



سجش از دور

و

GIS ایران



سال سوم، شماره اول، بهار ۱۳۹۰
Vol.3, No.1, Spring 2011

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

۱-۱۸

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، با کمک الگوریتم‌های فازی عصبی (مطالعه موردی: استان زنجان)

منوچهر فرج‌زاده‌اصل^{۱*}، عثمان محمدی^۲

۱. دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس
۲. کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۵/۲۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۷/۱۹

چکیده

ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان، کاری سودمند برای توسعه و مدیریت و تصمیم‌گیری‌های مربوط به کاربری اراضی، نحوه پایش کیفی منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از آلودگی این آب‌ها به شمار می‌آید. هدف از این مطالعه، به‌کارگیری مدل هوشمند ریاضی برای پیش‌بینی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در استان زنجان است و به همین خاطر با استفاده از مدل ANFIS، روش جدیدی برای تخمین آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی ارائه شده است. فرایند توسعه و ارزیابی این مدل با استفاده از مجموعه داده‌های واقعی و معیارهای آماری صورت گرفته است. بدین منظور با تهیه داده‌های مورد نیاز شامل عمق سطح آب زیرزمینی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، تأثیر منطقه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی آبخوان، اقدام به ایجاد مدل ANFIS شد. در مرحله بعد نتایج حاصل از مدل با داده‌های واقعی اعتباریابی گردید. طبق نتایج تحقیق، مدل ایجادشده توان پیش‌بینی موفقیت‌آمیز آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی را دارد. مقادیر R^2 و RMSE در مرحله آموزش به ترتیب ۱۰۱/۱۸ و ۰/۹۸، و در مرحله ارزیابی ۱۷۳/۸ و ۰/۹۴ به‌دست آمدند. روش ارائه‌شده در این تحقیق، رهیافت جدیدی در تخمین آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به شمار می‌آید و قابلیت اتصال و ترکیب با مدل‌های دیگر و نیز به‌هنگام‌سازی با توجه به شرایط واقعی را به‌خوبی دارد. در بررسی نتایج حاصل از مدل ANFIS، بیشترین درصد پتانسیل آلودگی دشت مربوط به کلاس آسیب‌پذیری کم ۷۴ درصد، و کمترین آن مربوط به کلاس خیلی بالا ۱ درصد برآورد شده است.

کلیدواژه‌ها: آسیب‌پذیری، آب‌های زیرزمینی، پیش‌بینی، ANFIS، زنجان.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان جلال آل احمد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی تلفن: ۰۹۱۲۱۷۲۳۱۲۴

۱- مقدمه

ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان، از امور سودمند برای توسعه و مدیریت و تصمیم‌های مرتبط با کاربری اراضی، نحوه پایش کیفی منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از آلودگی این آب‌ها به‌شمار می‌آید. روش‌ها بر این اساس اند که برخی از مناطق استعداد بیشتری برای آلوده شدن - در مقایسه با دیگر مناطق - دارند.

از جمله شاخص‌های مهم برای نشان دادن کیفیت آب آشامیدنی و کشاورزی، میزان نیترات موجود در آن است (Krapac et al., 2002, Criss and Davisson, 2004). نیترات از طریق تجزیه و فساد پس‌مانده‌های انسانی و حیوانی، تولیدات صنعتی و رواناب حاصل از کشاورزی وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود (Criss and Davisson, 2004, Di and Comeron, 2002). غلظت‌های نامطلوب نیتروژن در آب، در بردارنده تأثیرات مستقیم بهداشتی و بوم‌شناختی است (Krapac et al., 2002; Lundberg et al., 2004).

سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا حداکثر مجاز غلظت نیترات را که می‌تواند در آب‌های مخصوص آبیاری وجود داشته باشد، ۴۵ میلی‌گرم در لیتر تعیین کرده است (US-EPA, 1996). در استانداردهای سازمان محیط‌زیست ایران نیز حد آستانه مجاز میزان نیترات برای تخلیه به آب‌های سطحی ۵۰ میلی‌گرم NO₃- در لیتر، و برای تخلیه به چاه‌های جاذب آب ۱۰ میلی‌گرم در لیتر ذکر شده است (سازمان محیط‌زیست ایران، ۱۳۷۳).

با توجه به افزایش جمعیت جهان و نیاز به غذای بیشتر، مصرف کودهای نیتروژنی جایگاه خاصی یافته است. افزایش غلظت یون نیترات در محلول خاک و سپس آب‌شویی آن به سمت سفره‌های آب زیرزمینی سبب افزایش غلظت نیترات در آب می‌شود و می‌تواند مشکلات فراوان بهداشتی و بوم‌شناختی ایجاد کند.

در همه روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری، عدم قطعیت و بی‌اطمینانی امری ذاتی است. کمبود یا فقدان دقت لازم، ناشی از خطای اطلاعاتی، متغیر بودن

پارامترهای هیدروژئولوژیکی نسبت به زمان و مکان، و خطای ناشی از تقریب در کامپیوتر است. رفع آلودگی آب‌های زیرزمینی فرایندی طولانی و بس پرهزینه است و معمولاً هم آلودگی هنگامی تشخیص داده می‌شود که دیگر رفع آلودگی آبخوان تقریباً ناممکن است (Vrba and Zoporozec, 1994). مدل‌های فازی با توجه به قابلیت‌شان می‌توانند در بررسی مدل‌های توصیفی و کیفی مؤثر باشند (FANG, 1997). دو (Dou) و همکاران (۱۹۷۷) در تحقیقی از منطق فازی برای تخمین کیفیت آب زیرزمینی استفاده کردند و نتیجه گرفتند که می‌توان از چندین مدل ریاضی برای مدل کردن منطقه‌بندی آلودگی، توزیع مکانی آلاینده‌ها و پیش‌بینی تجمع آنها استفاده کرد. از آنجا که در ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی نیز دسته‌بندی اطلاعات و تعیین مرز بین این دسته‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد، با منطق فازی آسیب‌پذیری بهتر از روش‌های معمولی ارزیابی می‌شود (Dixon and Scott, 1998).

تحقیقات نشان می‌دهند که با استفاده از روش ترکیبی فازی عصبی می‌توان آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی را ارزیابی کرد. از جمله ابزارهای مناسبی که کمک مؤثری به مدیریت آب‌های زیرزمینی می‌کنند، تهیه نقشه‌هایی است که در آنها مناطق آسیب‌پذیر یا حساس به آلودگی‌ها، مشخص شده باشند (Gogu and Dassargues, 2000). دیکسون در بررسی کاربرد روش‌های فازی عصبی برای پیش‌بینی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، با ترکیب GIS و سیستم‌های فازی عصبی، امکان تجزیه و تحلیل حساسیت مدل و نمایش نتایج را در چارچوب ساده مکانی فراهم آورده است (Dixon, 2005). از دیگر پارامترهای تأثیرگذار بر پتانسیل آلودگی، محیط تشکیل‌دهنده آبخوان است (میرزایی، ۱۳۸۷). در میان روش‌های جدید مدل‌سازی سیستم‌های فازی جایگاه ویژه‌ای در زمینه‌های مختلف علوم دارند (Riahi-Madvar, 2008) توانایی پیاده‌سازی دانش بشری با استفاده از مفاهیم خاص زبانی و قواعد فازی، غیرخطی بودن و قابلیت تطبیق‌پذیری این سیستم‌ها و دقت بهتر آنها در مقایسه با دیگر روش‌ها

از میزان تأثیرپذیری مدل از پارامترهای مختلف و مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های GODS و DRASTIC انجام گردید.

مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های DRASTIC و GODS نشان می‌دهد که در هر دو روش، آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوین در دو گروه آسیب‌پذیری کم و متوسط قرار می‌گیرد. در روش GODS محدوده آسیب‌پذیری کم ۳۵ درصد است و آسیب‌پذیری متوسط ۶۵ درصد؛ و در روش DRASTIC آسیب‌پذیری کم ۴۹ درصد و آسیب‌پذیری متوسط ۵۱ درصد از مساحت دشت را به خود اختصاص داده است. مقایسه این دو روش نشان می‌دهد که روش DRASTIC آسیب‌پذیری آبخوان را کمتر از روش GODS برآورد می‌کند. تحلیل حساسیت به دو روش تک‌پارامتری و حذف پارامتر انجام شده است. در روش تک‌پارامتری حساسیت شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC به پارامترهای منطقه غیراشباع، محیط آبخوان، نوع خاک، توپوگرافی، عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص و هدایت هیدرولیکی به ترتیب کاهش می‌یابد. در روش حذف پارامتر حساسیت آسیب‌پذیری آبخوان به پارامترهای منطقه غیراشباع، عمق آب‌های زیرزمینی، میزان تغذیه، هدایت هیدرولیکی، محیط آبخوان، توپوگرافی و خاک کاهش می‌یابد. رنگزن و همکاران (۱۳۸۷) در تحقیقی با عنوان پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت ورامین واقع در جنوب‌شرق تهران، با استفاده از مدل دراستیک و ارزیابی تجربی تأثیر منطقه غیراشباع در محیط GIS اظهار داشتند که پارامترهای مدل دراستیک براساس مهاجرت یون نیترات در محیط زیرسطحی، مورد واسنجی قرار گرفته و به‌منظور دستیابی به بیشترین انطباق با داده‌های مشاهده‌ای غلظت نیترات، وزن پارامترهای عمق آب زیرزمینی، خاک، محیط غیراشباع و هدایت هیدرولیکی تصحیح شده است. نقشه نهایی در این تحقیق نشان می‌دهد که ۰/۰۶ درصد آبخوان کاملاً آسیب‌پذیر، ۱/۹۴

در شرایط محدودیت داده‌ها، مهم‌ترین ویژگی‌های این سیستم‌ها به‌شمار می‌آیند (Dezfuli, 2005). سیستم فازی، سیستمی منطبق بر قواعد منطقی شرط نتیجه است. نقطه شروع ساخت سیستم فازی، به‌دست آوردن مجموعه‌ای از قواعد «اگر - آن‌گاه» فازی با استفاده از دانش افراد خبره یا دانش حوزه مورد نظر است (Zadeh, 1965, Jamshidi, 2003). از دیگر روش‌های جدید مدل‌سازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی است که مهم‌ترین دلیل قدرتمندی آنها قابلیت آموزش‌پذیری‌شان از روی الگوهای آموزشی (ورودی‌ها و خروجی‌های متناسب) با استفاده از الگوریتم‌های مختلف آموزش است که بر این اساس رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی را شناسایی می‌کنند. اصطلاح^۱ ANFIS مخفف عبارت «سیستم استنتاج فازی تطبیق‌پذیر» (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی است. (Buyukbingol, 2008). بنابراین، ترکیب سیستم‌های فازی که بر قواعد منطقی استوارند و روش شبکه‌های عصبی مصنوعی که توان استخراج دانش را از اطلاعات عددی دارند، این امکان را فراهم می‌سازند که در کنار استفاده از دانش بشری، به‌کارگیری اطلاعات موجود نیز در ساخت مدل میسر گردد (Riahi-Madvar et al., 2009; Polat et al., 2008).

در ایران، رزاق‌منش و همکاران (۱۳۸۳) در تحقیقی با عنوان تخمین آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به روش دراستیک در دشت چمچال استان کرمانشاه نشان دادند که مقدار شاخص به‌دست‌آمده وضعیت آسیب‌پذیری به چهار رده «کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد» تقسیم‌بندی گردید. از آن میان ۲۶ درصد از مساحت منطقه در رده کم، ۴۴ درصد در رده متوسط، ۲۵ درصد در رده زیاد و ۵ درصد نیز در رده خیلی زیاد قرار گرفتند. خدائی و همکاران (۱۳۸۵) در تحقیقی با عنوان «ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوین»، با روش‌های GODS و DRASTIC به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوین پرداختند که در این تحقیق تحلیل حساسیت مدل DRASTIC برای آگاهی

1. Adaptive Neuro Fuzzy Inference System

دربرمی‌گیرد. همچنین به‌منظور صحت‌سنجی نتایج روش‌ها، از نقشه هم‌نیترات استفاده شد که همبستگی بالاتر نقشه نهایی SINTACS با نقشه هم‌نیترات، نشان از کارآمدتر بودن این روش در تعیین مناطق آسیب‌پذیر در دشت داشته است.

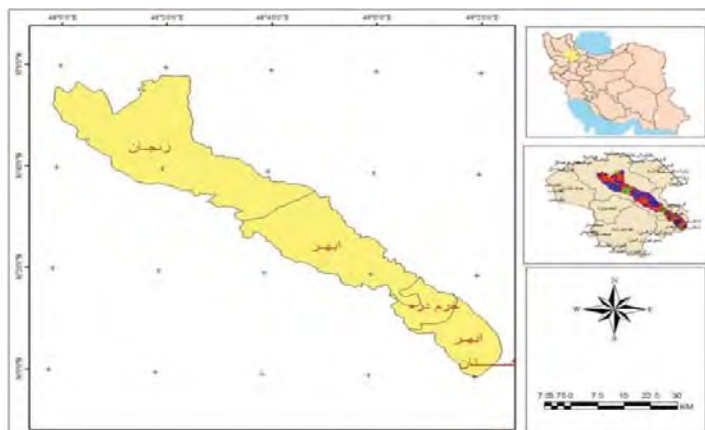
با بررسی منابع یادشده، مشخص می‌گردد که شناسایی و پهنه‌بندی میزان آلودگی در آب‌های زیرزمینی دارای اهمیت زیادی است. تلاش‌هایی هم که تا کنون در این زمینه صورت گرفته‌اند، به گونه‌ای بوده که یا به‌صورت نقطه‌ای به تعیین میزان آلودگی پرداخته شده است و یا پهنه‌بندی صورت‌گرفته عمدتاً بر روش‌های قطعی متکی بوده است. با توجه به آنچه که ذکر شد، هدف این مقاله ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان استان زنجان بر اساس روش‌های فازی است، که امکان ارزیابی میزان آلودگی را در آب‌های زیرزمینی در درجات مختلف - که در بررسی‌های پیشین چندان بدان توجه نشده بود - فراهم می‌سازد. بدین ترتیب ابزار مدیریتی ویژه‌ای در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان، برای مقابله با آلودگی آب‌های زیرزمینی قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان زنجان با وسعت بیش از ۲۲ هزار کیلومتر مربع در منطقه شمال‌غرب کشور بین ۳۳° و ۳۵° تا ۱۵° و ۳۷° عرض شمالی از خط استوا و ۱۰° و ۴۷° تا ۲۶° و ۴۹° طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. حدود استان زنجان از شمال تا استان‌های آذربایجان شرقی و اردبیل و گیلان، از شرق تا استان‌های قزوین و گیلان، از جنوب تا استان‌های همدان و قزوین، و از غرب تا استان‌های آذربایجان غربی و کردستان است. محدوده مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است که از نظر طول و عرض جغرافیایی، بین طول‌های ۴۵° ۵۸' تا ۴۷° ۴۲' ۲۵' و عرض‌های ۱۹° ۵' تا ۳۶° ۵۱' ۵۶' قرار دارد. مساحت این دشت ۲۸۸۲/۴۶ کیلومتر مربع است.

