



پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی دشت ازنا - الیگودرز با استفاده از متغیرهای محیطی و مدل نسبت فراوانی

سمیرا قربانی نژاد^۱، مانیا دانش فر^{۲*}، امید رحمتی^۳، فاطمه فلاح^۱، علی حقی زاده^۴، ناصر طهماسبی پور^۴

۱. دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان

۲. دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد

۳. دانش آموخته دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان

۴. دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۳ خرداد ۱۳۹۵

پذیرش: ۲۳ اسفند ۱۳۹۵

دسترسی اینترنتی: ۱ شهریور ۱۳۹۶

واژه‌های کلیدی:

مدل نسبت فراوانی

پتانسیل آب‌های زیرزمینی

دشت ازنا - الیگودرز

اعتبارسنجی

سیستم اطلاعات جغرافیایی

چکیده

افزایش جمعیت و استفاده بیش از حد از منابع مختلف آبی، منجر به توجه ویژه به منابع آبهای زیرزمینی شده است. در این تحقیق، کارایی مدل نسبت فراوانی در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی دشت ازنا - الیگودرز استان لرستان مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا لایه‌های رقمی ۱۱ معیار مؤثر در پتانسیل آب‌های زیرزمینی (ارتفاع زمین، سنگ‌شناسی، انحنای سطح زمین، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، تراکم شبکه آبراه‌ها، فاصله از گسل، تراکم گسل، خاک‌شناسی و شاخص رطوبت توپوگرافی) در GIS تهیه گردید. تعداد ۳۷۰ چاه موجود در منطقه با آبدهی بیشتر از ۱۱ (مترمکعب بر ساعت) به عنوان چاه‌های دارای آبدهی مناسب انتخاب و لایه موقعیت رقمی آن‌ها به صورت تصادفی به گروه‌های آموزش (۷۰٪) و اعتبارسنجی (۳۰٪) تقسیم گردید. سپس لایه‌های مربوط به متغیرهای محیطی طبقه‌بندی و بر اساس تراکم چاه‌ها و مدل نسبت فراوانی، وزن هریک از کلاس‌ها تعیین گردید. در نهایت نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی بر اساس مدل نسبت فراوانی تهیه شد. صحت نقشه نهایی بر اساس روش منحنی راک (ROC) ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی تهیه شده بر اساس مدل نسبت فراوانی دارای ۷۲/۱٪ بوده که بیانگر قابلیت بالای این مدل در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی است. نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی منطقه نشان داد که کلاس‌های با پتانسیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۲۱۰/۷۹، ۲۱۰/۲۴، ۲۱۰/۲۹ و ۲۰۹/۲۴ کیلومتر مربع را به خود اختصاص داده‌اند. لذا استفاده از مدل نسبت فراوانی در این منطقه قابل اعتماد است.

* daneshfarmania@yahoo.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

کشور ایران با میانگین بارش ۲۵۰ میلی‌متر بارش سالانه یکی از کم‌آب‌ترین کشورهای جهان با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک است. در این شرایط ۶۵ درصد از مصرف آب در کشور از منابع آب‌های زیرزمینی تهیه می‌گردد. این در حالی است که از ۶۳۰ دشت کشور، ۲۲۰ دشت از نظر حفاظتی در رده دشت‌های ممنوعه قرار دارند (۳، ۴، ۵ و ۲۵). توزیع زمانی و مکانی نامناسب آب‌های موجود در سطح زمین، سبب استفاده روزافزون از منابع آب‌های زیرزمینی برای شرب، کشاورزی و صنعت شده است. آب‌های زیرزمینی با توجه به ویژگی‌های مثبتی هم چون: دمای ثابت، ترکیبات شیمیایی ثابت، آلودگی کمتر و نوسانات کمتر، در توسعه اقتصادی، سلامت جامعه و تنوع اکولوژیکی یک منطقه نقش بسزایی دارند (۲ و ۲۳). با توجه به اینکه استفاده از آب‌های زیرزمینی برای مقاصد و اهداف گوناگون به شدت رو به افزایش است و بیشتر آبخوان‌های آبرفتی و سفره‌های آب زیرزمینی با بهره‌برداری بیش‌ازحد مجاز روبه‌رو هستند، تعیین مناطق با پتانسیل‌های مختلف آب زیرزمینی مهم است زیرا این اطلاعات می‌تواند نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های مربوط به مناطق داشته باشد. با توجه به این نکته مهم که کشورهای در حال توسعه، همچون کشور ایران، با محدودیت‌های زیادی در دستیابی به اطلاعات هیدرولوژیکی و اداکیکی مواجه هستند، جایگاه مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System) بیش‌ازپیش بر همگان روشن می‌شود. مدل‌های مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی، می‌تواند با داشتن اطلاعاتی از عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی همچون، عوامل هیدرو ژئولوژی، هیدرولوژی، توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه به پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف بپردازد. محققین زیادی در ارزیابی پتانسیل آب‌های زیرزمینی از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کرده‌اند و اغلب به این نتیجه رسیده‌اند که عواملی نظیر؛ خطوط گسل و شکستگی‌ها، تراکم شبکه زهکشی، ژئومورفولوژی،

زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، بافت خاک و شدت بارندگی عوامل مؤثر در پراکندگی آب‌های زیرزمینی می‌باشند (۸، ۲۱، ۲۲ و ۲۳). گودرزی و همکاران (۹) با استفاده از مدل‌سازی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش سلسله مراتبی، به تعیین مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی دشت اشترینان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که ۱۷ درصد منطقه دارای شرایط کاملاً مناسب، ۲۱ درصد مناسب، ۳۱ درصد متوسط، ۱۸ درصد نامناسب و ۱۳ درصد کاملاً نامناسب جهت تغذیه مصنوعی است. حاجی عزیز و همکاران (۱) با استفاده از روش سلسله مراتبی به انتخاب محل مناسب جهت احداث سد زیرزمینی در شهرستان تفت در استان یزد پرداختند. در این تحقیق با استفاده از روش سلسله مراتبی و به دو روش مکانی و غیر مکانی و با در نظر گرفتن معیارهای ارزیابی، پنج محل مناسب در منطقه جهت احداث سد زیرزمینی تعیین گردید. طباطبایی و امیری (۶) نیز با استفاده از روش سلسله مراتبی به مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی در بوشهر پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند به‌عنوان سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری در ساخت نیروگاه مؤثر باشد. از جمله روش‌هایی که در پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی بکار گرفته شده، روش نسبت فراوانی (Frequency ratio) است. این روش، یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها در پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی است. نتایج کار بسیاری از محققین بیانگر دقت بالای روش نسبت فراوانی در پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی است. مناپ و همکاران (۲۱) در مناطقی از کشور مالزی به بررسی پتانسیل آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل نسبت فراوانی و سنجش‌ازدور پرداختند. نتایج تحقیق با میزان همبستگی ۸۴/۷۸ درصد بیانگر دقت بالای نقشه نهایی پتانسیل‌یابی است. مقدم و همکاران (۲۲) دریافتند که با به‌کارگیری مدل نسبت فراوانی، در بررسی پتانسیل آب زیرزمینی در چشمه‌های حوزه آبخیز طالقان، میزان دقت پتانسیل آب‌های زیرزمینی در حوزه آبخیز طالقان، میزان دقت ۷۵/۹۹ درصد نشان‌دهنده دقت بالای مدل مذکور در تعیین پتانسیل آب‌های زیرزمینی در حوزه آبخیز طالقان است. محمدنژاد و همکاران (۱۱) با به‌کارگیری سیستم اطلاعات

