نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۲، شماره ۴، ۱۳۹۹، صفحات ۱۱۲۲-۱۱۳۲

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 12, Issue 4, 2021, Pages 1122-1132
DOI: 10.22092/ijwmse.2020.125460.1613

گزارش فنی

تعیین نقاط مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز کویر میقان

سعیده انصاریان[۱]، مه‌نوش مقدسی[*۲] و مجتبی مرادی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، [۲] استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک و [۳] مدیر پایه مطالعات منابع آب شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مرکزی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۶

چکیده

موفقیت طرح‌های تغذیه مصنوعی برای آبخوان‌ها مستلزم شناسائی مکان مناسب برای احداث طرح تغذیه است. لذا، هدف از این پژوهش، تعیین مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی با روش پخش سیلاب در حوزه آبخیز کویر میقان واقع در استان مرکزی است. بدین‌منظور، از روش مکان‌یابی AHP با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. ابتدا، با استفاده از نظرات کارشناسان، معیارهای لازم در انتخاب مکان مناسب تغذیه شامل کیفیت آب، عمق آب چاه‌های نمونه‌برداری، شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بافت خاک، موقعیت چاه و چشمه و قنات تعیین شد. سپس، با استفاده از روش AHP اقدام به تهیه لایه رستری هر یک از این معیارها و تعیین وزن آن‌ها به روش مقایسه زوجی با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice شده است. نقشه‌ها با استفاده از روش همپوشانی، تلفیق و در مرحله نهائی صحت و واسنجی، مناطق نامناسب از نظر نزدیکی به چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات تعیین و حذف شدند. در نهایت، نقاط مناسب برای تغذیه در زیرحوزه آبخیز امان‌آباد، کرهرود و ساروق قرار گرفته است که از نظر کارشناسان منطقه با توجه به عمق مخروط‌افکنه‌ها در این نواحی کاملا منطقی و درست است. مساحت این نقاط در کل محدوده مطالعاتی که شامل ۲۹ زون می‌باشد، حدود ۱۴۷۷ هکتار است.

واژه‌های کلیدی: استان مرکزی، تحلیل سلسله مراتبی، مدیریت منابع آب، مکانیابی، Expert Choice

مقدمه

با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و میانگین بارش آن، محافظت آب‌های زیرزمینی، بر هیچکس پوشیده نیست. استفاده بی‌رویه از این منابع هر ساله بر وخامت افت سطح ایستابی در آبخوان‌های کشور می‌افزاید. لذا، در این بین، نقش تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به‌منظور داشتن مدیریت پایدار، مخصوصا در مناطق خشک بیشتر به چشم می‌آید (Eghtesadi و همکاران، ۲۰۱۰). مدیریت تغذیه آب زیرزمینی یک روش جدید است که باعث ایجاد موفقیت‌های زیادی در رابطه با یافتن پاسخ مشکلات منابع آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک شده است. تغذیه مصنوعی آبخوان به‌عنوان یک استراتژی برای توسعه منابع آب و همچنین، ذخیره آب برای جبران آسیب‌های وارده به آبخوان در نظر گرفته شده است (Chitsazan و همکاران، ۲۰۱۵). مهار رواناب‌های سطحی بر روی پهنه سطحی آبخوان‌ها، همراه با مدیریت بهینه نزولات آسمانی، سیلاب‌ها و لایه‌های

[*] مسئول مکاتبات: mah_moghaddasi@hotmail.com

متخلخل مخازن زیرزمینی به‌منظور حفاظت و توسعه منابع طبیعی و بهبود منابع آب زیرزمینی به‌منظور دستیابی به اهداف چندمنظوره که توسعه پایدار کشاورزی و احیای منابع طبیعی تجدیدشونده را به دنبال دارد، پخش سیلاب می‌نامند. مهار سیلاب‌ها، تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها و بهینه‌سازی استفاده از منابع طبیعی از مهمترین اقداماتی است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک صورت می‌گیرد. نخستین دستاورد عملیات پخش سیلاب، ترسیب مواد معلق ریزدانه همراه با جریان‌های سیلابی است. از این رو، مکان‌های مناسب برای اجرای طرح پخش سیلاب مناطقی هستند که دارای نفوذپذیری زیاد هستند. در این حالت، آب مازاد قابل ذخیره در پروفیل خاک، پس از رسوب‌گذاری مواد معلق از طریق شبکه‌های پخش به آب‌های زیرزمینی می‌پیوندند و تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها از طریق پخش سیلاب صورت می‌پذیرد (Eghtesadi و همکاران، ۲۰۱۰). در همین خصوص، تحقیقات متعددی در سطح جهان صورت پذیرفته است. Yazdani و همکاران (۲۰۱۲) طی پژوهشی، مکان‌یابی نقاط مناسب تغذیه مصنوعی را در منطقه دشت کاشان به‌منظور انتخاب بهترین مکان‌های پخش سیلاب مورد مطالعه قرار دادند. هدف از انجام این مطالعه نیز انتخاب بهترین مکان‌های پخش سیلاب در دشت کاشان با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره و روش تحلیل سلسله‌مراتبی است. برای انجام این مطالعه، ابتدا هشت پارامتر به‌منظور مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب انتخاب شدند. این پارامترها شامل شیب زمین، کاربری اراضی، حجم رواناب، واحدهای کواترنر، ضخامت ناحیه غیراشباع آبرفت، ضریب نفوذپذیری، ضریب ذخیره و کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی بودند. سپس، با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌های مربوط به هر کدام از پارامترها تهیه شدند. در مرحله بعد، با استفاده از روش AHP، اهمیت عوامل مختلف در مکان‌یابی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی وزن نسبی معیارها نشان داد که عامل حجم رواناب با دارا بودن وزنی معادل ۳۷ درصد مهمترین عامل به شمار می‌آید. پارامترهایی چون واحدهای کواترنر، شیب، ضخامت غیراشباع لایه آبخوان، نفوذپذیری، ضریب ذخیره، کیفیت آب و کاربری اراضی به‌ترتیب اولویت‌های دوم تا هشتم را دارند.Keikhosravi و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، مکان‌یابی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی و مناطق پخش سیلاب در شهرستان سبزوار را انجام دادند. ایشان ابتدا نقشه‌های شیب، خاک، کاربری اراضی و خطوط همباران منطقه مورد نظر را تهیه کردند. سپس، با انطباق لایه‌های اطلاعاتی با کمک GIS، مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی استخراج شدند. برای تعیین محل‌های مناسب پخش سیلاب، نقشه پراکنش آبرفت‌های کواترنری در سطح شهرستان در محیط GIS استخراج شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از کل مساحت شهرستان یعنی ۲۰۵۰۲ کیلومتر مربع، ۳۲۷۹/۹۶ کیلومتر مربع یعنی حدود ۱۶ درصد مناسب برای طرح‌های تغذیه مصنوعی و حدود ۶۰۱۷/۷۶ کیلومتر مربع یعنی حدود ۲۹/۴ درصد سطح شهرستان مناسب برای اجرای پروژه‌های پخش سیلاب هستند. در نهایت، از تلفیق دو نقشه حاصل، مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب در این شهرستان حدود ۱۵۹۱/۵۶ کیلومتر مربع برآورد شد. Ghahremani (۲۰۱۴) بر روی تعیین مکان‌های مناسب استفاده از آب مازاد قنوات برای تغذیه آبخوان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، در استان خراسان رضوی کار کردند. در این پژوهش، به تعیین وزن لایه‌های مربوط به معیارهای مختلف با استفاده از آب مازاد قنات پرداخته شده است. با توجه به گستردگی منابع موجود (بالغ بر ۱۴۰۰ منبع) و همچنین، گستردگی محدوده مورد مطالعه، سعی شد تا با بهترین روش در زمانی معقول به بهترین نتیجه ممکن دست یافت. بنابراین، پیشنهاد استفاده از دو مرحله تحلیل سلسله مراتبی ارائه و مورد اجرا قرار گرفت. ابتدا، بر اساس خروجی قابل استحصال در سه ماه از سال تعدادی از منابع غربال شد. سپس، بر اساس وزن‌های اولیه، تعداد منابع به ۶۶ نقطه کاهش یافتند. در مرحله بعد، هر یک از پارامترهای یادشده برای این منابع باقی‌مانده در ماتریس‌های تحلیل قرار گرفته، بر اساس نظرات