درصد دارای پتانسیل آلودگی خیلی زیاد، ۰/۸ درصد زیاد، ۱۷ درصد متوسط تا زیاد، ۲۶ درصد متوسط تا کم، ۳۸ درصد کم، و ۹ درصد دارای پتانسیل آلودگی خیلی کم هستند. به طور کلی در این تحقیق نشان داده شد که نتایج مدل دراستیک با نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی منطقه غیراشباع در دشت ورامین همبستگی نسبی دارد. بر این اساس، آسیب‌پذیری نیترات - برخلاف آسیب‌پذیری ذاتی - در آب‌های زیرزمینی همبستگی چندانی با منطقه غیراشباع ندارد. رحیمی (۱۳۸۹) در تحقیقی با عنوان تعیین مؤثرترین پارامتر تأثیرگذار در آسیب‌پذیری آبخوان پلی میانرودان در محیط GIS، روشن ساخت که بیشترین آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی منطقه، در رده کم تا متوسط است که حدود ۴۵ درصد از منطقه مورد مطالعه را دربرمی‌گیرد؛ و بخش‌های واقع در مرکز و شمال‌غرب منطقه که آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد دارند، ۱۶ درصد منطقه را تشکیل می‌دهند. به طور کلی در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه که عمق برخورد به سطح ایستابی زیاد باشد خطر آلودگی وجود ندارد و یا بسیار کم است. با مقایسه نقشه نهایی آسیب‌پذیری با نقشه خاک منطقه مورد مطالعه، می‌توان پی برد که بیشترین آسیب‌پذیری را بافت گرا ولی موجود در منطقه دارد. همچنین نتایج حاصل از هر دو روش تحلیل حساسیت، نشان می‌دهد که پارامتر محیط غیراشباع مؤثرترین پارامتر در آسیب‌پذیری آبخوان به شمار می‌آید. فاضلی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی با عنوان پهنه‌بندی خطر آلودگی آبخوان دشت زیدون با استفاده از تکنیک GIS، منابع آب زیرزمینی این دشت را که در استان خوزستان واقع است، به روش‌های DRASTIC و SINTACS ارزیابی کردند. با کمک لایه‌های تهیه‌شده در محیط GIS، مناطق مستعد به آلودگی در هر دو روش مشخص شدند. نتایج به‌دست‌آمده از این دو روش نشان داد که بیشترین آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی مربوط به رده متوسط، واقع در شمال‌شرق و شرق منطقه است؛ که در روش DRASTIC ۳۶ درصد، و در روش SINTACS ۴۸ درصد از مساحت منطقه را



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق به منظور بررسی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، هفت متغیر در نظر گرفته شدند و در مدل به کار رفتند. مقیاس نقشه پایه استفاده‌شده در این مطالعه ۱:۲۵۰۰۰۰ بود، و همه نقشه‌های موضوعی با استفاده از قابلیت‌های نقشه‌کشی GIS بر مبنای همین نقشه تهیه شدند.

۱- عمق سطح: عمقی را که آلودگی باید طی کند تا به سطح ایستایی برسد، عمق سطح آب می‌نامند. هر چه عمق سطح آب بیشتر باشد زمان حرکت و ماندگاری آلودگی بیشتر می‌گردد. عمق سطح آب زیرزمینی در این مطالعه بر مبنای متر در نظر گرفته شده است.

۲- تغذیه خالص: مقدار آبی است که از سطح زمین نفوذ می‌کند و موجب انتقال آلودگی به صورت عمودی تا سطح ایستایی می‌شود و سپس به صورت افقی در آبخوان منتشر می‌گردد. معمولاً هر چه تغذیه بیشتر باشد، پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی نیز بیشتر خواهد بود. برای تهیه نقشه تغذیه خالص دشت، با استفاده از داده‌های سال آبی ۱۳۸۷ و تفاضل داده‌های ماه حداقل عمق سطح آب و ماه حداکثر عمق سطح آب از هم، و تقسیم این مقدار به دست آمده بر بازه زمانی بین این دو

ماه (حداقل در آبان ماه و حداکثر در خرداد ماه) برای هر کدام از چاه‌ها مقدار تغذیه خالص چاه محاسبه گردیده و روش درون‌یابی با بهره‌گیری از مقادیر تغذیه خالص به دست آمده برای هر چاه به منظور تعمیم دادن این فرایند به کل سطح حوضه و با اندازه سلول ۱۰۰ متری، به کار گرفته شد.

۳- محیط آبخوان: محیط آبخوان و مواد تشکیل‌دهنده آن، طول و چگونگی روند مسیر سیستم جریان آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می‌سازند. با استفاده از داده لوگ‌های حفاری چاه‌های پیژومتری دشت زنجان و نقشه‌های مقاطع ژئوالکتریک، نوع و جنس محیط آبخوان مشخص گردید. برای تهیه نقشه محیط آبخوان از موقعیت چاه‌های حفاری، نوع و جنس محیط آبخوان و ارزش مربوط به هر کدام با توجه به جدول ارزش‌دهی در محیط ArcMap استفاده شد و نتایج به دست آمده، در ۳ گروه «کم، زیاد، و متوسط» - زیاد» طبقه‌بندی گردید.

۴- محیط خاک: محیط خاک تأثیری بسیار جدی بر چگونگی تغذیه - و متعاقب آن، بر چگونگی حرکت آلوده‌کننده - دارد. وجود مواد دارای بافت ریزدانه نظیر سیلت و رس، تراوایی نسبی خاک را کاهش

منطقه غیراشباع از موقعیت چاه‌های حفاری، نوع و جنس منطقه غیراشباع و ارزش مربوط به هر یک استفاده شد. سپس نقشه رتبه‌بندی مربوط به منطقه غیراشباع به صورت رستری و اندازه سلول ۱۰۰ متری تهیه گردید.

۷- هدایت هیدرولیکی آبخوان، در واقع به قابلیت انتقال آب به وسیله مواد تشکیل‌دهنده آبخوان اطلاق می‌گردد (آلر، ۱۹۸۷). با توجه به آنکه در آزمایش‌های پمپاژ، مقدار پارامتر ضریب قابلیت انتقال آب اندازه‌گیری می‌شود، و همچنین با استفاده از ضخامت اشباع آبخوان، مقدار هدایت هیدرولیکی از تقسیم ضریب قابلیت انتقال آب بر ضخامت اشباع آبخوان به دست می‌آید، کلیه مراحل تهیه نقشه مطابق پارامترهای قبلی در محیط ArcMap انجام گرفت. سپس به کمک قابلیت نرم‌افزار ArcMap از تفریق نقشه هم‌ضخامت آبرفت و نقشه هم‌عمق سطح آب، نقشه ضخامت اشباع حاصل شد و بعد از تقسیم نقشه ضریب قابلیت انتقال بر نقشه ضخامت آبخوان، نقشه هدایت هیدرولیکی دشت به دست آمد. این نقشه با توجه به پارامتر هدایت هیدرولیکی تقسیم‌بندی گردید.

داده‌های استفاده‌شده در تحقیق عبارت بودند از داده‌های مربوط به چاه‌های منطقه، داده‌های خاک، داده‌های توپوگرافی، داده‌های لوگ‌های حفاری چاه‌های پیرومتری دشت زنجان و نقشه‌های متقاطع ژئوالکترونیک، که این داده‌ها برای تهیه پارامترهای مدل به کار گرفته شدند. تمامی داده‌های یادشده، از سازمان آب منطقه‌ای استان زنجان و شرکت مادر تخصصی منابع آب زیرزمینی ایران تهیه گردیده‌اند. همچنین داده‌های مورد نیاز برای تهیه لایه خاک و صحت بقیه لایه‌های مرتبط با خاک، برگرفته از نقشه‌های تهیه‌شده در سازمان زمین‌شناسی تهران است. از نرم‌افزارهای ArcGIS و MATLAB نیز برای تحلیل داده‌ها استفاده شد.

می‌دهند و مهاجرت و حرکت آلوده‌کننده‌ها را محدود می‌سازند. محیط خاک بر حسب رده‌بندی بافتی آن مشخص می‌گردد و بر اساس پتانسیل آلودگی امتیازبندی می‌شود. با بهره‌گیری از لوگ‌های حفاری و نقشه‌های مقاطع ژئوالکترونیک، نوع و جنس خاک مشخص گردید. برای تهیه نقشه محیط خاک از موقعیت چاه‌های حفاری، نوع و جنس خاک و ارزش مربوط به هر کدام با توجه به جدول ارزش‌دهی در محیط ArcMap استفاده شد. نقشه محیط خاک به صورت رستری و اندازه سلول ۱۰۰ متری تهیه شد و سپس دسته‌بندی گردید.

