



ISSN 2251-7480

ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی با استفاده از ترکیب روش‌های داده‌کاوی (منطقه مورد مطالعه: دشت سرخون هرمزگان)

فاطمه ریاحی^{۱*}، حسن وقارفرد^۲، پیمان دانشکار آراسته^۳، حمید کاردان مقدم^۴

* دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری- آب؛ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ دانشگاه هرمزگان

✉ نویسنده مسئول : fateme.riahi63@gmail.com

^۲ دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری؛ دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی؛ دانشگاه هرمزگان

^۳ دانشیار گروه علوم و مهندسی آب؛ دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین

^۴ استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۰۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۲۲

چکیده

هدف از این تحقیق، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از چهار روش جنگل تصادفی، GLM، روش Domain و روش GAM است. علاوه بر این چهار روش ترکیب این روش‌ها جهت پتانسیل‌یابی نیز، مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور یازده معیار شامل درصد شیب، جهت شیب، انحنای مقطع (Profile Curvature)، انحنای توپوگرافی (Topographic curvature)، انحنای کلی (Total curvature)، فاکتور LS^1 ، شاخص قدرت جریان (SPI²)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI³)، کاربری اراضی، خاک و مدل رقمی ارتفاع با توجه به تجربیات کارشناسان و پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفت. همچنین به منظور اعتبارسنجی از تعداد ۷۶ حلقه چاه که دارای دبی بالا بودند جهت شبیه‌سازی (۷۰ درصد) و اعتبارسنجی (۳۰ درصد) استفاده شد. پیش از مدل‌سازی آزمون هم خطی بر روی معیارها انجام گرفت و مشاهده گردید هیچ نوع هم خطی بین متغیرها وجود ندارد. براین اساس نتایج ارزیابی مدل‌سازی با استفاده از منحنی ROC نشان داد که هر چهار روش استفاده شده دارای دقت عالی و AUC بالای ۹۰ درصد جهت پیش‌بینی رادارند. در ادامه نتایج چهار روش با روش میانگین‌گیری ترکیب گردید. پتانسیل نهایی نشان داد که ۳۲/۸۹ درصد از اراضی دارای پتانسیل خوب از نظر بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی را دارند. همچنین نتایج اهمیت فاکتورها نیز نشان داد که معیارهای شیب، ارتفاع و شاخص قدرت جریان دارای بالاترین میزان اهمیت هستند. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند به عنوان اطلاعات پایه به برنامه‌ریزان و مسئولان محلی به منظور ارزیابی، برنامه‌ریزی، مدیریت، استفاده پایدار و تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی در آینده کمک نماید.

کلید واژه‌ها: شبیه‌سازی آب‌های زیرزمینی؛ روش جنگل تصادفی؛ روش GLM؛ روش GAM

مقدمه

آبی اتفاق می‌افتد. لذا این واقعیت می‌تواند مبین این موضوع باشد که وضعیت آبخوان‌های کشور در بسیاری از مناطق بحرانی است (رنجبرمنش و همکاران، ۱۳۹۲). آب‌های زیرزمینی در کشور به عنوان یکی از منابع مهم تأمین آب

امروزه برداشت از منابع آب زیرزمینی بسیار بیشتر از میزان تغذیه طبیعی آن‌ها بوده و اگر میزان آب در دسترس کمتر از تقاضای آب در یک حوزه آبخیز باشد، آنگاه بحران

¹ Slop length

² Stream Power Index

³ Topographic wetness index

چندمعیاره (Jothibas et al., 2016)، شبکه عصبی مصنوعی (Lee et al., 2012)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (Shekhar et al., 2014)، وزن واقعه (Pourtaghi و Pourghasemi، ۲۰۱۴)، فرآیند سلسله مراتب فازی (خاشعی سیوکی و همکاران، ۱۳۹۱)، جنگل تصادفی (Youssefet et al., 2015)، تابع شواهد قطعی (Nampak et al., 2014)، شاخص هم-پوشانی وزنی (حقی زاده و میرزا پور، ۱۳۹۵) و شاخص آنتروپی (Devkota et al., 2013) اشاره نمود. نقیبه و همکاران (۲۰۱۴) به منظور تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی در حوزه آبخیز مغان در خراسان رضوی از مدل‌های نسبت فراوانی و شاخص آنتروپی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل آنتروپی شانون با سطح زیر منحنی برابر با ۹۱/۲۱ درصد دارای توانایی بالایی در شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب‌های زیرزمینی است (Naghbi et al., 2014). پور قاسمی و بهشتی راد (۲۰۱۴) به ارزیابی روش داده محور شواهد وزن قطعی برای تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در حوزه کوه‌رنگ با استفاده از پارامترهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، طول شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، انحنا 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 زیرمنحنی ۷۲/۸۱ درصد دارای کارایی مناسب در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی است (Pourghasemi و Beheshtirad، ۲۰۱۴). کاردان مقدم و همکاران (۲۰۱۹) به منظور پیش بینی سطح آب زیرزمینی بیرجند خراسان جنوبی از مدل ریاضی (MODFLOW)، شبکه بیزی (BN) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده کردند. نتایج ایشان داد که در این تحقیق، مدل شبکه بیزی نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی و ریاضی برتری داشته و شبکه بیزی ابزاری کارآمد برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی است (Kardanmoghaddam et al., 2019). نمپاک و همکاران (۲۰۱۴) از روش داده محور شواهد وزن قطعی به منظور تهیه

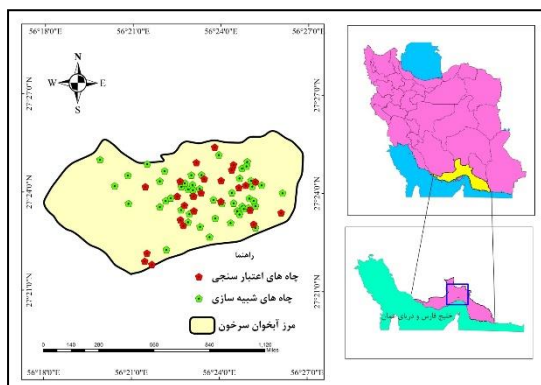
مورد نیاز در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت، اهمیت زیادی دارند. آب زیرزمینی از یک سو به دلیل شیرین بودن، ترکیبات ثابت شیمیایی، دمای ثابت، ضریب آلودگی کمتر و سطح اطمینان بیشتر به عنوان یک منبع قابل‌اتکا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و از سوی دیگر با تأثیر بر توان اکولوژیک سرزمین پدیده‌ای مهم و مؤثر در توسعه اقتصادی، تنوع اکولوژیکی و سلامت جامعه به حساب می‌آید (Madan et al., 2009).

احیا و بهره‌برداری متناسب با توان اکولوژیک آبخوان‌ها یکی از شیوه‌های مدیریت منابع آب بوده که این موضوع می‌تواند راه‌حل چالش کمبود منابع آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک باشد. از این نظر ارائه روش‌هایی به منظور مدیریت آب‌های زیرزمینی در مقیاس‌های ملی، منطقه‌ای و محلی ضروری است (Le Page et al., 2012). پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی و استفاده از رویکردهای نوین باعث افزایش دقت و سرعت درزمینه ارزیابی منابع آب هستند (Glenn et al., 2012). به منظور تعیین پتانسیل آب‌های زیرزمینی پارامترهای زمین محیطی متعددی نقش حیاتی بازی می‌کنند که شامل فاکتورهای اقلیمی (بارندگی)، فاکتورهای توپوگرافی (ارتفاع، شیب، جهت شیب، شکل شیب و انحنا توپوگرافی)، فاکتورهای هیدرولوژیک شاخص خیزی توپوگرافی (TWI^۱)، شاخص قدرت حمل رسوب (SPI^۲)، فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه، فاکتورهای ژئولوژیک (لیتولوژی 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 (Sharma et al., 2010) (Singh et al., 2014). تاکنون روش‌های مختلفی درزمینه تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی توسط پژوهشگران مختلف استفاده شده است که می‌توان به روش‌های نسبت فراوانی (Razandi et al., 2015)، رگرسیون لجستیک (Ozdemiret et al., 2015)، تصمیم‌گیری

^۲ Stream Power Index (SPI)

^۱ Topographic Wetness Index (TWI)

این دشت ۴۴۶ حلقه چاه دارای پروانه با تخلیه سالانه ۲۵/۲ میلیون مترمکعب وجود دارد که در حال حاضر میزان تخلیه سالیانه بیش از حد مجاز است، به طوری که در سال‌های اخیر میزان افت آب زیرزمینی برابر با ۸۲ سانتی‌متر و میزان کسری مخزن برابر با ۲/۴۹- میلیون مترمکعب در سال بوده است. همچنین افت شدید سطح آب زیرزمینی، تخریب کیفی آب زیرزمینی دشت سرخون نیز به وقوع پیوسته است (طرح احیا و تعادل بخشی دشت سرخون، شرکت آب منطقه‌ای هرمزگان، ۱۳۹۴).



