



دوره‌ی ۳۳، شماره‌ی ۱، شماره‌ی پیاپی ۱۲۶، بهار ۱۳۹۹، صفحه‌های ۷۱-۵۶

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2019.126453.1223

پژوهش‌های آبخیزداری

مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر توان آب زیرزمینی در آبخیز پیرانشهر (آذربایجان غربی) با مدل MaxEnt و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی

مه‌دی تیموری

(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، مجتمع آموزش عالی شیروان

امید اسدی نلیوان

دکترای علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

* رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: m_teimouri@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۰۵ خرداد ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۱۲ شهریور ۱۳۹۸

چکیده

آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین و حیاتی‌ترین منابع طبیعی در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک است. هدف از این پژوهش شناختن منطقه‌هایی که توان آب زیرزمینی دارد، و اولویت‌بندی کردن عامل‌های مؤثر بر آن است. در این پژوهش ۱۴ شاخص تأثیرگذار بر توان آب زیرزمینی شامل شیب، ارتفاع، جهت شیب، انحنای پستی‌وبلندی، فاصله از آب‌راه، تراکم زه‌کشی، فاصله از گسل، تراکم گسل، شاخص رطوبت پستی‌وبلندی، موقعیت پستی‌وبلندی، سختی پستی‌وبلندی، سنگ‌شناسی، کاربری زمین، و موقعیت شیب نسبی به‌کاربرده شد. به‌روش تصادفی ۳۰٪ از مجموع ۱۴۵ چشمه در گروه داده‌های اعتبارسنجی و ۷۰٪ آن در گروه داده‌های آموزش گذاشته شد. برای اولویت‌بندی کردن عامل‌های مؤثر و پهنه‌بندی کردن توان آب زیرزمینی در آبخیز پیرانشهر روش پیشینه‌ی آنتروپی و مدل MaxEnt با بهره‌گیری از ArcGIS، و برای ارزیابی مدل منحنی تشخیص عمل کرد نسبی (ROC) به‌کاربرده شد. نتیجه‌ها نشان داد که توان آب زیرزمینی در ۳۳/۶٪ حوزه‌ی آبخیز، بیش‌تر در مرکز آبخیز، است. بر اساس نمودار جکنایف لایه‌های شاخص رطوبت پستی‌وبلندی، ارتفاع، سنگ‌شناسی (ماسه‌سنگ و پلمه‌سنگ)، سختی پستی‌وبلندی، موقعیت پستی‌وبلندی، و شیب به‌ترتیب مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار بر توان آب زیرزمینی بود. سطح زیر منحنی (AUC) نشان‌دهنده‌ی دقت ۹۳٪ (عالی) روش پیشینه‌ی آنتروپی در مرحله‌ی آموزش، و ۸۱٪ (خیلی خوب) در مرحله‌ی اعتبارسنجی برای شناختن منطقه‌های دارنده‌ی توان آب زیرزمینی بود. نتیجه‌ی این پژوهش ممکن است در مدیریت کردن آب زیرزمینی آبخیز پیرانشهر در رویارویی با افزایش جمعیت به‌کار برده شود.

واژگان کلیدی: توان آب زیرزمینی، پیشینه‌ی آنتروپی، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، مدل MaxEnt، یادگیری ماشینی

مقدمه

در سال‌های اخیر به دلیل افزایش جمعیت در بسیاری از کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، افزایش سطح زیرکشت و افزایش منطقه‌های صنعتی، برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی را باعث شده است، که نتیجه‌ی آن کاهش کیفیت و کمیت آب، و فرونشست زمین در بسیاری از دشت‌های ایران بوده است. از طرف دیگر به دلیل ثابت‌بودن دمای آب‌های زیرزمینی، تبخیر و تعرق و روی‌داد خشک‌سالی در آن‌ها کم‌تر است، ضریب آلودگی آن‌ها کم‌تر است، و برداشت از آن‌ها با روش‌های ساده و ارزان در همه‌ی فصل‌های سال ممکن است، و این اثر را تشدید کرده است (جوتیاسو و آناژگان ۲۰۱۶؛ لی و همکاران ۲۰۱۹). بنابراین شناسایی کردن منطقه‌هایی که توان آب دارند، و اکتشاف و بهره‌برداری بهینه، پایدار و اصولی از آن‌ها ضروری است. نقشه‌ی توان آب زیرزمینی می‌تواند به حفاظت و مدیریت کردن منابع آب کمک شایانی بکند. در سال‌های اخیر روش‌های سنجش از دور، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و یادگیری ماشینی در مقایسه با روش‌های زمان‌بر و پرهزینه سنتی در آگاهی یافتن از توان آب زیرزمینی، کارایی زیادی داشته و باعث افزایش یافتن دقت و سرعت در ارزیابی توان آب‌های زیرزمینی با کمک گرفتن از داده‌های محیطی، پستی‌وبندی و اقلیمی شده است (عرب‌عامری و همکاران ۲۰۱۸؛ گلکاریان و رحمتی ۲۰۱۸). عامل‌های مختلفی از طیف وسیعی از سنج‌های محیطی از قبیل عامل‌های آب‌شناختی (شاخص قدرت جریان (SPI)، تراکم آب‌راه، فاصله از آب‌راه، رطوبت پستی‌وبندی (TWI)، و فاصله از آب‌راه)، عامل‌های اقلیمی (بارندگی)، پستی‌وبندی (ارتفاع، شیب، جهت شیب و انحنای پستی‌وبندی)، بوم‌شناختی (کاربری زمین، بافت خاک و نوع خاک) و عامل‌های زمین‌شناختی (سنگ‌شناسی، فاصله از گسل و تراکم گسل) بر توان آب زیرزمینی تأثیرگذار است (عرب‌عامری و همکاران ۲۰۱۸؛ نقیعی و همکاران ۲۰۱۸؛ سینر و همکاران ۲۰۱۸). محققان مختلف روش‌های مختلفی برای توان‌یابی آب زیرزمینی به‌کاربرده اند که می‌توان به روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی (آرولبالاجی و همکاران ۲۰۱۹)، درخت وایازی (رگرسیون) تقویت‌شده (موسوی و همکاران ۲۰۱۷)، جنگل تصادفی (ذبیحی و همکاران ۲۰۱۵)، شاخص هم‌پوشانی وزنی (ساهو و همکاران ۲۰۱۷)، بیشینه‌ی آنتروپی (رزندی و همکاران ۲۰۱۷)، نسبت فراوانی (موسوی و همکاران ۲۰۱۷؛ لی و همکاران ۲۰۱۹)، وایازی پشتیبانی (ژائو-لیانگ و همکاران ۲۰۱۷)، شاخص آماری (رضوی و همکاران ۲۰۱۷)، ماشین بردار پشتیبان (لی و همکاران ۲۰۱۸) و شبکه‌ی عصبی مصنوعی (لی و همکاران ۲۰۱۸) اشاره کرد. در ایران پژوهش‌های اندکی با روش‌های یادگیری ماشینی (روش بیشینه‌ی آنتروپی) اجرا شده است. نتیجه‌ی رضوی و همکاران

(۲۰۱۷) در مقایسه‌ی سه روش نسبت فراوانی، شاخص آماری و آنتروپی نشان داد که برتری روش آنتروپی بیش‌تر است و عامل‌های توان آب‌راه، ارتفاع، شیب و کاربری زمین تأثیر بیش‌تری بر توان آب زیرزمینی دارد. پژوهش رزندی و همکاران (۲۰۱۷) با الگوریتم بیشینه‌ی آنتروپی در دشت همدان-بهار نشان داد که این روش توانایی شناسایی منطقه‌های دارای توان آب زیرزمینی را دارد و عامل‌های DEM، ضخامت آبخوان و زمین‌شناسی را از عامل‌های مؤثر بر توان آب زیرزمینی معرفی کردند. عرب‌عامری و همکاران (۲۰۱۸) با روش ترکیبی داده‌محور تابع شواهد قطعی-شاخص آنتروپی در حوزه‌ی نجف‌آباد نشان دادند که ۴۵٪ از حوزه در رده‌ی توان خیلی زیاد است، و فاصله از گسل، کاربری زمین و زمین‌شناسی از مؤثرترین عامل‌ها در ایجاد توان آب زیرزمینی است. گلکاریان و رحمتی (۲۰۱۸) در بررسی توان آب زیرزمینی با مدل بیشینه‌ی آنتروپی نشان دادند که این مدل توانایی زیادی در شناختن منطقه‌های دارای توان آب زیرزمینی دارد و عامل‌های تراکم قنات، فاصله از رودخانه، سنگ‌شناسی، شاخص قدرت جریان و شاخص رطوبت پستی‌وبندی را عامل‌های تأثیرگذار معرفی کردند. آرولبالاجی و همکاران (۲۰۱۹) روش تحلیل سلسله‌مراتبی و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی را با کمک ۱۲ لایه‌ی محیطی برای شناختن منطقه‌های دارای توان آب زیرزمینی به‌کار بردند و دقت آن را ۸۵٪ گزارش کردند. لی و همکاران (۲۰۱۹) با روش‌های نسبت فراوانی و درخت طبقه‌بندی‌شده‌ی تقویت‌شده منطقه‌های دارای توان آب زیرزمینی را در کره‌ی جنوبی (گوپانگ-سی) شناسایی کردند، و این روش را به‌دلیل سطح زیر منحنی روش بهتری دانستند.