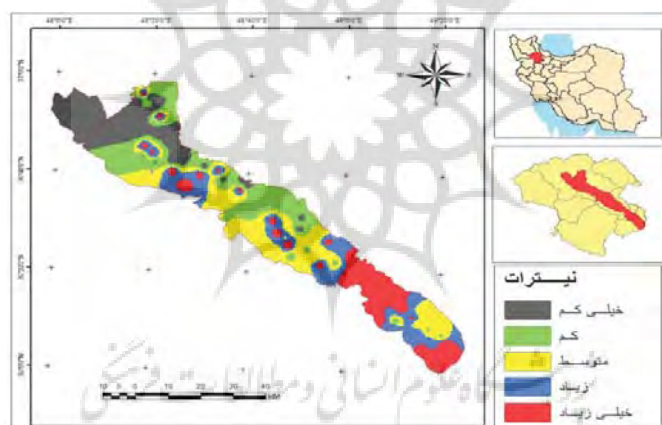
۵- توپوگرافی: توپوگرافی به صورت میزان تغییرات شیب سطح زمین در نظر گرفته می‌شود. شیب‌هایی که فرصت نفوذ بالاتری را فراهم می‌کنند و یا مسطح‌اند، پتانسیل آلودگی بالاتری نیز دارند. در این مطالعه شیب‌های منطقه مورد مطالعه بر حسب درجه به کار رفته‌اند. برای تهیه نقشه شیب از نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰، به همراه نقاط ارتفاعی کمکی مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای، بهره گرفته شد. با استفاده از نقشه توپوگرافی، DEM منطقه و از DEM به دست آمده نقشه شیب تهیه شد. سپس به کمک آن مقدار شیب برای هر سلول محاسبه شد و پس از به دست آمدن نقشه، طبقه‌بندی گردید.

۶- تأثیر منطقه غیراشباع: نوع محیط منطقه غیراشباع تعیین‌کننده خصوصیات میرایی مواد تشکیل‌دهنده آن محیط است. محیط منطقه غیراشباع همچنین طول مسیر و چگونگی روند حرکت آلوده‌کننده را کنترل می‌کند و از این رو بر زمان لازم برای مقدار و میرایی مواردی که با آلوده‌کننده برخورد دارند، تأثیر می‌نهد. عواملی نظیر تراوایی خاک و عمق آب زیرزمینی در تعیین منطقه غیراشباع اهمیت فراوانی دارند. با استفاده از لوگ‌های حفاری حوضه و نقشه‌های مقاطع ژئوالکترونیک، نوع و جنس منطقه غیراشباع مشخص شد. برای تهیه نقشه

۲-۳- روش مطالعه

در این تحقیق با جمع‌آوری مجموعه‌ای وسیع از داده‌های موجود در پایگاه‌های داده‌ها، که در آنها مقادیر تمامی پارامترهای مورد نیاز محاسبه شده بود، به توسعه مدل استنتاج فازی - عصبی تطابقی و ارزیابی دقت آن پرداخته شد. در این تحقیق به منظور واسنجی مدل و کاهش نقش دیدگاه‌های شخصی در انتخاب وزن‌های هر لایه و به دست آوردن بهترین ترکیب وزنی، از مقادیر نیترا ت اندازه‌گیری شده در چاه‌های محدوده مطالعاتی استفاده شده است. بر اساس رده‌بندی‌های موجود، کیفیت آب از نظر یون نیترا ت رده‌بندی پیشنهادی آلر با توجه به رده‌بندی یون نیترا ت و تغییر وزن‌های پیشنهادی در مدل واسنجی شده به صورت شکل ۲ و جدول ۱ است.

ارزیابی آسیب‌پذیری هر منطقه باید بر اساس اهمیت هر یک از پارامترهای تعیین‌کننده آن منطقه صورت گیرد و همچنین بایستی توجه داشت که برخی از پارامترها بر هم تأثیر می‌نهند. به عنوان مثال، توپوگرافی نقشی مؤثر بر پارامتر عمق سطح آب دارد؛ و از طرفی هم تأثیر توپوگرافی، جداگانه نیز در نظر گرفته شده است. شاخص آسیب‌پذیری در این روش از حاصل ضرب وزن هر پارامتر در رتبه آن به دست می‌آید. پس از محاسبه شاخص است که می‌توان گفت کدام منطقه در خطر آلودگی قرار دارد؛ بدین صورت که هر چه شاخص بزرگ‌تر باشد، خطر ایجاد آلودگی نیز فزون‌تر می‌شود.



شکل ۲. کلاس‌بندی مربوط به پارامتر آلودگی نیترا ت در محاسبه شاخص آسیب‌پذیری

جدول ۱. کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری نیترا ت

تغییرات دامنه	کلاس نیترا ت
۲۷-۷۰	خیلی کم
۷۰-۱۱۰	کم
۱۱۰-۱۷۵	متوسط
۱۷۵-۲۲۰	زیاد
۲۲۰-۲۷۰	خیلی زیاد

منبع: Aller et al., 1987

می‌شود (Feng و همکاران، 2006; Dorninger و همکاران، 2005; Negreiros و همکاران، 2008). رابطه کلی درون‌یابی از طریق روش IDW برای مسائل دوبعدی^۲ به صورت رابطه (۱) و (۲) است (Shekhar and Xiong, 2007).

رابطه (۱)

$$\lambda_i = \frac{\left(\frac{1}{d_i}\right)^P}{\sum_{k=1}^N \left(\frac{1}{d_k}\right)^P}$$

رابطه (۲)

$$W(x, y) = \sum_{i=1}^N \lambda_i w_i$$

که در آن، $W(x, y)$ مقادیر پیش‌بینی شده در موقعیت (x, y) ، N تعداد نقاط معلوم مجاور (x, y) ، λ_i وزن اختصاص داده شده به هر یک از مقادیر معلوم w_i در موقعیت (x_i, y_i) ، d_i فاصله دوبعدی اقلیدسی بین هر یک از نقاط واقع در موقعیت (x, y) و (x_i, y_i) ، و P مقدار توان (نما) است، که از وزن w_i بر w تأثیر می‌پذیرد.

ANFIS که در مطالعه حاضر استفاده شده، شبکه‌ای تطبیق‌پذیر با قابلیت آموزشی است که به لحاظ عملکرد کاملاً مشابه سیستم استنتاج فازی است. روش مدل‌سازی ANFIS ترکیبی از دو روش فازی TSK^۴ و شبکه عصبی پرسپترون چندلایه است (Aqil, 2007).

برای سادگی کار، فرض می‌شود که در سیستم فازی دو ورودی x و y دارد و خروجی آن z است. حال اگر قوانین بدین صورت باشند:

در مدل مورد نظر، ۵ سطح آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی - یعنی «خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد» - به عنوان استاندارد در نظر گرفته شدند که به ترتیب با اعداد ۵، ۴، ۳، ۲، ۱ به نمایش درآمدند. از مجموعه داده‌های چاه‌های موجود، ۱۸۰ مورد (۷۱ درصد) آنها برای آموزش مدل به کار رفتند و ۷۳ مورد (۳۹ درصد) برای ارزیابی آن استفاده شدند. ناگفته نماند که تقسیم‌بندی داده‌ها به دو گروه آموزش و ارزیابی، به صورت تصادفی انجام گرفته است.

معماری بهینه هر مدل با استفاده از پیش‌فرض‌های جعبه‌ابزار نرم‌افزار «مطلب»^۱ و آزمون و خطا در ساختار مدل و دیدگاه متخصصان تعیین گردیده است. با آزمون ترکیبات مختلفی از معماری مدل، حالت بهینه با توجه به ضریب همبستگی و مقادیر خطا به دست آمد. در این تحقیق از روش گسسته‌سازی شبکه‌ای از تابع عضویت Gaussmf^۲ با هفت متغیر ورودی و تابع عضویت مختلفی برای هر کدام، همراه با ۳۰ تکرار، استفاده شده است. این امر منجر به تولید خروجی مورد نظر - که در اینجا آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی است - می‌شود. پارامترهای ورودی عمق سطح آب با ۶ تابع عضویت، تغذیه خالص با ۵ تابع عضویت، محیط آبخوان با ۳ تابع عضویت، خاک منطقه ۵ تابع عضویت، توپوگرافی با ۴ تابع عضویت، تأثیر محیط غیراشباع با ۳ تابع عضویت، و هدایت هیدرولیکی با ۶ تابع عضویت، ترکیبات مختلفی از تعداد توابع و نوع آنها در تکوین و توسعه مدل استفاده شد و در نهایت مدل بهینه انتخاب گردید. برای آموزش مدل نیز روش هیبرید به کار رفت (Riahi-Madvar et al., 2008).

