Archive of SID

سومین کنفرانس سالانه پژوهش های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری
The third annual conference for research in architecture,urban planning and urban management

مدلسازی نیتریت و نیترات به کمک شبکه های عصبی مصنوعی (ANN)
مطالعه موردی رودخانه جاجرود

علیرضا پارسا[1]، سید احمد میرباقری[2]، سیده هدی رحمتی[3]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست- منابع آب، دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات تهران
Email : Musicmanalirezaparsa@Gmail.com

2- استاد و مدیرگروه مهندسی محیط زیست- منابع آب، دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات تهران
Email : Seyedahmad_mirbagheri@yahoo.com

3- استاد یار گروه مهندسی محیط زیست- منابع آب، دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات تهران
Email : drhodarahmati@Gmail.com

چکیده

رودخانه جاجرود یکی از مهمترین رودخانه‌های استان تهران می‌باشد که آب شرب بیش از 30 درصد مردم تهران را تأمین می کند که در نتیجه حفظ کیفیت آب و سلامت آن و تعیین منابع و آثار زیست محیطی آن بسیار مهم و منطقی خواهد بود و یکی از مهمترین و قویترین ابزارهای مدیریتی برای این کار استفاده از مدلهای کامپیوتری برای شبیه سازی پارامترهای کیفی آن از جمله نیتریت و نیترات می‌باشد. در ابتدا اجرای یکسری اقدامات اولیه از جمله تعیین یک بازه زمانی نمونه برداری کیفی از آب رودخانه و همچنین تعیین طول مشخصی از رودخانه جهت نمونه‌برداری و مطالعه ضروری است. در این پژوهش هدف ، بررسی پارامترهای کیفی رودخانه جاجرود از جمله نیتریت و نیترات مدل سازی این پارامترها به کمک شبکه های عصبی مصنوعی(ANN) بوده است. برای این منظور بازه مورد نظر از ابتدای روستای گرمابدره تا ابتدای ورودی دریاچه سد لتیان با طول تقریبی 30 کیلومتر در نظر گرفته شد. که بزرگترین مشکل آن آلودگی به مواد آلی و میکروبی می‌باشد. شبیه سازی کیفی رودخانه جاجرود در طی 4 ماه در هر فصل (اردیبهشت ، مرداد ، آبان و بهمن) جهت مدلسازی دو پارامتر نیتریت و نیترات توسط شبکه های عصبی مصنوعی صورت پذیرفت که برای این منظور از نرم افزار MATLABجهت مدسازی استفاده گردیده است. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل مذکور قادر است شبیه سازی را در حد قابل قبولی انجام دهد. همچنین رودخانه جاجرود به دلیل سرعت هوادهی بالا دارای ظرفیت خودپالایی مناسبی در طول مسیر خود است. با توجه به نتایج خروجی پارامترهای نیتریت و نیترات مشخص می‌گردد که مقادیر این پارامترها حتی در شرایط کم آبی (تابستان) در وضعیت مناسبی قرار داشته است که در ادامه به تفصیل به آن پرداخته شده است.

واژه های کلیدی : رودخانه جاجرود، مدلسازی، شبکه عصبی مصنوعی، پارامترهای کیفی

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

رودخانه ها و آبهای جاری، از دیر باز مورد نیاز ومورد توجه بشر بوده اند و جهت بهره بردن از منابع آبی مناسب، جوامع انسانی و مراکز صنعتی و کشاورزی و غیره معمولا در نزدیکی رودخانه ها برپا شده است. با گذشت زمان و گسترش این جوامع و به تبع آن افزایش استفاده از منابع آبی، دخل و تصرف غیر طبیعی و تغییر شرایط کیفی آب رودخانه ها افزایش یافته است. در این راستا سنجش، تحلیل و تفسیر داده های کیفی رودخانه ها به طور منظم این امکان را فراهم می سازد که ضمن استفاده از آن در موارد مختلف، شیوه های مدیریتی صحیح و مناسب اتخاذ گردیده و به تدریج از آلودگی رودخانه ها کاسته شده و به سمت کیفیتی با استاندارد قابل قبول حرکت نماید. [7]

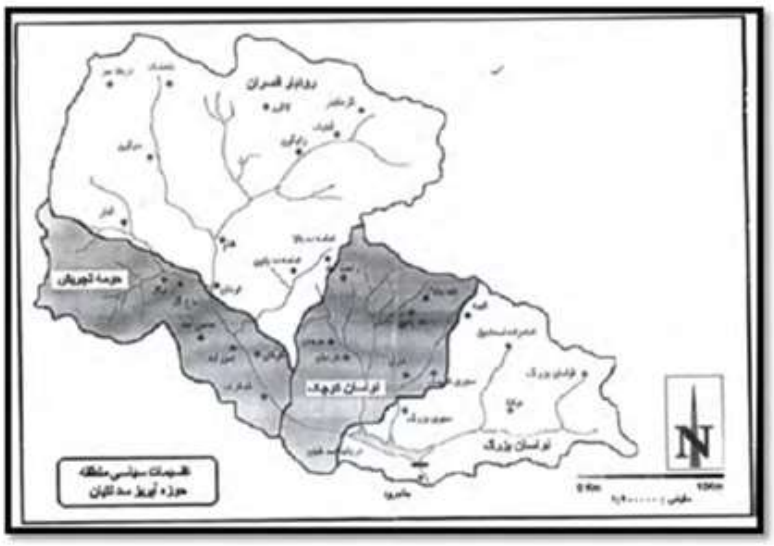
به این ترتیب مطالعات زیادی در ارتباط با روشهای تحلیلی در دو دهه 50 و 60 صورت گرفت. ولی بطور کلی روش تحلیلی ، پیچیده و نیازمند فرضیات ساده کننده ، به ویژه در ارتباط با مدلسازی مسائل انتقال می‌باشد. تلاش‌های عمده که بعد از آن صورت گرفت. مربوط به روشهای عددی همزمان با ظهور کامپیوتر بود. روشهای تفاضل محدود و اجزاء محدود همراه با سری‌های زمانی یک مجموعه وسیعی از مدلهای عددی را فراهم کرد[1] مدلهای کیفی قادر به پیش بینی تغییرات غلظت پارامترهای مختلف در محیط آبی هستند و بنابراین هدف نهایی آنها ارائه راهکارهایی است تا به وسیله آنها بتوان این عدم تعادل و ناهماهنگی در محیط آبی مثل رودخانه را از بین برد. [3]

