

کلیدواژه‌ها: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی، نسبت فرکانس، مدیریت پایدار، سیرا، سطح زیر منحنی.

مقدمه

آب‌های زیرزمینی به‌عنوان یکی از عمده‌ترین منابع طبیعی با ارزش جهت حفظ سلامت بشر، توسعه اقتصادی و تنوع اکولوژیکی [۱۶]، تأثیر بر توان اکولوژیک سرزمین [۱۷] و همچنین به دلیل درجه حرارت مناسب و قابلیت آسیب‌پذیری کمتر و قدرت گستردگی بالا از اهمیت زیادی برخوردار است. وقوع آب‌های زیرزمینی در هر مکان روی زمین مسئله‌ای اتفاقی نیست بلکه نتیجه تعامل عوامل اقلیمی، زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، فیزیوگرافی و اکولوژیکی است. حرکت آب‌های زیرزمینی عمدتاً توسط تخلخل و نفوذپذیری سطح و سنگ‌شناسی زمینه‌ای کنترل می‌شود [۳۶].

افزایش چشم‌گیر فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی در سال‌های اخیر، نیاز به آب باکیفیت بالا برای تأمین نیازهای رو به رشد را افزایش داده است. آب‌های زیرزمینی به دلیل سطح پایین آلودگی و توزیع گسترده‌تر، بیشتر برای پاسخ‌گویی به این تقاضا ترجیح داده می‌شوند [۲].

توصیف پتانسیل چشمه‌های آب‌زیرزمینی ابزاری مهم برای انجام موفقیت‌آمیز برنامه‌های تعیین، حفاظت و مدیریت آب‌های زیرزمینی است. اوه و همکاران [۲۴] نقشه‌های بالقوه آب‌های زیرزمینی برای برنامه‌ریزان و مهندسانی که به دنبال مکان‌های مناسب برای اجرای اکتشافات منابع هستند، مفید می‌باشد برای تهیه پتانسیل آب‌های زیرزمینی، غالباً از بررسی‌های میدانی استفاده می‌شود [۹]. نقشه‌برداری از پتانسیل آب زیرزمینی در هر واحد زمین‌شناسی با توسعه سیستم اطلاعات جغرافیایی و فن‌آوری‌های سنجش از دور، به روشی مفید تبدیل شده است [۳۷]. ساها و همکاران [۳۴]، مانپ و همکاران [۱۸]، [۱۹]، نش و همکاران [۲۳]، اوه و همکاران [۲۴]، ازودمیر [۲۵] و کلیرج و همکاران [۱۳] مطالعاتی در مورد ارزیابی آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور انجام داده‌اند. دار و همکاران [۸]، ایازی و همکاران [۳] و گور و همکاران [۱۰] پتانسیل آب‌زیرزمینی را مورد ارزیابی قرار داده و آوند و همکاران [۴]، چینی و بن‌مامو [۶]، اوه و همکاران [۲۴]، سلطانی ربیع [۳۸] و زندی و همکاران [۴۰] مدل‌های احتمالی را پیاده‌سازی کرده‌اند. اوزدمیر [۲۵] با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (LR) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) نواحی با پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی

تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی (چشمه) حوزه آبخیز سیرا با استفاده از مدل آماری دومتغیره و نسبت فراوانی

لیلا بیابانی^۱، مهین حنیفه‌پور^۲، حسن خسروی^۳ و بهروز اکبرپور بناب^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۸

چکیده

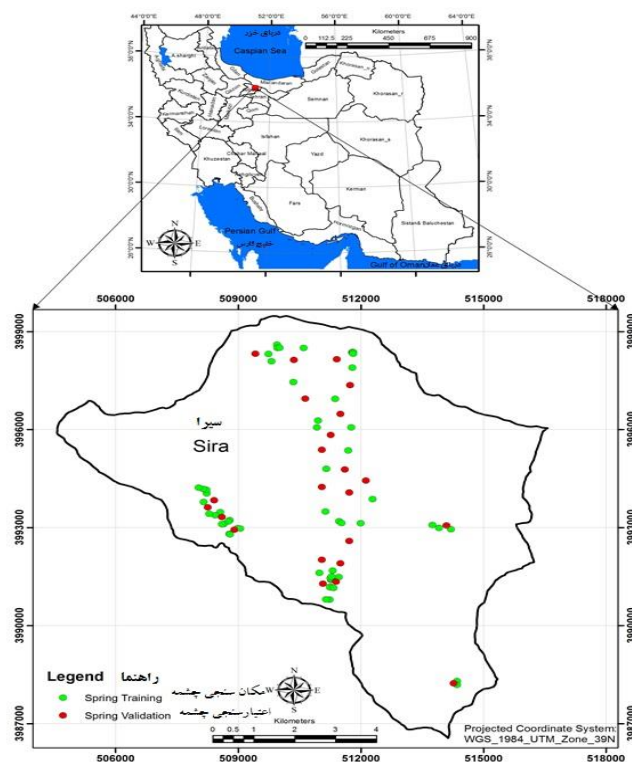
در این تحقیق با استفاده از مدل نسبت فراوانی (FR) تلاش شد مناطق با پتانسیل بالای آب زیرزمینی حوزه آبخیز سیرا مشخص شود. ۱۴ فاکتور مؤثر بر پتانسیل آب‌زیرزمینی شامل درجه شیب، درصد شیب، طول شیب (LS)، ارتفاع، شاخص جریان رودخانه (SPI)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، انحنا، سطح، فاصله از رودخانه‌ها، فاصله از جاده‌ها، فاصله از گسل، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک و تراکم زهکشی در نظر گرفته شد. در محیط GIS نقشه‌های فاکتورها تهیه و هم‌پوشانی شدند. در منطقه ۸۳ چشمه وجود دارد که ۵۸ مورد برای مدل‌سازی و ۲۵ مورد برای صحت‌سنجی در مدل FR مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت با استفاده از خروجی مدل، نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی ایجاد گردید. جهت صحت‌سنجی و ارزیابی نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی از منحنی ROC^۱ استفاده شد. نتایج صحت‌سنجی نشان داد که سطح زیر منحنی (AUC) در مدل نسبت فراوانی ۸۱/۲۱ درصد است که این مدل کارایی خوبی در پتانسیل منابع آب زیرزمینی منطقه دارد. براساس نتایج پتانسیل چشمه‌های به ترتیب، ۵/۰۷، ۱۳/۵۹، ۴۲/۸۵ و ۳۸/۴۸ درصد منطقه در کلاس‌های کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفت.

- ۱- دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ۲- فارغ‌التحصیل دکتری بیابان‌داری، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ۳- نویسنده مسئول و دانشیار، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران دانشگاه تهران، ایران
hakhosravi@ut.ac.ir

- ۴- کارشناس هیدرواقلیم - مهندسین مشاور آبخوان، ایران
5. Frequency ratio
6. Slope length
7. Stream power index
8. Topographic wetness index
9. Relative operating characteristics

درصد) و ۲۵ نقطه داده (۳۰ درصد) برای اعتبارسنجی استفاده شد. برای تهیه نقشه پتانسیل چشمه (SPM)، ارزیابی چندین فاکتور مربوط به چشمه با موجودی چشمه بسیار حیاتی است.

