

Performance Comparison of Information Value and Density Area Methods for Spring Existence Potential in Ghurchay Watershed, Golestan Province

Hossein Salmani¹, Kazem Saber Chenari^{*1}, Mohammad Rostami Khalaj², Omid Jahandideh³

Abstract

Developing a suitable model for effective management and sustainable use of groundwater resources is critical and prepared springs potential map allows us to provide extractable water by spending less time and cost. In this study, the Gharechay watershed was selected with 248.1 km² area. Then distribution map of springs (dependent variable) was prepared. Also information layers as slope direction, slope gradient, slope length (SL), profile curvature, curvature of plain, topographic wet index (TWI), stream power index (SPI), geology, fault density, distance to fault, elevation, drainage density, distance from river, land use, distance from the road, soil texture, soil hydrologic group and vegetation density as the independent variables were prepared and digitized in GIS environment. Of the combination of independent variables and the dependent variable, the value of spring in each class was calculated and weighted classes based on the Information Value and Density area of statistical models were used. Finally, with the obtained weighted maps and their summation the spring zonation map in two models were obtained. The results of the models using the Relative Operating Characteristic (ROC), and Quality Sum (Qs) showed that the information value method with ROC=0.981 and Qs=0.488 than the density area with ROC=0.851 and Qs=0.459 was appropriate for zoning resources ground water springs in this area. Also, based on the information value and density area methods 94.1% and 65/51%, respectively, of the study area were high and very high potential to have an incidence springs.

Keywords: Density Area, Gharechay, Information Value, Spring, Zoning.

Received: 2015/11/19
Accepted: 2016/02/24

مقایسه عملکرد روش‌های ارزش اطلاعات و تراکم سطح در ارزیابی پتانسیل وجود چشمه‌ها در حوزه آبخیز قورچای، استان گلستان

حسین سلمانی^۱، کاظم صابر چناری^{*۱}، محمد رستمی خلیج^۲، امید جهان‌دیده^۳

چکیده

توسعه یک مدل مناسب پتانسیل آب زیرزمینی برای مدیریت مؤثر و استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی بسیار حیاتی است و نقشه پتانسیل چشمه‌ها تهیه شده به ما اجازه می‌دهد تا آب قابل استحصال را با صرف زمان و هزینه کمتری تهیه کنیم. در این تحقیق ابتدا حوزه قورچای به وسعت حدود ۲۴۸/۱ کیلومترمربع انتخاب شد. سپس نقشه پراکنش چشمه (متغیر وابسته) تهیه گردید. همچنین لایه‌های اطلاعاتی جهت شیب، درجه شیب، طول شیب، انحنای پروفیل، انحنای دشت، شاخص رطوبت توپوگرافیکی، شاخص قدرت رودخانه، زمین‌شناسی، تراکم گسل، فاصله از گسل، ارتفاع، تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از جاده، بافت خاک، گروه هیدرولوژیکی خاک و تراکم پوشش گیاهی به عنوان متغیر مستقل در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه و رقمی شدند. از تلفیق متغیرهای مستقل با متغیر وابسته، مقدار چشمه در هر کلاس عامل محاسبه و وزن‌دهی طبقات بر اساس روابط موجود در مدل‌های آماری ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح صورت گرفت. در نهایت با نقشه‌های وزنی حاصله و جمع جبری آن‌ها نقشه پهنه‌بندی پتانسیل چشمه در دو مدل حاصل شد. نتایج ارزیابی مدل‌ها برترتیب با استفاده از مشخصه عملکرد نسبی و جمع کیفی نشان داد که در روش ارزش اطلاعاتی با مقادیر ۰/۹۸۱ و ۰/۴۸۸ نسبت به روش تراکم سطح با مقادیر ۰/۸۵۱ و ۰/۴۵۹ برای پهنه‌بندی منابع چشمه‌ها در این محدوده مناسب‌تر است. همچنین بر اساس روش‌های ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح به ترتیب ۹۴/۱٪ و ۶۵/۵۱٪ از محدوده مورد مطالعه، استعداد بالا و خیلی بالایی برای وقوع چشمه دارند. واژه‌های کلیدی: ارزش اطلاعاتی، پهنه‌بندی، تراکم سطح، چشمه، قورچای.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۸/۲۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۰۵

1- PhD Student of Watershed management engineering, Gorgan University of agricultural sciences and natural resources. Email: hsalmani@alummi.ut.ac.ir.
2- PhD Student of Watershed management engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.
3- M.sc Graduate of irrigation and drainage, Gorgan University of agricultural sciences and natural resources.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکترا آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۲- دانشجوی دکترا آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
* نویسنده مسئول

مقدمه

سنجش از دور برای تولید نقشه‌های لیتولوژی و خطواره و مدل رقومی ارتفاع برای پهنه‌بندی خطواره و ژئومورفولوژیکی مورد استفاده قرار گرفت. تمامی لایه‌های موضوعی در سیستم اطلاعات جغرافیایی با یکدیگر ترکیب و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. قابلیت بالای تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان داد که این تکنیک‌ها می‌توانند به عنوان ابزارهایی با پتانسیل بالا برای مطالعه منابع آب زیرزمینی و در طراحی پروژه‌ها مورد استفاده قرار بگیرند. ازدمیر (۲۰۱۱) برای تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی مناطق کوهستان سلطان ترکیه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی از روش‌های نسبت فراوانی^۲، وزن نشانگر^۳ و رگرسیون لجستیک^۴ استفاده نمود. برای تهیه این نقشه ارتباط بین موقعیت چشمه-های آب زیرزمینی و ۱۷ پارامتر مؤثر مورد بررسی قرار گرفت. قابلیت پیش‌بینی هر مدل با استفاده از مساحت زیر منحنی ROC^۵ برای روش‌های نسبت فراوانی، وزن نشانگر و رگرسیون لجستیک به ترتیب ۰/۹۰۳، ۰/۸۸۰ و ۰/۸۴۰ بدست آمد. نتایج نشان داد که مدل‌های نسبت فراوانی و وزن نشانگر برآورد کننده‌های نسبتاً خوب و رگرسیون لجستیک برآورد کننده نسبتاً ضعیف در تخمین نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه هستند. هامموری (۲۰۱۲) در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی مناطق مرکزی اردن از تکنیک‌های ترکیبی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده نمودند و تأثیر مجموعه‌ای از پارامترهای توپوگرافیکی، زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی را که در ظهور طبیعی آب زیرزمینی نقش دارند را بررسی نمودند. در نهایت نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در سه کلاس شامل مناطقی با پتانسیل آب زیرزمینی بالا (۰/۷)، متوسط (۰/۷۹) و پایین (۰/۱۴) طبقه‌بندی شد. همچنین آنالیز حساسیت پارامترها نشان داد که شیب مؤثرترین پارامتر مورد استفاده در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی می‌باشد. نتایج مطالعات آرکوپرو (۲۰۱۲) در شناسایی مناطق پتانسیل آب زیرزمینی منطقه گانجام هند از نقشه‌های موضوعی مختلف شامل نقشه‌های ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناسی، شیب، تراکم

چشمه‌ها محل تلاقی سفره‌های زیرزمینی با سطح زمین و تخلیه طبیعی آب زیرزمینی هستند که به صورت متمرکز رخ می‌دهد و هر جا که سطح ایستابی سطح زمین را قطع نماید آب به صورت جریان سطحی تخلیه می‌شود. چشمه‌ها منابع آبی مهم در سطح کشور ما می‌باشند که شناخت وضعیت هیدرولوژیکی آن‌ها در بهره‌برداری و مدیریت چشمه‌ها الزامی می‌باشد (جوکار و همکاران، ۱۳۸۸). پهنه‌بندی پتانسیل چشمه آب زیرزمینی برای مطالعه رابطه بین توزیع چشمه‌ها و عوامل مؤثر بر آن ضروری می‌باشند (پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۴). برای تهیه نقشه پتانسیل چشمه آب زیرزمینی ضروری است تا عوامل مختلف مؤثر بر چشمه‌های موجود در منطقه مورد بررسی قرار گیرد (ازدمیر، ۲۰۱۱). عوامل بسیاری وجود چشمه و مسیر جریان آب زیرزمینی را کنترل می‌کنند که از جمله این عوامل می‌توان به عوامل توپوگرافی، سنگ‌شناسی، ساختاری، درجه هوازگی، میزان شکستگی، نفوذپذیری، شیب، الگوی زهکشی، کاربری اراضی، پوشش زمین و آب و هوا اشاره نمود (ازدمیر ۲۰۱۱؛ یه و همکاران، ۲۰۰۸). در ارتباط با پهنه‌بندی آب زیرزمینی در خارج و داخل کشور پژوهش‌های متعددی صورت گرفته است. نتایج مطالعات صابری و همکاران (۱۳۹۱) در تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی تاق‌دیس کمستان استان خوزستان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که این منطقه دارای پتانسیل خیلی خوب و خوبی برای استخراج آب زیرزمینی دارد. همچنین دقت روش تحلیل سلسله مراتبی در منطقه مورد مطالعه بالا ارزیابی گردید. نتایج مطالعات عرفانیان و همکاران (۱۳۹۲) در تهیه نقشه پتانسیل چشمه آب زیرزمینی حوزه آبخیز چهل گزی، استان کردستان با استفاده از مدل نسبت فراوانی نشان داد که این مدل دقت قابل قبول در منطقه مورد مطالعه داشت و میزان مساحت زیر منحنی برای منحنی مشخصه عملکرد نسبی^۱ در منطقه مورد مطالعه ۶۵/۶٪ بدست آمد. دار و همکاران (۲۰۱۰) برای پهنه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی حوزه ماموندیار هندوستان از تکنیک‌های یکپارچه سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، ارزشیابی مدل رقومی ارتفاع و عملیات میدانی استفاده نمودند. داده‌های

2- Frequency Ratio
3- Weights of Evidence
4- Logistic Regression
5- Relative Operating Characteristics

1- Relative Operating Characteristic

در این بررسی کارایی دو مدل ارزش اطلاعاتی^۲ و تراکم سطح^۳ در پهنه‌بندی پتانسیل چشمه‌ها در حوضه آبخیز قورچای رامیان مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرد. خروجی این مطالعه تکنیک‌های جامع و حمایت‌کننده‌ای برای سازمان‌های دولتی و بخش خصوصی در شناسایی و ارزیابی مناطق مناسب آب زیرزمینی فراهم می‌کند.