مواد و روشها

حوزه آبریز جاجرود با وسعت 1892 کیلومتر مربع با مختصات 35/25 تنا 36 درجه عرض شمالی و 51/23 تا 52/6 طول شرقی در قسمت شرق و شمال شرق تهران قرار گرفته است[1]. شاخه اصلی این رودخانه به طول 140 کیلومتر از ارتفاعات خرسنگ واقع در شمال شرق تهران که جزء دیواره جنوبی ارتفاعات البرز مرکزی به حساب می‌آیند سرچشمه گرفته ، به طرف جنوب امتداد پیدا می‌کند و پس از عبور از روستای فشم و رسیدن به روستای اوشان و تغییر مسیر به طرف جنوب شرقی و طی مسیر رودک و لشکرک ، وارد دریاچه لتیان می‌شود و پس از سد وارد منطقه جاجرود می‌گردد.[5] از جنبه اقلیم ، مجموعه جاجرود در منطقه‌ای معتدل و نسبتا خشک واقع شده است و متوسط بارندگی سالانه آن 250 میلیمتر می‌باشد بخشی از حوزه با مساحت 692 کیلومتر مربع که بالاتر از سطح سد لتیان قرار دارد ، قسمت عمده آب رودخانه جاجرود را تأمین می‌کند. بخش دیگر که مساحت آن 1200 کیلومتر مربع می‌شود به علت پائین بودن میزان بارندگی نقش کمتری در تأمین آب رودخانه دارد [3]. شکل شماره یک تقسیمات حوضه سد لتیان و روستاها را نشان میدهد. [6]

www.SID.ir

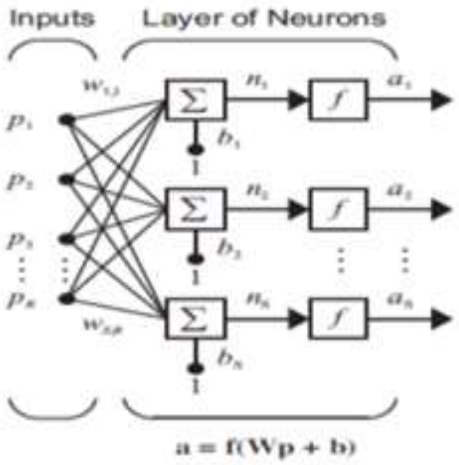
Archive of SID



شکل 1- تقسیمات منطقه حوضه سد لتیان[6]

شبکه های عصبی مصنوعی(ANN)

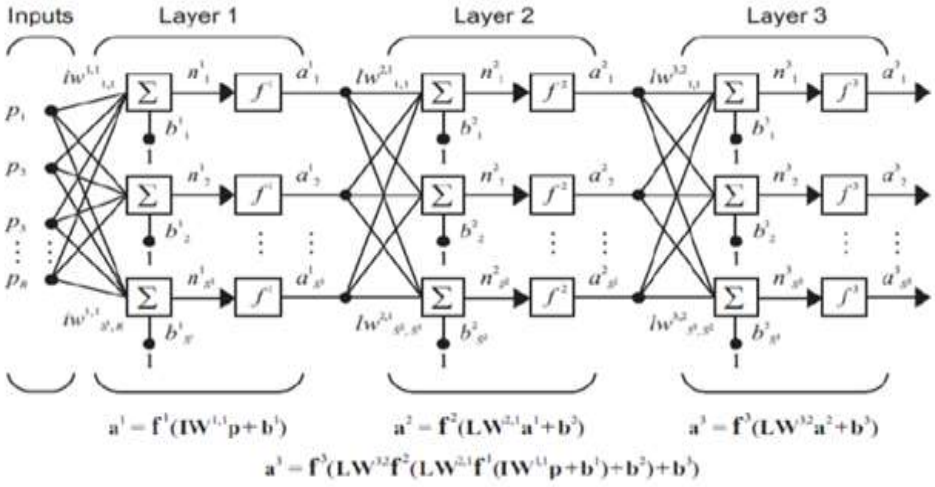
شبکه های مصنوعی یک مدل ریاضی یا شکلی از محاسبه الگوریتم با اعمال شبکه سیستم نرون های بیولوژیکی می‌باشد. به طور کاربردی ، شبکه های عصبی ابزار مدل سازی غیر خطی آماری می باشند که برای مدل کردن رابطه پیچیده بین ورودی و خروجی استفاده میشود[8]. دو یا چند نورون می توانند در یک لایه با هم ترکیب شوند و یک شبکه می‌تواند از یک یا چند لایه این چنینی تشکیل شود. در شکل 2 یک شبکه تک لایه با R ورودی و S نورون نشان داده شده است و شکل 3 یک شبکه سه لایه را همراه با اطلاعات تفکیک شده برحسب لایه های آن نشان می دهد:



