

## پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی در دشت خرم‌آباد با استفاده از دو روش منطق‌فازی و شبکه عصبی مصنوعی

صیاد اصغری سراسکانرود\* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.  
مریم ریاحی نیا - دانش آموخته کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه محقق اردبیلی.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۱۲      تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۳/۱۹

### چکیده

در سال‌های اخیر با افزایش روز افزون جمعیت و توسعه صنعتی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی چندین برابر شده است، با تداوم این عمل سطح آب‌های زیرزمینی روز به روز افت کرده است. بنابراین شناسایی این منابع، استفاده بهینه از آن به معنای برداشت پایدار و همیشگی از این ثروت خدادای است. هدف از این تحقیق ارزیابی و پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های منطق‌فازی و شبکه عصبی مصنوعی در دشت خرم‌آباد است. در این تحقیق ابتدا نقشه فهرست چاه‌ها تهیه و بعد پارامترهای موثر در پتانسیل‌یابی از قبیل: لایه ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، شاخص رطوبت توپوگرافی، کاربری اراضی، خاک، زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل، تراکم گسل مشخص و نقشه آن‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد. جهت تهیه نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی از دو روش منطق‌فازی و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. در مدل شبکه عصبی مصنوعی الگوریتم پس‌انتشار خطا و تابع فعال‌سازی سیگموئید به کار گرفته شد. ساختار نهایی شبکه دارای ۱۱ نرون در لایه ورودی، ۱۱ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی گردید. در مدل منطق‌فازی از اپراتورهای عملگر اجتماع فازی، عملگر اشتراک فازی، عملگر ضرب جبری فازی، عملگر جمع جبری فازی، عملگر گاما فازی استفاده شد. سپس نتایج هر دو مدل مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت با مقایسه نتایج به دست آمده روش مناسب جهت پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی به دست آمد و همچنین مهمترین عوامل موثر در پتانسیل‌یابی منابع در منطقه مشخص گردید. نتایج ارزیابی شبکه عصبی با چاه‌هایی با دبی بالا نشان می‌دهد که حدود ۸۰ درصد از چاه‌ها در مناطق با پتانسیل متوسط به بالا است در حالی که نقشه منطق‌فازی حدود ۷۵ درصد چاه‌ها در مناطق با پتانسیل متوسط به بالا را نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش نشان داد که روش شبکه عصبی جهت پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی نسبت به روش منطق‌فازی مناسب‌تر و کاربردی‌تر است.

واژگان کلیدی: پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی، شبکه عصبی مصنوعی، منطق‌فازی، دشت خرم‌آباد

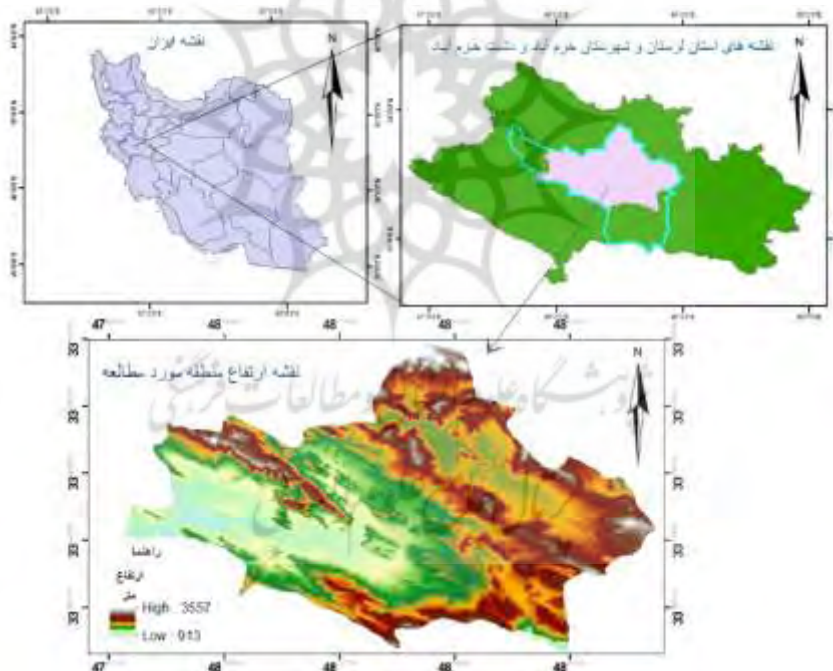
## مقدمه

آب زیرزمینی بزرگترین منبع آب شیرین روی زمین است (ساگانتی و همکاران، ۲۰۱۳، ۸۸) و به دلیل عواملی مانند دستیابی زیاد، کیفیت بسیار عالی و هزینه کم توسعه (لی و همکاران، ۲۰۱۲، ۱۱۵۱) دمای ثابت، ضریب آلودگی کمتر، آسیب‌پذیری محدود، سطح اطمینان بیشتر (مناب و نپاک، ۲۰۱۲، ۲) و شیرین بودن، ترکیبات ثابت شیمیایی یک منبع قابل اتکا به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (یمانی و عزیزاده، ۱۳۹۳، ۱۳۲). امروزه تأثیر فعالیت‌های انسانی و رشد سریع جمعیت و توسعه اجتماعی در حال رشد منجر به تقاضای بیشتر برای آب شده است و این آب‌ها به طور فزاینده‌ای در حال افت کردن هستند (دنگ و همکاران، ۲۰۱۶، ۲). از این رو مدیریت منابع آب در کشورهای کم آب از جمله ایران از موارد اجتناب‌ناپذیر است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۳، ۱۵۳). کشور ایران سرزمینی است خشک و نیمه‌خشک با نزولات جوی بسیار اندک، به طوری که میانگین بارش سالیانه آن کمتر از یک سوم متوسط بارندگی سالیانه جهان است. این کشور که حدود ۶۵ درصد آن از آب‌ها زیرزمینی تأمین می‌گردد، با شرایط سخت و بخرنجی در زمینه تأمین آب روبرو است (عزیزاده، ۱۳۸۹، ۳۳). در کشور ما از آنجا که منابع آب سطحی در بسیاری از مناطق کشور به دلیل بروز خشک‌سالی‌های اخیر محدود می‌باشد (یمانی و عزیزاده، ۱۳۹۳، ۱۳۲) در نتیجه بهره‌برداری‌های بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی در حال افزایش است، لذا افت کمی و کیفی این منابع به‌عنوان یکی از شاخصه‌های مهم تخریب اراضی محسوب می‌شود و یکی از راهکارهای مؤثر و مفید اجرای پروژه‌های مختلف آب‌خیزداری می‌باشد (کردوانی و همکاران، ۱۳۹۱). در چنین شرایطی برآورد پتانسیل آب زیرزمینی در یک منطقه به مردم کمک خواهد کرد که درک عمومی از منابع آب محلی داشته باشند و می‌تواند هنگام تصمیم‌گیری در مورد انتخاب منطقه، برنامه‌ریزی شهری، حفاظت از محیط زیست و غیره، آن‌ها را راهنمایی کند (دنگ و همکاران، ۲۰۱۶، ۴). این وضعیت خشک‌سالی و بهره‌برداری شدید آب‌های زیرزمینی حاکم بر کشور در استان لرستان به عنوان دومین حوزه پرآب کشور نیز مشهود است، به طوری که ۷۰ درصد چشمه‌های استان یعنی ۶۸۸ دهنه چشمه دائمی و فصلی مورد استفاده کشاورزی و شرب روستا، ۲۵۰ حلقه چاه آب شرب و ۱۵۰ رشته قنات خشک شده است. در سال‌های اخیر منابع آب زیرزمینی استان ۵۵ درصد کاهش یافته است، این افت شدید آب‌های زیرزمینی باعث ایجاد فروچاله‌های متعدد در سطح دشت‌های حاصلخیز مانند کوه‌دشت، مهاجرت روز افزون روستانشینان به حاشیه شهرهای و بروز مشکلات اقتصادی و اجتماعی متعدد، شده است. با توجه به اهمیت منابع آب‌های زیرزمینی مطالعات فراوانی در متون علمی جهان و ایران انجام شده است از جمله: ساگانتی و همکاران (۲۰۱۳) این مطالعه جهت پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی توسط روش سنجش از دور و GIS و ارتباط آن با سطح آب زیرزمینی در بخش ساحلی حوضه رودخانه آرائی و کرتالی در منطقه شمال چنای، جنوب هند صورت گرفته است و نتایج نشان می‌دهد که منطقه پتانسیل آب زیرزمینی توسط مشخص شدن منطقه به ۴ طبقه بسیار بالا، بالا، متوسط، کم که به ترتیب ۱۵/۷۰، ۴۳/۱۵، ۳۳/۲۵، ۱۵/۰۱ درصد از کل منطقه را شامل می‌شوند شناخته شده است. دنگ و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه خود به کاربرد GIS در برآورد پتانسیل آب‌های زیرزمینی در استان لیاونینگ غرب چین با روش 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 پائین تراز شاخه‌های آن واقع شده است. گی میر و همکاران (۲۰۱۷) به مطالعه نقشه برداری از منطقه پتانسیل چشمه‌های آب‌های 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 آب‌های زیرزمینی می‌تواند در یک محیط بیوفیزیکی مشابهی که در آن یک بررسی هیدروژئولوژیکی یا ژئوفیزیکی آب‌های زیرزمینی انجام نشده تکرار شود. قربانی نژاد و همکاران (۱۳۹۶) به مطالعه و تحقیق در مورد پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی دشت ازنا \_ الیگودرز استان لرستان با استفاده از متغیرهای محیطی و مدل نسبت فراوانی پرداخت و نتایج نشان داد که نقشه پتانسیل تهیه شده براساس مدل نسبت فراوانی دارای ۷۲/۱٪ بوده که بیانگر قابلیت بالای این مدل در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی است. زرنندی و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیق خود از

الگوریتم حداکثر آنتروپی جهت پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در دشت همدان بهار استفاده کردند و این مدل بیشترین حساسیت را نسبت به پارامترهای مؤثر (شیب، جهت، فاصله از آبراهه، TWI و تراکم زهکشی، ضخامت آبخوان و زمین‌شناسی) در شناسایی پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه دارد که علت اصلی آن وجود رسوبات درشت دانه آبرفتی و افزایش ضخامت آبخوان در این ناحیه می‌باشد. نوحانی و همکاران (۱۳۹۷) از روش آماری نسبت فراوانی (FR) برپایه GIS برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی دشت الشتر در استان لرستان استفاده شد. نتایج نشان داد که حاشیه‌های شمالی و غربی دشت دارای پتانسیل بالا و مرکز دشت دارای پتانسیل متوسط می‌باشد و مدل نسبت فراوانی دارای صحت ۸۵ درصدی برای تهیه نقشه‌های پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی دشت الشتر می‌باشد.

