



تهیه نقشه نواحی با پتانسیل وقوع چشمه‌های آب زیرزمینی با استفاده از روش آماری رگرسیون لجستیک در محیط GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کوهستانی میرده، کردستان)

سیران زندی^۱، کریم سلیمانی^۲ و جلال زندی^۳

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسوول: j.zandi@sanru.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۴ تاریخ پذیرش: ۹۲/۵/۲۸

چکیده

هدف از انجام این تحقیق تهیه نقشه پتانسیل وقوع چشمه‌های آب زیرزمینی با توسعه مدل آماری و احتمالاتی رگرسیون لجستیک (LR) می‌باشد. موقعیت مکانی چشمه‌های حوزه آبخیز کوهستانی میرده استان کردستان با مساحت حدود ۲۸۱ کیلومتر مربع طی عملیات میدانی ثبت گردید. بر اساس بازدیدهای میدانی، پرس و جوهای محلی و آمار شرکت مدیریت منابع آب مختصات مکانی ۹۰۴ دهنه چشمه در حوزه مورد مطالعه ثبت گردید و جهت 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 گام به گام پیشرو، مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار در وقوع چشمه که از لحاظ آماری معنی‌دار بودند، انتخاب گردیدند. صحت مدل آماری و نقشه پهنه‌بندی بر اساس درصد وقوع چشمه‌های آزمایشی در نقشه حساسیت و آماره‌هایی از قبیل: R^2 ناگلکرک، و R^2 کوکس و اسنل مورد ارزیابی و تأیید شد. همچنین، دقت پیش‌بینی مدل مورد استفاده در این مطالعه با استفاده از سطح زیر منحنی ویژگی‌های عامل نسبی (ROC) مورد سنجش قرار گرفت. مدل‌های احتمالاتی و آماری در تلفیق با GIS جهت پتانسیل‌یابی نواحی با چشمه‌های آب زیرزمینی می‌تواند مورد توجه طراحان و تصمیم‌گیران طرح‌های توسعه آب زیرزمینی و آمایش سرزمین واقع گردد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب زیرزمینی، چشمه، رگرسیون لجستیک، سیستم اطلاعات جغرافیایی

مقدمه

فراوانی (۱۸) و رگرسیون لجستیک (۱۷). در بسیاری از مطالعات پتانسیل‌یابی آبهای زیرزمینی از داده‌های سنجش از دور و تلفیق آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است (۲۰۰۶، ۲۳). در توسعه منابع آبی موجود، عوامل متعددی تأثیرگذار می‌باشد که از جمله این عوامل می‌توان به نقش عوامل ساختاری نظیر گسل‌ها، درز و شکاف‌ها، عوامل سنگ‌شناسی مانند نوع سازند منطقه و عوامل توپوگرافی همچون شیب و ارتفاع منطقه اشاره کرد. وقوع و حرکت آب‌های زیرزمینی غالباً با نفوذپذیری و تخلخل سطحی و سنگ‌شناسی زیر زمین کنترل می‌شود (۲۳). همچنین در آبخوان‌های با سنگ بستر شکست خورده با فاکتورهای متعددی از قبیل: توپوگرافی، سنگ‌شناسی، سازندهای زمین‌شناسی، تراکم گسل، روزنه و درچه‌ها و اتصالات، تخلخل ثانویه، توزیع سفره آب زیرزمینی، تغذیه آب زیرزمینی، شیب، الگوی زهکشی، ژئومورفولوژی، پوشش اراضی، شرایط اقلیمی و ارتباطات درونی این فاکتورها بستگی دارد (۱۳، ۱۴). کورسینی و همکاران (۵)، روشی برای مدل‌سازی توزیع پتانسیل چشمه‌ها با استفاده از روش‌های تحلیل مکانی در شمال ایتالیا انجام داد که بر اساس روابط آماری بین موقعیت

چشمه‌های آب زیرزمینی یکی از منابع مهم آب شیرین مورد نیاز انسان و دام است، با توجه به شرایط اقلیمی، جغرافیایی و توپوگرافی، بخش وسیعی از کشور جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود. با افزایش تقاضا برای استحصال آب شیرین از این مناطق، تعیین نواحی با پتانسیل آب زیرزمینی و حفاظت و مدیریت آن اهمیت بسیاری دارد. نقشه‌های پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی هزینه‌های حفاری چاه‌های افقی را کاهش داده و ابزار مفیدی برای طراحان و مهندسان جهت مکان‌یابی مناطق مستعد وجود آب زیرزمینی می‌باشد (۱۴). همچنین این امکان را فراهم می‌سازند که با کمترین تلاش ممکن بتوان نواحی که احتمال وجود چشمه را دارند شناسایی کرده و در مواقع خشکسالی از آن بهره‌برداری نمود (۵). تهیه نقشه پتانسیل وقوع چشمه آب زیرزمینی GSP^۱، برای موفقیت در طرح‌های شهری مفید می‌باشد (۱۷). روش‌های مختلفی برای ارزیابی پتانسیل چشمه آب زیرزمینی و پهنه‌بندی آن ارائه شده است. این روش‌ها عبارتند از: شبکه عصبی مصنوعی (۵)، وزن‌دهی به شواهد (۵)، (۱۸)، روش‌های آماری از قبیل: نسبت

1- Groundwater Spring Potential

تأمین آب شرب، کشاورزی، توسعه توریسم و ایجاد محیطی مناسب برای تفرجگاه‌های متمرکز و گسترده و ... هنوز مطالعات جامعی در خصوص پتانسیل‌یابی این منبع با ارزش در ایران گزارش نشده است. چشمه‌ها یکی از مهم‌ترین منابع تفرجی طبیعی در گردشگری کوهستان می‌باشد که در اثر متقابل ساختار فیزیکی زمین و آب و هوا ایجاد شده است. شمار زیادی از فعالیت‌های تفرجی در مناطق کوهستانی امکان تحقق دارد. برخی از این فعالیت‌ها بی‌نیاز از توسعه فیزیکی و تعدادی نیز به‌واسطه زیرساخت‌های لازم در پیکره کوهستان به اجرا در می‌آید. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی کارایی روش آماری رگرسیون لجستیک (LR) در تهیه نقشه پتانسیل وقوع چشمه در حوزه کوهستانی مرده استان کردستان و آزمایش قابلیت‌های این مدل در نقشه‌برداری نواحی با پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی و تعیین مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار در وقوع چشمه منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

