

## پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه‌های آبریز منتهی به دشت تبریز)

محمدحسین رضایی مقدم<sup>۱\*</sup>، توحید رحیم‌پور<sup>۲</sup>، مهسا نخستین روحی<sup>۲</sup>

۱. استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز

۲. کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۸/۲۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۰۹/۲۹)

### چکیده

حوضه‌های آبریز منتهی به دشت تبریز جزء زیرحوضه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه محسوب می‌شود که در استان آذربایجان شرقی و شمال غرب ایران واقع شده است. مساحت این حوضه‌ها ۵۳۹۷ کیلومترمربع و کشاورزی یکی از منابع اصلی درآمد مردم است که به منابع آب زیرزمینی و سطحی وابسته است. هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی حوضه‌های آبریز منتهی به دشت تبریز از نظر پتانسیل منابع آب زیرزمینی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی است. برای نیل به این هدف از روش تحلیل شبکه‌ای و روابط بین معیارهای اقلیمی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی، توپولوژی و زیست‌محیطی استفاده شد. وزن معیارها با استفاده از روش تحلیل شبکه محاسبه شد: زمین‌شناسی (۰/۲۶۷)، بارش (۰/۲۰۸)، تراکم آبراهه (۰/۱۳۰)، پوشش گیاهی (۰/۱۱۹)، فاصله از آبراهه (۰/۰۷۶)، تراکم گسل (۰/۰۵۴)، شیب (۰/۰۴۲)، فاصله از گسل (۰/۰۳۴)، طبقات ارتفاعی (۰/۰۲۸)، جهت شیب (۰/۰۱۹) و دما (۰/۰۱۸). در نهایت، ۵ طبقه با پتانسیل بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم در منطقه شناسایی شد. نتایج تحقیق نشان داد مناطق با پهنه‌های پتانسیل زیاد و بسیار زیاد بیشتر منطبق بر ارتفاعات پایین و رسوبات آبرفتی درشت‌دانه دوران چهارم و مخروط‌افکنه‌هاست. مناطق با پهنه‌های پتانسیل کم و بسیار کم نیز به ترتیب منطبق بر بیشترین ارتفاعات (به دلیل شیب تند) و مناطق دارای جنس ماری و شیلی (به علت نفوذپذیری خیلی کم و تبخیر زیاد) است.

**کلیدواژگان:** آب زیرزمینی، پتانسیل یابی، حوضه‌های آبریز منتهی به دشت تبریز، سیستم اطلاعات جغرافیایی، فرایند تحلیل شبکه‌ای.

## مقدمه

افزایش بی‌رویه جمعیت، محدودیت منابع آب‌های سطحی و بهره‌برداری بیش از اندازه از آب‌های زیرزمینی سبب وارد شدن خسارت‌های جبران‌ناپذیری به منابع طبیعی کشور در سال‌های گذشته شده است. آب‌های زیرزمینی در کشور به‌عنوان یکی از منابع مهم تأمین آب مورد نیاز در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت، اهمیت زیادی دارند. آب زیرزمینی از یک‌سو به‌دلیل شیرین‌بودن، ترکیبات ثابت شیمیایی، دمای ثابت، ضریب آلودگی کمتر و سطح اطمینان بیشتر یک منبع قابل اتکا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و از سوی دیگر با تأثیر بر توان اکولوژیک سرزمین پدیده‌ای مهم و مؤثر در توسعه اقتصادی، تنوع اکولوژیکی و سلامت جامعه به‌حساب می‌آید [۱]. آب‌های زیرزمینی فقط حدود ۴ درصد از مجموعه آب‌هایی را تشکیل می‌دهند که فعلاً در سیکل هیدرولوژی دخالت دارند. با وجود این، حدود ۵۰ درصد جمعیت دنیا از نظر آب شرب به همین آب‌های زیرزمینی متکی‌اند. این رقم در ایران به‌مراتب بیشتر از ۵۰ درصد است و می‌توان گفت بیشتر شهرها و روستاهای کشور آب مورد نیاز شرب و کشاورزی خود را از منابع زیرزمینی تأمین می‌کنند [۲].

کشور ایران با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و میانگین بارش سالانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر از کم‌آب‌ترین کشورهای جهان محسوب می‌شود [۳]. این گستره بزرگ جغرافیایی با مشخصات هیدرولوژیکی خاص نظیر حجم نزولات ۴۱۳، تیخیر و تعرق ۲۹۶ و حجم آب قابل دسترس ۱۱۷ میلیارد مترمکعب، سرانه آب تجدیدشونده ۱۹۰۰ و مصرف ۳/۴ میلیارد مترمکعب که حدود ۶۵ درصد آن از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود، با شرایط سختی در زمینه تأمین آب روبه‌روست [۲]. با توجه به این ارقام بازنگری در مدیریت و استراتژی منابع آب در برنامه‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور امری اجتناب‌ناپذیر و جدی است [۴].

روش‌های سنتی و دستی که در جهت شناخت پتانسیل آب‌های زیرزمینی به‌کار گرفته می‌شوند، اغلب به صرف وقت و هزینه و نیروی انسانی زیادی نیاز دارند و به‌دلیل رقوم نبودن اطلاعات، تهیه بانک قابل به‌نگام‌شدن مقدور نیست که در این راستا مدل‌های تصمیم‌گیری به‌کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور می‌توانند

به‌عنوان نوعی تکنیک سریع و مدرن استفاده شوند [۵]. از جمله مدل‌های تصمیم‌گیری می‌توان به فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) [۱] و فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) [۲] اشاره کرد [۶].

