

مقدمه

منابع آب‌های زیرزمینی به‌عنوان بزرگ‌ترین منبع آب شیرین قابل دسترس جهان، منبع اصلی تأمین‌کننده نیاز بخش‌های مختلف مصرف‌مانند صنعت، شرب، کشاورزی و خدمات می‌باشند [۲۲ و ۲۹]. امروزه منابع آب‌های شیرین جهان به منابعی کمیاب تبدیل شده‌اند. به‌طوری که گزارش‌های سازمان هواشناسی جهانی (WMO)، نشان می‌دهد تنها ۲/۵ درصد از کل حجم آب موجود در زمین، شیرین می‌باشد که سهم آب‌های زیرزمینی حدود ۳۰/۱ درصد از این مقدار است یعنی تنها حدود ۴ درصد از مجموعه آب‌هایی که فعلاً در چرخه هیدرولوژی دخالت دارند. در حالی که حدود ۵۰ درصد جمعیت دنیا از نظر آب شرب متکی به این منابع هستند [۲۸]. مزیت آب‌های زیرزمینی نسبت به آب‌های سطحی این است که کم‌تر دچار آلودگی شده و کم‌تر تحت تأثیر نوسانات خشکسالی قرار می‌گیرند و همچنین دارای دما و ترکیبات شیمیایی ثابتی می‌باشند. بنابراین، افزایش فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی در سال‌های اخیر اتکا به منابع سطحی و زیرزمینی را برای تأمین این نیازهای در حال رشد، افزایش داده است و آب‌های زیرزمینی اغلب به دلیل سطح پایین‌تر آلودگی و توزیع گسترده‌تر ارجح هستند [۴]. در این راستا باید به دنبال روشی مناسب برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی بود. بنابراین، تشخیص و پیش‌بینی مکانی، مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی تبدیل به یک چالش مهم برای بخش خصوصی، دولتی، و مؤسسات تحقیقاتی در سراسر جهان شده است [۲۱]. نقشه‌های پتانسیل منابع زیرزمینی (GPM)، منابعی مفید برای برنامه‌ریزان و مهندسان در زمینه مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی کاربری اراضی هستند [۳۲]. منابع آب از جمله علمی است که امروزه از سنجش از دور و GIS جهت تعیین نواحی دارای پتانسیل آب زیرزمینی و تعیین مناطق مناسب حفاری استفاده زیادی کرده است [۱۰، ۱۶، ۲۱].

موسوی و همکاران [۲۰] به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل منابع زیرزمینی از روش‌های ماشین‌تصمیم‌گیری و طبقه‌بند ترکیبی^۲ استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد روش جنگل تصادفی دارای عملکرد بهتری می‌باشد و متغیرهای عمق دره، تراکم زهکشی، ارتفاع و فاصله از جریان بیش‌ترین سهم را در روند مدل‌سازی داشتند. چوبین و همکاران [۶] به‌منظور تهیه نقشه پیش‌بینی پتانسیل منابع

مقایسه کارایی مدل‌های تابع شواهد قطعی و وزن
واقع در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینیبهوش فرخ‌زاده^۱ و محمد جواد ادیبی^۲

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۰۳

DOR: 20.1001.1.26454777.1400.9.33.3.6

چکیده

هدف از این تحقیق، کاربرد مدل‌های آماری تابع شواهد قطعی (EBF) و وزن واقع (WOE) جهت پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی دشت بوشهر، در استان بوشهر می‌باشد. ابتدا با توجه به موقعیت و پراکنش مکانی چاه‌های بهره‌برداری منطقه، ۷۰ درصد چاه‌ها به‌طور تصادفی برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد باقی‌مانده برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از نقشه عوامل مؤثر و با اجرای مدل‌های تابع شواهد قطعی و وزن واقع در نرم افزار ArcGIS/۱۰ نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی ترسیم گردید. در نهایت، نقشه‌های پتانسیل آب‌های زیرزمینی بدست آمده اعتبارسنجی شدند. نتایج نشان داد که سطح زیر منحنی مشخصه عملکرد سیستم (ROC) در مدل تابع شواهد قطعی معادل ۸۰ درصد و در مدل وزن واقع ۸۶ درصد است. مقایسه این نتایج نشان داد که هر دو مدل دارای صحت قابل قبولی هستند اما، مدل وزن واقع دارای عملکرد نسبتاً بهتری بوده و نقشه حاصل از آن دارای صحت بیش‌تری نسبت به مدل تابع شواهد قطعی است. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند جهت برنامه‌ریزی‌های مدیریت منابع آب مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، مدل تابع شواهد قطعی، مدل وزن واقع، دشت بوشهر.

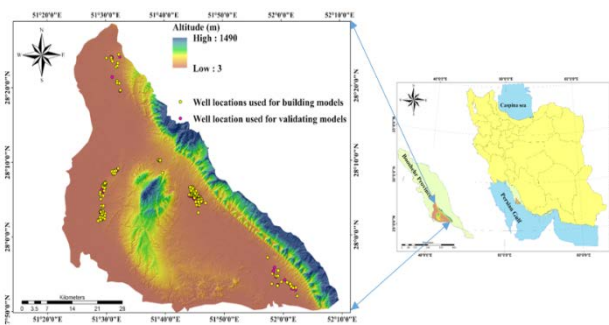
۱- استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، نویسنده مسئول Email: b.farokhzadeh@malayeru.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه ملایر.