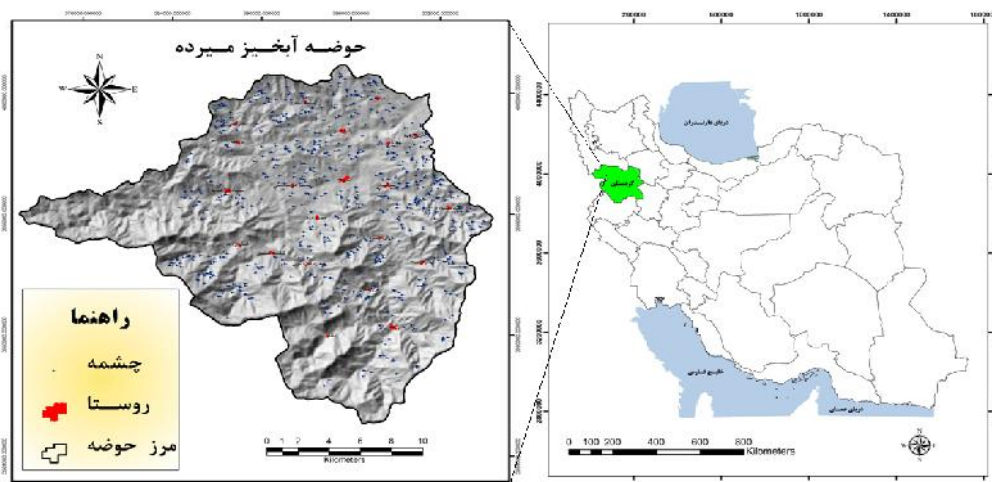
مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز مرده با مساحت ۳۸۱/۶۱ کیلومتر مربع یکی از زیرحوزه‌های زربینه رود می‌باشد که در جنوب شهرستان سقز در استان کردستان واقع شده است (شکل ۱). این حوزه در محدوده جغرافیایی ۴۵/۸۳ تا ۴۶/۱۷ درجه طول شرقی و ۳۶ تا ۳۶/۲۲ درجه عرض شمالی قرار گرفته است. حداکثر ارتفاع از سطح دریا ۲۶۷۸ متر بوده و حداقل ارتفاع حوزه ۱۵۲۴ متر در خروجی آن بوده و ارتفاع متوسط از سطح دریا ۱۹۵۲ متر می‌باشد. منطقه‌ای با عوارض توپوگرافیکی شدید بوده و محیط زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه برای ظهور چشمه بسیار مناسب می‌باشد. بارندگی متوسط سالانه ۷۳۱ میلی‌متر بوده و دارای اقلیم فراسرد نیمه مرطوب می‌باشد.

چشمه‌های معلوم و پنج فاکتور مؤثر بود و از وزن‌دهی به شواهد و شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی پیش‌بینی بهره‌گیری نمود و هر دو روش به‌طور مشابهی موقعیت چشمه‌ها را تخمین زده بودند. گاناپورام و همکاران (۶)، نقشه‌برداری از نواحی با پتانسیل آب زیرزمینی را با استفاده از داده‌های سنجش از دور و GIS در حوزه موسی هند انجام دادند و نتیجه گرفتند که دشت‌های آبرفتی، دره‌ها، دشت‌های سیلابی و دشت سرها ناحیه‌های مناسبی برای استخراج آب‌های زیرزمینی می‌باشند. ازدمیر (۱۷)، با استفاده از روش رگرسیون لجستیک در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) اقدام به پهنه‌بندی نواحی با پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی در حوزه آبخیز سلطان ترکیه نمودند. ایشان ۱۷ فاکتور مؤثر در وقوع چشمه را در تحلیل‌های خود مورد استفاده قرار داده و صحت نقشه پهنه‌بندی نهایی را با استفاده از سطح زیر منحنی (ROC)، ۰/۸۲ بدست آوردند. اه و همکاران (۱۴)، نقشه‌برداری از نواحی با پتانسیل آب زیرزمینی را در منطقه پوهانگ کره با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های احتمالاتی انجام داد و با هم‌پوشانی نقشه پتانسیل با فاکتورهای مورد استفاده مشخص نمودند که بافت خاک بیشترین تأثیر را در پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی داشته و ارتفاع از سطح دریا کمترین تأثیر را در منطقه مورد مطالعه خود داشته است. رنگزن و همکاران (۲۱)، تأثیر عوامل ساختاری و توپوگرافی را در فراوانی و ظهور چشمه‌های محدوده دشت‌های قلعه رزه و بیدروبه مورد مطالعه قرار دادند و ارتباط بین ظهور و دبی چشمه‌ها با ارتفاع منطقه، شیب منطقه، فاصله از شکستگی‌ها، تراکم تعداد و تراکم طول شکستگی‌ها مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد ۵۹۰۰ هکتار دشت دارای پتانسیل بالا برای برداشت و تغذیه مصنوعی و مناسب برای حفر چاه، ۱۶۰۰ هکتار پتانسیل متوسط و ۴۸۰۲ هکتار پتانسیل کم است.

علیرغم نقش مهم چشمه‌های آب زیرزمینی در



شکل ۱- موقعیت مکانی حوزه آبخیز میرده در ایران و کردستان

روش انجام مطالعه

این مطالعه در چهار مرحله جهت تهیه نقشه پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی GSP صورت گرفت. در ابتدا خصوصیات منطقه مورد مطالعه تشریح شده و چشمه‌های موجود شناسایی گردید. در مرحله دوم، جمع‌آوری داده‌ها و ایجاد پایگاه داده‌های مکانی فاکتورهای مؤثر انجام گرفت. در سومین مرحله، روش آماری رگرسیون لجستیک در نقشه‌برداری پتانسیل چشمه آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بکار گرفته شده و مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در وقوع چشمه‌های منطقه مورد مطالعه شناسایی و وارد مدل‌سازی شدند. در مرحله چهارم اعتبارسنجی نقشه پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی با استفاده از روش ویژگی‌های عامل نسبی ROC^۱ مورد بررسی قرار گرفت. خلاصه مراحل پژوهش به‌صورت نمودار نشان داده شده است (شکل ۳).

حوزه مورد مطالعه بر اساس تقسیم‌بندی ساختاری رایج ایران زمین، در حاشیه شمال غربی ناحیه دگرگون شده سنندج- سیرجان قرار گرفته است. این ناحیه یکی از ناحیه‌های مهم در زمین‌شناسی ایران می باشد که بصورت نوار طولیل دگرگون شده‌ای در امتداد ناحیه زاگرس در راستای شمالی غرب- جنوب شرق گسترش یافته است. عناصر ساختاری موجود در منطقه مورد مطالعه و پیرامون آن بسیار متنوع می‌باشند. این عناصر ساختاری دربرگیرنده گسل‌ها و درزه‌ها می‌باشند. گسل‌های زیادی در واحدهای سنگی حوزه رویت می‌گردند که باعث ایجاد دره‌های گسله، چشمه‌های تکتونیک، پرتگاه‌ها و ... گردیده‌اند (شکل ۲). گسل‌های مذکور باعث ایجاد خردشدگی شدید و نفوذپذیری ثانویه در واحدهای سنگی حوزه گردیده‌اند و وجود چشمه‌های متعدد در منطقه بیانگر نقش این گسل‌ها در این زمینه می‌باشد.