مواد و روش‌ها

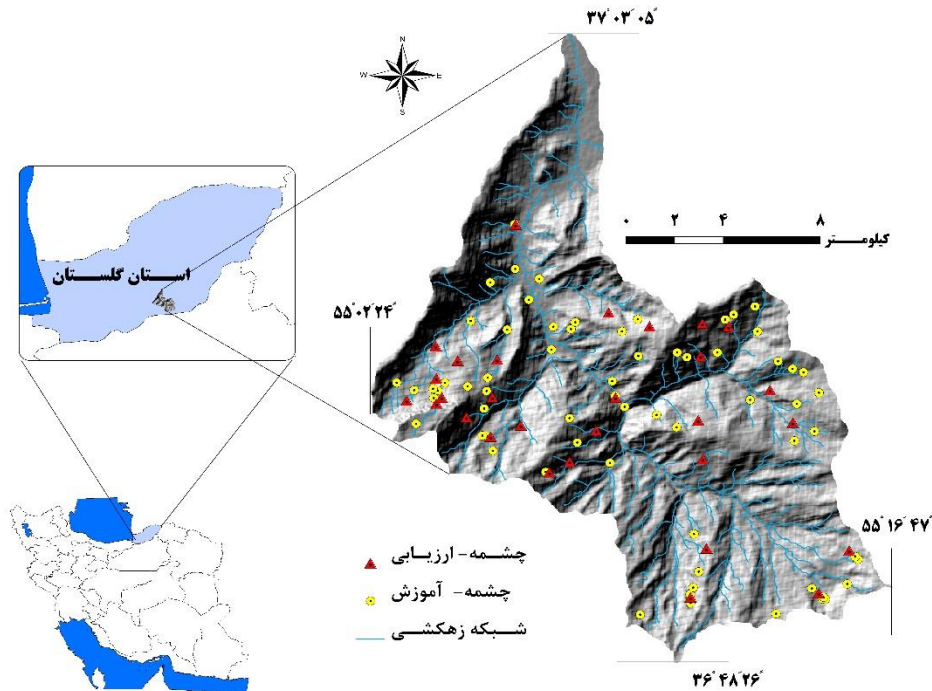
منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز قورچای بخشی از حوزه اصلی و مهم حوزه گرگان رود در استان گلستان می‌باشد که در چین خوردگی‌های شمالی سلسله جبال البرز و در جنوب شهرستان رامیان قرار گرفته است. مساحت این حوزه بالغ بر ۲۴۸/۱ کیلومتر مربع، محیط آن ۹۰/۹۹۸ کیلومتر و طول حوزه ۳۱/۰۴ کیلومتر می‌باشد و در طول جغرافیایی ۲۴° ۰۲' ۵۵" تا ۴۷° ۱۶' ۴۸" شرقی و عرض جغرافیایی ۲۶° ۴۸' ۳۶" تا ۰۵° ۰۳' ۳۷" شمالی واقع شده است (شکل ۱). روند کلی جریان آب زیرزمینی جنوبی- شمالی بوده و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در این منطقه از طریق چشمه و چاه صورت می‌گیرد. رودخانه اصلی حوزه ۳۵/۴۱ کیلومتر طول دارد و از قسمت‌های کوهستانی جنوب حوزه سرچشمه گرفته و از شهر رامیان واقع در شمال حوزه خارج می‌گردد. فرم آبراه‌ها بر اساس نقشه‌های تهیه شده و الگوهای استاندارد عمدتاً جزو شبکه شاخه درختی و موازی می‌باشد. تراکم زهکشی رودخانه‌ها ۲/۳۱ و شاخص تقعر برای آبراه اصلی حوزه ۰/۴۷۲ می‌باشد که نشان‌دهنده مقعر بودن پروفیل طولی آبراه است. شکل حوزه به صورت کشیده می‌باشد به طوری که ضریب شکل، ضریب گراولیبوس (ضریب فشردگی)، ضریب گردی و ضریب کشیدگی حوزه به ترتیب ۰/۲۶، ۱/۶۲، ۰/۳۸ و ۰/۵۷ می‌باشد. دامنه ارتفاعی این حوزه از ۲۸۲۰ متر در مناطق کوهستانی تا ۱۳۴ متر در مناطق دشتی متغیر است. عمده کاربری اراضی در حوضه مذکور کاربری‌های جنگل و زراعت به ترتیب با ۷۴/۴۵ و ۱۳/۸۶ درصد می‌باشد. درجه حرارت متوسط سالانه و بارش متوسط سالانه حوزه به ترتیب ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد و ۵۱۸/۸ میلی‌متر است.

زهکشی و تراکم خط استفاده نمودند و منطقه را از نظر پتانسیل آب زیرزمینی به پنج دسته عالی، خیلی خوب، خوب، متوسط، و ضعیف تقسیم کردند. نتایج نشان داد که عمده منطقه مورد مطالعه پتانسیل آب زیرزمینی خوب و متوسط داشت و مناطق با پتانسیل پایین خیلی کم بود. همچنین مناطق پتانسیل عالی عمدتاً در مناطق ساحلی متمرکز شده بودند. داوودی‌مقدم (۲۰۱۳) برای تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی حوزه آبخیز طالقان از مدل آماری دو متغیره نسبت فراوانی و تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده نمودند و رابطه مکانی ۳۲۰ چشمه موجود در منطقه و ۱۴ عامل مؤثر بر آن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج ارزیابی مدل نشان داد که مدل نسبت فراوانی با مساحت زیر منحنی^۱ مشخصه عملکرد نسبی برابر ۷۵/۹۹٪ عملکرد نسبتاً خوبی در پیش‌بینی پتانسیل چشمه آب زیرزمینی دارد. کالیبراج و همکاران (۲۰۱۴) توانایی تکنیک تحلیل سلسله مراتبی در محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی را در شناسایی مناطق پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی حوزه آبخیز وایگی هند بررسی نمودند. عوامل مؤثر مورد بررسی شامل خصوصیات سطح زمین از جمله زمین-شناسی، ژئومورفولوژی، نوع خاک، کاربری اراضی، پوشش زمین، شبکه زهکشی، خطواره و آبخوان بودند. نتایج نشان داد که روش تحلیل سلسله مراتبی توانایی زیادی در پیش‌بینی مناطق پتانسیل آب زیرزمینی دارد. همچنین بررسی‌ها نشان داد که ۲۱/۸ کیلومتر مربع از منطقه دارای پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی بالا هستند و مناطق با شیب ملایم مناطق مناسب و مناطق تپه ماهوری مناطق نامناسب برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی در نظر گرفته شد. سجاد و همکاران (۲۰۱۴) برای شناسایی مناطق پتانسیل آب زیرزمینی حوزه‌ای در هندوستان تکنیک جامع ژئوفیزیک و ژئوفضایی را به کار بردند. این بررسی که تأثیر اطلاعات زمین‌شناسی، توپوگرافی و خصوصیات ژئوفیزیک را بر منابع آب زیرزمینی مورد بررسی قرار داد نشان داد که مناطق دشتی مناطق مناسب برای پتانسیل آب زیرزمینی در آینده هستند و می‌توانند در طرح‌ریزی و مدیریت منابع زمین مفید باشند.

2- Statistical Index or Information Value
3- Density Area

1- Area Under the Curve



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

با استفاده از گزارشات موجود از سازمان آب منطقه‌ای، سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان و کنترل زمینی، ۹۷ چشمه در حوزه قورچای ثبت و وارد نرم‌افزار ArcGIS 9.3 گردید و نقشه پراکنش آن‌ها تهیه شد (شکل ۱). همچنین نقشه پستی و بلندی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروی مسلح، نقشه خاک‌شناسی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰×۳۰ متر سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه کاربری اراضی منطقه از طریق تصاویر ماهواره‌ای ETM+ مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین نقشه مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۳۰×۳۰ متر از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ ایجاد شد سپس نقشه جهت شیب، درجه شیب، طول شیب^۱، انحنا^۲ پروفیل، انحنا^۳ دشت، شاخص رطوبت توپوگرافیکی^۲ و شاخص قدرت رودخانه^۳ از مدل رقومی ارتفاع ساخته شد (داوودی‌مقدم، ۲۰۱۳؛ ازدمیر، ۲۰۱۱). بعد از تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، تراکم گسل، فاصله از گسل، ارتفاع،

تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، فاصله از جاده، بافت خاک، گروه هیدرولوژیکی خاک و تراکم پوشش گیاهی با اندازه پیکسل ۳۰×۳۰ متر تمامی آن‌ها به فرمت رستری تبدیل شدند. آنگاه با استفاده از نرم‌افزار SPSS در حدود ۷۰٪ چشمه‌ها (۶۸ چشمه) به صورت تصادفی برای مرحله آموزش و ۳۰ درصد باقی‌مانده (۲۹ چشمه) برای ارزیابی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت (لی و همکاران، ۲۰۱۲؛ مناپ و همکاران، ۲۰۱۴؛ پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۴). در مرحله بعد نقشه هر یک از عوامل مؤثر در وقوع چشمه در محیط ArcGIS 9.3 با نقشه پراکنش چشمه‌ها تلفیق و تعداد چشمه در هر طبقه به دست آمد.

طول شیب

دو مؤلفه اصلی شیب منطقه شامل طول شیب (L) و سراسیمی شیب (S) می‌باشد. عامل ترکیبی طول-شیب توسط معادله پیشنهاد شده مور و برانچ (۱۹۸۶) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$LS = \left(\frac{B_s}{22.13} \right)^{0.6} \left(\frac{\tan \beta}{0.0896} \right)^{0.6} \quad [1]$$

1- Slope Length
2- Topographic Wetness Index
3- Stream Power Index

شاخص قدرت رودخانه

شاخص قدرت رودخانه معیاری برای قدرت فرساینده‌گی رودخانه و همچنین بررسی عواملی است که در پایداری منطقه مورد مطالعه موثر هستند. این شاخص بر اساس معادله ۳ تعریف می‌شود (مور و همکاران، ۱۹۹۱؛ داوودی مقدم و همکاران، ۲۰۱۳؛ نقیبی و همکاران، ۲۰۱۴):

$$SPI = B_s \tan \beta \quad [3]$$

که در آن: B_s مناطقی که تحت تأثیر جریان‌های تجمعی هستند و β گرادیان شیب بر حسب درجه می‌باشد.

به منظور تعیین نقشه طول شیب، شاخص رطوبت توپوگرافیکی و شاخص قدرت رودخانه از نرم‌افزار SAGA GIS 2.0.2 استفاده شد.

انحنای دشت و پروفیل

شکل انحنای توصیف کننده سطح افقی توپوگرافی بوده و نشان دهنده پستی و بلندی محلی است (آلیو و یامگیشی، ۲۰۰۵). انحنای دشت، اندازه تغییر جهت در طول یک منحنی میزان را نشان داده و بیانگر واگرایی و همگرایی توپوگرافیکی است. (پورقاسمی و بهشتی-راد، ۲۰۱۴). شکل انحنای دارای ۳ حالت دارد: در حالت اول مقادیر جدول نقشه دارای ارزش مثبت می‌باشند که نشان دهنده سطح محدب دامنه و جریانهای همگرا است. در حالت دوم مقادیر جدول دارای ارزش منفی است که نشان دهنده سطح مقعر دامنه و جریانهای واگرا بوده و در حالت آخر مقدار صفر نشان دهنده سطح صاف است (هی و همکاران، ۲۰۱۲؛ داوودی مقدم و همکاران، ۲۰۱۳). انحنای پروفیل معرف اندازه تغییر شیب منحنی میزانها در طول مسیر یک جریان است. این شاخص نشان دهنده تغییر پتانسیل گرادیان شیب بوده و تغییرات شدت جریان آب و فرآیندهای حمل و رسوب را کنترل می‌کند. مقادیر این شاخص در ۳ دسته محدب (شیب‌های کوژ و مثبت)، مقعر (شیب‌های کاو و منفی) و تخت طبقه‌بندی شدند (نقیبی و پورقاسمی، ۲۰۱۴). این دو شاخص نیز از طریق اکستنشن DEM Surface Tools محاسبه گردید.

