

Application of the Statistical Index Model in Groundwater Potential Mapping in the Khorramabad Plain

F. Falah^{1*}, M. Daneshfar², S. Ghorbaninejad³

1,2,3 - M.S.C. student of Watershed Management, Department of Range and Watershed Management, Lorestan University, Iran.

*(Corresponding Author Email: falahfateme69@gmail.com)

Received: 06-03-2016

Accepted: 06-09-2016

پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم آباد با استفاده از روش شاخص آماری

فاطمه فلاح^{۱*}، مانیا دانشفر^۲، سمیرا قربانی نژاد^۳

۲،۱ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه لرستان.

*(نویسنده ی مسئول، E-Mail: falahfateme69@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۶/۱۶

Abstract

Both the population growth and the growing trend of industrialization have increased water demand in various fields. Therefore, nowadays groundwater resources are one of the most valuable water supply resources. This study aims at mapping the potential areas for groundwater resources in Khorramabad, Lorestan using the statistical index (SI) method. To achieve this, first the existed 212 wells with a yield greater than 11 L/s were randomly divided into two groups of training (70%) and validation (30%) wells. Afterward, the digital layers of the influencing groundwater potential factors (altitude, slope angle, slope aspect, plane curvature, topographic wetness index (TWI), land use, soil, geology, distance from rivers, drainage density, fault distance and fault density) were generated using ArcGIS 10.2 software. Then, the groundwater potential map of the study area was produced using the statistical index method in four potential zones namely low, moderate, high, and very high classes. Finally, assessment of the accuracy of the generated map was performed using the ROC curve (AUC) method. The Result showed the accuracy of the generated groundwater susceptibility map for the study area is 82%, which indicates the high accuracy of this method in the mapping of groundwater potential zones in the study area.

Keywords: Groundwater potential mapping, SI model, ROC curve, Khorramabad Plain.

چکیده

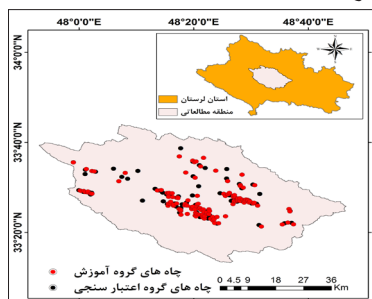
افزایش جمعیت و روند رو به رشد صنعتی نیاز آبی در زمینه های مختلف را افزایش داده است. بنابراین امروزه منابع آب زیرزمینی از با ارزش ترین منابع جهت تامین آب به شمار می روند. در این تحقیق پتانسیل یابی منابع آب های زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم آباد با استفاده از روش شاخص آماری، انجام شده است. بدین منظور، ابتدا ۲۱۲ حلقه چاه موجود در محدوده با آبدهی بیشتر از ۱۱ لیتر در ثانیه به صورت تصادفی به دودسته گروه آموزش (۷۰ درصد) و اعتبارسنجی (۳۰ درصد) تقسیم شدند. سپس لایه های رقومی متغیرهای مؤثر در پتانسیل آب های زیرزمینی (لایه ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، کاربری اراضی، خاک، زمین شناسی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل و تراکم گسل) در محیط ArcGIS 10.2 تهیه گردید. سپس با استفاده از روش همپوشانی وزنی نقشه نهایی پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم آباد در چهار طبقه مختلف پتانسیل شامل، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه گردید. در نهایت برای تعیین صحت نقشه نهایی از منحنی ROC استفاده گردید که میزان دقت نقشه نهایی بر اساس این منحنی ۸۲ درصد می باشد که بیانگر دقت بالای این روش در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی می باشد.

واژه های کلیدی: پتانسیل یابی آب های زیرزمینی، مدل شاخص آماری، منحنی ROC، دشت خرم آباد.

۲۰۰۸) مبین این مطلب است که عوامل تعیین کننده مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی متفاوت بوده و عواملی همچون خطوط و شکستگی‌ها، تراکم زهکشی، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، شدت بارندگی و بافت خاک از جمله عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی محسوب می‌گردد. همچنین محققین زیادی (Nobre, ۲۰۰۷؛ Ganapuram, ۲۰۰۹؛ Saha, ۲۰۱۰؛ Manap, ۲۰۱۲؛ DavoodiMoghadam و همکاران، ۲۰۱۳) با استفاده از روش‌های مختلف مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی، اقدام به پتانسیل‌یابی نموده‌اند و نتایج حاکی از این است که پتانسیل‌یابی با استفاده از مدل‌های مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی نتایج قابل قبولی داشته است.

در این مقاله، با استفاده از روش شاخص آماری (SI)^۲ که مبتنی بر وجود تعداد چاه‌ها و تعداد پیکسل‌ها در هر طبقه از هر نقشه می‌باشد، اقدام به پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در دشت خرم‌آباد گردیده است. روش شاخص آماری در بسیاری دیگر از مطالعات پیشین به کار گرفته شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. Regmi و همکاران (۲۰۱۴)، با استفاده از روش شاخص آماری (SI)، مدل وزنی شاهد (WOE)^۳ و روش نسبت فراوانی (FR)^۴ به پتانسیل‌یابی مناطق مستعد زمین‌لغزه در هیمالیا پرداختند. دقت روش‌های SI، WOE و FR با استفاده از منحنی AUC^۵ به ترتیب برابر ۷۵/۵، ۷۵/۶ و ۷۶/۸ درصد می‌باشد که بیانگر دقت بالای روش‌های مذکور در پتانسیل‌یابی مناطق مستعد زمین‌لغزه است. Pourghasemi و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از مدل‌های AHP^۶، LR^۷ و SI به پتانسیل‌یابی مناطق مستعد زمین‌لغزه در شمال تهران پرداختند و با استفاده از روش AUC، اقدام به بررسی دقت روش‌های مذکور نمودند. دقت روش‌های AHP، LR و SI به ترتیب برابر با ۷۵/۷، ۸۵/۲۰ و ۸۷/۳۷ درصد می‌باشد که بیانگر دقت بالای روش‌های مذکور در پتانسیل‌یابی می‌باشد. Zhao و همکاران (۲۰۱۵)، از مدل‌های CF^۸ و SI برای پتانسیل‌یابی زمین‌لغزه در منطقه شانسی در چین استفاده کردند. ۱۰۱ نقطه به‌عنوان گروه آموزش و ۴۴ نقطه جهت اعتبارسنجی با روش AUC استفاده شدند. دقت روش SI و CF به ترتیب ۷۰/۱۹ و ۷۰/۴۸ درصد می‌باشد که میزان قابل قبولی از دقت در پتانسیل‌یابی می‌باشد.

