مهندسی جغرافیایی سرزمین، دوره سوم، شماره ٦، پاییز و زمستان ۱۳۹۸
شاپای چاپی ۱٤۹۰-۲٥۳۸ شاپای الکترونیکی ۳۹۲۲-۲٥۳۸
http://JGET.ir
صص. ۱٤۹- ۱۳٥

پهنه‌بندی پتانسیل‌سنجی منابع آب زیرزمینی دشت یزد– اردکان

علی اصغر عبدالهی* – دانشیار جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه باهنر، کرمان، ایران
فرزانه بالاجه – دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه باهنر، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۶

چکیده

مناطق مرکزی و شرقی کشور با کمبود و فقر منابع آب مواجه هستند و در بخش‌های وسیعی بحران کمبود آب وجود دارد و این ناهمگونی بین منابع و مصارف آب، مشکلات اساسی را بر سر راه توسعه پایدار، در مناطق مرکزی کشور به وجود آورده است و همچنین امروزه به دلیل کاهش بارندگی، حفر تعداد زیاد چاه های عمیق در سال های اخیر و برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی در دشت ها و عدم توجه به مقوله آبخوانداری و انجام تغذیه مصنوعی، توجه بیشتر به آب‌های زیرزمینی امری اجتناب ناپذیر و مهم محسوب می گردد. به همین منظور در این پژوهش سعی گردیده است که به پتانسل سنجی منابع آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان پرداخته شود و برای شناسایی و تعیین بهترین مناطق آبی جهت بهره برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی در حوضه دشت یزد اردکان از روش سلسله مراتبی AHP و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS استفاده شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که، ۵۹/۳۵ درصد معادل ۷۲۵۵۳۹ هکتار از مساحت دشت یزد-اردکان دارای پتانسل خیلی زیاد، ۹/٦۱ در صد معادل ۱۰۵۵۷۲ هکتار دارای پتانسیل زیاد، ۹ در صد معادل ۹۷۹٦۹ هکتار دارای پتانسیل متوسط، ۱۷/۷٤ درصد معادل ۲۰٦۹۰٦ هکتار دارای پتانسیل کم و ۱۰ درصد از مساحت دشت معادل ۱۱۰٤۳۳ هکتار دارای پتانسیل خیلی کم برای بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی می‌باشد، که نشان دهنده پتانسیل بالای منابع آب زیرزمینی حوضه دشت یزد – اردکان است.

واژگان کلیدی: منبع آب زیرزمینی، دشت یزد اردکان، سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش AHP

* نویسنده مسئول: Email: aliabdollahi1313@gmail.com

مقدمه

امروزه آب مهمترین مسئله چالش بین ملل در اکثر کشورهای جهان می باشد (محمدی، شمسی پور، ۱۳۸۱: ۱۳۰-۱۱۵). منابع آب دنیا در حال کاهش است (Gonzalez, 2010, 529- 54). آب‌های زیرزمینی، بخشی از چرخه هیدرولوژی در جهان است (شعبانی، ۱۳۹۶: ۲۳-۱۵)، آب‌های زیرزمینی ۴ درصداز مجموعه آب‌هایی که فعالانه در سیکل هیدرولوژی دخالت دارند را شامل می شوند (علیزاده: ۱۳۸۸). از آن جا که منابع آب سطحی در بسیاری از مناطق کشور محدود می باشد، آب‌های زیرزمینی به عنوان مناسب ترین منبع در دسترس جهت تامین آب مورد نیاز به حساب می آید. شناسایی منابع آب زیرزمینی، شناختن مناطق با پتانسیل بالا و اصلاح شیوه برداشت از این منابع از مهمترین اهداف به شمار می رود. آب زیرزمینی از یک سو به دلیل شیرین بودن، ترکیبات ثابت شیمیایی، دمای ثابت، ضریب آلودگی کمتر و سطح اطمینان بالاتر در تامین آب به عنوان یک منبع قابل اتکا به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب شده و از سوی دیگر با تاثیر بر توان اکولوژیک سرزمین یک پدیده مهم و موثر در توسعه اقتصادی، تنوع اکولوژیکی و سلامت جامعه به حساب می آید (MadanK.Kamii&K, 2008).

کشور ایران به علت قرار گرفتن در مناطق خشک تا نیمه خشک جهان همواره در همه مناطق آن بین منابع و مصارف آب توازن برقرار نبوده است و همچنین علاوه بر کمبود بارندگی، نوسانات شدید بارندگی درمقیاس های روزانه، فصلی و سالانه ازجمله خصوصیاتی است که موجب عدم اطمینان کافی نسبت به دریافت حداقل بارش موردنیاز جهت مصارف کشاورزی، تغذیه جریان‌های سطحی و سفره آب‌های زیرزمینی و مصارف انسانی می‌شود.با توجه به وجود نوسانات منفی شدید در بارش‌های مناطق مختلف کشور، وقوع خشکسالی‌های ضعیف تا شدید در کشور امری اجتناب ناپذیر محسوب می‌شود. اثرات خشکسالی در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل بالا بودن تبخیر و دما و نیز کمبود منابع آبی نمود بیشتری پیدا می‌کند (مفیدیفر: ۱۳۹۳). بنابر این خطر ناشی از کاهش کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی به عنوان چالشی در پیش روی منابع آب کشور قرار دارد، آب‌های زیرزمینی به عنوان یک ذخیره آبی سالم باید بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد، با توجه به این مهم ضرورت آگاهی از چگونگی تغییرات زمانی و مکانی این متغیر در مناطق گوناگون دارای اهمیت بسزایی است (یزدانی مقدم، عباسعلی، قضاوی، ۱۳۹۳: ۱۸۴-۱۷۱). آب‌های زیرزمینی بخش مهمی از اکوسیستم قابل تجدید منابع آب بوده که مدیریت نامناسب استحصال منجر به تغییر کیفیت این گونه منابع و تخریب مستقیم یا غیر مستقیم سایر منابع می گردد (زارع ابیانه، ۱۳۹۲: ۸۶-۶۵).

حاکمیت اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک در پهنه وسیعی از کشور، همراه با افزایش جمعیت و در پی آن افزایش تقاضای آب جهت مصارف شهری، صنعتی و کشاورزی از یک سو و روند رو به ازدیاد آلودگی‌های مستقیم و غیرمستقیم منابع آب از سوی دیگر ایجاب می‌کند که وضعیت و کیفیت این منابع جهت تامین آب برای مصارف مختلف و مدیریت مصارف، مورد مطالعه قرار گیرد (نوشادی، طالب بیدختی، یوسفی، ۱۳۸۸). مدیریت بهینه منابع آبی و حفظ و ارتقای کیفیت آنها نیازمند وجود اطلاعات در زمینه موقعیت، مقدار و پراکنش آب در یک منطقه جغرافیایی معین می‌باشد. انتخاب روش مناسب پهنه‌بندی و تهیه نقشه تغییرات ویژگی‌های کیفی آب‌های زمینی گامی اساسی و مهم در مدیریت منابع آبی منطقه به شمار می‌رود. این محدودیت منابع آب و توزیع فصلی نامناسب بارندگی در کشور نشان می‌دهد که ابتدا باید ظرفیت منابع آب‌های موجود سطحی و زیرزمینی را به خوبی شناسایی و مطالعه کرد تا برنامه‌ریزی جامعی برای بهره‌برداری صحیح از آن‌ها صورت گیرد. علاوه بر لزوم اشاعه رویه‌های مرسوم و مطلوب در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، بهره‌گیری از فناوری‌های جدید مانند مدل‌سازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی می تواند به عنوان ابزاری مناسب در اکتشاف منابع آبی با توجه به هزینه‌های بالا روش‌های سنتی مطرح گردد (مفیدیفر، اصلاح، حسن آبادی،۱۳۹۴: ۱۵۶-۱۴۷).