برای انجام پهنه‌بندی متغیرهای مورد استفاده، روش IDW به کار گرفته شد. در روش IDW هر یک از نمونه‌های اندازه‌گیری شده تأثیری جزئی در برآورد نقاط فاقد داده‌ها دارند که با افزایش فاصله، از میزان تأثیر کاسته می‌شود. به نقاط نزدیک محل نمونه، وزن بیشتری داده می‌شود و به نقاط دورتر وزن کمتر. از روش IDW برای درون‌یابی فضایی داده‌ها استفاده

1. MATLAB 7.0.4
2. Gaussian Membership Function
3. 2D Problems
4. Takagi-Sugeno-Kang

رابطه (۳)

Rule1: if x is A_1 and y is B_1 then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

Rule2: if x is A_2 and y is B_2 then $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

و چنانچه از غیرفازی‌ساز میانگین مراکز استفاده شود، خروجی بدین صورت خواهد بود:

رابطه (۴)

$$f = \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 \quad \text{st}$$

$$\bar{w}_1 = \frac{w_1}{w_1 + w_2}, \quad \bar{w}_2 = \frac{w_2}{w_1 + w_2}$$

رابطه (۷)

$$O_{2,i} = w_i = \mu A_i(x) \mu B_i(y), \quad i = 1, 2$$

لایه ۳: خروجی این لایه، نرمالیزه شده لایه قبلی است:

رابطه (۸)

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2$$

لایه ۴:

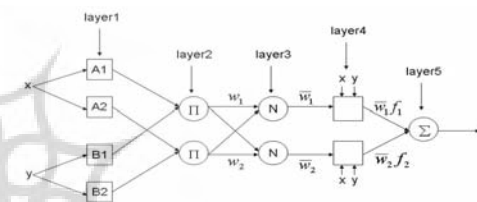
رابطه (۹)

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i)$$

لایه ۵: خروجی این لایه خروجی کلی سیستم است (Jang, 1997).

رابطه (۱۰)

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$$



شکل ۳. ساختار ANFIS

برای ارزیابی نتایج روابط تجربی و مدل فازی - عصبی، از معیارهای ضریب همبستگی R^2 ، میانگین خطای مطلق (MAE) 3 ، ریشه میانگین خطای مطلق (RMSE) 4 و میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده گردید. این شاخص‌ها O/C مبین متوسطی از خطا در عملکرد مدل و آماره‌های جهانی^۵ اند، و اطلاعاتی را در مورد توزیع خطا در نتایج به دست نمی‌دهند؛ و برای ارزیابی توانمندی مدل‌های مورد بررسی باید از معیارهای دیگری استفاده کرد. به همین دلیل از دو روش شاخص میانگین قدرمطلق خطای نسبی (AARE) 6 و تحلیل آستانه (TS) نیز استفاده شد (Baylar et al., 2007).

ساختار TSK ANFIS بدین صورت است.

لایه ۱: در این لایه ورودی‌ها از توابع عضویت^۱ عبور می‌کنند.

رابطه (۵)

$$O_{1,i} = \mu A_i(x), \quad \text{for } i = 1, 2$$

$$O_{1,i} = \mu B_i(x), \quad \text{for } i = 3, 4$$

توابع عضویت می‌توانند هر تابع پارامتری مناسبی باشند، و در بیشتر موارد تابع گاوسین انتخاب می‌شوند.

رابطه (۶)

$$\mu A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}}$$

که در آن $\{a_i, b_i, c_i\}$ مجموعه پارامترها هستند، که آنها را پارامترهای اولیه^۲ می‌نامند.

لایه ۲: خروجی این لایه ضرب سیگنال‌های ورودی است که در واقع معادل قسمت «اگر» قوانین هستند.

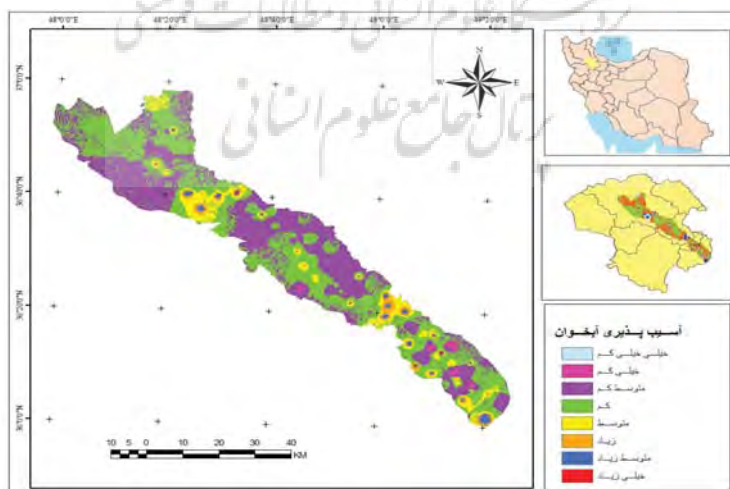
1. Membership functions
2. Premise parameters
3. Mean Absolute Error
4. Root Means Square Error
5. Global Statistics
6. Average Absolute Relative Error

۳- نتایج و بحث

در شکل ۳ آسیب‌پذیری محاسبه‌شده به روش ANFIS نشان داده شده است. بر اساس این شکل و جدول ۴ بیشتر محدوده آبخوان در طبقه آسیب‌پذیری کم با مساحت ۱۲۶۹۶۰ هکتار است که ۴۴/۱۲ درصد از کل منطقه را دربرمی‌گیرد؛ و کمترین پهنه حوضه مورد مطالعه طبقه آسیب‌پذیری خیلی کم با مساحت ۲۸۵/۵ هکتار است که ۱/۲۷ درصد محدوده دشت را دربرگرفته است. دیگر طبقات این لایه شامل لایه‌های آسیب‌پذیری متوسط کم (۳۷/۸ درصد و مساحت ۱۰۸۹۰۵/۰۶ هکتار)، متوسط (۱۰/۳۷ درصد و مساحت ۲۹۸۳۶ هکتار)، زیاد (۲/۷۴ درصد و مساحت ۷۸۹۰/۱۴ هکتار)، متوسط زیاد (۱/۵۷ درصد و مساحت ۴۵۰۷/۵۶ هکتار) و خیلی زیاد (۱/۰۹ درصد و مساحت ۲۴۵/۰۴ هکتار) بودند. طبقه آسیب‌پذیری کم و متوسط کم - که بیشترین مساحت محدوده را تحت پوشش دارند - بیشتر در بخش‌های شمال‌غرب و قسمت‌هایی از مرکز دشت مشاهده می‌شود؛ و کلاس آسیب‌پذیری متوسط زیاد و خیلی زیاد در بخش انتهایی (جنوب‌شرق) بیشتر نمایان است. در این شکل در قسمت‌های شمال و شمال‌غرب حوضه کلاس‌های آسیب‌پذیری با یکدیگر تداخل بیشتری دارند؛ و به عبارتی در این ناحیه کلاس‌های بیشتری از هم تفکیک شده‌اند.

برای به‌کارگیری مدل ANFIS از مجموعه داده‌های گردآوری‌شده، به ایجاد و توسعه مدل جدیدی برای تخمین آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی مبتنی بر قابلیت‌های سیستم‌های استنتاج فازی - عصبی تطابقی اقدام شد. متغیرهای ورودی در مدل تطبیقی فازی - عصبی عبارت‌اند از عمق سطح آب‌های زیرزمینی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، بافت خاک، توپوگرافی، تأثیر منطقه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی آبخوان.

در مرحله آخر برای آزمون نتیجهٔ آزمایش مدل با داده‌های واقعی در مرحلهٔ اعتباریابی، با وارد کردن اطلاعات واقعی مدل با موفقیت توانست آسیب‌پذیری سفره‌های آب‌های زیرزمینی مورد نظر را تعیین کند. ورودی‌های این مدل ماتریس‌های تهیه‌شده در محیط نرم‌افزار مطلب بودند. پس از آن، ویژگی‌های مورد نظر برای این مدل محاسبه و به مدل وارد شدند، و مدل طراحی‌شده به‌منظور پیش‌بینی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سفره‌های آب‌های زیرزمینی اجرا گردید. تمامی لایه‌ها و نقشه‌های موجود در محیط ArcGIS زمین مرجع شدند. در مرحله بعد از پهنه‌های به‌دست آمده از درون‌یابی به عنوان ورودی کل سیستم برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی استفاده شد.



