ارزیابی مدل‌های FR و WoE در تهیه نقشه تغییرات مکانی پتانسیل آب زیرزمینی یا استفاده از GIS در شهرستان اسفراین

امیرحسین قربانی[۱]، محسن ذبیحی[۲]، رئوف مصطفی‌زاده[۳*]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی نقشه‌برداری- سیستم‌های اطلاعات مکانی، موسسه آموزش عالی لامعی گرگانی، گرگان، ایران
۲. دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳.دانشیار، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

* پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

زیرنویس شود :[1د] Commented

چکیده

استفاده بهینه از منابع آب زیرزمینی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از روش‌های پایدار بهره‌برداری مانند قنوات همواره مورد توجه بوده است. از طرفی، تحلیل اطلاعات مکانی موثر بر وجود آب‌های زیرزمینی به روش‌های تحلیلی قوی نیاز دارد تا بتواند روابط غیرخطی، ارتباط درونی و اطلاعات پنهان میان لایه‌ها را تفسیر نماید. در همین ارتباط، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی مقایسه‌ای تغییرات مکانی پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و وزن شواهد در محدوده شهرستان اسفراین استان خراسان شمالی برنامه‌ریزی شده است. عوامل ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب، درجه شیب، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، شاخص رطوبت توپوگرافی، انحنای دامنه، انحنای آبراهه، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، شاخص توان آبراهه، فاصله از گسل و تراکم گسل به‌عنوان لایه‌های موثر در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه و براساس مدل‌های نسبت فراوانی و وزن شواهد میزان ارتباط آن‌ها با پتانسیل آب زیرزمینی تعیین شد. ارزیابی نقشه‌های تهیه شده با استفاده از منحنی عملکرد نسبی انجام شد. براساس نتایج، مدل نسبت فراوانی با مقدار سطح زیرمنحنی برابر با ۸۴/۴ درصد عملکرد بهتری نسبت به مدل وزن شواهد در منطقه مطالعاتی نشان داد. هم‌چنین، عوامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، ارتفاع از سطح دریا و فاصله از رودخانه در مدل‌های مورد استفاده به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی انتخاب شدند. علاوه بر این، ۱۲/۵، ۲۸/۴۵، ۳۴/۷۵، ۱۹/۳ و ۵ درصد از منطقه مورد پژوهش به‌ترتیب در طبقات با پتانسیل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد پتانسیل آب زیرزمینی براساس مدل نسبت فراوانی قرار گرفته‌اند. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در سیاست‌گزاری‌ها و تصمیم‌سازی‌های مرتبط با مدیریت منابع آب و مکان‌یابی مناطق مستعد وجود قنات و استخراج آب‌های زیرزمینی یا اتخاذ راهبردهای مدیریت بهینه آبخوان در شهرستان اسفراین مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: استحصال آب زیرزمینی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، قنات، مدل‌سازی مکانی، وزن شواهد

مقدمه

کمبود آب‌های سطحی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک منجر به تلاش بشر برای استحصال آب‌های زیرزمینی شده است. افزایش جمعیت و درنتیجه تقاضای بیش‌تر برای استفاده از آب نیز مزید بر علت شده تا نیازهای بشر در تأمین آب از طریق آب‌زیرزمینی رو به افزایش باشد (۷). حفر قنات به‌عنوان یکی از موفق‌ترین کارهای بشر برای دسترسی به آب‌زیرزمینی قلمداد می‌گردد و شاهکار ایرانیان در استفاده از آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و کویری است که قدمت آن به حدود سه هزار سال قبل برمی‌گردد (۲۵). حفر قنات یکی از روش‌های مصنوعی و پایدار برای بهره‌برداری از آب‌زیرزمینی است که میزان بهینه‌ای از آب‌زیرزمینی را استحصال می‌نماید (۱). اغلب مورخین معتقدند که حفر قنات از ایران شروع شده است و سپس به سایر کشورها تسری پیدا کرده است. در همین رابطه، حدود ۳۲۱۶۴ سیستم فعال قنات با مجموع دبی حدود ۹ میلیارد مترمکعب در ایران وجود دارد (۱۷). بااین‌وجود، فناوری قنات در بیش از ۳۴ کشور جهان وجود دارد. نخستین قنات‌های ثبت‌شده در نواحی شمال‌غربی ایران حفر شده و قدمت آن به ۸۰۰ سال قبل از میلاد می‌رسد (۲۳). قنات اساساً مجموعه‌ای از تونل‌های زیرزمینی به‌هم‌پیوسته و افقی است که آب‌های زیرزمینی را از ناحیه کوهستانی در امتداد یک سازند آب‌دار (آبخوان) جمع‌آوری و به منطقه‌ای دیگر در دشت تحویل می‌دهد (۲۰). در این راستا، آب‌زیرزمینی به آب منطقه اشباع زمین اطلاق می‌شود که منافذ میان دانه‌های معدنی یا شکاف‌ها و سنگ‌های شکسته شده در توده سنگ را پر می‌کند (۴). آب‌زیرزمینی معمولاً توسط باران یا ذوب برف تشکیل می‌شود و از طریق خاک به بخش‌های زیرین نفوذ می‌کند. آب‌زیرزمینی به دلیل دمای ثابت، هزینه اندک توسعه و بهره‌برداری، دسترسی گسترده و تأثیرپذیری کم‌تر نسبت به خشکسالی به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین منابع طبیعی به شمار می‌رود (۲۷). آب‌های زیرزمینی نسبت به منابع آب سطحی نسبت به نوسانات آب‌وهوایی دارای آسیب‌پذیرتری کم‌تر هستند و بنابراین، به‌عنوان یک حائل کلیدی در برابر خشکسالی و تغییرات نرمال بارندگی عمل می‌کنند. حفظ و استفاده بهینه از آب‌های زیرزمینی برای افزایش عملکرد، کاهش ریسک کشاورزی و تثبیت درآمد کشاورزان ضروری است که منجر به امنیت اجتماعی و اقتصادی می‌شود (۱۶). بهره‌برداری مرحله‌به‌مرحله و تأثیرپذیری کم‌تر از وقایع حدی محیطی از دیگر مزایای آب‌های زیرزمینی است (۹). وجود آب‌زیرزمینی در یک منطقه به‌صورت اتفاقی و تصادفی نیست و حاصل برهم‌کنش عوامل اقلیمی، زمین‌شناسی، هیدرولوژیک، اکولوژیک و فیزیوگرافی است (۱۳).

در طول دهه گذشته، فن‌های مختلفی برای تعیین مناطق دارای آب‌زیرزمینی در سراسر جهان مورداستفاده قرار گرفته است. بسیاری از روش‌ها پرزحمت و زمان‌بر بوده و به مجموعه داده‌های بزرگی نیاز دارند تا بتوانند پتانسیل آب زیرزمینی را پیش‌بینی کنند. با این حال، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و ابزار سنجش از دور (RS) موفقیت در اکتشاف آب‌های زیرزمینی را افزایش داده است. یکی از مزیت‌های مهم استفاده از سنجش از دور، توانایی آن در استفاده در مقیاس بزرگ و هم‌چنین دسترسی به مناطقی است که ممکن است دسترسی به آن‌ها محدود باشد. مطالعات مختلفی در خصوص پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در اقصی نقاط دنیا صورت گرفته است. در همین ارتباط، گورو و همکاران (۶) مناطق بالقوه وجود آب زیرزمینی در یک منطقه سرد بیابانی هندوستان را با استفاده از لایه‌های کاربری/پوشش زمین، ژئومورفولوژی، شیب، زمین‌شناسی، تراکم گسل، تراکم زهکشی، محل چاه چشمه و سطح آب زیرزمینی و روش نسبت فراوانی تعیین نمودند. در پژوهش ایشان، میزان صحت و قدرت پیش‌بینی مدل FR به‌ترتیب ۸۱/۲۵ درصد و ۷۷/۲۳ درصد به‌دست آمد. آرون کومار (۲) با هدف مدل‌سازی مکانی و شناسایی مناطق بالقوه آب زیرزمینی در یک منطقه نیمه‌خشک جنوب هند با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل‌های آماری دومتغیره نتیجه گرفتند که متغیرهای زمین‌شناسی، شیب، بارندگی و تراکم زهکشی توسط مدل‌های نسبت فراوانی و آنتروپی شانون به‌عنوان عوامل موثر در تعیین پتانسیل آب زیرزمینی تعیین شدند. علاوه بر این، مشخص شد که صحت مدل‌های نسبت فراوانی و شاخص آنتروپی در تعیین مناطقی با پتانسیل بالای آب زیرزمینی قابل‌قبول بوده است. کیپابا و همکاران (۱۲) پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه ساولا–تونا–کلبا (Sawla-Tuna-Kalba) در کشور غنا را با استفاده از QGIS و AHP مورد بررسی قرار دادند. ایشان برای بهبود دقت نقشه پتانسیل آب زیرزمینی از طبقه‌بندی جنگل تصادفی استفاده نمودند و منطقه مورد مطالعه را بر اساس پتانسیل وجود آب زیرزمینی به طبقات متوسط تا زیاد طبقه‌بندی نمودند. ایشولا و

Commented [د۲]: با توجه به مطالب ارائه شده، می‌توانید ایرادات فنی و علمی زیر را در مقدمه مطرح کنید:

1.کمبود ارجاعات جدید در ۵ سال اخیر: مطالب ارائه شده در مقدمه به بیان اطلاعات بدون ارجاعات به منابع معتبر(جدید در ۵ سال اخیر) مبتنی است. برای افزایش اعتبار و قابلیت اطمینان تحقیق، ضرورت دارد که به مراجع معتبر و مطالعات پیشین اشاره شود.

2.عدم توضیح موضوع مقاله: مقدمه به طور کامل موضوع مقاله را فی نکرده است. اهمیت ارائه یک جمله معرفی کننده و واضح در ...

Commented [د3]: متن اصلی
دو ستونه با تورفتگی نیم سانت پاراگراف بندی شود ...

Deleted: در نتیجه

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: بر می‌گردد

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: با این وجود

Deleted: ثبت شده

Deleted: شمال غربی

Deleted: به‌هم پیوسته

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: اتلاق

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: به‌دلیل

Deleted: خشکسالی

Deleted: خشکسالی

Deleted: مرحله به مرحله

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: تکنیک‌های

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: مورد استفاده

همکاران (۹) پتانسیل آب زیرزمینی در کشور نیجریه را با داده‌های سنجش از دور زمین مرجع (ژئومورفولوژی، تراکم خطی، شیب، بارندگی، کاربری/پوشش زمین، نوع خاک و تراکم زهکشی) و تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ارزیابی نمودند. پس از وزن‌دهی، اولویت‌بندی و رتبه‌بندی مجموعه داده‌های موضوعی در فضای سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه پتانسیل آب زیرزمینی تهیه شد. نتایج ایشان نشان داد که صحت پیش‌بینی مدل بر اساس سطح زیر منحنی عملکرد نسبی (ROC) رضایت‌بخش است.

