بررسی و مقایسه عملکرد تکنیکهای هوشمند نوین، درشبیه سازی نیترات آب زیرزمینی

جعفرسراجی[1]

۱-گروه مهندسی ومدیریت منابع آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران، Serajijafar12@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۲

چکیده

امروزه با توجه به خشکسالی های اخیر، یکی از اصلی ترین منابع تامین آب شرب در کشور، منابع زیرزمینی هستند و از طرفی نیترات یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های منابع آب زیرزمینی می باشد، که اثرات نامطلوبی بر سلامت افراد دارد. پژوهش حاضر در صدد مقایسه و ارائه تکنیکی کارآمد و نوین جهت شبیه سازی وپیش بینی نیترات در این منابع می باشد. بنابراین سه تکنیک شبکه عصبی مصنوعی (ANN)وسیستم استنتاج عصبی – فازی(ANFIS) و ماشین بردارپشتیبان(SVM) درشبیه سازی به عنوان ابزاری مبتنی بر داده مقایسه میشود. شبیه سازی بر اساس نمونه های مشاهداتی از چاه های موردنظردر آبخوان مورد مطالعه طی ۱۳سال صورت گرفته و بازه زمانی مدلسازی، ماهانه انتخاب شده است. تخمین زننده ها شبیه سازی مدل شامل منیزیم(Mg) ، بیکربنات(Hco3) ، کلسیم(Ca) ، سدیم(Na) میباشند. نخست شبیه سازی هرتکنیک بصورت مجزا، روی آرایشهای مختلف انجام میشود. بر اساس نتایج حاصل از معیارهای ارزیابی سیستم نروفازی با ضریب همبستگی۰/۹۹۷۸ =R^2 و ۰/۰۰۰۲ =MSE از قابلیت و توانایی مناسبتری برخوردار میباشد.

کلمات کلیدی: ***نیترات، شبیه سازی، شبکۀ عصبی مصنوعی ، ماشین بردارپشتیبان، نروفازی،منابع آب زیرزمینی.***

مقدمه

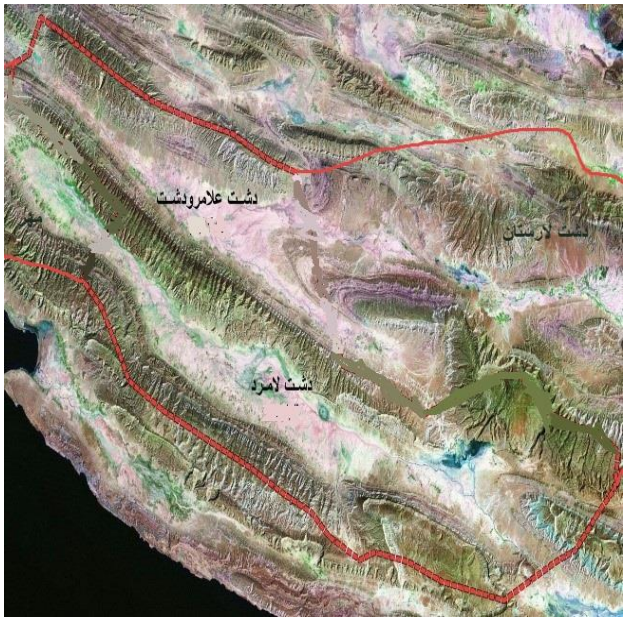
با توسعه فعالیت های صنعتی و کشاورزی، در سالهای اخیر، منابع آب زیرزمینی به شدت کاهش یافته و خشکسالی های پیاپی نیز این روند را تسریع میکند. بدیهیست هرچه آب این منابع کمتر شود آلودگی آن رشد فزاینده ای پیدا خواهدکرد . ازآنجاکه حفاظت و کنترل کیفی منابع آب زیرزمینی مستلزم سرمایه گذاری کلان می باشد لذا، ضرورت مدیریت براین منابع، متخصصین را ملزم به ارائه راهکاری نوین که بتواند تصویری از آینده منابع آبی برای آنها ترسیم نماید، نموده است. بنابر این موضوع با بکارگیری تکنیکهای هوشمند (مبتنی بر داده)، که ساختار و عملکردی منطبق بر سیستم مغز انسان دارند، آینده این منابع را به تصویر کشیده و در این امتداد تدابیر لازم، جهت حفظ و کنترل کیفی ناشی از آلودگیهای همه جانبه منابع آب، اتخاذ نمایند. اگرچه این مدلها نسبت به مدلهای عددی از دقت کمتری برخوردار می باشند لیکن زمانیکه با اطلاعات کم و محاسبات پیچیده مواجه هستیم،ازقابلیت منحصربفردی برخوردار هستند. این پژوهش به شبیه سازی نیترات آب زیرزمینی، با سه تکنیک سیستم نروفازی، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی، براساس متغیرهای کیفی آب، پرداخته است. ودرادامه جهت تست دقت در عملکرد تکنیکها را مورد بررسی قرار میگیرند. امروزه به همت پیشرفت علوم، مدل های هوشمند در زمینه شبیه سازی آلودگی منابع آب زیرزمینی، توسعه زیادی داشته است. ازتحقیقات انجام شده در این زمینه، می توان به موارد زیر اشاره نمود. زارع ابیانه و بیات(۲۰۱۰)، مدل شبکۀ عصبی برای تخمین، نیترات آب زیرزمینی مورد ستفاده قرار دادند و اثر تفکیک داده ها بر دقت

