دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

شبیه‌سازی پتانسیل آب‌های زیرزمینی حوضه کهورستان با بهره‌گیری از رویکرد ترکیبی مدل‌های داده‌کاوی

علیرضا نفرزادگان[۱]، علی‌اکبر محمدی‌فر[۲]، فریبرز محمدی[۳و۴] و محمد کاظمی[۴]

۱- استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، (نویسنده مسوول: a.r.nafarzadegan@gmail.com)
۲- دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان
۴- استادیار مرکز مطالعات و تحقیقات هرمز، دانشگاه هرمزگان
تاریخ دریافت: ۹۸/۵/۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۲/۴
صفحه: ۱۳۰ تا ۱۴۳

چکیده

آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از منابع قابل توجه برای آب شیرین در نظر گرفته می‌شود. هدف از این پژوهش، به کار بردن چهار مدل یادگیری ماشین شامل جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، Bioclim و Domain به منظور تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در حوزه آبخیز کهورستان استان هرمزگان است. نوآوری این پژوهش استفاده از الگوریتم‌های Bioclim و Domain به‌منظور شبیه‌سازی پتانسیل آب زیرزمینی و مقایسه آن با دو تکنیک جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان و همچنین ترکیب این چهار مدل بر اساس یک رابطه ابتکاری و جدید می‌باشد. برای این منظور، ۱۱ معیار شامل درصد شیب، جهت شیب، انحنای سطح، انحنای مقطع، شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده بر حسب خاک (SAVI)، شاخص اصلاح‌شده نرمال تفاضل آب (MNDWI)، فاکتور طول و تندی شیب (LS)، شاخص قدرت جریان (SPI)، شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI)، کاربری اراضی و فاصله از آبراهه‌ها در نظر گرفته شد. همچنین از داده‌های ۱۱۳ چاه که دارای دبی پمپاژ بالا بودند برای فرآیندهای شبیه‌سازی (۷۰ درصد) و اعتبارسنجی (۳۰ درصد) استفاده شد. قبل از مدل‌سازی آزمون هم‌خطی بر روی معیارها انجام شد و مشاهده گردید هیچ‌نوع هم‌خطی بین متغیرها وجود ندارد. ارزیابی کارآیی مدل‌سازی با منحنی ROC نشان داد که هر چهار روش استفاده شده دارای دقت خیلی خوب و AUC بالای ۹۰ درصد جهت پیش‌بینی می‌باشند. بررسی وزن معیارها بر اساس روش جنگل تصادفی نشان داد که معیار کاربری و پوشش اراضی و فاصله از آبراهه دارای بالاترین وزن می‌باشند. در ادامه نتایج چهار روش با یک رابطه پیشنهادی ترکیب گردید. نقشه نهایی نشان داد که ۲۱٫٤ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل خوب از نظر آب زیرزمینی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز مکانی، الگوریتم Bioclim، الگوریتم Domain، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان

مقدمه

افزایش جمعیت و روند رو به رشد صنعتی، نیاز آبی در زمینه‌های مختلف را افزایش داده است. بنابراین امروزه منابع آب زیرزمینی از با ارزش‌ترین منابع جهت تامین آب به شمار می‌روند (۹). امروزه برداشت از آب‌های زیرزمینی بسیار بیشتر از میزان تغذیه طبیعی آن‌ها می‌باشد و اگر میزان آب در دسترسکمتر از تقاضای آب در یک حوزه آبخیز باشد، آن‌گاه بحران آبی اتفاق می‌افتد. لذا این واقعیت میتواند مبین این موضوع باشد که وضع سفره‌های آب‌های زیرزمینی در بسیاری از مناطق کشور، بحرانی است (۲۶). آب‌های زیرزمینی در کشور به عنوان یکی از منابع مهم تأمین آب مورد نیاز در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت، اهمیت زیادی دارند. آب زیرزمینی از یک‌سو به‌دلیل شیرین‌بودن، ترکیبات ثابت شیمیایی، دمای‌ثابت، ضریب آلودگی کمتر و سطح اطمینان بیشتر یک منبع قابل اتکا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و از سوی دیگر با تأثیر بر توان اکولوژیک سرزمین پدیده‌ای مهم و مؤثر در توسعه اقتصادی، تنوع اکولوژیکی وسلامت جامعه به‌حساب می‌آید (۱۴).

آبخوان‌ها به دلیل افت تراز آبی، کاهش کیفیت، تاثیرپذیری از تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش جهانی و تغییر نظام بارش (۳۴) و رخداد خشکسالی‌های ممتد و متوالی (۳۰) از چالش‌های مهم توسعه هستند. بنابراین احیا و بهره‌برداری بهینه‌ی متناسب با توان آبخوان‌ها یکی از شیوه‌های حل چالش ناشی از کمبود منابع آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. از این نظر ارائه روش‌هایی به‌منظور مدیریت آب‌های زیرزمینی در مقیاس‌های ملی، منطقه‌ای و محلی (۱۷) و همچنین تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی ضروری می‌باشد و می‌تواند به عنوان اقدامات اولیه در زمینه مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته شود. سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، در مقایسه با روش‌های سنتی در زمینه ارزیابی پتانسیل آب‌های زیرزمینی که بسیار وقت‌گیر، کم‌دقت و پرهزینه هستند، دارای کارایی بالایی بوده و باعث افزایش دقت و سرعت پژوهش‌ها در زمینه ارزیابی آب‌های زیرزمینی شده‌اند (۱۱).

به‌منظور تعیین پتانسیل آب‌های زیرزمینی پارامترهای زمین‌محیطی متعددی نقش حیاتی بازی می‌کنند که شامل فاکتورهای اقلیمی (بارندگی)، فاکتورهای توپوگرافیک (ارتفاع، شیب، جهت شیب، شکل شیب و انحنای توپوگرافیک)، فاکتورهای هیدرولوژیک (شاخص خیسی توپوگرافی، شاخص قدرت حمل رسوب، فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه، فاکتورهای زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی و فاصله از گسل) و فاکتورهای اکولوژیک (کاربری اراضی، شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی، فاصله از جاده، عمق خاک، نفوذپذیری، بافت خاک و نوع خاک) می‌باشند (۳۳،۳۲).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.13.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.130]

تاکنون روش‌های مختلفی در زمینه تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی توسط پژوهشگران مختلف استفاده شده است که می‌توان به روش‌های نسبت فراوانی (۲۸)، تصمیم‌گیری چندمعیاره (فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل شبکه) (۳۱، ۱۵ و ۱)، شبکه عصبی مصنوعی (۱۶)، وزن واقعه و رگرسیون لجستیک (۲۴)، جنگل تصادفی و آنتروپی بیشینه (۲۵)، تابع شواهد قطعی (۲۰) و شاخص همپوشانی وزنی (۱۲) اشاره نمود. نقیبی و همکاران (۱۹) به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی در حوزه آبخیز مغان در خراسان رضوی از روش‌های نسبت فراوانی و آنتروپی شانون استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل آنتروپی شانون با سطح زیرمنحنی برابر با ۹۱/۲۱ درصد دارای توانایی بالایی در شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب‌های زیرزمینی می‌باشد. رزندی و همکاران (۲۷) پتانسیل منابع آب زیرزمینی دشت ورامین را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد پهنه با پتانسیل بالا، بیشتر منطبق بر رسوبات آبرفتی درشت‌دانه دوران کواترنر است. پورقاسمی و بهشتی‌راد (۲۳) به ارزیابی روش داده‌محور شواهد وزن قطعی به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در حوزه کوهرنگ با استفاده از پارامترهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، طول شیب، شاخص خیسی توپوگرافی، انحنای سطح، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، فاصله از گسل و تراکم آبراهه پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که این روش شواهد وزن قطعی با مساحت زیر منحنی۷۲/۸۱ درصد دارای کارایی مناسب در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی می‌باشد. نمپاک و همکاران (۲۰) از روش داده‌محور شواهد وزن قطعی به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در حوزه لانگات[1] در مالزی استفاده کردند و بدین‌منظور از ۱۲ پارامتر ارتفاع، شیب، انحنای سطح، شاخص قدرت جریان، شاخص خیسی توپوگرافی، تراکم آبراهه، لیتولوژی، تراکم گسل، کاربری اراضی، خاک، بارندگی و شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل شواهد وزن قطعی دارای کارایی بالایی در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی می‌باشد.

هدف اصلی در این پژوهش ارزیابی پتانسیل آب‌های زیرزمینی حوزه آبخیز کهورستان در استان هرمزگان با استفاده از مدل‌های جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، Bioclim و Domain می‌باشد. نوآوری این پژوهش نسبت به پژوهش‌های صورت‌گرفته در این زمینه استفاده از ترکیب چهار روش یادگیری ماشین در زمینه ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی می‌باشد. همچنین طبق بررسی منابع صورت گرفته دو الگوریتم Bioclim و Domain تاکنون جهت ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار نگرفته است. بررسی هم‌خطی عوامل استفاده شده نیز از دیگر نوآوری‌های پژوهش پیش‌رو می‌باشد.