شکل 2- شبکه تک لایه با R ورودی و S نورون.[5]

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 3 - شبکه سه لایه به همراه اطلاعات تفکیک شده[5]

انتخاب و پیش پردازش داده ها

در ابتدای کار قبل از شروع به تحقیق ، اجرای کسری اقدامات اولیه و اساسی از جمله تعیین یک پریود زمانی نمونه‌برداری کیفی از آب رودخانه و همچنین تعیین طول مشخصی از رودخانه جهت نمونه‌برداری و مطالعه ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق هدف مدلسازی 2 پارامتر نیتریت و نیترات به وسیله شبکه عصبی میباشد. در اینجا ما یک دوره یک ساله از بهار تا زمستان سال 1394 را در نظر گرفته اما در هر فصل یک ماه به عنوان مدل و شاخص استفاده شده است. به منظور شبیه سازی کیفیت آب رودخانه توسط مدلهای کیفی و واسنجی[1] و تصدیق [2] این گونه مدل‌ها به پارامترهای کیفی آب نیاز می‌باشد. بنابراین بایستی این پارامترها در نقاطی از رودخانه اندازه‌گیری شوند. پارامترهای کیفی که جهت شبیه سازی کیفیت آب رودخانه جاجرود و واسنجی مدل برای این رودخانه به کار برده شدند عبارتند از :نیتریت و نیترات. به منظور دستیابی به پارامترهای کیفی مورد نیاز در این تحقیق از همکاری شرکت محترم آب منطقه‌ای تهران استفاده گردید. در اینجا سعی گردید تعدادی ایستگاه محدود که در کل معرف شرایط رودخانه در بازه مورد نظر باشد انتخاب گردد. بدین منظور 8 ایستگاه انخاب گردید:

1- ایستگاه نمونه برداری مخلوط گرمابدر و آب نیک در فاصله 29/843 کیلومتری دریاپه سد لتیان که در واقع نزدیک ابتدای بازه مطالعاتی می‌باشد

2- ایستگاه نمونه برداری بعد از زایگان در فاصله 23/917 کیلومتری دریاچه سدلتیان می‌باشد که این ایستگاه بعد از ورودی لالان و زایگان می باشد.

3- ایستگاه نمونه برداری دو آب در فاصله 15/921 کیلومتری دریاچه سد لتیان می‌باشد این ایستگاه بعد از تقاطع فشم می‌باشد.

4- ایستگاه نمونه‌برداری اوشان در فاصله 13/159 کیلومتری دریاچه سد لتیان می‌باشد که بعد از شاخه فرعی آهار قرار گرفته است.

5- ایستگاه نمونه‌برداری بعد از حاجی آباد در فاصله 9/147 کیلومتری دریاچه سدلتیان می‌باشد. که بعد از شاخه فرعی گلوکان می باشد.

[1] calibration
[2] verification

www.SID.ir

Archive of SID

6- ایستگاه نمونه برداری بعد از رودک در فاصله 6/904 کیلومتری دریاچه سدلتیان می‌باشد. که یکی از مهمترین ایستگاه‌ها از نظر موقعیت است و تنها ایستگاه مهم هیدرومتری هم در این منطقه استقرار دارد و فعال است و تا حدود زیادی بیانگر اثرات آلودگی بر روی کیفیت آب رودخانه می‌باشد.

7- ایستگاه نمونه‌برداری بعد از زردبند در فاصله 2/474 کیلومتری دریاچه سدلتیان می‌باشد.

8- ایستگاه نمونه‌برداری بعد از پل لشگرک در نزدیکترین فاصله را به دریاچه سدلتیان دارا می‌باشد و آخرین ایستگاه نمونه بداری ما است در نتیجه تا حدود زیادی نمایانگر تأثیر آلایندگی شهر روستاها و شهرها بر روی کیفیت آب رودخانه می‌باشد.

سپس از نتایج مشاهدات بدست آمده در ایستگاه‌های نمونه‌برداری جهت کالیبره و ارزیابی مدل برای رودخانه استفاده گردید.

بحث و نتایج

با توجه به داده های برداشت شده که طی 4 ماه از 8 ایستگاه روی رودخانه جاجرود برداشت شده است، پارامترهای نیترات و نیتریت با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی شبیه سازی گردید. برای شبیه سازی مقادیر نیترات از 5 پارامتر دما، هدایت الکتریکی، فسفات غیر آلی، قلیائیت کل، pH و آمونیاک به عنوان متغیر های وابسته در نظر گرفته شد. از 70 درصد طول داده ها برای آموزش و 30 درصد بقیه برای تست شبکه استفاده گردید. برای اجرای شبکه نوع شبکه در حالت پیش فرض Free- back prop forward انتخاب می گردد تا دسترسی و تغییرات برای لایه ها و نرون ها امکان پذیر باشد. تابع آموزش TRINLM و تابع یادگیری LEARNGDM به صورت سعی و خطا و نیز با توجه به پیشنهاد شبکه و نوع داده های مورد استفاده انتخاب گردید. نوع خطا MSE و تعداد 2 لایه برای آموزش استفاده گردید. همچنین در هر لایه تعداد 10 نرون با توجه به پیشنهاد نرم افزار و نیز تابع انتقال TANSIG با سعی و خطا انتخاب گردید. برای اجرای شبکه 1000 تکرار و حداقل خطا انتخاب گردید. در نهایت داده نتایج هر شبیه سازی بصورت زیر حاصل گردید. لازم به ذکر است از معیار R2 و خطای RMSE برای صحت سنجی مدل استفاده شد. پارامترهای کیفی اندازه گیری شده در رودخانه جاجرود در 8 ایستگاه به ترتیب زیر برآورد شده است.