در ایران نیز نقیبی و همکاران (۱۷) با به‌کارگیری مدل‌های نسبت فراوانی و انتروپی شانون در حوزه آبخیز مغان در استان خراسان رضوی به پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی با استفاده از نقاط قنات پرداختند و نشان دادند که مدل‌های مورد استفاده با سطح زیر منحنی ROC بزرگتر از ۸۵ درصد کارایی قابل قبولی در شناسایی مناطق با پتانسیل وجود آب زیرزمینی داشته‌اند. ذبیحی و همکاران (۳۰) با استفاده از مدل‌های انتروپی شانون و جنگل تصادفی به تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل جنگل تصادفی صحت بالاتری نسبت به مدل انتروپی شانون دارد. قربانی‌نژاد و همکاران (۵) منابع آب زیرزمینی دشت ازنا-الیگودرز را با استفاده از متغیرهای محیطی و مدل نسبت فراوانی پتانسیل‌یابی نمودند. نتایج ارزیابی با استفاده از ۱۱ معیار مؤثر نشان داد که نقشه تهیه شده با مدل نسبت فراوانی دارای قابلیت بالایی در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی است. کثیری و همکاران (۱۰) به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی برپایه سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای در دشت ناز ساری پرداختند. نتیجهٔ ۸۷ درصدی منحنی ROC بیان‌کنندهٔ صحت زیاد روش مورد استفاده در تهیهٔ نقشهٔ پتانسیل آب زیرزمینی است. علاوه بر موارد گفته شده، عوامل زمین‌شناسی و ارتفاع از سطح دریا بیش‌ترین تأثیر را بر پتانسیل منابع آب زیرزمینی براساس مدل ANP در دشت ناز ساری استان مازندران دارند. رضوی ترمه و همکاران (۲۱) نقشه پتانسیل آب زیرزمینی دشت بوشهر را با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی، عامل قطعیت، تابع باور شواهد، جنگل تصادفی، درخت مدل لجستیک ارزیابی نمودند. ایشان نتیجه گرفتند که مجموعه مدل‌های آماری دومتغیره و داده کاوی می‌تواند اثربخشی روش‌ها را در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی بهبود بخشد. ترابی‌پوده و همکاران (۲۸) به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی منطقه لنجانات اصفهان با استفاده از نقاط چاه و مدل وزن شواهد پرداختند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که عامل کاربری اراضی و شیب نسبت به سایر عوامل در پتانسیل‌یابی منابع آب تاثیر بیش‌تری دارند. علاوه بر این، کارایی بالای مدل وزن شواهد با مقدار سطح زیرمنحنی برابر با ۸۱/۶ درصد حاکی از کارایی بالای مدل وزن شواهد در پیش‌بینی مناطق با پتانسیل آب زیرزمینی دارد.

باید اشاره شود که منابع آب زیرزمینی به‌عنوان عمده و تنها منبع مطمئن و دائمی تأمین آب در مناطق خشک، نیمه‌خشک و کویری به‌خصوص در صورت وقوع خشکسالی‌ها است. آب زیرزمینی از مدت‌ها قبل با روش‌های سنتی از جمله حفر قنوات و سپس با رشد و توسعه تکنولوژی حفاری، از طریق چاه‌های نیمه‌عمیق و عمیق مورد بهره‌برداری و به عبارتی مورد تهاجم قرار گرفته است. این موضوع علاوه بر افت شدید سطح آب در اکثر آبخوان‌ها، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی را تحت‌الشعاع قرار داده است. باید اذعان نمود که با توسعه تکنولوژی حفاری چاه‌های نیمه‌عمیق و عمیق بسیاری از دشت‌های کشور از لحاظ بهره‌برداری منابع آب ممنوعه شده و افت شدید سطح آب در اکثر آبخوان‌ها مشکلات بسیار زیادی را سبب شده است. شهرستان اسفراین نیز هم‌چون بسیاری از دشت‌های کشور طی سال‌های اخیر با کسری آب مواجه بوده و یکی از آبخوان‌های ممنوعه بحرانی استان خراسان شمالی است. بر اساس آمار، میزان کل کسری مخزن آبخوان‌های استان خراسان شمالی طی ۲۵ سال اخیر معادل ۱/۹ میلیارد متر مکعب بوده است که به‌طور متوسط رقم ۷۰ میلیون متر مکعب کسری مخزن در هر سال را نشان می‌دهد.

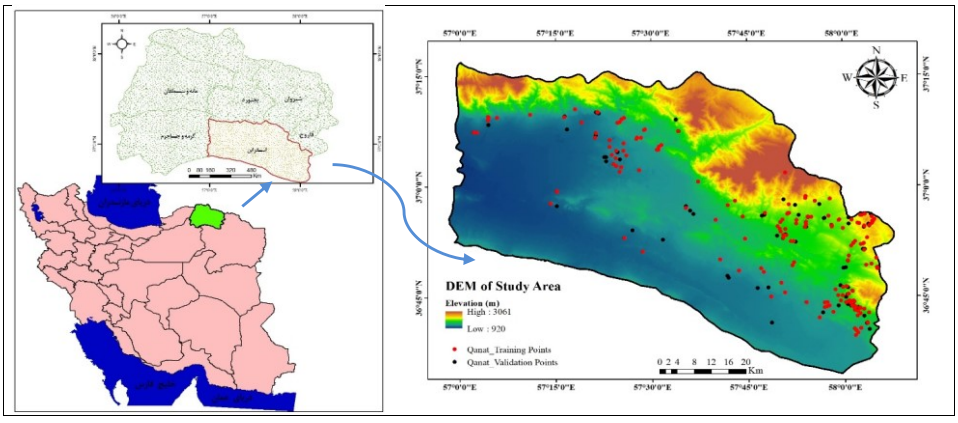
با توجه به توضیحات ارائه شده و لزوم بهره‌برداری پایدار از منابع آب به‌ویژه منابع آب زیرزمینی، استفاده از روش‌های بهینه و پایدار بهره‌برداری از منابع توصیه می‌گردد. روش‌های پایدار بهره‌برداری از منابع آب مانند قنوات مزیت‌های بسیاری نسبت به حفر چاه‌ها دارد که استفاده بهینه از منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین آن است. در همین رابطه، وجود و یا حرکت آب‌های زیرزمینی توسط عوامل مختلفی از جمله پستی و بلندی، سنگ‌شناسی، ساختارهای زمین‌شناسی، درجه شیب و بسیاری عوامل دیگر کنترل می‌شود (۱۹). در این راستا، روش‌های مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی قابلیت استفاده و ادغام لایه‌های مختلف اطلاعاتی را دارد. شناسایی مناطق

دارای پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS شامل تفسیر لایه‌های اطلاعاتی مختلف مانند پوشش گیاهی، پوشش کاربری اراضی، آبرفت، زهکشی، سنگ‌شناسی و زمین‌ساخت، ساخت، شیب و غیره است که در تبیین وجود آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۲۴). تجزیه و تحلیل داده‌ها و نقشه‌های مکانی موثر بر وجود آب‌های زیرزمینی به روش‌های تحلیلی قوی و انعطاف‌پذیری نیاز دارد که بتواند روابط غیرخطی، ارتباط درونی و اطلاعات پنهان میان لایه‌ها را تفسیر نماید، علاوه بر این، درک و ارائه نتایج با این روش‌ها باید ساده و به راحتی قابل تفسیر باشد (۲۱). نتایج پژوهش‌ها در مناطق مختلف به شدت متاثر از شرایط منطقه و داده های مورد استفاده است، لذا انجام پژوهش در مناطق مختلف ممکن است در تعیین عوامل موثر کمک نماید. در همین راستا هدف پژوهش حاضر تهیه نقشه تغییرات مکانی پتانسیل آب زیرزمینی و تعیین عوامل مؤثر بر آن در شهرستان اسفراین استان خراسان‌شمالی است. علاوه بر این، ضمن در نظر گرفتن عوامل مختلف به‌صورت نقشه‌های مکانی، کارایی دو مدل نسبت فراوانی و وزن شواهد در تعیین پتانسیل آب زیرزمینی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد پژوهش در بخش جنوبی استان خراسان‌شمالی و در حد فاصل طول جغرافیایی ´۵۷ °۵۶ تا ´۰۷ °۵۸ شرقی و عرض جغرافیایی ´۴۰ °۳۶ تا ´۱۷ °۳۷ شمالی واقع شده است. شهرستان اسفراین در حاشیه جنوبی کوه‌های آلاداغ که خود در امتداد شرقی رشته کوه البرز قرار گرفته و در قسمت جنوبی به ارتفاعات جغتای می‌پیوندد، قرار گرفته است جمعیت شهرستان اسفراین براساس سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ برابر با ۱۲۰۵۱۳ نفر بوده است. کاربری اراضی عمده منطقه مورد مطالعه مرتع و اراضی کشاورزی و باغی است و بخش‌هایی هم به‌صورت زراعت دیم در حال بهره‌برداری است. کمینه و بیشینه ارتفاع از سطح دریا در شهرستان اسفراین به‌ترتیب برابر با ۹۲۰ و ۳۰۶۱ متر است. میانگین بارش و دمای سالانه منطقه مطالعاتی طی دوره آماری ۱۳۸۵ لغایت ۱۳۹۷ به‌ترتیب برابر با ۱۸۶/۲ میلی‌متر و ۱۴/۹ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است. مطابق با طبقه‌بندی دومارتن منطقه مورد بررسی در اقلیم خشک قرار دارد. براساس منحنی آمبروترمیک، طول دوره خشکی هفت ماه است (۸). میانگین شیب منطقه مورد پژوهش حدود ۷/۲ درصد محاسبه شد. لازم به توضیح است که بارندگی منبع اصلی تأمین آب در منطقه مطالعاتی است. در همین خصوص، ذوب برف در ارتفاعات شمالی و نفوذ تدریجی آن در خلل و فرج و شکستگی‌های تشکیلات زمین‌شناسی، سفره آب‌های زیرزمینی را تغذیه می‌کند. موقعیت منطقه مورد پژوهش در استان خراسان شمالی و کشور در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد پژوهش در استان خراسان شمالی و کشور ایران

Commented [د٤]:
2.در برخی موارد از نمادهای ریاضی و روابط ریاضی برای توضیح روش‌ها استفاده شده است که باید به صورت مناسبی نمایش داده شوند و اگر امکان دارد به صورت تایپ شده باشند.
3.در برخی جاها از اصطلاحات و اختصارات بدون توضیح استفاده شده است که ممکن است برای خواننده ناشناخته باشند. باید این اصطلاحات توضیح داده شوند.
4.متن به شکل جریانی و روان نیست و باید با جملات کوتاهتر و منظم‌تر بهبود یابد.
5.برای ارائه اطلاعات، از منابع و مراجع به صورت دقیق استفاده نشده است که می‌تواند معتبری خواننده را کاهش دهد.
6.برخی از عبارات و جملات بیان نشده است که منجر به ابهام در فهم مطلب می‌شود و باید این بخش‌ها بهبود یابند.

با اصلاح این موارد و تنظیم متن به شکل بهتر، این مقاله می‌تواند منابع و موضوعات خود را بهتر ارائه دهد و خوانندگان را بهتر راهنمایی کند.

Deleted: طول

Deleted: عرض

Commented [د5]: براساس کدامین ایستگاه؟

Fig 1. The location of the research area in North Khorasan province and Iran

روش انجام تحقیق

به‌منظور انجام پژوهش حاضر، موقعیت مکانی ۲۶۳ قنات در شهرستان اسفراین (براساس اطلاعات موجود در شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی) مدنظر قرار گرفت و به‌طور تصادفی به ۷۰ درصد (۱۸۴ قنات) برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد (۷۹ قنات) برای صحت‌سنجی و ارزیابی مدل با استفاده از افزونه Hawths Analysis Tools در محیط نرم‌افزار ArcMap 10.8.1 تقسیم شد. در گام بعد، با بررسی سوابق پژوهش (۵، ۱۷، ۱۸ و ۲۱) و دسترسی به داده‌ها و اطلاعات، ۱۳ عامل شامل ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب، درجه شیب، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، انحنای دامنه، انحنای آبراهه، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، شاخص توان آبراهه (SPI)، فاصله از گسل و تراکم گسل با اندازه سلول ۳۰ متر مطابق با دقت مکانی مدل رقومی ارتفاع (DEM) مدنظر قرار گرفت (۱۸ و ۳۰). نقشه و اطلاعات مکانی موردنیاز پژوهش از سازمان‌ها و ادارات ذیربط اخذ شد. در همین راستا، مدل رقومی ارتفاع با اندازه سلول ۳۰ متر از تصاویر ماهواره استر (ASTER) دریافت و برای تهیه عوامل توپوگرافی مختلف از جمله ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب، درجه شیب، TWI، انحنای دامنه، انحنای آبراهه و SPI با استفاده از بسته نرم‌افزاری ArcGIS و SAGAGIS استفاده شد. ارتفاع از سطح دریا با استفاده از الگوریتم شکستگی‌های طبیعی (Natural Breaks) با ۵ طبقه تهیه شد. سایر عوامل موثر بر آب زیرزمینی با توجه به شرایط منطقه مطالعاتی و هدف پژوهش طبقه‌بندی شد که در جدول ۱ و شکل ۲ مشخصات هر عامل و طبقات مربوط به آن ارائه شده است. کاربری اراضی از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان شمالی و نقشه زمین‌شناسی و گسل‌های مورد پژوهش منطقه مورد پژوهش نیز از سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه و به منظور تهیه عوامل زمین‌شناسی، فاصله از گسل و تراکم گسل مورد بهره‌برداری قرار گرفت. تهیه عوامل فاصله از رودخانه و تراکم زهکشی نیز با اخذ نقشه رودخانه‌های شهرستان اسفراین از شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان شمالی میسر شد. شاخص رطوبت توپوگرافی که تجمع جریان در هر مکان از منطقه و روند جریان به سمت پایین دست توسط نیروی ثقل را نشان می‌دهد، با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (۱۵ و ۱۶).

$$TWI = \ln(\frac{\beta}{\tan \alpha}) \quad [1]$$

در این رابطه، β مساحت تجمعی بالادست نقطه موردنظر و $\tan \alpha$ درجه شیب در نقطه موردنظر است (۲۶). شاخص توان آبراهه نشان دهنده قدرت فرسایندگی جریان آب است و براساس رابطه ۲ در محیط نرم‌افزار SAGAGIS به‌دست می‌آید (۱۷).

$$SPI = B_s * \tan \alpha \quad [2]$$

که در آن، SPI شاخص توان آبراهه، B_s مساحت ویژه منطقه و α شیب منطقه مطالعاتی بر حسب درجه است.