کارشناسی و بازدیدهای میدانی امتیازدهی شدند و نقاط به ۲۶ نقطه نهایی کاهش یافت. در نهایت، با تلفیق نقشه‌های تهیه‌شده بر اساس وزن اکتسابی از روش AHP نقشه نهایی در سه طبقه رده‌بندی شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مشخص شد ۰/۳۶ درصد از قنوات و ۰/۰۱ درصد از چشمه‌ها دارای پتانسیل تغذیه‌پذیری آبخوان هستند. در این پژوهش نیز بر اساس همه محاسبات و تحلیل نقشه‌ها، تعداد ۲۶ منبع نهایی در سه رده طبقه‌بندی شده و اولویت‌های استفاده از آن‌ها مشخص شدند. بر این اساس، منابعی که در اولویت یک و دو قرار گرفته‌اند، منابع مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان محسوب می‌شوند. مهمترین نتیجه این پژوهش، تطابق بالای مدل ارائه شده با واقعیت موجود منطقه بوده، به‌نحوی که نقاطی که در بازدیدها مد نظر کارشناسان قرار گرفتند، در تحلیل سلسله مراتبی نیز در اولویت قرار گرفتند. این منابع انتخابی به لحاظ شرایط و حجم آب قابل استحصال برای تغذیه آبخوان، در بهترین شرایط قرار دارند.

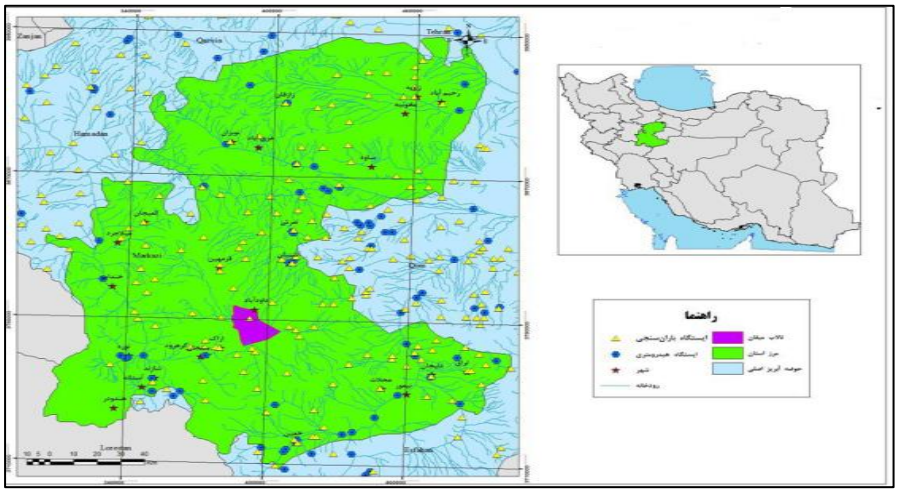
محققین در راستای ترسیم مناطق دارای پتانسیل تغذیه مصنوعی در آمبالانتوتا واقع در سریلانکا از تکنیک GIS استفاده کردند. در این پژوهش، لایه‌های موضوعی موثر شناخته‌شده، شامل میزان بارش، خطوط توپوگرافیک، شیب، زهکشی، کاربری، پوشش زمین، لیتولوژی، ژئومورفولوژی و خصوصیات خاک شناسایی شدند که تمام این پارامترها به‌وسیله روش ترکیب خطی وزن‌دار، یکپارچه و تلفیق شدند (Snanayake و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج پژوهش، نشان می‌دهد که مناطق دارای پتانسیل متوسط تا بالای تغذیه آب زیرزمینی تقریبا ۴۰ درصد ناحیه آمبالانتوتا را تشکیل می‌دهند. همچنین، با استفاده از سنجش از دور و تکنیک‌های GIS به بررسی و شناسایی نقاط مناسب و دارای پتانسیل تغذیه مصنوعی در بخش بوکارو هندوستان پرداخته شد (Sathapathy و همکاران، ۲۰۱۵). در این پژوهش، یک روش‌شناسی یکپارچه بر مبنای سنجش از دور و تکنیک‌های GIS برای تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی و شناسایی نقاط مناسب برای تغذیه مصنوعی در بخش باکارو جاهارخند هندوستان به‌کار گرفته شده است. ناحیه مورد مطالعه به سه بخش جداگانه ضعیف، متوسط و خوب برای پتانسیل آب زیرزمینی تقسیم‌بندی شده است. تنها قسمت‌های کوچک جدا افتاده‌ای در بخش-های شرقی و مرکزی این ناحیه به‌عنوان مناطق دارای پتانسیل پایدار برای آب زیرزمینی با مساحت ۸۷/۱۸ میلیون مترمربع شناسایی شدند که فقط پنج درصد ناحیه مورد مطالعه را از نظر مساحت تشکیل می‌دهند. مناطق دارای پتانسیل متوسط مساحتی در حدود ۹۶۲/۱۱ میلیون متر مربع و مناطق ضعیف هم دارای مساحتی برابر با ۵۳/۳۱ میلیون مترمربع شناسایی شدند و در کل نتایج پژوهش نشان داد که ۹۵ درصد مساحت ناحیه مورد مطالعه دارای پتانسیل ضعیف تا متوسط برای آب زیرزمینی می‌باشد. حساسیت تحلیل‌ها و بررسی‌های انجام‌شده با استفاده از وزن موثر و شاخص تنوع نشان داد که شیب، تراکم زهکشی و خاک جز پارامترهای با تاثیر بسیار زیاد بر روی محاسبه شاخص پتانسیل آب زیرزمینی هستند. پژوهش حاضر همچنین، بر روی شناسایی نقاط مناسب برای تغذیه مصنوعی تمرکز دارد و از تکنیک تحلیل چندمعیاره برای این منظور استفاده می‌کند. نتایج نشان می‌دهند که ۸۴/۹۵ درصد از مساحت ناحیه مورد مطالعه بسیارعالی تا متوسط برای تغذیه مصنوعی هستند. برای مدیریت و تهیه نقشه منابع آب زیرزمینی منطقه بالود واقع در هندوستان از تکنیک ایجاد تحلیل چند معیاره استفاده کرد (Kumar، ۲۰۱۶).