شکل ۱. موقعیت دشت سرخون

۲- پارامترهای مؤثر در پتانسیل منابع آب زیرزمینی

در این پژوهش با توجه به هدف آن، یعنی پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی، تلاش شده است تا عوامل مؤثر بر نفوذپذیری خاک و تغذیه آبخوان بررسی شود. به همین منظور نخست با بررسی منابع داخلی و خارجی مرتبط با موضوع تحقیق عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی شناسایی شد؛ بنابراین در پژوهش حاضر ۱۱ متغیر از مهم‌ترین عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی شامل لایه‌های درصد شیب، جهت شیب، انحنا^۶ مقطع^۷ و انحنا^۸ توپوگرافی^۵، انحنا^۶ کلی^۶، فاکتور LS یا SlopeLength and Steepness factor، شاخص قدرت جریان یا SPI^۷، شاخص رطوبت توپوگرافی یا TWI^۸.

نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در حوزه لانگات در مالزی استفاده کردند و بدین منظور از ۱۲ پارامتر ارتفاع، شیب، انحنا^۶ سطح، شاخص قدرت جریان، شاخص خیزی 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 است (Nampak et al., 2014).

هدف اصلی در این پژوهش ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز سرخون در استان هرمزگان، با استفاده از مدل‌های جنگل تصادفی^۱، GLM^۲، الگوریتم Domain و روش GAM^۳ است. نوآوری این پژوهش نسبت به پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه استفاده از ترکیب چهار روش کارآمد در زمینه ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی است. بررسی هم‌خطی عوامل استفاده‌شده نیز از دیگر نوآوری‌های تحقیق پیش‌رو است.

روش پژوهش

۱- منطقه مورد مطالعه

آبخوان سرخون با مساحتی بالغ بر ۷۶۳۶ هکتار به فاصله تقریبی ۲۵ کیلومتری از بندرعباس در دامنه شرقی-شمال شرقی کوه گنو واقع شده است. میانگین بارندگی درازمدت در ارتفاعات و دشت به ترتیب ۲۳۴ و ۲۱۹ میلی‌متر است. منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی ساختاری، در زون زاگرس چین‌خورده واقع شده است. در این محدوده، سازندهایی از پرکامبرین تا کواترنر وجود دارد. جنس آبرفت در بخش غربی و ورودی دشت و همچنین مرکزی دشت، دانه‌درشت است و با پیشروی به سمت شمال شرق و جنوب و بالأخص شرق و جنوب شرقی (خروجی دشت) از قطر دانه‌بندی آبرفت کاسته می‌شود و آبرفت حالت دانه‌ریز پیدا می‌کند. این دشت جزء دشت‌های ممنوعه بحرانی است، در

1 Random forest

2 generalized linear model

3 Generalized additive models

4-Profile curvature

⁶ Cutvature

⁷Stream Power Index

⁸ Topographic Wetness Index

(Naghibi et al., 2014). انحناى مقطع نیز به ۳ کلاس تقسیم‌بندی می‌گردد.

برای محاسبه فاکتور LS ابتدا نقشه شیب حوزه برحسب درجه تهیه شد. سپس مدل رقومی توسط ابزار پرکننده گودی‌ها^۱ اصلاح شد و از مدل رقومی اصلاح‌شده نقشه رستری جهت جریان^۲ استخراج و درنهایت از آن نقشه رستری تجمع جریان^۳ برای کل حوزه به دست آمد. رابطه (۱) برای محاسبه عامل LS در نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد (Patriche et al., 2006).

$$\text{LS} = (1.4) \text{Fac} * 10/a_0 [0.4 [\sin \beta(r)/\sin b_0]^{1.4}] \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن Fac نقشه رستری جریان تجمعی حوزه، $\beta(r)$ زاویه شیب برحسب درجه، a_0 طول کرت استاندارد (که برابر با ۲۲/۱۳ متر است)، b_0 شیب کرت استاندارد (که برابر با ۵/۱۴۳ درجه) است.

شاخص قدرت جریان (SPI) گوپای میزان قدرت فرساینده‌گی جریان آب است. براین اساس، آنگذری متناسب است با مساحت ویژه حوزه و شبیکه با استفاده از رابطه شماره (۲) و توسط نرم‌افزار SAGA GIS محاسبه گردید (Moore et al., 1991).

$$\text{SPI} = B_s * \text{tana} \quad \text{رابطه ۲}$$

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

شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) تعیین‌کننده تأثیر توپوگرافی بر روی میزان سطوح اشباع جهت تولید رواناب است که توسط معادله شماره ۳ محاسبه می‌شود (Moore et al., 1991).

$$\text{TWI} = \text{Ln}(A_s/\text{tan}\alpha) \quad \text{رابطه ۳}$$

کاربری، خاک و مدل رقومی ارتفاع با توجه به استفاده از تجربیات کارشناسان و پژوهشگران در بررسی‌های صورت گرفته، در منطقه مطالعه شده استفاده شده است.

داده‌های ماهواره‌ای SRTM با قدرت تفکیک ۹۰ متر به‌منظور 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 (Jothibasu and Anbazhagan, 2016). ارتفاع منطقه مطالعاتی از ۲/۲۹ تا ۶/۸۱ متر متغیر است.

شیب عمدتاً فرآیند تغذیه آب‌های زیرزمینی، نفوذ و رواناب را کنترل می‌کند (Jothibasu and Anbazhagan, 2016). بنابراین یک فاکتور مؤثر جهت پیش‌بینی فضایی پتانسیل آب‌های زیرزمینی است. نقشه شیب بر اساس 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 است و بر روی میزان دریافت بارش و نوع پوشش گیاهی تأثیرگذار است (Ercanoğlu and Gokceoglu, 2002). نقشه جهت شیب از مدل رقومی ارتفاعی استخراج گردید.

انحنای سطح بر روی همگرایی و واگرایی جریان تأثیر می‌گذارد و انحنای مقطع مطابق با جهت حداکثر شیب است و عمدتاً بر روی سرعت جریان در سطح تأثیرگذار است (Al-Abad et al., 2016). نقشه انحنای توپوگرافی، انحنای مقطع و انحنای کلی با استفاده از مدل رقومی و در محیط نرم‌افزار SAGA-GIS تهیه گردید. انحنای توپوگرافی به ۳ کلاس مقعر، هموار و محدب تقسیم‌بندی می‌گردد. مقادیر منفی انحنای توپوگرافی بیانگر مقعر و مقادیر مثبت آن بیانگر محدب سطح است. مقادیر صفر نشان‌دهنده هموار بودن سطح است

^۱ Flow Accumulation

^۱ Fill sinks

^۲ Flow direction

روش GLM

مدلخطی تعمیم‌یافته، رگرسیون لجستیک را برای طبقه‌بندی اهداف باینری و رگرسیون خطی برآیاهداف مستمر پیاده‌سازی می‌کند. رگرسیون GLM از مرزهای اعتماد برای پیش‌بینی پشتیبانی می‌کند (Gayen و پور قاسمی، ۲۰۱۹).

