

پتانسیل یابی چشمه‌های آب معدنی با استفاده از مدل‌های آماری (مطالعه موردی حوضه وازرود مازندران)

کریم سلیمانی^{۱*}، علیرضا متولی^۲

۱. استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. دانش‌آموخته دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۰۳/۲۲، تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۰۶/۱۲)

چکیده

تعیین پتانسیل چشمه آب معدنی از موارد مهم و ضروری در مدیریت منابع آب در مناطق معتدل ایران محسوب می‌شود. در این پژوهش، نقشه پتانسیل چشمه به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آبی زیرزمینی با استفاده از مدل‌های آماری نسبت تراکم (FR) و وزن واقعه (WOE) در حوضه آبخیز وازرود استان مازندران انجام شد. به این منظور، ۵۷ چشمه در فاز واسنجی [۳۴] و صحت‌سنجی [۲۳] به صورت تصادفی مشخص شدند. در اجرای هر دو مدل از عوامل مؤثر بر پتانسیل چشمه شامل درصد شیب، جهت شیب، هیپسومتري، پلان و پروفیل دامنه، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از گسل، تراکم گسل، تراکم آبراهه و فاصله از آبراهه و فاصله از جاده استفاده شد. همچنین، برای صحت‌سنجی مدل‌ها از منحنی ROC استفاده شد. نتایج نشان داد صحت مدل نسبت فراوانی ۸۴/۴ درصد و صحت مدل وزن واقعه ۷۷/۲ درصد تعیین شد. این نتایج بیانگر صحت خیلی خوب و خوب این دو مدل در تعیین مناطق مستعد چشمه در حوضه آبخیز وازرود است. مطابق نتایج، صحت مدل نسبت فراوانی نیز بیشتر از مدل وزن واقعه است. با توجه به نتایج، ۳۹/۷ و ۳۴/۹ درصد از آبخیز وازرود در طبقات زیاد و خیلی زیاد به لحاظ پتانسیل چشمه به ترتیب در دو مدل وزن واقعه و نسبت فراوانی قرار دارد. در نهایت، نقشه‌های پتانسیل چشمه می‌تواند برای تهیه زیرساخت‌های مقدماتی به منظور پاکسازی چشمه‌ها از آسیب‌های انسانی و ورود سرمایه‌گذار برای احداث کارخانه چشمه و در نهایت، رونق اقتصادی محلی آبخیزنشینان حوضه وازرود به کار آید.

کلیدواژگان: آب آشامیدنی، پتانسیل چشمه، مدیریت منابع آب، نسبت تراکم، وزن واقعه.

مقدمه

محدودیت، ثابت بودن منابع آبی و در مواردی حتی کاهش شدید این منابع و از طرفی، تقاضای روزافزون جوامع بشری در تأمین مصرف آب، نیاز به افزایش منابع آبی قابل استحصال در کشور برای سال ۲۰۲۵ به میزان ۱۱۰ درصد، بر اساس شاخص‌های ملی و بین‌المللی مدیریت آب، باعث شده موضوع استحصال منابع آب چشمه‌ها در مناطق شمالی کشور جدی قرار گیرد [۱]. یکی از شکل‌های مهم آب در طبیعت آب‌های زیرزمینی است که به صورت چشمه، قنات و چاه وجود دارد. این منابع عمده‌ترین تأمین‌کننده آب مصرفی بخش‌های کشاورزی، صنعتی و شرب هستند و سهم زیادی در اقتصاد دارند [۲]. نقشه پتانسیل چشمه آب معدنی می‌تواند آب قابل استحصال را با صرف زمان و هزینه کمتری در دسترس قرار دهد. امروزه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، صنعت و شرب توسعه زیادی پیدا کرده است. دلایل مختلفی برای استفاده از آب‌های زیرزمینی وجود دارد که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از: کیفیت منبع آب شیرین، خواص معدنی مفید برای انسان و عدم احتیاج به تصفیه، ترکیب شیمیایی معمولاً ثابت، بی‌رنگ بودن و فاقد مواد اضافی حداقل بودن آلودگی‌های زیست‌محیطی [۳]. اگرچه در کشور، منابع آب چشمه کم است، ولی استفاده از آب‌های چشمه از دیرباز رواج داشته است. امروزه نیز به‌رغم سرمایه‌گذاری‌های بسیار زیادی که برای توسعه منابع آب و پروژه‌های سدسازی در کشور صورت گرفته است، هنوز سهم آب‌های چشمه برای مصارف مختلف اعم شرب و صنعت مورد نظر است. این در حالی است که با محدود بودن منابع آب چشمه در بسیاری از مناطق کشور، پتانسیل چشمه در استان مازندران به‌عنوان مناسب‌ترین منبع در ارتفاعات و مناطق روستایی برای تأمین آب مورد نیاز به حساب می‌آید [۴]. بی‌شک با در نظر گرفتن عوامل مؤثر می‌توان به تهیه نقشه‌ها و پیش‌بینی پتانسیل چشمه آب معدنی با استفاده از روش‌های مختلف در هر منطقه به‌منظور مدیریت صحیح این منابع بارز تر پرداخت. با توجه به اینکه انجام آزمایش‌های اکتشافی منابع چشمه نیازمند صرف زمان و هزینه بسیار زیادی است، استفاده از تکنیک‌های جدید از جمله سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی^۱ و سنجش از دور^۲ در این زمینه امری ضروری به

نظر می‌رسد. نقشه‌های پتانسیل چشمه آب معدنی^۳ می‌تواند مورد استفاده مدیران و برنامه‌ریزان به‌منظور سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های خرد و کلان کشورها قرار گیرد. بر این اساس، تعیین مناطق دارای پتانسیل چشمه آب معدنی یکی از ابزارهای مهم در استحصال، حفاظت، مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب است. در ارتباط با تحقیقات داخلی؛ جعفری و همکاران [۵] با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون و نسبت فراوانی مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی، به ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در جنگل‌های خزری در شمال ایران پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مدل آنتروپی شانون با سطح زیر منحنی ۷۵/۵۹ درصد عملکرد بهتری نسبت به مدل نسبت فراوانی با سطح زیر منحنی ۷۲/۶۸ درصد در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش داشته است. همچنین، نتایج پژوهش آنها نشان داد بیش از ۵۰ درصد منطق مطالعاتی در طبقه حساسیت زیاد و خیلی زیاد از نظر زمین‌لغزش قرار دارد. در این زمینه، نقیعی و همکاران [۶] از مدل نسبت فراوانی و آنتروپی شانون به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از قنات‌های موجود در حوضه آبخیز مغان خراسان رضوی استفاده کردند. آنها در منطقه مطالعه‌شده ۵۳ قنات را شناسایی کردند که ۳۸ قنات برای تهیه و ۱۵ قنات باقی‌مانده برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شدند. در این پژوهش از ۱۴ عامل مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی استفاده شد. بر اساس نتایج پژوهش آنها، مدل آنتروپی شانون با سطح زیر منحنی برابر با ۹۱/۲۱ درصد کارایی بسیار مناسبی داشته است. ذبیحی و همکاران [۷] به تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون و جنگل تصادفی در دشت بجنورد پرداختند. به این منظور، لایه‌های اطلاعاتی درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، طول شیب، طبقه ارتفاعی، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از گسل، تراکم گسل، فاصله از آبراهه، تراکم زهکشی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی به‌عنوان عوامل مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی شناسایی و در نرم‌افزار ArcGIS رقومی و تهیه شد. سپس با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون و جنگل تصادفی، وزن هر یک از عوامل مؤثر در نرم‌افزار آماری R محاسبه شده و در نهایت، نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی برای منطقه تحقیق تهیه شد. نتایج ارزیابی دقت روش‌های پهنه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی با

1. Geographic Information System, GIS

2. Remote Sensing, RS

3. Groundwater Potential Map, GPM

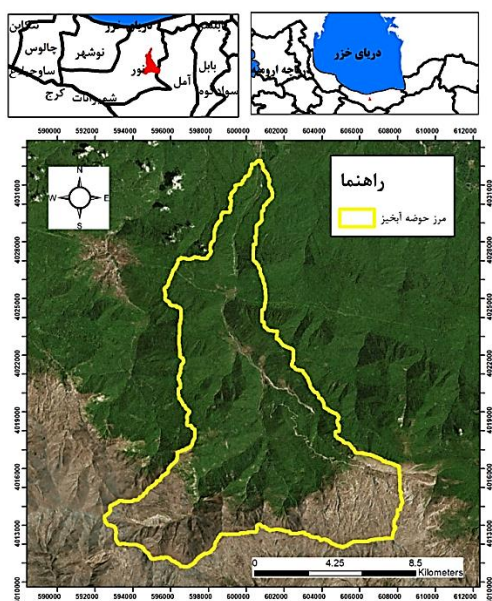
زیرزمینی ساخته شد. پایگاه داده چشمه‌های آب زیرزمینی به طور تصادفی به آموزش (۷۰ درصد از کل چشمه‌های آب زیرزمینی) و اعتبارسنجی (۳۰ درصد باقی‌مانده) تقسیم شد. در مرحله دوم، ۱۶ متغیر انتخاب شدند. عملکرد پیش‌بینی هر مدل با تخمین سطح زیرمنحنی مشخصه عملکرد گیرنده (AUC) (ROC) و چندین شاخص آماری (دقت، حساسیت، ویژگی) ارزیابی شد. نتایج پژوهش آنها نشان داد همه مدل‌ها عملکرد پیش‌بینی خوبی دارند، دارای مقادیر AUC بیشتر از ۰/۷۴ به‌طور خاص، مدل RF-J48 با بیشترین قابلیت پیش‌بینی (AUC = 0.797) ظاهر شد و پس از آن، مدل AB-J48 (0.793)، Bag-J48 (0.768)، RS-، این مطالعه نشان می‌دهد روش پیشنهادی گروه کارآمد و بسیار دقیق مناسب برای نقشه‌برداری بالقوه چشمه‌های آب زیرزمینی است.

Nho و همکاران [۱۲] به مدل‌سازی پتانسیل چشمه آب‌های زیرزمینی در سیستم سفره‌های زیرزمینی کارست با استفاده از مدل‌های چندمتغیره و چندمتغیره گروه جدید پرداختند. تحقیق یادشده در منطقه بجنورد ایران صورت گرفت که در آن اندازه‌گیری برای ۳۵۹ سایت انجام شد. نقشه‌برداری فضایی با استفاده از مدل‌سازی مجموعه حاصل می‌شود که بر اساس عوامل اطمینان (CF) و رگرسیون لجستیک (LR) است. نقشه‌های اجزای CF و LR پتانسیل آب‌های زیرزمینی به صورت جداگانه تولید شده و سپس، برای تهیه نقشه گروهی از منطقه مطالعه‌شده، با هم ترکیب شدند. سپس، دقت نقشه گروه با استفاده از منطقه زیرمنحنی مشخصه عملکرد گیرنده ارزیابی شد. نتایج این تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد LR (A = 78) درصد نسبت به CF (A = 67) از نظر مقایسه بین پیش‌بینی مدل و وقایع شناخته‌شده چشمه‌های کارستی (یعنی داده‌های کالیبراسیون) عملکرد بهتری دارد. با این حال، ترکیب نتایج CF و LR از طریق مدل‌سازی گروه دقت برتر (A = 85) درصد) را تولید می‌کند.

Chen و همکاران [۱۳] به نقشه‌برداری بالقوه چشمه آب‌های زیرزمینی با استفاده از رویکرد هوش مصنوعی مبتنی بر رگرسیون لجستیک، جنگل تصادفی و مدل‌های درخت تصمیم متناوب اقدام کردند. تجزیه و تحلیل بر اساس داده‌های مربوط به چشمه‌های آب زیرزمینی و ۱۴ عامل توضیحی که به مجموعه داده‌های آموزش و اعتبارسنجی تقسیم شدند. در پژوهش یادشده از روش نسبت فرکانس برای تعیین وزن ضریب به کلاس هر عامل استفاده شد، در حالی که از روش ماشین خطی پشتیبان خطی به عنوان روش انتخاب ویژگی

استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC)، بیانگر دقت خیلی خوب مدل آنتروپی شانون ۸۵/۵۵ (درصد) در مقایسه با مدل جنگل تصادفی ۷۶/۹۵ (درصد) است. همچنین، بر اساس مدل آنتروپی شانون لایه‌های کاربری اراضی، لیتولوژی، فاصله از آبراهه و طبقه ارتفاعی بیشترین تأثیر را بر پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی داشته‌اند. زندی و همکاران [۸] به تهیه نقشه نواحی با پتانسیل وقوع چشمه‌های آب زیرزمینی با استفاده از روش آماری رگرسیون لجستیک در محیط GIS پرداختند. بر اساس بازدیدهای میدانی، پرس‌وجوهای محلی و آمار شرکت مدیریت منابع آب مختصات مکانی ۹۰۴ دهنه چشمه در حوضه مطالعه‌شده ثبت شد و برای تحلیل‌های بعدی، ۳۰۴ چشمه به‌عنوان چشمه‌های آزمایشی به‌صورت کاملاً تصادفی جدا شده و ۶۰۰ چشمه باقی‌مانده به‌عنوان چشمه‌های آموزشی وارد تحلیل‌ها شدند. پس از انجام آنالیزهای رگرسیونی لجستیک گام‌به‌گام پیشرو، مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار در وقوع چشمه که از لحاظ آماری معنادار بودند، انتخاب شدند. صحت مدل آماری و نقشه پهنه‌بندی بر اساس درصد وقوع چشمه‌های آزمایشی در نقشه ارزیابی و تأیید شد. Mogaji و همکاران [۹] به تخمین و تعیین پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از مدل دمپستر-شیفر^۱ مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند. آنها از ۷ عامل مؤثر استفاده کردند و وزن‌دهی لایه‌ها و عوامل را بر اساس مدل دمپستر-شیفر انجام دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مدل دمپستر-شیفر قابلیت زیادی در تعیین مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی دارد. Waikar و Nilawar [۱۰] با هدف شناسایی مناطق پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه پتانسیل آب زیرزمینی منطقه Parbhani را تهیه کردند و آن را در پنج طبقه عالی (۱/۱۴ درصد)، خوب (۳۸/۶۱ درصد)، متوسط (۴۲/۸۳ درصد)، ضعیف (۱۶/۵۲ درصد) و خیلی ضعیف (۰/۹ درصد) نشان دادند. ایشان از لایه‌های شیب، تراکم زهکشی، تراکم خطواره، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و کاربری اراضی برای تحقق اهداف استفاده کردند. Chen و همکاران [۱۱] به ارزیابی استفاده از روش‌های گروه درختی در نقشه‌برداری بالقوه چشمه آب‌های زیرزمینی پرداختند. در پژوهش یادشده ابتدا نقشه چشمه‌های آب زیرزمینی با ۲۳۵ چشمه آب

