

پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش منطق فازی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز داراب فارس)

مقاله پژوهشی

حمیدرضا امیری^۱، یوسف شفیع^۲ آوا فخرایی راد، حجت اله کشاورز

تاریخ پذیرش: ۱۳/۰۴/۱۴۰۱

تاریخ دریافت: ۲۸/۱/۱۴۰۱

صفحات: ۴۵-۶۲

چکیده

محدودیت و کمبود منابع آب زیرزمینی در دشت داراب فارس سبب شده این دشت در وضعیت بحرانی و در گروه ممنوعه قرار گیرد. با مدیریت صحیح می توان ظرفیت منابع آب های موجود سطحی و زیرزمینی به خوبی شناسایی و مطالعه کرد تا برنامه ریزی جامعی برای بهره برداری درست از آنها انجام شود. استفاده از GIS در کنار داده های مشاهده ای منجر بر آورد آسان و سیستمی مناطق مستعد تغذیه آب های زیرزمینی می گردد. هدف این پژوهش پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل AHP و توابع فازی در محیط GIS می باشد. برای ارزیابی پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی ۱۰ معیار زمین شناسی، تراکم گسل، ارتفاع، شیب، کاربری اراضی، خاک، ژئومورفولوژی، بارش، تراکم زهکشی و فاصله از رودخانه ها، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. لایه هادر محیط GIS آماده سازی شده و سپس با استفاده از توابع منطق فازی، پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی مدل سازی شده است. نتایج نشان داد که استفاده از گامای ۰/۹۸ نتایج مطلوب تری نسبت به دیگر اعداد مشخص کرد. مناطق با پتانسیل بالای آب زیرزمینی با دقت بالا تعیین شد. برای اعتبارسنجی مدل از چاه های بهره برداری در منطقه استفاده شده است. حدود ۶۳/۶۲ درصد از این نوع چاه ها در پهنه های با پتانسیل خوب و خیلی خوب قرار دارند. پهنه های دارای پتانسیل خوب و خیلی خوب منطبق بر ذخایر تراسی، آبرفت ها و رسوبات دوران چهارم و دارای شیب کم (۵-۰ درجه) است. حدود ۳۱ درصد از حوزه آبخیز در دو طبقه ی پتانسیل خوب و خیلی خوب قرار دارند.

واژگان کلیدی: پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، منطق فازی، حوزه آبخیز داراب.

مقدمه

وقوع خشکسالی‌های متوالی در چند سال اخیر و کمبود شدید منابع آب سطحی، علاوه بر کاهش نفوذ از آب‌های سطحی به آبخوان‌ها، موجب افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی نیز شده که در نهایت سبب افت سطح آب در آبخوان‌ها شده است. با افزایش جمعیت، تقاضا برای منابع آب قابل اطمینان افزایش یافته است (کلانتری و همکاران، ۱۳۸۹). پیش‌بینی‌ها نشان داده است که تا سال ۲۰۵۰ تعداد ۶۶ کشور با مشکل کمبود آب مواجه خواهند شد که ایران در زمره این کشورهاست (نوحانی و همکاران، ۱۳۹۷). امروزه برداشت از آب‌های زیرزمینی بسیار بیشتر از میزان تغذیه طبیعی آنها می‌باشد و اگر میزان آب در دسترس کمتر از تقاضای آب در یک حوزه آبخیز باشد، آن‌گاه بحران آبی اتفاق می‌افتد. لذا این واقعیت می‌تواند مبین این موضوع باشد که وضع سفره‌های آب‌های زیرزمینی در بسیاری از مناطق بحرانی است (رنجبرمنش و همکاران، ۱۳۹۲).

نقشه‌ها را می‌توان برای گردآوری آب باران و مدیریت چشمه‌ای آب به عنوان جزئی از حفاظت منابع و استراتژی مدیریت کوهپایه استفاده کرد. برنامه‌ریزان و مهندسان به طور فزاینده‌ای از نقشه‌ی بالقوه آب برای پیدا کردن سایت‌های مناسب برای پیاده‌سازی منابع تحقیق استفاده می‌کنند (گی میرا و همکاران، ۲۰۱۷). به علت وجود عوامل متعدد دخیل در امر پتانسیل‌یابی و نیاز به بررسی توأم معیارهای ارزیابی‌شده (در قالب نقشه)، GIS ابزاری کارآمد برای پردازش داده‌های مکانی مختلف است. پهنه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی بر پایه GIS به همراه سنجش از دور (RS)، ابزاری مؤثر محسوب می‌شود (آدایی و

همکاران، ۲۰۱۹). سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت طبقه‌بندی، تحلیل و بازیابی اطلاعات یکی از ابزارهای قدرتمند می‌باشد که امروزه به صورت گسترده‌ای جایگزین اکتشافات و آزمایش‌های مکانی شده است. صرفه‌جویی در هزینه و زمان، امکان انجام تجزیه و تحلیل‌های پیچیده داده‌های مکانی و غیرمکانی و انعطاف‌پذیری نسبت به موضوعات متنوع، از ویژگی‌های GIS است که سبب استفاده روزافزون از آن جهت مطالعه و بررسی آب‌های زیرزمینی شده است. در واقع استفاده از GIS در کنار داده‌های مشاهده‌ای منجر برآورد آسان و سیستمی مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی می‌گردد (فلاح و همکاران، ۱۳۹۶). در این راستا وضعیت منابع آبی در دشت داراب استان فارس از سوی سازمان آب منطقه‌ای در گروه ممنوعه قرار گرفته که علاوه بر ممنوعیت حفر چاه‌های جدید، برای برداشت از چاه آبی موجود نیز محدودیت‌هایی ایجاد شده است. در نتیجه می‌توان مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی را شناسایی کرده و از شیوه‌های گوناگون اقدام به شارژ چاه‌های آبی کرد.

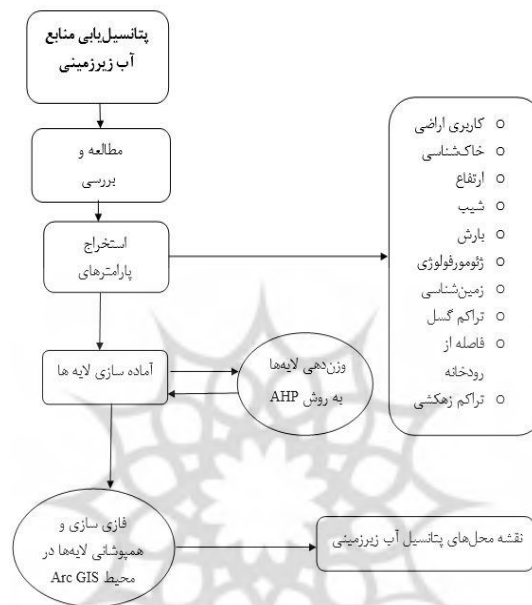
داده‌ها و روش‌ها

الف- روش شناسی:

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش کار، توصیفی-تحلیلی است. اخذ داده و اطلاعات بدین صورت بوده که از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ رقومی سازمان جغرافیایی، نقشه زمین-شناسی رقومی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از پایگاه ملی داده‌های علوم زمین دریافت و مورد استفاده قرار گرفت. هم‌چنین لایه بارش از میانگین سالانه داده‌های بارش ۱۵ ساله (۱۳۸۰-۱۳۹۵) تولید شده است. نقشه‌های پوشش زمین، ژئومورفولوژی و خاک‌شناسی منطقه با فرمت SHP از سازمان منابع طبیعی و

تحلیل قرار گرفت. لایه‌های این معیارها در محیط ArcGIS آماده‌سازی شده و سپس با استفاده از توابع منطق فازی، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی مدل‌سازی شده است. مراحل انجام تحقیق حاضر را می‌توان در فلوچارت زیر خلاصه نمود (شکل ۱):

آبخیزداری اخذ شده و نیز از مدل رقومی ارتفاعی SRTM با دقت ۳۰ متری منطقه موردی استفاده شده است. برای ارزیابی پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی ۱۰ معیار زمین‌شناسی، تراکم گسل، ارتفاع، شیب، کاربری اراضی، خاک، ژئومورفولوژی، بارش، تراکم زهکشی و فاصله از رودخانه‌ها، مورد بررسی و