کاربری اراضی و گسل

با توجه به نقش بالای کاربری اراضی (عمده کاربری اراضی منطقه به صورت جنگلی می‌باشد بدین لحاظ نقش کاربری اراضی هم به صورت نوع کاربری اراضی و هم تراکم

که در اینجا B_s مناطقی که تحت تأثیر جریان‌های تجمعی هستند و $\sin \alpha$ مقدار شیب در هر پیکسل می‌باشد (شکل ۴-۱۴). در حقیقت LS مقیاسی از ظرفیت انتقال رسوب برای جریان سطحی است که در معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) گنجانیده شده است (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸؛ داوودی مقدم و همکاران، ۲۰۱۳) (پورقاسمی و بهشتی راد، ۲۰۱۴) (نقیبی و همکاران، ۲۰۱۴). هر چه قدر طول شیب بزرگتر باشد رطوبت بیشتری در پایین دامنه تجمع یافته و باعث افزایش فرسایش می‌شود (پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۲).

شاخص رطوبت توپوگرافی

عمدتاً نفوذ آب وابسته به خصوصیات مواد سطحی از جمله نفوذپذیری و فشار آب منفذی است از این رو این شاخص به عنوان یک فاکتور موثر در این مطالعه در نظر گرفته شده است (داوودی مقدم و همکاران، ۲۰۱۳؛ نقیبی و همکاران، ۲۰۱۴). در حقیقت این عامل بیانگر شاخص توپوگرافی ثانویه ای است که نشان دهنده تأثیر پراکنش رطوبت خاک و جریان آب زیر زمینی در سطح توپوگرافی می‌باشد (مور و همکاران، ۱۹۹۱؛ داوودی مقدم و همکاران، ۲۰۱۳). این شاخص یکی از شاخص‌هایی است که به طور گسترده برای ارزیابی کمی عامل توپوگرافی بر روی فرایندهای هیدرولوژیکی و توصیف تأثیر توپوگرافی روی موقعیت و اندازه مناطق منبع اشباع تولید رواناب (بون و فریر، ۲۰۰۱) و رطوبت خاک و جریان آب زیر زمینی (نقیبی و همکاران، ۲۰۱۴) مورد استفاده قرار می‌گیرد که به صورت معادله ۲ بیان می‌شود (مور و همکاران، ۱۹۹۱):

$$TWI = \ln \left(\frac{B_s}{\tan \beta} \right) \quad [2]$$

که در این جا a = مساحت مناطق تجمعی زهکش در بالا دست شیب در هر نقطه و $\tan \beta$ = مقدار شیب در هر نقطه می‌باشد. تمایل آب برای تجمع در هر نقطه از حوزه (a) و تمایل نیروی گرانشی برای حرکت دادن آب به سمت پایین دست شیب (نشان داده شده به صورت β در نتیجه شیب هیدرولیکی تقریبی) از طریق شاخص رطوبت توپوگرافی منعکس می‌شود (پودیال و همکاران، ۲۰۱۰؛ نقیبی و همکاران، ۲۰۱۴).

پتانسیل چشمه می‌شود. روش شاخص آماری معیاری جهت تراکم چشمه‌ها است و بر اساس لگاریتم طبیعی تراکم چشمه‌ها در هر کلاس به تراکم چشمه‌های کل نقشه می‌پردازد (روتلا و همکاران، ۲۰۰۰). رابطه آن‌ها به صورت زیر است:

$$SI = \ln\left(\frac{Densclass}{Densmap}\right) = \ln\left[\frac{\frac{Npix(S_i)}{Npix(N_i)}}{\frac{SNpix(S_i)}{SNpix(N_i)}}\right] \quad [4]$$

که در آن، SI : وزن هر یک از کلاس‌ها در نقشه؛ $Densclass$: تراکم چشمه در هر یک از کلاس‌ها؛ $Densmap$: تراکم چشمه در کل نقشه؛ $Npix(S_i)$: تعداد پیکسل‌های چشمه در یک کلاس مشخص؛ $Npix(N_i)$: تعداد پیکسل‌ها در یک کلاس مشخص؛ $SNpix(S_i)$: تعداد کل پیکسل‌های چشمه نقشه و $SNpix(N_i)$: تعداد کل پیکسل‌های نقشه است. با توجه به رابطه ۴ هر طبقه دارای وزن مخصوصی شده است. هر چه میزان وزن اکتسابی به هر طبقه بیشتر باشد نشان‌دهنده ارتباط بهتر آن عامل در وقوع چشمه است (شیرانی و سیف، ۱۳۹۰). در روش تراکم سطح نیز مانند روش ارزش اطلاعاتی نرخ مربوط به هر یک از کلاس‌های عوامل مختلف به صورت زیر بدست می‌آید (کریمی و همکاران، ۱۳۹۰):

$$Wa = 1000\left(\frac{Npix(S_i)}{Npix(N_i)}\right)1000\left(\frac{SNpix(S_i)}{SNpix(N_i)}\right) \quad [5]$$

که در آن، Wa : وزن هر یک از کلاس‌ها در نقشه؛ $Npix(S_i)$: تعداد پیکسل‌های چشمه در یک کلاس مشخص؛ $Npix(N_i)$: تعداد پیکسل‌ها در یک کلاس مشخص؛ $SNpix(S_i)$: تعداد کل پیکسل‌های چشمه نقشه و $SNpix(N_i)$: تعداد کل پیکسل‌های نقشه است.

در مرحله بعد برای محاسبه شاخص پتانسیل آب زیرزمینی در روش شاخص آماری و تراکم سطح مقادیر SI یا Wa تمامی طبقات در دوره آموزش در محیط ArcGIS 9.3 روی هم قرار گرفته و با استفاده از رابطه ۶ شاخص پتانسیل آب زیرزمینی بدست آمد:

$$GSPI = \sum (SI \times Wa)_i (i = 1, 2, \dots, n) \quad [6]$$

که در آن $GSPI$ نشان‌دهنده شاخص پتانسیل حضور چشمه آب زیرزمینی، SI شاخص آماری هر عامل، Wa تراکم

پوشش گیاهی به صورت جداگانه لحاظ شده است) و گسل در ظهور چشمه‌ها هر دو عوامل تراکم گسل و فاصله از گسل و کاربری اراضی و تراکم پوشش گیاهی تواما با یکدیگر در این مطالعه لحاظ شده اند (نقیبی و همکاران ۲۰۱۴؛ ازدمیر و آلتورال ۲۰۱۴؛ پور قاسمی و بهشتی راد، ۲۰۱۴؛ جیاب‌پرابها و همکاران، ۲۰۱۴). از آنجایی که گسل‌ها در تغذیه و هدایت آب زیرزمینی (چشمه) منطقه مورد مطالعه نقش زیادی دارند. در این تحقیق سعی شده از ۲ لایه فاصله از گسل و تراکم گسل استفاده شود. تاثیر معیارها با توجه ماهیت آن‌ها می‌تواند متفاوت می‌باشد. به گونه‌ای که هر چه از فاصله از گسل بیشتر باشد، احتمال وجود آب زیرزمینی بیشتر خواهد بود. بنابراین فاصله‌های کمتر، از اهمیت بالایی برخوردار هستند. تراکم بالای گسل‌ها نیز می‌توانند معرف تکتونیزه شدن بیشتر (گسله‌شدن) منطقه باشد. پوشش گیاهی نیز در منطقه مورد مطالعه اهمیت بسزایی بر نفوذ و تبخیر و فرسایش دارد. در مناطق خشک و نیمه خشک آب سطحی بسیار محدود است. بنابراین پوشش گیاهی نمایان‌گر خوبی از آب‌های زیرزمینی است. هر چه پوشش گیاهی منطقه بیشتر باشد فرصت نفوذ بیشتری فراهم بوده لذا در مناطق با پوشش گیاهی مترکم پتانسیل آب زیرزمینی بیشتر می‌باشد.

به طوری کلی انتخاب نوع عوامل موثر در ظهور یک پدیده از قبیل چشمه، قنات، زمین لغزش، زلزله و ... با توجه به شرایط مختلف منطقه مورد مطالعه متفاوت می‌باشد و در مطالعات مختلف صورت گرفته در این زمینه محققین عوامل مختلفی را در نظر گرفته‌اند. در این مطالعه سعی گردید که براساس مطالعه محققین قبلی و شرایط موجود در منطقه، مطالعه جامعی در زمینه عوامل موثر در وقوع چشمه صورت گیرد.

وزن دهی عوامل بر اساس روش شاخص آماری یا ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح

به‌منظور تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر در ظهور چشمه‌ها از مدل‌های ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح به عنوان مهم‌ترین ابزار مفهومی این تحقیق استفاده شده است. روش شاخص آماری یا ارزش اطلاعاتی توسط یان و یان (۱۹۸۸) ابداع شده است. در این روش با توجه به متغیرهای مؤثر در رخداد چشمه با پراکندگی چشمه‌ها اقدام به پهنه‌بندی

می‌کنیم. سطح زیر منحنی که به دست می‌آید بیانگر دقت مدل است. هر چه سطح زیر منحنی بیشتر باشد دقت مدل بیشتر است که میزان آن بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است (ازدمیر و آلتورال، ۲۰۱۳).

تراکم چشمه یا نسبت تراکمی^۲ نیز با تقسیم نمودن تراکم چشمه در رده پتانسیل خاص به تراکم متوسط چشمه‌ها بر مبنای تراکم سطحی و تعداد چشمه محاسبه می‌گردد. مقدار نسبت تراکمی مساوی یک برای رده پتانسیل خاص بیانگر آن است که تراکم چشمه مساوی تراکم چشمه در کل منطقه است. در صورتی که در منطقه‌ای چند نقشه پتانسیل تهیه شده باشد با استفاده از مقدار جمع کیفی نقشه‌های صحیح‌تر و با دقت بیشتر را می‌توان شناسایی نمود. مقدار جمع کیفی انحراف مقادیر نسبت تراکم برای هر یک از نقشه‌های داده شده از مقدار متوسط یک و جمع مربعات این انحرافات بعد از به کار بردن یک نوع وزن دهی را نشان می‌دهد. جمع کیفی بالاتر بیانگر جدایش بهتر بین رده‌های خطر مختلف است. جمع کیفی به صورت رابطه ۷ تعریف می‌گردد (جی، ۱۹۹۱):

$$Qs = \sum_{i=1}^n (Dr - 1)^2 \times s \quad [7]$$

که در آن n: تعداد رده‌های پتانسیل در یک نقشه پتانسیل و s: مساحت رده پتانسیل به درصد در منطقه است. از نظر تئوری حد فوقانی خاصی برای جمع کیفی نمی‌توان در نظر گرفت ولی معمولاً مقدار آن بین صفر تا هفت است. هر نقشه پهنه‌بندی که دارای جمع کیفی بالاتر باشد دارای صحت و دقت بیشتری است (شیرانی و سیف، ۱۳۹۰؛ جی، ۱۹۹۱).

نتایج و بحث

نقشه پراکنش چشمه‌ها، با نقشه‌های عامل‌های تأثیرگذار بر رخداد چشمه تلفیق شده و تراکم چشمه‌ها در هر یک از طبقه‌های عامل‌های تأثیرگذار به دست آمد. سپس وزن هر یک از کلاس‌ها با مدل‌های ارزش اطلاعات و تراکم سطح به دست آمد. نتایج بدست آمده در جدول ۱ ارائه شده است. پس از محاسبه وزن‌ها و ترکیب آن‌ها نقشه پهنه‌بندی پتانسیل چشمه با بهره‌گیری از مدل‌های ارزش اطلاعات و تراکم سطح به دست آمد که بر اساس شکستگی‌های طبیعی در چهار کلاس کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند (شکل

سطح هر عامل و n تعداد کل عوامل می‌باشد. در نهایت شاخص پتانسیل آب زیرزمینی بدست آمده بر اساس روش شکست طبیعی^۱ به چهار کلاس پتانسیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی گردید (داوودی‌مقدم و همکاران، ۲۰۱۳؛ پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۳؛ زارع و همکاران، ۲۰۱۳).

ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی پتانسیل چشمه‌ها

در ارزیابی مدل‌ها نمی‌توان از همان چشمه‌هایی استفاده نمود که در پهنه‌بندی (آموزش) استفاده شده‌اند لذا از بین ۹۷ نقطه چشمه موجود در منطقه ۷۰٪ (۶۸ چشمه) برای مدل‌سازی و ۳۰٪ (۲۹ چشمه) نیز برای ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت (پرادهان، ۲۰۱۰). سپس با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد نسبی و جمع کیفی^۲ صحت نقشه‌های پهنه‌بندی شده ارزیابی شد. منحنی مشخصه عملکرد نسبی از کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیات تعیین، شناسایی احتمالات و پیش‌بینی سیستم‌ها است که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند (سوتس، ۱۹۸۸). منحنی مشخصه عملکرد نسبی (ROC) نموداری است که در آن نسبت پیکسل‌هایی که توسط مدل به درستی وقوع یا عدم وقوع چشمه پیش‌بینی شده‌اند (True positive) در برابر مقدار مکمل آن یعنی نسبت پیکسل‌هایی که نادرست پیش‌بینی شده‌اند (False Positive) ترسیم می‌گردد (کریمی‌سنگ‌چینی و همکاران، ۱۳۹۱). سطح زیر منحنی، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع چشمه) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع چشمه) آن است (کروی و همکاران، ۲۰۱۰). برای رسم منحنی مشخصه عملکرد نسبی، قبل از کلاس‌بندی نقشه وزن نهایی، نقاط چشمه را که برای ارزیابی در نظر گرفته شده روی نقشه انداخته و وزنی که در هر نقطه چشمه به دست آمده را یادداشت کرده (کد ۱) و به همین تعداد نیز نقاطی را به صورت تصادفی در مناطق دیگر انتخاب، و وزن آن‌ها نیز یادداشت می‌شود (کد صفر) (ازدمیر، ۲۰۱۱). بر اساس روابط موجود برای این روش وزن‌های به دست آمده استاندارد شده و وزن نقاط چشمه به عنوان وزن‌های صحیح در محور عمودی و وزن بقیه نقاط که به صورت تصادفی انتخاب شده بودند را در محور افقی وارد

1- Natural Break
2- Quality Sum

3- Density Ratio

۲ و ۳). این روش طبقه‌بندی براساس گروه‌بندی طبیعی موجود در ذات داده‌ها انجام می‌شود. نقاط شکستگی بین دسته‌ها به گونه‌ای معین می‌شود که به بهترین وجه ممکن مقادیر مشابه در یک گروه جای داده شوند و تفاوت ما بین کلاس‌ها بیشینه شود.

جدول ۱- مقادیر حاصل از ارتباط عوامل مؤثر در وقوع چشمه

عامل	طبقه	کل پیکسل‌ها	درصد فراوانی پیکسل‌ها	تعداد چشمه	درصد فراوانی چشمه	تعداد چشمه به پیکسل‌های هر طبقه	شاخص آماری	تراکم سطح *
سنگ‌شناسی	Pd (سازند درود)	۴۵۸۵	۱/۷	۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	-۵/۵۱	-۰/۲۵
	Pr (سازند روتنه)	۲۰۹۷۲	۷/۶۰	۱۲	۱۷/۶۵	۰/۰۰۰۵۷۲	۰/۸۴	۰/۳۳
	C ^b (سازند باقر آباد)	۸۴۳۱	۳/۰۶	۱	۱/۴۷	۰/۰۰۰۱۱۹	-۰/۷۳	-۰/۱۳
	J ^{mz} (سازند مزدوران)	۱۰۰۸۲	۳/۶۶	۱	۱/۴۷	۰/۰۰۰۰۹۹	-۰/۹۱	-۰/۱۵
	C ^m (سازند مبارک)	۱۰۷۱۵	۳/۸۹	۱	۱/۴۷	۰/۰۰۰۰۹۳	-۰/۹۷	-۰/۱۵
	Q ^{۱۲} (مخروطه افکنه جدید)	۲۱۳۲۰	۷/۷۳	۶	۸/۸۲	۰/۰۰۰۲۸۱	۰/۱۳	۰/۰۳
	D ^{kh} (سازند خوش بیلاق)	۵۶۶۴۹	۲۰/۵۴	۹	۱۳/۲۴	۰/۰۰۰۱۵۹	-۰/۴۴	-۰/۰۹
	Q ^{al} (رسوبات رودخانه‌ای)	۲۵۴۲	۰/۹۲	۲	۲/۹۴	۰/۰۰۰۷۸۷	۱/۱۶	۰/۵۴
	K ^u (سازند آبدراز)	۱۱۸۴	۰/۴۳	۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	-۵/۵۱	-۰/۲۵
	K ^{tr} (سازند تیرگان)	۳۹۸۲	۱/۴۴	۲	۲/۹۴	۰/۰۰۰۵۰۲	۰/۷۱	۰/۲۶
	Q ^{sc} (رسوبات واریزه‌ای)	۱۲۰۴۸	۴/۳۷	۸	۱۱/۷۶	۰/۰۰۰۶۶۴	۰/۹۹	۰/۴۲
	K ^{sh} (سازند شورچه)	۸۱۵۵	۲/۹۶	۵	۷/۳۵	۰/۰۰۰۶۱۳	۰/۹۱	۰/۳۷
	J ^{s1} (سازند شمشک زیرین)	۴۹۱۸۲	۱۷/۸۳	۱۰	۱۴/۷۱	۰/۰۰۰۲۰۳	-۰/۱۹	-۰/۰۴
	Q ^{۱1} (پادگانه‌های قدیمی)	۳۴۰	۰/۱۲	۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	-۵/۵۱	-۰/۲۵
J ^{s3} (سازند شمشک بالایی)	۲۸۲۸۲	۱۰/۲۶	۸	۱۱/۷۶	۰/۰۰۰۲۸۳	۰/۱۴	۰/۰۴	
J ^{s2} (سازند شمشک میانی)	۳۷۳۰۴	۱۳/۵۳	۳	۴/۴۱	۰/۰۰۰۰۸۰	-۱/۱۲	-۰/۱۷	
کاربری اراضی	جنگل پهن‌برگ	۲۰۵۲۷۵	۷۴/۴۴	۴۲	۶۱/۷۶	۰/۰۰۰۲۰۵	-۰/۱۹	-۰/۰۴
	اراضی رها شده	۱۶۲۲	۰/۵۹	۱	۱/۴۷	۰/۰۰۰۶۱۷	۰/۹۲	۰/۳۷
	مرتع	۹۰۱۳	۳/۲۷	۴	۵/۸۸	۰/۰۰۰۴۴۴	۰/۵۹	۰/۲۰
	زراعت	۳۸۲۱۱	۱۳/۸۶	۱۷	۲۵/۰۰	۰/۰۰۰۴۴۵	۰/۵۹	۰/۲۰
	مستحذات	۲۱۲۳	۰/۷۷	۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	-۵/۵۱	-۰/۲۵
	برونزدگی سنگی	۱۲۰۳۳	۴/۳۶	۳	۴/۴۱	۰/۰۰۰۲۴۹	۰/۰۱	۰/۰۰
	جنگل سوزنی برگ طبیعی	۵۹۰۴	۲/۱۴	۱	۱/۴۷	۰/۰۰۰۱۶۹	-۰/۳۸	-۰/۰۸
	باغ	۶۸۸	۰/۲۵	۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	-۵/۵۱	-۰/۲۵
	جنگل سوزنی دست کاشت	۸۸۶	۰/۳۲	۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	-۵/۵۱	-۰/۲۵
	فاصله	۰-۱۰۰	۲۸۸۷۶	۱۰/۴۶	۱۰	۱۴/۷۱	۰/۰۰۰۳۴۶	۰/۳۴

مقایسه عملکرد روش های ارزش اطلاعات و ...
Performance comparison of Information Value and ...