رود از شرق به حوضه ناپلارود ختم می‌شود، مساحت این حوضه ۱۳۷۲۳ هکتار و محیط آن ۷۲/۳۲ کیلومتر است. میانگین دمای سالیانه هوا ۱۰/۶ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداکثرهای آن ۱۶/۳ درجه و متوسط حداقل‌های آن ۴/۹ درجه است [۱۵] میزان بارندگی سالیانه به طور متوسط ۸۰۰ میلی‌متر که حداقل آن مربوط به ماه مرداد برابر ۳۶/۸ میلی‌متر و حداکثر آن مربوط به ماه آبان و برابر ۹۵/۵ میلی‌متر است [۱۵]. در حوضه آبخیز وازرود قسمت اعظم حوزه از توده انبوه جنگلی پوشانده شده است و فقط در ارتفاعات جنوبی حوضه وازرود یعنی ارتفاعات کوه ترستاق تا ارتفاعات ایتا و ارتفاعات رودبارک به صورت نواری فاقد پوشش گیاهی جنگلی است و به علت ارتفاعات زیاد و یخبندان بودن محدوده، در فصولی از سال دارای فرایند فرسایشی متفاوتی از محدوده میان‌بند و پایین‌بند حوزه که دارای پوشش جنگلی و بارندگی شدید است [۱۶]. حوضه آبخیز وازرود به طور متوسط دارای رسوب ویژه ۵/۲ تن در هکتار در سال و فرسایش ویژه آن ۱۲/۷ تن در هکتار در سال است و رسوب‌دهی سالانه آن ۷۳۴۴۰ تن در سال و فرسایش کل آن ۳۱۰۷۰۶ تن در سال است [۱۷]. مهم‌ترین رودهای مهم آن شامل رودخانه گزناسرا در بخش شرقی از ارتفاعات ترستاق، رودخانه دولت سرا که از ارتفاعات رودبارک، ایتا، واکمر و میشنو سرچشمه می‌گیرد و بعد از طی مسیر در محل روستای و از بالا به رودخانه اصلی متصل می‌شود [۱۷].



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز وازرود در ایران و استان مازندران

برای تعیین مجموعه بهینه فاکتورها استفاده شد. از منحنی مشخصه گیرنده و سطح زیرمنحنی (AUC) برای ارزیابی عملکرد هر مدل با استفاده از مجموعه آموزش استفاده شد، با مدل RF بیشترین مقدار AUC (0.909) و پس از آن KLR (0.877) و (0.812) ADTree تعیین شدند. Tolche [۱۴] به مدل‌سازی پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های مکانی در اتیوپی پرداخت. به این‌منظور، هفت عامل کنترل‌کننده از جمله سنگ‌شناسی، شیب، پوشش زمین کاربری (LULC)، بارندگی، خطوط، خاک و تراکم زهکشی تعیین شد. سپس، وزن‌دهی به نقشه‌های یادشده اختصاص داده شد و به طور کیفی در پنج کلاس طبقه‌بندی شد. نتایج پژوهش یادشده نشان می‌دهد ۸۹ درصد از چشمه‌ها پتانسیل آب زیرزمینی خوب و یا بسیار خوب دارند. با توجه به تحقیقات انجام‌گرفته می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که مدل‌های آماری مختلفی در این خصوص استفاده شده است، ولی بر اساس نتایج ارزیابی‌های محققان در نقاط مختلف دنیا، مدل‌های آماری دقت زیادی داشته‌اند. استفاده بیشتر از مدل‌های یادشده در سال‌های اخیر نشان‌دهنده این امر است. در حالی که مطالعات مربوط به تهیه نقشه پتانسیل آب چشمه بر اساس مدل‌های وزن‌واقعه و نسبت تراکم مورد توجه کامل قرار نگرفته و یا به‌طور هم‌زمان مورد آزمون قرار نگرفته است. به دلیل اهمیت مدیریت منابع آب با توجه به خشک‌سالی‌های و هرز رفتن آب چشمه بر اثر فعالیت‌های معدن‌کاوی و تغییر کاربری اراضی، شناسایی چشمه منابع آب زیرزمینی و مدیریت صحیح این منابع به‌عنوان راهکار توسعه جامع و پایدار در مناطق مرطوب امری بااهمیت است. بنابراین، در پژوهش حاضر سعی بر آن است تا با استفاده از مدل‌های وزن واقعه و نسبت تراکم ارتباط بین پتانسیل چشمه آب‌معدنی با هریک از عوامل مؤثر بر آن، به‌دست آید و درنهایت، نقشه پتانسیل چشمه آب‌معدنی حوضه آبخیز وازرود بر اساس اطلاعات مربوط به چشمه‌های موجود در منطقه تهیه شود.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه مطالعه‌شده

محدوده حوضه آبخیز وازرود در بخش میانی استان مازندران در عرض شمالی $36^{\circ} 14' 26''$ تا $36^{\circ} 25' 54''$ درجه و طول شرقی $52^{\circ} 01' 46''$ تا $52^{\circ} 12' 30''$ درجه قرار گرفته است (شکل ۱). این حوضه از شمال به شهرستان نور، از جنوب به حوضه آبخیز هزار، از غرب به حوضه آبخیز لایوچ

وضعیت زمین‌شناسی عمومی منطقه

در محدوده مطالعه شده یعنی حوضه آبخیز وازرود، پراکنش سنگ‌ها از نوع سنگ‌های رسوبی بوده و از نظر سنگ‌شناسی منطقه به ترتیب از قدیم به جدید سری سنگ‌های دوران دوم نظیر سازند الیکا، سازند شمشک، رسوبات کرتاسه $K2^{L.m}$ و سری سنگ‌های دوران سوم به سنوزوئیک (عصر جدید)

شامل رسوبات Qs، $M^{M.S}$ ، Pe^m و رسوبات بستر رودخانه Qal را می‌توان مشاهده و اشاره کرد [۱۸]. در جدول ۱ لیتولوژی سازندها و رسوبات موجود از زون البرز در حوضه آبخیز وازرود شهرستان نور [۱۸] آورده شده است.

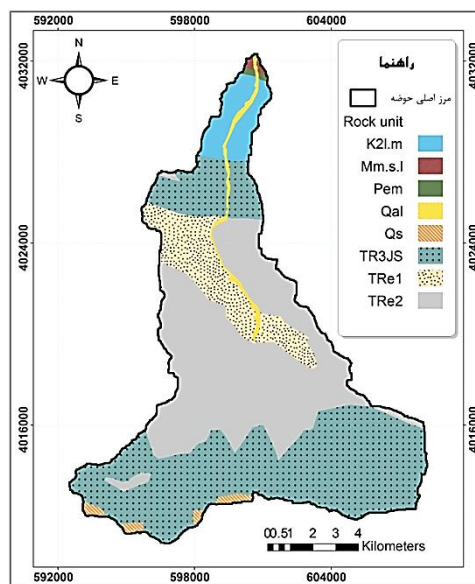
جدول ۱. لیتولوژی سازندها و رسوبات موجود از زون البرز در حوضه آبخیز وازرود شهرستان نور [۱۸]

دوران	نام سازند	علامت سازند	دوره	لیتولوژی سازند یا واحد رسوبی
سنوزوئیک	-	Qal	کواترنر عهد حاضر	آبرفت‌های بستر رودخانه شامل قطعات ریز و درشت از ماسه‌سنگ، سنگ‌آهک، آهک دولومیتی، دولومیت، شیل، ماسه
	-	QS	کواترنر	پادگانه قدیمی شامل رسوبات واریزه‌ای به‌طور محلی همراه با نهشته‌های تفکیک‌نشده کواترنری
	-	$M^{m.s}$	میوسن	مارن، ماسه‌سنگ آهکی، سنگ‌آهک ماسه‌ای
	-	Pe^m	پالتوسن	مارن، ماسه‌سنگ، گچ، کمی سنگ‌آهک
	-	$K2^{L.m}$	کرتاسه	سنگ‌آهک مارن
مزوزوئیک	شمشک	TR3js	تریاس فوقانی- شن، ماسه‌سنگ، سیلت سنگ، شیل کربن‌دار، زغال‌سنگ، رس سنگ- کواتزیت، کنگلومرا ژوراسیک (شمشک)	
	الیکا	TRe2	تریاس میانی	سنگ‌آهک دولومیتی ضخیم لایه تا توده‌ای شکل- دولومیت، سنگ آهک (الیکا)
	الیکا	TRe1	تریاس زیرین	سنگ‌آهک مارنی نازک لایه با اثرات کرم، شیل آهکی (الیکا)

بر انجام مطالعات گسترده صحرایی در منطقه مطالعه شده، به سازمان آب منطقه‌ای استان مازندران مراجعه شد و اطلاعات و داده‌های آن مورد استفاده قرار گرفت [۱۹].

تهیه لایه‌های اطلاعاتی به‌منظور اجرای مدل‌ها

عوامل مختلفی در پتانسیل چشمه در سطح زمین در یک منطقه تأثیر دارند، ولی بر اساس مطالعات صورت‌گرفته در زمینه تهیه نقشه‌های پتانسیل چشمه برخی عوامل اهمیت بیشتری در این خصوص دارند. در این بین، از عوامل مربوط به درجه شیب، طبقات ارتفاع، رطوبت، سیستم زهکشی، گسل، سنگ‌شناسی و کاربری اراضی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پتانسیل چشمه نام برده می‌شود [۸]. بر همین اساس، با توجه به مطالعات پیشین صورت گرفته و همچنین دسترسی به داده‌ها، اطلاعات و نقشه‌های مورد نیاز از منطقه مطالعه شده در پژوهش حاضر از ۱۳ عامل مؤثر در ظهور چشمه آب معدنی در سطح زمین شامل درجه شیب، جهت شیب، طبقه ارتفاعی، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، تراکم گسل، فاصله از آبراهه، تراکم زهکشی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، انحنا سطح^۱ و



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی حوضه آبخیز وازرود

جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز

به‌منظور انجام پژوهش حاضر، نخست داده‌ها، اطلاعات و نقشه‌های پایه از سازمان‌ها و ادارات ذی‌ربط اخذ شد. به این منظور، با مراجعه به سازمان نقشه‌برداری کشور نقشه توپوگرافی منطقه اخذ و در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی رقمی شد. همچنین، به‌منظور شناسایی چشمه‌های موجود در منطقه علاوه

1. Plan Curvature

بیز) و روابط ۲ و ۳ وزن هر عامل و کلاس‌های مربوطه به آن تعیین شد [۲۲].

$$W_i^+ = \ln \frac{P\{B|A\}}{P\{\bar{B}|A\}} \quad (2)$$

$$W_i^- = \ln \frac{P\{\bar{B}|A\}}{P\{B|A\}} \quad (3)$$

که، B و \bar{B} وجود داشتن و نداشتن عوامل مؤثر است. A و \bar{A} وجود داشتن و نداشتن چشمه است. کنتراست وزنی که با اختلاف بین دو وزن $C = (W^+ - W^-)$ محاسبه می‌شود، نشان‌دهنده ارتباط مکانی بین متغیرهای قابل پیش‌بینی و چشمه است. انحراف استاندارد (W) به صورت رابطه ۴ محاسبه می‌شود [۲۳]:

$$S(C) = \sqrt{S^2 W^+ + S^2 W^-} \quad (4)$$

که، $S(W^+)$ واریانس وزن مثبت و $S(W^-)$ واریانس وزن منفی است. واریانس وزن‌ها را می‌توان با معادلات ۵ و ۶ محاسبه کرد [۲۴]:

$$S^2 W^+ = \frac{1}{N\{B \cap A\}} + \frac{1}{B \cap \bar{A}} \quad (5)$$

$$S^2 W^- = \frac{1}{N\{\bar{B} \cap A\}} + \frac{1}{\bar{B} \cap \bar{A}} \quad (6)$$

سپس، وزن نهایی توسط معادله ۷ محاسبه می‌شود:

$$W_{\text{final}} = \frac{C}{S(C)} \quad (7)$$

W_{final} وزن نهایی را نشان می‌دهد و به‌عنوان نسبت کنتراست تقسیم بر انحراف استاندارد آن تعریف می‌شود [۲۵]:

ارزیابی مدل‌های استفاده‌شده در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی

به‌منظور ارزیابی مدل‌های استفاده‌شده، از منحنی تشخیص عملکرد نسبی استفاده شد [۲۶-۲۹]. منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) یک نمایش گرافیکی از موازنه بین میزان خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از برش هاست [۳۰]. سطح زیرمنحنی تشخیص عملکرد نسبی، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وجود چشمه) و عدم وقوع رخداد (نبود چشمه) آن است. ایده‌آل‌ترین مدل، بیشترین سطح زیرمنحنی (AUC) را دارد و مقادیر سطح زیرمنحنی از ۱-۰/۵ متغیر است. هر چه سطح زیرمنحنی به یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر بهترین دقت از نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده است [۳۰].

انحنای نیم‌رخ^۱ استفاده شد. کلیه لایه‌های اطلاعاتی یادشده با استفاده از الحاقی‌های مختلف در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی رومی و تهیه شد. به این منظور، با استفاده از نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه مدل رومی ارتفاع تهیه و عوامل درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، طبقه ارتفاعی و شاخص رطوبت توپوگرافی از آن استخراج شد. نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعه‌شده نیز از سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه، در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.7 رومی و لایه‌های زمین‌شناسی، فاصله از گسل و تراکم گسل از آن استخراج شد. لایه‌های مربوط به آبراهه نیز از نقشه توپوگرافی منطقه مطالعه‌شده تهیه شد. در ضمن، از کلیه چشمه‌های شناسایی‌شده موجود در منطقه مطالعاتی ۳۴ چشمه برای مرحله واسنجی و ۲۳ چشمه در مرحله اعتبارسنجی مدل‌ها استفاده شد. پس از تعیین عوامل و نقشه‌های یادشده و تهیه بانک اطلاعاتی و بر اساس مرور منابع اقدام به تهیه نقشه‌های پتانسیل چشمه و با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و وزن واقعه در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (SAGA-GIS, ArcGIS) شد.