زمینه پهنه‌بندی پتانسیل آب‌های زیرزمینی جهت مصارف مختلف با ملاحظات کیفی جهت کشاورزی محدود و آبی‌پروری، به‌منظور کاهش فشار به منابعی که قابلیت برداشت مازاد را ندارند گزارش شده است و نیز با توجه به اهمیت مطالعات مربوط به بررسی و مقایسه مدل‌های تعیین‌کننده پتانسیل منابع زیرزمینی و شناسایی فاکتورهای مؤثر بر آن، هدف مطالعه حاضر بررسی عملکرد و کارایی مدل‌های تابع شواهد قطعی و وزن واقعه در پتانسیل یابی منابع زیر زمینی دشت مذکور می‌باشد.

منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه بخشی از جلگه‌های جنوب غربی ایران در طول ۵۳۹۷۴۲ تا ۶۱۴۱۹۶ شرقی و عرض ۳۰۷۸۳۸۳ تا ۳۱۴۹۰۲۷ شمالی واقع شده است شکل (۱). مساحت منطقه مورد مطالعه ۲۶۹۶ کیلومترمربع می‌باشد. متوسط بارش سالیانه استان ۲۱۷ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

روش کار

این مطالعه در چند مرحله جهت تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی انجام گرفت. در مرحله اول، داده‌ها و اطلاعات مربوط به چاه‌های بهره‌برداری منطقه جمع‌آوری و سپس با تعیین عوامل مؤثر بر پتانسیل منابع زیرزمینی، داده‌های مکانی تهیه و پایگاه اطلاعاتی ایجاد شد. در دومین مرحله، روش‌های آماری تابع شواهد قطعی و وزن واقعه در منطقه مورد مطالعه به‌کار گرفته شد و در مرحله چهارم نقشه‌های بدست آمده اعتبارسنجی شدند.

نقشه پراکنش چاه‌های آب زیرزمینی

شناسایی موقعیت چاه‌های بهره‌برداری به‌منظور تحلیل احتمال وقوع آب زیرزمینی و نیز بررسی نقش متغیرهای محیطی بر وقوع آب زیرزمینی بسیار مهم می‌باشد. به‌منظور اجرای مدل و تولید نقشه پتانسیل یابی، از کل چاه‌های بهره‌برداری منطقه به‌طور تصادفی ۲۳۸ مورد (۷۰ درصد) برای مدل‌سازی و ۱۰۱ (۳۰ درصد) مورد دیگر برای اعتبارسنجی استفاده شد [۲۱] شکل (۱).

زیرزمینی در دشت فیروزه از الگوریتم درخت تصمیم CART^۱ و در مجموع از ۱۱ متغیر از جمله شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله تا رودخانه، درصد شیب، تراکم زهکشی، کاربری زمین و سنگ‌شناسی استفاده کردند. نتایج نشان داد حساس‌ترین عوامل در تهیه نقشه‌های پتانسیل در این منطقه لیتولوژی، فاصله از گسل و فاصله تا رودخانه بودند. قربانی و همکاران [۱۲] نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی را با استفاده از مدل‌های وزن واقعه^۲ WOE^۲ و تابع EBF^۳ مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی در دشت ازنا استان لرستان به دست آورده‌اند و نتایج نشان داد که درصد موفقیت GPM با استفاده از مدل WOE^۲ ۷۳/۶۲ درصد است. نمودار AUC^۴ دقت پیش‌بینی را برای مدل EBF^۳ ۷۶/۲۱ درصد نشان داد که به این معنی است که هر دو مدل دقت پیش‌بینی نسبتاً خوبی را انجام می‌دهند. پارک و همکاران [۲۵] مدل تابع شواهد قطعی را برای تجزیه و تحلیل پتانسیل بهره‌وری آب‌های زیرزمینی (GPP)^۵ در شهرهای بوریانگ و پوهانگ کره با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده و اعتبارسنجی کردند. بدین‌منظور، منحنی نرخ موفقیت برای پیش‌بینی کمی، ترسیم و سطح زیر منحنی محاسبه شد. دقت نقشه‌های حاصله در مناطق بوریانگ و پوهانگ به‌ترتیب ۸۳/۴۱ درصد و ۷۷/۵۳ درصد بود. رحمتی و همکاران [۳۰] در مطالعه‌ای، کاربرد مدل جنگل تصادفی (RF)^۶ و مدل حداکثر آنتروپی (ME)^۷ را برای تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی در منطقه مهران مورد بررسی قرار دادند. دقت نقشه‌های بدست آمده با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای و روش گیرنده مشخصه عملکرد سیستم (ROC)^۸ اعتبارسنجی شد و سطح زیر منحنی (AUC) مبنای مقایسه عملکرد مدل‌های مذکور قرار گرفت. نتایج نشان داد که RF و ME مدل‌های مناسبی برای تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی هستند. رزندی و همکاران [۳۱] مطالعه‌ای را با هدف بررسی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۹، نسبت فراوانی (FR)^{۱۰} و مدل عامل اطمینان (CF)^{۱۱} برای پتانسیل یابی آب‌های زیرزمینی در دشت ورامین استان تهران، انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد مدل FR با (۷۷/۵۵) AUC = عملکردهای بهتری نسبت به مدل AHP با (۷۳/۴۷) AUC = (۶۵/۰۸) CF =) داراست.