ساله، ۲۰۰۵-۱۹۵۶). موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان لرستان در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در لرستان، ایران

امروزه برداشت از آب‌های زیرزمینی بسیار بیشتر از میزان تغذیه طبیعی آن‌ها می‌باشد و اگر میزان آب در دسترس کم‌تر 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 بحرانی است (رنجبرمنش و همکاران، ۱۳۹۲). مناطق خشک و نیمه‌خشک همواره با مسائلی در زمینه کمبود آب مواجه بوده‌اند. در این بین افزایش جمعیت مزید بر علت شده است تا این منابع مهم وضعیت نابسامان‌تری پیدا کنند. منابع آب‌های زیرزمینی را می‌توان یک منبع مهم دینامیک طبیعی محدود قلمداد کرد که به دلیل نوساناتی که دارد اندازه‌گیری زمانی و فضایی آن مشکل می‌باشد. اگرچه منابع آب‌های سطحی از طریق منافذ و شکستگی‌های سطح زمین و طی فرآیند نفوذ به درون زمین نفوذ می‌یابند، اما برای یافتن سفره‌ی آب مطمئن دانستن این نکته کفایت نمی‌کند و داشتن اطلاعات راجع به سایر متغیرهای مؤثر در پتانسیل‌یابی نظیر ارتفاع زمین، سنگ‌شناسی، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، تراکم شبکه‌ی آبراهه‌ها، گسل و شکستگی‌های سطح زمین، خاک و سایر عوامل مؤثر لازم می‌باشد (علائی طالقانی و سعیدی کیا، ۱۳۹۲). سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۱، جهت طبقه‌بندی، تحلیل و بازیابی اطلاعات یکی از ابزارهای توانمند می‌باشد که امروزه به‌صورت گسترده‌ای جایگزین اکتشافات و آزمایش‌های مکانی شده است. صرفه‌جویی در زمان، هزینه، امکان انجام تحلیل‌های پیچیده داده‌های مکانی و غیرمکانی و انعطاف‌پذیری نسبت به موضوعات مختلف از ویژگی‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است که سبب استفاده روزافزون آن جهت مطالعه آب‌های زیرزمینی شده است. در واقع استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در کنار داده‌های مشاهده‌ای منجر به برآورد آسان و سیستمی مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی می‌گردد (Chowdhury و همکاران، ۲۰۱۰).

نتایج کار بسیاری از محققین (نظیر: محمدنژادآروق و همکاران، ۱۳۹۲؛ Sander: ۱۹۹۶؛ Das: ۱۹۹۷؛ Senar: ۲۰۰۵؛ Ganapuram,

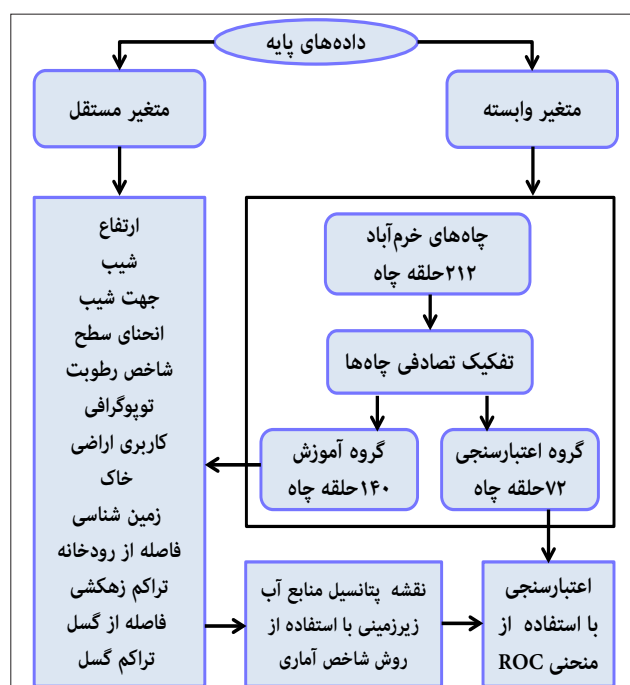
مواد و روش

• منطقه مورد مطالعه

دشت خرم‌آباد در مرکز استان لرستان بین عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۵ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی واقع گردیده است. حداکثر ارتفاع منطقه ۱۹۰۳ متر و حداقل آن ۹۲۹ متر هست. مساحت محدوده مطالعاتی ۲۵۱۷ کیلومترمربع می‌باشد. متوسط بارش سالانه محدوده مطالعاتی خرم‌آباد ۵۰۹ میلی‌متر و متوسط دمای آن ۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد است (آمار ۵۰

• انتخاب عوامل مؤثر در پتانسیل یابی منابع آب های زیرزمینی

دوازده لایه مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی (متغیرهای وابسته) در این تحقیق عبارت اند از: لایه ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، شاخص رطوبت توپوگرافی^۱ (TWI)، کاربری اراضی، خاک، زمین شناسی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل و تراکم گسل. که این لایه ها پس از آماده سازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به تعداد طبقات مشخصی، بر اساس منابع موجود، طبقه بندی شدند. فلوجارت روش تحقیق به کار گرفته شده در این مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- فلوجارت روش تحقیق به کار گرفته شده در پتانسیل یابی آب های زیرزمینی خرم آباد

• عوامل وابسته به توپوگرافی

ارتفاع، شیب، جهت شیب و انحنای سطح، چهار عامل وابسته به توپوگرافی هستند که در این تحقیق برای پتانسیل یابی آب های زیرزمینی در دشت خرم آباد بکار گرفته شده است. توپوگرافی و ارتفاع زمین بیانگر میزان آب نفوذی به زمین است، زیرا ارتفاع زیاد یک منطقه سبب کاهش نفوذ و افزایش رواناب می گردد و هرچه ارتفاع یک منطقه کمتر شود میزان بیشتری از آب های سطحی به درون زمین نفوذ می کند (ماه گلی و همکاران، ۱۳۸۸). لازم به ذکر است که ارتفاع یک منطقه در تعیین جهت و سرعت حرکت رواناب های سطحی مؤثر است (Abdalla, 2012). نقشه ارتفاع منطقه بر اساس مدل رقومی ارتفاع با دقت ۳۰ متر در ۵ طبقه در محیط نرم افزار ArcGis10.2 تهیه گردید. کمترین ارتفاع دشت مذکور ۹۲۹ متر و بیشترین ارتفاع ۱۹۰۳ متر می باشد.

این اختلاف ارتفاع سبب ایجاد شیب سطحی زمین می گردد. شیب سطحی زمین منجر به نفوذ آب های سطحی و پراکندگی آب های زیرزمینی می گردد (محمدنژاد آروق و همکاران، ۱۳۹۲).