تعیین SPM حوزه آبخیز سیرا با استفاده از GIS و داده‌های مکانی موجود انجام شد. در این تحقیق ۱۴ عامل تأثیرگذار بر روی چشمه‌ها در نظر گرفته شد. این عوامل عبارت‌اند از درجه شیب، درصد شیب، طول شیب (LS)، ارتفاع، شاخص جریان رودخانه (SFI)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، انحنا، سطح، فاصله از رودخانه‌ها، فاصله از جاده‌ها، فاصله از گسل، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک و تراکم زهکشی. با تغییر این عوامل با استفاده از Arc GIS پایگاه داده فضایی از نوع بردار استخراج شد. ورودی داده‌ها، در GIS به صورت Vector بوده و جهت تهیه نقشه DEM با توان تفکیک ۲۰ متری از منحنی‌های میزان و نقاط ارتفاعی از نقشه‌های رقومی ۱:۵۰۰۰۰ حوزه استخراج گردید. DEM ورودی برای استخراج نقشه‌ها از درجه شیب، درصد شیب، ارتفاع، TWI، SFI، LS و انحنا، سطح استفاده شد (شکل ۲). شیب نقش بسیار مهمی در نقشه‌برداری پتانسیل آب‌های زیرزمینی دارد، بنابراین نقشه درصد شیب منطقه تهیه و در ۷ کلاس طبقه‌بندی شد، هم‌چنین درجه شیب در ۹ کلاس طبقه‌بندی شد. از آنجا که ارتفاعات مختلف موجب تغییرات شرایط آب و هوایی و در نتیجه باعث تفاوت در خاک و پوشش گیاهی منطقه می‌شود [۱]. بنابراین، نقشه ارتفاع تهیه و در پنج دسته طبقه‌بندی شد.



شکل ۱ - نقشه مکان‌های چشمه آبخیز سیرا

Fig 1. spring locations map of Sira Watershed

در حوزه آبخیز سلطان ترکیه پهنه‌بندی شده است. در این بررسی، ۱۷ فاکتور مؤثر در وقوع چشمه را در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفته و صحت نقشه پهنه‌بندی نهایی با استفاده از سطح زیر منحنی (ROC) ۰/۸۲ به دست آمد. کرسینی و همکاران [۷] روشی را برای مدل‌سازی توزیع پتانسیل چشمه‌های آب‌زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های کاربرد داده‌های مکانی به نمایش گذاشتند. خوش‌تینت و همکاران [۱۴] به بررسی مدل‌های نسبت فراوانی و نسبت آنتروپی شاتون در دشت سرو پرداختند. نتایج نشان داد که مدل نسبت فراوانی دارای عملکرد بهتری است و مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر پتانسیلی آب زیرزمینی، کاربری اراضی، خاک، زمین‌شناسی و طبقات ارتفاعی بوده است.

تاکنون تحقیقات زیادی در این زمینه در ایران و سراسر جهان انجام شده است، اما در حوزه آبخیز سیرا تاکنون این مهم انجام نشده است و با توجه به اهمیت سفره‌های آب‌زیرزمینی در این مناطق و وابستگی شدید مردم به این منابع آبی، بررسی وضعیت آن‌ها ضروری می‌باشد.

در این پژوهش برای شناسایی منابع آب و پتانسیل آب زیرزمینی حوزه آبخیز سیرا به منظور کنترل استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی و هم‌چنین مشخص شدن مناطق پتانسیل مناسب بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی از روش مدل نسبت فراوانی (FR) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. هم‌چنین توانایی پیش‌بینی FR برای نقشه‌برداری پتانسیل چشمه آب‌زیرزمینی (SPM) به عنوان یک معیار استفاده شد که می‌تواند مناطقی را مشخص کند که در آن‌ها با حداقل تلاش، آب‌زیرزمینی را به دست آورد. هم‌چنین امکان شناسایی چشمه‌های جدیدی جهت تأمین آب ذخیره‌شده در مواقع خشک‌سالی را فراهم می‌کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

به منظور نقشه‌برداری از پتانسیل آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل آماری دومتغیره و GIS، در بخش ارتفاعات البرز حوزه آبخیز سیرا، بخشی از رودخانه کرج انتخاب شده است. این حوزه در شمال غربی استان تهران در مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه ۰۲ دقیقه تا ۳۶ درجه ۱۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه ۳ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی واقع شده و از نظر سیاسی در استان البرز واقع شده است. مساحت حوزه آبخیز سیرا ۷۶ کیلومتر مربع می‌باشد و یکی از زیر حوزه‌های اصلی حوزه آبخیز سد کرج می‌باشد (شکل ۱).

روش تحقیق

مکان چشمه‌ها با استفاده از بازدیدهای میدانی بر روی نقشه توپوگرافی تعیین شد. ۸۳ چشمه در حوزه آبخیز سیرا شناسایی و موقعیت آن‌ها بر روی نقشه ۱:۵۰۰۰۰ منطقه پلات شد (شکل ۱). مکان‌های موجود چشمه به دو زیرمجموعه تقسیم شدند. برای تهیه نقشه پتانسیل چشمه آب‌های زیرزمینی ۵۸ مکان چشمه‌ها (۷۰

شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) تعیین کننده تأثیر توپوگرافی بر روی میزان سطوح اشباع جهت تولید رواناب است که توسط معادله زیر محاسبه می شود:

$$TWI = \ln (As / \tan \sigma) \quad (1)$$

As = شاخص رطوبت توپوگرافی

σ = مساحت ویژه حوزه (متر) - درجه شیب

تمایل به تجمع آب در هر نقطه از حوزه آبخیز (As) و تمایل نیروهای گرانشی در جهت حرکت به شیب پایین آب (β) به عنوان یک شیب هیدرولیکی تقریبی نشان داده شده است توسط شاخص TWI منعکس می شود. در درجه اول، نفوذ آب به خصوصیات مواد مانند نفوذپذیری، فشار منافذ آب و اثرات آن بر مقاومت خاک بستگی دارد. بنابراین TWI به عنوان یک عامل مؤثر در این مطالعه در نظر گرفته شد (شکل ۲: D).

شاخص قدرت جریان؛ گویای میزان قدرت فرساینده‌گی جریان آب است. براین اساس، آگذری متناسب است با مساحت ویژه حوزه و شیب، که با استفاده از رابطه شماره ۲ به دست می آید.

$$SPI = As \times \tan \sigma \quad (2)$$

SPI = شاخص قدرت جریان، As = مساحت ویژه حوزه - σ = گرادیان شیب برحسب درجه هم چنین عامل دیگری وجود دارد که LS نامیده می شود. این عامل ترکیبی از شیب (S) و طول شیب (L) است که اثر ترکیبی آن‌ها باعث از بین رفتن خاک می شود. اندازه گیری ظرفیت انتقال رسوب برای جریان زمینی در فاکتور LS

در معادله جهانی (USLE) وجود دارد (شکل ۲: F). ضریب LS ترکیبی را می توان با یک معادله پیشنهادی مور و بورچ [۲۰] محاسبه کرد (معادله ۳).