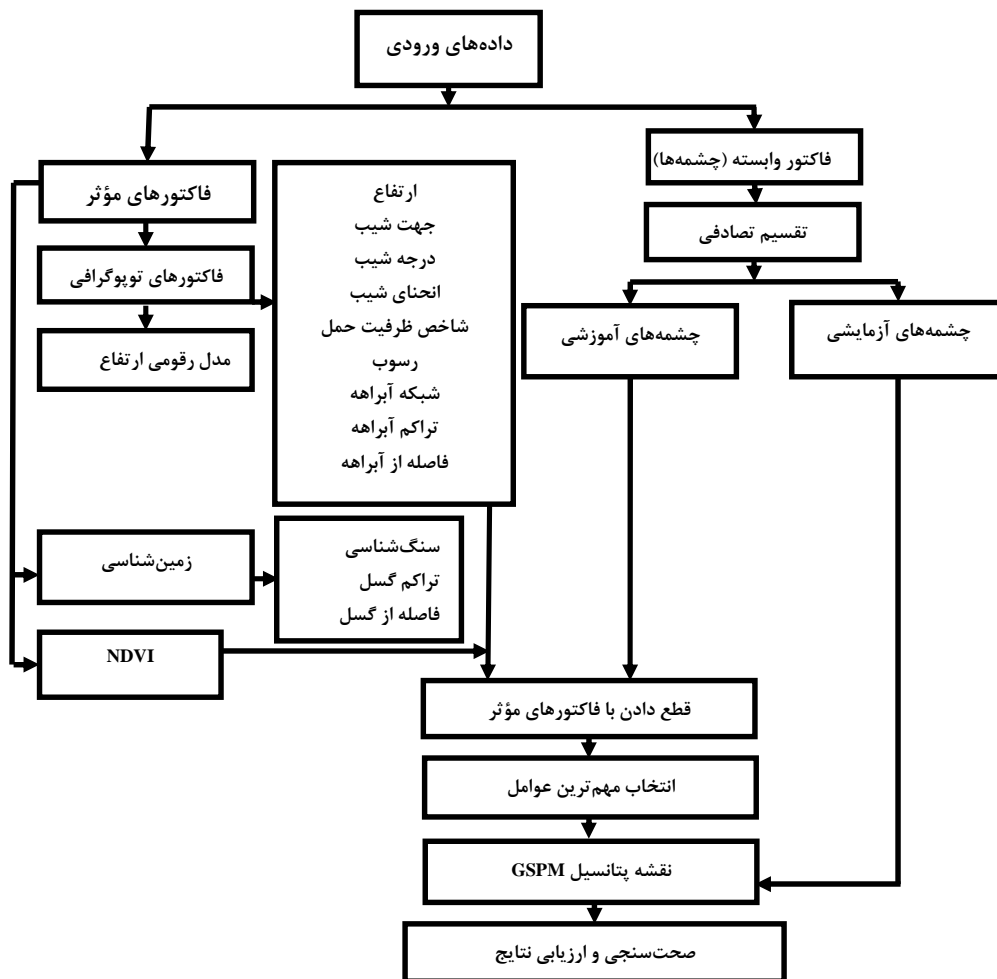
شکل ۲- نمایی از روستای میرده و نمونه‌ای از چشمه و گسل‌های منطقه مورد مطالعه

1- Relative Operating Characteristic

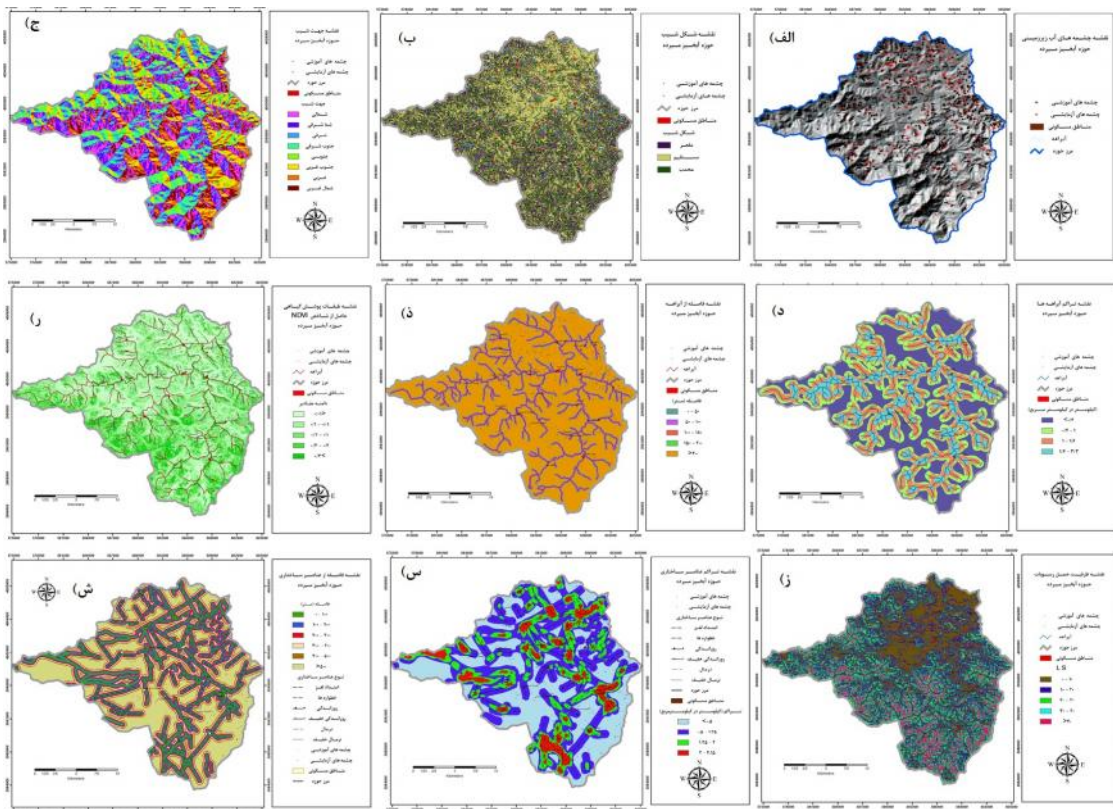
سال برآورد گردیده است (شکل ۵-الف). ۳۰۴ عدد بین اعداد ۱ تا ۹۰۴ به صورت تصادفی انتخاب گردید و شماره چشمه متناظر با هر شماره، جهت آزمایش مدل به عنوان نمونه‌های آزمایشی مورد استفاده قرار گرفت (۱۹،۱۷،۷). به عبارتی چشمه‌های آزمایشی به صورت تصادفی انتخاب گردیدند. چشمه‌های آزمایشی به رنگ نقاط قرمز در (شکل ۵-الف) نشان داده شده‌اند. در نقشه فهرست چشمه‌ها تعداد ۶۰۰ دهنه به عنوان چشمه‌های آموزشی شناسایی شده و به رنگ نقاط مشکی در (شکل ۵-الف) نشان داده شده است. از چشمه‌های آموزشی در تحلیل‌ها استفاده گردید و اعتبارسنجی نقشه نهایی در نواحی آزمایشی به اجرا درآمد. چشمه‌های ناحیه آزمایشی تنها جهت تأیید و تحلیل نتایج مورد استفاده قرار گرفتند و در مدل‌سازی و تهیه نقشه پتانسیل چشمه نقشی نداشتند. موقعیت مکانی چشمه‌های منطقه مورد مطالعه در شکل (۵-الف) نشان داده شده است.