امروزه به دلیل کاهش بارندگی، حفر تعداد زیاد چاه های عمیق در سال های اخیر و برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی در دشت ها و عدم توجه به مقوله آبخوانداری و انجام تغذیه مصنوعی، توجه بیشتر به آب‌های زیرزمینی امری اجتناب ناپذیر و مهم محسوب می گردد و بررسی وضعیت کمی و کیفی سفره های آب زیرزمینی از جمله این امور است (رهنما، قنبرپور، حبیب نژادروشن، دادرسی سبزوار، ۱۳۹۰: ۴۶-۳۱) و همچنین الگوی نامناسب استفاده از زمین و تغییرات شدید در کاربری زمین منجر به پیدایش بحران های زیست محیطی می‌گردد (جعفری، بردی شیخ، حسینعلی زاده، رضایی مقدم، ۱۳۹۳: ۹۴-۷۷).

بخش مهمی از آب‌های موردنیاز بشر، به خصوص در بخش کشاورزی و مصارف شهری خانگی از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود. به همین دلیل بسیاری از آبخوان‌ها با بیلان منفی مواجه هستند. علاوه بر اینها با افزایش جمعیت کره زمین، توسعه شهرنشینی و تغییر الگوهای پیشرفت صنعتی و کشاورزی باعث شده است که مسئله آلودگی آب‌ها نیز به مشکلات دیگر اضافه گردد. منابع آب زیرزمینی

به دلیل ضریب اطمینان بالاتر و نوسانات کمتر به عنوان یک گزینه مطمئن از دیرباز مورداستفاده انسان بوده و در طی دهه‌های اخیر در اثر برداشت بیشتر از تغذیه با کاهش کمی و کیفی روبرو شده است. مدیریت و جلوگیری از تشدید این مشکلات از طریق اکتشاف و بهره‌برداری متناسب با پتانسیل آن یکی از استراتژی‌های منتخب در این زمینه است (رحیمی، زرین مو، ح، حسنقلی نژاد دزفولیان، ۱۳۹۰: ۲۲۵-۲۰۹).

با توجه به اینکه کشور مایکی از مناطق کم آب جهان به شمار می‌شود با برآورد صورت گرفته تا سال ۲۰۲۵ میلادی در زمره کشورهایی قرار خواهد گرفت که با کمبود شدید آب مواجه می‌گردد و به علت واقع بودن در مناطق خشک تا نیمه خشک همواره در همه مناطق آن بین منابع و مصارف آب توازن برقرار نبوده است (کریمی، صالحی، جعفری، ۱۳۸۵: ۹۸-۸۷). این واقعیت باعث شده تا ادامه حیات در بخش عظیمی از فلات مرکزی و شرق کشور به ویژه استان یزد با مشکلات عدیدهای روبرو گردد چراکه آب و مسائل آن در استان یزد که یکی از فقیرترین مناطق کشور از نظر منابع آب محسوب می‌گردد همواره و در طول تاریخ از اهمیت خاص و حیاتی برخوردار است و قنات های منفرد و طولانی، آبانبارها و کانال‌های آبرسانی در این استان مؤید این حقیقت است که مردم این خطه کویری کوشش‌های فراوانی را در زمینهٔ استفاده بیشتر و بهتر از منابع آب نموده‌اند. در این پژوهش ابتدا عوامل طبیعی موثر در ایجاد مکان‌های احتمالی ذخایر آب زیرزمینی تعیین شد. سپس این عوامل در قالب فنون تصمیم گیری تحلیل سلسله مراتبی(AHP)[۱] و به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی مدل سازی شدند و در نهایت به پهنه بندی پتانسیل‌سنجی منابع آب زیرزمینی دشت یزد اردکان پرداخته خواهد شد.

پیشینه پژوهش

رحیمی (رحیمی، زرین مو، ح، حسنقلی نژاد دزفولیان، ۱۳۹۰: ۲۲۵-۲۰۹)، در مقاله‌ای با عنوان پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت شهر کرد) سعی کردند برای بررسی و پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی داده‌های تراز ایستایی و سطح آب در دوره زمانی ۱۳۸۶-۱۳۶۳، پایگاه اطلاعات جغرافیایی متشکل از زمین شناسی، لیتولوژی، قابلیت تخلخل، توپوگرافی و شبکه آبراهه تشکیل گردیده و نتایج نشان داد ۵۹۰۰ هکتار دشت دارای پتانسیل بالا برای برداشت و تغذیه مصنوعی و مناسب برای حفر چاه، ۱۶۰۰ هکتار پتانسیل متوسط و ۴۸۰۲ هکتار پتانسیل کم است. پیری و بامری (پیری، ۱۳۹۳: ۴۴-۲۹) در مقاله ای با عنوان بررسی روند تغییرات کمی سطح ایستایی منابع آب زیرزمینی با استفاده از زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی در دشت سیرجان پرداخته اند. نتایج پهنه بندی با روش کریجینگ معمولی نشان داد که سطح آب زیرزمینی در بیشتر نقاط دشت در دوره مطالعه افت داشته است. حداکثر این افت معادل ۴۰ متر و به طور متوسط ۱۵ متر می‌باشد. در نقاط غربی دشت سطح آب افزایش پیدا کرده که باعث تغییر جهت آب از سمت سفره آب شور غرب به سمت سفره آب شیرین و کاهش کیفیت سفره آب زیرزمینی دشت سیرجان شده است.

یمانی و علی‌زاده (یمانی، علی زاده، ۱۳۹۶: ۱۴۴-۱۳۱)، در مقاله‌ای با عنوان پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش ساسله مراتبی AHP؛ مطالعه موردی: حوضه آباده-اقلید فارس به این نتیجه رسیده‌اند که بیشترین مساحت حوضه از نظر پتانسیل آب زیرزمینی مربوط به مناطق با وضعیت خوب و متوسط دارد و مناطق بدون پتانسیل و کم پتانسیل مربوط به نواحی کوهستانی جنوب غربی و شمال غرب حوضه و نواحی مرکزی و شمالی حوضه به دلیل جنس زمین و نفوذ ناپذیری و نوع ساختمان و توپولوژی آنها هستند.

جوانی و همکارانش (جوانی و جباری، ۱۳۸۸: ۷۱-۵۵)، به بررسی شاخص‌های زمین ریخت شناسی در شناسایی منابع آب زیرزمینی پرداختند. آنها دریافتند عوامل زمین شناسی و زمین ریخت شناسی به دلیل ارائه شاخص‌هایی برای اکتشافات آب زیرزمینی و هدایت سریع پژوهشگران برای کشف نقاط دارای منابع آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. مهمترین اشکال زمین ریخت شناسی قابل مطالعه از نظر آب‌های زیرزمینی، مخروط افکنه ها و پادگانه‌های آبرفتی می‌باشند. آنها سعی کردند که بین اشکال و فرایندهای زمین ریخت شناسی دشت اهر و منابع آب زیرزمینی آن رابطه ای برقرار شود تا بر اساس آنچه در طبیعت دیده می‌شود، منابع آب زیرزمینی حدس زده شود. نتیجه مطالعه نشان داد دشت سیلابی در امتداد رودخانه اهر چای از نظر آب زیرزمینی غنی می‌باشد.

---

۱. Analytical Hierarchy process

رحیمی و همکاران (رحیمی، زرین مو، ح، حسنقلی نژاد دزفولیان، ۱۳۹۰: ۲۲۵-۲۰۹)، در مقاله‌ای تحت عنوان پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش همپوشانی شاخص وزنی (مطالعه موردی دشت ارسنجان) با استفاده از داده‌های خام موجود، همچون لایه زمین شناسی، نقشه توپوگرافی، نقشه چاه‌های آب منطقه و نقشه آبراهه و گسل‌های منطقه به تولید نقشه‌هایی چون شیب، طبقات ارتفاع، تراکم آبراهه رده ۲ و ۳ و فاصله از آبراهه رده ۳ و فاصله از گسل اقدام گردد. با توجه به افت سطح ایستایی دشت ارسنجان، انجام اقداماتی نظیر نظارت بیشتر در بهره‌برداری از منابع آب، انتقال بین حوضه‌ای آب و تغذیه مصنوعی دشت در مناطق با پتانسیل بالا الزامی است.