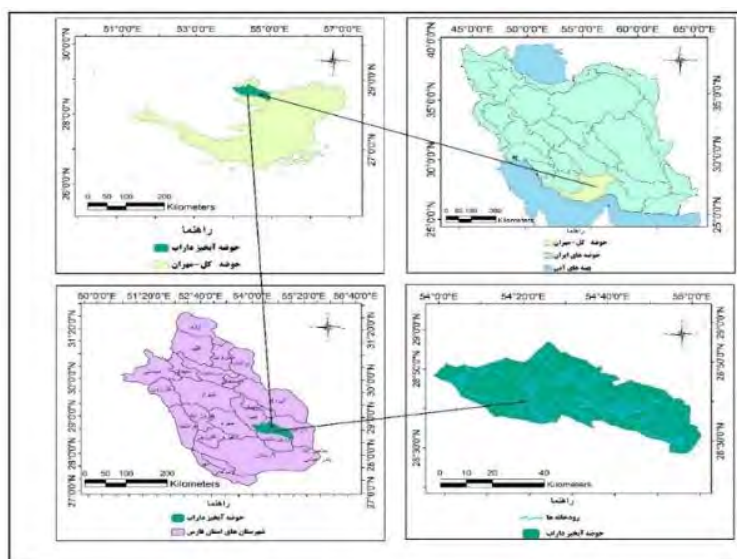


شکل ۱- روند جریان تحقیق

نوع نیمه‌خشک مدیترانه‌ای است. حداکثر و حداقل مطلق درجه حرارت سالانه به ترتیب ۴۹ (تیرماه) و ۹- (آذرماه) درجه سانتی‌گراد می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه در این محدوده ۲۷۵ میلی‌متر و متوسط تبخیر سالانه ۲۷۶۷ میلی‌متر است. در شکل ۲، موقعیت منطقه نشان داده شده است.

معرفی محدوده پژوهش

حوزه آبخیز داراب در جنوب شرق استان فارس با وسعت ۲۳۷۰ کیلومترمربع از زیرحوزه‌های آبخیز کل- مهران محسوب می‌شود و در موقعیت جغرافیایی ۲۷' ۲۸° تا ۵۶' ۲۸° شمالی و ۵۸' ۵۳° تا ۱' ۵۵° شرقی و ارتفاع ۱۱۱۰ متر از سطح دریا واقع شده است. از نظر آب و هوایی از



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز داراب

دیگری باشند. در مجموع شکل تابع بستگی به نوع X و مجموعه متفاوت است. در منطق بولین همان-طوری که اشاره شد خروجی فقط یک نقشه است اما در منطق فازی خروجی می‌تواند چندین نقشه باشد و در این منطق به اندازه تعداد کلاس‌ها، خروجی وجود دارد و در عملیات $Reclass$ ، $Defuzzy$ صورت می‌پذیرد.

در ترکیب لایه‌ها با توابع فازی از جبر فازی استفاده می‌شود. درجات عضویت ترکیبی X برای AND در این منطق از رابطه (۱) بدست می‌آید.

(۱)

$$\mu_c(x) = \text{MINimum}\{H_1(x), H_2(x), \dots, H_n(x)\}$$

..

در AND فازی اجازه ورود هیچ ریسکی به تحلیل داده نمی‌شود. درجات عضویت ترکیبی X برای OR نیز در این منطق از رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$\mu_c(x) = \text{MAXimum}\{H_1(x), H_2(x), \dots, H_n(x)\} \quad (2)$$

- اپراتورهای مدل منطق فازی:

ب- مبانی نظری تحقیق:

تئوری منطق فازی

منطق فازی، یک جهان‌بینی جدید است که با نیازهای دنیای پیچیده امروز بسیار سازگارتر از منطق بولین است. در واقع منطق فازی یک منطق پیوسته است که از استدلال تقریبی بشر الگوبرداری کرده است و از پتانسیل بالایی در ارزیابی و سنجش پدیده‌های پیچیده برخوردار است (عادلی، ۱۳۸۶). منطق فازی یک فرامجموعه از منطق بولین است که بر مفهوم درستی نسبی، دلالت می‌کند. منطق کلاسیک هر چیزی را بر اساس یک سیستم دو تایی نشان می‌دهد (درست یا غلط، ۱ یا ۰، سیاه یا سفید) ولی منطق فازی درستی هر چیزی را با یک عدد که مقدار آن بین ۰ و ۱ است نشان می‌دهد. دکتر لطفی زاده (۱۹۶۵) نظریه سیستم‌های فازی را معرفی کرد. یک مسئله قطعی را می‌توان به فازی تبدیل کرد که به این فرایند فازی‌سازی گفته می‌شود.

در منطق فازی از درجات عضویت که بیانگر چگونگی نقش‌پذیری متغیر در انجام فرایند مورد نظر است، استفاده می‌شود. درجات عضویت می‌توانند خطی و یا غیرخطی و یا بسته به نظر کاربران دارای اشکال

ه) عملگر اجتماع فازی^۵ این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود و در جایی که حضور هر نشانگر مثبت می‌تواند مفید باشد به کار می‌رود. حاصل ترکیب لایه-های فازی مقدار عددی بزرگی خواهد شد.

$$Combination = MAX[\mu A, \mu B, \mu C] \quad (7)$$

از آنجا که موضوع این پژوهش پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی می‌باشد، سعی بر آن است که مطالعات اخیر خارجی و داخلی مرتبط با این موضوعات در ادامه آورده شود:

آندولم و دمک^۶ (۲۰۱۹) در منطقه‌ی گوناتانا در حوزه-ی رود نیل اتیوپی، به ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی، با استفاده از GIS و RS پرداختند. در این پژوهش از تکنیک MCDM (تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره) برای تعیین مناطق بالقوه آب زیرزمینی استفاده کردند. نتایج نشان داد نواحی پایین دست دارای پتانسیل بالاتری نسبت به نواحی بالادست هستند که به دلیل شیب مسطح و ماهیت رسوبی آن می‌باشد. نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از چاه‌های موجود اعتبارسنجی شده و منحنی ROC نشان دهنده این است که روش AHP برای پیش‌بینی مناسب است. گی میر و همکاران (۲۰۱۷) به مطالعه نقشه‌برداری از منطقه پتانسیل چشمه‌های آب زیرزمینی در دامنه‌های هیمالیا در مرکز نپال پرداختند و از روش وزن شواهد که یک مدل آماری مبتنی بر GIS است استفاده کردند و نتیجه نشان می‌دهد روش WOE برای پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی می‌تواند در یک محیط بیوفیزیکی مشابهی که در آن یک بررسی هیدروژئولوژیکی یا ژئوفیزیکی آب زیرزمینی انجام نشده تکرار شود. دنگ و همکاران (۲۰۱۶) به کاربرد GIS در برآورد پتانسیل آب زیرزمینی در استان لیائونینگ غرب چین با روش

الف) عملگر اشتراک فازی^۱ عملگر اشتراک مجموعه-هاست. بدین صورت که حداقل درجه عضویت اعضا را استخراج و در نقشه نهایی منظور می‌کند به همین دلیل این اپراتور دقت بالایی در مکان‌یابی مناطق مستعد دارد.

$$\mu combination = MIN [\mu A, \mu B, \mu C] \quad (3)$$

ب) عملگر ضرب جبری فازی^۲ به دلیل ماهیت اعداد بین صفر و یک که همان درجه عضویت اعضا در مجموعه فازی می‌باشد این اپراتور باعث می‌شود تا در نقشه خروجی اعداد به سمت صفر میل کنند.

$$uCombination = \prod_{n_i=1}^{ui} \quad (4)$$

ج) عملگر جمع جبری فازی^۳ در این اپراتور متمم ضرب متمم مجموعه‌ها محاسبه می‌شود به همین دلیل در نقشه خروجی ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند در نتیجه پیکسل بیشتری در طبقه خیلی مناسب قرار می‌گیرد. این اپراتور حساسیت خیلی کمی در مکان‌یابی دارد.

