

تعیین مناطق مناسب تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی دشت تسوج با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و ANP

امید کریمی^{۱*}، یعقوب دین‌پژوه^۲، اسماعیل اسدی^۳، و احمد فاخری‌فرد^۴

چکیده

در چند دهه اخیر، با افزایش رشد جمعیت و به دنبال آن افزایش نیاز آبی کشور، تعادل منابع آبی در معرض تهدید قرار گرفته است. با توجه به این که اکثر نیازهای آبی در کشور ایران، از طریق آبخوان‌ها تأمین می‌شود، لذا در این میان اطلاع از وضعیت آبخوان‌ها می‌تواند در مدیریت مناسب منابع آب منطقه کمک کند. سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقش بسیار مهمی در شناسایی آب‌های زیرزمینی که از مهم‌ترین منابع تأمین آب در سراسر جهان است، دارد. در این پژوهش با استفاده از GIS و RS و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، پهنه‌های مستعد پتانسیل آب‌های زیرزمینی محدوده دشت تسوج شناسایی شد. با توجه به نتایج به دست آمده پهنه‌های مستعد ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی در چهار کلاس خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف طبقه‌بندی شد که نتایج به دست آمده با تراکم چاه‌های بهره‌برداری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل ANP نسبت به مدل AHP از کارایی بهتری برخوردار بود. با توجه به نتایج دو مدل AHP و ANP مناطق مخروط افکنه با دارا بودن ضخامت آبرفت، قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی بالا و عمق آب زیرزمینی متوسط، بهترین مناطق برای پتانسیل آب زیرزمینی هستند، به طوری که مناطق مناسب مستعد ذخیره‌سازی آب زیرزمینی (پتانسیل آب زیرزمینی) ۳۳/۰۷ درصد، مناطق متوسط ۲۹/۴۱، مناطق خیلی ضعیف ۲۵/۹۱ و مناطق خیلی ضعیف ۱۱/۵۸ درصد از مساحت دشت تسوج را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین مقدار تراکم نیز در کلاس متوسط برای مدل AHP و ANP به ترتیب برابر ۰/۶۴۸ و ۰/۴۵۸ است که داده‌های میدانی و اطلاعات مربوط به چاه‌های پیژومتری و تراکم بالای چاه‌های بهره‌برداری نیز صحت خروجی این نتایج را تأیید کرد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی، سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، دشت تسوج.

ارجاع: کریمی ا.، دین‌پژوه ی.، اسدی ا. و فاخری‌فرد ا. ۱۳۹۹. تعیین مناطق مناسب تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی دشت تسوج با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و ANP. مجله پژوهش آب ایران. ۳۸: ۱۵۷-۱۶۹.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

* نویسنده مسئول: karimi.omid1990@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۲

مقدمه

کشور ایران با وضعیت اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و میانگین بارش سالانه ۲۵۰ میلی‌متر، از کم‌آب‌ترین کشورهای جهان است (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۶). در چند دهه اخیر، با افزایش رشد جمعیت و به دنبال آن افزایش نیاز آبی کشور، تعادل منابع آبی در معرض تهدید قرار گرفته است. برداشت بی‌رویه آب از آبخوان‌های زیرزمینی در برخی مناطق موجب افت شدید سطح ایستابی شده است و کاهش منابع آب زیرزمینی، مشکلاتی همچون خشک شدن چاه‌های آب، کاهش دبی رودخانه‌ها و قنات‌ها، تنزیل کیفیت آب، افزایش هزینه پمپاژ و استحصال آب و نشست زمین را به دنبال خواهد داشت (مهدوی و همکاران، ۲۰۰۴). در این زمینه باید با اعمال مدیریت‌های صحیح و اجرای برنامه‌های اصولی از افت سطح آب زیرزمینی جلوگیری و در صورت امکان تعادل به هم‌خورده آبخوان را احیا کرد. با شناسایی مناطق مناسب برای ذخیره آب‌های زیرزمینی، می‌توان افت سطح تراز به وجود آمده را کاهش و آثار منفی آن را تا حدودی جبران نمود (کایروباران و همکاران، ۲۰۱۶). آنالیز همزمان داده‌های مختلف مکانی و توصیفی، مهمترین قابلیت GIS است که می‌توان آن را با سایر روش‌ها انجام داد (گاناپورام و همکاران، ۲۰۰۹). ترکیب داده‌های سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، در پایش آب‌های زیرزمینی و حفاظت از منابع زیرزمینی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (چالدوری و همکاران، ۲۰۱۰). باید توجه داشت که روش‌های مختلف پتانسیل‌یابی به عوامل و شاخص‌های زیادی بستگی دارد. بدون استفاده از یک سیستم توانمند که توانایی استفاده از لایه‌های اطلاعاتی مؤثر و تجزیه تحلیل آن‌ها را داشته باشد، امکان حل این معضل امکان‌پذیر نخواهد بود (سالاری، ۱۳۹۰). سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل توانایی مدیریت حجم عظیمی از داده‌ها در این خصوص مناسب است (ساندر و همکاران، ۱۹۹۶). استفاده از تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی با در نظر گرفتن تمامی پارامترها به‌طور همزمان سبب صرفه‌جویی در زمان و هزینه مالی می‌شود (توید و همکاران، ۲۰۰۷). به دلیل وجود عوامل متعدد در عملیات پتانسیل‌یابی نیاز به استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره احساس می‌شود. تحقیقات متنوعی در زمینه پتانسیل‌یابی انجام شده است. مهدوی و

همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی با استفاده از تکنیک‌های دیجیتالی در محیط GIS، اقدام به شناسایی شارژ مصنوعی آبخوان توسط ذخیره آب‌های سطحی با استفاده از منطق بولی و فازی واقع در دشت شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری کردند. در این پژوهش که هدف اصلی آن، شناسایی مکان‌های مناسب شارژ مصنوعی آبخوان بود، ابتدا داده‌های مؤثر که شامل هدایت هیدرولیکی سطح آب، کاربری اراضی، شیب سطح زمین، سرعت نفوذ خاک، ضخامت لایه اشباع و اطلاعات مربوط به شبکه جریان جمع‌آوری، پس از تهیه نقشه‌های دیجیتالی وزن‌دهی و طبقه‌بندی‌های یکپارچه را توسط اپراتور بولی و فازی انجام دادند. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که تقریباً ۴/۲۵ درصد از دشت بر اساس اپراتور بولی مناسب شارژ مصنوعی است. همچنین ۴/۷۹ و ۹/۱۷ درصد از منطقه مورد مطالعه بر اساس فازی مناسب و نسبتاً مطلوب می‌باشد در نهایت ۳۴ مکان با اولویت‌های A و B و AB که از نظر بالقوه مستعد شارژ مصنوعی آبخوان هستند معرفی شدند و تمامی این مناطق در قسمت هوادار قرار گرفته‌اند. گودرزی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی با هدف تعیین مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان دشت اشتریان واقع در شهرستان بروجرد از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسه مراتبی استفاده کردند. در این پژوهش ابتدا برای هر کدام از معیارهای لازم و تأثیرگذار در انتخاب مکان مناسب تغذیه از جمله زمین‌شناسی، شیب، ضخامت بخش غیر اشباع، کیفیت آب زیرزمینی، گرادیان هیدرولیکی، قابلیت انتقال، ضریب ذخیره، کاربری اراضی، اقدام به تهیه لایه رستری هر یک از این معیارها و تعیین وزن معیارها بر اساس روش تحلیل سلسه مراتبی (AHP) و روش مقایسه زوجی انجام شد. در نهایت نقشه پتانسیل تغذیه مصنوعی نشان داد که ۱۷ درصد از مساحت منطقه دارای شرایط کاملاً مناسب، ۲۱ درصد دارای شرایط مناسب، ۳۱ درصد دارای شرایط متوسط، ۱۸ درصد دارای شرایط نامناسب، ۱۳ درصد دارای شرایط کاملاً نامناسب برای تغذیه مصنوعی است که با بازدید میدانی چهار مکان برای تغذیه مصنوعی دشت اشتریان مشخص شد. رحیمی و موسوی (۱۳۹۲) در پژوهشی با عنوان پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل AHP و روش GIS اقدام به پهنه‌بندی مناطق پتانسیل آبی در حوضه شاهرود- بسطام کردند.