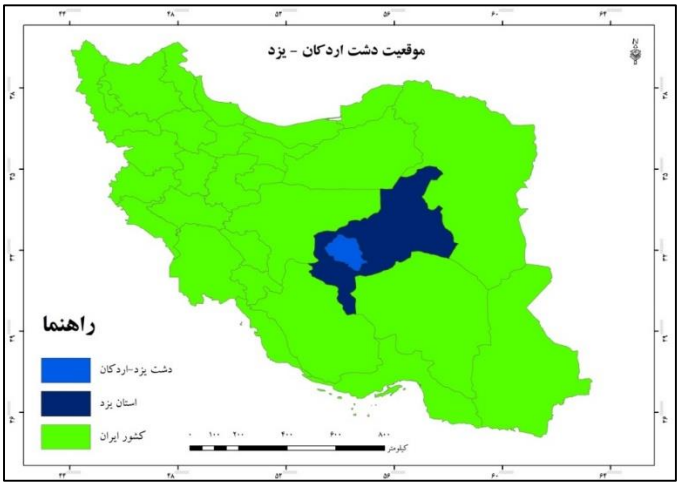
نسرین نژاد و همکاران (نسرین نژاد، رنگزن، کلانتری، صابری، ۱۳۹۳: ۳۴-۱۵) در مقاله ای با عنوان پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبریز باغان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی پس از شناسایی عوامل موثر در سیل خیزی (شیب، مدل رقومی ارتفاع، لندفرم، سنگ شناسی، نفوذپذیری، کاربری اراضی، تراکم پوشش گیاهی، بارش، تراکم شبکه زهکشی، فاصله از آبراهه)، وزن هر کدام از معیارها و زیر معیارها با استفاده از مقایسات زوجی و نظرات کارشناسان، از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی محاسبه گردید.

سیف و همکارش (سیف، کارگر، ۱۳۹۰: ۸۴-۷۵) در مقاله‌ای با عنوان پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم جغرافیایی؛ مطالعه موردی: حوضه آبریز سیرجان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت استخراج مناطق احتمالی وجود آب زیرزمینی در پلایای سیرجان در استان کرمان استفاده نمودند. افت سطح آب زیرزمینی آبخوان سیرجان باعث پیشروی آبشور و افت کیفیت آب زیرزمینی شده است و همچنین نتایج نشان داده است طبقه دارای پتانسیل بالا بر رسوبات آبرفتی دوران چهارم و مخروط افکنه ها منطبق بوده است.

روش پژوهش

دشت یزد - اردکان با مساحت ۸۰۵۰ کیلومتر بین طول های ۵۳ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و بین عرض های ۳۱ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۵۵ دقیقه در مرکز استان یزد قرار دارد. از سمت شمال به کویر سیاه کوه از سمت شرق به زیر حوضه خرانق و از سمت جنوب به ارتفاعات شیرکوه و از غرب به زیر حوضه طاقستان و ندوشن محدود می شود .بلندترین نقطه حوضه، قله شیرکوه با ۴۰۷۵ متر و گودترین نقطه دارای ۹۷۰ متر هست ارتفاع متوسط حوضه ۱۵۶۵ متر از سطح دریا هست.

این دشت از لحاظ ساختاری جزء زون ساختاری ایران مرکزی بوده و سازندهایی که در منطقه رخنمون دارند جزء سازندهای ایران مرکزی هست. از لحاظ چینه‌شناسی در بیشتر نقاط دشت، دارای نبودهای چینه‌شناسی فراوانی است و بیشتر مساحت حوضه از رسوبات جوان عهد حاضر تشکیل شده است. اکثر چاه‌های بهره برداری در این رسوبات حفرشده اند، ورودی آب‌های زیرزمینی به آن در بخش جنوبی دشت در ارتفاعات شیرکوه واقع است و خروجی دشت در قسمت شمالی در ابتدای حوضه سیاه کوه قرار دارد. جهت عمومی آب زیرزمینی از جنوب به سمت شمال است.



شکل ۱. موقعیت دشت یزد-اردکان

دشت یزد – اردکان، جزئی از حوضه آبریز کویر سیاه کوه، بین شهرستان های یزد و اردکان واقع شده است. ساختار زمین شناسی تأثیرگذار روی منابع آب این دشت از سمت جنوب، جنوب غرب به سمت غرب و شمال غرب از کیفیت (با افزایش املاح معدنی و شوری) و کمیت (از لحاظ سنگ مخزن و منابع تغذیه) آب زیرزمینی تا حدودی می‌کاهد. مهمترین عامل طبیعی کیفی آب زیرزمینی دشت، تبادل کاتیونی و آنیونی به دلیل انحلال هالیت و ژیپس از نواحی نهشته‌های نئوژن است. مناطق دارای آب زیرزمینی باکیفیت نسبتاً مناسب در محدوده غرب، جنوب غرب و جنوب دشت قرار دارند که بهترین محل و بیشترین دبی برداشت آب شرب قسمت غربی دشت (محل استقرار برخی صنایع فولاد)می‌باشد.

دشت یزد-اردکان در بخش مرکزی استان یزد قرارداد. این حوضه دربرگیرنده شهرستان های یزد، اردکان، میبد، تفت، صدوق و مهریز هست که بیشترین جمعیت را در استان به خود اختصاص داده است. این حوضه از شمال به حوضه های آبخیز ریگ زرین و عقدا و از جنوب و غرب به حوضه آبخیز کویر ابرقو و از شرق به حوضه های آبخیز کویر درانجیر و بهادران منتهی می‌گردد.

منطقه موردمطالعه فاقد رودخانه دائمی بوده و در مناطق کوهستانی شیرکوه رودخانه ها در سال‌های پر آب دارای جریان فصلی حاصل از ذوب برف‌ها در بهار می‌باشند و جریانات عمده رودخانه‌های مناطق منحصر به جریانات سیلابی است که از باران‌های شدت دار و بیشتر در مناطق کوهستانی پدیدار می‌شود. محدوده موردمطالعه از نظر تقسیمات زمین‌شناسی کشور، در زون ایران مرکزی واقع گردیده است.

برای پتانسیل‌سنجی منابع آب زیرزمینی از طریق روش‌های گوناگونی، مانند ژئوفیزیک سطحی، ژئوالکتریک، حفاری‌های اکتشافی متکی بر تحلیل‌های زمین ریخت شناسی، هیدرولوژیکی، اقلیمی و توپوگرافی انجام می پذیرد (صداقت: ۱۳۸۷). برای پهنه‌بندی پتانسیل‌سنجی منابع آبی زیرزمینی در محدوده دشت یزد–اردکان، از مطالعات اولیه زمین شناسی (سنگ شناسی، تراکم گسل و فاصله از گسل)، اقلیم (بارندگی)، توپولوژی (شیب و طبقات ارتفاعی) و هیدرولوژی (فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه) موجود در منطقه استفاده شده است.

در این تحقیق از تکنیک های GIS تمکی بر وزن دهی لایه ها و ادغام آنها با استفاده از مقایسات زوجی AHP برای وزن دهی استفاده شده است. به لایه های مختلف وزن داده شد و در پایان به کمک ابزار Overlayدر نرم افزار Arc Map 10.3 مناطق مساعد و دارای توان از لحاظ منابع آب زیرزمینی مشخص گردید.

