



سینجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال دهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۷
Vol.10, No. 2, Summer 2018

۶۱-۷۴

کاربرد نمایه‌های ژئومرفومتري در مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی در

منطقه البرز میانی، با رویکرد احتمالی وزنی شاهد

حسین امامی^۱، میثم جعفری^۱، علی‌اکبر نظری سامانی^۲، آرشد ملکیان^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده

منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲. دانشیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۲۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱

چکیده

مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی امکان شناسایی چشمه‌های جدید را، برای مصارف شرب و کشاورزی و صنعت، فراهم می‌آورد. هدف از این تحقیق مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی، با استفاده از نمایه‌های ژئومرفومتري مؤثر در رخداد آنها و مدل احتمالی وزنی شاهد و بررسی کارایی این مدل در منطقه البرز میانی است. به‌طور کلی، ۵۸۴ چشمه در منطقه مورد مطالعه مشخص شدند که ۴۰۹ (٪۷۰) چشمه‌ها برای آموزش و ۱۷۵ (٪۳۰) چشمه‌ها برای اعتبارسنجی مدل وزنی شاهد به‌کار رفتند. چهارده شاخص مهم ژئومرفومتري مؤثر در رخداد چشمه‌ها، در قالب رویکرد مدل وزنی شاهد برای مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌ها، برگزیده شدند. این عوامل شامل ارتفاع، درجه شیب، جهت، انحنا، صاف‌ای، انحنا، پروفیل، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت جریان، طول شیب، شاخص موقعیت توپوگرافی، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل‌ها، تراکم گسل‌ها، فاصله از آبراهه‌ها و تراکم زهکشی می‌شوند. در این تحقیق، براساس مدل وزنی شاهد، عامل‌های جهت شیب و شاخص رطوبت توپوگرافی، به ترتیب، دارای کمترین و بیشترین تأثیر در رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی‌اند. نقشه به‌دست‌آمده از مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌ها، در چهار طبقه، با پتانسیل رخداد کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد قرار گرفت. صحت پیش‌بینی مدل مورد استفاده با استفاده از روش ROC بررسی شد. سطح زیرین منحنی ۰/۸۶۶ به‌دست آمد که نشان می‌دهد مدل وزنی شاهد، در برآورد رخداد مکانی چشمه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، دقت بسیار خوبی دارد.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی مکانی، چشمه‌های آب زیرزمینی، وزنی شاهد، ROC، ژئومرفومتري، البرز میانی.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی.

Email: aknazari@ut.ac.ir

۱- مقدمه

آب منبعی حیات‌بخش و یکی از عوامل حیاتی تشکیل و بقای زیست‌به‌شمار می‌رود و بیش از هر زمان دیگری، مورد توجه است. منابع آب زیرزمینی در سازندهای کربناته یکی از منابع مهم آبی در مناطق کوهستانی‌اند که، از لحاظ شرب و کشاورزی و دامداری و صنعت، کیفیت مناسبی دارند. آب زیرزمینی در لایه‌های اشباع زیر زمین تجمع پیدا می‌کند و بر اثر تراوش آب باران و یا آب ناشی از ذوب یخ و برف، از خلل و فرج بین کانی‌ها و سنگ‌های زیرین به داخل زمین، ایجاد می‌شود (Banks and Robins, 2002). جریان آب زیرزمینی در لایه آبخوان به سمت نقطه تخلیه است که شامل چاه‌ها، چشمه‌ها، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و اقیانوس می‌شود. در ایران، چشمه‌های متعدد کوچک و بزرگی وجود دارد که اغلب آنها در نواحی کوهستانی و مرتفع پدید می‌آیند و آب تخلیه شده از آنها معمولاً دارای کیفیت خوبی است. مطالعه و شناخت این چشمه‌ها نقش مهمی در حفاظت، برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری بهینه از این منابع دارد. روش‌های تعیین پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از امواج صوتی، حفر چاه گمانه و روش ژئوالکتريک نیاز به مهارت، تخصص و صرف هزینه و زمان دارند (Singh and Prakash, 2003). در سال‌های اخیر، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنسجش از دور (RS)، مدل‌سازی مکانی رخداد آب زیرزمینی به روشی نسبتاً آسان تبدیل شده است و استفاده از این روش‌ها می‌تواند در کاهش هزینه‌های بالای شناسایی منابع آب زیرزمینی تأثیرگذار باشد. GIS به کاربران این امکان را می‌دهد که، به‌سادگی، اطلاعات مکانی و داده‌های توصیفی را برای ایجاد نقشه‌ها، جدول‌ها و نمودارها در زمینه‌هایی، از جمله مدیریت منابع آب و محیط‌زیست، به کار گیرند. استفاده از GIS و ترکیب آن با مدل‌های احتمالی برای به‌دست‌آوردن نتایج دقیق‌تر نقشی اساسی در مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی دارد.

آرتور و همکاران^۳ (۲۰۰۷) در پژوهشی، با استفاده از روش وزنی شاهد، آسیب‌پذیری آبخوان فلوریدا در برابر آلودگی را ارزیابی کردند. آنها نتیجه گرفتند که خروجی مدل وزنی شاهد می‌تواند نقشه‌های آسیب‌پذیری در مقابل آلاینده‌ها را ایجاد کند و ابزار قدرتمندی برای حفاظت از آبخوان باشد. اوزدمیر^۴ (۲۰۱۱)، در کوه‌های سلطان ترکیه، نقشه پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی را با استفاده از GIS و مدل‌های رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و وزنی شاهد تهیه کرد. همچنین، همه عوامل مرتبط که توپوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، و اقلیمی را دربر می‌گیرند، وارد مدل‌ها شدند. نتایج نشان داد که، به ترتیب، مدل‌های نسبت فراوانی، وزنی شاهد و رگرسیون لجستیک برآوردهای نسبتاً خوبی ارائه کرده‌اند. لی و همکاران^۵ (۲۰۱۲)، در مطالعه‌ای، از روش وزنی شاهد برای تولید نقشه پتانسیل بهره‌برداری از آب زیرزمینی، در منطقه اطراف پوهانگ کره، استفاده کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که روش وزنی شاهد قادر است نقشه پتانسیل بهره‌برداری از آب زیرزمینی را با دقت نسبتاً خوبی ایجاد کند. پورتقی و پورقاسمی^۶ (۲۰۱۴)، در مطالعه‌ای، برای مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی در منطقه بیرجند خراسان جنوبی، مدل‌های رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و وزنی شاهد را به کار بردند و کارایی این مدل‌ها را با یکدیگر مقایسه کردند. آنها دریافتند که برای تهیه نقشه پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی، به ترتیب، مدل‌های نسبت فراوانی، وزنی شاهد و رگرسیون لجستیک برآوردهای تقریباً خوبی ارائه می‌دهند. ال‌آبادی^۷ (۲۰۱۵)، در پژوهشی، برای تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه‌ای واقع در شمال شرق

1. Geographic Information System
2. Remote Sensing
3. Arthur et al.
4. Ozdemir
5. Lee et al.
6. Pourtaghi and Pourghasemi
7. Al-Abadi

نظر اقلیمی، با توجه به تقسیم‌بندی دومارتن، نیمه‌مرطوب است. در این ناحیه، چشمه‌های بسیاری وجود دارد که این چشمه‌ها رودخانه دائمی و پرآب کرج را پدید آورده و از دلایل انتخاب این منطقه برای پژوهش حاضر به‌شمار می‌رود.