برای نیل به اهداف از معیارهای زمین‌شناسی، اقلیمی، ژئومورفولوژی و هیدرولوژی بهره‌گیری و در مجموع پنج منطقه پتانسیل بالا، خوب، متوسط، کم و بدون پتانسیل شناسایی شد. یمانی و علیزاده (۱۳۹۳) در پژوهشی پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی حوضه آبرده- اقلید فارس را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) شناسایی کردند. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که بیشترین مساحت حوضه از نظر پتانسیل آب زیرزمینی، مربوط به مناطق با وضعیت خوب و متوسط بود و بیشترین مناطق با پتانسیل بالا و خوب در نواحی جنوب و جنوب شرق حوضه نسبت به استان فارس قرار دارند و مناطق بدون پتانسیل و کم پتانسیل مربوط به نواحی کوهستانی جنوب غربی و شمال غرب حوضه و نواحی مرکزی و شمالی حوضه به‌دلیل جنس زمین و نفوذناپذیری و نوع ساختمان و توپولوژی آن‌ها هستند. جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان ارزیابی پتانسیل منابع آب دشت اردبیل با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه فازی در محیط GIS اقدام به ارزیابی وضعیت منابع آب در دشت اردبیل بر اساس چهار معیار اصلی طبیعی، کشاورزی، انسانی و هیدرولوژیکی کردند. در نهایت نقشه نهایی که بر اساس لایه‌های اولیه وزن‌دار شده با تکنیک فرآیند شبکه‌ای ایجاد شده بود، در محیط GIS ترسیم شد که در نتیجه، مناطق در وضعیت بحرانی، پتانسیل بسیار پایین و مناطق با خطر پایین دارای پتانسیل بالا هستند. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی اقدام به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه‌های منتهی به دشت تبریز کردند. برای انجام این پژوهش از معیارهای اقلیمی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی، توپوگرافی و زیست‌محیطی استفاده و در نهایت پنج طبقه را با پتانسیل بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم در منطقه شناسایی کردند. نتایج پژوهش نشان داد مناطق با پهنه‌های پتانسیل زیاد و بسیار زیاد بیشتر منطبق بر ارتفاعات پایین و رسوبات آبرفتی درشت دانه دوران چهارم و مخروط افکنه‌هاست و مناطق با پتانسیل کم نیز به‌ترتیب منطبق بر بیشترین ارتفاعات و مناطق دارای جنس مازنی و شیلی است. برای برآورد دقت مدل از نقشه مناطق آب موجود در منطقه شامل چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌های موجود در منطقه

استفاده شده است که نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. میری و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی اقدام به پهنه‌بندی منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان با استفاده از کاربرد توابع تحلیلی در محیط GIS کردند. در این پژوهش نقشه پهنه‌بندی آب زیرزمینی دشت دهگلان در پنج کلاس با پتانسیل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه شد. برای واسنجی مدل از موقعیت چاه‌های پیژومتری و موقعیت خطواره‌ها استفاده شد که هم‌پوشانی وزنی نتایج قابل قبول‌تری را ارائه داد.

مگیجی و همکاران (۲۰۱۶) پژوهشی با عنوان پهنه‌بندی مناطق با توان شارژ آب‌های زیرزمینی در زمین‌های ژئولوژیکی با سنگ سخت با استفاده از مدل باور شهودی (Evidential belief function) مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام دادند که در این پژوهش، مدل EBF-DST^۱ و سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره (AHP) برای پهنه‌بندی پتانسیل شارژ آب‌های زیرزمینی در جنوب نیجریه، استفاده شد. اطلاعات مرتبط شامل داده‌های ماهواره‌ای، اقلیمی و زمین‌شناسی جمع‌آوری و در پایگاه داده قرار داده شدند. اطلاعات عملکرد چاه‌های آب‌های زیرزمینی به دو دسته تستی (۷۰ درصد) و آموزشی (۳۰ درصد) برای اعتبارسنجی مدل تقسیم می‌شود. بر اساس پایگاه داده ساخته شده، شش نوع از عوامل مؤثر در شارژ آب‌های زیرزمینی شامل شیب، تراکم زهکشی، تراکم خطواره‌ها، تراکم تقاطع خطواره‌ها، لیتولوژی و بارندگی جمع‌آوری شدند. برای مقایسه کارایی نتایج مدل EBF-DST، مدل سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره (AHP) اجرا شد. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که نسبت موفقیت برای مدل EBF-DST و مدل AHP به‌ترتیب برابر با ۸۹ و ۸۲ درصد است. چینی و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از GIS اقدام به تحلیل داده‌های بارندگی، شدت رواناب حوضه، زمین‌شناسی حوضه و وضعیت آبخوان حوضه ماکناسی تونس کردند، نتایج نشان داد که GIS توانایی بالایی در پهنه‌بندی تغذیه مصنوعی آبخوان‌های زیرزمینی مناطق خشک دارد. نارندرا و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی با عنوان شناسایی مناطق دارای آب زیرزمینی در حوضه ناوارا (هند) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، پس از انجام تصحیحات مربوط به سنجنده (Liss, 2005)، به این نتیجه رسیدند

1- Dempster-Shafer theory - Evidential belief function

دشت تسوج در فاصله ۱۰۰ کیلومتری شمال غرب شهر تبریز و در شمال دریاچه ارومیه واقع شده است. مساحت منطقه مورد مطالعه ۵۸۶/۳ کیلومترمربع که از این مقدار ۲۴۱/۸۲ کیلومترمربع آن مربوط به آبخوان دشت تسوج است. منطقه مطالعاتی بین طول‌های جغرافیایی ۰۵' ۴۵° تا ۳۵' ۴۵° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۱۲' ۳۸° تا ۳۰' ۳۸° شمالی واقع شده است. رودخانه‌های موجود در محدوده دشت تسوج از ارتفاعات شمالی منطقه سرچشمه گرفته و در نهایت در جنوب دشت به دریاچه ارومیه تخلیه می‌شوند. منطقه بر اساس روش طبقه‌بندی دومارتن نیمه خشک سرد است و حداقل و حداکثر درجه حرارت هوا در ایستگاه تسوج، به ترتیب برابر ۱۱- و ۳۳ درجه سلسیوس می‌باشد همچنین آبخوان دشت تسوج از نوع آبخوان آزاد و ناهمگن و میزان متوسط بارش سالانه ۲۳۲ میلی‌متر است (ندیری و همکاران، ۱۳۹۳). منطقه مورد مطالعه همراه با چاه‌های موجود در منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است.