مدل نسبت فراوانی

مدل نسبت فراوانی یک مدل آماری دومتغیره است که به‌عنوان یکی از پرکاربردترین روش‌ها در مطالعات مربوط به پتانسیل‌یابی منابع آب و هم‌چنین تهیه نقشه حساسیت به مخاطرات مختلف طبیعی مطرح می‌باشد (۲۹). اجرای آسان و ساده بر اساس همبستگی بین توزیع مکانی پارامترهای مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی و نقاط قنات است. وزن هر طبقه بر اساس رابطه مکانی بین نقاط قنات و عوامل موثر بر پتانسیل آب زیرزمینی محاسبه می‌شود (۱۷). رابطه ۳ برای محاسبه نسبت فراوانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

Commented [6د]: واحد اندازه گیری نماده در رابطه پیست؟

$$FR = \frac{\frac{N(QX_i)}{\sum_{i=1}^{m} QX_i}}{\frac{N(QX_j)}{\sum_{j=1}^{n} N(QX_j)}} \quad [۳]$$

در این رابطه، $N(QX_i)$ و $N(QX_j)$ به‌ترتیب تعداد قنات‌ها و تعداد کل سلول‌ها در هر طبقه از عامل مورد بررسی است (۱۴).

مدل وزن شواهد

این مدل براساس چارچوب احتمالاتی بیزین است. در مدل وزن شواهد، وزن‌های مثبت (W^+) و منفی (W^-) براساس روابط ۴ و ۵ محاسبه می‌شوند. وزن مثبت و منفی به‌ترتیب نشان‌دهنده همبستگی مثبت و منفی عامل مؤثر با حضور یا وجود قنات است (۲۸).

$$W_i^+ = ln\frac{P\{B|A\}}{P\{B|A\}} \quad [۴]$$

$$W_i^- = ln\frac{P\{\bar{B}|A\}}{P\{\bar{B}|\bar{A}\}} \quad [۵]$$

در این روابط، B و $\bar{B}$ به‌ترتیب حضور یا عدم حضور عامل مؤثر و A و $\bar{A}$ به‌ترتیب حضور یا عدم حضور قنات است. تفاضل وزن‌های مثبت و منفی که وابستگی مکانی بین متغیرهای مؤثر و قنات را نشان می‌دهد، با استفاده را رابطه ۶ به‌دست می‌آید. روابط ۷ و ۸ نیز به‌ترتیب وزن نهایی و ارزش اطلاعاتی عوامل مؤثر در پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی را محاسبه می‌نماید. قدرت پیش‌بینی یک متغیر مستقل نسبت به متغیر وابسته توسط وزن شواهد مشخص می‌شود. در حالی‌که ارزش اطلاعات یکی از مفیدترین تکنیک‌ها برای انتخاب مهم‌ترین متغیر در یک مدل پیش‌بینی است (۲۲).

$$C = W_i^+ - W_i^- \quad [۶]$$

$$W_{\text{final}} = \frac{C}{S(C)} \quad [۷]$$

$$IV = \sum \%\ of\ nonevents - \%\ of\ events) * W_{\text{final}} \quad [۸]$$

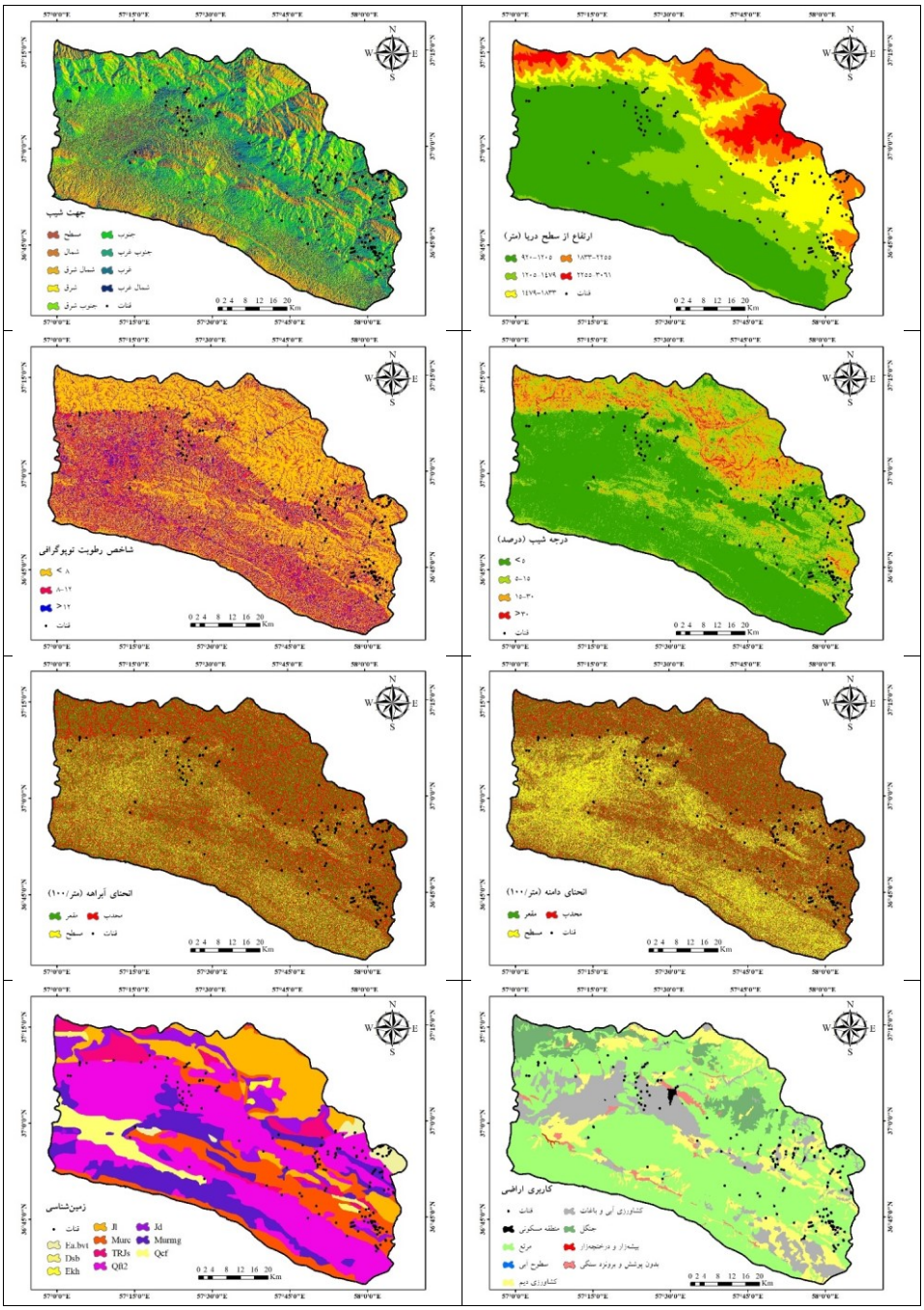
ارزیابی صحت مدل‌های پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی

به‌منظور ارزیابی مدل‌های مورد استفاده در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی شهرستان اسفراین از منحنی عملکرد نسبی (ROC) استفاده شد. این روش در بسیاری از مطالعات مربوط به مدل‌سازی مکانی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (۱۷، ۲۱، ۲۸ و ۲۹) مورد استفاده قرار گرفته است. در روش مورد اشاره، نرخ مثبت واقعی در مقابل نرخ مثبت کاذب رسم می‌شود. هر چه سطح زیر منحنی ROC بیشتر باشد، نشان‌دهنده کارایی بیش‌تر مدل در پیش‌بینی طبقات مختلف پدیده مورد بررسی است (۱۷). در مطالعه حاضر از ۳۰ درصد داده‌ها که برای مدل‌سازی استفاده نشده بود، برای ارزیابی مدل‌های نسبت فراوانی و وزن شواهد استفاده شد. شاخص ROC در محیط نرم‌افزار SPSS 22 محاسبه شد.

نتایج

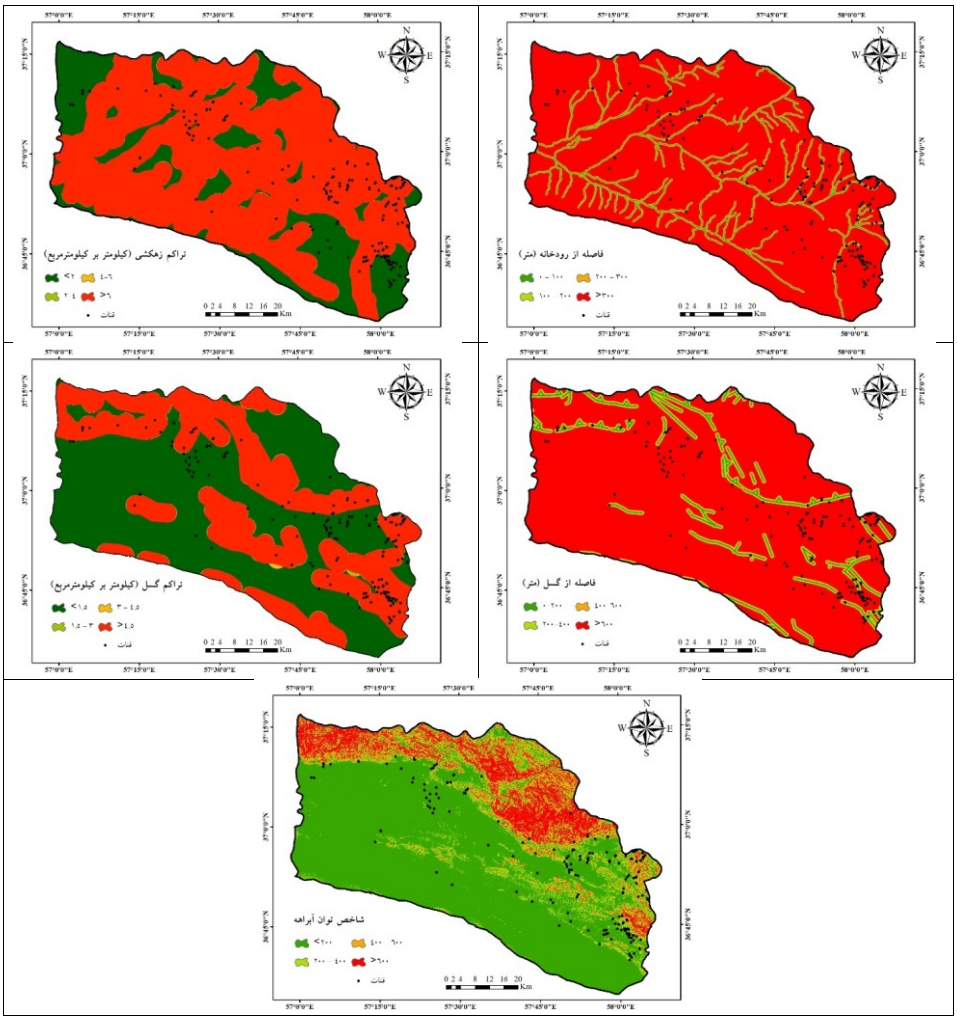
نتایج حاصل از تهیه عوامل مکانی موثر بر پتانسیل آب زیرزمینی در شهرستان اسفراین استان خراسان شمالی در شکل ۲ نشان داده شده است.