۲-۲- روش پژوهش

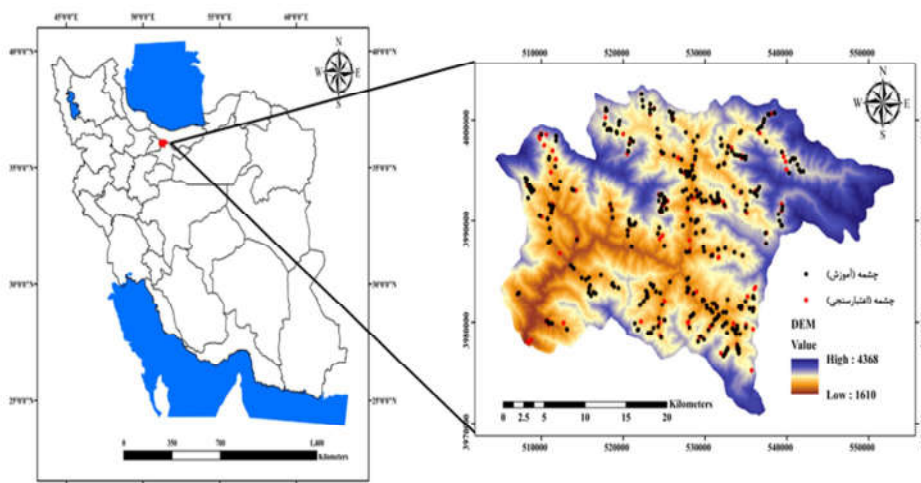
براساس داده‌های دریافت‌شده از سازمان مدیریت منابع آب ایران، به‌طور کلی، ۵۸۴ چشمه در این منطقه مشخص شده‌اند (شکل ۱). با استفاده از تفکیکی تصادفی، ۴۰۹ چشمه (۷۰٪) در تهیه نقشه رخدادهای مکانی چشمه‌های آب زیرزمینی (نقطه‌های سیاه‌رنگ در شکل ۱) و ۱۷۵ چشمه (۳۰٪) برای اعتبارسنجی (نقطه‌های قرمز در شکل ۱) استفاده شد (Ozdemir, 2011; Pourtaghi and Pourghasemi, 2014). با استفاده از نقشه موقعیت مکانی چشمه‌ها، تعدادی از عوامل مؤثر در وقوع چشمه‌ها ارزیابی شد. سپس، رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه، با استفاده از مدل وزنی شاهد، مدل‌سازی شد (Ozdemir, 2011; Lee et al., 2012; Al-Abadi, 2015; Pourtaghi and Pourghasemi, 2014). چهارده شاخص مهم ژئومرفومتری مؤثر در رخداد چشمه‌ها، که

عراق، بین استان‌های واسط و میسان، از مدل وزنی شاهد استفاده کرد. نتایج نشان داد که مدل وزنی شاهد قابلیت بالایی در مدل‌سازی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه دارد. هدف از این پژوهش مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی در منطقه البرز میانی، با استفاده از مدل احتمالی وزنی شاهد^۱ است. از نتایج این تحقیق می‌توان برای پیش‌بینی پتانسیل منابع آب زیرزمینی و نیز بهبود مدیریت آن استفاده کرد؛ ضمن اینکه مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی برپایه مدل احتمالی و نمایه‌های ژئومرفومتری به مهارت زیادی نیاز ندارد و از این‌رو، در زمان و هزینه صرفه‌جویی خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه البرز میانی، دارای مساحت ۸۵۴/۴۱ کیلومترمربع، در محدوده جغرافیایی $51^{\circ}05'$ تا $59^{\circ}51'$ طول شرقی و $35^{\circ}88'$ تا $36^{\circ}17'$ عرض شمالی و در بین استان‌های البرز، تهران و مازندران قرار دارد (شکل ۱). این منطقه، به دلیل قرار گرفتن در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز، کوهستانی محسوب می‌شود. منطقه مورد مطالعه ارتفاعی بین ۱۶۱۰ تا ۴۳۶۸ متر از سطح دریا دارد و از



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

1. Weights-of-Evidence (WofE)

طول یک دامنه است؛ بنابراین، این انحنا تأثیر بسیاری در سرعت جریان و حالت تععر و تحدب دامنه‌ها دارد و با افزایش میزان آن (مقادیر مثبت) حالت دامنه مقعر می‌شود، سرعت جریان کاهش می‌یابد و سرعت نفوذ بیشتر می‌شود (شکل ۲-ت). توپوگرافی در تنوع مکانی شرایط هیدرولوژیکی، همچون رطوبت خاک و جریان آب زیرزمینی، نقش حیاتی دارد؛ از این رو، از شاخص توپوگرافی ثانویه برای توصیف الگوهای مکانی رطوبت خاک استفاده می‌شود (Moore et al., 1991). TWI عامل توپوگرافی ثانویه‌ای است که براساس رابطه (۱) به‌دست می‌آید (Ibid.) (شکل ۲-ج):

$$TWI = \ln \left(\frac{P}{\tan \alpha} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

β مساحت تجمعی بالادست زهکشی یک نقطه (مساحت بالادست در واحد طول خط تراز) و α درجه شیب در همان نقطه است. شاخص قدرت جریان (SPI) را می‌توان با رابطه زیر تعیین کرد (Ibid.) (شکل ۲-چ):

$$SPI = A_s \times \tan \alpha \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این رابطه، A_s مساحت ویژه حوضه (m^2) و α درجه شیب است. LS عامل توپوگرافی و ترکیبی از فاکتورهای L طول شیب و S تندی شیب حوضه است. این عامل در معادله جهانی فرسایش خاک (USLE)، برای اندازه‌گیری ظرفیت انتقال رسوب از طریق جریان زمینی، به‌کار می‌رود. با رابطه زیر، می‌توان عامل ترکیب‌شده LS را محاسبه کرد (Moore and Burch, 1986) (شکل ۲-ح):

$$LS = \left(\frac{B_s}{22.13} \right)^{0.6} \left(\frac{S \sin \alpha}{0.0896} \right)^{1.3} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این مطالعه ارزیابی شده‌اند، شامل ارتفاع، درجه شیب، جهت، انحنا، پلان، انحنا، پروفیل، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)^۱، شاخص قدرت جریان (SPI)^۲، طول شیب (LS)^۳، شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)^۴، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، تراکم زهکشی، تراکم گسل و سنگ‌شناسی می‌شوند. هریک از این پارامترها، به‌گونه‌ای، در نفوذ آب و تغذیه منابع آب زیرزمینی و نیز رخداد چشمه‌ها دخالت دارد.

با استفاده از خطوط تراز ارتفاعی، که از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استخراج شده‌اند، مدل رقومی ارتفاع (DEM)^۵ با اندازه پیکسل‌های ۲۰×۲۰ متر تهیه شد. از DEM منطقه مورد مطالعه به‌منزله ورودی برای استخراج نقشه‌های ارتفاع، درجه شیب، جهت، انحنا، پلان، انحنا، پروفیل، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت جریان، طول شیب، فاصله از آبراهه و تراکم زهکشی استفاده شد. در این پژوهش، عوامل مؤثر براساس روش‌های گوناگونی مانند فاصله برابر، شکست طبیعی، استانداردهای نرمال یا مشترک و بررسی منابع مطالعه طبقه‌بندی شده‌اند (Lee et al., 2012; Al-Abadi, 2015; Pourtaghi and Pourghasemi, 2014; Ozdemir, 2011).

شیب، جهت و ارتفاع، به‌دلیل تأثیر در میزان تغذیه سازندها و مقدار آبدی چشمه‌ها، اهمیت دارند (شکل ۲-الف، ب و پ). انحنا، پلان برای سلول‌های دارای خطوط مقعر مثبت، سلول‌های دارای خطوط محدب منفی و سلول‌های دارای خطوط صاف صفر است. در انحنا، پلان، که آن را «نرخ تغییرات جهت» تعریف می‌کنند، در پیکسل‌های دارای ارزش مثبت، جریان واگراست و ارزش‌های منفی به انحنا اشاره دارد که، در آن پیکسل‌ها، جریان همگراست و به‌سمت یک نقطه متمرکز می‌شود (Schmidt et al., 2003; Wilson and Gallant, 2001) (شکل ۲-ت). انحنا پروفیل به‌معنای تغییر در وضعیت گرادیان شیب در

1. Topographic Wetness Index
2. Stream Power Index
3. Slope Length
4. Topographic Position Index
5. Digital Elevation Model

مورد نظر تحلیل شد. در این مطالعه، وزن مثبت (W^+) نشان می‌دهد عاملی در محل چشمه وجود دارد و بزرگی این وزن بیانگر همبستگی بین آن عامل و وقوع چشمه است. همچنین، وزن منفی (W^-) حضورنداشتن عامل مورد نظر در محل وقوع چشمه و سطح منفی همبستگی را نشان می‌دهد. برای محاسبه وزن‌ها، از روابط (۵) و (۶) استفاده می‌شود (Ozdemir, 2011):

$$W^+ = \ln \left[\frac{\frac{\text{تعداد چشمه‌ها در کلاس مورد نظر}}{\text{تعداد کل چشمه‌ها}}}{\frac{\text{تعداد چشمه‌ها در کلاس مورد نظر} - \text{تعداد پیکسل‌ها در کلاس مورد نظر}}{\text{تعداد کل چشمه‌ها در منطقه} - \text{تعداد کل پیکسل‌ها در منطقه}}} \right] \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$W^- = \ln \left[\frac{\frac{\text{تعداد کل چشمه‌ها در کلاس‌های دیگر}}{\text{تعداد کل چشمه‌ها در منطقه}}}{\frac{\text{تعداد پیکسل‌های چشمه‌ها در دیگر کلاس‌ها} - \text{تعداد پیکسل‌ها در کلاس‌های بدون چشمه}}{\text{تعداد کل پیکسل‌های چشمه‌ها} - \text{تعداد پیکسل‌ها در کلاس‌های بدون چشمه‌ها}}} \right] \quad \text{رابطه (۶)}$$