روش تحقیق

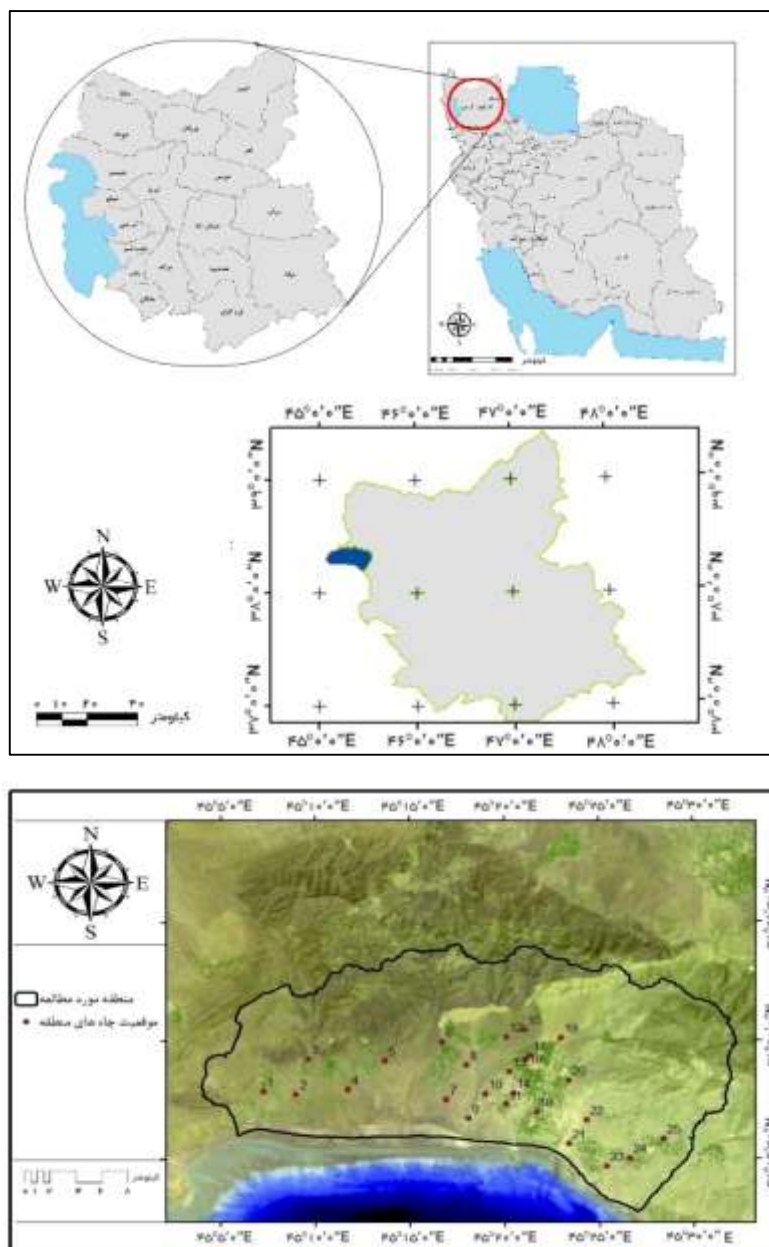
روش آماده‌سازی شناسایی پهنه‌های مستعد پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در شکل ۲ نشان داده شده است. در مرحله اول از نقشه زمین‌شناسی منطقه تسوج در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شده است سپس از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2A با قدرت تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر که تعداد باندهای آن سیزده عدد است، استفاده شد.

در این پژوهش از مدل رقومی ارتفاع (DEM) سنجنده ASTM ماهواره Terra با قدرت تفکیک ۲۸/۵ متر برای تهیه لایه‌های شیب، طبقات ارتفاعی، ایجاد شبکه آبراهه و همچنین در تهیه نقشه کاربری منطقه استفاده شد. بر اساس نقشه طبقات ارتفاعی، بیشترین و کمترین متوسط ارتفاع منطقه مورد مطالعه، به ترتیب برابر با ۳۱۲۴، ۱۲۶۴ و ۱۶۳۷ متر است.

که مناطق با پتانسیل آب زیرزمینی بالا، دارای تراکم خطواره‌های بالا، تراکم زهکشی کم و شیب کمی هستند. همچنین تقریباً ۶۸ درصد (۳۲۱۸ کیلومترمربع) از منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل آب زیرزمینی متوسط تا بسیار خوب است. آگاروال و گارگ (۲۰۱۵) در پژوهشی با عنوان پهنه‌بندی مناطق پتانسیل و تغذیه آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، به شناسایی مناطق پتانسیل و تغذیه آب‌های زیرزمینی اقدام کردند. نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی در پنج کلاس خیلی فقیر، فقیر، خوب، خیلی خوب و عالی طبقه‌بندی شده است. نقشه تغذیه آب‌های زیرزمینی نیز در چهار کلاس بسیار مناسب، مناسب، ضعیف و نامناسب طبقه‌بندی شد. نتایج کار بسیاری از پژوهشگران (مهدوی و همکاران، ۲۰۰۴؛ محمدنژاد و همکاران، ۱۳۹۲؛ داس و همکاران، ۱۹۹۷؛ مقدم و همکاران، ۲۰۱۳) مبین این مطلب است که عوامل تعیین‌کننده مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی متفاوت است و عواملی همچون خطوط و شکستگی‌ها، تراکم زهکشی، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، شدت بارندگی و بافت از جمله عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی است: همچنین پژوهشگران زیادی (کومار و همکاران، ۲۰۱۴؛ نوبر و همکاران، ۲۰۰۷؛ مقدم و همکاران، ۲۰۱۳) با استفاده از روش‌های مختلف مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی، به پتانسیل‌یابی اقدام کردند و نتایج پژوهش‌های آنان حاکی از این است که پتانسیل‌یابی با استفاده از مدل‌های مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی نتایج قابل قبولی داشته است.

هدف از این پژوهش نیز پتانسیل‌یابی پهنه‌های مستعد آب‌های زیرزمینی در منطقه دشت تسوج با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است. حوضه دشت تسوج، به عنوان یکی از حوضه‌های دریاچه ارومیه تلقی می‌شود و با توجه به خشکسالی‌های اخیر و خشک شدن دریاچه ارومیه و افت سطح آب در این منطقه، با داشتن اطلاعات دقیق از پتانسیل منابع آب زیرزمینی و روند تغییرات آن‌ها در طول زمان و میزان برداشت در این مناطق، می‌توان برنامه‌های مدیریتی لازم از نظر تغذیه و برداشت مجاز از این منابع را ارائه کرد.