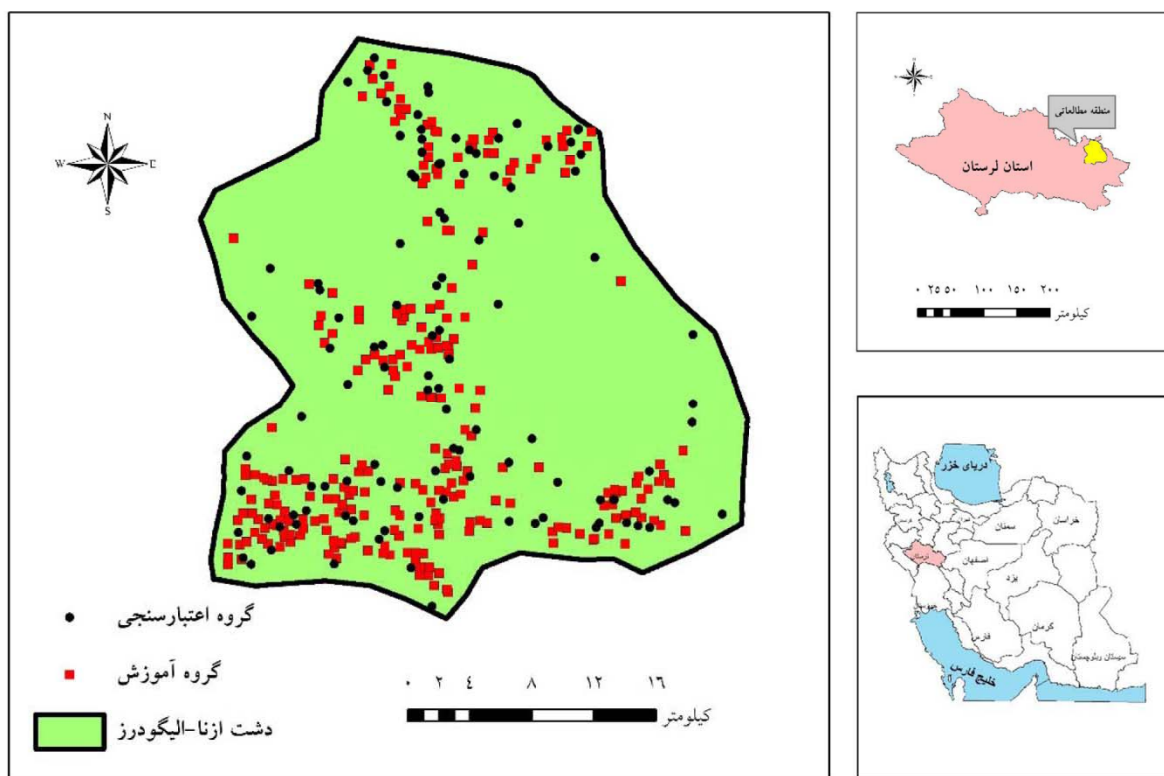
از آبرفت‌ها و نیز مناطق کم باران و فاقد پوشش گیاهی به عنوان بدترین نقاط جهت تغذیه آب زیرزمینی ارزیابی شدند. هدف از این تحقیق، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی دشت ازنا - الیگودرز با استفاده از متغیرهای محیطی و مدل نسبت فراوانی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت ازنا - الیگودرز در شمال شرق استان لرستان بین طول‌های جغرافیایی ۲۳' ۴۹° تا ۲۲' ۴۹° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۰' ۳۳° تا ۴۰' ۳۳° شمالی قرار دارد. مساحت دشت مذکور ۸۱۱/۰۲۶ کیلومترمربع و حداکثر ارتفاع منطقه ۲۵۹۶ متر و حداقل آن ۱۸۲۲ متر است. متوسط بارش سالانه این دشت ۴۰۰ میلی‌متر و متوسط دمای آن ۱۲/۴ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۱).

جغرافیایی و مدل عامل چند تأثیری (Multi influencing factors)، به تهیه نقشه مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی در شهرستان ارومیه پرداختند. نتایج حاکی از پتانسیل بالای آب‌های زیرزمینی در مناطقی با رسوبات کواترنری و تراکم بالای شبکه زهکشی است. ماه‌گلی و همکاران (۱۰) به بررسی پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در سازندهای سخت با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور در شمال حسینیه (مرز بین استان لرستان و خوزستان)، پرداختند. نتایج که با استفاده از روش همپوشانی وزنی به دست آمد، نشان‌دهنده پتانسیل متفاوت منطقه برای آب‌های زیرزمینی می‌باشد. موسوی و همکاران (۱۲) با تلفیق سنجش از دور و GIS به پتانسیل‌یابی مناطق مناسب جهت تغذیه آب زیرزمینی در محدوده تاق‌دیس کمستان پرداختند. نتایج بیانگر این بود که در مناطقی با سازندهای سخت شکسته شده، آبرفت‌ها و نیز اگر کانال رودخانه همراه با پوشش گیاهی باشد، بهترین مناطق و مناطقی با سازندهای گچی، مارنی، سیلستونی، شیل و بخشی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت ازنا-الیگودرز و موقعیت چاه‌های منطقه

(با قدرت تفکیک ۳۰ متر) در محیط نرم‌افزار ArcGIS[®] 10.2 تهیه و در پنج کلاس (۱۸۸۵-۱۸۲۰، ۱۸۲۰-۱۷۳۰، ۱۷۳۰-۱۶۶۰، ۱۶۶۰-۲۰۳۵ و بیشتر از ۲۰۳۵ متر) طبقه‌بندی گردید (شکل ۳-الف).

جهت شیب با توجه به نقشه مدل رقومی ارتفاع در محیط نرم‌افزار ArcGIS[®] 10.2 به دست آمد. این نقشه در نه کلاس، طبقه‌بندی گردید (شکل ۳-ب).

شیب تععر و تحدب شیب در ضریب رواناب و نفوذپذیری نقش مهمی دارند. گرادبان هیدرولیکی، جهت حرکت آب زیرزمینی و محل تشکیل آبخوان نیز هر عوامل وابسته به ارتفاع و شیب است. البته باید توجه داشت که انطباق تقریبی طبقات ارتفاعی و شیب با یکدیگر باعث می‌شود که سیستم جریان آب زیرزمینی در اغلب موارد متأثر از شیب باشد (۱۱). بدیهی است که شیب زیاد موجب افزایش سرعت رواناب و به تبع آن کاهش نفوذ می‌شود و شیب کم باعث کاهش سرعت رواناب سطحی و افزایش نفوذ و تغذیه آب زیرزمینی می‌گردد (۱۳). جهت تهیه نقشه شیب، مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۳۰ متر و در محیط نرم‌افزار ArcGIS[®] 10.2 بکار گرفته شد. سپس نقشه شیب به دست آمده در هفت کلاس ۱-۰/۳، ۱-۱/۵، ۲-۱/۵، ۳-۲، ۴-۳، ۵-۶، ۶-۷ و بیش‌تر از ۶ درصد طبقه‌بندی گردید (شکل ۳-پ).

انحنای سطح زمین در تجزیه و تحلیل‌های محیطی اهمیت زیادی دارد. نقشه انحنای سطح زمین بر اساس مدل رقومی ارتفاع در محیط نرم‌افزار ArcGIS[®] 10.2 در سه طبقه مقعر، محدب و مسطح به دست آمد (شکل ۳-ت).

فاصله از رودخانه بر اساس لایه رقومی شبکه آبراهه در دشت ازنای-الیگودرز در نرم‌افزار ArcGIS[®] 10.2 تهیه گردید. این نقشه در نهایت به پنج طبقه ۰-۳۰۰، ۳۰۰-۶۹۰، ۶۹۰-۱۲۱۰، ۱۲۱۰-۲۰۲۵ و بیشتر از ۲۰۲۵ متر طبقه‌بندی گردید (شکل ۳-ث).

تراکم رودخانه الگو و تراکم شبکه زهکشی توسط سنگ‌های بستر تعیین می‌گردد. تراکم زهکشی رابطه معکوسی با میزان نفوذپذیری دارد. تراکم بالای شبکه زهکشی بیانگر

انتخاب عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی در ابتدا دوازده لایه مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی شامل؛ لایه ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، لیتولوژی، خاک، کاربری اراضی، تراکم شبکه آبراهه، فاصله از شبکه آبراهه، تراکم گسل، فاصله از گسل و شاخص رطوبت توپوگرافی (Topographic wetness index) تهیه گردید. بر اساس بررسی منابع مختلف، ارتفاع با تأثیر در نوع و میزان بارش دریافتی، جهت شیب با تأثیرگذاری در میزان تشعشعات دریافتی و تبخیر آب از سطح خاک، شیب با اثرگذاری در سرعت حرکت، جریان رواناب و میزان نفوذ آب‌های سطحی، انحنای سطح با توجه به اهمیت در تجزیه و تحلیل‌های محیطی، تراکم شبکه زهکشی با ارتباط معکوس خود با میزان نفوذپذیری، لایه زمین‌شناسی به دلیل تأثیر سازندهای زمین‌شناسی در تخلخل، نفوذپذیری اولیه و تمرکز جریان‌های آب زیرزمینی در داخل سنگ‌ها، نوع بافت خاک و کاربری اراضی به دلیل تأثیر مستقیم در میزان نفوذپذیری، تراکم گسل‌ها به دلیل ارتباط بین نفوذ آب‌های سطحی و سیستم درز و شکاف سنگ‌ها و شاخص رطوبت توپوگرافی با توجه به کمی کردن کنترل توپوگرافی بر روی فرآیندهای هیدرولوژیکی، عوامل مستقل تأثیرگذار بر پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید و همچنین دامنه کلاس‌های عوامل مستقل نیز با توجه به تغییرات مکانی عوامل مستقل و بررسی منابع علمی موجود تهیه گشت (۱۵، ۱۷، ۱۹، ۲۱ و ۲۴). در نقشه شیب، جهت شیب، انحنای سطح زمین (Curvature) و شاخص رطوبت توپوگرافی لایه‌هایی بودند که از مدل رقومی ارتفاع (DEM) حاصل شدند. نقشه تراکم شبکه آبراهه و فاصله از شبکه آبراهه نیز از نقشه مدل رقومی ارتفاع حاصل شدند. در شکل ۲ مراحل تحقیق ارائه شده است.