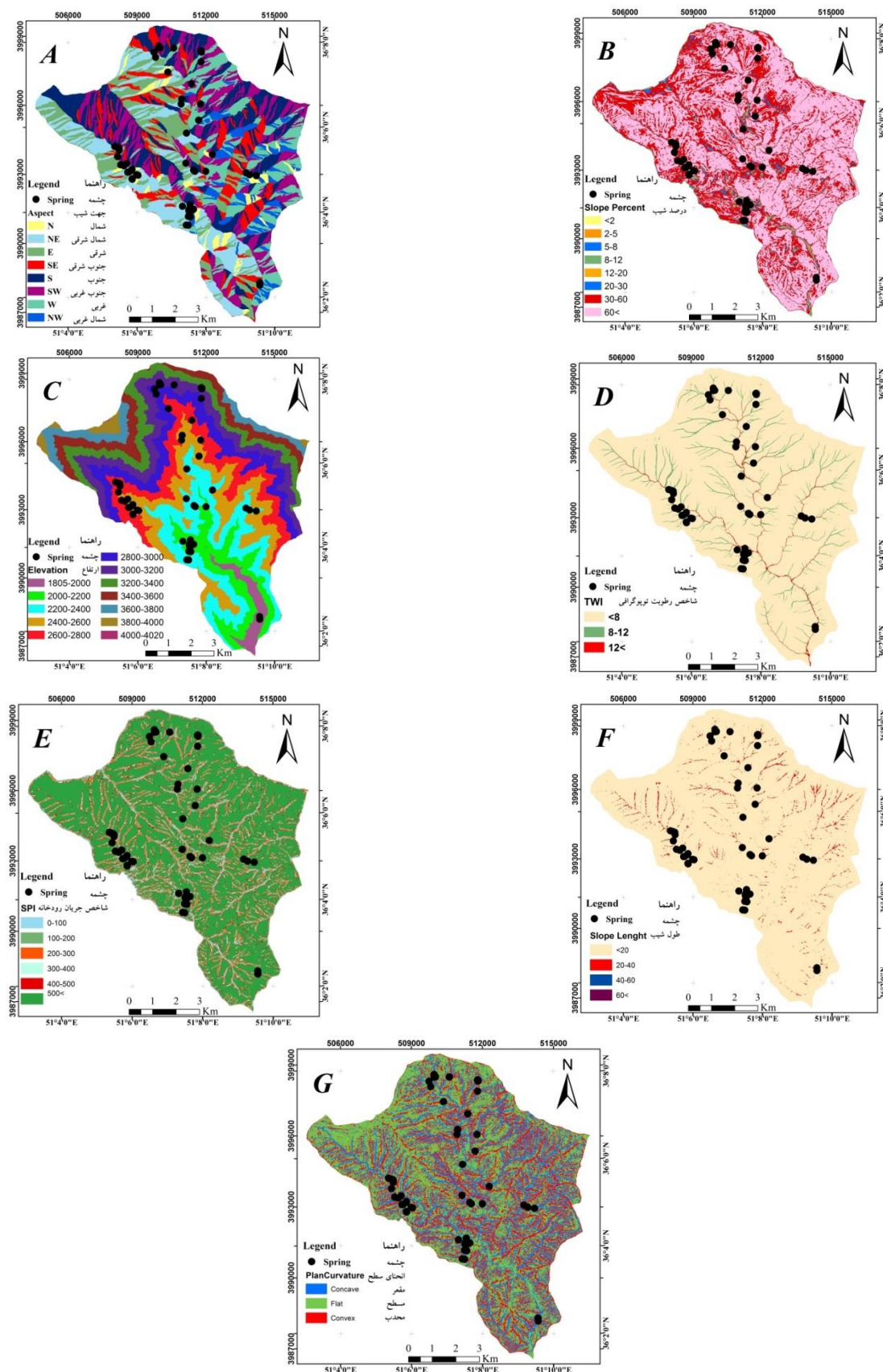
$$LS = \left(\frac{AS}{22/13} \right)^{0.6} \left(\frac{\sin \beta}{0/0896} \right)^{1.3} \quad (3)$$

انحنای سطح بیان گر تغییرات جهت در طول یک منحنی می باشد. تأثیر انحنای سطح بر وی فرآیند فرسایش شیب به صورت سطح، هم گرایی و واگرایی آب در طول جریان سرازیری می باشد [۳۲]. انحنای مقطع، معرف اندازه تغییر شیب منحنی میزان در طول مسیر جریان است. زمانی که تقعر انحنای سطح در حال افزایش است، مقادیر آن منفی و در موارد برعکس مقادیر آن مثبت می باشد [۱۲] با استفاده از SAGA-GIS، نقشه انحنای سطح تهیه شد (شکل ۲: G). علاوه بر این، با استفاده از پایگاه داده توپوگرافی و زمین شناسی، فاصله رودخانه ها، جاده ها و گسل ها به ترتیب محاسبه شد. با استفاده از نقشه زمین شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ نقشه سنگ شناسی به دست آمد و در ۱۲ گروه طبقه بندی شد (شکل ۴). با استفاده از تصاویر لندست، نقشه کاربری اراضی ایجاد شد [۳۱]. سرانجام نقشه چگالی زهکشی با در نظر گرفتن یک شبکه ۲۰ × ۲۰ متر محاسبه و در سه کلاس طبقه بندی شد (شکل ۷). در نهایت عوامل به صورت Raster با سلول های ۲۰*۲۰ متر جهت مدل نسبت فراوانی تهیه شده است.

جدول ۱- داده های پایه مورداستفاده در حوزه آبخیز سیرا

Table 1. data used of Sira Watershed

مأخذ Reference	مقیاس Scale	نوع داده در GIS type in GIS	تقسیم طبقه ها Classification Data	طبقه بندی Classification
شرکت مدیریت منابع آب ایران Iran Water Resources Management Company	1: 25000	نقطه ای Points	موقعیت چاه ها Location of springs	آب زیرزمینی Groundwater
سازمان نقشه برداری کشور National mapping agency	1: 25000	نقطه ای - خطی - پلی گون Point-linear-polygon	توپوگرافی Topography	
موسسه آب و خاک کشور National Soil Institute	20 * 20 m	شبکه ای Network	خاک Soil	
تصاویر ماهواره ای Landsat Landsat satellite images	20 * 20 m	شبکه ای Network	کاربری اراضی Land use	نقشه های پایه Basic maps
سازمان زمین شناسی کشور Geological Survey of the country	1: 100000 Marzanabad	پلی گون Polygon	زمین شناسی Geology	
تصاویر ماهواره ای Landsat Landsat satellite images	20 * 20 m	شبکه ای Network	خطواره ها (گسل) Drainage density	



شکل ۲ - نقشه پارامترهای توپوگرافی آبخیز سیرا؛ درجه شیب (A)، درصد شیب (B)، ارتفاع (C)، شاخص رطوبت توپوگرافی (D) (TWI)، شاخص جریان رودخانه (E) (SPI)، طول شیب (F) (LS) و انحنا سطح (G)

Fig 2. Topographical parameter maps of Sira Watershed, Iran; a slope percent, b slope aspect, c altitude, d topographic wetness index (TWI), e stream power index (SPI), f slope length (LS), and g plan curvature