پیش بینی مورد بررسی قرار دادند[۷]. علاف و همکاران در سال ۱۳۹۰ به بررسی روند تغییرات نیترات در سفره آب زیر زمینی با تلفیق شبکه عصبی و کریجینگ پرداختند[۴]. سرتاج و همکاران، (۱۳۹۲) به بررسی مدل ماشین بردار پشتیبان در تخمین غلظت نیترات آبهای زیرزمینی پرداختند[۵]. آلودگی نیترات آبهای زیرزمینی با شبکه های هوشمند عصبی مصنوعی توسط احتشامی و دولت آبادی فراهانی درسال۱۳۹۰شبیه سازی شد[۱۲]. Kaluli,Madramootooدرسال۱۹۹۸، حذف نیترات با استفاده از تکنیک شبکه عصبی به تحقیق گذاشتند[۱۳]. پورفرح آبادی و همکاران در سال ۱۳۸۷ با استفاده ازشبکه عصبی مصنوعی، آلودگی نیترات در آبخوان کرج مورد بررسی قرار دادند، آنها آبخوان دشت کرج را به ۱۳ زون تقسیم وبراساس نمونه های مشاهده ای، بازه زمانی بصورت فصلی، طی سالهای ۸۱ تا ۸۴ انتخاب نمودند. آنها در طی تحقیق، غلظت نیترات، ضخامت لایه اشباع،میزان برداشت،افت سطح اب و مختصات جغرافیایی رابعنوان تخمین زننده معرفی نمودند، پس از شبیه سازی دریافتند که تخمین تغییرات نیترات در فصل تابستان دارای بیشترین دقت و فصل بهار حایز کمترین دقت می باشد واز آنجاییکه شاخص کارایی مدل پیشنهادی برای کلیه فصول برابر ۶۱/۶٪ بوده، لذا این مدل جهت شبیه سازی غلظت نیترات مناسب می باشد[۶].

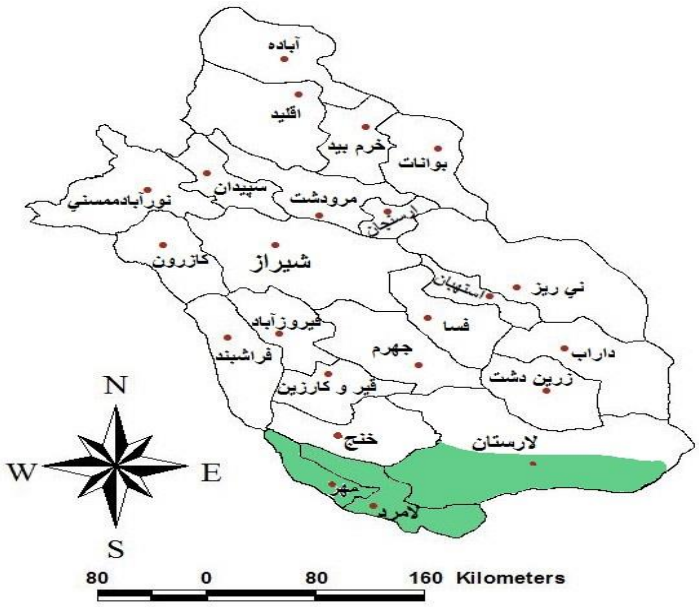
با بررسی تحقیقات و کارهای پژوهشی مرتبط با عناصرکیفی آب، چون یون نیترات، بعنوان شایعترین آلودگی منابع آب بحساب می آید، در نتیجه پژوهش جهت سالم سازی این ماده حیاتی حایز اهمیت میباشد. غالبا درمسائل مربوط به مهندسی آب، بطور گسترده دارای تحلیل بغرنج و پیچیده ومعمولا با عدم قطعیت در نتایج روبرو هستیم از این رو استفاده ازمدلهای هوشمند در این زمینه ازکارایی مناسبی برخوردار هستند. درپژوهش های مربوط به شبیه سازی نیترات منابع آب ازپارامترهای شیمیایی بندرت استفاده شده است. درتحقیق حاضر جهت شبیه سازی نیترات آب در تعدادی آبخوان در جنوب استان فارس از مدلهای هوش مصنوعی استفاده شده است. استفاده از پارامترهای شیمیایی جهت ورودی مدل میتواند نتایج قابل توجهی ارائه دهد و در آخر با مقایسه نتایج هر مدل، گزینه برتر انتخاب میگردد.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه دشت مرکزی، علامرودشت، مهر ولار در شهرستانهای لارستان، لامرد و مهر می باشد که مساحتی بالغ بر ۸۶۸۰ کیلومترمربع را در بر میگیرد. این ناحیه در موقعیت جغرافیایی با طول ′۵۴°۴۳ – ′۵۲°۴۶ شرقی و ′۲۷°۴۷ – ′۲۷°۱۲ شمالی واقع شده است. اشکال شماره یک و دو، موقعیت دشت لامرد را نشان می دهد.



شکل۱- موقعیت آبخوان مورد مطالعه



شکل۲ - محدوده مورد مطالعه در نقشه استان فارس

دو دشت لامرد (مرکزی) وعلامرودشت، بوسیله طاقدیس (کوه) واروی از یکدیگر جدا شده اند.(شکل۱). آبهای سطحی این دشت، توسط رودخانه شور که در میانه دشت لامرد جریان دارد زهکشی میشوند. این رودخانه ازغرب شهرستان مهر و منطقه قلعه سرگاه بخش اسیر مهر سرچشمه گرفته و پس از گذشتن از شهرستان لامرد وارد استان هرمزگان شده و سپس با پیوستن به رودخانه شور بزرگ به خلیج فارس می پیوندد. در دشت علامرودشت، رودخانه علامرودشت قرار گرفته که از دهستانهای صحرای باغ، بیرم و فداغ درشهرستان لار سرچشمه گرفته و به رودخانه دارالمیزان در نزدیکی روستای دارالمیزان و سپس به رودخانه دژگاه متصل میشود[۶]. تمام منابع تامین آب این چند شهرستان منابع زیر زمینی هستند

که از طریق چاه و بعضا چشمه و قنات، آب مورد نیاز بخش های مختلف را تامین می کند. وجود شرایط خشکی، تبخیر بالا و افزایش دوره های خشکسالی و از همه مهمتر بهره برداری غیر اصولی از این منابع، سبب افت کمی و کیفی این منابع در دهه های اخیر شده است. چنانچه این رویه ادامه داشته باشد در مدت زمانی نه چندان طولانی مشکلات ناشی از کمبود آب دامن این مناطق خواهد گرفت.

مواد و روش ها

برای انجام این پژوهش سه ابزار شبیه ساز نوین هوشمند جهت مقایسه عملکرد با تمرکز بر روی نیترات مورد استفاده قرار داده شده است. مختصری از شرح مدل در هر تکنیک در زیر بیان شده است. مدل ماشین بردار پشتیبان از ابزارهای هوشمند مبتنی بر داده است. ساختارماشین بردار پشتیبان یادگیری بانظارت است که از آن برای طبقه بندی و رگرسیون استفاده میکنند. این شبکه صرفا بر روی کاهش ریسک عملیاتی مربوط به عدم عملکرد صحیح، متمرکز می شود. جهت حل مسائل با ابعاد نامتناهی و پیچیده، به یک تابع کرنل مناسب نیاز دارد. الگوریتم های مبتنی بر ماشینهای بردار پشتیبان الگوریتم هایی هستند که سعی میکنند یک حاشیه را بیشینه کنند. روند کار نیز به اینصورت است که پس از تهیه آمارها از هر کاتیون، انها را نرمالیزه کرده و جهت شبیه سازی وارد برنامه متلب می شوند و با استفاده از توابع و فاکتورهای دیگر، شبیه سازی را به انجام میرساند. شرح کامل هر تکنیک از حوصله این مقاله خارج می باشد.

سیستم استنتاج فازی – عصبی یا نروفازی در واقع، شبکه عصبی مبتنی بر منطق فازی می باشد. شبکه پرسپترون شبکه مشهور عصبی میباشد این شبکه از سه لایه تشکیل شده است. تابع لایه اول و لایه آخر آن خطی و لایه میانی (مخفی) غیرخطی میباشد پردازش اطلاعات در لایه مخفی با استفاده از تابع سیگموئید و نرون های موجود طی فرایندی پیچیده صورت می پذیرد. از آنجاییکه تعداد لایه های پنهان باید تا حد امکان کم باشد و با توجه به ساختار تکنیک، هرتابع میتواند حداکثر با سه لایه پنهان تقریب زده شود، ابتدا شبکه بایک لایه پنهان آموزش داده میشود درصورت عملکرد نامناسب تعداد لایه هاافزایش داده میشود. تعداد نرونها در لایه پنهان بایک نسبت از داده های ورودی انتخاب میشوند درصورتیکه شبکهMLP *به نتیجه مطلوب همگرا نگردد با افزایش یا کاهش، آن را تنظیم میکنیم* در این پژوهش از پارامترهای شیمیایی آب (سدیم، بیکربنات، کلسیم و منیزیم) بعنوان ورودی های مدل انتخاب شده است. به منظور دست یافتن به نتیجه برتر، پانزده آرایش مطرح شده است که در هریک ازآرایشها یون نیترات بعنوان تارگت معرفی شده است. این ترکیبات با استفاده از سه تکنیک شبیه سازی شده است و نتایج هر سه تکنیک باهم مقایسه شده است. پس از استاندارد کردن آمار، ۷۵درصد داده ها را به منظور آموزش و ۲۵ درصد داده ها جهت صحت سنجی بکار گرفته شدند. برای ارزیابی عملکرد و دقت مدل های استفاده شده در مرحله ارزیابی نتایج از معیارهایی چون میانگین مربعات خطا MSE و ضریب رگرسیونی R استفاده شده است. ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. این ضریب بین ۱ تا ۱- است و درصورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر، برابر صفر است. همبستگی بین دو متغیر تصادفی X و Y به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\operatorname{corr}(X,Y)=\frac{\operatorname{cov}(X,Y)}{\sigma_X\sigma_Y}=\frac{E[(X-\mu_X)(Y-\mu_Y)]}{\sigma_X\sigma_Y}, \qquad (۱)$$

که در آن E عملگر امید ریاضی، cov به معنای کوواریانس(coefficient)، corr نماد معمول برای همبستگی (Correlation) پیرسون، و سیگما نماد انحراف معیار است. بدیهی است که مبنای تشخیص بهترین مدل یا آرایش در هر شبیه سازی ، بیشترین مقدار در ضریب همبستگی(Correlation Coefficient) و کمترین میزان MSE میباشد.

نتایج

همانطورکه گفته شد جهت بررسی عملکرد و دقت مدلهای ارائه شده در هر تکنیک با بهره از معیارهای ارزیابی انجام خواهد شد پس از شبیه سازی آرایش پانزده گانه توسط هر تکنیک، نتایج برتر، براساس تکنیک و نوع آرایش به شرح جدول شماره ۱ می باشد.

در جدول شماره ۱، در واقع مناسب ترین نتایج از شبیه سازی پانزده آرایش درهر تکنیک میباشد. جهت ارائه خلاصه نتایج، بهترین نتیجه از هر آرایش در هر تکنیک انتخاب شده است. سپس بهترین نتیجه از ضریب کارایی (R^2) بیشتر و میانگین مربعات خطای(MSE) کمتر حاصل می شود.براساس جدول شماره ۱ ،در مدل شماره شش با ترکیب کلسیم ، بیکربنات و نیترات ، مدل ماشین بردار پشتیبان با ضریب کارایی ۰/۹۴۹۹ و میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۴ نسبت به بقیه تکنیکها از عملکرد خوبی برخوردار بوده است(شکل۳).

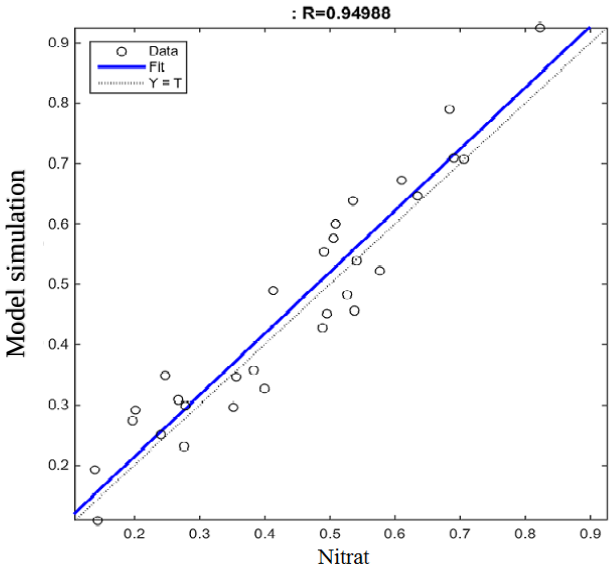
جدول ۱- نتایج تکنیک ها

ردیف	آرایش	R	MSE	تکنیک
۱	Ca,No3	۰/۸۷۱	۰/۰۰۸۴	svm
۲	Mg, No3	۰/۸۷۹	۰/۰۱۰۶	ANFIS
۳	Na, No3	۰/۸۶۸	۰/۰۱۱۳	ANN
۴	Hco3, No3	۰/۸۴۹	۰/۰۱۳	ANFIS
۵	Ca,Mg, No3	۰/۹۶۵	۰/۰۰۳۲	ANFIS
*۶	Ca,Hco3, No3	۰/۹۴۹	۰/۰۰۴	svm
۷	Mg,Hco3, No3	۰/۹۶۲	۰/۰۰۳۵	ANFIS
۸	Na,Ca, No3	۰/۹۲۰	۰/۰۰۵۴	svm
۹	Na,Hco3, No3	۰/۹۵۱	۰/۰۰۴۴	ANFIS
۱۰	Na,Mg, No3	۰/۹۴۷	۰/۰۰۵۸	ANFIS
۱۱	Ca,Mg,Hco3, No3	۰/۹۸۵	۰/۰۰۱۳	ANFIS
۱۲	Na,Ca,Hco3, No3	۰/۹۴۸	۰/۰۰۴۹	ANFIS
۱۳	Na,Ca,Mg, No3	۰/۹۸۶	۰/۰۰۰۹	ANN
*۱۴	Na,Mg,Hco3, No3	۰/۹۸۹	۰/۰۰۰۶	ANN
*۱۵	Na,Mg,Ca,Hco3, No3	۰/۹۹۷	۰/۰۰۰۲	ANFIS

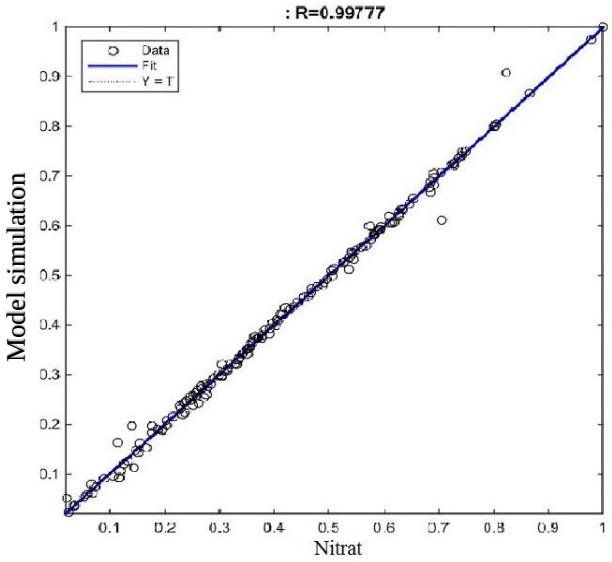
*مناسبترین نتیجه از هرآرایش

اما در مدل شماره چهارده، شبکه عصبی مصنوعی با تعداد ۹ نرون و تکرار ۲۰۰۰ با تابع انتقال سیگموئید، حایز بهترین ضریب کارایی با R^2= ۰/۹۸۹۳ و میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۰۶۹ می باشد(شکل۴). و همچنین در مدل شماره پانزده، سیستم استنتاج فازی-عصبی با سه تابه عضویت از نوع گوسین با

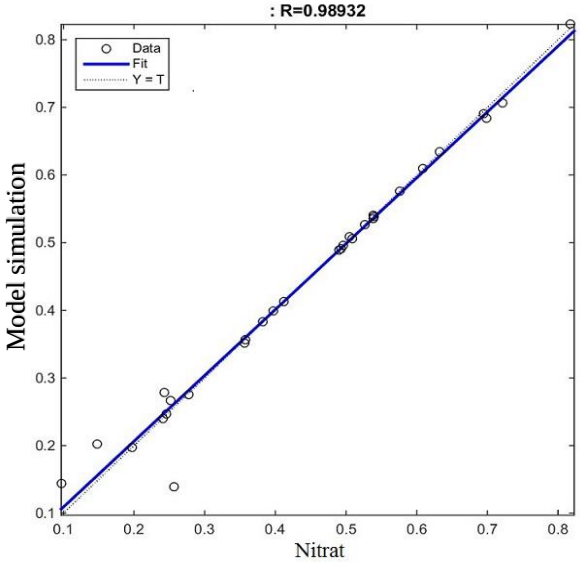
ایپاک ۳۰، دارای ضریب کارایی ۰/۹۹۷۸ و میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۰۰۲ می باشد(شکل۵). با نگاه کلی به نتایج مندرج در جدول شماره یک، بهترین نتیجه از بین آرایش های پانزده گانه ، آرایش شماره پانزده از سیستم استنتاج فازی–عصبی می باشد.



شکل ۳ – برازش بهینه در مدل شماره شش



شکل ٤- برازش بهینه مدل شماره چهارده



شکل ۵ – برازش بهینه در مدل شماره پانزده

ارزیابی نتایج

جدول (۲) گویای این مطلب است که تکنیک ماشین بردار پشتیبان با توجه به ساختار برنامه، خوب عمل کرده است ولی نسبت به سیستم استنتاج فازی– عصبی و شبکه عصبی مصنوعی مقداری ضعیف بوده است. لذا در این قیاس، مدل شماره پانزده با استفاده ازسیستم استنتاج فازی – عصبی در اولویت و شبکه عصبی مصنوعی در مدل شماره چهارده با همبستگی پایینتری، شبیه سازی مطلوبی داشته است.