ارتفاع توپوگرافی در تعیین جهت و سرعت حرکت رواناب‌های سطحی و پراکندگی آب‌های زیرزمینی نقش مهمی دارد. هم‌جهت شدن شیب توپوگرافیکی و شیب ساختمانی در تغذیه و جابه‌جایی سفره‌های آب زیرزمینی تأثیر زیادی دارد. در این تحقیق نقشه ارتفاع بر اساس مدل رقومی ارتفاع

جریان آب‌های زیرزمینی به تخلخل و نفوذپذیری سنگ‌بستر نیز وابسته است. سنگ‌هایی با تخلخل زیاد به تبع نفوذپذیری بالایی دارند. ظرفیت نفوذ آب در سنگ‌ها معمولاً از فرآیندهایی هوازدگی، سختی سنگ و میزان درز و شکاف آن‌ها می‌گردد (۴، ۱۱، ۱۶ و ۲۹). نقشه سنگ‌شناسی با استفاده از نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی کشور در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه گردید. نقشه سنگ‌شناسی منطقه دریاچه کلاس طبقه‌بندی گردید (شکل ۳-خ).

خاکشناسی نفوذ آب در خاک به عواملی مانند بافت و ساختمان خاک، پوشش گیاهی و شیب زمین بستگی دارد. نفوذ آب به داخل خاک در زمین‌های رسی و سیلتی بسیار اندک است (۷). این نقشه با توجه به نقشه خاک ایران، در دو طبقه انتی سول و اینسپتی سول طبقه‌بندی گشت (شکل ۳-د).

کاربری اراضی نقش مهمی در میزان نفوذ آب دارد. اراضی مرتعی و اراضی کشاورزی دارای نفوذپذیری بیشتری نسبت به مناطق شهری و مسکونی هستند. مناطق شهری و مسکونی به دلیل سطوح نفوذناپذیر متعددی که دارند دارای نفوذپذیری بسیار کمی هستند (۱۱). نقشه کاربری اراضی منطقه بر اساس نقشه کاربری اراضی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ تهیه گردید. این نقشه به کلاس‌های مختلف باغ، کشاورزی، مرتع، مناطق شهری و آب طبقه‌بندی شد (شکل ۳-ذ).

شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) شاخصی مؤثر در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی است. این شاخص از رابطه ۱ تعیین گردید.

$$TWI = \ln\left(\frac{As}{S}\right) \quad [1]$$

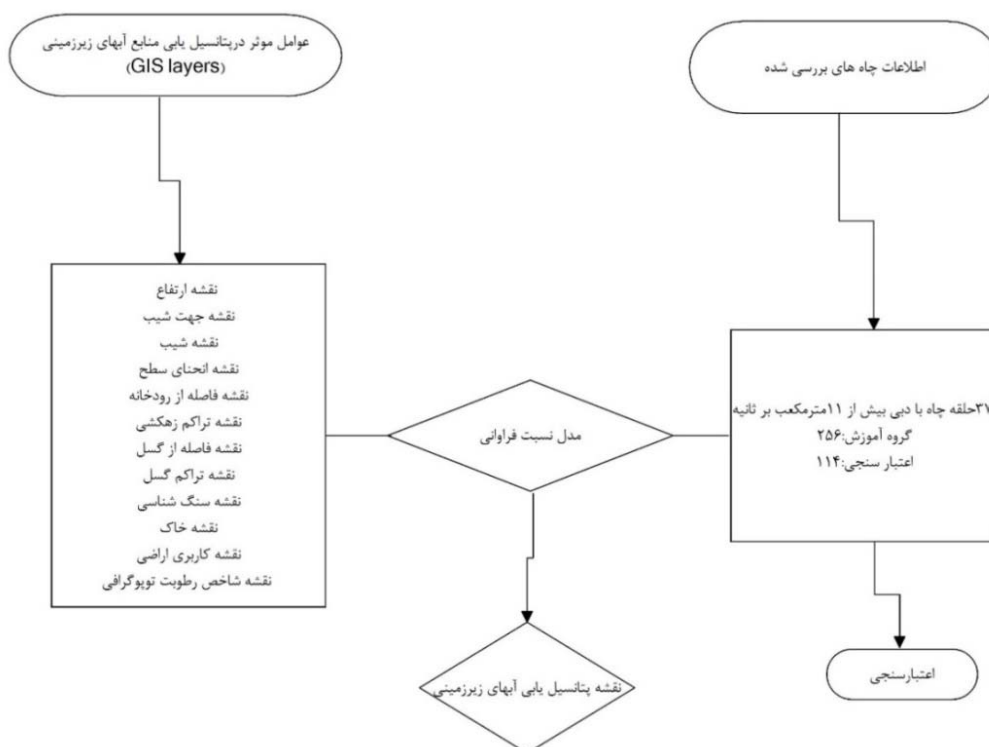
در این رابطه؛ As و S به ترتیب بیانگر سطح ویژه حوزه آبخیز و درصد شیب زمین است. پس از تهیه نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، این نقشه در سه کلاس طبقه‌بندی گردید (شکل ۳-ر).

تمرکز آب به صورت رواناب و کاهش نفوذ است. از طرفی می‌توان گفت که وجود تراکم بالای شبکه زهکشی می‌تواند نشان‌دهنده سازندهایی با استعداد ایجاد جریان‌های متعدد باشد (۱ و ۱۴). واحدهای زمین‌شناسی، توپوگرافی و ساختارهای تکتونیکی و زمین‌شناسی نوع شبکه زهکشی هر منطقه را معین می‌کنند (۱۰). نقشه تراکم رودخانه‌های دشت ازنا-لیگودرز بر اساس نقشه رقوم شبکه آبراهه‌ها در این دشت در پنج طبقه ۰/۱-۰/۴، ۰/۴-۰/۶، ۰/۶-۰/۸، ۰/۸-۰/۱۰ و ۰/۱۰-۰/۱۲ کیلومتر طبقه‌بندی گردید (شکل ۳-ج).

فاصله از گسل این نقشه بر اساس نقشه رقوم گسل‌های استان لرستان در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه گردید. این نقشه در پنج کلاس ۰-۱۰۶۰، ۱۰۶۰-۲۶۶۰، ۲۶۶۰-۴۶۷۰، ۴۶۷۰-۷۴۷۰ و بیشتر از ۷۴۷۰ متر طبقه‌بندی گردید (شکل ۳-چ).

تراکم گسل هدف از این نقشه درک ارتباط بین نفوذ آب‌های سطحی و سیستم درز و شکاف سنگ‌ها است. در سطح سنگ‌های سخت نفوذ آب تا حد زیادی وابسته به گسترش و توسعه سیستم درز و شکاف‌ها است. گسل‌ها نقاط مناسب نفوذ آب و تشکیل سفره‌های آب زیرزمینی هستند. گسل‌ها به‌ویژه در سازندهای سخت و آهکی پارامتر مثبتی در تغذیه آبخوان‌ها است (۱۰، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۲۶، ۲۷ و ۲۸). نقشه تراکم گسل با توجه به لایه رقوم گسل‌های استان لرستان، تهیه گردید. این نقشه به چهار کلاس ۰/۰۵-۰/۱۴، ۰/۱۴-۰/۲۵، ۰/۲۵-۰/۴۱ و بیشتر از ۰/۴۱ کیلومتر طبقه‌بندی گردید (شکل ۳-ح).

سنگ‌شناسی لایه زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی یا لیتولوژی تأثیر غیرقابل‌انکاری در تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی دارد. لایه زمین‌شناسی به دلیل تأثیر سازندهای زمین‌شناسی با بافت‌ها، درجه خلوص سنگ‌ها در تخلخل، نفوذپذیری اولیه و تمرکز جریان‌های آب زیرزمینی در داخل سنگ‌ها در تغذیه بسیار مؤثر است. حتی بسیاری از مطالعات حاکی از اثر غیرقابل‌انکار لیتولوژی بر الگو و تراکم زهکشی است. وجود و



شکل ۲. مراحل انجام تحقیق

بررسی آمار چاه‌های دشت ازنا-الیگودرز

به منظور پتانسیل یابی آب زیرزمینی منطقه مطالعه، نقشه موقعیت چاه‌های دشت مذکور در نرم افزار ArcGIS[®] 10.2 تهیه گردید. تعداد چاه‌های موجود در این دشت ۳۷۰ حلقه چاه با دبی بیش از ۱۱ مترمکعب بر ثانیه است که بر اساس منابع علمی، دبی ۱۱ مترمکعب بر ثانیه به عنوان مبنایی برای انتخاب چاه‌های دشت مذکور انتخاب گردید (۱۵، ۱۷ و ۲۱). در این تحقیق، این چاه‌ها به صورت تصادفی به دو گروه آموزش و اعتبارسنجی تقسیم شد. هفتاد درصد چاه‌ها یعنی ۲۵۶ حلقه چاه برای گروه آموزش و سی درصد باقی مانده یعنی ۱۱۴ حلقه چاه برای گروه اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. موقعیت چاه‌های گروه آموزش و گروه اعتبارسنجی در شکل ۴ ارائه شده است.

