

پهنه‌بندی و ارزیابی فراوانی چشمه‌ها در مناطق کارستی با استفاده از رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بجنورد)

❖ علی اکبر نظری سامانی*؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

❖ علیرضا اولیایی؛ دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

❖ سادات فیض نیا؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

چکیده

ارزیابی فراوانی چشمه‌ها به موضوعی مهم برای برنامه‌ریزی استفاده از زمین، به خصوص شناسایی منابع آب زیرزمینی و حفاظت از محیط‌زیست تبدیل شده است. بدین منظور جهت تولید نقشه فراوانی چشمه‌های حوزه آبخیز بجنورد، از روش رگرسیون لجستیک باینری (به منظور وجود و عدم وجود چشمه)، تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) استفاده گردید. در این منطقه تعداد ۳۵۹ چشمه شناسایی شد و ۱۴ عامل مؤثر در وجود چشمه شامل تراکم خطواره، فاصله از خطواره، ارتفاع، آبراهه، تراکم زهکشی، شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، انحنای پروفیل، انحنای مماسی، نسبت سطح، برآیند بردار، بارندگی، ارتفاع، زمین‌شناسی، جهت‌های جغرافیایی و شیب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ضرایب عوامل مؤثر توسط رگرسیون لجستیک از ۳۰۰ چشمه که به صورت تصادفی انتخاب شده بودند، به دست آمد. از ۵۹ چشمه دیگر برای مرحله اعتبارسنجی استفاده شد. در نهایت نقشه فراوانی چشمه‌ها به چهار طبقه احتمالاتی خیلی کم، کم، متوسط و زیاد تقسیم گردید. نتایج نشان داد که وجود بیش از ۸۰ درصد از چشمه‌ها به درستی پیش‌بینی گردید. همچنین دقت مدل با استفاده از منحنی ROC، ۸۶/۶ درصد تخمین زده شد که نشان‌دهنده دقت بالای مدل در تحلیل فراوانی چشمه‌ها در منطقه مورد مطالعه است. در پایان عوامل تراکم زهکشی، شاخص پوشش گیاهی، برآیند بردار، بیش‌ترین ضریب و عوامل شیب، ارتفاع و نسبت سطح کمترین معنی‌داری را در بروز چشمه‌ها داشته‌اند. با توجه به نتایج این تحقیق، می‌توان از این روش برای شناسایی منابع آب زیرزمینی در مناطق کارستی استفاده کرد و در بهبود مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز کارستی، نقش مهمی ایفا نماید.

کلید واژگان: بجنورد، چشمه، کارست، رگرسیون لجستیک

۱. مقدمه

از روش رگرسیون لجستیک برای بررسی پارامترهای نقطه‌ای، مانند نقشه خطر فرونشست زمین به وفور استفاده شده است [۲، ۳، ۱۳، ۱۴]. سازندهای کارستی، پتانسیل بالایی در تولید چشمه دارند و بخش عظیمی از منابع آبی به صورت چشمه در سطح ظاهر می‌شوند [۲۶، ۱]. با توجه به اینکه بیش از نیمی از سازندهای حوزه آبخیز بجنورد را سازندهای کارستی تشکیل داده است و این موضوع نشان‌دهنده منابع آب زیرزمینی قابل‌توجهی در این منطقه است، در این پژوهش سعی بر آن شده است که با یک مطالعه جامع، اقدام به شبیه‌سازی فراوانی چشمه‌ها با بهره‌گیری از روش رگرسیون لجستیک باینری و ترکیب آن با تکنیک‌های سنجش از دور و GIS شده است.

۲. روش شناسی

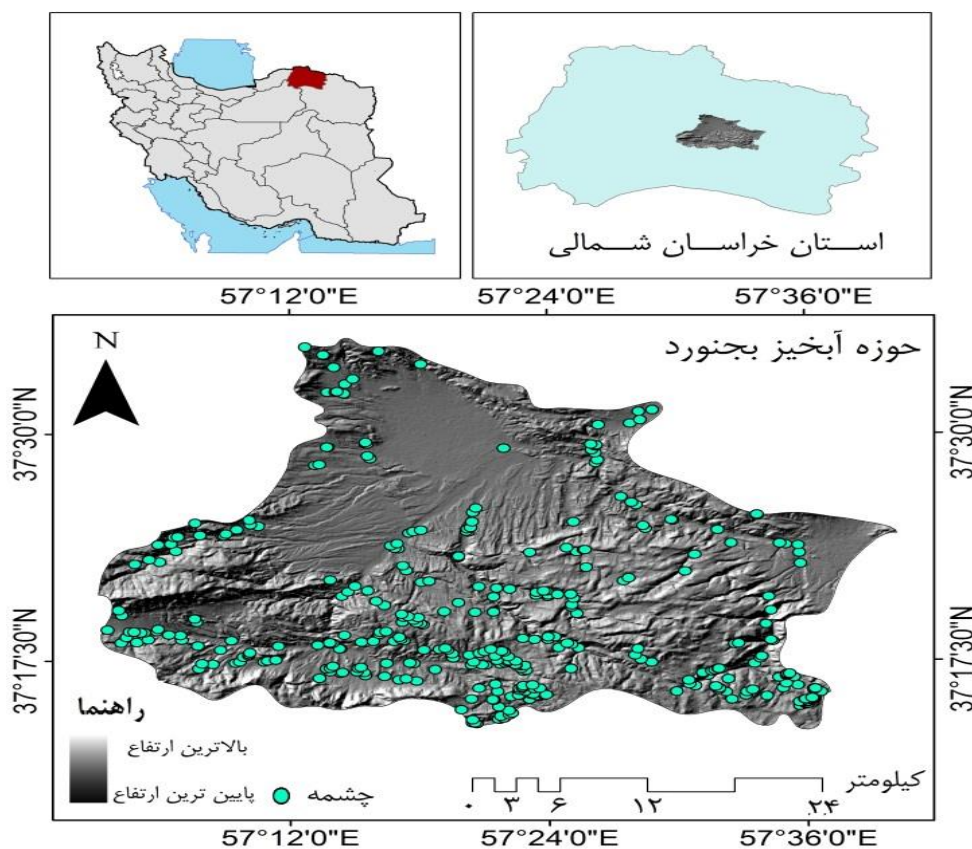
۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز بجنورد در شمال شرق کشور و بخش مرکزی استان خراسان شمالی و در صفحه‌های زمین-شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بجنورد و شیروان قرار گرفته است و غالباً در زون کپه‌داغ قرار می‌گیرد. چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه از دوره اردوئوسین مربوط به دوران پالئوزوئیک تا رسوبات دوره کواترنر را شامل می‌شود. مساحت این حوضه ۱۲۷۹ کیلومترمربع است که بین طول جغرافیایی $57^{\circ}03'$ تا $57^{\circ}40'$ شرقی و عرض جغرافیایی $37^{\circ}14'$ تا $35^{\circ}37'$ شمالی قرار گرفته است. ارتفاع کمینه و بیشینه این حوضه به ترتیب ۹۰۰ متر و ۲۹۶۶ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالانه حوضه ۳۰۰ میلی‌متر و نوع اقلیم منطقه بر اساس تقسیم‌بندی دومارتن، نیمه‌خشک است. موقعیت منطقه مورد مطالعه و چشمه‌های موجود در آن در شکل (۱) نشان داده شده است.