روش نسبت فراوانی

FR یک رویکرد آماری دومتغیره است و برای تعیین احتمال مناطق بالقوه آب‌زیرزمینی بر اساس روابط بین متغیر وابسته، چاه چشمه و متغیرهای مستقل، عوامل تأثیرگذار بر آب‌زیرزمینی استفاده شد [۲۴، ۲۱]. ازدمیر [۲۶] این روش برای نقشه‌برداری پتانسیل چشمه آب‌های زیرزمینی استفاده شد. در حقیقت، نسبت فراوانی نسبت منطقه‌ای است که چشمه‌ها در کل منطقه مورد مطالعه رخ داده‌اند و هم‌چنین، نسبت احتمال وقوع چشمه به عدم وقوع برای یک ویژگی مشخص است. مراحل محاسبه FR در هر کلاس از فاکتور تحت تأثیر چشمه در زیر نشان داده شده است (معادله ۴):

$$FR = \frac{\frac{M}{G}}{\frac{L}{S}} \quad (4)$$

که در آن، M تعداد پیکسل‌های چشمه برای هر کلاس، G تعداد کل چشمه‌های منطقه مورد مطالعه، L تعداد پیکسل‌های هر زیر کلاس از فاکتورهای مؤثر در چشمه، S تعداد پیکسل‌های کل در منطقه مورد مطالعه و FR نسبت فراوانی یک کلاس برای فاکتور است.

براساس مطالعات اوه و همکاران [۲۴] اگر عدد نسبت فراوانی بیشتر از ۱ باشد به این معنی است که همبستگی بالایی بین هر یک از عوامل با چاه‌های موجود دیده می‌شود و اگر عدد آن کمتر از ۱ باشد، همبستگی کمی بین آن‌ها وجود دارد. مانپ [۱۹] نقشه‌های موضوعی در محیط GIS باهم ادغام شده و مدل نسبت فراوانی و بویی [۵] نقشه پتانسیل آب زیرزمینی را تهیه گردید و در نهایت جهت ارزیابی و اطمینان از صحت مدل از منحنی ROC در نرم‌افزار Medcalc استفاده شده است.

پورقاسمی و همکاران [۳۱] تجزیه و تحلیل منحنی ROC یک روش متداول برای ارزیابی صحت آزمایش تشخیصی است. منحنی ROC می‌تواند نمایشی از معامله بین نرخ‌های نادرست و مثبت کاذب برای هر مقدار قطع احتمالی باشد. منحنی ROC نرخ مثبت کاذب را بر روی محور X و نرخ مثبت صحیح را در محور Y ترسیم

می‌کند [۲۲، ۳۲]. سطح زیر منحنی (AUC) ROC با توصیف توانایی سیستم در انتظار وقوع صحیح یا عدم وقوع وقایع از پیش تعیین شده، دقت یک سیستم پیش‌بینی را نشان می‌دهد. بهترین روش دارای منحنی با بزرگ‌ترین AUC است که از ۰/۵ به ۱ تغییر می‌کند. اگر مدل بهتر از شانس پیش‌بینی نکرد، AUC برابر با ۰/۵ خواهد بود. منحنی ROC از ۱ نشان‌دهنده پیش‌بینی کامل است [۳۹]. رابطه کیفی بین AUC و دقت پیش‌بینی را می‌توان در دسته‌های زیر طبقه‌بندی کرد: ۱- ۰/۹-۰/۸ (عالی)، ۰/۸-۰/۷ (بسیار خوب)؛ ۰/۷-۰/۶ (خوب)؛ ۰/۶-۰/۵ (ضعیف) [۳۹].

نتایج

براساس روابط مشاهده شده بین مکان‌های وقوع چشمه آب‌زیرزمینی و عوامل مرتبط، برای نقشه‌برداری پتانسیل آب‌زیرزمینی از روش FR و GIS در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. نتایج رابطه بین وقوع آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل نسبت فراوانی در جدول ۲ نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل FR برای رابطه بین وقوع چشمه و درصد شیب نشان می‌دهد که درصد شیب کلاس ۸-۱۲ بیش‌ترین مقدار FR (۷/۱۳) و پس از آن ۲۰-۱۲ کلاس (۶/۶۶) را دارد. کم‌ترین مقدار FR (۰) برای کلاس‌های ۲ تا ۸ درصد شیب تعریف شد. با توجه به رابطه بین وقوع چشمه و درجه شیب، چشمه‌ها در دامنه‌های جنوبی و شرقی قرار دارند، درحالی‌که دامنه‌های رو به غرب کم‌ترین فراوانی را دارند. این مناطق برای نفوذ آب‌های سطحی به داخل زمین تحت تناسب اندکی قرار دارند. در جدول ۲، برای ارتفاع بین ۲۰۰ و ۲۲۰۰ متر، FR (۲/۴۱) بود که نشان‌دهنده احتمال بسیار بالای وقوع چشمه است. نتایج نشان داد که مقادیر FR با افزایش ارتفاع در منطقه مورد مطالعه افزایش می‌یابد و سپس با بالاتر رفتن ارتفاع از ۳۰۰۰ متر احتمال وقوع چشمه کاهش می‌یابد. چشمه‌ها در بالای شاخص رطوبت توپوگرافی ۱۲ (مقدار ۲۶/۶۸) متمرکز شده‌اند.

جدول ۲- رابطه فضایی بین هر عامل مؤثر و مکان‌های چشمه با استفاده از مدل FR در آبخیز سیرا

Table 2. spatial relationship between each effective factor and spring locations using FR model in Sira Watershed

کلاس Class	تعداد پیکسل در دامنه No. of pixels in domain	درصد دامنه Percentage of domain	تعداد چشمه No. of springs	درصد چشمه Percentage of springs	نسبت فراوانی (FR) Frequency ratio (FR)
درصد شیب Slope percentage					
< 5	163	0.02	0	0.00	0.00
5-8	1069	0.14	0	0.00	0.00
8-12	1832	0.24	0	0.00	0.00
12-20	3678	0.48	2	3.45	7.13
20-30	11810	1.55	6	10.34	6.66
30-60	26008	3.42	9	15.52	4.54

60 <	250684	32.95	24	41.38	1.26
ارتفاع (m) Elevation (m)	465596	61.19	17	29.31	0.48
1805-2000	22365	2.94	2	3.45	1.17
2000-2200	70644	9.29	13	22.41	2.41
2200-2400	121339	15.95	10	17.24	1.08
2400-2600	116381	15.30	14	24.14	1.58
2600-2800	91341	12.01	7	12.07	1.01
2800-3000	84934	11.16	7	12.07	1.08
3000-3200	82114	10.79	5	8.62	0.80
3200-3400	69823	9.18	0	0.00	0.00
3400-3600	53809	7.07	0	0.00	0.00
3600-3800	36344	4.78	0	0.00	0.00
3800-4000	11601	1.52	0	0.00	0.00
4000-4020	145	0.02	0	0.00	0.00
شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) Topographic wetness index (TWI)					
< 8	714117	93.9	13	22.41	0.24
8-12	38830	5.1	29	50.00	9.80
>12	7867	1.0	16	27.59	26.68
شاخص جریان رودخانه (SPI) Stream power index (SPI)					
0-100	22791	3.0	1	1.72	0.58
100-200	40280	5.3	3	5.17	0.98
200-300	54874	7.2	3	5.17	0.72
300-400	59973	7.9	2	3.45	0.44
400-500	58432	7.7	1	1.72	0.22
500<	524490	68.9	48	82.76	1.20
طول شیب (LS) Slope length (LS)					
< 20	740937	97.4	48	82.76	0.85
20-40	19714	2.6	10	17.24	6.65
40-60	153	0.0	0	0.00	0.00
>60	36	0.0	0	0.00	0.00
انحنای سطح (100/m) Plan curvature (100/m)					
مقعر Concave	189440	24.9	36	62.07	2.49
مسطح Flat	361034	47.5	16	27.59	0.58
محدب Convex	210366	27.6	6	10.34	0.37
فاصله از رودخانه (m) Distance from rivers (m)					
<100	39263	5.2	13	22.41	4.34
100-200	38217	5.0	7	12.07	2.40
200-300	37258	4.9	6	10.34	2.11