(۵)

$$\mu Combination = \prod_{n_i=1}^{(1-\mu\mu)}$$

د) عملگر فازی گاما^۴ در واقع این اپراتور از تلفیق دو اپراتور جمع فازی و ضرب فازی به دست می‌آید. جهت تعدیل حساسیت خیلی بالا ضرب فازی و دقت خیلی کم اپراتور جمع فازی، ویژگی این.

(۶)

$$\mu Combination = (Fuzzy A \text{ lg Sum}) 0^y * (Fuzzy A \text{ lg. Pr product}) 0^{1-y}$$

که در آن y پارامتر انتخاب شده در محدوده (۰ و ۱) است. وقتی y برابر ۱ باشد، ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود.

^۵ Fuzzy OR

^۶ Andualem and Demeke

^۷ Weights-of-evidence

^۱ Fuzzy AND

^۲ Fuzzy Algebraic Product

^۳ Fuzzy Algebraic Sum

^۴ Fuzzy Gamma

فازی در استان خراسان جنوبی بررسی کردند. در این تحقیق از ۱۶ عامل در چهار گروه زمین‌شناسی، هیدرولوژی، جغرافیایی و انسانی بهره‌گیری شد و در مجموع پنج منطقه پتانسیلی بسیار بالا تا خیلی کم شناسایی گردید. در پایان ۴۳ حوزه‌ی آبی استان بر اساس نقشه پتانسیل آب زیرزمینی کلاس‌بندی شده و با نتایج به دست آمده از چاه‌های اکتشافی تطابق داده شد و نقشه پتانسیل آبی حوزه‌های استان تهیه گردید. عباسی و حیدری (۱۳۹۵) برای بررسی پتانسیل آب زیرزمینی حوضه شمالی استان ایلام از AHP و منطق فازی استفاده کردند. نقشه نهایی حاصل از روش AHP نشان می‌دهد بیشترین پتانسیل آب زیرزمینی در بخش‌های آهکی با تراکم زیاد شکستگی وجود دارد.

یافته‌های تحقیق

تحلیل مولفه‌های انتخابی

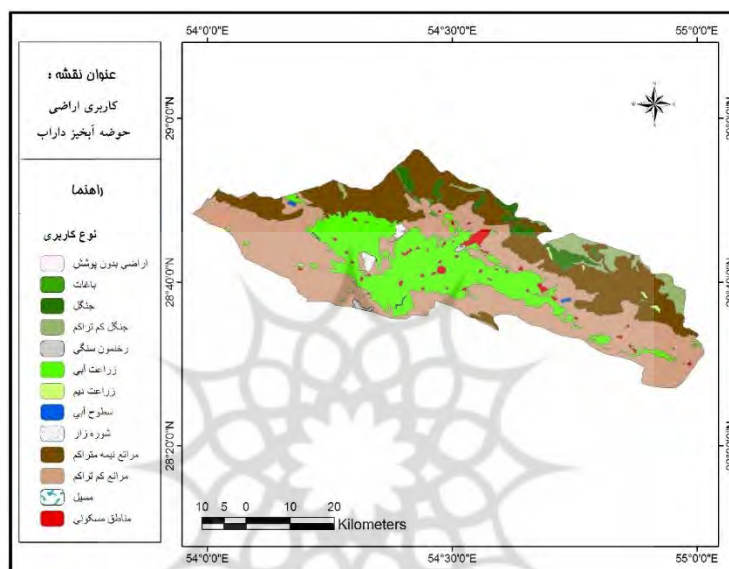
کاربری و پوشش اراضی:

وجود پوشش گیاهی در هر منطقه، سرعت جریان‌های سطحی را کاهش می‌دهد و سبب نفوذ بیشتر آب به داخل خاک و در نتیجه افزایش میزان آب‌های زیرزمینی می‌شود (صابری و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲). بیشترین پوشش منطقه را مراتع با مساحت حدود ۱۶۱۰ کیلومتر مربع و در رده بعدی مزارع آبی با مساحت حدود ۵۳۸ کیلومتر مربع دربرگرفته است. محدوده‌های جنگلی نیز به ارتفاعات مرتفع ختم شده که متأسفانه در حال نابودی است (شکل ۳). در جدول (۱) انواع کاربری‌ها ارزش‌گذاری شد. مناطق جنگلی به منظور نفوذ دادن آب و جلوگیری از رواناب سطحی بیشترین امتیاز دارند.

AHP پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که مناطق خیلی خوب ۶۳/۵ درصد از کل مساحت را تشکیل می‌دهد و بیشتر در دشت آبرفتی یا دره مجاور رودخانه میانه و پائین‌تر از شاخه‌های آن واقع شده است. کثیری و همکاران (۱۳۹۹)، به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی دشت ناز ساری بر پایه GIS و RS با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) پرداختند. در این پژوهش از عوامل مؤثر بر نفوذپذیری خاک و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی شامل لایه‌های زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، شیب، جهت شیب، بارش، دما، ارتفاع، فاصله از گسل، آبراهه و جاده، تراکم گسل و آبراهه استفاده شد. در روش ANP، لایه‌ها در پنج خوشه‌ی عوامل اقلیمی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی، توپولوژی و زیست محیطی تهیه شد. نتیجه ۸۷ درصدی منحنی ROC در اعتبارسنجی نقشه نهایی بیان‌کننده دقت زیاد این روش است. بر اساس روش ANP، عوامل زمین‌شناسی و ارتفاع بیشترین تأثیر را در منطقه بررسی شده دارند. ریاحی-نیا (۱۳۹۸) پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در دشت خرم‌آباد با دو روش منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی مورد مطالعه قرار داد. ابتدا نقشه فهرست چاه‌ها تهیه شد و بعد پارامترهای مؤثر در پتانسیل‌یابی: لایه ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، شاخص رطوبت توپوگرافی، کاربری اراضی، خاک، زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه و گسل، تراکم زهکشی و گسل را مشخص و نقشه آنها تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد که روش شبکه عصبی به دلیل نزدیکی نتایج آن با واقعیت، نسبت به روش منطق فازی مناسب‌تر و کاربردی‌تر است. حیدری آقاگل و همکاران (۱۳۹۶)، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از منطق

جدول ۱- انواع کاربری اراضی و امتیاز آنها (برگرفته از صابری و همکاران، ۱۳۹۱)

ارزش	نوع کاربری اراضی
۱	سطح آبی، اراضی بدون پوشش، زراعت دیم، شوره‌زار، رخنمون سنگی و مناطق مسکونی
۲	زراعت آبی، باغات و مراتع کم تراکم
۳	مسیل و مراتع نیمه متراکم
۴	جنگل کم تراکم
۵	جنگل متراکم



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی منطقه

طبقات ارتفاع و مقدار شیب:

محیط Arc Map از مدل رقومی ارتفاع (DEM) حوزه استفاده شد (شکل‌های ۴ و ۵). امتیازبندی طبقات ارتفاعی و کلاس‌بندی شیب به گونه‌ای است که هرچه ارتفاع و شیب کمتر باشد، مکان‌ها از ارزش بیشتری برخوردار است (جدول‌های ۲ و ۳).