روش GAM

این روش در واقع بسطی بر روش‌های رگرسیون خطی و رگرسیون منطقی است. در این روش فرض می‌شود که می‌توان مدل را به صورت مجموع چند تابع غیرخطی (هر تابع برای یک متغیر پیش‌بینی کننده) نوشته شود. این مدل می‌تواند هم به منظور رگرسیون و هم به منظور کلاس‌بندی داده‌ها استفاده شود. ویژگی غیرخطی بودن توابع باعث می‌شود که این روش نسبت به روش‌های رگرسیون خطی بهتر باشد (Guikema et al., 2012).

روش RF

این الگوریتم را نخستین بار لئو برایمن و آدل کاتلر ایجاد کردند و توسعه دادند. الگوریتم جنگل تصادفی مبتنی بر دسته‌ای از درخت‌های تصمیم است و در حال حاضر یکی از بهترین الگوریتم‌های یادگیری است. مدل پیش‌بینی کننده RF بر اساس میانگین‌گیری از نتایج حاصل از تمامی درخت‌های تصمیم مربوط استوار است و برای بسیاری از مجموعه داده‌ها، طبقه‌بندی با صحت بالایی را انجام می‌دهد (ابراهیم‌خانی و همکاران، ۱۳۹۰). درختان تصادفی با در نظر گرفتن بردار ورودی، آن را با هر درخت در جنگل طبقه‌بندی کرده و خروجی، برچسب‌های کلاسی هستند که از اکثریت آرا دریافت شده است. در این مدل از دو عامل میانگین‌گیری دقت و میانگین‌گیری کاهش جینی برای تعیین اولویت تأثیر هر یک از عوامل مؤثر استفاده می‌شود (Nicodemus، ۲۰۱۱).

که در آن AS مساحت ویژه حوزه (متر) و G درجه شیب است.

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

۳- الگوریتم‌های مدل‌سازی

بعد از آماده‌سازی لایه‌های مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی و نیز لایه نقطه‌ای چاه‌ها، ابتدا برای تعیین هم خطی از پارامترهای Tolerance یا ضریب تحمل و VIF یا عامل تورم واریانس استفاده شد. در آمار، عامل تورم واریانس شدت همخطی چندگانه را در تحلیل رگرسیون کمترین مربعات معمولی ارزیابی می‌کند. در واقع یک شاخص معرفی می‌گردد که بیان میدارد چه مقدار از تغییرات مربوط به ضرایب برآورد شده بابت همخطی افزایش یافته است. شدت همخطی چندگانه را با بررسی بزرگی مقدار VIF می‌توان تحلیل نمود. اگر آماره آزمون VIF به یک نزدیک بود نشان دهنده عدم وجود همخطی است. در مرحله بعد از چهار روش جنگل تصادفی، روش MARS، روش GLM و روش DOMAIN جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی بهره گرفته شد که در ادامه به معرفی مختصر این روش‌ها پرداخته می‌شود.

الگوریتم Domain

الگوریتم Domain به‌طورگسترده‌ای برای مدل‌سازی توزیع مطلوبیت زیستگاهی گونه‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Carpenter et al., 1993) و بسیار به ندرت جهت پتانسیل-یابی منابع آب زیرزمینی استفاده شده است (Elith et al., 2006). این الگوریتم فاصله بین عوامل مؤثر در هر مکان با مکان‌هایی که دارای پتانسیل بالای آب زیرزمینی (نقاط آموزش) می‌باشند را محاسبه می‌کند. برای هر متغیر حداقل فاصله بین یک مکان و هر نقطه آموزش (Train) در نظر گرفته می‌شود و سپس نتیجه را جهت مدل‌سازی با تمام عوامل مؤثر ادغام می‌کند (Hijmans et al. 2006).

مدل‌سازی

(Yesilnacar, 2005). 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 مورداستفاده قرار گرفت (Constantin et al., 2011).

۱- تهیه لایه‌های مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی

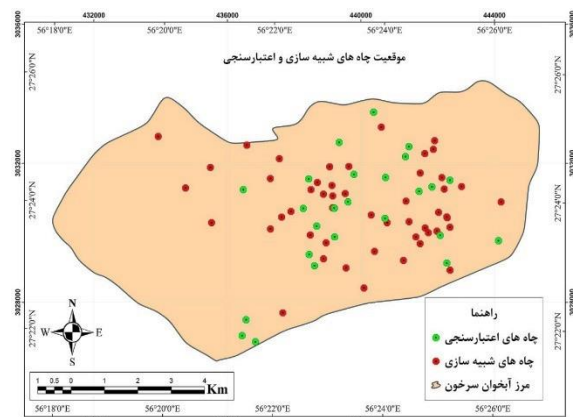
در تعیین پتانسیل منابع آب زیرزمینی، اگر در جریان شبیه‌سازی بین پارامترها هم خطی وجود داشته باشد، دقت پیش‌بینی مدل کاهش می‌یابد، در نتیجه بررسی آزمون هم خطی بین پارامترهای مؤثر ضروری است. در این پژوهش برای تعیین هم خطی از پارامترهای Tolerance یا ضریب تحمل و VIF یا عامل تورم واریانس استفاده شده است. اگر مقدار ضریب تحمل کمتر از ۰/۱ و مقدار عامل تورم واریانس بزرگ‌تر از ۱۰ باشد، بین پارامترها هم خطی وجود دارد (Chenet et al., 2017). برای محاسبه آزمون هم خطی مقادیر عددی هر یک از پارامترها در مناطق چاه‌های آب زیرزمینی و مناطق فاقد چاه استخراج گردید و در محیط SPSS آزمون هم خطی محاسبه گردید. نتایج حاصل از این آزمون در جدول شماره (۱) ارائه شده است.

بیش‌ترین مقدار عامل تورم واریانس ۲/۸۶۰ و کم‌ترین مقدار ضریب تحمل ۰/۳۸۶ است، بنابراین هیچ هم خطی بین متغیرهای مستقل مشاهده نشد. براین اساس ۱۱ پارامتر مؤثر در پتانسیل‌یابی در محیط GIS به صورت شکل (۳) ترسیم گردید.

۲- پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی آب زیرزمینی

بعد از آماده‌سازی لایه‌ها و اطلاعات اولیه از ۷۰ درصد چاه‌ها جهت آموزش مدل‌ها استفاده شد و نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی تهیه گردید. شایان‌ذکر است که تمامی مراحل مدل‌سازی در نرم‌افزار R و با استفاده از بسته‌های Dismo و SDM^۲ انجام گرفت. پس از مدل‌سازی نقشه‌های رستری

بر اساس پژوهش‌های پیشین و گزارش‌های اداره آب تنها داده‌های چاه‌های آب زیرزمینی با پتانسیل آبدی بالا (بیش از ۸ لیتر در ثانیه) مورداستفاده قرار گرفت (Nampak et al., 2014) (Rahmati et al., 2016). داده‌های چاه‌های آب زیرزمینی (۷۶ موقعیت چاه) به‌طور تصادفی به دو گروه شبیه‌سازی (۵۱ موقعیت چاه) و اعتبارسنجی (۲۵ موقعیت چاه) تقسیم‌بندی گردید. در شکل ۲ موقعیت‌های چاه‌های شبیه‌سازی و اعتبارسنجی نشان داده شده است.



شکل ۲. موقعیت چاه‌های شبیه‌سازی و اعتبارسنجی در مدل‌سازی

اعتبارسنجی شبیه‌سازی

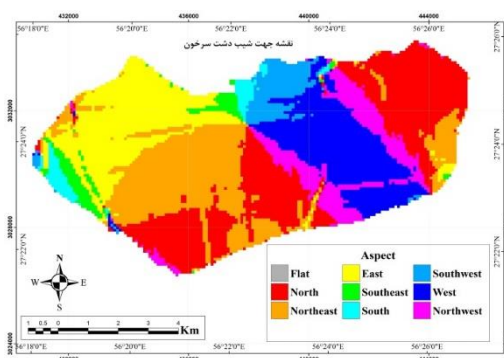
به منظور ارزیابی مدل با استفاده از مساحت زیر منحنی (AUC) در منحنی ویژگی عملگر نسبی (ROC) قدرت پیش‌بینی مدل با استفاده از شاخص سطح سلول هسته^۱ (SCAI) دقت تفکیک بین طبقات مورد بررسی و تأیید قرار گرفت. در مساحت زیر منحنی، درصد چاه‌های آب زیرزمینی که به درستی به وسیله مدل پیش‌بینی شده است در مقابل درصد چاه‌هایی 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 به شرح ذیل است: ۰/۹-۱ دقت عالی، ۰/۸ - ۰/۹ دقت خیلی خوب، ۰/۷-۰/۸ دقت خوب، ۰/۷ - ۰/۶ دقت متوسط و ۰/۵ - ۰/۶ دقت ضعیف

تقسیم‌بندی گردید که نتایج آن در شکل شماره ۴ ارائه شده است (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۷). هم‌چنین جدول (۲) میزان مساحت هر کلاس در مدل‌های استفاده‌شده را نشان می‌دهد.