تعیین نسبت فراوانی عوامل مؤثر و تهیه نقشه پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی

در این تحقیق، مجموعه چاه‌های گروه آموزش به عنوان

متغیر وابسته و سایر عوامل از جمله؛ ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحناى سطح، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل، تراکم گسل، سنگ شناسی، خاک، کاربری اراضی و شاخص رطوبت توپوگرافی به عنوان متغیرهای مستقل برای اجرای مدل نسبت فراوانی در نظر گرفته شدند. سپس با استفاده از مدل نسبت فراوانی (FR)، برای هر کلاس از تمامی عوامل مؤثر در پتانسیل یابی، نسبت فراوانی محاسبه شد.

بعد از تهیه لایه‌های مذکور این لایه‌ها طبقه بندی شدند. سپس تعداد پیکسل‌های هر کلاس برای هر لایه و تعداد چاه‌هایی که در آن کلاس قرار می‌گیرند مشخص گردید. با داشتن تعداد پیکسل‌های هر کلاس و مجموع تعداد پیکسل‌ها، درصد پیکسل در هر طبقه محاسبه و با داشتن تعداد چاه‌ها در هر کلاس و مجموع تعداد چاه‌ها، درصد چاه‌ها در هر کلاس تعیین گردید. از نسبت درصد چاه به درصد پیکسل‌ها در هر کلاس، نسبت فراوانی برای هر کلاس محاسبه گردید. با داشتن نسبت فراوانی محاسبه شده برای هر کلاس از هر کدام از لایه‌ها، اقدام به وزن دهی لایه‌ها شد. در نهایت با تلفیق همه لایه‌ها،

در این رابطه؛ X_i میزان مثبت کاذب برای سناریو i و Y_i میزان مثبت واقعی برای سناریوی i است و n تعداد سناریوها است. جهت اعتبارسنجی نقشه نهایی پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در دشت ازنا- الیگودرز، از مجموعه‌ای از داده‌ها که در مدل بکار گرفته نشده‌اند، استفاده گردید. در این بخش نقشه ۱۱۴ حلقه چاه که در پتانسیل‌یابی استفاده نشده‌اند، با نقشه‌ی پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در دشت مذکور روی هم گذاری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس برای اعتبار سنجی دقت نقشه نهایی از روش منحنی Receiver Operating Characteristic (Area under curve)، بیانگر میزان دقت نقشه نهایی به صورت کمی است. سطح زیرپوشش هر نمودار بیانگر توانایی مدل در پیش‌بینی درست است. در بهترین شرایط و یک حالت ایده‌آل مقدار زیر نمودار برابر یک خواهد بود. این شاخص یک شاخص مناسب برای ارزیابی صحت مدل است (۵).

نتایج

نقشه‌های عوامل ورودی مدل نسبت فراوانی

نقشه عوامل ورودی مدل نسبت فراوانی شامل؛ ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل، تراکم گسل، سنگ‌شناسی، خاک، کاربری اراضی و شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، تهیه گردید (شکل ۳). پس از تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته بین عوامل محیطی (ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل، تراکم گسل، سنگ‌شناسی، خاک، کاربری اراضی و شاخص رطوبت توپوگرافی) و اطلاعات چاه‌های دشت ازنا- الیگودرز، وزن هر کلاس محاسبه گردید (جدول ۱).

نقشه نهایی پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی با استفاده از مدل نسبت فراوانی به دست آمد.

$$w = \frac{\omega_i}{\varphi_i} \quad [2]$$

که در این رابطه؛ ω_i درصد چاه‌های قرارگرفته در کلاس i و φ_i درصد پیکسل‌های کلاس i در کل دشت که از رابطه‌های ۳ و ۴ محاسبه گردید.

$$\omega_i = \frac{n}{N} \times 100 \quad [3]$$

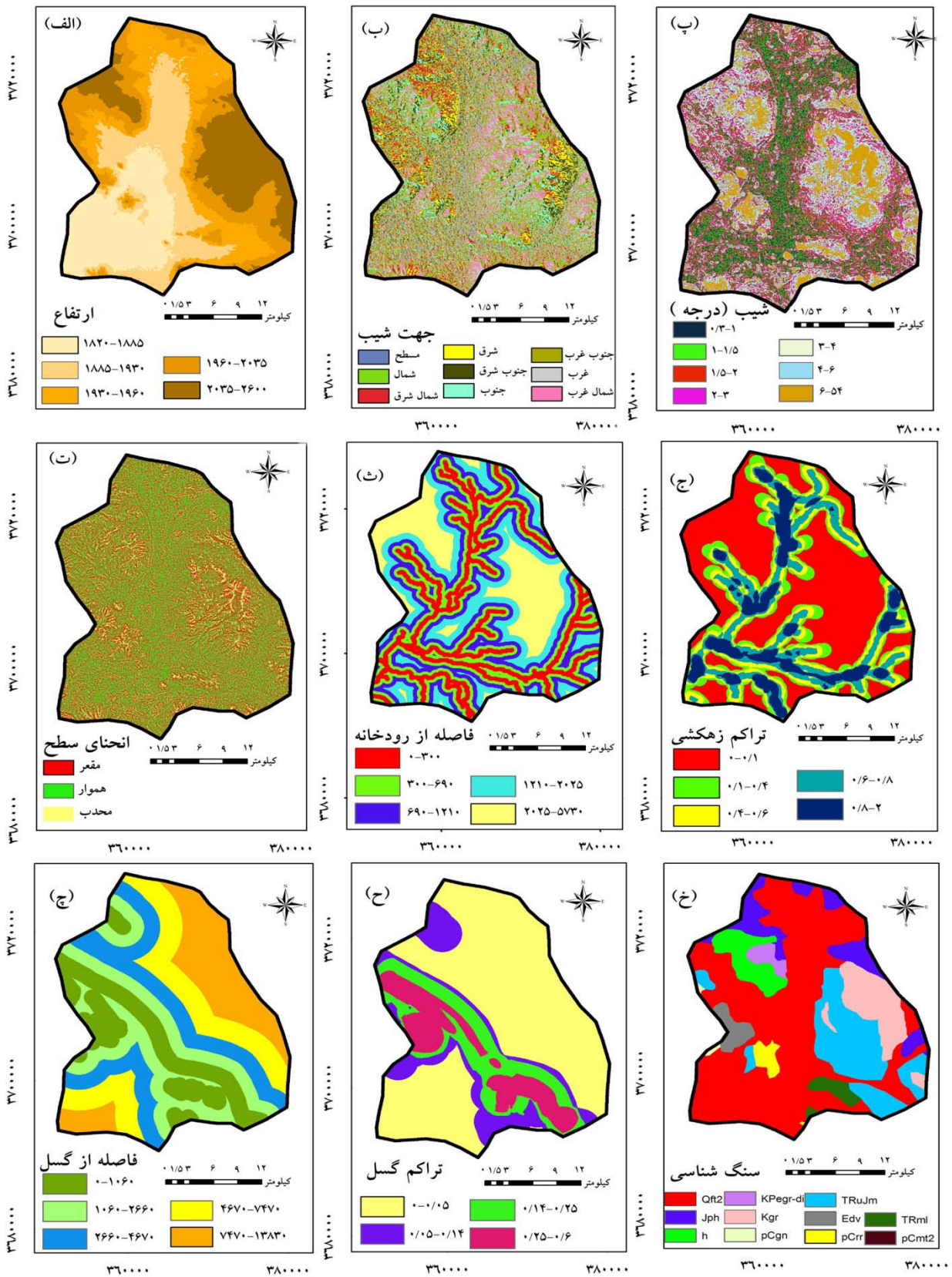
$$\varphi_i = \frac{a}{A} * 100 \quad [4]$$

در این رابطه‌ها؛ n تعداد چاه در کلاس i ، N تعداد کل چاه‌ها، a تعداد پیکسل‌های کلاس i و A تعداد کل پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه است (۱۳، ۲۱ و ۲۲). در نهایت وزن‌های به‌دست آمده برای هر کلاس در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، در تمامی لایه‌ها اعمال گردید و با به‌کارگیری تابع رویهم گذاری، نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی منطقه، تهیه گردید.