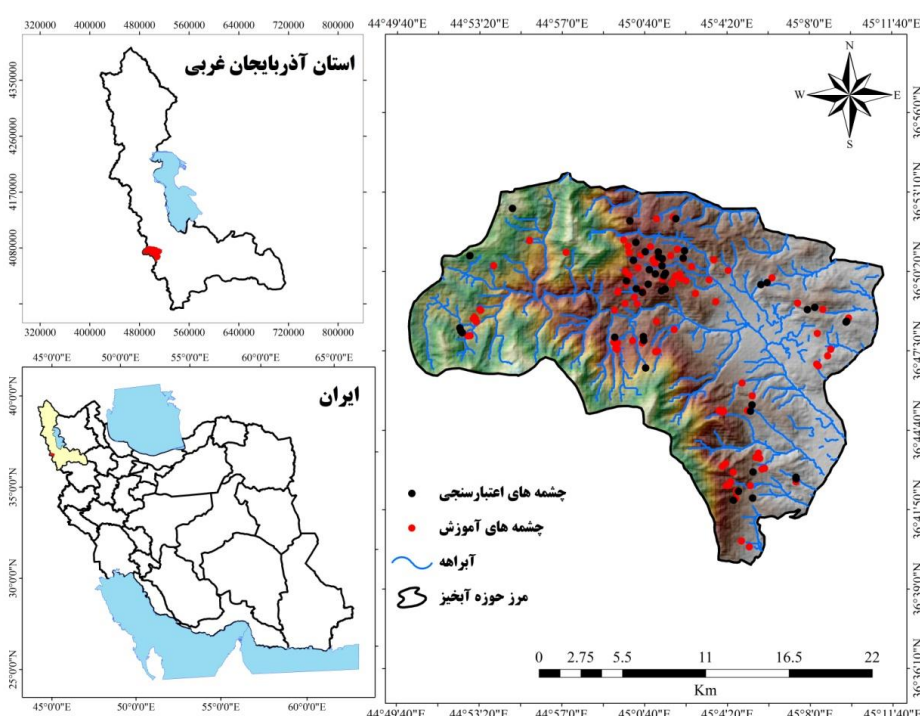
جمع‌بندی مرور منابع نشان‌دهنده‌ی اهمیت شناسایی منطقه‌های دارای توان آب زیرزمینی برای مدیریت کردن این منابع و توانایی زیاد روش‌های یادگیری ماشینی در این کار مهم و حیاتی است. روش آنتروپی بیشینه برای توان منابع آب زیرزمینی به‌کاررفته گرفته شده است (رزندی و همکاران ۲۰۱۷). بسیاری از روش‌های یادگیری ماشینی برای آموزش و پهنه‌بندی علاوه بر نقطه‌های بود نیازمند نقطه‌های نبود نیز است (فیلیپس و همکاران ۲۰۰۶). از آن‌جا که یافتن نقطه‌های نبود (منطقه‌های کم‌توان آب زیرزمینی) و اطمینان از آن (نبود قطعیت) در بررسی‌ها دشواری‌های زیادی در پی خواهد داشت، روش آنتروپی بیشینه می‌تواند گامی نو برای سرعت‌بخشیدن به شناسایی جاهای دارای توان آب زیرزمینی باشد (گلکاریان و رحمتی ۲۰۱۸).

آبخیز پیرانشهر با افزایش منطقه‌های صنعتی، تغییر کاربری مرتع‌ها و افزایش زمین‌های کشاورزی، و افزایش جمعیت روبه‌رو است. چشمه‌های شناسایی شده در این تحقیق در بازدیدهای میدانی (۱۴۵ چشمه)، برای همه‌ی مصرف‌های نام‌برده به‌کار برده می‌شود.

مواد و روش‌ها

آبخیز پیرانشهر در غرب شهرستان پیرانشهر و در استان آذربایجان غربی بین طول‌های جغرافیایی $44^{\circ} 49' 40''$ و $45^{\circ} 11' 40''$ و عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ} 39' 02''$ و $36^{\circ} 56' 00''$ است (شکل ۱). میانگین بارندگی سالانه‌ی حوزه در دوره‌ی داده‌برداری ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۶، ۶۵۰ میلی‌متر، کم‌ترین و بیش‌ترین دمای سالانه به ترتیب $6/7^{\circ}$ و $31/4^{\circ}$ درجه‌ی سانتی‌گراد است و منطقه‌ی نیمه‌خشک سرد دانسته می‌شود. دامنه‌ی ارتفاعی از ۱۴۳۳ تا ۳۵۶۳ متر بالاتر از تراز دریا است. مساحت منطقه ۴۲۶۱۷ هکتار است، که ۹۹۴۴ هکتار آن زمین‌های کشاورزی، ۳۳۲۲ هکتار دیمزار، ۱۴۴ هکتار منطقه‌های مسکونی و ۲۹۲۰۵ هکتار آن مرتع است (اسدی‌نلیوان و همکاران ۲۰۱۸).

بنابراین، در این حوزه برداشت آب زیرزمینی افزایش یافته است؛ باید منطقه‌های دارای توان شناسایی، تا با اصول توسعه‌ی پایدار از آن‌ها بهره‌برداری شود، و در آینده دشواری‌های کمی و کیفی آب زیرزمینی پیش نیاید. هدف از این تحقیق پهنه‌بندی کردن توان آب زیرزمینی با مدل MaxEnt و شناسایی کردن عامل‌های مؤثر بر توان آب زیرزمینی در این منطقه برای مدیریت کردن منابع آب زیرزمینی در شرایط افزایش برداشت از این منابع است. نوآوری این تحقیق در نظر گرفتن تعداد عامل‌های بیش‌تر از تحقیقات مشابه برای شناختن منطقه‌های دارای توان آب زیرزمینی است. اطلاعات این تحقیق می‌تواند برای برنامه‌ریزان و مسئولان محلی در مدیریت کردن منابع آب زیرزمینی منطقه مفید باشد.



شکل ۱- موقعیت حوزه‌ی پیرانشهر و چشمه‌های آموزش و اعتبارسنجی.

پستی و بلندی^۱، فاصله از آبراه، تراکم زه‌کشی، فاصله از گسل، تراکم گسل، شاخص رطوبت پستی و بلندی (TWI)^۲، سنگ‌شناسی، کاربری زمین، موقعیت شیب نسبی (RSP)^۳، شاخص موقعیت پستی و بلندی (TPI)^۴، و شاخص سختی پستی و بلندی (TRI)^۵ به کار برده شد (جدول ۱). از ۱۴۵ چشمه‌ی شناسایی شده، به‌روش تصادفی ۴۴ چشمه (۳۰٪) برای داده‌های اعتبارسنجی

عامل‌های به‌کاررفته برای شناسایی منطقه‌های دارای توان آب زیرزمینی

برای شناسایی منطقه‌های دارای توان آب زیرزمینی و بر اساس برخی منابع (عرب‌عامری و همکاران ۲۰۱۸؛ نقی‌بی و همکاران ۲۰۱۸؛ لی و همکاران ۲۰۱۹) در این زمینه ۱۴ شاخص تأثیرگذار بر آب زیرزمینی شامل شیب، ارتفاع، جهت شیب، انحنای

- 1 - Plan curvature
- 2 - Topographic Wetness Index
- 3 - Relative Slope Position
- 4 - Topographic Position Index
- 5- Topographic Ruggedness Index

و ۱۰۱ چشمه (۷۰٪) برای داده‌های آموزش طبقه‌بندی شد (گلکاریان و رحمتی ۲۰۱۸؛ سینر و همکاران ۲۰۱۸).

جدول ۱- شاخص‌های به‌کاررفته برای شناختن منطقه‌های دارای توان آب زیرزمینی.

شاخص (متغیر)	روش تهیه
مدل رقومی ارتفاعی (ارتفاع)	بر اساس نقشه‌ی پستی‌وبلندی (سازمان زمین‌شناسی کشور)
شیب، جهت شیب و انحنای پستی‌وبلندی	بر اساس مدل رقومی ارتفاعی در نرم‌افزار ArcGIS
فاصله از آبراه و فاصله از گسل	تابع Euclidean distance در نرم‌افزار ArcGIS
تراکم گسل و تراکم آبراه	تابع Line Density در نرم‌افزار ArcGIS
سنگ‌شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰	بر اساس نقشه‌ی زمین‌شناسی
کاربری زمین با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰	اداره‌ی منابع طبیعی شهرستان پیرانشهر و بازدیدهای میدانی
TRI و TWI، RSP، TPI	بر اساس مدل رقومی ارتفاعی در نرم‌افزار SAGA GIS

است (دنگ و همکاران ۲۰۱۶؛ آگاروال و گارگ ۲۰۱۶). لایه‌ی کاربری زمین از اداره‌ی منابع طبیعی شهرستان پیرانشهر و در بازدیدهای میدانی از منطقه تهیه کرده شد. کاربری زمین بر روان‌آب سطحی، تبخیر و تعرق، و تغذیه‌ی آب زیرزمینی اثرگذار است. مرتع‌ها از منابع خوب تغذیه‌ی آب زیرزمینی است و اهمیت منطقه‌های شهری کم‌تر است (تهرانی و همکاران ۲۰۱۳). لایه‌های شاخص رطوبت پستی‌وبلندی، موقعیت شیب نسبی، شاخص موقعیت پستی‌وبلندی، و شاخص سختی پستی‌وبلندی از مدل رقومی ارتفاعی و با نرم‌افزار SAGA GIS تهیه شد. شاخص TWI (رابطه‌ی ۱) تأثیر پستی‌وبلندی بر تولید روان‌آب را به‌صورت کمی نشان می‌دهد و مکان منطقه‌های اشباع سطحی و توزیع مکانی رطوبت خاک را برآورد می‌کند (آرولبالاجی و همکاران ۲۰۱۹)، و نشان‌دهنده‌ی نفوذکردن آب زیرزمینی ناشی از تأثیر پستی‌وبلندی است. شاخص RSP نشان‌دهنده‌ی موقعیت شیب هر سلول و موقعیت نسبی آن بین کف دره (صفر) تا خطراس (۱) است (رابطه‌ی ۲). شاخص TPI ارتفاع هر یک از سلول‌ها در مدل رقومی ارتفاعی را با ارتفاع متوسط محدوده‌ی مشخص‌شده در اطراف این سلول مقایسه می‌کند (یاه و همکاران ۲۰۱۶). این شاخص تفاوت بین نقطه‌ی تصویر (پیکسل) مرکزی و میانگین سلول‌های اطراف را نشان می‌دهد (رابطه‌ی ۳). شاخص TRI میزان تفاوت ارتفاع بین سلول‌های مجاور در یک مدل رقومی ارتفاعی را نشان می‌دهد. این شاخص بیانگر تغییر در سطح پستی‌وبلندی بر اثر فرسایش در سطح آبخیز است (رابطه‌ی ۴).