از گسل	۱۰۰-۲۰۰	۲۶۴۶۵	۹/۵۹	۶	۸/۸۲	۰/۰۰۰۲۲۷	-۰/۰۸	-۰/۰۲
	۲۰۰-۳۰۰	۲۳۵۱۹	۸/۵۲	۱۲	۱۷/۶۵	۰/۰۰۰۵۱۰	-۰/۷۳	۰/۲۶
	۳۰۰-۴۰۰	۲۱۲۳۸	۷/۷۰	۳	۴/۴۱	۰/۰۰۰۱۴۱	-۰/۵۶	-۰/۱۱
	۴۰۰<	۱۷۵۸۴۳	۶۳/۷۲	۳۷	۵۴/۴۱	۰/۰۰۰۲۱۰	-۰/۱۶	-۰/۰۴
فاصله از جاده	۰-۱۰۰	۴۲۶۲۰	۱۵/۵۴	۱۶	۲۳/۵۳	۰/۰۰۰۳۷۵	-۰/۴۱	۰/۱۳
	۱۰۰-۲۰۰	۳۰۳۸۳	۱۱/۰۸	۱۴	۲۰/۵۹	۰/۰۰۰۴۶۱	-۰/۶۲	۰/۳۱
	۲۰۰-۳۰۰	۲۴۱۱۶	۸/۷۹	۷	۱۰/۲۹	۰/۰۰۰۲۹۰	-۰/۱۶	۰/۰۴
	۳۰۰-۴۰۰	۱۸۷۰۰	۶/۸۲	۲	۲/۹۴	۰/۰۰۰۱۰۷	-۰/۸۴	-۰/۱۴
فاصله از رودخانه	۴۰۰<	۱۵۸۳۹۷	۵۷/۷۶	۲۹	۴۲/۶۵	۰/۰۰۰۱۸۳	-۰/۳۰	-۰/۰۶
	۰-۱۰۰	۷۲۴۲۵	۲۶/۲۶	۲۲	۳۲/۳۵	۰/۰۰۰۳۰۴	-۰/۲۱	۰/۰۶
	۱۰۰-۲۰۰	۶۱۸۷۵	۲۲/۴۴	۱۶	۲۳/۵۳	۰/۰۰۰۲۵۹	-۰/۰۵	۰/۰۱
	۲۰۰-۳۰۰	۴۷۶۶۸	۱۷/۲۸	۱۱	۱۶/۱۸	۰/۰۰۰۲۳۱	-۰/۰۷	-۰/۰۲
بافت خاک	۳۰۰-۴۰۰	۳۳۲۵۶	۱۲/۰۶	۹	۱۳/۲۴	۰/۰۰۰۲۷۱	-۰/۰۹	۰/۰۲
	۴۰۰<	۶۰۵۶۸	۲۱/۹۶	۱۰	۱۴/۷۱	۰/۰۰۰۱۶۵	-۰/۴۰	-۰/۰۸
	لومی - سیلتی	۴۱۰۲۰	۱۴/۸۸	۱۳	۱۹/۱۲	۰/۰۰۰۳۱۷	-۰/۲۵	۰/۰۷
	لومی - رسی - سیلتی	۷۳۳۲۸	۲۶/۵۹	۲۰	۲۹/۴۱	۰/۰۰۰۲۷۳	-۰/۱۰	۰/۰۳
طول شیب	لومی	۸۶۲۶۵	۳۱/۲۸	۱۵	۲۲/۰۶	۰/۰۰۰۱۷۴	-۰/۳۵	-۰/۰۷
	برونزدگی سنگی	۳۶۰۶	۱/۳۱	۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	-۵/۵۱	-۰/۲۵
	لومی درشت دانه	۴۸۱۷۲	۱۷/۶۹	۱۴	۲۰/۵۹	۰/۰۰۰۲۸۷	-۰/۱۵	۰/۰۴
	لومی - رسی	۲۲۷۶۹	۸/۲۶	۶	۸/۸۲	۰/۰۰۰۲۶۴	-۰/۰۷	۰/۰۲
درصد شیب	<۶۰	۷۳۷۱۱	۲۶/۷۱	۱۰	۱۴/۷۱	۰/۰۰۰۱۳۶	-۰/۶۰	-۰/۱۱
	۶۰-۱۲۰	۹۶۱۷۵	۳۴/۸۵	۲۹	۴۲/۶۵	۰/۰۰۰۳۰۲	-۰/۲۰	۰/۰۶
	۱۲۰-۱۸۰	۵۸۱۵۶	۲۱/۰۷	۱۵	۲۲/۰۶	۰/۰۰۰۲۵۸	-۰/۰۵	۰/۰۱
	۱۸۰<	۴۷۹۱۴	۱۷/۳۶	۱۴	۲۰/۵۹	۰/۰۰۰۲۹۲	-۰/۱۷	۰/۰۵
جهت شیب	۰-۵	۸۰۵۷	۲/۹۲	۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	-۵/۵۱	-۰/۲۵
	۵-۸	۵۶۴۶	۲/۰۵	۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	-۵/۵۱	-۰/۲۵
	۸-۱۲	۸۵۲۱	۳/۰۹	۶	۸/۸۲	۰/۰۰۰۷۰۴	-۰/۰۵	۰/۴۶
	۱۲-۲۰	۳۱۴۰۱	۱۱/۳۸	۸	۱۱/۷۶	۰/۰۰۰۲۵۵	-۰/۰۳	۰/۰۱
	۲۰-۳۰	۶۱۴۸۶	۲۲/۲۸	۲۳	۳۳/۸۲	۰/۰۰۰۳۷۴	-۰/۴۲	۰/۱۳
	۳۰-۶۰	۱۲۷۶۰۹	۴۶/۲۴	۲۹	۴۲/۶۵	۰/۰۰۰۲۲۷	-۰/۰۸	-۰/۰۲
انحنای پروفیل	۶۰<	۳۳۲۳۶	۱۲/۰۴	۲	۲/۹۴	۰/۰۰۰۰۶۰	-۰/۴۱	-۰/۱۹
	مسطح	۱۸۵۰	۰/۶۷	۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	-۵/۵۱	-۰/۲۵
	شمال	۵۲۰۲۷	۱۸/۸۵	۱۵	۲۲/۰۶	۰/۰۰۰۲۸۸	-۰/۱۶	۰/۰۴
	شمال شرقی	۳۲۵۲۰	۱۱/۷۸	۹	۱۳/۲۴	۰/۰۰۰۲۷۷	-۰/۱۲	۰/۰۳
	شرق	۳۳۲۶۴	۱۲/۰۵	۶	۸/۸۲	۰/۰۰۰۱۸۰	-۰/۳۱	-۰/۰۷
	جنوب شرقی	۲۵۹۲۸	۹/۴۰	۷	۱۰/۲۹	۰/۰۰۰۲۷۰	-۰/۰۹	۰/۰۲
	جنوب	۱۸۹۰۴	۶/۸۵	۶	۸/۸۲	۰/۰۰۰۳۱۷	-۰/۲۵	۰/۰۷
	جنوب غربی	۲۳۲۶۳	۸/۴۳	۵	۷/۳۵	۰/۰۰۰۲۱۵	-۰/۱۴	-۰/۰۳
انحنای پروفیل	غرب	۳۵۲۸۴	۱۲/۷۹	۸	۱۱/۷۶	۰/۰۰۰۲۲۷	-۰/۰۸	-۰/۰۲
	شمال غربی	۵۲۹۱۶	۱۹/۱۸	۱۲	۱۷/۶۵	۰/۰۰۰۲۲۷	-۰/۰۸	-۰/۰۲
	(<۰/۰۰۱)	۱۳۱۶۹۲	۴۸/۳۸	۲۶	۳۸/۲۴	۰/۰۰۰۱۹۷	-۰/۲۴	-۰/۰۵
(۰/۰۰۱-۰/۰۰۱)	۳۳۱۲	۱/۲۲	۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	-۵/۵۲	-۰/۲۵	

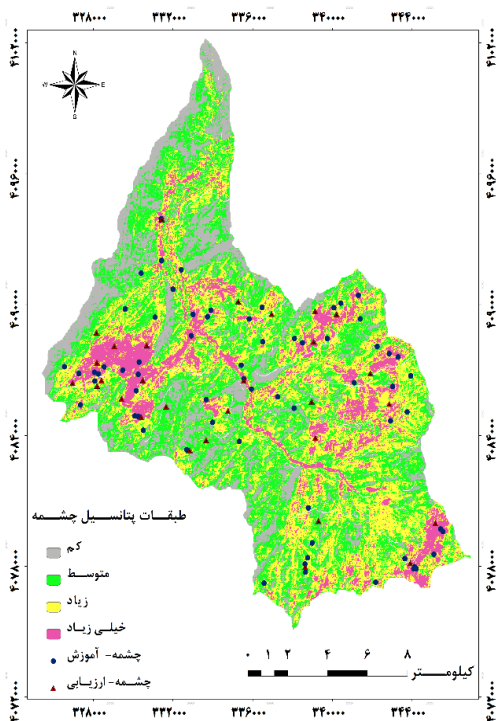
	(۰/۰۰۱<)	۱۳۷۱۷۴	۵۰/۴۰	۴۲	۶۱/۷۶	۰/۰۰۰۳۰۶	۰/۲۰	۰/۰۶
انحنای دشت	مقعر	۱۲۸۱۷۳	۴۶/۴۵	۴۲	۶۱/۷۶	۰/۰۰۰۳۲۸	۰/۲۹	۰/۰۸
	صاف	۱۸۴۰۱	۶/۶۷	۱	۱/۴۷	۰/۰۰۰۰۵۴	-۱/۵۱	-۰/۱۹
	محدب	۱۲۹۳۸۲	۴۶/۸۹	۲۵	۳۶/۷۶	۰/۰۰۰۱۹۳	-۰/۲۴	-۰/۰۵
شاخص رطوبت توپوگرافی	<۱۰	۱۰۴۹۹۴	۳۸/۰۵	۹	۱۳/۲۴	۰/۰۰۰۰۸۶	-۱/۰۶	-۰/۱۶
	۱۰-۱۴	۱۵۴۸۸۴	۵۶/۱۳	۵۷	۸۳/۸۲	۰/۰۰۰۳۶۸	۰/۴۰	۰/۱۲
	۱۴-۱۸	۱۳۲۶۳	۴/۸۱	۲	۲/۹۴	۰/۰۰۰۱۵۱	-۰/۴۹	-۰/۱۰
شاخص قدرت رودخانه	۱۸<	۲۸۱۵	۱/۰۲	۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	-۵/۵۱	-۰/۲۵
	<۴۰۰	۱۵۰۲۶	۵/۴۵	۱	۱/۴۷	۰/۰۰۰۰۶۷	-۱/۳۱	-۰/۱۸
	۴۰۰-۸۰۰	۱۴۱۶۳	۵/۱۳	۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	-۵/۵۱	-۰/۲۵
تراکم گسل	۸۰۰-۱۲۰۰	۱۴۶۱۴	۵/۳۰	۳	۴/۴۱	۰/۰۰۰۲۰۵	-۰/۱۸	-۰/۰۴
	۱۲۰۰<	۲۳۲۱۵۳	۸۴/۱۳	۶۴	۹۴/۱۲	۰/۰۰۰۲۷۶	۰/۱۱	۰/۰۳
	<۲	۱۶۲۴۸۴	۵۸/۸۸	۳۶	۵۲/۹۴	۰/۰۰۰۲۲۲	-۰/۱۱	-۰/۰۲
	۲-۴	۲۴۹۵۵	۹/۰۴	۱۱	۱۶/۱۸	۰/۰۰۰۴۴۱	۰/۵۸	۰/۱۹
تراکم زهکشی	۴-۶	۲۸۰۹۵	۱۰/۱۸	۸	۱۱/۷۶	۰/۰۰۰۲۸۵	۰/۱۴	۰/۰۴
	۶<	۶۰۴۰۷	۲۱/۸۹	۱۳	۱۹/۱۲	۰/۰۰۰۲۱۵	-۰/۱۴	-۰/۰۳
	<۱/۲۵	۷۵۹۲۸	۲۷/۵۲	۱۳	۱۹/۱۲	۰/۰۰۰۱۷۱	-۰/۳۶	-۰/۰۸
	۱/۲۵-۲/۵۰	۱۱۰۶۷۲	۴۰/۱۱	۲۴	۳۵/۲۹	۰/۰۰۰۲۱۷	-۰/۱۳	-۰/۰۳
ارتفاع	۲/۵۰-۳/۷۵	۶۶۰۳۶	۲۳/۹۳	۲۱	۳۰/۸۸	۰/۰۰۰۳۱۸	۰/۲۵	۰/۰۷
	۳/۷۵<	۲۳۳۰۴	۸/۴۵	۱۰	۱۴/۷۱	۰/۰۰۰۴۲۹	۰/۵۵	۰/۱۸
	۱۳۴-۵۰۰	۳۰۶۶۵	۱۱/۱۱	۷	۱۰/۲۹	۰/۰۰۰۲۲۸	-۰/۰۸	-۰/۰۲
	۵۰۰-۹۰۰	۴۱۵۷۹	۱۵/۰۷	۸	۱۱/۷۶	۰/۰۰۰۱۹۲	-۰/۲۵	-۰/۰۵
	۹۰۰-۱۳۰۰	۶۵۱۲۷	۲۳/۶۰	۱۰	۱۴/۷۱	۰/۰۰۰۱۵۴	-۰/۴۷	-۰/۰۹
	۱۳۰۰-۱۷۰۰	۷۵۱۷۰	۲۷/۲۴	۲۴	۳۵/۲۹	۰/۰۰۰۳۱۹	۰/۲۶	۰/۰۷
	۱۷۰۰-۲۱۰۰	۴۸۶۸۸	۱۷/۶۴	۱۵	۲۲/۰۶	۰/۰۰۰۳۰۸	۰/۲۲	۰/۰۶
۲۱۰۰-۲۵۰۰	۱۳۰۸۵	۴/۷۴	۴	۵/۸۸	۰/۰۰۰۳۰۶	۰/۲۲	۰/۰۶	
گروه هیدرولوژیکی خاک	۲۵۰۰-۲۸۲۰	۱۶۴۲	۰/۶۰	۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	-۵/۵۱	-۰/۲۵
	B	۱۰۹۹۳۶	۳۹/۸۶	۲۰	۲۹/۴۱	۰/۰۰۰۱۸۲	-۰/۳۰	-۰/۰۶
	C	۱۶۲۲۵۳	۵۸/۸۳	۴۸	۷۰/۵۹	۰/۰۰۰۲۹۶	۰/۱۸	۰/۰۵
تراکم پوشش گیاهی	D	۳۵۹۴	۱/۳۰	۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	-۵/۵۱	-۰/۲۵
	بدون پوشش جنگلی	۵۱۴۸۰	۱۸/۶۶	۲۲	۳۲/۳۵	۰/۰۰۰۴۲۷	۰/۵۵	۰/۱۸
	برونزدگی سنگی	۱۲۵۲۳	۴/۵۴	۳	۴/۴۱	۰/۰۰۰۲۴۰	-۰/۰۳	-۰/۰۱
	جنگل متراکم	۱۰۶۷۵۲	۳۸/۷۰	۲۰	۲۹/۴۱	۰/۰۰۰۱۸۷	-۰/۲۷	-۰/۰۶
	جنگل متوسط تراکم	۸۴۸۶۴	۳۰/۷۷	۱۹	۲۷/۹۴	۰/۰۰۰۲۲۴	-۰/۱۰	-۰/۰۲
جنگل کم تراکم	۲۰۱۹۲	۷/۳۲	۴	۵/۸۸	۰/۰۰۰۱۹۸	-۰/۲۲	-۰/۰۵	

* در روش شاخص آماری، تعداد کل چشمه‌ها به جمع کل پیکسل‌های منطقه برابر ۰/۰۰۰۲۵ می‌باشد.