مواد و روش‌ها



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت چاه‌های منطقه

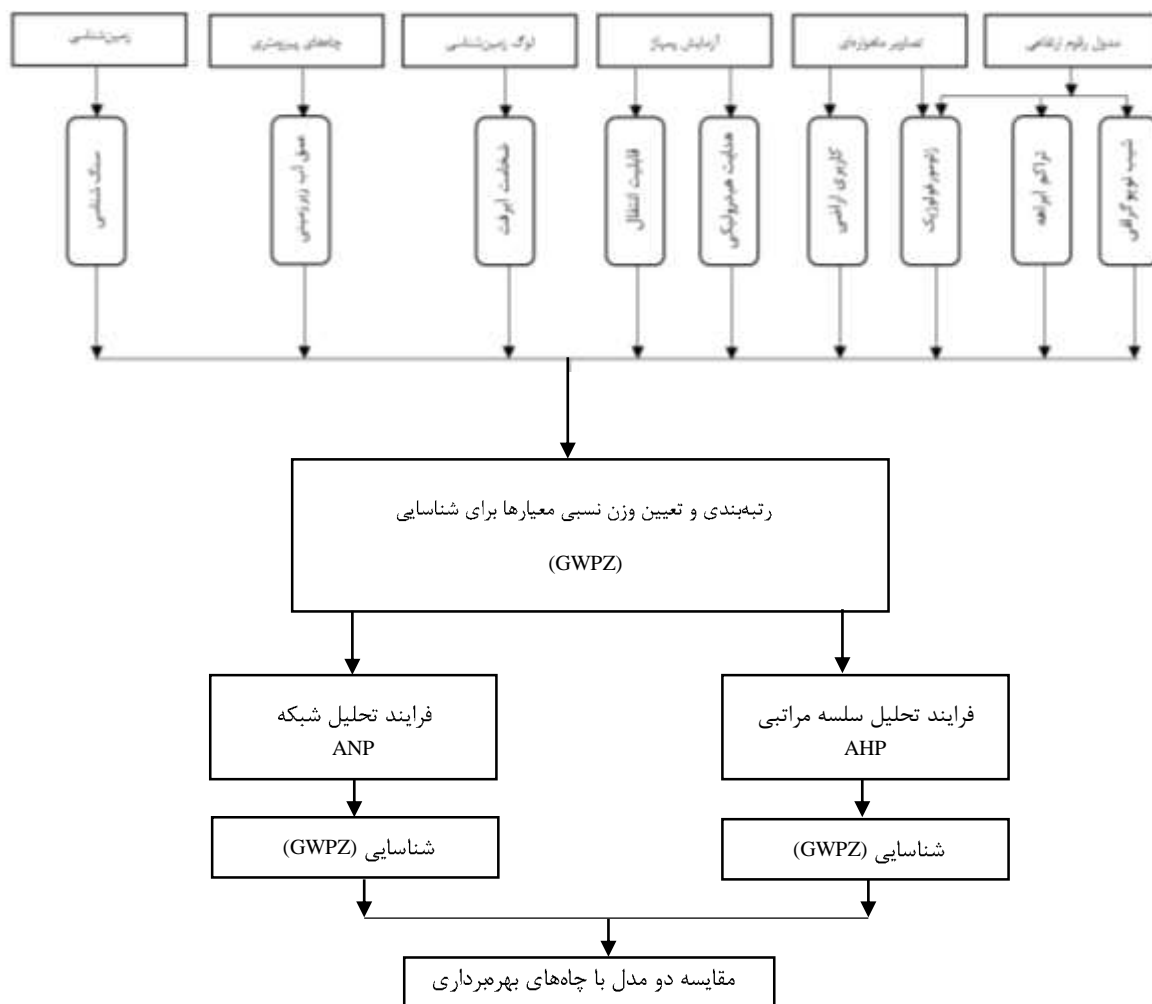
که در آن x_i وزن نرمال زمین کلاس لایه موضوعی و w_j وزن نرمال زمین لایه موضوعی، m نیز مجموع تعداد کل لایه‌های موضوعی و n نیز تعداد کل طبقات در یک لایه موضوعی است. سپس از روش مقایسه زوجی استفاده شد؛ به همین منظور یکسری مقایسه دو به دو برای اهمیت نسبی معیارها برای ارزیابی مورد نظر انجام شد. از این مقایسه‌های دو به دو برای ایجاد یکسری وزن‌ها (که جمع جبری آن‌ها برابر یک است)، استفاده شد. معیارها و وزن‌های نسبی به دست آمده برای هر یک از معیارها، داده‌های ورودی برای تحلیل ارزیابی چندمعیاری در محیط GIS را تشکیل دادند. در نهایت نقشه GWPZ با

برای شناسایی مناطق مستعد پتانسیل آب‌های زیرزمینی دشت تسوج، از پارامترهای مؤثر در ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی نظیر هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال، سنگ‌شناسی، ضخامت آبرفت، عمق آب زیرزمینی، کاربری اراضی، شیب توپوگرافی و واحدهای ژئومورفولوژیک استفاده شد. در این پژوهش برای محاسبه مکان‌های مستعد پتانسیل آب زیرزمینی تمام نقشه‌های موضوعی به صورت یکپارچه در محیط GIS با استفاده از معادله مالزوسکی (۱۹۹۹) تلفیق شدند:

$$GWPZ = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (w_j \times x_i) \quad (1)$$

آن باشد، وزن دهی صحیح است، در غیر این صورت وزن‌های نسبی داده شده به معیارها باید تغییر یابند و وزن‌دهی دوباره انجام شود.

کمک داده‌های مربوط به ۲۵ حلقه چاه پیزومتری برای منطقه مورد مطالعه ترسیم شد. برای تعیین درجه دقت و صحت وزن‌دهی، از شاخص سازگاری استفاده شد (ساتی، ۱۹۷۷). چنانچه شاخص سازگاری معادل ۰/۱ یا کمتر از



شکل ۲- روند نمای مراحل انجام پژوهش

نظرات کارشناسان، از تمامی نظرات کارشناسی میانگین گرفته و سپس وزن‌های نسبی تعیین شده وارد نرم‌افزار Expert Choice choice شد و با مقدار وزن نهایی هر معیار به دست آمد. پس از مشخص شدن وزن معیارهای مؤثر در شناسایی پهنه‌های ذخیره‌سازی (پتانسیل) آب‌های زیرزمینی با مدل AHP، نقشه پهنه‌های مستعد ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی، با استفاده از روش Weighted sum در نرم‌افزار ArcGis نسخه ۱۰.۶.۱ تهیه گردید. در نهایت نقشه پهنه‌های مستعد ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی (پتانسیل آب زیرزمینی) در چهار کلاس خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف ایجاد شد.

مدل تحلیل سلسله مراتبی AHP

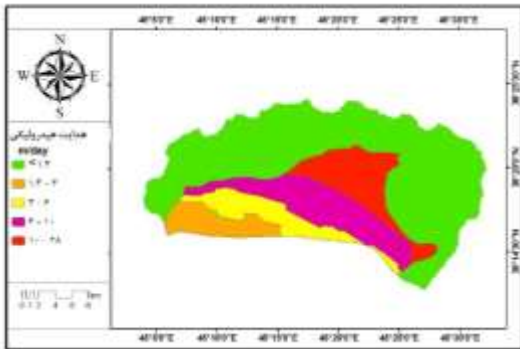
با توجه به شیوه ارزش‌گذاری و اصول فرایند سلسله مراتبی، ماتریس مقایسات زوجی برای تمامی عوامل تاثیرگذار در پژوهش حاضر، شامل هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال، ضخامت آبفک، ضخامت، عمق آب‌های زیرزمینی، شیب توپوگرافی، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و واحدهای ژئومورفولوژیک تهیه شد که لازم است به صورت زوجی با هم مقایسه شوند. برای افزایش دقت نتایج، این مقایسه‌ها با استفاده از نظرات کارشناسان متخصص در این زمینه انجام شده است. در ادامه برای استفاده از تمامی

مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای ANP

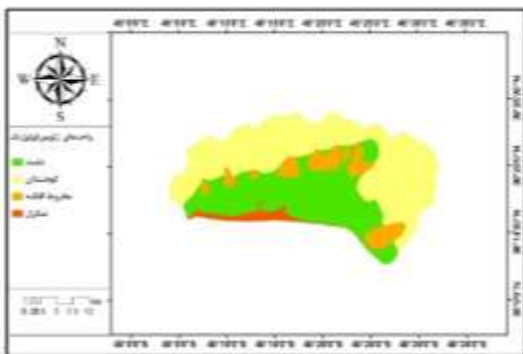
در این مدل نیز برای شناسایی مناطق مستعد ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی از نظرات کارشنان متخصص در این زمینه استفاده شد. در ادامه برای استفاده از تمامی نظرات کارشناسان، از تمامی نظرات کارشناسی میانگین گرفته شد. پردازش و تحلیل داده‌ها در این پژوهش با توجه به پارامترهای ذکر شده صورت گرفت. پس از آماده‌سازی و تهیه لایه‌های اطلاعاتی، از روش مقایسه زوجی برای تعیین وزن‌های هر لایه از روش ANP برای تعیین وزن نهایی معیارها استفاده شد. برای تعیین وزن معیارها از نرم‌افزار Super Decision استفاده شد. در این روش، معیارها در سه خوشه توپوگرافیک- ژئومورفولوژیک، هیدرولوژیکی- هیدرولیکی و زمین‌شناسی/ پوشش زمین زمین قرار گرفتند. معیارهای قابلیت انتقال، هدایت هیدرولیکی، ضخامت آبرفت و عمق آب‌های زیرزمینی در خوشه هیدرولوژیکی- ژئوهیدرولوژیکی و معیارهای، شیب توپوگرافی و واحدهای ژئومورفولوژی در خوشه توپوگرافیک- ژئومورفولوژیک و معیارهای کاربری اراضی و سنگ‌شناسی در خوشه زمین‌شناسی/ پوشش زمین قرار گرفتند. برای تعیین میزان سازگاری مقایسه‌ها، از ضریب ناسازگاری (INconsistency Report) استفاده شد. پس از مشخص شدن وزن معیارهای مؤثر در شناسایی پهنه‌های ذخیره‌سازی (پتانسیل) آب‌های زیرزمینی با مدل ANP، نقشه پهنه‌های مستعد ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی، با استفاده از روش Weighted sum در نرم افزار Arc GIS تهیه گردید. نقشه پهنه‌های مستعد ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی (پتانسیل آب زیرزمینی) در چهار کلاس خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف ایجاد گردید.