پارامتر طبقات ارتفاعی و شیب از فاکتورهای مؤثر بر پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی هستند که نقش مهمی در ضریب رواناب و نفوذپذیری دارند. این فاکتورها در شیب هیدرولیکی و جهت حرکت آب زیرزمینی و محل تشکیل آبخوان نقش مؤثری دارند (رحیمی و موسوی، ۱۳۹۱: ۱۴۵). بنابراین به‌منظور تهیه نقشه‌های طبقات ارتفاعی و شیب منطقه در

جدول ۲- طبقات ارتفاعی منطقه و امتیاز آنها

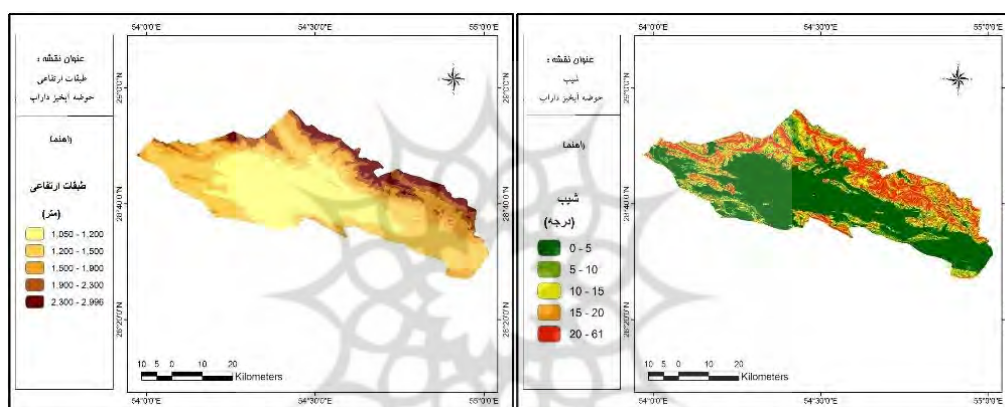
(برگرفته از رحیمی و سلیمانی، ۱۳۹۵)

ارزش	طبقات ارتفاع (متر)
۵	۱۲۰۰-۱۰۵۰
۴	۱۵۰۰-۱۲۰۰
۳	۱۹۰۰-۱۵۰۰
۲	۲۳۰۰-۱۹۰۰
۱	۲۹۹۶-۲۳۰۰

جدول ۳- طبقات شیب و امتیاز آنها

(برگرفته از صابری و همکاران، ۱۳۹۱)

ارزش	طبقات شیب (درجه)
۵	۵-۰
۴	۱۰-۵
۳	۱۵-۱۰
۲	۲۰-۱۵
۱	۶۱-۲۰



شکل ۴- نقشه طبقات ارتفاعی منطقه

شکل ۵- نقشه شیب منطقه

منطقه، از شمال به جنوبی روند کاهشی دارد. مسلماً هرچه حوزه دارای ریزش‌های جوی بیشتری باشد، منطقه بیشتر تغذیه می‌شود. بر همین اساس در تحلیل پارامتر بارش به طبقات بارشی بیشتر، وزن بالاتری اختصاص داده شد (جدول ۴).

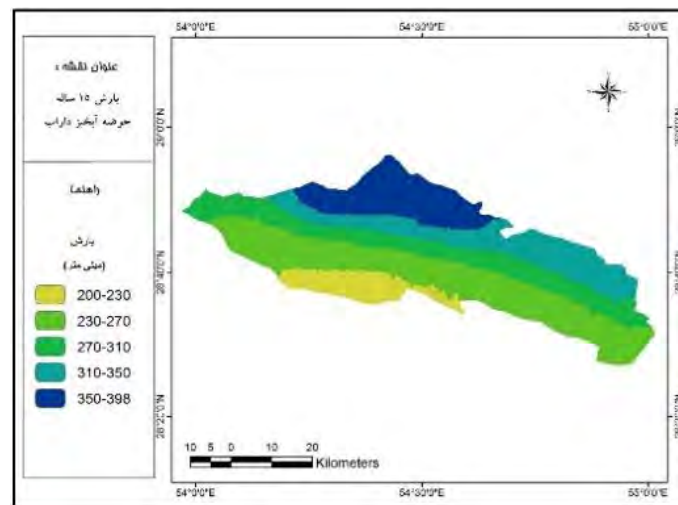
بارش:

برای تهیه لایه بارش از خطوط هم‌بارش رقومی استفاده شد. به‌منظور تعمیم داده‌های خطی به داده‌های پهنه‌ای با استفاده از ابزار Topo to Raster در محیط Arc Map به نقشه رستری تبدیل شد (شکل ۶). بارش‌ها به تبع از توپوگرافی

جدول ۴- طبقات بارشی منطقه و امتیاز آنها

(برگرفته از صابری و همکاران، ۱۳۹۱)

ارزش	طبقات (میلی‌متر)
۱	۲۳۰-۲۰۰
۲	۲۷۰-۲۳۰
۳	۳۱۰-۲۷۰
۴	۳۵۰-۳۱۰
۵	۳۹۸-۳۵۰



شکل ۶- نقشه بارش منطقه

که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، طبقه اول دارای کمترین ارزش و با افزایش تراکم زهکشی، اهمیت و وزن پهنه‌ها افزایش می‌یابد. علاوه بر پارامتر تراکم آبراهه، به تحلیل فاصله از آبراهه پرداخته شده است. بنابراین از دستور Distance در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده و منطقه در پنج طبقه ارزشی تهیه شد (شکل ۸). فواصل مجاور آبراهه به دلیل دسترسی به آب سطحی و نفوذ بیشتر، پتانسیل بیشتری دارند (جدول ۶).

تراکم زهکشی و فاصله از آبراهه:

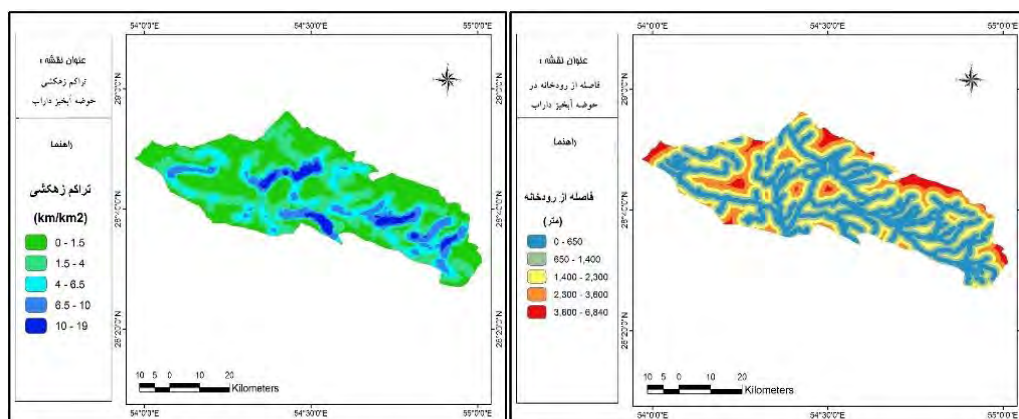
مشخصات هیدرولوژیکی و ژئوهیدرولوژی هر آبخوان یکی از گویاترین بخش‌ها در اکتشافات و پتانسیل‌یابی منابع آب است. در حوزه آبخیز داراب علاوه بر ریزش-های جوی، آبراهه‌های متعددی به صورت فصلی جریان دارند. که از ارتفاعات شرقی و شمال شرقی سرچشمه گرفته‌اند و منبع تغذیه‌کننده منطقه هستند. نقشه تراکم زهکشی با ابزار Line Density تهیه شده است (شکل ۷). این ابزار چگالی ویژگی‌های خطی در همسایگی هر سلول رستر خروجی را محاسبه می‌کند. تراکم بر حسب واحد طول در واحد سطح محاسبه می‌شود. همان‌گونه

جدول ۶- فاصله از رودخانه و امتیاز آنها (برگرفته از اصغری سراسکانرود و ریاحی‌نیا، ۱۳۹۹)

فاصله (متر)	ارزش
۰-۶۵۰	۵
۶۵۰-۱۴۰۰	۴
۱۴۰۰-۲۳۰۰	۳
۲۳۰۰-۳۶۰۰	۲
۳۶۰۰-۶۸۴۰	۱

جدول ۵- طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری تراکم زهکشی (برگرفته از صابری و همکاران، ۱۳۹۱)

طبقات (km/km ²)	ارزش
۰-۱/۵	۱
۱/۵-۴	۲
۴-۶/۵	۳
۶/۵-۱۰	۴
۱۰-۱۹	۵



شکل ۸- نقشه فاصله از رودخانه‌های منطقه

شکل ۷- نقشه تراکم زهکشی منطقه

افزایش تراکم درزه و گسل‌ها به‌طور کلی اهمیت زیادی در نفوذ و انتقال آب زیرزمینی دارد و به این ترتیب برای استخراج، حفاظت آب و پراکندگی مواد آلاینده مهم است (پراساد و همکاران، ۲۰۰۸). تراکم گسل‌ها برای حوزه آبخیز داراب تهیه شد (شکل ۱۰). نیمه شمالی منطقه بیشترین تراکم را دارد. طبقه اول تراکم گسل، حدود ۳۰ درصد از منطقه به خود اختصاص داده و کمترین ارزش دارد. بیشترین وزن آن مربوط به طبقه پنجم و حدود ۱۰ درصد از مساحت را پوشش می‌دهد (جدول ۸).

