هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۰، بهار ۱۳۹۶، صص ۴۰-۲۱

وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۰۳ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۲۳

مقایسه‌ی کارآیی مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی، منطق فازی و سیستم استنتاج نرو–فازی تطبیقی در تخمین هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت مراغه–بناب

عطاالله ندیری*[۱]

سعید یوسف‌زاده[۲]

چکیده

تخمین دقیق پارامترهای هیدروژئولوژیکی مانند هدایت هیدرولیکی یکی از مهم‌ترین بخش مطالعات هیدروژئولوژی می‌باشد که برای مدیریت و حفاظت دقیق از منابع آب زیرزمینی بسیار ضروری است. تا حال روش‌های مختلف صحرایی و آزمایشگاهی برای تخمین هدایت هیدرولیکی ارائه شده است که عموماً با استفاده از داده‌های هیدروژئولوژیکی انجام می‌شوند. از این میان بهترین و کامل‌ترین روش، روش صحرایی آزمون پمپاژ می‌باشد که بسیار وقت‌گیر و پرهزینه بوده و پارامترهای هیدروژئولوژیکی تخمین زده شده به وسیله‌ی آنها دارای عدم قطعیت ذاتی می‌باشند. لذا در این تحقیق تلاش شد تا از روش‌های هوش مصنوعی مختلف مانند شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANN)، فازی ممدانی (MFL)، فازی ساگنو (SFL) و سیستم استنتاج نرو-فازی تطبیقی (ANFIS) برای تخمین هدایت هیدرولیکی استفاده شود. در این مطالعه برای تخمین دقیق هدایت هیدرولیکی در دشت مراغه- بناب توسط این مدل‌ها از داده‌های ژئوفیزیکی به همراه داده های هیدروژئولوژیکی به عنوان ورودی مدل‌ها استفاده شد و نتایج آنها با استفاده از معیارهای ارزیابی با هم

۱ـ استادیاردانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز، تبریز (نویسنده‌ی مسئول) Email:nadiri@tabrizu.ac.ir

۲ـ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز، تبریز

Archive of SID

www.SID.ir

مقایسه و بهترین مدل براساس مقدار RMSE انتخاب شد. بر این اساس مدل ANFIS با داشتن RMSE=1.12 در مرحله‌ی تست، نسبت به مدل‌های دیگر قدرت بالایی در تخمین هدایت هیدرولیکی دارد. شعاع دسته‌بندی، تعداد قوانین فازی و تعداد دسته‌ها در مدل‌های فازی و نروفازی، از اهمیت بالایی برخوردار است. شعاع دسته‌بندی در مدل ANFIS، براساس کمترین مقدار RMSE برابر ۰/۴و تعداد قوانین فازی براساس تعداد دسته‌ها ۹ قانون اگر-آنگاه به دست آمد. روش‌های ارائه شده در این مطالعه که کارآیی بالایی در تخمین هدایت هیدرولیکی در دشت مراغه-بناب نشان دادند، می‌تواند در تخمین هدایت هیدرولیکی در سایر دشت‌ها با شرایط هیدروژئولوژیکی مشابه نیز مورد استفاده قرار بگیرند.

کلمات کلیدی: هوش مصنوعی، شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی، نرو-فازی، هدایت هیدرولیکی.

مقدمه

محدودیت منابع آب سطحی، افزایش تقاضای مصرف آب همزمان با توسعه‌یافتگی جوامع و افزایش کشاورزی، محققیق حوزه‌ی مطالعات آب‌های زیرزمینی را وادار به مدل‌سازی، تخمین و پیش‌بینی شرایط هیدروژئولوژیکی حاکم بر آبخوان‌ها ساخته است. برای ارزیابی و شناخت شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان‌ها و حفاظت و مدیریت منابع آب زیرزمینی در حال و آینده، تخمین پارامترهای هیدروژئولوژیکی مانند هدایت هیدرولیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. روش‌های مختلف هیدروژئولوژیکی برای تخمین این پارامترها وجود دارند که هر کدام در زمینه‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته و از کارآیی نسبی برخوردار هستند. این روش‌ها با وجود اینکه از مزایای مختلفی مانند شناخت شرایط زیرسطحی از طریق حفاری، برخوردار هستند اما وقت گیر و پرهزینه می‌باشند و به نیروی انسانی بیشتری نیاز دارند و همچنین

Archive of SID

www.SID.ir

به علت رفتار غیرخطی و شرایط ناهمگن و ناهمسان حاکم بر محیط‌های هیدروژئولوژیکی، پارامترهای اندازه‌گیری شده به وسیله این روش‌ها از عدم قطعیت ذاتی برخوردار می‌باشند. علاوه بر این تمام روش‌های اخیر حاصل حل معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی با روش‌ها و با شرایط مرزی و قیود متفاوت و یا فرمول‌های تجربی بود. برای غلبه بر نواقص موجود در این روش‌ها، در چند سال اخیر مدل‌های هوش مصنوعی (AI)[1] به طور گسترده‌ای در تخمین پارامترهای هیدروژئولوژیکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این متدها برخلاف آزمون‌های صحرایی و آزمایشگاهی، دارای این قابلیت هستند که در زمانی کوتاه‌تر با صرف هزینه کمتر و با داده‌های در دسترس محدود، تخمین قابل قبولی از پارامترهای هیدروژئولوژیکی مانند هدایت هیدرولیکی ارائه دهند. بررسی مطالعات انجام گرفته در این زمینه، موفقیت متدهای هوش مصنوعی مانند منطق فازی، شبکه‌ی عصبی مصنوعی را (متقیان و محمدی، ۲۰۱۱: ۱۷۷-۱۷۰، مختاری و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۵۳-۳۴۵) و نرو-فازی که ترکیبی از منطق فازی و شبکه‌ی عصبی مصنوعی می‌باشد (هانگ و همکاران ۲۰۰۹، ندیری و همکاران، ۲۰۱۴: ۵۲۳) که برای تخمین پارامترهای مختلف هیدروژئولوژیکی مانند هدایت هیدرولیکی و تخلخل و غیره مورد استفاده قرار گرفته‌اند، نشان می‌دهد. توتمز و خطیب‌اوغلو[2] (۲۰۰۷) برای پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی در آب‌های زیرزمینی از روش نروفازی استفاده کردند. آنها برای این کار از میزان یون‌های مثبت در آب زیرزمینی استفاده کردند. نتیجه‌گیری آنها نشان داد که مدل نروفازی می‌تواند حتی در صورت عدم وجود داده‌های کافی، کارایی قابل قبولی را نشان دهد. شباهت قوانین حاکم بر جریان الکتریکی مانند قانون اهم با قوانین حاکم بر جریان آب زیرزمینی در محیط متخلخل مانند قانون دارسی و همچنین شباهت پارامترهای مؤثر بر جریان