در ایران چشمه‌های متعدد کوچک و بزرگ وجود دارد که اغلب آن‌ها در نواحی کوهستانی و مرتفع ظاهر می‌شود و آب تخلیه شده از آن‌ها اکثراً از کیفیت خوبی برخوردار است. وجود چشمه‌ها، مخصوصاً چشمه‌های کارستی که محل تخلیه آب از سفره آب زیرزمینی سازندهای کارستی است، به لحاظ نقشی که در تأمین آب شرب و کشاورزی بسیاری از شهرهای کشورمان دارند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. جهت مطالعه آب زیرزمینی در سازندهای سخت، چشمه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند که مستقیماً خصوصیات آبخوان را نشان می‌دهند [۱۲]. به همین دلیل مطالعه و شناخت این چشمه‌ها نقش مهمی در برنامه‌ریزی و بهره‌برداری بهینه از این منابع دارد. روش‌های مرسوم که برای آماده سازی نقشه مناطق پتانسیل آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود، به طور عمده بر اساس بررسی‌های سطح زمین انجام می‌شود [۵]. به طور کلی حرکت آب زیرزمینی به خصوص در آبخوان‌هایی با بستر درز و شکافدار در هر منطقه، با عواملی همچون توپوگرافی، سنگ‌شناسی، تراکم شکستگی، تخلخل ثانویه، تغذیه آب‌های زیرزمینی، شیب، الگوی زهکشی، پوشش زمین، شرایط آب‌وهوایی و روابط متقابل میان این عوامل کنترل می‌شود [۷، ۱۷، ۱۹]. عواملی همچون تراکم گسل، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، تراکم زهکشی، پوشش سطح، بارندگی، ارتفاع، زمین‌شناسی، جهات جغرافیایی، انحنای مماسی، انحنای پروفیل و شیب بر وقوع چشمه تأثیر می‌گذارند [۲۱]. با ظهور فن‌آوری سنجش از دور^۱ و سامانه اطلاعات جغرافیایی^۲، تهیه نقشه مناطق بالقوه آب‌های زیرزمینی، مخصوصاً در درون هر واحد زمین‌شناسی به روشی آسان تبدیل شده است [۱۰، ۲۱]. رگرسیون لجستیک باینری، برای بررسی رابطه بین متغیر پاسخ (حضور یا عدم حضور) با متغیر مستقل به کار می‌رود [۸]. علاوه بر این،

^۱ RS: Remote Sensing

^۲ GIS: Geographic information system



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و چشمه‌های منطقه

۲.۲. روش تحقیق

به منظور تهیه نقشه فراوانی چشمه‌ها از ۱۴ عامل تراکم خطواره، فاصله از خطواره، فاصله از آبراهه، تراکم زهکشی، شاخص پوشش گیاهی^۱، انحنای پروفیل^۲، انحنای مماسی^۳، نسبت سطح^۴، برآیند بردار^۵، بارندگی، ارتفاع، زمین‌شناسی، جهات جغرافیایی و شیب به دلیل تأثیر عمده در نفوذ و تغذیه و استحصال آب استفاده گردید. بدین منظور در ابتدا نقشه‌های این عوامل به صورت زیر به دست آمد.

۱.۲.۲. خطواره

عوامل تکتونیکی نظیر درزه‌ها و گسل‌ها به عنوان نقاط ضعف واحدهای زمین‌شناسی به شمار رفته و به عنوان راهی برای عبور آسان آب و محلی برای تجمع آب به عنوان مخازن آب زیرزمینی است [۲۲]. این عامل به طور قابل ملاحظه‌ای بر روی هیدروژئولوژی سنگ‌های کربناته و آهکی تأثیر می‌گذارد. نقشه خطواره‌ها از طریق تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺ سال ۲۰۰۷ در محیط نرم‌افزار pci geomatica استخراج شد و به وسیله نقشه‌های مناطق مسکونی و آبراهه‌های سازمان نقشه‌برداری کشور در محیط Arc Map اصلاح گردید. در نهایت نقشه‌های تراکم خطواره و فاصله از خطواره به دست آمد.

^۱ NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

^۲ Profile curvature

^۳ Tangential curvature

^۴ Surface ratio

^۵ Vector dispersion

۲.۲.۲. نقشه پوشش گیاهی

نقشه NDVI نیز از تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺ سال ۲۰۰۷ در محیط نرم‌افزار IDRISI تهیه شد.

۳.۲.۲. نقشه بارندگی

برای به دست آوردن نقشه خطوط همباران، از آمار بارندگی ۱۳ ایستگاه درون و مجاور حوضه از سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ استفاده شد. به همین منظور، این نقشه با استفاده از میان‌یابی به روش کریجینگ ساده، به دلیل داشتن کمترین میانگین مربعات خطا^۱ به دست آمد.

۴.۲.۲. نقشه آبراهه‌ها و شبکه زهکشی

نقشه تراکم زهکشی و فاصله از آبراهه و همچنین نقشه خطوط ارتفاعی، جهت و شیب از مدل رقومی ارتفاع

(DEM) با دقت ۳۰ متر، در محیط GIS تهیه شدند.

۵.۲.۲. نقشه سنگ‌شناسی

به منظور تهیه نقشه سنگ‌شناسی و پراکنش سازندها، از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده گردید. تغییرات سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی ساختاری اغلب منجر به تفاوت در قدرت نفوذپذیری خاک و سنگ می‌گردد و وقوع چشمه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. جدول شماره ۱ نوع سازندها، سنگ‌شناسی و سن سازندهای منطقه را نشان می‌دهد. در نهایت بر اساس میزان آبگذری سازندها (جدول گروه‌بندی سازندهای پیوسته و ناپیوسته- کمیته فنی منابع آب)، سازندهای منطقه طبقه‌بندی و کدگذاری گردید و در نرم افزار SPSS مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱. سنگ‌شناسی و سن سازندهای موجود در منطقه

نوع سازند	سن	سنگ‌شناسی	اسم یا نوع سازند	مساحت (هکتار)	درصد
Qal	هولوسن	آبرفت امروزه شامل شن، سیلت، ماسه	آبرفت امروزه	۳۰۹۳/۷۶۲	۲/۴۱۸۸۹۱
Q1	هولوسن	آبرفت‌های پادگانه‌ای شامل سیلت، ماسه، گراول	آبرفت پادگانه‌ای	۲۲۷۹۲/۸۲	۱۷/۸۲۰۸۱
QPl	پلئستوسن	کنگومرا	کنگومرا	۳۸۹۸/۷۷۱	۳/۰۴۸۲۹۶
Ng1	ترسیر	مارن، گچ، کنگومرا و مقدار کمی سنگ‌های ولکانیکی	مارن و کنگومرا	۱۷۵۹۳/۴	۱۳/۷۵۵۵۹
Ksn	کرتاسه	شیل	سنگانه	۸۴۲/۸۹۲۲	۰/۶۵۹۰۲۴
Ksr	کرتاسه	مارن سبز، آهک مارنی و آهک اریتولین‌دار	سرچشمه	۷۳۴۹/۲۶۳	۵/۷۴۶۱۰۱
Ktr	کرتاسه	آهک اریتولین‌دار روشن ضخیم لایه تا نازک	تیرگان	۳۵۱۲۰/۵۱	۲۷/۴۵۹۳۵
Ksh	کرتاسه	مارن سبز و ماسه‌سنگ قرمز	شوریجه	۷۲۷۳/۴۹۷	۵/۶۸۶۸۶۲
J-Kmz	ژوراسیک	آهک خاکستری روشن تا سفید و آهک دولومیتی	مزدوران	۲۷۵۲۱/۸۵	۲۱/۵۱۸۲۶
DI,sh	دوینین	سنگ آهک تیره و شیل سبز	خوش بیلاق	۹۷/۸۶۳۸۹	۰/۰۷۶۵۱۶
Ds	دوینین	ماسه‌سنگ قرمز و شیل مارنی	پادهات	۲۷۵۲۱/۸۵	۲۱/۵۱۸۲۶
Ov	اردوویسین	واحد ولکانیکی (اندزیت تا بازالت)، ماسه‌سنگ و شیل	واحد آتشفشانی	۸۲/۰۷۹۳۹	۰/۰۶۴۱۷۵