در واقع وجود یک سفره آب زیرزمینی مطمئن تا حد زیادی به شیب توپوگرافی و ساختمانی یک منطقه مرتبط است (Abdalla, 2012). نقشه شیب محدوده مطالعاتی باتوجه به نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه در ۷ طبقه تهیه گردید. نقشه جهت شیب نیز با توجه به نقشه مدل رقومی ارتفاع در محیط نرم افزار ArcGis10.2 به دست آمد. این نقشه در نه کلاس، طبقه بندی شده است که شامل جهات اصلی، فرعی و مسطح می باشد. در نیمکره شمالی، جهت های شمالی و شرقی نسبت به جهت های جنوبی و غربی دارای پتانسیل بهتری از منابع آب هستند. در شیب های شمالی و شرقی میزان دریافت تشعشعات خورشیدی کمتر از شیب های جنوبی و غربی می باشد. لذا میزان تبخیر کم و رطوبت خاک بیشتر می باشد. همین امر در توسعه پوشش گیاهی در شیب های شمالی و شرقی مؤثر بوده و پوشش گیاهی متراکم تر در این مناطق سبب افزایش نفوذ رواناب های سطحی و تغذیه بیشتر آب های زیرزمینی می گردد.

انحنای سطح در تجزیه و تحلیل های محیطی، ضریب رواناب و نفوذپذیری نقش مهمی دارد (محمدنژاد آروق و همکاران، ۱۳۹۲). بر این اساس نقشه انحنای سطح زمین بر اساس مدل رقومی ارتفاع در نرم افزار ArcGis10.2 در سه طبقه مقعر، محدب و مسطح به دست آمد.

• نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)

یکی از شاخص های مؤثر در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی، شاخص رطوبت توپوگرافی می باشد. این شاخص بیانگر آن است که هر چه شیب یک منطقه بیشتر می شود میزان رطوبت موجود، به علت سریع تر از دسترس خارج شدن آب های سطحی، کاهش می یابد و در مقابل در مناطق با ارتفاع کمتر رطوبت بیشتری موجود است. در حقیقت این شاخص بیانگر ارتباط شیب سطحی زمین و میزان رطوبت در سطح زمین است. شاخص مذکور از طریق رابطه زیر به دست می آید که در این رابطه S و As به ترتیب بیانگر سطح ویژه حوزه آبخیز و درصد شیب زمین می باشد (Manap, 2013; Pourghasemi and Pourtaghi, 2014). در نهایت پس از تهیه نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، این نقشه به سه کلاس ۳-۶، ۶-۸، ۸-۱۸ و ۱۸- طبقه بندی شد.

$$TWI = \ln(As/S) \quad (1)$$

• کاربری اراضی، خاک و زمین شناسی

بررسی پدیده های سطحی و تأثیرگذار انسانی همچون آبیاری و کشاورزی می تواند جهت اطلاع یافتن از اوضاع منابع زیرسطحی مؤثر

واقع گردد. از این روست که می‌توان گفت انواع کاربری‌های مختلف چه تأثیری بر منابع آب‌های زیرزمینی دارند. همین‌گونه است که، پوشش گیاهی مناسب یک منطقه سبب افزایش نفوذ آب‌های سطحی می‌گردد و پوشش گیاهی ضعیف یک منطقه سبب افزایش رواناب و کاهش نفوذ می‌گردد (ماه‌گلی و همکاران، ۱۳۸۸). نقشه کاربری اراضی دشت خرم‌آباد بر اساس نقشه کاربری اراضی اداره کل منابع طبیعی استان لرستان در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. این نقشه به کلاس‌های مختلف زراعت، مرتع، باغ، جنگل و شهر طبقه‌بندی گردید. بافت و ساختمان خاک، پوشش گیاهی و شیب زمین از جمله عوامل مؤثر در نفوذ آب هستند. بدیهی است که نوع بافت خاک تأثیر مهمی در افزایش یا کاهش میزان نفوذ آب دارد (علیزاده، امین، ۱۳۹۱). نقشه خاک محدوده مطالعاتی با توجه به نقشه خاک ایران در ۳ کلاس انتی سول^۱، اینسپتی سول^{۱۱} و ورتی سول^{۱۳} حاصل گشت (مرکز تحقیقات منابع طبیعی کل کشور، ۱۳۹۲). از طرفی دیگر با توجه به نوع ساختار سنگ‌ها در هر دوره زمین‌شناسی، ساخت‌های گوناگون وجود دارد که دارای میزان تخلخل متفاوتی می‌باشند. بدیهی است که هرچه میزان منافذ و تخلخل بیشتر باشد میزان نفوذ و تغذیه آب‌های زیرزمینی بیشتر است (علیزاده، ۱۳۹۱). نقشه سنگ‌شناسی محدوده مطالعاتی خرم‌آباد با استفاده از نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی کشور در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه گردیده و در ۳ دسته طبقه‌بندی گردید. سه طبقه مورد بحث بر اساس سن زمین‌شناسی مربوط به دوره مزوزوئیک، سنوزوئیک و مزوزوئیک - سنوزوئیک می‌باشند که رسوبات این دوره‌ها دارای مقدار زیادی آهک می‌باشد و لذا فرسایش‌های کارستی متنوعی در محدوده مطالعاتی مشهود است. وجود کارست و آهک در مناطق زاگرس موید وجود منابع آب زیرزمینی و پتانسیل بالای این منابع در مناطق مذکور می‌باشد. در واقع می‌توان گفت ۱۸۱ حلقه چاه در تراس‌های آبرفتی دوره سنوزوئیک، ۱۱ حلقه چاه در کنگلومرا و ماسه‌سنگ دوره سنوزوئیک، ۵ حلقه چاه در سنگ‌آهک و شیل مربوط به سازندهای دوره مزوزوئیک (مشمول بر سازندهای گروه بنگستان)، ۵ حلقه چاه در چرت و سنگ‌های آهکی و ماسه‌سنگ‌های دوره سنوزوئیک- مزوزوئیک سازند امیران، ۳ حلقه چاه در مارن خاکستری، شیل و گل‌ولای سازند گورپی در دوره مزوزوئیک، ۲ حلقه چاه در سنگ آهک ضخیم سازند دوره سنوزوئیک، ۴ حلقه چاه در اسماری و سازند شهبازان دوره سنوزوئیک و نهایتاً یک حلقه چاه در رسوبات آئوسن دوره سنوزوئیک موجود است. عمده چاه‌ها در مناطقی با رسوبات آبرفتی وجود دارد که این رسوبات عمدتاً رسوباتی نفوذپذیر و متخلخل با قابلیت بالای نفوذپذیری و هدایت آب به لایه‌های زیرین زمین می‌باشد و دارای نقش مهمی در تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌باشند. بخشی دیگر از چاه‌ها نیز در رسوبات سخت و آهکی ایجاد شده است. رسوبات آهکی و ضخیم دارای شکستگی‌های هستند که موجب نفوذ آب و تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شوند.