پژوهش حاضر برای بررسی نقاط دارای پتانسیل تغذیه مصنوعی به‌منظور تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در ناحیه بالود واقع در ایالت چاتیسگارای هندوستان از تکنیک‌های سنجش از دور، GIS و تحلیل تصمیم چندمعیاره بهره برده است. در این پژوهش، لایه‌های موضوعی مختلف مانند زهکشی، خطوط توپوگرافیک، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، بافت خاک، عمق خاک، کاربری زمین، پوشش زمین، بارش، عمق آب زیرزمینی و شیب برای شناسایی نواحی مناسب برای تغذیه آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. وزن‌های نسبی لایه‌های مختلف نیز به‌وسیله فرایند تحلیلی سلسله مراتبی به‌دست آمدند که خود یکی از تکنیک‌های ایجاد تحلیل چندمعیاره

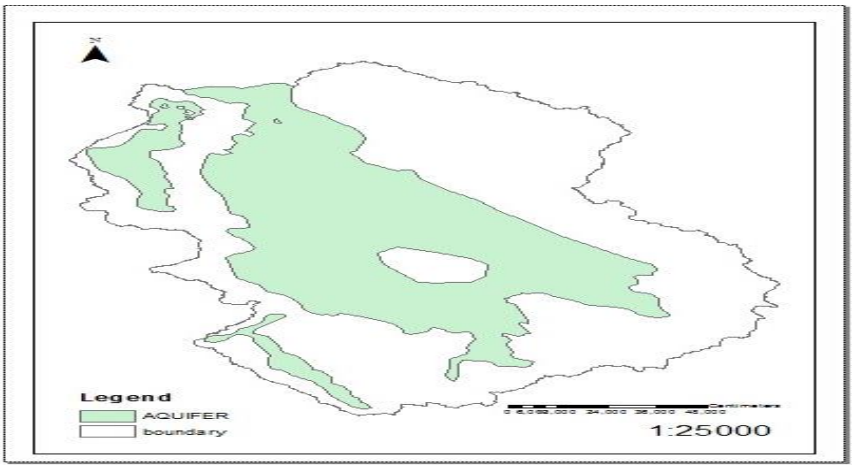
است. در این پژوهش، پنج طبقه‌بندی برای ناحیه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است که شامل خیلی‌ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و خیلی‌خوب است. طبق پژوهش‌های به‌دست آمده به‌ترتیب ۳۱، ۱۴، ۱۲، ۱۵ و ۲۸ درصد ناحیه مورد مطالعه به‌ترتیب تحت پوشش قسمت‌های خیلی‌ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و خیلی‌خوب قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی و داده‌ها: محدوده مورد مطالعه، حوزه آبخیز کویر میقان، در حوزه آبخیز اراک در استان مرکزی واقع می‌باشد. حوزه آبخیز اراک به‌صورت حوضه بسته‌ای با مساحت ۵۴۰۰ کیلومتر مربع است که ۱۰۰ تا ۱۱۰ کیلومتر مربع آن را تالاب میقان و بقیه را ارتفاعات و دشت اراک تشکیل می‌دهند. تالاب میقان در ۱۵ کیلومتری شهر اراک و در مرکز حوزه آبخیز اراک قرار گرفته است. حوزه آبخیز دشت اراک به‌صورت حوضه بسته‌ای است که ۱۹۷۰ کیلومتر مربع از وسعت آن را دشت اراک، ۱۱۰-۱۰۰ کیلومتر مربع را تالاب میقان و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد (Amiri، ۲۰۰۷). تالاب میقان در اثر عوامل تکتونیکی و تحت شرایط تبخیر شدید در فرورفتگی بسته حوضه اراک تشکیل شده است. آب به دو صورت، یکی به‌وسیله رودخانه‌ها و نهرها و دیگری تراوش آب از زیر زمین در داخل این چاله تجمع پیدا می‌کند (Amiri، ۲۰۰۷؛ شکل ۱). حوزه آبخیز کویر میقان شامل سه آبخوان به‌نام‌های آبخوان اول به مساحت ۱۹۸۰/۵۴ کیلومتر مربع، آبخوان گوار-عقیل‌آباد به مساحت ۱۷۵ کیلومتر مربع و آبخوان تبرته به مساحت ۸۱/۶ کیلومتر مربع است (شکل ۲).