نتایج و بحث

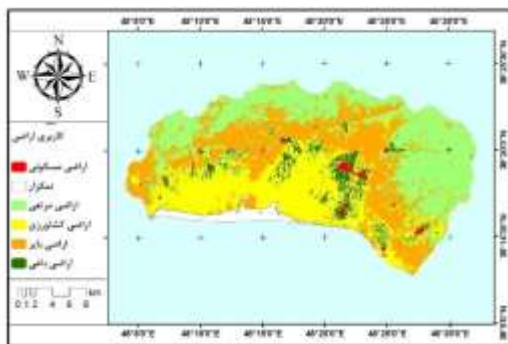
نقشه لایه‌های اطلاعاتی و تاثیرگذار در پتانسیل‌یابی مناطق مستعد آب زیرزمینی (واحدهای ژئومورفولوژیک، هدایت هیدرولیکی منطقه، نقشه کاربری اراضی، قابلیت انتقال، عمق آب‌های زیرزمینی، نقشه طبقات ارتفاعی، ضخامت آبرفت، سنگ‌شناسی، نقشه تراکم گسل، تراکم آبراهه، بارش و شیب منطقه) در شکل ۳ آورده شده است.



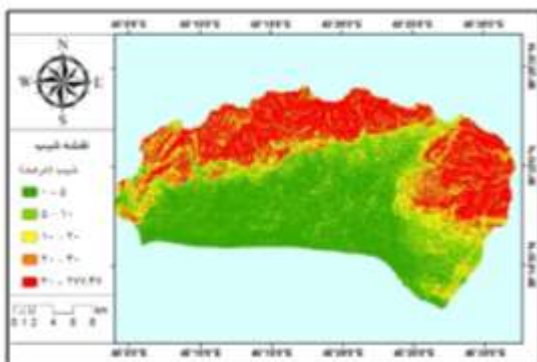
شکل ۳- نقشه هدایت هیدرولیکی



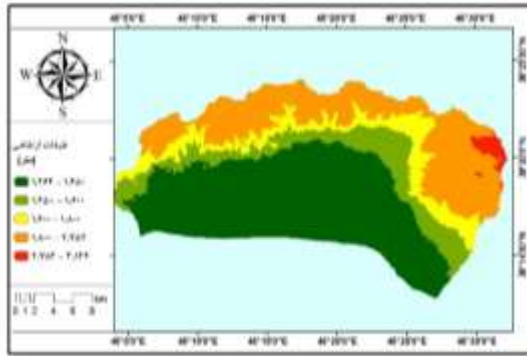
شکل ۴- نقشه واحدهای ژئومورفولوژیک



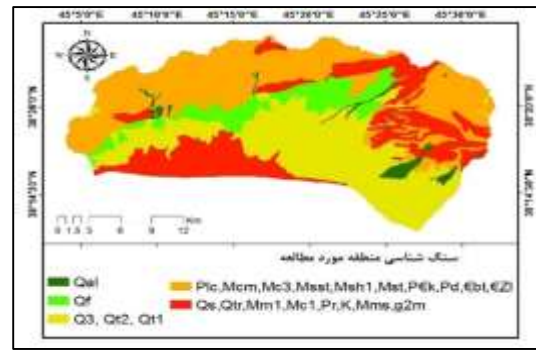
شکل ۵- نقشه کاربری اراضی



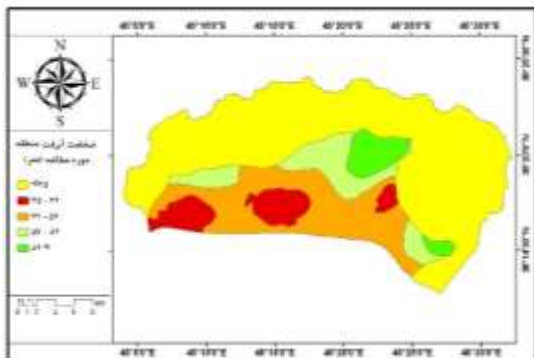
شکل ۶- نقشه شیب اراضی



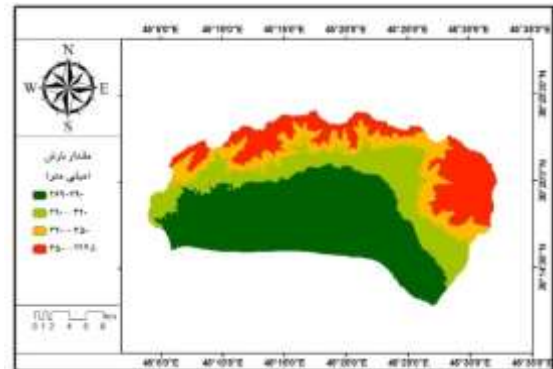
شکل ۱۱- نقشه طبقه ارتفاعی



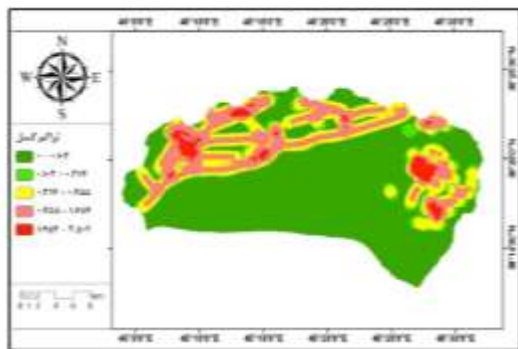
شکل ۷- نقشه سنگ شناسی



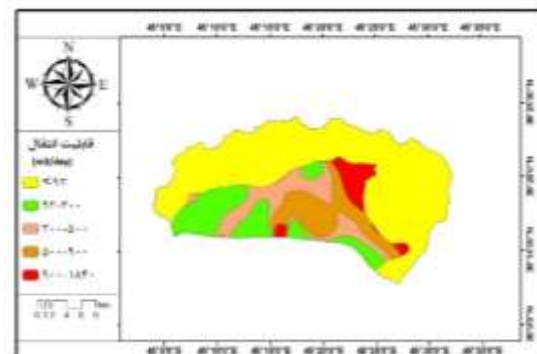
شکل ۱۲- نقشه ضخامت آبرفت



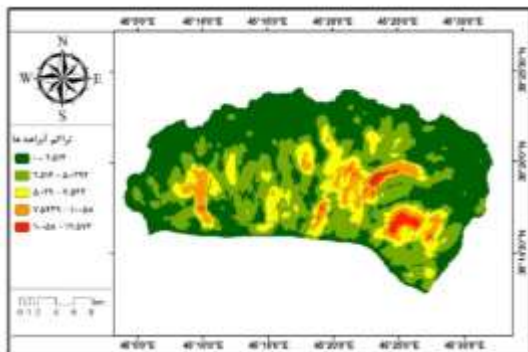
شکل ۸- نقشه مقدار بارش



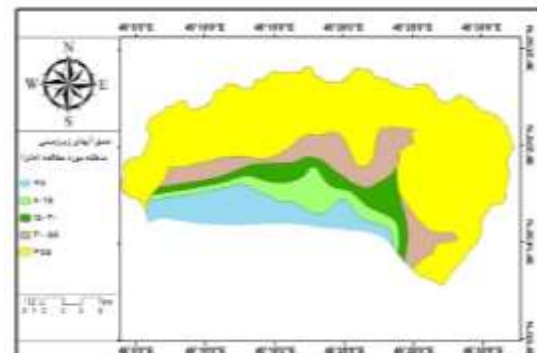
شکل ۱۳- نقشه تراکم گسل



شکل ۹- نقشه قابلیت انتقال



شکل ۱۴- نقشه تراکم آبراهه



شکل ۱۰- نقشه عمق آبهای زیرزمینی

شناسایی پهنه‌های مستعد پتانسیل آب‌های

زیرزمینی با مدل AHP

معمولاً مقدار نهایی سازگاری در صورتی که از ۰/۱ کمتر باشد، پذیرفتنی است. میزان سازگاری در این بخش از پژوهش، برابر با ۰/۰۸ است که نشان می‌دهد اوزان محاسباتی پذیرفتنی هستند.

مقادیر وزن معیارهای مورد استفاده در این پژوهش، در جدول ۱ آمده که بیشترین مقدار به معیار ضخامت آبرفت و کمترین وزن به واحدهای ژئومورفولوژیکی اختصاص داده شده است. بر اساس وزن‌های تعیین شده نقشه نهایی پهنه‌هایی مستعد تغذیه آب‌های زیرزمینی ایجاد شد.