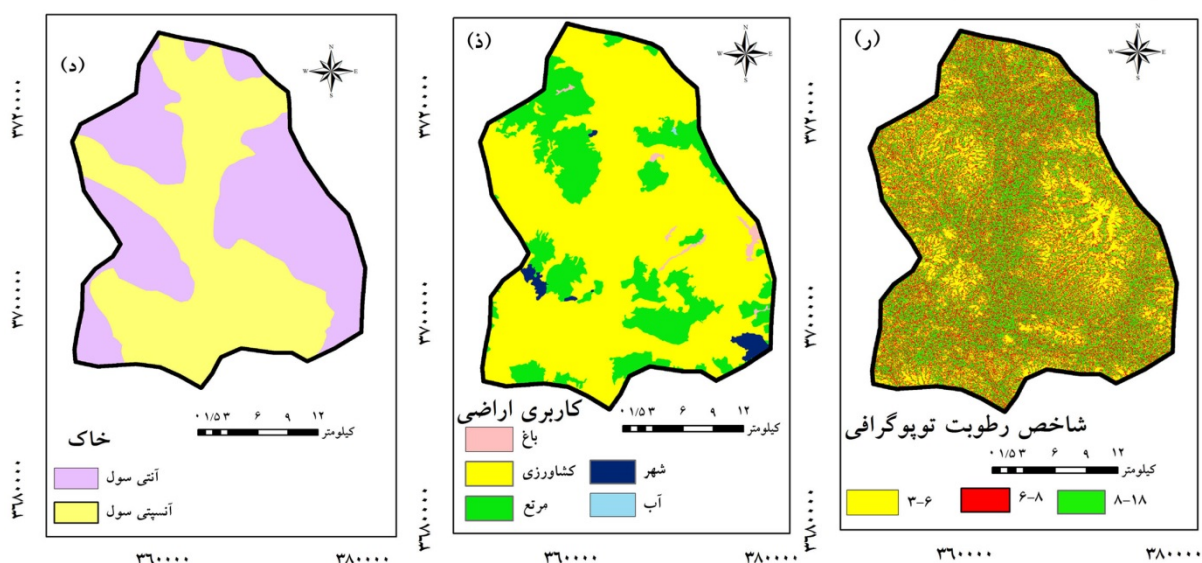
اعتبارسنجی نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی

صحت نقشه نهایی مکان‌های مناسب پرورش میگو با استفاده از روش منحنی عامل نسبی (Relative Operating Characteristic; ROC) ارزیابی گردید. راک یک عامل نسبی است که موقعیت وقوع یک کلاس در مقایسه با نقشه واقعیت زمینی به روش بولین نشان داده می‌شود و درست نمایی آن کلاس را مشخص می‌کند. در این روش سطح زیر منحنی نموداری است که محور عمودی آن درصد مثبت واقعی و محور افقی آن درصد مثبت کاذب را نشان می‌دهد که در این روش میزان صحت از رابطه ۵ تعیین گردید.

$$ROC = \sum_{i=1}^n [x_i + 1 - x_i] \left[y_i + y_i + 1 - \frac{y_i}{2} \right] \quad [5]$$



شکل ۳. نقشه ارتفاع (الف)، جهت شیب (ب)، شیب (پ)، انحنای سطح (ت)، فاصله از رودخانه (ث)، تراکم زهکشی (ج)، فاصله از گسل (د)، تراکم گسل (ه)، و سنگ شناسی (و) دشت ازنا-الیگودرز



ادامه شکل ۳. نقشه خاک (د)، کاربری اراضی (ذ)، و شاخص رطوبت توپوگرافی (ر) دشت ازنا-الیگودرز

جدول ۱. تعداد پیکسل‌ها و چاه‌ها در هر طبقه از لایه‌ها در مدل نسبت فراوانی

نسبت فراوانی	درصد تعداد چاه‌ها در هر طبقه	تعداد چاه‌ها در هر طبقه	درصد پیکسل‌ها در هر طبقه	تعداد پیکسل در هر طبقه	عوامل/طبقات
					<u>ارتفاع</u>
۱/۰۸	۲۱/۸۸	۵۸	۲۰/۲	۱۷۰۰۷۱	۱۸۲۰ - ۱۸۸۵
۰/۱۳	۲/۶۴	۷	۱۹/۷۳	۱۶۵۸۷۵	۱۸۸۵ - ۱۹۳۰
۰/۰۱	۰/۳۷	۱	۱۹/۴۲	۱۶۳۳۱۸	۱۹۳۰ - ۱۹۶۰
۲/۵۳	۵۰/۹۴	۱۳۵	۲۰/۱۳	۱۶۹۲۰۹	۱۹۶۰ - ۲۰۳۵
۱/۱۷	۲۴/۱۵	۶۴	۲۰/۴۷	۱۷۲۱۰۸	۲۰۳۵ - ۲۶۰۰
	۱۰۰	۲۶۵	۱۰۰	۸۴۰۵۸۱	جمع
					<u>جهت شیب</u>
۳/۳۸	۹/۸۱	۲۶	۲/۸۹	۲۴۳۳۷	مسطح
۰/۷۹	۸/۶۷	۲۳	۱۰/۸۷	۹۱۴۰۰	شمال
۰/۷۶	۷/۹۲	۲۱	۱۰/۴۰	۸۷۴۶۴	شمال شرق
۰/۹۰	۹/۰۵	۲۴	۹/۹۹	۸۴۰۳۴	شرق
۰/۵۵	۶/۰۳	۱۶	۱۰/۹۰	۹۱۶۸۲	جنوب شرق
۱/۲۳	۱۵/۸۴	۴۲	۱۲/۸۴	۱۰۷۹۸۹	جنوب
۱/۱۲۹	۱۷/۳۵	۴۶	۱۵/۳۶	۱۲۹۱۴۲	جنوب غرب
۱/۱۸	۱۶/۶۰	۴۴	۱۴/۰۶	۱۱۸۲۰۴	غرب
۰/۶۸	۸/۶۷	۲۳	۱۲/۶۴	۱۰۶۳۲۹	شمال غرب
	۱۰۰	۲۶۵	۱۰۰	۸۴۰۵۸۱	جمع
					<u>شیب (درجه)</u>
۲/۰۲	۳۰/۹۴	۸۲	۱۵/۲۷	۱۲۸۳۸۹	۰/۳-۱
۲/۱۶	۳۲/۴۵	۸۶	۱۵	۱۲۶۱۴۹	۱-۱/۵
۱/۰۶	۱۷/۳۵	۴۶	۱۶/۳۴	۱۳۷۳۵۷	۱/۵-۲
۰/۷۰	۱۰/۱۸	۲۷	۱۴/۳۶	۱۲۰۷۴۸	۲-۳