زمین‌شناسی و تراکم گسل:

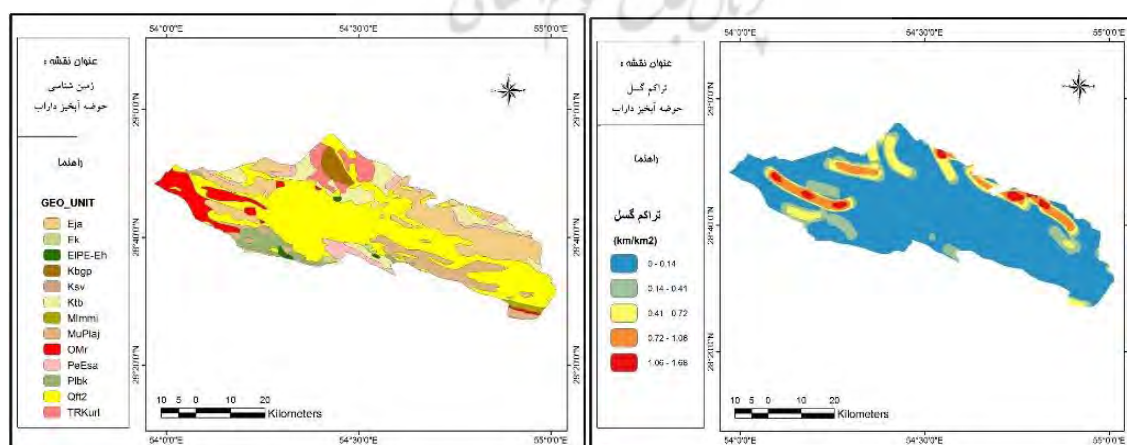
نوع و لیتولوژی سازند بر بسیاری از خصوصیات هیدرولوژیکی چون نفوذپذیری، هدایت هیدرولوژیکی و قابلیت انتقال تأثیرگذار است و این حاکی از اهمیت لایه زمین‌شناسی در میزان تغذیه است. آبرفت‌های درشت دانه و آهکی به دلیل دارا بودن هدایت هیدرولیکی بیشتر و ذخیره زیاد، وضعیت مناسبی برای تشکیل آبخوان‌ها عرضه می‌نماید و به عنوان مناطق مناسب برای تغذیه محسوب می‌شوند. نقشه زمین‌شناسی منطقه در شکل (۹) آمده که بیشترین پهنه را واحدهای Qft_2 و Eja در بر گرفته است. در منطقه موردی، مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم‌ارتفاع و سازندهایی از قبیل آقاجاری، جهرم و سروک با دارا بودن سنگ آهک هوازده، از امتیاز بالایی برخوردار است. در جدول (۷) ساختار زمین‌شناسی و ارزش آنها بیان شده است.

جدول ۷- ارزش ساختارهای زمین شناسی منطقه (برگرفته از صابری و همکاران، ۱۳۹۱؛ اصغری سراسکانرود و ریاحی نیا، ۱۳۹۹)

ارزش	ساختار زمین شناسی	واحد های زمین شناسی
۱	مارن خاکستری دگرسان شده کمی هوازده با نوارهایی از آهک های شیلی مقاوم (سازند میشان)	MImmi
۱	توف دار (سازند کرج) لایه بندی خوب و توف سبز، رسوبات شیلی	Ek
۱	اسفالریت	EIPE-Eh
۱	کنگلو مرای توده ای سیمانی با دگرسانی شدید و ماسه سنگ کمی هوازده با چینه بندی متقاطع (سازند بختیاری)	Pibk
۱	پلاژیک آهک سن لایه های میان با چرت	TRKurl
۱	(سازند ساچون) مارن قرمز کم رنگ، سنگ مرمر، سنگ آهک، گچ و دولومیت	PeEsa
۲	آهک انیدریت دار توده ای حاوی صدف (سازند تاربور)	Ktb
۲	گروه خامی شامل: سنگ آهک توده ای نازک لایه شامل سازندهای سورمه، انیدریت هیث، فحلیان، گدوان و داریان	Kbgb
۳	مارن، مارن ژپس دار، ماسه سنگ و کنگلومرا (سازند قرمز بالایی)	OMr
۴	ماسه سنگ آهک دار قهوه ای مایل به خاکستری و کمی هوازده، ژپس حفره دار، مارن قرمز و سیلتستون (سازند آقاجاری)	MuPlaj
۴	دولومیت خاکستری - قهوه ای و توده ای، دولومیت متوسط و ضخیم با هوازده کمی و سنگ آهک توده ای دولومیتی (سازند جهرم)	Eja
۴	با اندوهای مارن نازک در قسمت بالایی (سازند سروک) سنگ آهک توده ای و خاکستری	Ksv
۵	ذخایر تراسی و مخروط افکنه های کوهپایه ای جدید کم ارتفاع	Qft2

جدول ۸- طبقه بندی و ارزش گذاری تراکم گسل ها در منطقه (برگرفته از صابری و همکاران، ۱۳۹۱)

طبقات	ارزش
۰-۰/۱۴	۱
۰/۰-۱۴/۴۱	۲
۰/۰-۴۱/۷۲	۳
۰/۱-۷۲/۰۶	۴
۱/۱-۰۶/۶۸	۵



شکل ۹- نقشه زمین شناسی منطقه

شکل ۱۰- نقشه تراکم گسل های منطقه

خاک‌شناسی:

رده‌بندی خاک به‌عنوان یکی از عوامل موثر در پتانسیل آب زیرزمینی بررسی می‌شود. در این ارتباط نفوذپذیری و عمق زیاد از ویژگی‌های خاک‌های خوب برای تغذیه است (آهنگ، ۱۳۷۴). اینسپتی‌سول‌ها دارای بافت نرم و سست بوده و نفوذپذیری کمتری دارند. بنابراین در این مطالعه امتیاز کمتری می‌گیرند. در خاک‌های انتی‌سول، مواد مادری شنی بوده و ظرفیت نگهداری آب در این خاک‌ها بسیار کم است. لذا این ویژگی در تحقیق حاضر اهمیت دارد. در بدلندها یا هزاردره، معمولاً زهکشی فشرده و متراکمی از گودال‌ها و دره‌های کوچک و پوشش‌های گیاهی تنک و پراکنده‌ای وجود دارد. با افزایش جریان آب در شیب‌های تند، لایه‌های زیرین خاک نیز تحت فشار زیادی قرار می‌گیرند و شکاف‌هایی در بستر حرکت آب‌ها ایجاد می‌شود. در این مرحله، یک منطقه زهکشی شده ایجاد می‌شود (اسکام^۱، ۱۹۵۶). با توجه به مطالعات خاک‌شناسی، به گروه بدلندها و اینسپتی‌سول‌ها ارزش ۱ داده شد و بیشترین ارزش (وزن ۵) به گروه اریدی‌سول‌ها اختصاص یافت. (جدول ۹). اریدی‌سول‌ها مختص مناطق خشک هستند.