Commented [Vs]: **بیان معنی و اهمیت نتایج**: متن به دقت بیان نمی‌کند که نتایج به چه صورتی می‌توانند برای علم یا کاربردهای عملی مفید باشند. باید توضیح داده شود که این یافته‌ها چه تأثیری بر تصمیم‌گیری‌های مرتبط با مدیریت آب و منابع طبیعی در منطقه مورد بررسی دارند.
ارجاعات مناسب: متن نیاز به ارجاعات دقیق‌تر وجدیدتر به منابع و مطالعات قبلی دارد. این کمک می‌کند تا خواننده بتواند به راحتی اطلاعات بیشتری راجع به موضوع را پیدا کند و از اعتبار مطالعه مطمئن شود.
نقدهای کمی: در اینجا نیاز به توضیحات بیشتری درباره معیارها و متریک‌هایی که برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شده است وجود دارد. این باعث می‌شود خواننده بتواند به طور دقیق‌تر نتایج را ارزیابی کند.



شکل ۲. عوامل مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی در شهرستان اسفراین استان خراسان شمالی

Fig 2. Effective factors of groundwater potential in Esfarayen twonship, North Khorasan province



ادامه شکل ۲. عوامل مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی در شهرستان اسفراین استان خراسان شمالی

Fig 2. Cont. Effective factors of groundwater potential in Esfarayen twonship, North Khorasan province

یافته‌های حاصل از محاسبه تأثیر هر یک از عوامل موثر بر پتانسیل آب زیرزمینی به همراه طبقات مربوطه با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی (FR) و وزن شواهد (WoE) در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول۱. میزان تأثیر عوامل مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های FR و WoE در شهرستان اسفراین

Table 1. Influence of effective factors on groundwater potential using FR and WoE models in Esfarayen twonship

عامل	طبقه	تعداد قنات	FR	W+	W-	C	S2 (W+)	S2 (W-)	S(C)	WoE	IV
ارتفاع از سطح دریا (متر)	< ۱۲۰۵	۳۱	۰/۳۸	−۰/۹۶	۰/۴۰	−۱/۳۶	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۲۰	−۶/۹۲	۱/۸۹
	۱۲۰۵ – ۱۴۷۹	۵۱	۱/۳۱	۰/۲۷	−۰/۰۹	۰/۳۶	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۶	۲/۱۷	۰/۱۴
	۱۴۷۹ – ۱۸۳۳	۸۵	۲/۸۲	۱/۰۴	−۰/۴۴	۱/۴۸	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۵	۹/۹۸	۲/۹۸
	۱۸۳۳ – ۲۲۵۵	۱۶	۰/۷۱	−۰/۳۵	۰/۰۴	−۰/۳۹	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۲۶	−۱/۴۹	۰/۰۵
	۲۲۵۵ – ۳۰۶۱	۱	۰/۰۹	−۲/۳۹	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰
جهت شیب	مسطح	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
	شمال	۹	۰/۵۵	−۰/۶۰	۰/۰۴	−۰/۶۴	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۳۴	−۱/۸۸	۰/۰۸
	شمال شرق	۳	۰/۱۶	−۱/۸۲	۰/۰۹	−۱/۹۱	۰/۳۳	۰/۰۱	۰/۵۸	−۳/۲۸	۰/۲۸
	شرق	۱۲	۰/۷۱	−۰/۳۴	۰/۰۳	−۰/۳۶	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۳۰	−۱/۲۲	۰/۰۳
	جنوب شرق	۱۳	۰/۶۸	−۰/۳۹	۰/۰۴	−۰/۴۳	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۲۹	−۱/۴۸	۰/۰۵
	جنوب	۴۵	۱/۶۳	۰/۴۹	−۰/۱۲	۰/۶۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۷	۳/۵۴	۰/۳۳
	جنوب غرب	۵۰	۱/۶۵	۰/۵۰	−۰/۱۴	۰/۶۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۷	۳/۸۴	۰/۴۱
	غرب	۳۳	۱/۳۱	۰/۲۷	−۰/۰۵	۰/۳۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۹	۱/۶۸	۰/۰۷
	شمال غرب	۱۹	۰/۹۴	−۰/۰۶	۰/۰۱	−۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۲۴	−۰/۲۹	۰/۰۰
درجه شیب	<۵	۱۲۲	۱/۱۳	۰/۱۲	−۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۱۶	۲/۱۳	۰/۱۶
	"۵–۱۵"	۵۸	۱/۲۴	۰/۲۲	−۰/۰۹	۰/۳۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۶	۱/۹۲	۰/۱۲
	"۱۵–۳۰"	۴	۰/۱۶	−۱/۸۳	۰/۱۲	−۱/۹۶	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۵۱	−۳/۸۷	۰/۴۴
	>۳۰	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
شاخص رطوبت توپوگرافی	< ۸	۶۷	۰/۶۳	−۰/۴۶	۰/۴۱	−۰/۸۷	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۵	−۵/۶۷	۱/۲۱
	۸–۱۲	۶۵	۱/۱۰	۰/۰۹	−۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۸۹	۰/۰۳
	>۱۲	۵۲	۲/۸۲	۱/۰۴	−۰/۲۳	۱/۲۶	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۶	۷/۷۲	۱/۴۱
انحنای دامنه	مقعر	۸۶	۱/۳۳	۰/۲۹	−۰/۲۰	۰/۴۸	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۵	۳/۲۷	۰/۳۸
	مسطح	۴۱	۰/۷۹	−۰/۲۴	۰/۰۸	−۰/۳۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۸	−۱/۸۲	۰/۱۱
	محدب	۵۷	۰/۸۵	−۰/۱۶	۰/۰۸	−۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۶	−۱/۵۶	۰/۰۹
انحنای آبراهه	محدب	۶۰	۰/۸۰	−۰/۲۲	۰/۱۳	−۰/۳۵	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۶	−۲/۲۳	۰/۱۸
	مسطح	۲۱	۰/۷۳	−۰/۳۱	۰/۰۵	−۰/۳۶	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۲۳	−۱/۵۴	۰/۰۶
	مقعر	۱۰۳	۱/۲۸	۰/۲۵	−۰/۲۵	۰/۴۹	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۵	۳/۳۲	۰/۴۱
کاربری اراضی	منطقه مسکونی	۳	۶/۲۹	۱/۸۴	−۰/۰۱	۱/۸۵	۰/۳۳	۰/۰۱	۰/۵۸	۳/۱۸	۰/۰۴
	مرتع	۸۴	۰/۷۶	−۰/۲۷	۰/۳۰	−۰/۵۷	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۵	−۳/۸۷	۰/۵۵
	سطوح آبی	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
	کشاورزی دیم	۳۴	۱/۲۱	۰/۱۹	−۰/۰۴	۰/۲۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۹	۱/۲۲	۰/۰۴
	کشاورزی آبی و باغات	۶۳	۲/۱۶	۰/۷۷	−۰/۲۵	۱/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۶	۶/۵۳	۱/۲۰
	جنگل	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
	بیشه‌زار و درختچه‌زار	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
	بدون پوشش و برونزد سنگی	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

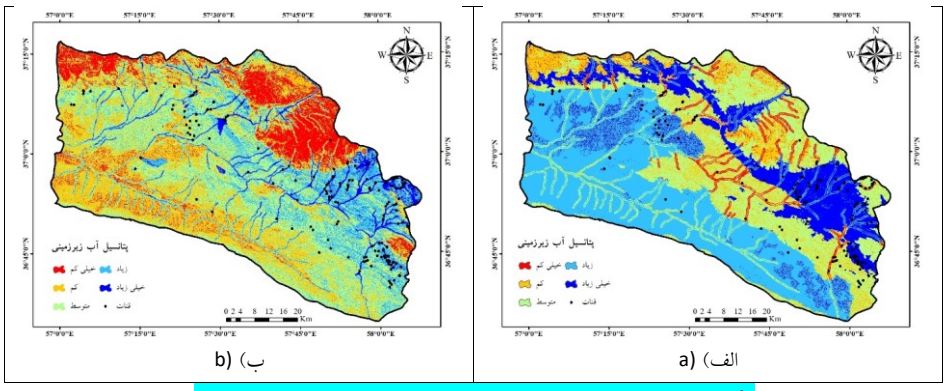
ادامه جدول۱. میزان تأثیر عوامل مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های FR و WoE در شهرستان اسفراین

Table 1. Cont. Influence of effective factors on groundwater potential using FR and WoE models in Esfarayen twonship

عامل	طبقه	تعداد قنات	FR	W+	W-	C	S2 (W+)	S2 (W-)	S(C)	WoE	IV
زمین‌شناسی	Qft2	۱۸	۵/۱۵	۱/۶۴	−۰/۰۸	۱/۷۲	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۲۵	۶/۹۴	۰/۵۵
	Dsb	۲	۱/۴۹	۰/۴۰	۰/۰۰	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۰۱	۰/۷۱	۰/۵۷	۰/۰۰
	Ea.bvt	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
	Jl	۶	۰/۲۲	−۱/۵۰	۰/۱۳	−۱/۶۳	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۴۲	−۳/۹۲	۰/۴۵
	TRJs	۴۵	۱/۶۹	۰/۵۲	−۰/۱۲	۰/۶۵	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۷	۳/۷۸	۰/۳۸
	Murc	۵	۰/۵۱	−۰/۶۷	۰/۰۳	−۰/۷۰	۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۴۵	−۱/۵۴	۰/۰۴
	Ekh	۸۶	۱/۲۴	۰/۲۱	−۰/۱۶	۰/۳۷	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۵	۲/۵۲	۰/۲۳
	Jd	۳	۰/۲۷	−۱/۳۱	۰/۰۵	−۱/۳۶	۰/۳۳	۰/۰۱	۰/۵۸	−۲/۳۳	۰/۱۰
	Murmg	۱۸	۰/۶۷	−۰/۴۰	۰/۰۵	−۰/۴۵	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۲۵	−۱/۸۲	۰/۰۹
	Qcf	۱	۰/۱۲	−۲/۰۸	۰/۰۴	−۲/۱۲	۱/۰۰	۰/۰۱	۱/۰۰	−۲/۱۱	۰/۰۸
فاصله از رودخانه (متر)	۰ – ۱۰۰	۳۶	۴/۲۷	۱/۴۵	−۰/۱۷	۱/۶۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۹	۸/۷۲	۱/۳۱
	۱۰۰ – ۲۰۰	۲۱	۲/۷۵	۱/۰۱	−۰/۰۸	۱/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۲۳	۴/۶۹	۰/۳۴
	۲۰۰ – ۳۰۰	۸	۰/۹۶	−۰/۰۴	۰/۰۰	−۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۳۶	−۰/۱۳	۰/۰۰
	>۳۰۰	۱۱۹	۰/۷۵	−۰/۳۰	۱/۰۰	−۱/۳۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۱۵	−۸/۴۰	۱/۸۵
تراکم زهکشی (کیلومتر بر کیلوکترمربع)	< (۲)	۵۰	۱/۱۲	۰/۱۱	−۰/۰۴	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۷	۰/۸۸	۰/۰۳
	(۲) – (۴)	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
	(۴) – (۶)	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
	>۶	۱۳۴	۰/۹۷	−۰/۰۴	۰/۱۱	−۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۱۷	−۰/۸۹	۰/۰۲
فاصله از گسل (متر)	<۲۰۰	۱۲	۱/۷۱	۰/۵۴	−۰/۰۳	۰/۵۶	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۳۰	۱/۸۹	۰/۰۵
	۲۰۰ – ۴۰۰	۸	۱/۱۷	۰/۱۶	−۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۳۶	۰/۴۵	۰/۰۰
	۴۰۰ – ۶۰۰	۶	۰/۸۹	−۰/۱۲	۰/۰۰	−۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۴۲	−۰/۳۱	۰/۰۰
	>۶۰۰	۱۵۸	۰/۹۷	−۰/۰۴	۰/۲۶	−۰/۲۹	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۲۱	−۱/۳۹	۰/۰۴
تراکم گسل (کیلومتر بر کیلوکترمربع)	< (۱.۵)	۷۵	۰/۷۲	−۰/۳۴	۰/۳۲	−۰/۶۶	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۵	−۴/۳۸	۰/۷۱
	(۱.۵) – (۳)	۱	۱/۷۵	۰/۵۵	۰/۰۰	۰/۵۶	۱/۰۰	۰/۰۱	۱/۰۰	۰/۵۶	۰/۰۰
	(۳) – (۴.۵)	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
	>۴.۵	۱۰۸	۱/۳۸	۰/۳۲	−۰/۳۳	۰/۶۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۵	۴/۳۳	۰/۷۰
شاخص توان آبراهه	< ۲۰۰	۱۵۱	۱/۲۱	۰/۱۹	−۰/۵۹	۰/۷۸	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۱۹	۴/۰۶	۰/۵۸
	(۲۰۰) – (۴۰۰)	۲۹	۱/۲۸	۰/۲۴	−۰/۰۴	۰/۲۸	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۲۰	۱/۴۰	۰/۰۵
	(۴۰۰) – (۶۰۰)	۲	۰/۱۴	−۱/۹۵	۰/۰۷	−۲/۰۱	۰/۵۰	۰/۰۱	۰/۷۱	−۲/۸۳	۰/۱۸
	>۶۰۰	۲	۰/۰۹	−۲/۴۳	۰/۱۲	−۲/۵۵	۰/۵۰	۰/۰۱	۰/۷۱	−۳/۵۹	۰/۴۰

براساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر و ارائه شده در جدول ۱، عوامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، ارتفاع از سطح دریا و فاصله از رودخانه در هر دو مدل نسبت فراوانی و وزن شواهد به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پتانسیل وجود آب زیرزمینی شناسایی شدند. باید اشاره شود که در مدل نسبت فراوانی عامل جهت شیب نیز به‌عنوان عامل مؤثر معرفی شده است و بر اساس مدل وزن شواهد، عامل TWI به‌عنوان یکی از عوامل موثر انتخاب شده است. لازم به توضیح است که براساس مدل نسبت فراوانی عوامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا به‌ترتیب در درجات بیش‌تر اهمیت قرار گرفته‌اند. قابل ذکر است که تراکم زهکشی، درجه شیب و شاخص توان آبراهه حداقل تأثیر را بر پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد پژوهش با توجه به مدل FR دارند. بررسی مقادیر نسبت فراوانی عامل ارتفاع از سطح دریا در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که طبقه ۱۴۷۹ تا ۱۸۳۳ متر از سطح دریا بیش‌ترین پتانسیل آب زیرزمینی را به خود اختصاص داده است. تحلیل ارتباط درجه شیب با پتانسیل آب

زیرزمینی در منطقه مورد پژوهش نشـان داد که با افزایش درجه شیب از اهمیت عامل مذکور کاسته می‌شود. در خصوص عوامل انحنای دامنه و انحنای آبراهه براسـاس مدل نسبت فراوانی می‌توان گفت که دامنه و آبراهه‌های مقعر بیش‌ترین پتانسیل آب زیرزمینی را به خود اختصـاص دادند. در خصـوص عامل زمین‌شـناسی می‌توان گفت که رسوبات مخروط افکنه‌های آبرفتی (Qft2) با مقدار ضریب فراوانی ۵/۱۵ در درجه اول اهمیت قرار گرفته اسـت. در مورد عامل فاصـله از رودخانه نیز نتایج مدل FR نشـان داد که با افزایش فاصـله از رودخانه پتانسـیل آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. ارزیابی عامل فاصـله از گسـل در منطقه مورد بررسـی نشـان داد که با افزایش فاصله از گسـل از پتانسـیل آب زیرزمینی کاسـته می‌شود. بررسی شاخص توان آبراهه که نمایانگر قدرت فرسایندگی جریان آب است، با استفاده از مدل FR نشـان می‌دهد که پتانسـیل وقوع آب زیرزمینی در طبقات پایین این شاخص بیش‌تر است و با افزایش مقدار شاخص SPI از پتانسـیل آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی کاسـته می‌شـود. نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و وزن شواهد در شکل ۳ نشان داده شده است.

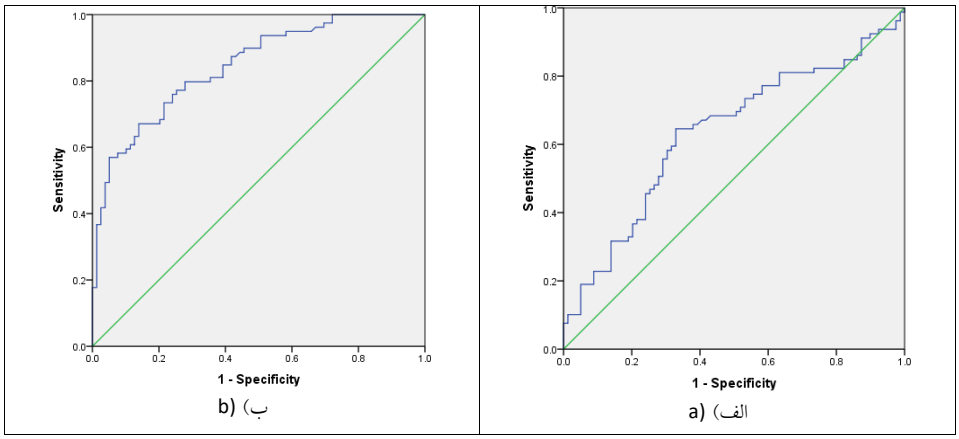


الف) a) ب) b)

شکل۳. نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های WoE (الف) و FR (ب)

Fig 3. Groundwater potential map using FR (b) and WoE (a) models

براسـاس مدل نسـبت فراوانی، ۱۲/۵، ۲۸/۴۵، ۳۴/۷۵، ۱۹/۳ و ۵ درصد از منطقه مورد پژوهش به‌ترتیب در طبقات با پتانسیل خیلی کم، کم، متوسـط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. طبقه‌بندی پتانسـیل آب زیرزمینی به طبقات مذکور با اسـتفاده از الگوریتم شـکستگی‌های طبیعی در محیط ArcMAp 10.8.1 صـورت گرفت. یافته‌های حاصـل از ارزیابی صـحت مدل‌های مورد اسـتفاده در تعیین پتانسیل آب زیرزمینی در شهرستان اسفراین با استفاده از منحنی عملکرد نسبی در شکل ۴ آورده شده است.



شکل۴. نتایج ارزیابی مدل‌های WoE (الف) و FR (ب) با استفاده از منحنی عملکرد نسبی (ROC)

Fig 4. Evaluation results of WoE (a), and FR (b) models using Relative Operating Curve (ROC)

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که مدل نسبت فراوانی با مقدار سطح زیرمنحنیROC برابر با ۸۴/۴ درصد نسبت به مدل وزن شواهد کارایی بهتری برای تهیه نقشه تغییرات مکانی پتانسیل آب زیرزمینی در شهرستان اسفراین دارد. لازم به توضیح است که مقدار به دست آمده بر اساس طبقه‌بندی سطح زیرمنحنی (۱-۰/۹ عالی، ۰/۹-۰/۸ خیلی خوب، ۰/۸-۰/۷ خوب، ۰/۷-۰/۶ متوسط و ۰/۶-۰/۵ ضعیف) در طبقه خیلی خوب قرار می‌گیرد. باید اشاره شود که سطح زیرمنحنی ROC در مدل وزن شواهد برابر با ۶۳/۴ درصد به‌دست آمد. ارزیابی بصری نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی نیز نشان می‌دهد که توزیع مکانی مناطق مستعد در طبقات مختلف با شرایط توپوگرافی و نیز محل قنات‌های مشاهداتی همخوانی بیش‌تری دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف تعیین الگوی تغییرات مکانی پتانسیل آب‌زیرزمینی قنوات با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و وزن شواهد در محدوده شهرستان اسفراین استان خراسان شمالی صورت پذیرفت. لایه‌های مؤثر در تشکیل و ظهور قنات‌ها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه و مورد تحلیل قرار گرفتند. میزان ارتباط هر یک از عوامل مؤثر بر پتانسیل آب‌زیرزمینی و طبقات مربوط به هر عامل با استفاده از مدل FR و WoE تعیین شد. براساس نتایج ارزیابی صحت نقشه‌های تهیه‌شده پتانسیل آب‌زیرزمینی در شهرستان اسفراین مدل نسبت فراوانی نسبت به مدل وزن شواهد عملکرد بهتری را نشان داده است و در طبقه خیلی خوب ازنظر مقدار AUC قرار گرفته است. در همین ارتباط، عملکرد مناسب مدل نسبت فراوانی در مدل‌سازی مکانی فرسایش خندقی در حوزه آبخیز ولشت توسط ذبیحی و همکاران (۲۹) و پتانسیل‌یابی آب‌زیرزمینی در دشت الشتر استان لرستان توسط نوحانی و همکاران (۱۸) نیز به اثبات رسیده است. باید اشاره شود که مدل FR روشی بسیار سریع و مبتنی بر داده‌های مکان-محور در سامانه اطلاعات جغرافیایی است که بنجمل و همکاران (۲) نیز اشاره نموده‌اند که روش‌های مکانی داده-محور فرایند مکان‌یابی متغیرهای محیطی را تسهیل می‌کنند.

براساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر و ارائه‌شده در جدول ۱، عوامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، ارتفاع از سطح دریا و فاصله از رودخانه در هر دو مدل نسبت فراوانی و وزن شواهد به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پتانسیل وجود آب‌زیرزمینی شناسایی شدند. ترابی‌پوده و همکاران (۲۸) نیز کاربری اراضی و درجه شیب را به‌عنوان عوامل مهم و مؤثر بر پتانسیل آب‌زیرزمینی در منطقه لنجانات اصفهان با استفاده از مدل وزن شواهد تشخیص دادند. باید اشاره شود که در مدل نسبت فراوانی عامل جهت شیب نیز به‌عنوان عامل مؤثر معرفی شده است و بر اساس مدل وزن شواهد، عامل TWI به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر انتخاب شده است. سایر عوامل موردبررسی

Commented [د۸]: نقدهای متناسب با نتایج: در بخش بحث و نتیجه‌گیری، ارتباط نتایج با یافته‌های مطرح شده در ادبیات موجود باید به صورت دقیق و معقول بیان شود. این بخش نه تنها باید به ارائه نتایج بپردازد بلکه باید ارزیابی و تفسیر معنایی این نتایج را نیز شامل شود.

استناد به تحقیقات مشابه جدید: استناد به تحقیقات مشابه و پژوهش‌های قبلی برای تأیید نتایج و ارزیابی صحت مدل‌ها و روش‌های استفاده شده باید به صورت دقیق‌تر و مرتبطتر انجام شود.

نیاز به بخشی جهت معرفی و توضیح دادن متغیرها و پارامترهای مورد استفاده: برای دقیق‌تر بودن تحقیق و توضیح بهتر برای خواننده، معرفی و توضیح دادن متغیرها و پارامترهای مورد استفاده در مدل‌ها و روش‌های ارزیابی ضروری است.

نیاز به توضیحات بیشتر در مورد نقش GIS: از آنجا که از GIS برای تهیه نقشه‌های تغییرات مکانی استفاده شده است، نیاز به توضیحات بیشتری در مورد نقش این فناوری و چگونگی استفاده از آن در تحقیق و تولید نتایج وجود دارد.

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: موثر

Deleted: موثر

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: تهیه شده

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: از نظر

Deleted: خندقی

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: به‌دست آمده

Deleted: ارائه شده

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: آب زیرزمینی

Deleted: موثر

Deleted: مورد بررسی

نیز در طبقات پایین‌تر اهمیت ازنظر تأثیر بر پتانسیل آب‌زیرزمینی قرار دارند (جدول ۱). لازم به توضیح است که براساس مدل نسبت فراوانی عوامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا به ترتیب در درجه بیش‌تر اهمیت قرار گرفته‌اند. قابل ذکر است که تراکم زهکشی، درجه شیب و شاخص توان آبراهه حداقل تأثیر را بر پتانسیل آب‌زیرزمینی در منطقه موردپژوهش با توجه به مدل FR دارند. در همین ارتباط، باید اشاره شود که مقدار تغییرات شیب در محدوده موردمطالعه بسیار اندک است و بخش اعظمی از منطقه کم‌شیب بوده و دارای شیب کم‌تر از ۵ درصد است. هم‌چنین، با توجه به تغییرات شیب جزئی در شهرستان اسفراین مقادیر تراکم زهکشی نیز دارای تغییرات کم است که منجر به تغییرات کم شاخص توان آبراهه شده است. علاوه بر موارد گفته شده، میزان تأثیر طبقات مختلف هر یک از عوامل مؤثر موردبررسی بر پتانسیل آب‌زیرزمینی مطابق با مدل‌های نسبت فراوانی و زون شواهد در جدول ۱ ارائه شده است. بررسی مقادیر نسبت فراوانی عامل ارتفاع از سطح دریا در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که طبقه ۱۴۷۹ تا ۱۸۳۳ متر از سطح دریا بیش‌ترین پتانسیل آب‌زیرزمینی را به خود اختصاص داده است. قابل‌ذکر است که براساس توزیع قنات‌ها در گرادیان ارتفاعی مذکور، پتانسیل آب‌زیرزمینی در ارتفاعات پایین و مناطق باالدست شهرستان اسفراین حداقل است. نتیجه مشابهی در مطالعه نوحانی و همکاران (۱۸) در دشت الشتر استان لرستان مبنی بر پتانسیل بالای آب‌زیرزمینی در طبقات ارتفاعی متوسط گزارش شده است.