ادامه جدول ۱. تعداد پیکسل‌ها و چاه‌ها در هر طبقه از لایه‌ها در مدل نسبت فراوانی

نسبت فراوانی (FR)	درصد تعداد چاه‌ها در هر طبقه	تعداد چاه‌ها در هر طبقه	درصد پیکسل‌ها در هر طبقه	تعداد پیکسل در هر طبقه	عوامل / طبقات
۰/۴۸	۶/۴۱	۱۷	۱۳/۱۱	۱۱۰۲۶۹	۳-۴
۰/۱۷	۲/۲۶	۶	۱۳/۰۱	۱۰۹۴۲۶	۴-۶
۰/۰۲	۰/۳۷	۱	۱۲/۸۷	۱۰۸۲۴۳	۶-۶۴
	۱۰۰	۲۶۵	۱۰۰	۸۴۰۵۸۱	جمع
<u>انحنای سطح</u>					
۰/۹۸	۳۷/۳۵	۹۹	۳۸/۰۹	۳۲۰۱۸۸	مقعر
۱/۱۲	۴۷/۹۲	۱۲۷	۴۲/۶۷	۳۵۸۶۸۱	هموار
۰/۷۶	۱۴/۷۱	۳۹	۱۹/۲۳	۱۶۱۷۱۲	محدب
	۱۰۰	۲۶۵	۱۰۰	۸۴۰۵۸۱	جمع
<u>فاصله از رودخانه (متر)</u>					
۱/۹۰	۳۶/۹۸	۹۸	۱۹/۴۲	۱۶۳۲۹۸	۳۰۰ - ۰
۱/۵۸	۳۲/۴۵	۸۶	۲۰/۴۵	۱۷۱۹۲۰	۶۹۰ - ۳۰۰
۱/۰۳	۲۰/۷۵	۵۵	۱۹/۹۷	۱۶۷۹۱۳	۱۲۱۰ - ۶۹۰
۰/۴۲	۸/۶۷	۲۳	۲۰/۲۹	۱۷۹۶۲۳	۲۰۲۵ - ۱۲۱۰
۰/۰۵	۱/۱۳	۳	۱۹/۸۴	۱۶۶۸۲۷	۵۷۳۰ - ۲۰۲۵
	۱۰۰	۲۶۵	۱۰۰	۸۴۰۵۸۱	جمع
<u>تراکم زهکشی (بر کیلومتر)</u>					
۰/۳۳	۱۶/۲۲	۴۳	۴۷/۸۸	۴۰۲۵۳۹	۰/۱ - ۰
۱/۱۰	۱۴/۳۳	۳۸	۱۲/۹۲	۱۰۸۶۶۹	۰/۴ - ۰/۱
۱/۴۷	۱۸/۸۶	۵۰	۱۲/۸۳	۱۰۷۸۶۹	۰/۶ - ۰/۴
۱/۷۱	۲۳/۰۱	۶۱	۱۳/۴۰	۱۱۲۶۶۷	۰/۸ - ۰/۶
۲/۱۲	۲۷/۵۴	۷۳	۱۲/۹۴	۱۰۸۸۳۷	۲ - ۰/۸
	۱۰۰	۲۶۵	۱۰۰	۸۴۰۵۸۱	جمع
<u>فاصله از گسل (متر)</u>					
۰/۹۸	۱۹/۶۲	۵۲	۲۰	۱۶۸۱۷۰	۱۰۶۰ - ۰
۰/۹۸	۱۹/۶۲	۵۲	۲۰	۱۶۸۱۴۶	۲۶۶۰ - ۱۰۶۰
۱/۱۸	۲۳/۷۷	۶۳	۲۰	۱۶۸۱۴۷	۴۶۷۰ - ۲۶۶۰
۱/۱	۲۲/۲۶	۵۹	۱۹/۹۹	۱۶۸۰۶۸	۷۴۷۰ - ۴۶۷۰
۰/۷۳	۱۴/۷۱	۳۹	۱۹/۹۹	۱۶۸۰۵۰	۱۳۸۳۰ - ۷۴۷۰
	۱۰۰	۲۶۵	۱۰۰	۸۴۰۵۸۱	جمع
<u>تراکم گسل (بر کیلومتر)</u>					
۱/۰۰۱	۶۱/۸۸	۱۶۴	۶۱/۷۹	۵۱۹۴۳۱	۰ - ۰/۰۵
۰/۶۲	۷/۹۲	۲۱	۱۲/۶۵	۱۰۶۳۹۷	۰/۰۵ - ۰/۱۴
۱/۴۱	۱۷/۷۳	۴۷	۱۲/۵۷	۱۰۵۷۳۲	۰/۲۵ - ۰/۱۴
۰/۹۶	۱۲/۴۵	۳۳	۱۲/۹۶	۱۰۹۰۲۱	۰/۲۵ - ۰/۶
	۱۰۰	۲۶۵	۱۰۰	۸۴۰۵۸۱	جمع

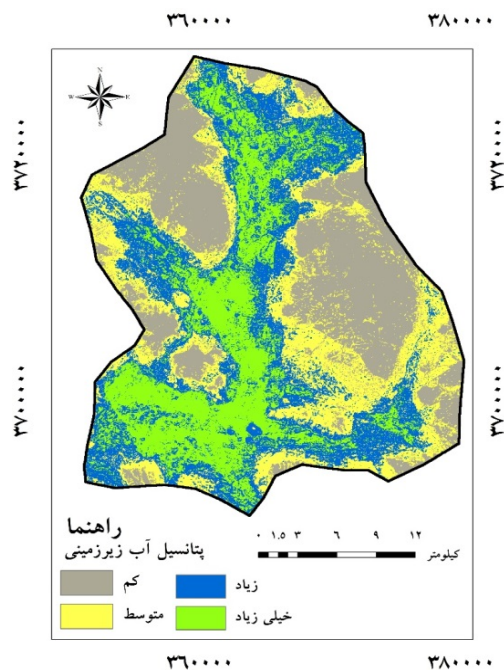
ادامه جدول ۱. تعداد پیکسل‌ها و چاه‌ها در هر طبقه از لایه‌ها در مدل نسبت فراوانی

نسبت فراوانی (FR)	درصد تعداد چاه‌ها در هر طبقه	تعداد چاه‌ها در هر طبقه	درصد پیکسل‌ها در هر طبقه	تعداد پیکسل در هر طبقه	عوامل / طبقات
					<u>سنگ‌شناسی</u>
۱/۶۷	۹۱/۳۲	۲۴۲	۵۴/۵۲	۴۵۸۳۲۶	فیلیت، آهک
۰	۰	۰	۸/۲۹	۶۹۷۶۸	ولکانیک
۰	۰	۰	۱/۵۹	۱۳۴۰۱	رسوبات آبرفتی
۰/۰۴	۰/۳۷	۱	۸/۴۱	۷۰۷۳۳	فیلیت، ماسه‌سنگ
۰	۰	۰	۰/۳۴	۲۸۷۴	هورنفلنس، کربناته
۰/۳۳	۵/۲۸	۱۴	۱۵/۹۶	۱۳۴۱۵۷	گرانیت، دیوریت
۰	۰	۰	۲/۲۵	۱۸۹۳۵	گرانیت
۰	۰	۰	۱/۵۲	۱۲۷۷۷	گنیس، گرانیت
۱/۵۳	۳/۰۱	۸	۱/۹۶	۱۶۵۴۱	سنگ‌آهک
۰	۰	۰	۰/۰۰۰۲	۲	سنگ دگرگونی
	۱۰۰	۲۶۵	۱۰۰	۸۴۰۵۸۱	مجموع
					<u>خاک</u>
۰/۲۲	۱۰/۹۴	۲۹	۴۷/۹۰	۴۰۲۷۰۵	آنتی‌سول
۱/۷۰	۸۹/۰۵	۲۳۶	۵۲/۰۹	۴۳۷۸۷۶	انسیتی‌سول
	۱۰۰	۲۶۵	۱۰۰	۸۴۰۵۸۱	جمع
					<u>کاربری اراضی</u>
۰	۰	۰	۰/۸۵	۷۲۱۹	باغ
۱/۳۲	۹۷/۷۳	۲۵۹	۷۳/۶۹	۶۱۹۴۵۷	کشاورزی
۰/۰۷	۱/۸۸	۵	۲۳/۹۷	۲۰۱۵۴۴	مرتع
۰/۲۶	۰/۳۷	۱	۱/۴۳	۱۲۰۶۶	مناطق شهری
۰	۰	۰	۰/۰۳۵	۲۹۵	آب
	۱۰۰	۲۶۵	۱۰۰	۸۴۰۵۸۱	جمع
					<u>شاخص رطوبت</u>
					<u>توپوگرافی</u>
۰/۵۴	۱۸/۱۱	۴۸	۳۳/۴۱	۲۸۰۸۹۳	۳-۶
۱/۱۲	۳۷/۳۵	۹۹	۳۳/۲۹	۲۷۹۹۱۱	۶-۸
۱/۳۳	۴۴/۵۲	۱۱۸	۳۳/۲۸	۲۷۹۷۷۷	۸-۱۸
	۱۰۰	۲۶۵	۱۰۰	۸۴۰۵۸۱	جمع

نقشه نهایی پتانسیل منابع آب زیرزمینی

بر اساس وزن محاسبه‌شده برای هر کلاس از عوامل مؤثر، هر یک از عوامل مؤثر وزن دهی شد و نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی دشت ازنا-الیگودرز تهیه گردید (شکل ۴). در نهایت نقشه نهایی پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی منطقه، با استفاده از روش شکست‌های طبیعی هیستوگرام به

چهار کلاس (پتانسیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد)، طبقه‌بندی گردید. نتایج نقشه نهایی طبقه‌بندی منطقه نشان داد که کلاس‌های با پتانسیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۲۲۶/۶۸، ۱۹۱/۹۶، ۲۱۱/۱۹۱ و ۱۸۱/۰۲۱ کیلومترمربع را در دشت ازنا-الیگودرز به خود اختصاص داده‌اند.

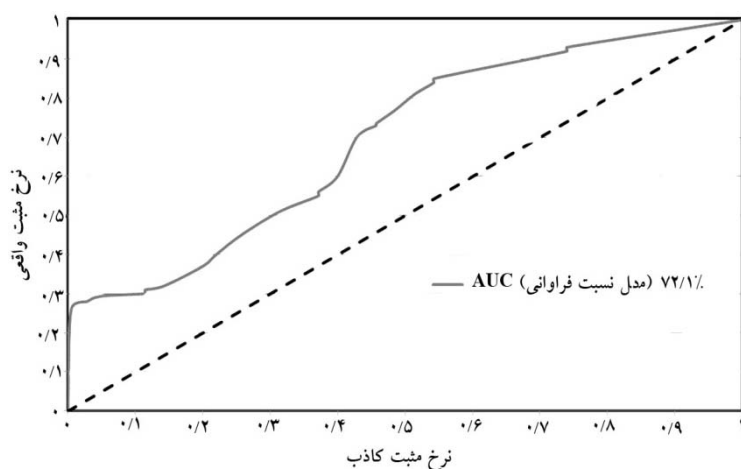


شکل ۴. نقشه نهایی پتانسیل منابع آب زیرزمینی دشت ازنا-الیگودرز

نهایی پتانسیل‌یابی و ۱۱۴ حلقه چاهی که در اجرای مدل استفاده نشده‌اند و به صورت تصادفی برای گروه اعتبارسنجی انتخاب و با استفاده از روش ROC اعتبارسنجی شد. مساحت زیر منحنی، بیانگر اعتبارسنجی مدل است (شکل ۵). مساحت زیر منحنی مزبور (AUC)، ۷۲/۱ درصد به دست آمده است. لذا دقت پتانسیل‌یابی مدل نسبت فراوانی در دشت ازنا-الیگودرز ۷۲/۱ درصد است.