جدول ۲. شماره‌گذاری سازندهای موجود در منطقه بر حسب آبگذری

سازندها	Qal	Q1	QPl	Ng1	Ksn	Ksr	Ktr	Ksh	J-Kmz	DI,s	Ds	Ov
شماره گذاری سازندها بر حسب آبگذری	۱	۲	۱۱	۱۲	۹	۷	۴	۸	۳	۵	۶	۱۰

¹ Mean Prediction Error

۶.۲.۲. عوامل ژئومتری

یکی از رویکردهای اصلی در این تحقیق، بررسی قابلیت استفاده از پارامترهای ژئومورفومتری در جهت تفکیک عارضه‌های کارستی است. پارامترهای ژئومورفومتری بر مبنای استخراج اطلاعات از مدل‌های رقومی ارتفاعی بر پایه معادلات ریاضی و اشکال هندسی است. ژئومورفومتری دانش کمی کردن عوارض سطح زمین بوده و یک رویکرد نوین در زمینه تحلیل‌های کارتوگرافیک عوارض سطح زمین بر پایه محاسبات کامپیوتری و تغییرات ارتفاعی عوارض سطح زمین است. انحنای پروفیل^۱، انحنای مماسی^۲، نسبت سطح^۳، برآیند بردار^۴، جهت و شیب از مدل رقومی ارتفاع (DEM) با دقت ۳۰ متر، در محیط GIS تهیه شدند. انحنای پروفیل، طول خط حداکثر شیب است. در انحنای پروفیل طبقه‌های مثبت نشان‌دهنده انحنای مقعر است و ارزش‌های منفی، انحنای محدب را نشان می‌دهد. در انحنای مماسی پیکسل‌هایی که دارای ارزش مثبت هستند، در آن پیکسل جریان واگرا است و ارزش‌های منفی نشان‌دهنده انحنایی است که در آن پیکسل، جریان همگرا می‌شود و به سمت یک نقطه متمرکز می‌شود. نسبت سطح بیانگر سطح واقعی منطقه تماس نسبت به سطح پلان هر منطقه است. مقدار این عامل از یک برای سطوح صاف و بدون شیب تا بی‌نهایت برای سطوح قائم می‌تواند موجود باشد. عامل برآیند بردار یک شاخص ژئومورفومتری است و نشان‌دهنده وجود ناهمواری‌ها در منطقه است، به طوری که هر چقدر پستی و بلندی‌های منطقه کمتر باشد، اندازه بردار بیشتر می‌شود. مزیت پارامتر برآیند بردار نسبت به پارامتر نسبت سطح، تأثیرپذیری کمتر آن نسبت به شیب است.

۷.۲.۲. موقعیت چشمه‌ها

در مرحله بعد آمار مربوط به موقعیت چشمه‌های منطقه از سازمان مدیریت منابع آب ایران به همراه بازدیدهای میدانی تهیه گردید. در این حوضه ۳۵۹ چشمه شناسایی گردید که ۳۰۰ چشمه به صورت تصادفی برای آموزش مدل انتخاب شدند و ۵۹ چشمه دیگر، تنها برای آزمون مدل و تجزیه و تحلیل نتایج استفاده گردید، شکل (۱).

در این مطالعه ۱۴ عامل ذکر شده توسط ویژگی‌های هر عامل به طبقه‌های مختلف طبقه‌بندی گردید (جدول ۳).

۸.۲.۲. استفاده از مدل رگرسیون لجستیک

هدف از رگرسیون لجستیک پیدا کردن بهترین مدل برای توصیف رابطه بین یک متغیر وابسته و چند متغیر مستقل است [۱۴، ۲۰]. بنابراین، مدل رگرسیون لجستیک احتمال حضور و یا عدم حضور را با توجه به مقادیر متغیرهای مشاهده شده پیش‌بینی می‌کند. جهت بررسی وجود یا عدم وجود چشمه‌ها، به علت نرمال نبودن داده‌ها از رگرسیون لجستیک باینری که نوع خاصی از رگرسیون لجستیک است، استفاده گردید. برای رگرسیون لجستیک باینری فرض نرمال بودن داده‌ها، مورد نیاز نیست، از این رو نسبت به رگرسیون خطی بسیار کارآمدتر است. رگرسیون لجستیک یک رابطه دو طرفه بین حضور چشمه‌ها (یا عدم حضور چشمه) و عوامل مختلف که در ایجاد چشمه‌ها نقش دارند، ایجاد می‌کند.

شکل کلی رگرسیون لجستیک به صورت زیر است:

$$y = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (1)$$

$$y = \log_e \left[\frac{p}{1-p} \right] = \text{logit}(p) \quad (2)$$

$$p = \frac{e^y}{1+e^y} \quad (3)$$

¹ Profile curvature

² Tangential curvature

³ Surface ratio

⁴ Vector Strength

است و در صورت وجود باید در تجزیه و تحلیل لجستیک از مطالعه حذف شوند [۳]. با توجه به اینکه برای همه متغیرها مقدار تولرنس بزرگ‌تر از ۰/۱ و تورم واریانس کوچک‌تر از ۱۰ بوده است، متغیری حذف نمی‌گردد.

به طور کلی توصیه می‌شود در رگرسیون لجستیک پیکسل‌های دارای ارزش یک را برابر حضور چشمه و مقادیر صفر را به منزله عدم حضور چشمه در نظر بگیرند [۲]. در این روش ۳۰۰ پیکسل به عنوان وجود چشمه و ۳۰۰ پیکسل به عنوان عدم وجود چشمه به صورت تصادفی برای آنالیز رگرسیون انتخاب گردید. ارزش طبقه‌های وابسته (نقاط حضور یا عدم حضور چشمه‌ها) و طبقه‌های مستقل (عوامل تأثیرگذار بر چشمه‌ها) توسط رگرسیون لجستیک مورد بررسی قرار گرفت و ضرایب مدل توسط نرم‌افزار SPSS محاسبه گردید.

در این پژوهش، تمام چشمه‌ها در منطقه مورد مطالعه به صورت تصادفی به دو زیرگروه برای آموزش و آزمون تقسیم شدند. چشمه‌های آموزشی در تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گرفت و نتایج آن به کل منطقه مورد مطالعه از جمله منطقه تست، تعمیم داده شد.