اختلاف بین وزن مثبت (W^+) و وزن منفی (W^-) مقدار ارتباط مکانی بین متغیری علتی و وقوع چشمه‌ها را نشان می‌دهد (رابطه (۷)):

$$C = W^+ + W^- \quad \text{رابطه (۷)}$$

اگر مقدار C نزدیک به ۱ باشد، به این معناست که طبقه مورد نظر از عوامل مؤثر برای تحلیل است و اگر مقدار آن صفر باشد، یعنی طبقه مورد نظر از جمله چنین عواملی به‌شمار نمی‌رود. برای محاسبه انحراف استاندارد، از رابطه (۸) استفاده می‌شود:

$$S(C) = \sqrt{S^2(W^+) + S^2(W^-)} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در این رابطه، $S^2(W^+)$ و $S^2(W^-)$ ، به ترتیب، واریانس W^+ و واریانس W^- هستند. برای محاسبه وزن نهایی (W_{final})، از رابطه (۹) استفاده می‌شود:

$$W_{final} = \left(\frac{C}{S(C)} \right) \quad \text{رابطه (۹)}$$

پس از اینکه مقدار وزن نهایی (W_{final}) برای هر پیکسل از منطقه مورد مطالعه محاسبه شد، شاخص پتانسیل چشمه آب زیرزمینی برای هر پیکسل، با

شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Wilson and Gallant, 2001; Weiss, 2001) (شکل ۲-خ):

$$TPI = Z_0 - \frac{1}{n_R} \sum Z_i \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه بالا، Z_0 ارتفاع در نقطه مرکزی، n تعداد کل نقاط اطراف در نظر گرفته شده در ارزیابی و Z_i ارتفاع از شبکه‌اند. در این پژوهش، نقشه‌های SPI، TWI، LS و TPI با استفاده از نرم‌افزار SAGA-GIS تهیه شد. با کارگرفتن نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شیت تهران و مرزن‌آباد، منطقه مورد مطالعه روی آنها انتخاب و پس از مشخص کردن محدوده واحدهای سنگ‌شناسی موجود در آن، نقشه این واحدها تهیه شد (شکل ۲-د). پس از استخراج گسل‌ها از نقشه زمین‌شناسی، نقشه فاصله از گسل‌ها و تراکم گسل‌ها به دست آمد (شکل‌های ۲-ذ و ۲-ر). نقشه‌های فاصله از آبراهه‌ها، با استخراج شبکه آبراهه‌ها از مدل رقومی ارتفاع، تهیه شد (شکل ۲-ز). نقشه تراکم زهکشی به صورت نسبت مجموع طول کلیه آبراهه‌ها در یک حوضه زهکشی برحسب کیلومتر، به مساحت کل حوضه زهکشی برحسب کیلومتر مربع، حاصل شد (شکل ۲-ژ).

۲-۲-۱- مدل وزنی شاهد (WofE)

ایده WofE می‌تواند چندین الگوی دودویی را ترکیب کند تا بتوان دیگر الگوی‌های دودویی را پیش‌بینی کرد (Bonham-Carter, 1994). با استفاده از لایه مکان چشمه‌ها و داده‌های مکانی عوامل مؤثر در وقوع آنها، WofE (مدل احتمالی بیزی) برای اندازه‌گیری وزن هر یک از عوامل مرتبط به کار می‌رود. این وزن‌ها را می‌توان، با تحلیل روابط مکانی بین محل چشمه‌ها و هر یک از عوامل مؤثر، استخراج کرد. با استفاده از مدل وزنی شاهد، روابط مکانی بین چشمه‌ها و تمامی عوامل

مقدار دقت مدل را، به صورت کمی، برآورد می‌کند (Shuin et al., 2012). از آنالیز منحنی ROC برای تعیین دقت و کارایی مدل استفاده می‌شود.

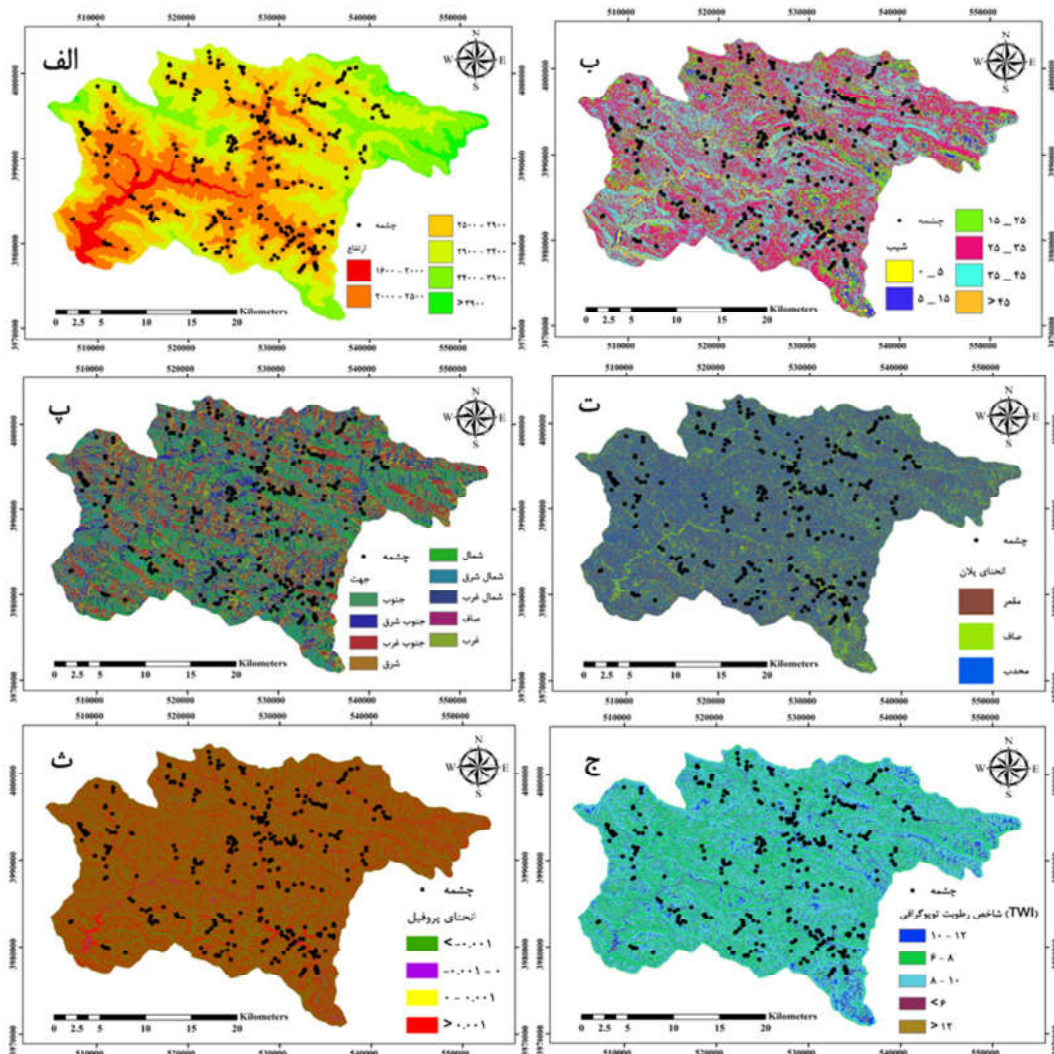
استفاده از رابطه (۱۰)، محاسبه می‌شود:

رابطه (۱۰)