روش تهیه لایه های اطلاعاتی مورد نیاز جهت تهیه نقشه پتانسیل یابی منطقه مورد مطالعه

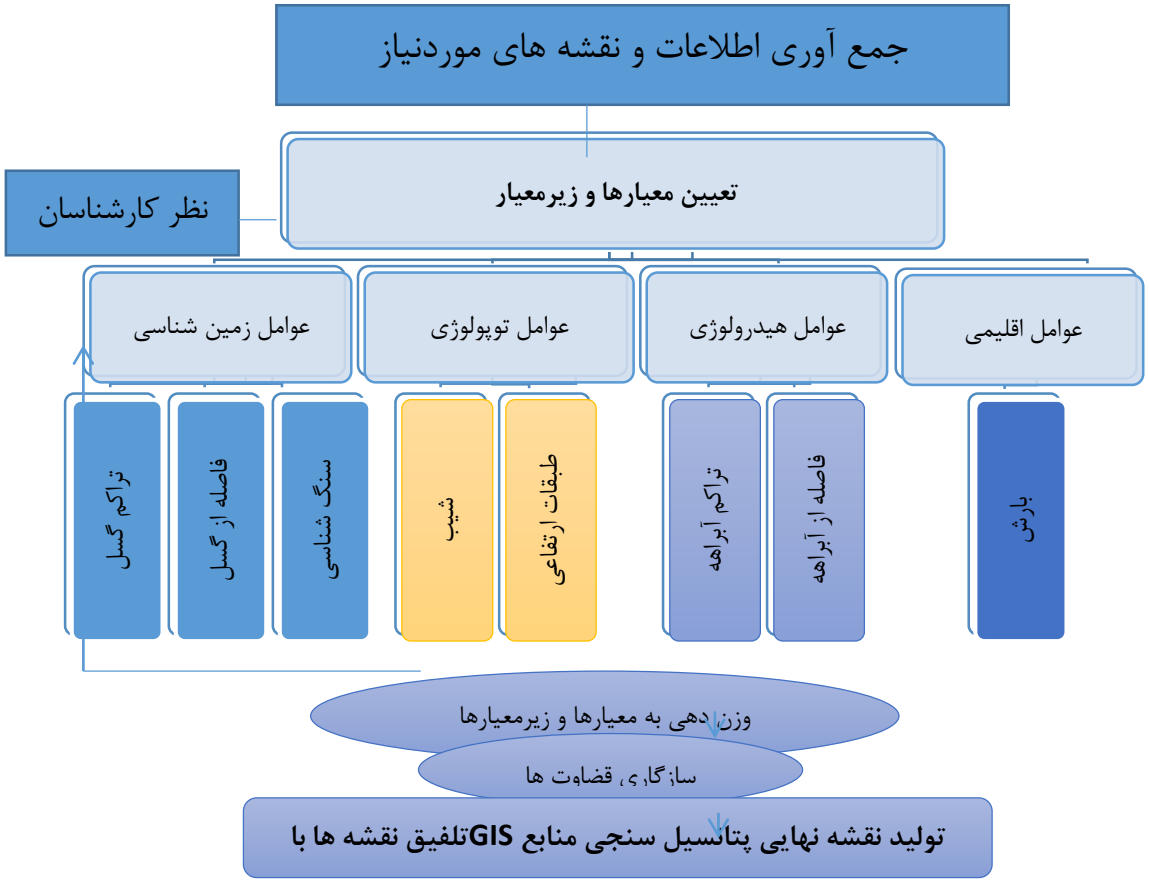
– تهیه لایه های اطلاعاتی توپولوژی شامل طبقات ارتفاعی و شیب از نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه در محیط GIS.

– تهیه لایه های اطلاعاتی زمین شناسی شامل سنگ شناسی یا لیتولوژی، تراکم گسل و فاصله از گسل از نقشه زمین شناسی حوضه در محیط GIS.

– تهیه لایه هیدرولوژی شامل تراکم آبراهه و فاصله از آبراهه از نقشه توپوگرافی و (DEM) ارتفاعی حوضه در محیط GIS.

– تهیه اطلاعات اقلیمی بارش از طریق روابط خطی بارش و ارتفاع و همچنین دما در محیط GIS.

مدل مفهومی برای پهنه‌بندی پتانسیل‌سنجی منابع آب زیرزمینی با استفاده از AHP در محیط نرم افزاری GIS در چهار سطح به شرح زیر انجام پذیرفت.



شکل ۲. نمودار مراحل انجام تحقیق

وزن دهی به عوامل موثر در پتانسیل سنجی منابع آب زیرزمینی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از کارآمد ترین تکنیک‌های تصمیم گیری فرایند تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy process-AHP) که اولین بار توسط توماس ال ساعتی در ۱۹۸۰ مطرح شد. این روش یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است زیرا امکان فرموله کردن مسأله را به صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسأله دارد.

در وزن دادن به معیارها و زیرمعیارها هدف تعیین وزن برای جفت جفت سنجه‌ها است، به عبارت دیگر، گزینه‌های رقیب در سطح (۴) باید به واسطه هریک از سنجه‌ها در سطح (۲) مورد مقایسه دو به دو قرارگیرند. مقایسه دو به دو بااستفاده از مقیاسی که از"ترجیح یکسان" تا" بی اندازه مرجح" طراحی شده است، انجام می‌گیرد. تجربه نشان داده است که استفاده از۱/۹ تا ۹، تصمیم گیرنده را قادر می‌سازد تا مقایسات را به گونه‌ای مطلوب انجام دهد. به همین علت استفاده از جدول شماره (۱) در امتیاز دهی مقایسه‌ای به صورت یک مقیاس استاندارد درآمده است. مقایسه های جفتی دریک ماتریس K×K (مورد مثال ۳×۳) ثبت می‌شود. لازم به توضیح است که ماتریس مقایسه‌ای در ای.اچ.پی، یک ماتریس معکوس است، یعنی اگر ترجیح سنجه یک به دو،۵ است، پس ترجیح سنجه دو با یک ۱/۵ است و به عبارت دیگر اعداد هریک از مقایسه‌ها به صورت یکی از دو صورت زیر تعیین می‌شود. اول: به صورت اعداد۱ تا۹؛ دوم: به صورت معکوس اعداد مذکور. با توجه به اینکه اولویت‌ها به دو صورت (اعداد ۱تا۹ و معکوسی از۱تا۹) نشان داده می‌شوند، مقدار (aij) اگر بزرگتر از یک باشد، مفهومش آن است که معیاری که در سطر (i)ام قراردارد، دارای اهمیت نسبی بیشتری نسبت به

سنجه‌ای است که در ستون (j)ام قراردارد و برعکس. مقادیر کمتر از یک نشان دهنده آن است که سنجه(i)ام اهمیت نسبی کمتری نسبت به سنجه(j)ام دارد(۲۵).

جدول ۱. مقیاس مقایسات دو به دو درAHP

۱	ترجیح یکسان	هر دو گزینه اثر یکسانی بر هدف دارند.
۳	کمی ارجحیت	ارجحیت یکی از گزینه ها بر دیگری (گزینه مورد مقایسه)اندک است.
۵	ارجحیت قوی	ارجحیت یکی از گزینه ها بر دیگری (گزینه مورد مقایسه)قوی است.
۷	ارجحیت بسیار قوی	ارجیحت یکی از گزینه ها بر دیگری (گزینه مورد مقایسه)بسیار قوی است.
۹	ارجحیت بی نهایت	ارجحیت یکی از گزینه‌ها بر دیگری (گزینه مورد مقایسه)در حداکثر مقدارممکن قرار دارد
۲،۴،۶،۸	امتیازات میانی نشان دهند ه حالت های میانی هر یک از حالات مقایسه ای فوق است	

بحث و نتایج

وزن دهی به معیارهای پتانسیل‌سنجی منابع آب زیرزمینی

مطابق جدول شماره ۲، در مقایسه‌ای که بین ۴ معیار اصلی صورت گرفت، بیشترین وزن به معیار اقلیمی باوزن ۰/۵۲۱ و کمترین آن به معیار توپولوژی با وزن نسبی ۰/۰۷۶ داده شد.