لایه پراکنش چشمه‌ها به وسیله رگرسیون لجستیک باینری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و ضرایب رگرسیون برای عوامل معنی‌دار در سطح پنج درصد به دست آمد. نقشه نهایی، با توجه به معادله ضرایب رگرسیون لجستیک باینری معادله (۲) و معادله (۳) بر پایه نقشه‌های رستری عوامل مؤثر معنی‌دار، به دست آمد و وزن پیکسل‌ها در بازه‌ای از صفر تا یک محاسبه گردید. در این نقشه (شکل ۳)، طبقه‌هایی که دارای پتانسیل بالاتری از نظر تولید چشمه هستند، وزن بیشتری به خود اختصاص می‌دهند و به یک نزدیک‌تر می‌شوند. نقشه به دست آمده به چهار طبقه دارای پتانسیل خیلی کم، پتانسیل کم، پتانسیل متوسط و پتانسیل زیاد تقسیم گردید.

که در اینجا x_1, x_2, \dots, x_n متغیرهای توصیفی هستند، b_1, b_2, \dots, b_n ضرایب رگرسیون برای تخمین است و سهم هر یک از متغیرها را نشان می‌دهد. P به احتمال وقوع چشمه اشاره دارد. در رگرسیون باینری مثلاً اگر p به عنوان پاسخ رگرسیون لجستیک باینری در نظر گرفته شود، ارزش بین صفر و یک را خواهد داشت. در صورتی که $p=1$ ، احتمال حضور چشمه است و در ارزش‌های مساوی صفر عدم احتمال حضور چشمه را داریم. y یک ترکیب تابع خطی از متغیرهای موجود است، تابع y نیز نشان‌دهنده لگاریتم احتمال وقوع متغیر بر پایه عدد نپر است. زمانی که مقدار y افزایش یابد، احتمال وقوع یا p به شدت افزایش می‌یابد. در ضرایب رگرسیون لجستیک، علامت‌های مثبت بیانگر این است که متغیر سبب تغییرات مثبت در حضور چشمه می‌شود و علامت منفی حاکی از اثر مخالف در حضور چشمه است.

همچنین رگرسیون لجستیک باینری برای انتخاب بهترین پیش‌بینی، چندین روش در مدل ارائه می‌دهد [۱۶]. در مطالعه حاضر، تجزیه و تحلیل داده‌ها به وسیله رگرسیون لجستیک گام به گام رو به جلو والد مورد استفاده قرار گرفت. مزیت این روش در آن است که در هر مرحله، پیش‌بینی با بزرگترین نمره آماری که مقدار معنی‌داری آن کمتر از مقدار مشخص شده است (فاصله اطمینان ۹۵ درصد در سطح پنج درصد) به مدل اضافه می‌شود. آنهایی که در آخرین مرحله آنالیز، مقدار معنی‌داری آن‌ها بیشتر از پنج درصد است، اضافه نمی‌شوند. موضوع مهم دیگر این است که هنگامی که بیش از دو متغیر در رگرسیون حضور داشته باشد ممکن است بین متغیرهای مستقل هم خطی ایجاد گردد [۹]. دو شاخص مهم برای تشخیص چندخطی، تولرنس (TOL) و عامل تورم واریانس (VIF) است [۲۸]. مقدار تولرنس کوچک‌تر از ۰/۱ و تورم واریانس بیشتر از ۱۰ یکی از شاخص‌های چند خطی جدی میان متغیرهای مستقل

جدول ۳. طبقه‌بندی عوامل مؤثر در وقوع چشمه‌ها

تعداد چشمه	مساحت (km ²)	طبقه‌های هر عامل	تعداد چشمه	مساحت (km ²)	طبقه‌های هر عامل
		زمین‌شناسی			جهت
۳۸	۲۲۷/۲۲۵۶	Q1	۵	۲۲/۳۷۶۷	مسطح
۰	۰/۸۷۰۴	Dl,sh	۹۹	۴۳۹/۷۹۱۳	شمالی
۹	۲۲/۹۶۳۲	Ds	۵۰	۳۱۰/۰۵۶۳	شرقی
۰	۰/۶۶۵۶	Ov	۶۴	۲۷۴/۷۴۹۳	جنوبی
۳۱	۳۱/۷۴۴	Qal	۸۲	۲۲۵/۷۱۱۹	غربی
۳	۳۸/۸۰۹۶	QPl			انحنای مماسی
۵۴	۱۷۶/۵۸۸۸	Ng1	۱	۲/۵۱۱۹	۱- تا ۳-
۱	۸/۸۰۶۴	Ksn	۲۱۵	۶۲۸/۴۶۳۷	۰ تا ۱-
۱۲	۷۳/۷۲۸	Ksr	۸۴	۶۳۹/۳۶۵۴	۰ تا ۱
۴۱	۳۵۰/۸۴۸	Ktr	۰	۲/۳۴۴۵	۱ تا ۳
۷۰	۷۲/۱۱۵۲	Ksh			انحنای پروفیل
۴۱	۲۷۴/۷۹۰۴	J-Kmz	۰	۱۰/۷۸۹۲	۱- تا ۴-
		بارندگی	۸۷	۶۰۹/۳۰۱۸	۰ تا ۱-
۱۵	۲۱۴/۷۰۰۸	۲۷۴ - ۲۸۵	۲۰۹	۶۴۰/۷۰۶۴	۰ تا ۱
۳۳	۲۲۵/۵۹۹۴	۲۸۵ - ۲۹۵	۴	۱۱/۸۸۸۱	۱ تا ۴
۵۹	۳۸۲/۱۱۱۱	۲۹۵ - ۳۰۵			ارتفاع
۱۱۶	۲۷۷/۸۰۷۲	۳۰۵ - ۳۱۵	۳۳	۲۳۴/۶۲۵۵	۹۰۰ - ۱۲۰۰
۷۷	۱۶۹/۶۲۰۲	۳۱۵ - ۳۲۵	۵۲	۳۶۷/۱۰۹۱	۱۲۰۰ - ۱۵۰۰
		فاصله از آبراهه	۹۶	۲۸۵/۶۱۷۷	۱۵۰۰ - ۱۸۰۰
۲۳۱	۴۸۳/۲۳۵۴	۰ - ۲۰۰	۱۰۵	۲۴۸/۸۷۲۵	۱۸۰۰ - ۲۱۰۰
۴۶	۲۶۶/۴۵۴۶	۲۰۰ - ۴۰۰	۱۴	۱۲۰/۹۸۱۶	۲۱۰۰ - ۲۴۰۰
۱۵	۲۰۴/۹۱۸۴	۴۰۰ - ۶۰۰	۰	۱۸/۹۷۳۸	۲۴۰۰ - ۲۷۰۰
۸	۴۲۴/۹۳۱	> ۶۰۰	۰	۳/۴۲	۲۷۰۰ - ۳۰۰۰
		فاصله از خطواره			تراکم خطواره
۱۶۶	۳۴۹/۸۶۳۸	۰ - ۲۰۰	۵۶	۶۳۱/۸۵۷۲	صفر
۷۰	۲۵۳/۳۶۳۴	۲۰۰ - ۴۰۰	۲۴۲	۶۴۶/۰۰۰۱	۰ - ۳
۲۸	۱۴۰/۱۷۹۸	۴۰۰ - ۶۰۰	۱	۲/۰۸۴۶۶۳	> ۳
۳۶	۵۳۶/۰۹۴	> ۶۰۰			تراکم زهکشی
		شیب	۱۷	۵۷۳/۶۸۸۷	صفر
۱۶۱	۶۶۴/۵۶۴۵	۰ - ۱۰	۲۴۸	۶۷۸/۲۴۸۵	۰ - ۳
۱۰۷	۴۰۸/۱۴۷۳	۱۰ - ۲۰	۳۵	۲۸/۱۱۵۸۷	> ۳
۳۰	۱۵۵/۰۸۴۴	۲۰ - ۳۰			شاخص پوشش گیاهی
۲	۳۷/۱۲۱۴	۳۰ - ۴۰	۱۲	۲۵۱/۰۱۷۷	۰/۱ تا ۰/۳-
۰	۷/۲۲۴۳	۴۰ - ۵۰	۱۹۴	۹۷۶/۴۱۵۵	۰/۱ تا ۰/۱-
۰	۰/۵۴۳۶	۵۰ - ۶۰	۵۴	۲۹/۶۰۰۸۳	۰/۱ تا ۰/۳
		نسبت سطح	۴۰	۲۲/۵۶۱۸۷	۰/۳ تا ۰/۷
۳۰۰	۱۲۴۵/۰۸۲	۱ - ۱/۲			برایند بردار
۰	۲۴/۲۵۰۵	۱/۲ - ۱/۴	۷	۰/۲۴۵	۸ - ۸/۲
۰	۲/۹۴۲۱	۱/۴ - ۱/۶	۲	۰/۷۵۲	۸/۲ - ۸/۴
۰	۰/۳۴۵۶	۱/۶ - ۱/۸	۰	۱/۷۳۶۵	۸/۴ - ۶/۸
۰	۰/۰۶۵۷	۱/۸ - ۱/۲	۰	۱۸/۵۲۵۷	۸/۶ - ۸/۸
			۲۹۲	۱۲۴۶/۷۸۹	۸/۸ - ۹/۱