بررسی تحقیقات انجام شده نشان دهنده اهمیت تهیه نقشه‌های پتانسیل منابع زیرزمینی و عملکرد مناسب مدل‌های مختلف در تهیه این نقشه‌ها می‌باشد. از آن‌جا که تاکنون مطالعاتی در دشت بوشهر در

1. Classification and Regression Tree
2. Weight of Evidence
3. Evidential belief function
4. Areas under the curves
5. Groundwater-Productivity Potential
6. Random Forest
7. Maximum Entropy
8. receiver operating characteristic
9. analytical hierarchy process
10. Frequency Ratio
11. Certainty Factor

فاکتورهای مؤثر بر آب زیرزمینی

به طور کلی عوامل مختلفی بر روی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی تأثیرگذار هستند. شناخت و انتخاب عوامل مؤثر، نقش زیادی در صحت نقشه‌های تولیدی دارند. با توجه به مرور منابع، در منطقه مورد مطالعه، عوامل مؤثر در وقوع آب زیرزمینی شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، تراکم زهکشی و تراکم گسل، خاکشناسی، شاخص رطوبت، مقدار بارش، واحدهای زمین شناسی، انحناى زمین، انحناى افقى و انحناى قائم انتخاب شدند [۲۷، ۲۶، ۲۴، ۲۱، ۱۹، ۱۷، ۱۶، ۱۵، ۸، ۵، ۲]. پیش‌بینی پتانسیل وقوع آب‌های زیرزمینی، به دو دسته متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته نیاز است. متغیرهای وابسته شامل داده‌های مربوط به آبدی چاه و متغیرهای مستقل شامل نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر بر پتانسیل آب‌های زیرزمینی هستند. تمامی نقشه‌های عوامل مؤثر با استفاده از نرم افزار ArcGIS10.1 تهیه شدند. فاکتورهای انتخابی و نقش هر عامل در پتانسیل‌یابی منابع زیرزمینی به شرح زیر می‌باشند:

- طبقات ارتفاعی: ارتفاع یک منطقه در میزان وقوع بارندگی، درجه حرارت و تغییرات آن، میزان تبخیر و تعرق، شدت تشعشعات خورشیدی و تشکیل و توسعه خاک، نوع و تراکم پوشش گیاهی اثر دارد که این عوامل نیز به نوبه خود در میزان تشکیل رواناب و مقدار نفوذپذیری آب در لایه‌های زمین مؤثر می‌باشد. بدین ترتیب هرچه تراز ارتفاعی نسبت به سطح دریا در یک منطقه کم‌تر باشد، احتمال تشکیل آب زیرزمینی بیش‌تر خواهد بود [۸]. با توجه به مدل رقومی ارتفاع طبقات ارتفاعی منطقه به ۵ طبقه تقسیم شد

- شیب و انحناى شیب: عامل شیب یکی از مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار بر منابع آب زیرزمینی می‌باشد که نقش مهمی در نفوذ یا ایجاد رواناب ناشی از بارش دارد. بر این اساس با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی، نقشه طبقات شیب به ۵ کلاس تقسیم شد [۲]. سه نوع انحنای شیب وجود دارد که شامل انحنای توپوگرافیک (شکل شیب) ۱، انحنای مقطع ۲ و انحنای کلی ۳ می‌باشد. در این پژوهش از این سه انحنا به منظور تعیین پتانسیل آب‌های زیرزمینی استفاده شد. انحنای سطح بر روی همگرایی و واگرایی جریان تأثیر می‌گذارد و انحنای مقطع مطابق با جهت حداکثر شیب می‌باشد و عمدتاً بر روی سرعت جریان در سطح تأثیرگذار است انحنای شیب می‌تواند به‌عنوان همگرایی یا واگرایی آب در طول دامنه جریان نقش داشته باشد [۱]. نقشه‌های انحنای شیب، انحنای قائم و افقی با استفاده از نرم افزار ArcGIS استخراج شد، نقشه انحنا به ۳ گروه شامل $(-0/05) <$ ، $(0/05) -$ و $(0/05) >$ طبقه‌بندی شد [۲۶ و ۲۷].

- فاصله از گسل و تراکم آن: گسل‌ها باعث نفوذ رواناب سطحی به زیر سطح زمین شده و ارتباط زیادی با ذخیره‌سازی و حرکت

1. Plan Curvature
2. Profile Curvature
3. Total curvature

آب‌های زیرزمینی دارند. به‌منظور کمی کردن این پارامتر از دو پارامتر تراکم گسل و فاصله از گسل استفاده شد. نقشه‌های فاصله از گسل و تراکم گسل به ۵ طبقه تقسیم‌بندی شدند. تراکم پایین آبراهه‌ها در مناطقی که مواد تشکیل دهنده خاک مقاومت بالایی دارند یا دارای نفوذپذیری زیاد و پوشش گیاهی متراکمی هستند زیاد است.

- تراکم زهکشی: تراکم پایین آبراهه‌ها، می‌تواند معرف نفوذپذیری بیش‌تر بوده و شرایط مناسب‌تری را برای تشکیل آبخوان‌ها فراهم آورند [۱۵]. در مقابل تراکم زیاد آبراهه‌ها در نواحی که مواد سطحی مقاومت کمی دارند و یا دارای نفوذپذیری پایین و پوشش گیاهی پراکنده می‌باشند، دیده می‌شود [۸].

- زمین‌شناسی: یکی از مهم‌ترین عوامل در پیش‌بینی مناطق بالقوه آب‌های زیرزمینی، زمین‌شناسی است. از نظر معیارهای زمین‌شناسی مؤثر بر منابع آب، در این تحقیق دو گروه سن و جنس واحدهای زمین‌شناسی بررسی شد. جنس سازندها و سن آن‌ها بر تخلخل و نفوذپذیری آبخوان تأثیر گذار است. به‌طور کلی، تغییرات سنگ‌شناسی منجر به تفاوت در دوام و نفوذپذیری خاک می‌شود [۵ و ۲۴].