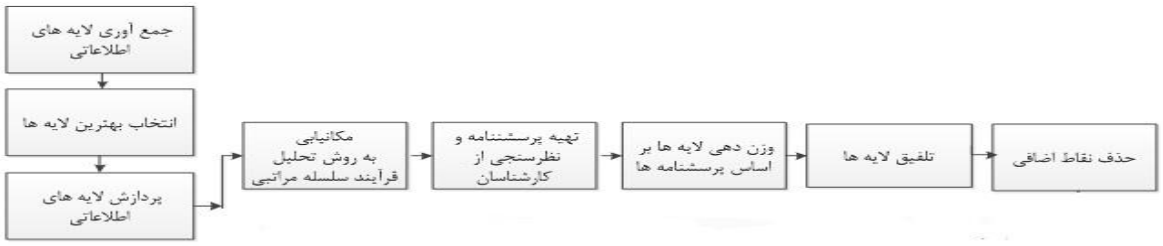


شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی تالاب



شکل ۲- آبخوان‌های حوزه آبخیز اراک

روش پژوهش: هدف از این پژوهش، یافتن نقاط مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌های حوزه آبخیز کویر میقان در استان مرکزی متناسب با روش تغذیه مصنوعی پخش سیلاب (نیازمند عرصه‌های وسیع) است. بدین‌منظور، از روش مکان‌یابی به روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) با استفاده از نرم‌افزار GIS استفاده شده است. برای بهتر دنبال‌کردن پژوهش، فلوچارت آن در شکل زیر آمده است (شکل ۳).



شکل ۳- فلوچارت پژوهش

آماده‌سازی داده‌ها: در مکان‌یابی باید تمام لایه‌ها به‌صورت چندضلعی یا پلی‌گون باشند. در میان این لایه‌ها، لایه‌های کیفیت آب، عمق آب چاه، شیب، زمین‌شناسی، بافت خاک و کاربری اراضی به‌صورت پلی‌گون هستند و بقیه لایه‌ها به‌صورت نقطه‌ای هستند. به‌منظور پلی‌گون کردن این لایه‌ها در نرم‌افزار GIS باید نقاط نشان‌دهنده چاه و چشمه و قنات تبدیل به سطح شوند. بدین‌منظور، لایه چاه و قنات را به شعاع ۵۰۰ متر و چشمه نیز به شعاع ۲۰۰ متر Buffer زده می‌شود (دارای سطح می‌شود). واحدهای کواترنری شامل Qt1 و Qt2 به‌دلیل نفوذپذیری بالا انتخاب شدند (Yazsani و همکاران، ۲۰۱۲). در لایه کاربری نیز قسمت‌های مرتع (ra) و دیم (df) بهترین زیرلایه‌ها انتخاب شدند. چرا که در اراضی دولتی و یا شخصی امکان تغذیه موجود نیست. لایه شیب به‌صورت شیب صفر الی سه درصد از لایه اصلی جدا شده است. چرا که شیب‌های بالا زمین را دچار فرسایش می‌کنند (Yazsani و همکاران، ۲۰۱۲). لایه‌های چاه و چشمه و قنات، معیارهای حذفی هستند. بدین‌صورت که در فرایند مکان‌یابی به‌طور مستقیم مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. بلکه در مرحله نهایی، برای نشان‌دادن مناطق مضر برای تغذیه مصنوعی، نقاط داخل حریم چاه، چشمه و قنات استفاده می‌شوند. به‌علت این‌که بافت‌های شنی عمیق و شنی‌لومی نیمه‌عمیق به نسبت بقیه بافت‌ها دارای نفوذپذیری بیشتری بودند، از بین بقیه بافت‌های حوضه جدا شده و در پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند (Hasanzadeh و همکاران، ۲۰۱۳). در این پژوهش، لایه کیفیت با استفاده از شاخص‌های نشان دهنده کیفیت آب که از نمونه‌برداری از چاه‌های پیزومتریک که عمدتا در پست‌ترین نقاط حوضه قرار دارند، به‌دست آمد (شاخص Ec و Tds). لایه عمق نیز به‌صورت عمق سطح آب چاه‌های نمونه‌برداری از سطح زمین می‌باشد.

روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP): در علم تصمیم‌گیری که در آن انتخاب یک راهکار از بین راهکارهای موجود و یا اولویت‌بندی راهکارها مطرح است، چند سالی است که روش‌های تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه MADM جای خود را باز کرده‌اند. از این میان، روش تحلیل سلسله مراتبی AHP بیش از سایر روش‌ها در علم منابع آبی مورد استفاده قرار گرفته است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندمنظوره است. این تکنیک، مسائل پیچیده را بر اساس آثار متقابل آن‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد و آن‌ها را به شکلی ساده تبدیل کرده، به حل آن می‌پردازد (Ghodsipour، ۲۰۰۱). فرایند تحلیل سلسله مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبروست، می‌تواند استفاده شود. معیارهای مطرح‌شده می‌تواند کمی و کیفی باشند. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم‌گیرنده با فراهم‌آوردن درخت

سلسله مراتبی تصمیم آغاز می‌کند. درخت سلسله مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. سپس، یک سری مقایسات زوجی انجام می‌گیرد. این مقایسات وزن هر یک از عوامل را در راستای گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. در نهایت، منطق فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به‌گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسه‌های زوجی را با یکدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل آید (Ghodsipour، ۲۰۰۱). برای جلوگیری از اعمال سلیقه و قضاوت‌های تصادفی از شاخص نرخ ناسازگاری استفاده شد. نرخ ناسازگاری، شاخصی است که میزان سازگاری پاسخ‌های خبرگان به ارزیابی‌ها و مقایسه‌های زوجی را اندازه‌گیری می‌کند. به‌عبارت دیگر، با کمک شاخص نرخ ناسازگاری می‌توان پی برد که بین مقایسه‌های دو به دو و زوجی در پرسش‌نامه‌ها سازگاری وجود دارد یا خیر.

مکان‌یابی به روش فرایند سلسله مراتبی (AHP): در مکان‌یابی به روش تحلیلی فرایند سلسله مراتبی در نرم‌افزار GIS، تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب که نیازمند عرصه‌های وسیع برای عمل پخش سیلاب با هدف تغذیه مصنوعی است، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب: در این روش، معیارهای لازم و تاثیرگذار در انتخاب مکان مناسب تغذیه مصنوعی شامل لایه کیفیت آب، عمق آب، لایه شیب، لایه کاربری اراضی، لایه زمین‌شناسی، لایه بافت خاک و فاصله از چاه و چشمه و قنات تعیین شدند. پس از پلی‌گونی کردن لایه‌ها، نوبت به وزن‌دهی لایه‌ها و زیرلایه‌های مربوط به آن‌ها می‌رسد. برای وزن‌دهی، ابتدا باید پرسش‌نامه‌های مربوط به روش AHP را تهیه و آن‌ها را به کارشناسان تحویل داد تا به لایه‌ها و زیرلایه‌هایی که دارای وزن بیشتر هستند، امتیاز بیشتری دهند. برای جلوگیری از اعمال سلیقه و قضاوت‌های تصادفی از شاخص نرخ ناسازگاری استفاده شد (Ghadimi و همکاران، ۲۰۱۲). محاسبه دودویی و تعیین وزن نهایی برای هر یک از معیارها و گزینه‌ها و محاسبه نرخ ناسازگاری در محیط نرم‌افزار Expert Choice انجام گرفت. در این پژوهش، لایه‌های چاه و چشمه و قنات جزء معیارهای حذفی هستند.