جدول ۲. وزن‌دهی به معیارهای پتانسیل‌سنجی منابع آب زیرزمینی

	اقلیمی	هیدرولوژی	زمین شناسی	توپولوژی	وزن نسبی
اقلیمی	۱	۳	۳	۵	۰/۵۲۱
هیدرولوژی	۰/۳۳	۱	۱	۳	۰/۲۰۱
زمین شناسی	۰/۳۳	۱	۱	۳	۰/۲۰۱
توپولوژی	۰/۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۰/۰۷۶

وزن دهی به زیرمعیارهای پتانسیل‌سنجی منابع آب زیرزمینی

مطابق جدول شماره ۳، در مقایسه‌ای که بین ۸ معیار اصلی صورت گرفت، بیشترین وزن به زیر معیاربارش باوزن ۰/۳۶۱ و کمترین آن به زیرمعیار طبقات ارتفاعی با وزن نسبی ۰/۰۲۲ داده شد.

جدول ۳. وزن دهی به زیر معیارهای پتانسیل‌سنجی منابع آب زیرزمینی

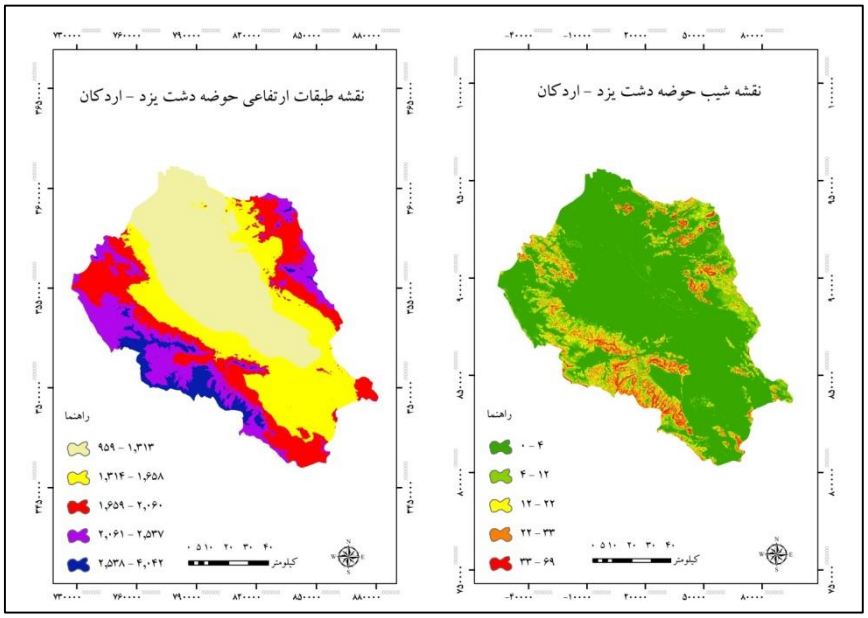
	بارش	تراکم آبراهه	فاصله آبراهه	سنگ شناسی	تراکم گسل	فاصله گسل	شیب	طبقات ارتفاعی	وزن نسبی
بارش	۱	۳	۵	۴	۵	۶	۷	۸	۰/۳۶۱
تراکم آبراهه	۰/۳۳	۱	۳	۳	۴	۵	۶	۷	۰/۲۲۷
فاصله آبراهه	۰/۲	۰/۳۳	۱	۱	۳	۳	۴	۵	۰/۱۱۶
سنگ شناسی	۰/۲۵	۰/۳۳	۱	۱	۳	۴	۵	۵	۰/۱۲۸
تراکم گسل	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۱	۳	۳	۰/۰۵۸
فاصله گسل	۰/۱۶	۰/۲	۰/۳۳	۰/۲۵	۱	۱	۳	۳	۰/۰۳۱
شیب	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۳	۰/۰۵۳
طبقات ارتفاعی	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۰/۰۲۲

یکپارچه‌سازی داده‌ها به تفکیک

به دلیل اینکه ارزش‌ها و ارقام هر یک از لایه ها با بقیه متفاوت است و نیز به منظور اعمال تغییرات به ارزش های درون‌گروهی هر متغیر یا معیار، لایه‌ها باید نرمال شوند. بنابراین باید همگی لایه‌ها در پنج واحد نرمال شوند که عدد ۱ نشانه کمترین پتانسیل و عدد ۵ به معنای بیشترین پتانسیل است که هر یک از این پهنه‌ها با روش AHP وزن گرفتند. پهنه‌بندی (نرمال سازی) لایه‌ها، واحد های متفاوت عوامل را با هم قابل مقایسه می‌کند. از آنجا که هر یک از لایه‌ها به روش‌ها و با واحدهای متفاوتی اندازه‌گیری و محاسبه شده‌اند نمی‌توان آنها را با واحدهای متفاوت تلفیق کرد. در واقع هدف نرمال سازی لایه‌ها، طبقه‌بندی آنها براساس درجهٔ تناسب به منظور مطالعه است (جدول شماره ۴).

جدول ٤. وزن نسبی لایه های توپولوژی با روش AHP

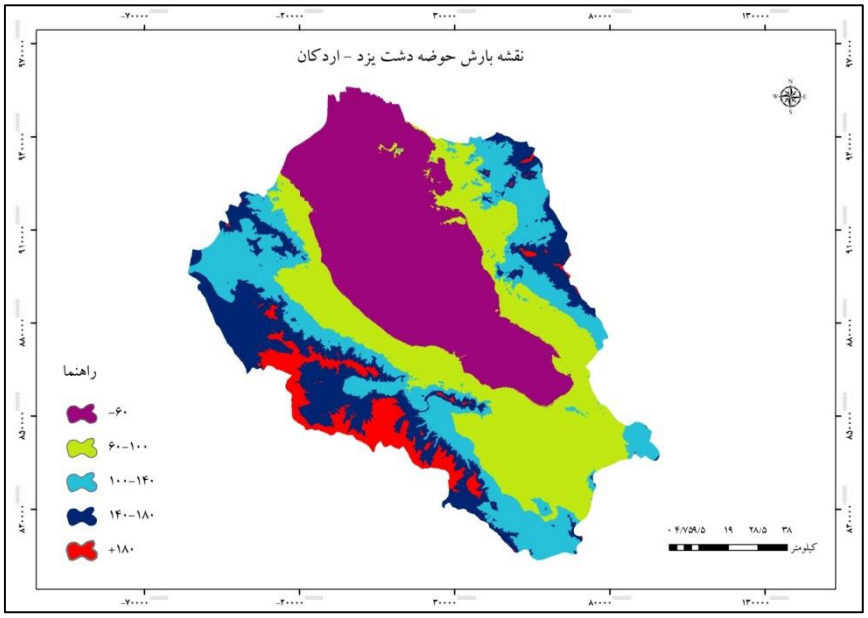
لایه ها	کلاس	وزن
شیب	۰-۴	۰/۵۱۰
	۴-۱۲	۰/۲۶۳
	۱۲-۲۲	۰/۱۲۹
	۲۲-۳۳	۰/۰۶۳
	۳۳-۶۹	۰/۰۳۲
ارتفاع	۹۵۹-۱۳۱۳	۰/۵۱۰
	۱۳۱۴-۱۶۵۸	۰/۲۶۳
	۱۶۵۹-۲۰۶۰	۰/۱۲۹
	۲۰۶۱-۲۵۳۷	۰/۰۶۳
	۲۵۳۸-۴۰۴۲	۰/۰۳۲