مواد و روش‌ها

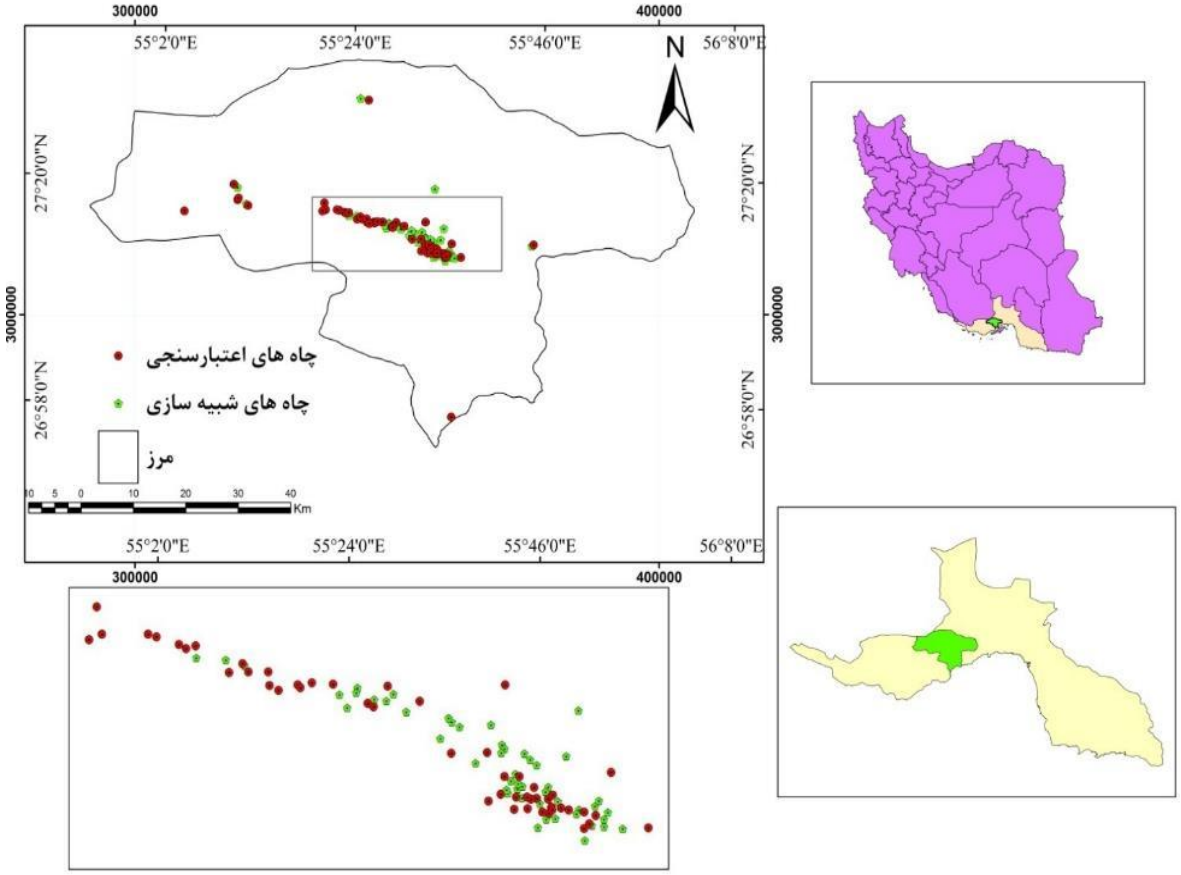
منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کهورستان در استان هرمزگان و در ۷۷ کیلومتری غرب شهر بندرعباس واقع شده است. این حوزه از نظر تقسیمات کشوری، بخشی از دهستان کهورستان از بخش مرکزی شهرستان خمیر می‌باشد. مساحت این حوزه ۳۹۳۰۷۵ هکتار می‌باشد. حوضه کهورستان بخشی از زیرحوزه اصلی رود کل می‌باشد که در نهایت جزو حوزه اصلی خلیج فارس و دریای عمان می‌باشد. ارتفاع این منطقه از ۱۵- تا ۲۶۴۳ متر متغیر می باشد. بارش متوسط منطقه مورد مطالعه با توجه به آمار ۲۷ساله (۹۶-۶۹) ایستگاه کهورستان که تنها ایستگاه باران‌سنجی در داخل حوزه می‌باشد، ۱۵۷/۵ میلی‌متر در سال و حجم سالانه آب کشاورزی قابل برنامه‌ریزی برای محدوده مطالعاتی کهورستان ۱۴/۸۸ میلیون مترمکعب برآورد گردیده است (۲۹).

اطلاعات مربوط به چاه‌های آب زیرزمینی از سازمان آب منطقه‌ای استان هرمزگان و اداره کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان تهیه گردید. بر اساس پژوهش‌های پیشین تنها چاه‌های آب زیرزمینی با پتانسیل آبدهی بالا (بیش از ۸ لیتر در ثانیه) در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت (۲۰ و ۲۵). داده‌های مورد استفاده (۱۱۳ موقعیت چاه) به‌طور تصادفی به دو گروه شبیه‌سازی (۷۹ موقعیت چاه) و اعتبار سنجی (۳۴ موقعیت چاه) تقسیم‌بندی گردید. در شکل ۱ موقعیت چاه‌های شبیه‌سازی و اعتبارسنجی در حوزه آبخیز کهورستان نشان داده شده است.

1- Langat

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.13.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.130]



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز کهورستان و چاه‌های انتخاب‌شده برای فرآیندهای شبیه‌سازی و اعتبارسنجی.
Figure 1. Geographical location of Kahurestan watershed and the wells selected for simulation and validation processes

در این پژوهش با توجه به هدف آن، یعنی پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی، تلاش شده است تا عوامل موثر بر نفوذپذیری خاک و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی بررسی شود. به همین منظور نخست با بررسی منابع داخلی و خارجی مرتبط با موضوع تحقیق، عوامل موثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی شناسایی شد. بنابراین در پژوهش حاضر ۱۱ متغیر از مهم‌ترین عوامل موثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی شامل لایه‌های درصد شیب، جهت شیب، انحنای سطح[1] و انحنای مقطع[2]، شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده خاک یا SAVI[3]، شاخص تفاضل نرمال‌شده آب اصلاح‌شده یا MNDWI[4]، فاکتور طول و تندی شیب یا LS[5]، شاخص قدرت جریان یا SPI[6]، شاخص رطوبت توپوگرافیک یا TWI[7]، کاربری اراضی و فاصله از آبراهه‌ها با توجه به استفاده از تجربیات کارشناسان و پژوهشگران در بررسی‌های صورت‌گرفته، در منطقه مطالعه‌شده استفاده شده است.

داده‌های ماهواره‌ای SRTM با قدرت تفکیک ۹۰ متر به منظور تهیه مدل رقومی ارتفاعی در منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفت. طبقات ارتفاعی مختلف باعث ایجاد شرایط اقلیمی متفاوت شده و در نتیجه باعث ایجاد خاک و نوع پوشش گیاهی متفاوت می‌گردد (۱۵). مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از ابزار Spatial Analysis در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.3 تهیه گردید. جهت شیب وابسته به جهت عمده بارش و روند فیزیوگرافیک می‌باشد و بر روی میزان دریافت بارش و نوع پوشش گیاهی تأثیرگذار می‌باشد (۸). نقشه جهت‌شیب از مدل رقومی ارتفاعی استخراج گردید. شیب عمدتاً فرآیند تغذیه آب‌های زیرزمینی، نفوذ و رواناب را کنترل می‌کند، بنابراین یک فاکتور موثر جهت پیش‌بینی فضایی پتانسیل آب‌های زیرزمینی می‌باشد. نقشه شیب بر اساس انحنای سطح بر روی همگرایی و واگرایی جریان تأثیر می‌گذارد و انحنای مقطع مطابق با جهت حداکثر شیب می باشد و عمدتاً بر روی سرعت جریان در سطح تأثیرگذار است (۲). نقشه انحنای توپوگرافیک و انحنای مقطع با استفاده از مدل رقومی و در محیط نرم‌افزار SAGA-GIS تهیه گردید. انحنای توپوگرافیک به ۳ کلاس مقعر، هموار و محدب تقسیم‌بندی می‌گردد .مقادیر منفی انحنای توپوگرافیک بیانگر تقعر و مقادیر مثبت آن بیانگرتحدب سطح می‌باشد. مقادیر صفر نشان‌دهنده هموار‌بودن سطح می‌باشد (۱۹). انحنای مقطع نیز به ۳ کلاس تقسیم‌بندی می‌گردد.