300-400	36606	4.8	4	6.90	1.43
400-500	36151	4.8	6	10.34	2.18
500<	573345	75.4	22	37.93	0.50
فاصله از جاده (m) Distance from roads (m)					
<100	61113	8.0	11	18.97	2.36
100-200	54080	7.1	15	25.86	3.64
200-300	40341	5.3	4	6.90	1.30
300-400	47983	6.3	3	5.17	0.82
400-500	46035	6.1	1	1.72	0.28
500<	501288	65.9	24	41.38	0.63
فاصله از گسل (m) Distance from faults (m)					
<100	117732	15.5	11	18.97	1.23
100-200	104574	13.7	11	18.97	1.38
200-300	86675	11.4	5	8.62	0.76
300-400	71728	9.4	3	5.17	0.55
400-500	59709	7.8	4	6.90	0.88
500<	320422	42.1	24	41.38	0.98
سنگ شناسی Lithology					
DPj,r	26606	3.5	0	0.00	0.00
Eka	8183	1.1	0	0.00	0.00
Ekt2	210619	27.7	5	8.62	0.31
Ekt3	13213	1.7	0	0.00	0.00
Jd,l	43238	5.7	1	1.72	0.30
M	25446	3.3	2	3.45	1.03
Pd	14859	2.0	0	0.00	0.00
PeEZ	2893	0.4	0	0.00	0.00
Pe-€s	25409	3.3	7	12.07	3.61
Pe€k	297858	39.1	21	36.21	0.92
Qal	2223	0.3	0	0.00	0.00
Qs	1460	0.2	0	0.00	0.00
Qt2	11055	1.5	13	22.41	15.43
TRJs	62044	8.2	8	13.79	1.69
€q	4551	0.6	1	1.72	2.88
€z	11183	1.5	0	0.00	0.00
کاربری اراضی Land use					
باغ Garden	35508	4.7	11	18.97	4.06
جنگل Forest	61673	8.1	1	1.72	0.21
سنگ Rock	69701	9.2	2	3.45	0.38
مرتع Grassland	591439	77.7	38	65.52	0.84
Residential area منطقه مسکونی	2519	0.3	6	10.34	31.25

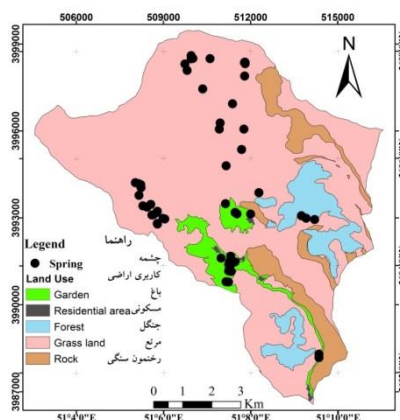
A	1284	0.2	0	0.00	0.00
B	18240	2.4	13	22.41	9.35
C	657595	86.4	43	74.14	0.86
D	83721	11.0	2	3.45	0.31

<1	275526	36.2	6	10.34	0.29
1-2	204499	26.9	11	18.97	0.71
2-3	161061	21.2	21	36.21	1.71
3-4	93655	12.3	16	27.59	2.24
4-5	24547	3.2	4	6.90	2.14
5<	1552	0.2	0	0.00	0.00

حرکت آب را بین سطح و زیر سطح کنترل کنند.

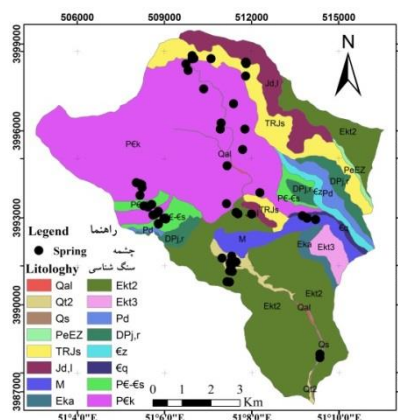
در مورد سنگ‌شناسی، تراورتن (Qt2)، دولومیت (P s)، شیل و سیلتستون (q)، شیل، ماسه‌سنگ، سیلتستون، کلس استون، کوارتزیت، کنگلومرا، رخنمون‌های آهکی به صورت محلی رسوبات زغال‌سنگ و کانسارهای میوسن تقسیم‌نشده (M) به ترتیب بیش‌ترین مقادیر ۱۵/۴۳، ۳/۶۱، ۲/۸۸، ۱/۶۹ و ۱/۰۳ را دارند. بنابراین، گروه‌های سنگی فوق‌الذکر بیش‌ترین احتمال وقوع چشمه را دارند. در مورد کاربری اراضی مشاهده شد که احتمال وقوع چشمه در کاربری‌های مناطق مسکونی و باغ‌ها به ترتیب با مقادیر ۳۱/۲۵ و ۴/۰۶ بسیار زیاد است. در مورد گروه‌های هیدرولوژی خاک، نتایج نشان داد که خاک‌های گروه B بیش‌ترین مقدار FR (۹/۳۵) را دارند. تراکم زهکشی به شیب، طبیعت و نگرش سنگ‌بسترها و الگوهای شکست منطقه‌ای و محلی بستگی دارد. چگالی زهکشی ۴/۳ کیلومتر در کیلومتر مربع بیش‌ترین مقدار نسبت فرکانس را دارد ($FR = 2.24$)، به این معنی که ویژگی‌های این کلاس قوی‌ترین رابطه را با وقوع چشمه دارند.