جدول 1- پارامترهای کیفی رودخانه جاجرود در اردیبهشت ماه در ایستگاههای نمونه برداری

پارامتر	مخلوط گرمابدر و آب نیک	بعد از زایگان	دو آب	بعد از اوشان	بعد از حاجی آباد	بعد از رودک	بعد از زرد بند	بعد از پل لشکرک
دما	9	9	8	10	10	8	8	9
هدایت الکتریکی	279	287	287	261	270	303	306	306
اکسیژن محلول	8.2	8.8	8.6	8.6	8.5	8.4	8.8	8.2
اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی	1	2	1.8	1.6	2	1	1.3	1
نیترات	8.1	8.2	4.1	9	9.1	5.7	5.7	5.6
فسفات غیر آلی	0.06	0.06	0.24	0.37	0.23	0.19	0.21	0.24
قلیانیت کل	122	126	116	110	114	116	120	120

www.SID.ir

Archive of SID

PH	8.04	8.1	7.18	7.66	7.66	7.91	7.91	8.01
آمونیاک	0.39	0.12	0.4	0.43	0.47	0.31	0.35	0.37

جدول 2- پارامترهای کیفی رودخانه جاجرود در مرداد ماه در ایستگاههای نمونه برداری

پارامتر	مخلوط گرمابدر و آب نیک	بعد از زایگان	دو آب	بعد از اوشان	بعد از حاجی آباد	بعد از رودک	بعد از زرد بند	بعد از پل لشکرک
دما	13	14	13	13	13	14	14	16
هدایت الکتریکی	361	335	392	407	406	429	435	420
اکسیژن محلول	7.2	7.5	8.4	8.4	8.7	8.1	7.8	8.7
اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی	3.3	1	3.6	1.9	4	1.7	2.1	1.5
نیترات	6.6	6.8	7.9	8.5	8.5	5.7	5.2	5.7
فسفات غیر آلی	0.06	0.07	0.06	0.05	0.08	0.04	0.02	0.02
قلیانیت کل	152	144	162	162	162	164	162	150
PH	7.94	8.03	7.8	7.99	7.98	7.8	7.84	7.96
آمونیاک	0.06	0.05	0.13	0.15	0.15	0.05	0	0.07

جدول 3- پارامترهای کیفی رودخانه جاجرود در آبان ماه در ایستگاههای نمونه برداری

پارامتر	مخلوط گرمابدر و آب نیک	بعد از زایگان	دو آب	بعد از اوشان	بعد از حاجی آباد	بعد از رودک	بعد از زرد بند	بعد از پل لشکرک
دما	4	5	7	8	9	10	10	10
هدایت الکتریکی	300	302	394	399	402	402	407	400
اکسیژن محلول	9	8.8	8.3	8.4	8.6	8.6	8.9	9.2
اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی	2.2	2.1	1.3	2	1.4	1	1	1.5
نیترات	3.6	3.4	6.9	7	7	4.7	4.2	4
فسفات غیر آلی	0.03	0.03	0.02	0.06	0.05	0.02	0.02	0.04
قلیانیت کل	129	127	155	153	159	149	153	147

www.SID.ir

Archive of SID

8.47	8.43	8.4	8.38	8.27	8.25	8.25	8.3	PH
0	0.08	0.08	0	0	0	0	0	آمونیاک

جدول 4- پارامترهای کیفی رودخانه جاجرود در بهمن ماه در ایستگاههای نمونه برداری

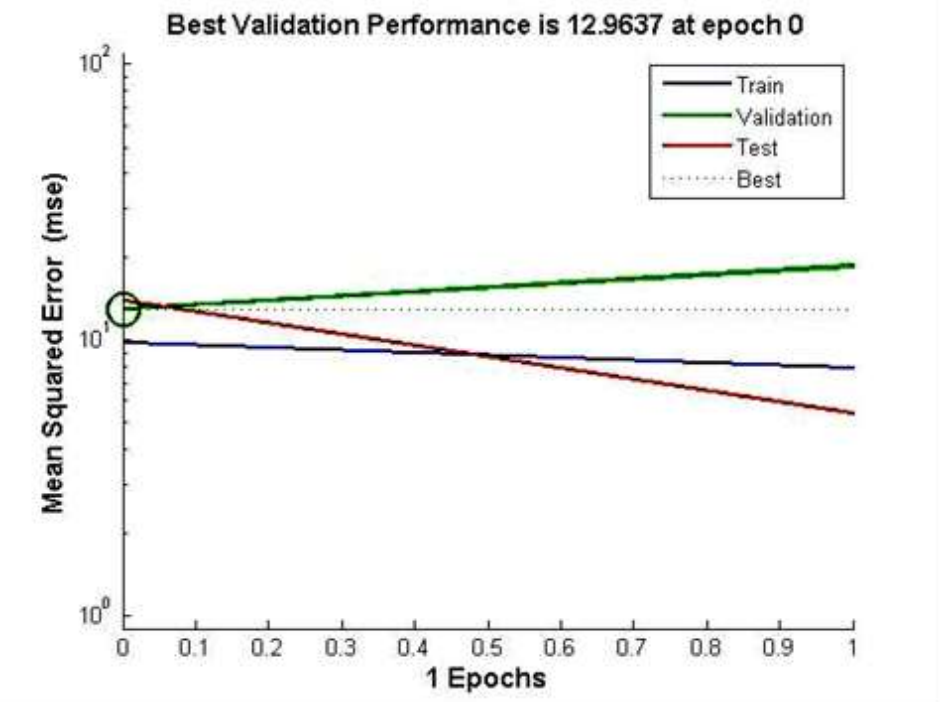
پارامتر	مخلوط گرمابدر و آب نیک	بعد از زایگان	دو آب	بعد از اوشان	بعد از حاجی آباد	بعد از رودک	بعد از زرد بند	بعد از پل لشکرک
دما	3	3	3	2	3	1	1	1
هدایت الکتریکی	326	326	453	452	455	416	412	412
اکسیژن محلول	9.3	9.6	9.4	10.1	9.9	9.9	10.2	10.2
اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی	1	1.6	1	2.2	1.5	1.2	1	1
نیترات	6.8	8.7	9.8	10.2	10.4	6.8	6.7	6.5
فسفات غیر آلی	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.03
قلیانیت کل	143	139	151	153	153	159	159	155
PH	8.36	8.49	8.51	8.42	8.62	8.32	8.38	8.41
آمونیاک	0.1	0.11	0.09	0.21	0.19	0	0	0