برای تهیه لایه شاخص SAVI و MNDWI از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده گردید. برای این هدف، پس از تهیه و دانلود تصاویر لندست OLI اقدام به تصحیح رادیومتریک و تصحیح اتمسفری تصویر مورد نظر شد، که تصحیح اتمسفری

1- Plan Curvature 2- Profile Curvature 3- Soil Adjusted Vegetation Index 4- Modified Normalized Difference Water Index
5- Slope Length and Steepness Factor 6- Stream Power Index 7- Topographic Wetness Index

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.13.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.130]

با استفاده از الگوریتم FLAASH انجام گردید. در مرحله بعد با استفاده از روابط زیر شاخص‌های مورد نظر محاسبه گردید. که در این روابط L فاکتور تصحیح برای تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی، NIR میزان انعکاس تصویر در باند مادون قرمز نزدیک، Red میزان انعکاس تصویر در باند قرمز، Green میزان انعکاس تصویر در باند سبز و MIR میزان انعکاس تصویر در باند مادون قرمز میانی می‌باشد.

$$SAVI = \frac{(1+L)(NIR-Red)}{(NIR+Red+L)} \quad (۱)$$

$$MNDWI = \frac{Green-MIR}{Green+MIR} \quad (۲)$$

برای محاسبه فاکتور LS ابتدا نقشه شیب حوزه بر حسب درجه تهیه شد. سپس مدل رقومی توسط ابزار پرکننده گودی‌ها[1] اصلاح شد و از مدل رقومی اصلاح‌شده نقشه رستری جهت جریان[2] استخراج و در نهایت از آن نقشه رستری تجمع جریان[3] برای کل حوزه به‌دست آمد. رابطه ۳ برای محاسبه عامل LS در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد (۲۲).

$$L = (1.4)\,[Fac * 10/a_0]^{0.4}[\sin\beta(r)/\sin b_0]^{1.4} \quad (۳)$$

که در آن Fac نقشه رستری جریان تجمعی حوزه، β(r) زاویه شیب بر حسب درجه، a_0 طول کرت استاندارد (که برابر با ۲۲/۱۳ متر می‌باشد)، b_0 شیب کرت استاندارد (که برابر با ۵/۱۴۳ درجه) می‌باشد.

شاخص قدرت جریان (SPI) گویای میزان قدرت فرسایندگی جریان آب است. براین اساس، آبگذری متناسب است با مساحت ویژه حوضه و شیب، که با استفاده از رابطه ۴ و توسط نرم‌افزار SAGA-GIS محاسبه گردید.

$$SPI = B_s * tana \quad (۴)$$

که در آن B_s مساحت حوزه به مترمربع و $tana$ شیب محلی به درجه می‌باشد.

شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) تعیین‌کننده تاثیر توپوگرافی بر روی میزان سطوح اشباع جهت تولید رواناب است که توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود (۱۸).

$$TWI = Ln(As/tan\mathfrak{c}) \quad (۵)$$

که در آن As مساحت ویژه حوضه –که بیانگر سطح تجمعی منطقه بالادست است– و $\mathfrak{c}$ درجه شیب می‌باشد.

برای تهیه لایه کاربری و نقشه فاصله از آبراهه نیز از نقشه‌های سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری استفاده گردید.

بعد از آماده‌سازی لایه‌های موثر بر پتانسیل آب زیرزمینی و نیز لایه نقطه‌ای چاه‌ها، ابتدا برای تعیین هم‌خطی از پارامترهای ضریب تحمل یا Tolerance و عامل تورم واریانس یا VIF استفاده شد. هم‌خطی زمانی رخ می‌دهد که متغیرهای پیش‌بین با یکدیگر ضریب همبستگی بالایی داشته باشند، در این صورت واریانس یکسانی از متغیر وابسته را تبیین می‌کنند. لذا در تعیین پتانسیل منابع آب زیرزمینی، اگر در فرآیند شبیه‌سازی بین پارامترهای ورودی، هم‌خطی وجود داشته باشد، دقت پیش‌بینی مدل کاهش می‌یابد، در نتیجه بررسی آزمون هم‌خطی بین پارامترهای مؤثر ضروری می‌باشد. در مرحله بعداز چهار روش جنگل تصادفی، ماشین پشتیبان بردار، الگوریتم‌های Bioclim و Domain جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی بهره گرفته شد، که در ادامه به معرفی مختصر این روش‌ها پرداخته می‌شود.

الگوریتم‌های Bioclim و Domain

این دو روش به طور گسترده‌ای برای مدل‌سازی توزیع مطلوبیت زیستگاهی گونه‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۵) و به ندرت جهت پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی استفاده شده است (۷). اساس آنها محاسبه فاصله بین عوامل موثر در هر مکان با مکان‌هایی که دارای پتانسیل بالای آب زیرزمینی (نقاط آموزش) هستند، می‌باشد. برای هر متغیر حداقل فاصله بین یک مکان و هر نقطه آموزش (Train) در نظر گرفته می‌شود و سپس نتیجه جهت مدل‌سازی با تمام عوامل موثر ادغام می‌شود (۱۳). الگوریتم Bioclim از قدرت خوبی برای مدل‌سازی مکانی با تعداد نسبتا کم متغیرهای ورودی برخوردار است (۴). اما شایان ذکر است که الگوریتم Domain از یک تابع شباهت پیوسته بهره می‌برد که می‌تواند در بعضی شرایط باعث انعطاف‌پذیری بیشتر در شبیه‌سازی مکانی نسبت به الگوریتم Bioclim شود (۵).

الگوریتم جنگل تصادفی (RF)[4]

این روش مبتنی بر دسته‌ای از درخت‌های تصمیم است. این روش در حال حاضر یکی از بهترین الگوریتم‌های یادگیری است. مدل پیش‌بینی‌کننده RF بر اساس میانگین‌گیری از نتایج حاصل از تمامی درخت‌های تصمیم مربوطه استوار است و برای بسیاری از مجموعه داده‌ها، طبقه‌بندی با صحت بالایی را انجام می‌دهد (۱۰). درختان تصادفی با در نظر گرفتن بردار ورودی، آن را با هر درخت در جنگل طبقه‌بندی می‌کند.الگوریتم جنگل تصادفی در نهایت، می‌تواند با استفاده از رای‌گیری، آن طبقه‌ای را که بیشترین رای را آورده است انتخاب کند و به عنوان طبقه‌ی نهایی جهت انجام عملیات طبقه‌بندی قرار دهد. مهم‌ترین پارامتر قابل تنظیم در این روش، تعداد درخت‌ها است که در این پژوهش بعد از سعی و خطا، مقدار آن ۱۰۰۰ انتخاب شد و برای سایر پارامترها، مقادیر پیش‌فرض قرار داده شد. شایان ذکر است که در این روش از دو عامل میانگین کاهشی دقت و میانگین کاهشی جینی برای تعیین اولویت تاثیر هر یک از عوامل موثر استفاده می‌شود (۲۱).

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)[5]

این روش بر پایه تئوری یادگیری آماری[6] است که از حداقل ریسک ساختاری[7] تبعیت می‌کند و برای ارزیابی و آزمون مجموعه‌ای از داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۷). بر اساس این نظریه یادگیری آماری، می‌توان کران نرخ خطای ماشین یادگیری را برای داده‌های طبقه‌بندی نشده، به عنوان نرخ خطای تعمیم‌یافته، در نظر گرفت. این کران‌ها به عنوان تابعی از مجموعه نرخ خطاهای آموزش هستند که میزان پیچیدگی طبقه‌بندی کننده‌ها را نشان می‌دهند (۳۵). این الگوریتم در سال‌های اخیر، توجه زیادی را به دلیل عملکرد خوب طبقه‌بندی و قابلیت تعمیم مناسب به خود جلب کرده است. در این پژوهش از مدل SVM با تابع کرنل خطی استفاده شده

1- Fill sinks
2- Flow direction
3- Flow accumulation
4- Random Forest
5- Support Vector Machine
6- Statistical Learning Theory
7- Structure Risk Minimization

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.13.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.130]

است. پارامتر قابل تنظیم در این مدل مقدار تابع هزینه می‌باشد که به صورت پیش‌فرض قرار داده شد.