$$TWI = \ln \frac{As}{\tan \beta} \quad (1)$$

As: مساحت منطقه‌ی مشارکت‌کننده‌ی بالادست سلول؛ β : شیب پستی‌وبلندی.

$$RSP = \left(\frac{z(s) - z(s)_v}{z(s)_r - z(s)_v} \right) \times 100 + 0.5 \quad (2)$$

لایه‌ی مدل رقومی ارتفاعی با خط تراز و بر اساس نقطه‌های ارتفاعی برداشته از نرم‌افزار گوگل‌ارت و نقشه‌ی پستی‌وبلندی تهیه شد. طبقه‌های ارتفاعی باعث ایجادشدن شرایط اقلیمی متفاوت و در نتیجه ساخته‌شدن خاک و نوع پوشش گیاهی متفاوت می‌شود (جوتیباسو و آنبازگان ۲۰۱۶). لایه‌های شیب، جهت شیب و انحنای پستی‌وبلندی شاخص‌های سطح است. این لایه‌ها با مدل رقومی ارتفاعی و به‌ترتیب از تابع‌های شیب، جهت و انحنای تهیه شده‌است. افزایش یافتن شیب زمین باعث کاهش یافتن میزان آب نفوذ کرده به زمین و افزایش روان‌آب می‌شود (دنگ و همکاران ۲۰۱۶). جهت شیب بر میزان دریافت بارندگی اثرگذار است و بر همین اساس بر میزان پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد (ژائو-لیانگ و همکاران ۲۰۱۷). انحنای پستی‌وبلندی بر هم‌گرایی و واگرایی جریان در شیب‌های مقعر و محدب تأثیرگذار است (آل‌آبادی و همکاران ۲۰۱۶). لایه‌های فاصله از آبراه و فاصله از گسل بر اساس نقشه‌ی آبراه‌ها (از نرم‌افزار Arc Hydro) و گسل‌های منطقه (نقشه‌ی زمین‌شناسی) و با تابع فاصله‌ی اقلیدسی در ArcGIS تهیه کرده‌شد. فاصله از آبراه و فاصله از گسل نقش مهمی در توان آب‌های زیرزمینی دارد. لایه‌های تراکم آبراه و تراکم گسل با نقشه‌ی آبراه‌ها (از Arc Hydro) و گسل‌های منطقه (نقشه‌ی زمین‌شناسی) و با تابع تراکم خط در ArcGIS تهیه کرده‌شد. در سازندهای مختلف نوع شبکه‌ی زه‌کشی هر منطقه با ساختارهای زمین‌ساختی، سنگ‌شناختی و پستی‌وبلندی منطقه مهار می‌شود، نقطه‌های ضعف سازندها که باعث کاهش یافتن نفوذ آب زیرزمینی می‌شود (جوتیباسو و آنبازگان ۲۰۱۶). افزایش یافتن تراکم گسل‌ها نقش مؤثری در نفوذ و انتقال آب زیرزمینی دارد، و از این رو برای استخراج آب مهم است (گلکاریان و رحمتی ۲۰۱۸). لایه‌ی سنگ‌شناسی از نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه استخراج شد (جدول ۲). نوع سنگ‌شناسی و سازندها، و خصوصیت‌های وابسته به آن‌ها عامل بسیار مهمی در توان منابع آب زیرزمینی

نقطه است (مثل دره‌ها و چاله‌های محلی). اندازه‌های صفر نشان‌دهنده‌ی منطقه‌های مسطح، و جایی است که شیب صفر است.

$$TRI = (\sum(z_c - z_i)^2)^2 \quad (4)$$

Z_c : ارتفاع سلول مرکزی، Z_i : ارتفاع یکی از هشت سلول همسایه‌ی سلول مرکزی.

$$TPI = Z_0 - \frac{\sum_{i=1}^n Z_n}{n} \quad (3)$$

Z_0 : ارتفاع نقطه‌ی ارزیابی‌شده؛ Z_n : ارتفاع شبکه‌ی اطراف نقطه‌ی ارزیابی‌شده؛ n : تعداد کل نقطه‌های به‌کاررفته در ارزیابی. اندازه‌های مثبت نشان‌دهنده‌ی مکان‌هایی است که بالاتر از میانگین اطراف نقطه است (مثل خطر اس‌ها). اندازه‌های منفی نشان‌دهنده‌ی مکان‌هایی است که پایین‌تر از میانگین اطراف

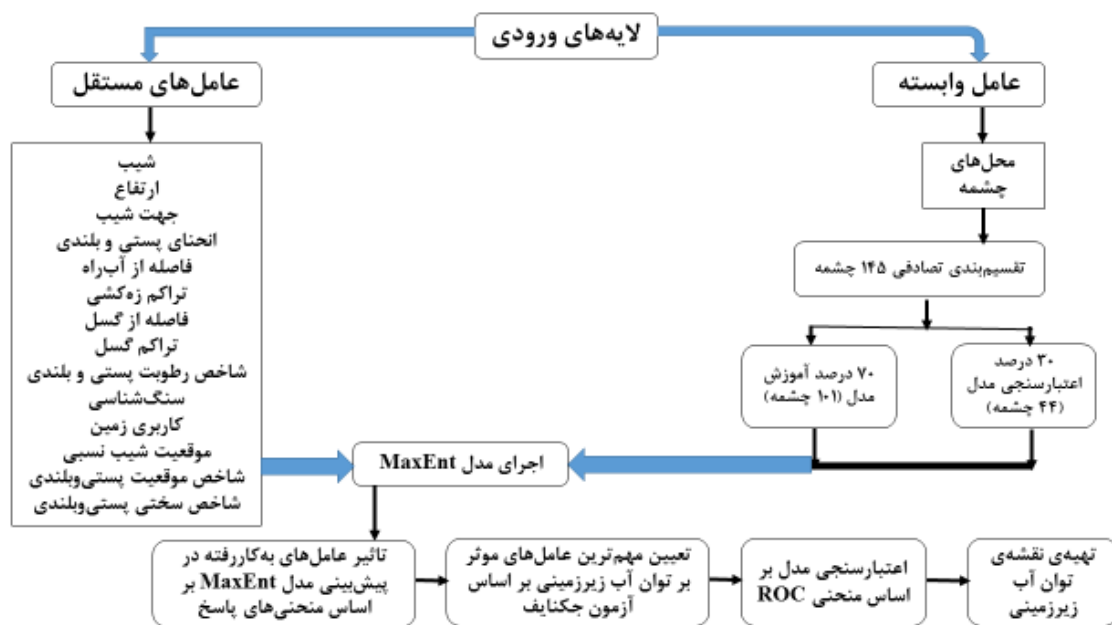
جدول ۲- لایه‌ی سنگ‌شناسی آبخیز پیرانشهر.

واحد	توضیحات	سن	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
pCmt1	سنگ‌های دگرگونی (آمفیبولیت)	پرکامبرین	۸۳۵/۴	۱/۹۶
Pr	سنگ آهک (سازند روته)	پرمین	۴۷۱۵/۷	۱۱/۰۵
db	دیاباز	کرتاسه	۹۸۶۳	۲۳/۱۱
Cm	سنگ‌آهک با پلمه‌سنگ سیاه زیرین (سازند مبارک)	کربونيفر	۴۶۷۶/۲	۱۰/۹۶
pCam	آمفیبولیت	پرکامبرین	۹۴۵۳/۸	۲۲/۱۶
pCmb	سنگ مرمر	پرکامبرین	۹۹۷/۵	۲/۳۴
Qft2	مخروط‌افکنه و رسوب‌های پادگانه‌ی دره‌یی	کواترنر	۲۸۲۲/۲	۶/۶۱
pd	پریدوتیت	تریاس-کرتاسه	۲۲۲۳/۹	۵/۲۱
Klsm	سنگ‌آهک و دولومیت	کرتاسه	۲۷۷۲/۴	۶/۵
Kfsh	پلمه‌سنگ خاکستری	کرتاسه	۴۳۱۰/۶	۱۰/۱

کرده می‌شود (فیلیپس و همکاران ۲۰۰۶) و سطح زیر نمودار AUC به‌دست آمده معیاری از قدرت تفکیک مدل در تشخیص نقطه‌های بود و نبود دانسته می‌شود. با توجه به مرور منابع انجام شده (موسوی و همکاران ۲۰۱۷؛ گلکاریان و رحمتی ۲۰۱۸؛ فیلیپس و همکاران ۲۰۰۶) تفکیک مقدار AUC به ترتیب زیر طبقه‌بندی می‌شود: ضعیف (۰/۵-۰/۶)، متوسط (۰/۶-۰/۷)، خوب (۰/۷-۰/۸)، خیلی خوب (۰/۸-۰/۹)، و عالی (۰/۹-۱). یکی از مهم‌ترین مزیت‌های مدل MaxEnt که در این تحقیق به‌کار رفت، توانایی شناسایی کردن مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار و تحلیل کردن حساسیت متغیرها با روش جک‌نایف است (فیلیپس و همکاران ۲۰۰۶). بعد از تلفیق کردن همه‌ی نقشه‌ها با یک‌دیگر نقشه‌ی نهایی توان آب زیرزمینی تهیه، و عامل‌های مؤثر بر آن شناسایی کرده شد (شکل ۲).