1- Artificial Intelligence
2- Tutmez and Hatipoglu

Archive of SID

www.SID.ir

الکتریکی و جریان آب زیرزمینی مانند هدایت الکتریکی و هدایت هیدرولیکی، این امکان را به وجود آورده که با توجه به این شباهت، بتوان با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی، پارامترهای مؤثر بر جریان آب زیرزمینی مانند هدایت هیدرولیکی را تخمین زد. در نتیجه؛ استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی به عنوان پارامترهای ورودی مدل‌های هوش مصنوعی، دقت تخمین و پیش‌بینی به وسیله‌ی این مدل‌ها را افزایش می‌دهد. بنابراین؛ با توجه به اینکه هریک از متدهای هوش مصنوعی، به صورت منفرد دارای قابلیت‌های بالایی در تخمین پارامترهای هیدروژئولوژیکی می‌باشند، در این تحقیق سعی شده است مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، منطق فازی ساگنو و ممدانی (SFL, MFL) و سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS) در تخمین هدایت هیدرولیکی با به کارگیری داده‌های ژئوفیزیکی مانند مقاومت ویژه‌ی الکتریکی و همچنین داده‌های هیدروژئولوژیکی، در دشت مراغه - بناب باهم مقایسه شوند.

معرفی منطقه‌ی مطالعاتی

دشت مراغه-بناب در جنوب استان آذربایجان شرقی واقع شده است (شکل ۱). مهم‌ترین شهرهای آن مراغه و بناب می‌باشد. شهرستان مراغه در فاصله‌ی حدود ۷۰ کیلومتری جنوب تبریز قرار دارد. وسعت کل محدوده بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که حدود ۳۰۰ کیلومتر آن را دشت و پهنه‌های آبرفتی تشکیل می‌دهد و از نظر تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز کشوری، این محدوده در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه قرار گرفته است. صوفی چای مهم‌ترین رودخانه این محدوده می‌باشد و از ارتفاعات جنوبی کوه‌های سهند سرچشمه می‌گیرد که تا میانه‌ی منطقه‌ی مطالعاتی جهتی تقریباً شمالی-جنوبی داشته و از آنجا تا دریاچه‌ی ارومیه دارای راستای عمومی شرقی-غربی می‌باشد. این منطقه از شمال با ارتفاعات سهند، از غرب به دریاچه‌ی ارومیه، از شمال غرب به محدوده‌ی عجب شیر و از شرق و جنوب به

Archive of SID

www.SID.ir

محدوده‌ی ملکان می‌رسد. میانگین بارندگی سالانه در منطقه‌ی مطالعاتی مراغه-بناب در ایستگاه سینوپتیک مراغه درحدود ۳۳۰ میلی‌متر در سال برای یک دوره‌ی ۵۰ ساله (۱۳۳۹-۱۳۸۸) گزارش شده است.

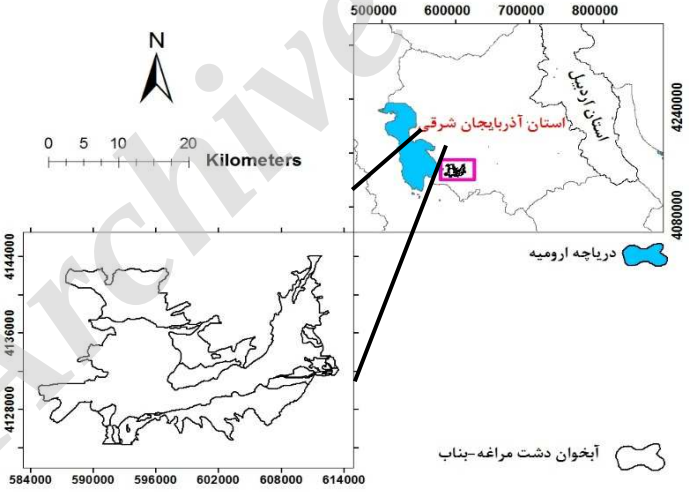
در حاشیه‌ی دریاچه‌ی ارومیه رسوبات دانه‌ریز و پهنه‌های نمکی، کفه‌های تبخیری را تشکیل داده‌اند. آبخوان دشت مراغه-بناب را رسوبات آبرفتی کواترنری تشکیل داده است (شکل ۲). پاره‌ای از سازندهای سنگی منطقه دارای تراوایی درز و شکاف‌اند. در سازندهای درز و شکاف‌دار منطقه که به طور عموم از جنس ولکانیک‌های سهند و آهک‌های شیل‌دار می‌باشند مقداری آب نفوذ کرده که به وسیله‌ی تعدادی چشمه با آبدهی ناچیز مشخص می‌گردد. نهشته‌های آبرفتی دوران چهارم مهم‌ترین سنگ مخزن آب زیرزمینی منطقه‌اند. آبخوان پیوسته‌ای که در آبرفت‌های دشت مراغه-بناب تشکیل شده‌اند از جنوب شهر مراغه شروع شده و تا شوره‌زارهای دریاچه‌ی ارومیه ادامه دارد به عنوان آبخوان اصلی دشت مراغه-بناب نامگذاری شده است.