در مورد طول شیب، بیشتر چشمه‌ها در کلاس ۴۰-۲۰ با ارزش $FR=6.65$ رخ داده است. مقادیر FR با افزایش کلاس‌های طول شیب کاهش می‌یابد. با توجه به انحای سطح، نتایج نشان داد که شکل مقعر بیش‌ترین مقدار ۲/۴۹ و شکل محدب کم‌ترین مقدار ۰/۳۷ را دارد. این نسبت در مورد رابطه بین وقوع چشمه و فاصله از رودخانه‌ها، برای فاصله از رودخانه‌ها کمتر از ۱۰۰ متر، ۴/۳۴ است، که نشان‌دهنده احتمال زیاد وقوع چشمه است. فاصله ۱۰۰-۲۰۰ متر و ۲۰۰-۳۰۰ متر از جاده‌ها با ارزش ۳/۶۴ و ۱/۳۰ به ترتیب در مقایسه با سایر طبقات نسبت به سایر عناصر حساسیت زیادی نشان می‌دهند. براساس نتایج ذکر شده، جاده‌ها به طور غیرمستقیم نفوذپذیری و تخلخل زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهند. هم‌چنین برای فاصله از گسل‌های بالای ۲۰۰ متر، رابطه بین وقوع چشمه و گسل نشان‌دهنده احتمال کم وقوع چشمه است. در مقابل، فواصل بین ۱۰۰-۲۰۰ متر و کمتر از ۱۰۰ متر، به ترتیب دارای بالاترین مقادیر FR (۱/۳۸ و ۱/۲۳) هستند. خطوط خطی شکسته شده بر روی ساختار زمین‌شناسی منطقه‌ای مانند گسل و بند می‌توانند



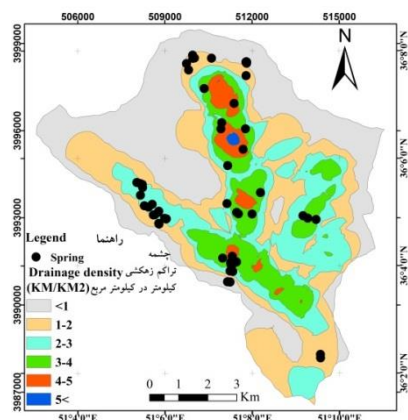
شکل ۴- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز سیرا

Fig 4. Land use map of Sira Watershed

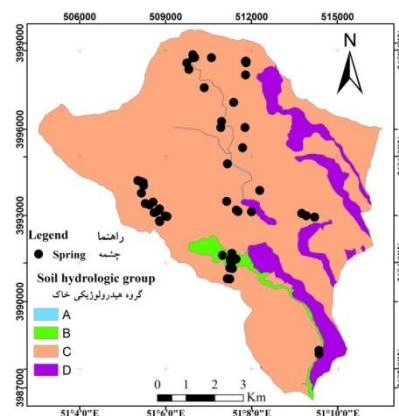


شکل ۳- نقشه سنگ‌شناسی حوزه آبخیز سیرا

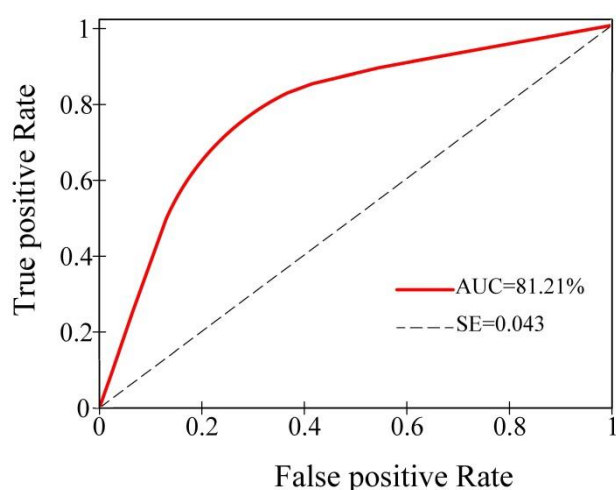
Fig 3. Lithology map of Sira Watershed



شکل ۶- نقشه تراکم زهکشی خاک حوزه آبخیز سیرا
Fig 6. Drainage density map of Sira Watershed



شکل ۵- نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک حوزه آبخیز سیرا
Fig 5. Soil hydrologic group map of Sira Watershed



شکل ۷- منحنی ROC برای نقشه پتانسیل چشمه آبخیز سیرا، ایران
Fig 7. ROC curve for the spring potentialmap of Sira Watershed

اعتبار سنجی نقشه پتانسیل چشمه

نتایج ارزیابی نمودار ROC (شکل ۸) نشان می‌دهد که در نقشه پتانسیل چشمه با استفاده از مدل FR، AUC ۰/۸۱۲۱ بوده که با دقت پیش‌بینی ۸۱/۲۱ درصد مطابقت دارد. بنابراین مشاهده‌شده الگوی استفاده‌شده در این مطالعه، دقت مناسبی را در پیش‌بینی طبقه‌بندی پتانسیل چشمه در مکان مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

ارزیابی پتانسیل وقوع چشمه موضوع اصلی مقامات مسئول در مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی منطقه‌ای کاربری اراضی و حفاظت از محیط‌زیست شده است. به‌طور کلی استراتژی‌های مختلف برای ارزیابی پتانسیل چشمه منطقه‌ای استفاده می‌شود. در این مطالعه، با استفاده از روش FR به‌منظور شناسایی مناطق پتانسیل آب زیرزمینی تلاش شد.

نقشه پتانسیل نهایی چشمه با استفاده از مدل FR و معادله زیر تهیه‌شده است (معادله ۵):

طول + (FR درصد شیب) + (FR درجه شیب) = SPM

$$SPM = ((\text{درجه شیب}) + (\text{درصد شیب}) + \text{طول}) + (LS)(m) + (FR)(\text{ارتفاع}) + (SPIFR) + (TWIFR) + (LSFR) + (FR)(\text{انحنای سطح}) + (FR)(m) + (FR)(\text{فاصله از رودخانه‌ها}) + (FR)(m) + (FR)(\text{فاصله از جاده}) + (FR)(m) + (FR)(\text{استفاده از زمین}) + (FR)(\text{سنگ‌شناسی}) + (m) + (FR)(\text{تراکم زهکشی}) + (FR)(\text{هیدرولوژیکی خاک})$$

(۵)

مقادیر پیکسل به‌دست‌آمده به گروه‌های پتانسیل کم، متوسط، زیاد و بسیار بالا طبقه‌بندی شد [۲۶، ۲۷، ۲۹، ۳۱، ۳۳، ۴۱]. نقشه پتانسیل چشمه حاصل از روش FR، که ۴۲/۸۵ درصد از کل منطقه را پوشش می‌داد، به‌عنوان یک کلاس SPM بالا تعیین شد. نقشه پتانسیل چشمه‌ها به ترتیب مقادیر ۳۸/۴۸، ۱۳/۵۹ و ۵/۰۷ درصد (زیاد، متوسط و کم) از کل مساحت را تشکیل می‌دهد (شکل ۷ و جدول ۲).

جدول ۳- طبقه‌بندی نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی در حوزه آبخیز سیرا
Table 3. Classification of groundwater potential map of Sira Watershed

منطقه‌بندی پتانسیل چشمه Spring potential zoning	مدل FR FR Model	
	دامنه Range	حوزه (درصد) Area (percent)
کم Low	25<	5.07
متوسط Moderate	15-25	13.59
زیاد High	10-15	42.85
خیلی زیاد Very high	10>	38.48

پیش‌بینی نسبتاً خوبی از ۸۱/۲۱ درصد است. به‌عنوان نتیجه‌گیری نهایی، نتایج نقشه‌های پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی می‌تواند برای برنامه‌ریزان و مهندسان در مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی کاربری اراضی مفید باشد.