روش بیشینه‌ی آنتروپی^۶

روش بیشینه‌ی آنتروپی یکی از روش‌های یادگیری ماشینی و روشی برای تخمین احتمال است که در سال‌های اخیر به گستردگی از جنبه‌های مختلف منابع طبیعی به‌کاررفته، و مبتنی بر نقطه‌های بود است (فیلیپس و همکاران ۲۰۰۶). به‌کاربردن مدل MaxEnt که روشی وابسته به نقطه‌های فقط بود است، منجر به حذف بی‌قطعیتی ناشی از نقطه‌های نبود می‌شود (فیلیپس و همکاران ۲۰۰۶). در این روش همبستگی سنج‌های مؤثر بر آب زیرزمینی با نقطه‌های بود (چشمه‌ها) محاسبه و با همبستگی متغیرها با ۱۰۰۰۰ نقطه‌ی تصادفی از منطقه (نقطه‌های شبه‌نبود) مقایسه کرده می‌شود (فیلیپس و همکاران ۲۰۰۶). ارزیابی کردن این مدل با منحنی ROC امکان‌پذیر است، که در آن احتمال تشخیص دادن صحیح نقطه‌های بود مدل با احتمال تشخیص صحیح نقطه‌های شبه‌نبود مقایسه

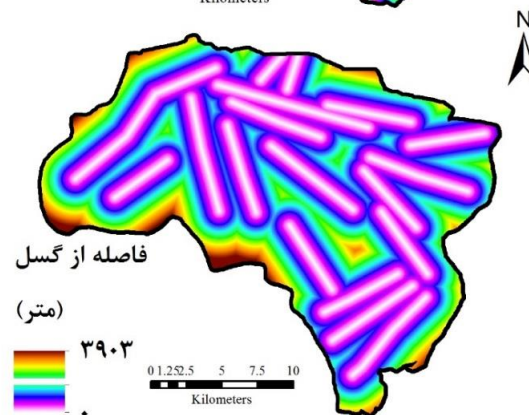
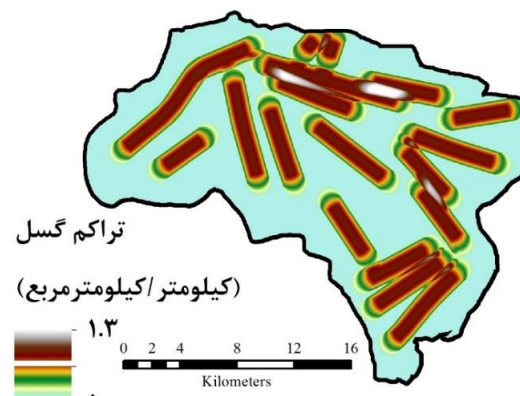
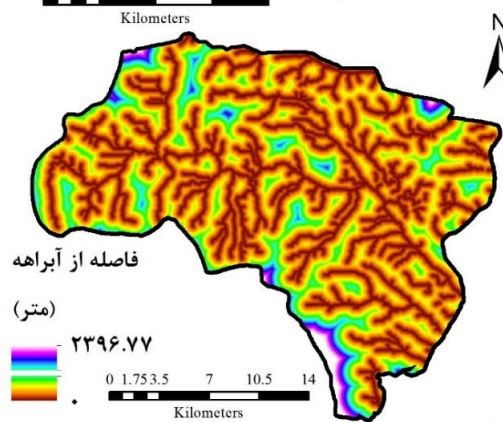
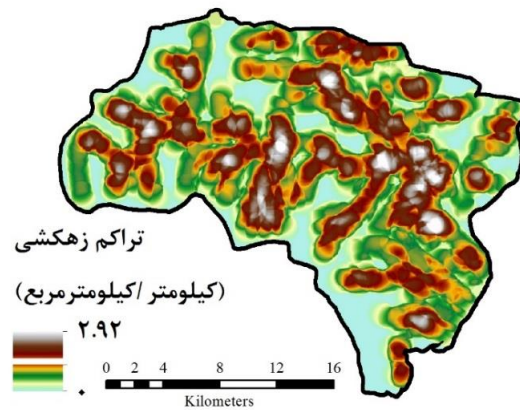
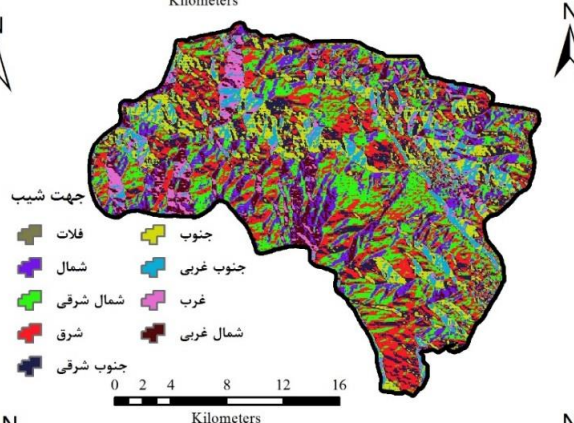
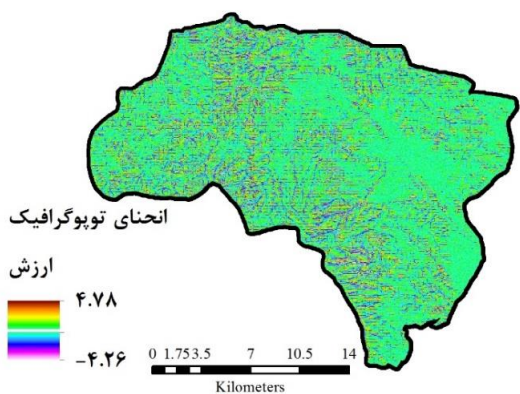
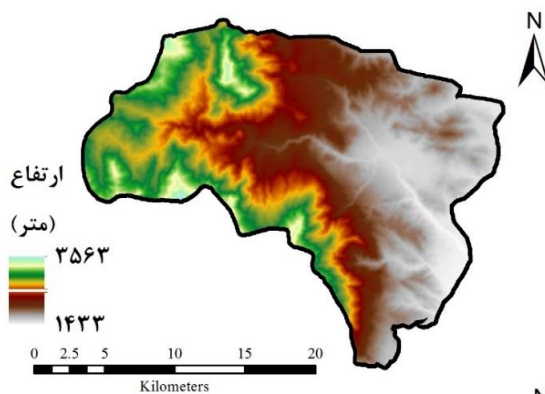
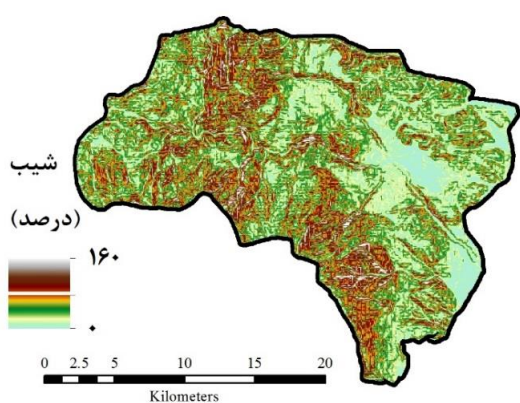


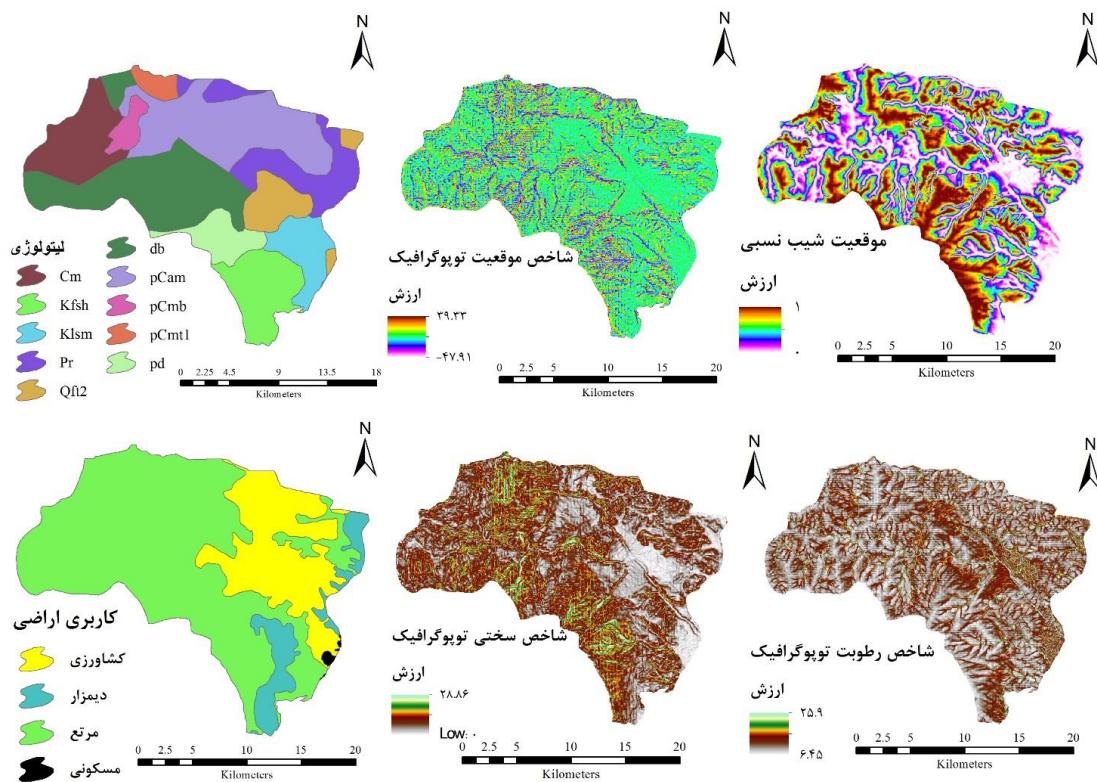
شکل ۲- نمودار مفهومی مراحل شناختن منطقه‌های دارای توان آب زیرزمینی در آبخیز پیرانشهر.