جدول ۹- ارزش‌گذاری رده‌بندی خاک در منطقه (برگرفته از

اصغری سراسکانرود و ریاحی‌نیا، ۱۳۹۹)

ارزش	رده‌بندی خاک‌ها
۱	بدلندها
۱	اینسپتی‌سول
۲	برونزد سنگی و انتی‌سول
۳	انتی‌سول و اینسپتی‌سول
۵	اریدی‌سول

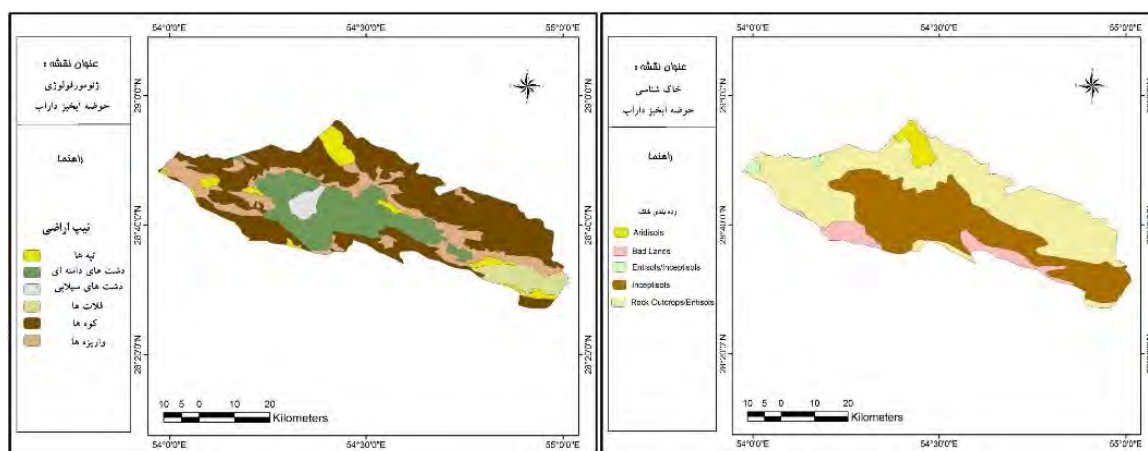
ژئومورفولوژی:

شکل (۱۲) نقشه ژئومورفولوژی منطقه موردی را نشان می‌دهد. کوه‌ها و واریزه‌ها به عنوان حصاری حوزه را دربرگرفته‌اند. دشت‌ها با توجه به تأثیری که در نفوذپذیری و منابع آب زیرزمینی دارند از درجه اهمیت بالایی برخوردارند و در این پژوهش بالاترین وزن به آن‌ها اختصاص یافت (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- ارزش‌گذاری واحدهای ژئومورفولوژی

(برگرفته از صابری و همکاران، ۱۳۹۱)

ارزش	واحد ژئومورفولوژی
۱	کوه‌ها و فلات‌ها
۲	تپه‌ها
۳	واریزه‌ها
۴	دشت‌های دامنه‌ای
۵	دشت‌های سیلابی



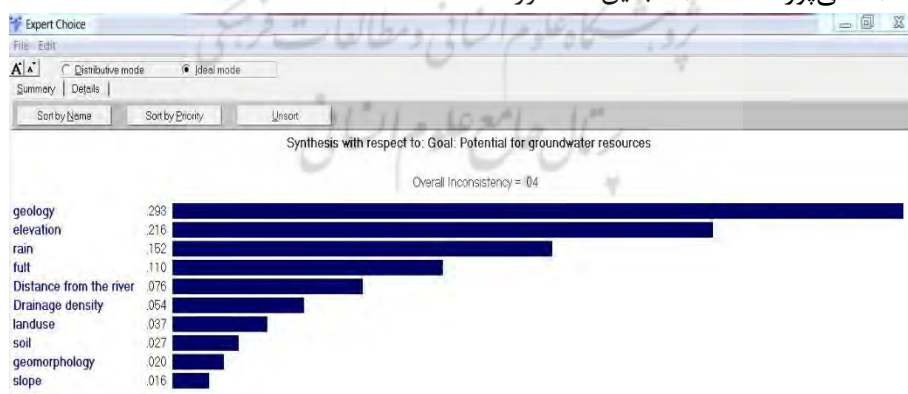
شکل ۱۱- نقشه خاک منطقه

شکل ۱۲- نقشه ژئومورفولوژی منطقه

معیارها توسط میانگین نظرات ۳۰ نفر از کارشناسان مورد مقایسه زوجی قرار گرفته و نرخ ناسازگاری ماتریس برابر با ۰/۰۴ محاسبه شد که به عنوان حداقل قابل قبول (کمتر از ۰/۱) می‌باشد. شکل (۱۳)، نمودار وزن‌ها و نرخ ناسازگاری آنها در نرم‌افزار Expert Choice نمایش می‌دهد. معیارهای زمین‌شناسی و ارتفاع به ترتیب با وزن ۰/۲۹۳ و ۰/۲۱۶ در اولویت هستند. پس از کسب میزان وزن نهایی، نقشه معیارها به صورت لایه رستری در محیط GIS، طبقه‌بندی مجدد و فازی‌سازی گردید.

وزن‌دهی معیارها به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

نرم‌افزار Expert Choice جهت تحلیل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی طراحی شده است. این نرم‌افزار علاوه بر امکان طراحی نمودار سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری و طراحی سوالات تعیین ترجیحات و اولویت‌ها و محاسبه وزن نهایی، قابلیت تحلیل حساسیت تصمیم‌گیری نسبت به تغییرات در پارامترهای مساله را نیز دارا می‌باشد (قدسی‌پور، ۱۳۸۵). بدین منظور



شکل ۱۳- وزن‌دهی به معیارها در نرم‌افزار Expert Choice

خروجی حاصل از عملگر اجتماع فازی، حداکثر درجه عضویت اعضا را تولید کرد؛ به همین دلیل از دقت بالایی در تعیین پتانسیل منابع آب برخوردار نبود. عملگر اشتراک فازی، حداقل درجه عضویت‌ها را

پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی با استفاده از منطق فازی:

به منظور بررسی موضوع در حوزه آبخیز داراب از تمامی اپراتورهای مدل منطق فازی استفاده شد.

فازی ۰/۹۸ استفاده شد. در نهایت نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی حاصل از عملگر گاما فازی ۰/۹۸ با اختلاف ۰/۰۲ به پنج کلاس پتانسیل خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و خیلی خوب تقسیم بندی شد (شکل ۱۴). در جدول شماره ۱۱ مساحت و درصد مناطق با پتانسیل های مختلف آب زیرزمینی نشان می دهد و مناطق با پتانسیل خیلی خوب که مدنظر قرار دارد، حدود ۶ درصد از حوزه را شامل می شود. هرچند این مقدار ناچیز بوده اما می توان به طبقه دوم با پتانسیل خوب نیز خوش بینانه نگریست. این طبقه براساس نتایج پژوهش حدود ۲۶/۵۱ درصد از منطقه را پوشش می دهد که مقدار قابل توجهی است.

استخراج کرد. نتایج به دست آمده از این عملگر در طبقه های با پتانسیل پایین قرار گرفت. در نقشه خروجی به دست آمده از عملگر ضرب جبری فازی اعداد کوچکتر شده و به سمت صفر نزدیک می شوند. این عملگر از حساسیت بالایی در مکان یابی برخوردار است. عملگر جمع جبری فازی مکمل اپراتور ضرب جبری است. بنابراین در نقشه خروجی برخلاف اپراتور ضرب جبری فازی ارزش پیکسل ها به سمت حداکثر نزدیک می شوند. در نقشه خروجی حاصل از این عملگر پیکسل ها به سمت حداکثر (پتانسیل خیلی زیاد) نزدیک می شوند. در این پژوهش جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب جبری فازی و دقت خیلی کم عملگر جمع جبری فازی از عملگر گاما

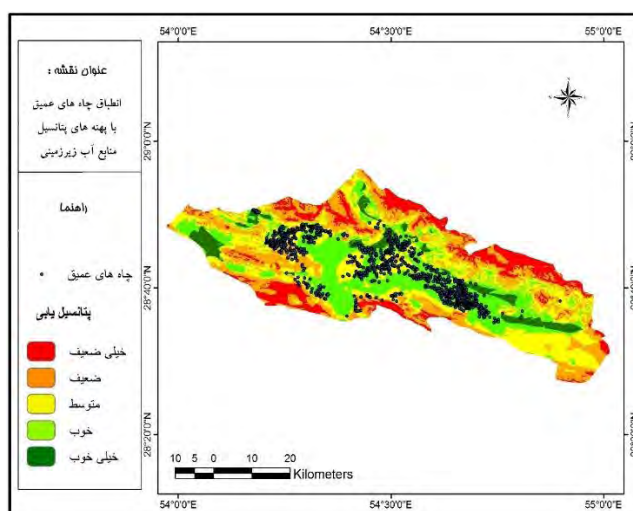
جدول ۱۱- مساحت مناطق با پتانسیل های مختلف آب زیرزمینی

پتانسیل سنجی	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
خیلی ضعیف	۳۱۴/۷۱	۱۳/۳۱
ضعیف	۵۹۸/۴۴	۲۵/۳۱
متوسط	۶۸۲/۶	۲۸/۸۷
خوب	۶۲۶/۸۲	۲۶/۵۱
خیلی خوب	۱۴۱/۸۴	۶

(شکل ۱۵). با آنالیز مکانی چاه های عمیق در محیط GIS، مشخص شد که ۶۳/۶۲ درصد از این نوع چاه ها در پهنه های با پتانسیل خوب و خیلی خوب قرار دارند. ۲۷/۵۲ درصد از چاه های عمیق در مناطق با پتانسیل متوسط واقع شده اند.