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این تحقیق حوضه آبریز خرم‌آباد از زیرحوضه‌های کرخه است. دشت خرم‌آباد در مرکز استان لرستان بین عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی واقع گردیده است (شکل ۱). متوسط ارتفاع منطقه ۱۹۰۳ متر و مساحت محدوده مطالعاتی ۲۵۱۷ کیلومتر مربع می‌باشد. متوسط بارش سالانه محدوده مطالعاتی خرم‌آباد ۵۰۹ میلی‌متر و متوسط دمای آن ۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد است (آمار ۵۰ ساله، ۲۰۰۵ - ۱۹۵۶).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

### داده‌ها و روش‌شناسی

در این تحقیق از نقشه‌های زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، رقومی سازمان جغرافیایی استان، تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ سال ۲۰۱۸، داده‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه از جمله دما و بارش (سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷) که از سازمان هواشناسی استان لرستان و مدل رقومی ارتفاعی SRTM، ۳۰ متری منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. از نرم‌افزار ArcGIS جهت ایجاد پایگاه داده، تحلیل‌های مکانی-فضایی و در نهایت پیاده کردن مدل و از نرم‌افزار ENVI جهت تصحیحات هندسی و رادیومتریک تصاویر ماهواره‌ای استفاده گردید. در این پژوهش برای بررسی و پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی ۱۱ عامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی،

خاک، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، بارش، دما، سطح آب زیرزمینی مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. سپس نقشه این عوامل با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه و برای پهنه‌بندی در مدل منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است.

منطق فازی حالت کلی از مجموعه کلاسیک را نشان می‌دهد. عضویت یک شیء در مجموعه کلاسیک کاملاً روشن و واضح بوده و یک شیء می‌تواند به طور صحیح عضو یک مجموعه‌ی خاص باشد یا نباشد، در حالی که یک زیرمجموعه فازی مرزهای مشخصی ندارد و توسط تابعی در بازه ی {۰-۱} تعریف می‌شود. به هر عضو از یک مجموعه‌ی فازی درجه عضویتی اختصاص می‌یابد که صفر بیان‌کننده عدم عضویت کامل به مجموعه و یک عضویت کامل را توجیه می‌کند و اعداد بین صفر تا یک به صورت مجموعه پیوسته‌ای از عضویت به مجموعه فازی را نشان می‌دهد (سنگلانی، ۱۳۹۱، ۴۸).

### اپراتورهای مدل منطق فازی

الف) عملگر اشتراک فازی<sup>۱</sup>: عملگر اشتراک مجموعه‌هاست. 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 (رابطه ۱)

$$\mu_{combination} = \min [\mu A, \mu B, \mu C] \quad (1)$$

ب) عملگر ضرب جبری فازی<sup>۲</sup>: 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 (رابطه ۲).

$$u_{Combination} = \prod_{i=1}^n u_i \quad (2)$$

ج) عملگر جمع جبری فازی<sup>۳</sup>: 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 (رابطه ۳).

$$\mu_{Combination} = \prod_{i=1}^n i(1 - \mu_i) \quad (3)$$

د) عملگر فازی گاما<sup>۴</sup>: 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 اپراتور است (رابطه ۴).

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

(۴)

که در آن  $\gamma$  پارامتر انتخاب شده در محدوده (۰ و ۱) است. وقتی  $\gamma$  برابر ۱ باشد ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود. ه) عملگر اجتماع فازی<sup>۵</sup>: این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود و در جایی که حضور هر نشانگر مثبت می‌تواند مفید باشد به کار می‌رود. حاصل ترکیب لایه‌های فازی مقدار عددی بزرگی خواهد شد (رابطه ۵)

<sup>۱</sup> Fuzzy AND

<sup>۲</sup> Fuzzy Algebraic Product

<sup>۳</sup> Fuzzy Algebraic Sum

<sup>۴</sup> Fuzzy Gamma

<sup>۵</sup> Fuzzy OR

$$\text{Combination} = \text{MAX}[\mu A, \mu B, \mu C] \quad (5)$$

در شبکه عصبی مصنوعی سعی بر آن است که ساختاری مشابه ساختار بیولوژیکی مغز انسان و شبکه اعصاب بدن ساخته شود تا همانند مغز قدرت یادگیری، تعمیم دهی و تصمیم گیری داشته باشد (لی و همکاران، ۲۰۰۶، ۲۰۸). در مدل شبکه عصبی جهت آموزش شبکه از لایه های تهیه شده، همراه با تعدادی از داده های واقعی چاه ها به عنوان ورودی وارد شبکه شدند و با این روش الگوی بین پارامترهای ورودی (ورودی شبکه) و مناطقی که پتانسیل آب وجود دارد (خروجی شبکه) توسط شبکه آموزش داده شد. سپس به ازای پارامترهای ورودی منطقه مورد نظر به شبکه عصبی آموزش دیده، خروجی متناظر که همان مناطق پتانسیل آب زیرزمینی است پیش بینی گردید. جهت تشکیل ماتریس هدف (خروجی مطلوب) و همچنین اعتبارسنجی مدل ها، نیاز به نمونه های واقعی چاه ها هست. تعدادی از این نمونه ها جهت ارزیابی نتایج حاصل از پیش بینی مدل ها و تعدادی جهت تشکیل ماتریس هدف استفاده گردید. پس از آماده سازی ماتریس ورودی و ماتریس هدف، این اطلاعات وارد نرم افزار متلب شدند و شبکه عصبی طراحی و پس از آموزش شبکه، پیش بینی و شبیه سازی لازم صورت گرفت. جهت تسهیل در همگرایی شبکه عصبی مصنوعی و عدم کاهش سرعت شبکه، مقادیر مربوط به نرونهای ورودی نرمالیزه شدند. برای نرمالیزه کردن داده ها در برنامه نوشته شده از رابطه زیر استفاده شد. (رابطه ۶)

$$X_i = \frac{Z_i - Z_{i(\min)}}{Z_{i(\max)} - Z_{i(\min)}} \quad (6)$$

که در آن  $Z_i$  برابر با وزن پیکسل مورد نظر،  $Z_{i(\min)}$  برابر با کمترین وزن فاکتور مورد نظر،  $Z_{i(\max)}$  برابر با بیشترین وزن فاکتور مورد نظر و  $X_i$  برابر با وزن نرمال شده فاکتور مورد نظر است.

### معیارهای ارزیابی عملکرد شبکه

به منظور ارزیابی و مقایسه نتایج حاصل از روش ها و مدل های به کار برده شده در روش شبکه عصبی مصنوعی از معیارهای جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی ( $R^2$ ) و متوسط قدر مطلق خطا (MAE) که به ترتیب معادله (۷) و (۸) و (۹) شامل می شوند، استفاده می شود (خوشحال دستجردی و حسینی، ۱۳۸۹، ۱۱۳):

$$\text{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\text{obs} - \text{pre})^2}{n}} \quad (7)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{obs} - \overline{\text{obs}})(\text{pre} - \overline{\text{pre}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\text{obs} - \overline{\text{obs}})^2 \sum_{i=1}^n (\text{pre} - \overline{\text{pre}})^2}} \quad (8)$$

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^n |\text{obs} - \text{pre}|}{N} \quad (9)$$

در روابط فوق،  $\text{obs}$  مقادیر مشاهده ای<sup>۱</sup>، و  $\text{pre}$  مقادیر پیش بینی شده<sup>۲</sup> و  $N$  تعداد کل داده ها در هر مرحله از آزمون های آموزش و آزمایش است.

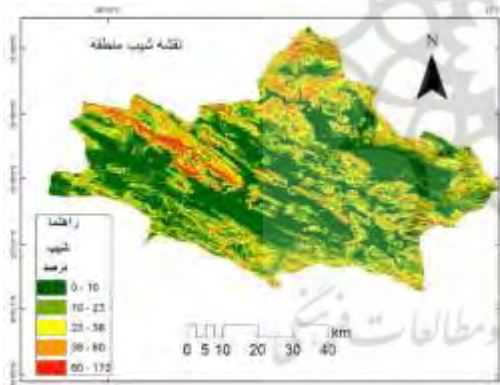
در این پژوهش همچنین از ۱۱ عامل به عنوان پارامترهای ورودی و یک نرون نیز به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شده است (راکی و همکاران، ۱۳۸۶، ۶۱). برای ارزیابی نتایج خروجی مدل های مورد استفاده در برآورد پتانسیل آب زیرزمینی از ۱۲۴ حلقه چاه موجود در ارزیابی نتایج خروجی مدل های منطقه مورد مطالعه با دبی بالا استفاده شد.