شکل ۴. نقشه آسیب‌پذیری دشت زنجان با مدل ANFIS

جدول ۲. آمار محاسباتی آسیب‌پذیری حوضه با مدل ANFIS

انحراف معیار	واریانس	بیشینه	کمینه	میانگین	درصد	مجموع مساحت (هکتار)	میزان آسیب‌پذیری در مدل ANFIS
۴۸	۲۳۰۴	۱۶۵۵/۰۵	۰/۰۶	۳۶۶۸۲	۱/۸۷	۹۳۹۶	خیلی کم
۴۲۶/۴	۱۸۱۸۹۸	۴۱۳۳/۰۵	۰/۰۶	۴۸۸۸۹	۳۷/۸۵	۱۰۸۹۰۵	متوسط کم
۳۹۲/۱	۱۵۳۸۰۹	۳۵۰۴۹/۱	۰/۰۶	۶۶۱۴۲	۴۴/۱۹	۱۲۶۹۶۰	کم
۱۲۰/۷	۱۴۵۸۲	۷۹۹۹/۶	۰/۰۶	۴۶۲۵۷	۱۰/۳۷	۲۹۸۳۶	متوسط
۱۱۷/۸	۱۳۸۹۱	۱۷۷۹/۳	۰/۰۶	۲۱۴۹۹۷	۲/۷۴	۷۸۹۰/۴۱	زیاد
۱۲۵/۱	۱۵۶۶۳	۱۰۶۰/۹	۰/۰۶	۳۸۸۵۸۳	۱/۵۷	۴۵۰۷/۵۶	متوسط زیاد
۲	۵۲۹	۷۳/۲	۰/۰۶	۱۱۶۶۸۷	۱/۳۹	۲۵۴/۰۴	خیلی زیاد

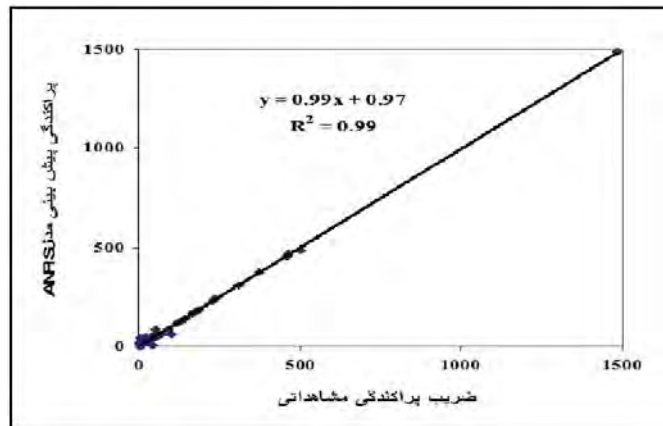
نشان می‌دهد. در این شکل ارتباط و میزان همبستگی بین داده‌ها به همراه خط برازش بین داده‌ها را می‌توان دید. داده‌های واقعی یا مشاهداتی، همان داده‌های اولیه چاه‌ها (محور افقی) و داده‌های محاسباتی شامل داده‌های تولیدشده به وسیله مدل در مرحله ارزیابی مدل (محور قائم) بوده است. در این نمودار معادله خط رگرسیون و ضریب تبیین بین داده‌ها محاسبه و نمایش داده شده است.

در شکل‌های ۷ و ۸ شمای کلی خطای محاسباتی مدل ANFIS در دو حالت آموزش و ارزیابی مشخص گردیده است. نمودار نشان داده شده در این شکل‌ها بیانگر این موضوع است که اختلاف بین داده‌های ورودی و خروجی در هر دو مرحله آموزش و ارزیابی چقدر بوده؛ و در این شکل‌ها روند توزیع خطای مدل را می‌توان در هر دو حالت به خوبی مشاهده کرد. در دو حالت مذکور، با دیدن نمودار می‌توان دریافت که میزان خطای برآورد شده در ۱۰۰ درصد موارد مدل ANFIS در مرحله آموزش و ارزیابی کمتر از ۸۰ درصد بوده است. خطای محاسباتی در مرحله آموزش مدل روی این اشکال با علامت‌های به علاوه (+)، و خطای مدل در ارزیابی با خط پیوسته آبی‌رنگ نمایش داده شده است. در شکل ۷ میزان خطا برای وضوح هر چه بهتر به صورت درصد نشان داده شده است.

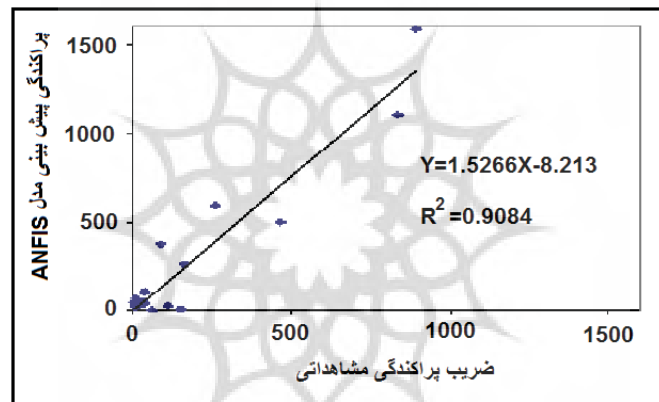
جدول ۲ نشان‌دهنده تمامی مشخصات آماری نقشه آسیب‌پذیری تهیه‌شده به روش ANFIS است. این آماره‌ها شامل آماره‌های بیشینه، کمینه، میانگین، مجموع، انحراف معیار، واریانس و درصد هر یک از کلاس‌های آسیب‌پذیری نقشه ANFIS تهیه شده با استفاده از داده‌های چاه‌هاست. نقشه ANFIS رتبه‌بندی شده، دارای هفت کلاس آسیب‌پذیری است (خیلی کم، متوسط کم، کم، متوسط، زیاد، متوسط - زیاد و خیلی زیاد)، که مشخصات آماری (پراکندگی و مرکزی) برای این کلاس‌ها تهیه شده و آماره‌های مربوط به آنها در جدول ۲ درج گردیده است.

شکل ۵ نمودار همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی مدل ANFIA را در مرحله آموزش مدل نشان می‌دهد. در این شکل می‌توان ارتباط و میزان همبستگی بین داده‌ها را به همراه خط برازش بین داده‌ها مشاهده کرد. داده‌های واقعی یا مشاهداتی، همان داده‌های اولیه چاه‌ها (محور افقی) هستند؛ و داده‌های محاسباتی شامل داده‌های تولیدشده به وسیله مدل در مرحله آموزش مدل (محور قائم) اند. در این نمودار معادله خط رگرسیون و ضریب تبیین بین داده‌ها محاسبه و نمایش داده شده است.

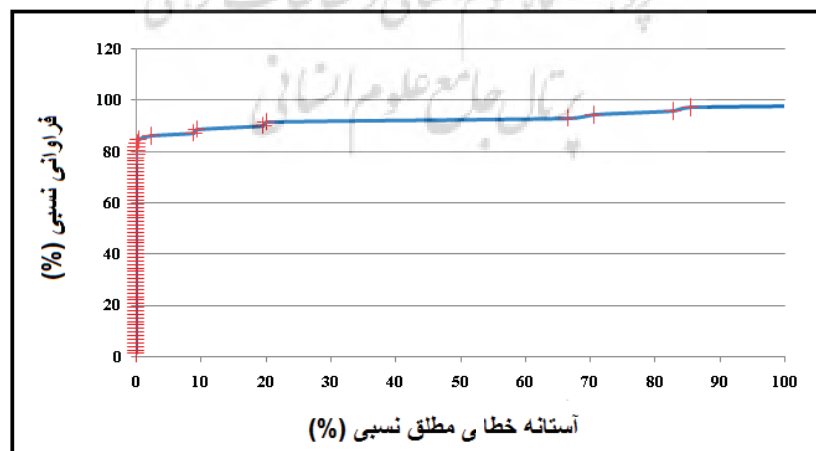
شکل ۶ نمودار همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی مدل ANFIA در مرحله ارزیابی مدل را