ارزیابی صحت نقشه تولیدی با مدل منحنی عامل نسبی (ROC)

به منظور اعتبارسنجی نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی، با استفاده از ۱۱۴ حلقه چاه که در مدل استفاده نشده‌اند، دقت نقشه نهایی پتانسیل منابع آب‌های زیرزمینی منطقه بر اساس منحنی ROC تعیین گردید (شکل ۵). برای به دست آوردن منحنی ROC، از روی هم گذاری نقشه



شکل ۵. نمودار راکت تهیه شده در مرحله اعتبارسنجی مدل نسبت فراوانی

بحث

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و استفاده بیش از حد از منابع مختلف آبی، لازم است توجه ویژه‌ای به منابع آب زیرزمینی داشت. در این تحقیق کارایی مدل نسبت فراوانی در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی دشت ازنا-الیگودرز در استان لرستان مورد بررسی قرار گرفت. آب‌های زیرزمینی منبع قابل اطمینانی برای تأمین آب مورد نیاز انسان محسوب می‌شود بنابراین بررسی محدوده‌های مناسب استحصال آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. قربانی‌نژاد و همکاران (۱۷) با استفاده از مدل EBF و WOE به پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی در دشت ازنا - الیگودرز پرداختند. در این تحقیق، مدل EBF با دقت ۷۶/۸۱ درصد و مدل WOE با دقت ۷۳/۸۲ درصد به پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی در دشت ازنا-الیگودرز پرداخته شد. نتایج این تحقیق بیانگر همبستگی بالای نتایج با این تحقیق است به گونه‌ای که مناطق مرکزی دشت ازنا- الیگودرز دارای پتانسیل بالاتری است. فلاح و همکاران (۱۵) با استفاده از مدل SI، FR، WOE، GAM به پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی در استان لرستان پرداختند. مدل‌های SI، FR، WOE و GAM به ترتیب با دقت ۷۷/۷، ۷۶/۳، ۸۳/۷ و ۸۵/۴ درصدی به پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی با استفاده از داده‌های چشمه‌های استان لرستان پرداختند. مقایسه نتایج تحقیق مذکور با این تحقیق مؤید این مطلب است که مناطقی با ارتفاع و شیب کمتر، شیب‌های شمالی و شرقی، مناطقی با پوشش گیاهی غنی‌تر، کاربری اراضی کشاورزی، زراعت و جنگل، مناطقی با تراکم بالای گسل و شبکه آبراهه دارای پتانسیل بیشتری است که با نتایج حاصل از این تحقیق همخوانی دارد. محمدنژاد و همکاران (۱۱) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل عوامل چندگانه تأثیرگذار (MIF)، نقشه مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی در شهرستان ارومیه را تهیه نمودند که این نقشه‌ها بیانگر پتانسیل بالای آب‌های زیرزمینی در مناطقی با رسوبات کواترنری و تراکم بالای شبکه زهکشی بود. موسوی و همکاران (۱۲) نیز با تلفیق سنجش از دور و GIS به پتانسیل‌یابی مناطق مستعد برای تغذیه آب

زیرزمینی در تاق‌دیس کمستان پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها بیانگر آن بود که در مناطقی با سازندهای سخت شکسته شده، آبرفت‌ها و نیز در کانال رودخانه‌هایی که همراه با پوشش گیاهی باشد، بهترین مناطق و مناطقی با سازندهای گچی، مارنی، سیلستونی، شیل و بخشی از آبرفت‌ها و نیز مناطق کم باران و فاقد پوشش گیاهی به‌عنوان بدترین نقاط جهت تغذیه آب زیرزمینی ارزیابی شدند. مقدم و همکاران (۲۲) با استفاده از مدل نسبت فراوانی (FR) و سیستم اطلاعات جغرافیایی به تهیه نقشه مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی در دشت طالقان پرداختند. بر اساس نتایج تحقیق مذکور، مناطقی با درصد شیب ۳۰ - ۲۰ در جنوب و شرق، طبقه ارتفاعی ۲۶۰۰ - ۲۰۰۰ متر از سطح دریا، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) بزرگ‌تر از ۱۲، شاخص قدرت جریان (SPI) کوچک‌تر از ۱۰۰، مناطقی با طول شیب کمتر از ۲۰ متر، در مناطق مقعر، فاصله از رودخانه و جاده بین ۱۰۰ - ۰ متر، فاصله از گسل کمتر از ۳۰۰ متر، در مناطقی با کاربری اراضی جنگل و کشاورزی، خاک‌هایی با گروه هیدرولوژیکی B و تراکم زهکشی بزرگ‌تر از ۳ کیلومتر بر کیلومتر مربع دارای بهترین پتانسیل برای آب‌های زیرزمینی هستند. دقت مدل مذکور در دشت طالقان ۷۵/۹۹ درصد است. نتایج تحقیق حاضر حاکی از دقت ۷۲/۱ درصدی مدل نسبت فراوانی در پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی دشت ازنا - الیگودرز است. لذا می‌توان گفت که استفاده از مدل‌هایی مبتنی بر GIS، برای پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی مفید و قابل اعتماد است. همچنین نتایج پیش‌بینی حاکی از این بود که عوامل؛ ارتفاع، جهت شیب، شیب، انحنای سطح، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل، تراکم گسل، سنگ، خاک، کاربری اراضی منطقه و شاخص رطوبت توپوگرافی در پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی مفید است. در نهایت بکارگیری مدل نسبت فراوانی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، به منظور بررسی پتانسیل آب‌های زیرزمینی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه که معمولاً در دستیابی به اطلاعات با محدودیت‌های زیادی مواجه هستند، پیشنهاد می‌گردد.

- تحلیل سلسله مراتبی به دو روش مکانی و غیرمکانی (مطالعه موردی: حوضه پیشکوه شهرستان تفت استان یزد). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۲(۲): ۲۷-۳۸.
۲. حنیفی، ر. ۱۳۹۳. امکان‌سنجی منابع آب زیرزمینی استان آذربایجان غربی برای پرورش ماهی قزل‌آلا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی: شهرستان سردشت). فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۳(۹۰): ۹۱-۱۰۱.
۳. خلفی، ج. و ف. اسدیان. ۱۳۹۱. کاربرد مطالعات ژئومورفولوژی در توسعه ذخایر منابع آب زیرزمینی با استفاده از فنون RS-GIS (مطالعه موردی: دشت سهرین زنجان). همایش ملی جایگاه ژئومورفولوژی در آمایش سرزمین و مدیریت محیط. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی. ۱۳ الی ۱۴ اردیبهشت ماه.
۴. رحیمی، د. ۱۳۹۰. پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت شهرکرد). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۲(۴): ۱۲۷-۱۴۲.
۵. سادات هاشمی، س. م.، ر. قربانی و ب. کاوه‌ای. ۱۳۸۳. تحلیل منحنی‌های ROC برای مقایسه تست‌های تشخیص پزشکی. کومش، ۶(۲): ۱۴۵-۱۵۰.
۶. طباطبایی، ط. و ف. امیری. ۱۳۹۴. مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی بر اساس ارزیابی چندمعیاره مکانی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: استان بوشهر). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۱): ۱-۱۶.
۷. عزیزاده، ا. ۱۳۹۱. کاربرد اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ سی و ششم، انتشارات دانشگاه امام رضا. ۳۴۳ صفحه.
۸. کاظمی، ر.، ج. غیومیان و ن. جلالی. ۱۳۸۵. بررسی نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب در منطقه کارستی لار با استفاده از سنجش از دور و GIS. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۷۳: ۳۳-۴۱.
۹. گودرزی، ل.، ع. م. آخوندعلی و ح. زارعی. ۱۳۹۲. تعیین مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: دشت اشترینان). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵(۴): ۴۷-۶۰.
- تعیین پتانسیل آب‌های زیرزمینی، با توجه به کاهش روزافزون منابع آب، برای کاربری‌های مختلف بسیار مهم هست. در این تحقیق، پتانسیل آب‌های زیرزمینی در دشت ازنا -الیگودرز با بررسی ۳۷۰ حلقه چاه موجود با استفاده از مدل نسبت فراوانی بررسی گردید. ۷۰ درصد چاه‌ها (۲۵۶ حلقه چاه)، برای کالیبره و ۳۰ درصد باقی‌مانده (۱۱۴ حلقه چاه)، برای اعتبارسنجی استفاده گردید که صحت مدل با میزان ۷۲/۱ درصد بیانگر دقت قابل قبول این مدل در تعیین پتانسیل آب‌های زیرزمینی دشت مذکور است. ۱۲ لایه مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی شامل؛ لایه ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، سنگ‌شناسی، خاک، کاربری اراضی، شاخص رطوبت توپوگرافی یا TWI، تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه، تراکم گسل و فاصله از گسل می‌باشند. مناطقی با ارتفاع و شیب کمتر دارای پتانسیل بالای آب زیرزمینی می‌باشند. از دیدگاه کاربری اراضی، مناطقی با پوشش گیاهی از جمله: باغ، زراعت و مرتع دارای پتانسیل بیشتری هستند. عموماً مناطق با تراکم بیشتر آبراهه در مناطق با تراکم بیشتر گسل قرار دارند که این مناطق دارای پتانسیل بالایی هستند. هر چه میزان فاصله از گسل و میزان فاصله از آبراهه کمتر باشد پتانسیل آب زیرزمینی بالاست. از لحاظ خاک، مناطق با خاک اینسپتی‌سول، دارای پتانسیل بیشتری هستند. رسوبات آبرفتی نرم، دارای پتانسیل کم، مناطقی با رسوبات آبرفتی ریز به همراه پوشش گیاهی دارای پتانسیل متوسط و مناطقی با آهک‌های شکسته، آبرفت‌های عهد حاضر و پوشش گیاهی دارای پتانسیل زیاد و خیلی زیاد است. تعیین مناطق با پتانسیل‌های مختلف برای آب‌های زیرزمینی از لحاظ تعیین مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی و تعیین نقاط آسیب‌پذیر آبخوان از لحاظ آلودگی، مهم است، زیرا عموماً مناطق با پتانسیل بالای آب زیرزمینی، مناطقی با پتانسیل بالای آلوده شدن می‌باشند.