<sup>۱</sup> Observed

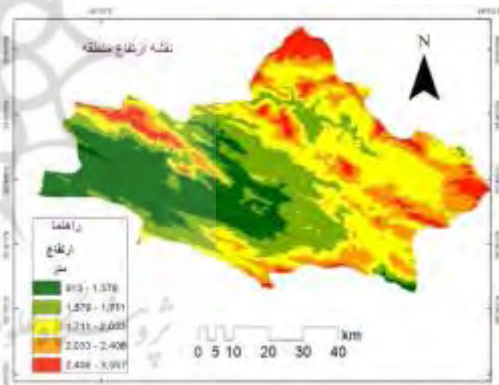
<sup>۲</sup> Predicted

### لایه های اطلاعاتی استفاده شده

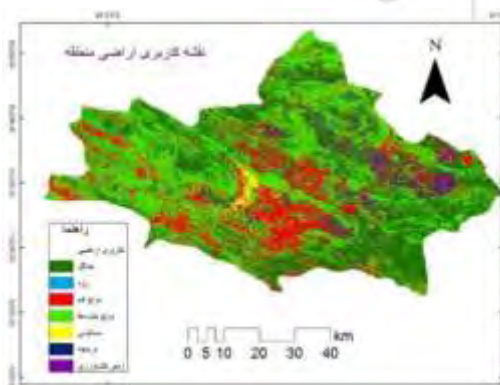
نقشه ارتفاع منطقه براساس مدل رقومی ارتفاع با دقت ۳۰ متر تهیه و در ۵ کلاس طبقه‌بندی شده است (شکل ۲) نقشه شیب و جهت شیب از مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه به ترتیب در ۵ و ۹ طبقه تهیه شد (شکل ۳ و ۴). نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ تهیه شد (شکل ۵). نقشه خاک محدوده مطالعاتی با توجه به نقشه خاک استان لرستان در ۴ کلاس (شکل ۶) و نقشه فاصله از رودخانه بر اساس لایه رقومی شبکه آبراهه در دشت خرم‌آباد در ۶ دسته طبقه‌بندی شد (شکل ۷). نقشه فاصله از گسل براساس نقشه‌ی رقومی گسل‌های استان لرستان ( اداره آبخیزداری استان لرستان، ۱۳۹۲) در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه شد. و در ۵ کلاس طبقه‌بندی گردید (شکل ۸). داده‌های بارندگی و دما سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ مربوط به ایستگاه‌های باران سنجی منطقه مورد مطالعه از سازمان هواشناسی استان لرستان تهیه شد و میانگین بارش و دما سالانه در محیط ArcGIS, Excel برای حوضه مورد مطالعه به دست آمد (شکل ۹، ۱۰). نقشه سطح آب زیرزمینی: نقشه سطح آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های چاه منطقه که از سازمان آب منطقه‌ای خرم‌آباد تهیه شده، محیط ArcGIS تهیه شده است و در ۵ کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۱۱). نقشه سنگ‌شناسی محدوده مطالعاتی خرم‌آباد با استفاده از نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی کشور در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ تهیه گردیده و در ۶ گروه طبقه‌بندی گردید (شکل ۱۲).



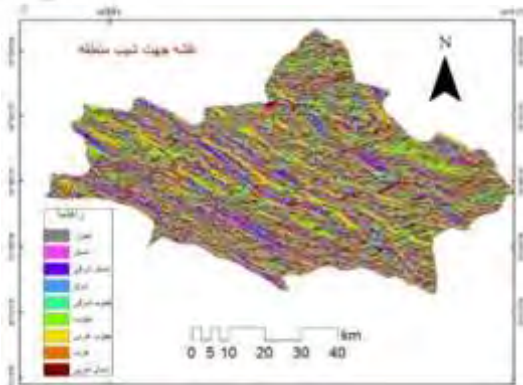
شکل ۳: نقشه شیب منطقه مورد مطالعه



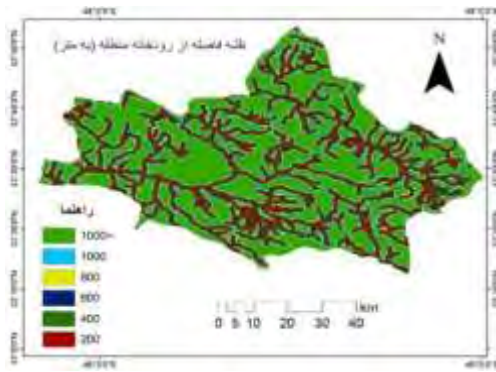
شکل ۲: نقشه ارتفاع منطقه مورد مطالعه



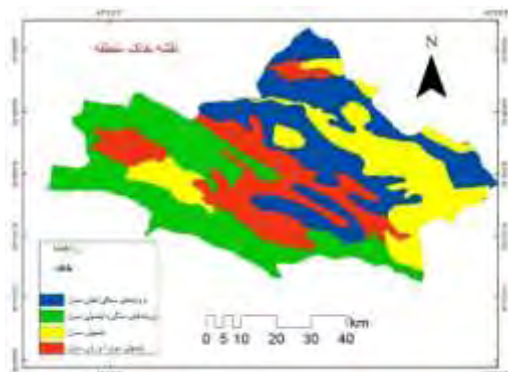
شکل ۵: نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه



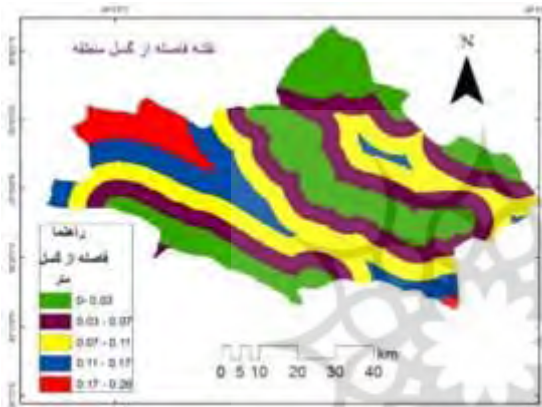
شکل ۴: نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه



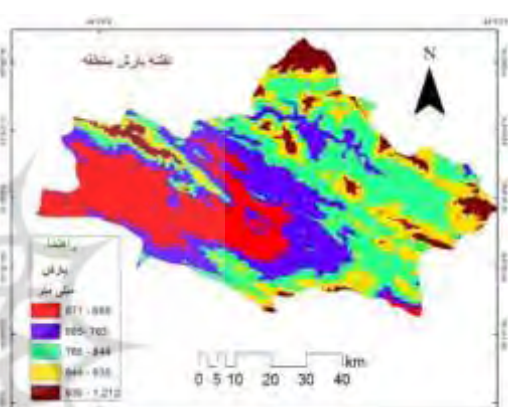
شکل ۷: نقشه فاصله از رودخانه منطقه مورد مطالعه



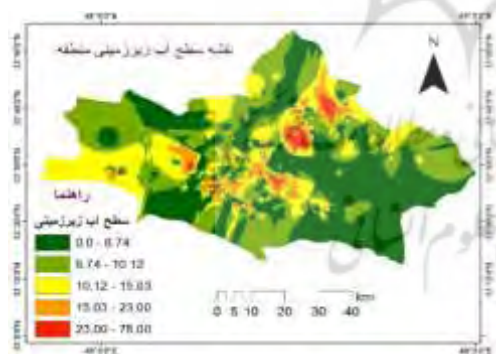
شکل ۶: نقشه خاک منطقه مورد مطالعه



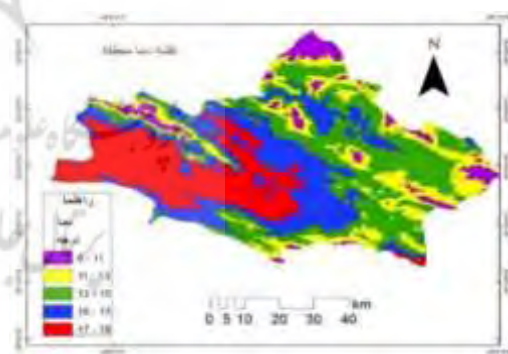
شکل ۸: نقشه فاصله از گسل منطقه



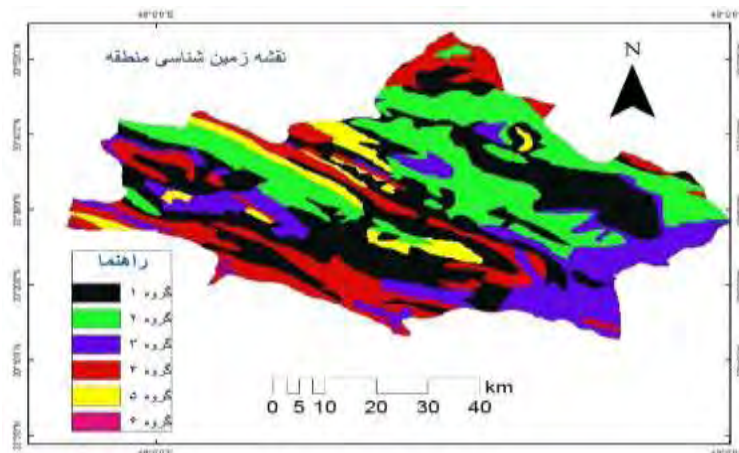
شکل ۹: نقشه بارش منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۱: نقشه سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۰: نقشه دما منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۲: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

گروه ۱	تراس های رودخانه ای و مخروط افکنه‌ی کوهپایه‌ای قدیمی مرتفع و جدید کم ارتفاع
گروه ۲	بنگستان تفکیک نشده (آهک و شیل و...)، آهک اربیتولین دار توده ای ضخیم لایه خاکستری، آهک مرجانی، مارنی، آهک دولومیتی، دولومیت قهوه ای رنگ
گروه ۳	سازند کشکان (کنگلومرای قرمز، ماسه سنگ، سیلیتون)، سازند بختیاری (کنگلومرای توده ای سیمانی بادگرسانی شدید)، کنگلومرای بختیاری، مارن
گروه ۴	سازند آقاجاری (ماسه سنگ آهک دار قهوه ای مایل به خاکستری)، گروه فارس (گچساران، میشان)، سازند امیران، سنگ های تفکیک شده سازندهای شهبازی و آسمانی، سازند تله زنگ، برش رادیولاریت، آهک متعفن البیتی توده ای ضخیم لایه خاکستری
گروه ۵	سازند گورپی (مارن خاکستری مایل به آبی و شیل حاوی آهک آریلی)، سنگ های تفکیک نشده آئوسن، سازند گچساران، مارن، ماسه سنگ، آهک، سازند آسماری
گروه ۶	سازند نمکی هرمز

## بحث و یافته‌ها

جهت بررسی ارتباط عوامل تأثیرگذار بر پتانسیل منابع آب زیرزمینی بعد از تهیه نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی منطقه پراکندگی مناطق با پتانسیل متفاوت نسبت به ۱۱ عامل مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی در محیط نرم افزار ArcGIS مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱).