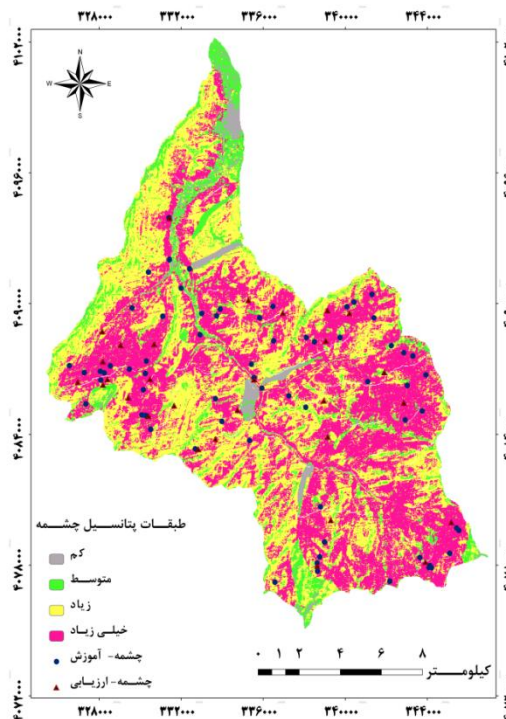
دقت مدل بیشتر است که میزان آن بین ۰/۵ (پیش‌بینی تصادفی نشان داده شده به وسیله خط راست قطری) تا ۱ (پیش‌بینی کامل) متغیر است. به طور کلی تقسیم‌بندی ۰/۹-۰/۶، عالی، ۰/۸-۰/۹، خیلی خوب، ۰/۷-۰/۸، خوب، ۰/۶-۰/۷

به منظور دستیابی به مدل منطقه‌ای مناسب برای حوزه آبخیز قورچای رامیان از شاخص‌های منحنی مشخصه عملکرد نسبی و جمع کیفی استفاده شد. در ارزیابی با منحنی مشخصه عملکرد نسبی هر چه سطح زیر منحنی بیشتر باشد

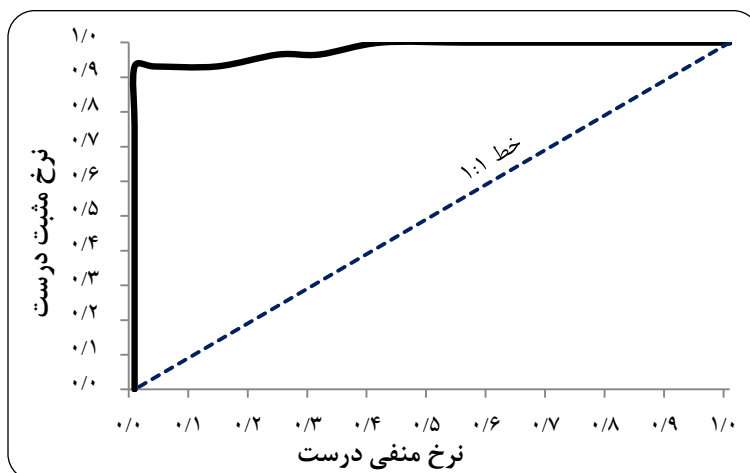
متوسط و ۰/۵-۰/۶ ضعیف برای آن ارائه کرده اند (اشکال ۴ و ۵). همین طور ارزیابی مدل براساس آماره جمع کیفی نیز در جدول ۲ ارائه شده است.



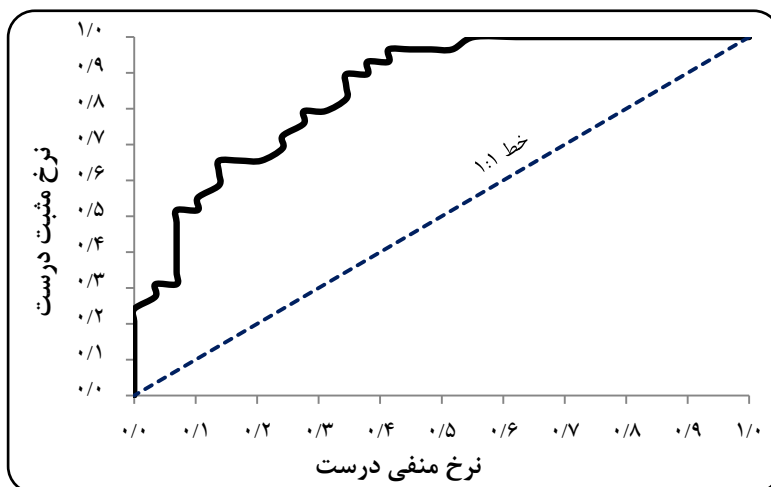
شکل ۳- نقشه پتانسیل چشمة آب زیرزمینی حوزه آبخیز قورچای با استفاده از مدل تراکم سطح



شکل ۲- نقشه پتانسیل چشمة آب زیرزمینی حوزه آبخیز قورچای با استفاده از مدل شاخص آماری



شکل ۴- منحنی مشخصه عملکرد نسبی و سطح زیر منحنی مربوط به نقشه پتانسیل آب زیرزمینی مدل شاخص آماری



شکل ۵- منحنی مشخصه عملکرد نسبی و سطح زیر منحنی مربوط به نقشه پتانسیل آب زیرزمینی مدل تراکم سطح

جدول ۲- ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی پتانسیل چشمه آب زیرزمینی با استفاده از جمع کیفی و دقت مدل

نوع مدل	طبقه پتانسیل	تعداد کل پیکسل‌ها	درصد مساحت	تعداد نقاط چشمه در کلاس	درصد چشمه	نسبت تراکمی	درصد* (DR-1) ^{۸۲} مساحت	جمع کیفی	دقت مدل
	کم	۷۸۴۳	۲/۹۰	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۹۰		
شاخص آماری	متوسط	۳۱۵۴۱	۱۱/۶۷	۲	۶/۹۰	۰/۵۹	۱/۹۵	۰/۴۸۸	۹۳/۱۰
	زیاد	۱۰۹۴۹۹	۴۰/۵۰	۴	۱۳/۷۹	۰/۳۴	۱۷/۶۱		
	خیلی زیاد	۱۲۱۴۶۳	۴۴/۹۳	۲۳	۷۹/۳۱	۱/۷۷	۲۶/۳۱		
	کم	۵۳۷۲۸	۱۹/۸۷	۱	۳/۴۵	۰/۱۷	۱۳/۵۸		
تراکم سطح	متوسط	۹۵۳۵۶	۳۵/۲۷	۹	۳۱/۰۳	۰/۸۸	۰/۵۱	۰/۴۵۹	۶۵/۵۲
	زیاد	۸۴۳۵۰	۳۱/۲۰	۹	۳۱/۰۳	۰/۹۹	۰/۰۰		
	خیلی زیاد	۲۶۹۱۲	۱۳/۶۵	۱۰	۳۴/۴۸	۲/۵۳	۳۱/۷۸		

می‌باشند. در مدل تراکم سطح نیز عوامل مؤثر تا حدودی مانند مدل شاخص آماری می‌باشند؛ و عوامل مربوط به تراکم گسل، فاصله از گسل، تراکم زهکشی و سنگ‌شناسی با ارزش ۰/۰۴۴، ۰/۰۴۱، ۰/۰۳۷ و ۰/۰۳۲ به عنوان مؤثرترین عوامل در وقوع چشمه آب زیرزمینی شناخته شده‌اند.

همچنین زیر کلاس‌های سنگ‌شناسی (سازند سنگی رسوبات رودخانه‌ای، رسوبات واریزه‌ای سازند شوربچه و سازند روتنه)، کاربری اراضی رها شده و زیر کلاس شیب ۱۲-۸ درصد بیشترین ارزش را دارند و از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع چشمه می‌باشند.

تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر نشان می‌دهد که عمده چشمه‌ها در خاک‌هایی با بافت لومی مشاهده شده‌اند. به طوری که در بافت لومی-رسی-سیلتی، لومی و لومی درشت دانه به ترتیب ۲۹/۴۱، ۲۲/۰۶ و ۲۰/۵۹ درصد چشمه مشاهده

بررسی عوامل تأثیرگذار در ظهور چشمه نشان داد که در مدل شاخص آماری مؤثرترین عوامل در وقوع چشمه عوامل مربوط به سنگ‌شناسی، گسل، رودخانه، کاربری و شیب می‌باشند. در مدل مذکور سنگ‌شناسی و کاربری اراضی تأثیرگذارترین عوامل می‌باشند که به ترتیب دارای ارزش متوسط ۰/۲۳ و ۰/۱۷ هستند. همچنین ارزش مربوط به عوامل تراکم گسل، تراکم زهکشی و فاصله از گسل به عنوان عوامل مؤثر و تأثیرگذار به ترتیب برابر ۰/۱۲، ۰/۰۸ و ۰/۰۵ می‌باشد. بررسی زیر کلاس‌های مؤثر بر وقوع چشمه نیز بیانگر این است که عوامل سنگ‌شناسی (رسوبات رودخانه‌ای، رسوبات واریزه‌ای و سازند شوربچه به ترتیب با ارزش ۱/۱۶، ۰/۹۹ و ۰/۹۱) عامل کاربری اراضی (زیر کلاس کاربری اراضی رها شده با ارزش ۰/۹۲) و شیب (زیر کلاس شیب ۱۲-۸ درصد با ارزش ۱/۰۵) از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر وقوع چشمه