شبیه سازی نیترات

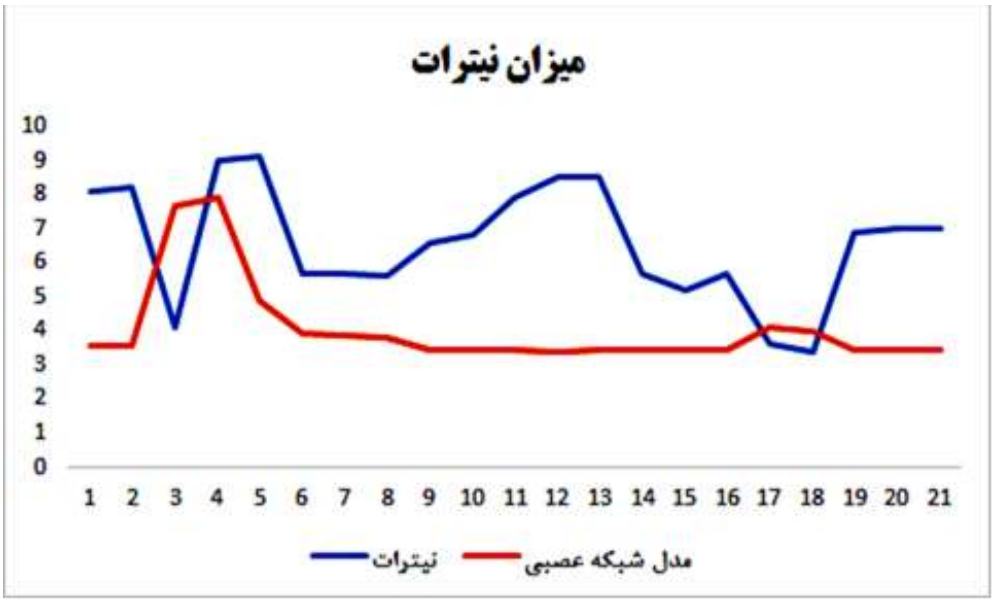
برای شبیه سازی نیترات همان طور که در بالا ذکر شد از5 پارامتر ورودی که بر میران نیترات موجود در آب رودخانه تاثیر مستقیم دارند استفاده شده است. خروجی شبکه عصبی برای این پارامتر به قرار زیر خواهد بود. در شکل4 به وضوح مشخص است که از 1000 دوره آموزش تعیین شده برای شبکه، پاسخ بهینه در همان اولین دوره بدست آمده است.

www.SID.ir

Archive of SID



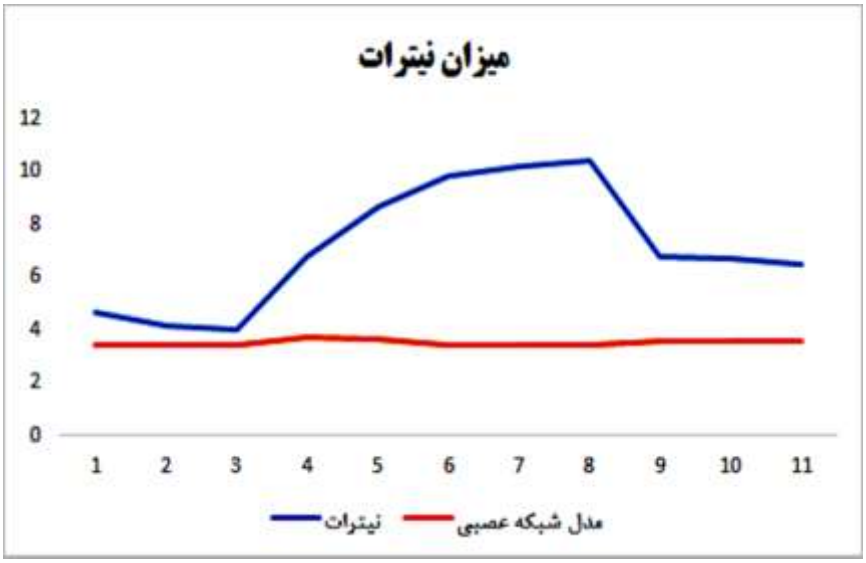
شکل 4- تغییرات پارامتر نیترات در شبیه سازی با شبکه عصبی