بررسی مبانی نظری و پیشینه موضوع تحقیق نشان می‌دهد درباره پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی پژوهش‌های فراوانی انجام شده است؛ اما این مطالعات از نظر روش‌شناسی و فرایند انجام کار با هم متفاوت بوده‌اند که به چند نمونه از آنها اشاره می‌شود. رحیمی [۴] در تحقیقی به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی دشت شهرکرد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد از مجموع ۱۲۳۰۲ هکتار از مساحت منطقه حدود ۵۹۰۰ هکتار دارای پتانسیل زیاد برای برداشت و تغذیه مصنوعی و مناسب برای حفر چاه است. سیف و کارگر [۷] منابع آب زیرزمینی را با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبریز سیرجان پتانسیل‌یابی کردند. نتایج نشان داد پهنه پتانسیل زیاد بیشتر منطبق بر رسوبات آبرفتی درشت‌دانه دوران چهارم و مخروط‌افکنه‌هاست. یوسفی سنگانی و همکارانش [۸] در تحقیقی پتانسیل آب زیرزمینی با روش تلفیق فازی و مدل تحلیل سلسله‌مراتبی در شمال خاوری رشته‌کوه‌های هزارمسجد استان خراسان رضوی را ارزیابی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد استفاده از توابع عضویت فازی در استانداردسازی نقشه‌ها، نسبت به سایر روش‌ها نتایج قابل اطمینان‌تری ارائه می‌کند. مفیدی‌فر و همکارانش [۹] با استفاده از مدل تصمیم‌گیری تحلیل سلسله‌مراتبی منابع آب زیرزمینی در حوضه یزد-اردکان را پتانسیل‌یابی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد حدود ۷۰ درصد از مساحت منطقه مطالعه‌شده دارای پتانسیل زیاد و خوب از نظر آب زیرزمینی است. ایشان به‌منظور بررسی دقت مدل استفاده‌شده در تحقیق، محدوده‌های استخراج‌شده را با موقعیت مکانی منابع آب زیرزمینی موجود مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که روش تحلیل سلسله‌مراتبی با دقت ۶۱/۶ درصد منابع آب زیرزمینی موجود را شناسایی کرده است. ایتیشری و همکارانش [۶] در تحقیقی با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای، آب زیرزمینی در منطقه یونائو در کشور هند را پتانسیل‌یابی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد حدود ۱۵

جغرافیایی بین  $22^{\circ}48'45''$  تا  $38^{\circ}50'46''$  طول شرقی و  $18^{\circ}43'37''$  تا  $29^{\circ}38'38''$  عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). منطقه مطالعه شده اقلیم نیمه خشک دارد و میانگین بارش سالانه آن ۳۰۰ میلی‌متر در سال و بیشترین بارش مختص به ماه‌های اسفند و اردیبهشت است [۱۰]. بیشترین ارتفاع منطقه ۳۶۵۷ متر در ارتفاعات کوه سهند و کمترین ارتفاع در بستر رودخانه آجی‌چای برابر ۱۲۷۵ متر از سطح دریاست.

### مواد و روش‌ها

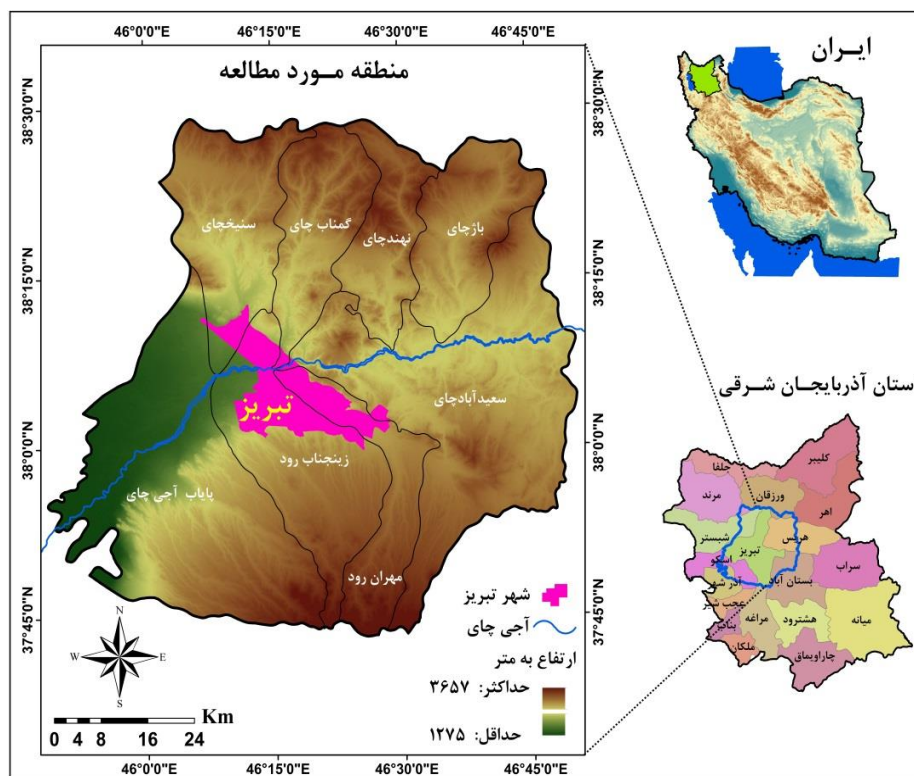
در این پژوهش با توجه به هدف آن، یعنی پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی، تلاش شده است تا عوامل مؤثر بر نفوذپذیری خاک و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی بررسی شود. به همین منظور نخست با بررسی منابع داخلی و خارجی مرتبط با موضوع تحقیق، عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی شناسایی شد. بنابراین، در پژوهش حاضر ۱۱ متغیر از مهم‌ترین عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی شامل لایه‌های زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، شیب به درصد، جهت شیب،

درصد از مساحت منطقه پتانسیل خوب و خیلی خوب از نظر آب زیرزمینی دارد. ارزیابی نقشه به دست آمده از فرایند تحلیل شبکه‌ای با چاه‌های موجود در منطقه نشان داد این مدل دقت قابل قبولی داشته است.

حوضه‌های آبریز منتهی به دشت تبریز با توجه به فرارگیری روستاها و شهرهای زیاد در داخل آن از جمله کلان‌شهر تبریز و ضرورت تأمین آب آشامیدنی، کشاورزی و صنعتی منطقه، الگویی مناسب برای پژوهش حاضر شد. بنابراین، هدف از انجام تحقیق حاضر، شناسایی و تعیین بهترین مناطق آبی برای بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی در حوضه‌های آبریز منتهی به دشت تبریز با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی است. نتایج به دست آمده از این تحقیق در مدیریت منابع آبی منطقه اهمیت شایان توجهی خواهد داشت.