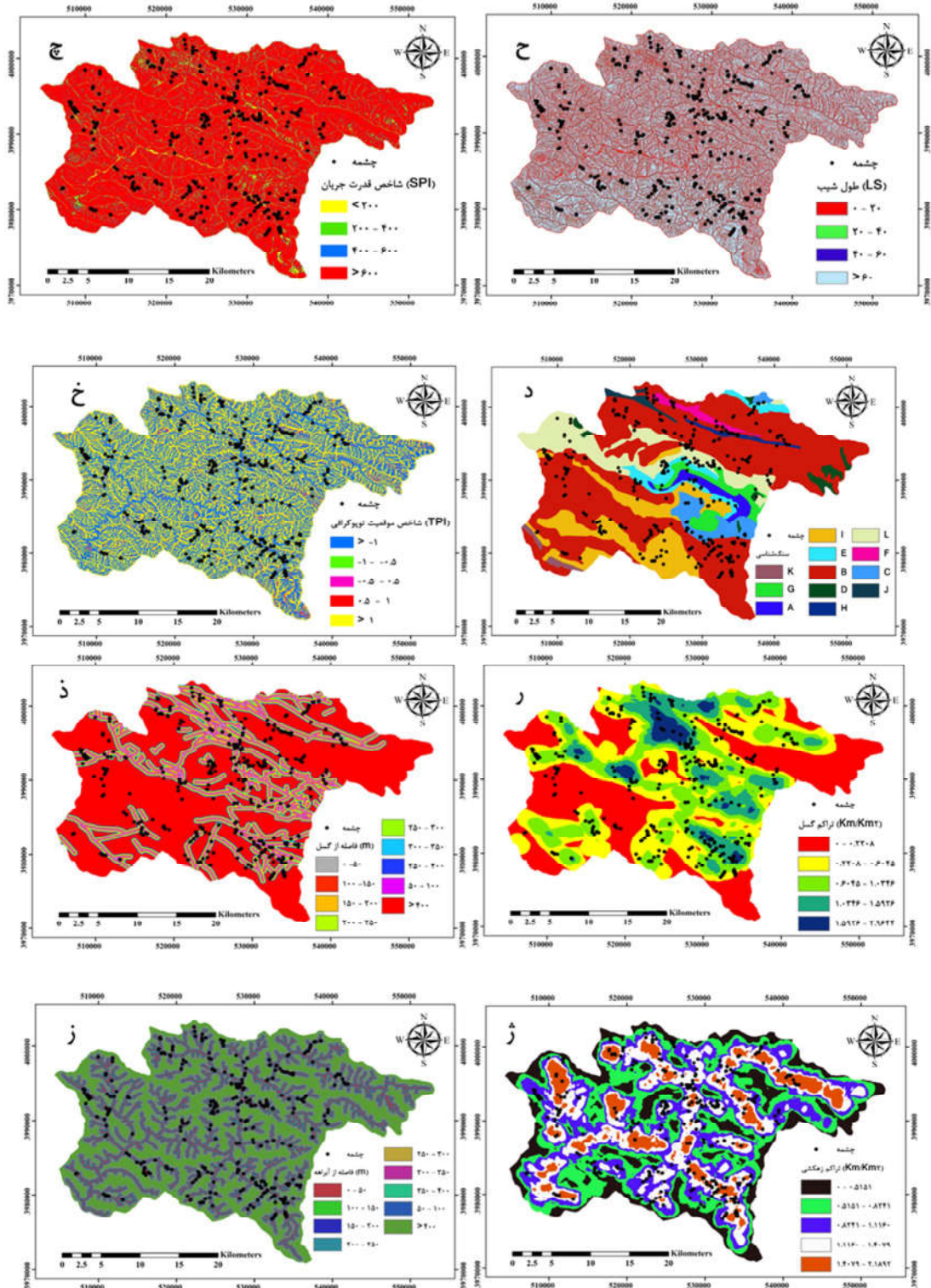
در این تحقیق، به منظور بررسی درستی مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی، از منحنی ROC استفاده شد و در نهایت، سطح زیر منحنی، که نشان‌دهنده دقت مدل است، به دست آمد. این منحنی از کارآمدترین روش‌ها در ارائه ویژگی‌های تشخیصی، شناسایی احتمالات و پیش‌بینی سیستم‌هاست که

۲-۲-۲- نتایج

نتایج به دست آمده از ارتباط مکانی بین مکان چشمه‌ها و هریک از عوامل مؤثر در رخداد آنها، که با استفاده از مدل وزنی شاهد محاسبه شده، در شکل ۲ و جدول ۱ ارائه شده است.



1. Receiver Operating Characteristics



شکل ۲. لایه‌های ورودی به مدل وزنی شاهد؛ ارتفاع (الف)، درجه شیب (ب)، جهت (پ)، انحناى پلان (ت)، انحناى پروفیل (ث)، شاخص رطوبت توپوگرافى (ج)، شاخص قدرت جریان (چ)، طول شیب (ح)، شاخص موقعیت توپوگرافى (خ)، سنگ‌شناسى (د)، فاصله از گسل (ذ)، تراکم گسل (ر)، فاصله از آبراهه (ز)، تراکم زهکشی (ز).

کاربرد نمایه‌های ژئومرفومتري در مدل‌سازی مکانی رخداد ...

جدول ۱. نتایج استفاده از مدل وزنی شاهد در منطقه مورد مطالعه

عامل	کلاس	تعداد پیکسل‌ها	تعداد چشمه‌ها	W+	W-	C	(W+) S2	(W-) S2	(C) S	(C) C/S	
ارتفاع (متر)	۱۶۰۰-۲۱۰۰	۱۲۶۲۶۲	۲۵	-۰/۱۱	-۰/۰۲	-۰/۱۳	-۰/۰۴	-۰/۰۲	-۰/۲۰	-۰/۶۶	
	۲۱۰۰-۲۴۰۰	۳۲۳۴۵۴	۱۵۶	-۰/۷۷	-۰/۲۴	۱/۰۲	-۰/۰۶	-۰/۰۳	-۰/۱۰	۱۰/۰۱	
	۲۴۰۰-۲۶۰۰	۲۹۱۱۹۶	۹۹	-۰/۴۲	-۰/۰۶	۰/۴۹	-۰/۰۱	-۰/۰۳	-۰/۱۱	۴/۲۷	
	۲۶۰۰-۲۹۰۰	۵۲۲۵۴۵	۱۰۰	-۰/۱۴	-۰/۱۳	-۰/۲۸	-۰/۰۱	-۰/۰۳	-۰/۱۱	-۲/۴۵	
	۲۹۰۰-۳۱۰۰	۲۹۰۶۶۲	۲۳	-۱/۰۳	-۰/۱۵	-۱/۱۸	-۰/۰۴	-۰/۰۲	-۰/۲۱	-۵/۵۱	
	۳۱۰۰-۳۴۰۰	۲۸۵۸۶۵	۶	-۲/۳۶	-۰/۱۸	-۲/۵۵	-۰/۱۶	-۰/۰۲	-۰/۴۱	-۶/۲۰	
	۳۴۰۰-۳۷۰۰	۱۹۴۴۶۰	۰	۰	-۰/۱۳	۰	۰	-۰/۰۲	۰	۰	
	۳۷۰۰-۴۳۶۸	۱۰۱۶۰۸	۰	۰	-۰/۰۶	۰	۰	-۰/۰۲	۰	۰	
	درجه شیب	۰-۵	۳۱۸۷۱	۲۲	۱/۲۸	-۰/۰۴	۱/۳۲	-۰/۰۴	-۰/۰۲	-۰/۲۱	۶/۰۳
		۵-۱۵	۱۳۶۲۴۷	۹۲	۱/۲۶	-۰/۱۸	۱/۴۵	-۰/۰۱	-۰/۰۳	-۰/۱۱	۱۲/۲۴
۱۵-۲۵		۳۷۶۳۴۷	۱۲۴	-۰/۵۴	-۰/۱۶	۰/۷۱	-۰/۰۸	-۰/۰۳	-۰/۱۰	۶/۶۰	
۲۵-۳۵		۹۷۰۹۸۶	۱۳۱	-۰/۳۵	-۰/۲۲	-۰/۵۷	-۰/۰۷	-۰/۰۳	-۰/۱۰	-۵/۳۸	
۳۵-۴۵		۵۵۶۳۵۸	۳۷	-۱/۵	-۰/۲۰	-۱/۲۶	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۱۷	-۷/۳۴	
<۴۵		۶۴۲۴۳	۳	-۱/۴۱	-۰/۰۲	-۱/۴۳	-۰/۳۳	-۰/۰۲	-۰/۵۷	-۲/۴۸	
صاف		۹۷۴۲	۴	۰/۲۹	-۰/۰۰۲	۰/۳۰	-۰/۲۵	-۰/۰۲	-۰/۵۰	۰/۶۰	
شمال		۲۸۰۸۵۶	۶۱	-۰/۳۳	-۰/۰۷	-۰/۴۱	-۰/۰۱	-۰/۰۲	-۰/۱۳	-۲/۹۶	
شمال شرق		۲۹۶۰۹۲	۶۳	-۰/۳۵	-۰/۰۸	-۰/۴۴	-۰/۰۱	-۰/۰۲	-۰/۱۳	-۳/۲۱	
شرق		۲۲۷۰۰۷	۵۲	-۰/۲۸	-۰/۰۴	-۰/۳۳	-۰/۰۱	-۰/۰۲	-۰/۱۴	-۲/۴۹	
جهت	جنوب شرق	۲۲۰۱۳۸	۴۲	-۰/۴۶	-۰/۰۷	-۰/۵۳	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۱۶	-۳/۳۰	
	جنوب	۳۰۹۳۵۱	۴۸	-۰/۶۷	-۰/۱۳	-۰/۸۱	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۱۵	-۵/۲۸	
	جنوب غرب	۳۲۰۴۰۴	۴۴	-۰/۷۹	-۰/۱۵	-۰/۹۵	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۱۵	-۵/۹۸	
	غرب	۲۴۴۴۵۵	۴۳	-۰/۵۴	-۰/۰۸	-۰/۶۳	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۱۶	-۳/۹۶	
	شمال غرب	۲۲۸۰۰۷	۵۲	-۰/۲۸	-۰/۰۵	-۰/۳۳	-۰/۰۱	-۰/۰۲	-۰/۱۴	-۲/۲۸	
	انحنای پلان	مقعر	۷۷۵۷۳۶	۲۱۸	۰/۳۸	-۰/۳۱	۰/۶۹	-۰/۰۴	-۰/۰۵	-۰/۰۹	۷/۰۰۱
		صاف	۴۵۹۸۰۸	۹۵	-۰/۰۷	-۰/۰۲	۰/۰۹	-۰/۰۱	-۰/۰۳	-۰/۱۱	۰/۸۳
		محدب	۹۰۰۵۰۸	۹۶	-۰/۵۸	-۰/۲۷	-۰/۸۶	-۰/۰۱	-۰/۰۳	-۰/۱۱	-۷/۴۱
		انحنای پروفیل	>-۰/۰۰۱	۱۰۴۷۲۷۶	۱۲۱	-۰/۵	-۰/۳۲	-۰/۸۲	-۰/۰۸	-۰/۰۳	-۰/۱۰
	-۰/۰۰۱-۰		۴۳۵۷۸	۱۲	-۰/۳۶	-۰/۰۰۹	۰/۳۷	-۰/۰۸	-۰/۰۲	-۰/۲۹	۱/۲۷
۰/۰۰۱-۰	۱۵۱۴		۰	۰	-۰/۰۰۰	۰	۰	-۰/۰۲	۰	۰	
<۰/۰۰۱	۱۰۴۳۶۸۴		۲۷۶	-۰/۳۲	-۰/۴۵	۰/۷۷	-۰/۰۳	-۰/۰۷	-۰/۱۰	۷/۳۴	
TWI	>۶	۳۰۶۱	۰	۰	-۰/۰۰۱	۰	۰	-۰/۰۲	۰	۰	
	۶-۸	۶۲۷۷۰۷	۳۴	-۱/۲۶	-۰/۲۶	-۱/۵۲	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۱۷	-۸/۵۱	
	۸-۱۰	۱۱۵۸۳۶۵	۱۵۸	-۰/۳۳	-۰/۲۹	-۰/۶۳	-۰/۰۶	-۰/۰۳	-۰/۱۰	-۶/۲۴	
	۱۰-۱۲	۲۵۵۹۸۹	۱۰۱	-۰/۷۲	-۰/۱۵	۰/۸۷	-۰/۰۹	-۰/۰۳	-۰/۱۱	۷/۶۶	
SPI	<۱۲	۹۰۹۳۰	۱۱۶	۱/۸۹	-۰/۲۸	۲/۱۸	-۰/۰۸	-۰/۰۳	-۰/۱۰	۱۹/۹۳	
	۲۰۰>	۷۷۰۳۷	۱۱	-۰/۲۹	-۰/۰۰۹	-۰/۳۰	-۰/۰۹	-۰/۰۲	-۰/۳۰	-۰/۹۹	
	۲۰۰-۴۰۰	۱۰۶۳۷۴	۱۶	-۰/۲۴	-۰/۰۱	-۰/۲۵	-۰/۰۶	-۰/۰۲	-۰/۲۵	-۰/۹۹	
	۴۰۰-۶۰۰	۱۳۵۰۷۲	۲۱	-۲۰	-۰/۰۱	-۰/۲۲	-۰/۰۴	-۰/۰۲	-۰/۲۲	-۰/۹۸	
<۶۰۰	۱۸۱۷۵۶۹	۳۶۱	-۰/۰۳	-۰/۲۳	-۰/۲۷	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۱۵	۱/۷۹		