۹.۲.۲. ارزیابی مدل پیش‌بینی فراوانی چشمه‌ها

به منظور ارزیابی مدل از منحنی ROC^۱ [۴] استفاده شد. از آنالیز منحنی ROC برای تعیین دقت و کارایی مدل استفاده می‌شود. این منحنی از کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیات تشخیصی، شناسایی احتمالات و پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند [۲۵]. سطح زیر منحنی ROC (AUC^۲)، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخداد (وقوع چشمه) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع چشمه) آن است؛ بنابراین مساحت زیر منحنی به عنوان معیار دقت و صحت مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۵]. برای رسم منحنی ROC قبل از طبقه‌بندی نقشه وزن نهایی، چشمه‌هایی را که برای ارزیابی در نظر گرفته شده است، روی نقشه فراوانی چشمه‌ها انداخته و وزنی که در هر نقطه به دست آمده است یادداشت (کد ۱) و به همین تعداد نیز نقاطی به صورت تصادفی در مناطق دیگر انتخاب و وزن آن‌ها نیز ثبت می‌گردد (کد صفر). سپس وزن‌های به دست آمده وارد نرم‌افزار SPSS v.17.0 شد. در نهایت سطح زیر منحنی که نشان‌دهنده دقت مدل است، به دست آمد. دقت مدل نیز با روش منحنی ویژگی‌های عملیاتی نسبی (ROC) مورد بررسی قرار گرفت. در روش ROC، سطح زیر منحنی در محدوده ۰/۵ تا ۱ به منظور بررسی دقت مدل استفاده می‌شود [۱۸]. در ارزیابی به روش ROC هرچه سطح زیر منحنی بیشتر باشد دقت مدل بیشتر است. نقشه نهایی بر اساس چشمه‌های مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گرفته است که این چشمه‌ها در منطقه، صرفاً برای تست و تأیید نتایج تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گرفت.

۳. نتایج

بعد از اینکه ۱۴ عامل در نرم‌افزار spss مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، بعضی عوامل شامل تراکم خطواره، نسبت سطح، ارتفاع، سنگ‌شناسی و شیب که تأثیر آن‌ها بر وجود چشمه‌ها هم قطعی شده است، به علت اینکه مقدار معنی‌داری آن‌ها بیشتر از پنج درصد است، وارد مدل نشدند. میزان معنی‌داری و ضرایب (b) عوامل وارد شده به مدل (فاصله اطمینان ۹۵ درصد در سطح پنج درصد) در مرحله نهایی محاسبه گردید که در جدول (۴) نشان داده شده است.

معادله رگرسیون لجستیک در زیر نشان داده شده است:

$$Y = 0.1802(R) + 1.3223(P) - 1.124(VD) - 0.909(TC) \\ + 0.1845(PC) + 0.348(A) - 0.745(DC) + 1.963(DD) \\ - 0.696(DL)(4)$$

که در آن Y معادله رگرسیون است، p امکان وقوع چشمه است، R نشان‌دهنده بارندگی، P پوشش گیاهی، VS برآیند بردار، TC انحنای مماسی، PC انحنای پروفیل، A جهت، DC فاصله از آبراهه، DD تراکم زهکشی و DL فاصله از خطواره است.

با توجه به معادله رگرسیون لجستیک و ضرایب رگرسیونی عوامل معنی‌دار، نقشه نهایی به دست آمد. شکل (۳) نقشه نهایی فراوانی چشمه‌ها را نشان می‌دهد.

علاوه بر این، توانایی پیش‌بینی مدل توسط سطح زیر منحنی ROC مشخص شد. در ارزیابی به روش ROC هر چه سطح زیر منحنی بیشتر باشد دقت مدل بیشتر است که میزان آن بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است. به طور کلی تقسیم‌بندی ۰/۹-۱، عالی، ۰/۸-۰/۹، خیلی خوب، ۰/۸-۰/۷، خوب، ۰/۶-۰/۷، متوسط و ۰/۵-۰/۶، ضعیف را برای آن ارائه کرده‌اند. سطح زیر منحنی در این تحقیق برابر با ۰/۸۶ محاسبه گردید (جدول ۶). همچنین درجه اهمیت مجانبی مدل ۰/۰۰۰ به دست آمده است که با توجه به اینکه این مقدار بایستی کمتر از ۰/۰۵ باشد،