جدول ۱- مقادیر وزن نهایی معیارها برای شناسایی مناطق مستعد پتانسیل آب زیرزمینی با مدل AHP

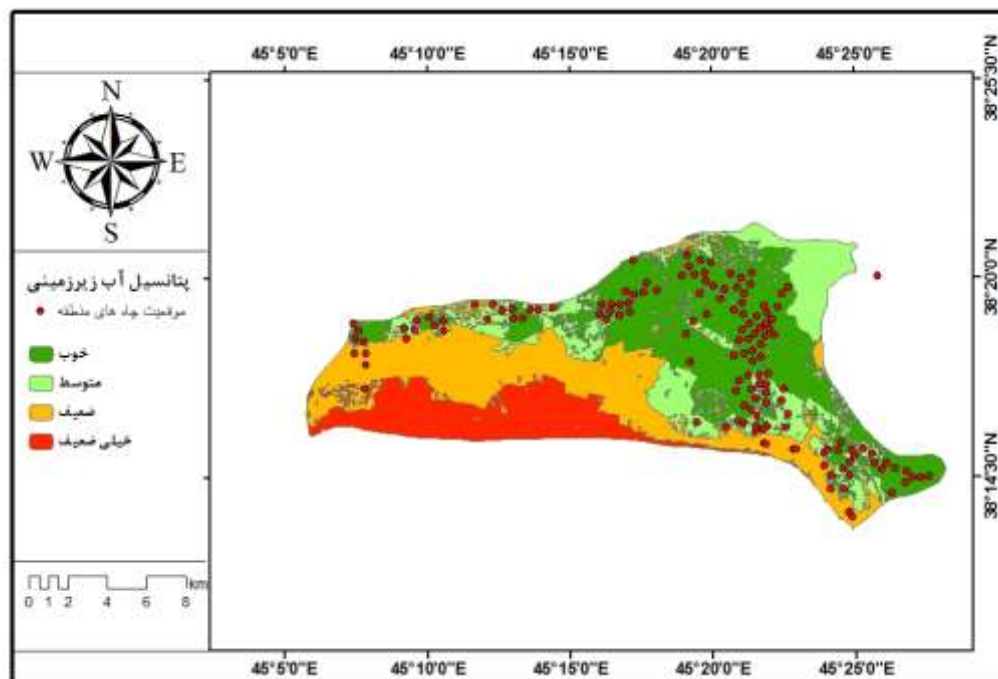
معیار	ضخامت آبرفت	عمق آب‌های زیرزمینی	هدایت هیدرولیکی	قابلیت انتقال	واحدهای ژئومورفولوژیکی	سنگ‌شناسی	شیب
وزن نهایی	۰/۲۸۱	۰/۲۰۶	۰/۱۶۲	۰/۱۱۵	۰/۰۳۵	۰/۰۶۱	۰/۰۸۲

انتقال، هدایت هیدرولیکی و ضخامت آبرفت و عمق آب زیرزمینی خیلی کم دارند، دارای پتانسیل آب زیرزمینی کمی هستند. مناطق مناسب پتانسیل آب زیرزمینی ۳۵/۸۰ درصد، مناطق متوسط، ۲۱/۱۳، مناطق ضعیف ۲۸/۲۶ و مناطق خیلی ضعیف ۱۴/۸۱ درصد از مساحت دشت تسوج را می‌پوشانند که مقادیر مساحت مربوط به هر کلاس در جدول ۲ آمده است.

با توجه به نقشه پهنه‌های مستعد ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی (پتانسیل آب زیرزمینی)، مناطقی با قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی بالا و ضخامت آبرفت بیشتر و پوشش گیاهی بهتر نسبت به سایر مناطق، پتانسیل آب بیشتری را نشان داده‌اند. این مناطق بیشتر در قسمت شرق و شمال دشت تسوج واقع شده‌اند و مناطقی مانند نمک‌زارها که پوشش گیاهی مناسبی ندارند و قابلیت

جدول ۲- مساحت کلاس‌های شناسایی پهنه‌های مستعد ذخیره‌سازی آب زیرزمینی با مدل AHP

کلاس	خوب	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف
مساحت (کیلومتر مربع)	۳۵/۸۰	۲۱/۱۳	۲۸/۲۶	۱۴/۸۱



شکل ۱۵- نقشه پهنه‌های مستعد ذخیره‌سازی آب زیرزمینی (پتانسیل آب زیرزمینی) با مدل AHP

شناسایی مناطق مستعد ذخیره‌سازی آب‌های

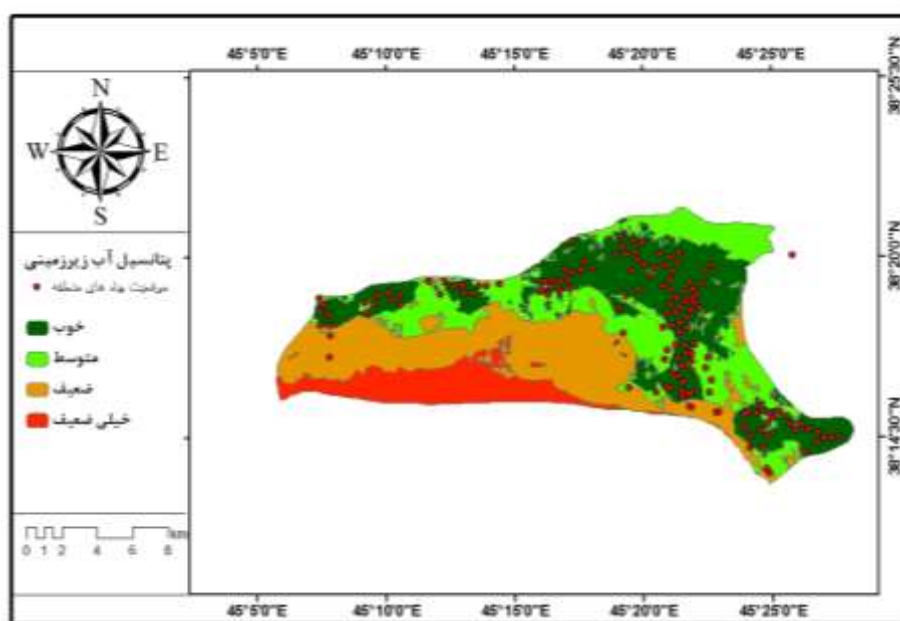
زیرزمینی با مدل ANP

برای تعیین میزان سازگاری مقایسه‌ها، از ضریب ناسازگاری (I.R.) استفاده شد که اگر کمتر از ۰/۱ باشد، مقایسه پذیرفتنی است. مقدار ضریب ناسازگاری (I.R.) در این پژوهش ۰/۰۸ است.