نشاندهنده تأثیر قابل ملاحظه گسل در ظهور چشمه (چشمه های گسلی) دارد (لی و همکاران، ۲۰۰۶). به طور کلی وزن مربوط به رسوبات رودخانه ای که دربرگیرنده آبرفت های جوان بستر رودخانه هستند، در روش های شاخص آماری و تراکم سطح حداکثر می باشد. سازند رسوبات واریزه ای و سازند شوربجه که شامل آهک مارنی و مارن آهکی هستند در رده های بعدی ارزش قرار دارند. در یک بررسی اجمالی می توان چنین بیان داشت که سازندهای سنگی مربوط به دوران سنوزوئیک که در برگیرنده رسوبات آبرفتی و واریزه ای جدیدتری می باشند پتانسیل آب زیرزمینی بالاتری دارند و ارزش بالاتری نسبت به سایر سازندهای سنگی منطقه در پتانسیل آب زیرزمینی دارند. جاده ها بریدگی هایی هستند که باعث قطع ارتباط جریانات زیرزمینی می گردند در این صورت آبی که قبلاً در زیرزمین جریان داشت با احداث جاده ارتباط میان بالادست و پایین دست دامنه قطع و به صورت چشمه ظاهر می گردد. بعبارت دیگر با ایجاد جاده (به ویژه جاده جنگلی) دامنه کوه از حالت طبیعی خارج می شود و با ایجاد شکستگی ناشی از احداث جاده آب زیر سطحی حالت پیوستگی خود را از دست میدهد و در ترانشه جاده چشمه ایجاد می شود که تعداد این چشمه ها نیز خیلی زیاد می باشد. همچنین جاده ها به صورت غیرمستقیم بر روی قابلیت نفوذپذیری و تخلخل زمین تأثیرگذار است (داوودی مقدم، ۲۰۱۳). وقتی جاده ایجاد می شود (جاده آسفاته یا خاکی) با وجود این که شیب کاهش می یابد ولی باز هم به دلیل فشردگی جاده نفوذپذیری کاهش و یا زمین غیر قابل نفوذ می شود که نمونه بارز این تغییرات را می توان در تغییر مقادیر اوج جریان و زمان تمرکز جریان مشاهده نمود. باوجود این که جاده سطح ناچیزی از حوزه را شامل می شود چون باعث تغییر در شرایط توپوگرافی و هیدرولوژیکی می شود اثرات آن بسیار چشمگیر است که می توان نمونه چنین نتایجی را در مطالعات پورتنقی و پورقاسمی (۲۰۱۴) و مایودوزسکی (۲۰۰۸) مشاهده نمود. به طور کلی ارزش مربوط به روش های شاخص آماری و تراکم سطح در فاصله کمتر از ۲۰۰ متر از جاده حداکثر می باشد که نشان دهنده نقش مؤثر جاده سازی در ظهور چشمه ها می باشند. بیشتر چشمه ها در فاصله کمتر از ۱۰۰ متری رودخانه ها می باشند (۲۲ چشمه) و مقدار وزن مربوط به کلاس فاصله

شده است. همچنین با در نظر گرفتن تعداد چشمه های مشاهده شده در هر بافت خاکی بر اساس مساحت تحت پوشش آن، وزن بافت خاک لومی- سیلنتی و لومی درشت دانه دارای بالاترین ارزش می باشند. در دامنه های شمالی و غربی به دلیل بارندگی و رطوبت بیشتر و درجه حرارت پایین تر فراوانی چشمه ها بیشتر می باشد. همچنین وزن مربوط به روش های شاخص آماری و تراکم سطح در جهت های جنوب و جهت شمال حداکثر می باشد. به لحاظ ارتفاعی بیشترین تعداد ظهور چشمه ها مربوط به ارتفاعات میان بند می باشد و دامنه ارتفاعی ۱۷۰۰-۱۳۰۰ متر و ۲۱۰۰-۱۷۰۰ متری به ترتیب با داشتن ۲۴ و ۱۵ چشمه دارای بالاترین وزن می باشند. این روند همان طوری که در نتایج نشان داده شده است نشان دهنده نقش بارش در وقوع چشمه می باشد زیرا با افزایش ارتفاع میزان بارش بیشتر شده (تا ارتفاع اپتیمم مقدار بارندگی افزایش می یابد و از آن ارتفاع به بعد بارندگی کمتر می شود) و احتمال وقوع چشمه نیز بیشتر می شود اما این روند در ارتفاعات خیلی بالا به علت این که بارش معمولاً به صورت برف بوده و غالب بودن پدیده یخبندان در بخش بزرگی از سال با توجه به دمای پایین هوا برف باریده شده به مرور زمان ذوب شده و در این ارتفاعات و ارتفاعات پایین تر به صورت چشمه ظاهر می شود. بیشترین ارزش روش های شاخص آماری و تراکم سطح مربوط به کاربری های اراضی رها شده، مرتع و زراعت می باشد. در مورد تراکم پوشش گیاهی نیز بیشترین تعداد چشمه در منطقه جنگلی با تراکم متوسط وجود دارد. اگر تراکم پوشش گیاهی خیلی کم باشد در این صورت مقدار بیشتری از بارش به سطح زمین رسیده و بر روی زمین جاری می شود در این صورت نفوذپذیری کم می شود. با افزایش تراکم پوشش گیرش گیاهی، برگاب و ساقاب بیشتر می شود و نیز آب جاری شده به حالت فیلتر شده (کاستن سرعت نفوذ و انتقال) به زیر سطح می رود و مقدار آب زیرزمینی بیشتر می شود. اگر تراکم پوشش گیاهی خیلی زیاد شود با وجود این که مقدار رواناب خیلی کم می شود ولی مقدار کمتری از آب باران به سطح زمین می رسد و عمدتاً توسط تاج پوشش گیاهی جذب شده و توسط تبخیر و تعرق به اتمسفر باز می گردد. بیشترین فراوانی و وزن مربوط به عوامل مربوط به فاصله از گسل و تراکم گسل مربوط به مناطقی با فاصله کمتر از ۳۰۰ متر از گسل و تراکم گسل $2 <$ می باشد که

آب زیرزمینی مساعدتر می‌باشند (مناپ، ۲۰۱۴). در مناطقی با شاخص رطوبت توپوگرافیکی کمتر از ۱۴ در حدود ۶۶ چشمه مشاهده شده است و وزن مربوط به این شاخص در کلاس ۱۴-۱۰ حداکثر می‌باشد. شاخص قدرت رودخانه مقیاسی از قدرت فرسایشی جریان آب می‌باشد (پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج نشان داد هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد تعداد چشمه‌های بیشتری در منطقه ایجاد می‌گردد؛ لذا در مناطق پرشیب و اطراف و رودخانه‌های اصلی چشمه‌های بیشتری دیده می‌شود که می‌تواند ناشی از این عامل باشد؛ وزن مربوط به این شاخص در مناطقی با شاخص قدرت رودخانه بیشتر از ۱۲۰۰ متر حداکثر می‌باشد. بررسی عامل مربوط به گروه هیدرولوژیکی خاک نیز نشان داد که گروه هیدرولوژیکی C با داشتن ۴۸ چشمه و گروه هیدرولوژیکی B نیز با ۲۰ چشمه بالاترین ارزش را دارند که با نتایج مطالعات داوودی مقدم و همکاران، (۲۰۱۳) در این زمینه مطابقت دارد. نتایج مربوط به نقشه‌های استخراجی پتانسیل چشمه آب زیرزمینی ایجاد شده بر اساس مدل‌های شاخص آماری و تراکم سطح نشان می‌دهد که در مدل شاخص آماری در حدود ۲/۹ درصد منطقه پتانسیل آب زیرزمینی پایین، ۱۱/۶۷ درصد پتانسیل متوسط، ۴۰/۵۰٪ منطقه پتانسیل بالا و ۴۴/۹۳٪ پتانسیل خیلی بالایی دارد. همچنین این مقادیر در مدل تراکم سطح از ۱۹/۸۷، ۳۵/۲۷، ۳۱/۲۰ و ۱۳/۶۵ درصد متغیر است. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد که مقدار سطح زیر منحنی برای مدل شاخص آماری (۰/۹۸۱) بالاتر از مدل تراکم سطح (۰/۸۵۱) می‌باشد. این در حالی است که مقدار انحراف معیار مدل ارزش اطلاعات (۰/۱۵) کمتر از مدل تراکم سطح (۰/۰۴۹) می‌باشد (شکل ۴ و ۵). با توجه به منحنی مشخصه عملکرد نسبی بدست آمده مدل شاخص آماری دارای دقت عالی و مدل تراکم سطح دارای دقت خیلی خوب هستند. بنابراین مدل شاخص آماری کارایی بهتری نسبت به مدل تراکم سطح در شناسایی مناطق پتانسیل چشمه منطقه مورد مطالعه دارد. و کاربرد آن در مناطقی که شرایط نسبتاً مشابه با منطقه مورد مطالعه دارند پیشنهاد می‌شود. بنابراین این روش به لحاظ انطباق بالای چشمه‌ها با مناطق پتانسیل بالا و خیلی بالا و همچنین توانایی در تفکیک کلاس‌های پتانسیل در منطقه مورد پژوهش کارایی مناسبی در تهیه نقشه پتانسیل چشمه آب زیرزمینی دارد. برای دستیابی

۱۰۰- متری از رودخانه حداکثر می‌باشد (داوودی- مقدم، ۲۰۱۳؛ پورقاسمی و بهشتی‌راد، ۲۰۱۴). تراکم زهکشی منعکس‌کننده زمین‌شناسی و ساختمان هر منطقه‌ای است و در ارزیابی منابع آب زیرزمینی آن منطقه ارزش زیادی دارد (گودلیو، ۲۰۰۵). تراکم زهکشی نیز نقشی هم سو با فاصله از رودخانه دارد. هر چقدر که تراکم شبکه زهکشی بیشتر باشد مقدار ارزش‌های شاخص آماری و تراکم سطح نیز بیشتر می‌شود. بنابراین مقدار ارزش مربوطه در تراکم بیشتر از ۳/۷۵ حداکثر می‌باشد و با کاهش تراکم زهکشی این مقادیر کاهش می‌یابند (مناپ و همکاران، ۲۰۱۴). بیشتر چشمه‌ها در طول شیب ۱۲۰-۶۰ متری (۲۹ چشمه) و بیشتر از ۱۲۰ متر مشاهده شده است و مقدار ارزش این دو کلاس در روش‌های شاخص آماری و تراکم سطح بیشترین می‌باشد. در ارتباط با درصد شیب بیشترین مقدار چشمه‌ها در شیب ۶۰-۳۰ و ۳۰-۲۰ مشاهده شده است (۲۹ و ۲۳ چشمه). همچنین در شیب‌های پایین (زیر ۸ درصد) هیچ چشمه‌ای مشاهده نشده است که نشان‌دهنده احتمال پایین چشمه در این شیب‌ها دارد (پورتقی و پورقاسمی، ۲۰۱۴). با در نظر گرفتن مساحت هر کلاس مقادیر ارزش کلاس‌های شیب ۱۲-۸ و ۳۰-۲۰ در دو روش شاخص آماری و تراکم سطح حداکثر می‌باشد (داوودی- مقدم، ۲۰۱۳). بررسی انحناهای پروفیل نشان می‌دهد که پروفیل‌های مقعر (< ۰/۰۰۱) با داشتن ۶۱/۷۶ درصد چشمه‌ها و پروفیل‌های محدب (> ۰/۰۰۱) با داشتن ۴۸/۳۸ درصد چشمه‌ها به ترتیب بیشتری وزن را دارند و در مناطق با انحناهای پروفیل صاف (۰/۰۰۱) تا (-۰/۰۰۱) هیچ چشمه‌ای مشاهده نشده است. نتایج حاصل از انحناهای دشت نیز نشان می‌دهد که بیشترین ارتباط این عامل با وقوع چشمه در شکل انحناهای مقعر می‌باشد و ۶۱/۷۶ درصد چشمه‌ها در دامنه‌های مقعر مشاهده شده است (۴۲ چشمه) است که با نتایج مطالعات دار و همکاران (۲۰۱۰) و پورتقی و پورقاسمی (۲۰۱۴) در این زمینه مطابقت دارد. در دامنه‌های مقعر تمرکز جریان آب زیر قشری در پایین‌دست دامنه بیشتر بوده و این دامنه‌ها آب را برای دوره زمانی طولانی‌تری به‌ویژه در طول بارش‌های سنگین حفظ می‌کنند که این افزایش رطوبت باعث افزایش احتمال حضور چشمه در این دامنه‌ها می‌گردد (لی و پرادهان، ۲۰۰۶). بنابراین شیب‌های مقعر در مقایسه با شیب‌های محدب برای

شیرانی، ک.، و سیف، ع.، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های آماری (منطقه پیشکوه، شهرستان فریدون شهر)، مجله علوم زمین، جلد ۲۲، شماره ۸۵، ۱۵۸-۱۴۹.