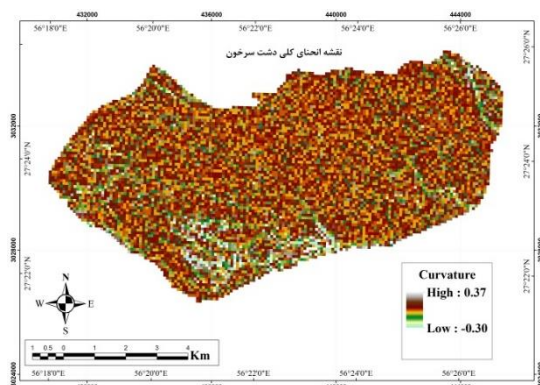
تولیدشده وارد نرم‌افزار ArcMap شده و با استفاده از دستور NaturalBreaks (Jenks) یا شکست‌های طبیعی به ۴ کلاس پتانسیل کم (۰/۲۵ - ۰)، پتانسیل متوسط (۰/۵ - ۰/۲۵)، پتانسیل بالا (۰/۷۵ - ۰/۵) و پتانسیل خیلی بالا (۱ - ۰/۷۵)

جدول ۱. مقادیر شاخص‌های Tolerance و VIF برای هر یک از پارامترهای مستقل

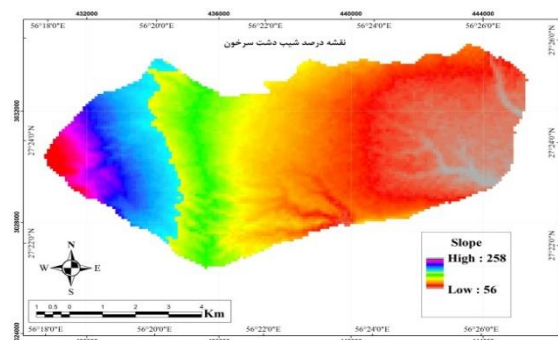
عامل	ضریب تحمل (Tolerance)	عامل تورم واریانس (VIF)
جهت شیب	0.22	4.12
انحنای کلی	0.18	5.40
کاربری اراضی	0.59	1.67
شاخص LS	۰.10	9.25
انحنای توپوگرافی	۰.031	31.76
انحنای مقطع	۰.81	1.22
درصد شیب	۰.22	4.48
خاک	۰.36	3.09
شاخص قدرت جریان	۰.31	3.17
شاخص رطوبت توپوگرافی	۰.29	3.43
مدل رقومی ارتفاع	۰.25	3.86