• فاصله از رودخانه و تراکم زهکشی

نقشه فاصله از رودخانه بر اساس لایه رقومی شبکه آبراهه در دشت خرم‌آباد در نرم‌افزار ArcGis10.2 تهیه گشت. این نقشه در نهایت به ۵ دسته طبقه‌بندی شد. لیتولوژی واحدهای زمین‌شناسی، توپوگرافی و ساختارهای تکتونیکی و زمین‌شناسی یک منطقه نقش بسیار مهمی در نوع شبکه زهکشی و تراکم شبکه زهکشی منطقه دارد. در واقع، آبراهه‌ها را می‌توان نقاط ضعف سازندها تلقی نمود که بر اثر انحلال توسعه یافته و به شکل کنونی درآمده‌اند. آبراهه‌ها با نفوذپذیری رابطه عکس دارند در واقع تراکم شبکه آبراهه بیانگر انتقال آب و کاهش نفوذ می‌باشد (ماه‌گلی و همکاران، ۱۳۸۸). نقشه تراکم رودخانه‌های دشت خرم‌آباد نیز بر اساس نقشه رقومی شبکه آبراهه‌ها در این دشت در ۵ دسته طبقه‌بندی گردید.

• فاصله از گسل و تراکم گسل

نقشه فاصله از گسل بر اساس نقشه‌ی رقومی گسل‌های استان لرستان (اداره آبخیزداری استان لرستان، ۱۳۹۲)، در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ با استفاده از نرم‌افزار ArcGis10.2 حاصل شد. نقشه مذکور در ۵ کلاس طبقه‌بندی گردید. شکستگی‌ها و گسل‌های موجود در یک منطقه به‌عنوان نقاط مثبتی در جهت تغذیه آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته می‌شوند؛ زیرا این نقاط سبب تسهیل نفوذ آب‌های سطحی و رواناب‌ها به نقاط پایین‌تر درون زمین می‌گردند (ماه‌گلی و همکاران، ۱۳۸۸). نقشه‌ی تراکم گسل با توجه به لایه رقومی گسل‌های استان لرستان، در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد، تهیه و در ۴ کلاس طبقه‌بندی گردید.

• بررسی آمار چاه‌های دشت خرم‌آباد

به‌منظور پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد، نقشه موقعیت چاه‌های دشت مذکور تهیه و به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده است. در این محدوده مطالعاتی، ۲۱۲ حلقه چاه با دبی متوسط سالانه بیشتر از ۱۱ لیتر بر ثانیه وجود دارد (شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان، ۱۳۹۲). از این تعداد چاه، ۱۴۰ حلقه چاه (۷۰ درصد) به‌صورت تصادفی به‌عنوان گروه آموزش و ۷۲ حلقه چاه (۳۰ درصد باقی‌مانده) به‌عنوان گروه اعتبارسنجی، انتخاب شدند. شکل (۱) نشان‌دهنده موقعیت چاه‌های محدوده مطالعاتی خرم‌آباد می‌باشد.

• تعیین شاخص آماری (SI) عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی و تهیه

نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی

در این تحقیق، لایه‌های ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، کاربری اراضی، خاک، زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل و تراکم گسل به‌عنوان متغیرهای مستقل و دبی متوسط سالانه

چاه‌های گروه آموزش به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده‌اند. لایه‌های مذکور (متغیرهای مستقل)، به تعداد طبقات مشخص، بر اساس منابع علمی موجود و تحقیقات مشابه صورت گرفته، طبقه‌بندی شده و سپس با مشخص بودن تعداد چاه‌های موجود در هر طبقه و تعداد پیکسل‌های هر طبقه از طریق رابطه (۲)، اقدام به محاسبه شاخص آماری برای هرکدام از طبقات لایه‌های مذکور می‌شود. سپس، با اعمال وزن‌های حاصل شده به طبقات لایه‌های مختلف و توابع روی هم گذاری و ماشین حساب رستری در محیط نرم‌افزار ArcGis10.2 نقشه نهایی پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی حاصل شد.

$$W_{ij} = \ln\left(\frac{f_{ij}}{f}\right) = \ln\left(\frac{A^*_{ij}}{A_{ij}}\right) \times \ln\left(\frac{A}{A^*}\right) \quad (2)$$

در رابطه فوق، W_{ij} وزن هر طبقه در کلاس معین، f_{ij} تراکم چاه‌ها در کلاس i از پارامتر j ، A^*_{ij} مساحت چاه‌ها در کلاس i از پارامتر j ، A_{ij} مساحت کلاس i از پارامتر j ، A^* مساحت کل چاه‌ها در نقشه، A مساحت کلی نقشه و f تراکم چاه‌ها در کل نقشه می‌باشد.

• منحنی ROC^۳

منحنی ROC روش کمی و گرافیکی مناسبی جهت تعیین میزان

دقت مدل‌های پیش‌بینی مکانی و روش‌های داده‌کاوی محسوب می‌گردد. در این روش برای بررسی دقت نقشه نهایی از سی درصد چاه‌ها - گروه اعتبارسنجی که در پتانسیل‌یابی استفاده نشده- برای بررسی دقت نقشه نهایی استفاده می‌شود (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۴). در این منحنی میزان مثبت واقعی (بر روی محور x) و میزان مثبت کاذب (بر روی محور Y) در آستانه‌های مختلف نشان داده می‌شود (Kumar و Indrayan، ۲۰۱۱). هنگامی که حساسیت افزایش پیدا کند، میزان مثبت کاذب نیز افزایش می‌یابد. بنابراین منحنی ROC به ما اجازه می‌دهد تا میزان مثبت واقعی و مثبت کاذب را در هر نقطه بر روی منحنی بررسی و مقایسه کنیم (Akobeng، ۲۰۰۷). مساحت زیر این منحنی (AUC)^۴، بیانگر میزان دقت نقشه نهایی به صورت کمی و توانایی مدل در پیش‌بینی درست می‌باشد. مساحت مذکور توسط نرم‌افزارهای آماری همچون Medcalc13.3 با استفاده از اطلاعات استفاده نشده‌ای که برای اعتبارسنجی به صورت تصادفی در نظر گرفته می‌شود، محاسبه می‌گردد (MedCalc، ۲۰۱۴). در یک حالت ایده‌آل مقدار زیر نمودار برابر یک خواهد بود. این شاخص برای ارزیابی صحت مدل، شاخص مناسبی می‌باشد (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۳).