شکل 5- تغییرات پارامتر نیترات در مرحله آموزش شبکه

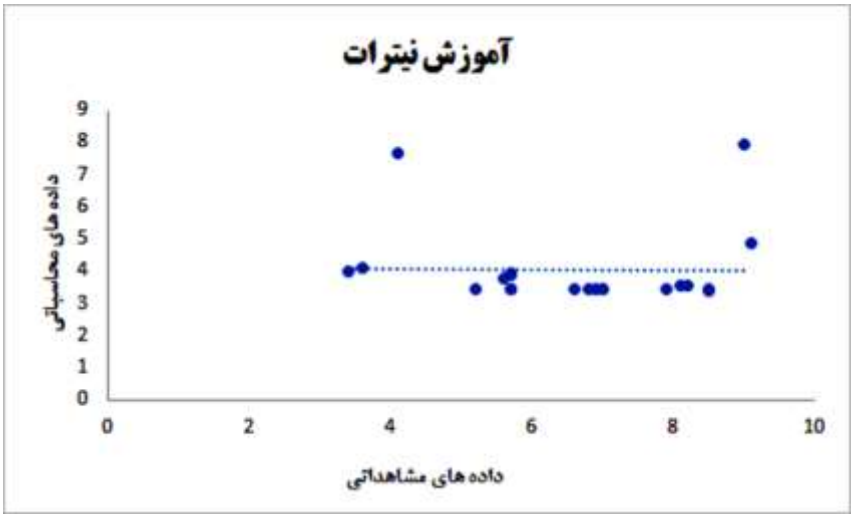
www.SID.ir

Archive of SID



شکل 6- تغییرات پارامتر نیترات در مرحله تست شبکه

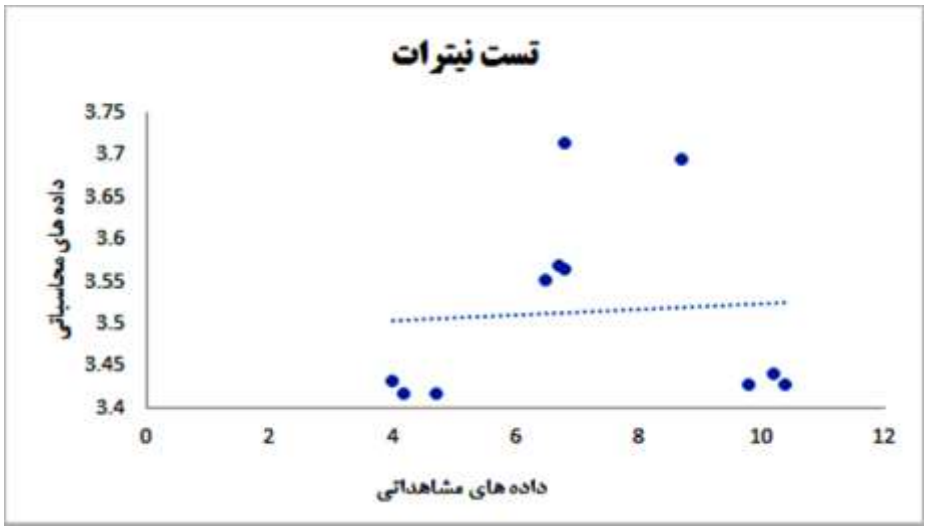
در ابتدا و انتهای دوره آموزش وضعیت تطابق داده های شبیه سازی با داده های مشاهداتی مطلوب است اما در اواسط دوره چنین وضعیتی مطلوب نمی باشد و این امر تنها از عدم طول کافی برای داده ها ناشی شده است. این روند برای تست شبکه نامطلوب تر می باشد. برای نمودارهای همبستگی داریم.



شکل 1- همبستگی داده های مشاهداتی و محاسباتی برای پارامتر نیترات در مرحله آموزش شبکه

www.SID.ir

Archive of SID

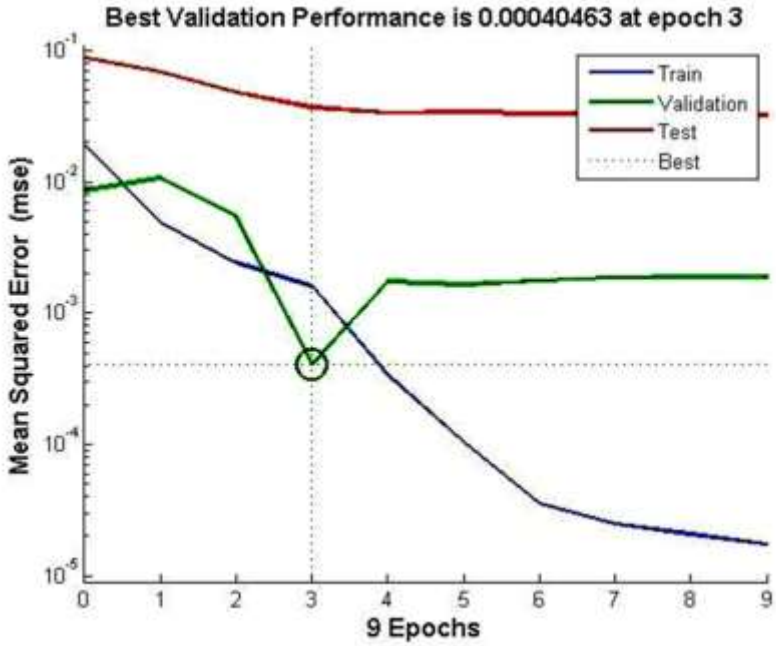


شکل2- همبستگی داده های مشاهداتی و محاسباتی برای پارامتر نیترات در مرحله تست شبکه

مقادیر همبستگی بدست آمده برای نیترات نیز از عدم برآورد مطلوب شبکه برای این پارامتر دارد.