اعتبارسنجی شبیه‌سازی

به‌منظور ارزیابی مدل با استفاده از مساحت زیرمنحنی (AUC) در منحنی ویژگی عملگر نسبی (ROC) قدرت پیش‌بینی مدل مورد بررسی و تأیید قرار گرفت. در مساحت زیرمنحنی، درصد چاه‌های آب زیرزمینی که به درستی به‌وسیله مدل پیش‌بینی‌شده است در مقابل درصد چاه‌هایی که به درستی پیش‌بینی نشده است ترسیم می‌گردد. رابطه کمی- کیفی بین AUC و دقت پیش‌بینی که دامنه بین ۰/۵ تا ۱ را شامل می‌شود به‌شرح ذیل می‌باشد: ۱-۰/۹ دقت عالی، ۰/۹ – ۰/۸ دقت خیلی خوب، ۰/۸-۰/۷ دقت خوب، ۰/۷- ۰/۶ دقت متوسط و ۰/۶ – ۰/۵ دقت ضعیف (۳۸). با توجه به این‌که برای ارزیابی مدل نمی‌توان از موقعیت چاه‌های شبیه‌سازی استفاده نمود، از بین موقعیت چاه‌ها، ۷۰ درصد برای اجرای مدل و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

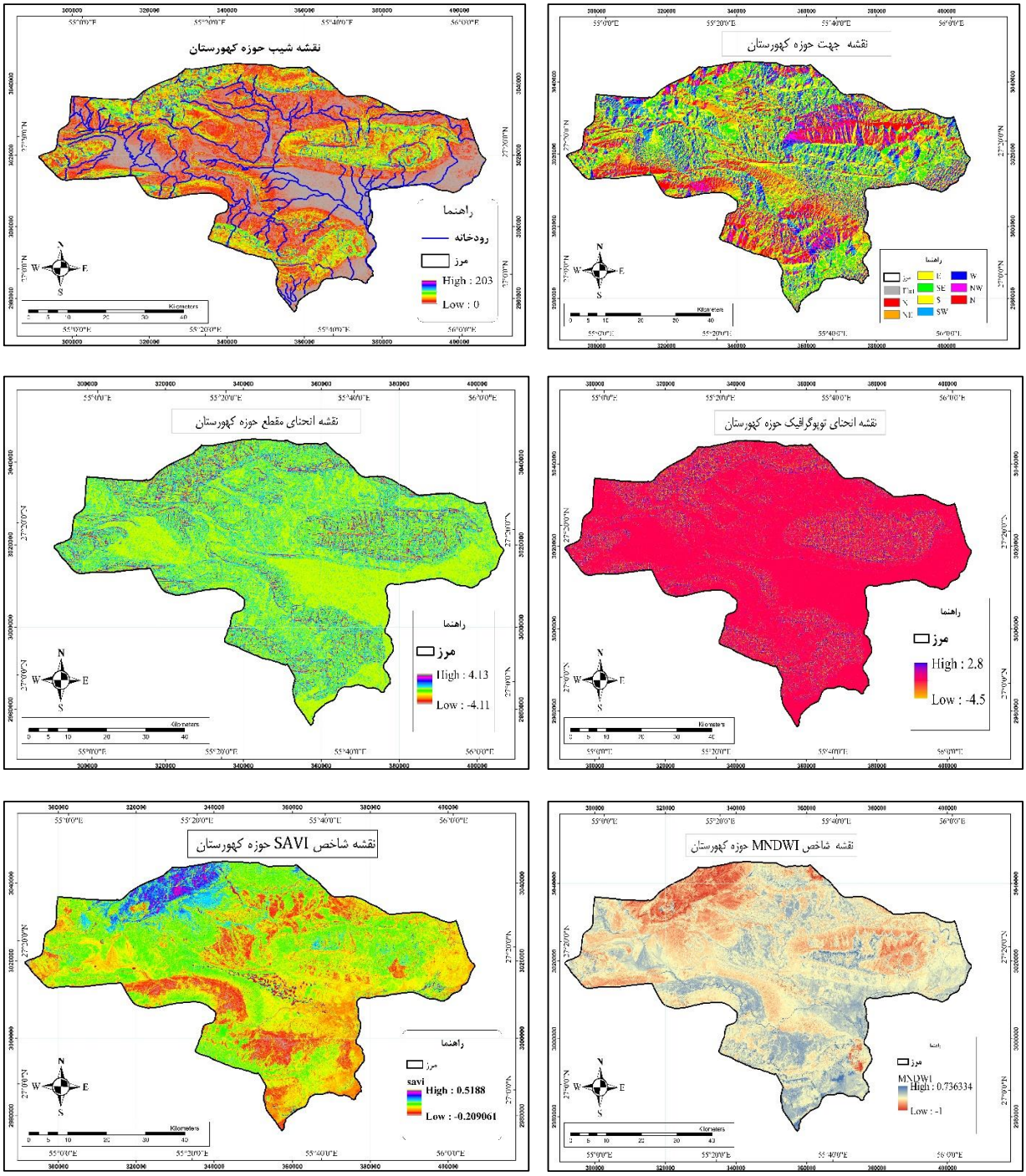
تهیه لایه‌های موثر بر پتانسیل آب زیرزمینی

همان‌طور که در مراحل قبل نیز گفته شد در این پژوهش ۱۱ متغیر از مهم‌ترین عوامل موثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی شامل لایه‌های درصد شیب، جهت شیب، انحنای مقطع و انحنای توپوگرافی ، شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده بر حسب خاک، شاخص تفاضل نرمال‌شده آب اصلاح‌شده، فاکتور LS، شاخص قدرت جریان یا SPI، شاخص رطوبت توپوگرافیک یا TWI، کاربری و فاصله از آبراهه در نظر گرفته شد و لایه GIS مربوط به این عوامل به وسیله روش‌های گفته‌شده در قسمت‌های قبل تهیه گردید. شایان یادآوری است که نقشه شیب، به صورت رستری تهیه شد. برای نقشه کاربری اراضی، برای هر کاربری یک کد عددی در نظر گرفته شد. به عنوان مثال برای اراضی کشاورزی کد ۱، برای اراضی مرتعی کد ۲ و الی آخر، برای سایر نقشه‌هایی که بصورت کلاس‌بندی بود نیز همین گونه عمل شد. نقشه‌های تهیه‌شده مربوط به عوامل موثر بر پتانسیل آب زیرزمینی حوزه آبخیز کهورستان در شکل ۲ ارائه شده است.

آزمون هم‌خطی متغیرهای موثر

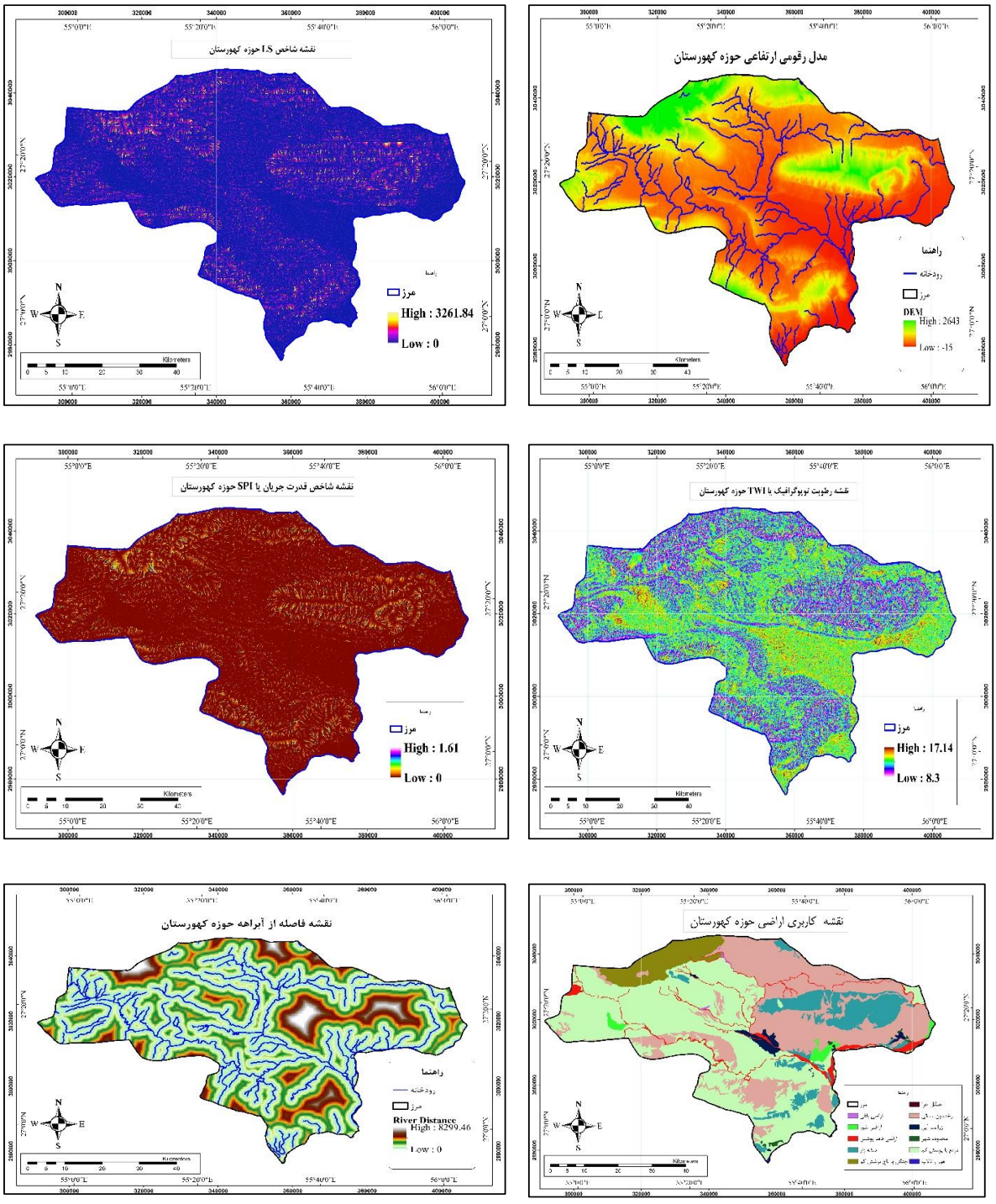
در این پژوهش برای تعیین هم‌خطی بین متغیرهای موثر (پیش‌بین) از پارامترهای Tolerance یا ضریب تحمل و VIF یا عامل تورم واریانس استفاده شده است. اگر مقدار ضریب تحمل کمتر از ۰/۱ و مقدار عامل تورم واریانس بزرگ‌تر از ۱۰ باشد، بین پارامترها هم‌خطی وجود دارد (۶). برای محاسبه آزمون هم‌خطی مقادیر عددی هر یک از پارامترها در مناطق چاه‌های آب زیرزمینی و مناطق فاقد چاه استخراج گردید و در محیط SPSS آزمون هم‌خطی محاسبه گردید. نتایج حاصل از این آزمون در جدول ۱ ارائه شده است. بیش‌ترین مقدار عامل تورم واریانس ۲/۸۶۰ و کم‌ترین مقدار ضریب تحمل ۰/۳۸۶ می‌باشد، بنابراین هیچ هم‌خطی بین متغیرهای مستقل مشاهده نشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.13.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.130]