منابع مورد استفاده

۱. حاجی عزیزی، ش.، م. م. خیرخواه زرکش و ا. شریفی. ۱۳۹۰. انتخاب مکان مناسب احداث سد زیرزمینی با استفاده از فرآیند

19. Jaafari A, Najafi A, Pourghasemi H, Rezaeian J, Sattarian A. 2014. GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(4): 909-926.
20. Jha MK, Kamii Y, Chikamori K. 2009. Cost-effective approaches for sustainable groundwater management in alluvial aquifer systems. *Water Resources Management*, 23(2): 219-233.
21. Manap MA, Nampak H, Pradhan B, Lee S, Sulaiman WNA, Ramli MF. 2014. 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.
22. Moghaddam DD, Rezaei M, Pourghasemi H, Pourtaghie Z, Pradhan B. 2015. Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan watershed, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(2): 913-929.
23. Nourani V, Pradhan B, Ghaffari H, Sharifi SS. 2014. Landslide susceptibility mapping at Zonouz Plain, Iran using genetic programming and comparison with frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models. *Natural Hazards*, 71(1): 523-547.
24. Ozdemir A, 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: 180-197.
25. Shaban A, Khawlie M, Abdallah C. 2006. Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon. *Hydrogeology Journal*, 14(4): 433-443.
26. Sharma M, Kumar R. 2008. GIS-based landslide hazard zonation: a case study from the Parwanoo area, Lesser and Outer Himalaya, HP, India. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67(1): 129-137.
27. Singh AK, Prakash SR. 2002. An integrated approach of remote sensing, geophysics and GIS to evaluation of groundwater potentiality of Ojhala sub-watershed, Mirjapur district, UP, India. In: *Asian conference on GIS, GPS*, ماه گلی، آ. م. چیت سازان و ی. میرزایی. ۱۳۹۰. پتانسیل یابی آب زیرزمینی در سازندهای سخت با استفاده از GIS و سنجش از دور، مطالعه موردی: شمال حسینیه. همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری کشور، تهران. ۲۰ الی ۲۱ اردیبهشت ماه.
10. ماه گلی، آ. م. چیت سازان و ی. میرزایی. ۱۳۹۰. پتانسیل یابی آب زیرزمینی در سازندهای سخت با استفاده از GIS و سنجش از دور، مطالعه موردی: شمال حسینیه. همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری کشور، تهران. ۲۰ الی ۲۱ اردیبهشت ماه.
11. محمدنژاد، و.، ص. اصغری سراسکانرود و ب. گل محمدزاده. ۱۳۹۲. تهیه نقشه مناطق مستعد آب های زیرزمینی با استفاده از GIS و MIF مطالعه موردی: شهرستان ارومیه. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، ۲(۳): ۴۵-۵۸.
12. موسوی، ف.، م. چیت سازان، ی. میرزایی، م. شبان و ح. محمدی بهزاد. ۱۳۸۸. تلفیق سنجش از دور و GIS به منظور پتانسیل یابی مناطق مناسب جهت تغذیه آب زیرزمینی (مطالعه موردی: محدوده تاقدیس کمستان). همایش و نمایشگاه ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری کشور، تهران. ۲۰ الی ۲۱ اردیبهشت ماه.
13. Abdalla F. 2012. Mapping of groundwater prospective zones using remote sensing and GIS techniques: A case study from the Central Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 70(1): 8-17.
14. Edet A, Okereke C, Teme S, Esu E. 1998. Application of remote-sensing data to groundwater exploration: a case study of the Cross River State, southeastern Nigeria. *Hydrogeology Journal*, 6(3): 394-404.
15. Falah F, Ghorbani Nejad S, Rahmati O, Daneshfar M, Zeinivand H. 2016. Applicability of generalized additive model in groundwater potential modelling and comparison its performance by bivariate statistical methods. *Geocarto International*, 31(1): 1-21.
16. Ganapuram S, Kumar GV, Krishna IM, Kahya E, Demirel MC. 2009. Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *Advances in Engineering Software*, 40(7): 506-518.
17. Ghorbani Nejad S, Falah F, Daneshfar M, Haghizadeh A, Rahmati O. 2017. Delineation of groundwater potential zones using remote sensing and GIS-based data-driven models. *Geocarto International*, 32(2): 167-187.
18. Haridas V, Aravindan S, Girish G. 1998. Remote sensing and its applications for groundwater favourable area identification. *Quarterly Journal of GARC*, 6(6): 18-22.

- aerial photography and remote sensing, 7-9 August, Bangkok-Thailand,
28. Vahidnia MH, Alesheikh AA, Alimohammadi A, Hosseinali F. 2010. A GIS-based neuro-fuzzy procedure for integrating knowledge and data in landslide susceptibility mapping. *Computers & Geosciences*, 36(9): 1101-1114.
29. Van Westen CJ, Rengers N, Terlien M, Soeters R. 1997. Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. *Geologische Rundschau*, 86(2): 404-414.



Groundwater resource potential of Azna-Aligoudarz plain using environmental variables and frequency ratio (FR) model

S. Ghorbani Nejad ¹, M. Daneshfar ^{2*}, O. Rahmati ³, F. Fallah ¹, A. Haghizadeh ⁴, N. Tahmasebipour ⁴

1. PhD. Student of Watershed Management Engineering, Lorestan University

2. PhD. Student of Watershed Management Engineering, Shahrekord University

3. PhD. Graduated of Watershed Management Engineering, Lorestan University

4. Assoc. Prof. College of Agriculture, Lorestan University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 May 2016

Accepted 13 March 2017

Available online 23 August 2017

Keywords:

Frequency ratio model

Groundwater potential

Azna-Aligoudarz plain

Validation

Geographic information system

ABSTRACT

Population increase and excessive use of different water resources, has led to special attention to groundwater resources. In this study, the efficiency of frequency ratio model in groundwater potential mapping in Azna-Aligoudarz plain, Lorestan was investigated. The 11 effective groundwater potential factors, (altitude, lithology, curvature, slope, aspect, land use, distance from rivers, drainage density, fault distance, fault density, pedology, topographic wetness index; TWI) were prepared using GIS. The location of 370 wells in the study area with discharge more than 11 (m³/h) was chosen and were divided in two groups of training (70%) and validation (30%) wells. Then the layers of environmental variables were classified and based on the density of wells and frequency ratio model, the weight of each class was determined. Finally, the groundwater potential map was prepared based on the frequency ratio model. Validation of final map was performed using relative operating characteristic (ROC) method. The result shows that the generated groundwater potential map using frequency ratio with 72.1% accuracy value, showed the high ability of this model in groundwater potential mapping. The groundwater potential map of the region showed that classes with a low, moderate, high and very high potential have been estimated to be 210.79, 210.24, 210.29 and 209.24 km², respectively.

* Corresponding author e-mail address: daneshfarmania@yahoo.com