منابع

1. Aniya, M. 1985. Landslide-susceptibility mapping in the Amahata river basin. Japan. Annal Assoc Am Geogr 75(1):102-114
2. Arkoprovo, B. Adarsa, J. and Shashi Prakash, S. 2012, Delineation of groundwater potential zones using satellite remote sensing and geographic information techniques: a case study from Ganjam district. Orissa. India. Res J Recent Science 1 (9):59-66
3. Ayazi, MH. Pirasteh, S. Arvin, AKP. Pradhan, B. Nikouravan, B. and Mansor, S. 2010. Disasters and risk reduction in groundwater: Zagros Mountain Southwest Iran using geo-informatics techniques. Dis Adv 3(1):51-57
4. Avand, MT. Janizadeh, S. and Farzin, M. 2019. Determination of groundwater potential using data mining and statistical methods in Yasuj-Sisakht region. Journal of Rangeland and Watershed Management. 72(3), 623-609. (In Persian)
5. Bui, DT. Pradhan, B. Iofman, O. Revhaug, I. and Disk, OB. 2012. Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (vietnam) using an adaptive neuro-fuzzy inference system and GIS. Comput Geoscience. Elsevier. 45(8): 199-211.
6. Chenini, I. BenMammou, A. and May, ME. 2010. Groundwater recharge zone mapping using GIS-based multi-criteria analysis: a case study in Central Tunisia (Maknassy Basin). Water Resour Manage 24(5): 921-939
7. Corsini, A. Cervi, F. and Ronchetti, F. 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(1-2):79-87
8. Dar, IA. Sankar, K. and Dar, MA. 2010. Remote sensing technology and geographic information system modeling: an integrated approach towards the mapping of groundwater potential zones in Hardrock terrain. Mamundiyyar basin. J Hydrol 394(3-4):285-295
9. Ganapuram, S. Vijaya Kumar, GT. Murali Krishna, IV. Kahya, E. and Demirel, MC. 2009. Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. Adv Eng Softw 40(7):506-518
10. Gaur, S. Chahar, BR. and Grailliot, D. 2011. Combined use of groundwater modeling and potential zone analysis for management

به‌عنوان اولین گام، با استفاده از بررسی‌های میدانی جامع، یک نقشه پراکنش چشمه ایجاد شد. سپس ۱۴ لایه داده مانند درصد شیب، درجه شیب، ارتفاع، TWI، SPI، LS، انحنا، سطح، فاصله از رودخانه‌ها، فاصله از جاده‌ها، فاصله از گسل‌ها، سنگ‌شناسی، کاربری زمین، گروه‌های هیدرولوژی خاک و تراکم زهکشی از پایگاه داده مکانی با استفاده از عوامل مؤثر ذکر شده استخراج شد. نقشه پتانسیل چشمه آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل FR محاسبه و نتایج در Arc GIS رسم شد. نتایج نشان داد که کلاس درصد شیب ۱۲-۲۰ درصد، کلاس ارتفاع ۲۰۰-۲۲۰۰ متر، $TWI > 12$ ، $SPI > 200$ ، $LS < 40$ ، 100 ، 100 متر، کلاس ۱۰۰-۲۰۰ متر برای گسل‌ها، سنگ‌شناسی از نوع تراورتن، نوع کاربری اراضی منطقه مسکونی، گروه هیدرولوژیکی خاک B و تراکم زهکشی ۳-۴ کیلومتر در کیلومتر مربع از عوامل مؤثر، رابطه قوی‌تری با SPM دارند. سرانجام، برای آزمایش دقت مدل FR، منحنی ROC تهیه شد (شکل ۸).

نسبت منطقه‌ای چشمه آب‌زیرزمینی به کل منطقه، طبق رابطه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقدار ۱ بر همبستگی متوسط بین مکان‌های چشمه و عوامل مؤثر دلالت دارد. اگر این مقدار بزرگ‌تر از ۱ باشد، همبستگی زیاد و اگر کم‌تر از ۱ باشد، همبستگی کمتر می‌باشد [۱۵]. با افزایش شیب، رواناب نیز افزایش می‌یابد که منجر به نفوذ کمتری می‌شود. دامنه‌های با شیب بیشتر از ۳۵ درجه به دلیل عدم وجود چشمه‌ها، برای مطلوبیت آب‌زیرزمینی محدودیت دارند [۲۷، ۲۸]. عامل TWI تأثیر توپوگرافی را در موقعیت و اندازه مناطق اشباع‌شده تولید رواناب تحت فرض شرایط حالت پایدار و خصوصیات یکنواخت خاک توضیح می‌دهد (یعنی انتقال‌پذیری در کل حوزه‌های آبخیز ثابت است و برابر با واحد است) [۳۰]. هم‌چنین، ارزیابی شاخص توان جریان نشان داد که کلاس $500 >$ دارای بالاترین مقدار FR (۱/۲۰) است. SPI شاخص اندازه‌گیری جریان رودخانه با توجه به این فرض که تخلیه متناسب با یک منطقه خاص از حوزه آبخیز است [۳۰]. شیب مقعر حاوی آب بیشتری است و آب را برای مدت طولانی‌تری به‌خصوص در هنگام بارندگی شدید نگه می‌دارد [۱۵]. بنابراین در مقایسه با شیب محدب برای آب‌های زیرزمینی مطلوب‌تر است. اهمیت متغیر لیتولوژی در احتمال رخداد فرسایش در واحدهای مختلف با درجه حساسیت بالا و پایین قبلاً در تحقیقات دیگران مورد تأکید قرار گرفته است [۳۵]. سنگ‌شناسی و ساختار یک منطقه مشخص را منعکس و می‌تواند برای ارزیابی منابع آب زیرزمینی ارزش زیادی داشته باشند [۱۱]. برای تعیین صحت نقشه پتانسیل چشمه ایجادشده در این تحقیق با استفاده از مدل FR از تجزیه و تحلیل خصوصیات نمودار مشخصه عملکرد (ROC) استفاده شده است [۲۶، ۲۸].

براین اساس، از ۸۳ مکان چشمه، ۵۸ مورد (۷۰ درصد) برای مدل‌سازی FR و ۲۵ مورد باقی‌مانده (۳۰ درصد) برای صحت‌سنجی مدل استفاده شد. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که مدل FR دارای دقت

methods for groundwater potential mapping in Ira Water Resour. Manage. 29 (14): 5217-5236.

22. Negnevitsky, M. 2002. Artificial intelligence: a guide to intelligent systems. Addison-Wesley/Pearson. Harlow. England. p 394.

23. Neshat, A. Pradhan, B. Pirasteh, S. and Shafri, HZM. 2014. estimating groundwater vulnerability to pollution using modified DRASTIC model in the Kerman agricultural area. Iran. Environmental Earth Sciences. 71(7): 3119-3131.

24. Oh, HJ. Kim, YS. Choi, JK. and Lee, S. 2011. GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City. Korea. Journal of Hydrology. 399(3):158-172

25. Ozdemir, A. 2011. uses 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.

26. Ozdemir, A. and Altural, T. 2013. a comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. Journal of Asian Earth Sciences. 64(3):180-197

27. Pourghasemi, HR. Pradhan, B. Gokceoglu, C. and Deylami Moezzi, K. 2020. Landslide susceptibility mapping using a spatial multi criteria evaluation model at Haraz watershed. Iran. Springer, Terrigenous Mass Movements. 23-49.