توپوگرافی و ارتفاع زمین بیانگر میزان آب نفوذی به زمین است، با افزایش ارتفاع در منطقه شرایط برای نفوذ آب به درون زمین کم می‌شود و پتانسیل آب در آن کمتر خواهد شد. بررسی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی نسبت به نقشه ارتفاع نشان می‌دهد که بیشترین درصد (۳۳٪) از منطقه با پتانسیل بالا (خیلی خوب و خوب) در ارتفاع ۲۰۰۰-۱۷۰۰ متر که ارتفاع متوسط منطقه است، قرار دارد و بیشترین درصد (۳۱/۱۷ و ۲۷/۹۶) از مناطق با پتانسیل متوسط و ضعیف هم در همین ارتفاع قرار دارد. بنابراین می‌توان استدلال کرد که عامل ارتفاع به تنهایی عامل مؤثر در پتانسیل بایب منابع آب زیرزمینی نیست. شیب یکی از عوامل مؤثر در تبدیل بارش به رواناب و همچنین ظرفیت نفوذپذیری خاک می‌باشد (همتی، ۱۳۹۷). در شیب‌های تند به دلیل این که رواناب سطحی از مقدار نفوذ آب در زمین بیشتر است تغذیه آب زیرزمینی کاهش می‌یابد (فاشای و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج بررسی عامل شیب نشان می‌دهد که بیشترین درصد (حدود ۳۸/۸۵ درصد) مناطق با پتانسیل بالا در شیب ۱۰ - ۰ درصد قرار دارد و بیشترین درصد (۳۹/۰۱) مناطق با پتانسیل متوسط در شیب ۱۰ - ۰ و بیشترین درصد



مناطق با پتانسیل ضعیف در شیب ۱۷۳ - ۶۰ است. پس می‌توان استدلال کرد که عامل شیب یکی از فاکتورهای مؤثر در پتانسیل یابی منابع آب‌های زیرزمینی است. بررسی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی نسبت به نقشه جهت شیب نشان می‌دهد که این جهات جغرافیایی تأثیر مختلفی بر پتانسیل آب زیرزمینی دارد. در نیمکره شمالی، جهت‌های شمالی و شرقی نسبت به جهت‌های جنوبی و غربی دارای پتانسیل بهتری از منابع آب هستند. زیرا در شیب‌های شمالی و شرقی میزان دریافت تشعشعات انرژی خورشیدی کمتر از شیب‌های جنوبی و غربی می‌باشد (فلاح و همکاران، ۱۳۹۶) لذا میزان تبخیر کم و رطوبت خاک بیشتر می‌باشد. بیشترین درصد (حدود ۲۱/۷۵ درصد) از مناطق با پتانسیل بالا در جهت شمال شرقی (۶۷/۵ - ۲۲/۵) قرار دارد. و بیشترین درصد (۱۷/۷۱) در مناطق با پتانسیل متوسط همچنان در جهت شمال شرقی و بیشترین درصد (۴۰/۶۹) در مناطق با پتانسیل ضعیف در جهت جنوبی (۲۰۲/۵ - ۱۷۵/۵) قرار دارد. از آنجا که بیشترین درصد از مناطق با پتانسیل بالا و متوسط در جهت شمال شرقی و بیشترین درصد مناطق با پتانسیل ضعیف در جهت جنوبی قرار دارد می‌توان استدلال کرد که عامل جهت شیب نیز یکی از فاکتورهای مؤثر در پتانسیل یابی منابع آب‌های زیرزمینی است.

نوع سازند و لیتولوژی سازند بر بسیاری از خصوصیات هیدرولوژیکی چون هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال، نفوذپذیری و تأثیرگذار است و این حاکی از اهمیت لایه زمین‌شناسی در میزان تغذیه آب زیرزمینی است (رحیمی و سلیمانی، ۱۳۹۵). بدیهی است که هرچه میزان تخلخل و منافذ بیشتر باشد میزان نفوذ و تغذیه آب‌های زیرزمینی بیشتر است (علیزاده، ۱۳۹۱). نتایج بررسی عامل لیتولوژی نشان می‌دهد که بیشترین درصد (حدود ۳۴/۰۵) از مناطق با پتانسیل بالا در گروه ۱ (تراس‌های رودخانه‌ای و مخروط افکنه‌ای کوهپایه‌ای قدیمی و جدید) قرار دارد و بیشترین درصد (۳۳/۸۷) در مناطق با پتانسیل متوسط نیز در همین گروه ۱ و بیشترین درصد (۳۷/۹۱) در مناطق با پتانسیل ضعیف در کلاس ۱ قرار دارد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که بخش عمده‌ای از سنگ‌های منطقه از نوع گروه ۱ (تراس‌های رودخانه‌ای و مخروط افکنه‌ای کوهپایه‌ای قدیمی و جدید) و گروه ۲ (بنگستان تفکیک نشده و آهک اربیتون‌دار توده‌ای) می‌باشد. بنابراین می‌توان استدلال کرد که این عامل در کنار دیگر عوامل تأثیرگذاری بیشتر خواهد داشت.

نفوذ آب در خاک به عواملی مانند بافت و ساختمان خاک، پوشش گیاهی و شیب زمین بستگی دارد. بدیهی است که نوع بافت خاک تأثیر مهمی در افزایش یا کاهش میزان نفوذ آب دارد (علیزاده، امین، ۱۳۹۱). نفوذپذیری سطحی خاک نفوذپذیری و عمق زیاد از ویژگی‌های خاک‌های خوب برای تغذیه است (رحیمی و سلیمانی، ۱۳۹۵). بررسی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی نسبت به نقشه خاک نشان می‌دهد که بیشترین درصد (۲۵/۹۱) از مناطق با پتانسیل بالا در گروه بروندهای سنگی / اینتیسول قرار دارد و بیشترین درصد (۳۰/۲۳) مناطق با پتانسیل متوسط نیز در گروه بروندهای سنگی / اینتیسول قرار دارد. در نتیجه می‌توان استدلال کرد که عامل خاک تنها عامل نیست و در کنار دیگر فاکتورها از عوامل تأثیرگذار در پتانسیل - یابی منابع آب‌های زیرزمینی است.

بررسی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی نسبت به نقشه فاصله از رودخانه نشان می‌دهد که بیشترین درصد (حدود ۲۴/۷۰) از مناطق با پتانسیل بالا در فاصله ۲۰۰ متر که نزدیکترین فاصله به رودخانه است، قرار دارد و بیشترین درصد (۳۴/۵۸) در مناطق با پتانسیل متوسط نیز در کلاس  $< ۱۰۰۰$  یعنی در محدوده‌ای که دور از حریم رودخانه است و بیشترین درصد (۵۶/۵۴) در مناطق با پتانسیل ضعیف در کلاس  $< ۱۰۰۰$  (محدوده‌ای که دور از حریم رودخانه است) قرار دارد.

بنابراین می‌توان استدلال کرد که عامل فاصله از رودخانه از عوامل تأثیرگذار در پتانسیل یابی منابع آب‌های زیرزمینی است و البته تنها عامل هم نیست و تأثیرگذاری آن در کنار دیگر عوامل بیشتر خواهد بود. گسل‌ها و شکستگی‌های موجود در یک منطقه در جهت تغذیه آب‌های زیرزمینی به عنوان نقاط مثبتی در نظر گرفته می‌شوند، زیرا این نقاط سبب تسهیل نفوذ آب‌های سطحی و رواناب‌ها به نقاط پایین تر درون زمین می‌گردند (ماه‌گلی و همکاران، ۱۳۸۸). بررسی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی نسبت به نقشه فاصله از گسل نشان می‌دهد که بیشترین درصد (حدود ۳۹/۸۷) از مناطق با پتانسیل بالا در

کلاس (۰-۰/۰۳۲) که نزدیک‌ترین فاصله به گسل است، قرارداد و بیشترین درصد (۲۸/۰۹) در مناطق با پتانسیل متوسط نیز در کلاس (۰-۰/۰۳۲) و بیشترین درصد (۲۷/۸۸) در مناطق با پتانسیل ضعیف در کلاس (۰/۰۷۲-۰/۱۱۵) قرار دارد. چنین می‌توان استدلال کرد که عامل فاصله از گسل یکی از عوامل مهم و مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی است.

بررسی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی نسبت به نقشه بارش نشان می‌دهد که بیشترین درصد (۳۶/۲۶) از مناطق با پتانسیل بالا در محدوده بارش ۸۴۴-۷۵۶ قرارداد و بیشترین درصد (۳۱/۳۳) مناطق با پتانسیل متوسط نیز در محدوده بارش ۸۴۴-۷۵۶ و بیشترین درصد (۲۸/۱۲) در مناطق با پتانسیل ضعیف نیز در همین محدوده قرار دارد یعنی بیشترین درصد از مناطق با پتانسیل بالا و متوسط و ضعیف در محدوده بارش ۸۴۴-۷۵۶ قرار دارد پس این عامل در کنار دیگر فاکتورها از عوامل تأثیرگذار در پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی است. بررسی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی نسبت به نقشه دما نشان می‌دهد که بیشترین درصد (۳۲/۷۳) از مناطق با پتانسیل بالا در محدوده دما ۱۵-۱۳ درجه قرارداد و بیشترین درصد (۳۱/۰۴) در مناطق با پتانسیل متوسط نیز در محدوده دما ۱۵-۱۳ و بیشترین درصد (۴۲/۱۶) در مناطق با پتانسیل ضعیف نیز در همین محدوده قرار دارد یعنی بیشترین درصد از مناطق با پتانسیل بالا و متوسط و ضعیف در محدوده دما ۱۵-۱۳ قرار دارد. بنابراین می‌توان استدلال کرد که عامل دما در کنار دیگر فاکتورها از عوامل تأثیرگذار در پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی است.