نتایج و بحث

ابتدا پرسش‌نامه‌ها به‌وسیله کارشناسان و افراد خبره در اداره آبخیزداری و منابع طبیعی و شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مرکزی امتیازدهی شده است. سپس، نوبت به وزن‌دهی لایه‌ها و زیرلایه‌ها و محاسبه نرخ ناسازگاری می‌رسد که وزن‌دهی و محاسبه نرخ ناسازگاری (Inconsistency factor) به‌وسیله نرم‌افزار Expert Choice انجام شد. قابل ذکر است که لایه‌های شیب، کیفیت آب، بافت خاک و عمق آب دارای زیرلایه نمی‌باشد. در لایه شیب، شیب صفر تا سه درصد دارای ارزش یکسان و در لایه بافت هم بافت‌های انتخابی دارای ارزش یکسان در نظر گرفته شدند. لایه عمق، به‌صورت اعماق بین ۱۰ تا ۱۱۰ متر از لایه اولیه عمق انتخاب شده و در در لایه کیفیت ابتدا قسمت‌هایی که نشان‌دهنده Tds<400 و Ec<1500 می‌بودند، هر کدام به‌صورت جداگانه انتخاب و سپس لایه‌های نشان‌دهنده Tds و Ec با هم تلفیق شده و نقاط مشترک آن‌ها تفکیک شدند.

جدول ۱- وزن لایه‌های اصلی در انتخاب نقاط مناسب تغذیه مصنوعی

نام لایه	وزن	ضریب ناسازگاری
کاربری اراضی	۰/۳۰۸	۰
شیب	۰/۰۷۷	
زمین‌شناسی	۰/۱۵۴	
عمق آب	۰/۱۵۴	
بافت خاک	۰/۱۵۴	
کیفیت آب	۰/۱۵۴	

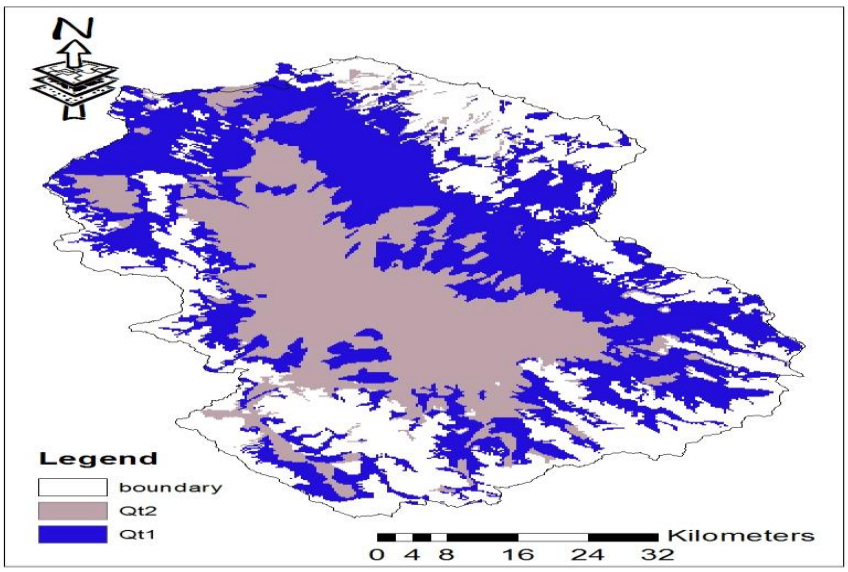
جدول ۲- وزن زیرلایه‌های لایه زمین‌شناسی در انتخاب نقاط مناسب تغذیه مصنوعی

نام زیرلایه	وزن
Qt1	۰/۱
Qt2	۰/۹

جدول ۳- وزن زیرلایه‌های لایه کاربری اراضی در انتخاب نقاط مناسب تغذیه مصنوعی

نام زیرلایه	وزن
Ra	۰/۸۸۹
Df	۰/۱۱۱

پس از وزن‌دهی لایه‌ها، نوبت به واردکردن اوزان آن‌ها در نرم‌افزار GIS است. بدین‌صورت که در ابتدا باید شش لایه به‌کار رفته در فرایند سلسله مراتبی به‌صورت رستر درآورده شوند. نکته قابل توجه در این قسمت این است که اندازه سلول‌های خروجی (output cell size) تمام لایه‌های رستر شده باید با هم برابر باشند که در این پژوهش برابر ۲۵۰ در نظر گرفته شد. چرا که اندازه سلول‌های خروجی باید مضربی از مخرج مقیاس نقشه‌ها که ۱:۲۵۰۰۰ است، باشند و عدد ۲۵۰ در اینجا مناسب‌ترین عدد بوده است. پس از رستری کردن لایه‌ها، نوبت به وزن‌دهی لایه‌های اصلی و زیرلایه‌های آن‌ها می‌شود. برای لایه زمین‌شناسی، وزن زیرلایه‌ها به‌صورت زیر در نرم‌افزار وارد می‌شود.



شکل ۴- لایه رستری‌شده زمین‌شناسی (شامل سازندهای Qt1 و Qt2)

$$\text{“}Con.Qt1\text{”} \times 0.1 + \text{“}Con.Qt2\text{”} \times 0.9 \quad (۱)$$

لایه وزن‌دهی شده بر اساس اوزان Qt1 و Qt2 به‌نام Geology به‌دست می‌آید.

برای لایه کاربری اراضی نیز نتیجه زیر حاصل می‌شود.