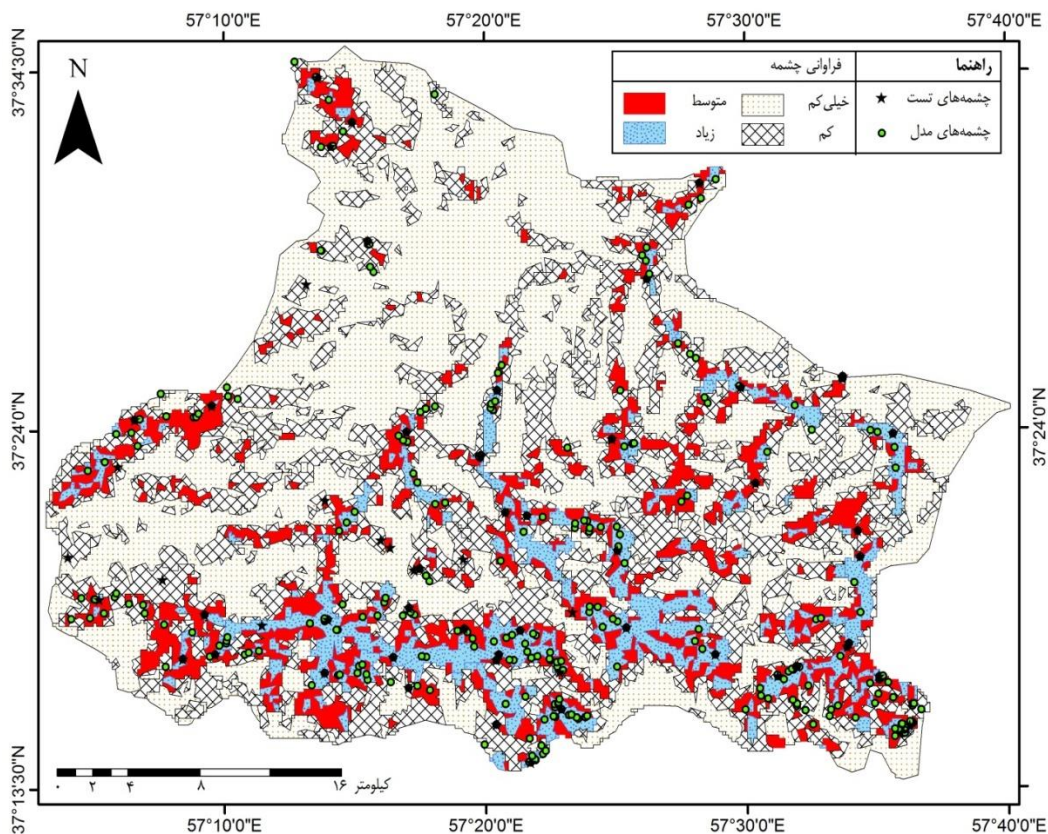
¹ Receiver Operating Characteristics

² Area Under Curve

نشان‌دهنده پیش‌بینی مناسب مدل در فراوانی چشمه‌ها است.

جدول ۴. نتایج به دست آمده از روش رگرسیون لجستیک و ضرایب مدل

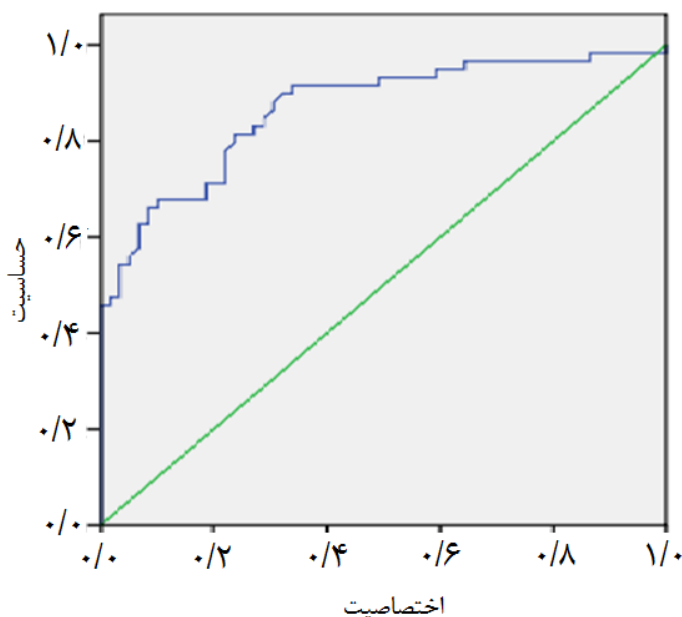
توان ضرایب	معنی‌داری	کای اسکوار والد	خطای استاندارد	ضریب رگرسیون لجستیک	
۲/۲۳۰	۰/۰۰	۴۱/۰۹۷	۰/۱۲۵	۰/۸۰۲	بارندگی
۳/۴۲۹	۰/۰۰	۱۷/۱۶۳	۰/۲۹۷	۱/۳۲۳	پوشش گیاهی
۰/۲۶۶	۱/۰۰۰	۱۷/۰۸۹	۰/۳۲۰	-۱/۱۲۴	برآیند بردار
۰/۴۰۳	۰/۰۲	۹/۷۳۶	۰/۲۹۱	-۰/۹۰۹	انحنای مماسی
۲/۳۲۸	۰/۰۲	۹/۳۹۰	۰/۲۷۶	۰/۸۴۵	انحنای پروفیل
۱/۴۱۶	۰/۰۴	۸/۱۶۷	۰/۱۲۲	۰/۳۴۸	جهت
۰/۴۷۵	۰/۰۰	۱۴/۴۴۴	۰/۱۹۶	-۰/۷۴۵	فاصله از آبراهه
۷/۱۲۲	۰/۰۰	۱۷/۰۴۲	۰/۴۷۶	۱/۹۶۳	تراکم زهکشی
۰/۴۹۹	۰/۰۰	۳۶/۴۰۳	۰/۱۱۵	-۰/۶۹۶	فاصله از خطواره
-	۰/۰۹	-	-	-	سنگ‌شناسی
-	۰/۲۵۰	-	-	-	تراکم خطواره
-	۰/۳۵۱	-	-	-	نسبت سطح
-	۰/۴۸۰	-	-	-	ارتفاع
-	۰/۵۸۳	-	-	-	شیب



شکل ۳. نقشه فراوانی چشمه‌ها با استفاده از رگرسیون لجستیک باینری

جدول ۵. توزیع چشمه‌های آب با توجه به پتانسیل هر طبقه برای ظهور چشمه‌ها

طبقه‌های نقشه فراوانی چشمه‌ها	محدوده هر طبقه	مساحت	درصد مساحت	چشمه‌های تست	تعداد کل چشمه‌ها
خیلی کم	۰/۲۵ - صفر	۷۵۶/۱۷۴	۵۹/۱۲۲	۵	۳۳
کم	۰/۲۵ - ۰/۵	۱۵۴/۳۵۲	۱۲/۰۶۸	۷	۳۷
متوسط	۰/۵ - ۰/۷۵	۱۳۸/۶۰۴۵	۱۰/۸۳۶۶	۱۱	۴۲
زیاد	۰/۷۵ - ۱	۲۲۹/۸۸۶۴	۱۷/۹۷۳۴	۳۶	۲۴۷
کل		۱۲۷۹	۱۰۰	۵۹	۳۵۹



شکل ۴. منحنی ROC مربوط به فراوانی چشمه‌ها

جدول ۶. نتایج محاسبه منحنی ROC

مساحت زیر منحنی	انحراف ^a معیار	درجه اهمیت ^b مجانبی	فواصل اطمینان مجانبی ۹۵٪	
			حد پایینی	حد بالایی
۰/۸۶	۰/۰۳۳	۰/۰۰۰	۰/۸۰۱	۰/۹۳۲

a: فرض غیر پارامتریک بودن داده‌ها
b: فرض صفر: صحت مساحت زیر منحنی = ۰/۵

تابعی است از ویژگی‌های ناهمواری‌ها، به طوری که روش‌های مختلف برای ارزیابی بالقوه چشمه در سراسر جهان به کار برده می‌شود که در این اثنا روش‌های آماری