نقشه فهرست چشمه‌های آب زیرزمینی

ردیابی صحیح موقعیت چشمه‌های آب زیرزمینی به منظور تحلیل احتمال وقوع چشمه و نیز بررسی نقش متغیرهای محیطی بر وقوع چشمه‌ها بسیار مهم و ضروریست (۱۸). نقشه فهرست چشمه‌ها، موقعیت فعلی ظهور چشمه را نشان می‌دهند. این موقعیت‌ها با شرایط زمین‌شناسی، توپوگرافیکی و اقلیمی در ارتباط است، بنابراین، اغلب می‌تواند پیش‌بینی موقعیت‌ها و شرایط توسعه چشمه‌ها و احداث قنات‌ها را در آینده با کمترین هزینه تسهیل نماید. بنابراین، جهت شناسایی نواحی با پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی، تعیین دقیق موقعیت چشمه‌ها بسیار مهم است. حوزه آبخیز میرده دارای چشمه‌های متعددی بوده که اکثراً ساختار از نوع درز و شکافی داشته و به لحاظ ژئومورفولوژی دامنه‌ای می‌باشند. با توجه به آماربرداری انجام شده در محدوده مطالعاتی و آمار شرکت مدیریت منابع آب، ۹۰۴ دهنه چشمه در حوزه مورد مطالعه وجود داشته و تخلیه سالانه این چشمه‌ها برابر با ۳۹۲۳ میلیون مترمکعب در



شکل ۳- نمودار جریان‌ی روند پردازش داده‌ها در نقشه‌برداری پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی



شکل ۵- نقشه برخی عوامل مؤثر در وقوع چشمه‌های منطقه مورد مطالعه (الف) نقشه فهرست چشمه‌ها (ب) شکل انحنای دامنه (ج) جهت شیب (د) تراکم آبراهه (ذ) فاصله از آبراهه (ر) مقدار NDVI (ز) ظرفیت حمل رسوبات (س) تراکم عناصر ساختاری (ش) فاصله از عناصر ساختاری

روش رگرسیون لجستیک

در این مطالعه، روش تحلیل رگرسیون لجستیک و تکنیک‌های GIS جهت ارزیابی GSPM در منطقه مورد مطالعه بکار گرفته شد. یازده عامل مهم تأثیرگذار بر وقوع چشمه انتخاب گردید. هر فاکتور با توجه به مقادیر و عوارض آن به کلاس‌های مختلفی تقسیم گردید. فاکتورها و کلاس‌های هر یک در شکل (۵) نشان داده شده‌اند. در رگرسیون لجستیک به داده‌های حضور چشمه کد (۱) و به داده‌های عدم وقوع چشمه کد (۰) اختصاص می‌یابد. ۶۰۰ چشمه به‌عنوان چشمه‌های آموزشی از میان ۹۰۴ چشمه مشاهده‌ای در کل منطقه بصورت تصادفی انتخاب گردید و در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. همچنین ۶۰۰ نقطه در کل حوزه به‌عنوان نقاط عدم حضور چشمه بصورت تصادفی ایجاد گردید. مقادیر کلاس‌های فاکتورهای مستقل مختلف مرتبط با وقوع چشمه و کلاس متغیر وابسته در ۱۲۰۰ نقطه (حضور و غیبت چشمه) تعیین گردید و جدولی تشکیل داده شد که کلاس‌های وقوع متغیر وابسته را در فاکتورهای مستقل نشان می‌داد. با استفاده از نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS 19، ضرایب مدل تخمین زده شد (جدول ۱). سپس برای محاسبه احتمالات

پتانسیل وقوع چشمه آب زیرزمینی کل پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی بکار گرفته شد. در مطالعه حاضر رگرسیون لجستیک گام به گام پیشرو برای آنالیز داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. مدل گام به گام پیشرو با مدلی شروع می‌شود که هیچ متغیر پیش‌بینی‌کننده‌ای وجود ندارد. در اولین مرحله هر متغیری که دارای سطح معنی‌داری زیر مقدار مشخصی شود (۰/۰۵) در سطح اعتماد ۰/۹۵ وارد مدل می‌شود. متغیرهایی که در آخرین مرحله از مدل حذف می‌شوند، مقادیر معنی‌داری بالاتر از ۰/۰۵ دارند، بنابراین به مدل اضافه نمی‌شوند.

نتایج و بحث

فرآیند ساخت مدل با ۶۰ رگرسور (متغیر پیشگو) از یازده فاکتور تأثیرگذار در وقوع چشمه کار خود را شروع می‌کند. پس از انجام آنالیزهای رگرسیونی لجستیک گام به گام پیشرو، هشت فاکتور مؤثر در وقوع چشمه از میان یازده فاکتور به‌دلیل معنی‌دار بودن از لحاظ آماری انتخاب گردیدند (جدول ۱). فاکتورهای انتخاب شده عبارتند از: ارتفاع از دریا، مقدار شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)، شکل شیب، فاصله از

مدل ضرایب تخمین (b) را دارند که بالاتر و یا پایین تر از مقدار صفر هستند. متغیرهایی که ضرایب تخمین معنی‌داری (Sig) کمتر از ۰/۰۵ دارند اختلاف معنی‌داری نشان داده و فرض صفر را رد می‌کنند (جدول ۱) (۱۱). این متغیرها به‌عنوان متغیرهای پیشگوی تأثیرگذار پذیرفته شدند.

آبراهه، تراکم آبراهه، زمین‌شناسی، فاصله از عناصر ساختاری و تراکم عناصر ساختاری بودند. برخی از متغیرهایی که در ابتدا به‌عنوان فاکتورهای مؤثر در وقوع چشمه تشخیص داده شده بودند، از قبیل: درجه شیب، ظرفیت حمل رسوبات (LS) و جهت شیب از لحاظ آماری معنی‌دار نبودند. تمام فاکتورهای باقیمانده در

جدول ۱- متغیرهای باقیمانده در مدل رگرسیون لجستیک و ضرایب آنها

متغیرهای مستقل	^۱ B	^۲ S.E.	^۳ Wald	^۴ Df	^۵ Sig	^۶ Exp (B)
فاصله از آبراهه	۰/۲۶۶	۰/۰۵۱	۲۷/۴۳۳	۱	۰	۱/۳۰۵
شکل شیب	۰/۶۸۰	۰/۰۹۹	۴۷/۱۸۱	۱	۰	۱/۹۷۴
زمین‌شناسی	۰/۱۶۱	۰/۰۶۱	۶/۸۵۶	۱	۰/۰۰۹	۱/۱۷۴
گام هشتم						
فاصله از عناصر ساختاری	۰/۱۹۸	۰/۰۵۱	۱۴/۹۰۸	۱	۰	۱/۲۱۸
تراکم آبراهه	-۰/۳۵۵	۰/۰۸۰	۱۹/۵۹۱	۱	۰	۰/۷۰۱
NDVI	۰/۵۲۹	۰/۰۶۵	۶۶/۵۱۴	۱	۰	۱/۶۹۸
ارتفاع از دریا	-۰/۸۰۷	۰/۰۸۳	۹۳/۹۸۵	۱	۰	۰/۴۴۶
تراکم عناصر ساختاری	-۰/۲۷۹	۰/۱۰۲	۷/۵۰۱	۱	۰/۰۰۶	۰/۷۵۷

B: ضرایب رگرسیون لجستیک، S.E. خطای استاندارد تخمین، Wald: مقادیر والد کای اسکور، df: درجه آزادی، Sig: معنی‌داری، Exp(B): لگاریتم طبیعی ضریب رگرسیونی

در ستون Exp(B) مقادیر لگاریتم طبیعی ضرایب تخمین بتا (B) نشان‌دهنده نسبت شانس می‌باشد. مقادیر بیشتر از یک نشان از شانس موفقیت بیشتر (وقوع چشمه) نسبت به شکست (عدم وقوع) دارد و مقادیر کمتر از یک به معنی شانس موفقیت کمتر نسبت به شکست می‌باشد. یعنی افزایش کلاس تراکم آبراهه‌ها و عناصر ساختاری و افزایش ارتفاع، کاهش احتمال وقوع چشمه را در پی داشته و با افزایش طبقات کلاس‌های سایر فاکتورها به‌ترتیب: شکل شیب، پوشش گیاهی، فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از عناصر ساختاری و زمین‌شناسی بر مقدار شانس وقوع چشمه آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه افزوده می‌شود (جدول ۱).