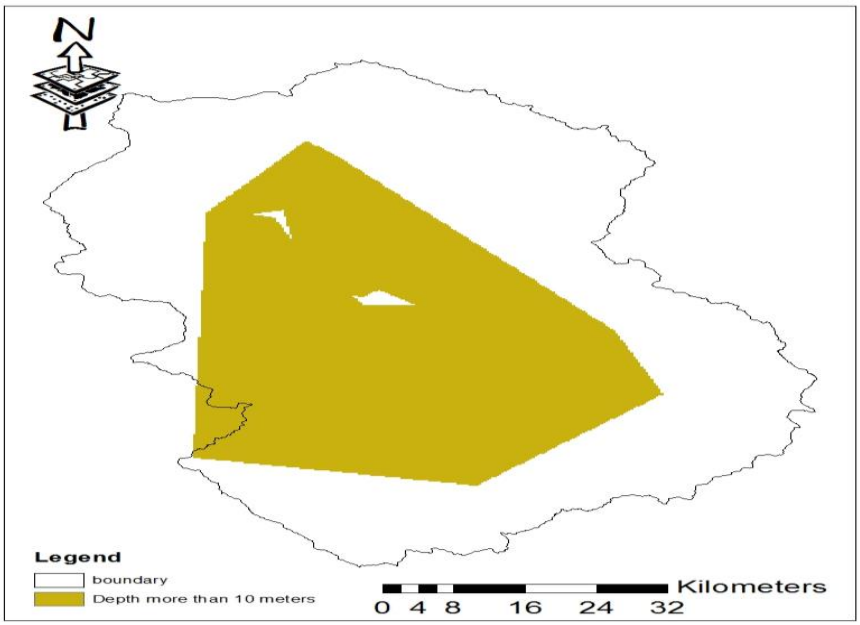
$$\text{“}Con.ra\text{”} \times 0.889 + \text{“}Con.df\text{”} \times 0.111 \quad (۲)$$

لایه کاربری وزن‌دهی شده بر اساس اوزان ra و df به‌نام Land use به‌دست می‌آید.

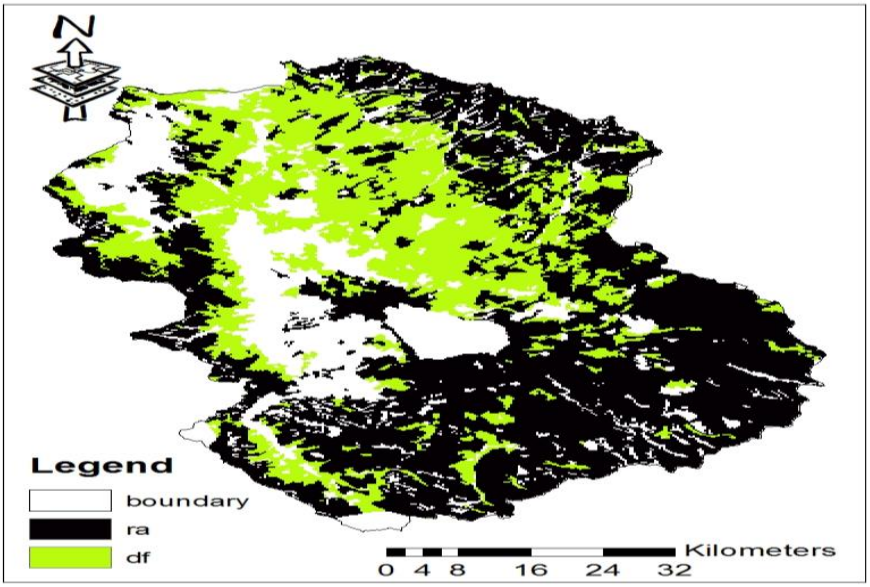
حال نوبت تلفیق لایه‌ها به روش AHP و به‌دست آوردن لایه نهایی که بر اساس لایه‌های اصلی اولویت‌بندی شده است، می‌باشد. در نرم‌افزار عبارت جبری زیر وارد می‌شود.

"*Geology*"*0.154+"*Slope*"*0.077+
"*WaterQuality*"*0.154+"*Landuse*"* (۳)
0.308+"*Texture*"*0.154+"*Depth*"*0.154

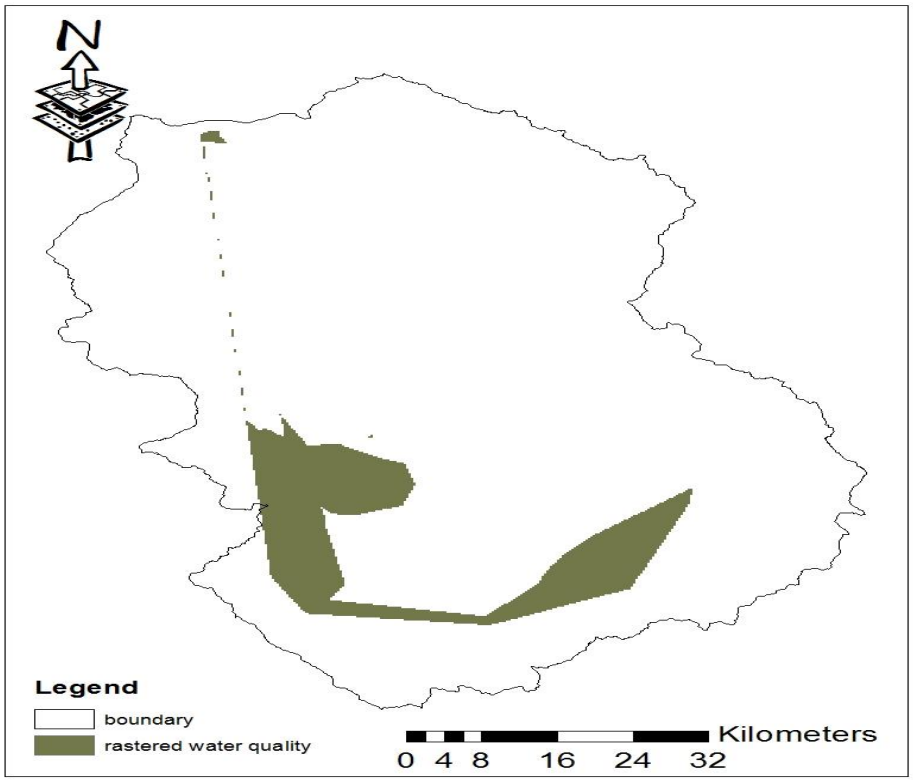
سپس، لایه وزن‌دهی شده بر اساس اوزان لایه‌ها تعیین می‌شود. این لایه به پنج طبقه خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و خیلی خوب طبقه‌بندی می‌شود. برای دست‌یافتن به نتایج مطلوب‌تر، قسمت‌های خیلی ضعیف و ضعیف را حذف کرده، لایه جدیدی به‌دست می‌آید. سه لایه چاه، چشمه و قنات را که قبلا به شعاع‌های مورد نظر بافر زده شده‌اند، یکپارچه شده و به‌صورت یک لایه درآورده می‌شوند. در مرحله نهایی، لایه‌ای که در اثر حذف قسمت‌های خیلی ضعیف و ضعیف به‌دست آمد را تبدیل به پلی‌گون کرده و سپس، با لایه یکپارچه‌شده چاه، چشمه و قنات تلفیق کرده، این تلفیق سری نقاطی را به‌دست می‌دهند که حاصل تلاقی این دو لایه هستند که زون نهایی و مناطق مناسب برای مکان‌یابی شامل ۲۹ زون به مساحت مجموع ۱۴۷۷ هکتار است (شکل ۱۰).



