پایین بود.

برای ارزیابی کارایی یک مدل آماره‌های متفاوتی وجود دارد که می‌توان به ضریب همبستگی (r) و جذر میانگین مربعات خطا۴ (RMSE) اشاره کرد. مقادیر ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطا از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$r = \frac{\sum XY}{\sqrt{\sum Y^2 \sum X^2}} \qquad (۲)$$

۳ - Correlation Coefficient

٤ - Root Mean Square Error

$$RMSE = \left[\frac{\sum (X - Y)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (۳)$$

که در آن:

X: مقدار پارامتر خروجی اندازه‌گیری شده Y: مقدار پارامتر خروجی تخمینی توسط مدل

ضریب همبستگی (r) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) بعنوان شاخصی برای تعیین بهترین آرایش شبکه بکار رفته است. برای هر آرایش پس از آموزش شبکه مقدار جذر میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی ثبت گردید. خلاصه نتایج بدست آمده از بهترین آرایش شبکه عصبی برای خروجی-ها و ایستگاه‌های مختلف در جداول شماره (۱) تا (۳) ارائه گردیده است. در این جداول، برای هر آرایش مقدار ضریب حساسیت هر یک از پارامترهای ورودی نیز ثبت شده است.

شکلهای (۳) تا (۵) نشان‌دهنده نمونه‌ای از نمودارهای مربوط به مقادیر EC ، SAR و TDS اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده به‌همراه نمودار همبستگی بین این مقادیر، در مراحل آموزش و تست شبکه، در سه ایستگاه مورد ارزیابی می‌باشند. همچنین در شکلهای(۳) تا(۶) نمودارهای مربوط به تأثیر پارامترهای ورودی بر روی مقادیر EC، SAR و TDS در چهار ایستگاه مورد ارزیابی نشان داده شده است.

جدول ۱: خلاصه نتایج بدست آمده از بهترین آرایش شبکه عصبی برای پارامترهای کیفی مختلف درایستگاه حمیدیه

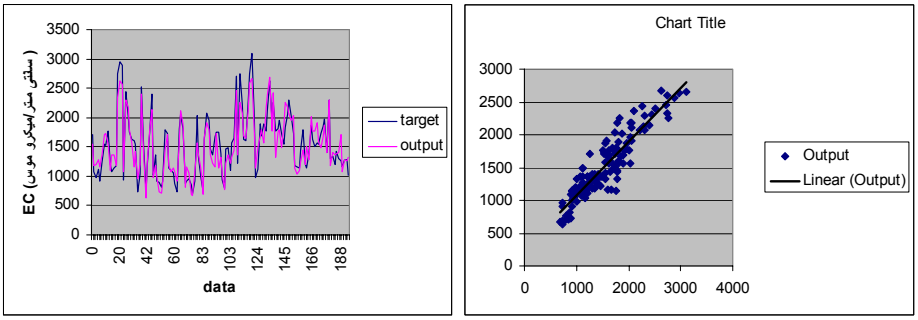
پارامتر کیفی	بهترین آرایش شبکه	ضریب همبستگی (r)		جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)		ضریب حساسیت پارامترهای ورودی (درصد)			
		تست	آموزش	تست	آموزش	روز سال	دبی	اشل سطح آب	دمای آب
EC	*4-5-1	0.85	0.90	0.074431	0.027294	23.96	35.82	24.25	15.97
SAR	4-3-3-1	0.87	0.91	0.03070	0.02828	24.21	39.04	24.98	11.77
TDS	4-6-6-1	0.85	0.88	0.01731	0.00969	28.27	37.23	20.14	14.36

جدول ۲: خلاصه نتایج بدست آمده از بهترین آرایش شبکه عصبی برای پارامترهای کیفی درایستگاه پای پل