براساس اطلاعات حاصل از بررسی‌های ژئوفیزیکی و نتایج حفاری چاه‌های اکتشافی و مشاهده‌ای، آبخوان دشت مراغه-بناب از نوع آزاد و تک‌لایه می‌باشد. گستره‌ی محدوده‌ی آبخوان در حدود ۱۹۰ کیلومتر مربع برآورد شده است. بهره‌برداری از آبخوان اصلی دشت به کمک تعدادی چاه عمیق و نیمه‌عمیق و تعدادی قنات و چشمه صورت می‌گیرد. تعداد نقاط برداشت از آبخوان محدوده‌ی مطالعاتی ۶۸۴۱ حلقه چاه می‌باشد که از این تعداد ۵۹۱ حلقه غیرفعال است. از مجموع ۶۲۵۰ حلقه چاه فعال، تعداد ۶۰ حلقه چاه عمیق و ۶۱۹۰ حلقه چاه نیمه‌عمیق است.

Archive of SID

www.SID.ir

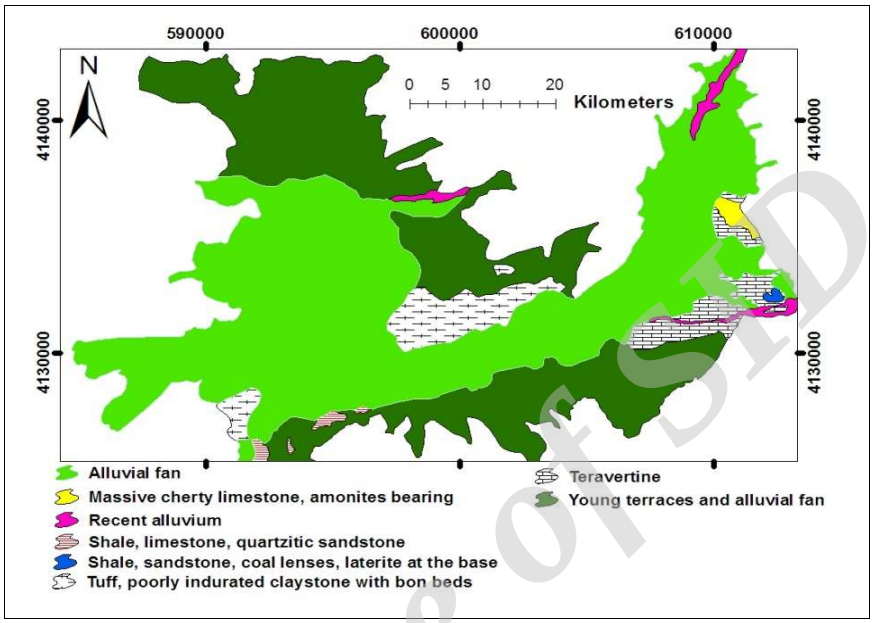
علاه بر این، ۱۰۸ رشته قنات وجود دارد که ۶۰ رشته از آنها خشک شده است. تعداد چشمه‌های منطقه نیز ۶۶ دهنه بوده که ۱۵ دهنه از آنها خشک شده است. همچنین به علت فعالیت شهرک‌های صنعتی که منابع آب‌های زیرزمینی را در معرض آلودگی به آلاینده‌های شیمیایی قرار داده است، به نظر می‌رسد که محافظت و بازیابی چاه‌های آب، مدیریت آبخوان و بهره‌برداری بهینه از آب زیزمینی در دشت مراغه-بناب باید بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. برای مدیریت و بهره‌برداری بهینه از آب زیرزمینی، شناخت شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان امری ضروری است. برای شناخت بهتر این شرایط باید پارامترهای مؤثر بر رفتار آبخوان با دقت بیشتری پیش‌بینی و تخمین زده شوند که یکی از با اهمیت‌ترین این پارامترها هدایت هیدرولیکی می‌باشد. برای تشخیص خصوصیات هیدروژئولوژی منطقه، مطالعات ژئوفیزیک و حفاری‌های اکتشافی به صورت مجزا مورد توجه قرار گرفته‌اند.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۲) نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مطالعاتی

مطالعات ژئوفیزیک انجام گرفته در دشت مراغه-بناب به روش ژئوالکتریک بوده که توسط شرکت مهندسین مشاور آب و خاک (۱۳۵۴) انجام گرفته است و طی آن ۶۸ سونداژ در راستای ۱۲ پروفیل ژئوالکتریک برداشت شده است. ضخامت اشباع رسوبات از جمله پارامترهای موثر در تخمین هدایت هیدرولیکی می‌باشد که برای به دست آوردن آن با توجه به مطالعات ژئوفیزیک انجام شده، نقشه هم ضخامت آبرفت تهیه گردید. براساس این مطالعات، ضخامت آبرفت از کمتر از ۱۰ متر تا بیش از ۷۰ متر می‌باشد و شامل نهشته‌های کنگلومرایی با جورشدگی ضعیف و سیمان رسی-ماسه ای هستند.