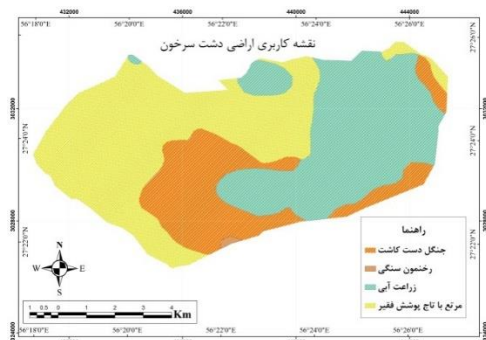
ب. نقشه جهت شیب



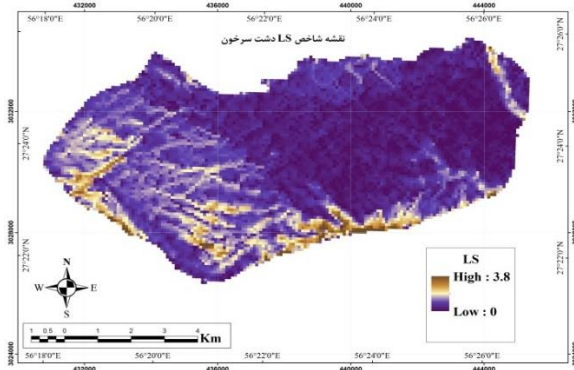
الف. نقشه انحنای کلی



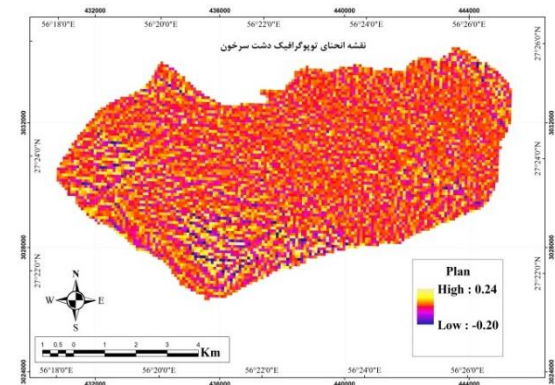
د. نقشه مدل رقومی ارتفاع



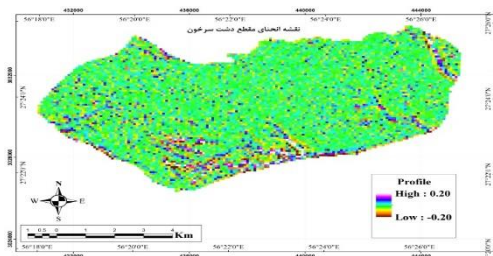
ج. نقشه کاربری اراضی



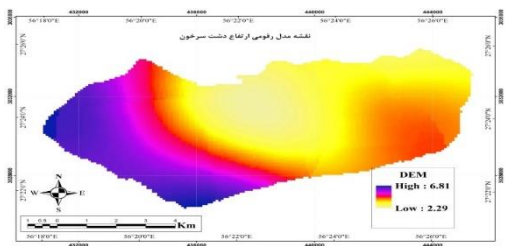
و. نقشه شاخص LS



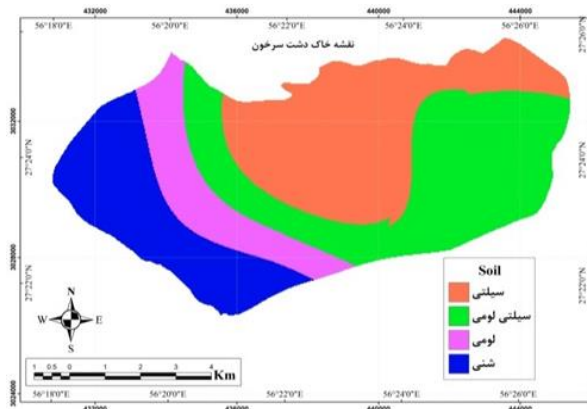
ه. نقشه توپوگرافی



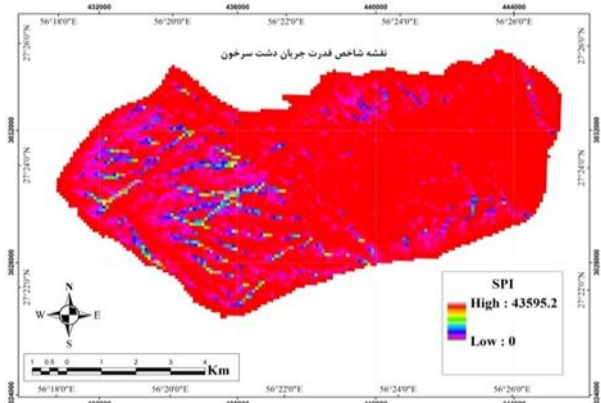
ز. نقشه انحنای مقطع



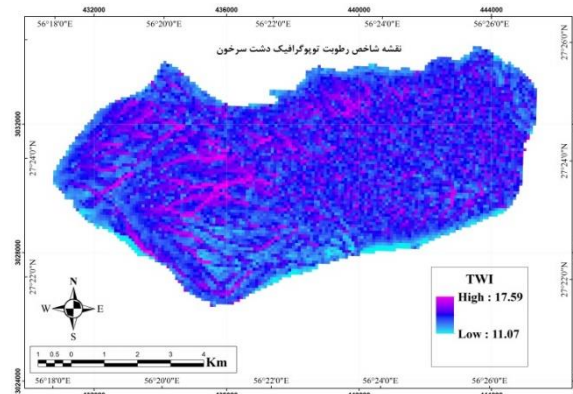
ر. نقشه درصد شیب



گ. نقشه خاک

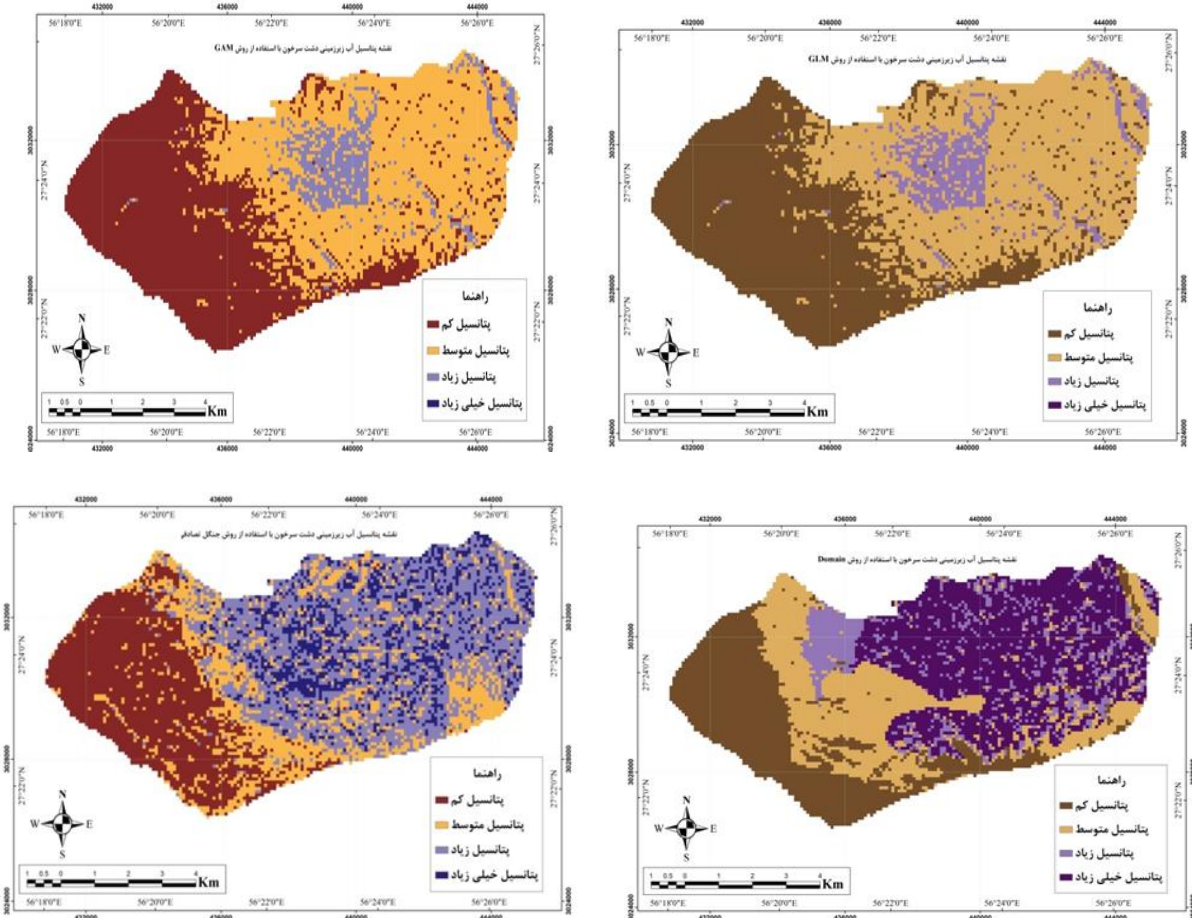


ک. نقشه شاخص قدرت جریان



ج. نقشه شاخص رطوبت توپوگرافیک

شکل ۳. نقشه‌های عوامل مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی دشت سرخون (الف تا ج)



شکل ۴. نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی دشت سرخون

همخوانی دارد. از دیگر نتایج هم‌پوشانی نقشه‌های پتانسیل با عوامل مؤثر می‌توان به تأثیر نزدیکی یا دوری از آبراهه‌ها اشاره کرد که پهنه‌های دارای پتانسیل بالا در فواصل نزدیک آبراهه‌ها قرار دارند که این نتیجه نیز با نتایج رحیمی (۱۳۹۰) اشاره کرد. انطباق نقشه‌های پتانسیل با نقشه انحنا J توپوگرافی و انحنا مقطع نشان می‌دهد که پهنه‌های دارای پتانسیل خوب و خیلی خوب بیشتر در پهنه‌های مقعر است که به دلیل شرایط مناسب توپوگرافی محدوده‌های مقعر است که این نتیجه نیز با نتایج عرب عامری و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد.

۳- ارزیابی مدل‌های استفاده‌شده

پس از تهیه لایه‌های پتانسیل آب زیرزمینی حاصل از مدل‌های استفاده‌شده از ۳۰ درصد چاه‌ها جهت اعتبارسنجی و

انطباق و هم‌پوشانی نقشه‌های پتانسیل منابع 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 است و پهنه‌های کم پتانسیل منطبق بر ارتفاعات به دلیل شیب زیاد و به علت نفوذپذیری خیلی کم است که این یافته با نتایج یمانی و عزیزاده (۱۳۹۳) هماهنگی دارد. روی هم گذاری نقشه‌های پتانسیل و نقشه‌های پوشش گیاهی نشان داد که مناطق دارای پتانسیل بالا منطبق بر مکان‌هایی است که دارای تراکم پوشش گیاهی بالا بوده که این امر به دلیل نگهداری رواناب و سیلاب توسط پوشش گیاهی است که باعث افزایش میزان نفوذپذیری و تغذیه آبخوان‌ها می‌شود که این نتیجه-گیری نیز با نتایج ناطقی نیا و همکاران (۱۳۸۷) نیز

همان‌طور که از جدول مشخص است هر ۴ مدل استفاده‌شده دارای عملکرد عالی در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی می‌باشند و انتخاب مدل بهتر قدری مشکل است، با این وجود مدل‌های جنگل تصادفی و Domain با دارا بودن حداکثر AUC و کم‌ترین میزان انحراف معیار بهتر عمل کرده‌اند. در بین این دو مدل هم جنگل تصادفی دارای نتایج بهتری است.

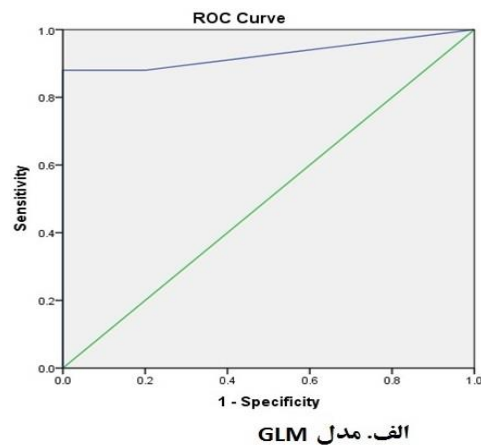
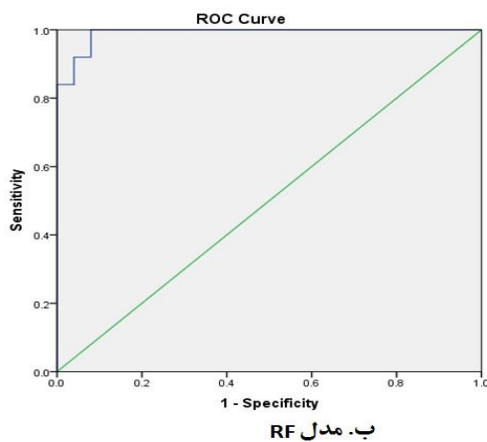
ارزیابی استفاده‌شده. جهت این امر چاه‌های اعتبارسنجی را روی لایه‌های پتانسیل آب زیرزمینی انداخته و مقادیر ارزش هر لایه استخراج گردید و جهت تهیه منحنی ROC به نرم‌افزار SPSS منقل شد که منحنی‌های ROC در شکل شماره ۴ ارائه شده است. هم‌چنین مساحت زیر منحنی (AUC) و سایر اطلاعات منحنی‌های ROC در جدول شماره ۳ آورده شده است.