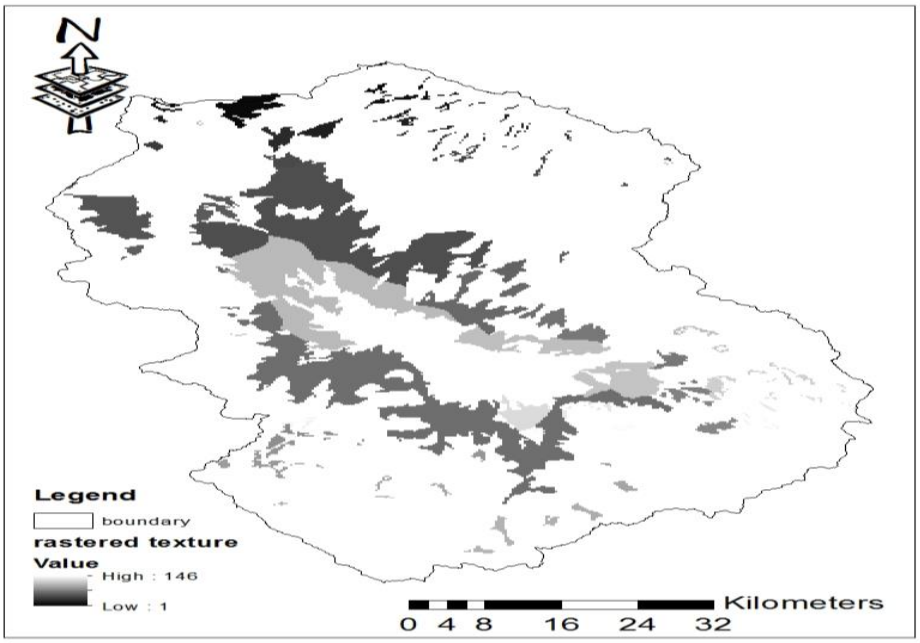
شکل ۵- لایه رستری‌شده عمق آب (اعماق بین ۱۰ تا ۱۱۰ متر)



شکل ۶- لایه رستری‌شده کاربری اراضی (شامل اراضی دیم و مرتع)



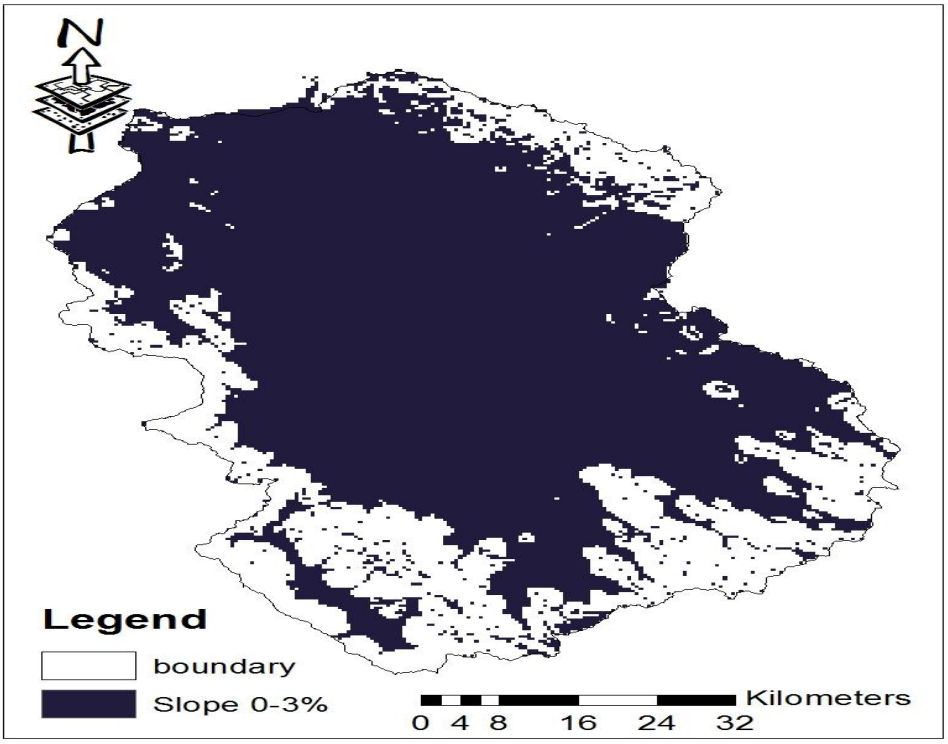
شکل ۷- لایه رستری‌شده کیفیت آب (شامل تلفیق لایه‌های Ec **و** Tds)



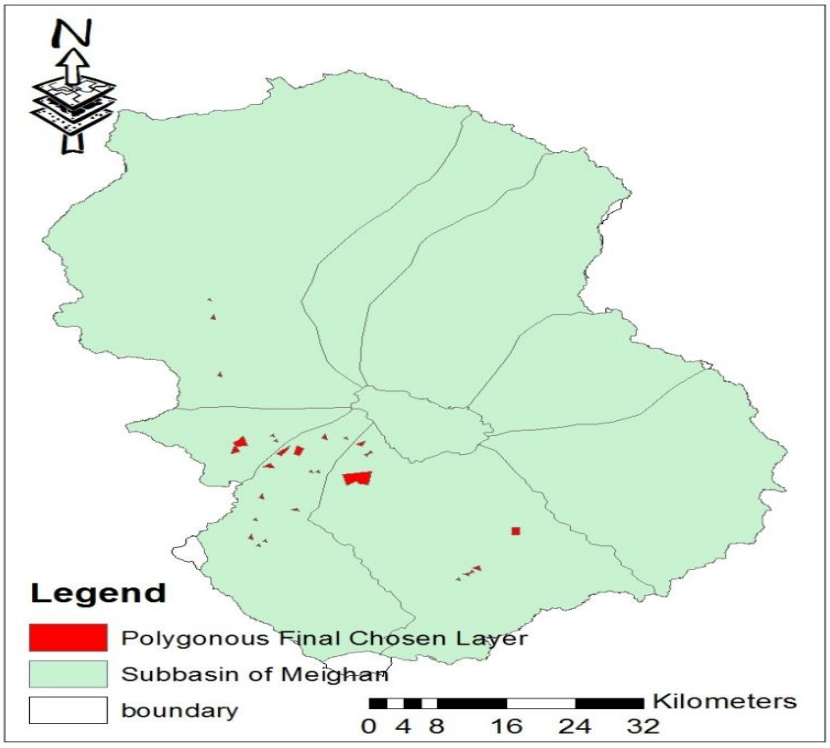
شکل ۸- لایه رستری‌شده بافت خاک (شامل زیرلایه‌های شنی عمیق و شنی-لومی نیمه‌عمیق)