تحلیل ارتباط درجه شیب با پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد پژوهش نشان داد که با افزایش درجه شیب از اهمیت عامل مذکور کاسته می‌شود. بر همین اساس، بیش‌ترین مقدار نسبت فراوانی برابر با ۱/۳۳ در طبقه درجه شیب کم‌تر از ۵ درصد محاسبه شده است. با توجه به تنوع پایین ناهمواری در محدوده مورد مطالعه، مقادیر شاخص رطوبت توپوگرافی دارای تغییرات اندکی است که تأثیر آن در پتانسیل آب زیرزمینی را به شدت کاهش داده است و بر همین اساس تغییرات محسوسی در طبقات مختلف شاخص TWI وجود ندارد. در خصوص عوامل انحنای دامنه و انحنای آبراهه براساس مدل نسبت فراوانی می‌توان گفت که دامنه و آبراهه‌های مقعر بیش‌ترین پتانسیل آب زیرزمینی را به خود اختصاص دادند. با توجه به شرایط توپوگرافی، تجمع جریان آب زیرزمینی و نیز تناسب احداث قنات در دامنه‌های مقعر این مورد را می‌توان با محل ظهور قنات در سطح زمین مرتبط دانست. نتیجه مشابهی توسط رضوی ترمه و همکاران (۲۱) در شهرستان نهاوند مبنی بر بالا بودن پتانسیل آب زیرزمینی در انحناهای مقعر گزارش شده است. انحناهای مسطح آبراهه و دامنه نیز حداقل ارتباط را با پتانسیل آب زیرزمینی نشان دادند. باید اشاره شود که مدل وزن شواهد نیز نتایج مشابهی در خصوص ارتباط انواع انحنای دامنه و آبراهه با پتانسیل آب زیرزمینی ارائه نموده است. در همین راستا، براساس مدل WoE برای انحنای مقعر آبراهه و دامنه همبستگی مثبت وجود دارد.

بررسی عامل کاربری اراضی در شهرستان اسفراین نشان می‌دهد که کاربری مسکونی بیش‌ترین مقدار نسبت فروانی را به خود اختصاص داده است. دلیل این امر را باید در مساحت اندک این طبقه از کاربری اراضی و رابطه محاسباتی نسبت فراوانی جستجو نمود. علاوه براین، ممکن است در نزدیکی مناطق مسکونی قنات‌هایی برای تامین آب باغات و نیز آب شرب در مناطق مسکونی احداث شده باشد که باعث شده است در مدل مذکور نیز به‌عنوان کاربری مهم تعیین شود. کاربری‌های اراضی کشاورزی آبی و باغات و هم‌چنین کشاورزی دیم در طبقات بعدی از نظر مقدار FR هستند. نوحانی و همکاران (۱۸) در دشت الشتر لرستان و نقیبی و همکاران (۱۷) در حوزه آبخیز مغان استان خراسان رضوی بر بالا بودن پتانسیل آب زیرزمینی در کاربری‌های کشاورزی و باغات اشاره داشتند. یافته‌های مدل وزن شواهد در خصوص کاربری اراضی نیز نشان داد که طبقه کاربری اراضی کشاورزی آبی و باغات بیش‌ترین مقدار WoE را به خود اختصاص داده است و به نوعی می‌توان گفت که با نتایج مدل نسبت فراوانی مشابهت دارد. لازم به ذکر است که کاربری مرتع نیز مقدار وزن شواهد ۳/۸۷ را دارد که رتبه دوم میزان ارتباط بر اساس مدل WoE را کسب نموده است. رسوبات مخروط افکنه‌های آبرفتی (Qft2) با مقدار ضریب فراوانی ۵/۱۵ در درجه اول اهمیت قرار گرفته است. هم‌چنین واحدهای سنگ‌شناسی شیل خاکستری تیره و ماسه سنگ (TRJs) و دولومیت، سنگ آهک و شیل (Dsb) به‌ترتیب با مقادیر نسبت فراوانی ۱/۶۹ و ۱/۴۹ در درجات دوم و سوم اهمیت قرار دارند. قابل ذکر است که واحدهای سنگ‌شناسی مذکور در مدل WoE هم دارای اهمیت معرفی

Deleted: از نظر
Deleted: تاثیر
Deleted: آب زیرزمینی
Deleted: به‌ترتیب
Deleted: آب زیرزمینی
Deleted: مورد پژوهش
Deleted: مورد مطالعه
Deleted: منجربه
Deleted: مورد بررسی
Deleted: آب زیرزمینی
Deleted: آب زیرزمینی
Deleted: قابل ذکر
Deleted: آب زیرزمینی
Deleted: آب زیرزمینی

شـده‌اند. ترابی‌پوده و همکاران (۲۸) در منطقه لنجانات اصـفهان و نوحانی و همکاران (۱۸) در دشـت الشـتر اسـتان لرسـتان به پتاسیل بالای وجود آب زیرزمینی در رسـوبات آبرفتی اشـاره نمودند. در مورد عامل فاصـله از رودخانه نیز نتایج مدل نسـبت فراوانی نشان داد که با افزایش فاصـله از رودخانه از پتانسـیل آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. در خصـوص عامل تراکم زهکشـی نیز باید اذعان داشـت که هرچه تراکم زهکشـی منطقه کم‌تر باشـد، پتانسیل آب زیرزمینی بیش‌تر است. بر همین اساس، مقدار FR در طبقات کم‌تر از ۲ و بیش‌تر از ۶ به‌ترتیب برابر با ۱/۱۲ و ۰/۹۷ محاسـبه شد. ترابی‌پوده و همکاران (۲۸) نیز در مطالعه خود به نتایج مشابهی مبنی بر کاهش پتانسیل آب زیرزمینی با افزایش فاصـله از رودخانه و تراکم زهکشی دست یافتند. ارزیابی عامل فاصله از گسل در منطقه مورد بررسی نشان داد که با افزایش فاصـله از گسـل از پتانسیل آب زیرزمینی کاسته می‌شود. در همین خصوص، طبقه اول (کم‌تر از ۲۰۰ متر) از عامل مذکور در شـهرسـتان اسـفراین بیش‌ترین مقدار نسبت فراوانی را به خود اختصاص داده است. تحلیل یافته‌های حاصل از عامل تراکم گسل در بررسـی ارتباط با پتانسـیل آب زیرزمینی شـهرسـتان اسـفراین نیز نشـان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار نسـبت فراوانی برای طبقه ۱/۵ تا ۳ کیلومتر بر کیلومترمربع محاسـبه شـده اسـت. باید اشـاره شـود که علی‌رغم پایین بودن تعداد قنات، مسـاحت کم طبقه مذکور منجر به حداکثر شـــدن مقدار FR در این طبقه شـــده اســـت. پس از آن، بالاترین طبقه (بیش‌تر از ۴/۵ کیلومتر بر کیلومترمربع)، پتانســـیل آب زیرزمینی بالاتری دارد. در تحلیل یافته‌های حاصـل از عامل تراکم گسل در منطقه مورد پژوهش می‌توان گفت که با افزایش تراکم گسل پتانسـیل آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. قربانی‌نژاد و همکاران (۵) نیز بر بالا بودن پتانسـیل آب زیرزمینی در مناطق با تراکم بالای گسـل در دشت ازنا–الیگودرز تأکید نمودند.

بررسـی شـاخص توان آبراهه که نمایانگر قدرت فرسایندگی جریان آب است، با استفاده از مدل FR نشان می‌دهد که پتانسیل وقوع آب زیرزمینی در طبقات پایین این شـاخص بیش‌تر است و با افزایش مقدار شاخص SPI از پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی کاسته می‌شـود. نقیبی و همکاران (۱۷) در دشـت مغان اسـتان خراسـان رضـوی به تاثیر بالای شـاخص SPI بر پتانسـیل آب زیرزمینی اشـاره نمودند. در مطالعه ایشان طبقه اول و چهارم شاخص مذکور مقدار بالای نسبت فراوانی را نشان دادند.

نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی را می‌توان در مدیریت منابع آب، مکان‌یابی محل‌های بهره‌برداری طریق برنامه‌ریزی کاربری اراضی به‌کار برد. بدیهی است که موضوع بهره‌برداری بی‌رویه در اکثر سفره‌های زیرزمینی مشکلات زیادی را برای بهره‌برداران و مدیران به همراه دارد (۱۱) در این راستا، باید اشاره شود که ممکن است لایه‌های دیگری در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی موثر باشد که در نظر گرفتن آن می‌تواند به بهبود نتایج پژوهش منجر شود که می‌توان به لایه‌های بارندگی، طول شیب و عمق خاک اشاره نمود (۲). نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در مکان‌یابی مناطق مستعد استخراج آب‌های زیرزمینی یا اتخاذ راهبردهای مدیریت بهینه آبخوان مورد استفاده قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

1. Arshad A, Zhang Z, Zhang W, Dilawar A. 2020. Mapping favorable groundwater potential recharge zones using a GIS-based analytical hierarchical process and probability frequency ratio model: A case study from an agro-urban region of Pakistan. Geoscience Frontiers, (5):1805-1819. doi: 10.1016/j.gsf.2019.12.013
2. Arun Kumar KC, Obi Reddy GP, Masilamani P, Sandeep P. (2021). Spatial modelling for identification of groundwater potential zones in semi-arid ecosystem of southern India using Sentinel-2 data, GIS and bivariate statistical models, Arabian Journal of Geosciences. 14:1-14. doi:https://doi.org/10.1007/s12517-021-07669-0
3. Benjmel K, Amraoui F, Boutaleb S, Ouchchen M, Tahiri A, Touab A. 2020. Mapping of groundwater potential zones in crystalline terrain using remote sensing, GIS techniques, and multicriteria data analysis (Case of the Ighrem Region, Western Anti-Atlas, Morocco). Water, 10;12(2):471. doi:https://doi.org/10.3390/w12020471
4. Fitts CR. 2002. Groundwater science. Academic, San Diego
5. Ghorbani Nejad S, Daneshfar M, Rahamti O, Fallah F, Haghizade A, Tahmasebipour N. 2017. Groundwater resource potential of Azna-Aligoudarz plain using environmental variables and frequency ratio (FR) model. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 8(2): 62-78. (In Persian)
6. Guru B, Seshan K, Bera S. 2017. Frequency ratio model for groundwater potential mapping and its sustainable management in cold desert, India, Journal of King Saud University – Science, 29(3): 333-347. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2016.08.003.