28. Pourghasemi, HR. Mohammady, M. and Pradhan, B. 2012b, Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. Catena 97(10): 71-84

29. Pourghasemi, HR. Pradhan, B. Gokceoglu, C. Deylami Moezzi, K. 2013a, A comparative assessment of prediction capabilities of Dempster- Shafer and Weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping using GIS. Geomatics Nat Hazards Risk 4(2):93-118.

30. Pourghasemi, HR. Moradi, HR. and Fatemi Aghda, SM. 2013d. Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression. analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. Natural Hazards. 69(1):749-779.

31. Pourghasemi, HR. Moradi, HR. Fatemi Aghda, SM. Gokceoglu, C. and Pradhan, B. 2014. GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran). Arabian Journal of Geosciences.7(5):1857-1878.

32. Pradhan, B. 2013. a comparative study on the predictive

of groundwater. Int J Appl Earth Observ 13(1):127-139

11. Godebo, TR. 2005. Application of remote sensing and GIS for geological investigation and groundwater potential zone identification. Southeastern Ethiopian Plateau, Bale Mountains and the surrounding areas. Addis ababa university. Faculty of Natural Science Department of Earth Sciences. <http://etd.aau.edu.et/handle/123456789/7948>.

12. Hengl, T. Gruber, S. and Shrestha, D.P. 2003. Digital terrain analysis in ILWIS. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede. Netherlands, p 62.

13. Kaliraj, S. Chandrasekar, N. and Magesh, NS. 2013. Identification of potential groundwater recharge zones in Vaigai upper basin. Tamil Nadu, using GIS-based analytical hierarchical process (AHP) technique. Arab J Geosci, 7(4): 1385-1401.

14. Khosh Tinat, S. Aminnejad, B. Hassanzadeh, Y. and Ahmadi, H. 2020. Finding the Potential of Groundwater Resources in Sarv Plain: Application of Shannon Entropy Models and Frequency Ratio. Journal of Irrigation Science and Engineering. 43(2): 123-137. (In Persian)

15. Lee, S. and Pradhan, B. 2006. Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island. Malaysia. Journal of Earth System Science volume, 115(6): 661-667

16. Lee, S. and Lee, w. 2015. Application of Decision-Tree Model to Groundwater Productivity-Potential Mapping, Sustainability.7(10):13416-13432.

17. Madan, K. Jha Kamii, Y. and Chikamori, K. 2008. Cost-Effective Approaches for Sustainable Groundwater Management in Alluvial Aquifer System Water Resources Management. 23(2): 219-233.

18. Manap, MA. Nampak, H. Pradhan, B. Lee, S. Sulaiman, WNA. and Ramli, MF. 2012. Application of probabilistic-based frequency ratio model in groundwater potential mapping using remote sensing data and GIS. Arabian Journal of Geosciences. 7(2): 711-724.

19. Manap, MA. Sulaiman, WNA. Ramli, MF. Pradhan, B. and Surip, N. 2013. A knowledge driven GIS modelling technique for prediction of groundwater potential zones at the Upper Langat Basin. Malaysia. Arabian Journal of Geosciences. 6(5):1621-1637.

20. Moore, ID. and Burch, GJ. 1986. Sediment transport capacity of sheet and rill flow: application of unit stream power theory. Water Resources Research. 22(8):1350-1360

21. Naghibi, A. and Pourghasemi, H.R. 2015. a comparative assessment between three machine learning models and their performance comparison by bivariate and multivariate statistical

38. Soltani Rabie, M. 2018. Evaluation and comparison of statistical methods of logistic regression and incident weight model in preparing groundwater potential map (Case study: Nahavand region), Master Thesis in Surveying Engineering - GIS, Institute of Higher Education Civil engineering and development of Hamedan. (In Persian)
39. Yesilnacar, EK. 2005. the application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey. Ph.D Thesis Department of Geomatics the University of Melbourne 423 pages.
40. Zandi, S. Soleimani, K. Zandi, J. 2015. Mapping Areas with Potential Occurrence of Groundwater Springs Using Logistic Regression Statistical Method in GIS Environment (Case Study: Mirdeh Mountain Watershed, Kurdistan), Watershed Management Research Journal. 6(12): 75-87.(In Persian)
41. Zare, M. Pourghasemi, HR. Vafakhah, M. and Pradhan, B. 2013. Landslide susceptibility mapping at Vaz watershed (Iran) using an artificial neural network model: a comparison between multi-layer perceptron (MLP) and radial basic function (RBF) algorithms. Arab J Geosci 6(8):2873–2888.
- ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS. Computers & Geosciences. 51(2): 350–365.
33. Regmi, AD. Yoshida, K. Pradhan, B. Pourghasemi, HR. Khumamoto, T. and Akgun, A. 2013. Application of frequency ratio, statistical index and weights-of-evidence models. and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya. Arabian Journal of Geosciences. 7(2): 725-742.
34. Saha, D. Dhar, YR. and Vittala, SS. 2010. Delineation of groundwater development potential zones in parts of marginal Ganga Alluvial Plain in South Bihar, Eastern India. Environmental Monitoring and Assessment. 165(1-4):179–191
35. Shadfar, S. 2016. Identifying the gully erosion potential by using artificial neural network (case study: Troud Watershed). Watershed Engineering and Management. 8(3), 256-263. (In Persian)
36. Shahid, S. Nath, SK. and Roy, J. 2000. Groundwater potential modeling in a soft rock area using a GIS. Int J Remote Sens 21(9):1919–1924
37. Singh, AK. and Prakash, SR. 2003. an integrated approach of remote sensing, geophysics and GIS to evaluation of groundwater potentiality of Ojhala sub-watershed. In Map India Conference Mirzapur District UP India 2003

Preparation of Groundwater Potential Map (Springs) of Sierra Watershed Using Bivariate Statistical Model and Frequency Ratio

L. Biabani¹, M. Hanifehpour², H. Khosravi³ and B. Akbarpoor Bonab⁴

Received: 05-05-2021 Accepted: 29-11-2021

Abstract

In this study, using the frequency ratio (FR) model, an attempt has been made to identify areas with high groundwater potential of the Sira catchment. Effective factors for preparing groundwater potential map including slope aspect, slope percentage, slope length (LS), Elevation, stream power index (SPI), topographic wetness index (TWI), plan curvature, distance to rivers, distance to roads, distance to faults, lithology, land use, soil hydrological groups and drainage density considered for groundwater potential zone mapping. In the GIS environment, the maps of factors were prepared and overlapped. There are 83 springs in the region, of which 58 were used for modeling and 25 for validation in the FR model. Finally, using the model output, the potential map of groundwater resources was created. The ROC curve was used to validate and evaluate the groundwater potential maps. Validation results showed that the area under the curve (AUC) in the frequency ratio model is 81.21 percent, which has a good performance in the potential of groundwater resources in the region. Based on the results of spring potential, 5.07, 13.59, 42.85, and 38.48 percent of the region were in low, medium, high, and very high classes, respectively.

Keywords: *Groundwater potential map, Frequency ratio, Sustainable management, Sira, Area under the curve.*

1. PhD Student in Desert Management and Control, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran.

2. PhD in Natural Resources Engineering - Desertification, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran.

3. Corresponding Author and Associate Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran, Email: hakhosravi@ut.ac.ir

4. Hydroclimate Expert, Abkhan Consulting Engineers, Iran