### منطقه مطالعه شده

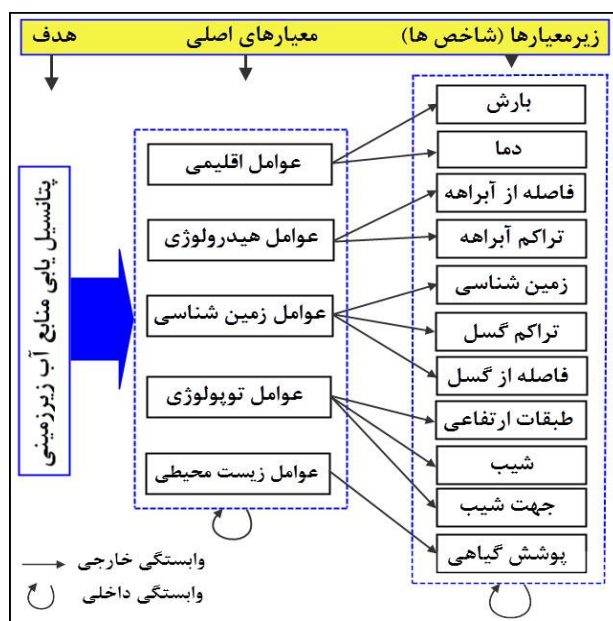
حوضه‌های آبریز منتهی به دشت تبریز با وسعتی حدود ۵۳۹۷ کیلومترمربع جزء زیرحوضه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه محسوب می‌شوند که در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته‌اند. منطقه مطالعه شده از نظر موقعیت



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده

انعطاف‌پذیری، به‌کارگیری معیارهای کمی و کیفی به‌طور هم‌زمان، انجام مقایسه‌های زوجی و بررسی سازگاری در قضاوت‌ها قادر به برقراری ارتباطات متقابل و دوسویه و وابستگی‌های داخلی علاوه بر روابط سلسله‌مراتبی در شبکه است [۱۳]. فرایند تحلیل شبکه‌ای را می‌توان در ۴ مرحله اجرا کرد. گام نخست، تعیین مسئله تصمیم‌گیری و ارائه آن در یک مدل شبکه‌ای است. در این مرحله، پس از تعیین مسئله تصمیم‌گیری و عوامل مؤثر بر آن باید یک مدل شبکه‌ای تشکیل شود (شکل ۲). این مدل شامل مسئله تصمیم‌گیری، خوشه‌ها، عناصر و وابستگی‌های داخلی و خارجی بین آنهاست. برای تهیه این ساختار شبکه‌ای روش‌های مختلفی از جمله روش توفان فکری، روش دلفی، روش گروه اسمی و یا روش‌های ریاضی نظیر DEMATEL وجود دارد. در این شبکه، وابستگی‌های خارجی به‌صورت پیکان و وابستگی‌های داخلی به‌صورت کمان نشان داده می‌شود [۱۴].

بارش، دما، ارتفاع، فاصله از گسل، تراکم گسل، فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه با توجه به استفاده از تجربیات کارشناسان و پژوهشگران در بررسی‌های صورت‌گرفته، در منطقه مطالعه شده استفاده شده است. برای پی‌جویی مناطق آبی با پتانسیل‌های مختلف از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای استفاده شده است. فرایند تحلیل شبکه‌ای یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ توسعه یافته است. در این مدل معیارها به‌عنوان عناصر داخل دسته‌هایی به نام خوشه قرار می‌گیرند. این مدل شبکه‌ای از ارتباطات بین عناصر خوشه‌های مختلف (وابستگی خارجی) و نیز ارتباطات بین عناصر داخل یک خوشه (ارتباطات داخلی) است. در حقیقت، مدل ANP روابط متقابل بین مؤلفه‌ها را نیز نشان می‌دهد [۱۱ و ۱۲]. مدل ANP به‌جای سلسله‌مراتب از ساختار شبکه‌ای بهره می‌برد و علاوه بر داشتن کلیه ویژگی‌های مدل AHP شامل سادگی،



شکل ۲. مدل شبکه‌ای برای پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی

جدول ۱. مقادیر ترجیحات و قضاوت کارشناسی برای مقایسه زوجی [۱۲]

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر (Extremely preferred)
۷	اهمیت خیلی قوی (Very strongly preferred)
۵	اهمیت یا مطلوبیت قوی (Strongly preferred)
۳	کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر (Moderately preferred)
۱	اهمیت یا مطلوبیت یکسان (Equally preferred)
۲ - ۴ - ۶ - ۸	اولویت بین فواصل

سوپرماتریس موزون: از ضرب ارزش‌های موجود در سوپرماتریس ناموزون در وزن هر خوشه، سوپرماتریس موزون به دست می‌آید. سپس این سوپرماتریس نرمالیزه و از نظر ستونی به حالت تصادفی تبدیل می‌شود [۱۷ و ۱۸].

سوپرماتریس حد: اگر همه عناصر سوپرماتریس موزون تا جایی به توان برسد که همگرایی حاصل شود و به بیان دیگر ارزش‌های کلیه ستون‌های ماتریس یکسان شوند، آن‌گاه سوپرماتریس حد تشکیل می‌شود که هر ستون آن نشان‌دهنده بردار اولویت کلی است (رابطه ۴) [۱۷].

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W^k \quad (4)$$

گام چهارم: محاسبه وزن نهایی معیارهاست. این گام آخرین مرحله در مدل ANP است که در آن با تشکیل سوپرماتریس حد بردار، وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها به دست می‌آید [۱۷].

#### تهیه لایه‌های اطلاعاتی

در راستای اهداف پژوهش، نقشه پوشش گیاهی محدوده مطالعه شده از باندهای مرئی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI مختص به سال ۲۰۱۵ (دو تصویر لندست با گذر و ردیف‌های ۳۴-۱۶۸ و ۳۳-۱۶۸ برای پوشش کامل منطقه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر) در محیط نرم‌افزار ENVI استخراج و به فرمت Shape file در محیط نرم‌افزار ArcGIS ذخیره شد. وجود پوشش گیاهی در هر منطقه سرعت جریان‌های سطحی را کاهش می‌دهد و سبب نفوذ بیشتر آب به داخل خاک و در نتیجه موجب افزایش میزان آب‌های زیرزمینی می‌شود [۱۹]. به منظور تهیه نقشه‌ها و جهت شیب از مدل رقومی ارتفاع منطقه (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد و هر یک از نقشه‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شدند. طبقات ارتفاع، شیب و جهت شیب از فاکتورهای مؤثر در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی هستند که نقش مهمی در ضریب رواناب و نفوذپذیری دارند. این فاکتورها در گرادیان هیدرولیکی و جهت حرکت آب زیرزمینی و محل تشکیل آبخوان نقش مؤثری دارند [۴]. برای تهیه لایه‌های دما و بارش از اطلاعات داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک (تبریز، سهند، ورزقان، اهر، بستان‌آباد) و کلیماتولوژی منطقه برای یک دوره ۱۰ ساله از ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ استفاده شد. به منظور تعمیم