و غرب حوزه است. تراکم گسل حوزه نیز بین صفر تا ۱/۳ کیلومتر بر کیلومتر مربع متغیر است. آبخیز پیرانشهر ۱۰ لایه‌ی سنگ‌شناسی متفاوت دارد که بیش‌ترین سطح آن را سنگ دیاباز (۲۳٪) پوشانده است. چهار نوع کاربری کشاورزی، دیمزار، مرتع و منطقه‌های مسکونی دارد و کاربری مرتع بیش‌ترین سطح و منطقه‌های مسکونی کم‌ترین سطح را دارند. دامنه‌ی شاخص موقعیت پستی‌وبلندی ۴۷/۹۱- تا ۳۹/۳۳ است، که بیش‌تر آن ارزش میانسی دارد و منطقه‌های با ارزش بیش‌تر در بخش غربی حوزه متمرکز است. ارزش موقعیت شیب نسبی صفر تا یک است، و بیش‌تر سطح منطقه ارزش یک را دارد. دامنه‌ی متغیر شاخص سختی پستی‌وبلندی صفر تا ۲۸/۸۶، و در بیش‌تر سطح منطقه کم است. ارزش شاخص رطوبت پستی‌وبلندی ۶/۴۵ تا ۲۵/۹ است و بیش‌تر سطح منطقه ارزش کمی دارد.

نتایج

شکل ۳ لایه‌های به‌کاررفته برای شناختن منطقه‌های دارای توان آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. دامنه‌ی لایه‌ی ارتفاع بین ۱۴۳۳ تا ۳۵۶۳ متر از تراز دریا متغیر است و ارتفاع از شرق به غرب حوزه افزایش می‌یابد. شیب آبخیز صفر تا ۱۶۰٪، و شیب منطقه‌های غربی بیش‌تر از منطقه‌های شرقی است. انحنا پستی‌وبلندی دامنه ۴/۲۶- تا ۴/۷۸ است و بیش‌تر منطقه کوهستانی است، و انحنا پستی‌وبلندی نیز آن را تایید می‌کند. بیش‌ترین فاصله از آب‌راه ۲۳۹۶ متر در جنوب حوزه، و کم‌ترین آن صفر است. تراکم زه‌کشی آبخیز پیرانشهر از صفر تا ۲/۹۲ کیلومتر بر کیلومتر مربع متغیر است، و این نشان‌دهنده‌ی تراکم زیاد زه‌کشی در این حوزه است که کوهستانی‌بودن منطقه را نشان می‌دهد. دامنه‌ی متغیر لایه‌ی فاصله از گسل صفر تا ۳۹۰۳ متر است، که بیش‌ترین آن در جنوب غربی



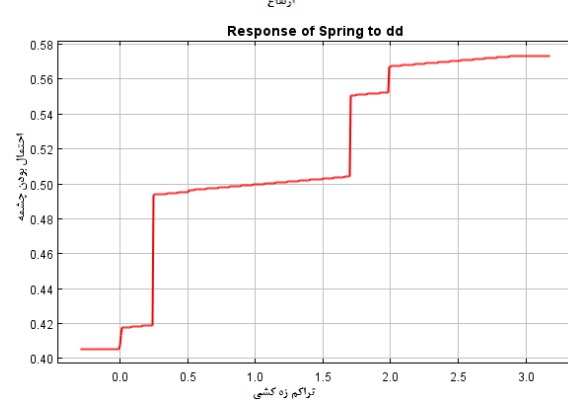
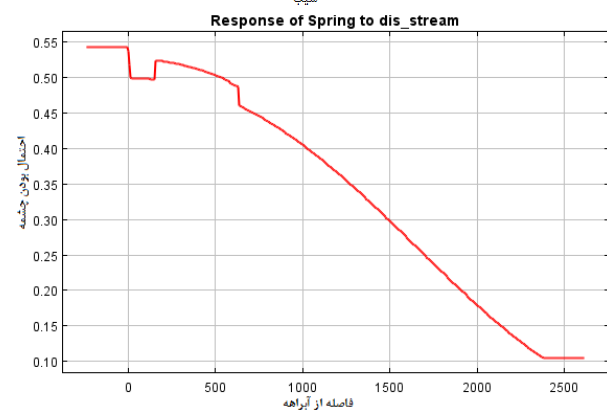
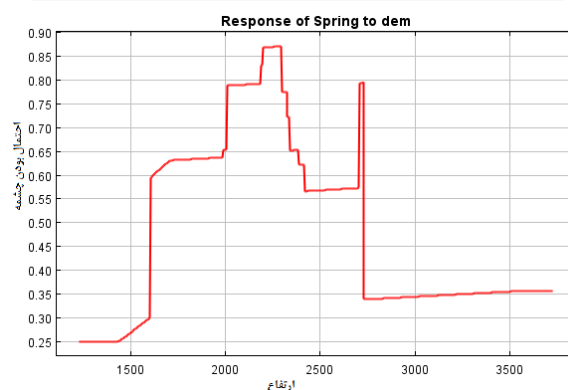
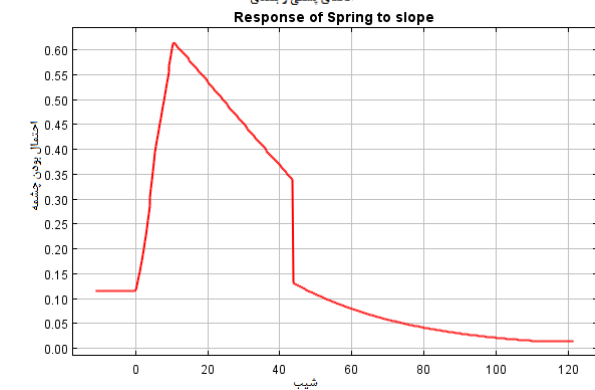
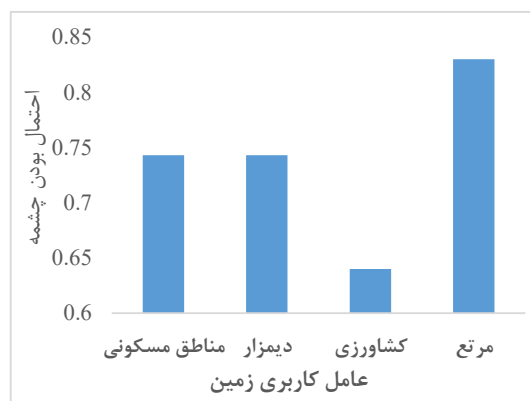
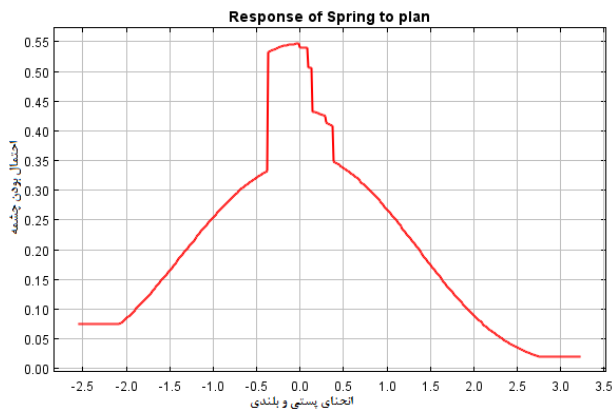
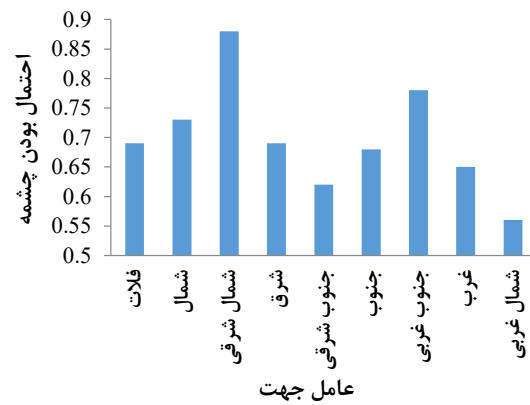
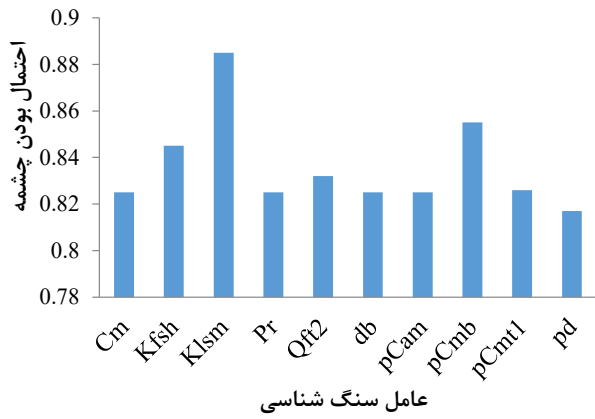