Archive of SID

www.SID.ir

در دشت مراغه-بناب تعداد ۶ حلقه چاه اکتشافی و ۶ حلقه چاه پمپاژ حفاری شده است. عمیق‌ترین چاه اکتشافی با ۷۲ متر عمق در روستای قلعه‌ی خالصه قرار دارد. همچنین بر روی ۶ حلقه از چاه‌های اکتشافی که دارای پیزومتر نیز بودند، آزمایش پمپاژ انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

داده‌های ورودی برای مدل‌های هوش مصنوعی در دشت مراغه-بناب، داده‌های ژئوفیزیکی و هیدروژئولوژی شامل: مقاومت ویژه عرضی (R_t)، هدایت الکتریکی (EC)، ضخامت اشباع (B) و UTM(X) و UTM(Y) نقاط برداشت هدایت هیدرولیکی می‌باشند. این داده‌ها از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در دشت مراغه-بناب تعداد ۸۰ هدایت هیدرولیکی از طریق آزمون پمپاژ با دبی ثابت و متغیر اندازه‌گیری شده است. مقدار حداکثر هدایت هیدرولیکی برابر با ۳۹/۲۶ متر بر روز و مقدار حداقل آن برابر ۰/۲۷ متر بر روز تخمین زده شده‌اند. تقسیم بندی داده‌ها در مدل‌های هوش مصنوعی برای تخمین هدایت هیدرولیکی به این صورت انجام شد که ۸۰٪ داده‌ها برای مراحل آموزش و ۲۰٪ داده‌ها برای آزمایش اختصاص داده شدند که روش انتخاب داده‌ها دستی بود. هدایت هیدرولیکی در سفره‌های آزاد با مقادیر ضخامت اشباع سفره، مقاومت ویژه عرضی و هدایت الکتریکی رابطه دارد. همچنین با تلفیق داده‌های نتایج چاه‌پیمایی و مطالعات ژئوفیزیک، مشخص شد ضخامت اشباع آبخوان حداکثر تا کمی بیش از ۴۰ متر می‌رسد. براساس مطالعات ژئوفیزیک انجام گرفته در این دشت، داده‌های مقاومت ویژه عرضی و نقشه هم ضخامت رسوبات در دسترس است. این پارامترها نیز به عنوان ورودی و مرتبط با هدایت هیدرولیکی می‌باشند. مقاومت الکتریکی ظاهری دارای دو مؤلفه اصلی مقاومت طولی (R_L) و مقاومت عرضی (R_T) می‌باشد که به ترتیب تغییرات پارامترهای هیدروژئولوژیکی جانبی و عمقی را نشان

Archive of SID

www.SID.ir

می‌دهند. لذا مقاومت الکتریکی عرضی با مقادیر هدایت هیدرولیکی مرتبط می‌باشد. هدایت الکتریکی مورد استفاده در این تحقیق از نتایج آزمایشات هیدروشیمی حاصل از اندازه‌گیری ۳۷ نمونه در سال ۱۳۸۷ به دست آمد. بر این اساس ورودی مدل‌ها عبارتند از: مقاومت الکتریکی عرضی، ضخامت اشباع، هدایت الکتریکی و موقعیت جغرافیایی نقاط اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی بودند. مقادیر مقاومت الکتریکی، ضخامت اشباع و هدایت الکتریکی در محل نقاط اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی، با استفاده از درون‌یابی به روش کریجینگ در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام گرفت.

روش‌های هوش مصنوعی

تعداد مختلفی متدهای هوش مصنوعی وجود دارند که به طور گسترده‌ای جهت تخمین هدایت هیدرولیکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این تحقیق برای تخمین هدایت هیدرولیکی با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی، بر روی مقایسه‌ی متدهای شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)، منطق فازی (FL) و سیستم استنتاج فزی-عصبی تطبیقی (ANFIS) تمرکز شده است. در ادامه، هریک از مدل‌ها به طور خلاصه، شرح داده شده‌اند.

ـ منطق فازی (FL)

روش مدل‌های فازی می‌توانند به عنوان روشی کارا در کاهش خطا و تخمین دقیق پارامترهای هیدروژئولوژیکی محسوب شود (ندیری و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۱۵). فرایندهای کلی مدل‌سازی توسط سیستم‌های فازی شامل سه بخش اصلی است: الف) فازی کردن داده‌ها. این کار با تعریف تابع عضویت انجام می‌شود، ب) ایجاد ارتباط بین داده‌های ورودی و داده‌های خروجی. این کار با ایجاد یک سری قوانین فازی مانند قانون "اگر-آنگاه" ایجا می‌شود، تجمیع نتایج سیستم و نافازی‌سازی.

Archive of SID

www.SID.ir

این کار به وسیله‌ی عملگرهای فازی که شامل and و or و not هستند، انجام می‌گیرد. عملگر AND به دو صورت کمینه‌سازی (min) و وزن‌دهی (prod) و عملگر or نیز به صورت بیشینه‌سازی عمل می‌کند. مدل فازی به روش‌های مختلف ممدانی و ساگنو قابل اجرا است. تفاوت مدل فازی ساگنو و ممدانی در خروجی آنها است، به این معنی که تابع عضویت خروجی سیستم فازی ساگنو به صورت رابطه خطی می‌باشد که توسط روش دسته‌بندی به دست می‌آید. تابع عضویت خروجی ممدانی نیز باتوجه به نوع و ماهیت داده‌ها و مطالعه، می‌تواند متفاوت باشد، مانند تابع عضویت گوسین. اولین مرحله در ایجاد یک مدل فازی، دسته‌بندی داده‌ها می‌باشد که بستگی به نوع مدل فازی مورد استفاده دارد و می‌توان از روش‌های دسته‌بندی مختلف استفاده کرد که از آن جمله می‌توان به روش subtractive برای مدل ساگنو و روش fuzzy C-means برای مدل ممدانی اشاره کرد (ندیری و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۱۵).