حسین امامی و همکاران

ادامه جدول ۱.

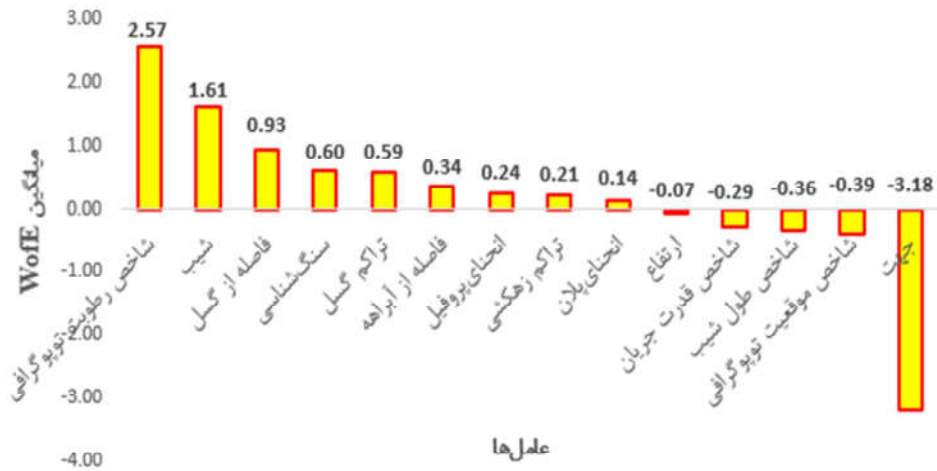
(C) C/S	(C) S	(W-) S2	(W+) S2	C	W-	W+	تعداد چشمه‌ها	تعداد پیکسل‌ها	کلاس	عامل
-۲/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹	-۰/۲۳	۰/۰۶	-۰/۱۶	۱۰۸	۶۶۶۹۲۴	۰-۲۰	LS
-۱/۱۳	۰/۱۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	-۰/۱۸	۰/۰۲	-۰/۱۶	۴۴	۲۶۹۶۷۲	۲۰-۴۰	
-۲/۲۴	۰/۱۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	-۰/۴۴	۰/۰۳	-۰/۴۱	۲۷	۲۱۲۷۵۳	۴۰-۶۰	
۴/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۴۰۳	۰/۲۰	۰/۱۹	۲۳۰	۹۸۶۷۰۳	<۶۰	
۱۴/۲۰	۰/۱۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۲/۲۲	-۱/۵۵	۰/۶۶	۳۶۳	۹۷۱۴۵۱	-۱>	TPI
-۱/۵۶	۰/۴۱	۰/۰۰۲	۰/۱۶	-۰/۶۴	۰/۰۱	-۰/۶۳	۶	۵۸۸۴۵	-۱--۰.۵	
-۲/۴۸	۰/۳۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹	-۰/۷۶	۰/۰۳	-۰/۷۲	۱۱	۱۱۸۹۵۴	-۰.۵-۰.۵	
.	.	۰/۰۰۲	.	.	۰/۰۲	.	.	۵۷۷۷۸	۰.۵-۱	
-۱۲/۱۰	۰/۱۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	-۲/۳۳	۰/۵۱	-۱/۸۱	۲۹	۹۲۹۰۲۴	<۱	
-۰/۹۵	۰/۴۵	۰/۰۰۲	۰/۲۰	-۰/۴۳	۰/۰۰۷	-۰/۴۲	۵	۳۹۸۹۳	(A) آبگمریت	سنگ شناسی
-۱/۴۵	۰/۰۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	-۰/۱۴	۰/۰۹	-۰/۰۵	۲۲۰	۱۲۰۸۴۷۲	آندزیت و (B) آذرآواری	
۲/۷۹	۰/۱۹	۰/۰۰۲	۰/۰۳۵	۰/۵۴۸	-۰/۰۲	۰/۵۱	۲۸	۸۶۹۸۰	آهک و (C) دولومیت	
.	.	۰/۰۰۲	.	.	۰/۰۱	.	.	۳۴۹۰۲	آهک و مارن (D)	
۲/۵۶	۰/۲۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۵۳	-۰/۰۲	۰/۵۰	۲۵	۷۸۸۰۰	آهک (E)	
۰/۶۹	۰/۳۸	۰/۰۰۲	۰/۱۴	۰/۲۶	-۰/۰۰۳	۰/۲۶	۷	۲۸۱۶۱	توف و (F) آندزیت	
-۲/۳۳	۰/۴۴	۰/۰۰۲	۰/۲۰	-۱/۵	۰/۰۲	-۱/۰۲	۵	۷۳۰۵۲	دولومیت (G)	
۷/۶۰	۰/۲۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۱/۷۴	-۰/۰۴	۱/۷۰	۲۰	۱۹۰۱۷	سنگ‌های آتشفشانی (H)	
-۲/۰۵	۰/۱۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	-۰/۳۳	۰/۰۴	-۰/۲۹	۴۲	۲۹۳۶۸۶	شیل (I)	
-۱/۲۴	۱	۰/۰۰۲	۱	-۱/۲۴	۰/۰۰۶	-۱/۲۳	۱	۱۷۹۶۴	کنگومرا، مارن و (J) ماسه‌سنگ	
.	.	۰/۰۰۲	.	.	۰/۰۰۶	.	.	۱۵۰۵۶	گرانیت (K)	
۱/۵۴	-۱/۱۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۲۲	-۰/۰۲	۰/۱۹	۵۶	۲۴۰۰۶۹	ماسه‌سنگ و شیل (L)	
۲/۰۸	۰/۱۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۳۶	-۰/۰۲	۰/۳۴	۳۵	۱۲۹۸۰۴	۰-۵۰	فاصله از گسل (m)
۳/۸۲	۰/۱۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۶۲	-۰/۰۴	۰/۵۷	۴۲	۱۲۳۵۴۷	۵۰-۱۰۰	
۲/۰۹	۰/۱۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۴۱	-۰/۰۲	۰/۳۸	۲۸	۹۹۲۶۷	۱۰۰-۱۵۰	
۳/۰۶	۰/۱۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۵۴	-۰/۰۳	۰/۵۰	۳۵	۱۱۰۲۳۱	۱۵۰-۲۰۰	
۰/۷۹	۰/۲۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۱۸	-۰/۰۰۸	۰/۱۷	۲۰	۸۷۷۶۶	۲۰۰-۲۵۰	
-۰/۲۰	۰/۲۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	-۰/۰۵	۰/۰۰۲	-۰/۰۴	۱۷	۹۳۲۷۴	۲۵۰-۳۰۰	
۲/۷۰	۰/۲۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۵۴	-۰/۰۲	۰/۵۲	۲۶	۸۰۶۳۴	۳۰۰-۳۵۰	
۰/۷۱	-۲/۲۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۱۷	-۰/۰۰۶	۰/۱۷	۱۷	۷۴۸۰۲	۳۵۰-۴۰۰	
-۶/۷۱	۰/۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	-۰/۶۶	۰/۳۶	-۰/۳۰	۱۸۹	۱۳۳۶۷۲۷	۴۰۰<	