- کاربری اراضی: نوع استفاده از زمین یکی از عوامل اصلی کنترل‌کننده در روند تغذیه آب‌های زیرزمینی است. یک جنگل انبوه به دلیل نفوذ بیش‌تر بارندگی و کاهش تبخیر دارای پتانسیل تغذیه آب‌های زیرزمینی بالاتری است. در مقابل، در مناطق شهری با سطوح غیر قابل نفوذ، شرایط برای تغذیه آب‌های زیرزمینی نامطلوب و بهره‌وری آب‌های زیرزمینی کم است [۱۹].

- خاکشناسی: میزان نفوذ آب به داخل زمین وابسته به خصوصیات خاک از قبیل ساختمان، بافت و عمق و میزان خلل و فرج آن است و میزان نفوذپذیری خاک نقش مهمی در تشکیل منابع آب زیرزمینی دارد. مناطق با نفوذپذیری بالاتر شرایط مناسب‌تری برای تشکیل آبخوان‌ها فراهم می‌سازند [۸]. منطقه مورد مطالعه از سه نوع تیپ خاکشناسی تشکیل شده است: خاک‌های آنتیسول-اریدیسول، هزار دره و برونزدگی سنگی.

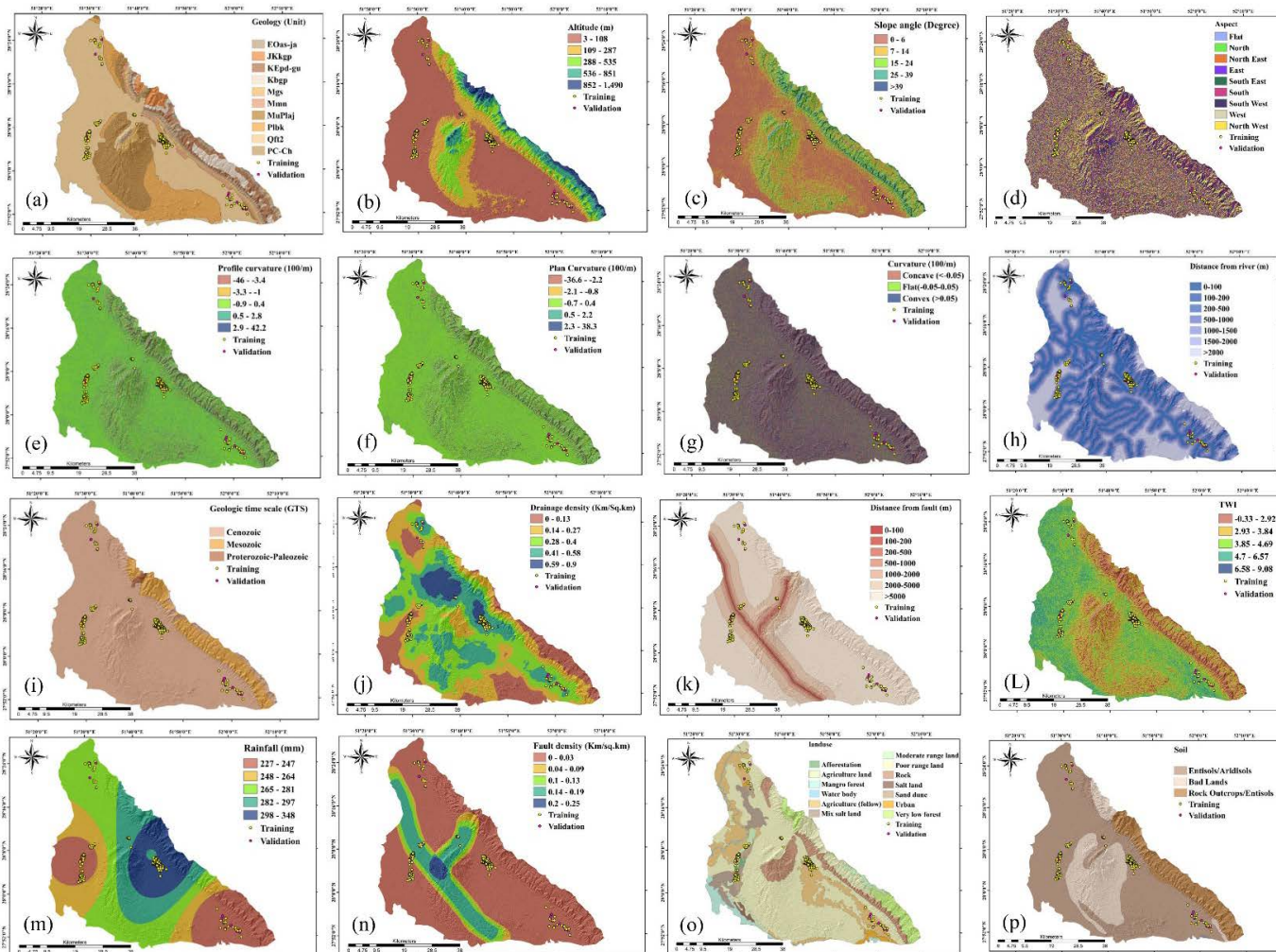
- شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI): این شاخص تعیین‌کننده تأثیر توپوگرافی بر روی میزان سطوح اشباع جهت تولید رواناب است که توسط معادله ۱ بدست می‌آید [۱۸].

$$TWI = \ln(\alpha / \tan \beta) \quad \text{معادله (۱)}$$

که، $\tan \beta$ زاویه شیب در نقطه و α مساحت تجمعی بالای دامنه زهکشی شده از طریق یک نقطه (طول مسیر واحد) است. نقشه TWI تهیه شده در نهایت به ۵ دسته طبقه‌بندی شد. شکل شماره ۲ نقشه کلیه عوامل مؤثر بر پتانسیل‌یابی منابع زیرزمینی را نشان می‌دهد.