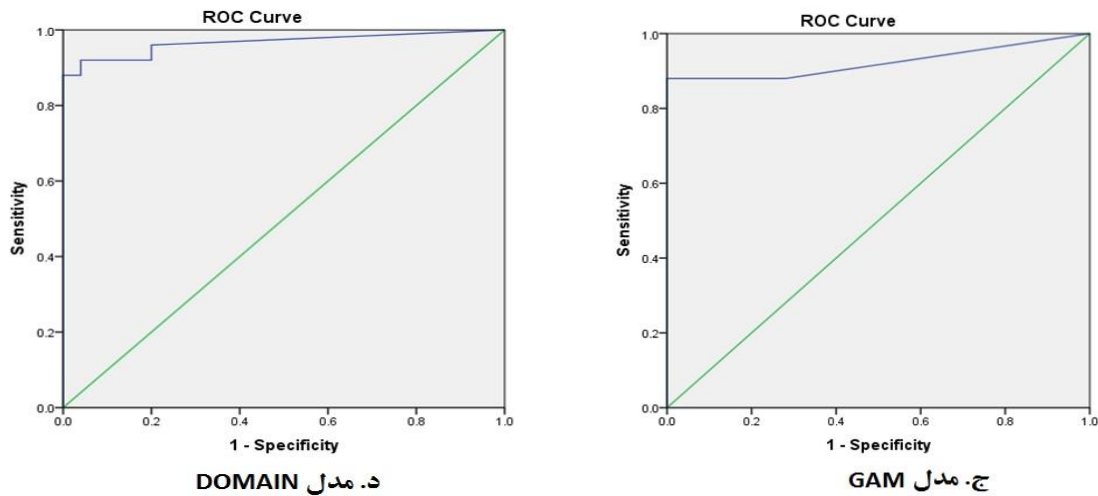
جدول ۲. مساحت (هکتار) و درصد مساحت طبقات مختلف در مدل‌های استفاده‌شده

	پتانسیل خیلی بالا		پتانسیل بالا		پتانسیل متوسط		پتانسیل کم	
	مساحت	درصد مساحت	مساحت	درصد مساحت	مساحت	درصد مساحت	مساحت	درصد مساحت
RF	967.32	12.90	2764.49	36.87	1678.08	22.38	2082.56	27.79
GLM	2.13	0.028	18.22	0.24	2305.19	30.74	5168.84	68.96
Domain	2677.38	35.71	924.85	12.33	1896.45	25.29	1998.57	26.657
GAM	4.32	0.057	600.71	8.012	3519.01	46.93	3373.73	44.99

جدول ۳. مقادیر AUC مدل‌های استفاده‌شده

سطح معنی‌داری	فاصله اطمینان ۹۵ درصد		انحراف معیار	مساحت زیر منحنی (AUC)	مدل استفاده‌شده
	حد پایین	حد بالا			
۰.۰۰۰	.97۰	۱	۰.009	۰.99	RF
۰.۰۰۰	۰.84	۱	۰.043	۰.92	GLM
۰.۰۰۰	1	۰.97	۰.027	۰.96	Domain
۰.۰۰۰	1	۰.83	۰.045۰	۰.92	GAM





شکل ۵. منحنی‌های ROC مربوط به مدل‌های RF-GAM-GLM-DOMAIN

۳۱ و ۳۵ درصد از سطح حوزه به ترتیب دارای پتانسیل متوسط و ضعیف در بحث آب زیرزمینی است. عمدتاً قسمت‌های مرکزی منطقه مطالعاتی به سمت شرق و شمال دارای پتانسیل زیاد و خیلی زیاد می‌باشند که از مهم‌ترین علل آن می‌توان به نفوذپذیری و عمق خاک مناسب، تراکم آبراهه پایینو 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 است که این موضوع را می‌توان به ساختار مدل‌های مورد استفاده و عدم قطعیت‌های موجود در شبیه‌سازی نسبت داد.

نتیجه‌گیری

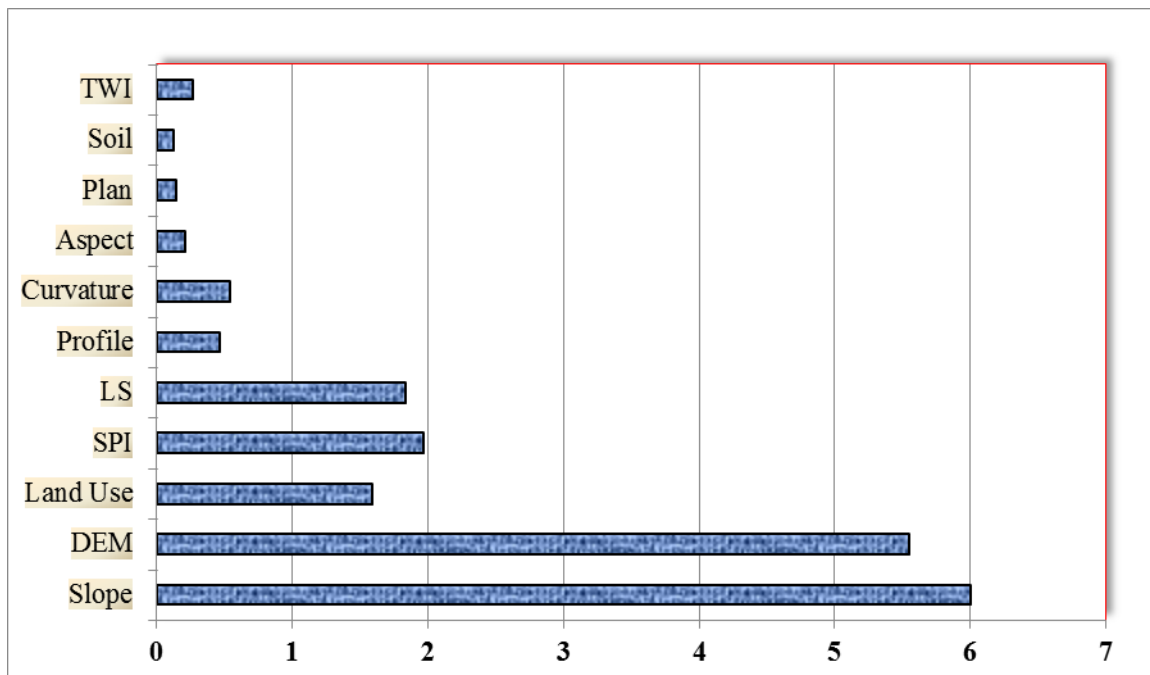
به علت تغییرات جهانی آب و هوایی، آب‌های زیرزمینی به عنوان منبع اصلی آب جهت شرب، کشاورزی و تولید غذا در آینده می‌باشند. در حال حاضر، حوزه‌های آبرگیر در سراسر جهان جهت تامین تقاضاهای رو به رشد آب به علت رشد جمعیت زیر فشار می‌باشند. مدیریت ذخایر آب زیرزمینی به صورت پایدار یک چالش اصلی می‌باشد. هدف از ارزیابی ذخایر آب زیرزمینی فراهم کردن

میزان اهمیت هر کدام از عوامل تأثیرگذار استفاده شده توسط روش Mean Decrease Gini در مدل جنگل تصادفی مشخص گردید که نتایج در شکل شماره (۶) ارائه گردیده است. همان‌طور که از شکل مشخص است معیارهای شیب، ارتفاع و شاخص قدرت جریان به ترتیب با اهمیت ۶، ۵۵،۵ و ۱/۹۷ بالاترین تأثیر را روی پتانسیل آب زیرزمینی دارند. همچنین معیارهای خاک، Plan و جهت شیب به ترتیب با وزن‌های ۰/۱۲، ۰/۱۴ و ۰/۲۱ کم‌ترین تأثیر را روی پتانسیل آب زیرزمینی دارند.