گام دوم، تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی و استخراج بردارهای اولویت است. در این مرحله عناصر تصمیم در هر یک از خوشه‌ها، براساس میزان اهمیتشان در ارتباط با معیارهای کنترلی دوبه‌دو مقایسه می‌شوند [۱۴]. همانند مدل AHP برای بیان ارجحیت در ماتریس‌های مقایسه زوجی از اعداد ۱ تا ۹ و معکوس آنها استفاده می‌شود (جدول ۱). به طور نمونه عدد  $a_{ij}$  نشان‌دهنده ارجحیت مؤلفه سطر  $i$  به مؤلفه ستون  $j$  است ( $a_{ij} = w_i / w_j$ ). عدد ۱ بدین معناست که دو مؤلفه اهمیت برابر دارند و عدد معکوس ( $1/a_{ij}$ ) نشانگر اهمیت زیاد مؤلفه ستون  $j$  نسبت به مؤلفه سطر  $i$  است [۱۲].

پس از نوشتن ارجحیت‌ها در ماتریس‌های مقایسه زوجی، بردار اهمیت داخلی که بیانگر اهمیت نسبی عناصر یا خوشه‌هاست، با استفاده از رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$AW = \lambda_{max} W \quad (1)$$

که در آن  $A$ ؛ ماتریس مقایسه دودویی معیارها،  $W$ ؛ بردار ویژه (ضریب اهمیت) و  $\lambda_{max}$ ؛ بزرگ‌ترین مقدار ویژه عددی است. تعیین صحت ماتریس‌های مقایسه زوجی با محاسبه نسبت سازگاری (CR) انجام می‌شود.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

که در آن  $CI$ ؛ شاخص سازگاری و  $n$ ؛ تعداد مؤلفه‌های مقایسه شده در ماتریس است.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

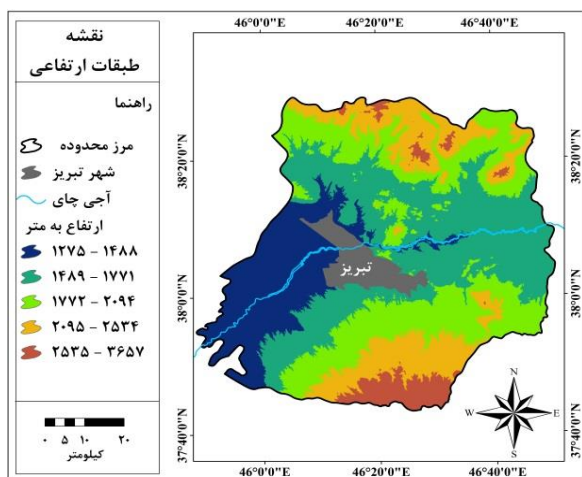
که در آن  $CR$ ؛ نسبت پایداری و  $RI$ ؛ بیانگر شاخص تصادفی است که به تعداد عناصر مقایسه شده بستگی دارد. مقایسه دو به دو زمانی قابل قبول و دارای پایداری خواهد بود که نسبت پایداری کمتر از ۰/۱ به دست آید [۱۲، ۱۵ و ۱۶].

گام سوم، تشکیل سوپرماتریس است. یک سوپرماتریس روابط موجود در ساختار شبکه‌ای و نیز وزن‌های نسبی محاسبه شده در مرحله دوم را ارائه می‌دهد. در واقع، از اجتماع کلیه بردارهای اولویت محاسبه شده برای تک تک ماتریس‌های مقایسه زوجی در یک ماتریس، سوپرماتریس به دست می‌آید [۱۷]. در فرایند تحلیل شبکه‌ای سه نوع سوپرماتریس ساخته می‌شود:

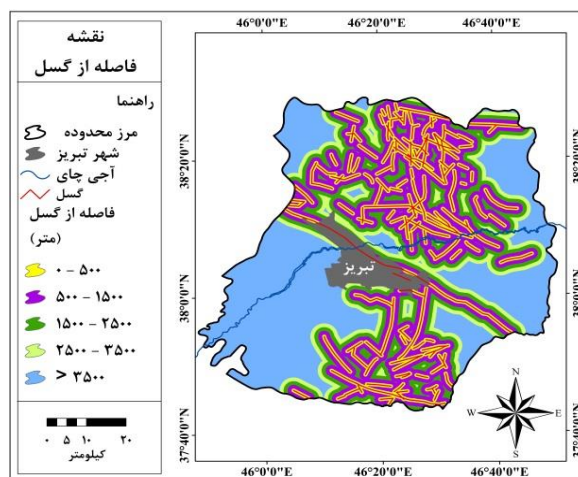
سوپرماتریس اولیه (ناموزون): از وارد کردن همه بردارهای ویژه به دست آمده از ماتریس‌های مقایسه زوجی به ماتریس اولیه، سوپرماتریس ناموزون به دست می‌آید [۱۷].

شرایط زمین‌شناسی، خاک و پوشش گیاهی نشان‌دهندهٔ زیادبودن آن است [۴]. نقشه‌های زمین‌شناسی و گسل منطقه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. افزایش تراکم در زه 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 [۲۰]. لایه‌های استفاده‌شده در این تحقیق در شکل‌های ۳ تا ۱۳ آورده شده است.