مدل تابع شواهد قطعی

چارچوب مدل EBF نظریه دمپستر-شفر است. که نوع ساده شده احتمالات بالا و پایین بیزین می‌باشد [۹]. این مدل شامل درجه اعتماد (Bel) درجه عدم اعتماد (Dis) درجه عدم قطعیت (Unc) و



شکل ۲: نقشه‌های عوامل مؤثر، واحد زمین شناسی (a)، طبقات ارتفاعی (b)، درجه شیب (c)، جهت شیب (d)، انحنای مقطع (e)، انحنای توپوگرافیک (f)، انحنای کلی (g)، فاصله از آبراهه (h)، واحد سن زمین‌شناسی (i)، تراکم زهکش (j)، فاصله از گسل (k)، شاخص (L) TWI، بارش (m)، تراکم گسل (n)، کاربری (o)، خاکشناسی (p)

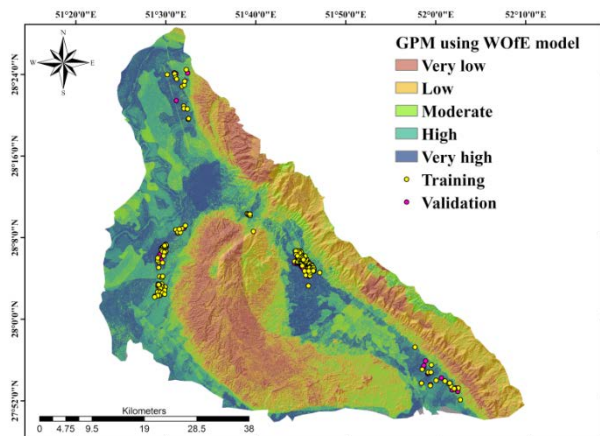
ارزیابی و اعتبارسنجی مدل

پس از تهیه نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی، ۳۰ درصد چاه‌های منطقه جهت ارزیابی و اعتبار سنجی مدل به کار رفتند. با استفاده از منحنی ROC، صحت نقشه‌های تهیه شده، ارزیابی و عملکرد دو مدل مورد مقایسه قرار گرفت. این منحنی کارآمدترین روش در شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌هاست که می‌تواند میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد کند. در مساحت زیر منحنی درصد چاه‌هایی که به درستی توسط مدل پیش‌بینی شده‌اند در مقابل درصد چاه‌هایی که بدرستی پیش‌بینی نشده‌اند قرار می‌گیرند، مساحت زیر منحنی ROC دارای مقادیر بین ۰/۵ تا ۱ بوده که ارزش AUC نزدیک به ۱ نشان‌دهنده مدل ایده‌آل و ارزش نزدیک به ۰/۵ عدم دقت مدل را نشان می‌دهد. بنابراین هرچه ارزش AUC به ۱ نزدیک‌تر باشد مدل در نظر گرفته شده دقیق‌تر و قابل اعتمادتر است [۳۳، ۳۲، ۳۱، ۷].

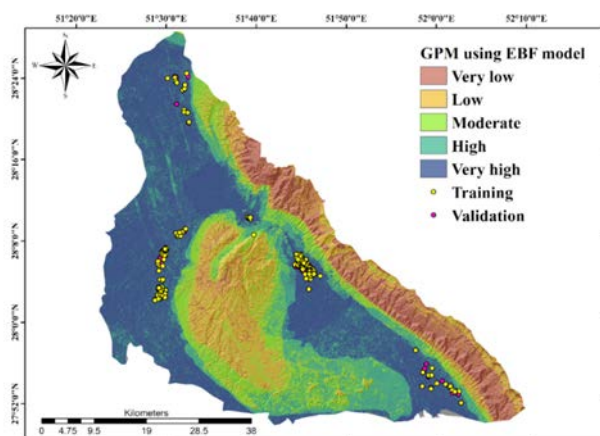
درجه قطعیت (PIs) در محدوده صفر و یک است و مجموع مقادیر قطعیت، عدم قطعیت و عدم اطمینان ۱ است [۱۴]

مدل وزن واقعه

مدل وزن واقعه یک روش کمی داده محور به منظور ترکیب مجموعه داده‌ها است که از مدل احتمال بیزی استفاده می‌کند. روش وزن واقعه متداول‌ترین روش مدل‌سازی دو متغیره است. در این روش، از فرم لگاریتم خطی مدل احتمال بیزی برای برآورد اهمیت نسبی شواهد آماری استفاده می‌شود. برای اجرای مدل WOF وزن مثبت (+W) و وزن منفی (-W) باید به‌عنوان پارامترهای ضروری محاسبه شوند. پس از استفاده از مدل WOF، وزن‌ها می‌بایست در محدوده صفر و یک نرمال شوند [۳].