شبیه سازی نیتریت

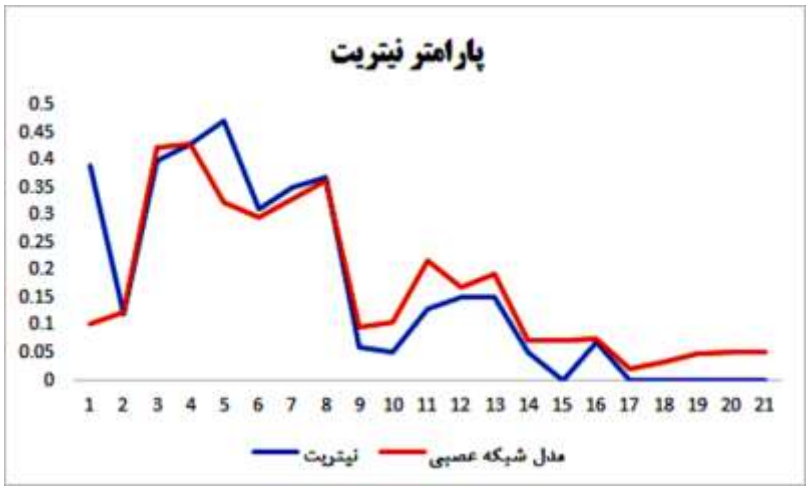
برای شبیه سازی نیتریت نیز از 5 پارامتر دخیل در آن استفاده گردید. خروجی شبکه عصبی برای این پارامتر به قرار زیر خواهد بود. در شکل 16 به وضوح مشخص است که از 1000 دوره آموزش تعیین شده برای شبکه، پاسخ بهینه در دوره 9 بدست آمده است. معیار خطا همان MSE می باشد که ملاک جواب بهینه نیز همین خطا بوده است. تغییرات و روند میزان نیتریت در رودخانه جاجرود در شکل 17 در مرحله آموزش و در شکل 18 در مرحله تست ترسیم شده است.



شکل 9- تغییرات پارامتر نیتریت در شبیه سازی با شبکه عصبی

www.SID.ir

Archive of SID



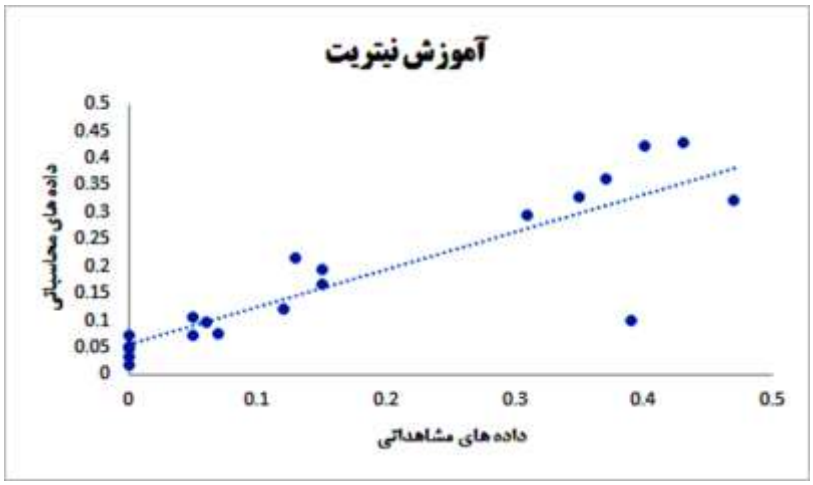
شکل 10- تغییرات پارامتر نیتریت در مرحله آموزش شبکه

شکل 11- تغییرات پارامتر نیتریت در مرحله تست شبکه

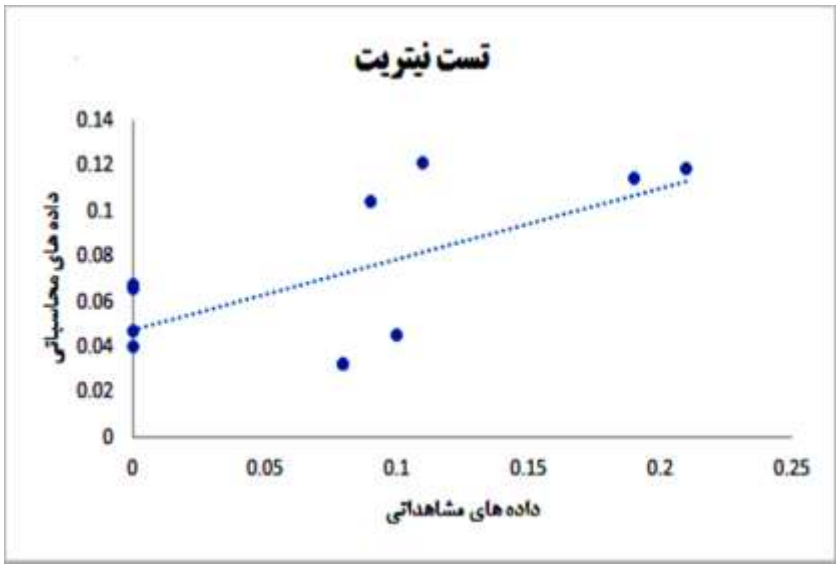
تغییرات نیتریت و برآورد آن با شبکه عصبی نشان می دهد که هم در مرحله آموزش و هم در مرحله تست، شبکه برآورد مطلوبی را حاصل کرده است. وجود تعداد لایه بیشتر و نرون در هر لایه توانسته است علیرغم نبود داده کافی، برآورد مطلوبی را بدست آورد. در مرحله تست نیز روند داده های شبیه سازی در مقایسه با داده های محاسباتی مناسب ارزیابی می گردد. نمودارهای همبستگی نیز به قرار زیر می باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 12- همبستگی داده های مشاهداتی و محاسباتی برای پارامتر نیتریت در مرحله آموزش شبکه