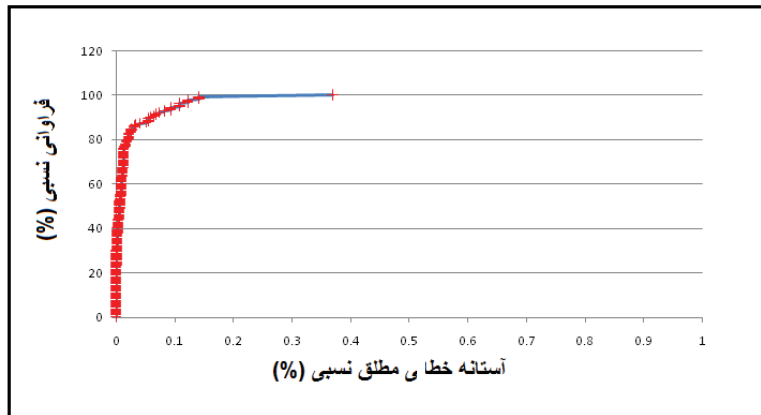
شکل ۵. مقایسه نتایج مدل ANFIS با داده‌های واقعی در مرحله آموزش مدل



شکل ۶. مقایسه نتایج مدل ANFIS با داده‌های واقعی در مرحله ارزیابی مدل



شکل ۷. توزیع خطای پیش‌بینی مدل ANFIS در مراحل آموزش و ارزیابی



شکل ۸. توزیع خطای پیش‌بینی مدل ANFIS در مراحل آموزش و ارزیابی

جدول ۳. مشخصات آماری مدل تطبیقی فازی - عصبی در مراحل آموزش و ارزیابی

پارامتر آماری					مرحله تکوین و توسعه مدل
AARE (%)	MAE	MSE	RMSE	R ²	
۶۳/۴۸	۸/۶۶	۲۳۰/۴۳	۱۵/۱۸	۰/۹۹۵۷	مرحله آموزش مدل
۱۲۷/۶۸	۱۰۴/۷۷	۳۵۲۴۰/۱۴	۱۸۷/۸	۰/۹۰۸۴	مرحله ارزیابی مدل

جدول ۴. نتایج مدل‌های ANFIS با دو معیار متداول

آموزش	صحت‌سنجی	تست
مقدار ضریب تبیین	مقدار ضریب تبیین	مقدار ضریب تبیین
تابع خطا	تابع خطا	تابع خطا
۰/۹۹۵۷	۰/۹۰۸۴	۰/۰۳۶۱
۰/۰۲۹۵	۰/۰۹۳	۰/۰۲۷

توزیع خطا در نتایج به دست نمی‌دهند و برای ارزیابی قدرتمندی مدل‌های مورد بررسی باید از معیارهای دیگری استفاده کرد. به همین دلیل روش شاخص میانگین قدرمطلق خطای نسبی (AARE) نیز به کار گرفته شدند. این معیار نه تنها شاخص عملکرد صورت ترم‌هایی از مقادیر پیش‌بینی شده ارائه می‌کند. بلکه توزیع خطا را نیز نشان می‌دهد. در جدول ۵ ضریب همبستگی برآورد شده با مدل انفیس در دو حالت

در جدول ۳ مشخصات آماری مدل تطبیقی فازی-عصبی در مراحل آموزش و ارزیابی آمده است، در این جدول نتایج روابط تجربی و مدل فازی-عصبی با استفاده از معیارهای ضریب همبستگی R²، میانگین خطای مطلق (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مربعات خطا (MSE) ارزیابی شده است. این شاخص‌ها مبین متوسطی از خطا در عملکرد مدل و آمارهای عمومی‌اند، که اطلاعاتی را در مورد

منطق فازی، قابلیت تعمیم شبکه عصبی را از طریق ایجاد خروجی قابل اعتمادتر، هنگامی که برون‌یابی فراتر از محدودیت‌های داده‌های آموزش لازم است، افزایش می‌دهد. همچنین در کارهای انجام‌شده با فازی عصبی (Dixon, 2005) از پارامترهای کمتری استفاده شده است.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که انجام ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از تعداد زیاد لایه اطلاعاتی (پارامتر) امکان‌پذیر است؛ زیرا در این حالت، تأثیرات خطاها و عدم قطعیت‌های موجود در یک پارامتر منفرد در خروجی نهایی محدود می‌گردد. همچنین در این روش به دلیل تعداد زیاد پارامترها، تأثیر عدم قطعیت برخی از پارامترها تا حدودی خنثی می‌شود. در مواقعی که عدم قطعیت در یکی از پارامترها زیاد باشد، تأثیر آن تا حدودی به وسیله پارامترهای دیگر پوشش داده می‌شود. از این‌رو بررسی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با سیستم فازی - عصبی، فواید سیستم‌های فازی با دانش صریح، و درک و توضیح، همچنین شبکه‌های عصبی با دانش ضمنی از طریق یادگیری را با هم ترکیب کند؛ بدین معنی که روش عصبی فازی ترکیبی از نماینده دانش آشکار منطق فازی با قدرت یادگیری شبکه‌ای عصبی را به کار می‌گیرد، و از این رو می‌تواند به عنوان روشی کارآمدتر مورد توجه قرار گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که با استفاده از روش ANFIS امکان شناسایی و پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر آب‌های زیرزمینی به‌خوبی وجود دارد و به‌رغم وجود روش‌های نسبتاً مشابه مانند DRASTIC که در مطالعات میرزایی (۱۳۷۸)، رنگزن و همکاران (۱۳۸۷)، رزاق‌منش و همکاران (۱۳۸۳) و خدایی و همکاران (۱۳۸۷) استفاده شده است، امکان پهنه‌بندی فقط در قالب طبقات محدود مندرج در روش DRASTIC وجود دارد و خارج از قواعد ذکرشده، این روش با محدودیت‌های خاص روبه‌روست؛ ولی مدل

آموزش (۰/۹۹۵۷) و ارزیابی (۰/۹۰۸۴)، و میانگین خطای مطلق در حالت آموزش (۱۵/۱۸) و ارزیابی (۱۸۷/۸) - و به همین ترتیب برای دیگر شاخص‌های ذکرشده - محاسبه و در این جدول درج گردیده است. در جدول ۴ نتایج مدل‌های ANFIS با دو معیار متداول ضریب تبیین و مقدار تابع خطا نشان داده شده‌اند. در تمامی مراحل آموزش مدل، ضریب تبیین برابر ۰/۹۹۵۷ است، که این خود دقت زیاد مدل را نشان می‌دهد. در مرحله صحت‌سنجی و همچنین در مرحله آزمون (تست)، مقدار ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۰۸۴ و ۰/۹۳ بوده است، که نشان از برآزش خوب مدل و اعتبار آن دارد.

مطالعات نشان می‌دهد که مدل‌های زیادی برای تحلیل و ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی ارائه شده و تحقیقات مختلفی - چه در داخل کشور و چه در خارج از آن - به روش دراستیک و دیگر روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری صورت گرفته است. امروزه مدل دراستیک به عنوان مدلی جهانی مطرح است، ولی به دلیل آنکه پارامترهای آن در هر منطقه‌ای بسته به شرایط منطقه متفاوت است، نتایج به‌دست‌آمده نیز مستقل از یکدیگرند و نمی‌توان این نتایج را با هم مقایسه کرد. همچنین در تحقیق‌های انجام‌شده با سیستم استنتاج فازی برای مطالعه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، تصمیم‌گیری‌های کنترلی انجام می‌شود؛ چون منطق فازی روشی مبتنی بر قاعده را ارائه می‌کند که اساس آن را همان قواعد از پیش تعیین شده مشخص می‌گردد. در این روش نحوه تشکیل این قوانین، در صورتی که فرایند شناخته‌شده باشد، بر اساس تجربیات افراد خبره و متخصص است که این موضوع می‌تواند به عنوان نقطه‌ضعف آن محسوب گردد. این در حالی است که یادگیری شبکه‌های عصبی، روش خوبی برای سازگار کردن دانش خبرگان فراهم می‌کند و به‌طور خودکار قوانین فازی اضافی و توابع عضویت را برای رسیدن به مشخصات معین و کاهش زمان و هزینه‌های نحوه مدل‌برداری تولید می‌کند. از طرفی نیز