کریمی، ح.، نادری، ف.، مرشدی، الف.، و نیک سرشت، مهدی.، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز چرداول ایلام با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، زمین‌شناسی کاربردی، جلد ۷، شماره ۴، ۳۳۲-۳۱۹.

کریمی سنگ‌چینی، الف.، اونق، م.، و سعدالدین، الف.، ۱۳۹۱. مقایسه کارایی ۴ مدل کمی و نیمه‌کمی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز چهل‌چای، استان گلستان، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۹، شماره ۱، ۱۹۶-۱۸۳.

صابری، ع.، رنگزن، ک.، مهجوری، ر.، و کشاورزی، م.، ۱۳۹۱. پتانسیل یابی منابع آب زیر زمینی با تلفیق سنجش از دور و GIS به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در نطقه کمستان استان خوزستان. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، جلد ۱، شماره ۶، ۲۰-۱۱.

عرفانیان، م.، فرج‌اللهی، ه.، سوری، م.، و شیرزادی، ع.، ۱۳۹۲. تهیه نقشه پتانسیل چشمه آب زیرزمینی با استفاده از مدل نسبت فراوانی در حوزه آبخیز چهل‌گزی، استان کردستان، دومین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم، همدان.

Arkoprovo, B., Adarsa, j., Prakash, S.S., 2012. Delineation of Groundwater Potential Zones using Satellite Remote Sensing and Geographic Information System Techniques, A Case study from Ganjam district, Orissa, India. *Research Journal of Recent Sciences*, 1(9), 59-66.

Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2), 15-31.

Beven, K., Freer, J., 2001. A dynamic TOPMODEL. *Hydrological Processes*, 15(10), 1993-2011.

Cervi, F., Berti, M., Borgatti, L., Ronchetti, F., Manenti, F., Corsini, A., 2010. Comparing predictive capability of statistical and deterministic methods for landslide susceptibility mapping: a case study in the northern Apennines (Reggio Emilia Province, Italy). *Landslides*, 7(4), 433-444.

به مدل مناسب در منطقه از روش‌های جمع کیفی و دقت مدل نیز استفاده گردید. بر اساس این روش ارزیابی نیز روش شاخص آماری با مقدار جمع کیفی ۰/۴۸۸ و دقت ۹۳/۱ نسبت به مدل تراکم سطح با جمع کیفی ۰/۴۵۹ و دقت ۶۵/۵۲ دقت بالاتری دارد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق کارایی دو مدل شاخص آماری و تراکم سطح در پهنه‌بندی پتانسیل چشمه‌های حوزه آبخیز قورچای استان گلستان در محیط ArcGIS 9.3 با استفاده از ۱۸ پارامتر مؤثر بر روی وقوع چشمه مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور نقشه ۱۸ عامل مؤثر بر وقوع چشمه در محیط ArcGIS 9.3 تهیه و طبقه‌بندی شد. نقشه پراکنش چشمه‌ها، با نقشه‌های عامل‌های تأثیرگذار بر رخداد چشمه تلفیق شده و تراکم چشمه در هر یک از طبقه‌های عامل‌های تأثیرگذار به دست آمد. سپس وزن هر یک از کلاسه‌ها تعیین و با استفاده از مدل‌های شاخص آماری و تراکم سطح با یکدیگر ترکیب شد و در نهایت نقشه پهنه‌بندی چشمه منطقه مورد مطالعه با استفاده از دو مدل مذکور تهیه شد. ارزیابی مدل‌ها نشان داد که به ترتیب منحنی مشخصه عملکرد نسبی و جمع کیفی در مدل شاخص آماری با مقادیر ۰/۹۸۱ و ۰/۴۸۸ نسبت به مدل تراکم سطح با مقادیر ۰/۸۵۱ و ۰/۴۵۹ برای پهنه‌بندی منابع چشمه‌ها در این محدوده مناسب‌تر است. همچنین بر اساس مدل شاخص آماری و تراکم سطح به ترتیب ۹۴/۱٪ و ۶۵/۵۱٪ از محدوده مورد مطالعه استعداد بالا و خیلی بالایی برای وقوع چشمه دارند. به طور کلی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی تهیه شده می‌تواند با توجه به خشکسالی‌های اخیر و روند رو به رشد جمعیت، بحران آبی به مدیران و مهندسان در طرح‌های توسعه آب زیرزمینی، مدیریت منابع آب، مدیریت منابع طبیعی، آمایش سرزمین و برنامه‌ریزی کاربری اراضی کمک نماید.

منابع

جوکار، ع.، غلامی، و.، و آنامرادنژاد، ر.، ۱۳۸۸. مقایسه عوامل مؤثر در آبدهی چشمه های کارستی و آبرفتی (مطالعه موردی استان مازندران)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، جلد ۱۶، شماره ۲، ۲۰۴-۲۰۰.

- probabilistic-based frequency ratio model in groundwater potential mapping using remote sensing data and GIS. Arabian Journal of Geosciences, 7(2), 711-724.*
- Mioduszewski, W., 2008. Impact of a road crossing on groundwater level in a river valley. *Journal of Water and Land Development, 12, 49-58.*
- Moore, I.D., Burch, G.J., 1986. Sediment transport capacity of sheet and rill flow: application of unit stream power theory. *Water Resources Research, 22(8), 1350-1360.*
- Moore, I.D., Grayson, R.B., Ladson, A.R., 1991. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes, 5(1), 3-30.*
- Naghibi, S.A., Pourghasemi, H.R., 2014. A Comparative Assessment between Three Machine Learning Models and Their Performance Comparison by Bivariate and Multivariate Statistical Methods in Groundwater Potential Mapping. *Water Resources Management, 29(14), 5217-5236.*
- Naghibi, S.A., Pourghasemi, H.R., Pourtaghi, Z.S., Rezaei, A., 2014. Groundwater qanat potential mapping using frequency ratio and Shannon's entropy models in the Moghan watershed, Iran. *Earth Science Informatics, 8(1), 171-186.*
- Ozdemir, A., 2011. GIS-based groundwater spring potential mapping in the Sultan Mountains (Konya, Turkey) using frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods and their comparison. *Journal of Hydrology, 411(3-4), 290-308.*
- 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.*
- Poudyal, C.P., Chang, C., Oh, H.J., Lee, S., 2010. Landslide susceptibility maps comparing frequency ratio and artificial neural networks: a case study from the Nepal Himalaya. *Environmental Earth Sciences, 61(5), 1049-1064.*
- Pourghasemi, H.R., Beheshtirad, M., 2014. 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.*
- Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R., Fatemi Aghda, S.M., 2013. Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Natural Hazards, 69(1), 749-779.*
- Pourtaghi, Z.S., Pourghasemi, H.R., 2014. GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran. *Hydrogeology, 22(3), 643-662.*
- Pradhan, B., 2010. Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross validation using multivariate logistic regression model on 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, 397-406.*
- Dar, I.A., Sankar, K., Dar, M.A., 2010. Remote sensing technology and geographic information system modeling: An integrated approach towards the mapping of groundwater potential zones in Hardrock terrain, Mamundiyar basin. *Journal of Hydrology, 394, 285-295.*
- Davoodi Moghaddam, D., Rezaei, M., Pourghasemi, H.R., Pourtaghi Z.S., Pradhan, B., 2013. Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan Watershed, Iran. *Arabian Journal of Geosciences, 1866-7511. DOI: 10.1007/s12517-013-1161-5.*
- Gee, M.D., 1991. Classification of landslide hazard zonation methods and a test of predictive capability, *Landslides, Bell (ed.), Balkema, Rotterdam, 947-952.*
- Godebo, T.R., 2005. Application of remote sensing and GIS for geological investigation and groundwater potential zone identification, Southeastern Ethiopian Plateau, Bale Mountains and the surrounding areas. Addis A Baba University, Dissertation, Faculty of Natural Science Department of Earth Sciences, 98 p.
- Hammouri, N., El-Naqa A., Barakat, M., 2012. An Integrated Approach to Groundwater Exploration Using Remote Sensing and Geographic Information System. *Journal of Water Resource and Protection, 4(9), 717-724.*
- He, S., Pan, P., Dai, L., Wang, H., Liu, J., 2012. Application of kernel-based Fisher discriminant analysis to map landslide susceptibility in the Qinggan River delta, Three Gorges, China, *Geomorphology, 171-172, 30-41.*
- Jeyaprabha, R., Revathy, S.S., Sureshbabu, S. 2014. Study on Landuse Pattern to Evaluate Groundwater Potential Zone for Bengaluru Urban Area Using RS & GIS Techniques. *International Journal of Computer Science and Information Technologies, 5(2), 1213-1218.*
- Kaliraj, S., Chandrasekar N., Magesh, N.S., 2014. Identification of potential groundwater recharge zones in Vaigai upper basin, Tamil Nadu, using GIS-based analytical hierarchical process (AHP) technique. *Arabian Journal of Geosciences, 7(4), 1385-1401.*
- Lee, S., Pradhan, B., 2006. Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia. *Journal of Earth System Science, 115(6), 661-667.*
- Lee, S., K.Y. Song, Y. Kim and I. Park, 2012. Regional groundwater productivity potential mapping using a geographic information system (GIS) based artificial neural network model. *Hydrogeology Journal, 20(8), 1511-1527.*
- Manap, M.A., Nampak, H., Pradhan, B., Lee, S., Sulaiman W.N.A., Ramli, M.F., 2014. Application of

- Yeh, H.F., Lee, C.H., Hsu, K.C., Chang, P.H., 2008. GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone. Environ. Environmental Geology, 58(1), 185-195.*
- Yin, K.J., Yan, T.Z., 1988. Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. Proceedings 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland, 2, 1269-1272.*
- Zare, M., Pourghasemi, H.R., Vafakhah M., Pradhan, B., 2013. Landslide susceptibility mapping at Vaz Watershed (Iran) using an artificial neural network model: a comparison between multilayer perceptron (MLP) and radial basic function (RBF) algorithms. Arabian Journal of Geosciences, 6(8), 2873-2888.*
- three test areas in Malaysia. Advances in space research, 45(10), 1244-1256.*
- Rautela, P., Lakhera, R.C., 2000. Landslide risk analysis between Giri and Ton Rivers in Himalaya (India). International Journal of Applied Earth Observation and Geo information, 2(3-4), 153-160.*
- Sajjad, H., Iqbal, M., Bhat, F.A., 2014. Integrating Geospatial and Geophysical Information for Deciphering Groundwater Potential Zones in Dudhganga Catchment, Kashmir Valley, India. American Journal of Water Resources. 2(1): 18-24.*
- Swets, J. A., 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 240, 1285-93.*
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook. No. 537.*