شکل ۴: نقشه پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی توسط مدل WOE



شکل ۳: نقشه پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی توسط مدل EBF

از رودخانه، بیشترین وزن مربوط به فاصله صفر تا ۱۰۰ متر و بعد از آن مربوط به ۲۰۰۰ تا ۷۰۰۰ متر می‌باشد، پس در منطقه مورد مطالعه رابطه مشخصی بین فاصله از رودخانه و رخداد آب زیرزمینی وجود ندارد. برای فاکتور تراکم آبراهه نیز بیشترین وزن مربوط به کلاس آخر، با درجه اعتماد $0/68$ می‌باشد. برای فاصله از گسل، کلاس اول یعنی صفر تا ۱۰۰ متر بیشترین وزن و تأثیر را در وقوع آب‌های زیرزمینی دارد. برای فاکتور تراکم گسل کلاس سوم، $0/08$ تا $0/13$ بیشترین وزن را دارا می‌باشد. با توجه به فاکتور سن زمین شناسی، همه چاه‌های منطقه در سن سنوزویک قرار دارند، زیرا به دلیل جوان‌تر بودن و نفوذپذیری بالاتر احتمال وقوع آب زیرزمینی بیش‌تر می‌گردد. از لحاظ فاکتور واحدهای زمین‌شناسی، بیشترین سطح حوزه $(47/65)$ توسط واحد Qft2 پوشیده شده است که شامل ۲۲۲ جبهه (۹۳ درصد) در سطح این واحد زمین‌شناسی می‌باشد. این واحد شامل تراس‌های آبرفتی بوده که مربوط به دوره کواترنر و دوران سنوزویک می‌باشد. برای فاکتور کاربری‌اراضی بیشترین وزن مربوط به مراتع متوسط با مقدار $0/41$ می‌باشد.

نتایج حاصل از اعتبار سنجی

نتایج صحت‌سنجی هر دو مدل با توجه به سطح زیر منحنی ROC (شکل ۵) نشان داد که روش وزن واقعه با مساحت زیر منحنی $0/86$ از روش تابع شواهد قطعی با مساحت زیر منحنی $0/8$ دارای صحت و دقت بالاتری می‌باشد. به عبارت دیگر نقشه تهیه شده از وزن واقعه و تابع شواهد قطعی به ترتیب دارای 86 و 80 درصد صحت می‌باشد. که نشان از دقت قابل قبول هر دو مدل در تهیه نقشه پتانسیل یابی می‌باشد.

بحث و نتایج

نتایج حاصل از اجرای مدل تابع شواهد قطعی و وزن واقعه در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی

با توجه به نقشه‌های فاکتورهای مؤثر ورودی، با اجرای مدل تابع شواهد قطعی و وزن واقعه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی تهیه شد (شکل ۳ و ۴). نتایج حاصل از اجرای مدل با توجه به طبقات مربوط به هر فاکتور، درصد و تعداد چاه‌های قرار گرفته در هر طبقه و مقادیر درجه اعتماد به‌طور خلاصه به شرح زیر می‌باشد. در مورد درجه شیب، طبقه صفر تا ۶ درجه که ۵۲ درصد از سطح حوزه را پوشانده است، دارای بیشترین تأثیر با درجه اعتماد $0/63$ در احتمال وقوع آب زیرزمینی می‌باشد. برای فاکتور بارندگی، بیشترین تأثیر شامل طبقه $292 - 347$ میلی‌متر می‌باشد. در مورد فاکتور انحنای کلی سطح زمین بیشترین درجه اعتماد مربوط به کلاس‌های بدون انحنا و پس از آن کلاس مقعر به ترتیب برابر با $0/36$ و $0/34$ قرار دارد. با افزایش مقدار شاخص رطوبت توپوگرافی مقدار وزن مربوطه بیش‌تر می‌گردد که نشان‌دهنده تأثیر مستقیم این شاخص بر روی آب زیرزمینی می‌باشد. با افزایش طبقات ارتفاعی مقدار درجه اعتماد مربوطه کاهش می‌یابد که نشان دهنده رابطه عکس وقوع آب زیرزمینی با طبقات ارتفاعی است، به طوری که طبقات ارتفاعی پایین کاملاً مستعد رخداد آب زیرزمینی هستند. در منطقه مورد مطالعه طبقه ارتفاعی ۳ تا ۱۰۸ متر که ۶۳ درصد از سطح حوزه را شامل می‌شود و در این طبقه ۲۳۷ چاه (۹۹ درصد مجموع کل چاه‌های منطقه) قرار دارد وزن مربوط به درجه اعتماد آن برابر با $0/984$ می‌باشد. برای فاکتور جهت جغرافیایی نیز بیشترین وزن مربوط به جهت شمالی، پس از آن جنوب‌غربی و سپس شرق می‌باشد. برای فاکتور فاصله

منابع

1. Al-Abad, A., Al-Temmeme, A. & Al-Ghanimy, A. 2016. A GIS-based combining of frequency ratio and index of entropy approaches for mapping groundwater availability zones at Badra–Al Al-Gharbi–Teeb areas, Iraq, *Sustain. Water Resour. Manage.* 2: (3): 265-283.

2. Adiat, K. A. N., Nawawi, M. N. M. & Abdullah, K. 2012. Assessing the accuracy of GIS-based elementary multi criteria decision analysis as a spatial prediction tool–A case of predicting potential zones of sustainable groundwater resources. *Journal of Hydrology.* 440: 75-89

3. Agterberg, F. P. 1989. Systematic approach to dealing with uncertainty of geoscience information in mineral exploration. *APCO* 89: 165-178.

4. Arkoprov, B., Adarsa, J. & Prakash, S. S. 2012. Delineation of groundwater potential zones using satellite remote sensing and geographic information system techniques: a case study from Ganjam district, Orissa, India. *Research Journal of Recent Sciences* ISSN. 2277, 2502.