مقادیر وزن معیارهای مورد استفاده در این مدل در جدول ۳ آمده است که بیشترین مقدار به معیار ضخامت آبرفت و کمترین وزن، به واحدهای ژئومورفولوژیکی اختصاص داده شده است. بر اساس وزن‌های تعیین شده نقشه نهایی پهنه‌هایی مستعد تغذیه آب‌های زیرزمینی ایجاد شد.

جدول ۳- وزن نهایی معیارها برای شناسایی پهنه‌های مستعد ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی با مدل ANP

معیار	ضخامت آبرفت	عمق آب‌های زیرزمینی	هدایت هیدرولیکی	قابلیت انتقال
وزن نهایی	۰/۲۹	۰/۱۸	۰/۱۲۲	۰/۱۰۱
معیار	واحدهای ژئومورفولوژیک	سنگشناسی	کاربری اراضی	شیب توپوگرافی
وزن نهایی	۰/۰۳۷	۰/۰۸۷	۰/۰۷	۰/۰۸۹



شکل ۱۶- نقشه پهنه‌های مستعد ذخیره‌سازی آب زیرزمینی (پتانسیل آب زیرزمینی) با مدل ANP

با توجه به نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، مناطق پتانسیل بالا در قسمت شرقی و شمال دشت تسوج واقع شده‌اند که منطبق بر مناطق دارای هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال بالا، ضخامت آبرفت بیشتر، پوشش گیاهی بهتر نسبت به سایر مناطق، از لحاظ سنگشناسی جزء مخروط‌افکنه‌های بادبزی شکل تفکیک نشده و رسوبات درشت دانه است و مناطق با پتانسیل ضعیف و خیلی ضعیف منطبق بر مناطق با پوشش گیاهی نامناسب، ضخامت آبرفت و عمق آب زیرزمینی، هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال کم بوده و بیشتر در قسمت‌های جنوبی و نمک‌زارها را در خود جای داده است. مناطق مناسب مستعد ذخیره‌سازی آب زیرزمینی (پتانسیل آب زیرزمینی) ۳۳/۰۷ درصد، مناطق متوسط

۲۹/۴۱ مناطق ضعیف ۲۵/۹۱ و مناطق خیلی ضعیف ۱۱/۵۸ درصد از مساحت دشت تسوج را به خود اختصاص داده‌اند که مناطق مناسب و متوسط در مجموع ۶۲/۴۸ درصد از کل منطقه را شامل می‌شود که ۹۱ درصد از چاه‌های منطقه در این محدوده قرار دارند. این نتایج با نتایج آگاروال و گارگ (۲۰۱۵) که نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی را در پنج کلاس خیلی فقیر، فقیر، خوب، خیلی خوب و عالی دسته‌بندی کردند و مناطق خیلی خوب و عالی در مجموع ۵۸ درصد از کل منطقه را شامل می‌شوند و ۶۴ درصد از چاه‌های منطقه در این مناطق قرار دارند، یکسان است. مقادیر مساحت مربوط به هر کلاس در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴- مساحت کلاس‌های شناسایی پهنه‌های مستعد ذخیره‌سازی آب زیرزمینی با مدل ANP

کلاس	خوب	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف
مساحت (کیلومتر مربع)	۷۹/۸۱	۷۰/۹۹	۶۲/۵۵	۲۷/۹۶

مقایسه دو مدل AHP و ANP

برای مقایسه نتایج دو مدل، از تراکم چاه‌های بهره‌برداری استفاده شد. بدین منظور تراکم چاه‌ها در منطقه مورد نظر محاسبه و مقدار تراکم در هر کلاس مشخص شد. بر اساس این نتایج هر دو مدل در شناسایی کلاس خوب پتانسیل آب زیرزمینی به‌طور یکسان عمل کرده‌اند. مقدار تراکم در کلاس متوسط برای مدل AHP و ANP به ترتیب برابر ۰/۶۴۸ و ۰/۴۵۸ است. مقدار تراکم بالا چاه‌های

بهره‌برداری، نشان‌دهنده مناطق مستعد ذخیره‌سازی آب زیرزمینی هستند. در مدل AHP کلاس متوسط نسبت به مدل ANP تراکم بیشتری را نشان می‌دهد. مناطق ضعیف و خیلی ضعیف، باید مقدار تراکم خیلی کمی را دارا باشند که این مقدار، تراکم توسط مدل AHP نسبت به ANP بیشتر است. این نشان می‌دهد مدل ANP نتیجه بهتری را نشان داده است.

جدول ۵- وزن نهایی معیارها برای شناسایی پهنه‌های مستعد ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی با مدل ANP

D	خوب	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف
تراکم چاه‌های بهره‌برداری مدل AHP	۱/۳۹۵	۰/۶۴۸	۰/۳۰۶	۰/۰۰۸
تراکم چاه‌های بهره‌برداری مدل ANP	۱/۳۹۸	۰/۴۵۸	۰/۱۴۸	۰/۰۰

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش، مناطق مستعد ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی با توجه به نتایج هر دو مدل در مناطق مخروط افکنه و شیب کم قرار دارند. این مناطق با ضخامت آبرفت و هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال بالا و عمق آب زیرزمینی متوسط بهترین قابلیت ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی را دارند. بر اساس نقشه بارندگی منطقه مورد مطالعه (شکل ۵)، مناطق مرتفع، بارش بیشتری را دریافت می‌کنند و مقدار ضریب رواناب در مناطق مرتفع به دلیل داشتن شیب بیشتر و پوشش گیاهی کمتر ضریب رواناب بیشتری دارند و مقدار زیادی از بارندگی ایجاد شده به رواناب تبدیل و وارد دشت می‌شود. این مقدار رواناب ایجاد شده را می‌توان در مناطقی که قابلیت شارژ و ذخیره آب زیرزمینی دارند، در جهت نفوذ و کمک به تغذیه آب‌های زیرزمینی استفاده کرد.

مقدار تراکم بالا چاه‌های بهره‌برداری، نشان‌دهنده مناطق مستعد ذخیره‌سازی آب زیرزمینی هستند. در مدل AHP کلاس متوسط نسبت به مدل ANP تراکم بیشتری را نشان می‌دهد. مناطق ضعیف و خیلی ضعیف باید مقدار تراکم خیلی کمی را دارا باشند که این مقدار تراکم توسط مدل AHP نسبت به ANP بیشتر است این موضوع نشان می‌دهد مدل ANP نتیجه بهتری را نشان داده است.