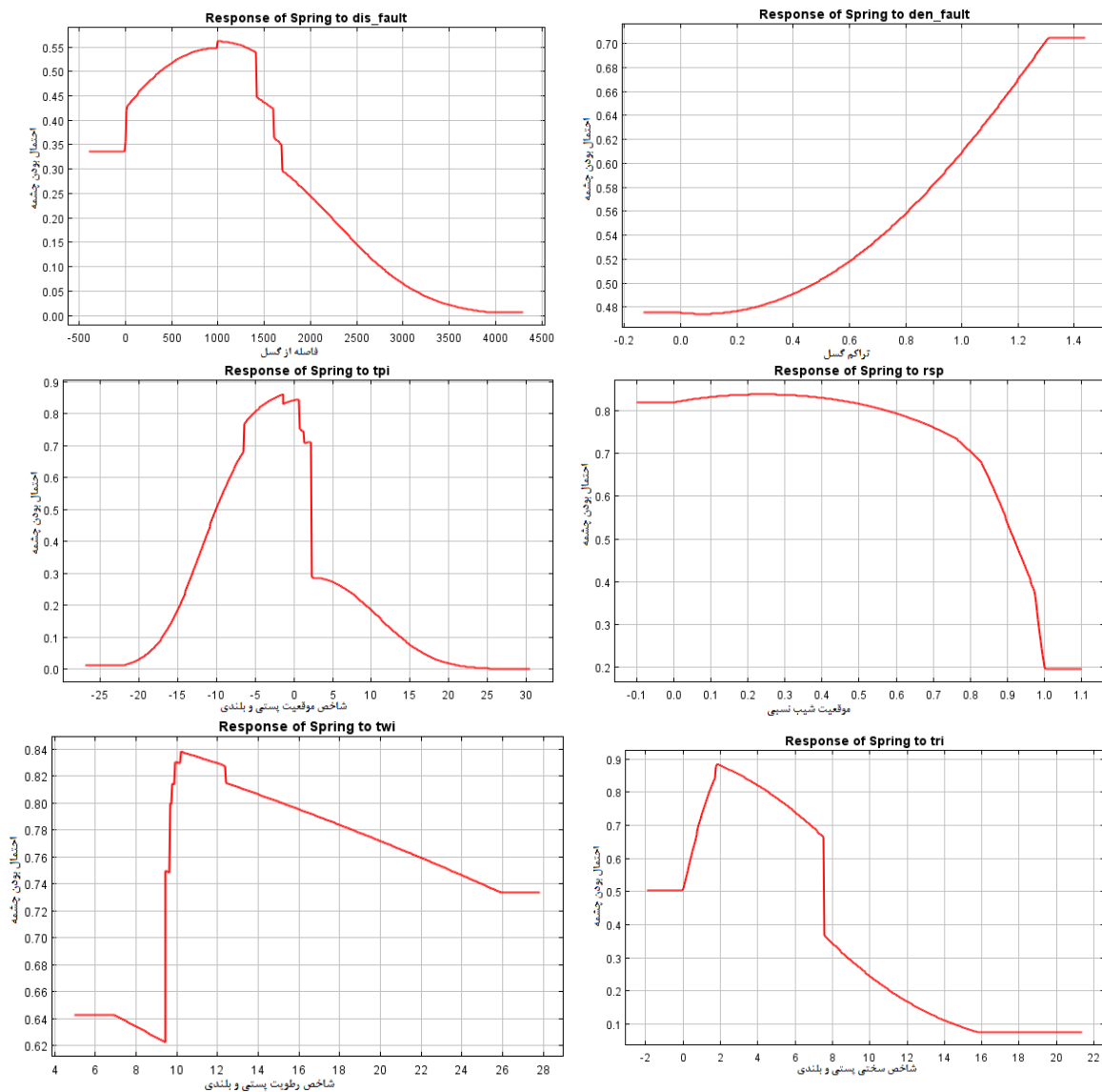
شکل ۳- نقشه‌ی سنجه‌های به کاررفته در توان منابع آب زیرزمینی در آبخیز پیرانشهر.

زمین، انحنا، پستی و بلندی، مدل رقمی ارتفاع، شیب، تراکم زه‌کشی، فاصله از آب‌راه، تراکم گسل، فاصله از گسل، موقعیت شیب نسبی، شاخص موقعیت پستی و بلندی، شاخص سختی پستی و بلندی و شاخص رطوبت پستی و بلندی را نشان می‌دهد.

شکل ۴ تأثیر سنجه‌های به کاررفته برای شناسایی کردن منطقه‌های دارای توان آب زیرزمینی و اثر آن‌ها بر پیش‌بینی مدل MaxEnt را نشان می‌دهد. این شکل به ترتیب از راست به چپ سنجه‌های جهت شیب، سنگ‌شناسی، کاربری

مهم ترین عامل های مؤثر بر توان آب زیرزمینی...

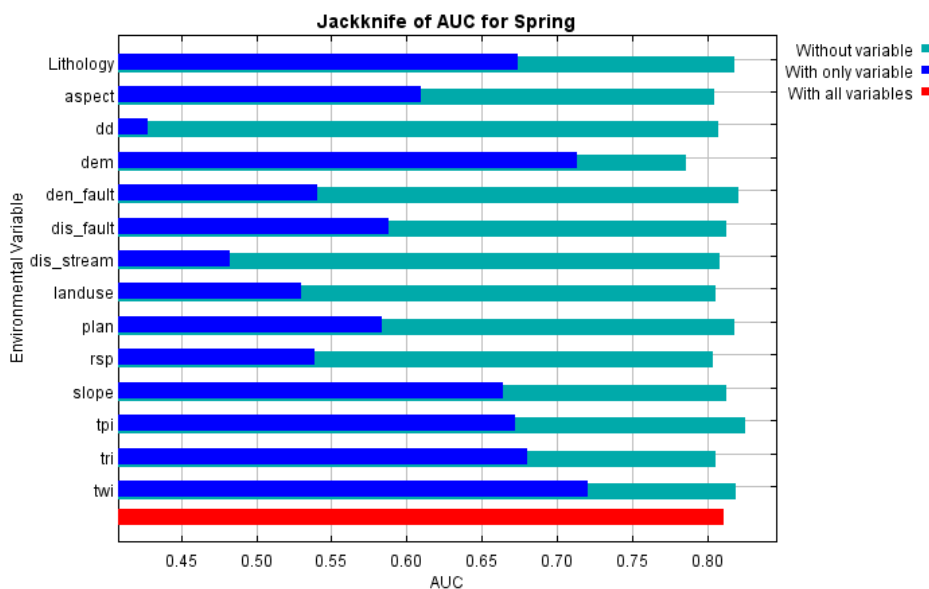




شکل ۴- تأثیر سنجه‌های به‌کاررفته بر پیش‌بینی مدل MaxEnt.

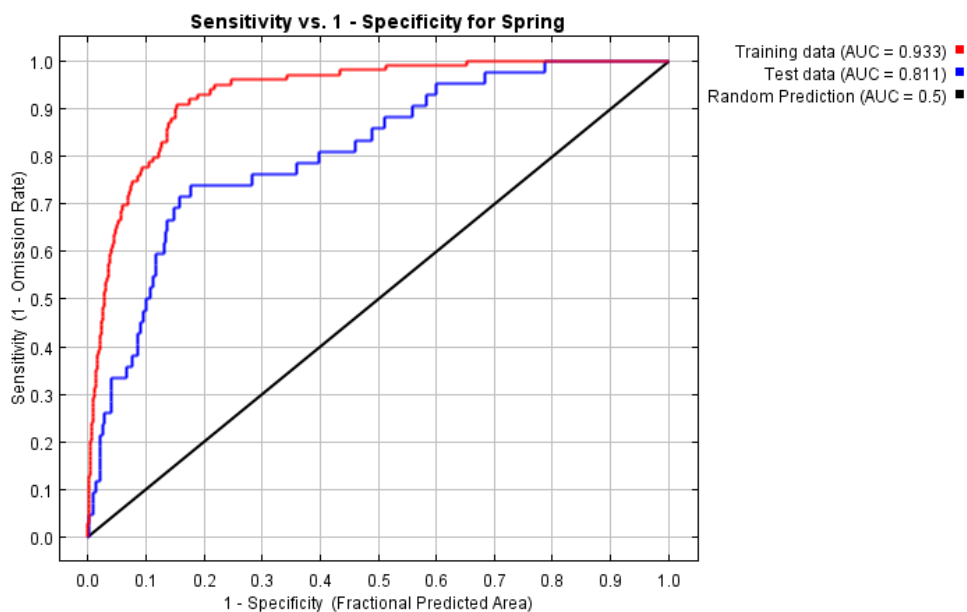
شیب (۰.۶۱٪)، فاصله از گسل (۰.۵۸/۵٪)، انحنای پستی و بلندی (۰.۵۷/۵٪)، تراکم گسل (۰.۵۴٪)، موقعیت شیب نسبی (۰.۵۳/۵٪)، کاربری زمین (۰.۵۲٪)، فاصله از آبراه (۰.۴۷٪) و تراکم آبراه (۰.۴۳٪) در پیش‌بینی منطقه‌های دارای توان آب زیرزمینی تأثیرگذار بود.