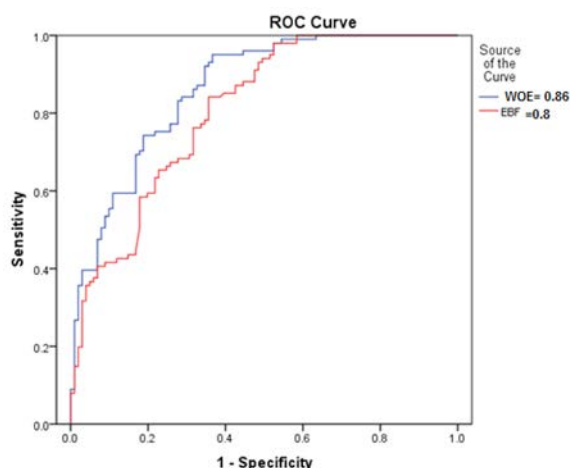
5. Chowdhury, A., Jha, M. K., Chowdary, V. M. & Mal, B. C. 2009. Integrated remote sensing and GIS-based approach for assessing groundwater potential in West Medinipur district, West Bengal, India. *International Journal of Remote Sensing.* 30(1): 231-250.

6. Choubin, B., Rahmati, O., Soleimani, F., Alilou, H., Moradi, E., & Alamdari, N. 2019. Regional groundwater potential analysis using classification and regression trees. In *Spatial modeling in GIS and R for earth and environmental sciences*, 1 ed: 485-498.

7. Chung, JF. Fabbri, AG. 2003. Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Nat Hazards* 30(3): 451–472

8. Damavandi, A.A., Rezaei, F. & Panahi, M. 2011. Potential of Groundwater Resources Using Remote Sensing and Geographic Information System Case Study: Saleh Ben Watershed. 2nd Earth Sciences Conference. 1-9. (In Persian)

9. Dempster, A.P. 1968. Generalization of Bayesian inference. *J. R. Stat. Soc. Series B.* 30: 205-247. Shafer, G. 1976. A mathematical theory of evidence, vol. 1. Princeton University, Princeton



شکل ۵: منحنی ROC

نتیجه گیری

با توجه به افزایش جمعیت و نیاز روز افزون به منابع آبی، تعیین پتانسیل منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های نوین و کارآمد به منظور کاهش فشار به مناطقی که دارای پتانسیل پایینی می‌باشند لازم و ضروری است. در این مطالعه به بررسی رابطه بین عوامل مؤثر بر پتانسیل آب‌های زیرزمینی و بررسی عملکرد مدل تابع شواهد قطعی و وزن واقعه پرداخته شد. براساس نقشه‌های بدست آمده از دو مدل مذکور، عمده مناطق مستعد منابع زیرزمینی در قسمت‌های شمالی، غربی و جنوب غرب حوضه قرار دارند که دلیل این امر وقوع بارندگی بیشتر و شیب و ارتفاع کم‌تر و سازندهای مناسب زمین‌شناسی و تراکم پایین آبراهه می‌باشد. علاوه بر این درجات شیب زیر ۶ درجه، طبقات ارتفاع زیر ۱۰۰ متر، کاربری مرتع و شاخص رطوبت بین ۴/۶۹ تا ۳/۸۵ به ترتیب بیش‌ترین تأثیر و وزن را در ایجاد نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی داشتند. در نهایت نتایج تحقیق نشان داد مدل وزن واقعه دارای صحت بیشتری در ایجاد نقشه نهایی پتانسیل‌یابی است. این نتایج با نتایج مطالعات پارک و همکاران [۲۵] در کاربرد مدل وزن واقعه برای تجزیه و تحلیل پتانسیل بهره‌وری آب‌های زیرزمینی در دو شهر کره و مطالعات فلاح و همکاران [۱۱] که در آن مدل وزن واقعه دارای بالاترین صحت پیش‌بینی بود، هم‌خوانی دارد. بنابراین اطلاعات حاصل از این تحقیق می‌تواند به‌عنوان اطلاعات پایه به برنامه‌ریزان به‌منظور ارزیابی، برنامه‌ریزی، مدیریت و استفاده بهینه و پایدار از منابع زیرزمینی کمک کند. در نهایت پیشنهاد می‌شود پس از شناسایی منابع زیرزمینی دشت، اقدام به پهنه‌بندی کیفی آب شود تا بخش‌های متناسب با کاربری‌های مختلف شناسایی شود. قابل ذکر است که در آبخوان‌های ساحلی این مساله می‌بایست مدنظر قرار گیرد که برداشت بیش از حد از منابع آب شیرین باعث پیش‌روی آب شور و کاهش کیفیت این منابع خواهد شد.

27(6): 1177-1191.

18. Moore, I. D., Grayson, R. B. & Ladson, A. R. 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*, 5(1): 3-30

19. Mofidifar, M., Al-Modarresi, S. & Jamali, A. 2014. Comparative study of groundwater resources potential identification using artificial neural network decision-making techniques and logistic regression in a GIS environment (Case study: Yazd-Ardakan plain basin). The second national conference on environment, energy, and bio-defense. Tehran. 1-9. (In Persian)

20. Mosavi, A., Hosseini, F. S., Choubin, B., Goodarzi, M., Dineva, A. A., & Sardooi, E. R. 2021. Ensemble boosting and bagging based machine learning models for groundwater potential prediction. *Water Resources Management*. 35(1): 23-37.