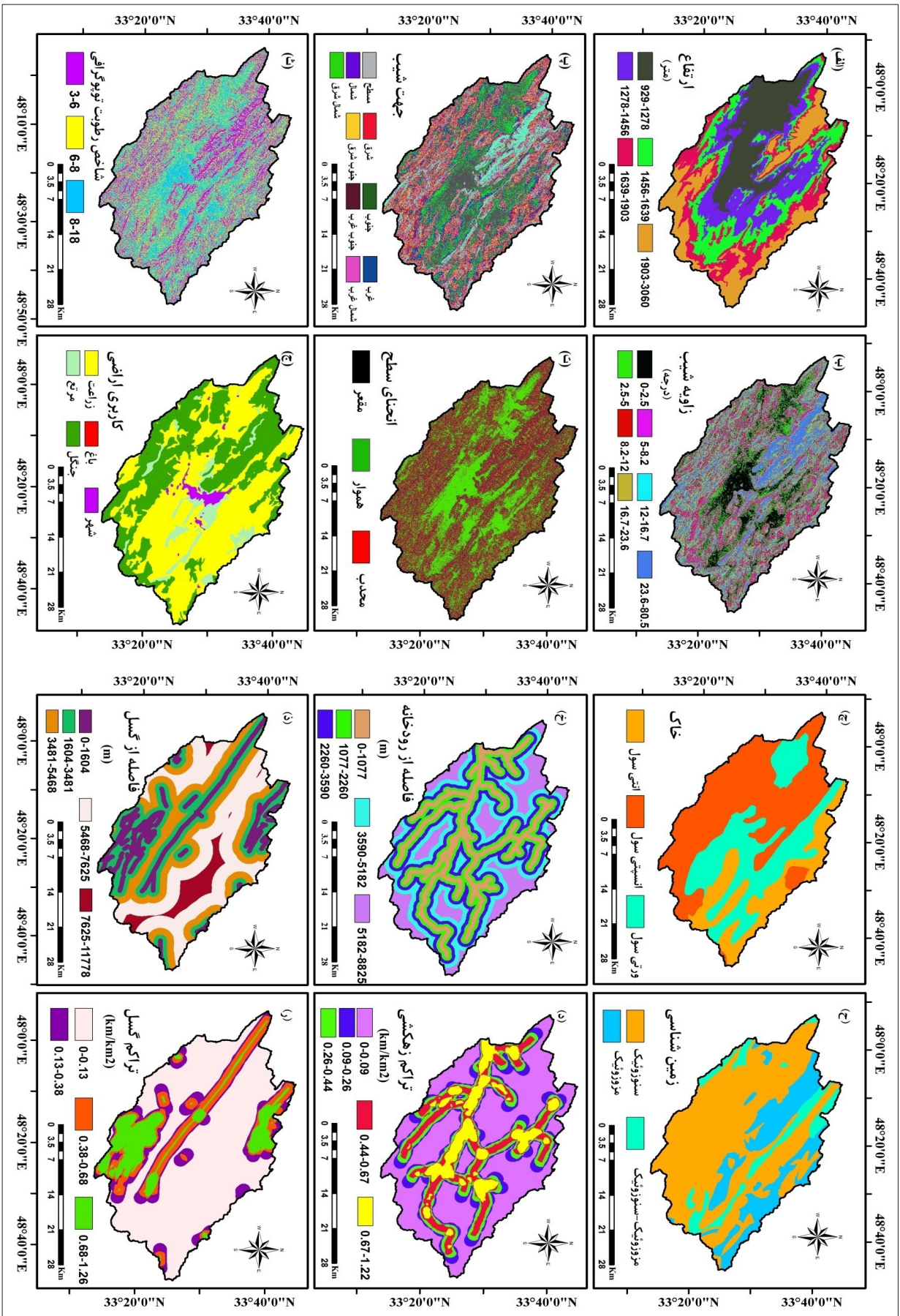
نتیجه می‌تواند حاکی از وجود تعداد زیاد چاه در مناطق شهری نسبت به وسعت این کاربری باشد. نتایج همچنین نشان داد از میان سه رده خاک موجود در محدوده مطالعاتی خاک‌های ورتی سول پتانسیل بیشتری دارند. نتایج بررسی نقشه فاصله از رودخانه و گسل و همچنین تراکم زهکشی نیز نشان داد که در مناطق با فاصله کمتر از رودخانه و تراکم زهکشی بیشتر، پتانسیل آب‌های زیرزمینی بیشتر است. در نهایت برای تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی خرم‌آباد، دوازده نقشه حاصله در محیط GIS با یکدیگر تلفیق شد و نقشه نهایی تهیه و در چهار طبقه مختلف پتانسیل، شامل مناطق با پتانسیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد که این نقشه در شکل (۴) نشان داده شده است. بر اساس این نقشه مناطق با پتانسیل زیاد و خیلی زیاد ۴۶ درصد و مناطق با پتانسیل کم و متوسط ۵۴ درصد از محدوده مطالعاتی را به خود اختصاص داده‌اند.

به طور کلی، مناطق با پتانسیل زیاد و خیلی زیاد در نواحی شمال تا جنوب شرق و همچنین در نواحی مرکزی و غربی محدوده مطالعاتی دیده می‌شوند. این نواحی دارای شیب‌های ۳ تا درصد، مسطح و هموار، با میزان شاخص رطوبت توپوگرافی بالا، دارای خاک‌های ورتی سول، فاصله کم‌تر از رودخانه و تراکم بالای زهکشی می‌باشند و از نظر کاربری اراضی مناطق شهری دارای پتانسیل بالایی هستند که می‌تواند به علت وجود چاه‌های زیاد حفر شده در مناطق شهری باشد.