۴. بحث و نتیجه گیری

در مناطق کارستیک به دلیل وجود ارتباط تنگاتنگ بین رژیم جریان و اشکال ناهمواری، فراوانی چشمه‌ها

به طور معنی‌داری بیشتر از چشمه‌های جنوبی و شرقی است که وجود پوشش گیاهی بیشتر در دامنه‌های شمالی و غربی کشور و همچنین تبخیر و تعرق کمتر که سبب افزایش نفوذ بیشتر می‌شود، می‌تواند توجیه‌گر این موضوع باشد. در مناطق کارستیک به دلیل توسعه اشکال حاصل از انحلال، توپوگرافی سطح زمین نامنظم تر بوده و پستی بلندی‌های محلی زیاد می‌شود. عامل برآیند بردار یک شاخص ژئومورفومتریک است و نشان‌دهنده وجود شدت ناهمواری‌ها (زبری توپوگرافی) در منطقه است، به طوری که هر چقدر پستی و بلندی‌های منطقه کمتر باشد، اندازه برآیند بردار بیشتر می‌شود [۲۳]. وجود رابطه منفی با افزایش عامل برآیند بردار بیانگر وجود رابطه مستقیم وجود چشمه‌ها با افزایش پستی و بلندی است. همچنین در سطح پنج درصد، بین فراوانی چشمه‌ها در سازندهای کربناته و غیرکربناته تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. دلیل آن، وضعیت چینه‌شناسی منطقه است، به صورتی که سازندهایی که نفوذپذیری ناچیزی دارند (مانند شوربجه و لایه‌های مازنی)، در بین سازندهای آهکی ضخیم و توده‌ای حوضه (مانند تیرگان و مزدوران) به گونه‌ای قرار گرفته‌اند که مانع از عبور جریان آب زیرزمینی در محل اتصال این سازندها شده و محل وقوع چشمه‌ها می‌شوند، این موضوع با نتایج [۱۱، ۲۱] در مورد وجود چشمه در محل اتصال سازندها و سازندهای نفوذناپذیری که در بین سازندهایی بانفوذ پذیری خوب واقع شده‌اند، مطابقت دارد. در این حالت مسیر اصلی عبور جریان، با توجه به معنی‌دار شدن عامل فاصله از خطواره که یکی دیگر از ویژگی‌های زمین‌شناسی است، از داخل درز و شکاف‌ها است. این موضوع عدم معنی‌داری نوع سنگ‌شناسی را در سطح پنج درصد توجیح می‌کند. انحناى پروفیل (مشتق دوم ارتفاع نسبت به طول) به معنی تغییر در وضعیت گرادیان شیب در طول یک دامنه است؛ بنابراین این انحنا تأثیر زیادی روی سرعت جریان و حالت تقعر و تحدب دامنه‌ها دارد و با افزایش آن حالت مقعر شده و سرعت جریان کاهش می‌یابد و سرعت نفوذ

بیشتر مورد توجه محققان است. به‌منظور پیش‌بینی و همچنین بررسی فراوانی رخنمون چشمه‌ها در سازندهای کارستی از پارامترهای میانگین بارندگی، سنگ‌شناسی، تراکم خطواره، فاصله از خطواره، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه، شاخص پوشش گیاهی، شیب، جهت، ارتفاع، انحناى پروفیل، انحناى مماسی، اندازه بردار، نسبت سطح استفاده شد. هر یک از این پارامترها به‌گونه‌ای در نفوذ آب و تغذیه منابع آب زیرزمینی و همچنین رخنمون چشمه‌ها دخالت دارند [۱۹، ۲۱]. نتایج حاصل از ضرایب رگرسیون لجستیک درباره وجود یا عدم وجود چشمه‌ها و پهنه‌بندی پتانسیل بروز چشمه‌ها (جدول ۴) نشان داد، متغیرهای تراکم زهکشی، پوشش گیاهی و انحناى پروفیل رابطه مثبت با وجود چشمه‌ها دارند و با افزایش مقدار آن‌ها فراوانی چشمه‌ها افزایش می‌یابد. رابطه تعداد چشمه‌ها با متغیرهای فاصله از آبراهه، فاصله از خطواره، انحناى مماسی و برآیند بردار رابطه معکوس است و در جهت عکس وقوع چشمه‌ها فعالیت دارند. عامل پوشش گیاهی در هر منطقه سرعت جریان‌های سطحی را کاهش داده و سبب نفوذ بیشتر آب به داخل خاک می‌گردد، همچنین پوشش گیاهی سبب افزایش درز و شکاف‌ها در سازند سخت شده و میزان نفوذ را به حد چشمگیری افزایش می‌دهد. در مناطق کارستیک توسعه و تکامل آبراهه‌ها به دلیل فرآیندهای کارستی است؛ بنابراین چشمه‌ها در بیشتر مواقع به عنوان تأمین‌کننده جریان آب در آبراهه‌ها هستند. این مسئله موجب شده است که فراوانی چشمه به حضور آبراهه مرتبط شود که این رابطه به دلیل تحولات ژئومورفولوژیک این مناطق است در نتیجه مشاهده شد چشمه‌های نزدیک به آبراهه‌ها و خطواره‌ها به مراتب بیشتر بوده و تراکم بالاتری دارند که با نتایج [۶] مطابقت دارد. عامل تراکم زهکشی و پوشش گیاهی به ترتیب با ضریب $1/963$ و $1/323$ بیشترین وزن را در بین عوامل مؤثر دیگر به خود اختصاص داده است که نشان‌دهنده وجود منابع آب در منطقه می‌باشند. در جهات جغرافیایی شمالی و غربی تعداد چشمه‌های موجود

نتایج نشان می‌دهد، مدل توانسته است با دقت مناسبی مکان رخنمون چشمه‌ها را مشخص کند. در طبقه‌بندی نقشه به دست آمده، همان‌طور که جدول (۵) نشان می‌دهد بیش از ۵۹ درصد از منطقه را طبقه دارای پتانسیل خیلی کم در بر گرفته است. از ۵۹ چشمه به منظور تست مدل فقط پنج چشمه در این منطقه قرار دارند و از مجموع ۳۵۹ چشمه مورد بررسی در منطقه، ۳۳ چشمه در این منطقه واقع شدند. در کلاس‌های کم، متوسط و زیاد از لحاظ پتانسیل وقوع چشمه با توجه مساحت به ترتیب ۷، ۱۱، ۳۶ چشمه تست و ۳۷، ۴۲، ۲۴۷ از کل چشمه‌ها در این مناطق قرار دارند که بیانگر دقت خوب مدل‌های آماری در پیش‌بینی فراوانی وقوع چشمه هست که با نتایج [۶] همخوانی دارد. همچنین با توجه به جدول (۶) که نتایج زیر منحنی ROC را نشان می‌دهد، مساحت سطح زیر منحنی ۰/۸۶ است که نشان‌گر دقت مناسبی برای مدل تهیه شده است. مدل رگرسیون لجستیک هنوز به طور فراگیر در شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب استفاده نشده است ولی با توجه به مطالعات اخیر و تطابق خوب نتایج این مدل با داده‌های واقعی، می‌تواند روشی مطلوب برای شناسایی و پهنه‌بندی منابع آب زیرزمینی در سازندهای سخت (کربناته) به کار برده شود