ارزیابی مدل:

برای سنجش اعتبار نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی، از موقعیت و عمق چاه های بهره برداری منطقه استفاده شد. جهت این امر چاه های عمیق که عمق آن ها بالای ۸۰ متر است (سایت سپهر سرویس) و دارای دبی بالایی هستند، مورد بررسی قرار گرفت



شکل ۱۵- نقشه انطباق چاه های عمیق با پتانسیل بالای منابع آب زیرزمینی در حوزه آبخیز داراب

نتایج و بحث

اند. هم چنین در تحقیق کثیری و همکاران (۱۳۹۹)، سه پارامتر زمین شناسی، ارتفاع و بارش بیشترین وزن را به خود اختصاص داده اند. پس از کسب میزان وزن نهایی، نقشه معیارها به صورت لایه رستری در محیط GIS، طبقه بندی مجدد و فازی سازی گردید. در این مطالعه از عملگرهای مختلف فازی جهت پتانسیل یابی آب زیرزمینی استفاده شد. نتایج نشان داد که گامای فازی را می توان به عنوان عملگر مناسب به منظور تلفیق لایه های اطلاعاتی و تعیین پتانسیل یابی انتخاب کرد. استفاده از عدد گامای ۰/۹۸ نتایج مطلوب تری نسبت به دیگر اعداد مشخص کرد. مناطق با پتانسیل بالای آب زیرزمینی با دقت بالا تعیین شد. بدین منظور از چاه های بهره برداری منطقه استفاده شده است. به طوری که حدود ۶۳/۶۲ درصد از این نوع چاه ها در پهنه های با پتانسیل خوب و خیلی خوب قرار دارند. ۲۷/۵۲ درصد از چاه های عمیق در مناطق با پتانسیل متوسط واقع شده اند. ۱۳/۳ درصد از مناطق با پتانسیل خیلی ضعیف و ۲۵/۳ درصد از آن ها در مناطق با پتانسیل ضعیف هستند. این دو طبقه جمعاً در دسته نامناسب قرار می گیرند و از نظر منابع آبی مستعد نیستند. پهنه های دارای پتانسیل خوب و

نتایج تحقیق نشان می دهد که استفاده از معیار مناسب برای رسیدن به هدف مورد نظر امری لازم و ضروری است. مجموعه عملیات مربوط به جمع آوری، ذخیره و تلفیق داده ها و تحلیل آن ها به منظور تعیین پتانسیل منابع آب زیرزمینی با استناد به مطالعات میدانی با توجه به تعدد لایه های اطلاعاتی و لزوم هم پوشانی آن ها، سیستم اطلاعات جغرافیایی مدنظر قرار می گیرد. هم چنین با توجه به تأثیر عوامل مختلف در تصمیم گیری چندمعیاره، باید اولویت و اهمیت آن ها نسبت به سایر پارامترها مشخص گردد. بنابراین با استفاده از روش AHP، برای ارزیابی پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در حوزه آبخیز داراب ۱۰ معیار زمین شناسی، تراکم گسل، ارتفاع، شیب، کاربری اراضی، خاک، ژئومورفولوژی، بارش، تراکم زهکشی و فاصله از رودخانه ها، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. معیارهای زمین شناسی، ارتفاع و بارش به ترتیب با وزن ۰/۲۹۳، ۰/۲۱۶ و ۰/۲ در اولویت هستند. صابری و همکاران (۱۳۹۱) نیز مهم ترین معیارها در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در تقادیس کمستان استان خوزستان را معیار زمین شناسی و بارش در نظر گرفته-

فازی و دقت خیلی کم عملگر جمع جبری فازی از عملگر گاما فازی $0/98$ استفاده شد. به طور کلی می-توان بیان کرد که بخش شمالی و قسمت‌هایی از جنوب دشت حوزه آبخیز داراب با افت سطح آب زیرزمینی مواجه است.

منابع

- _ طبقه‌بندی چاه‌ها و تخلیه چاه‌ها از نظر عمق آنها، سپهر سرویس. آهنگ، کوثر؛ (۱۳۷۴)، مقدمه‌ای بر مهار سیلاب‌ها و بهره‌وری بهینه از آنها: آبیاری سیلابی، تغذیه مصنوعی، بندهای کوتاه خاکی، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، چاپ اول، صص ۱۶۳-۱۴۷.
- حیدری آقاگل، مسعود؛ غلامی، ابراهیم؛ رستمی بارانی، حمیدرضا؛ (۱۳۹۶)، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش منطق فازی (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی)، نشریه تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۳، شماره ۱، صص ۲۱۵-۲۱۱.
- رحیمی، داریوش؛ موسوی، سید حجت؛ (۱۳۹۱)، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS، مطالعه موردی: حوضه آبخیز شاهرود- بسطام، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۱۷، شماره ۴۴، صص ۱۳۹-۱۵۹.
- رحیمی، محمد؛ سلیمانی، کریم؛ (۱۳۹۵)، ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان برپایه سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دوره ۱۰، شماره ۳۵، صص ۲۷-۳۸.
- ریاحی‌نیا، مریم؛ (۱۳۹۸)، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در دشت خرم‌آباد با استفاده از دو روش منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.
- اصغری سراسکانرود، صیاد؛ ریاحی‌نیا، مریم؛ (۱۳۹۹)، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در دشت خرم‌آباد با استفاده از دو روش منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال نهم، شماره ۲، صص ۱۵۸-۱۴۱.
- صابری، عظیم؛ رنگزن، کاظم؛ مهبجوری، رضا؛ کشاورزی، محمدرضا؛ (۱۳۹۱)، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با تلفیق سنجش از دور و GIS به روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در تاق‌دیس کمستان استان خوزستان، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۲، شماره ۶، صص ۲۰-۱۱.
- عادلی، محسن؛ (۱۳۸۶)، "مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر گرگان"، ارائه شده در اولین سمینار GIS شهری دانشگاه مازندران، آمل، ۴ و ۵.
- عباسی، ثریا؛ حیدری، مسعود؛ (۱۳۹۵)، ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های AHP و منطق فازی؛ مطالعه

خیلی‌خوب منطبق بر ذخایر تراسی، آبرفت‌ها و رسوبات دوران چهارم و دارای شیب کم (۰-۵ درجه) است. حدود ۳۱ درصد از حوزه آبخیز در دو طبقه‌ی پتانسیل خوب و خیلی‌خوب قرار دارند. مطابق تحقیقات هاموری و همکاران (۲۰۱۲)، پس از اعتبارسنجی نقشه تولیدی با داده‌های مختلف چاه‌های منطقه (تراز ایستابی آب، دبی و قابلیت انتقال)، مشاهده گردید که سامانه تصمیم‌یار مکانی و فاکتورهای در نظر گرفته شده برای پتانسیل‌یابی و همچنین تکنیک‌های سنجش از دور و GIS برای ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی کارآمد می‌باشند. نتایج مطالعه حاضر با پژوهش‌های داودآبادی فراهانی و آقاجانی (۱۳۹۲) و ریاحی‌نیا (۱۳۹۸) مشابه می‌باشد. آنها با بررسی عملگر مختلف فازی به منظور پتانسیل-یابی منابع آب زیرزمینی نشان دادند که می‌توان عملگرهای حاصل ضرب و گامای فازی را به عنوان عملگرهای مناسب جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به منظور پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در این منطقه معرفی کرد و استفاده از عدد گامای $0/98$ نتایج مطلوب‌تری نسبت به دیگر اعداد ارائه نمود.