نتایج و بحث

• تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی

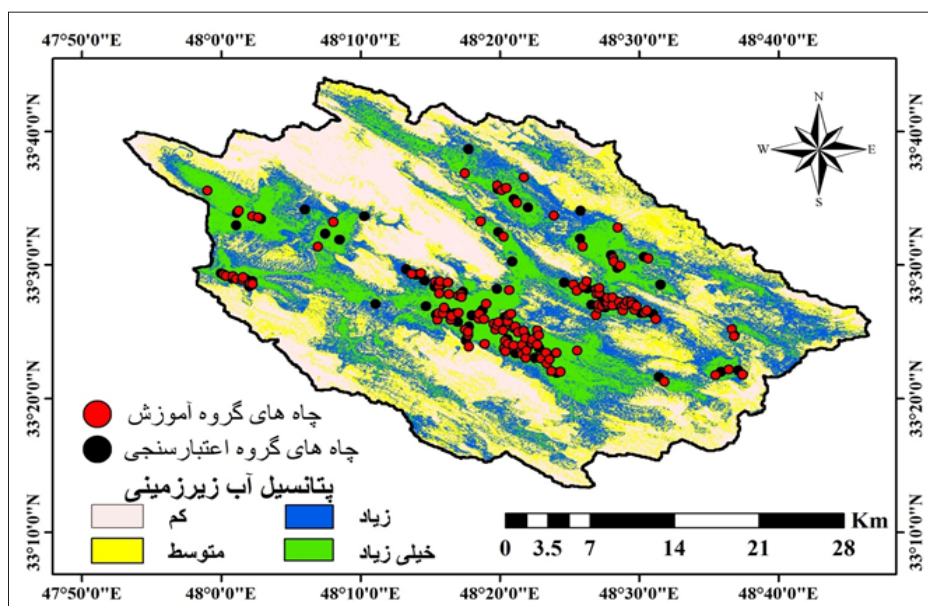
پس از تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته بین عوامل محیطی (متغیرهای مستقل) شامل: ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، کاربری اراضی، خاک، زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل، تراکم گسل و اطلاعات چاه‌های دشت خرم‌آباد (متغیرهای وابسته)، وزن هر کلاس محاسبه شد. وزن‌های هر کلاس در جدول (۱) آمده است. بر اساس نتایج این جدول، با افزایش ارتفاع وزن شاخص آماری کاهش یافته که بیانگر آن است در ارتفاعات بالا پتانسیل آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. به طوری که بیشترین مقدار در طبقه اول یعنی در ارتفاعات بین ۱۸۲۰ تا ۱۸۵۵ دیده می‌شود که این نتیجه با نتایج حاصله برای پارامتر شیب یکسان است. نتایج نشان می‌دهد که در شیب‌های پایین‌تر پتانسیل آب زیرزمینی بالاتر است و بیشترین وزن شاخص آماری به طبقه شیب ۰/۳ تا یک اختصاص یافت. همچنین نتایج حاصل از بررسی جهت و انحنای سطح نشان داد که در مناطق مسطح و هموار محدوده مطالعاتی خرم‌آباد، پتانسیل آب زیرزمینی بیشتر است. بر اساس پارامتر شاخص رطوبت توپوگرافی بیشترین وزن به طبقه با بیشترین شاخص رطوبت توپوگرافی تعلق گرفت. نتایج کاربری اراضی حاکی از آن است بیشترین پتانسیل در مناطق شهری وجود دارد که این



شکل ۳- ارایه‌های مؤثر در پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد، لرستان (الف) ارتفاع، (ب) جهت شیب، (ت) انحصای سطح، (ث) شاخص رطوبت توپوگرافی، (ج) کاربری اراضی، (ح) خاک، (خ) زمین‌شناسی، (ز) فاصله از رودخانه، (ذ) فاصله از گسل، (ر) تراکم گسل

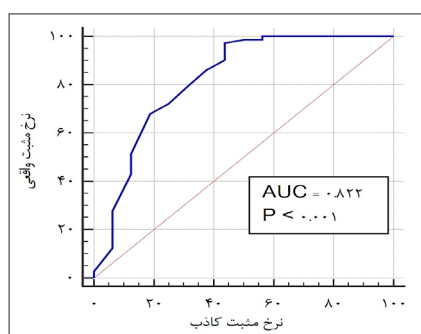
جدول ۱- مقادیر SI، تعداد پیکسلها و چاهها در هر طبقه از لایه‌ها در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد

پارامتر	فاصله طبقات	تعداد پیکسل در هر طبقه	تعداد چاه در هر طبقه	مقادیر SI	پارامتر	فاصله طبقات	تعداد پیکسل در هر طبقه	تعداد چاه در هر طبقه	مقادیر SI
ارتفاع	۱۸۲۰-۱۸۵۵	۴۷۶۳۵۴	۷۸	۱/۱۸	کاربری اراضی	جنگل	۱۱۱۳۹۲۰	۱	-۴/۰۳
	۱۸۵۵-۱۹۳۰	۹۷۶۸۱۷	۵۷	۰/۱۵		شهر	۵۴۳۲۲	۱۰	۱/۳۰
	۱۹۳۰-۱۹۶۰	۶۸۰۸۷۱	۵	-۱/۹۲		مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-
زاویه شیب	۱۹۳۰-۲۰۳۵	۴۳۶۶۵۴	۰	۰/۰۰	خاک	آنتی سول	۵۴۵۸۷۱	۱۳	-۰/۷۵
	۲۰۳۵-۲۶۰۰	۲۱۰۹۴۲	۰	۰/۰۰		اینسپتی سول	۱۳۴۲۹۷۳	۲۰	-۱/۲۲
	مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-		ورتنی سول	۸۹۲۷۹۴	۱۰۷	۰/۸۷
جهت شیب	-۰/۳-۱	۴۷۶۹۱۲	۱۱۶	۱/۵۸	سنگ‌شناسی	مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-
	۱-۱/۵	۴۴۴۱۶۸	۱۸	-۰/۲۲		سنوزوئیک	۱۸۸۱۴۹۸	۱۳۰	۰/۳۱
	-۱/۵-۲	۴۴۵۳۴۷	۴	-۱/۷۲		مزوزوئیک	۶۳۲۹۶۶	۶	-۱/۶۷
انحنای سطح	۲-۳	۴۴۷۰۷۵	۰	۰/۰۰	تراکم گسل	پالئوزوئیک	۲۶۰۱۷۴	۴	-۱/۱۹
	۳-۴	۳۹۸۵۳۱	۱	-۳/۰۰		مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-
	۴-۶	۳۲۶۹۳۵	۰	۰/۰۰		فاصله از رودخانه	۵۴۲۲۱۹	۷۴	۱/۰۰
شاخص رطوبت توپوگرافی	۶-۵۴	۲۴۲۶۷۰	۱	-۲/۵۰	تراکم گسل	۰-۳۰۰	۵۴۲۲۱۹	۷۴	۱/۰۰
	مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-		۳۰۰-۶۹۰	۵۶۸۲۰۵	۴۶	۰/۴۸
	مسطح	۱۳۶۷۷	۹	۲/۵۷		۶۹۰-۱۲۱۰	۵۵۸۴۴۴	۱۴	-۰/۷۰
توپوگرافی	شمال	۴۰۲۴۱۶	۲۲	۰/۰۸	تراکم گسل	۱۲۱۰-۲۰۲۵	۵۵۴۲۸۷	۴	-۱/۹۴
	شمال شرق	۴۵۶۹۱۴	۱۲	-۰/۶۵		۲۰۲۵-۵۷۳۰	۵۵۸۴۸۳	۲	-۲/۶۴
	شرق	۲۰۸۳۴۲	۳	-۱/۲۵		مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-
کاربری اراضی	جنوب شرق	۱۸۴۴۱۹	۷	-۰/۲۸	تراکم گسل	۰۰-۱/۱	۱۳۶۴۷۵	۱۰	-۱/۹۳
	جنوب	۳۹۳۲۸۰	۲۰	۰/۰۱		۰/۱-۰/۴	۳۵۸۵۷۸	۸	-۰/۸۱
	جنوب غرب	۵۴۶۱۸۴	۲۶	-۰/۰۶		۰/۴-۰/۶	۳۴۹۸۱۱	۲۵	۰/۳۵
توپوگرافی	غرب	۳۱۸۹۲۰	۲۰	۰/۲۲	تراکم گسل	۰/۶-۰/۸	۳۶۳۰۶۲	۳۶	۰/۶۸
	شمال غرب	۲۵۷۴۸۶	۲۱	۰/۴۸		۰/۸-۲	۳۴۵۷۱۲	۶۱	۱/۲۵
	مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-		مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-
توپوگرافی	مقعر	۵۲۴۰۱۳	۴۹	۰/۶۲	تراکم گسل	۰-۱۰۶۰	۴۶۰۹۷۹	۲۱	-۰/۱۰
	هموار	۱۰۶۶۷۹۳	۸۳	۰/۴۵		۱۰۶۰-۲۶۶۰	۵۷۸۷۸۰	۳۴	۰/۱۵
	محدب	۱۲۱۰۸۳۲	۸	-۲/۰۳		۲۶۶۰-۴۶۷۰	۶۶۹۷۲۶	۲۷	-۰/۲۲
توپوگرافی	مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-	تراکم گسل	۴۶۷۰-۷۴۷۰	۸۹۵۷۲۴	۳۸	-۰/۱۷
	۳-۶	۷۷۳۰۰	۱	-۳/۶۶		۷۴۷۰-۱۳۸۳۰	۱۷۶۴۲۹	۲۰	۰/۸۱
	۶-۸	۹۵۶۵۷۹	۴۴	-۰/۰۹		مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-
کاربری اراضی	۸-۱۸	۱۰۵۲۷۵۹	۹۵	۰/۵۸	تراکم گسل	۰۰-۰/۵	۱۷۶۲۴۹۳	۸۶	-۰/۰۳
	مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-		۰/۵-۰/۱۴	۳۳۳۴۲۷	۹	-۰/۶۲
	زراعت	۱۴۱۵۵۷۸	۱۲۹	۰/۵۹		۰/۱۴-۰/۲۵	۳۳۱۴۷۰	۳۴	۰/۷۱
کاربری اراضی	مرتع	۱۹۷۷۵۰	۰	۰/۰۰	تراکم گسل	۰/۲۵-۰/۶	۳۵۴۲۴۸	۱۱	-۰/۴۸
	باغ	۶۸	۰	۰/۰۰		مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-



شکل ۴- نقشه نهایی پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در دشت خرم‌آباد با استفاده مدل شاخص آماری (SI)

این روش در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد می‌باشد البته باید به محدودیت این روش در اعتبارسنجی اشاره نمود چرا که تعداد کمی از چاه‌ها در سازندهای سخت منطقه قرار دارد و اکثر چاه‌های محدوده مطالعاتی در پادگانه‌های آبرفتی قرار دارد.



شکل ۵- منحنی ROC مربوط به اعتبارسنجی نقشه پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی دشت خرم‌آباد با استفاده از مدل شاخص آماری (SI)

مؤثر در پتانسیل آب‌های زیرزمینی که عبارت‌اند از: لایه ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنا سطح، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، کاربری اراضی، خاک، زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل و تراکم گسل که در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه و بر اساس منابع موجود طبقه‌بندی شده به‌عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شدند. سپس بر اساس مدل شاخص آماری (SI) و تراکم چاه‌ها

• اعتبارسنجی نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی

جهت اعتبارسنجی نقشه نهایی پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد، با استفاده از داده‌های گروه اعتبارسنجی، نقشه ۷۲ حلقه چاه که در پتانسیل‌یابی بکار گرفته نشده‌اند، با نقشه‌ی پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در دشت مذکور روی هم گذاری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس برای اعتبارسنجی دقت نقشه نهایی، روش منحنی ROC بکار گرفته شد. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار MedCalc، منحنی ROC مربوط به نقشه پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی دشت خرم‌آباد تهیه گردید (نرخ مثبت واقعی به معنی نسبتی از موارد مثبت است که آزمایش آن‌ها را به درستی به عنوان مثبت علامت‌گذاری می‌کند و نرخ مثبت کاذب به معنی نسبتی از موارد مثبت است که آزمایش آن‌ها را به اشتباه به عنوان منفی علامت‌گذاری می‌کند). همان‌طور که در شکل (۵) نشان داده شده است، نتایج حاصل از این منحنی بیانگر دقت ۸۲ درصدی نقشه ایجاد شده است که نشان‌دهنده دقت بالای

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی خرم‌آباد ۲۱۲ حلقه چاه با آبدهی بیشتر از ۱۱ لیتر بر ثانیه که به‌صورت تصادفی به دو گروه آموزش (۷۰ درصد) و اعتبارسنجی (۳۰ درصد) تقسیم شده، به‌عنوان متغیر مستقل انتخاب شدند. همچنین لایه رقمی ۱۲ متغیر

در هر لایه، وزن هر لایه محاسبه و در نهایت با استفاده از روش همپوشانی وزنی نقشه نهایی پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در دشت خرم‌آباد حاصل و در چهار طبقه مختلف شامل مناطق با پتانسیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. بر اساس این نقشه، سهم مناطق با پتانسیل زیاد و خیلی زیاد ۴۶ درصد از سطح کل محدوده مطالعاتی می‌باشد که در نواحی شمال تا جنوب شرق و همچنین در نواحی مرکزی و غربی محدوده مطالعاتی دیده می‌شوند. در نهایت جهت اعتبارسنجی نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی در دشت خرم‌آباد از منحنی ROC استفاده شد که نتیجه ۸۲ درصدی این منحنی حاکی از دقت بالای این روش در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد دارد.