شکل ۵ نتیجه‌ی از نمودار جک‌نایف برای تعیین کردن مهم‌ترین سنجه‌های تأثیرگذار و سهم هر یک از سنجه‌ها را در پیش‌بینی مدل نشان می‌دهد. شاخص رطوبت پستی و بلندی (۰.۷۲/۵٪)، ارتفاع (۰.۷۲٪)، سنگ‌شناسی (۰.۶۸٪)، سختی پستی و بلندی (۰.۶۷/۵٪)، موقعیت پستی و بلندی (۰.۶۷٪)، شیب (۰.۶۶٪)، جهت



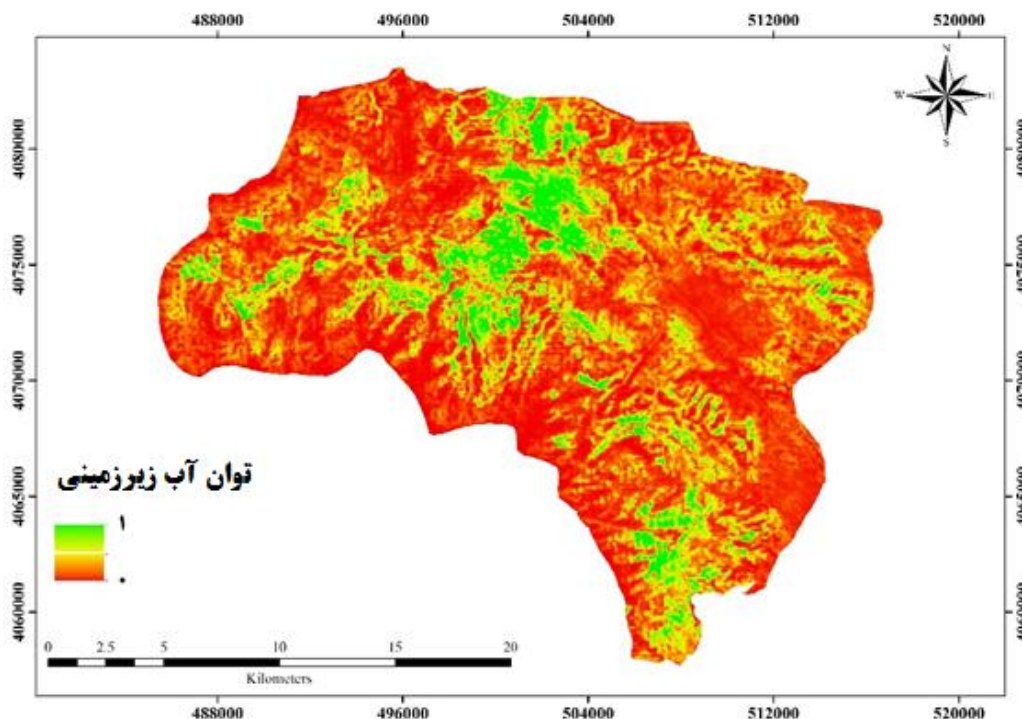
شکل ۵- نتیجه‌ی آزمون جک‌نایف برای تعیین مهم‌ترین سنجه‌ها و تأثیر آن‌ها بر مدل‌سازی.

شکل ۶ نتیجه‌ی ارزیابی عمل‌کرد مدل در آموزش و اعتبارسنجی را بر اساس AUC به‌دست آمده از منحنی ROC نشان می‌دهد. دقت مدل در مرحله‌ی آموزش ۹۳٪ (عالی) و در مرحله‌ی اعتبارسنجی ۸۱٪ (خیلی خوب) بود.



شکل ۶- منحنی ROC و مقدار AUC محاسبه‌شده برای ارزیابی کردن عمل‌کرد مدل.

شکل ۷ نقشه‌ی نهایی توان آب زیرزمینی را در حوزه نشان می‌دهد. ۳۳٪ از حوزه توان آب زیرزمینی دارد. در این شکل عدد صفر به معنای توان آب زیرزمینی کم‌تر و عدد ۱ به معنای توان آب زیرزمینی بیش‌تر است.



شکل ۷- نقشه‌ی توان آب زیرزمینی در آبخیز پیرانشهر.

بیش‌تر منطقه پراکنده اند باعث شده است که توان آب زیرزمینی در بیش‌تر حوزه کم باشد. در بخش کاربری زمین، مرتع بیش‌ترین تأثیر را بر توان آب زیرزمینی داشت. این با نتیجه‌ی ثیلاگواتی و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد، در حالی که آل‌آبادی و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که منطقه‌های کشاورزی و شهری نقش بیش‌تری در توان دارند. تراکم پوشش مرتع‌های آبخیز پیرانشهر در بخش مرکزی حوزه زیاد است و به همین دلیل نفوذپذیری و توان آب زیرزمینی در این بخش از حوزه بیش‌ترین مقدار بود. دامنه‌ی میانی انحنای پستی‌وبلندی بیش‌ترین تأثیر را بر توان آب زیرزمینی داشت، و بیش‌تر منطقه‌ها مقعر نشان داده شد، که دلیل آن کاهش شیب در این منطقه‌ها و نیاز به زمان بیش‌تر برای نفوذپذیری است. آل‌آبادی و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان دادند که انحنای کم‌تر از ۱ و محدوده‌ی میانی بیش‌ترین تأثیر را بر توان آب زیرزمینی دارد.

بیش‌ترین تعداد چشمه و مساحت دارای توان آب زیرزمینی در دامنه‌ی ارتفاعی ۲۰۰۰ تا ۲۷۰۰ متر بود، که به دلیل تراکم زیاد گسل در این بازه‌ی ارتفاعی و نفوذکردن آب بیش‌تر است، و با نتیجه‌ی ذبیحی و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. با افزایش ارتفاع، کاهش توان آب زیرزمینی رخ داده است که با نتیجه‌ی رزندی و همکاران (۲۰۱۷) و آل‌آبادی و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد و دلیل آن را کاهش یافتن ضخامت آبخوان در ارتفاعات زیاد نشان دادند، که برای حوزه‌ی پیرانشهر نیز صدق می‌کند. در

بحث و نتیجه‌گیری

از آن‌جا که اکتشاف آب‌های زیرزمینی با روش‌های سنتی هزینه‌بر و زمان‌بر است، تهیه‌کردن نقشه‌ی توان آب زیرزمینی با روش‌های نوین یادگیری ماشینی مثل بیشینه‌ی آنتروپی ضروری است. در این پژوهش نقشه‌ی توان آب زیرزمینی آبخیز پیرانشهر با در نظر گرفتن متغیرهای محیطی تأثیرگذار و با روش بیشینه‌ی آنتروپی تهیه کرده شد. نتیجه‌های پژوهش نشان داد که لایه‌های شاخص رطوبت پستی‌وبلندی (گلکاریان و رحمتی ۲۰۱۸)، ارتفاع (رضوی و همکاران ۲۰۱۷؛ لی و همکاران ۲۰۱۹)، سنگ‌شناسی (عرب‌عامری و همکاران ۲۰۱۷؛ آروبلالاجی و همکاران ۲۰۱۹)، سختی پستی‌وبلندی، موقعیت پستی‌وبلندی، و شیب (رضوی و همکاران ۲۰۱۷) به‌ترتیب مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار بر توان آب زیرزمینی بود. در سنجه‌ی جهت شیب، جهت شمال شرقی به‌علت دریافت‌کردن بارش بیش‌تر نقش بیش‌تری در توان آب زیرزمینی داشت و بیش‌ترین تعداد چشمه‌ها در این جهت بود. در بخش سنگ‌شناسی تناوب سنگ‌آهک و دولومیت و سنگ مرمر بیش‌ترین میزان تأثیر را در توان آب زیرزمینی داشت. البته تأثیر بقیه‌ی سازندها و سنگ‌های حوزه نیز بیش‌تر از ۸۰٪ بود، که اهمیت سنگ‌شناسی را در توان آب زیرزمینی نشان می‌دهد و با نتیجه‌ی ذبیحی و همکاران (۲۰۱۵)، آگاروال و گارگ (۲۰۱۶) و رزندی و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. اثر سازندها و سنگ‌هایی مثل سنگ‌های دگرگونی و پلمه‌سنگ‌ها که در

پیدا کرد. شاخص موقعیت پستی و بلندی در دامنه‌ی ۸- تا ۴ (دامنه‌ی میانی) بیش‌ترین تأثیر را بر توان آب زیرزمینی داشت، و با افزایش یافتن TPI توان آب کاهش پیدا کرد. با افزایش یافتن سختی پستی و بلندی، توان آب زیرزمینی کاهش یافت، که با نتیجه‌ی آروبلالاجی و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. نتیجه‌ها نشان داد که رطوبت پستی و بلندی در دامنه‌ی ۹ تا ۱۸ بیش‌ترین تأثیر را بر توان آب زیرزمینی داشت. مشارکت این سنجه در کل دامنه‌ی ۶/۴۵ تا ۲۵/۹ بیش‌تر از ۶۰٪ بود. آروبلالاجی و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که با افزایش TWI توان آب زیرزمینی نیز افزایش می‌یابد، در حالی که تحقیق ما در اندازه‌های بیش از ۱۰ توان کاهش می‌یافت.

منحنی ROC نشان داد که دقت مدل در برآورد کردن منطقه‌های دارای توان آب زیرزمینی هم در مرحله‌ی آموزش و هم در مرحله‌ی اعتبارسنجی به‌ترتیب عالی و خیلی خوب است، که بر اساس نظر فیلیپس و همکاران (۲۰۰۶) به معنای عمل کرد عالی مدل است. بر اساس نتیجه‌های به‌دست‌آمده می‌توان گفت که مدل MaxEnt توانایی زیادی در شناختن منطقه‌های دارای توان آب زیرزمینی دارد. به‌دلیل سرعت و دقت زیاد مدل پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های مشابه به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه که کم‌بود امکانات و منابع مالی هست، و اکتشاف آب‌های زیرزمینی با روش‌های لاگ حفاری و ژئوفیزیک زمان‌بر است، با هدف بهره‌برداری مطمئن از این منابع به‌کار برده شود. محققان دیگر از جمله (پارک ۲۰۱۴؛ رزندی و همکاران ۲۰۱۷) و گلکاریان و رحمتی (۲۰۱۸) نیز توانایی این مدل را تایید کرده‌اند. به‌دلیل افزایش یافتن جمعیت (نرخ رشد ۱/۳۱٪ در سال‌های ۷۵ تا ۹۵) و برداشتن بیش‌از اندازه از چشمه‌ها به هدف‌های مختلف کشاورزی، صنعتی و خانگی، به‌کاربردن نتیجه‌ی این تحقیق در مدیریت کردن منابع آب زیرزمینی آبخیز پیرانشهر پیشنهاد می‌شود.