شکل ۲- نقشه‌های عوامل موثر بر پتانسیل آب زیرزمینی حوزه آبخیز کهورستان
Figure 2. Maps of the effective factors in groundwater potential at Kahurestan watershed

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.13.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.130]



ادامه شکل ۲
Figure 2. Continued

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.13.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.130]

جدول ۱- مقادیر ضریب تحمل و تورم واریانس برای هر یک از عوامل موثر
Table 1. Tolerance and VIF values for each of the effective factors

عامل	ضریب تحمل (Tolerance)	تورم واریانس (VIF)
درصد شیب	۰/۷۱۰	۱/۴۵۳
جهت شیب	۰/۸۹۱	۱/۴۲۰
انحنای مقطع	۰/۶۲۳	۱/۳۹۴
انحنای توپوگرافیک	۰/۵۸۵	۲/۳۷۶
شاخص SAVI	۰/۷۱۸	۱/۳۰۴
شاخص MNDWI	۰/۷۰۵	۱/۳۶۰
فاکتور LS	۰/۶۰۴	۱/۴۱۳
شاخص قدرت جریان	۰/۳۸۶	۲/۲۶۷
شاخص رطوبت توپوگرافیک	۰/۷۲۹	۱/۲۷۹
کاربری	۰/۴۰۹	۲/۸۶۰
فاصله از آبراهه	۰/۸۱۵	۱/۲۰۳

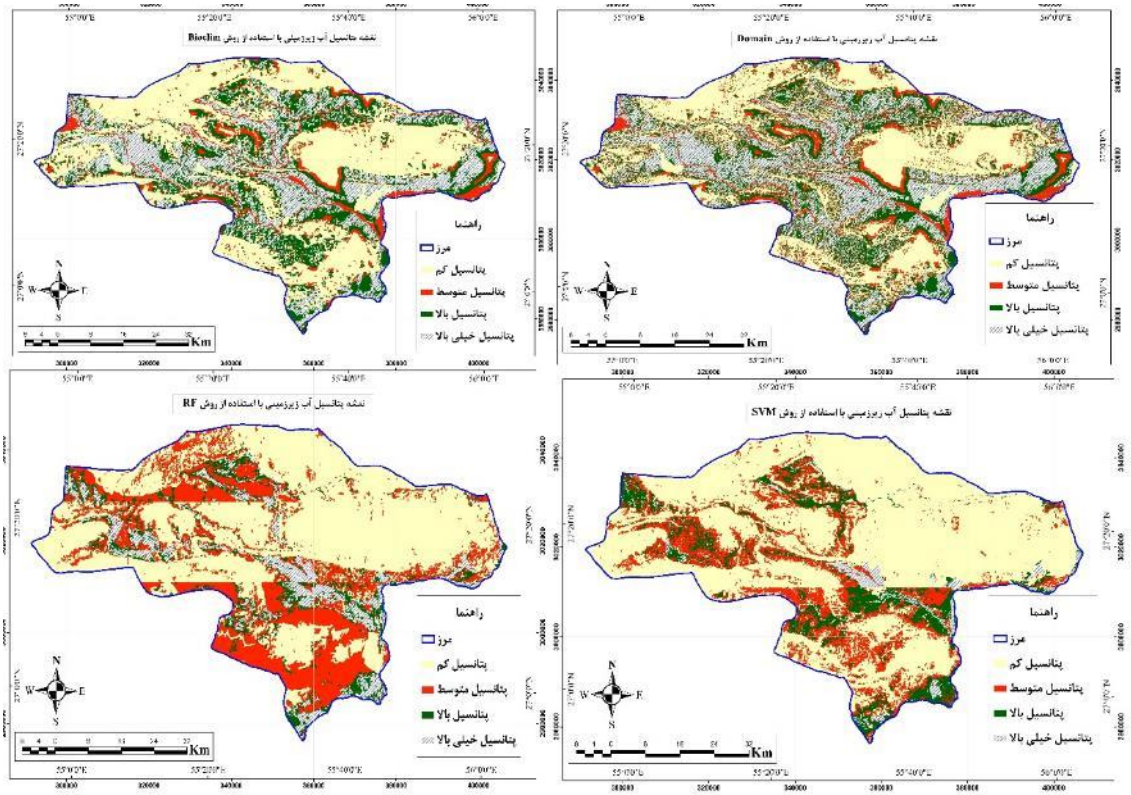
اجرای مدل‌ها

بعد از آماده‌سازی لایه‌ها و اطلاعات اولیه از ۷۰ درصد چاه‌ها جهت آموزش مدل‌ها استفاده شد و نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی تهیه گردید. شایان ذکر است که تمامی مراحل مدل‌سازی در نرم‌افزار R و با استفاده از بسته‌های dismo و SDM[1] انجام گرفت. پس از مدل‌سازی نقشه‌های رستری تولید شده وارد نرم‌افزار ArcMap شده و با استفاده از روش Natural Breaks (Jenks) یا شکست‌های طبیعی به ۴ کلاس (۳)، پتانسیل کم (۰/۲۵- ۰)، پتانسیل متوسط (۰/۵ – ۰/۲۵)، پتانسیل بالا (۰/۷۵ – ۰/۵) و پتانسیل خیلی بالا (۱- ۰/۷۵) تقسیم‌بندی گردید که نتایج آن در شکل ۳ ارائه شده است. همچنین در جدول ۲ میزان مساحت هر کلاس در مدل‌های استفاده شده ارائه شده است.

انطباق و هم‌پوشانی نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی با نقشه‌های شیب و مدل رقومی ارتفاع نشان می‌دهد که پهنه‌های پتانسیل بالا و خوب بیشتر منطبق بر مخروط‌افکنه‌ها و اراضی کم شیب می‌باشد و پهنه‌های کم‌پتانسیل منطبق بر حداکثر ارتفاعات به دلیل شیب زیاد و به علت نفوذپذیری خیلی کم می‌باشد که این یافته با نتایج رزندی و همکاران (۲۷) و یمانی و علی‌زاده (۳۶) هماهنگی دارد. روی‌هم‌گذاری نقشه‌های پتانسیل و نقشه‌های پوشش گیاهی نشان می‌دهد که مناطق دارای پتانسیل بالا منطبق بر جاهایی است که دارای تراکم پوشش گیاهی بالا می‌باشد که این امر به دلیل نگهداری رواناب و سیلاب توسط پوشش گیاهی می‌باشد که باعث افزایش میزان نفوذپذیری و تغذیه آبخوان‌ها می‌شود. از دیگر نتایج هم‌پوشانی نقشه‌های پتانسیل با عوامل موثر می‌توان به تاثیر نزدیکی یا دوری از آبراهه‌ها اشاره کرد، که پهنه‌های دارای پتانسیل بالا در فواصل نزدیک آبراهه‌ها قرار دارند. انطباق نقشه‌های پتانسیل با نقشه انحنای توپوگرافیک و انحنای مقطع نشان می‌دهد که پهنه‌های دارای پتانسیل خوب و خیلی خوب بیشتر در پهنه‌های مقعر می‌باشد که به دلیل شرایط مناسب توپوگرافیک محدوده‌های مقعر می‌باشد که این نتیجه نیز با نتایج عرب‌عامری و همکاران (۳) مطابقت دارد.