کومار و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای با هدف ارزیابی دقت تکنیک سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تشخیص مناطق پتانسیل آب‌های زیرزمینی اقدام به شناسایی پتانسیل آب‌های زیرزمینی در منطقه دورگ در جاتیسکار هند کردند که در نهایت نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی با استفاده از عمق آب در چاه‌های این منطقه مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. همچنین رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی اقدام به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه‌های منتهی به دشت تبریز کردند که نتایج پژوهش آنان نشان داد مناطق با پهنه‌های پتانسیل زیاد و بسیار زیاد بیشتر منطبق بر ارتفاعات پایین و رسوبات آبرفتی درشت دانه دوران چهارم و مخروطه افکنه‌ها ست و مناطق با پتانسیل کم نیز به ترتیب منطبق بر بیشترین ارتفاعات و مناطق دارای جنس مارنی و شیلی می‌باشد. برای برآورد دقت مدل از نقشه مناطق آب موجود، در منطقه شامل چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌های موجود در منطقه استفاده شد که نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. شایان ذکر است که روش‌های به کار گرفته شده در این پژوهش، در مقایسه با تحقیقات پیشین در داخل و خارج از کشور، نشان‌دهنده این است که روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش مناسب‌تری برای مشخص

مراتبی (مطالعه موردی: دشت اشتریان). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. (۴)۵: ۴۷-۶۰.

6. محمد نژاد آ. اصغری ص. و محمدزاده ب. ۱۳۹۲.

تهیه نقشه مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی با استفاده از GIS و MIF (مطالعه موردی: شهرستان ارومیه). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. (۳)۲: ۴۸-۵۸.

7. مسعودیان س. و کاویانی م. ۱۳۸۶. اقلیم‌شناسی ایران، چاپ اول، اصفهان، انتشارات دانشگاه اصفهان. ۱۸۲ ص.

8. میری ا. روستایی ش. و علی‌اکبر ر. ۱۳۹۵.

پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی با استفاده از کاربرد توابع تحلیلی GIS (مطالعه موردی: دشت دهگلان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز. ۱۱۲ ص.

9. ندیری ع. اصغری مقدم ا. عبقری ه. کلانتری

اسکویی ع. حسین‌پور ع. و حبیب‌زاده ا. ۱۳۹۳. مدل منطق فازی در تخمین قابلیت انتقال آبخوان‌ها مطالعه موردی: دشت تسوج. نشریه دانش آب و خاک. (۱)۲۴: ۲۰۹-۲۳۳.

10. یمانی م. و علیزاده ش. ۱۳۹۳. پتانسیل‌یابی

منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مطالعه موردی: حوضه آباده- اقلید فارس، هیدروژئومورفولوژی. (۱)۱۴: ۱۳۱-۱۴۴.

11. Agarwal R. and Garg P. 2015. Remote Sensing and GIS Based Groundwater Potential & Recharge Zones Mapping Using Multi-Criteria Decision Making Technique. *Water Resources Management*. 30(1): 243-260.
12. Chenini I. Ben Mammou A. and ElMay M. 2009. Groundwater Recharge Zone Mapping Using GIS-Based Multi-criteria Analysis: A Case Study in Central Tunisia (Maknassy Basin). *Water Resources Management*. 24(4): 921-939.
13. Chowdhury A. Jha M. and Chowdary V. 2010. 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*. 59(6): 1209.

کردن مناطق مستعد پتانسیل آب زیرزمینی است. نتایج به دست آمده هم راستا با نتایج به دست آمده از تحقیق‌های آگاروال و گارگ (۲۰۱۵) و رحیمی و موسوی (۱۳۹۲) است. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی مناطق ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی با هر دو مدل ANP و AHP مناطق با پتانسیل خوب، مناطق مخروط افکنه و مناطق باغی با پوشش گیاهی خوب هستند. این مناطق به دلیل دارا بودن هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال، ضخامت آبرفت، عمق آب زیرزمینی، شیب و پوشش گیاهی مناسب، پتانسیل بالایی دارند. این مناطق بیشتر در قسمت‌های شمالی و شرقی دشت تسوج واقع شده‌اند؛ بنابراین فرضیه بالا تایید می‌شود.

منابع

1. جعفرزاده ج. ه. رستم‌زاده م. و نیکجو اسدی ا. ۱۳۹۴. ارزیابی پتانسیل منابع آب دشت اردبیل با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه فازی در محیط GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز. ۱۴۱ ص.
2. رحیمی د. و موسوی ح. ۱۳۹۲. پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل AHP تکنیک GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شاهرود بسطام). نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی. (۴۴)۱۷: ۱۳۹-۱۵۹.
3. رضایی مقدم م. رحیم‌پور ت. و روحی م. ۱۳۹۵. پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه‌های آبریز منتهی به دشت تبریز)، اکوهیدرولوژی. (۳)۳: ۳۷۹-۳۸۹.
4. سالاری م. ۱۳۹۰. مکان‌یابی مناطق مناسب جهت دفن پسماندهای جامد شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران- محیط‌زیست، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز. ۱۵۲ ص.
5. گودرزی ل. آخوند علی م. زارعی ح. ۱۳۹۳. تعیین مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله

- fuzzy logic tool. *Journal of Contaminant Hydrology*. 94(3): 277-222.
25. Sander P. Chesley M. and Minor T. 1996. Groundwater Assessment Using Remote Sensing and GIS in a Rural Groundwater Project in Ghana: Lessons Learned, *Hydrogeology Journal*. 4(3): 78-93.
 26. Tweed S.O. Leblance M. Webb Jk. And Lubczynski MV. 2007. Remote sensing and GIS for mapping groundwater recharge and discharge areas in salinity prone catchments, southeastern Australian :*Hydrogeology journal*. 15(1): 75-96.
 14. Das S. Behera S. Kar A. Narendra P. and Guha S. 1997. Hydrogeomorphological Mapping in Groundwater Exploration Using Remotely Sensed Datad, A Case Study in Keonjhar District, Orissa, *Journal of Indian Society of Remote Sensing*. 25(4): 247-259.
 15. Ganapuram S. Vijaya Kumar G. Murali Krishna I. Kahya E. and Demirel M. 2009. Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *AdvEngSoftw*. 47: 571-515.
 16. Kirubakaran M. Johnny J. Ashokraj C. and Arivazhagan S. 2016. A geostatistical approach for delineating the potential groundwater recharge zones in the hard rock terrain of Tirunelveli taluk, Tamil Nadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*. 9(5): 1-16.
 17. Kumar Gautam A. and Kumar T. 2014. Appraising the accuracy of GIS-based multi-criteria decision making technique for delineation of groundwater potential zones. *Water Resources Management*. 28(13): 4449-4466.
 18. Mahdavi A. Tabataei S. H. Mahdavi R. and Nouri Emamzadei M. R. 2011. Application of digital techniques to identify aquifer artificial recharge sites in GIS environment. *International Journal of Digital Earth*. 6(6): 589-609.
 19. Mahdavi Abedi-e-Kopani J. Rezai M. and Abdoulhosaini M. 2004. Locating appropriate sites for artificial recharge of ground water resources. *Water resources and soil Conference 23-24 April*. Shiraz University. RS and GIS through. 22 p.
 20. Malczewski J. 1999. GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons, NY, 408 p.
 21. Mogaji K. Omosuyi G. Adelusi A. Lim H. 2016. Application of GIS-Based Evidential Belief Function Model to Regional Groundwater Recharge Potential Zones Mapping in Hardrock Geologic Terrain. *Environmental Processes*. 3(1): 93-123.
 22. Moghadam D. Rezaei M. Pourghasemi H. and Pourtaaghie Z. 2013. Groundwater potential spring mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan watershed, Iran. *Arab Journal Geosci*. 8(2): 913-929.
 23. Narendra K. Rao K. and Latha P. 2013. Integrating remote sensing and GIS for identification of groundwater prospective zones in the Narava basin, Visakhapatnam region, Andhra Pradesh. *Journal of the Geological Society of India*. 81(2): 248-260.
 24. Nobre R. Filho O. Mansur W. Nobre M. Cosenza C. 2007. Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS, modeling and a