شکل ۳. نقشه های عامل توپولوژی

جدول ۵. وزن نسبی لایه اقلیم با روش AHP

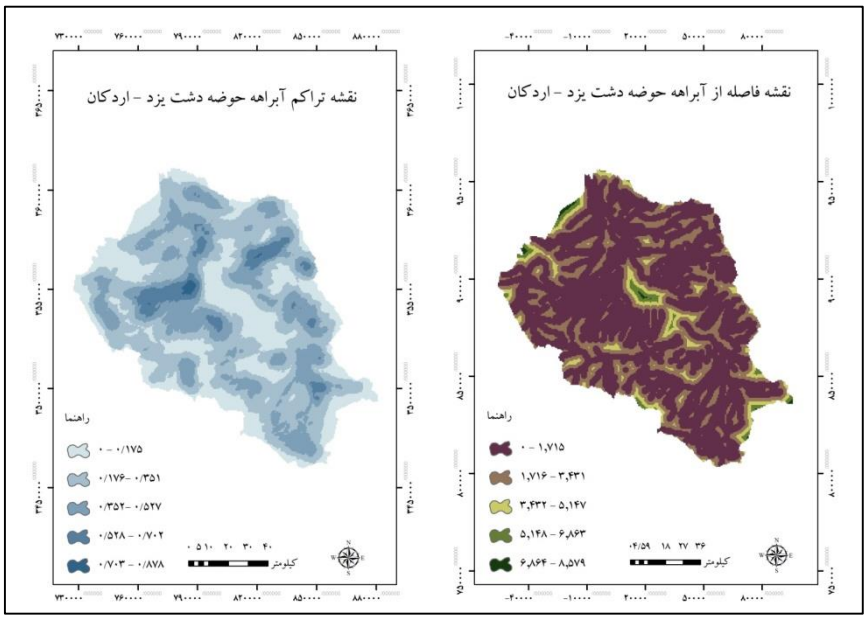
لایه ها	کلاس	وزن
بارش	-۶۰	۰/۰۳۲
	۶۰-۱۰۰	۰/۰۶۳
	۱۰۰-۱۴۰	۰/۱۲۹
	۱۴۰-۱۸۰	۰/۲۶۳
	+۱۸۰	۰/۵۱۰



شکل ٤. نقشه عامل اقلیمی

جدول ٦. وزن نسبی لایه های هیدرولوژی با روش AHP

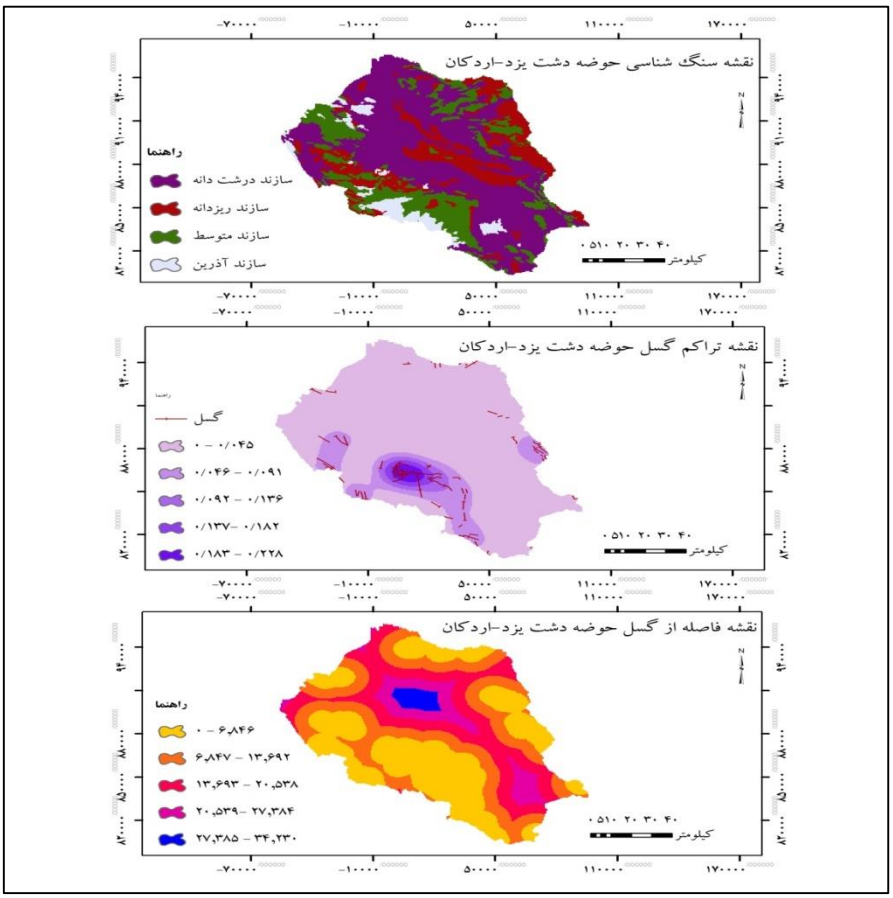
لایه ها	کلاس	وزن
تراکم آبراهه	۰-۰/۱۷۵	۰/۵۱۰
	۰/۱۷۶-۰/۳۵۱	۰/۲۶۳
	۳۵۲-۰/۵۲۷	۰/۱۲۹
	۰/۲۲۸-۰/۷۰۲	۰/۰۶۳
	۰/۷۰۳-۰/۸۷۸	۰/۰۳۲
فاصله از آبراهه	۰-۱۷۱۵	۰/۵۱۰
	۱۷۱۶-۳۴۳۱	۰/۲۶۳
	۳۴۳۲-۵۱۴۷	۰/۱۲۹
	۵۱۴۸-۶۸۶۳	۰/۰۶۳
	۶۸۶۴-۸۵۷۹	۰/۰۳۲