بیشتر می‌شود و همچنین با کاهش مقدار انحنای مماسی، جریان همگرا می‌شود و به سمت یک نقطه متمرکز می‌شود [۲۴، ۲۷]، بنابراین شرایط بروز چشمه‌های کارستی بیشتر می‌شود به طوری که در طبقه ۱- تا صفر در انحنای مماسی و طبقه صفر تا یک، در انحنای پروفیل، بیشترین وقوع چشمه مشاهده گردید. در شیب‌های بسیار زیاد به دلیل افزایش بیش از حد سرعت جریان سطحی آب، نفوذپذیری بسیار کم است و از طرفی به دلیل وابستگی شیب توپوگرافی و شیب لایه‌های سنگی در این دامنه‌ها، آب نفوذ یافته با سرعت زیاد به اعماق وارد می‌شود؛ بنابراین مشاهده گردید هرچه طبقه‌های شیب افزایش می‌یابد، تعداد چشمه‌ها کاهش پیدا می‌کند؛ به طوری که در شیب‌های بالاتر از ۴۰ درجه چشمه‌ای موجود نمی‌باشد. از ۵۹ چشمه دیگر که در مدل رگرسیونی داخل نشده بود و فقط برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد، ۴۷ چشمه که حدود ۸۴ درصد از این تعداد چشمه را در برمی‌گیرد، در منطقه‌ای با ارزش احتمالاتی p (در رگرسیون لجستیک) بالاتر از ۰/۵ قرار گرفتند و از مجموع کل چشمه‌های منطقه ۲۸۹ چشمه که ۸۰/۵ درصد از چشمه‌ها را شامل می‌شود، به درستی پیش‌بینی گردیدند. در نقشه فراوانی وقوع چشمه تهیه شده به روش رگرسیون لجستیک، همان‌طور که

References

- [1] Ahmadi, H. (2007). Applied Geomorphology, 5^{ed} Edition, University of Tehran Press.
- [2] Ayalew, L. and 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.
- [3] Bai, S.B., Wang, J., Lu, G.N., Zhou, P.G., Hou, S.S. and Xu, S.N. (2010). GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the three Gorges area China. *Geomorphology*, 115 (1–2), 23-31.
- [4] Egan, J.P. (1975). Signal Detection Theory and ROC Analysis. New York Academic Press.
- [5] Ganapuram, S., VijayaKumar, G.T., Murali Krishna, I.V., Kahya, E. and Demirel, M.C. (2009). Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *Journal of Advance Engineer Software*, 40, 506-518.

- [6] Gholami, V., Azodi, M. and Salimi, E. T. (2008). Modeling of karst and alluvial springs discharge in the central Alborz highlands and on the Caspian southern coasts. *Caspian Journal of Environment Science*, 6(1), 41-45.
- [7] Greenbaum, D. (1992). Structural influences on the occurrence of groundwater in SE Zimbabwe. *Journal of Geological Society*. 66, 77-85.
- [8] Harrell, F.E., (2001). Regression modeling strategies: with applications to linear models logistic regression and survival analysis. Springer.
- [9] Hosmer, D.W., and Lemeshow, S. (2000). *Applied Logistic Regression*, 2nd Edition. John Wiley and Sons.
- [10] Jain, P.K. (1998). Remote sensing techniques to locate ground water potential zones in upper Urmil River basin, district Chatarpur-central India. *Journal of Indian society remote sensing*. 26 (3), 135-147.
- [11] Karami, gh.h. (2010). Stratigraphic role in the development of karst in the CHeshmeh Ali Damghan Basin. *Journal of stratigraphy and sedimentology*, 36, 52-39.
- [12] Kresic, N. and Stevanovic, Z. (2010). *Groundwater hydrology of springs*, Elsevier Press.
- [13] Lee, S., Oh, H.J. and Kim, K.D. (2010). Statistical spatial modeling of ground subsidence hazard near an abandoned underground coal mine. *Journal of Disaster Advance*. 3, 11-23.
- [14] Lee, S. (2005). Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. *Journal of Indian society remote sensing*. 26 (7), 1477-1491.
- [15] Mathew, J., Jha, V.K. and Rawat, G.S. (2007). Weights of evidence modeling for landslide hazard zonation mapping in part of Bhagirathi valley, Uttarakhand. *Current Science*. 92(5), 628-638.
- [16] Mathew, J., Jha, V.K. and Rawat, G.S. (2007). Application of binary logistic regression analysis and its validation for landslide susceptibility mapping in part of Garhwal Himalaya. *Journal of Indian society remote sensing*. 28 (10), 2257-2275.
- [17] Mukherjee, S. (1996). Targetting saline aquifer by remote sensing and geophysical methods in a part of Hamirpur-Kanpur, India. *Journal of hydrology*. 19, 1867-1884.
- [18] Nandi, A. and Shakoor, A. (2009). A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. *Engineering Geology Journal*. 110, 11-20.
- [19] Oh, H.J., Kim, Y.S., Choi, J.K. and Lee, S. (2011). GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City. *Korea Journal of hydrology*. 399, 158-172.
- [20] Ohlmacher, C.G., Davis, C.J. (2003). Using multiple regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. *Engineering Geology Journal*, 69 (3), 331-343.
- [21] Ozdemir, A. (2011). Using a binary logistic regression method and GIS for evaluating and mapping the groundwater spring potential in the Sultan Mountains (Aksehir, Turkey). *Journal of Hydrology*, 405(1), 123-136.
- [22] Saberi, A., Rangzan, K. and Keshavarz, M.R. (2013). Detecting of potential groundwater resources by combining remote sensing and GIS analytic hierarchy method (AHP) in Khuzestan anticline Kmstan. *Journal of Advanced Applied Geology*, 6, 11-20.
- [23] Sappington, J.M., Longshore, K.M. and Thompson, D.B. (2007). Quantifying landscape ruggedness for animal habitat analysis: a case study using bighorn sheep in the Mojave Desert. *Journal of Wildlife Management*, 71, 1419-1426.
- [24] Schmidt, J., Evans, I.S. and Brinkmann, J. (2003). Comparison of polynomial models for land surface curvature calculation. *International Journal of Geographical Information Science*, 17, 797-814.
- [25] Shuin, Y., Hotta, N., Suzuki, M. and Ogawa, K. (2012). Estimating the effects of heavy rainfall conditions on shallow landslides using a distributed landslide conceptual model. *Physics and Chemistry of Earth*, 49, 44-51.
- [26] White, W.B., Culver, D.C., Herman, J.S., Kane, T.C. and Mylroie, J.E. (1995). Karst lands: *American Scientist*, 83(5), 450-459.
- [27] Wilson, J.P. and Gallant, J.C. (2000). *Terrain Analysis Principles and Applications*, Chichester Wiley press.
- [28] Zhu, L., Huang, J. (2006). GIS-based logistic regression method for landslide susceptibility mapping in regional scale. *Journal of Zhejiang University Science*. 7 (12), 2007-2017.