21. Nampak, H., Pradhan, B., & Manap, M. A. 2014. Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. *Journal of Hydrology*. 513. 283-300.

22. Neshat, A., Pradhan, B., Pirasteh, S. & Shafri, H. Z. M. 2014. Estimating groundwater vulnerability to pollution using a modified DRASTIC model in the Kerman agricultural area, Iran. *Environmental Earth Sciences*. 71(7): 3119-3131.

23. Oh, H. J., Kim, Y. S., Choi, J. K., Park, E. & Lee, S. 2011. GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. *Journal of Hydrology*. 399(3): 158-172.

24. Ozdemir, A. 2011. GIS-based groundwater spring potential mapping in the Sultan Mountains (Konya, Turkey) using frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods and their comparison. *Journal of hydrology*. 411 (3): 290-308.

25. Park, I., Kim, Y. & Lee, S. 2014. Groundwater productivity potential mapping using evidential belief function. *Groundwater*. 52(S1): 201-207.

26. Pourghasemi, H. R., Jirandeh, A. G., Pradhan, B., Xu, C. & Gokceoglu, C. 2013. Landslide susceptibility mapping using support vector machine and GIS at the Golestan Province, Iran. *Journal of Earth System Science*. 122(2): 349-369.

10. Entezari Zarch, A., Jamali, A. & Hassanzadeh, M. 2012. Management and potentization of watershed water resources using remote sensing and GIS (Case study: Crete Tabas). Third National Conference on Comprehensive Water Resources Management. Sari. 1-6. (In Persian)

11. Falah, F., Ghorbani Nejad, S., Rahmati, O., Daneshfar, M. & Zeinivand, H. 2017. Applicability of generalized additive model in groundwater potential modelling and comparison its performance by bivariate statistical methods. *Geocarto international*, 32(10): 1069-1089.

12. Ghorbani Nejad, S., Daneshfar, M., Rahmati, 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.

13. Khosravi, Kh., Nohani, E., Maroufinia, E. & Pourghasemi, H.R. 2016. A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. *Natural Hazards*. 83(2): 947-987.

14. Lee, S., Hwang, J. & Park, I. 2013. Application of data-driven evidential belief functions to landslide susceptibility mapping in Jinbu, Korea. *Catena*. 100: 15-30

15. Magesh, N. S., Chandrasekar, N. & Soundranayagam, J.P. 2012. Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques. *Geoscience Frontiers*. 3(2): 189-196.

16. Manap, M. A., Nampak, H., Pradhan, B., Lee, S., Sulaiman, W. N. A. & Ramli, M. F. 2014. Application of probabilistic-based frequency ratio model in groundwater potential mapping using remote sensing data and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*. 7(2): 711-724

17. Moore, I. D. & Grayson, R. B. 1991. Terrain-based catchment partitioning and runoff prediction using vector elevation data. *Water Resources Research*.

32. Samira, G. N., Fatemeh, F., Mania, D., Ali, H. & Omid, R. 2015. Delineation of groundwater potential zones using remote sensing and GIS-based data driven models, *Geocarto International*
33. Van Westen, C. J., Rengers, N., & Soeters, R. 2003. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Natural hazards*. 30(3): 399-419.
34. Yesilnacar, EK. 2005. The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey. Ph.D Thesis Department of Geomatics the University of Melbourne, p 423
27. Pradhan, B. & Youssef, A. M. 2010. Manifestation of remote sensing data and GIS on landslide hazard analysis using spatial-based statistical models. *Arabian Journal of Geosciences*. 3(3): 319-326.
28. Taheri Tizro, A. 2005. Groundwater. First edition. Kermanshah Technologists Publications. Razi University. (In Persian)
29. Todd, D. K. & Mays, L. W. 2005. Groundwater Hydrology. Third edition, John Wiley and Sons. Inc.
30. Rahmati, O., Samani, A. N., Mahdavi, M., Pourghasemi, H. R. & Zeinivand, H. 2015. Groundwater potential mapping at Kurdistan region of Iran using analytic hierarchy process and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*. 8(9): 7059-7071.
31. Razandi, Y., Pourghasemi, H. R., Neisani, N. S. & Rahmati, O. 2015. Application of analytical hierarchy process, frequency ratio, and certainty factor models for groundwater potential mapping using GIS. *Earth Science Informatics*, 8(4): 867-883.



Abstract

Comparing the Efficiency of Evidential Belief Function and Weight of Evidence Models for Groundwater Potential Mapping

B. Farokhzadeh¹ and* M. J. Adibi²

Received: 2020/12/15 Accepted: 2021/02/21

The purpose of the current study is comparing the efficiency of evidential belief function and weight of evidence models to delineate the groundwater potential area of Bushehr plain in Bushehr province. First, location of wells were collected. Then, 70% of the wells were used randomly for modeling, and the remaining 30% for model evaluation. Using effective factors, the groundwater potential map was drawn by performing the efficiency of the evidential belief function and Weight of evidence models in 10.1 ArcGIS software. Finally, the resulting groundwater potential maps were validated using ROC. The results showed that the area under the ROC curve in the model of evidential belief function is 80% and in the model of Weight of evidence is 86%. Comparison of these results showed that both models have acceptable accuracy, but the Weight of evidence has a relatively better performance and the resulting map is more accurate than the evidential belief function model. The results of this research can be helpful for future management of water resources.

Keywords: Groundwater, Evidential belief function, Weight of evidence, Bushehr plain.

1. Assistant Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Author Corresponding, Email: b.farokhzadeh@malayeru.ac.ir

2. Master student of watershed management, Malayer University.