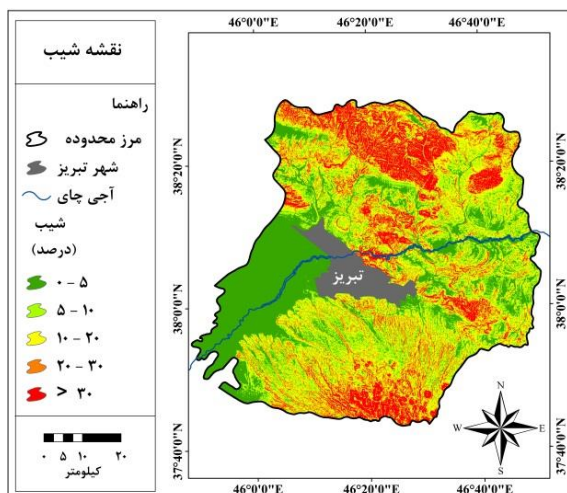
داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌ها به داده‌های پهنه‌ای با استفاده از روش‌های درون‌یابی جبری و مدل LPI<sup>۱</sup> به‌دلیل دقت بیشتر و خطای کمتر نسبت به دیگر روش‌های درون‌یابی، داده‌های مختص به دما و بارش درون‌یابی و به نقشه تبدیل شدند. برای تهیهٔ نقشهٔ آبراهه‌های منطقه نیز از نقشهٔ توپوگرافی منطقه استفاده شد. نقش عوامل هیدرولوژی به‌همراه پارامترهای اقلیمی شبیه بارش، مشخصات شبکهٔ زهکشی مانند تراکم شبکهٔ آبراهه به‌صورت غیرمستقیم نشان‌دهندهٔ میزان نفوذپذیری است به‌گونه‌ای که زیادبودن تراکم آبراهه نشان‌دهندهٔ کاهش نفوذ و کم‌بودن آن به‌شرط مهیابودن