پی‌نوشت

- 1- Geographic Information System
- 2- Statistical Index
- 3- Weights of Evidence
- 4- Frequency Ratio
- 5- Area Under Curve
- 6- Analytical Hierarchy Process
- 7- Logistic Regression
- 8- Certainty Factor
- 9- Topographic Wetness Index: TWI
- 10- Entisol
- 11- Inceptisol
- 12- Vertisol
- 13- Receiver Operating Characteristic: ROC
- 14- Area Under Curve: AUC

منابع

اداره منابع طبیعی استان لرستان. ۱۳۹۲. شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان. ۱۳۹۲. دفتر مطالعات و بررسی منابع آب‌های زیرزمینی. شهبازی، ع.، طهماسبی پور، ن.، زینی‌وند، ح. و حقی‌زاده، ع. ۱۳۹۴. پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی EBF. کنفرانس ملی کشاورزی پایدار، محیط‌زیست و توسعه روستایی، کوه‌دشت، اداره جهاد کشاورزی کوه‌دشت، شرکت پنام خط نوین. رنجبرمنش، ن.، انتظاری، م. و رامشت، م. ح. ۱۳۹۲. بحران ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در اثر فعالیت تکتونیکی در

دشت ماهیدشت. دوفصلنامه‌ی ژئومورفولوژی کاربردی ایران، ۱(۲): ۱-۱۸.

علائی طالقانی، م. و سعیدی‌کیا، م. ۱۳۹۲. نقش مؤلفه‌های ژئومورفولوژی در تشکیل و تغذیه سفره آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ذهاب). فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۸(۱۰): ۱۷۱-۱۸۶.

علیزاده، ا. ۱۳۹۱. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا. چاپ سی و ششم. صفحه ۳۴۳.

محمدنژاد آروق، و.، اصغری، ص. و محمدزاده، ب. ۱۳۹۲. تهیه نقشه مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی با استفاده از GIS و MIF (مطالعه موردی: شهرستان ارومیه). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۲(۳): ۴۸-۵۸.

ماه گلی، آ.، چیت‌سازان، م. و میرزایی، ی. ۱۳۹۰. پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در سازندهای سخت با استفاده از GIS و سنجش از دور (مطالعه موردی: شمال حسینیه). همایش ژئوماتیک، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.

هاشمی، م.، قربانی، ر. و کاوه‌ای، ب. ۱۳۸۳. تحلیل منحنی‌های ROC برای مقایسه تست‌های تشخیص پزشکی. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی سمنان، ۶(۲): ۱۴۵-۱۵۰.

Abdalla F. 2012. Mapping of Groundwater Prospective Zones Using Remote Sensing and GIS Techniques, A Case Study from the Central Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 70: 8-17.

Akobeng AK. 2007 Understanding diagnostic tests 3: receiver operating characteristic curves. *Acta paediatrica*. 96(5): 7-644.

Chowdhury A., Jha M.K. and Chowdary V.M. 2010, Delineation of Groundwater Recharge Zones and Identification of Artificial Recharge Sites in West Medinipur District, West Bengal, Using RS, GIS and MCDM Techniques, *Environmental Earth Science*, 59(6): 1209-1222.

Das S., Behera S.C., Kar A., Narendra P. and Guha S. 1997. Hydrogeomorphological Mapping in Groundwater Exploration Using Remotely Sensed Datas, A Case Study in Keonjhar District, Orissa, *Journal of Indian Society of Remote Sensing*, 25(4): 247-259.

DavoodiMoghadam D., Rezaei M., Pourghasemi H.R. and Pourtaaghie Z.S. 2013. Groundwater potential spring mapping using bivariate statistical model and

- fuzzy logic tool. *J ContamHydrol*, 24: 277-222.
- Pourghasemi H.R., Moradi H.R. and FatemiAghda S.M. 2013. Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances, *Nat Hazards*, 69: 749-779.
- Pourtaghi Z.S and Pourghasemi H.R. 2014. GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran. *Hydrogeology J*, 22: 643-662
- Regmi A.D., Devkota K.C., Yoshida K., Pradhan B., Pourghasemi H.R., Kumamoto T. and Akgun A. 2014. Application of frequency ratio, statistical index, and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya. *Arab J Geosci*, 7(2):725-742.
- Sander P., Chesley M. and Minor T. 1996. Groundwater Assessment Using Remote Sensing and GIS in a Rural Groundwater Project in Ghana: Lessons Learned, *Hydrogeology Journal*, 4(3): 78-93.
- Saha D., Dhar Y.R. and Vittala S.S. 2010. Delineation of groundwater development potential zones in parts of marginal Ganga Alluvial Plain in South Bihar, Eastern India. *EnvironMonit Assess*, 115: 172-121.
- Zhao Ch., Chen W., Wang Q., Wu U. and Yang B. 2015. A comparative study of statistical index and certainty factor models in landslide susceptibility mapping: a case study for the Shangzhou District, Shaanxi Province, China, *Arab J Geosci*, 8(11): 9079-9088
- GIS in the Taleghan watershed, Iran. *Arab J Geosci*, 8 (2): 913-929.
- Ganapuram S., Kumar G., Krishna I., Kahya E. and Demirel M. 2008. Mapping of Groundwater Potential Zones in the Musi Basin Using Remote Sensing and GIS, *Advances in Engineering Software*, 40: 506-518.
- Ganapuram S., Vijaya Kumar G.T., Murali Krishna I.V., Kahya E. and Demirel M.C. 2009. Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *AdvEngSoftw*, 47: 571-515.
- [http:// www.MedCalc.Org.medcalc](http://www.MedCalc.Org.medcalc) version 13.3.3.3. (2014).
- Kumar R. and Indrayan A. 2011. Receiver operating characteristic (ROC) curve for medical researchers. *Indian pediatrics*. 48(4): 87-277.
- Manap M.A., Nampak H., Pradhan B., Lee S., Sulaiman W.N.A. and Ramli M.F. 2012. Application of probabilistic-based frequency ratio model in groundwater potential mapping using remote sensing data and GIS. *Arab J Geosci*, 7(2): 711-724.
- Manap MA., Sulaiman WNA., Ramli MF, Pradhan B. and Surip N. 2013. A knowledge driven GIS modelling technique for prediction of groundwater potential zones at the Upper Langat Basin, Malaysia. *Arab J Geosci*, (5):1121-1107.
- Nobre RCM., Filho OCR., Mansur WJ., Nobre MMM. and Cosenza CAN. 2007. Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS, modeling and a