ـ شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)

در این تحقیق از یک شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه که کارآیی آن در تحقیق‌های قبلی به اثبات رسیده (مختاری و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۵۲)، استفاده شده است. به طور کلی یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون دارای سه‌لایه می‌باشد که این لایه‌ها از طریق نودها به همدیگر متصل می‌شوند. این لایه‌ها شامل: لایه‌ی ورودی[1] که ورودی‌های مدل را شامل می‌شود. لایه‌ی میانی یا لایه‌ی مخفی[2] محل انجام پردازش بر روی داده‌های ورودی می‌باشد. لایه‌ی خروجی[3] که خروجی مدل را معرفی می‌کند. تعداد ورودی‌ها در لایه اول و همچنین تعداد لایه‌های میانی

1- Input layer
2- Hidden layer
3- Output layer

Archive of SID

www.SID.ir

می‌توانند متغیر باشند. در لایه‌ی میانی چندین نود پردازشگر وجود دارد که هر یک از نودهای ورودی به تک‌تک نودهای میانی متصل می‌شوند و بعد از پردازش بر روی ورودی‌ها در لایه‌ی میانی، خرجی مدل در لایه‌ی خروجی معرفی می‌شود. در این مطالعه با استفاده از روش آزمون و خطا تعداد بهینه‌ی نرون‌های لایه‌ی میانی (۹نرون) تعیین شد. همچنین مدل ANN مورد استفاده دارای تابع آموزشی TRAINLM و تابع محرک TANSIG بود که با این شرایط، بهترین کارایی را نشان داد (نورانی و همکاران، ۲۰۰۸، الف(a)، نورانی و همکاران، ۲۰۰۸: ۳۲۹-۳۱۹،ب(b)، ندیری و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۴۸۲، ۲۰۱۴: ۵۲۲). در شبکه‌های عصبی مصنوعی با توجه به اینکه وارد کردن داده‌ها به صورت خام قابل پردازش نیست، لذا در آموزش شبکه، نرمالیزه کردن داده‌ها قبل از اعمال شبکه‌ی بسیار مهم است. برای پیشگیری از چنین شرایطی و همچنین به لحاظ یکسان‌سازی ارزش داده‌ها برای شبکه‌ی عمل نرمال‌سازی داده‌ها مطابق رابطه‌ی (۱) انجام شد.

$$x_n = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \qquad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

ـ سیستم استنتاج نرو-فازی تطبیقی (ANFIS)

مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANNs) زمانی کارآیی بهتری از خود نشان می‌دهد که اطلاعات و داده‌های کافی وجود داشته باشد. این مدل از داده‌های مشاهداتی قبلی برای آموزش شبکه استفاده می‌کند بنابراین کمبود اطلاعات و داده‌ها، کارآیی سیستم را کاهش می‌دهد. همچنین به دلیل اینکه شبکه‌ی عصبی مصنوعی مقادیر وزن خود را به صورت تصادفی در نظر می‌گیرد، ممکن است در طی فرایند آموزش در حداقل محلی (local minima) گرفتار شود که در نهایت باعث می‌شود شبکه‌ی خوب آموزش ندیده و کارآیی لازم را نداشته باشد. در حالی که سیستم استنتاج فازی (FIS) برای مدل‌سازی به قوانین زبانی به عنوان اطلاعات اولیه نیاز دارد. علاوه

Archive of SID

www.SID.ir

بر این، متغیرهای ورودی و خروجی در این مدل به صورت زبانی توصیف می‌شوند. بنابراین اگر اطلاعات ناقص و متناقض باشند، سیستم فازی باید با این شرایط وفق داده شود ولی از آنجایی که روش رسمی برای این کار وجود ندارد، بنابراین با روش‌های ابتکاری این کار را انجام می‌دهد. این کار معمولاً وقت‌گیر و دارای خطا می‌باشد. مزایا و معایب ANNs و FIS توسط نااوک و کراس (ناووک و کراس، ۱۹۹۹: ۱۵۹) توصیف شده است. سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی که در سال ۱۹۹۲ توسط جانگ مطرح شد از ترکیب قابلیت تولید قوانین فازی مدل FIS و قابلیت آموزش شبکه در مدل ANNs ایجاد می‌شود و به این ترتیب می‌تواند بر معایب هر یک از این مدل ها غلبه کند. ANFIS با محدودیت‌های کمتری نسبت به مدل‌های ANNs و FIS در زمینه‌های مختلفی از جمله در مطالعات آب‌های زیرزمینی مانند تخمین پارامترهای هیدرولیکی، می‌تواند نتایج بهتری ارائه دهد.

ـ ساختار ANFIS

برای شناخت از ساختار و طرز کار ANFIS آشنایی با سیستم منطق فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی ضروری است. اگر سیستم ANFIS دارای ۲ ورودی x و y و یک خروجی f باشد برای مدل فازی ساگنو درجه اول، مجموعه قوانین معمولی سیستم فازی به صورت ۲ قانون اگر- آنگاه به شکل زیر در می‌آید:

$$Rsule1 = if\,(xisA1)and(yisB1)then(f1 = p1x + q1y + r1)$$ رابطه‌ی (۲)

$$Rsule2 = if\,(xisA2)and(yisB2)then(f2 = p2x + q2y + r2)$$ رابطه‌ی (۳)

P_i و q_i و r_i پارامترهای متأخر نامیده می‌شوند که در طول فرایند آموزش تعیین می‌شوند. F_i نیز به عنوان خروجی محیط فازی می‌باشد که توسط قوانین فازی مشخص می‌شود. معادلات حاکم بر لایه‌های مختلف مدل نروفازی توسط ندیری و همکاران، (۲۰۱۴: ۵۲۱) ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

بحث و نتایج

اطلاعات و داده‌های آزمایشات پمپاژ و مطالعات ژئوفیزیک انجام گرفته در دشت مراغه-بناب از سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان‌شرقی جمع‌آوری شد. تعداد ۸۰ دسته داده شامل مقادیر مقاومت ویژه عرضی، هدایت الکتریکی، ضخامت اشباع و UTM(X) و UTM(Y) نقاط برداشت هدایت هیدرولیکی، به دست آمد. از میان ۸۰ دسته داده، ۶۵ دسته داده برای مرحله آموزش و ۱۵ دسته داده برای مرحله‌ی آزمایش انتخاب شدند.