در رگرسیون لجستیک از آماره‌ای بسیار زیاد استفاده می‌شود که به‌صورت گوناگونی نوشته می‌شود از جمله به‌صورت $-2\log(\text{likelihood})$ و $-2LL$ این آماره شبیه به مربع کای رفتار می‌کند و هنگامی که یک مدل تطابق ضعیفی دارد دارای مقدار بزرگی است و هنگامی که مدل با داده‌ها به خوبی تطابق دارد، مقدار آن کوچک می‌شود. مقدار $pseudo R^2$ که از طریق $1 - (\ln \text{likelihood}_{\text{final step}} / \ln \text{likelihood}_{\text{initial}})$ بدست می‌آید نشان‌دهنده مدل لجوجیت مناسب داده‌هاست (۱۲). بنابراین، $pseudo R^2$ برابر با یک نشان‌دهنده برآزش بسیار مناسب است، در حالیکه، مقدار نشان‌دهنده عدم ارتباط می‌باشد (۲). هنگامی که مقدار $pseudo R^2$ بزرگتر از ۰/۲ باشد، برآزش نسبتاً مناسبی وجود دارد (۴). مقدار $pseudo R^2$ در این مطالعه ۰/۷۱۳ بدست آمد که بزرگتر از ۰/۲ است (جدول ۲). مقادیر R^2 Nagelkerke و R^2 Cox and Snell نشان می‌دهند که متغیرهای مستقل قادر به توصیف متغیر وابسته

در منطقه مورد مطالعه افزوده می‌شود (جدول ۱). هنگامی که بین پیشگوها یک رابطه خطی خوب باشد، تخمین‌های مدل رگرسیونی نمی‌تواند به‌تنهایی محاسبه گردد. اصطلاح هم خطی^۱ به دو متغیر اطلاق می‌شود که ترکیب خطی نزدیکی با یکدیگر دارند. هنگامی که بیش از دو متغیر این حالت را داشته باشند اصطلاح چند خطی^۲ بکار می‌رود. مدل مناسب در رگرسیون لجستیک به هم خطی بین متغیرهای مستقل حساس است (۹). دو شاخص مهم برای تشخیص چندخطی شدن، آستانه TOL^۳ و فاکتور تورم واریانس VIF^۴ می‌باشند. مقدار TOL کمتر از ۰/۱ یکی از شاخص‌هایی است که چند خطی شدن بین متغیرهای مستقل را نشان می‌دهد (۱۲،۳). متغیرهایی که $VIF > 10$ و

در رگرسیون لجستیک از آماره‌ای بسیار زیاد استفاده می‌شود که به‌صورت گوناگونی نوشته می‌شود از جمله به‌صورت $-2\log(\text{likelihood})$ و $-2LL$ این آماره شبیه به مربع کای رفتار می‌کند و هنگامی که یک مدل تطابق ضعیفی دارد دارای مقدار بزرگی است و هنگامی که مدل با داده‌ها به خوبی تطابق دارد، مقدار آن کوچک می‌شود. مقدار $pseudo R^2$ که از طریق $1 - (\ln \text{likelihood}_{\text{final step}} / \ln \text{likelihood}_{\text{initial}})$ بدست می‌آید نشان‌دهنده مدل لجوجیت مناسب داده‌هاست (۱۲). بنابراین، $pseudo R^2$ برابر با یک نشان‌دهنده برآزش بسیار مناسب است، در حالیکه، مقدار نشان‌دهنده عدم ارتباط می‌باشد (۲). هنگامی که مقدار $pseudo R^2$ بزرگتر از ۰/۲ باشد، برآزش نسبتاً مناسبی وجود دارد (۴). مقدار $pseudo R^2$ در این مطالعه ۰/۷۱۳ بدست آمد که بزرگتر از ۰/۲ است (جدول ۲). مقادیر R^2 Nagelkerke و R^2 Cox and Snell نشان می‌دهند که متغیرهای مستقل قادر به توصیف متغیر وابسته

1- Collinearity

2- Multicollinearity

3- Tolerance

4- Variance inflation factor

هستند: این مقادیر به ترتیب برابر با ۰/۶۸۰ و ۰/۸۴۲ می‌باشند (جدول ۲). صحت پیش‌بینی وقوع چشمه‌های آموزشی در مدل بکارگرفته شده ۹۷/۷٪ و برای عدم وقوع چشمه نیز ۹۰/۳٪ بدست آمد. درصد صحت کلی نیز برابر با ۹۴ درصد می‌باشد (جدول ۳).

جدول ۲- خلاصه آماره‌های رگرسیون لجستیک

گام	ROC	pseudo R ²	Nagelkerke R Square	Cox & Snell R Square	-2 Log likelihood
۱	۰/۹۰۵	۰/۷۱۳	۰/۸۴۲	۰/۶۸۰	۱۱۳۷/۴۹۰
۸					۹۵۸/۳۲۵

جدول ۳- خلاصه کلاسه‌بندی چشمه‌های آموزشی آب زیرزمینی به مشاهداتی و پیش‌بینی شده

مشاهداتی	پیش‌بینی شده		درصد صحت
	عدم وقوع چشمه	وقوع چشمه	
عدم وقوع چشمه (۶۰۰ چشمه)	۵۴۲	۵۸	۹۰/۳
وقوع چشمه (۶۰۰ چشمه)	۱۴	۵۸۶	۹۷/۷
صحت کلی			۹۴

در میان فاکتورهای مختلف شرکت‌کننده در ظهور چشمه، شکل شیب و مقدار NDVI بالاترین مشارکت را داشتند. فاکتورهای ارتفاع و تراکم آبراهه کمترین مشارکت را در وقوع چشمه داشتند. با استفاده از مقدار ضرایب بدست آمده از خروجی آنالیز نهایی رگرسیون لجستیک (جدول ۱)، معادله رگرسیون لجستیک طبق معادلات زیر بدست آمد:

بکارگیری روش رگرسیون لجستیک

با استفاده از ضرایب رگرسیونی، اهمیت نسبی فاکتورهای مستقل را می‌توان مشخص نمود. فاکتورهای فاصله از آبراهه، شکل شیب، زمین‌شناسی، فاصله از عناصر ساختاری و مقدار پوشش گیاهی (NDVI) تأثیر مثبتی بر روی وقوع چشمه داشتند. در حالیکه، تراکم آبراهه‌ها، ارتفاع از سطح دریا و تراکم عناصر ساختاری تأثیر کاهنده در وقوع چشمه نشان می‌دهند (جدول ۱).