شکل 3- همبستگی داده های مشاهداتی و محاسباتی برای پارامتر نیتریت در مرحله تست شبکه

با توجه به نمودارهای همبستگی به وضوح مشخص است که همبستگی داده های مشاهداتی و محاسباتی نیتریت در هر دو مرحله آموزش و تست مناسب ارزیابی می گردد. برای بررسی بهتر محاسبات مربوط به میزان R2 و خطای RMSE برای تمامی پارامترها در هر دو مرحله آموزش و تست انجام شده است که به صورت زیر گزارش می گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

پارامتر و معیار های صحت سنجی	نیترات		نیتریت	
	آموزش	تست	آموزش	تست
R2	0/0002	0/0058	0/77	0/41
RMSE	3/29	4/27	0/08	0/05

جدول 5- معیارهای صحت سنجی شبکه عصبی در پارامترهای مختلف

با توجه به نتایج حاصل از جدول 5 مشاهده می گردد که شبکه عصبی مصنوعی مورد نظر برای داده های کیفی رودخانه جاجرود، بهترین عملکرد را در پارامتر نیتریت از خود نشان داده است به طوریکه مقدار همبستگی 0/77 برای آموزش و 0/41 برای تست را به ترتیب با خطای 0/08 و 0/05 حاصل کرده است. یکی از دلایل آن وجود پارامترهایی از قبیل نیترات در شبیه سازی آن می باشد. حذف و یا اضافه کردن هر نوع ورودی برای شبکه عصبی با توجه به ماهیت آن روی پاسخ نهایی تاثیر بسزایی دارد.

نتیجه گیری کلی

با توجه به آنچه بیان گردید، نتایج زیر بصورت خلاصه قابل برداشت است. در این تحقیق استفاده نوع شبکه back prop Free-forward با تعداد 2 لایه و 10 نرون از طریق سعی و خطا حاصل شده است، برای داده های نیتریت به ازای استفاده از داده های ورودی موجود نتایج قابل قبولی را اراده کرده است. یکی از علل مهم در عدم دقت مدل در شبیه سازی پارامترها عدم وجود طول داده کافی برای آموزش و درنهایت برای تست شبکه می باشد. با توجه به عدم آموزش درست شبکه که عمدتا از داده های کم یا ورودی های غیر مرتبط بوجود می آید، تست یا همان پیش بینی شبکه نیز با مشکل روبرو خواهد بود.

همچنین نتایج حاصل از مقایسه با سایر محققان نشان داد که نه تنها طول دوره آماری مورد استفاده در تخمین و شبیه سازی شبکه عصبی بسیار موثر است، بلکه استفاده از داده های ورودی با ماهیت مرتبط که بر روی مدل خروجی تاثیر مستقیم دارند بسیار مهم و قابل تامل است. لذا لزوماً استفاده از هر نوع داده ورودی نمی تواند باعث ابهتر شدن نتایج شبیه سازی گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[1] فرامز ، محمد ؛ مدل ریاضی یک بعدی انتقال آلودگی در کانالهای مرکب ، پایان نامه کارشناسی ارشد ، سازه‌های آبی ، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه تربیت مدرس ، سال 1382 ، ص32

[2] میثاقی ، ف و محمدی ، ک ؛ پیش بینی تغییرات کیفیت اب رودخانه زاینده رود با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی ، دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک ، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه شیراز ، سال 1383 ، ص 10.

[3] هاشمی منفرد ، آرمان ؛ تهیه مدل سه بعدی انتقال و پخش پارامترهای کیفی و لایه بندی آنها در مخازن سدها ، پایان نامه دکتری دانشکده مهندسی عمران ، دانشکده صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی ، سال 1390 ، ص 3

[4] بیات ، حو. 1370 ، مجموعه مناطق جاجرود ، انتشارات سازمان محیط زیست ، ص 67-69

[5] براتی, فرناز. (۱۳۹۲). مدلسازی آلودگی رودخانه جاجرود تهران از مدل QUAL2K. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم و تحقیقات تهران

[6] یوسف دوست, ایسن؛ ام البنین محمدرضاپور؛ آرش یوسف دوست و ناهید زرین دست، ۱۳۹۳، مقایسه شبکه عصبی مصنوعی GRNN,MLP و روش LMR در پیش بینی جریان ماهانه رودخانه و بهینه سازی برنامه ریزی و مدیریت منابع اب جاجرود، همایش ملی آب، انسان و زمین، اصفهان، شرکت توسعه سازان گردشگری اصفهان، http://www.civilica.com/Paper-WHEC01-WHEC01_218.html

[7] کلاغچیان، رضا. (1387). "کاربرد تئوری آنتروپی در طراحی بهینه سیستم های پایش رودخانه ها مطالعه موردی رودخانه جاجرود. طرح تحقیقات کاربردی معاونت پژوهش و مطالعات پایه کمیته تحقیقات شرکت آب منطقه ای تهران"

[8] بهرامی، س. (1392). "مدل سازی فرایندهای رأکتور هوادهی تصفیه فاضلاب با استفاده از شبکه عصبی هوشمند. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی تهران."

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir