اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۴، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۶، ص ۱۱۰۳-۱۰۸۹

بهینه‌سازی روش DRASTIC با استفاده از هوش مصنوعی برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان چندگانهٔ دشت ورزقان

عطاءالله ندیری[۱*]، زهرا صدقی[۲]، نعیمه کاظمیان[۳]

۱. استادیار گروه علوم زمین، دانشکدهٔ علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکدهٔ علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۳. کارشناس شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان شرقی

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۲/۱۴؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۳/۳۰)

چکیده

با توجه به افزایش جمعیت و توسعهٔ فعالیت‌های کشاورزی و معدنی در دشت ورزقان که سبب افزایش مقادیر نیترات تا پنج برابر استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) شده، ارزیابی آسیب‌پذیری و حفاظت از منابع آب زیرزمینی در این منطقه اهمیت زیادی دارد. در این پژوهش، آسیب‌پذیری آبخوان چندگانهٔ دشت ورزقان در برابر آلودگی به کمک روش DRASTIC در محیط ArcGIS بررسی شده و بهینه‌سازی روش DRASTIC با استفاده از مدل ANN صورت گرفته است. برای اجرای روش DRASTIC از پارامترهای مؤثر در ارزیابی آسیب‌پذیری سفرهٔ آب زیرزمینی شامل عمق سطح ایستابی، تغذیهٔ خالص، جنس محیط آبخوان، نوع خاک، شیب توپوگرافی، مواد تشکیل‌دهندهٔ ناحیهٔ غیراشباع و هدایت هیدرولیکی استفاده شده که به‌صورت هفت لایهٔ جداگانه برای آبخوان آزاد و تحت فشار تهیه و بعد از رتبه‌دهی و وزن‌دهی و تلفیق این هفت لایه شاخص DRASTIC محاسبه شد که براساس نتایج به‌دست‌آمده شاخص DRASTIC برای آبخوان آزاد ۹۲- ۱۶۴ و برای آبخوان تحت فشار ۴۸-۹۳ برآورد شد. به‌منظور بهینه‌سازی روش DRASTIC، از مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی استفاده و به این منظور داده‌های ورودی (پارامترهای DRASTIC) و خروجی (شاخص آسیب‌پذیری) و مقادیر نیترات مربوط به آن به دو دستهٔ آموزش و آزمایش تقسیم شد و پس از آموزش مدل، با استفاده از مقادیر نیترات نتایج مدل در مرحلهٔ آزمایش ارزیابی شد. نتایج نشان داد مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی به‌کار گرفته‌شده، قابلیت بهبود نتایج روش DRASTIC اولیه را دارد. برای صحت‌سنجی نتایج روش کلاسیک و مدل هوش مصنوعی استفاده‌شده در این پژوهش، از داده‌های غلظت نیترات و ضریب همبستگی آن با شاخص آسیب‌پذیری در منطقه استفاده شد. مدل ANN با داشتن ضریب تعیین (R^2) و شاخص همبستگی (CI) بیشتر نسبت به روش DRASTIC و همچنین توانایی ارزیابی یکپارچهٔ آبخوان چندگانه و حذف خطای نظر کارشناسی اعمال‌شده در روش کلاسیک، روش بهتری برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان چندگانهٔ دشت ورزقان است.

کلیدواژگان: آسیب‌پذیری، آبخوان چندگانه، شبکهٔ عصبی مصنوعی، DRASTIC.

* نویسندهٔ مسئول

Email: nadiri@tabrizu.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر افزایش مصرف آب و پرهزینه‌بودن توسعهٔ منابع آب سطحی، فشارهای مضاعفی به منابع آب زیرزمینی وارد کرده است. در شرایط کنونی بخش شایان توجهی از مصارف آب به‌خصوص در بخش شرب، توسط منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. در صورت آلوده‌شدن آب زیرزمینی، رفع آلودگی بسیار پرهزینه خواهد بود و فرایندی طولانی خواهد داشت. بنابراین، با توجه به زیادبودن هزینه‌های پالایش آب‌های آلوده و محدودیت‌های موجود، جلوگیری از آلودگی منابع آب زیرزمینی بهترین راه حل است که این امر با شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان مقدور می‌شود. مفهوم آسیب‌پذیری نخستین‌بار در اواخر سال 1960 در فرانسه برای آگاهی‌بخشی دربارهٔ آلودگی آب زیرزمینی ارائه شده است [۱]. آسیب‌پذیری را می‌توان به‌عنوان امکان نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی تعریف کرد. آسیب‌پذیری آبخوان، نیروی آن را برای نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی نشان می‌دهد، به‌طوری که آلودگی تولیدشده در سطح زمین بتواند به آب زیرزمینی برسد و در آن پراکنده شود [۲]. از میان روش‌های مختلفی که برای ارزیابی آسیب‌پذیری به‌کار برده شده است، روش DRASTICجزء روش‌های متداول برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان‌ها است که پرکاربردترین روش نسبت به مدل‌های PCSM (Point Count System Models) است [۳]. در روش‌های PCSM علاوه بر طبقه‌بندی پارامترهای مختلف، ضرایب وزنی نسبی برای هر عامل تعیین می‌شود [۴]. روش DRASTICتوسط انجمن ملی آب زیرزمینی با همکاری آژانس حفاظت محیطی ایالات متحده ایجاد شده است، در این روش هفت عامل یا پارامتر قابل اندازه‌گیری برای سیستم هیدروژئولوژیکی در نظر گرفته شده که برای برآورد پتانسیل آلودگی آبخوان ضروری است [۵]. تا کنون روش‌های مختلفی برای بهبود روش DRASTIC طبق شرایط ویژهٔ محدودهٔ مطالعاتی استفاده شده است [۶ و ۷]. در برخی مطالعات برای بهینه‌سازی روش DRASTIC از روش‌های آماری استفاده شده و در بعضی از پژوهش‌ها نیز پارامترهای اضافی مانند کاربری اراضی، نوع و شدت آبیاری برای بهبود روش DRASTIC به‌کار رفته است [۸]. دیکسون (۲۰۰۵b)، به‌منظور بهبود روش‌های ایجاد نقشه‌های پتانسیل آلودگی، از اطلاعات کاربری اراضی، آفت‌کش‌ها و اطلاعات ساختار خاک استفاده کرده که با پارامترهای انتخاب‌شده روش DRASTIC در ارتباط است. این مطالعه در شهر Woodruff در منطقهٔ دلتای می‌سی‌سی‌پی آرکانزاس انجام شده است. در این پژوهش نقشهٔ حساسیت برای منطقه به سه روش تهیه شده است، سپس نقشه‌های به‌دست‌آمده با شاخص DRASTIC و داده‌های صحرایی کیفیت آب مقایسه شده است و در نهایت، نقشهٔ حساسیت به‌دست‌آمده از مدلی که بر اساس قانون فازی و اطلاعات ساختار خاک ایجاد شده همبستگی بهتری را با داده‌های صحرایی کیفیت آب نشان داده است [۹]. دیکسون (۲۰۰۵a) با استفاده از منطق فازی، آسیب‌پذیری آبخوان آرکانزاس را در مقیاس منطقه‌ای پیش‌بینی کرده است. هدف دیکسون از این تحقیق، بهینه‌سازی DRASTIC با استفاده از فازی‌سازی پارامترها و تعریف قوانینی برای به‌دست‌آوردن مقادیر آسیب‌پذیری و حساسیت‌سنجی پارامترهای ورودی بوده است [۱۰]. مطالعات فراوانی برای بهینه‌سازی روش DRASTICبا استفاده از انواع روش‌های هوش مصنوعی مانند مدل‌های فازی ساگنو (SFL)، ممدانی (MFL) و لارسن (LFL) [۱۱] و ماشین بردار پشتیبان (SVM)، نروفازی و برنامه‌نویسی بیان ژن (GEP) [۱۲] انجام شده است که نتایج این مطالعات نشان داد هر یک از مدل‌ها با داشتن ویژگی‌های منحصربه‌فرد در بهینه‌سازی توانایی زیادی ارائه داده‌اند [۱۳ـ۱۵]. هدف از این تحقیق، بررسی مؤثرترین مدل در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان چندگانهٔ دشت ورزقان است. با توجه به این مسئله که محدودهٔ مطالعاتی ورزقان یکی از قطب‌های معدن کشور و فعال از نظر کشاورزی و همچنین جزء دشت‌های آلوده به نیترات است، تفاوت عمدهٔ این پژوهش وجود آبخوان چندگانه (آزاد و تحت فشار) در دشت ورزقان است. درواقع بررسی آسیب‌پذیری با استفاده از روش‌های کلاسیک تا به حال برای این نوع آبخوان‌ها انجام نشده است. همچنین با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در منطقهٔ مطالعه‌شده، یکی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، شناسایی مناطق دارای پتانسیل آلودگی و شناسایی ساختار هیدروژئولوژیکی آبخوان چندگانهٔ دشت ورزقان است تا در سطح مدیریتی کمک به کنترل آلاینده‌های منابع آبی این منطقه باشد. در این تحقیق برای نخستین‌بار بررسی آسیب‌پذیری برای آبخوان آزاد و تحت فشار منطقهٔ ورزقان هم‌زمان با هم ولی جداگانه با اختصاص رتبه‌ها و ساختار لایه‌ای متفاوت برای هر دو نوع آبخوان

Archive of SID

www.SID.ir

منطقه به روش DRASTIC انجام شده است. اهداف ویژهٔ این تحقیق معرفی مزایای مدل هوش مصنوعی به‌ویژه شبکهٔ عصبی مصنوعی نسبت به روش کلاسیک و نیز مقایسهٔ نتایج مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی و DRASTIC در ارزیابی سیستم‌های پیچیده مانند آبخوان چندگانهٔ ورزقان است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

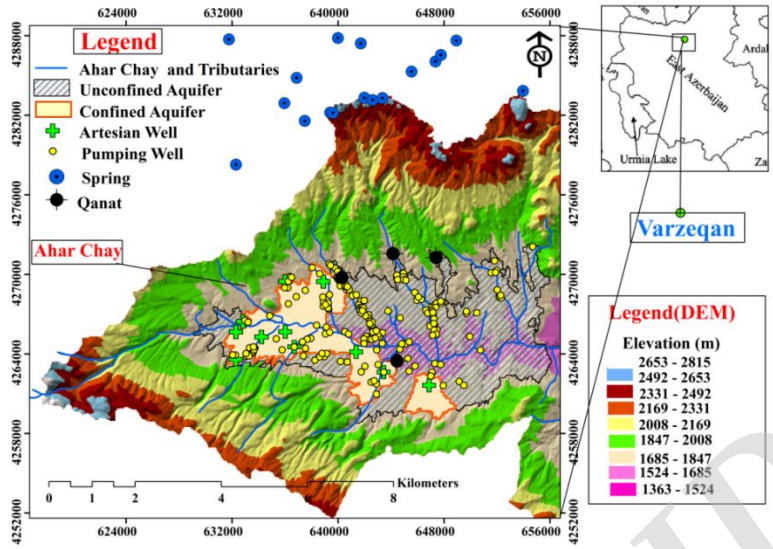
محدودهٔ مطالعاتی مد نظر آبخوان دشت ورزقان است. شهرستان ورزقان در استان آذربایجان شرقی و در ۷۰ کیلومتری شمال تبریز واقع شده است. وسعت محدودهٔ مطالعاتی ۵۰۰ کیلومترمربع است که دربرگیرندهٔ بخش‌های غربی حوضهٔ آبریز رودخانهٔ اهرچای است. به‌طور کلی، منطقهٔ مطالعه‌شده توپوگرافی هموار و شیب ملایمی به سمت جنوب شرق دارد. ارتفاع متوسط منطقهٔ مطالعاتی حدود ۱۷۵۰ متر از سطح آزاد دریاست. مرتفع‌ترین نقاط محدودهٔ مطالعاتی با ارتفاع تقریبی ۲۸۱۵ متر مربوط به بخش‌های شمالی، و پست‌ترین نقاط محدودهٔ مطالعاتی نیز در بخش‌های میانی و با ارتفاع تقریبی ۱۳۸۰ متر قرار دارد. رودخانهٔ اهرچای و شاخه‌های فرعی آن بر بستری جریان دارند که از طرفین شمالی و جنوبی توسط ارتفاعات احاطه شده‌اند. همین امر نیز موجب شده است جهت جریان آب‌های زیرزمینی و نیز زهکشی منابع آب سطحی به سمت بخش‌های شرقی و خروجی حوضهٔ آبریز رودخانهٔ اهرچای باشد. مهم‌ترین رودخانهٔ موجود در منطقهٔ ورزقان یعنی رودخانهٔ اهرچای در جهت غرب به شرق جریان می‌یابد و پس از زهکشی بخش بزرگی از منطقه، از سمت شرق ورزقان وارد منطقهٔ اهر می‌شود و بعد از طی مسیری طولانی به دریای خزر می‌ریزد. بیشترین میزان بارش در محدودهٔ مطالعه‌شده مربوط به ماه‌های خرداد، آبان و تیر با میانگین بارش ۶۱ میلی‌متر و کمترین میزان بارش به‌طور متوسط ۶ میلی‌متر مربوط به ماه‌های مرداد و دی است. شکل ۱ موقعیت منطقهٔ مطالعه‌شده و محدودهٔ تخمینی آبخوان آزاد و تحت فشار را نشان می‌دهد.

زمین‌شناسی منطقهٔ مطالعه‌شده

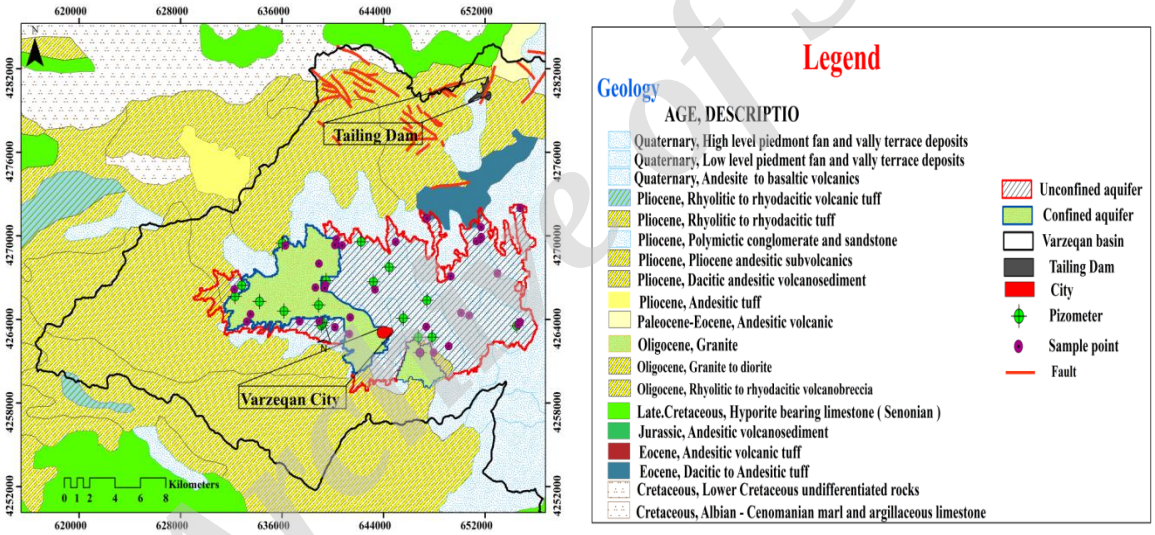
بررسی‌های زمین‌شناسی در منطقه گویای این واقعیت است که وجود و گسترش سیستم‌های درز و شکاف‌دار در سنگ‌های آذرین و سنگ‌های آهکی، در تغذیهٔ منابع آب زیرزمینی منطقه بسیار حائز اهمیت است و سازندهای آبرفتی موجود در منطقه که مربوط به رسوبات کنونی هستند، بخش‌های اصلی حوضهٔ آبریز رودخانهٔ اهرچای را تشکیل می‌دهند. کهن‌ترین سنگ‌های منطقهٔ مطالعه‌شده را مجموعه سنگ‌های دگرگون‌شدهٔ کلیبر با سن قدیمی‌تر از ژوراسیک تشکیل می‌دهند. در شمال غرب چهارگوش ورزقان گستره‌ای وسیع از سنگ‌های ولکانیکی با ترکیب آندزیت تا تراکی آندزیت قرار دارد. شرایط رسوب‌گذاری در زمان کرتاسهٔ فوقانی یک تنوع خاص و ویژه‌ای دارد. عامل زمین‌ساخت و فعالیت‌های فراوان آتشفشان‌های زیردریایی و احتمالاً اختلاف سطوح ریخت‌شناسی در این حوزه‌های رسوبی موجب ته‌نشست رسوبی- تخریبی و رخساره‌های آتشفشانی با ترکیب گوناگون شده است. بخش اعظمی از نهشته‌ها و رخساره‌های ائوسن در ورقهٔ ورزقان را واحدهای آتشفشانی، سنگ‌های ولکانوژنیک و ماسه‌سنگ کمی کربناته تشکیل می‌دهد. بخش‌های گسترده‌ای از جنوب شرق منطقهٔ ورزقان توسط مواد گدازه‌های مربوط به دورهٔ چهارم پوشیده شده است. ادامهٔ رخساره‌ای کواترنر در ورقهٔ ورزقان، دشت‌های آبرفتی است که با رخساره‌های سیلت، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، رس و ندرتاً عدسی‌های گچ (Q^{t1}) پوشانده می‌شود. به‌صورت محلی در نواحی مرکزی ورقهٔ ورزقان این واحد توسط آب‌های آهک‌دار و در بعضی مواقع همراه با کمی سیلیس آهکی، سیلیسی شده و سخت‌شدگی پیدا کرده‌اند. آبرفت‌های رودخانه‌ای (Q^{al})، متشکل از شن، سیلت و ماسه‌سنگ بیشتر بستر رودخانه‌های بزرگ (کلیبر- ایلگنه‌چای- اهرچای و. ..) که به شکل دره‌های تنگ و باز هستند و پادگانه‌ها و مخروط‌افکنه‌های جوان را تشکیل می‌دهند [۱۶]. شکل ۲ نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ مطالعه‌شده و موقعیت پیزومترها و محل‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد [۱۷].

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. منطقهٔ مطالعه‌شده و موقعیت منابع آب زیرزمینی در منطقهٔ ورزقان



شکل ۲. نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ مطالعه‌شده (م- مهرپرتو با همکاری آ- امینی فضل وج- رادفر، ۱۳۷۱). محدودهٔ آبخوان آزاد و تحت فشار و موقعیت پیزومترها و محل‌های نمونه‌برداری نیترات

مشخصات آبخوان چندگانهٔ دشت ورزقان

با توجه به بررسی‌ها و مطالعاتی که در منطقهٔ مطالعه‌شده انجام شده نتایج گویای این حقیقت است که آبخوان ورزقان چندتکه و چندگانه است. درواقع نتایج به‌دست‌آمده از لاگ چاه‌های اکتشافی و پیزومترها در دشت ورزقان، بیان‌کنندهٔ وجود دو نوع سفرهٔ آب زیرزمینی است. چاه‌های حفرشده در سطح دشت آثار هر دو نوع سفره را نشان می‌دهند که به احتمال خیلی زیاد، منطقهٔ تغذیه هر دو نوع سفرهٔ آزاد و محبوس در منطقهٔ ورزقان در بخش غربی دشت قرار دارد [۱۸ و ۱۶] طبق نتایج پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد (سعادتی) آبخوان دشت ورزقان از نوع آزاد و تحت فشار است که آبخوان تحت فشار زیر آبخوان آزاد واقع شده است [۱۹]. آبخوان‌های دشت ورزقان چندگانه است. براساس بررسی‌های انجام‌شده در این پژوهش در زیر آبخوان آزاد، آبخوان تحت فشاری گسترش ندارد. در واقع لایهٔ نفوذناپذیر رس و سیلتی‌ای وجود ندارد که به‌طور ممتد در زیر رسوبات آبرفتی آبخوان آزاد کشیده شده باشد. در این پژوهش بررسی‌ها دربارهٔ تعیین محدودهٔ آبخوان دشت ورزقان نشان داد آبخوان تحت فشار در

Archive of SID

www.SID.ir

مجاورت آبخوان آزاد در قسمت غرب و جنوب منطقهٔ مطالعه‌شده قرار دارد. در تعیین محدودهٔ آبخوان‌ها از سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای و همچنین بررسی اطلاعات به‌دست‌آمده از آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی و نتایج به‌دست‌آمده از لاگ چاه‌های اکتشافی و پیزومترها و کثرت چاه‌های آرتزین در قسمت شمال غربی و غرب دشت، محدودهٔ تقریبی آبخوان‌های آزاد و تحت فشار مشخص شد. در دشت ورزقان آبخوان اول از نوع آزاد با وسعتی حدود ۱۴۰کیلومترمربع که بیشتر از رسوبات دریاچه‌ای مانند رس، سیلت، ماسه و شن تشکیل شده که بیشتر قسمت‌های شرقی، مرکزی و شمالی دشت را در بر می‌گیرد، رسوبات سطحی آبخوان آزاد بیشتر شن و ماسه همراه با سیلت و رس ریزدانه است. در کنار آبخوان آزاد، آبخوان تحت فشاری گسترش دارد که با توجه به بررسی‌های اکتشافی و لاگ چاه‌ها و پیزومترهای موجود، رسوبات سطحی و فوقانی قسمت‌های شمال‌غربی و غرب و بخش کوچک‌تری از جنوب بیشتری از لایهٔ نفوذناپذیر رس و سیلت تشکیل شده است. ضخامت لایهٔ نفوذناپذیر از ۲ تا ۳۰ متر متغیر است. همچنین در محدودهٔ تعیین‌شده برای آبخوان تحت فشار، آثار تحت فشار بودن را می‌توان به‌صورت چاه‌های آرتزین به فاصله‌های کمتر از یکدیگر مشاهده کرد. در دشت ورزقان ۲۷ حلقه چاه اکتشافی حفر شده است. رودخانه‌های دوریق‌چای و اهرچای که از بلندی‌های شمال و غرب محدودهٔ ورزقان سرچشمه می‌گیرند و از سمت غرب و شمال شرقی وارد دشت ورزقان می‌شوند و نیز شش رودخانهٔ فصلی هم در فصول پرآبی، آبخوان دشت را تغذیه می‌کنند. علاوه بر آن، از سمت شمال و جنوب، از طریق سازندهای کنگلومرای پلیوسن نیز آبخوان دشت تغذیه می‌شود. بر اساس نتایج آماربرداری سال ۱۳۸۸، ۲۵۲ حلقه چاه، ۱۵۰ دهانه چشمه و ۲۰ رشته قنات در منطقهٔ مطالعاتی وجود دارد. در منطقهٔ مطالعه‌شده بررسی‌های زمین‌شناسی دربارهٔ کنار هم واقع‌شدن دو آبخوان آزاد و تحت فشار بیان‌کنندهٔ این مطلب است که ادامهٔ رخسارهٔ کواترنر در ورقهٔ ورزقان، دشت‌های آبرفتی است که با رخساره‌های سیلت، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، رس و به‌ندرت عدسی‌های گچ (Q^{t1}) پوشانده می‌شود. در گذر زمان در امتداد شاخه‌های اصلی رودخانهٔ اهرچای که اصلی‌ترین رودخانهٔ تغذیه‌کنندهٔ آبخوان ورزقان است، دره‌هایی تشکیل شده و بر اثر رسوب‌گذاری مواد ریزدانه مانند رس و سیلت روی رسوبات آبرفتی در امتداد دره‌ها آبخوان تحت فشاری به‌وجود آمده است که با گذشت زمان گسترش بیشتری یافته و همچنین وجود گسل‌هایی که سبب جابه‌جایی لایه‌های رسوبی تشکیل‌دهندهٔ آبخوان آزاد که شامل میان لایه‌های رسی است احتمال دارد که آبخوان آزاد را به آبخوان تحت فشار تبدیل کرده باشد. آبخوان تحت فشار در دو قسمت جنوبی و جنوب غربی دشت مشهود است. وسعت تخمینی برای آبخوان تحت فشار حدود ۵۷ کیلومترمربع است. در شکل‌های ۱ و ۲ محدودهٔ آبخوان‌های آزاد و تحت فشار دشت ورزقان نشان داده شده است.

روش پژوهش

آسیب‌پذیری نوعی خصوصیت نسبی، بدون بعد و غیر قابل اندازه‌گیری است و به ویژگی‌های آبخوان، محیط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی بستگی دارد [۲۰]. اصطلاح آسیب‌پذیری آبخوان از نظر مفهومی در هیدروژئولوژی به دو صورت آسیب‌پذیری ذاتی و آسیب‌پذیری ویژه تقسیم می‌شود. آسیب‌پذیری ذاتی به امکان آلودگی در یک منطقه بدون درنظرگرفتن آلاینده‌های خاص اشاره دارد. به‌بیانی، این نوع آسیب‌پذیری به ویژگی‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی منطقه و فعالیت‌های بشری بستگی دارد و مستقل از ماهیت آلاینده‌هاست. روش‌هایی همچون روش [**D** (Depth of water), **R** (net Recharge), **A** (Aquifer media), **S** (Soil media), **T** (Topography), **I** (Impact of vadose zone), **C** (Hydraulic conductivity)] DRASTIC به‌منظور ارزیابی این نوع آسیب‌پذیری استفاده می‌شود [۲۱]. آسیب‌پذیری ویژه نیز به آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی نسبت به آلاینده یا گروهی خاص از آلاینده‌ها اشاره دارد که به ویژگی‌های آلاینده و ارتباط آن با مؤلفه‌های مختلف آسیب‌پذیری ذاتی بستگی دارد [۲۲]. در این پژوهش روش DRASTIC برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان چندگانهٔ دشت ورزقان به‌کار رفته است. سپس برای بهینه‌سازی روش DRASTIC از مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی استفاده شده است. به‌منظور اجرای این روش در محیط ArcGIS مراحل آماده‌سازی نقشه‌های معیار مدل، وزن‌دهی و تلفیق لایه‌های مختلف اطلاعاتی اعمال شدند. روش DRASTIC در ابتدا برای استفاده در سیستم اطلاعات جغرافیایی طراحی نشده بود، اما تحقیقات نشان دادند چنین اجرایی از این روش مزایای بسیاری دارد. در اجرای این روش چگونگی محاسبهٔ رتبه و وزن‌دهی به پارامترها طبق طبقه‌بندی آلر و همکارانش

Archive of SID

www.SID.ir

انجام شد. با تجزیه و تحلیل این اطلاعات در محیط ArcGIS نقشهٔ پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان چندگانه تهیه شد (توضیحات کامل دربارهٔ چگونگی انجام روش DRASTIC در قسمت بحث و نتایج ارائه شده است). سپس به‌منظور اجرای مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی هفت پارامتر روش DRASTIC به‌عنوان ورودی و شاخص DRASTIC تصحیح‌شده با نیترات به‌عنوان خروجی مدل انتخاب شدند. همچنین برای صحت‌سنجی مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی از مقادیر اندازه‌گیری‌شدهٔ غلظت نیترات استفاده شده است.

روش DRASTIC

در سال‌های اخیر برآورد آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی توسط پژوهشگران مختلف و به روش‌های گوناگون انجام شده است. ساده‌ترین و متداول‌ترین روش برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی استفاده از مدل‌های وزن‌دهی است. در این روش‌ها پارامترها براساس تأثیری که بر آلودگی آب زیرزمینی دارند، امتیازدهی می‌شوند. روش DRASTIC هفت عامل یا پارامتر قابل اندازه‌گیری برای سیستم هیدروژئولوژیکی را در نظر می‌گیرد که برای برآورد پتانسیل آلودگی آبخوان ضروری‌اند. تحقیقات نشان داده است استفاده از محیط ArcGIS برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان نتایج قابل قبولی در پی خواهد داشت. مطالعات بسیاری از این روش بهره جسته‌اند که از آن جمله می‌توان بهبود روش DRASTIC توسط انجمن ملی آب زیرزمینی (NGWA: National Ground Water Association)، با همکاری آژانس حفاظت محیطی ایالات متحده (USEPA) ایجاد شده است را نام برد [۳]. روش DRASTIC برگرفته از هفت پارامتر هیدرولوژیکی است که شامل عمق آب (D)، میزان تغذیه (R)، جنس سفره (A)، جنس لایهٔ خاک (S)، شیب توپوگرافی (T)، تأثیر محیط وادوز (I) و هدایت هیدرولیکی سفره (C) هستند که به هریک از این پارامترها با توجه به پتانسیل آلودگی آن، نرخی از یک تا ۱۰ اختصاص داده می‌شود. یک به‌معنای کمترین و ۱۰ بیشترین خطر برای آلودگی آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود. هریک از پارامترهای روش DRASTIC با توجه به اهمیت نسبی آن در توانایی انتقال آلودگی به سیستم آب زیرزمینی در ضریب وزنی (۱ تا ۵) ضرب می‌شود [۳]. از این‌رو، شاخص DRASTIC براساس وزن‌دهی به مجموع هفت پارامتر به‌صورت رابطهٔ ۱ محاسبه می‌شود.

$$DI = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (۱)$$

در رابطهٔ یادشده DI شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC و حروف بزرگ نشان‌دهندهٔ پارامترهای هفت‌گانه و r نرخ ارزش (رتبه) و w وزنی است که به هر پارامتر تخصیص داده می‌شود. پس از محاسبهٔ شاخص DRASTIC، نواحی آسیب‌پذیر آبخوان مشخص می‌شوند. بزرگ‌بودن این شاخص بیان‌کنندهٔ آسیب‌پذیری بیشتر آب‌های زیرزمینی است. هدف مطالعات آسیب‌پذیری آب زیرزمینی، تهیهٔ نقشه و تعیین مناطقی با پتانسیل زیاد آسیب‌پذیری است. استفاده از روش مناسب برای تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی آسیب‌پذیری در یک منطقه بستگی به وجود داده‌ها و توزیع آنها، موقعیت هیدروژئولوژیکی، مقیاس و هدف نقشه دارد. برای تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان می‌توان از محیط ArcGIS استفاده کرد. در محیط ArcGIS امکان تلفیق مجموعه داده‌های مختلف برآورده‌شده با استفاده از روش یادشده وجود دارد. با استفاده از امکانات تحلیل فضایی که در ArcGIS قابل دسترسی است، لایه‌های اطلاعاتی براساس هفت مؤلفه DRASTIC ایجاد می‌شوند، وقتی مقادیر DRASTIC از طریق ArcGIS نشان داده شوند، رابطهٔ فضایی بین اجرای مدیریت اراضی و آسیب‌پذیری آب زیرزمینی مشخص می‌شود [۲۳]. در این تحقیق نیز برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی در منطقه و تهیهٔ نقشه از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است، همچنین از مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی برای ارائهٔ مدلی با کارایی بیشتر برای تعیین آسیب‌پذیری آبخوان چندگانهٔ ورزقان و بهینه‌سازی روش DRASTIC استفاده شده است. برای اجرای مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی داده‌های ورودی و خروجی روش DRASTIC و مقادیر نیترات مربوط به آن به دو دستهٔ آموزش و آزمایش تقسیم شده و مقادیر شاخص آسیب‌پذیری که نتایج به‌دست‌آمده از روش DRASTIC است با مقادیر نیترات اندازه‌گیری‌شده در دشت ورزقان تصحیح و آموزش مدل با این مقادیر تصحیح‌شده انجام شد به‌طوری که ورودی مدل در مرحلهٔ آموزش پارامترهای DRASTIC و خروجی آن مقادیر تصحیح‌شدهٔ شاخص آسیب‌پذیری است. برای اجرای مرحلهٔ آزمایش مدل پارامترهای DRASTIC و داده‌های مربوط به این مرحله به‌عنوان ورودی در نظر گرفته شده و شاخص آسیب‌پذیری آب زیرزمینی به‌عنوان خروجی برای این نقاط به دست آمده

Archive of SID

www.SID.ir

است. نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از غلظت نیترات ارزیابی شد. توضیحات مربوط به مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی در ادامه آورده شده است.

شبکهٔ عصبی مصنوعی (ANN)

یکی از مدل‌های هوش مصنوعی، مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) است. شبکه‌های عصبی مصنوعی الگویی برای پردازش اطلاعات هستند که با تقلید از شبکه‌های عصبی بیولوژیکی مثل مغز انسان ساخته شده‌اند. شبکهٔ عصبی مصنوعی یک مدل ریاضی است که توانایی مدل‌سازی و ایجاد روابط ریاضی غیرخطی برای درون‌یابی را دارد. مهم‌ترین کاربردهای شبکهٔ عصبی مصنوعی در علوم مهندسی را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد: ۱. تقسیم الگوها (داده‌ها، اشکال و غیره)؛ ۲. دسته‌بندی الگوها؛ ۳. پیش‌بینی در زمینه‌های مختلف؛ ۴. بهینه‌سازی؛ ۵. حافظهٔ در دسترس برای ذخیره‌سازی و ۶. کنترل سیستم‌های مختلف. [۲۴]. تعیین معماری یک شبکهٔ عصبی، نخستین گام در استفاده از این ابزار است که با اثبات قضیهٔ تقریب‌ساز توسط تیم تحقیقاتی چنین بیان شد که یک شبکهٔ عصبی پیشرو با یک لایهٔ مخفی سیگموئیدی و لایهٔ خروجی خطی قادر به تخمین هر نگاشت پیچیده‌ای با هر درجهٔ تقریبی خواهد بود [۲۵]. این قضیه تعداد لایه‌های مخفی را به کمترین حد ممکن کاهش می‌دهد و از این‌رو در کاهش پیچیدگی شبکه تأثیر بسزایی خواهد داشت. پس از آن میزان کارآیی شبکه به انتخاب مناسب تعداد نورون‌های لایهٔ مخفی بستگی خواهد داشت. چنانچه برای لایهٔ میانی شبکه‌های چندلایه پرسپترون به اندازهٔ کافی نورون در نظر گرفته شود، این شبکه‌ها قادر به تقریب مناسب هر تابعی هستند. هرچه پیچیدگی تابع بیشتر و تابع دارای نقاط عطف بیشتری باشد، مقدار نورون‌های لایهٔ میانی را نیز باید بیشتر در نظر گرفت اما باید توجه کرد که تعداد پارامترهای قابل تنظیم شبکه از تعداد داده‌های یادگیری کمتر باشد تا شبکه دچار آموزش بیش از حد نشده و بتواند به‌خوبی عمل تعمیم را انجام دهد. یادگیری بیش از حد بدین‌معناست که شبکه به‌جای یادگیری رابطه بین داده‌های ورودی و خروجی، تنها این داده‌ها را حفظ کند چون در برابر مثالی که قبلاً ندیده است نمی‌تواند خروجی مناسب ارائه دهد. در حالت کلی، انتخاب به‌صورت سعی و خطا انجام می‌شود. در این تحقیق شبکهٔ پرسپترون سه‌لایه با الگوریتم آموزش پس‌انتشار خطا در نظر گرفته خواهد شد. ساختار عادی یک شبکهٔ عصبی مصنوعی معمولاً از لایهٔ ورودی، لایه‌های میانی (مخفی) و لایهٔ خروجی تشکیل شده است. لایهٔ ورودی یک لایهٔ انتقال‌دهنده و وسیله‌ای برای تهیه‌کردن داده‌هاست. آخرین لایه یا لایهٔ خروجی شامل مقادیر پیش‌بینی‌شده به‌وسیلهٔ شبکه است و خروجی مدل را معرفی می‌کند. لایه‌های میانی یا مخفی که از گره‌های پردازشگر تشکیل شده‌اند، محل پردازش داده‌ها هستند. تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نورون‌ها در هر لایهٔ مخفی معمولاً با استفاده از روش آزمون و خطا تعیین می‌شود. نورون‌های لایه‌های مجاور به‌طور کامل با هم در ارتباط‌اند [۲۶].

معیارهای ارزیابی دقت مدل هوش مصنوعی به‌کار رفته در این پژوهش

در این پژوهش به‌منظور ارزیابی کارایی مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی و توانایی آن برای پیش‌بینی دقیق از سه معیار جذر میانگین مربع خطا (RMSE)، ضریب تبیین (R^2) و ضریب همبستگی (r) استفاده شده است. این سه معیار به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Vul_i - Vul_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Vul_i - \overline{Vul}\right)^2} \quad (۲)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Vul_i - \overline{Vul})\left(N_i - \bar{N}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Vul_i - \overline{Vul})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(N_i - \bar{N}\right)^2}} \quad (۳)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Vul_i - Vul_i\right)^2}{n}} \quad (۴)$$

در روابط یادشده، Vul_i نتایج شاخص آسیب‌پذیری مشاهداتی، Vul_i نتایج شاخص آسیب‌پذیری محاسباتی به‌وسیلهٔ مدل هوش مصنوعی، $\overline{Vul}$ میانگین مشاهداتی شاخص آسیب‌پذیری، n تعداد کل مشاهداتی، N_i غلظت نیترات و $\overline{N}$ میانگین غلظت نیترات را نشان می‌دهد. RMSE میزان خطای بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی را نشان می‌دهد و R^2 و r نشان‌دهندهٔ میزان بازده شبکه است. هرچه RMSE به صفر و R^2 و r به یک میل کنند، معرف بهترین جواب برای مدل بررسی‌شده است.

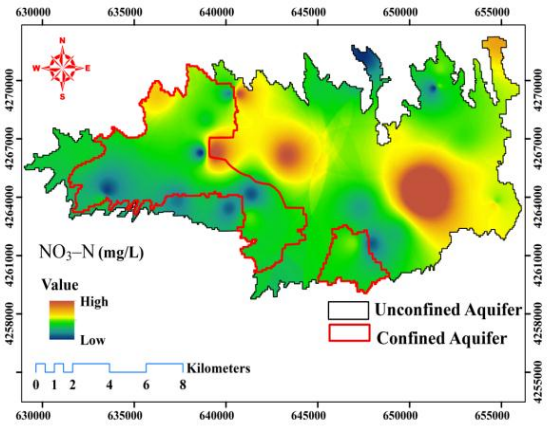
بررسی داده‌ها

در این مطالعه به‌منظور بررسی نتایج روش DRASTIC و مدل ANN از غلظت نیترات استفاده شده است. نمونه‌برداری

Archive of SID

www.SID.ir

از ۳۲ حلقه چاه نیمه‌عمیق و عمیق موجود از دو آبخوان با پراکندگی مناسب در آبان‌ماه ۱۳۹۴ صورت گرفت. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شکل ۲ نشان داده شده است. نمونه‌ها در آزمایشگاه آب‌شناسی دانشگاه تبریز تجزیه شیمیایی شدند. محل‌های نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی در سطح دشت پراکنده و محل‌هایی مانند مناطق مسکونی، زمین‌های کشاورزی را در بر می‌گیرد. شکل ۳ توزیع مکانی غلظت نیترات در آب زیرزمینی منطقه را نشان می‌دهد که با استفاده از روش IDW پهنه‌بندی شده است. روش معکوس وزنی فاصله یکی از روش‌های معمول برای درون‌یابی است و فرض اساسی این روش بر آن است که با افزایش فاصله، میزان تأثیر پارامترها در برآورد واحد سطح کاهش می‌یابد. یکی دیگر از عوامل مؤثر در IDW تعداد و موقعیت نقاط مجاور و به‌بیانی، وضعیت واحدهای همسایگی است. نتایج آماری روش IDW یا روش وزنی معکوس فاصلهٔ این پژوهش به‌ترتیب مقادیر MEAN, RMSE برابر با ۰/۸۲ و ۳۷ است. با توجه به نتایج روش درون‌یابی بیشترین غلظت نیترات در آب زیرزمینی را در قسمت شرقی و بخشی از مرکز دشت و در امتداد شاخه‌های فرعی رودخانهٔ اهرچای و کمترین غلظت نیترات را در محدودهٔ آبخوان تحت فشار نشان می‌دهد.



شکل ۳. توزیع مکانی غلظت نیترات در آبخوان چندگانهٔ دشت ورزقان

برای تهیهٔ لایه‌های مختلف روش DRASTIC اطلاعات مورد نیاز در این پژوهش از داده‌های عمق و سطح آب زیرزمینی پیزومترها و چاه‌های مشاهده‌ای مربوط به سال آبی ۱۳۹۱ـ ۱۳۹۲ و اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری و داده‌های ارتفاعی رقومی، لاگ چاه‌های مشاهده‌ای و اکتشافی موجود در دشت استفاده شده است که از سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و امور آب و فاضلاب شهرستان ورزقان تهیه شد.

نتایج و بحث

در روش DRASTIC باید نقشه‌های رقومی هر یک از پارامترها در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شود. پس از تهیهٔ نقشه‌های پایه و استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار در خصوص انجام عملیات رستری با برهم‌گذاشتن لایهٔ پارامترهای روش DRASTIC نقشه‌های اولیهٔ آسیب‌پذیری منطقهٔ مطالعه‌شده آماده شد. همچنین به‌منظور تهیهٔ نقشه‌های معیار روش DRASTIC آنالیزهای مکانی مختلفی روی داده‌های موجود در محیط ArcGIS صورت گرفت. شایان یادآوری است که برای پهنه‌بندی نقشه‌ها از روش IDW و کریجینگ در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. ایجاد پلیگون‌های تیسن، استخراج شیب از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) و تبدیل بردار به رستر اشاره کرد. هدف این پژوهش علاوه بر ارزیابی هم‌زمان آسیب‌پذیری آبخوان‌های چندگانهٔ دشت ورزقان و تعیین مناطق آسیب‌پذیرتر، بهینه‌سازی روش DRASTIC با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی و در واقع ارزیابی یکپارچه و هم‌زمان آبخوان چندگانهٔ دشت ورزقان است.

نتایج اجرای روش DRASTIC

به‌منظور اجرای روش DRASTIC در محیط ArcGIS مراحل آماده‌سازی نقشه‌های معیار مدل، وزن‌دهی و تلفیق لایه‌های مختلف اطلاعاتی اعمال شدند. در روش DRASTIC چگونگی محاسبهٔ رتبه و وزن‌دهی به پارامترها طبق طبقه‌بندی آلر و همکارانش (۱۹۸۷) برای تهیهٔ لایهٔ عمق آب زیرزمینی، در سفرهٔ آزاد از داده‌های ژرفای سطح ایستابی استفاده، اما برای آبخوان تحت فشار، ژرفای کف لایهٔ محبوس‌کننده به‌عنوان ژرفای سطح ایستابی در نظر گرفته می‌شود. تغذیهٔ خالص مقدار آبی است که از سطح زمین نفوذ می‌کند و به سطح ایستابی می‌رسد. یکی از راه‌های اصلی انتقال آلاینده‌ها به آب زیرزمینی، تغذیه است. تغذیهٔ آب موجب می‌شود تا آلوده‌کننده به‌صورت عمودی انتقال یابد و به سطح ایستابی برسد و به‌صورت افقی در آبخوان حرکت کند. همچنین آب تغذیه‌ای، حجم آب در دسترس برای پراکندگی و رقیق‌شدن آلاینده را در مناطق اشباع و غیراشباع کنترل می‌کند. تغذیهٔ

Archive of SID

www.SID.ir

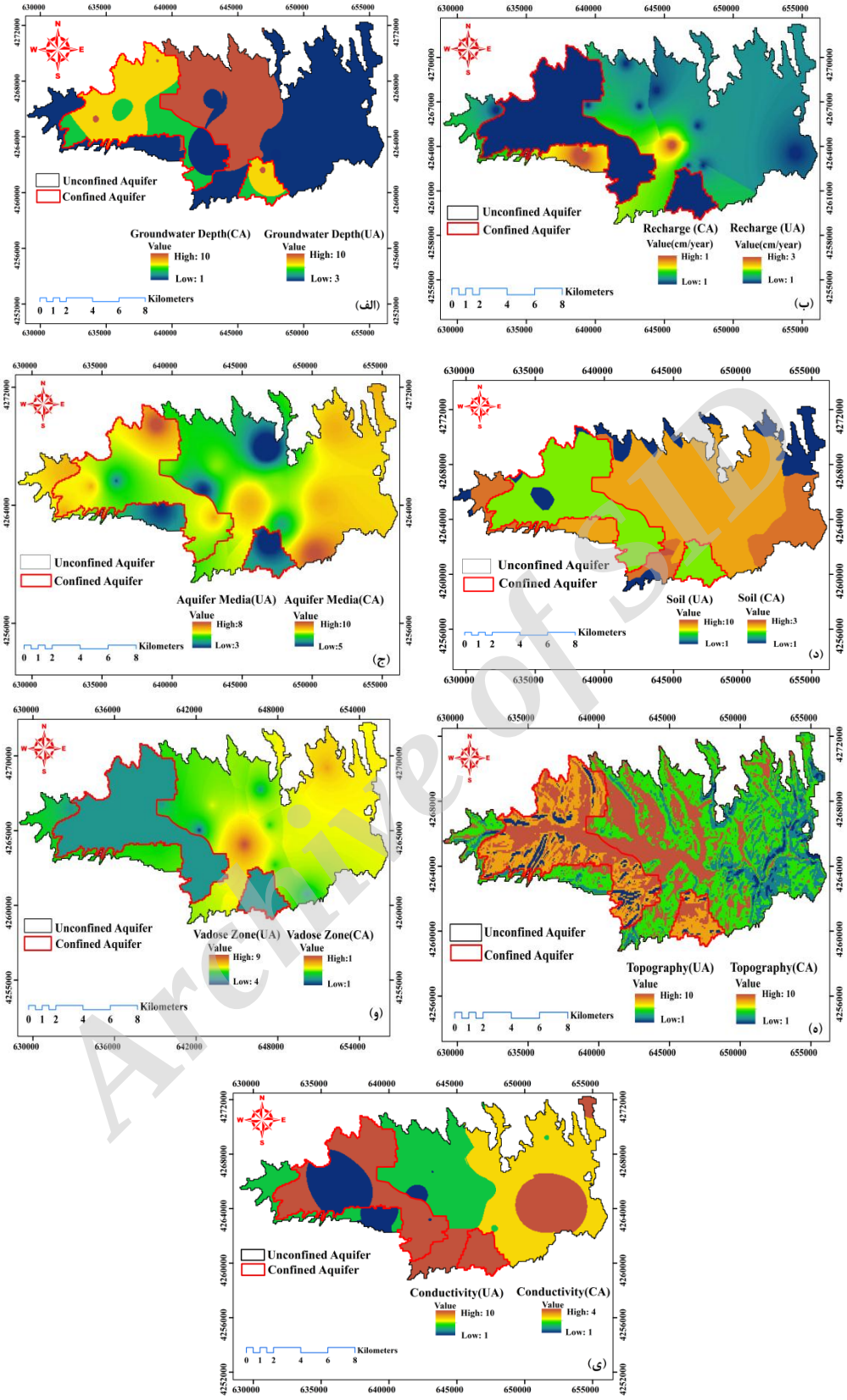
بیشتر موقعیت بیشتری را برای انتقال آلاینده‌ها به سطح آب زیرزمینی فراهم می‌آورد. برای تهیهٔ نقشهٔ محیط آبخوان و محیط غیراشباع با استفاده از لاگ چاه‌های منطقه جنس مواد تشکیل‌دهندهٔ آبخوان و محیط غیراشباع مشخص شد. چگونگی تهیه و رتبه‌دهی طبق نظر آلر و همکارانش برای هر دو لایهٔ محیط آبخوان و غیراشباع در هر دو آبخوان متفاوت محاسبه شد، که بنا بر گفتهٔ آلر و همکارانش برای آبخوان آزاد محیط آبخوان از سطح ایستابی تا سنگ کف و برای تحت فشار از زیر لایهٔ نفوذناپذیر تا سنگ کف در نظر گرفته شد. اطلاعات مربوط به محیط آبخوان دشت ورزقان از لاگ چاه‌های مشاهده‌ای و اکتشافی به‌دست آمد و بر حسب جنس مواد تشکیل‌دهندهٔ آبخوان به هریک نرخی بین یک تا ۱۰ اختصاص داده شد. سپس با اعمال درون‌یابی لایهٔ رستری مربوط به محیط آبخوان تهیه، و با توجه به جنس لایه‌های تشکیل‌دهندهٔ آبخوان رتبه‌دهی انجام شد. برای تهیهٔ لایهٔ محیط غیراشباع، از لاگ چاه‌های مشاهده‌ای و اکتشافی استفاده شد و روشی مشابه با لایهٔ محیط غیراشباع برای آبخوان آزاد موجود در منطقه، که شامل گراول، ماسه، سیلت و رس است. با این تفاوت که لایهٔ محیط غیراشباع در آبخوان تحت فشار به‌صورت لایهٔ محصورکننده در نظر گرفته می‌شود که سیلت و رس غیرقابل نفوذ است و در رتبه‌بندی DRASTIC به‌صورت لایهٔ محبوس‌کننده امتیاز یک را می‌گیرد. محیط خاک تأثیر مهمی در چگونگی تغذیه و متعاقب آن بر چگونگی حرکت آلاینده دارد. وجود مواد با بافت ریزدانه مانند سیلت و رس، تراوایی خاک را کاهش می‌دهد و به‌عکس مواد دانه‌درشت‌تر مانند شن، نفوذپذیری خاک و در نتیجه قابلیت انتقال آلاینده‌ها به سیستم آب زیرزمینی را افزایش می‌دهند. برای تهیهٔ لایهٔ محیط خاک از نقشهٔ خاک منطقه استفاده شد. این نقشه پس از رقومی‌سازی در ArcGIS به حالت رستری تبدیل شد. توپوگرافی بر حسب شیب و تغییرات آن عامل کنترل‌کننده‌ای در نفوذ آلاینده‌ها و تشکیل رواناب به‌شمار می‌رود، به‌طوری که افزایش شیب توپوگرافی موجب کاهش ماندگاری آب روی سطح زمین و کاهش نرخ نفوذ می‌شود. کاهش شیب نیز موجب افزایش نرخ نفوذ می‌شود و پتانسیل آلودگی بیشتری را ایجاد می‌کند. برای تهیهٔ نقشهٔ شیب از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) با دقت ۲۰ متر استفاده شد و پس از ویرایش در محیط ArcGIS، نقشهٔ شیب منطقه به‌دست آمد. هدایت هیدرولیکی، توانایی مواد تشکیل‌دهندهٔ آبخوان در انتقال آب را گویند که به درصد فضاهای خالی مرتبط به هم در لایهٔ آبدار بستگی دارد. این مشخصه، حرکت آلاینده و پخش آن را در منطقهٔ اشباع کنترل می‌کند. اطلاعات مربوط به هدایت هیدرولیکی از محاسبات آزمایش پمپاژ به‌دست می‌آید. برای تعیین مقادیر هدایت هیدرولیکی در نقاط مختلف دشت، مقادیر قابلیت انتقال بر اشباع آبخوان تقسیم شد. سپس این مقادیر به فرمت قابل قبول برای ArcGIS تبدیل و درون‌یابی شد. پس از تهیهٔ هفت لایهٔ مورد نیاز برای استفاده از روش DRASTIC، باید روش مدل‌سازی و تلفیق این لایه‌ها را انتخاب کرد. همهٔ لایه‌های مد نظر پس از تهیه بر اساس رتبه‌بندی روش DRASTICدر جدول ۱ وزن‌دهی شدند. برای رتبه‌بندی هریک از پارامترهای مورد نیاز در ارزیابی آسیب‌پذیری، وزن مربوط به هر پارامتر اعمال و تلفیق آنها با استفاده از تابع همپوشانی صورت گرفت و نقشهٔ نهایی آسیب‌پذیری به روش DRASTIC برای منطقه تهیه شد و طبق رابطهٔ ۱ شاخص آسیب‌پذیری محاسبه شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده شاخص DRASTIC برای آبخوان آزاد ۹۲- ۱۶۴ و برای آبخوان تحت فشار ۴۸-۹۳ برآورد شد که برای آبخوان آزاد ۳۳، ۵۹، ۸ درصد منطقهٔ مطالعه‌شده به‌ترتیب در مناطق با آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد واقع شده و برای آبخوان تحت فشار به‌ترتیب ۴۵، ۳۳، ۲۲ درصد در مناطق با آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد قرار دارد.

جدول ۱. وزن‌های اختصاص‌یافته به پارامترهای روش DRASTIC [۳]

پارامترهایDRASTIC	وزن نسبی
عمق آب زیرزمینی	۵
تغذیهٔ خالص	۴
محیط آبخوان	۳
محیط خاک	۲
توپوگرافی	۱
محیط غیراشباع	۵
هدایت هیدرولیکی	۳

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴. نقشهٔ پهنه‌بندی پارامترهای DRASTIC

الف) ژرفای آب زیرزمینی؛ ب) تغذیه؛ ج) محیط آبخوان؛ د) محیط خاک؛ ه) شیب سطح زمین؛ و) زون غیراشباع؛ ی) هدایت هیدرولیکی

Archive of SID

www.SID.ir

ضرورت استفاده از مدل هوش مصنوعی در این پژوهش

نتایج تحقیق و بررسی در پژوهش‌های مرتبط با ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌ها نشان می‌دهد در بیشتر پژوهش‌ها فقط ارزیابی آسیب‌پذیری برای آبخوان‌های آزاد انجام شده است. در پژوهش‌هایی که آسیب‌پذیری آبخوان تحت فشار بررسی شده است، بررسی آسیب‌پذیری آبخوان چندلایه به روش DRASTIC است که در این پژوهش‌ها آبخوان تحت فشار در زیر آبخوان آزاد واقع شده است. نمونهٔ این پژوهش توسط برزگر و همکارانش در سال ۱۳۹۲ برای آبخوان چندلایهٔ دشت تبریز به روش DRASTIC صورت گرفته است. در پژوهش حاضر برای نخستین‌بار ارزیابی آسیب‌پذیری هم‌زمان آبخوان‌های چندگانهٔ دشت ورزقان انجام شده که لایهٔ آزاد و تحت فشار کنار هم واقع شده‌اند. در واقع روش DRASTIC دو بار برای منطقهٔ مطالعه‌شده به‌طور جداگانه و با روش محاسبه‌ای متفاوت، ولی هم‌زمان برای آبخوان آزاد و تحت فشار انجام شده است. برای رفع ایرادهای واردشده به روش‌های کلاسیک که قادر به ارزیابی یکپارچهٔ آبخوان‌های چندگانه نیستند، از مدل‌های هوش مصنوعی استفاده شده است. درواقع ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از روش‌های کلاسیک به داده‌های مکانی پیوسته نیاز دارد و چون بررسی آسیب‌پذیری دشت ورزقان به‌دلیل نبود آبخوان یکپارچه با مشکلات فراوانی مانند عدم پیوستگی در داده‌های مورد نیاز روبه‌روست، با استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی که توانایی زیادی در تجزیه و تحلیل سیستم‌های پیچیده دارند امکان‌پذیرتر است. علاوه بر این، روش‌های کلاسیک با اینکه پاسخگو هستند یک عیب بزرگ دارند و آن اینکه کاملاً تحت نظر کارشناسی هستند. برای کاهش خطای نظر کارشناسی مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی به‌کار برده شد که روش مناسبی برای کاهش خطای برآوردی و انسانی نسبت به تئوری‌های دیگر است همچنین زمانی که روابط خیلی پیچیده باشد و تعداد پارامترهای مجهول برای سیستم بیشتر از روابط باشد، مدل‌های هوش مصنوعی پاسخ منطقی و قابل قبولی ارائه می‌دهند. در این پژوهش بررسی آسیب‌پذیری آبخوان‌های چندگانه بدون درنظرگرفتن چندگانگی آبخوان با تعریف ورودی‌ها و خروجی برای مدل با استفاده از شبکهٔ عصبی انجام گرفت. در نتیجه استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی علاوه بر کاهش خطای نظر کارشناسی روش‌های کلاسیک می‌تواند آبخوان را به‌طور یکپارچه در نظر بگیرد و درصد خطا و ضریب همبستگی را برای کل دشت به‌طور واحد محاسبه کند. هدف از به‌کاربردن روش‌های هوش مصنوعی، بهینه‌سازی نتایج روش DRASTIC است به‌طوری که با حفظ مزایای این روش، نتایج دقیق‌تری نسبت به روش DRASTIC اولیه و ذاتی به‌دست آید.

نتایج مدل‌سازی با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی

در این پژوهش برای اجرای مدل هوش مصنوعی به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های چندگانه در دشت ورزقان و همچنین برای رفع محدودیت‌های روش‌های کلاسیک در بررسی یکپارچهٔ این آبخوان‌ها از مدل‌های هوش مصنوعی از جمله شبکهٔ عصبی مصنوعی استفاده شد. در روش شبکهٔ عصبی مصنوعی هفت پارامتر روش DRASTIC به‌عنوان ورودی‌های مدل و شاخص DRASTIC تصحیح‌شده با نیترات با عنوان خروجی مدل به‌کار گرفته شدند.

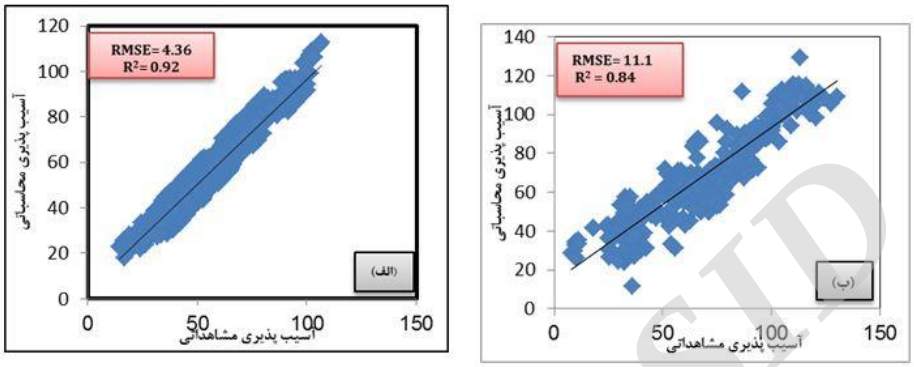
$$CVI = \frac{Vul_{max}}{(NO_3)_{max}} \times (NO_3) \qquad (۵)$$

در رابطهٔ یادشده، Vul_{max} حداکثر شاخص DRASTIC، $(NO_3)_{max}$حداکثر غلظت نیترات و $(NO_3)_i$ غلظت نیترات را نشان می‌دهد. مقادیر شاخص آسیب‌پذیری که همان نتایج به‌دست‌آمده از روش DRASTIC بود، با مقادیر نیترات مربوط به آن تصحیح و آموزش مدل با این مقادیر تصحیح‌شده انجام شد. به‌طوری که ورودی مدل در مرحلهٔ آموزش، پارامترهای DRASTIC و خروجی آن مقادیر تصحیح‌شده شاخص آسیب‌پذیری بود. برای اجرای مرحلهٔ آزمایش مدل، پارامترهای DRASTIC در داده‌های مربوط به این مرحله به‌عنوان ورودی در نظر گرفته شد و شاخص آسیب‌پذیری آب زیرزمینی به‌عنوان خروجی مدل برای این نقاط به‌دست آمد. یکی از مدل‌های استفاده‌شده برای محاسبهٔ آسیب‌پذیری آب زیرزمینی، مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی است. به این منظور از شبکهٔ سه لایهٔ پرسپترون با الگوریتم (MLP- LM) استفاده شده است. در این روش نیز شبیه روش فازی، هفت ورودی شامل پارامترهای DRASTIC به‌عنوان لایهٔ ورودی استفاده شد. تعداد نورون‌ها در لایهٔ میانی و خروجی به‌ترتیب برابر چهار و یک است. برای آموزش شبکه از الگوریتم LM استفاده شد که جزئیات آموزش و فرایند محاسبهٔ آن توسط

Archive of SID

www.SID.ir

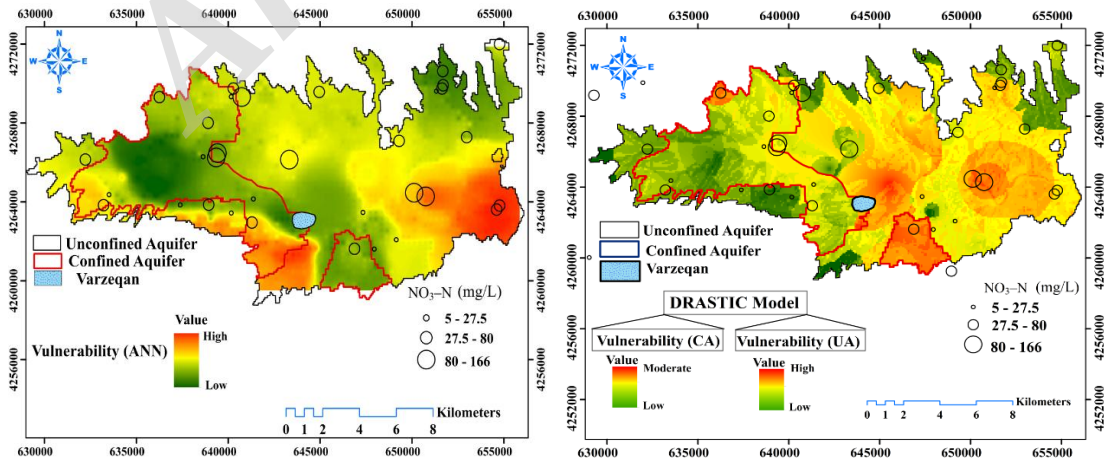
انجمن مهندسان عمران آمریکا ارائه شده است [۲۷]. تابع تبدیلگر در لایهٔ دوم از نوع سیگموئید تانژانتی (Tansing) و در لایهٔ سوم خطی (Purlin) انتخاب شده است. تعداد دوره‌های آموزش ۵۵ بوده و مقادیر ضریب تبیین (R^2) و RMSE برای مرحلهٔ آموزش به‌ترتیب ۰/۹۲ و ۴/۳۶ به‌دست آمده است. پس از آموزش، مدل برای مرحلهٔ آزمایش اجرا شد و ضریب تبیین آسیب‌پذیری پیش‌بینی‌شده با مقادیر نیترات برابر با ۰/۸۴ به‌دست آمده است. شکل ۵ نتایج مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی را نشان می‌دهد. شکل ۶ انطباق یون نیترات با نقشه‌های آسیب‌پذیری را برای روش DRASTIC و مدل ANN نشان می‌دهد.



شکل ۵. نتایج ANN در مقایسهٔ آسیب‌پذیری مشاهداتی و محاسباتی
الف) مرحلهٔ آموزش؛ ب) مرحلهٔ آزمایش

جدول ۲. نتایج معیارهای ارزیابی شبکهٔ عصبی مصنوعی و روش کلاسیک

مرحله	معیار ارزیابی	نوع مدل		
		UA	CA	ANN
آموزش	RMSE	-	-	۴/۳۶
	R^2	۰/۵	۰/۳	۰/۹۲
	r	-	-	۰/۹۵
آزمایش	RMSE	-	-	۱۱/۱
	R^2	-	-	۰/۸۴
	r	-	-	۰/۹۱



شکل ۶. نقشهٔ آسیب‌پذیری منطقهٔ مطالعه‌شده با استفاده از روش DRASTIC و مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی به‌همراه مقادیر اندازه‌گیری‌شدهٔ نیترات، Unconfined Aquifer (UA): و Confined Aquifer :CA).

Archive of SID

www.SID.ir

به‌منظور بررسی دقیق‌تر و همچنین مقایسهٔ دوبارهٔ روش کلاسیک و هوش مصنوعی استفاده‌شده در این پژوهش، از روش محاسبهٔ شاخص همبستگی (CI) در هر دو نوع آبخوان و داده‌های نیترات استفاده شد. به این منظور مقادیر نیترات به سه دستهٔ نیترات کم، متوسط و زیاد تقسیم شد. سپس تعداد چاه‌هایی که مقادیر نیترات آن با نقشه‌های آسیب‌پذیری ارزش یکسانی دارند و در یک گروه قرار دارند به ۳ ضرب می‌شوند، آن تعداد از چاه‌هایی که مقادیر نیترات و گروه آسیب‌پذیری آن به مقدار ۱ و ۲ اختلاف دارند به‌ترتیب در ۲ و ۱ ضرب می‌شوند. سپس مقادیر حاصل با هم جمع بسته می‌شوند و شاخص همبستگی (CI) به‌دست می‌آید که این می‌تواند همبستگی بین روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری و مقادیر نیترات را نشان دهد. CI بیشتر به معنای همبستگی بیشتر است [۱۱]. انطباق چاه‌های با سه سطح آلودگی نیترات و دسته‌های آسیب‌پذیری پیش‌بین‌شده توسط روش DRASTIC و مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی در جدول ۳ برای آبخوان چندگانه آورده شده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده روش DRASTIC برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان آزاد نسبت به تحت فشار به‌ترتیب با داشتن بیشترین شاخص همبستگی (CI) اولویت بیشتری دارند، ولی نتایج نشان‌دهندهٔ قابلیت زیاد مدل ANN در ارزیابی یکپارچهٔ دشت ورزقان نسبت به هر دو روش DRASTIC است.