کاربری اراضی نقش مهمی در میزان نفوذ آب دارد. اراضی کشاورزی و اراضی مرتعی دارای نفوذپذیری بیشتری نسبت به مناطق شهری و مسکونی هستند. مناطق شهری و مسکونی به دلیل سطوح نفوذ ناپذیر متعددی که دارند دارای نفوذپذیری بسیار کمی هستند (قربانی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). بررسی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی نسبت به نقشه کاربری اراضی نشان می‌دهد که بیشترین درصد (۴۲/۰۵) از مناطق با پتانسیل بالا در کاربری مرتع متوسط قرارداد و بیشترین درصد (۳۴/۶۶) در مناطق با پتانسیل متوسط نیز در کاربری جنگل و بیشترین درصد (۴۲/۱۳) در مناطق با پتانسیل ضعیف نیز در کاربری مرتع متوسط قرار دارد. بنابراین می‌توان استدلال کرد که عامل کاربری اراضی در مناطق مختلف با توجه به شرایط آن منطقه متغیر می‌باشد و در کنار دیگر فاکتورها از عوامل تأثیرگذار در پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی است. بررسی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی نسبت به نقشه سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد که بیشترین درصد (۳۶/۸۵) از مناطق با پتانسیل بالا در کلاس ۱۰/۱۲-۶/۷۴ قرارداد و بیشترین درصد (۴۰/۴۶) در مناطق با پتانسیل متوسط نیز در کلاس ۶/۷۴-۰-۶/۷۴ و بیشترین درصد (۴۴/۷۹) در مناطق با پتانسیل ضعیف نیز در همین کلاس ۰-۶/۷۴ قرار دارد. بنابراین می‌توان استدلال کرد که عامل نقشه سطح آب زیرزمینی در مناطق مختلف با توجه به شرایط آن منطقه متغیر می‌باشد و در کنار دیگر فاکتورها از عوامل تأثیرگذار در پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی است.

جدول ۱: بررسی عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با نقشه پتانسیل دشت خرم‌آباد

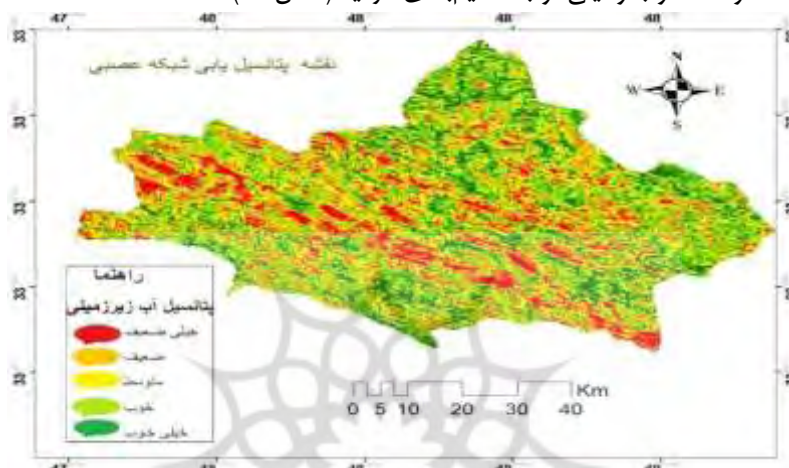
پارامترهای مؤثر	طبقات نقشه‌ها	مناطق با پتانسیل بالا	مناطق پتانسیل متوسط	مناطق پتانسیل ضعیف
ارتفاع	۹۱۳-۱۳۷۹	۱۶/۶۹	۲۰/۷۸	۲۶/۸۷
	۱۳۷۹-۱۷۱۱	۲۰/۴۲	۳۳/۲۶	۲۷/۳۳
	۱۷۱۱-۲۰۳۳	۳۳/۰۰	۳۱/۱۷	۳۷/۹۶
	۲۰۳۳-۲۴۰۶	۲۰/۳۷	۱۸/۰۷	۱۵/۵۴
شیب	۲۴۰۶-۲۵۰۰	۹/۶۹	۶/۶۹	۳/۲۸
	۰-۱۰	۳۸/۸۵	۳۹/۰۱	۱۴/۵۶
	۱۰-۲۳	۳۰/۸۷	۳۰/۸۲	۱۰/۲۵
	۲۳-۳۸	۱۹/۲۷	۱۸/۹۴	۶/۷۵
	۳۸-۶۰	۹/۰۱	۹/۱۸	۲/۹۷
	۶۰-۱۷۳	۱/۹۷	۲/۰۳	۶۶/۴۷
	۰-۲۲/۵	۱۹/۸۶	۶/۰۹	۰/۸
	۲۲/۵-۶۷/۵	۲۱/۷۵	۱۷/۷۱	۵/۵۱
	۶۷/۵-۱۱۲/۵	۱۵/۱۶	۷/۱۴	۱/۶۶
	۱۱۲/۵-۱۵۷/۵	۷/۸۴	۱۲/۹۵	۷/۸۳

۴۰/۶۹	۱۱/۰۳	۱/۳۱	۱۵۷/۵ - ۲۰۲/۵	جهت شیب
۲۶/۸۵	۱۷/۰۵	۴/۳۳	۲۰۲/۵ - ۲۴۷/۵	
۱۰/۸۰	۱۲/۰۱	۴/۳۳	۲۴۷/۵ - ۲۹۲/۵	
۵/۱۴	۱۱/۶۹	۱۰/۵۶	۲۹۲/۵ - ۳۳۷/۵	
-/۶	۴/۲۰	۱۴/۸۱	۳۳۷/۵ - ۳۶۰	فاصله از گسل
۲۱/۱۰	۲۸/۰۹	۳۹/۸۷	۰ - ۰/۰۳۲	
۲۳/۶۶	۲۷/۷۰	۲۹/۵۲	/۰۳۲ - ۰/۰۷۲	
۲۷/۸۸	۲۶/۱۰	۲۰/۳۶	۰/۰۷۲ - ۰/۱۱۵	
۲۰/۰۵	۱۱/۴۰	۵/۶۹	۰/۱۱۵ - ۰/۱۷۰	فاصله از رودخانه
۷/۲	۶/۶۹	۴/۵۳	۰/۱۷۰ - ۰/۲۶	
۵/۳۵	۱۲/۰۵	۲۴/۷۰	۲۰۰	
۷/۱۴	۱۳/۴۶	۲۰/۴۵	۴۰۰	
۹/۳۲	۱۳/۱۲	۱۴/۹۹	۶۰۰	زمین‌شناسی
۱۰/۸۸	۱۲/۵۰	۱۰/۸۹	۸۰۰	
۱۲/۷۳	۱۰/۲۹	۷/۲۱	۱۰۰۰	
۵۴/۵۶	۳۴/۵۸	۳۱/۷۴	<۱۰۰۰	
۳۷/۹۱	۳۳/۸۷	۳۴/۰۵	گروه ۱	زمین‌شناسی
۲۱/۱۰	۲۵/۵۸	۲۵/۹۵	گروه ۲	
۱۷/۸۳	۱۷/۱۳	۱۷/۱۶	گروه ۳	
۱۶/۳۷	۱۸/۲۳	۱۸/۹۸	گروه ۴	
۶/۷۴	۵/۱۷	۳/۸۴	گروه ۵	
۰/۱۶	.	.	گروه ۶	
۳۱/۵۷	۲۶/۵۲	۲۵/۹۱	اینیتسول/بروندهای سنگی	خاک
۳۰/۵۹	۳۰/۲۳	۲۵/۵۱	ایسپتیسول/بروندهای سنگ	
۱۷/۳۹	۲۱/۹۵	۲۵/۷۸	ایسپتیسول	
۲۰/۴۳	۲۱/۲۸	۲۲/۷۷	ورتیسول/ایسپتیسول	بارش
۲۶/۸۷	۲۰/۷۸	۱۶/۷۰	۵۷۱ - ۶۸۵	
۲۷/۳۲	۲۳/۲۶	۱۶/۹۰	۶۸۵ - ۷۵۶	
۲۸/۱۲	۳۱/۳۳	۳۶/۲۶	۷۵۶ - ۸۴۴	
۱۴/۳۹	۱۷/۹۱	۲۰/۰۹	۸۴۴ - ۹۳۲	دما
۳/۲۸	۶/۶۹	۱۰/۰۲	۹۳۲ - ۱۲۰۰	
۱۰/۲۷	۶/۲۱	۸/۶۹	۶ - ۱۱/۸	
۲۴/۰۷	۱۶/۹۲	۱۹/۳۳	۱۱/۸ - ۱۳/۸	
۴۲/۱۶	۳۱/۰۴	۳۲/۷۳	۱۳/۸ - ۱۵/۴	دما
۲۳/۴۷	۲۳/۸۵	۲۱/۱۸	۱۵/۴ - ۱۷/۲	
.	۲۲/۱۸	۱۷/۷۹	۱۷/۲ - ۱۹	

### پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی

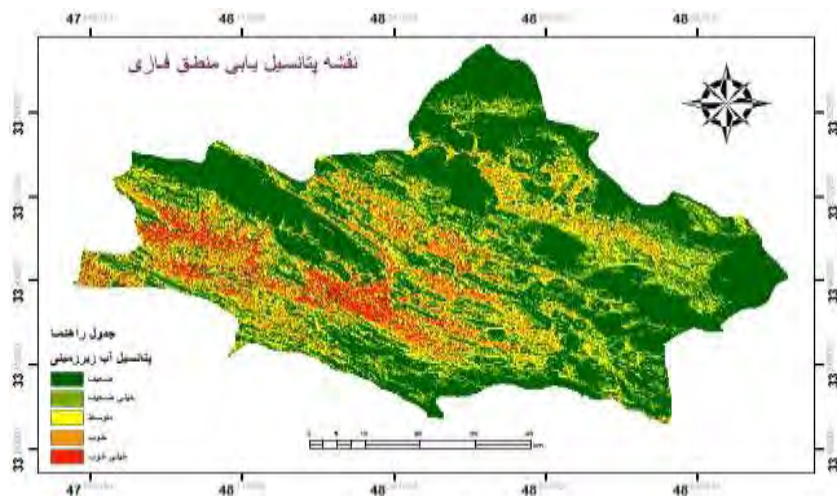
در این پژوهش از روش شبکه‌بندی منظم مربعی استفاده گردید و همه نقشه‌ها با این نوع شبکه‌بندی تقسیم بندی گردیدند. پس از استانداردسازی و شبکه‌بندی لایه‌ها، جهت ورود اطلاعات این لایه‌ها به نرم‌افزار متلب و انجام تجزیه و تحلیل به وسیله شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده، اطلاعات مربوط به این لایه‌ها به فایل‌های اسکی تبدیل شدند. در این تحقیق شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چند لایه به دلیل کارایی بهتر نسبت به دیگر انواع شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا استفاده شد. به منظور بهترین ساختار برای شبکه عصبی مصنوعی تعداد زیادی شبکه عصبی ایجاد گردید که در تعداد تکرار، ضریب یادگیری، تعداد نرون‌های موجود در لایه پنهان متفاوت بودند و در نهایت ساختار ۱۱-۱۱-۱ یعنی ۱۱ نرون در لایه ورودی، ۱۱ نرون در لایه پنهان و ۱ نرون در لایه خروجی مناسب تشخیص داده شد و براساس این ساختار پهنه‌بندی نهایی صورت گرفته است. برای جلوگیری از هرگونه دخل و تصرف در نتایج شبکه عصبی، در این تحقیق برای آموزش و آزمایش شبکه به طور تصادفی و مساوی داده آب زیرزمینی آبدار و غیر آبدار انتخاب و از ۸۰ درصد این داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد برای آزمایش استفاده شد. در این تحقیق از اطلاعات ۱۳۴۰ نقاط چاه برای آموزش و آزمایش شبکه به کار برده شد که از این تعداد ۱۰۷۲ چاه برای آموزش و ۲۶۸ چاه برای آزمایش شبکه بکار رفته است. با بررسی پاسخ‌های خروجی شبکه عصبی در مرحله آزمایش، مشخص گردید که شبکه عصبی ایجاد شده قادر است از میان ۹۸ چاه ۸۹ مورد را به درستی گزارش دهد که نشان دهنده حساسیت تشخیص معادل ۹۰/۸ درصد می‌باشد. در این تحقیق از ۱۱ نرون ورودی استفاده شده است که هر کدام بیانگر یکی از عوامل موثر در پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی است. از روش سعی و خطا برای تعیین تعداد نرون در لایه پنهان استفاده شده است. پس از اینکه ساختار اصلی شبکه عصبی مشخص شد، اطلاعات مورد نیاز برای آموزش شبکه عصبی طراحی شده فراهم شد و پس از رسیدن به

خطای قابل قبول شبکه آماده شده است تا تحلیل منطقی در مورد اطلاعاتی که قبلاً با آن‌ها مواجه نشده است را انجام دهد و شبیه‌سازی و پیش‌بینی و لازم صورت پذیرد. بدین منظور با استفاده از وزن‌های مرحله پایانی مربوط به آموزش شبکه کل منطقه که شامل ۸۰۳۸۷ پیکسل و هر کدام از پیکسل‌ها دارای ۱۱ ویژگی مربوط به ۱۱ عامل تاثیرگذار بر منابع آب‌های زیرزمینی بود در اختیار شبکه قرار گرفت. پس از انجام تجزیه و تحلیل بر روی این داده‌ها توسط شبکه برای هر کدام از پیکسل‌ها مقداری بین صفر و یک به دست آمد. با دسته‌بندی مقادیر به دست آمده از شبکه، مناطق به نواحی متفاوت از نظر پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی تقسیم‌بندی شد. در نهایت نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی به ۵ محدوده خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و خیلی خوب تقسیم‌بندی گردید (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در دشت خرم‌آباد با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

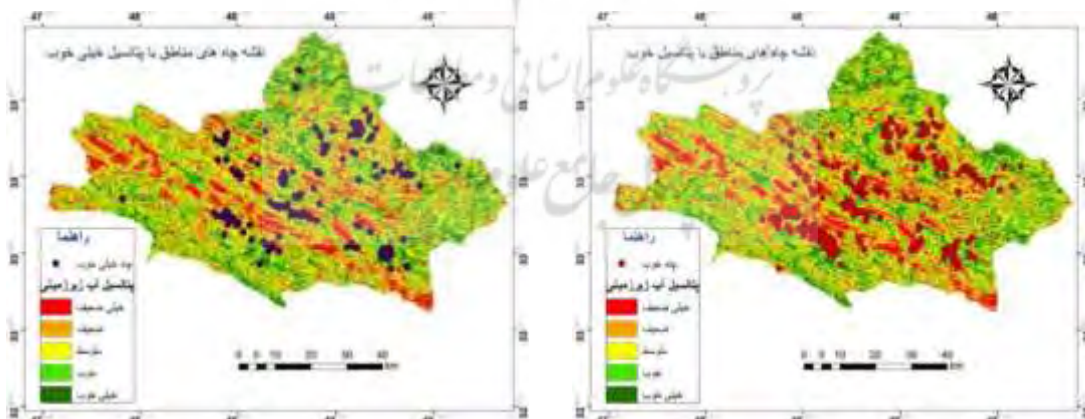
جهت پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل منطق فازی در دشت خرم‌آباد از تمامی اپراتورهای مدل منطق فازی استفاده شد عملگر اجتماع فازی اجتماع مجموعه‌هاست. نتیجه حاصل از این عملگر حداکثر درجه عضویت اعضاء را تولید کرد به همین خاطر از دقت بالایی در تعیین پتانسیل منابع آب برخوردار نبود. عملگر اشتراک فازی اشتراک مجموعه‌هاست. این عملگر حداقل درجه عضویت‌ها را استخراج کرد. نتایج به دست آمده از این عملگر در طبقه‌های با پتانسیل پایین قرار گرفت در نقشه خروجی به دست آمده از عملگر ضرب جبری فازی اعداد کوچکتر شده و به سمت صفر نزدیک می‌شوند. این عملگر از حساسیت بالایی در مکان‌یابی برخوردار است. عملگر جمع جبری فازی مکمل اپراتور ضرب جبری است. بدین خاطر در نقشه خروجی برخلاف اپراتور ضرب جبری فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت حداکثر نزدیک می‌شوند. در نقشه خروجی حاصل از این عملگر پیکسل‌ها به سمت حداکثر (پتانسیل خیلی زیاد) نزدیک می‌شوند. در این پژوهش جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب جبری فازی و دقت خیلی کم عملگر جمع جبری فازی از عملگر گاما فازی  $0/98$  استفاده شد. در نهایت نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی حاصل از عملگر گاما فازی  $0/98$  با اختلاف  $0/2$  به ۵ پهنه پتانسیل خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و خیلی خوب تقسیم‌بندی شد (شکل ۱۴).



شکل ۱۴: نقشه پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در دشت خرم آباد با استفاده از عملگر گامای مدل منطق فازی

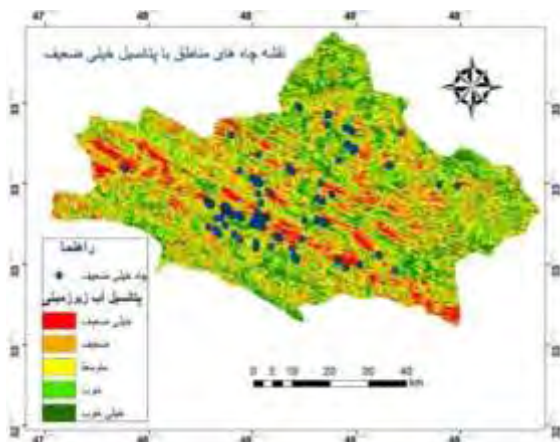
#### بررسی چاه های منطقه با نقشه پتانسیل یابی منابع آب های زیرزمینی دشت خرم آباد

بعد از تهیه نقشه نهایی پتانسیل منابع آب زیرزمینی دشت خرم آباد به ارزیابی و بررسی آن براساس ۱۳۴۰ حلقه چاه که از سازمان آب منطقه ای همین حوضه تهیه شده پرداخته شد. در این بررسی ها تمامی این چاه ها با نقشه مورد نظر قطع داده شد و مشخص شد که تک تک این چاه ها درچه مناطقی با چه پتانسیلی قرار گرفته اند. نتایج به دست آمده نشان می دهد که ۱۰ / ۸۲ و ۲۳ / ۴۳ و ۲۷ / ۰۱ و ۲۳ / ۶۵ و ۱۵ / ۰۷ درصد از چاه ها به ترتیب در کلاس خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب، خیلی خوب قرار دارند. در نتیجه براین اساس می توان چاه های را که در مناطق با پتانسیل نامناسب قرار دارند مورد بررسی و مدیریت قرار گیرند تا از پیامدهای که بر اثر برداشت از این چاه ها در سال های آینده صورت می گیرد جلوگیری به عمل آید. نقشه ی این چاه ها در شکل (۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹) نشان داده شده است.