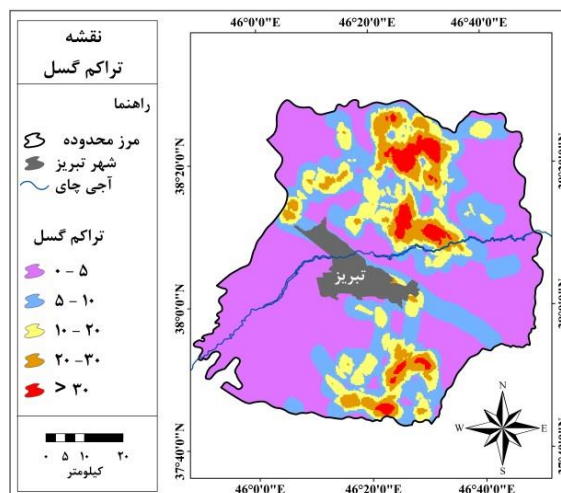
شکل ۴. نقشهٔ طبقات ارتفاعی



شکل ۳. نقشهٔ فاصله از گسل

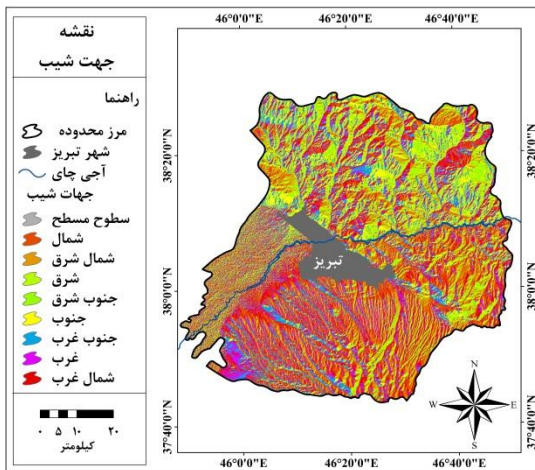


شکل ۶. نقشهٔ شیب

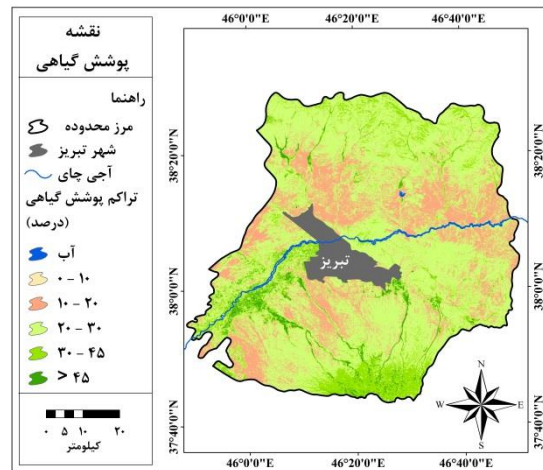


شکل ۵. نقشهٔ تراکم گسل

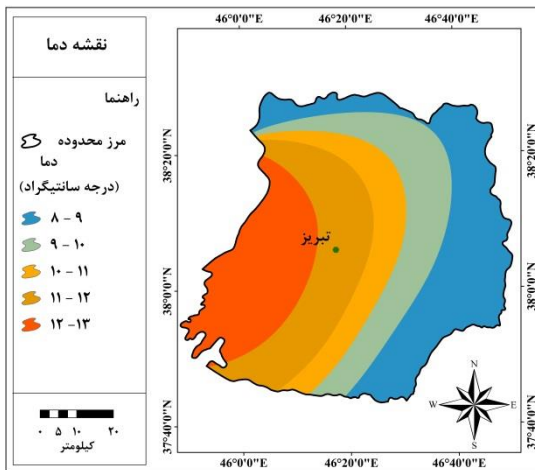




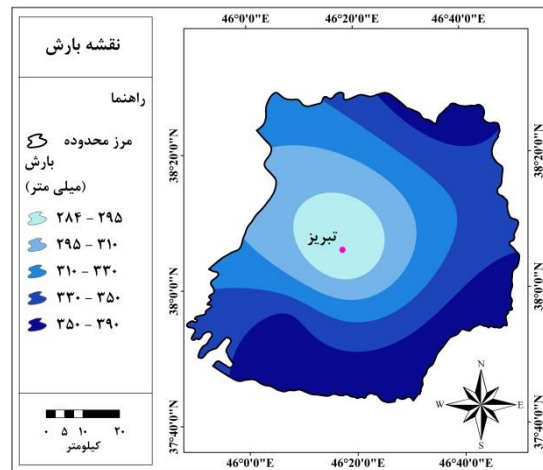
شکل ۸. نقشه جهت شیب



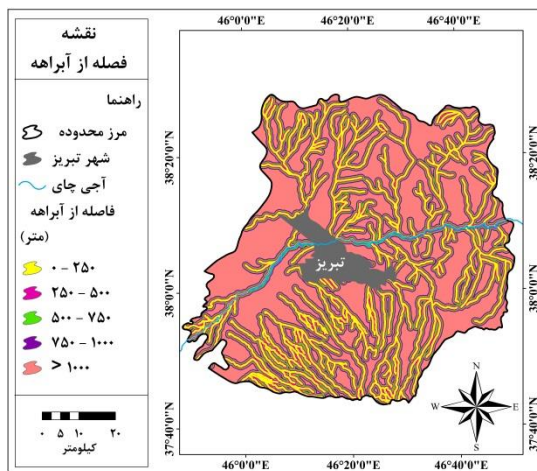
شکل ۷. نقشه تراکم پوشش گیاهی



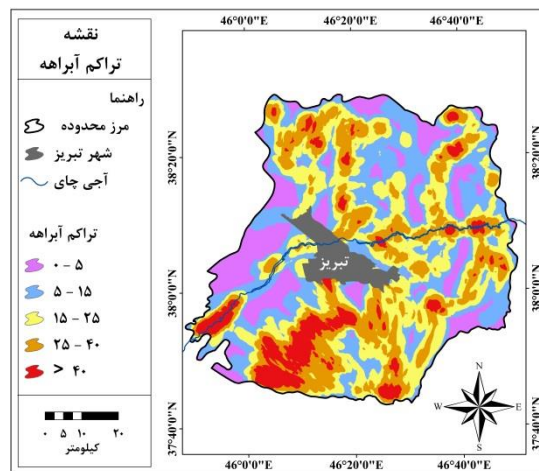
شکل ۱۰. نقشه دما



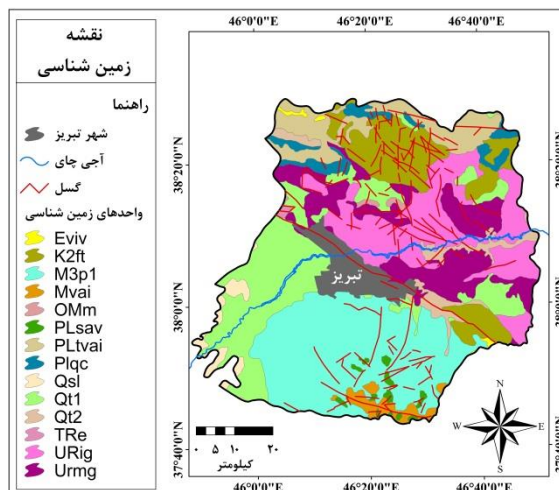
شکل ۹. نقشه بارش



شکل ۱۲. نقشه فاصله از آبراهه



شکل ۱۱. نقشه تراکم آبراهه



شکل ۱۳. نقشه زمین‌شناسی

جدول ۲. ماتریس دوبه‌دو، وزن معیارها و نسبت سازگاری

معیارها	زمین‌شناسی	بارش	تراکم آبراهه	پوشش گیاهی	فاصله از آبراهه	تراکم گسل	شیب	فاصله از گسل	طبقات ارتفاعی	جهت شیب	دما	وزن نهایی
زمین‌شناسی	۱	۲	۳	۴	۴	۷	۵	۷	۷	۹	۹	۰/۲۶۷
بارش	۱/۲	۱	۲	۳	۴	۵	۵	۷	۶	۷	۷	۰/۲۰۸
تراکم آبراهه	۱/۳	۱/۲	۱	۲	۲	۴	۴	۵	۴	۷	۵	۰/۱۳۰
پوشش گیاهی	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱	۳	۳	۳	۵	۵	۶	۵	۰/۱۱۹
فاصله از آبراهه	۱/۴	۱/۴	۱/۲	۱/۳	۱	۲	۳	۴	۴	۴	۵	۰/۰۷۶
تراکم گسل	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱	۲	۲	۳	۴	۳	۰/۰۵۴
شیب	۱/۵	۱/۵	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱	۲	۲	۲	۳	۰/۰۴۲
فاصله از گسل	۱/۷	۱/۷	۱/۵	۱/۵	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۲	۳	۳	۰/۰۳۴
طبقات ارتفاعی	۱/۷	۱/۶	۱/۴	۱/۵	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۳	۲	۰/۰۲۸
جهت شیب	۱/۹	۱/۷	۱/۷	۱/۶	۱/۴	۱/۴	۱/۲	۱/۳	۱/۳	۱	۲	۰/۰۱۹
دما	۱/۹	۱/۷	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۰/۰۱۸

نرخ سازگاری: ۰/۰۴

## نتایج و بحث

به اهمیت آنها در نفوذپذیری خاک و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، بیشترین وزن در نظر گرفته شد. وزن‌دهی سایر عوامل نسبت به کاهش تأثیرشان در نفوذپذیری کمتر می‌شود. ماتریس دوبه‌دو، وزن نهایی و نرخ سازگاری معیارهای مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود نرخ سازگاری برابر ۰/۰۴ محاسبه شده است که صحت مقایسه‌های زوجی و تعیین وزن نهایی را تأیید می‌کند. پس از مشخص شدن عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع

در فرایند تحلیل شبکه‌ای، لایه‌ای که بیشترین تأثیر را در تعیین هدف دارد، بیشترین وزن را به خود می‌گیرد. چون هدف این تحقیق پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در حوضه‌های آبریز منتهی به دشت تبریز است، پارامترهای تأثیرگذار در نفوذپذیری خاک و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌توانند به‌عنوان مهم‌ترین عوامل برای نیل به هدف نهایی در نظر گرفته شوند. بنابراین، برای لایه‌های زمین‌شناسی، بارش، تراکم آبراهه و پوشش گیاهی با توجه