Commented [9د]:
یکسان ساز قالب رفرنس براساس راهنمای نویسندگان ضروری است
تمام رفرنسها شماره صفحات بایدداشته باشد
https://sanad.iau.ir/Journal/girs/Page/authors

7. Hasanuzzaman M, Mandal MH, Hasnine M, Shit PK. 2022. Groundwater potential mapping using multi-criteria decision, bivariate statistic and machine learning algorithms: evidence from Chota Nagpur Plateau, India. Journal of Applied Water Science, 12(58): 1-16. doi: https://doi.org/10.1007/s13201-022-01584-9
8. IRIMO, 2017. Islamic Republic of Iran Meteorological Organization. http://www.weather.ir/
9. Ishola KS, Fatoyinbo AA, Hamid-Mosaku AI, Okolie CJ, Daramola OE, Lawal TO. 2023. Groundwater potential mapping in hard rock terrain using remote sensing, geospatial and aeromagnetic data, Journal of Geosystems and Geoenvironment, 2(1): 100107. doi:https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2022.100107
10. Kasiri Z., Habibnejad Roshan M., Roshun SH. 2020. Groundwater resources potential based on Geographic information System (GIS) and Remote Sensing (RS) using Analytic Network Process (ANP) (Case study: Naz Sari Plain). Geography and Environmental Planning, 31(1): 103-120. (In Persian)
11. Kordestani MD, Naghibi SA, Hashemi H, Ahmadi K, Kalantar B, Pradhan B. 2019. Groundwater potential mapping using a novel data-mining ensemble model. Hydrogeology Journal, 27, 211–224. doi:https://doi.org/10.1007/s10040-018-1848-5
12. Kpiebaya P, Amuah EEY, Shaibu AG, Baatuuwie BN, Avornyo VK, Dekongme BW. 2022. Spatial assessment of groundwater potential using Quantum GIS and multi-criteria decision analysis (QGIS-AHP) in the Sawla-Tuna-Kalba district of Ghana. Journal of Hydrology: Regional Studies. 43: 101197. doi: https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101197
13. Lee S, Kim YS, Oh HJ. 2012. Application of a weights-of-evidence method and GIS to regional groundwater productivity potential mappin., Journal of Environmental Management, 96(1): 91-105. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.09.016
14. Lee S, Pradhan B. 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models, Landslides. 4(1): 33-41. doi: https://doi.org/10.1007/s10346-006-0047-y
15. Moore ID, Grayson RB, Ladson AR. 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications, Hydrological processes. 5(1):3-0. doi:https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103
16. Mostafazadeh R, Talebi Khiavi H, Esmali-Ouri A, Golshan M. 2022. Surface runoff and sediment yield response under the rainfall simulation condition controlled by soil variables of a semi-arid landscape. Environment. Development and Sustainability, 53. doi:https://doi.org/10.1007/s10668-022-02569-z
17. Naghibi SA, Pourghasemi HR, Pourtaghi ZS, Rezaei A. 2015. Groundwater qanat potential mapping using frequency ratio and Shannon's entropy models in the Moghan watershed, Iran. Earth Science Informatics, 8(1): 171-186. doi: https://doi.org/10.1007/s12145-014-0145-7
18. Nohani E, Merufinia E, Khosravi KH. 2018. Evaluation of frequency ratio method for groundwater potential mapping at Al-Shtar plain, Lorestan province, Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 1(12): 119-129. (In Persian)
19. Oh HJ, Kim YS, Choi JK, Park E, Lee S. 2011. GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. Journal of Hydrology, 399(3-4): 158-172. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.12.027
20. Perrier E, Salkini AB. 1991. Supplemental Irrigation in the Near East and North Africa. Kluwer Academic Publisher, Norwel
21. Razavi-Termeh SV, Sadeghi-Niaraki A, Choi S.M. 2019. Groundwater Potential Mapping Using an Integrated Ensemble of Three Bivariate Statistical Models with Random Forest and Logistic Model Tree Models. *Water*, 11(8):1596. doi:https://doi.org/10.3390/w11081596
22. Saha A, Saha S. 2020. Comparing the efficiency of weight of evidence, support vector machine and their ensemble approaches in landslide susceptibility modelling: A study on Kurseong region of Darjeeling Himalaya, India, Remote Sensing Applications: Society and Environment. 9:100323. doi:https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100323
23. Salih A .2007. Qanats a Unique Groundwater Management Tool in Arid Regions: The Case of Bam Region in Iran. UNESCO Water e- Newsletter, 186: QANATS
24. Shaban A, Khawlie M, Abdallah C. 2006. Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon, Hydrogeology Journal. 14(4):433-443. Doi: https://doi.org/10.1007/s10040-005-0437-6
25. Taghavi-Jeloudar M, Mooyoung H, Davoudi M, Mikyeong K. 2013. Review of ancient wisdom of Qanat, and suggestions for future water management. Journal of Environmental Engineering Research, 18(2): 57-63. doi: https://doi.org/10.4491/eer.2013.18.2.057
26. Talebi Khiavi, H., Mostafazadeh, R. (2022). The spatiotemporal dependencies of terrain indices with soil characteristics in a steep hillslope mountainous area. Arab J Geosci 15, 937. https://doi.org/10.1007/s12517-022-10220-4
27. Todd DK, Mays LW (2005) Groundwater hydrology. Wiley, New York
28. Torabipoudeh H, Yonesi HA, Yosefi H, Arshia A, Yarahmadi Y. 2021. Detecting groundwater resources potential in Isfahan Lenjanat region using weights-of-evidence model, *Water and Soil Management and Modelling*, 1(3): 25-37. (In Persian)
29. Zabihi M, Mirchooli F, Motevalli A, Khaldei Darvishan A, Pourghasemi HR, Zakeri MA, Sadighi F. 2018. Spatial modelling of gully erosion in Mazandaran Province, northern Iran, Catena. 1;161:1-3. doi: https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.010
30. Zabihi M, Pourghasemi HR, Behzadfar M. 2015. Groundwater potential mapping using shannon's entropy and random forest models in the Bojnourd township, Iranian journal of Ecohydrology. 2(2): 221-232. (In Persian)

Evaluation of Frequency Ratio and Weight of Evidence Models in Spatial Mapping of Potential Groundwater using GIS in Esfarayen county

Amirhosein Ghorbani[1], Mohsen Zabihi[2], Raoof Mostafazadeh[3*]

1. MSc. Student of Survey Engineering- Geographic Information Systems, Lamei Gorgani Institute of Higher Education, Gorgan, Iran,
2. Ph.D., Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran,
3. Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

* **Corresponding author e-mail address:** raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

Commented [10ɔ]: زیرنویس شود

Abstract

Optimum utilization of groundwater water resources, in a sustainable manner using Qanats, has always been of interest in arid and semi-arid regions. On the other hand, the analysis of spatial information affecting the presence of groundwater water needs powerful analytical methods which is able to interpret non-linear relationships, internal relationship and hidden information between affecting layers. In this regard, the current research is planned with the aim of comparative evaluation of the spatial changes of groundwater potential using Frequency Ratio (FR) and Weight of Evidence (WoE) models in the Esfarayen county, North Khorasan province. The factors of elevation above sea level, slope aspect, slope degree, land use, geology, topographic wetness index (TWI), plan curvature, profile curvature, distance from the river, drainage density, stream power index (SPI), distance from faults and fault density were prepared as effective layers in ArcGIS platform. Based on FR and WoE models, the relationship of spatial maps and groundwater potential was determined. Evaluation of prepared maps was done using relative operating curve (ROC). Based on the results, the Frequency Ratio model with Area Unver the Curve (AUC) value equal to 84.4 percent showed better performance than WoE model in the study area. Also, geological factors, land use, elevation above sea level and distance from the river were selected as the most important factors affecting the groundwater potential based on the results of the employed models. In addition, 12.5%, 28.45%, 34.75%, 19.3%, and 5% of the study area are located in the classes with very low, low, medium, high, and very high potential of groundwater based on the FR model, respectively. The results of the present research can be used in decision-making related to water resources management and locating areas prone to groundwater extraction or adopting optimal aquifer management strategies in Esfarayen county.

Keywords: Geographic Information System, Groundwater exploitation, Qanat, Spatial modeling, Weight of evidence

ارزیابی مدل‌های FR و WoE در تهیه نقشه تغییرات مکانی پتانسیل آب زیرزمینی یا استفاده از GIS در شهرستان اسفراین

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: کمبود آب‌های سطحی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک منجر به تلاش بشر برای استحصال آب‌های زیرزمینی شده است. افزایش جمعیت و در نتیجه تقاضای بیش‌تر برای استفاده از آب نیز مزید بر علت شده تا نیازهای بشر در تأمین آب از طریق آب زیرزمینی رو به افزایش باشد. آب زیرزمینی به‌دلیل دمای ثابت، هزینه توسعه‌ای کم، دسترسی گسترده و تأثیرپذیری کم‌تر نسبت به خشکسالی به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین منابع طبیعی به شمار می‌رود. در همین راستا، حفر قنات یکی از روش‌های مصنوعی و پایدار برای بهره‌برداری از آب زیرزمینی است که میزان بهینه‌ای از آب زیرزمینی را استحصال می‌نماید. آب‌های زیرزمینی نسبت به منابع آب سطحی نسبت به نوسانات آب‌وهوایی آسیب‌پذیری کم‌تری دارند. با توجه به توضیحات ارائه شده، شایسته است تا اقدام لازم نسبت به بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی صورت پذیرد که اولین گام آن تعیین مناطق با پتانسیل وجود آب زیرزمینی است. روش‌های پایدار بهره‌برداری از منابع آب مانند قنوات مزیت‌های بسیاری نسبت به حفر چاه‌ها دارد که استفاده بهینه از منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین آن است. تجزیه و تحلیل داده‌ها و نقشه‌های مکانی موثر بر وجود آب‌های زیرزمینی به روش‌های تحلیلی قوی و انعطاف‌پذیری نیاز دارد که بتواند روابط غیرخطی، ارتباط درونی و اطلاعات پنهان میان لایه‌ها را تفسیر نماید، علاوه بر این، درک و ارائه نتایج با این روش‌ها باید ساده و به راحتی قابل تفسیر باشد. در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف مقایسه مدل‌های نسبت فراوانی و وزن شواهد در تهیه نقشه تغییرات مکانی پتانسیل آب زیرزمینی و تعیین میزان ارتباط عوامل مؤثر با پتانسیل آب زیرزمینی در شهرستان اسفراین خراسان شمالی برنامه‌ریزی شده است. ارزیابی صحت مدل‌های مورد اشاره با استفاده از منحنی عملکرد نسبی به‌عنوان یکی از روش‌های پرکاربرد در صحت‌سنجی داده‌های طبقه‌بندی شده از دیگر اهداف پژوهش حاضر است.

مواد و روش‌ها: در راستای نیل به اهداف پژوهش، موقعیت مکانی قنات‌های شهرستان اسفراین از مراجع ذیربط اخذ و به‌طور تصادفی به ۷۰ درصد (۱۸۴ قنات) برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد (۷۹ قنات) برای صحت‌سنجی و ارزیابی مدل تقسیم شد. در گام بعد، ۱۳ عامل شامل ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب، درجه شیب، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، انحنای دامنه، انحنای آبراهه، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، شاخص توان آبراهه (SPI)، فاصله از گسل و تراکم گسل با اندازه سلول ۳۰ متر به‌عنوان عوامل مؤثر بر پتاسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد پژوهش در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. تعیین میزان ارتباط عوامل مؤثر و هریک از طبقات آن‌ها با پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و وزن شواهد صورت پذیرفت. سپس، ارزیابی صحت مدل‌های مورد استفاده با استفاده از منحنی عملکرد نسبی (ROC) در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شد. نهایتاً تحلیل‌های لازم در خصوص بررسی میزان ارتباط هریک از عوامل موثر با پتانسیل آب زیرزمینی در شهرستان اسفراین انجام شد.