ادامه جدول ۱.

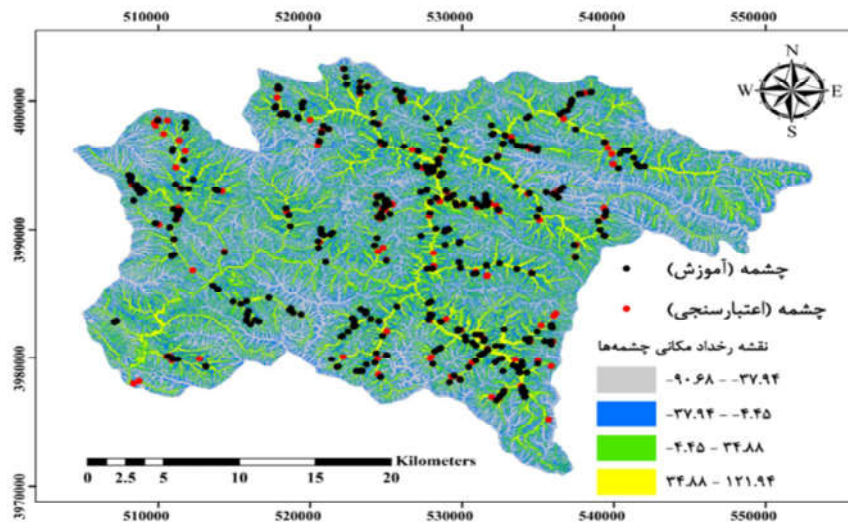
عامل	کلاس	تعداد پیکسل‌ها	تعداد چشمه‌ها	W+	W-	C	(W+) S2	(W-) S2	(C) S	(C) C/S
تراکم گسل (km/km ²)	۰-۰/۲۲۰۸	۷۳۶۷۰۷	۴۷	-۱/۰۹	۰/۳۰	-۱/۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۱۵	-۹/۰۲
	-۰/۶۰۴۵ ۰/۲۲۰۸	۵۹۱۱۰۰	۱۴۴	۰/۲۴	-۰/۱۱	۰/۳۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۱۰	۳/۳۸
	-۱/۰۳۴۶ ۰/۶۰۴۵	۴۹۲۵۲۸	۱۲۳	۰/۲۶	-۰/۰۹	۰/۳۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۰/۱۰	۳/۳۵
	-۱/۵۹۲۶ ۱/۰۳۴۶	۲۴۶۷۶۸	۸۲	۰/۵۵	-۰/۱۰	۰/۶۵	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۱۲	۵/۲۸
	-۲/۹۶۴۴ ۱/۵۹۲۶	۳۸۹۴۹	۱۳	-۰/۰۱	۰/۰۰۰۵	-۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۰۲	۰/۲۸	-۰/۰۵
فاصله از آبراه‌ها (m)	۰-۵۰	۲۱۴۶۳۹	۲۸۸	۱/۹۴	-۱/۱۱	۳/۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۱۰	۲۸/۲۴
	۵۰-۱۰۰	۲۰۱۹۱۲	۴۵	۰/۱۵	-۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۰۰۲	۰/۱۵	۱/۰۷
	۱۰۰-۱۵۰	۱۵۹۰۹۴	۳۲	-۰/۰۴	-۰/۰۴	۰/۰۵	-۰/۰۳	۰/۰۰۲	۰/۱۸	۰/۲۸
	۱۵۰-۲۰۰	۱۷۹۶۵۷	۱۵	-۰/۸۳	۰/۰۵	-۰/۸۸	۰/۰۶	۰/۰۰۲	۰/۲۶	-۳/۳۴
	۲۰۰-۲۵۰	۱۴۸۷۳۹	۱۰	-۱/۰۴	۰/۰۴	-۱/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۰۲	۰/۳۲	-۳/۴۱
	۲۵۰-۳۰۰	۱۶۰۹۲۲	۱۰	-۱/۱۲	۰/۰۵	-۱/۱۷	۰/۱۰	۰/۰۰۲	۰/۳۲	-۳/۶۸
	۳۰۰-۳۵۰	۱۴۳۴۸۶	۲	-۲/۶۲	۰/۰۶	-۲/۶۸	۰/۵۰	۰/۰۰۲	۰/۷۰	-۳/۷۸
	۳۵۰-۴۰۰	۱۳۴۴۹۷	۲	-۲/۵۵	۰/۰۶	-۲/۶۱	۰/۵۰	۰/۰۰۲	۰/۷۰	-۳/۶۹
	۴۰۰<	۷۹۳۱۰۶	۵	-۳/۴۱	۰/۴۵	-۳/۸۶	۰/۲۰	۰/۰۰۲	۰/۴۴	-۸/۵۹
	تراکم زهکشی (km/km ²)	۰-۰/۵۱۵۱	۳۶۸۶۷۳	۱۲	-۱/۷۷	۰/۱۵	-۱/۹۳	۰/۰۸	۰/۰۰۲	۰/۲۹
-۰/۸۲۴۱ ۰/۵۱۵۱		۵۳۶۰۴۹	۶۱	-۰/۵۲	۰/۱۲	۰/۶۴	۰/۰۱	۰/۰۰۲	۰/۱۳	-۴/۶۶
-۱/۱۱۶۰ ۰/۸۲۴۱		۵۲۳۷۸۱	۹۷	-۰/۰۳	۰/۰۱	-۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۱۱	-۰/۳۷
-۱/۴۰۷۹ ۱/۱۱۶۰		۴۸۱۱۴۸	۱۷۶	۰/۶۴	-۰/۳۰	۰/۹۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۹	۹/۵۶
-۲/۱۸۹۲ ۱/۴۰۷۹		۲۲۶۴۰۱	۶۳	۰/۳۷	-۰/۰۵	۰/۴۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۱۳	۳/۱۳

طبقه‌های دارای پتانسیل رخداد پایین، متوسط، بالا و خیلی بالا طبقه‌بندی شد (شکل ۳) (Ozdemir, 2011; Pourtaghi and Pourghasemi, 2014). بیشتر مساحت منطقه مورد مطالعه مربوط به طبقه متوسط است که ۳۵/۵۸٪ از کل منطقه را پوشش داده است. از سوی دیگر، منطقه‌های مربوط به طبقه کم، بالا و بسیار بالا، به ترتیب، ۲۸/۳۵٪ و ۱۲/۲۶٪ و ۹/۹۴٪ از منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۲).