پهنه‌بندی چشمه با استفاده از مدل تراکم سطح

میزان مربوط به هر یک از کلاس‌های مختلف در این روش از رابطه ۱ به دست می‌آید [۲۰]:

$$FR = (a/b) - (c/d) \quad (1)$$

FR: وزن مربوط به هر طبقه از عوامل؛ a: تعداد چشمه در هر طبقه؛ b: مساحت هر کلاس (کیلومترمربع)؛ c: تعداد کل چشمه‌های حوضه؛ d: مساحت کل حوضه (کیلومترمربع). در مرحله بعد پس از اینکه وزن هر یک از طبقات عوامل مؤثر بر پتانسیل چشمه تعیین شد اقدام به روی هم‌گذاری عوامل مؤثر از روش نسبت تراکم شد.

پهنه‌بندی چشمه با استفاده از مدل وزن واقعه

این روش برای مدل‌سازی پتانسیل چشمه آب‌معدنی استفاده شد. برای هر عامل علتی در صورت وجود داشتن یا نداشتن چشمه در محل، وزنی را محاسبه می‌کند [۲۱]. تعیین وزن برای هر عامل از طریق ترکیب هر یک از لایه‌های عاملی با نقشه پراکنش چشمه با استفاده از روش آماری دومتغیره انجام می‌شود. آن‌گاه بر مبنای محاسبات احتمالات وابسته (تئوری

نتایج

پژوهش حاضر با هدف تهیه نقشه‌های پتانسیل چشمه آب معدنی با استفاده از مدل‌های آماری نسبت تراکم و وزن واقعه در حوضه آبخیز وازرود در استان مازندران صورت پذیرفت. به این منظور، پس از جمع‌آوری داده‌ها، اطلاعات و نقشه‌های پایه مورد نیاز، لایه‌های اطلاعاتی مربوطه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. سپس، وزن‌دهی لایه‌ها براساس مدل‌های نسبت تراکم و وزن واقعه انجام و نقشه‌های نهایی با استفاده از مدل‌های یادشده تهیه شد. در نهایت، از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) به منظور ارزیابی صحت روش‌های پهنه‌بندی پتانسیل چشمه آب معدنی استفاده شد.

نتایج تهیه لایه‌های اطلاعاتی

نتایج حاصل از تهیه لایه‌های اطلاعاتی و نقشه‌های عوامل مؤثر بر وقوع چشمه در منطقه مطالعه شده در حوضه آبخیز وازرود در شکل‌های ۳ تا ۱۵ نشان داده شده است.

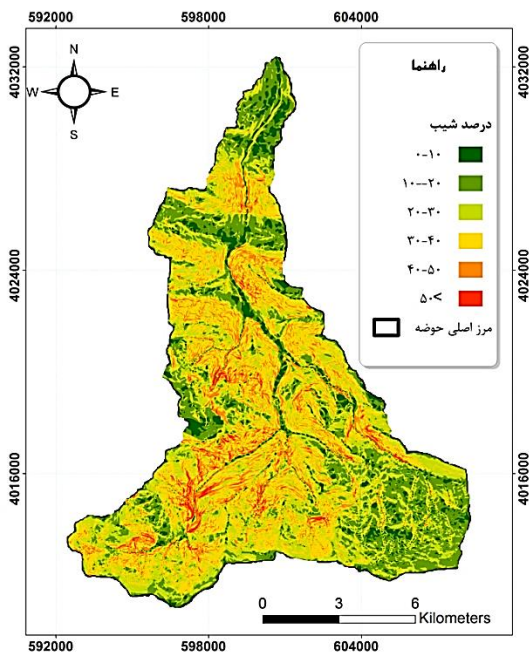
اولویت‌بندی عوامل مؤثر در پتانسیل چشمه آب معدنی

بعد از مدل‌سازی پتانسیل چشمه آب معدنی، اولویت‌بندی عوامل مورد مؤثر باید مشخص شود. همچنین، در این مرحله می‌توان وزن‌های تغییر یافته را با توجه به وزن اولیه که برای مدل‌سازی استفاده شده را با توجه به وزن بهینه اصلاح کرد. در این تحقیق از روش آنالیز حساسیت تک پارامتره به منظور تعیین پتانسیل چشمه آب معدنی استفاده شد (رابطه ۸) [۳۱].

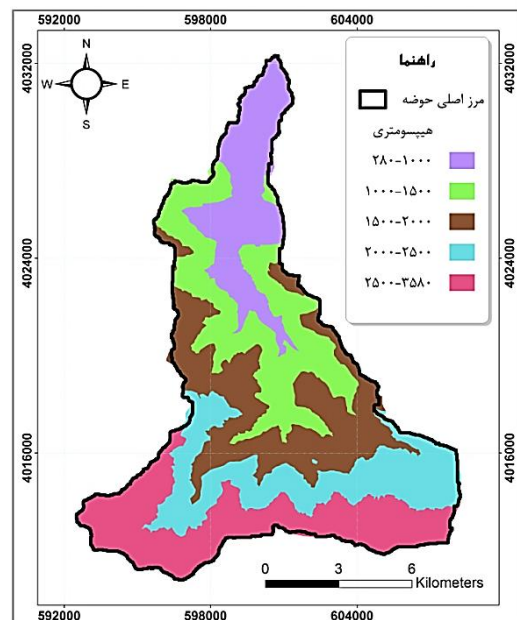
$$W = \frac{(P_r \cdot P_w)}{F} \quad (8)$$

که در آن: W وزن مؤثر مربوط به هر عامل است. P_r و P_w به ترتیب وزن و میزان مربوط به آن عامل است. F نیز شاخص کلی است.

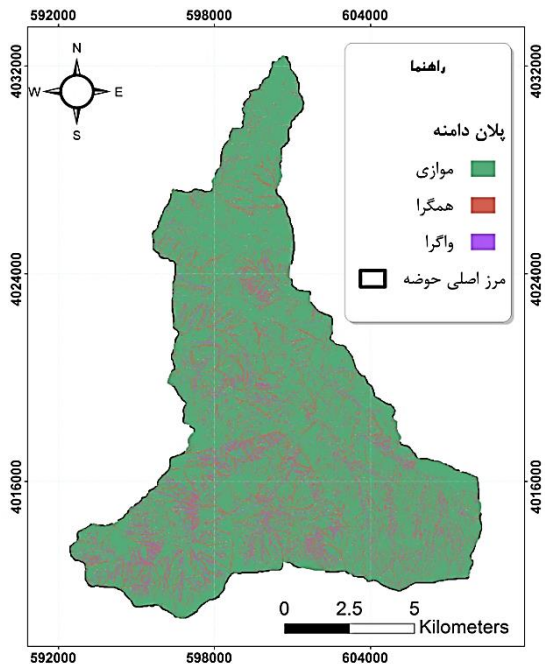
این ضریب همواره کمتر از ۱ است. از آنجا که در فرمول محاسبه این ضریب، طول حوضه آبخیز در مخرج کسر قرار دارد هر چه این ضریب به یک نزدیک می‌شود، حوضه از حالت کشیده خارج شده و به سمت دایره متمایل می‌شود؛ بنابراین هر چه این ضریب بزرگ‌تر می‌شود، پتانسیل جریان سیلابی افزایش پیدا می‌کند [۳۱].



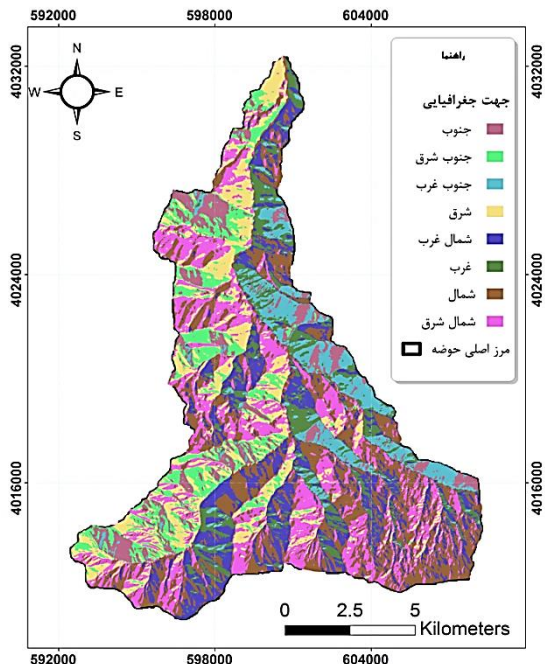
شکل ۴. نقشه درصد شیب



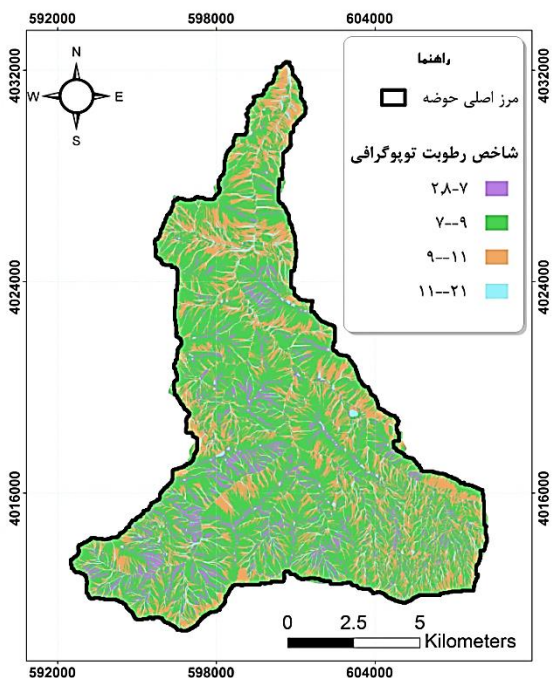
شکل ۳. نقشه هیپسومتری



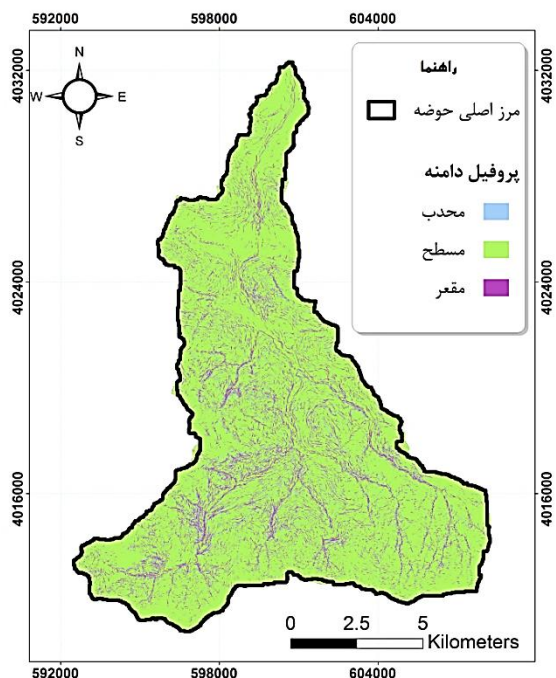
شکل ۶. نقشه پلان دامنه



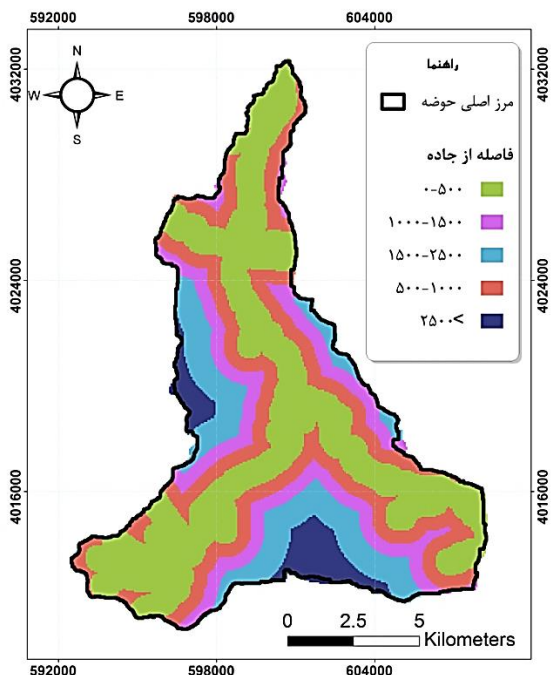
شکل ۵. نقشه جهت جغرافیایی



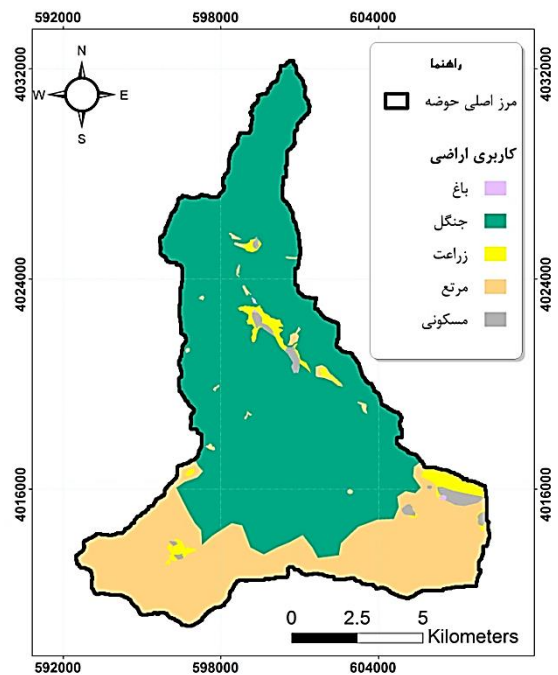
شکل ۸. نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی



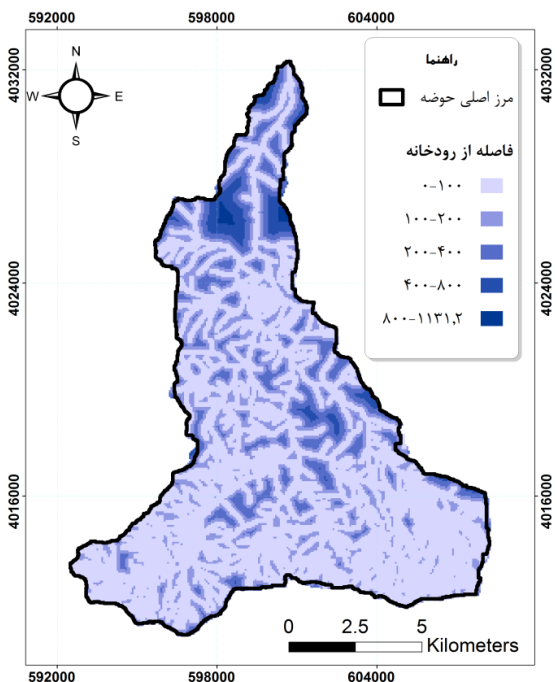
شکل ۷. نقشه پروفیل دامنه



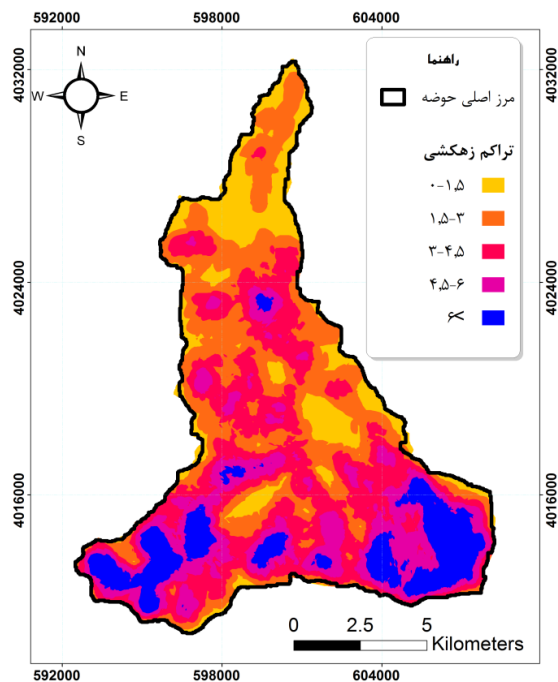
شکل ۱۰. نقشه فاصله از جاده



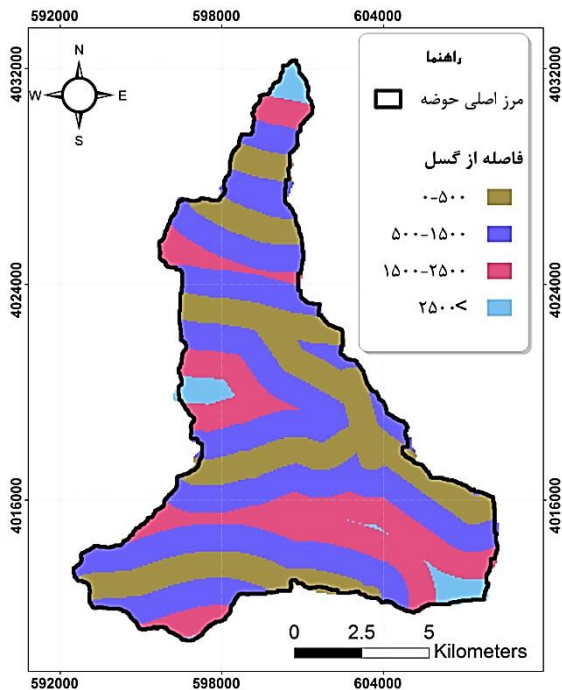
شکل ۹. نقشه کاربری اراضی



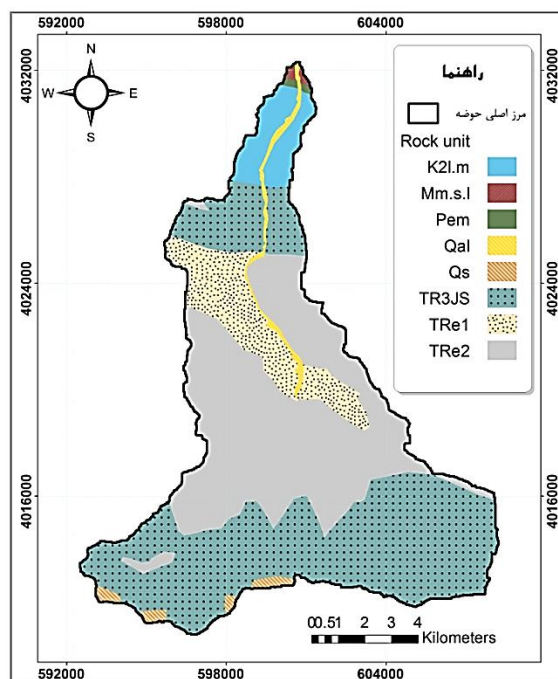
شکل ۱۲. نقشه فاصله از رودخانه



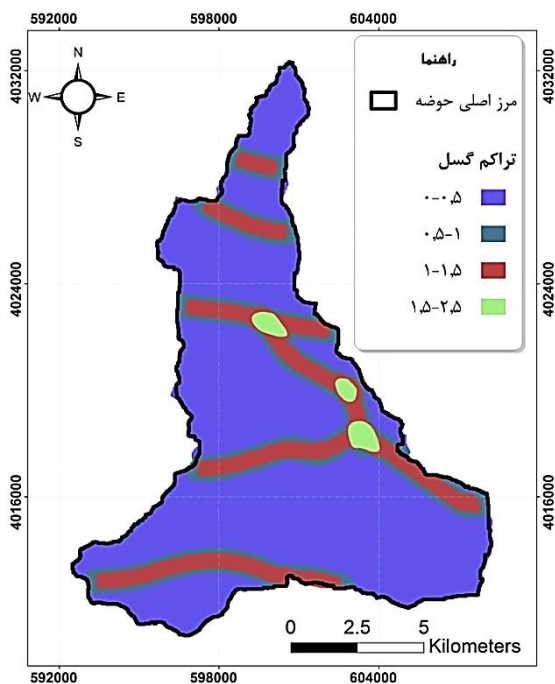
شکل ۱۱. نقشه تراکم زهکشی



شکل ۱۴. نقشه فاصله از گسل



شکل ۱۳. نقشه زمین‌شناسی



شکل ۱۵. نقشه تراکم گسل

وازرود برای هریک از عوامل تأثیرگذار با استفاده از مدل نسبت تراکم در جدول‌های ۲ تا ۱۴ نشان داده شده است. در شکل ۱۶ نقشه پتانسیل چشمه به روش نسبت تراکم نمایش داده شده است.

نتایج حاصل از ارتباط بین عوامل مؤثر و چشمه‌های موجود در مدل نسبت فراوانی نتایج به‌دست‌آمده از ارتباط بین عوامل مؤثر بر وقوع چشمه و چشمه‌های موجود در منطقه مطالعه‌شده در حوضه آبخیز

جدول ۲. مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل جهت شیب و وقوع چشمه

فاکتور	طبقه	میزان پیکسل	درصد پیکسل	تعداد چشمه	درصد چشمه	نسبت تراکم
جهت شیب	صاف	۱	۰	۰	۰	۰
	شمال	۳۱۰۶۰۷	۲۲/۰۷	۸	۲۳/۵۳	۱/۰۷
	شمال شرق	۲۶۸۲۲۰۸	۱۹/۰۶	۷	۲۰/۵۹	۱/۰۸
	شرق	۱۹۰۹۲۲	۱۳/۵۶	۳	۸/۸۲	۰/۶۵
	جنوب شرق	۱۲۰۰۷۳	۸/۵۳	۳	۸/۸۲	۱/۰۳
	جنوب	۹۴۶۵۱	۶/۷۲	۲	۵/۸۸	۰/۸۷
	جنوب غرب	۱۰۷۲۲۸	۷/۶۲	۱	۲/۹۴	۰/۳۹
	غرب	۱۱۸۶۱۱	۸/۴۳	۳	۸/۸۲	۱/۰۵
شمال غرب	۱۹۷۱۸۵	۱۴/۰۱	۷	۲۰/۵۹	۱/۴۷	
مجموع		۱۴۰۷۴۸۶		۳۴		

جدول ۳. مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل درصد شیب و وقوع چشمه

فاکتور	طبقه	میزان پیکسل	درصد پیکسل	تعداد چشمه	درصد چشمه	نسبت تراکم
درصد شیب	۱۰-۰	۱۰۰۳۴۴	۷/۱۳	۷	۲۰/۵۹	۲/۸۹
	۲۰-۱۰	۳۰۰۷۱۷	۲۱/۳۷	۵	۱۴/۷۱	۰/۶۹
	۳۰-۲۰	۳۸۲۵۵۹	۲۷/۱۸	۱۲	۳۵/۲۹	۱/۳
	۴۰-۳۰	۴۴۲۳۳۳	۳۱/۴۳	۹	۲۶/۴۷	۰/۸۴
	۵۰-۴۰	۱۴۹۵۴۱	۱۰/۶۲	۱	۲/۹۴	۰/۲۸
	۵۰<	۳۱۹۹۲	۲/۲۷	۰	۰	۰
مجموع		۱۴۰۷۴۸۶		۳۴		

جدول ۴. مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل تراکم گسل و وقوع چشمه

فاکتور	طبقه	میزان پیکسل	درصد پیکسل	تعداد چشمه	درصد چشمه	نسبت تراکم
تراکم گسل (کیلومتر بر کیلومتر مربع)	۰/۵-۰	۱۰۳۷۴۵۰	۷۳/۷۱	۲۵	۷۳/۵۳	۱
	۱-۰/۵	۱۴۶۴۱۲	۱۰/۴	۲	۵/۸۸	۰/۵۷
	۱/۵-۱	۲۰۰۱۰۳	۱۴/۲۲	۶	۱۷/۶۵	۱/۲۴
	۲/۵-۱/۵	۲۳۵۲۱	۱/۶۷	۱	۲/۹۴	۱/۷۶
مجموع		۱۴۰۷۴۸۶		۳۴		

جدول ۵. مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل شاخص رطوبت توپوگرافی و وقوع چشمه

فاکتور	طبقه	میزان پیکسل	درصد پیکسل	تعداد چشمه	درصد چشمه	نسبت تراکم
شاخص رطوبت توپوگرافی	۷-۲/۸	۱۴۱۱۴۲	۱۰/۰۳	۳	۸/۸۲	۰/۸۸
	۹-۷	۸۵۱۳۶۸	۶۰/۴۹	۱۹	۵۵/۸۸	۰/۹۲
	۱۱-۹	۳۴۱۱۹۵	۲۴/۲۴	۸	۲۳/۵۳	۰/۹۷
	۲۱-۱۱	۷۳۷۸۱	۵/۲۴	۴	۱۱/۷۶	۲/۲۴
مجموع		۱۴۰۷۴۸۶		۳۴		

جدول ۶. مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل پلان دامنه و وقوع چشمه

فاکتور	طبقه	میزان پیکسل	درصد پیکسل	تعداد چشمه	درصد چشمه	نسبت تراکم
پلان دامنه (m/۱۰۰)	واگرا	۵۹۴۵۴	۴/۲۲	۱	۲/۹۴	۰/۷
	موازی	۱۱۱۵۴۳۳۳	۷۹/۲۵	۳۰	۸۸/۲۴	۱/۱۱
	همگرا	۲۳۲۵۹۹	۱۶/۵۳	۳	۸/۸۲	۰/۵۳
مجموع		۱۴۰۷۴۸۶		۳۴		

جدول ۷. مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل پروفیل دامنه و وقوع چشمه

فاکتور	طبقه	میزان پیکسل	درصد پیکسل	تعداد چشمه	درصد چشمه	نسبت تراکم
پروفیل دامنه (m/۱۰۰)	محدب	۷۸۳۶۸	۵/۵۷	۰	۰	۰
	مسطح	۱۱۶۸۶۳۷	۸۳/۰۳	۲۹	۸۵/۲۹	۱/۰۳
	مقعر	۱۶۰۴۸۱	۱۱/۴	۵	۱۴/۷۱	۱/۲۹
	مجموع	۱۴۰۷۴۸۶		۳۴		

جدول ۸. مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل زمین‌شناسی و وقوع چشمه

فاکتور	طبقه	میزان پیکسل	درصد پیکسل	تعداد چشمه	درصد چشمه	نسبت تراکم
زمین‌شناسی	Js	۵۱۷۷۰۹	۳۶/۷۸	۱۹	۵۵/۸۸	۱/۵۲
	Re2	۷۱۱۷۶۳	۵۰/۵۷	۱۲	۳۵/۲۹	۰/۷
	Re1	۸۱۹۰۵	۵/۸۲	۲	۵/۸۸	۱/۰۱
	Pe	۴۰۳۶	۰/۲۹	۰	۰	۰
	K2p^I,m	۸۱۹۸۸	۵/۸۳	۱	۲/۹۴	۰/۵
	M^m,s,l	۱۰۰۸۵	۰/۷۲	۰	۰	۰
	مجموع	۱۴۰۷۴۸۶		۳۴		

جدول ۹. مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل فاصله از گسل و وقوع چشمه

فاکتور	طبقه	میزان پیکسل	درصد پیکسل	تعداد چشمه	درصد چشمه	نسبت تراکم
فاصله از گسل (متر)	۵۰۰-۰	۳۹۷۹۵۶	۲۸/۲۷	۹	۲۶/۴۷	۰/۹۴
	۱۵۰۰-۵۰۰	۶۲۳۲۱۷	۴۴/۲۸	۱۶	۴۷/۰۶	۱/۰۶
	۲۵۰۰-۱۵۰۰	۳۲۸۴۴۳	۲۳/۳۴	۹	۲۶/۴۷	۱/۱۳
	۲۵۰۰<	۵۷۸۷۰	۴/۱۱	۰	۰	۰
	مجموع	۱۴۰۷۴۸۶		۳۴		

جدول ۱۰. مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل تراکم زهکشی و وقوع چشمه

فاکتور	طبقه	میزان پیکسل	درصد پیکسل	تعداد چشمه	درصد چشمه	نسبت تراکم
تراکم زهکشی (کیلومتر بر کیلومتر مربع)	۱/۵-۰	۲۲۰۰۳۹	۱۵/۶۳	۲	۵/۸۸	۰/۳۸
	۳-۱/۵	۴۰۰۴۳۳	۲۸/۴۵	۱۰	۲۹/۴۱	۱/۰۳
	۴/۵-۳	۳۸۶۸۲۸	۲۷/۴۸	۹	۲۶/۴۷	۰/۹۶
	۶-۴/۵	۲۳۰۴۵۹	۱۶/۳۷	۶	۱۷/۶۵	۱/۰۸
	۶<	۱۶۹۷۲۷	۱۲/۰۶	۷	۲۰/۵۹	۱/۷۱
	مجموع	۱۴۰۷۴۸۶		۳۴		

جدول ۱۱. مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل فاصله از جاده و وقوع چشمه