ـ نتایج مدل FL

در این تحقیق از دو روش فازی مختلف ممدانی (MFL) و ساگنو (SFL) برای پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی در آبخوان مراغه-بناب استفاده شد. اولین مرحله در این روش، دسته‌بندی داده‌ها و تعیین توابع عضویت است که در این تحقیق از روش کاهشی[1] برای مدل ساگنو استفاده شد که روشی مفید در دسته‌بندی داده‌ها و تعداد قوانین در تحقیقات اخیر بوده است (ندیری و همکاران، ۲۰۱۴: ۵۲۱، چیو، ۱۹۹۴: ۲۷۰). پارامتر اصلی در این روش دسته‌بندی برای تعیین دسته‌ها و قوانین اگر-آنگاه، شعاع دسته‌بندی است. مقادیر این پارامتر بین صفر و یک می‌باشد. کاهش این پارامتر باعث افزایش دسته‌ها و قوانین و افزایش آن به سمت یک باعث کاهش دسته‌ها و قوانین خواهد بود (چیو، ۱۹۹۴: ۲۷۳). بازده مدل فازی بستگی به تعیین شعاع بهینه‌ی دسته‌بندی دارد که مقدار بهینه‌ی آن ۰/۴ تعیین شد. بر این اساس داده‌ها به ۸ دسته تقسیم و ۸ قانون اگر-آنگاه تعیین شد. تابع عضویت استفاده شده برای مدل‌سازی فازی مقادیر هدایت هیدرولیکی، تابع گوسین بود. تابع عضویت خروجی مدل ساگنو تابعی خطی است که براساس ورودی‌ها ساخته

1- subtractive

Archive of SID

www.SID.ir

می‌شود. در مدل ممدانی از روش دسته‌بندی FCM استفاده شد. در این روش نیز تعداد دسته‌های بهینه براساس کمترین مقدار RMSE، به صورت جدول (۱) است.

جدول (۱) مقدار تعداد دسته‌ها بر اساس مقادیر RMSE

Cluster No.	Train RMSE	Test RMSE	Mean RMSE
۲۳	۳/۷۷	۴/۸۱	۴/۲۹

در این روش نیز تابع عضویت ورودی و خروجی، تابع گوسین بود. مقادیر ضریب تعیینی نیز که با استفاده از معادله‌ی نَش محاسبه شد برای مدل‌های ممدانی و ساگنو در مرحله‌ی آموزش برابر ۰/۷۵ و ۰/۹۳ بود. نقشه‌ی توزیع مقادیر هدایت هیدرولیکی پیش‌بینی شده به وسیله‌ی مدل ساگنو در شکل ۳-الف نمایش داده شده است.

ـ نتایج مدل ANNs

در این تحقیق از شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه با الگوریتم لونبرگ-مارکوارت (MLP-LM) استفاده شد. ساختار ANN مورد بررسی در این تحقیق دارای ۵ گره ورودی (منطبق بر تعداد ورودی‌ها) و ۹ گره میانی می‌باشد. تعداد گره‌های میانی براساس روش آزمون و خطا و بهینه‌ترین حالت مدل انتخاب شد. همچنین از تعداد تکرار ۵۰۰ که شبکه‌ی مورد نظر در این مقدار مناسب‌ترین عملکرد و کمترین خطا را دارد، استفاده شد. پس از نرمالیزه کردن داده‌ها و اجرای مدل میزان ضریب تعیین (R^2) و مجذور میانگین خطای مربعات (RMSE) و ضریب همبستگی حجمی، محاسبه و در جدول (۱) نشان داده شد. همچنین نتایج مدل‌سازی به صورت نقشه‌ی توزیع مقادیر هدایت هیدرولیکی حاصل از مدل ANN در شکل ۳-ب ارائه شده است.