1- Species Distribution Modeling

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.13.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.130]



شکل ۳- نقشه‌های حاصل از چهار مدل داده‌کاوی استفاده‌شده برای پتانسیل آب زیرزمینی
Figure 3. Resulted maps by the four applied data-mining models for groundwater potential

جدول ۲- مساحت (هکتار) و درصد مساحت طبقات مختلف برای پتانسیل آب زیرزمینی حاصل از مدل‌های استفاده‌شده.
Table2. Area (ha) and area percentage for different groundwater potential classes obtained by the applied models

مدل شبیه‌سازی	پتانسیل کم		پتانسیل متوسط		پتانسیل بالا		پتانسیل خیلی بالا	
	مساحت	درصد مساحت	مساحت	درصد مساحت	مساحت	درصد مساحت	مساحت	درصد مساحت
RF	۲۱۹۸۷۴/۱۲	۵۶/۲۴	۱۰۲۹۳۷/۸۸	۲۶/۳۳	۳۱۰۴۷/۳۴	۷/۹۴	۳۷۰۸۳/۲۲	۹/۴۹
SVM	۲۶۵۴۱۲/۲۶	۶۷/۸۹	۷۱۳۴۸/۰۰	۱۸/۲۵	۴۱۰۱۱/۱۷	۱۰/۴۹	۱۳۱۶۷/۶۴	۳/۳۷
Domain	۱۴۵۶۹۵/۷۱	۳۷/۲۷	۵۷۴۲۱/۳۵	۱۴/۶۹	۸۴۰۵۶/۶۳	۲۱/۵۰	۱۰۳۷۵۵/۹۱	۲۶/۵۴
Bioclim	۱۷۸۴۰۲/۶۱	۴۵/۶۴	۳۹۳۴۷/۷۱	۱۰/۰۷	۷۸۶۷۶/۵۷	۲۰/۱۳	۹۴۵۰۵/۹۳	۲۴/۱۷

ارزیابی مدل‌ها

پس از تهیه لایه‌های پتانسیل آب زیرزمینی حاصل از مدل‌های استفاده شده از ۳۰ درصد چاه‌ها جهت اعتبارسنجی و ارزیابی استفاده شد. جهت این امر چاه‌های اعتبارسنجی را روی لایه‌های پتانسیل آب زیرزمینی انداخته و مقادیر ارزش هر لایه استخراج گردید و جهت تهیه منحنی ROC به نرم‌افزار SPSS منتقل شد که منحنی‌های ROC در شکل شماره ۴ ارائه شده است.

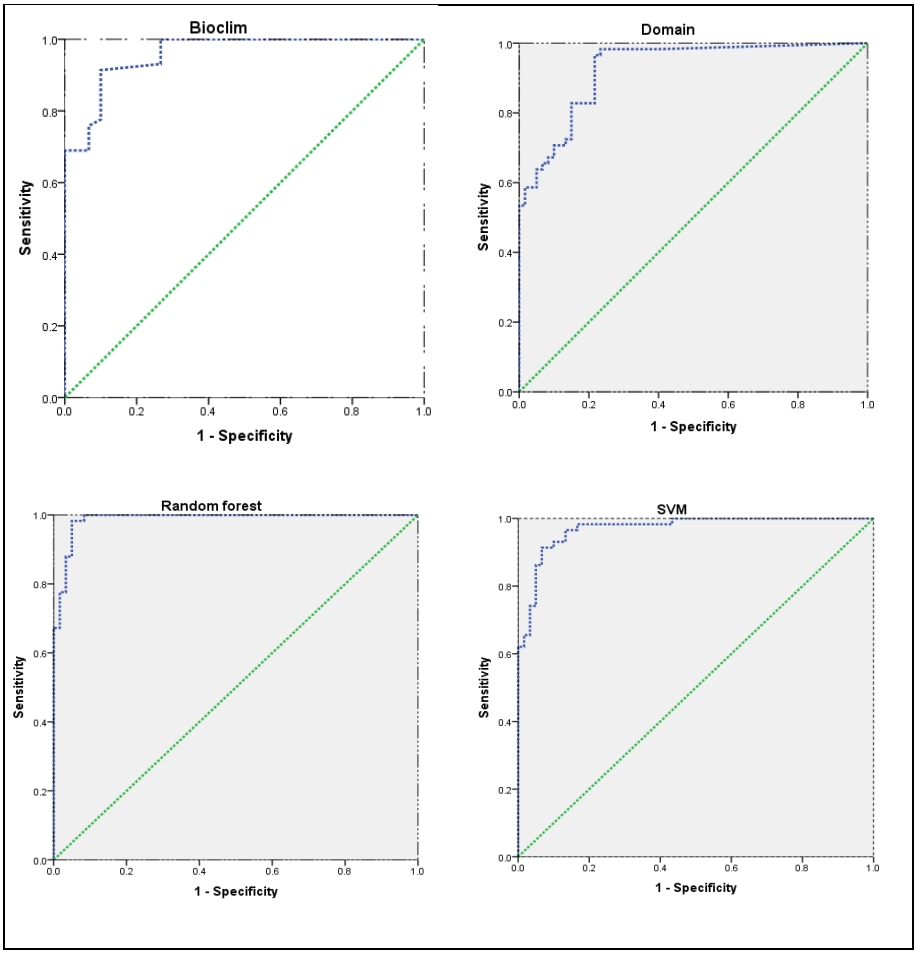
هم‌چنین مساحت زیرمنحنی (AUC) و سایر اطلاعات منحنی‌های ROC در جدول شماره ۳ آورده شده است.

جدول ۳- مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) برای مدل‌های استفاده‌شده
Table 3. Values for the area under curve (AUC) of the applied models

مدل شبیه‌سازی	مساحت زیر منحنی (AUC)	خطای معیار	فاصله اطمینان ۹۵ درصد		سطح معنی‌داری
			حد بالا	حد پایین	
RF	۰/۹۸۸	۰/۰۰۷	۱	۰/۹۷۴	۰/۰۰۰
SVM	۰/۹۷	۰/۰۱۳	۰/۹۹۶	۰/۹۴۵	۰/۰۰۰
Bioclim	۰/۹۵۹	۰/۰۱۵	۰/۹۸۸	۰/۹۲۹	۰/۰۰۰
Domain	۰/۹۲۷	۰/۰۲۳	۰/۹۷۲	۰/۸۸۲	۰/۰۰۰

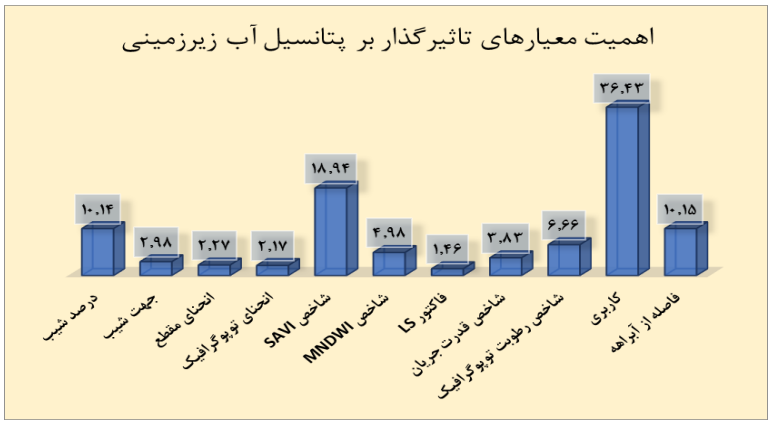
همان‌طور که از جدول ۳ مشخص است هر ۴ مدل استفاده شده دارای عملکرد عالی در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی می‌باشند و انتخاب مدل بهتر قدری مشکل است، با این وجود مدل‌های جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان براساس مقدار AUC و خطای معیار، اندکی بهتر عمل کرده‌اند. در بین این دو مدل هم، جنگل تصادفی دارای نتایج بهتری نسبت به ماشین بردار پشتیبان می‌باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.13.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.130]



شکل ۴- منحنی‌های ROC مربوط به مدل‌های استفاده‌شده.
Figure 4. ROC curves for the applied models.

بنابراین میزان اهمیت هر کدام از عوامل تاثیرگذار استفاده شده توسط مدل جنگل تصادفی مشخص گردید که نتایج در شکل ۵ ارائه گردیده است. همان‌طور که از شکل مشخص است معیارهای کاربری اراضی، شاخص SAVI و فاصله از آبراهه به ترتیب با وزن‌های ۰/۳۶، ۰/۱۸ و ۰/۱۰۱ بالاترین تاثیر را روی پتانسیل آب زیرزمینی دارند. همچنین معیارهای فاکتور LS، انحنای توپوگرافیک و انحنای مقطع به ترتیب با وزن‌های ۰/۰۱۴۶، ۰/۰۲۱۷ و ۰/۰۲۲۷ کم‌ترین تاثیر را روی پتانسیل آب زیرزمینی دارند.