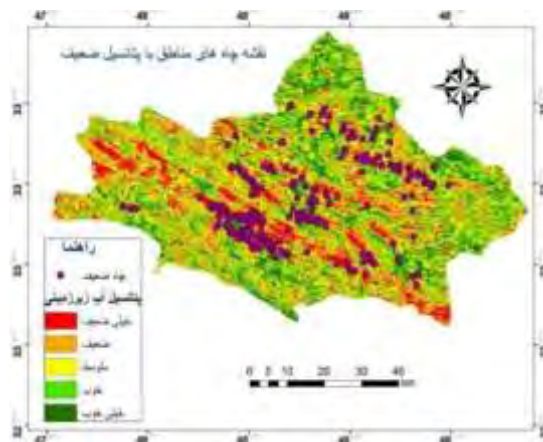


شکل ۱۵: نقشه چاه های موجود در مناطق با پتانسیل خوب

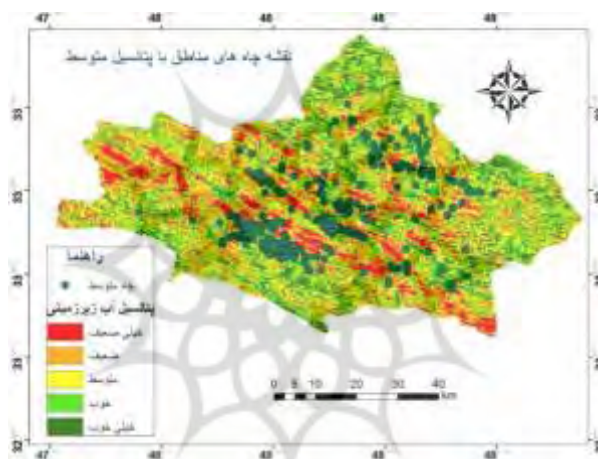
شکل ۱۶: نقشه چاه های موجود در مناطق با پتانسیل خیلی خوب



شکل ۱۷: نقشه چاه‌های موجود در مناطق با پتانسیل خیلی ضعیف



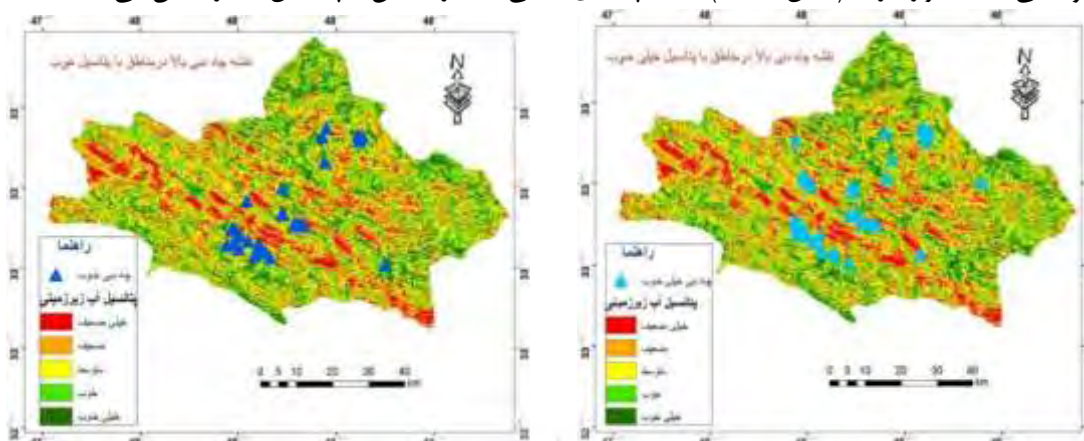
شکل ۱۸: نقشه چاه‌های موجود در مناطق با پتانسیل ضعیف



شکل ۱۹: نقشه چاه‌های موجود در مناطق با پتانسیل متوسط

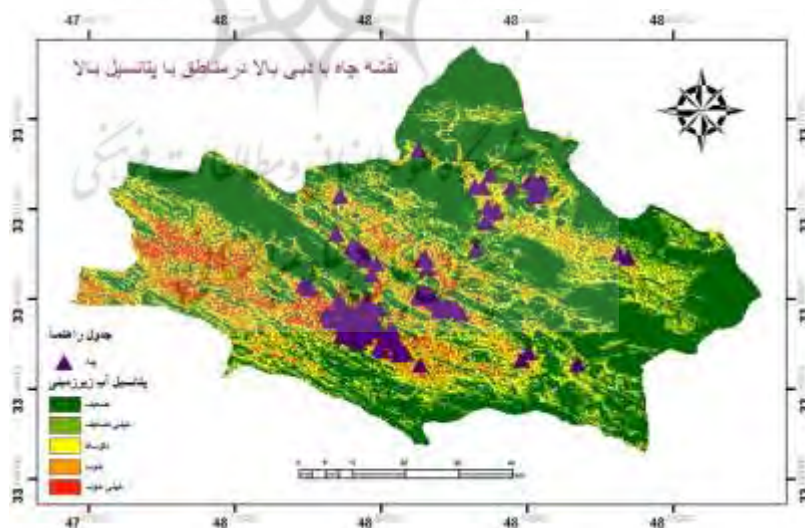
بررسی چاه‌های با دبی بالا با نقشه پتانسیل یابی روش شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی جهت ارزیابی و بررسی نقشه به دست آمده از چاه‌هایی که دارای دبی بالایی بودند استفاده شد. معمولاً اکثر چاه‌هایی که دارای دبی بالا هستند دارای عمق زیاد نیز هستند و جزء چاه‌های عمیق محسوب می‌شوند که با بررسی چاه‌های مورد نظر مشخص شد که حدود ۸۵ درصد چاه‌های انتخاب شده دارای عمق ۵۰ متر به بالا هستند. چاه عمیق با دستگاه‌های مکانیکی حفر می‌شود. عموماً قسمت آبدار آن بیش از پنجاه متر از سطح ایستایی آب پایین می‌رود. چاه عمیق ممکن است از چندین لایه آبدار بگذرد؛ به طوری که لوله‌های فلزی مشبک منصوب در آن که از لایه‌های مختلف می‌گذرد می‌تواند از همه ذخائر آب لایه‌ها استفاده کند. بر اثر پایین رفتن سطح آب در اطراف چاه، جریان طبیعی آب زیرزمینی تغییر کرده و آب اطراف و نقاط دورتر با سرعتی بیشتر به سمت چاه جریان یافته و یک مخروط افت ایجاد می‌شود. از آن جا که چاه‌های عمیق در عمق زیاد در سفره‌های آب زیرزمینی حفر می‌شوند، ترسالی و خشکسالی تأثیر فوری بر آب‌دهی آن‌ها ندارد. اما بهره‌برداری از تعداد زیادی چاه عمیق در یک دشت با مکش بیش از حد آب از اعماق زیاد می‌تواند نهایتاً منجر به افت شدید سطح عمومی سفره آب در آن دشت شود. از آن جا که در ابتدا حفر چاه‌های عمیق بدون توجه به، بیلان آب سفره‌های زیرزمینی صورت می‌گرفت، برداشت آب از میزان تغذیه سالانه آن‌ها بیشتر شده و آب بیش از ظرفیت سفره از آن استخراج می‌شد. این روند باعث افت شدید و گسترده سطح سفره، کاهش منابع آب زیرزمینی، کاهش آب‌دهی و تغییر محل و کف شکنی مکرر چاه‌های موجود، نشست زمین و کاهش ظرفیت حجم مخزن طبیعی، افت کیفی منابع آب و شور شدن آن‌ها و آسیب

ها و هزینه‌های فراوان بر سازندها می‌شود نهایتاً خشک شدن قنوات بسیاری گشت. نتایج نشان می‌دهد که از ۱۲۴ چاه با دبی بالا ۳۷/۹۰، ۲۴/۱۹، ۱۶/۹۳، ۱۷/۷۴، ۳/۲۲ درصد به ترتیب در مناطق با پتانسیل خوب و خیلی خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف قرار دارند. (شکل ۲۰، ۲۱) نقشه چاه‌های با دبی بالا در مناطق با پتانسیل بالا را نشان می‌دهد.



شکل ۲۰: نقشه چاه‌های با دبی بالا در مناطق با پتانسیل خیلی خوب شکل ۲۱: نقشه چاه‌های موجود در مناطق با پتانسیل خوب

جهت ارزیابی و بررسی نقشه به دست آمده از روش منطق‌فازی از چاه‌هایی که دارای دبی بالایی بودند استفاده شد. معمولاً اکثر چاه‌هایی که دارای دبی بالا هستند دارای عمق زیاد نیز هستند و جزء چاه‌های عمیق محسوب می‌شوند، که با بررسی چاه‌های مورد نظر مشخص شد که حدود ۸۵ درصد چاه‌های انتخاب شده دارای عمق ۵۰ متر به بالا هستند. نتایج نشان می‌دهد که از ۱۲۴ چاه با دبی بالا ۶۰/۷۵، ۱۵ درصد به ترتیب در مناطق با پتانسیل بالا و متوسط قرار دارند. (شکل ۲۲) نقشه چاه‌های با دبی بالا در مناطق با پتانسیل بالا را نشان می‌دهد.



شکل ۲۲: نقشه چاه‌های با دبی بالا در مناطق با پتانسیل خیلی خوب

براساس پهنه‌بندی صورت گرفته در دشت خرم‌آباد با استفاده از شبکه عصبی و منطق‌فازی درصد مساحت منطقه در کلاس‌های خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف، خیلی ضعیف مشخص شد (جدول ۲).

