

رویکرد تلفیقی AHP-TOPSIS گروهی در مکان‌یابی عرصه‌های مستعد برای تغذیه مصنوعی سفره‌های آب-
زیرزمینی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شاهرود-بسطام)

علیرضا عرب عامری،^{۱*} کورش شیرانی

۱- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه تربیت مدرس

E-mail: Alireza.ameri91@yahoo.com

TEL: 09191735198

۲- استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

E-mail: kouroshshirani@gmail.com

TEL: 09133137356

چکیده

روند رو به رشد و توسعه شهرستان شاهرود در سالهای اخیر، استراتژی مدیریت منابع آب زیرزمینی در این منطقه را بیش از پیش ایجاب می‌کند. هدف از این پژوهش انتخاب مکان‌های بهینه تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی با استفاده از رویکرد ترکیبی AHP-TOPSIS گروهی می‌باشد. تحقیق حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی مبتنی بر روش‌های میدانی و کتابخانه‌ای است. بدین صورت که پس از مشخص کردن منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، به بازدید از منطقه پرداخته شده و معیارها و زیر معیارها با استفاده از مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای مشخص گردید که شامل ۵ معیار و ۱۲ زیرمعیار می‌باشد. در گام بعد اقدام به انتخاب مکان‌های بهینه تغذیه مصنوعی با روش ترکیبی گردید که شامل طراحی ساختار سلسله مراتبی از موضوع، تهیه ماتریس‌های مقایسات زوجی و قرار دادن آنها در اختیار خبرگان برای بدست آوردن ارزش معیارها و زیر معیارها و نهایتاً رتبه‌بندی مناطق با استفاده از روش TOPSIS است. نتایج نشان داد که معیارهای لیتولوژی، شیب، عمق برخورد با سطح آب زیرزمینی و کاربری اراضی بیشترین تأثیر را در تعیین عرصه‌های مساعد برای تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی داشته‌اند. به منظور اعتبارسنجی روش از عرصه‌های کنترلی استفاده گردید. نتایج اعتبارسنجی حکایت از دقت بالای روش (۸۷/۰۲) در شناسایی مناطق مستعد برای تغذیه مصنوعی می‌باشد. در مجموع از کل منطقه مطالعاتی به مساحت ۷۶۰۳/۲۵ کیلومتر مربع، ۶/۷۳ درصد (۵۱۳/۹۷ کیلومتر مربع) در کلاس بسیار مساعد و ۱۲/۸۲ درصد (۹۷۴/۷۳ کیلومتر مربع) در کلاس مساعد قرار گرفت.

مقدمه

مناطق که منابع آب زیرزمینی منبع تامین آب است و میزان برداشت از این منابع بیش از تغذیه آنهاست دارای وضعیت بحرانی هستند (۴۳). برداشت بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی و در نتیجه افت این ذخایر ارزشمند پیامدهای گاه جبران‌ناپذیری خواهد داشت که مستقیم و غیر مستقیم سکونتگاه‌های انسانی را متاثر خواهد کرد. در چنین مناطقی تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی از مهمترین راه کارهای مدیریتی است (۴۷). تغذیه مصنوعی عبارت است از ذخیره و وارد کردن آب به یک سازند نفوذپذیر با هدف تغذیه سفره آب زیرزمینی و به منظور استفاده مجدد از آن با رژیم و یا کیفیتی متفاوت به وسیله ایجاد تاسیسات اضافی و یا تغییراتی در شرایط طبیعی منطقه است (۳۰، ۳۱). تغذیه مصنوعی در مناطق خشک به دلایل مختلفی از جمله تقویت تغذیه طبیعی ناشی از باران و رواناب؛ جلوگیری از کاهش سطح آب آبخوانها؛ کنترل آلودگی ذخایر آب به وسیله پساب و جلوگیری از تداخل آب شور به شیرین صورت می‌گیرد (۲۶). آب‌های زیر زمینی دارای محاسنی هستند از جمله آن که در مواقع عدم برداشت، به طور طبیعی آب را ذخیره می‌نمایند و برخلاف آب‌های سطحی زمین‌های وسیعی را اشغال نمی‌کنند و از تاثیر جریان‌های تبخیر و تعرق و آلودگی تا حد زیادی در امان هستند و در همه فصول قابل برداشتند (۴۵). از مهمترین معایب تغذیه مصنوعی می‌توان به نبود زمین مناسب و کافی به منظور تغذیه مصنوعی، امکان حرکت لایه‌های آبدار و هدر رفت آب، هزینه استخراج آب و غیره اشاره نمود (۴۵). شهرستان شاهرود با مساحت ۵۱۷۶۲ کیلومتر مربع و جمعیت ۲۳۴۷۳۸ نفری بزرگترین کانون جمعیتی استان سمنان است که در طی سال‌های اخیر روند روبه‌رشد چشم‌گیری داشته است. بیش از ۵۰٪ از منابع آب مورد نیاز این شهرستان از آبهای زیرزمینی دشت شاهرود-بسطام با مساحت ۷۶۰۳/۲۵ کیلومتر مربع تامین می‌شود. با توجه به اینکه