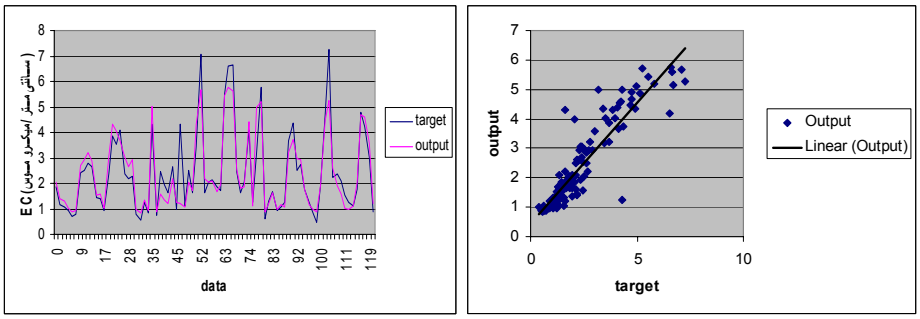
پارامتر کیفی	بهترین آرایش شبکه	ضریب همبستگی (r)		جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)		ضریب حساسیت پارامترهای ورودی (درصد)			
		تست	آموزش	تست	آموزش	روز سال	دبی	اشل سطح آب	دمای آب
EC	4-3-1	0.74	0.82	0.02872	0.01166	27.33	17.26	29.23	26.18
SAR	4-4-4-1	0.80	0.84	0.03857	0.07194	20.24	24.06	44.30	11.40
TDS	4-3-1	0.65	0.70	0.05026	0.010865	34.05	17.34	32.43	16.18

جدول ۳: خلاصه نتایج بدست آمده از بهترین آرایش شبکه عصبی برای پارامترهای کیفی درایستگاه جلوگیر

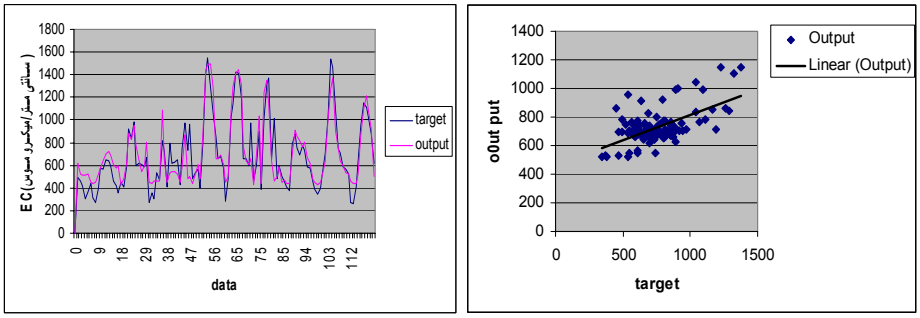
پارامتر کیفی	بهترین آرایش شبکه	ضریب همبستگی (r)		جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)		ضریب حساسیت پارامترهای ورودی (درصد)			
		تست	آموزش	تست	آموزش	روز سال	دبی	اشل سطح آب	دمای آب
EC	4-3-3-1	0.94	0.93	0.05093	0.02963	23.65	19.31	31.12	25.92
SAR	4-2-2-1	0.73	0.95	0.0655	0.04412	27.07	22.29	24.53	26.11
TDS	4-3-3-1	0.92	0.87	0.00991	0.04483	22.5	18.45	31.60	27.40



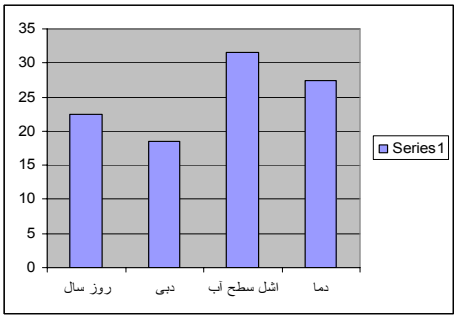
شکل ۳: نمودارهای مقادیر EC اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده و همبستگی بین آن‌ها در مراحل آموزش و تست شبکه در ایستگاه حمیدیه



شکل ۴: نمودارهای مقادیر SARاندازه‌گیری و پیش‌بینی شده و همبستگی بین آن‌ها در مراحل آموزش و تست شبکه در ایستگاه پای پل



شکل ۵: نمودارهای مقادیر TDSاندازه‌گیری و پیش‌بینی شده و همبستگی بین آن‌ها در مراحل آموزش و تست شبکه در ایستگاه جلوگیر



شکل ۶: نمودار تأثیر پارامترهای ورودی روی TDSایستگاه جلوگیر

۴- نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که تعداد ۱ و ۲ لایه پنهان با۳و ۴و ۵ نرون در هر لایه بهترین آرایش شبکه به منظورپیش‌بینی کیفیت آب رودخانه کرخه در ایستگاه‌های مورد ارزیابی است. با در نظر گرفتن تعداد لایه‌های پنهان بیشتر از۲ عدد، داده‌ها برای آموزش شبکه بطور مناسب پاسخ می‌دهد ولی در صورت استفاده از داده‌های جدید برای تست شبکه، پیش‌بینی‌ها از مقادیر اندازه گیری شده فاصله می‌گیرند.