جدول ۲ - بهترین آرایش ازهرتکنیک

تکنیک	SVM	ANN	ANFIS
آرایش بهینه	شماره شش	شماره چهارده	شماره پانزده
بهترین R	۰/۹۴۹	۰/۹۸۹	۰/۹۹۷
بهترین MSE	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۲

جمع بندی و نتیجه گیری

این تحقیق به واسطه شبیه سازی یون نیترات، کارایی مدل ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی–عصبی را قیاس نموده است. تخمین زننده های مدل، پارامترهای شیمیایی آب می باشد. پس از ایستا کردن آمار با استفاده از ابزار متلب ترکیبهای مختلف را مدل کرده و نتایج را با دو معیار ارزیابی مورد بررسی قرار داده است. در این راستا مدل های شماره شش با تکنیک SVM وچهارده با تکنیک ANN و پانزده با تکنیک ANFIS بهترین نتیجه داشته است. ارتباط عناصرتخمین زننده با نیترات با توجه به ضریب همبستگی، به ترتیب منیزیم(Mg) ۸۸٪ و بیکربنات (Hco3) ۸۵٪ و کلسیم (Ca) ۸۳ ٪ بیشترین تاثیر، و سدیم(Na) با ۷۷/۳ ٪

کمترین سهم در همبستگی با نیترات دارد. این نتیجه با نتایج اولیه اعتبارسنجی داده ها مطابقت دارد پس نتایج شبیه سازی میتواند مناسب و کارآمد باشد. با نگاه کلی به نتایج، تکنیک نروفازی(ANFIS) با همبستگی ۹۹/۷۸ درصد و میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۰۲ ، از کارایی مناسبی برخوردار بوده است. برآیند نتایج موید این مطلب است که با افزایش تخمین زننده های مدل، نتایج مطلوبتری حاصل خواهد شد. محدودیت هایی که میتواند نتایج این تحقیق را تحت الشعاع قرار دهد، مشکلات تهیه آمار و داده های دوره زمانی جهت شبیه سازی، بالاخص داده های آماری مربوط به نیترات می باشد. از آنجاییکه اعلام آمار نیترات در بعضی مناطق میتواند جو روانی همراه داشته باشد از تعمیم اطلاعات، جلوگیری بعمل می آید. بویژه نتیجه پژوهشهایی که خروجی آن صریح بوده و التهاب جامعه را در پی داشته باشد.

مراجع

۱ . دفتر مطالعات منابع آب شرکت آب منطقه ای فارس.۱۳۹۳.گزارش مطالعات منابع آب.

۲ . منهاج، محمدباقر.۱۳۷۷. شبکه های عصبی مصنوعی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۳ . البرزی،م.۱۳۸۳. آشنایی با شبکه های عصبی، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.

۴ . علاف نجیب ،م .مکاریان،ر.۱۳۹۰. تلفیق شبکه عصبی و کریجینگ در بررسی روند تغییرات نیترات در سفره آب زیر زمینی دشت تبریز.

۵ . سرتاج،م .و همکاران.۱۳۹۲. بررسی ماشین بردار پشتیبان در تخمین غلظت نیترات آبهای زیرزمینی.

۶ . پورفرح آبادی،ا.و محمدی ،ک. ۱۳۸۷. کنترل آلودگی نیترات در آبهای زیرزمینی بااستفاده ازمدل بهینه ساز.

7.Zare Abyaneh,H. Akhavan,S. 2010. Estimation of Nitrate in Hamedan-Bahar Plain Groundwater Using Artificial Neural Network and the Effect of Data Resolution on prediction Accuracy.

8.Behzad,M. Asghari,K. 2010.Comparative Study of SVMs and ANNs in Aquifer Water Level Prediction, Journal of Computing in Civil Engineering, Vol 24(5), 2010.

9.WenyanWu,G.Dandy,H.2013. Protocol for developing ANN models and its application to the assessment of the quality of the ANN model development process in drinking water quality modelling.

10.Galavi,H.Teang Shui,L.2012. Neuro-fuzzy modelling and forecasting in water resources, Journal of Computing in Civil Engineering.

11.Areerachakul,S.2014.Comparison of ANFIS and ANN for Estimation of Biochemical Oxygen Demand Parameter in Surface Water.

12.Ehteshami,M. Dolatabadi Farahani,N. 2016. Simulation of nitratecontamination in groundwater using artificial neural networks.

13.Kaluli, J.W. C.A.,Madramootoo, and Y.,Djebbar.1998.Modelingnitrate leaching using neural networks. Water Science Technology.