Archive of SID

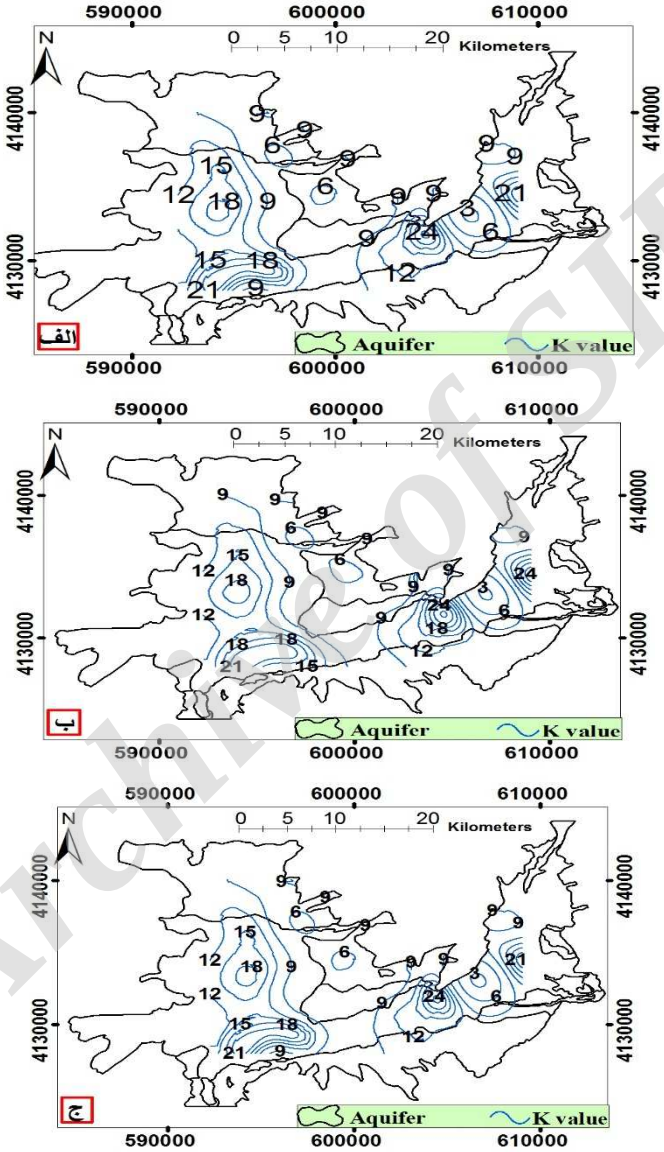
www.SID.ir

ـ نتایج مدل ANFIS

برای تخمین هدایت هیدرولیکی با ANFIS، شبکه ای با ۵ متغیر ورودی شامل UTMX، UTMY، مقاومت ویژه‌ی عرضی، ضخامت اشباع و هدایت الکتریکی، انتخاب شد. تنها خروجی مدل نیز هدایت الکتریکی می‌باشد. مدل‌سازی با استفاده از کدنویسی در محیط نرم‌افزار متلب (MATLAB) انجام گرفت. الگوریتم خوشه‌بندی (روش دسته‌بندی) مورد استفاده در این مطالعه، روش کاهشی می‌باشد. پارامتر اصلی در این روش دسته‌بندی برای تعیین دسته‌ها و قوانین اگر-آنگاه، شعاع دسته‌بندی است. مقادیر این پارامتر بین ۰ و ۱ می‌باشد. بازده مدل بستگی به شعاع دسته‌بندی دارد که مقدار بهینه آن در این تحقیق ۴/. تعیین شد. همچنین؛ نقطه حیاتی در طراحی پایگاه قوانین، انتخاب تعداد قوانین فازی است. زمانی که یک سیستم فازی با استفاده از دسته‌بندی فازی ساخته می‌شود، هر دسته به یک قائده فازی مربوط می‌شود. بنابراین تعداد دسته‌ها، تعداد قوانین فازی را مشخص می‌کند. براین اساس داده‌ها به ۹ دسته تقسیم و ۹ قانون اگر-آنگاه تعیین شد. نوع مدل فازی به کار رفته در ساختار ANFIS مورد مطالعه از نوع ساگنو است که براین اساس تابع عضویت خروجی نیز خطی می‌باشد. بعد از اجرای مدل ANFIS و تخمین هدایت هیدرولیکی، نقشه‌ی پراکندگی هدایت هیدرولیکی حاصل از این مدل تهیه شد (شکل۳-ج). با توجه به شکل ۳، قسمت شرقی آبخوان که محل ورودی رودخانه‌ی صوفی چای نیز می‌باشد، منتهی است به ارتفاعات. در این محل، نزدیک بودن به ارتفاعات و محل تغذیه‌ی آبخوان لذا این مناطق با دانه‌بندی درشت‌تر دارای هدایت هیدرولیکی بالاتری نسبت به مرکز دشت خواهد بود. به همین دلیل در قسمت‌های مرکزی با کاهش مقدار هدایت هیدرولیکی مواجه هستیم.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۳) نقشه‌ی توزیع هدایت هیدرولیکی. الف) مدل ساگنو، ب) مدل ANN، ج) مدل ANFIS

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به محاسبات و نتایج به دست آمده برای انواع مدل‌های مورد بحث در این مطالعه، معیارهای ارزیابی برای هر یک از این مدل‌ها در هر یک از مراحل آموزش و آزمایش مربوط به آنها در جدول (۲) خلاصه گردید. براین اساس می‌توان کارآیی هریک از مدل‌ها را با همدیگر مقایسه کرد.

جدول (۲) خلاصه نتایج مدل‌های هوش مصنوعی

مدل		ANN	SFL	MFL	ANFIS
معیار ارزیابی	آموزش	R^2=0.91 RMSE=1.08 I_{VF}=0.99	R^2=0.99 RMSE=0.23 I_{VF}=1	R^2=0.75 RMSE=3.77 I_{VF}=1.11	R^2=0.99 RMSE=0.23 I_{VF}=1
	آزمایش	R^2=0.89 RMSE=2.87 I_{VF}=0.87	R^2=0.93 RMSE=2.3 I_{VF}=0.99	R^2=0.72 RMSE=4.81 I_{VF}=1.13	R^2=0.85 RMSE=1.12 I_{VF}=0.99

نتیجه‌گیری

بر اساس تحقیق انجام یافته در خصوص مقایسه کارآیی روش‌های مختلف هوش مصنوعی در تخمین پارامترهای هیدروژئولوژیکی، واضح است که توانایی این تکنیک‌ها با توجه به ساختارهای مختلف آنها و نیز طبیعت مسئله‌ی مورد نظر، متفاوت است. با انتخاب نوع و تعداد مناسب ورودی‌ها و نیز استفاده از نوع مناسب و سازگار تکنیک‌های هوش مصنوعی، می‌توان گفت که این تکنیک‌ها ابزاری مناسب و کارا برای تخمین پارامترهای هیدروژئولوژیکی مانند هدایت هیدرولیکی می‌باشند. نتایج این تحقیق شامل؛ منطق فازی (FL) که خود شامل دو نوع مدل فازی ممدانی (MFL) و فازی ساگنو (SFL) است، مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANN) با ساختار پرسپترون سه لایه با الگوریتم LM و سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS) می‌باشد. در اجرای مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی، تعیین تعداد نرون‌ها در لایه‌ی میانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مورد نمی‌توان قانون صریحی برای تعیین تعداد نرون‌ها بیان نمود. مدل ANFIS که ترکیبی از