شکل ۵- درصد اهمیت عوامل تاثیرگذار بر پتانسیل آب زیرزمینی
Figure 5. The importance percentage of factors influencing groundwater potential

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.13.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.130]

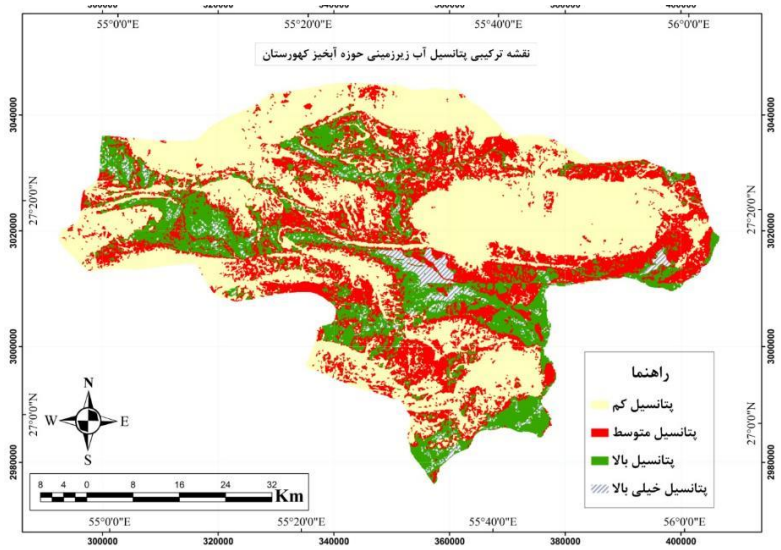
نتایج وزن معیارها و اولویت بالای معیارهای کاربری اراضی و پوشش اراضی با نتایج تحقیقات دیگر از جمله ال–آبادی و همکاران (۲)، عرب‌عامری و همکاران (۳) و نیز تافا و همکاران (۳۳) هم‌خوانی دارد.

ترکیب مدل‌ها و پتانسیل‌یابی نهایی

با توجه به اینکه هر چهار روش استفاده شده دارای عملکرد بسیار خوبی بوده در انتها جهت ارائه یک نقشه نهایی این چهار مدل بر اساس میزان AUC خود، از طریق یک روش ابتکاری و جدید با استفاده از رابطه ۶ ترکیب شدند.

رابطه (۶)
$$F = \frac{\sum_{i=1}^{4}(Auc_i * m_i)}{\sum_{i=1}^{4} Auc_i}$$

که در این رابطه F مقادیر لایه رستری حاصل از ترکیب ۴ مدل و Auc_i میزان مساحت زیر منحنی ROC هر کدام از روش‌ها می‌باشد، همچنین m_i لایه رستری پتانسیل یابی هر کدام از مدل‌ها می‌باشد. عدد ۴ نیز نشان‌دهنده استفاده از چهار روش در این تحقیق می‌باشد. مقادیر مساحت زیرمنحنی و خطای معیار مدل ترکیبی به‌ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۰۱ می‌باشد. نقشه نهایی پتانسیل‌یابی در شکل ۶ آورده شده است.



شکل ۶– نقشه پتانسیل آب زیرزمینی حاصل از ترکیب چهار مدل داده‌کاوی.
Figure 6. Groundwater potential map obtained by the combination of four data-mining models

بر اساس نقشه نهایی پتانسیل‌یابی ۱۸/۲ درصد از مساحت حوزه کهورستان که معادل با ۷۱۲۳۳ هکتار می‌باشد دارای پتانسیل بالا، ۳/۲ درصد از اراضی حوزه که برابر با ۱۲۵۵۳ هکتار می‌باشد دارای پتانسیل خیلی بالا می‌باشد. همچنین ۲۸/۴ و ۵۰/۲ درصد از سطح حوزه به ترتیب دارای پتانسیل متوسط و کم در بحث آب زیرزمینی می‌باشد. عمدتاً قسمت‌های مرکزی منطقه مطالعاتی به‌سمت شرق و غرب دارای پتانسیل زیاد و خیلی‌زیاد می‌باشند که از مهمترین علل آن می‌توان به نفوذپذیری و عمق خاک مناسب، تراکم آبراهه پایین، و شیب ملایم این مناطق اشاره نمود. مناطق با پتانسیل بالا عمدتاً در زمین‌های کشاورزی قرار گرفته‌اند. طبق شکل ۶، نحوه پراکنش کلاس‌های پتانسیل در سطح منطقه در مدل ترکیبی و مدل‌های انفرادی متفاوت می‌باشد که این موضوع را می‌توان به ساختار مدل‌های مورد استفاده و عدم قطعیت‌های موجود در شبیه‌سازی نسبت داد.

نتایج و بحث

ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی یکی از پرکاربردترین زمینه‌های پژوهش در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و پژوهشگران متعددی در این زمینه به پژوهش پرداخته‌اند. در این پژوهش به ارزیابی کارآیی چهار روش جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، Bioclim و Domain در تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی در حوزه آبخیز کهورستان در استان هرمزگان پرداخته شده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که هر چهار روش استفاده شده به همراه تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزار قوی به‌منظور ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی فراهم می‌آورند. همچنین بررسی اعتبارسنجی این چهار روش براساس مساحت زیر منحنی (AUC) و خطای معیار مشخص کرد که مدل جنگل تصادفی دارای دقت نسبتاً بهتری نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان و الگوریتم‌های Bioclim و Domain است. اما تفاوت مشاهده‌شده در میزان کارآیی این ۴ مدل داده‌کاوی، آنچنان قابل توجه نیست.

وزن‌های به‌دست آمده با استفاده از مدل جنگل تصادفی نشان داد که پارامترهای کاربری اراضی، پوشش اراضی و فاصله از آبراهه به‌ترتیب با کسب وزن‌های ۰/۳۶، ۰/۱۸ و ۰/۱۰۱ بالاترین تاثیر را روی پتانسیل آب زیرزمینی دارند. همچنین معیارهای فاکتور LS، انحنای توپوگرافیک و انحنای مقطع به ترتیب با وزن‌های ۰/۰۱۴۶، ۰/۰۲۱۷ و ۰/۰۲۲۷ کم‌ترین تاثیر را روی پتانسیل آب زیرزمینی دارند. در انتها از آن‌جایی که هر چهار روش استفاده شده دارای دقت عالی در پیش‌بینی بوده‌اند و با توجه به اینکه انتخاب روش کارآمدتر قدری مشکل بود، با

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.13.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.130]

استفاده از یک رابطه پیشنهادی و جدید، نقشه‌های هر ۴ مدل بر اساس میزان AUC خود با یکدیگر ترکیب شده و یک نقشه نهایی تولید شد. بر اساس نقشه نهایی پتانسیل‌یابی ۱۸/۲ درصد از مساحت حوزه کهورستان دارای پتانسیل بالا، ۳/۲ درصد از اراضی حوزه دارای پتانسیل خیلی بالا می‌باشد. همچنین ۲۸/۴ و ۵۰/۲ درصد از سطح حوزه به ترتیب دارای پتانسیل متوسط و کم در بحث پتانسیل آب زیرزمینی می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر وضعیت پتانسیلی متوسط منابع آب زیرزمینی در حوزه کهورستان می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند به‌عنوان اطلاعات پایه به برنامه‌ریزان و مسئولان محلی به‌منظور ارزیابی، برنامه‌ریزی، مدیریت، استفاده پایدار و تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی در آینده کمک نماید. با توجه به هزینه‌بر بودن آزمایش‌های اکتشافی منابع آب زیرزمینی، تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های مذکور در مناطق دیگر پیشنهاد می‌گردد.