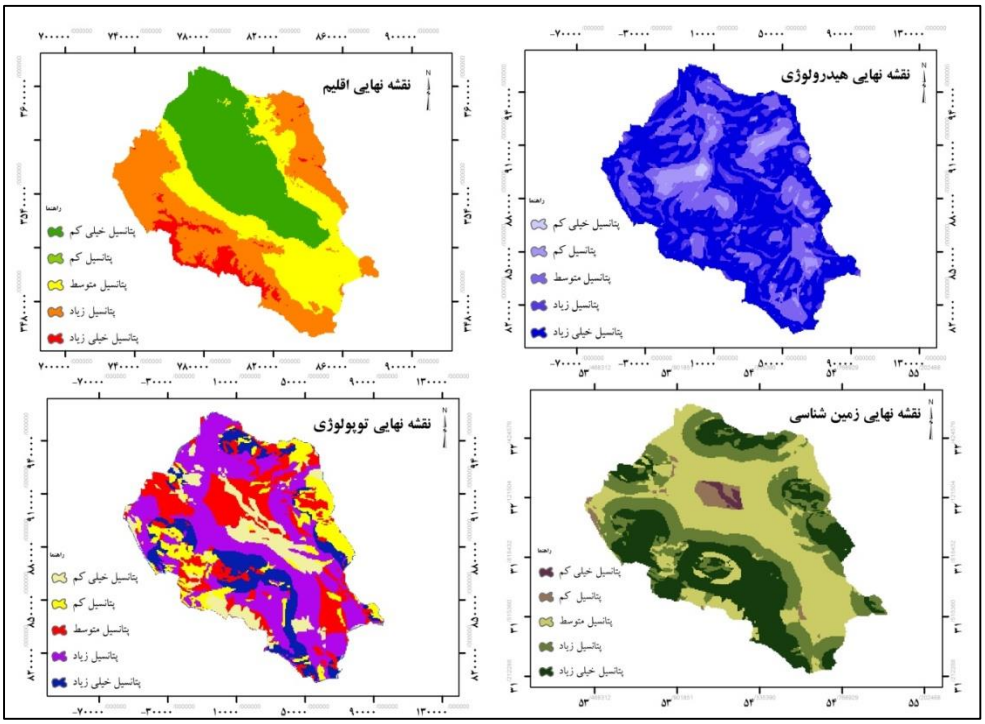
شکل ٤. نقشه‌های عامل هیدرولوژی

جدول ۷. وزن نسبی لایه های زمین شناسی با روش AHP

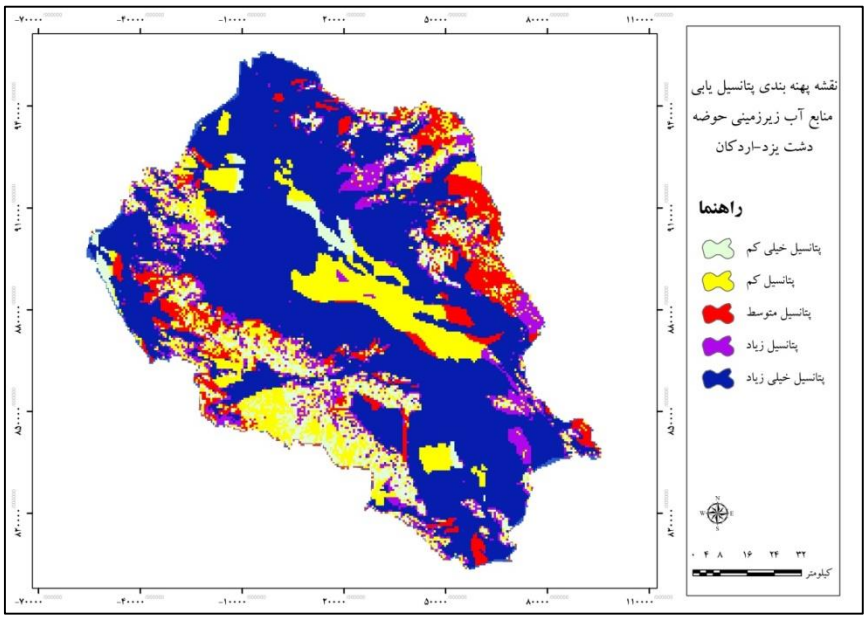
لایه ها	کلاس	وزن
سنگ شناسی	درشت دانه	۰/۵۸۱
	متوسط	۰/۲۷۰
	ریزدانه	۰/۰۹۱
	آذرین	۰/۰۵۵
فاصله از گسل	۰-۴۶۶۸	۰/۵۱۰
	۶۸۴۷-۱۳۶۹۲	۰/۲۶۳
	۱۳۶۹۳-۲۰۵۳۸	۰/۱۲۹
	۲۰۵۳۹-۲۷۳۸۴	۰/۰۶۳
	۲۷۳۸۵-۳۴۲۳۰	۰/۰۳۲
تراکم گسل	۰-۰/۱۳۸	۰/۰۳۲
	۰/۱۳۹-۰/۲۷۶	۰/۰۶۳
	۰/۲۷۷-۰/۴۱۴	۰/۱۲۹
	۴۱۵-۰/۵۵۲	۰/۱۲۶
	۵۵۳-۶۹۰	۰/۵۱۰



شکل ٦. نقشه‌های عامل زمین‌شناسی



شکل ۷. نقشه‌های عوامل موثردر پتانسیل‌سنجی منابع آب زیرزمینی



شکل ۸. نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سنجی منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان

محاسبه میزان سازگاری

اهمیت AHP، علاوه بر ترکیب سطوح مختلف سلسله مراتب تصمیم و درنظر گرفتن عوامل متعدد، درمحاسبه نرخ سازگاری (C.R) است. نرخ سازگاری مکانیزمی است که سازگاری مقایسات را مشخص می‌کند. این مکانیزم نشان می‌دهد که تاچه اندازه می‌توان به اولویت‌های حاصل از اعضاء گروه و یا اولویت‌های جداول ترکیبی اعتماد کرد. برطبق تجربه اگر نرخ سازگاری (C.R)۰/۱ یاکمتر باشد، می‌توان داوری‌ها را خوب و وزن ها را قابل اعتماد دانست؛ در غیر این‌صورت تحلیلگر باید به مراحل قبل برگردد.

و مجددا به بازبینی داوری‌ها بپردازد. برای محاسبه نرخ سازگاری، تحقیقات متعددی صورت گرفته است که بهترین روش، استفاده از بردارهای ویژه است.

– اولین قدم، محاسبه حاصل ضرب ماتریس A بابرداروزن های سنجه هاW است(جدول شماره ۸).

جدول ۸. محاسبه وزن ویژه معیارهای پتانسیل سنجی منابع آب زیرزمینی

	اقلیمی	هیدرولوژی	زمین شناسی	توپولوژی	وزن نسبی	وزن ویژه
اقلیمی	۱	۳	۳	۵	۰/۵۲۱	۲/۱۰۷
هیدرولوژی	۰/۳۳	۱	۱	۳	۰/۲۰۱	۰/۸۰۱
زمین شناسی	۰/۳۳	۱	۱	۳	۰/۲۰۱	۰/۸۰۱
توپولوژی	۰/۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۰/۰۷۶	۰/۳۱۲

- محاسبه مقدار **L** بردارسازگاری)

محاسبه مقدارL، از معادله زیر به دست می آید:

رابطه شماره۱:

$$L=\frac{1}{n}\left[\sum_{i=1}^{n}(AWj)/(Wj)\right]$$

$$L=\frac{1}{4}\left(\frac{2.107}{0.521}+\frac{0.801}{0.201}+\frac{0.801}{0.201}+\frac{0.312}{0.076}\right)=\frac{16.119}{4}=4.029$$

- محاسبه**CI**: شاخص سازگاری ای.اچ.پی ازمعادله زیر محاسبه می‌شود:

رابطه شماره ۲:

$$CI = (L-n)/(n-1)$$

$$\frac{4.029-4}{4-1}=\frac{0.009}{3}=0.01$$

- محاسبه نسبت CI به RI (شاخص اعداد تصادفی): باتوجه بهn مربوط به آن محاسبه می‌شود. شاخص اعداد تصادفی(RI) هریک از n ها درجدول زیر آمده است. مقادیر درج شده درجدول مذکور به وسیله آزمایشگاه ملی اوک ریج و وارتون اسکول تولید شده است.

جدول ۹. شاخص سازگاری تصادفی(RI)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0/58	0/9	1/12	1/24	1/32	1/41	1/45	1/49	1/51	1/48	1/56	1/57	1/59

منبع: (Saaty, Tumas L. 1986)

رابطه شماره ۳:

$$CR=\frac{CI}{RI}$$

$$CR=\frac{0.01}{0.9}=0.011\leq 0.1$$

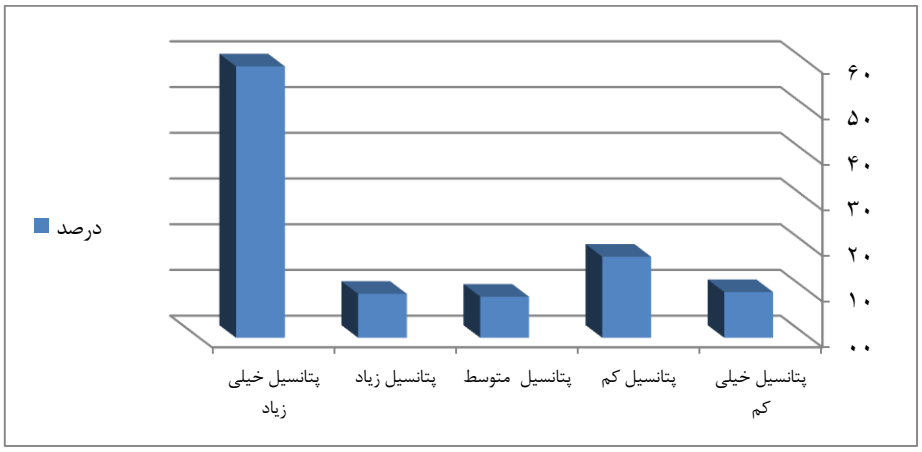
با توجه به اینکه نرخ سازگاری (C.R) کمتر از ۰/۱ می‌باشد، می‌توان داوری‌ها را خوب و وزن‌ها را قابل اعتماد دانست (۷).
در مطالعه ای داریوش رحیمی به پتانسیل یابی منابع زیرزمینی دشت شهر کرد به بررسی دشت شهرکرد به عنوان دشتی که با افت سطح آب و کیفیت روبرو است انتخاب گردیده است .برای بررسی و پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی داده های تراز ایستابی و سطح آب در دوره زمانی ۱۳۸۶-۱۳۶۳، پایگاه اطلاعات جغرافیایی متشکل از زمین شناسی، لیتولوژی، قابلیت تخلخل، توپوگرافی - شیب و شبکه آبراهه تشکیل گردید که شباهت زیادی با پژوهش حاضر دارد با این تفاوت که در این پژوهش به بررسی عامل اقلیمی نیز پرداخته است و همچنین یزدانی مقدم و همکارانش در مطالعه ای با بررسی روش‌های زمین آمار در پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت کاشان با استفاده از سیستم اطلاعت جغرافیایی و روش‌های زمین آمار پرداخته است، بررسی نقشه های به دست آمده نشان می‌دهد که بطور کلی هر چه از سمت غرب به سمت شرق حوضه حرکت می کنیم از کیفیت آب زیرزمینی کاسته می‌شود که علت اصلی این امر توسعه نامناسب اراضی کشاورزی و بهره برداری بیش از حد آب‌های زیرزمینی است که باعث هجوم آب‌های شور و در نهایت بی کیفیتی آب‌های زیرزمینی در این مناطق می گردد. در این پژوهش به پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی پرداخته شده ولی در پژوهش حاضر به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی پرداخته شده است.