صحت و اعتبارسنجی: در این پژوهش، اضافه بر مکان‌یابی نقاط مناسب برای تغذیه مصنوعی، عملیات صحت و واسنجی نیز انجام شده که از آسیب‌رساندن به چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات جلوگیری می‌کند. بدین‌معنی که پس از یافتن نقاط مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها با روش‌های مذکور، برای جلوگیری از آسیب‌رساندن به چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات، حریم آن‌ها نیز در نظر گرفته

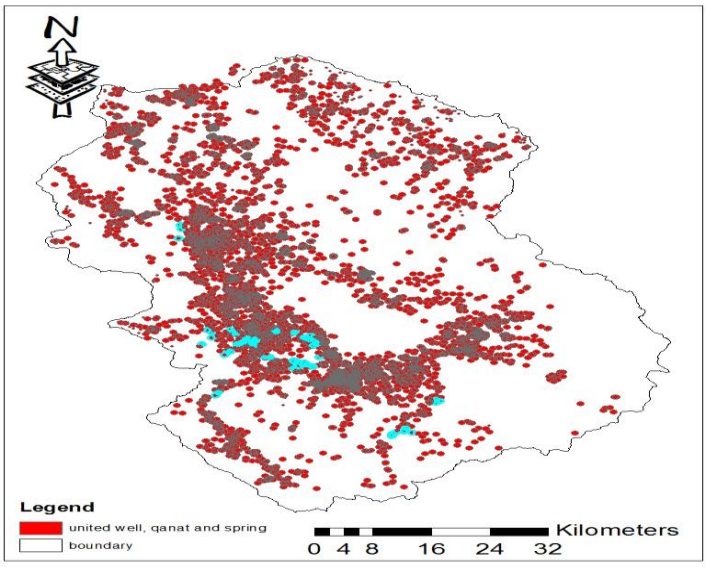
شده است. قابل ذکر است، با توجه به نوع آبرفت‌های حوزه آبخیز کویر میقان که مقدار بیشتر مخروط‌افکنه‌ها در نواحی امان‌آباد و غرب حوزه آبخیز قرار دارد. نقاط مناسب منتخب با واقعیت محدوده مطالعاتی انطباق زیادی دارد.



شکل ۹- لایه رستری‌شده شیب صفر تا سه درصد



شکل ۱۰- زون‌های پیشنهادی در مکان‌یابی به روش AHP



شکل ۱۱- نقاط تلاقی زون‌های پیشنهادی و چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات

نتیجه‌گیری

با توجه به هدف این پژوهش که تعیین نقاط مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان حوزه آبخیز کویر میقان می‌باشد، نتایج زیر به‌دست آمده است.

۱- بیشترین و کمترین وزن به‌ترتیب مربوط به کاربری اراضی و شیب حوضه است.

۲- نقاط مناسب در غرب حوزه آبخیز در زیرحوزه‌های آبخیز امان‌آباد، کرهرود و ساروق قرار دارد که مساحت کل آن حدود ۱۴۷۷ هکتار است.

۳- نقاط منتخب با توجه به عمق مخروط‌افکنه‌ها و نظر کارشناسان کاملا منطقی و درست است.

منابع مورد استفاده

1. Chitsazan, M. and A. Movahedian. 2015. Evaluation of artificial recharge on groundwater using MODFLOW Model. Journal of Geoscience and Environment Protection, 3: 122-132.
2. Eghtesadi, F., D. Ghasemian, M. Kheirkhah Zarkesh and B. Saghafian. 2012. Characterization of groundwater potential and artificial recharges using artificial nervous net to manage groundwater. The Sixth National Development Congress. Semnan University, Semnan.
3. Ghahremani, N., R. Dakhili and A. Khashei. 2015. Characterization the appropriate zones using extra water of Qanats to recharge the aquifers using AHP. Journal of Water and Soil, 2(22): 229-241.
4. Hasanzadeh, H., A. Vaeizie and M. Mohammadi. 2013. Relation between runoff and permeability in different soil textures impressed raining. The Second International Plant, Soil and Air Congress.
5. Keikhosravi, Gh. and Z. Yarmoradi .2015. Characterization the suitable sites to recharge groundwater using GIS. Geographical Information Journal, 90: 25-31.
6. Kumar, T. 2016. Multi-criteria decision analysis for planning and management of groundwater resources. Environment Earth Sciences, 75: 649-660.
7. Satapathy, I., H. Tajdarul and T. Syed. 2015. Characterization of groundwater potential and artificial recharge sites using remote sensing and GIS based techniques. Environment Earth Science, 74(5): 4215-4232.
8. Senanayake, L.P., D.M.D.O.K. Mayadunna, B.B. Mayadunna and W.L. Weerasekera. 2015. An approach to delineate groundwater recharge potential sites using GIS techniques. Geoscience Frontiers, 7: 115-124.
9. Yazdani Moghaddam, Y., J. Sadati Nezhad, A. Nazari Samani and H. Ghasemieh. 2013. The efficiency of MCDM to artificial recharge, a case study: Kashan Plain. RS and GIS Journal, 3: 65-80.
10. Amiri, A., F. Ghadimi Arous Mahalleh and N. Kohansal Ghadimvand. 2008. The model of sediment making, a case stusy: Meighan Playa. MSc Thesis, Azad Islamic University, 111 pages (in Persian).
11. Water Regional Company of Markazi Province. 2015. Report of extension of prohibition water withdrawals arak plain.