جدول ۳. تطبیق چاه‌های اندازه‌گیری نیترات در سه سطح آلودگی با روش‌های DRASTIC(CA)، DRASTIC(UA)، ANN

مدل	دسته‌بندی	غلظت نیترات			CI
		کم	متوسط	زیاد	
DRASTIC(CA)	کم	۱	۲	۰	۱۳
	متوسط	۲	۱	۰	
	زیاد	۰	۱	۰	
DRASTIC(UA)	کم	۳	۳	۱	۵۳
	متوسط	۲	۴	۳	
	زیاد	۱	۴	۲	
ANN	کم	۵	۵	۲	۷۹
	متوسط	۵	۹	۳	
	زیاد	۰	۳	۱	

نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش، تعیین آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان چندگانهٔ دشت ورزقان با استفاده از روش DRASTIC و پس از آن بهینه‌کردن نتایج روش کلاسیک با استفاده از مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی بوده است. در این تحقیق، ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی هم‌زمان دو نوع آبخوان تحت فشار و آزاد موجود در دشت ورزقان انجام شده و تعیین مناطق دارای پتانسیل آلودگی بر اساس شرایط هیدروژئولوژیکی محدودهٔ مطالعه‌شده بررسی شده است. با توجه به مقادیر زیاد آلودگی نیترات اندازه‌گیری‌شده و وجود فعالیت‌های کشاورزی و معدنی زیاد در منطقه و همچنین قرارگرفتن سد باطلهٔ معدن مس سونگون در محدودهٔ حوضهٔ آبریز دشت ورزقان، احتمال آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقهٔ مطالعه‌شده بیشتر است. بنابراین، ارزیابی آسیب‌پذیری و تعیین مناطق با پتانسیل آلودگی زیاد ضرورت دارد. به این منظور، از ترکیب روش کلاسیک با سیستم اطلاعات جغرافیایی برای هر دو نوع آبخوان استفاده شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده شاخص DRASTIC برای آبخوان آزاد ۹۲- ۱۶۴ و برای آبخوان تحت فشار ۴۸-۹۳ برآورد شد. شاخص آسیب‌پذیری آبخوان چندگانهٔ ورزقان نشان می‌دهد آبخوان آزاد و تحت فشار از نظر طبقه‌بندی استعداد آلودگی به‌ترتیب در محدودهٔ متوسط تا زیاد و کم تا متوسط قرار می‌گیرد. همچنین برای تدقیق نتایج روش DRASTIC در دشت ورزقان دارای آبخوان چندگانه، و با توجه به این نکته که آبخوان محدودهٔ مطالعه‌شده سیستم پیچیده‌تری نسبت به آبخوان‌های یکپارچه دارد، از مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی که توانایی زیادی در تجزیه و تحلیل سیستم‌های پیچیده دارد برای بهینه‌سازی استفاده شد. مقایسهٔ بین غلظت نیترات آب زیرزمینی و روش DRASTIC هم نشان داد بین غلظت نیترات آب زیرزمینی و شاخص DRASTIC محاسبه‌شده

Archive of SID

www.SID.ir

همبستگی بیشتری در آبخوان آزاد نسبت به تحت فشار وجود دارد. در این پژوهش بهینه‌سازی روش DRASTIC با اجـرای مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی بـا الگـوریتم مـارکوات- لـونبرگ انجام شد. نتایج نشان می‌دهد مـدل هـوش مصـنوعی بـه‌کـار برده‌شده در این تحقیق با داشـتن CI و R^2 بیشـتر نسـبت بـه روش DRASTIC برآورد نسبتاً دقیقی از میزان آسیب‌پـذیری در منطقهٔ مطالعه‌شده در پی داشته است. بنابراین، با اصـلاح و بهینـه‌سـازی روش DRASTIC توسـط مـدل‌هـای هـوش مصنوعی می‌توان به نتایج دقیق‌تری نسبت به روش کلاسـیک برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دست یافت. بـا توجـه به اهمیـت آب زیرزمینـی در منطقـهٔ مطالعـه‌شـده کـه بـرای مصارف مختلف کاربرد دارد، جلوگیری از آلـوده‌شـدن منـاطق دارای پتانسیل آلودگی بیشتر به‌منظور مـدیریت بهینـهٔ منـابع آبی منطقه ضروری به‌نظر می‌رسد. پیشنهاد می‌شود بـا توجـه به مشخص‌شدن مناطق با آسیب‌پذیری زیاد در دشت ورزقـان و با وجود سد باطلهٔ معدن مس سونگون در نزدیکـی محـدودهٔ مطالعـه‌شـده از دفـع مـواد آلاینـده در منـاطق آسـیب‌پـذیر خودداری و رفتارنگاری دقیق و مداوم نیترات در سطح دشـت انجام شود، همچنین در بخش کشـاورزی کودهـای شـیمیایی نیتروژن‌دار با مواد با آلایندگی کمتر جایگزین شود.

منابع

[1]. Vrba J, and Zaporozec A. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. International Contributions to Hydrogeology. 1994;Verlag Heinz Heise GmbH and Co, KG.

[2]. Babiker I.S, Mohamed M.A.A, Hiyama T, and Kato K. A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. Science of the Total Environment. 2005; 345(1-3), pp 127-140.

[3]. Aller L, Bennett T, Lehr J. H, Petty R. J, & Hackett G. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. Ada Oklahoma: U.S. Environmental Protection Agency. 1987; 600/2-87-035.

[4]. Panagopoulos G, Antonakos A, & Lambrakis, N. Optimization of DRASTIC model for groundwater vulnerability assessment, by the use of simple statistical methods and GIS. Hydrogeology Journal.2006; 14: 894-911.

[5]. Shukla S, Mostaghimi S, Shanholt V. O, Collins, M.C. & Ross B. B. A county-level assessment of ground water contamination by pesticides. GroundWater Monitoring & Remediation. 2000; 20: 104-119.

[6]. Secunda S, Collin M.L, & Melloul A.J. Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israel's Sharon region. Journal of Environmental Management. 1998; 54: 39-57.

[7]. Dixon B. Groundwater vulnerability mapping: a GIS and fuzzy rule based integrated tool. Journal of Applied Geography. 2005b; 25: 327-347.

[8]. Dixon, B. Applicability of neuro-fuzzy techniques in predicting ground-water vulnerability: a GIS-based sensitivity analysis. Journal of Hydrology. 2005a; 309: 17-38.

[9]. Nadiri A.A, Asghari Moghaddam A, Sadeghi F, Aghaee H. Investigation of Arsenic Anomalies in Water Resources of Sahand Dam. Journal of Environmental Studies. 2012; 38(3).

[10]. Nadiri A.A, Asghari Moghaddam A, Abghari H. Supervised Committee Fuzzy Logic Model for Estimation of Aquifers Transmissivity Case study: Tasuj Plain. Water and Soil Science. 2014.

[11]. Fijani E, Nadiri A.A, Asghari Moghaddam A, Tsai F, & Dixon B. Optimization of DRASTIC Method by Supervised Committee Machine Artificial Intelligence to Assess Groundwater Vulnerability for Maragheh-Bonab Plain Aquifer, Iran. Journal of hydrology. 2013; 530: 89-100.

[12]. Nadiri A.A, Gharekhani M, Khatibi R, Sadeghfam S. Groundwater vulnerability indices conditioned by Supervised Intelligence Committee Machine (SICM). Science of The Total Environment. 2017a; 574: 691-706.

[13]. Nadiri A.A, Gharekhani M, Khatibi R, AsghariMoghaddam A. Assessment of Groundwater Vulnerability Using Supervised Committee to Combine Fuzzy Logic Models. Journal of EPSR (Environment Pollution Science Research). 2017b; 564-653.

[14]. Javanshir G Nadiri A.A, Sadeghfam S, Novinpour E. Introducing a new method to aquifer vulnerability assessment of Moghan plain based on combination of DRASTIC, SINTACS and SI methods. Ecohydrology.1395; Page 491-503. *[Persian]*.

[15]. Gharekhani M. Optimization of groundwater vulnerability assessment methods using artificial intelligence models, Case study: Ardabil aquifer. MS. Thesis, Tabriz University , IRAN.1394. *[Persian]*

Archive of SID

www.SID.ir

[16]. Yekom Consulting Engineers. Detailed, Reports and semi comprehensive groundwater studies of plains of East Azarbaijan Regional Water Company in ArcGIS media. Studies of groundwater study area Ahar-Varzeqan. 1388; page 208. ***[Persian]***.

[17]. Mehrpartou M, Amini Fazl A, and Radfar J. Geologic map of Varzeghan. scale 1:100000.1371. *[Persian]*.

[18]. Consulting Engineers Water Frespand. Providing balance and water cycle of Ahar – Varzeqan in the study area. Department of Energy, East Azerbaijan Regional Water company. 1383. *[Persian]*.

[19]. Saadati H. Groundwater and Surface water quality studies of Varzeqan area. MS. Thesis, Tabriz University, IRAN, 1390. *[Persian]*.

[20]. Gogu R.C, & Dassargues A. Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods. Environmental Geology. 2000; 39: 549-559.

[21]. Almasri M. N. Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza coastal aquifer, Palestine. Journal of Environmental Management. 2008; 88: 577-593.

[22]. Stigter T. Y, Ribeiro L, & Carvalho Dill A. M. M. Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal, Hydrogeology Journal. 2006; 14: 79-99.

[23]. Soper R. C. Groundwater vulnerability to agrochemicals: A GIS-based DRASTIC model analysis of Carrol, Chariton, and Saline Counties, Missouri, USA. Master science thesis, University of Missouri-Columbia. 2006.

[24]. Anil K.J, Mao J, & Mohiuddin K.M. Artificial neural network: a tutorial. IEEE. 1996.

[25]. Hornik K, Stimchcombe M, & White H. multilayer feed forward network are Universal approximators, Neural Networks.1989; 2: 359-366.

[26]. Nadiri A.A,. Groundwater level prediction using artificial neural networks model in the Metro area in Tabriz. MS. Thesis, Tabriz University , IRAN. 1386. *[Persian]*.

[27]. ASCE, Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, Artificial Neural Network in hydrology, part I and II. Journal of Hydrologic Engineering. 2000; 5(2):115-137.

Archive of SID

www.SID.ir