میانگین وزن هریک از معیارهای مؤثر در مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی، برای منطقه مورد مطالعه، در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، عامل‌های جهت شیب و شاخص رطوبت توپوگرافی، به ترتیب، کمترین و بیشترین تأثیر را در رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی دارند. نقشه رخداد مکانی چشمه‌های آب زیرزمینی، که با استفاده از روش WofE تهیه شده است، به



شکل ۳. میانگین WofE هریک از معیارهای مؤثر در مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی



شکل ۳. نقشه رخداد مکانی چشمه‌های آب زیرزمینی با استفاده از مدل وزنی شاهد (WofE)

جدول ۲. کلاس‌های رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

پتانسیل رخداد چشمه	کلاس	مساحت (km ²)	مساحت (%)
کم	-۹۰/۶۸ - -۳۷/۹۴	۲۴۱/۳۵	۲۸/۳۵
متوسط	-۳۷/۹۴ - -۴/۴۵	۳۰۲/۸۶	۳۵/۵۸
زیاد	-۴/۴۵ - ۳۴/۸۸	۲۲۲/۳۱	۲۶/۱۲
بسیار زیاد	۳۴/۸۸ - ۱۲۱/۹۴	۸۴/۶۱	۹/۹۴

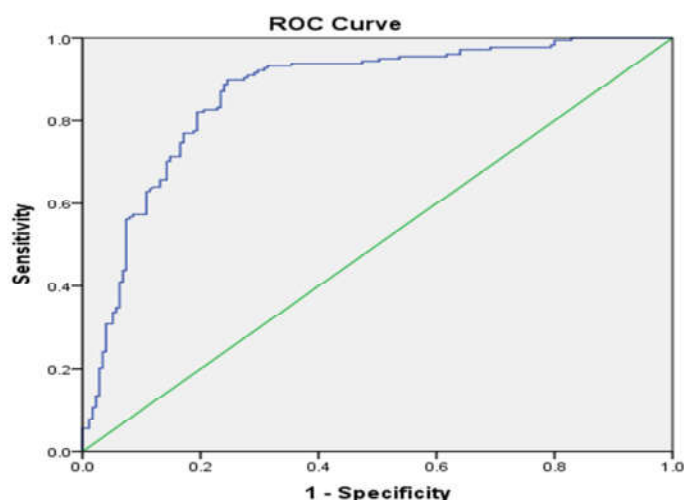
جدول ۳. نتایج محاسبه منحنی ROC

مساحت زیر منحنی	فواصل اطمینان مجانبی	
	حد بالایی	حد پایینی
۰/۸۶۶	۰/۹۰۵	۰/۸۲۷

۳- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج جدول ۱، تحلیل WofE ارتباط بین رخداد چشمه‌ها و ارتفاع نشان می‌دهد طبقه ارتفاعی ۲۴۰۰-۲۱۰۰ متر ($WofE = 1.0/0.1$) است که این نکته احتمال بسیار بالای رخداد چشمه‌ها در این طبقه ارتفاعی را می‌رساند. با افزایش ارتفاع، از این طبقه ارتفاعی به بعد، می‌بینیم که مقدار WofE کاهش می‌یابد و در طبقه‌های ارتفاعی ۳۷۰۰-۳۴۰۰ و ۴۳۶۸-۳۷۰۰، مقدار WofE به صفر می‌رسد. در طبقات بالایی ارتفاع، به دلیل تغذیه محدودتر و کم شدن سطح گیرش آب، اصولاً چشمه‌های کمتری مشاهده می‌شود. ارزیابی درجه شیب نشان می‌دهد که طبقه ۱۵-۵ درجه بالاترین مقدار ($WofE = 1.2/2.4$) را دارد و

دقت مدل با روش ROC بررسی شد. در روش ROC، سطح زیر منحنی (AUC) در محدوده ۰/۵ تا ۱، به‌منظور بررسی دقت مدل، استفاده می‌شود (Moore, 1991). در ارزیابی به‌روش ROC، هرچه سطح زیر منحنی بیشتر باشد، دقت مدل بیشتر است. مدل ایده‌آل مقدار AUC نزدیک به ۱ را نشان می‌دهد؛ در حالی که مقدار نزدیک به ۰/۵ بی‌دقتی در مدل را می‌رساند (Fawcett, 2006). ارتباط کیفی بین AUC و دقت پیش‌بینی را می‌توان بدین‌صورت طبقه‌بندی کرد: ۰/۹-۱ بسیار عالی، ۰/۸-۰/۹ بسیار خوب، ۰/۷-۰/۸ خوب، ۰/۶-۰/۷ متوسط و ۰/۵-۰/۶ ضعیف (Pourghasemi et al., 2013). نتایج پیش‌بینی منحنی‌ها در شکل ۴ و جدول ۳ نشان آمده است. با توجه به شکل و جدول یادشده، مشخص می‌شود مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی، با استفاده از مدل وزنی شاهد، $AUC = 0.866$ است که صحت پیش‌بینی آن با ۰/۸۶۶ تناسب دارد. بنابراین، می‌بینیم مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از مدل وزنی شاهد، دقت بسیار خوبی دارد.



شکل ۴. منحنی ROC به‌منظور ارزیابی مدل وزنی شاهد

1. Area Under the Curve

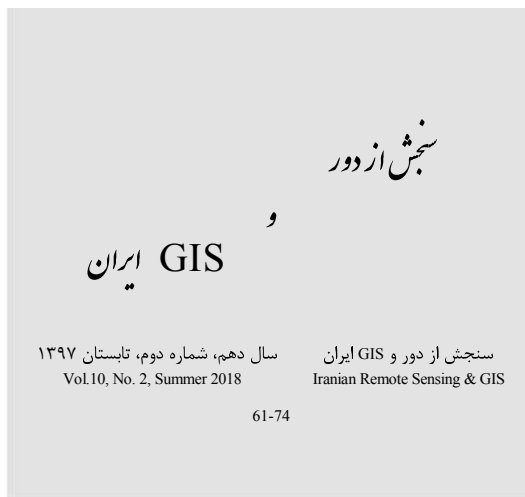
توپوگرافی (TWI) و طبقه > ۱- در عامل شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، به ترتیب، دارای بیشترین رابطه با رخداد مکانی چشمه‌های آب زیرزمینی‌اند. همچنین، در عامل شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، طبقه > ۱، در عامل تراکم گسل، طبقه ۰-۰/۲۲۰۸ و در عامل فاصله از رودخانه، ۴۰۰ متر >، به ترتیب، کمترین اهمیت را در مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی دارند. نتایج این تحقیق نشان داد دقت مدل وزنی شاهد (WofE) بسیار بالاست که این نکته با نتایج مطالعات ازدمیر (۲۰۱۱) و ال‌آبادی (۲۰۱۵) هم‌خوانی دارد.

با توجه به اینکه پیش‌بینی منابع آب زیرزمینی منطقه‌ها، از لحاظ پراکنش مکانی، مشکل است و به منابع اطلاعاتی متفاوتی نیاز دارد؛ مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی را می‌توان، با استفاده از عوامل گوناگون مکانی، پیش‌بینی کرد. این تحقیق نشان داد که استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های سنجش از دور (RS)، به همراه نمایه‌های ژئومرفومتر، برای پیش‌بینی منابع آب زیرزمینی با کمترین اطلاعات، امکان‌پذیر است. در نهایت، با توجه به این یافته‌ها، مشخص شد که دقت روش وزنی شاهد (WofE) در مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌ها بسیار زیاد است و می‌توان از این روش، به‌صورت کاربردی و با دقت بالا، در مطالعات چشمه‌های آب زیرزمینی بهره برد.