فاکتور	طبقه	میزان پیکسل	درصد پیکسل	تعداد چشمه	درصد چشمه	نسبت تراکم
فاصله از جاده (متر)	۵۰۰-۰	۵۷۶۰۹۴	۴۰/۹۳	۱۵	۴۴/۱۲	۱/۰۸
	۱۰۰۰-۵۰۰	۳۳۴۵۷۷	۲۳/۷۷	۵	۱۴/۷۱	۰/۶۲
	۱۵۰۰-۱۰۰۰	۱۹۸۵۳۱	۱۴/۱۱	۵	۱۴/۷۱	۱/۰۴
	۲۵۰۰-۱۵۰۰	۲۱۳۹۵۲	۱۵/۲	۶	۱۷/۶۵	۱/۱۶
	۲۵۰۰<	۸۴۳۳۲	۵/۹۹	۳	۸/۸۲	۱/۴۷
	مجموع	۱۴۰۷۴۸۶		۳۴		

جدول ۱۲. مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل هیپسومتری و وقوع چشمه

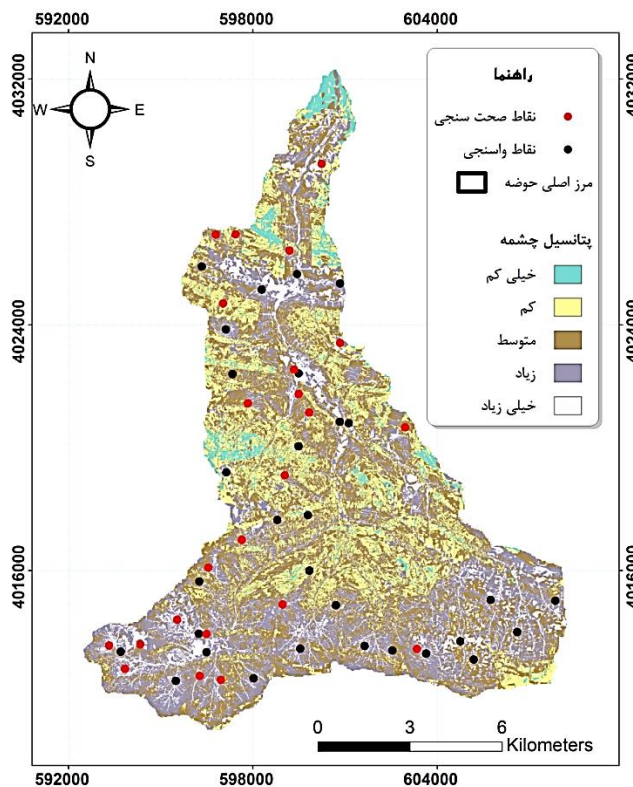
فاکتور	طبقه	میزان پیکسل	درصد پیکسل	تعداد چشمه	درصد چشمه	نسبت تراکم
هیپسومتری (متر)	۱۰۰۰-۲۸۰	۲۱۶۱۸۹	۱۵/۳۶	۸	۲۳/۵۳	۱/۵۳
	۱۵۰۰-۱۰۰۰	۲۹۳۶۵۴	۲۰/۸۶	۳	۸/۸۲	۰/۴۲
	۲۰۰۰-۱۵۰۰	۳۱۸۷۰۹	۲۲/۶۴	۵	۱۴/۷۱	۰/۶۵
	۲۵۰۰-۲۰۰۰	۲۶۴۴۹۲	۱۸/۷۹	۹	۲۶/۴۷	۱/۴۱
	۳۵۸۰-۲۵۰۰	۳۱۴۴۴۲	۲۲/۳۴	۹	۲۶/۴۷	۱/۱۸
	مجموع	۱۴۰۷۴۸۶		۳۴		

جدول ۱۳. مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل فاصله از رودخانه و وقوع چشمه

فاکتور	طبقه	میزان پیکسل	درصد پیکسل	تعداد چشمه	درصد چشمه	نسبت تراکم
فاصله از رودخانه (متر)	۱۰۰-۰	۸۹۳۶۹۲	۶۳/۵	۲۵	۷۳/۵۳	۱/۱۶
	۲۰۰-۱۰۰	۳۱۹۳۲۲	۲۲/۶۹	۵	۱۴/۷۱	۰/۶۵
	۴۰۰-۲۰۰	۱۴۲۸۷۰	۱۰/۱۵	۴	۱۱/۷۶	۱/۱۶
	۸۰۰-۴۰۰	۴۵۸۴۷	۳/۲۶	۰	۰	۰
	۱۱۳۱-۸۰۰	۵۷۵۵	۰/۴۱	۰	۰	۰
مجموع		۱۴۰۷۴۸۶		۳۴		

جدول ۱۴. مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل کاربری اراضی و وقوع چشمه

فاکتور	طبقه	میزان پیکسل	درصد پیکسل	تعداد چشمه	درصد چشمه	نسبت تراکم
کاربری اراضی	باغ	۸۸۱	۰/۰۶	۰	۰	۰
	جنگل	۹۱۱۹۶۹	۶۴/۷۹	۲۲	۶۴/۷۱	۱
	زراعت	۳۲۳۳۳	۲/۳	۰	۰	۰
	مرتع	۴۱۰۶۳۰	۲۹/۱۷	۱۲	۳۵/۲۹	۱/۲۱
	مسکونی	۵۱۶۸۱	۳/۶۷	۰	۰	۰
مجموع		۱۴۰۷۴۸۶		۳۴		



شکل ۱۶. نقشه پتانسیل چشمه به روش نسبت تراکم در حوضه وازرود

جدول‌های ۱۵ تا ۲۷ ارائه شده است. همچنین، نقشه پتانسیل چشمه حوضه آبخیز وازرود بر اساس مدل وزن واقعه در شکل ۱۷ نشان داده شده است.

نتایج حاصل از تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از مدل وزن واقعه

نتایج حاصل از ارتباط بین پتانسیل چشمه، عوامل مؤثر و میزان اثر هر یک از آنها بر اساس مدل وزن واقعه در

جدول ۱۵. ارتباط بین چشمه آب معدنی با جهت شیب و تعیین میزان تأثیر آنها با استفاده از مدل وزن واقعه

کلاس	میزان پیکسل	تعداد چشمه	W+	W-	C	S2	S2	S(C)	C/S(C)
جهت شیب									
صاف	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۳	۰	۰
شمال	۳۱۰۶۰۷	۸	۰/۰۶	-۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۴	-۰/۲۱
شمال شرق	۲۶۸۲۰۸	۷	۰/۰۸	-۰/۰۲	۰/۱	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۴۲	۰/۲۳
شرق	۱۹۰۹۲۲	۳	-۰/۴۳	۰/۰۵	-۰/۴۸	۰/۳۳	۰/۰۳	۰/۶	-۰/۱۸
جنوب شرق	۱۲۰۰۷۳	۳	۰/۰۳	۰	۰/۰۴	۰/۳۳	۰/۰۳	۰/۶	-۰/۰۶
جنوب	۹۴۶۵۱	۲	-۰/۱۳	۰/۰۱	-۰/۱۴	۰/۵	۰/۰۳	۰/۷۳	-۰/۲
جنوب غرب	۱۰۷۲۲۸	۱	-۰/۹۵	۰/۰۵	-۱	۱	۰/۰۳	۱/۰۲	-۰/۹۹
غرب	۱۱۸۶۱۱	۳	۰/۰۵	۰	۰/۰۵	۰/۳۳	۰/۰۳	۰/۶	۰/۰۸
شمال غرب	۱۹۷۱۸۵	۷	۰/۳۸	-۰/۰۸	۰/۴۶	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۴۲	۱/۱
مجموع	۱۴۰۷۴۸۶	۳۴							

جدول ۱۶. ارتباط بین چشمه آب معدنی با درصد شیب و تعیین میزان تأثیر آنها با استفاده از مدل وزن واقعه

کلاس	میزان پیکسل	تعداد چشمه	W+	W-	C	S2	S2	S(C)	C/S(C)
درصد شیب									
۱۰-۰	۱۰۰۳۴۴	۷	۱/۰۶	-۰/۱۶	۱/۲۲	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۴۲	۲/۸۷
۲۰-۱۰	۳۰۰۷۱۷	۵	-۰/۳۷	۰/۰۸	-۰/۴۵	۰/۲	۰/۰۳	۰/۴۸	-۰/۹۴
۳۰-۲۰	۳۸۲۵۵۹	۱۲	۰/۲۶	-۰/۱۲	۰/۳۸	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۳۶	۱/۰۶
۴۰-۳۰	۴۴۲۳۳۳	۹	-۰/۱۷	۰/۰۷	-۰/۳۴	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۳۹	-۰/۶۲
۵۰-۴۰	۱۴۹۵۴۱	۱	-۱/۲۸	۰/۰۸	-۱/۳۷	۱	۰/۰۳	۱/۰۲	-۱/۳۵
۵۰<	۳۱۹۹۲	۰	۰	۰/۰۲	۰	۰	۰/۰۳	۰	۰
مجموع	۱۴۰۷۴۸۶	۳۴							

جدول ۱۷. ارتباط بین چشمه آب معدنی با تراکم گسل و تعیین میزان تأثیر آنها با استفاده از مدل وزن واقعه

کلاس	میزان پیکسل	تعداد چشمه	W+	W-	C	S2	S2	S(C)	C/S(C)
تراکم گسل									
۰/۵-۰	۱۰۳۷۴۵۰	۲۵	۰	۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۳۹	-۰/۰۲
۱-۰/۵	۱۴۶۴۱۲	۲	-۰/۵۷	۰/۰۵	-۰/۶۲	۰/۵	۰/۰۳	۰/۷۳	-۰/۱۸۵
۱/۵-۱	۲۰۰۱۰۳	۶	۰/۲۲	-۰/۰۴	۰/۲۶	۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۴۵	۰/۵۷
۲/۵-۱/۵	۲۳۵۲۱	۱	۰/۵۷	-۰/۰۱	۰/۵۸	۱	۰/۰۳	۱/۰۲	۰/۵۷
مجموع	۱۴۰۷۴۸۶	۳۴							

جدول ۱۸. ارتباط بین چشمه آب معدنی با شاخص رطوبت توپوگرافی و تعیین میزان تأثیر آنها با استفاده از مدل وزن واقعه

کلاس	میزان پیکسل	تعداد چشمه	W+	W-	C	S2	S2	S(C)	C/S(C)
شاخص رطوبت توپوگرافی									
۷-۲/۸	۱۴۱۱۴۲	۳	-۰/۱۳	۰/۰۱	-۰/۱۴	۰/۳۳	۰/۰۳	۰/۶	-۰/۲۳
۹-۷	۸۵۱۳۶۸	۱۹	-۰/۰۸	۰/۱۱	-۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۳۵	-۰/۱۵۵
۱۱-۹	۳۴۱۱۹۵	۸	-۰/۰۳	۰/۰۱	-۰/۰۴	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۴	-۰/۱
۲۱-۱۱	۷۳۷۸۱	۴	۰/۸۱	-۰/۰۷	۰/۸۸	۰/۲۵	۰/۰۳	۰/۵۳	۱/۶۵
مجموع	۱۴۰۷۴۸۶	۳۴							

جدول ۱۹. ارتباط بین چشمه آب معدنی با پلان دامنه و تعیین میزان تأثیر آنها با استفاده از مدل وزن واقعه

کلاس	میزان پیکسل	تعداد چشمه	W+	W-	C	S2	S2	S(C)	C/S(C)
پلان دامنه (100/m)									
واگرا	۵۹۴۵۴	۱	-۰/۳۶	۰/۰۱	-۰/۳۸	۱	۰/۰۳	۱/۰۲	-۰/۳۷
موازی	۱۱۱۵۴۳۳	۳۰	۰/۱۱	-۰/۵۷	۰/۶۷	۰/۰۳	۰/۲۵	۰/۵۳	۱/۲۷
همگرا	۲۳۲۵۹۹	۳	-۰/۶۳	۰/۰۹	-۰/۷۲	۰/۳۳	۰/۰۳	۰/۶	-۱/۱۸
مجموع	۱۴۰۷۴۸۶	۳۴							

جدول ۲۰. ارتباط بین چشمه آب معدنی با پروفیل دامنه و تعیین میزان تأثیر آنها با استفاده از مدل وزن واقعه

کلاس	میزان پیکسل	تعداد چشمه	W+	W-	C	S2	S2	S(C)	C/S(C)
پروفیل دامنه (100/m)									
محدب	۷۸۳۶۸	۰	۰	۰/۰۶	۰	۰	۰/۰۳	۰	۰
مسطح	۱۱۶۸۶۳۷	۲۹	۰/۰۳	-۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۰۳	۰/۲	۰/۴۸	۰/۳۵
مقعر	۱۶۰۴۸۱	۵	۰/۲۵	-۰/۰۴	۰/۲۹	۰/۲	۰/۰۳	۰/۴۸	۰/۶
مجموع	۱۴۰۷۴۸۶	۳۴							

جدول ۲۱. ارتباط بین چشمه آب معدنی با زمین شناسی و تعیین میزان تأثیر آنها با استفاده از مدل وزن واقعه

کلاس	میزان پیکسل	تعداد چشمه	W+	W-	C	S2	S2	S(C)	C/S(C)
زمین شناسی									
Js	۵۱۷۷۰۹	۱۹	۰/۴۲	-۰/۳۶	۰/۷۸	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۳۵	۲/۲۵
Re2	۷۱۱۷۶۳	۱۲	-۰/۳۶	۰/۲۷	-۰/۶۳	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۳۶	-۱/۷۵
Re1	۸۱۹۰۵	۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۵	۰/۰۳	۰/۷۳	۰/۰۲
Pe	۴۰۳۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۳	۰	۰
K2p ¹ ,m	۸۱۹۸۸	۱	-۰/۶۸	۰/۰۳	-۰/۷۱	۱	۰/۰۳	۱/۰۲	-۰/۷
M ¹ m,s,l	۱۰۰۸۵	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۳	۰	۰
مجموع	۱۴۰۷۴۸۶	۳۴							

جدول ۲۲. ارتباط بین چشمه آب معدنی با فاصله از گسل و تعیین میزان تأثیر آنها با استفاده از مدل وزن واقعه

کلاس	میزان پیکسل	تعداد چشمه	W+	W-	C	S2	S2	S(C)	C/S(C)
فاصله از گسل (متر)									
۵۰۰-۰	۳۹۷۹۵۶	۹	-۰/۰۷	۰/۰۲	-۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۳۹	-۰/۲۳
۱۵۰۰-۵۰۰	۶۲۳۲۱۷	۱۶	۰/۰۶	-۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۳۴	۰/۳۳
۲۵۰۰-۱۵۰۰	۳۲۸۴۴۳	۹	۰/۱۳	-۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۳۹	۰/۴۳
۲۵۰۰<	۵۷۸۷۰	۰	۰	۰/۰۴	۰	۰	۰/۰۳	۰	۰
مجموع	۱۴۰۷۴۸۶	۳۴							