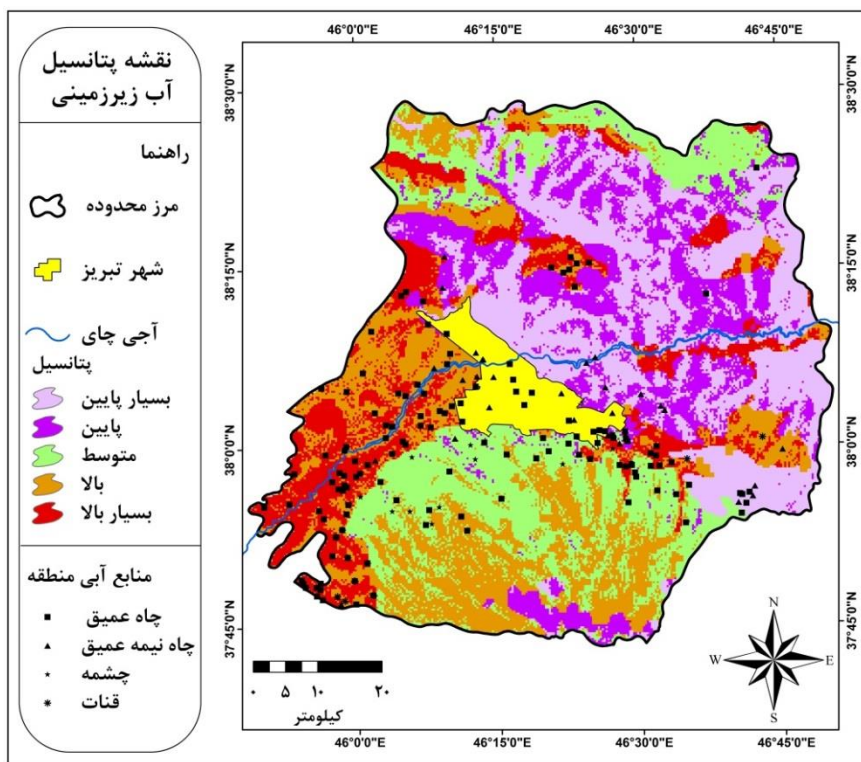
سطحی به دلیل مواد نفوذناپذیر، بیشترین شیب و خروج آب نفوذی است.

همان طور که در نقشه‌های تهیه شده دیده می‌شود، رودخانه اصلی منطقه، آجی چای است که به طرف دریاچه ارومیه جریان دارد. همچنین در محدوده دشت تبریز دو نوع آبخوان آزاد و تحت فشار توسط اصغری مقدم شناسایی شده است. در شرق، شمال شرق و جنوب شرقی دشت، آبخوان‌های آزاد گسترش یافته است و در قسمت‌های غربی دشت وجود دو نوع آبخوان آزاد و تحت فشار بدیهی به نظر می‌رسد [۲۱].

بر اساس عوامل مؤثر بر پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در قالب لایه‌های اطلاعاتی، منطقه مطالعه شده از نظر پتانسیل منابع آب زیرزمینی به پنج طبقه از پتانسیل بسیار زیاد تا پتانسیل بسیار کم تقسیم شد. مساحت هر یک از طبقات پنج‌گانه در جدول ۳ ارائه شده است.

به منظور برآورد دقت مدل، از نقشه منابع آب موجود در منطقه (تعداد ۳۴۲ مورد) شامل موقعیت چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات موجود در منطقه استفاده شد که از اداره آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی تهیه شده است. نتایج ارزیابی دقت در جدول ۴ آورده شده است.

آب زیرزمینی حوضه‌های آبریز منتهی به دشت تبریز و وزن‌دهی به هر یک از معیارها و زیرمعیارها و محاسبه وزن نسبی آنها بر اساس روش تحلیل شبکه‌ای، در نهایت در محیط نرم‌افزار ArcGIS لایه رستری هر یک از عوامل بر بردار وزنشان ضرب شد و نقشه پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی منطقه مطالعه شده از طریق حاصل جمع لایه‌های نهایی عوامل اقلیمی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی، توپولوژی و زیست‌محیطی تهیه شد (شکل ۱۴). طبق نقشه نهایی، ۲۰۴۷/۱۱ کیلومترمربع از مساحت منطقه پتانسیل زیاد و بسیار زیاد، ۲۲۵۲/۲۹ کیلومترمربع پتانسیل کم و بسیار کم و ۱۰۹۶/۰۶ کیلومترمربع پتانسیل متوسط دارند. مناطق با پتانسیل زیاد بیشتر منطبق بر ارتفاعات پایین به علت شیب کمتر نسبت به ارتفاعات، تراس‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌ها است که در این مناطق امکان نفوذ بیشتر آب‌های سطحی فراهم است. مناطق با پتانسیل کم وضعیت متناقضی نسبت به مناطق پتانسیلی زیاد دارند به طوری که این مناطق با اینکه در بیشتر مواقع دارای حداکثر بارش در ارتفاعات هستند اما پتانسیل آب زیرزمینی این مناطق کم است. این به دلیل قرار گرفتن مناطق یادشده در بیشترین ارتفاعات و نفوذ کم آب‌های



شکل ۱۴. نقشه نهایی پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی به روش فرایند تحلیل شبکه‌ای

جدول ۳. مساحت پهنه‌های پتانسیلی منابع آب زیرزمینی به کیلومتر مربع

پهنه‌بندی حوضه از نظر پتانسیل	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
پتانسیل بسیار کم	۱۳۶۲/۷۲	۲۵/۲۴
پتانسیل کم	۸۸۹/۵۷	۱۶/۴۸
پتانسیل متوسط	۱۰۹۶/۰۶	۲۰/۳۱
پتانسیل زیاد	۱۳۱۹/۰۷	۲۴/۴۴
پتانسیل بسیار زیاد	۷۲۸/۰۴	۱۳/۴۹

جدول ۴. نتایج بررسی دقت پتانسیل یابی

پهنه‌های نقشه پتانسیل یابی	تحلیل شبکه‌ای	
	تعداد منابع آبی	درصد منابع آبی
پتانسیل بسیار کم	۳۳	۹/۶۴
پتانسیل کم	۳۵	۱۰/۲۳
پتانسیل متوسط	۶۲	۱۸/۱۲
پتانسیل زیاد	۹۵	۲۷/۸
پتانسیل بسیار زیاد	۱۱۷	۳۴/۲۱
جمع	۳۴۲	۱۰۰

### نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر با افزایش جمعیت، نیاز به آب سالم و قابل شرب روند صعودی داشته و منابع آب سطحی نیز با مسئله آلودگی و تغییرات حجمی روبه‌رو هستند. در نتیجه، نگاه برنامه‌ریزان به سوی منابع آب زیرزمینی سوق یافته است که منابع حیاتی آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند. در این پژوهش سعی شده است مهم‌ترین عوامل مؤثر بر نفوذپذیری و تغذیه سفره‌های زیرزمینی، مد نظر قرار گرفته شود. نتیجه به صورت معرفی مهم‌ترین عوامل با نام معیارها و زیرمعیارها در ساختار تحلیل شبکه‌ای پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی حوضه‌های آبریز منتهی به دشت تبریز ارائه شده است. نتایج تحقیق نشان داد پهنه‌های با پتانسیل زیاد و بسیار زیاد بیشتر منطبق بر ارتفاعات پایین به‌علت شیب کمتر، تراس‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌هاست. پهنه‌های با پتانسیل کم و بسیار کم یکی منطبق بر بیشترین ارتفاعات به‌دلیل شیب زیاد و دیگری منطبق بر مناطق دارای جنس ماری و شیلی به‌علت نفوذپذیری خیلی کم و تبخیر زیاد است. با بررسی طبقات نقشه مدل می‌توان نتیجه گرفت که نقشه پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی تهیه‌شده به‌روش تحلیل شبکه‌ای هماهنگی و تشابه زیادی با منابع آب موجود دارد به‌طوری‌که حدود ۳۸ درصد از مساحت منطقه