نظر به اینکه وجود منابع آب زیرزمینی، به‌ویژه چشمه‌های مناطق کارستی و آهکی سخت، در دوره‌های خشکسالی، از مطمئن‌ترین منابع برای تأمین آب شمرده می‌شود؛ با بهره‌گیری از نمایه‌های ژئومرفومتري می‌توان مناطق و سازندهای زمین‌شناسی مختلف را در زمینه تأمین منابع آب، اولویت‌بندی کرد. همچنین، مدل‌سازی مکانی رخداد چشمه‌های آب زیرزمینی می‌تواند به برنامه‌ریزان، در افزایش پتانسیل سرزمین، یاری برساند. با توجه به اهمیت آب زیرزمینی که در این پژوهش نیز به آن اشاره شد، پیشنهاد می‌شود محققان و پژوهشگران، در زمینه مدل‌سازی مکانی رخداد این منابع بارزش، از مدل‌های داده‌محور

پایین‌ترین مقدار (WofE = -۷/۳۴) به طبقه ۴۵-۳۵ درجه متعلق است. در شیب‌های بسیار زیاد، به‌دلیل افزایش بیش از حد سرعت جریان سطحی آب، نفوذپذیری بسیار کم است. در جهت صاف، کمترین مقدار چشمه‌ها را داریم ولی، به‌دلیل مساحت کمتر آن در مقایسه با دیگر طبقه‌ها، بیشترین مقدار WofE در این طبقه (WofE = ۰/۶) قرار دارد. در مورد پلان انحناء، نتایج نشان می‌دهد شکل مقعر، به‌دلیل نفوذ بیشتر آب حاصل از نزولات جوی، بالاترین مقدار (WofE = ۷) را دارد و شکل محدب، به‌دلیل نفوذ کمتر آب حاصل از نزولات جوی، دارای پایین‌ترین مقدار (WofE = -۷/۴۱) است. در مورد پروفیل انحناء، طبقه < ۰/۰۰۰۱ با مقدار WofE = ۷/۳۴، بیشترین مقدار را دارد. در مورد شاخص رطوبت توپوگرافی، در طبقه < ۱۲ (WofE = ۱۹/۹۳) و همچنین شاخص قدرت جریان، طبقه < ۶۰۰ (WofE = ۰/۷۹)، به‌دلیل رطوبت بیشتر، دارای بیشترین مقدار WofE هستند. در مورد طول شیب، بسیاری از چشمه‌ها در طبقه < ۶۰ (WofE = ۴/۰۴) رخ داده است. شاخص موقعیت توپوگرافی بالاترین مقدار (WofE = ۱۴/۲۰) در طبقه > ۱- را دارد. این نشان می‌دهد، در مناطق دره‌ای، احتمال رخداد چشمه‌ها بیشتر است. در سنگ‌شناسی، بالاترین مقدار WofE = ۷/۶۰ متعلق به گروه H (سنگ‌های آتشفشانی) است. ارتباط رخداد چشمه‌ها و فاصله تا گسل‌ها نشان می‌دهد فراوان‌ترین چشمه‌ها در طبقه ۱۰۰-۵۰ متر، با مقدار WofE = ۳/۸۲، جای می‌گیرند. با توجه به تراکم گسل، نتایج نشان داد که طبقه ۱/۵۹۲۶-۱/۰۳۴۶ بالاترین مقدار WofE = ۵/۲۸ را دارد. در مورد رابطه بین رخداد چشمه‌ها و فاصله تا آبراهه‌ها، برای طبقه ۵۰-۰ متر، WofE = ۲۸/۲۴ است. این نکته بیان می‌کند احتمال رخداد چشمه‌ها در این طبقه بیشتر است. با افزایش فاصله از آبراهه‌ها، احتمال رخداد چشمه‌ها کمتر می‌شود. تراکم زهکشی $1/1160 - 1/4079 \text{ km/km}^2$ بالاترین مقدار (WofE = ۹/۵۶) را داراست. این طبقه بیشترین رابطه را با رخداد چشمه‌ها دارد. می‌توان نتیجه گرفت که طبقه ۵۰-۰ متر در عامل فاصله از رودخانه، طبقه < ۱۲ در عامل شاخص رطوبت

- of Hydrological, Geomorphological and Biological Applications, Hydrol. Process, 5, PP. 3–30.
- 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**, J. Hydrol., 411(3–4), PP. 290–308.
- Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R. & Fatemi Aghda, S.M., 2013, **GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping with Probabilistic Likelihood Ratio and Spatial Multi-Criteria Evaluation Models (North of Tehran, Iran)**, Arab J. Geosci., doi: 10.1007/s12517-012-0825.
- Pourtaghi, Z.S. & Pourghasemi, H.R., 2014, **GIS-Based Groundwater Spring Potential Assessment and Mapping in the Birjand Township, Southern Khorasan Province, Iran**, Hydrogeol. J., doi: 10.1007/s10040-013-1089-6.
- Schmidt, J., Evans, I.S. & Brinkmann, J., 2003, **Comparison of Polynominal Models of for Land Surface Cuvature Calculation**, International Jorunal of Geographical Information Science, V. 178, P. 797–814.
- Shuin, Y., Hotta, N., Suzuki, M. & Ogwa, K., 2012, **Estimating the Effects of Heavy Rainfall Conditions on Shallow Landslide Using a Distributed Landslide Conceptual Model**, Physics and Chemistry of Earth, 49, PP. 44–55.
- Singh, A.K. & Prakash, S.R., 2003, **An Integrated Approach of Remote Sensing, Geophysics and GIS to Evaluation of Groundwater Potentiality of Ojhala Sub-Watershed, Mirjapur District, U.P., India**, <http://www.gisdevelopment.net>, Accessed on: 25 Aug. 2007.
- Wilson, J.P. & Gallant, J.C. (Eds.), 2000, **Terrain Analysis: Principles and Applications**, Wiley, New York, PP. 51–85.
- Weiss, A.D., 2001, **Topographic Position and Landforms Analysis**, Poster Presentation, ESRI Users Conference, San Diego, CA.
- مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان بهره بگیرند. همچنین شایان ذکر است که، برای دستیابی به دقت بیشتر، باید مناطق مؤثر و پایانه‌های شارژ آب چشمه‌ها، به‌همراه درجهٔ آسیب‌پذیری آنها، بیشتر بررسی شوند.
- ۴- سیاست‌گذاری**
- مراتب سیاست و ق‌دردانی خود را از شرکت مدیریت منابع آب ایران، به‌دلیل تأمین داده‌های لازم برای این تحقیق، ابراز می‌کنیم.
- ۵- منابع**
- Al-Abadi, A.M., 2015, **Groundwater Potential Mapping at Northeastern Wasit and Missan Governorates, Iraq Using a Data-Driven Weights of Evidence Technique in Framework of GIS**, Environ Earth Sci., 74, PP. 1109–1124.
- Arthur, J., Wood, H.A., Baker, A.E., Cichon, J.R. & Raines, G.L., 2007, **Development and Implementation of a Bayesian Aquifer Vulnerability Assessment in Florida**, Nat. Res., 16, PP. 93–107.
- Banks, D. & Robins, N., 2002, **An Introduction to Groundwater in Crystalline Bedrock**, Norges geologiske undersøkelse, Trondheim, P. 64.
- Bonham-Carter, G.F., 1994, **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS**, Pergamon, Ottawa.
- Fawcett, T., 2006, **An Introduction to ROC Analysis**, Pattern Recogn. Lett. 27(8). PP. 861–874.
- Lee, S., Kim, Y.S. & Oh, H.J., 2012, **Application of a Weights-of-Evidence Method and GIS to Regional Groundwater Productivity Potential Mapping**, Environ. Manag., 96(1), PP. 91–105.
- Moore, I.D. & Burch, G.J., 1986, **Sediment Transport Capacity of Sheet and Rill Flow: Application of Unit Stream Power Theory**, Water Res., 22(8), PP. 1350–1360.
- Moore, I.D., Grayson, R.B. & Ladson, A.R., 1991, **Digital Terrain Modeling: A Review**



Application Indexes Geomorphometry Groundwater Springs on Spatial Modeling Occurrence at Central Alborz Probable with the Approach Weights-of-Evidence

Emami, H.¹, Jafary, M.¹, Nazari Samani, A.^{*2}, Malekian, A.²

1. M.Sc. Student of Watershed Management Engineering, Dep. of Arid & Mountainous Region Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran
2. Associate Prof., Dep. of Arid & Mountainous Region Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

Abstract

Spatial modeling of the groundwater springs occurrences allowed the identification of new springs for drinking, agriculture and industry. The objective of this study was spatial modeling of the groundwater springs occurrences using the geomorphometry indexes affecting the groundwater springs occurrences and Weights-of-evidence control model and evaluating this model in Central Alborz. Generally, 584 springs were identified in the study area that 409 (70%) of them were utilized for training and 175 (30%) springs for validation of Weights-of-evidence control model. 14 important geomorphometry indexes including elevation, degree of slope, aspect, plan curvature, profile curvature, topographic wetness index, stream power index, slope length, topography position index, lithology, distance of faults, fault density, distance from rivers and drainage density were chosen in the form of Weights-of-evidence control model for spatial modeling of the groundwater springs occurrences. According to Weights-of-evidence control model, aspect and topographic wetness index had the lowest and the highest impact on the groundwater springs occurrences respectively. The map resulted from spatial modeling of groundwater springs occurrences were classified into 4 classes including the low, middle, high, and very high potential occurrences. The model was validated using ROC method, which the area under the curve was 0.866. This means the weights-of-evidence control model was accurate enough for estimating the spatial modeling of groundwater springs occurrences in Central Alborz.

Keywords: Spatial modeling, Groundwater springs, Weights-of-evidence, ROC, Geomorphometry, Central Alborz.

Correspondence Address: Dep. of Arid & Mountainous Region Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj.

Email: aknazari@ut.ac.ir