نتیجه گیری

در این پژوهش پنج عامل موثر در پتانسیل سنجی منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان موردبررسی قرار گرفت و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل AHP به پهنه بندی پتانسیل سنجی منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان پرداخته شده و نتیجه مشخص شده این پژوهش تعیین مناطق با پتانسیل آب زیرزمینی درپنج طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد (جدول۸) محاسبه گردید.

جدول ۱۰. وضعیت پتانسل سنجی منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان

وضعیت پتانسیل سنجی	مساحت (هکتار)	درصد
پتانسیل خیلی کم	۱۱۰۴۳۳	۱۰
پتانسیل کم	۲۰۶۹۰۶	۱۷/۷۴
پتانسیل متوسط	۹۷۹۶۹	۹
پتانسیل زیاد	۱۰۵۵۷۲	۹/۶۱
پتانسیل خیلی زیاد	۷۲۵۵۳۹	۵۹/۳۵



شکل ۸. وضعیت پتانسل سنجی منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان

با توجه به نتایج به دست آمده از پهنه بندی پتانسیل سنجی منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان، دارای پتانسیل خیلی زیاد با ۷۲۵۵۳۹ هکتار معادل ۵۹/۳۵ درصد، ۱۰۵۵۷۲هکتار معادل ۹/۶۱ درصد پتانسیل زیاد، ۹۷۹۶۹ هکتار پتانسیل متوسط با ۹ درصد، ۲۰۶۹۰۶ هکتار معادل ۱۷/۷۴ درصد پتانسیل کم و ۱۱۰۴۳۳ هکتار معادل ۱۰ درصد پتانسیل خیلی کم می‌باشد. این نتایج نشان دهنده پتانسیل بالای منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان می باشد که نیازمند برنامه ریزی و مدیریت مناسب و علمی جهت بهره برداری از این منابع برای تامین آب مورد نیاز و حل مشکلات ناشی از آب در استان یزد می‌باشد.

منابع

پیری، ح. (۱۳۹۳). بررسی روند تغییرات کمی سطح ایستایی منابع آب زیرزمینی با استفاده از زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ مطالعه موردی: دشت سیرجان. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. ۵، ۴۴-۲۹.

جعفری، ر، بردی شیخ، و، حسینعلی زاده، م، رضایی مقدم، ح. (۱۳۹۳). شبیه سازی رواناب‌های سطحی با استفاده از مدل مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافی ایی لیسم (LISEM). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. ۶(۴)، ۹۴-۷۷.

جوانی، و، جباری، ا. (۱۳۸۸). شاخص‌های زمین ریخت شناسی در شناسایی منابع آب زیرزمینی؛ مطالعه موردی: دشت اهر. *مجله علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی*، ۷۱-۵۵.

رحیمی، د. (۱۳۹۰). پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی؛ مطالعه موردی: دشت شهر کرد. *مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۴، ۱۴۲-۱۲۷.

رحیمی، د، زرین مو، ح، حسنقلی نژاد دزفولیان، ح. (۱۳۹۰). پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش همپوشانی شاخص وزنی؛ مطالعه موردی: دشت ارسنجان. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۲۲۵-۲۰۹.

رهنما، ه. قنبرپور، م، حبیب نژادروشن، م، دادرسی سبزوار، ا. (۱۳۹۰). بررسی وضعیت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی؛ مورد شناسایی: دشت جوین، استان خراسان رضوی. *جغرافیا و آمایش شهری-منطقه ای*، ۳، ۴۶-۳۱.

زارع ابیانه، ح. (۱۳۹۲). تحلیل مکانی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی دشت همدان-بهار. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۸، ۸۶-۶۵.

زنگنه، ی، فرهادی، ج، توبی، و. (۱۳۹۲). تبیین و اولویت بندی مداخله در بافت‌های فرسوده شهری با استفاده از روش AHP؛ نمونه موردی: مشهد، محله نوغان. *مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری*، ۱۲، ۶۲-۴۹.

سیف، ع. کارگر، ا. (۱۳۹۰). پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم جغرافیایی؛ مطالعه موردی: حوضه آبریز سیرجان، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۱۲، ۸۴-۷۵.

شعبانی، ر. (۱۳۹۶). برررسی منابع آب زیرزمینی دشت سیلاخور و عوامل موثر در آن. *رشد آموزش جغرافیا*، ۴۷، ۲۳-۱۵.

صداقت، م. (۱۳۸۷). *زمین و منابع آب*. تهران: انتشارات تهران پیام نور.

علیزاده، ا. (۱۳۸۸). *اصول هیدرولوژی کاربردی*. مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا.
قدسیپور، ح. (۱۳۸۷). *فرایند تحلیل سلسله مراتبی*. تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
کریمی، س. صالحی، م. جعفری، ح. (۱۳۸۵). روشی جدید در بهره برداری از منابع آب حوزه های آبریز مناطق خشک؛ مطالعه موردی: سد مرودست. *مجله محیط شناسی*، ۴۷، ۹۸-۸۷.
محمدی، ح. شمسی پور، ع. (۱۳۸۱). تاثیر خشکسالی های اخیر در افت منابع آب زیرزمینی دشت های شمال همدان. *پژوهش های جغرافیایی*، ۴۵، ۱۳۰-۱۱۵.
مفیدیفر، م. (۱۳۹۳). *ارزیابی مقایسه ای مدل سازی دانش محور و داده محور در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی حوضه آبی دشت یزد اردکان*. پایانامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. دانشگاه آزاد اسلامی. یزد.
مفیدیفر، م. اصلاح، م. حسن آبادی، ع.(۱۳۹۴). مقایسه مدل های تصمیم گیری تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی حوضه دشت یزد-اردکان. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*. ۵۷. ۱۵۶-۱۴۷.
نسرین نژاد، ن. رنگزن، ک. کلانتری، ن. صابری، ع. (۱۳۹۳). پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبریز باغان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۵(۴)، ۳۴-۱۵.
نوشادی، م. طالب بیدختی، ن. یوسفی، م. (۱۳۸۸). بررسی و اندازه گیری کیفیت آب‌های دشت نورآباد ممسنی. دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران. دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی. دانشکده بهداشت.
یزدانی مقدم، ی. و. عباسعلی، قضاوی، ر. (۱۳۹۳). بررسی روش های زمین آمار در پهنه بندی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت کاشان. *نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۵۵، ۱۸۴-۱۷۱.
یمانی، م، علی زاده، ش. (۱۳۹۶). پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP. مطالعه موردی: حوضه آباده-اقلید فارس. *نشریه هیدروژئومورفولوژی*. ۱، ۱۴۴-۱۳۱.
Gonzalez-Dugo, V., Durand, J. L., & Gastal, F. (2010). Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review. *Agronomy for sustainable development*, *30*(3), 529-544.
Jha, M. K., Kamii, Y., & Chikamori, K. (2009). Cost-effective approaches for sustainable groundwater management in alluvial aquifer systems. *Water resources management*, *23*(2), 219.
Saaty, T. L., & Takizawa, M. (1986). Dependence and independence: From linear hierarchies to nonlinear networks. *European journal of operational research*, *26*(2), 229-237.
Saaty,T.L., L.G.,Vargas. (1991). *Prediction, Projection and Forecasting*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 251 pp.