مطالعه‌شده دارای پتانسیل زیاد و بسیار زیاد از نظر آب زیرزمینی تشخیص داده شد که در این مساحت بیش از ۶۰ درصد منابع آبی وجود دارد. نتایج بیانگر تأثیر مثبت روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در پیش‌بینی مناطق با احتمال وجود آب زیرزمینی است. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر با نتایج پژوهشگرانی همچون فرجی سبکبار و همکارانش [۲۲] در دشت گربایگان فسا، ایتیشری و همکارانش [۶] در منطقه یونائو در کشور هند مطابقت دارد. ایشان روش فرایند تحلیل شبکه‌ای را روش مناسبی برای پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی پیشنهاد کرده بودند که نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نیز بیانگر تأیید نتایج محققان یادشده است. بنابراین، می‌توان گفت که تلفیق فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل ANP می‌تواند به‌عنوان روشی مناسب برای تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی استفاده شود.

### منابع

- [1]. MadankJHA, Kamii YK, Chikamori K. Cost-Effective Approaches for Sustainable Groundwater Management in Alluvial Aquifer System Ms. Water Resources Management. 2009; 23(2): 219-233.

- [2]. Alizadeh A, Principles of applied Hydrology. 29<sup>nd</sup> edition. Mashhad. Imam Reza University Press; 2009. (In Persian)
- [3]. Masoodian SA, Kaviani MR. Climatology of Iran. 1<sup>nd</sup> edition. Isfahan. Isfahan University Press; 2007. (In Persian)
- [4]. Rahimi D. Potential ground water resources, (Case study: Shahrekord plain). Geography and Environmental Planning Journal. 2012; 22(4): 127-142. (In Persian)
- [5]. Bashaghreh A. Evaluation of exploitable Potential from groundwater using GIS and Remote Sensing (case study: Mehran plain). M.A. thesis. Faculty of Humanities. TarbiatModares University. 1998. (In Persian)
- [6]. Etishree A, Rajat A, Garg RD, Garg PK. Delineation of groundwater potential zone: An AHP/ANP approach. Journal of Earth System Science. 2013; 122(3): 887-898.
- [7]. Safe A, Kargar A. Potential Detection of the Groundwater Resources Using Analytic Hierarchy Process and GIS, (Case Study: Sirjan basin). Physical Geography Journal. 2011; 4(12): 75-90. (In Persian)
- [8]. YousefiSangani K, Mohammadzadeh H, Akbari M. An Evaluation of Groundwater Potential Zones Using Combined Fuzzy-AHP Method and GIS/RS Technologies: A Case Study of NE Hezarmasjed Mountain, Khorasan Razavi Province. International Bulletin of Water Resources & Development. 2014; 2(4): 127-141. (In Persian)
- [9]. Mofidifar M, Almodaresi SA, Eslah M, MalekzadehBafghi SH. Potential Detection of the Groundwater Resources Using Analytic Hierarchy Process in GIS, (Case Study: Yazd-Ardakan Plain). First National Conference on Application of advanced spatial analysis models (Remote Sensing and GIS) in land use planning. Iran. Yazd. 2015; 1-10. (In Persian)
- [10]. Feizizadeh B, Haslauer E. GIS-based procedures of hydropower potential for Tabriz basin, Iran. Conference Paper in: Car, A., Jekel, T., Strobl, J. (Eds.): GI Forum 2012, Salzburg. Wichmann-Verlag: Heidelberg. 2012; 495-502.
- [11]. Saaty TL, Vargas LG. Decision Making with the Analytic Network Process. New York. Springer Science; 2006. 363 p.
- [12]. Saaty TL. The Analytic Hierarchy Process. New York. McGraw Hill; 1980. 287 p.
- [13]. Garcia MM, Javier FO, Jeronimo AB, Pablo AB, Rocio PB. Farmland appraisal based on the Analytic Network Process. Journal of Global Optimization. 2008; 42: 143-155.
- [14]. Zebardast E. The Application of Analytic Network Process (ANP) in Urban and Regional Planning. Honar-Ha-Ye-Ziba Journal. 2010; 42: 79-90. (In Persian)
- [15]. Malczewski J. GIS and Multicriteria Decision Analysis. New York. J. Wiley & Sons; 1999. 408 p.
- [16]. Neaupane KM, Piantanakulchai M. Analytic Network Process model for landslide hazard zonation. Engineering Geology. 2006; 85: 281-294.
- [17]. Lami IM, Abastante F. Decision making for urban solid waste treatment in the context of territorial conflict: Can the Analytic Network Process help?. Land Use Policy. 2014; 41: 11-20.
- [18]. Saaty TL. Fundamentals of the Analytic Network Process. Proceedings of International Symposium on Analytical Hierarchy Process. Kobe. Japan. 1999. August 12-14.
- [19]. Saberi A, Rangzan K, Mahjouri R, Keshavarz MR. Potential Detection of the Groundwater Resources by combining remote sensing and GIS in the Analytic Hierarchy Process (AHP) in the Kamestan anticline, Khuzestan province. Advanced Applied Geology Journal. 2013; 2(6): 11-20. (In Persian)
- [20]. Prasad RK, Mondal NC, Banerjee P, Nandakumar MV, Singh VS. Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS. Environ Geol. 2008; 55: 467-475.
- [21]. AsghariMoghaddam A. The hydrogeology of the Tabriz area, Iran. Ph.D. thesis. Department of Geological Sciences. University College London. England. 1991.
- [22]. FarajiSabokbar HA, Nasiri H, Hamze M, Talebi S, Rafiei Y. Identification of suitable areas for artificial groundwater recharge using integrated ANP and pairwise comparison methods in GIS environment, (case study: Garbaygan Plain of Fasa). Geography and Environmental Planning Journal. 2012; 22(4): 143-166. (In Persian)