- QSAR Applications: A Study of Neuro-fuzzy Modeling of PCP-based NMDA Receptor Antagonists**, Bioorg Med Chem, 15(12),4265-82.
- Baylar, H., Hanbay, D., Ozpolat, E., 2007, **An Expert System for Predicting Aeration Performance of Weirs by Using ANFIS**, Expert Systems with Applications, 23(8): 1222-1214.
- Criss, R.E. and M.L. Davison, 2004, **Fertilizers, Water Quality, and Human Health**, Environmental Health Perspectives, 112 (10): A536-A536.
- Dezfuli K.A., 2005, **principal of Fuzzy Theory and Application in Water Engineering Modeling**, 1 ed. Tehran: Jahad Daneshgahi vahede Amirkabir.
- Di, H.J. and K.C. Cameron, 2002, **Nitrate Leaching and Pasture Production from Different Nitrogen Sources on a Shallow Stony Soil under Flood-irrigated Dairy Pasture**, Australian Journal of Soil Research, 40(2): 317-334.
- Dixon, B. and Scott, H. D., 1998, **Use of Fuzzy Logic with Modified DRASTIC Parameters to Predict Groundwater Contamination**, In: H.D. Scott (ed.), Vulnerability and Use of Ground and Surface Waters in the Southern Mississippi Valley Region. AWRC, Pub., 269,: 16-51.
- Dixon, B., 2004, **Applicability of Neuro -fuzzy Techniques in Predicting Ground-water Vulnerability: A GIS-based Sensitivity Analysis**, Journal of Hydrology 309, 17-38.
- مورد استفاده در این مقاله - که تا کنون گزارشی از آن برای آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی ارائه نشده است، انعطاف‌پذیری زیادی - چه از نظر کم و یا زیاد کردن متغیرها و چه از نظر کم و زیاد کردن وزن‌ها - دارد. به همین خاطر طبقات آسیب‌پذیری خروجی مدل نیز می‌تواند با تغییرات زیادی همراه باشد و طبقات دلخواه کاربر را ارائه کند. علاوه بر این، به نظر می‌رسد که در این مدل با ترکیب روش‌های ریاضی و انفورماتیکی با مطالعات میدانی، می‌توان سیستم هوشمندی را طراحی کرد تا توانایی شناسایی ویژگی‌های ناشناخته در آسیب‌های مختلف را شناسایی کند. با توجه به این موضوع مدل مورد استفاده قابلیت‌های مناسبی را برای شناسایی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی ارائه می‌کند که در مطالعات مربوط به آن می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.
- ۵- منابع**
- Alizadeh Amin, 2007, **Principles of Applied Hydrology**, Astan ghods razavi publisher.
- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J, H, Petty, R, J, and Hackett, G, 1987, **DRASTIC: a Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeological Settings**, EPA/600.2-87.035, US Environmental Protection Agency, Ada, OK., USA.
- Aqil, M., Kita, I., Yano, A., Nishiyama S., 2007, **A Comparative Study of Artificial Neural Networks and Neuro-fuzzy in Continuous Modeling of the Daily and Hourly Behavior of Runoff**, Journal of Hydrology
- Buyukbingol Erdem, Sisman Arzu, Akyildiz Murat, Nur Alparslan Ferda, Adejare Adeboye, 2007, **Adaptive Neuro-fuzzy Inference System (ANFIS): A New Approach to Predictive Modeling in**

- Dixon, B, 2004, **Prediction of Ground Water Vulnerability Using an Integrated GIS-BASED Neuro-fuzzy Techniques**, Journal of Spatial Hydrology Vol.4, No.2.
- Dou, C., Woldt, W., Dahab, M. and Bogardi, I., 1997, **Transient Ground-water flow Simulation Using a Fuzzy Set Approach**, Ground Water, 35 (2): 205-15.
- Dorninger, M., Schneider, S, and Steinacker, R, 2008, **On the Interpolation of Precipitation Data over Complex Terrain**, Meteorology and Atmospheric Physics, 101, 175-189.
- Fazeli M., Rahimi M.H., Zaheri AbdehVand Z., Bagherzadeh S., Khoybari A., 2008, **The Zonation of Aquifer Pollution Hazard of Zydun Plain Using GIS**, proceeding of Geomatic 2008 conference, Tehran, Iran.
- Fang, J. H., 1997, **Fuzzy Logic and Geology**, Geotimes, 10(1): 23-26.
- Feng, Z., Huai-cheng, G., Yong, L, and Ze-jia, H., 2006, **Identification and Spatial Patterns of Coastal Water Pollution Sources based on GIS and Chemo Metric Approach**, Journal of Environmental Sciences, 19, 805-810.
- Freeze, R.A., Massmann, J., Smith, L., Sperling, T. and James, B., 1990, **Hydrological Decision Analysis: 1, A framework**, Ground water, 28(5): 738-66.
- Gogu, R.C, and Dassargues, A., 2000, **Current Trends and Future Challenges in Groundwater Vulnerability Assessment Using Overlay and Index Methods**, Environmental Geology 39(6): 416-25.
- Iranian Environment Organization, 1982, **Passage Output Standards**, human environment organization.
- Jang, J.S.R., Sun, C.T. and Mizutani, E., 1997, **Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence**, Prentice-Hall International, New Jersey.
- Khodaei K., Shahsavari A.A., Etebari B., 2006, **The Evaluation of Aquifer Susceptibility of Joevin Plain Using DRASTIC and GODS**, Iranian Geological Journal, Volume 2, No. 4, 73-87.
- Krapac, I.G. et al., 2002, **Impacts of Swine Manure Pits on Groundwater Quality**, Environ Pollute, 120(2): 475- 92.
- Lundberg JO, Weitzberg E, Cole JA, Benjamin N., 2004, **Opinion – Nitrate, Bacteria and Human Health**, Nature Reviews Microbiology, 2 (7): 593-602.
- MATLAB, 2007, **Neural Network Tool Box and ANFIS**, MATLAB Version 7.4.0, The Math Works, Inc.
- Mirzaei S., 1987, **The Study of Shahrkord Aquifer Susceptibility Using Drastic Methods**, Proceeding of third conference on water resources management of Iran.
- Negreiros, J., Painho, M., and Aguilar, F., 2008, **Principles of Deterministic Spatial Interpolators**, Polytechnical Studies Review, Vol. 4, No. 9, 1-11.
- Rahimi R., Chitsazan M., Mirzaei S.Y., Zaheri Abdvand Z., Attaei S., 2008, **Determining**

- of the Most Important Factors Effectuated on Poly Mianrodan Aquifer Susceptibility in GIS Environments**, Proceeding of national Geomatic 2008 conference.
- Rangzan K., Zyaeyan P., Mirzaey L., Alijani F., 2006, **The Zonation of Varamin Aquifer Plain Susceptibility Using Drastic Method and Experimental Evaluation Effects of Unsaturation Zone in GIS Environments**, Iranian Geology journal, Volume 2, No. 6, 21-23.
- Razaghmanesh M., Mohamadi K., 2003, **The Estimation of Groundwater Susceptibility Using DRASTIC Methods, Case study of Chamchamal plain**, proceedings of the second student conference of soil and water resources conference, agriculture faculty of Shiraz university.
- Rihhi-Madvar H., Ayyounzadeh S.A., Khadangi E., Ebadzadeh M.M., 2009, **An Expert System for Predicting Longitudinal Dispersion Coefficient in Natural Streams by Using ANFIS**, Expert system with applications, 36(4), 8589-8596.
- Riahi-Madvar H., S.A.A., 2008, **Estimating Longitudinal Dispersion Coefficient of Pollutants Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System**, Water and west water, 67: 34 - 46.
- Shekhar, S.H. and Xiong, H., 2007, **Encyclopedia of GIS**, Springer.
- US-EPA, 1996, **Drinking Water Regulations and Health Advisories: Washington, D.C.,U.S.** Environmental Protection Agency, Office of Water, 822-B-96-002, 11.
- Vrba, J. and Zoporozec A., 1994, **Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability**, IAH International Contribution for Hydrogeology, 16. Hannover7 Heise, 131.
- Zadeh, L.A., 1965, **Fuzzy Sets**, Information Control, 8(3): 338-353.