نتایج و بحث: نتایج ارزیابی صحت نقشه‌های تهیه شده پتانسیل آب زیرزمینی در شهرستان اسفراین نشان داد که مدل نسبت فراوانی نسبت به مدل وزن شواهد عملکرد بهتری داشته است و در طبقه خیلی خوب از نظر مقدار AUC قرار گرفته است. در همین ارتباط، عملکرد مناسب مدل نسبت فراوانی در مطالعات متعدد در زمینه مکان یابی آب زیرزمینی نیز به اثبات رسیده است. باید اشاره شود که مدل FR روشی بسیار سریع و مبتنی بر داده‌های مکان محور در سامانه اطلاعات جغر افیایی است که در پژوهش های پیشین اشاره شده است که روش‌های مکانی داده–محور فرایند مکان‌یابی را تسهیل می‌کنند. یافته‌های پژوهش نشان داد که عوامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، ارتفاع از سطح دریا و فاصله از رودخانه در هر دو مدل نسبت فراوانی و وزن شواهد به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پتانسیل وجود آب زیرزمینی شناسایی شدند. در سایر مطالعات نیز کاربری اراضی و درجه شیب را به‌عنوان عوامل مهم و مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه لنجانات اصفهان با استفاده از مدل وزن شواهد تشخیص دادند. لازم به توضیح است که براساس مدل

نسبت فراوانی عوامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا به‌ترتیب در درجات بیش‌تر اهمیت قرار گرفته‌اند. قابل ذکر است که تراکم زهکشی، درجه شیب و شاخص توان آبراهه حداقل تأثیر را بر پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد پژوهش با توجه به مدل FR دارند. بررسی عوامل انحنای دامنه و انحنای آبراهه براساس مدل نسبت فراوانی نشان داد که دامنه و آبراهه‌های مقعر بیش‌ترین پتانسیل آب زیرزمینی را دارند. نتیجه مشابهی در پژوهش انجام شده در شهرستان نهاوند مبنی بر بالا بودن پتانسیل آب زیرزمینی در انحناهای مقعر گزارش شده است. انحناهای مسطح آبراهه و دامنه نیز حداقل ارتباط را با پتانسیل آب زیرزمینی نشان دادند. کاربری اراضی کشاورزی آبی و باغات بیش‌ترین مقدار WoE در بین طبقات مختلف کاربری اراضی براساس مدل وزن شواهد را دارا هستند. نتیجه به دست آمده به نوعی با نتایج مدل نسبت فراوانی مشابهت دارد. لازم به ذکر است که کاربری مرتع نیز مقدار وزن شواهد ۳/۸۷ را دارد که رتبه دوم میزان ارتباط بر اساس مدل WoE را کسب نموده است. رسوبات آبرفتی (Qft2) با مقدار نسبت فراوانی ۵/۱۵ در درجه اول اهمیت عامل زمین‌شناسی قرار دارد. واحدهای سنگ‌شناسی شیل خاکستری تیره و ماسه سنگ (TRJs) و دولومیت، سنگ آهک و شیل (Dsb) به‌ترتیب با مقادیر نسبت فراوانی ۱/۶۹ و ۱/۴۹ در درجات دوم و سوم اهمیت قرار دارند. قابل ذکر است که واحدهای سنگ‌شناسی مذکور در مدل WoE هم دارای اهمیت معرفی شده‌اند. پژوهش انجام شده در منطقه لنجانات اصفهان و دشت الشتر استان لرستان به پتاسیل بالای وجود آب زیرزمینی در رسوبات آبرفتی اشاره شده است. براساس یافته‌های پژوهش، با افزایش تراکم گسل پتانسیل آب زیرزمینی افزایش می‌یابد که این نتیجه با پژوهش پیشین انجام شده در دشت ازنا-الیگودرزمبنی بر بالا بودن پتانسیل آب زیرزمینی در مناطق با تراکم بالای گسل مطابقت دارد. تحلیل نتایج به دست آمده از شاخص توان آبراهه بر اساس مدل نسبت فراوانی نشان می‌دهد که ارتباط پتانسیل وقوع آب زیرزمینی با شاخص SPI معکوس است. پژوهش انجام شده در حوزه آبخیز مغان به تأثیر بالای شاخص SPI بر پتانسیل آب زیرزمینی اشاره شده است.

نتیجه‌گیری:

ارزیابی نقشه‌های تهیه شده با استفاده از منحنی عملکرد نسبی (ROC) انجام شد. براساس نتایج، مدل نسبت فراوانی با مقدار سطح زیرمنحنی برابر با ۸۴/۴ درصد عملکرد بهتری نسبت به مدل WoE در منطقه مطالعاتی نشان داد. هم‌چنین، عوامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، ارتفاع از سطح دریا و فاصله از رودخانه در مدل‌های مورد استفاده به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی انتخاب شدند. علاوه بر این، ۱۲/۵، ۲۸/۴۵، ۳۴/۷۵، ۱۹/۳ و ۵ درصد از منطقه مورد پژوهش به‌ترتیب در طبقات با پتانسیل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد پتانسیل آب زیرزمینی براساس مدل FR قرار گرفته‌اند. موضوع بهره‌برداری بی‌رویه در اکثر سفره‌های زیرزمینی مشکلات زیادی را برای بهره‌برداران و مدیران به همراه دارد. در این راستا، نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در مکان‌یابی مناطق مستعد استخراج آب‌های زیرزمینی یا اتخاذ راهبردهای مدیریت بهینه آبخوان مورد استفاده قرار گیرد. باید اشاره شود که ممکن است لایه‌های دیگری در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی موثر باشد که در نظر گرفتن آن می‌تواند به بهبود نتایج پژوهش منجر شود که در این خصوص می‌توان به لایه‌های بارندگی، طول شیب و عمق خاک اشاره نمود.

واژگان کلیدی: استحصال آب زیرزمینی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، قنات، مدل‌سازی مکانی، وزن شواهد

Evaluation of Frequency Ratio and Weight of Evidence Models in Spatial Mapping of Potential Groundwater using GIS in Esfarayen county

Extended Abstract

Statement of the Problem: The deficiency of surface water has led to over exploitation of water resources, especially in arid and semi-arid regions. The population growth intensified water demand and caused the human needs and groundwater over-exploitation and water table drop in many contries.Groundwater is considered as one of the most vital natural resources due to its stable temperature, low development cost, wide availability and less variability due to the ocuurence of drought events. In this regard, digging the Qanats is one of the artificial and sustainable methods for exploiting groundwater, which extracts the optimal amount of groundwater. Groundwater is less vulnerable to climate fluctuations than surface water resources. According to the mentioned explanations, it is appropriate to take necessary action for the sustainable exploitation of groundwater resources, the first step of which is to determine the areas having the potential of groundwater. Sustainable use of resources such as Qanats have several advantages over digging wells, the most important of which is the optimal use of groundwater resources. The analysis of data and spatial maps affecting the presence of groundwater requires strong and flexible analytical methods that can interpret nonlinear relationships, internal relationship and hidden information between affecting layers, in addition, understanding and presenting the results with these methods should be simple and can be easily interpreted.
Purpose: In this regard, the current research is planned with the aim of comparing Frequency Ratio and Weight of Evidence models in spatial mapping of changes in groundwater potential and determining the relationship between effective factors and groundwater potential in Esfarayen, North Khorasan province. Evaluating the accuracy of the employed models by using the relative performance curve as one of the widely used accuracy assessment methods in the accuracy of results and classified spatial data is one of the other goals of this research.
Methodology: Toward this attempt, the location of the Qantas in the Esafarayen county was obtained from the relevant organizations and randomly divided into 70% (184 Qanats) for modeling and 30% (79 Qanats) for model verification and evaluation. In the next step, 13 effective factors including elevation above sea level, slope aspect, slope degree, land use, geology, topographic wetness index (TWI), plan curvature, profile curvature, distance from the river, drainage density, stream power index (SPI), the distance from the fault and the fault density were prepared in 30-meters cell size as factors affecting the groundwater potential in the study area in the Geographic Information System environment. Determining the relationship between the effective factors and each of their classes with the potential of groundwater was done using Frequency Ratio and Weight of Evidence models. Then, the accuracy of the employed models was evaluated using the relative performance curve (ROC) in the SPSS software environment. Finally, the necessary analysis were conducted regarding the relationship between each of the effective factors and the groundwater potential in Esfarayen county.
Results and discussion: Based on the results, the Frequency Ratio model with AUC value equal to 84.4 percent showed better performance than WoE model in the study area. In this regard, the appropriate performance of the Frequency Ratio model has been proven in numerous studies in the field of groundwater potential mapping. It should be noted that th e FR model was determined as a very robust method based on georeferenced data in GIS, which has been mentioned in previous studies that data-oriented spatial methods facilitate the spatial mapping process. The findings of the research showed that geology, land use, elevation above sea level and distance from the river factors were identified as the most important factors affecting the groundwater potential in both Frequency Ratio and Weight of Evidence models. In previous studies, the land use and slope degree were identified as important and effective factors on groundwater potential mapping in Lanjanat area of Isfahan using weight of evidence model. It should be noted that according to the Frequency Ratio method, geology, land use, distance from the river, slope aspect and elevation are determined as the important factors in groundwater potential in the study area. Meanwhile, the drainage density, slope degree and stream power index (SPI) have the least effect on the groundwater potential in the study area according to the FR model. The interpretation of plan and profile curvature based on FR model showed that the concave hillslope and streams had the highest potential of groundwater. A similar result has been reported in the research conducted in Nahavand county, which found that the concave prfiles had the higher groundwater potential. Flat terrain and waterway also showed a minimal correlation with groundwater potential. Irrigated farming and orchards land use had the highest WoE among different land use classes based on the weight of evidence model. The findings is somehow similar to the results of the frequency ratio model. It should be noted that rangeland also had a weight of evidence of 3.87, which has assigned as the second rank in terms of importance based on the WoE model. Alluvial sediments (Qft2) with a frequency ratio of 5.15 assigned as the first degree of importance among the lithological categories. The dark gray shale and sandstone (TRJs), Dolomite, limestone and shale (Dsb) lithological units are in the second and third degrees of importance with the abundance ratio values of 1.69 and 1.49, respectively. It should be noted that the mentioned lithological units are also introduced in the WoE model. The research conducted in Lanjanat area of Isfahan and Dasht al-Shatar of Lorestan province has pointed out the high potential of groundwater in alluvial sediments. Based on the findings of the research, with the increase in the fault density, the groundwater potential increases, which is consistent with the previous research conducted in the Azna-Aligodar plain which proved the high groundwater potential in high fault density areas. The analysis of the results obtained from the stream poewer index based on the FR model showed an inverse relationship between the groundwater potential and the

Deleted: U

Commented [11ɔ]: 1. "Contries" should be "countries."
2. "Ocuurence" should be "occurrence."
3. "Qanats" should be capitalized consistently throughout the abstract.
4. "Geographic Information System" could be shortened to "GIS" after first mention for brevity.
5. "Model verification and evaluation" could be rephrased for clarity, such as "model verification and evaluation process."
6. "Factors including elevation above sea level, slope aspect, slope degree, land use, geology, topographic wetness index (TWI), plan curvature, profile curvature, distance from the river, drainage density, stream power index (SPI), the distance from the fault and the fault density" could be listed in a more organized manner, perhaps as a bulleted list.
7. "Georeferenced" should be hyphenated as "geo-referenced."
8. "Land use" and "slope degree" should be hyphenated as "land-use" and "slope-degree," respectively, for consistency.
9. "Plan curvature" and "profile curvature" should be hyphenated as "plan-curvature" and "profile-curvature," respectively, for consistency.
10. "Weight of Evidence" should be capitalized consistently throughout the abstract.
11. "Lanjanat" should be "Lanjanat area."
12. "Dasht al-Shatar" should be "Dasht al-Shatar of Lorestan province."
13. "Relative performance curve (ROC)" should be clarified as "relative operating curve (ROC)" for consistency.
14. "Stream poewer index" should be "stream power index" for accuracy.
15. "Moghan watershed" should be "Moghan watershed area" for clarity.
16. "Relative operating curve (ROC)" is mentioned twice in the conclusion and could be condensed for brevity.
17. "Very low, low, medium, high, and very high" should be consistent with capitalization, such as "very low, low, medium, high, and very high."
18. "Over-exploitation" could be hyphenated as "overexploitation" for consistency.
19. "Stakeholders and managers" could be clarified with additional context.
20. "Optimal aquifer management strategies" could be rephrased for clarity, such as "optimal groundwater management strategies."

SPI index. The research conducted in Moghan watershed has pointed out the high influence of the SPI index on the underground water potential.

Conclusion: Evaluation of prepared maps was done using relative operating curve (ROC). Based on the results, the Frequency Ratio model with AUC value equal to 84.4 percent showed better performance than WoE model in the study area. Also, geology, land use, elevation above sea level and distance from the river were selected as the most important factors affecting the groundwater potential based on the results of the employed models. In addition, 12.5%, 28.45%, 34.75%, 19.3%, and 5% of the study area are located in the classes with very low, low, medium, high, and very high potential of groundwater based on the FR model, respectively. The over-exploitation in most groundwater resources lead to several problems for stakeholders and managers. In this regard, the results of the current research can be used in determining the high potential areas in terms of groundwater resources or adopting optimal aquifer management strategies. It should be noted that other layers (such as; precipitation, slope length, and soil depth and soil characteristics) may be effective in occurrence of groundwater potential, which can be incorporated to improve the research results.

Keywords: Geographic Information System, Groundwater exploitation, Qanat, Spatial modeling, Weight of evidence.