در این تحقیق پارامتر روز سال از ۱ تا ۳۶۵ بعنوان یک متغیر مستقل ورودی درنظر گرفته شد و مدل حساسیت خود را به این پارامتر نش**ان داد**. بطوریکه می‌توان فقط با استفاده از پارامتر روز سال مقدار EC، SARو TDS را تا حدودی پیش بینی نمود، زیرا در بعضی موارد ممکن است در زمستان و تابستان دبی‌ها برابر باشند ولی در تابستان بعلت آبیاری مزارع، زهکشی زیاد شده و وارد رودخانه‌ها گردد و بر کیفیت آب رودخانه تأثیر منفی داشته باشد که در این‌گونه موارد پارامتر روز سال حتی می‌تواند بیشتر از پارامتر دبی تأثیرگذار باشد. با مراجعه به جداول نتایج،مشاهده می‌شود که ایستگاه حمیدیه تأثیر دبی بر روی پارامترهای اندازه گیری شده بیشتر است ولی در ایستگاه پای پل پارامتر روز – سال با ضریب حساسیت به ترتیب ۲۷/۳۳و ۳۴/۰۵ درصد بیشترین تأثیر را در بین پارامترهای ورودی بر روی EC و TDS نشان می دهد. همچنین در ایستگاه جلوگیر تأثیر پارامتر روز-سال نسبت به پارامتر دبی بر روی پارامتر های اندازه گیری شده بیشتر است.

به طورکلی نتایج بدست آمده از این تحقیق توانایی بالای شبکه‌های عصبی مصنوعی را در پیش بینی کیفیت آب رودخانه کرخه نشان داد، بطوری‌که در بعضی از ایستگاه‌های مورد ارزیابی، نتایج بدست آمده مقادیر ضریب همبستگی بالای ۰/۹۰ و جذر میانگین مربعات خطای کمتر از ۰/۰۵ در مراحل آموزش و تست شبکه را ارائه داد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مسئولین و دست اندرکاران محترم سازمان آب و برق خوزستان که امکانات اجرائی این پروژه را فراهم ساخته و این فرصت را در سطح مطلوب مهیا نموده اند کمال سپاس ، امتنان و تشکر را داریم . از مساعدتهای بی دریغ همکاران محترم که در تکمیل این پروژه همکاری و مشارکت داشته و در تجزیه و تحلیل بسیاری از مسائل فنی ما را یاری نموده اند صمیمانه قدردانی می نماییم . از کلیه همکاران محترم دفتر تحقیقات و استانداردهای مهندسی آب که در انجام این طرح یاری نموده اند ، نهایت سپاسگزاری را داریم .

مراجع

[۱] منهاج، م. ب. (۱۳۸۱). "مبانی شبکه های عصبی و هوش محاسباتی". انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر. ج اول. ۵۰۲ص.

[۲] کاشفی پور، م. (۱۳۸۱). " استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در مهندسی رودخانه". ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه.کارگاه آموزشی مدلهای ریاضی *GIS*.

[3] Chang, L. C., Chang, F. J. and Chang, Y. M. *(2004). "A Two-step-ahead* Recurrent Neural Network for Stream-flow Forecasting". Hydrological Processes; Vol.18, No.1, PP. 81-92.

[4] Goswami, M. and O'connor, K. M. (2005). "Application of Artificial Neural Networks for River Flow Simulation in Three French Catchments". The Fourth Inter- Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources. Guimaraes, Portugal.

[5] Grimes, D. I. F. Coppola, E., Verdecchia, M. and Visconti, G. (2003). "A Neural Network Approach to Real-Time Rainfall Estimation for Africa using Satellite Data". J Hydrometeorology; Vol.4, PP. 1119-1133

[6] Kashefipour, S. M. , Lin, B. and Falconer, R. A. (2005). "Neural Networks For Predicting Sea Water Bacterial Levels." Proceedings Of The Institution Of Civil Enginears, Water Management, Vol. 58, PP.111-118

[7] Kashefipour, S. M., Falconer, R. A. and B. Lin. (2002). "Modelling Longitudinal In Natural C Concentraition Using ANNs." Water Science Technology, Vol.48, No.10, PP.225-232