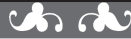
این دامنه‌ی ارتفاعی جهت شمال شرقی بیش‌ترین سطح را دارد که اثر را تشدید کرده است. با افزایش شیب، توان آب زیرزمینی کاهش پیدا کرد، که دلیل آن نیز افزایش یافتن روان‌آب و کاهش یافتن نفوذپذیری در شیب‌های زیاد است، و با نتیجه‌ی آگاروال و گارگ (۲۰۱۶)، دنگ و همکاران (۲۰۱۶)، عرب عامری (۲۰۱۸) و لی و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. با افزایش تراکم آب‌راه توان آب زیرزمینی کاهش پیدا کرد، که نشان‌دهنده‌ی کاهش یافتن نفوذ آب به‌دلیل خروج آب به صورت روان‌آب است که با نتیجه‌ی ذبیحی و همکاران (۲۰۱۵) و آگاروال و گارگ (۲۰۱۶) که رابطه‌ی معکوسی بین تراکم آب‌راه و توان آب زیرزمینی یافتند مطابقت دارد.

بین فاصله از آب‌راه و توان آب هم رابطه‌ی معکوس بود و با افزایش یافتن فاصله از آب‌راه توان کم‌تر شد. این یافته ارتباط بین آب زیرزمینی و آب سطحی، و تأثیرگذاری آب سطحی بر آب زیرزمینی را با کاهش نفوذپذیری نشان می‌دهد. عرب عامری و همکاران (۲۰۱۸) و ذبیحی و همکاران (۲۰۱۵) نیز ارتباط بین آب زیرزمینی و آب سطحی را تأکید کردند. بین تراکم گسل و توان آب زیرزمینی رابطه‌ی مستقیمی بود که نشان‌دهنده‌ی اهمیت گسل‌ها در تغذیه‌ی آب زیرزمینی است، و با نتیجه‌ی رحمتی و همکاران (۲۰۱۵)، ثیلاگوانی و همکاران (۲۰۱۵) و دنگ و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد، در حالی که ذبیحی و همکاران (۲۰۱۵) رابطه‌ی معکوس بین این دو را نشان دادند و دلیل آن را نفوذکردن آب به اعماق بر اثر تراکم زیاد گسل و پیدا نشدن آب در سطح زمین نشان دادند. بین فاصله از گسل و تعداد چشمه‌ها رابطه‌ی معکوس بود و با افزایش یافتن فاصله از گسل توان آب زیرزمینی کم‌تر شد. یکی از دلایل آن افزایش یافتن نفوذ آب زیرزمینی در جاهای نزدیک به گسل است، که با نتیجه‌ی ذبیحی و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد.

توان آب زیرزمینی با افزایش یافتن موقعیت شیب نسبی کاهش

- Agarwal R, Garg PK. 2016. Remote Sensing and GIS-based groundwater potential & recharge zones mapping using multi-criteria decision analysis making a technique. *Water Resources Management*. 30: 243–260.
- Al-Abadi 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 Resources Management*. 2(3): 265–283.
- Arabameri AR, Sohrabi M, Rezaei K, Yamani M, Shirani K. 2018. Simulation of Najaf-Abad watershed groundwater using data-driven ensemble model EBF-Index of entropy. *Journal of Water and Soil Conservation*. 25(2): 25–48. (In Persian).
- Arulbalaji P, Padmalal D, Sreelash K. 2019. GIS and AHP techniques Based Delineation of Groundwater potential Zones: a case study from the southern Western Ghats, India. *Scientific Reports*, 9: 2082, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38567-x>.
- Asadi Nalivan O, Ghiasi SS, Feiznia S, Saghazade, N. 2018. Spatial and temporal variations of nitrate concentration in groundwater. *Journal Range & Watershed Management*. 71 (2): 307–319. (In Persian).
- Deng F, Deng Z, Lv D, Wang D, Duan H, Xing Z. 2016. Application of Remote Sensing and GIS analysis in groundwater potential estimation in west Liaoning Province, China. *Journal of Engineering Research*. 4(3): 1–17.
- Golkarian A, Rahmati O. 2018. Use of maximum entropy model to identify the key factors that influence groundwater availability on the Gonabad Plain, Iran. *Environmental Earth Sciences*. 77: 369.
- Guo-Liang D, Yong-Shuang Z, Javed I, Xin Y. 2017. Landslide susceptibility mapping using an integrated model of information value method and logistic regression in the Bailongjiang watershed, Gansu Province, China, *Journal of Mountain Science*. 14(2): 249–268.
- Jothibasur A, Anbazhagan S. 2016. Modeling groundwater probability index in Ponnaiyar River basin of South India using the analytic hierarchy process, *Model. Earth Systems and Environment*. 2: 109.
- Lee S, Hong SM, Jung HS. 2018. GIS-based groundwater potential mapping using artificial neural network and support vector machine models: The case of Boryeong city in Korea. *Geocarto International*. 33: 847–861.
- Lee S, Hyun Y, Lee M. 2019. Groundwater Potential Mapping Using Data Mining Models of Big Data Analysis in Goyang-si, South Korea. *Sustainability*. 11: 1678.
- Mousavi SM, Golkarian A, Naghibi SA, Kalantar B, Pradhan B. 2017. GIS-based groundwater spring potential mapping using data mining boosted regression tree and probabilistic frequency ratio models in Iran. *Geoscience*. 3(1): 91–115.
- Naghibi SA, Pourghasemi HR, Abbaspour K. 2018. A comparison between ten advanced and soft computing models for groundwater potential assessment in Iran using R and GIS. *Theoretical and Applied Climatology*. 131(3–4): 967–984.
- Park NW. 2014. Using maximum entropy modeling for landslide susceptibility mapping with multiple geo-environmental data sets. *Environment Earth Science*. 73(3): 937–949.
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geo-

- graphic distributions. *Ecological Modelling*. 190: 231–259.
- Rahmati O, Nazari Samani A, Mahdavi M, Pourghasemi HR, Zeinivand H. 2015. Groundwater potential mapping at Kurdistan region of Iran using the analytic hierarchy process and GIS. *Arab Journal Geosciences*. 8: 7059–7071.
- Razandi Y, Farokhzadeh B, Yousefzadeh M, Teimurian T. 2017. Applying Maximum Entropy algorithm (MAXENT) in Groundwater potential mapping, Case study: Hamedan-Bahar Plain. *Journal of Irrigation & Water Engineering*. 8(29): 110-123. (In Persian).
- Razavi V, Mesgari M, Kazemi K. 2017. Evaluation and comparison of frequency ratio, statistic index and entropy methods for groundwater potential mapping using GIS (Case Study: Jahrom Township). *Journal of EcoHydrology*. 4(3): 725–736. (In Persian).
- Sahoo S, Munusamy SB, Dhar A, Kar A, Ram P. 2017. Appraising the accuracy of multi-class frequency ratio and weights of evidence method for delineation of regional groundwater potential zones in canal command system. *Water Resources Management*. 31: 4399–4413.
- Sener E, Sener S, Davraz A. 2018. Groundwater potential mapping by combining fuzzy analytic hierarchy process and GIS in Bey,sehir Lake Basin, Turkey. *Arabian Journal Geoscience*. 11: 1–21.
- Tehrany MS, Pradhan B, Jebur MN. 2013. Spatial prediction of flood-susceptible areas using rule-based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. *Journal of Hydrology*. 504: 69–79.
- Thilagavathi N, Subramani T, Suresh M, Karunanidhi D. 2015. Mapping of groundwater potential zones in Salem Chalk Hills, Tamil Nadu, India, using Remote Sensing and GIS techniques. *Environment Monitoring Assessment*. 187(164): 1–17.
- Yeh HF, Cheng YS, Lin HI, Lee CH. 2016. Mapping groundwater recharge potential zone using a GIS approach in Hualian River, Taiwan. *Sustainable Environment Research*. 26: 33–43.
- Zabihi M, Pourghasemi HR, Behzadfar M. 2015. Groundwater Potential Mapping using Shannon's Entropy and Random Forest Models in the Bojnourd Township. *Journal of EcoHydrology*. 2(2): 221–232. (In Persian).



Watershed Management Research

VOL. 33, No. 1, Ser. No: 126, Spring 2020, pp. 56 -71
DOI: 10.22092/wmej.2019.126453.1223

The Most Important Factors that Affect the Potential of Groundwater Resources Piranshahr Watershed (West Azarbaijan) Using the MaxEnt Model and the GIS

Mehdi Teimouri

(Corresponding Author)* Assistant professor, Higher Education Complex of Shirvan, Iran

Omid Asadi Nalivan

Ph.D. in Watershed Management Sciences and Engineering, the Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

*Corresponding Author Email: m_teimouri@um.ac.ir

Received: 26 May 2019 Accepted: 03 September 2019

Abstract

Groundwater is the most important and vital natural resource in arid and semi-arid regions. The purpose of the study is to determine the potential of groundwater in different areas of the watershed and prioritize the factors affecting it. Fourteen indices were used which affect groundwater potential namely slope, elevation, slope aspect, topographic curvature, distance from any stream, drainage density, distance from a fault, fault density, topography humidity index, lithology, land use, relative slope position, topographic position, and were randomly classified ۳۰, springs ۱۴۵ topographic hardness. Moreover, from the were categorized as the test data. The maximum entropy ۷۰ as the validation data and method and the MaxEnt model was used to prioritize the effective factors and zonation of groundwater potential using the ArcGIS in the Piranshahr Watershed. Further, the ROC of the ۳۳,۶ model was used to evaluate the developed model. The results indicated that watershed had groundwater potential, which is located mostly in its center. Based on the jackknife chart, humidity, topography, DEM, lithology (sandstone and shale), topographic hardness, topographic position and slope were the most important factors influencing the excellent) at) ۱۳ groundwater potential. The area under the curve shows an accuracy of very good) at the validation stage for the determination of the) ۱۸\ the training stage and watershed groundwater potential. The results of this research may be used to manage the groundwater resources of the Piranshahr Watershed, especially with regards to imminent population growth

Keywords: Geographic Information System, groundwater potential, machine learning, MaxEnt model, maximum entropy