(۳-۴)

$$Y = +0.68(\text{Plan Curvature}) + 0.529(\text{NDVI}) + 0.266(\text{Distance to stream}) + 0.198(\text{Distance to structure features}) + 0.161(\text{Geology}) - 0.279(\text{Structural features density}) - 0.355(\text{Stream density}) - 0.807(\text{Elevation})$$

از روش رگرسیون لجستیک تهیه گردید و صحت مدل با استفاده از محاسبه ویژگی‌های عامل نسبی (ROC) مورد ارزیابی قرار گرفت (۱، ۱۱، ۱۴، ۱۵). در روش ROC، مساحت زیر منحنی ROC مقادیر بین ۰/۵ تا ۱ داشته و برای ارزیابی دقت مدل بکار می‌رود (۱۸). هرچقدر این مقدار به (۱) نزدیک‌تر شود، دقت مدل بیشتر است. جهت بکارگیری این روش موقعیت مکانی مجموعه چشمه‌های مشاهداتی منطقه مورد مطالعه (۹۰۴ دهنه چشمه) در برابر ۹۰۴ نقطه تصادفی از منطقه مورد مطالعه (نقاط عدم وجود چشمه) قرار گرفت. قابلیت پیش‌بینی مدل بوسیله سطح زیر منحنی مشخص می‌گردد (شکل ۶).

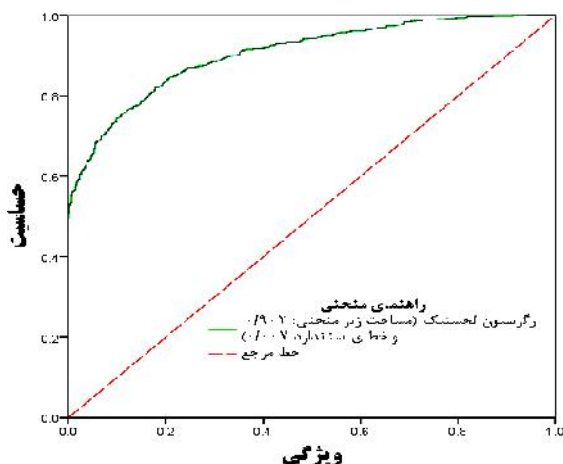
$$P = \frac{e^y}{1+e^y} \quad (۴-۴)$$

که در آن y معادله رگرسیونی بوده و P احتمال وقوع چشمه می‌باشد.

مقادیر پتانسیل وقوع چشمه (P) در محاسبات رستری نرم‌افزار ArcGIS 10 با استفاده از معادله رگرسیون لجستیک (معادله ۴-۴) در کل منطقه مورد مطالعه بدست آمد. مقادیر P محاسبه شده بین (۰) تا (۱) بودند. GSPM بدست آمده در اندازه سلول ۲۵×۲۵ متر می‌باشد. نقشه پتانسیل بر اساس روش فواصل ژئومتریکی^۱ به طبقات مختلف: خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم گردید (شکل ۸).

اعتبارسنجی

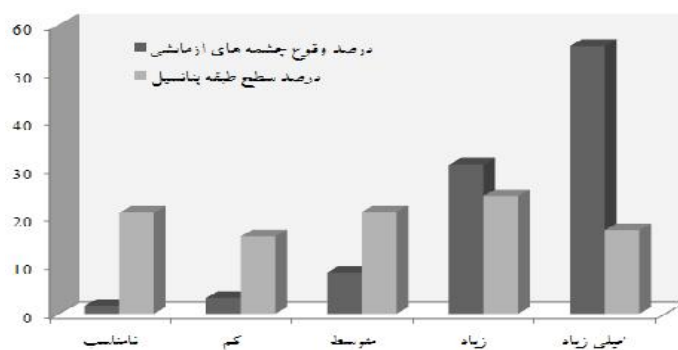
در این مطالعه نقشه‌های پتانسیل چشمه با استفاده



شکل ۶- ارزیابی دقت مدل رگرسیون لجستیک توسط منحنی ROC

پتانسیل‌یابی چشمه‌های آب زیرزمینی حوزه مورد مطالعه برابر با ۹۰/۵٪ می‌باشد.

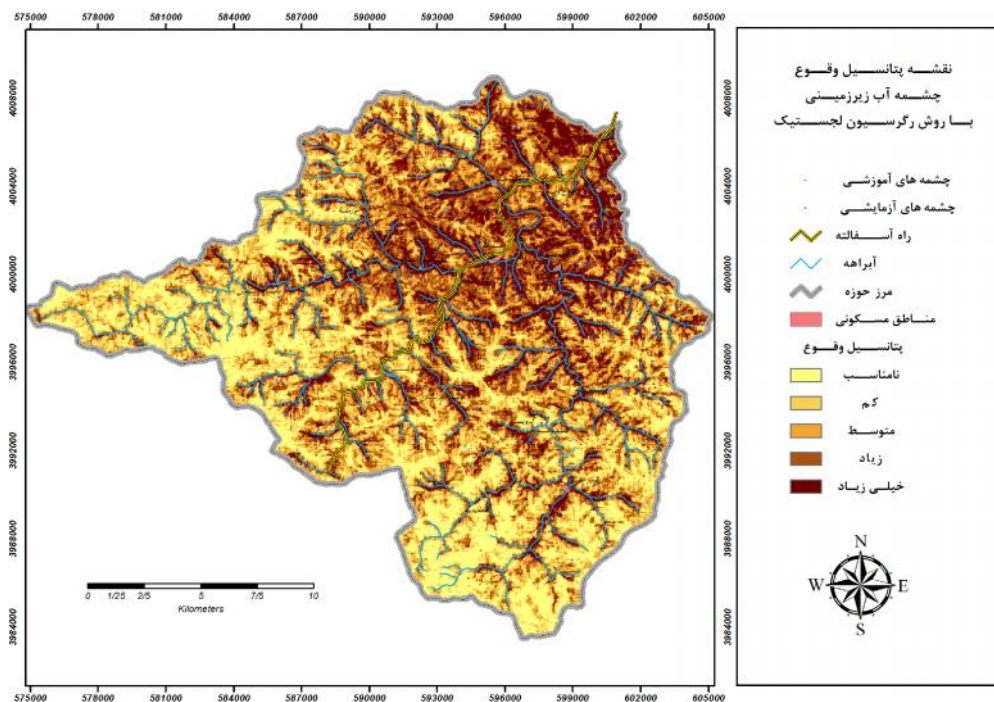
سطح زیر منحنی ROC در روش رگرسیون لجستیک ۰/۹۰۵ همراه با خطای استاندارد ۰/۰۰۷ به دست آمد. در نتیجه می‌توان گفت که دقت این مدل در



شکل ۷- هیستوگرام نشان‌دهنده نسبت فراوانی چشمه‌های آزمایشی واقع شده در کلاس‌های مختلف نقشه پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی

چشمه‌های آزمایشی استفاده گردید. این چشمه‌ها در مدل‌سازی وارد نشده بودند و بنابراین می‌توانند صحت نقشه‌های تولید شده را نشان دهند. مساحت و درصد توزیع کلاس‌های پتانسیل وقوع در منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. جهت آزمایش صحت نقشه‌های تهیه شده با استفاده از روش‌های مذکور، چشمه‌های آزمایشی با نقشه‌های پتانسیل وقوع مورد مقایسه قرار گرفت. در این مقایسات، نسبت فراوانی وقوع چشمه در هر یک از کلاس‌های نقشه پتانسیل وقوع چشمه آب زیرزمینی بدست آمد (جدول ۴ و شکل ۷).