جدول ۲۳. ارتباط بین چشمه آب معدنی با تراکم زهکشی و تعیین میزان تأثیر آنها با استفاده از مدل وزن واقعه

کلاس	میزان پیکسل	تعداد چشمه	W+	W-	C	S2	S2	S(C)	C/S(C)
تراکم زهکشی (km/km ²)									
۱/۵-۰	۲۲۰۰۳۹	۲	-۰/۹۸	۰/۱۱	-۱/۰۹	۰/۵	۰/۰۳	۰/۷۳	-۱/۴۹
۳-۱/۵	۴۰۰۴۳۳	۱۰	۰/۰۳	-۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۴	۰/۳۸	۰/۱۲
۴/۵-۳	۳۸۶۸۲۸	۹	-۰/۰۴	۰/۰۱	-۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۳۹	-۰/۱۳
۶-۴/۵	۲۳۰۴۵۹	۶	۰/۰۷	-۰/۰۲	-۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۴۵	۰/۲
۶<	۱۶۹۷۲۷	۷	۰/۵۳	-۰/۱	۰/۶۴	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۴۲	۱/۵
مجموع	۱۴۰۷۴۸۶	۳۴							

جدول ۲۴. ارتباط بین چشمه آب معدنی با فاصله از جاده و تعیین میزان تأثیر آنها با استفاده از مدل وزن واقعه

کلاس	میزان پیکسل	تعداد چشمه	W+	W-	C	S2	S2	S(C)	C/S(C)
فاصله از جاده (متر)									
۵۰۰-۰	۵۷۶۰۹۴	۱۵	۰/۰۷	-۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۳۵	۰/۳۸
۱۰۰۰-۵۰۰	۳۳۴۵۷۷	۵	-۰/۴۸	۰/۱۱	-۰/۵۹	۰/۲	۰/۰۳	۰/۴۸	-۱/۲۲
۱۵۰۰-۱۰۰۰	۱۹۸۵۳۱	۵	۰/۰۴	-۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۲	۰/۰۳	۰/۴۸	۰/۱
۲۵۰۰-۱۵۰۰	۲۱۳۹۵۲	۶	۰/۱۵	-۰/۰۳	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۴۵	۰/۴
۲۵۰۰<	۸۴۳۳۲	۳	۰/۳۹	-۰/۰۳	۰/۴۲	۰/۳۳	۰/۰۳	۰/۶	۰/۶۹
مجموع	۱۴۰۷۴۸۶	۳۴							

جدول ۲۵. ارتباط بین چشمه آب معدنی با هیپسومتری و تعیین میزان تأثیر آنها با استفاده از مدل وزن واقعه

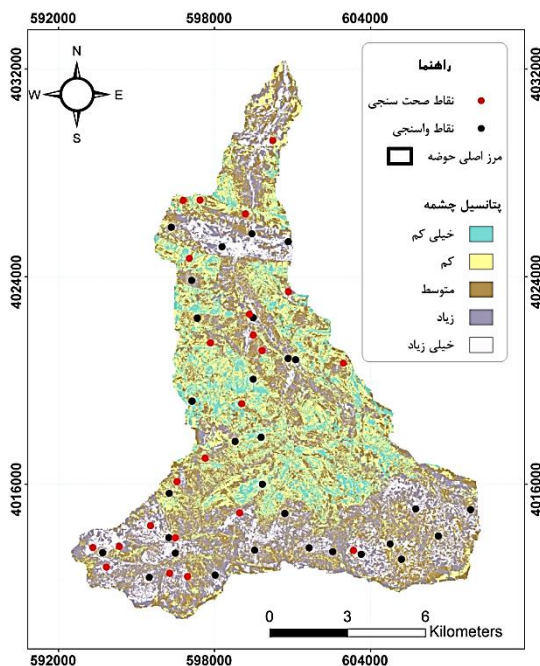
C/S(C)	S(C)	S2	S2	C	W-	W+	تعداد چشمه	میزان پیکسل	کلاس
هیپسومتری (متر)									
۱/۳۱	۰/۴	۰/۰۴	۰/۱۳	۰/۵۳	-۰/۱	۰/۴۳	۸	۲۱۶۱۸۹	۱۰۰۰-۲۸۰
-۱/۶۶	۰/۶	۰/۰۳	۰/۳۳	-۱	۰/۱۴	-۰/۸۶	۳	۲۹۳۶۵۴	۱۵۰۰-۱۰۰۰
-۱/۰۹	۰/۴۸	۰/۰۳	۰/۲	-۰/۵۳	۰/۱	-۰/۴۳	۵	۳۱۸۷۰۹	۲۰۰۰-۱۵۰۰
۱/۱۴	۰/۳۹	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۴۴	-۰/۱	۰/۳۴	۹	۲۶۴۴۹۲	۲۵۰۰-۲۰۰۰
-۰/۵۸	۰/۳۹	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۲۲	-۰/۰۵	۰/۱۷	۹	۳۱۴۴۴۲	۳۵۸۰-۲۵۰۰
							۳۴	۱۴۰۷۴۸۶	مجموع

جدول ۲۶. ارتباط بین چشمه آب معدنی با فاصله از رودخانه و تعیین میزان تأثیر آنها با استفاده از مدل وزن واقعه

C/S(C)	S(C)	S2	S2	C	W-	W+	تعداد چشمه	میزان پیکسل	کلاس
فاصله از رودخانه (متر)									
۱/۲	۰/۳۹	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۴۷	-۰/۳۲	۰/۱۵	۲۵	۸۹۳۶۹۲	۱۰۰۰-
-۱/۱	۰/۴۸	۰/۰۳	۰/۲	-۰/۵۳	۰/۱	-۰/۴۳	۵	۳۱۹۳۲۲	۲۰۰-۱۰۰
۰/۳۱	۰/۵۳	۰/۰۳	۰/۲۵	۰/۱۷	-۰/۰۲	۰/۱۵	۴	۱۴۲۸۷۰	۴۰۰-۲۰۰
.	.	۰/۰۳	.	.	۰/۰۳	.	.	۴۵۸۴۷	۸۰۰-۴۰۰
.	.	۰/۰۳	.	.	.	.	.	۵۷۵۵	۱۱۳۱-۸۰۰
							۳۴	۱۴۰۷۴۸۶	مجموع

جدول ۲۷. ارتباط بین چشمه آب معدنی با کاربری اراضی و تعیین میزان تأثیر آنها با استفاده از مدل وزن واقعه

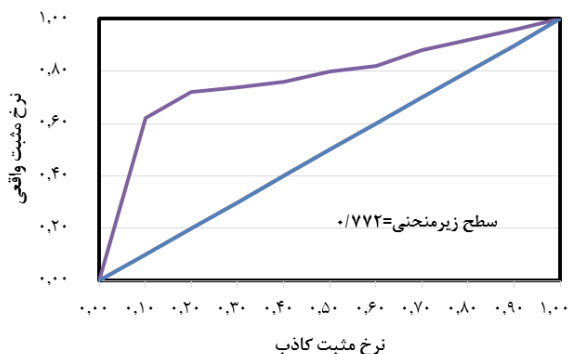
C/S(C)	S(C)	S2	S2	C	W-	W+	تعداد چشمه	میزان پیکسل	کلاس
کاربری اراضی									
.	.	۰/۰۳	.	.	.	.	.	۸۸۱	باغ
-۰/۰۱	۰/۳۶	۰/۰۸	۰/۰۵	.	.	.	۲۲	۹۱۱۹۶۱	جنگل
.	.	۰/۰۳	.	.	۰/۰۲	.	.	۳۲۳۳۳	زراعت
۰/۷۸	۰/۳۶	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۲۸	-۰/۰۹	۰/۱۹	۱۲	۴۱۰۶۳۰	مرتع
.	.	۰/۰۳	.	.	۰/۰۴	.	.	۵۱۶۸۱	مسکونی
							۳۴	۱۴۰۷۴۸۶	مجموع



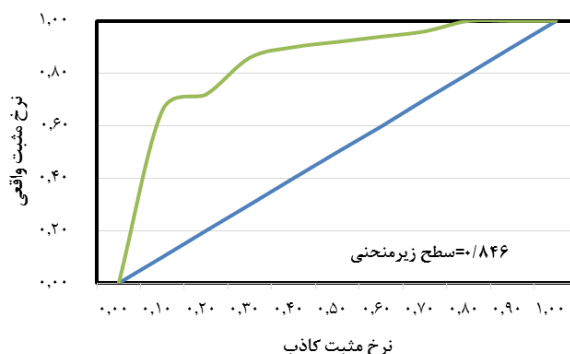
شکل ۱۷. نقشه پتانسیل چشمه به روش وزن واقعه

اساس منحنی های تشخیص عملکرد نسبی به ترتیب در شکل های ۱۸ و ۱۹ ارائه شده است.

نتایج حاصل از ارزیابی روش های تهیه نقشه های پتانسیل چشمه آب معدنی نتایج مربوط به ارزیابی مدل های نسبت تراکم و وزن واقعه بر



شکل ۱۹. منحنی تشخیص عملکرد نسبی مدل به روش وزن واقعه



شکل ۱۸. منحنی تشخیص عملکرد نسبی مدل به روش نسبت تراکم

عوامل مؤثر سیزده گانه در پتانسیل چشمه انجام شد.

نتایج اولویت بندی عوامل مؤثر بر پتانسیل چشمه وازرود همان طور که در جدول ۲۸ مشاهده می شود، اولویت بندی

جدول ۲۸. اولویت بندی عوامل مؤثر بر پتانسیل چشمه حوضه آبخیز وازرود

میزان حساسیت	درصد وزن مؤثر			پارامتر	شماره
	انحراف معیار	میانگین	حداکثر		
۰/۲۷	۱/۱۷	۲/۰۴	۹/۸۶	زمین شناسی	۱
۰/۵۶	۲/۲۳	۴/۳۴	۱۱/۲۸	جهت جغرافیایی	۲
۰/۴۳	۱/۴۰	۳/۲۹	۶/۷۱	هیپسومتری	۳
۰/۶۴	۱/۰۲	۴/۹	۸/۲۲	کاربری اراضی	۴
۰/۳	۰/۵۶	۲/۲۸	۴/۹۳	پلان دامنه	۵
۰/۲۸	۰/۴۱	۲/۱۹	۴/۳۸	پروفیل	۶
۰/۲۲	۰/۹۸	۱/۶۵	۷/۵۲	رودخانه	۷
۰/۴۵	۱/۳۵	۱/۴۹	۹/۰۳	درصد شیب	۸
۰/۳۹	۱/۲۴	۳	۶/۶۷	تراکم زهکشی	۹
۰/۲۸	۱/۹۶	۲/۱۷	۶/۵۸	فاصله از گسل	۱۰
۰/۱۹	۰/۷۹	۱/۴۴	۴	تراکم گسل	۱۱
۰/۳۱	۰/۷۱	۲/۳۹	۵/۱۸	شاخص رطوبت توپوگرافی	۱۲
۰/۳۱	۱/۴۱	۲/۳۶	۷/۴۳	فاصله از جاده	۱۳

نتایج عوامل مؤثر بر اساس مدل نسبت فراوانی

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، بیشترین تعداد و همچنین تراکم چشمه‌ها در کلاس جهت شیب شمال غربی با مقدار ۱/۴۶ بوده که این امر نشان‌دهنده بالا بودن پتانسیل آب زیرزمینی در جهت یادشده است و کمترین آن در مناطق مسطح رخ داده است. جهت‌های شمال و شمال شرق نیز دارای تراکم چشمه برابر با ۱/۰۶۶ و ۱/۰۶۴ هستند. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان استنباط کرد که به غیر از این ۳ جهت، در تمامی جهت‌های شیب تعداد چشمه‌ها به‌طور تقریباً یکنواخت پراکنده شده‌اند. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول یادشده جهت شمال غرب حداکثر احتمال وجود چشمه را نیز به خود اختصاص داده است. بر اساس نتایج جدول ۳، درصد شیب ۲۰-۳۰ بیشترین تعداد چشمه را در خود جای داده است و درصد شیب‌های ۴۰-۵۰ و < 50 درصد کمترین تعداد چشمه (یک و صفر) را دارد (جدول ۴). دلیل این امر می‌تواند محدودیت چشمه در شیب‌های بیشتر از ۴۰ درصد و تبدیل شدن به آبشار جست‌وجو کرد (ذبیحی و همکاران، ۱۳۹۴). بر اساس نتایج مندرج در جدول ۳ در خصوص عامل درصد شیب نیز باید یادآوری شود که حداکثر احتمال وجود چشمه برابر با ۲/۸۸ مربوط به کلاس ۱۰-۰ درصد است. بر اساس نتایج به دست آمده از تراکم گسل با تعداد چشمه که در جدول ۴ نشان داده شد، طبقه ۰-۵۰ با ۲۵ چشمه به‌عنوان بیشترین طبقه که چشمه در آن قرار دارد مشخص شد؛ اما طبقه تراکم گسل ۱/۵-۲/۵ کیلومتر بر کیلومتر مربع بیشترین وزن (۱/۷۵) را به خود اختصاص داده است. بر اساس نتایج پژوهش حاضر در تبیین ارتباط عامل رطوبت توپوگرافی و پتانسیل آب زیرزمینی بر اساس مدل نسبت تراکم و مندرج در جدول ۵، بیشترین تعداد چشمه (۱۹ عدد) در طبقه ۷-۹ قرار دارد. تعداد ۸ چشمه نیز در طبقه ۹-۱۱ قرار دارد. با توجه به نتایج به دست آمده بیشترین احتمال وجود چشمه در طبقه ۱۱-۲۱ با وزن ۲/۲۴ تعیین شد. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱۱ انحناهای واگرا، موازی و همگرا زمین به ترتیب با ۲/۹، ۸۸/۲ و ۸/۸ درصد چشمه‌ها قرار گرفته‌اند. بیشترین و کمترین مقدار احتمال وجود چشمه در انحناهای موازی و واگرا قرار داشته و انحنای همگرا در رتبه دوم از این نظر قرار دارد (جدول ۶). با توجه به ارتباط بین انحنای نیم‌رخ و پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مطالعه شده، مشخص شد که در انحنای مسطح حداکثر تعداد چشمه وجود داشته است. پس از آن، انحنای