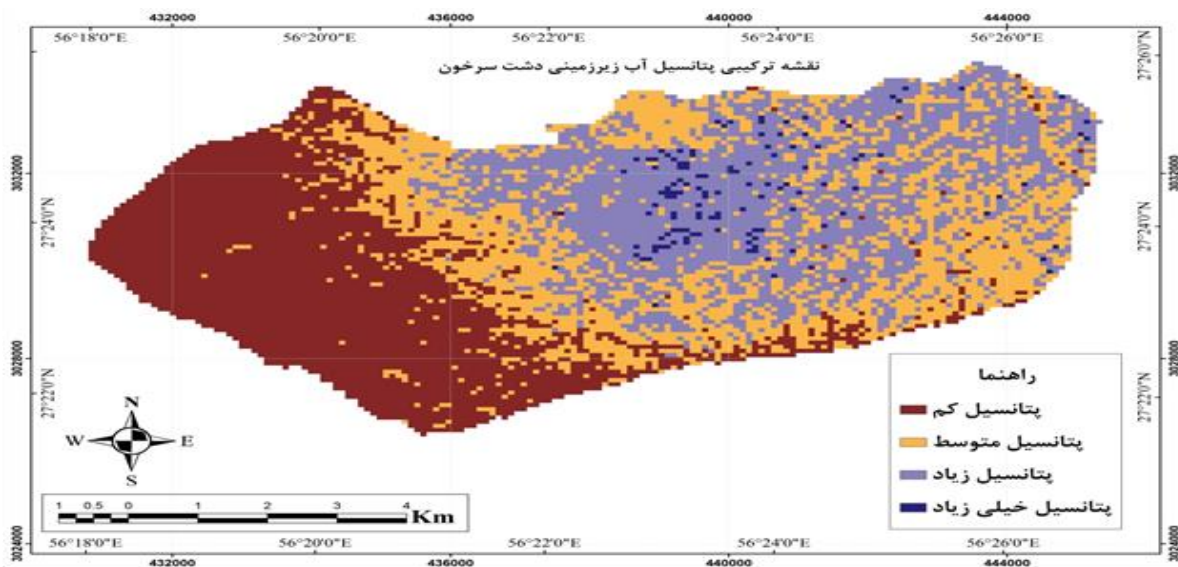
۴- ترکیب مدل‌ها و پتانسیل‌یابی نهایی

با توجه به اینکه هر چهار روش استفاده شده دارای عملکرد بسیار خوبی بوده در انتها جهت ارائه یک نقشه نهایی این چهار مدل به صورت میانگین‌گیری با یکدیگر ترکیب شدند که نقشه نهایی پتانسیل‌یابی در شکل ۷ آورده شده است.

بر اساس نقشه نهایی پتانسیل‌یابی ۳۱/۸۲ درصد از مساحت دشت سرخون که معادل با ۲۳۸۵ هکتار است دارای پتانسیل خوب، ۱/۰۷ درصد از اراضی حوزه که برابر با ۸۰ هکتار است دارای پتانسیل خیلی زیاد است. همچنین



شکل ۶. میزان اهمیت عوامل تأثیرگذار بر پتانسیل آب زیرزمینی



شکل ۷. نقشه ترکیبی و نهایی پتانسیل منابع آب پرزمینی در دشت سرخون

رویکرد ترکیبی داده محور در آبخوان سرخون در استان هرمزگان می‌باشد. در این پژوهش به ارزیابی کارایی چهار روش جنگل تصادفی، روش GLM، روش Domain و روش GAM در تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی در دشت سرخون در استان هرمزگان پرداخته شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که هر چهار روش استفاده شده به همراه تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات

درکی از وضعیت آبهای زیرزمینی در آینده می‌باشد. در سال-های اخیر، پژوهشگران مختلفی تلاش کرده اند تا پتانسیل منابع آب زیرزمینی را با استفاده از روش‌های مختلف داده محور و دانش محور به همراه تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی ارزیابی کنند. هدف اصلی از این پژوهش شناسایی پارامترهای مؤثر در ذخیره آب‌های زیرزمینی و ارزیابی پتانسیل آب‌های زیرزمینی با استفاده از

میانگین‌گیری ۴ مدل و ترکیب آن‌ها استفاده شد. بر اساس نقشه نهایی پتانسیل‌یابی ۳۱/۸۲ درصد از مساحت دشت سرخون که معادل با ۲۳۸۵ هکتار است دارای پتانسیل خوب، ۱/۰۷ درصد از اراضی حوزه که برابر با ۸۰ هکتار است دارای پتانسیل خیلی زیاد است. همچنین ۳۱ و ۳۵ درصد از سطح حوزه به ترتیب دارای پتانسیل متوسط و ضعیف در بحث آب زیرزمینی است. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر وضعیت پتانسیلی متوسط منابع آب زیرزمینی در دشت سرخون است.

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.

جغرافیایی ابزار قوی جهت ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی فراهم می‌نماید. نتایج این پژوهش و بررسی اعتبار-سنجی این چهار روش بر اساس منحنی ROC نشان داد که مدل جنگل تصادفی و روش Domain دارای مساحت زیر منحنی (AUC) بیشتری نسبت به دو روش Glim و Gam بوده که این موضوع دقت مناسب‌تر دو روش را نشان داد. وزن‌های به‌دست‌آمده با استفاده از توسط روش Mean Decrease Gini در مدل جنگل تصادفی نشان داد که است معیارهای شیب، ارتفاع و شاخص قدرت جریان به ترتیب با اهمیت ۶، ۵/۵ و ۱/۹۷ بالاترین تأثیر را روی پتانسیل آب زیرزمینی دارند. همچنین معیارهای خاک، Plan و جهت شیب به ترتیب با وزن‌های ۰/۱۲، ۰/۱۴ و ۰/۲۱ کم‌ترین تأثیر را روی پتانسیل آب زیرزمینی دارند. نتایج این پژوهش با یافته‌های سوری و همکاران (۱۳۹۶)، سیف و کارگر (۱۳۹۰)، عرب عامری و همکاران (۱۳۹۷) و Al-Abadi (۲۰۱۶) مطابقت دارد. با توجه به دقت مناسب هر چهار روش، به‌منظور استفاده از یک رویکرد با دقت بالا از روش

فهرست منابع

- ابراهیم‌خانی، سو، افضلی، م؛ و شکوهی، ع. ۱۳۹۰. پیش‌بینی و بررسی عوامل تصادفات جاده‌ای با استفاده از الگوریتم‌های داده‌کاوی. فصل‌نامه دانش اجتماعی زنجان، ۱(۱): ۱۱۱-۱۲۷.
- رحیمی، د. ۱۳۹۰. پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت شهرکرد). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۴: ۱۲۷.
- رنجبرمنش، ن. انتظاری، م؛ و رامشت، م. ح. ۱۳۹۲. بحران ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در اثر فعالیت تکنونیک در دشت ماهی دشت. دو فصلنامه‌ی ژئومورفولوژی کاربردی ایران، ۱(۲): ۱۸-۱.
- ناطق‌نی، س.، مصطفی‌زاده‌فرد، ب؛ و موسوی، ف. ۱۳۸۷. تأثیر شیب و پوشش گیاهی بر ذخیره سطحی و رواناب در خاک‌های درز و شکاف دار تحت آبیاری بارانی. آبیاری و زهکشی ایران: ۱۹.۲
- سوری، س.، بهاروند، س. و امیری، وهاب. ۱۳۹۶. پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: دشت رومشگان). فصلنامه زمین‌شناسی محیط‌زیست، ۱۱(۴۰): ۱۱-۲۶
- طرح احیا و تعادل بخشی دشت سرخون، سازمان آب منطقه‌ای هرمزگان: ۱۳۹۴
- سیف، ع.، کارگر، ا. ۱۳۹۰. پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم جغرافیایی، مطالعه موردی: حوضه آبریز سیرجان. جغرافیای طبیعی: ۷۵
- حق‌زاده، ع.، میرزا پور، ح. ۱۳۹۵. پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی حوزه آبخیز مادیان رود لرستان با استفاده تجزیه و تحلیل شاخص همپوشانی وزنی (WIOA). هیدروژئولوژی: ۸۳-۹۸.