منابع

1. Agarwal, E., R. Agarwal, R.D. Garg and P.K. Garg. 2013. Delineation of groundwater potential zone: An AHP/ANP approach. Journal of Earth System Science, 122(3): 887-98.
2. Al-Abadi, A.M., A.A. Al-Temmeme and M.A. Al-Ghanimy. 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. Sustainable Water Resources Management, 2(3): 265-283.
3. Arab-Ameri A.R., KH. Rezaei, M. Yamani and K. Shirani. 2018. Modeling and groundwater potential mapping using data driven ensemble model EBF-Index of entropy (case study: Najaf Abad aquifer). Journal of Water and Soil Conservation, 25(2): 25-48 (In Persian).
4. Booth, T.H. 2018. Why understanding the pioneering and continuing contributions of BIOCLIM to species distribution modelling is important. Austral ecology, 43(8): 852-60.
5. Carpenter, G., A.N. Gillison, and J. Winter. 1993. DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. Biodiversity & Conservation, 2(6): 667-80.
6. Chen, W., H.R. Pourghasemi and S.A. Naghibi. 2018. Prioritization of landslide conditioning factors and its spatial modeling in Shangnan County, China using GIS-based data mining algorithms. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 77(2): 611-629.
7. Elith, J., H. Graham, C.P. Anderson, R. Dudík, M. Ferrier, S. Guisan, A.J. Hijmans, R. Huettmann, F.R. Leathwick, J. Lehmann and J. Li. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography, 29(2): 129-151.
8. Ercanoglu, M. and C. Gokceoglu. 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. Environmental Geology, 41(6): 720-730.
9. Fallah, F., M. Daneshfar and S. Ghorbaninejad. 2017. Application of the statistical index model in groundwater potential mapping in Khorramabad plain. Water and Sustainable Development, 4(1): 89-98 (In Persian).
10. Gholami, H., A. Mohamadifar, and A.L. Collins. 2020. Spatial mapping of the provenance of storm dust: Application of data mining and ensemble modelling. Atmospheric Research, 233: 104716.
11. Glenn, C. R., R. B. Whittier, M.L. Dailer, H. Dulaiova, A.I. El-Kadi, J. Fackrell, J.L. Kelly, and C. A. Waters. 2012. Lahaina groundwater tracer study–Lahaina, Maui, Hawai 'i. Final Interim Report. Prepared for the State of Hawai 'i Department of Health, the US Environmental Protection Agency, and the US Army Engineer Research and Development Center, 463 pp.
12. Haghizadeh, A. and H. Mirzapour. 2016. Delineation of Groundwater Potential of MadianRoud watershed in Lorestan using weighted index overlay analysis (WIOA). Iranian Journal of Hydrogeology, 1(2): 83-98 (In Persian).
13. Hijmans, R.J. and C.H. Graham. 2006. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. Global Change Biology, 12(12): 2272-2281.
14. Jha, Madan K., Y. Kamii, and K. Chikamori. 2009. Cost-effective approaches for sustainable groundwater management in alluvial aquifer systems. Water Resources Management, 23(2): 219.
15. Jothibasu, A. and S. Anbazhagan. 2016. Modeling groundwater probability index in Ponnaiyar River basin of South India using analytic hierarchy process. Modeling Earth Systems and Environment, 2(3): 109.
16. Lee, S., K-Y. Song, Y. Kim and I. Park. 2012. Regional groundwater productivity potential mapping using a geographic information system (GIS) based artificial neural network model. Hydrogeology Journal, 20(8): 1511-27.
17. Le Page, M., B. Berjamy, Y. Fakir, F. Bourgin, Lionel Jarlan, A. Abourida, M. Benrhanem et al. 2012. An integrated DSS for groundwater management based on remote sensing. The case of a semi-arid aquifer in Morocco. Water Resources Management, 26(11): 3209-30.
18. Moore, I.D., R.B. Grayson and A.R. Ladson. 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. Hydrological Processes, 5(1): 3-30.
19. Naghibi, S.A., H.R. Pourghasemi, Z.S. Pourtaghi and A. Rezaei. 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.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.13.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.130]

20. Nampak, H., B. Pradhan and M.A. Manap. 2014. Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. Journal of Hydrology, 513: 283-300.
21. Nicodemus, K.K. 2011. Letter to the editor: On the stability and ranking of predictors from random forest variable importance measures. Briefings in Bioinformatics, 12(4): 369-373.
22. Patriche, C.V., V. Capatana and D.L. Stoica. 2006. Aspects regarding soil erosion spatial modeling using the USLE/RUSLE within GIS. GeographiaTechnica, 2: 87-97.
23. Pourghasemi, H.R. and M. Beheshtirad. 2015. Assessment of a data-driven evidential belief function model and GIS for groundwater potential mapping in the Koohrang Watershed, Iran. Geocarto International, 30(6): 662-85.
24. Pourtaghi, Z.S. and H.R. Pourghasemi. 2014. GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran. Hydrogeology Journal, 22(3): 643-62.
25. Rahmati, O., H.R. Pourghasemi and A.M. Melesse. 2016. Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: a case study at Mehran Region, Iran. Catena, 137: 360-72.
26. Ranjbarmanesh, N., M. Entezari and M.H. Ramesht. 2013. The crisis of groundwater level drop caused by the effect of active tectonic in Mahidasht plain. Iran Applied Geomorphology, 1(2): 1-18 (In Persian).
27. Razandi Y., A. Malekian, Sh. KhalighiSigaroodi and B. Farrokh Zadeh. 2016. Potential detection of groundwater using composite analytical hierarchy process and fuzzy logic (case study: Varamin plain). Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 9(31): 41-50 (In Persian).
28. Razandi, Y., H.R. Pourghasemi, N. SamaniNeisani, and O. Rahmati. 2015. Application of analytical hierarchy process,
29. frequency ratio, and certainty factor models for groundwater potential mapping using GIS. Earth Science Informatics, 8(4): 867-883.
30. Regional Water Company of Hormozgan. 2018. Reclamation and balancing plan for groundwater resources of Kahurestan plain. 2018 Mar 6; 33 pp (In Persian).
31. Robins, N.S., H.K. Jones and J. Ellis. 1999. An aquifer management case study–the Chalk of the English South Downs. Water Resources Management, 13(3): 205-18.
32. Shekhar, S. and A.C. Pandey. 2015. Delineation of groundwater potential zone in hard rock terrain of India using remote sensing, geographical information system (GIS) and analytic hierarchy process (AHP) techniques. Geocarto International, 30(4): 402-21.
33. Singh, P., A. Gupta and M. Singh. 2014. Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote sensing and GIS techniques. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 17(2): 111-121.
34. Thapa, R., S. Gupta, S. Guin and H. Kaur. 2017. Assessment of groundwater potential zones using multi-influencing factor (MIF) and GIS: a case study from Birbhum district, West Bengal. Applied Water Science, 7(7): 4117-4131.
35. United Nations. 2003. Water for people, water for life. The UN World Water Development Report, UNESCO Publishing and Berghahn Books, 34 pp.
36. Yamani, M., A. Ahmadabadi and GH. Zare. 2013. The Zonation of landslide occurrence Using of Support Vector Machines algorithm (case study: Darakeh basin). Geography and Environmental Hazards, 1(3): 125-142 (In Persian).
37. Yamani, M. and Sh. Alizadeh. 2015. Finding potential ground water sources by using analytical hierarchy processes (AHP), case study: Abadeh-Eghlid basin of Fars. Hydrogeomorphology, 1(1): 131-144 (In Persian).
38. Yao, X., L.G. Tham and F.C. Dai. 2008. Landslide susceptibility mapping based on support vector machine: a case study on natural slopes of Hong Kong, China. Geomorphology, 101(4): 572-582.
39. Yesilnacar, E.K. 2005. The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey. Ph.D. Thesis, Department of Geomatics the University of Melbourne, 423 pp.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.13.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.130]

Simulating Groundwater Potential in Kahurestan Watershed by Utilizing a Combined Approach of Data-Mining Models

Ali Reza Nafarzadegan[1], Ali Akbar Mohammadifar[2], Fariborz Mohammadi[3, 4] and Mohamad Kazemi[4]

1- Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, (Corresponding author e-mail address: a.r.nafarzadegan@gmail.com)
2- PhD Candidate in Watershed Sciences & Engineering, Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan
3- Assistant Professor, Department of Water Sciences & Engineering, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan
4- Assistant Professor, Hormoz Studies and Research Center, University of Hormozgan
Received: July 25, 2019 Accepted: April 23, 2020

Abstract

Groundwater is considered as one of the most remarkable sources of fresh water. The aim of the current research is to apply four machine learning models of Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), Bioclim, and Domain to groundwater potential mapping in Kahurestan watershed, Hormozgan province. The innovation of the research is to employ Bioclim and Domain algorithms to groundwater potential simulation, to compare them with the two techniques of RF and SVM and to combine these four models by an innovative and new equation. For this purpose, 11 criteria including slope percent, slope aspect, plan curvature, profile curvature, soil adjusted vegetation index (SAVI), modified normalized difference water index (MNDWI), slope length and steepness factor (LS), stream power index (SPI), topographic wetness index (TWI), land use, and distance to streams were considered. Also, the data of 113 high-discharge wells were used for simulation (70%) and validation (30%)processes. The collinearity test was performed prior to modeling which indicated that there was no relationship between the variables. Evaluation of the modeling performance with the ROC curve showed that all four methods used had very good accuracies and AUC values higher than 90% for prediction. The survey on the weight of the criteria based on the RF method demonstrated that the land use/cover and distance to streams criteria has the highest weight. The final map revealed that 21.4% of the area under study has good groundwater potential.

Keywords: Bioclim Algorithm, Domain Algorithm, Random Forest, Spatial Analysis, Support Vector Machine

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.13.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.130]