نقشه پتانسیل وقوع چشمه آب زیرزمینی با استفاده از روش رگرسیون لجستیک در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. این نقشه مقیاس پیوسته‌ای از مقادیر پتانسیل را نشان می‌دهند و جهت پهنه‌بندی پتانسیل، باید به کلاس‌های مختلفی تقسیم شوند. چندین روش ریاضی برای طبقه‌بندی به درجات پتانسیل وجود دارد. در این مطالعه طبقه‌بندی به درجات مختلف پتانسیل به روش فواصل ژئومتریکی انجام گرفت. جهت به دست آوردن نسبت فراوانی چشمه‌ها در کلاس‌های مختلف پتانسیل منحصراً از



شکل ۸- نقشه پتانسیل وقوع چشمه حاصل از روش رگرسیون لجستیک (LR) حوزه آبخیز میرده

جدول ۴- درصد وقوع چشمه‌های آزمایشی در کلاس‌های مختلف پتانسیل چشمه آب زیرزمینی

کلاس	(تعداد پیکسل‌ها)	سطح از کل حوزه (%)	تعداد چشمه‌های آزمایشی	از کل چشمه‌های آزمایشی (%)	نسبت فراوانی
نامناسب یا خیلی کم	۱۲۷۷۹۴	۲۰/۹۵	۵	۱/۶۴	۰/۰۸
کم	۹۸۰۲۴	۱۶/۰۷	۱۰	۳/۲۹	۰/۲۰
متوسط	۱۲۹۰۲۰	۲۱/۱۶	۲۶	۸/۵۵	۰/۴۰
زیاد	۱۴۹۰۸۹	۲۴/۴۵	۹۴	۳۰/۹۲	۱/۲۶
خیلی زیاد	۱۰۵۹۵۲	۱۷/۳۷	۱۶۹	۵۵/۵۹	۳/۲۰

انتخاب گردیدند (جدول ۱). فاکتورهای انتخاب شده عبارتند از: ارتفاع از دریا، مقدار شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)، شکل شیب، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، زمین‌شناسی، فاصله از عناصر ساختاری و تراکم عناصر ساختاری بودند. با توجه به مقدار ضریب تخمین فاکتورهای پیش‌بینی‌کننده پتانسیل وقوع چشمه‌های آب زیرزمینی، برخی فاکتورها از قبیل: فاصله از آبراهه، شکل شیب، زمین‌شناسی، فاصله از عناصر ساختاری و مقدار NDVI تأثیر مثبتی بر وقوع چشمه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه داشتند. درحالیکه فاکتورهای تراکم آبراهه، تراکم عناصر ساختاری و ارتفاع از سطح دریا تأثیر منفی روی پتانسیل وقوع چشمه منطقه مورد مطالعه داشتند. فاکتورهای جهت شیب، درجه شیب و طول شیب در آنالیزهای آماری ضرایب تخمین معنی‌داری کمتر از

نواحی با پتانسیل نامناسب یا خیلی کم چشمه‌های آب زیرزمینی، ۲۰/۹۵ درصد از کل منطقه را شامل شده و مناطق با پتانسیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد، به ترتیب ۱۶/۰۷٪، ۲۱/۱۶٪، ۲۴/۴۵٪ و ۱۷/۳۷٪ از کل حوزه آبخیز را شامل می‌شوند. چشمه‌های آزمایشی واقع شده متناظر با هر طبقه پتانسیل از خیلی کم تا خیلی زیاد به ترتیب شامل: ۱/۶۴٪، ۳/۲۹٪، ۸/۵۵٪، ۳۰/۹۲٪ و ۵۵/۵۹٪ می‌باشند. طبقات پتانسیل زیاد و خیلی زیاد چشمه‌های آب زیرزمینی ۴۱/۸۲٪ از منطقه را شامل شده و ۸۶/۵۱٪ چشمه‌های آزمایشی در این ناحیه قرار گرفته‌اند. بنابراین نسبت تراکم چشمه در این نواحی ۲/۰۷ می‌باشد (جدول ۴ و شکل ۷). پس از انجام آنالیزهای رگرسیونی لجستیک گام به گام پیشرو، هشت فاکتور مؤثر در وقوع چشمه از میان یازده فاکتور به دلیل معنی‌دار بودن از لحاظ آماری

بود که حاکی از تخمین بسیار خوب روش‌های آماری در پتانسیل‌یابی چشمه‌ها می‌باشد. با توجه به سطح زیر منحنی بدست آمده در مطالعه حاضر، نتایج این تحقیق با مطالعات پژوهشگرانی از قبیل کورسینی و همکاران (۵)، ازدمیر (۱۷) و ازدمیر (۱۸) که در مقدمه به آنها اشاره شد، همخوانی دارد. پژوهشگران بالا روش‌های آماری مختلفی از قبیل: وزن‌دهی به شواهد، نسبت فراوانی و رگرسیون لجستیک را به‌عنوان ابزار مناسب در نقشه‌برداری پتانسیل چشمه آب زیرزمینی در مناطق مختلف جهان پیشنهاد کرده بودند و نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نیز بیانگر نظر آنهاست. مدل‌های احتمالاتی و آماری بکار گرفته شده در این تحقیق در تلفیق با GIS جهت پتانسیل‌یابی نواحی با چشمه‌های آب زیرزمینی، ساده، صحیح و سریع بوده و کمک زیادی به طراحان و تصمیم‌گیران مسایل مرتبط با مدیریت منابع آب و آبخیزداری بخصوص در توسعه صنعت ژئوتوریسم و گردشگری در محیط کوهستان و همچنین توسعه منابع آبی در طرح‌های مرتع‌داری و مواقع خشکسالی خواهد نمود.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که مراتب سپاس و تقدیر خود را از کارکنان بخش مطالعات منابع آب شرکت آب منطقه‌ای کردستان به‌خصوص جناب مهندس بابایی به‌خاطر فراهم آوردن امکان این تحقیق اعلام می‌دارند.

۰/۰۵ داشته و از آنالیزها حذف گردیدند. افزایش کلاس طبقات تراکم آبراهه‌ها و عناصر ساختاری و افزایش ارتفاع از سطح دریا، کاهش احتمال وقوع چشمه را در پی داشته و با افزایش طبقات کلاس‌های شکل شیب، پوشش گیاهی (NDVI)، فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از عناصر ساختاری و زمین‌شناسی به‌ترتیب بر مقدار شانس وقوع چشمه آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه افزوده است (جدول ۱).