عرب عامری، ع.، رضایی، خ.، یمانی، م. و شیرانی، ک. ۱۳۹۷. مدل‌سازی و تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش ترکیبی داده محور تابع شواهد قطعی - شاخص آنتروپی (مطالعه موردی: حوزه نجف‌آباد). پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک: ۲۵-۴۸

یمانی، م.، احمدآبادی، ع. و زارع، غ. ۱۳۹۱. به‌کارگیری الگوریتم ماشین‌های بردار در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز درکه). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳: ۱۴۲-۱۲۵.

خاشعی سیوکی، ع.، قهرمان، بیژن و کوچک زاده، م. ۱۳۹۱. ارزیابی پتانسیل استحصال آب از آبخوان با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (مثال: موردی: دشت‌نیشابور) مجله پژوهش آب ایران. ۵(۹): ۱۷۰-۱۸۱

Al-Abadi, A. M., Al-Temmeme, A. A., & Al-Ghanimy, M. 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. *Sustainable Water Resources Management*, 2(3), 265-283.

Alley, W. M., Reilly, T. E., & Franke, O. L. (1999). *Sustainability of ground-water resources* (Vol. 1186). US Department of the Interior, US Geological Survey.

Carpenter, G., Gillison, A. N., & Winter, J. (1993). DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity & Conservation*, 2(6), 667-680.

Chen, W., Pourghasemi, H. R., & Naghibi, S. A. (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.

Constantin, M., Bednarik, M., Jurchescu, M. C., & Vlaicu, M. (2011). Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). *Environmental earth sciences*, 63(2), 397-406.

Devkota, K. C., Regmi, A. D., Pourghasemi, H. R., Yoshida, K., Pradhan, B., Ryu, I. C., ... & Althuwaynee, O. F. (2013). Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling-Narayanghat road section in Nepal Himalaya. *Natural hazards*, 65(1), 135-165.

Elith*, J., H. Graham*, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., ... & Li, J. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151.

Ercanoglu, M., & Gokceoglu, C. (2002). Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental geology*, 41(6), 720-730.

Agarwal, E., Agarwal, R., Garg, R. D., & Garg, P. K. (2013). Delineation of groundwater potential zone: An AHP/ANP approach. *Journal of earth system science*, 122(3), 887-898.

Gayen, A., & Pourghasemi, H. R. (2019). Spatial Modeling of Gully Erosion: A New Ensemble of CART and GLM Data-Mining Algorithms. In *Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences* (pp. 653-669). Elsevier.

Glenn, C. R., Whittier, R. B., Dailer, M. L., Dulaiova, H., El-Kadi, A. I., Fackrell, J., ... & Waters, C. A. (2012). Lahaina groundwater tracer study-Lahaina, Maui, Hawaii 'i. Final Interim Report. Prepared for the State of Hawaii 'i Department of Health, the US Environmental Protection Agency, and the US Army Engineer Research and Development Center.

Guikema, S. D., & Quiring, S. M. (2012). Hybrid data mining-regression for infrastructure risk assessment based on zero-inflated data. *Reliability Engineering & System Safety*, 99, 178-182.

Hijmans, R. J., & Graham, C. H. (2006). The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global change biology*, 12(12), 2272-2281.

Jha, M. K., Kamii, Y., & Chikamori, K. (2009). Cost-effective approaches for sustainable groundwater management in alluvial aquifer systems. *Water resources management*, 23(2), 219.

Jothibasu, A., & Anbazhagan, S. (2016). Modeling groundwater probability index in Ponnaiyar River basin of South India using analytic hierarchy process. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(3), 109.

Le Page, M., Berjamy, B., Fakir, Y., Bourgin, F., Jarlan, L., Abourida, A., ... & Simonneaux, V. (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), 3209-3230.

Lee, S., Song, K. Y., Kim, Y., & Park, I. (2012). Regional groundwater productivity potential mapping using a geographic information system (GIS) based artificial neural network model. *Hydrogeology Journal*, 20(8), 1511-1527.

- 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.
- Naghibi, S. A., Pourghasemi, H. R., Pourtaghi, Z. S., & 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.
- Naghibi, S. A., Pourghasemi, H. R., Pourtaghi, Z. S., & 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.
- 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.
- Oney, O. (2019). The increase of the performance of ultrafine coal flotation by using emulsified kerosene and the prediction of the flotation parameters by random forest and genetic algorithm. *Archives of Mining Sciences*, 64(1), 119-130.
- Ozdemir, A., & Altural, T. (2013). A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64, 180-197.
- Patriche, C. V., Căpățână, V., & Stoica, D. L. (2006). Aspects regarding soil erosion spatial modeling using the USLE/RUSLE within GIS. *Geographia Technica*, 2, 87-97.
- Pourghasemi, H. R., & Beheshtirad, M. (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), 662-685.
- Pourtaghi, Z. S., & Pourghasemi, H. R. (2014). GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran. *Hydrogeology Journal*, 22(3), 643-662.
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Melesse, A. M. (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, 360-372.
- 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.
- Sharma, L. P., Patel, N., Ghose, M. K., & Debnath, P. (2012). Influence of Shannon's entropy on landslide-causing parameters for vulnerability study and zonation—a case study in Sikkim, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 5(3), 421-431.
- Shekhar, S., & Pandey, A. C. (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), 402-421.
- Singh, P., Gupta, A., & Singh, M. (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.
- Thapa, R., Gupta, S., Guin, S., & Kaur, H. (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.
- Yesilnacar, E. K. (2005). The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey. University of Melbourne, Department, 200.
- Youssef, A. M., Pradhan, B., Jebur, M. N., & El-Harbi, H. M. (2015). Landslide susceptibility mapping using ensemble bivariate and multivariate statistical models in Fayfa area, Saudi Arabia. *Environmental Earth Sciences*, 73(7), 3745-3761.
- Moghaddam, H. K., Moghaddam, H. K., Kivi, Z. R., Bahreinimotlagh, M., & Alizadeh, M. J. (2019). Developing comparative mathematic models, BN and ANN for forecasting of groundwater levels. *Groundwater for Sustainable Development*, 9, 100237.



Evaluating the potential of groundwater resources using a combination of data mining methods:(Case study: Hormozgan province, Sarkhon plain

Fatemeh Riahi ¹*, Hassan Waqarfard ², Peyman Daneshkar Arasteh ³, Hamid Kardan Moghadam ⁴

1 PhD student in Watershed Management - Water; Faculty of Agriculture and Natural Resources; Hormozgan University

*Corresponding author email: fateme.riahi63@gmail.com

2 Associate Professor of Range and Watershed Management Group; Faculty of Agriculture and Natural Resources; Hormozgan University

3 Associate Professor, Department of Water Science and Engineering; Imam Khomeini International University of Qazvin

4 Assistant Professor of the Water Research Institute of the Ministry of Energy

Received: 12-01-2020

Accepted: 15-05-2020

Abstract

The purpose of this study is the ground water potential mapping. using four methods, stochastic forest, GLM, Domain, and GAM. in addition, four methods for combining these methods for potential mapping were also evaluated. for this purpose, eleven criteria include the slope, profile curvature, (Topographic Curvature), total curvature, index (spi), index (spi), index (twi), land use, soil and demographic elevation model were used according to the experience of experts and researchers. in order to validate the 76 of wells with high discharge were, it has been used for simulation (70 %) and validation (30%) before modeling the linear test on the criteria, there is no linear relationship between variables. according to, the results of the evaluation using the ROC curve showed that all four used methods have excellent accuracy and AUC over 90%. then, the results of four methods were combined with mean averaging method. The final potential showed that 32.89% of the lands have good potential for exploiting groundwater resources. The results of the importance factors also showed that the slope, height, and power index were the most important factors. The results of this research can serve as information bases for planners and local authorities to evaluate, plan, manage, sustainably use and synthesize groundwater resources in the future.

Keywords: GAM method, GLM method, Groundwater simulation, Random forest method.