مقعر با ۱۴ درصد چشمه‌ها در رتبه بعدی قرار دارد (جدول ۷). با توجه به نتایج مندرج در جدول ۸ مشخص شد که حداکثر تعداد چشمه که ۵۵ درصد چشمه‌ها را شامل می‌شود، مربوط به طبقه زمین‌شناسی Js (سازند شمشک) است. بر اساس نتایج پژوهش حاضر حداکثر احتمال وجود چشمه مربوط به طبقه Js (سازند شمشک) به دست آمده است. همچنین، در طبقات M^h,s,l,Pe (سازند هم‌ارز قم)، هیچ‌گونه چشمه‌ای مشاهده نشده است. با توجه به جدول ۹ بیشترین تعداد چشمه در طبقه فاصله از گسل ۵۰۰-۱۵۰۰ متر قرار دارد (۱۶ چشمه). بر همین اساس، ۲۶/۴ درصد چشمه‌ها در طبقه ۵۰۰-۰ متر و طبقه ۱۵۰۰-۲۵۰۰ متر قرار گرفته‌اند. کمترین تعداد چشمه مربوط به طبقه < 2500 متر فاصله از گسل است. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱۰، با افزایش تراکم زهکشی، تعداد چشمه‌ها در طبقات افزایش می‌یابد که بیانگر رابطه مستقیم بین عامل تراکم زهکشی و وقوع چشمه در منطقه مطالعاتی بوده است. در این راستا، در طبقه ۱/۵-۳ کیلومتر بر کیلومتر مربع از تراکم زهکشی ۲۹/۴ درصد چشمه‌ها قرار دارد و در حالی که ۲۰/۵ درصد چشمه‌ها در طبقه < 6 کیلومتر بر کیلومتر مربع تراکم زهکشی جای گرفته است، بیشترین احتمال وجود چشمه در این طبقه قرار دارد (۱/۷). همچنین، در بررسی اثر عامل تراکم زهکشی بر پتانسیل چشمه در منطقه مطالعه شده مشخص شد که کمترین آن مربوط به طبقه ۰-۱/۵ کیلومتر بر کیلومتر مربع است. با توجه به جدول ۱۱، بیشترین تعداد چشمه (۱۵) در طبقه ۰-۵۰۰ متر از جاده قرار دارد. توزیع یکنواختی از درصد چشمه‌ها در طبقات بعدی فاصله از جاده وجود داشته و کمترین تعداد چشمه در طبقه < 2500 متر وجود دارد. بر اساس نتایج به دست آمده در خصوص تبیین ارتباط طبقات ارتفاعی با رخداد چشمه در پژوهش حاضر و مندرج در جدول ۱۲ مشخص شد که طبقه ارتفاعی متوسط ۲۵۰۰-۲۰۰۰ و ۲۵۰۰-۳۰۰۰ متر به‌صورت مشترک بیشترین تعداد چشمه را در خود جای داده است (۹ چشمه). این امر احتمالاً به دلیل کم بودن تراکم زهکشی در این طبقه و در نتیجه، نفوذ بیشتر و امکان ورود چشمه از طریق درز و شکاف‌ها به سطح در طبقه ارتفاعی بالا است. طبقه کمتر از ۲۸۰-۱۰۰۰ متر نیز بیشترین احتمال چشمه را با وزن ۱/۵۳ دارد.

همچنین، بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد که فاصله ۰-۱۰۰ متر از آبراهه بیشترین تعداد چشمه را در خود

جای داده است. به‌گونه‌ای که ۷۳/۵ درصد چشمه‌ها در این طبقه قرار دارد. بیشتر احتمال وجود چشمه نیز مربوط به همین طبقه محاسبه شده است. در طبقات ۴۰۰-۸۰۰ و بیش از ۸۰۰ متر فاصله از آبراهه چشمه‌ای مشاهده نشده است. به طور کلی، وجود رابطه معکوس بین فاصله از آبراهه و وقوع چشمه وجود دارد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر در خصوص ارتباط بین کاربری اراضی و پتانسیل چشمه در حوضه آبخیز وازرود و حداقل تعداد چشمه در مناطق مسکونی و زمین‌های باغی و زراعی قرار دارد. طبقه جنگل با ۶۴/۷ درصد چشمه‌ها، حداکثر تعداد چشمه را به خود اختصاص داده است. از کلیه چشمه‌های مشاهده‌شده در منطقه مطالعاتی، تعداد ۱۲ چشمه نیز در کاربری مرتع قرار دارد. در این میان، طبقه مرتع بیشترین احتمال وجود چشمه را به خود اختصاص داده است. نتایج حاصل از بررسی عوامل مؤثر بر پتانسیل چشمه بر اساس مدل نسبت فراوانی در حوضه آبخیز وازرود با توجه به نتایج ارائه‌شده حداکثر تأثیرگذاری عامل کاربری اراضی با مقدار وزنی ۰/۶۴ است. همچنین، مقدار وزنی ۰/۱۹ مربوط به عامل تراکم گسل به‌عنوان کم‌اثرترین عامل بر پتانسیل چشمه در حوضه آبخیز وازرود، از یافته‌های پژوهش حاضر است. به‌طور کلی، عوامل مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مطالعه‌شده بر اساس مدل نسبت فراوانی از بیشترین تا کمترین تأثیر به ترتیب شامل عوامل کاربری اراضی، جهت جغرافیایی، درصد شیب، هیپسومتری، تراکم زهکشی، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از جاده، پلان، پروفیل، فاصله از گسل، زمین‌شناسی، رودخانه و تراکم گسل تعیین شدند. با توجه به نقش پتانسیل چشمه در حوضه آبخیز وازرود بر اساس مدل نسبت فراوانی ارائه‌شده در شکل ۱۷ پنج طبقه با پتانسیل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد از نظر وجود چشمه مشخص شده است که به‌ترتیب ۱۱/۳، ۲۵/۵، ۲۸/۱، ۲۳/۶ و ۱۱/۳ درصد از مساحت منطقه مطالعاتی را به خود اختصاص داده‌اند.

نتایج عوامل مؤثر بر اساس مدل وزن واقعه

بر اساس نتایج ارائه‌شده در جدول ۱۵، بیشترین تعداد و همچنین تراکم چشمه‌ها در کلاس جهت شیب شمال غربی با مقدار ۱/۰۹ بوده که این امر نشان‌دهنده بالا بودن پتانسیل آب زیرزمینی در جهت یادشده هست و کمترین آن در مناطق مسطح رخ داده است. جهت‌های شمال شرق و شمال

نیز دارای تراکم چشمه برابر با ۰/۲۲ و ۰/۲ هستند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان استنباط کرد که به غیر از این ۳ جهت، در تمامی جهت‌های شیب، تعداد چشمه‌ها به‌طور تقریباً یکنواخت پراکنده شده‌اند. بر اساس نتایج جدول ۱۶، درصد شیب ۲۰-۳۰ بیشترین تعداد چشمه را در خود جای داده است و درصد شیب‌های ۴۰-۵۰ و < ۵۰ درصد کمترین تعداد چشمه (یک و صفر) را دارد. بر اساس نتایج مندرج در جدول ۱۶ در خصوص عامل درصد شیب نیز باید یادآوری شود که حداکثر احتمال وجود چشمه برابر با ۲/۸۶ مربوط به کلاس ۰-۱۰ درصد است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تراکم گسل با تعداد چشمه که در جدول ۱۷ نشان داده شد، طبقه ۰-۰/۵ با ۲۵ چشمه به‌عنوان بیشترین طبقه که چشمه در آن قرار دارد، مشخص شد؛ اما طبقه تراکم گسل ۱/۵-۲/۵ کیلومتر بر کیلومتر با وزن ۰/۵۶ بیشترین احتمال را به خود اختصاص داده است. بر اساس نتایج پژوهش حاضر در تبیین ارتباط عامل رطوبت توپوگرافی و پتانسیل آب زیرزمینی بر اساس مدل نسبت تراکم و مندرج در جدول ۱۸ بیشترین تعداد چشمه (۱۹ عدد) در طبقه ۷-۹ قرار دارد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده بیشترین احتمال وجود چشمه در طبقه ۱۱-۲۱ با وزن ۱/۶۵ تعیین شد. بر اساس نتایج ارائه‌شده در جدول ۱۹ انحنای واگرا، موازی و همگرا زمین به‌ترتیب با ۲/۹، ۸۸/۲ و ۸/۸ درصد چشمه‌ها قرار گرفته‌اند. بیشترین کمترین مقدار احتمال وجود چشمه در انحنای موازی و واگرا قرار داشته و انحنای همگرا در رتبه دوم از این نظر قرار دارد (جدول ۱۹). با توجه به ارتباط بین انحنای نیم‌رخ و پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مطالعه‌شده، مشخص شد که در انحنای مسطح حداکثر تعداد چشمه وجود داشته است. پس از آن، انحنای مقعر با ۱۴ درصد چشمه‌ها در رتبه بعدی قرار دارد (جدول ۲۰). با توجه به نتایج مندرج در جدول ۲۱ مشخص شد که حداکثر تعداد چشمه که ۵۵ درصد چشمه‌ها را شامل می‌شود، مربوط به طبقه زمین‌شناسی Js (سازند شمشک) است. بر اساس نتایج پژوهش حاضر حداکثر احتمال وجود چشمه مربوط به طبقه Js (سازند شمشک) با وزن ۲/۲۵ به‌دست‌آمده است. همچنین، در طبقات Pe و M^m, s, l (سازند هم‌ارز قم)، هیچ‌گونه چشمه‌ای مشاهده نشده است. با توجه به جدول ۲۲ بیشترین تعداد چشمه در طبقه فاصله از گسل ۵۰۰-۱۵۰۰ متر قرار دارد (۱۶ چشمه). بر همین اساس، ۲۶/۴ درصد چشمه‌ها در طبقه ۰-۵۰۰ متر و طبقه ۱۵۰۰-۲۵۰۰ متر

واقع در حوضه آبخیز وازرود با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۱۸ پنج طبقه با پتانسیل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد از نظر وجود چشمه مشخص شده است که به ترتیب ۳/۸، ۲۱/۲، ۳۵، ۳۰ و ۹/۷ درصد از مساحت منطقه مطالعاتی را به خود اختصاص داده‌اند.

بحث

یکی از روش‌های تعیین دقت و ارزیابی مدل‌ها، استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) است. نتایج ارزیابی مدل‌های نسبت تراکم و وزن واقعه با استفاده از ۳۰ درصد از چشمه‌ها که در مرحله ساخت مدل استفاده نشده‌اند، بر اساس منحنی تشخیص عملکرد نسبی ارائه شده در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ نشان داد مدل نسبت فراوانی با مقدار سطح زیر منحنی (AUC) برابر با ۸۴/۴ درصد عملکرد بهتری نسبت به مدل وزن واقعه با سطح زیر منحنی ۷۷/۲ درصد داشته است. به دلیل پیچیدگی‌های عوامل مؤثر در ایجاد چشمه آب معدنی در یک حوضه، بهره‌گیری از روش‌های آماری با توجه به توان مدل‌سازی و به‌کارگیری عوامل مؤثر برای پتانسیل‌یابی چشمه، ابزاری بسیار مناسب است. روش‌های متعددی برای پتانسیل‌یابی چشمه نظیر روش‌های متکی بر نظر کارشناسی و غیره به کار برده می‌شود [۳۲]؛ اما از معایب این روش‌ها در مقایسه با مدل‌های آماری نظیر نسبت فراوانی و وزن واقعه می‌توان به اثرگذاری نظر کارشناسان بر نتیجه کار اشاره کرد. نظر کارشناسان نیز به میزان سطح مهارت، تجربه و نیز شناخت افراد از منطقه مطالعه شده بستگی دارد، در حالی که در روش‌های آماری نتیجه نهایی بر اساس شرایط و روابط موجود میان عوامل مختلف و بدون دخالت نظرات شخصی به دست می‌آید [۳۳]. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که مدل نسبت فراوانی صحت بیشتری از مدل وزن واقعه در مدل‌سازی چشمه دارد. این نتایج با تحقیقات عرب عامری و همکاران [۳۴]. انتظاری و همکاران [۳۵] که بیان کردند مدل نسبت فراوانی صحت بیشتری نسبت به مدل وزن واقعه در مدل‌سازی زمین‌لغزش و سیل دارد مطابقت دارد. نتایج نشان داد مناطقی با ارتفاع زیاد به علت بالا بودن سطح نفوذ و تراکم زهکشی کمتر، پتانسیل آب چشمه در این مناطق بیشتر است که با نتایج مطالعات پژوهشگران دیگر [۳۶-۳۸] مطابقت دارد. نتایج نشان داد عامل درصد شیب جزء عوامل مهم در پتانسیل چشمه در این تحقیق تعیین شد. این نتایج با نتایج پژوهش کاظمی و همکاران [۳۹] که بیان کردند

قرار گرفته‌اند. بیشترین احتمال وجود چشمه در طبقه ۱۵۰۰-۲۵۰۰ متر با وزن ۰/۴۳ قرار دارد. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲۳، با افزایش تراکم زهکشی، تعداد چشمه‌ها در طبقات افزایش می‌یابد که بیانگر رابطه مستقیم بین عامل تراکم زهکشی و وقوع چشمه در منطقه مطالعاتی بوده است. در این راستا، در طبقه ۱/۵-۳ کیلومتر بر کیلومتر مربع از تراکم زهکشی ۲۹/۴ درصد چشمه‌ها قرار دارد و در حالی که ۲۰/۵ درصد چشمه‌ها در طبقه $6 <$ کیلومتر بر کیلومتر مربع تراکم زهکشی جای گرفته است، بیشترین احتمال وجود چشمه در طبقه $6 <$ با وزن ۱/۵ قرار دارد. همچنین، در بررسی اثر عامل تراکم زهکشی بر پتانسیل چشمه در منطقه مطالعه شده مشخص شد که کمترین آن مربوط به طبقه ۰-۱/۵ کیلومتر بر کیلومتر مربع است. با توجه به جدول ۲۴، بیشترین تعداد چشمه (۱۵) در طبقه ۰-۵۰۰ متر از جاده قرار دارد. در حالی که بیشترین احتمال وجود چشمه در طبقات ۱۵۰۰-۲۵۰۰ متر و بیشتر از ۲۵۰۰ متر با اوزان ۰/۳۹ و ۰/۶۹ وجود دارد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در خصوص تبیین ارتباط طبقات ارتفاعی با رخداد چشمه در پژوهش حاضر و مندرج در جدول ۲۵ مشخص شد که طبقه ارتفاعی متوسط ۲۰۰۰-۲۵۰۰ و ۲۵۰۰-۳۰۰۰ متر به‌صورت مشترک بیشترین تعداد چشمه را در خود جای داده است (۹ چشمه). طبقه ۲۸۰-۱۰۰۰ متر نیز بیشترین احتمال چشمه را با وزن ۱/۳ دارد. همچنین، بر اساس نتایج نشان داده شده در جدول ۲۶ مشخص شد که فاصله ۰-۱۰۰ متر از آبراهه بیشترین تعداد چشمه را در خود جای داده است، به‌گونه‌ای که ۷۳/۵ درصد چشمه‌ها در این طبقه قرار دارد. حداکثر احتمال وجود چشمه نیز مربوط به همین طبقه با وزن ۱/۲ است. در طبقات ۴۰۰-۸۰۰ و بیش از ۸۰۰ متر فاصله از آبراهه چشمه‌ای مشاهده نشده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر در خصوص ارتباط بین کاربری اراضی و پتانسیل چشمه در حوضه آبخیز وازرود و مندرج در جدول ۲۷ حداقل تعداد چشمه در مناطق مسکونی و زمین‌های باغی و زراعی قرار دارد. طبقه جنگل با ۶۴/۷ درصد چشمه‌ها، حداکثر تعداد چشمه را به خود اختصاص داده است. از کلیه چشمه‌های مشاهده شده در منطقه مطالعاتی، تعداد ۱۲ چشمه نیز در کاربری مرتع قرار دارد. در این میان، طبقه مرتع بیشترین احتمال وجود چشمه را با وزن ۰/۷۸ به خود اختصاص داده است. نتایج حاصل از بررسی عوامل مؤثر بر پتانسیل چشمه بر اساس مدل وزن

پتانسیل یابی چشمه منطقه مناسب‌اند. در نهایت، این مطالعه می‌تواند بیانگر وضعیت پتانسیل چشمه در حوضه آبخیز وازرود باشد. نتایج حاصل می‌تواند در اتخاذ تصمیم‌های آتی مدیریت منابع چشمه و بهره‌برداری از آنها در منطقه مطالعه‌شده مؤثر و راهبردی باشد.