نتیجه‌گیری

براساس مطالعات انجام شده، محدودیت و کمبود منابع آب زیرزمینی در دشت داراب فارس سبب شده این دشت در وضعیت بحرانی و در گروه ممنوعه قرار گیرد. با مدیریت صحیح می‌توان ظرفیت منابع آب‌های موجود سطحی و زیرزمینی به‌خوبی شناسایی و مطالعه کرد تا برنامه‌ریزی جامعی برای بهره‌برداری درست از آنها انجام شود. استفاده از GIS در کنار داده‌های مشاهده‌ای منجر برآورد آسان و سیستمی مناطق مستعد تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌گردد. در پژوهش حاضر از تمامی اپراتورهای مدل منطق فازی به منظور بررسی موضوع استفاده شده است. از این‌رو جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب جبری

- Mexico City. International Journal of Biometeorology, volume 35, number 1
- Chowdhury, A., Jha, M.K., Chowdar, V.M. ۲۰۱۰. Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques. Environmental Earth Sciences, Vol ۵۹ (۶): ۱۲۰۹-۱۲۲۲.
- Deng, F. Deng, Z. Dan, L. Daqing, W. Duan, H. Xing, Z. 2016. Application of remote sensing and GIS analysis in groundwater potential estimation in west Liaoning Province, China. Journal of Engg Research, 4 : (3), pp 1-1۷.
- Ghimire, M. Chapagain, P S. Shrestha, S; 2017. Mapping of ground water spring potential zone using geospatial techniques in the Central Nepal Himalayas: A case example Melamchi-Larke Area, Journal of Earth System Science, 128(2), pp 26-2۴.
- Jha, M.K., Kamii, Y., Chikamori, K. 2009. Cost-effective Approaches for Sustainable Groundwater Management in Alluvial Aquifer Systems, Water Resources Management, Vol 23 (2): 219- 2۳۳.
- Meshram, K.S., Mukharjee, A.P., Tripathi, M.P., Senger, S.S., Sarawgi, S.K., Dave, A.K. 2010. Effect of Artificial Recharge Structures on Ground Water Availability in Semi-critical Area in Chhattisgarh, M.Sc. Thesis in Agricultural Engineering (Soil and Water Engineering), Indira Grandhi Kirishi Vishwavidyalaya, Raipur, India, 328 p.
- Murasingh, S., Jha, R., Adamala, S. 2018. Geospatial technique for delineation of groundwater potential zones in mine and dense forest area using weighted index overlay technique, Groundwater for Sustainable Development, Vol 7: 387- 39۹.
- Prasad, R.K., Mondal, N.C., Banerjee, P., Nandakumar, M.V., Singh, V.S. 2008. Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS, Environmental Geology, Vol 55 (3): 467- 4۷۵.
- Schumm, S.A. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey, Geological Society of America Bulletin 67, 597-۴۶۴.
- Singh, L.K., Jha, M.K., Chowdary, V.M. ۲۰۱۸. Assessing the accuracy of GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis approaches for mapping groundwater potential, Ecological Indicators, Vol 91: 24-3۷.
- Yeh, H.F., Cheng, Y.S., Lin, H.I., Lee, C.H., 2016. Mapping groundwater recharge potential zone using a GIS approach in Hualian River. Taiwan. Sust. Environ. Res. 26(1), 33-43.
- Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy Sets, Information and Control, No. 8. 339p.
- موردی: حوضه شمالی استان ایلام، هیدروژئومورفولوژی، دوره ۲، شماره ۶، صص ۹۳-۷۵.
- علیزاده، امین؛ (۱۳۹۴)، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ ۴۰، ویرایش ۷، مشهد، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۹۴۲ صفحه.
- فلاح، فاطمه؛ دانش فر، مانیا؛ قربانی نژاد، سمیرا؛ (۱۳۹۶)، پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم آباد با استفاده از روش شاخص آماری، نشریه آب و توسعه پایدار، دوره ۴، شماره ۱، صص ۹۸-۸۹.
- قدسی پور، حسن؛ (۱۳۸۵)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- کثیر، زهرا؛ حبیب نژاد، محمود؛ روشن، سید حسین؛ (۱۳۹۹)، پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP) نمونه پژوهش: دشت ناز ساری، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دوره ۳۱، شماره ۱، صص ۱۲۰-۱۰۳.
- مفیدی فر، مهدی؛ اصلاح، مهدی؛ حسن آبادی، علی؛ (۱۳۹۴)، مقایسه مدل های تصمیم گیری تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی حوضه دشت یزد- اردکان در محیط GIS، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دوره ۲۶، شماره ۱، صص ۱۵۶-۱۴۷.
- هاتف، حکیمه؛ دانشور کاخکی، محمود؛ کهنسال، محمدرضا؛ بنایان، محمد؛ شاهنوشی فروشانی، ناصر؛ (۱۳۹۵)، بررسی آسیب پذیری اقتصادی از نوسانات اقلیمی؛ مطالعه موردی: استان خراسان رضوی، نشریه هواشناسی کشاورزی، جلد ۴، شماره ۲، صص ۷۰-۶۱.
- Adeyeye, O.A., Ikpokonte, E.A., Arabi, S.A. 2019. GIS-based groundwater potential mapping within Dengi area, North Central Nigeria, the Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, Vol 22 (2): 175- 1۸۱.
- Ahmadabadi, AS. Razeghi, M. (2007). "The tourism potential of the Kish island by Climatology approach", Second Conference on the Persian Gulf, pp. 175- 1۸۶.
- Akinlalu, A.A., Adegbuyiro, A., Adiat, K.A.N., Akeredolu, B.E., Lateef, W.Y. 2017. Application of multi-criteria decision analysis in prediction of groundwater resources potential: A case of Oke-Ana, Ilesa Area Southwestern, Nigeria. NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, Vol 6 (1): 184-2۰۰.
- Andualem, T. G., Demeke, G. G. 2019. Groundwater potential assessment using GIS and remote sensing: A case study of Guna tana landscape, upper blue Nile Basin, Ethiopia, Journal of Hydrology: Regional Studies ۲۴ (۲۰۱۹) ۱۰۰۶۱۰.
- Barradas, Victor L. (1991). Air temperature and humidity and human comfort index of some city parks of

Potential identification of groundwater resources using fuzzy logic method (Case study: Darab Fars watershed)

Abstract

The limitation and scarcity of groundwater resources in Darab Fars plain has caused this plain to be in a critical situation and in the forbidden group. With proper management, the capacity of available surface and groundwater resources can be well identified and studied to make a comprehensive plan for their proper use. The use of GIS along with observational data leads to easy and systematic estimation of groundwater recharge areas. The purpose of this study is to identify the potential of groundwater resources using AHP model and fuzzy functions in GIS environment. To assess the potential of groundwater resources, 10 geological criteria, fault density, altitude, slope, land use, soil, geomorphology, precipitation, drainage density and distance from rivers were studied and analyzed. The layers were prepared in a GIS environment and then the potential of groundwater resources was modeled using fuzzy logic functions. The results showed that the use of 0.98 gamma showed more favorable results than other numbers. Areas with high groundwater potential were determined with high accuracy. To validate the model, exploitation wells in the region have been used. About 63.62 percent of this type of wells are located in areas with good and very good potential. Areas with good and very good potential correspond to the terrace reserves, alluviums and sediments of the fourth period and have a low slope (0-5 degrees). About 31 percent of the watershed is in two categories of good and very good potential.

Key words: Groundwater resource potential, Analytic Hierarchy Process, GIS, fuzzy logic, Darab watershed.