ملاحظه چشمه‌های آزمایشی واقع شده در طبقات پتانسیل وقوع چشمه این واقعیت را آشکار می‌سازد که با افزایش طبقات پتانسیل وقوع چشمه، به‌صورت چشمگیری بر تراکم چشمه‌ها در این مناطق افزوده شده است و این در حالیست که چشمه‌های آزمایشی در مدل‌سازی‌ها نقشی نداشته‌اند. تعداد بسیاری از چشمه‌های آزمایشی در ناحیه با پتانسیل زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته و چشمه‌های واقع شده در کلاس پتانسیل نامناسب و کم، ناچیز می‌باشند. جهت ارزیابی توانایی پیش‌بینی روش رگرسیون لجستیک در این مطالعه از سطح زیر منحنی ROC استفاده گردید. در محاسبه سطح زیر منحنی این منحنی مقدار ۰/۹۰۵ به‌دست آمد که نشان‌دهنده پیشگویی بسیار قابل قبول روش رگرسیون لجستیک در پتانسیل‌یابی چشمه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. ازدمیر (۱۸) نیز مقایسه‌ای بین روش‌های نسبت فراوانی، وزن‌دهی به شواهد و رگرسیون لجستیک انجام داده بود وی مقدار سطح زیر منحنی ROC را برای هریک از روش‌های مذکور به‌ترتیب ۰/۹۰۳، ۰/۸۸۰ و ۰/۸۴۰ به‌دست آورده

منابع

1. Akgun, A., E.A. Sezar, H.A. Nefeslioglu, C. Gokceoglu and B. Pradhan. 2012. An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm, *Computer & Geosciences*, 38: 23-34.
2. Ayalew, L. and H. Yamagishi. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65: 15-31.
3. Bai, S.B., J. Wang, G.N. Lü, P.G. Zhou, S.S. Hou and S.N. Xu. 2010. GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the three Gorges area China. *Geomorphology*, 115: 23-31.
4. Clark, W.A. and P.L. Hosking. 1986. *Statistical Methods for Geographers*. 1st ed. John Wiley & Sons, New York, 248 pp.
5. Corsini, A., F. Cervi and F. Ronchetti. 2009. Weight of evidence and artificial neural networks for potential groundwater spring mapping: an application to the Mt. Modino area (Northern Apennines, Italy). *Geomorphology*, 111: 79-87.
6. Ganapuram, S., G.T. Vijaya Kumar, I.V. Murali Krishna, E. Kahya and M.C. Demirel. 2009. Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *Advanced Engineering Software*, 40: 506-518.
7. Ghosh, S. and E.J.M. Carranza. 2010. Spatial analysis of mutual fault/fracture and slope controls on rock sliding in Darjeeling Himalaya, India. *Geomorphology*, 122: 1-24.
8. Greenbaum, D. 1992. Structural influences on the occurrence of groundwater in SE Zimbabwe, Geological Society, London, Special Publications, 66: 77-85.
9. Hosmer, D.W. and S. Lemeshow. 2000. *Applied Logistic Regression*, 2nd Ed. John Wiley and Sons Inc., New York, 375 pp.
10. Jaiswal, R.K., S. Mukherjee, J. Krishnamurthy and R. Saxena. 2003. Role of remote sensing and GIS techniques for generation of groundwater prospect zones towards rural development-an approach. *International Journal of Remote Sensing*, 24: 993-1008.

11. Mathew, J., V.K. Jha and G.S. Rawat. 2007. Application of binary logistic regression analysis and its validation for landslide susceptibility mapping in part of Garhwal Himalaya, India. *International Journal of Remote Sensing*, 28: 2257-2275.
12. Menard, S. 2002. *Applied logistic regression analysis*, 2nd Ed. SAGE university paper, 111 pp.
13. 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.
14. Oh, H.J., Y.S Kim, J.K. Choi and S. Lee. 2011. GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. *Journal of Hydrology*, 399: 158-172.
15. Oh, H.J. and S. Lee. 2010. Cross-validation of logistic regression model for landslide susceptibility mapping at Geneoung areas, Korea. *Disaster Advances*, 3: 44-55.
16. Oh, H.J. and B. Pradhan. 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslidesusceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. *Computers & Geosciences*, 37: 1264-1276.
17. 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: 123-136.
18. 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: 290-308. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.10.010
19. Pradhan, B., S. Lee and M.F. Buchroithner. 2010. Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility analysis and its cross-validation in three test areas using a frequency ratio model. *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation*, 1: 17-32.
20. Rahimi, D. 2012. Potential ground water resources: (Case study: Shahrekord plain). *Geography and Environmental Planning*, 44: 127-142. (In Persian)
21. Rangzan, K., A. Cherchi and F. Amiri. 2005. The role of structural-geomorphological elements factors in spring occurrence in QalehRazeh- Bidrobeh area and its comparison with the same study carried out for Pabdeh-Lali anticline. 9th Symposium of Geological Society of Iran papers. Tehran Tarbiat moalem university, 526-539 pp. (In Persian)
22. Salama, R.B., I. Tapley, T. Ishii and G. Hawkes. 1994. Identification of areas of recharge and discharge using landsat-tm satellite imagery and aerial-photography mapping techniques. *Journal of Hydrology*, 162: 119-141.
23. Shahid, S., S.K. Nath and J. Roy. 2000. Groundwater potential modelling in a soft rock area using a GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 21: 1919-1924.
24. Surrette, M., D. Allen and M. Journeay. 2008. Regional evaluation of hydraulic properties in variably fractured rock using a hydrostructural domain approach. *Hydrogeology Journal*, 16: 11-30.
25. Yeh, H.F., C.H. Lee, K.C. Hsu, P.H. Chang. 2008. GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone. *Environmental Geology*, 1: 185-195. doi: 10.1007/s00254-008- 1504-9.

Mapping Groundwater Spring Occurrence Potential using Logistic Regression Statistical Method (Case Study: Miredeh Mountainous Watershed, Kurdistan)

Sayran Zandi¹, Karim Solaimani² and Jalal Zandi³

1 and 2- M.Sc. Student and Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

3- PhD Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

(Corresponding author: jalal.zandi2010@gmail.com)

Received: November 24, 2012

Accepted: August 19, 2013

Abstract

The purpose of this study is to produce a groundwater spring potential map based on statistical and probability logistic regression method. The spatial locations of the springs in mountainous Miradeh watershed, Kurdistan province, with 381 Km² were determined. Based on field and local study and Water Resources Management Company, spatial location of 904 springs in the study area were registered and 304 springs selected randomly as test data set and the remaining 600 spring were used for training the network. Forward stepwise LR was used to analyze the data and to find the most influential factors on spring occurrence that are statistically significant. The accuracy of model evaluates and verified using statistics such as: -2LL, Cox, Snell and Nagelkerke R². The accuracy of each model to predict was evaluated using calculating the area under the ROC curve values. ArcGIS was used to apply the proposed method and calculate statistical and Probability of spring occurrence potential. This can help planners and engineers in groundwater development plans and land-use planning.

Keywords: Groundwater potential, Spring, Logistic Regression, GIS