قدردانی

این مقاله برگرفته از یک طرح پژوهشی است که با حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری امکان انجام آن میسر شده است. بنابراین، بر خود لازم می‌دانیم تا از حوزه معونت پژوهشی سپاسگزاری کنیم.

منابع

- [1]. Badisar, Seyed Nasreddin., Ahmadi, Seyed Mohammad Sadegh., Modbarnejad, Atefeh Sadat. Evaluation of indicators of good governance in the water sector. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2020; 22 (2), 275-286.
- [2]. Mahdavi, M. *Applied Hydrology*. Volume One, University of Tehran. 2009; 342 pages.
- [3]. Telvari, A. *Groundwater Textbook*. 2012; 186 pages.
- [4]. Seif, A., Kargar, A. Groundwater potential identification using hierarchical analysis method and geographical system, Case study: Sirjan catchment. *Journal of Natural Geography*. 2011; 12 (4): 75-90.
- [5]. Jaafari, A., et al. "GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran." *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2014; 11(4): 909-926.
- [6]. Naghibi, Seyed Amir, Hamid Reza Pourghasemi, Zohre Sadat Pourtaghi, and Ashkan Rezaei. "Groundwater qanat potential mapping using frequency ratio and Shannon's entropy models in the Moghan watershed, Iran." *Earth Science Informatics*. 2015; 8(1):171-186.
- [7]. Zabihi, Mohsen., Pourghasemi, Hamid Reza., Behzadfar, Morteza. Preparation of groundwater potential map using Shannon entropy models and random forest in Bojnourd plain. *Echo Hydrology*. 2015; 2(2): From page 221 to page 232.
- [8]. Zandi, Siran., Soleimani, Karim., Zandi, Jalal. Mapping of areas with potential for groundwater occurrence using logistic regression statistical method in GIS environment (Case study: Mirdeh mountain watershed, Kurdistan). *Journal of Watershed Management (Scientific-Research)*. 2015; 6 (12): 75-87.
- [9]. Mogaji, K. A., H. S. Lim, and K. Abdullah.

شیب و درز و شکاف عاملی مهم در توسعه منابع آب چشمه دارند، مطابقت دارد. همچنین، این منطقه در جهت شمال غرب، شمال شرق و شمال نسبت به سایر جهات دارای پتانسیل آب زیرزمینی بالاتری است. دلیل این امر را می‌توان دریافت رطوبت بیشتر، بارندگی بیشتر و تبخیر کمتر و در نهایت، پتانسیل بیشتر این جهات در تشکیل چشمه دانست که با نتایج پژوهش‌های [۴۰] Ozdemir و [۱۱] Chen et al مطابقت ندارد. از دیدگاه کاربری اراضی در این منطقه، اراضی مرتعی و جنگلی مناطقی که پوشش گیاهی بیشتری وجود دارد، دارای بالاترین پتانسیل چشمه هستند که این نتایج نیز با نتایج مطالعه [۴۱] Gurrieri و [۴۲] Binkley مطابقت دارد. در این تحقیق عوامل زمین‌شناسی نظیر لیتولوژی، تراکم گسل و فاصله از گسل جزء عوامل محسوب شدند که تأثیر کمتری نسبت به سایر عوامل مؤثر داشتند. این یافته با نتایج پژوهش کاظمی و همکاران [۳۹] که بیان کردند گسل و خطواره، عناصر تکتونیکی و لایه‌های زمین‌شناسی تأثیر مهمی در وقوع چشمه دارد، همسو نیست.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، پتانسیل چشمه با بررسی ۵۷ مورد از چشمه‌های موجود با استفاده از مدل‌های آماری نسبت تراکم و وزن واقعه بررسی شد. ۷۰ درصد چشمه‌ها (۳۴ چشمه) برای واسنجی و ۳۰ درصد باقی‌مانده (۲۴ چشمه) برای صحت‌سنجی استفاده شدند. صحت مدل نسبت فراوانی ۸۴/۴ درصد و صحت مدل وزن واقعه با میزان ۷۷/۲ درصد، بیانگر دقت خیلی خوب و خوب این دو مدل در تعیین مناطق مستعد چشمه در حوضه آبخیز وازرود است. بنابراین، می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده از مدل‌های آماری برای یافتن مناطق دارای چشمه، مفید و قابل اعتماد است. مطابق نتایج، صحت مدل نسبت فراوانی نیز بیشتر از مدل وزن واقعه است. با توجه به نتایج، ۳۹/۷ و ۳۴/۹ درصد از حوضه آبخیز وازرود در طبقات زیاد و خیلی زیاد به لحاظ پتانسیل چشمه به ترتیب در دو مدل وزن واقعه و نسبت فراوانی قرار دارد. ۱۳ عامل مؤثر در پتانسیل چشمه در این مطالعه شامل درصد شیب، جهت جغرافیایی، هیپسومتري، پلان و پروفیل دامنه، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل، تراکم گسل، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و شاخص رطوبت توپوگرافی و فاصله از جاده در محیط نرم‌افزار ArcMAP10.7 تهیه شدند و نتایج پیش‌بینی بیانگر این بود که این عوامل در

- tree, weights of evidence and artificial neural network. *Geosciences Journal*. 2016; 20(1): 117-136.
- [23]. Goetz, J. N., Alexander Brenning, Helene Petschko, and Philip Leopold. "Evaluating machine learning and statistical prediction techniques for landslide susceptibility modeling." *Computers & geosciences*. 2015; 81: 1-11. [24]. Guru, B., Seshan, K., & Bera, S. Frequency ratio model for groundwater potential mapping and its sustainable management in cold desert, India. *Journal of King Saud University-Science*. 2017; 29(3): 333-347.
- [25]. Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *Journal of hydrology*. 2014; 512: 332-343.
- [26]. Beguería, S. Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management. *Nat Hazards*. 2006; 37:315–329. <https://doi.org/10.1007/s11069-005-5182-6>
- [27]. Quirós, E., Felicísimo, Á. M., & Cuartero, A. Testing multivariate adaptive regression splines (MARS) as a method of land cover classification of TERRA-ASTER satellite images. *Sensors*. 2009; 9(11): 9011-9028.
- [28]. Hong, H., Pourghasemi, H. R., & Pourtaghi, Z. S. Landslide susceptibility assessment in Lianhua County (China): a comparison between a random forest data mining technique and bivariate and multivariate statistical models. *Geomorphology*. 2016; 259: 105-118.
- [29]. Chen, W., Peng, J., Hong, H., Shahabi, H., Pradhan, B., Liu, J & Duan, Z. Landslide susceptibility modelling using GIS-based machine learning techniques for Chongren County, Jiangxi Province, China. *Science of the total environment*. 2018; 626: 1121-1135.
- [30]. Bretzler, A., Lalanne, F., Nikiema, J., Podgorski, J., Pfenninger, N., Berg, M., & Schirmer, M. Groundwater arsenic contamination in Burkina Faso, West Africa: predicting and verifying regions at risk. *Science of the Total Environment*. 2017; 584: 958-970.
- [31]. Tziritis, E., Panagopoulos, A., Arampatzis, G. Development of an operational index of water quality (PoS) as a versatile tool to assist groundwater resources management and strategic planning. *J Hydrol*. 2014; 517:339–350. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.008>
- [32]. Motevalli, A., Naghibi, S.A., Hashemi, H., Berndtsson, R., Pradhan, B. and Gholami, V. Inverse method using boosted regression tree and k-nearest neighbor to quantify effects of point and non-point source nitrate pollution in groundwater. *Journal of cleaner production*. 2019; 228:1248-1263.
- [33]. Kouli, M., C. Loupasakis, P. Soupios, D. Rozos, and F. Vallianatos. "Landslide susceptibility "Regional prediction of groundwater potential mapping in a multifaceted geology terrain using GIS-based Dempster–Shafer model." *Arabian Journal of Geosciences*. 2015;8(5): 3235-3258.
- [10]. Waikar, M. L., & Nilawar, A. P. Identification of groundwater potential zone using remote sensing and GIS technique. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2014; 3(5): 12163-12174.
- [11]. Chen, W., Zhao, X., Tsangaratos, P., Shahabi, H., Ilija, I., Xue, W., Wang, X. and Ahmad, B.B., Evaluating the usage of tree-based ensemble methods in groundwater spring potential mapping. *Journal of Hydrology*. 2020; 583, p.124602.
- [12]. Nhu, V. H., Rahmati, O., Falah, F., Shojaei, S., Al-Ansari, N., Shahabi, H., ... & Ahmad, B. B. Mapping of groundwater spring potential in karst aquifer system using novel ensemble bivariate and multivariate models. *Water*. 2020; 12(4): 985.
- [13]. Chen, W., Li, Y., Tsangaratos, P., Shahabi, H., Ilija, I., Xue, W., Bian, H., Groundwater Spring Potential Mapping Using Artificial Intelligence Approach Based on Kernel Logistic Regression, Random Forest, and Alternating Decision Tree Models. *Appl. Sci*. 2020; 10(2), 425
- [14]. Tolche, A.D. Groundwater potential mapping using geospatial techniques: a case study of Dhungeta-Ramis sub-basin, Ethiopia. *Geol. Ecol. Landscapes*. 2021; 5: 65–80. <https://doi.org/10.1080/24749508.2020.1728882>
- [15]. Tabarestan Space Consulting Engineers Co. Detailed studies of Vazrood watershed in Noor city. *Meteorological report*. 2008; Pages 1-130.
- [16]. Tabarestan Space Consulting Engineers Co.. Detailed studies of Vazrood watershed in Noor city. *Vegetation report*. 2008; Pages 1-61.
- [17]. Tabarestan Space Consulting Engineers Co. Detailed studies of Vazrood watershed in Noor city. *Erosion and sediment report*. 2008; Pages 1-77.
- [18]. Tabarestan Space Consulting Engineers Co. Detailed studies of Vazrood watershed in Noor city. *Geology and Geomorphology report*. 2008; Pages 1-77.
- [19]. Water Company of Mazandaran (WCM). Spring distribution in Mazandaran province. *Office of Basic Studies of Water Resources in Mazandaran province*. 2013.
- [20]. Yilmaz, I. and Keskin, I. GIS based statistical and physical approaches to landslide susceptibility mapping (Sebinkarahisar, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2009; 68(4):.459-471.
- [21]. Larsen, K. Generalized naive Bayes classifiers. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*. 2005; 7(1): 76-81. [22]. Wang, L. J., Guo, M., Sawada, K., Lin, J., & Zhang, J. A comparative study of landslide susceptibility maps using logistic regression, frequency ratio, decision

- [38]. Rajaveni, S.P., Brindha, K. and Elango, L. Geological and geomorphological controls on groundwater occurrence in a hard rock region. *Applied Water Science*. 2017; 7(3):1377-1389.
- [39]. Kazemi, Rahim., Ghayoumian, Jafar., Jalali, Nader. Investigation of the role of structural factors in the abundance of water resources in the karst Lar area using remote sensing and GIS. *Research and construction in natural resources*. 2006; 73: 33-41.
- [40]. Ozdemir, A. 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. *J Hydrol*. 2011;411:290-308
- [41]. Gurrieri, J.T. Rangeland water developments at springs: best practices for design, rehabilitation, and restoration. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-405. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 2020; 21 p., 405.
- [42]. Binkley, D. Management impacts on water quality of forests and rangelands (Vol. 239). US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 1993.
- mapping by comparing the WLC and WofE multi-criteria methods in the West Crete Island, Greece." *Environmental earth sciences*. 2014; 72(12): 5197-5219.
- [34]. Arab Ameri, Alireza., Shirani, Kouros., Rezaei, Khalil. Comparative evaluation of probabilistic methods of incident weight and frequency ratio in landslide risk zoning (Case study: Vanak watershed, Isfahan). *Watershed Management Research Journal*. 2015; 8 (15): 147 - 160.
- [35]. Entezari, Mojgan., Jalilian, Tahereh., Darvish Khatouni, Javad. Zoning of flood susceptibility map using evaluation between frequency ratio method and evidence weight in Kermanshah province. *Spatial analysis of environmental hazards*. 2019; 6 (4): 143-162.
- [36]. Guru, B., Seshan, K. and Bera, S. Frequency ratio model for groundwater potential mapping and its sustainable management in cold desert, India. *Journal of King Saud University-Science*. 2017; 29(3):333-347.
- [37]. Krause, S., Jacobs, J. and Bronstert, A. Modelling the impacts of land-use and drainage density on the water balance of a lowland-floodplain landscape in northeast Germany. *Ecological Modelling*. 2007. 200(3-4): 475-492.