Archive of SID

www.SID.ir

مدل ANN و FIS می‌باشد،که با استفاده از توانایی هر دو مدل می‌تواند نتایج بهتری ارائه دهد. مقادیر بهینه‌ی شعاع دسته‌بندی و نوع توابع عضویت در مدل‌های فازی (MFL و SFL) که از پارامترهای تأثیرگذار در عملکرد این مدل‌ها می‌باشند، بر اساس کمترین مقدار خطا تعیین شد. براین اساس مقدار شعاع دسته‌بندی برابر با ۰/۴ برای مدل SFL بود که منجر به ایجاد ۸ دسته شد و تعداد دسته‌های بهینه برای مدل MFL ۲۳ دسته تعیین شد. در انتخاب مدل مناسب، براساس مقادیر R^2 و RMSE و I_{VF} می‌توان بهترین روش را برای تخمین هدایت هیدرولیکی در دشت مراغه-بناب انتخاب کرد. با توجه به این مقادیر، روش ANFIS با دارا بودن مقادیر RMSE کمتر و R^2 و I_{VF} نزدیک به یک، می‌تواند به عنوان بهترین روش انتخاب شود. براساس این نتایج روش‌های مختلف هوش مصنوعی می‌توانند با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی، برای تخمین بهتر و دقیق‌تر هدایت هیدرولیکی، با کارآیی بالایی نسبت به مدل‌های کلاسیک، مورد استفاده قرار گیرند و خطای اندازه‌گیری را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهند. همچنین مقایسه بین متدهای هوش مصنوعی مورد استفاده در این تحقیق، نشان داد که هریک از این متدها به صورت انفرادی دارای قابلیت بالایی در تخمین هدایت هیدرولیکی با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی هستند. بنابراین با توجه به نتایج ارزیابی مدل‌ها براساس I_{VF}، R^2 و RMSE، می‌توان بهترین روش را برای تخمین هدایت هیدرولیکی در دشت مراغه-بناب و سایر دشت‌های مشابه به کار گرفت. همچنین توصیه می گردد برای گسترش استفاده از روش ارائه شده در این تحقیق نیاز به افزایش و تدقیق داده‌های پمپاژ در دشت‌های مختلف می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

ـ فیجانی، الهام (۱۳۹۲)، **هیروژئولوژی و هیدروژئوشیمی آبخوان دشت مراغه-بناب با استفاده از مدل‌سازی آب زیرزمینی**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.

ـ ندیری، عطاالله؛ اصغری مقدم، اصغر؛ عبقری، هیراد؛ کلانتری اسکویی، علی؛ حسین پور، عبدالله و احد حبیب‌زاده (۱۳۹۳)، **مدل منطق فازی در تخمین قابلیت انتقال آبخوان، مطالعه‌ی موردی: دشت تسوج**، نشریه‌ی دانش آب و خاک شماره‌ی ۱، جلد ۲۴، صص ۲۰۹ تا ۲۲۳.

ـ مختاری، زینب؛ ناظمی، امیرحسین و عطاالله ندیری (۱۳۹۱)، **پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی با استفاده از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی (مطالعه‌ی موردی: دشت شبستر)**، فصلنامه‌ی زمین‌شناسی کاربردی، شماره‌ی ۴، صص ۳۵۳-۳۴۵.

-Chiu, S. (1994), **Fuzzy Model Identification Based on Cluster Estimation**, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems 2: PP. 267–278.

-Chitsazan, N., Nadiri, A.A., Tsai, F.T.C. (2015b), **Prediction and Structural Uncertainty Analyses of Artificial Neural Networks Using Hierarchical Bayesian Model Averaging**, Journal of Hydrology 528: PP. 52-62.

-Jang, J.S.R., (1993), **ANFIS: Adaptive Network-based Fuzzyinference System, IEEE Transactions on Systems**, Man and Cybernetics 23 (3), PP. 665–685.

-Mamdani, E.H., (1977), **Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using linguistic Synthesis Computers**, IEEE Transactions C-26(12): PP. 1182–1191.

-Motaghian, H.R., and Mohammadi, J. (2011), **Spatial Estimation of Saturated Hydraulic Conductivity from Terrain Attributes Using Regression, Kriging, and Artificial Neural Networks**, Pedosphere, 21(2), PP. 170–177.

Archive of SID

www.SID.ir

-Nadiri, A., Asgharimoghddam, A., Nourani, V., (2006), **Basic of Artificial Neuran Networks Model (ANNs) and its Application in Hydrogeology**, Proceeding of the 24th Symposium of Geosciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

-Nadiri, A.A., Fijani, E., Tsai, F.T.-C. and Asghari Moghaddam, A.A. (2013b), **Supervised Committee Machine with Artificial Intelligence for Prediction of Fluoride Concentration**, Hydroinformatics Journal, 15.4, PP. 1474-1490.

-Nadiri, A., Chitsazan, N., Tsai, F., and Moghaddam, A. (2014), **Bayesian Artificial Intelligence Model Averaging for Hydraulic Conductivity Estimation**, J. Hydrol. Eng., 10.1061/(ASCE)HE., 1943-5584.0000824.

-Nauck, D., Kruse, R., (1999), **Obtaining Interpretable fuzzy Classification Rules from Medical Data**, Artificial Intelligence in Medicine 16 (2), PP. 149–169.

-Nikravesh M and Aminzadeh F, (2003), **Soft Computing and Intelligent Data Analysis in Oil Exploration, Part1**: Introduction: Fundamentals of Soft Computing, Elsevier, Berkeley, USA.

-Nourani, V., Asgharimoghaddam, A., Nadiri, A., Singh, V.P., (2008b), **Forecasting Spatiotemporal Water Level of Tabriz Aquifer**, Trends in Applied Sciensses Reserch, Vol. 3(4): PP. 319-329.

-Nourani, V., Asgharimoghddam, A., Nadiri, A., (2008a), **An ANN-Based Model for Spatiotemporal Groundwater Level Forecasting**, Hydrogeological Procrsses, Vol. 22(26): PP. 5054-5066.

-Sugeno, M., (1985), **Industrial Application of Fuzzy Control**, Elsevier Science Pub., Co., New York, USA.

-Tutmez, B., Hatipoglu, Z. (2007), **Spatial Estimation Model of Porosity**, Comput., Geosci., 33(4), PP. 465–475.

Archive of SID

www.SID.ir