جدول ۲: درصد مساحت مناطق با پتانسیل متفاوت در روش شبکه عصبی مصنوعی و فازی

روش	پتانسیل متوسط به بالا	پتانسیل ضعیف
شبکه عصبی	۷۹/۱۰	۲۰/۷۵
منطق فازی	۷۵/۰۱	۲۴/۹۸

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه ابتدا نقشه‌های متناسب با پارامترهای مؤثر در پتانسیل منابع آب که شامل لایه‌های شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی (لیتولوژی)، کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی، بارش، دما، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، سطح آب زیرزمینی می‌باشند تهیه شد. سپس به کمک روش منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی و با استفاده از این لایه‌ها نقشه نهایی پتانسیل منابع آب استخراج شد. تجزیه و تحلیل نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی نشان می‌دهد که حدود ۲۵/۴۰، ۱۳/۹۲ درصد از منطقه به ترتیب در شرایط خوب و خیلی خوب قرار دارد و این قسمت در نقشه طبقه‌بندی به رنگ سبز تیره و روشن نمایان شده است و حدود ۲۸/۳۲ درصد از منطقه در گروه متوسط و ۱۱/۵۰ و ۲۳/۰۳ درصد از مساحت منطقه به ترتیب در کلاس خیلی ضعیف، ضعیف قرار گرفته است. در این پژوهش سهم مناطق با پتانسیل خوب و خیلی خوب ۳۹ درصد از سطح کل محدوده مطالعاتی می‌باشد که در تمامی منطقه گسترده شده است. نتایج مطالعات عشرت پورو رحیم نژاد (۱۳۹۵) که با تلفیق شاخص‌های طبیعی در فرآیند ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی در استان لرستان نشان داد که هر یک از شاخص‌های طبیعی دارای وزن و اهمیت متفاوت با دیگری می‌باشند و ۱۶/۵۳ و ۲۵/۱ و ۲۲/۰۲ و ۳۶/۸۲ درصد از استان به ترتیب در مناطق با پتانسیل نامناسب و نسبتاً نامناسب و نسبتاً مناسب و مناسب قرار دارد که با بررسی نقشه‌ی حاصل بخش بزرگی از شهرستان خرم‌آباد در منطقه پتانسیل خوب قرار گرفته است. بعد از تهیه نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از شبکه عصبی، ۱۳۴۰ حلقه چاه براساس آن مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که تک‌تک چاه‌ها در چه مناطقی از نظر مستعد بودن منابع آب قرار دارند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که حدود ۴۰ درصد از چاه‌ها در مناطق با پتانسیل خوب و خیلی خوب قرار دارند و ۳۰ درصد از آن‌ها در مناطق با پتانسیل متوسط و حدود ۳۰ درصد در مناطق با پتانسیل ضعیف قرار دارند. این مسئله حاکی از عدم دقت و شناسایی و مدیریت صحیح در حفر چاه‌هاست. از آن جا که مناطق با پتانسیل پایین نشان‌دهنده‌ی عدم شرایط مناسب جهت تغذیه و ورودی آب به سفره‌های زیرزمینی است، در نتیجه استفاده و برداشت از این چاه‌ها توازن بین ورودی و خروجی سفره‌های آب زیرزمینی را برهم می‌زند و میزان برداشت بیشتر از میزان ورودی خواهد بود. بنابراین حفر چاه در این مناطق می‌تواند صدمات و پیامدهای ناشی از افت سطح آب سفره‌های زیرزمینی (از جمله: کاهش منابع آب زیرزمینی، کاهش آب‌دهی و تغییر محل و کف شکنی مکرر چاه‌های موجود، فرو نشست زمین و کاهش ظرفیت حجم مخزن طبیعی، افت کیفی منابع آب و شور شدن آن‌ها و آسیب‌ها و هزینه‌های فراوان بر سازندها می‌شود نهایتاً خشک شدن قنات) را داشته باشد. در مدل منطق فازی از هر چهار عملگر برای نقشه پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی استفاده شد و از عملگر گاما به دلیل تعدیل حساسیت بالای عملگر ضرب فازی و دقت خیلی کم جمع فازی نقشه نهایی تهیه شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ۶۰/۷۵، ۱۵، ۲۴ درصد از مساحت منطقه به ترتیب در کلاس خیلی خوب و خوب، متوسط، ضعیف قرار گرفته است. داودآبادی فراهانی و آقاجانی (۱۳۹۲) با بررسی عملگر مختلف فازی در تلفیق داده‌های سنجش از دور به منظور پتانسیل‌یابی 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 ۰/۹۸ نتایج مطلوبتری نسبت به دیگر اعداد ارائه نمود. ارزیابی نتایج به دست آمده از روش منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی با



استفاده از چاه‌هایی با دبی بالا نشان می‌دهد که در روش شبکه عصبی حدود ۸۰ درصد از این چاه‌ها در مناطقی با پتانسیل متوسط به بالا قرار دارد در حالی که در روش منطق فازی حدود ۷۵ درصد این چاه‌ها با این دبی در مناطق با پتانسیل بالا قرار دارد. در این تحقیق نتایج حاصل از عملگر گاما نسبت به دیگر عملگرها با آن چه در طبیعت وجود دارد شباهت دارد اما نسبت به نقشه شبکه عصبی دقت کمتری دارد. در نتیجه روش شبکه عصبی از دقت بالاتری برخوردار است و به واقعیت بیشتر نزدیک است و می‌تواند روش دقیق و مناسبی برای شناسایی مناطق پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی باشد. اکثر چشمه‌های دارای دبی زیاد در مناطق با پتانسیل بالا وجود دارند، هرچند برخی از آن‌ها نیز در سایر مناطق هستند که این امر می‌تواند به این علت باشد که در آن مناطق شیب بالا بوده و ممکن است جهت لایه‌های خاک در زیرزمین و امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها به گونه‌ای بوده باشد که سبب رخنمون آب در آن مناطق شده باشند در حال که منبع تغذیه آن‌ها در مناطق بالاتر و با پتانسیل خیلی خوب باشد.

### منابع

- حاجی عزیزی، محمد؛ رحمانی، محمود؛ بیگلری، نجف، ۱۳۹۳، تحلیل اجزای محدود سدهای زیرزمینی و نکات مهم در طراحی و اجرای آن‌ها، مطالعه موردی: سد زیرزمینی آبخوری در استان سمنان، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال دوازدهم، شماره ۳۸، صص ۱۶۵-۱۵۳.
- خوشحال دستجردی، جواد؛ حسینی، سید محمد، ۱۳۸۹، کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی عناصر اقلیمی و پیش‌بینی سیکل خشکسالی مطالعه موردی استان اصفهان، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۳، شماره ۳۹، صص ۱۰۷-۱۲۰.
- راکعی، بابک؛ خامه‌چیان، ماشالله؛ عبدالملکی، پرویز؛ گیاهچی، پانته آ، ۱۳۸۶، کاربرد سیستم شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش. مطالعه موردی: ناحیه سفیدار گله در استان سمنان، مجله علوم دانشگاه تهران، سال ۳، شماره ۳۳، صص ۶۴-۵۷.
- رحیمی، محمد؛ سلیمانی، کریم، ۱۳۹۵، ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره، نشریه علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال دهم، شماره ۳۵، صص ۳۸-۲۷.
- زرندی، یوسف؛ فرخ‌زاده، بهنوش؛ یوسف زاده چابک، معصومه؛ تیموریان، تیمور، ۱۳۹۶، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از الگوریتم حداکثر آنتروپی و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: دشت همدان - بهار)، فصلنامه علمی و پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال ۸، شماره ۲۹، صص ۱۲۳-۱۱۰.
- علیزاده، امین، ۱۳۸۹، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ سی و یکم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.
- قربانی‌نژاد، سمیرا؛ دانشفر، مانیا؛ رحمتی، امید؛ فلاح، فاطمه؛ حقی‌زاده، علی؛ طهماسبی‌پور، ناصر، ۱۳۹۶، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی دشت ازنا - الیگودرز با استفاده از متغیرهای محیطی و مدل نسبت فراوانی، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال ۸، شماره ۲، صص ۷۷-۶۲.
- کردوانی، پرویز؛ موغلی، مرضیه؛ فرخی، حامد، ۱۳۹۱، ارزیابی سد خاکی لاور بر آب‌های زیرزمینی دشت لاور فین (بندرعباس)، فصلنامه جغرافیایی طبیعی، سال ۵، شماره ۱۵، صص ۱-۹.
- فلاح، فاطمه؛ دانشفر، مانیا؛ قربانی‌نژاد، سمیرا، ۱۳۹۶، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد با استفاده از روش شاخص آماری، نشریه آب و توسعه پایدار، سال چهارم، شماره ۱، صص ۸۹ تا ۹۸.
- نوحانی، ابراهیم؛ معروفی‌نیا، ادريس؛ خسروی، خبات، ۱۳۹۷، ارزیابی روش نسبت فراوانی در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی دشت لستر استان لرستان، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، سال ۱، شماره ۱۲، صص ۱۲۹ - ۱۱۹.
- یمانی، مجتبی؛ علیزاده، شهناز، ۱۳۹۳، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل *AHP* (مطالعه موردی: حوضه آبداه - اقلید فارس)، فصلنامه هیدروژئولوژی، سال ۱، شماره ۱، صص ۱۴۴-۱۳۱.

- یوسفی سنگانی، کیوان، ۱۳۹۱، ارزیابی مناطق مستعد پتانسیل منابع آب زیرزمینی ارتفاعات هزار مسجد –در محدوده کلات نادری تا زنگلانلو به کمک فنآوری‌های *GIS* و *RS*، پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی زمین‌شناسی گرایش آب‌شناسی (هیدروژئو -لوژی)، دانشگاه فردوسی مشهد دانشکده‌ی علوم، ۱۳۹۹ص.
- همتی، فریبا، ۱۳۹۷، شناسایی الگوی رفتاری پهنه گسل های فعال بر اساس روش المان محدود و ارزیابی ارتباط آن با ماهیت و پراکنش مخاطرات ژئومورفیک مطالعه موردی: پهنه گسل بنااروان، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته ی ژئومورفولوژی در مدیریت محیط، دانشگاه برنامه ریزی و علوم محیطی تبریز، ۲۳۶ص.
- *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 1-17.*
- *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 26-24.*
- *Lee, S. Ryu, J H. Lee, M. J. Won, J. S; 2006. The Application of artificial neural networks to landslides susceptibility mapping at Janghung, Korea. Mathematical Geology, 38(2), pp 199-220.*
- *Lee, Saro. Song, K. Kim, Y. Park, I; 2012. Regional groundwater productivity potential mapping using a geographic information system (GIS) based artificial neural network model, Hydrogeology Journal, 8(20), pp1511-1527.*
- *Manap, M. Nampak, H. Pradhan, B. Lee, S. Sulaiman, W. Ramli, M; 2012. Application of probabilistic-based frequency ratio model in groundwater potential mapping using remote sensing data and GIS. Arabian Journal of Geosciences, 7(2), pp 711-724.*
- *Suganthi, S. Elango, L. Subramanian, S K; 2013. Ground- water potential zonation by Remote Sensing and GIS techniques and its relation to the Groundwater level in the part of Coastal the Arani and Koratalai River Basin. Southern India, Earth Sci. Res. SJ, 17(2), pp 87 – 95.*