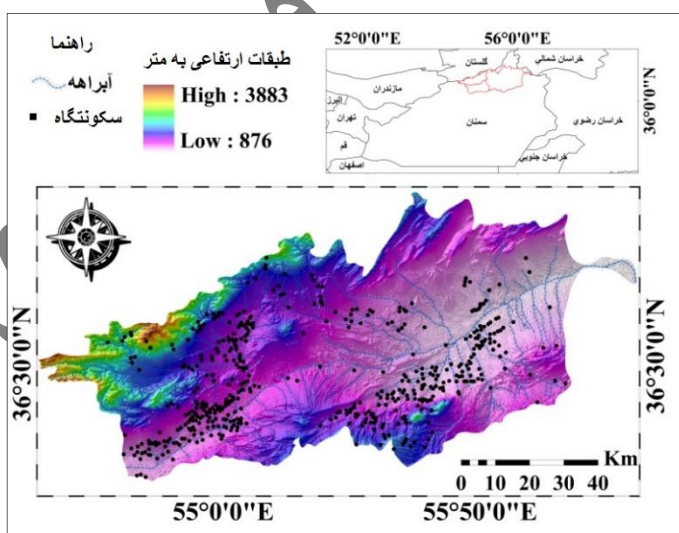
دشت شاهرود- بسطام در بردارنده سه کانون جمعیتی شاهرود، بسطام و مجن و ۸۵٪ جمعیت کل شهرستان شاهرود است (۵)، بنابراین شناسایی و پهنه‌بندی مناسبترین مکان جهت تغذیه مصنوعی آبخوان‌های زیرزمینی در این دشت از اهمیت بالایی برخوردار است. روش‌های متعددی برای تغذیه آب‌های زیر زمینی توسعه یافته‌اند، از جمله این تکنیک‌ها می‌توان به روش‌های تغذیه مستقیم سطحی، مستقیم زیر سطحی، یا تکنیک تغذیه غیر مستقیم اشاره نمود (۴۸، ۴۹). تاکنون مطالعات گسترده‌ای جهت مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی انجام شده است؛ راملینگام و سانتاکومار (۵۱) با استفاده از تکنیک‌های GIS و سنجش از دور با در نظر گرفتن معیارهای ژئومورفولوژی؛ زمین شناسی، خاک، شیب، کاربری اراضی، شدت رواناب و عمق آب‌های زیرزمینی به بررسی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی پرداخته‌اند. در تحقیقی دیگر برای نشان دادن توانایی GIS در پهنه‌بندی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی مناطق خشک، چینی و همکاران (۳۲) در حوضه ماکناسی تونس مرکزی پهنه‌بندی تغذیه مصنوعی را با تجزیه و تحلیل داده‌های بارندگی، رواناب حوضه، زمین شناسی سطحی و شرایط آبخوان انجام داده‌اند. در پژوهشی دیگر سرگانکار و همکارانش (۵۸) ارزیابی هیدرولوژیکی آبخیز بر پایه GIS برای تعیین مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی انجام دادند. سارف و چودهاری (۵۷) با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور در استخراج لایه‌های مختلفی نظیر کاربری اراضی، پوشش گیاهی، زمین شناسی و ژئومورفولوژی و تلفیق آنها با سایر لایه‌های اطلاعاتی مانند شیب مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌های زیرزمینی در نواحی مرکزی هند را تعیین نمودند. کریشنامورتی و همکاران (۴۰) از سنجش از دور و GIS برای پهنه‌بندی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در نواحی جنوبی هند با توجه به عوامل زمین شناسی، توپوگرافی، گسل‌ها، تراکم آب‌های سطحی و شیب استفاده نموده و با تلفیق این لایه‌های اطلاعاتی نقشه عرصه‌های مناسب تهیه گردیده است. چودهاری و همکاران (۳۳) در پژوهشی با استفاده از GIS, RS و MCDM نسبت وزن لایه‌های ژئومورفولوژی، زمین شناسی، حجم زهکشی شیب و قابلیت انتقال را بر اساس میزان ارتباط آنها با تغذیه و نرمال‌سازی وزن‌ها را با استفاده از AHP بدست آوردند و به این نتیجه رسیدند که ۴۶ درصد از ناحیه برای تغذیه مصنوعی مناسب می‌باشد. رید و همکاران (۵۳) با استفاده از دور و روش بولینی و مدل وزنی همپوشانی مشخص کرده‌اند که بولینی برای تخمین عرصه‌های مناسب برای پخش سیلاب غیر زمان بر و و مدل وزنی همپوشانی از دقت و انعطاف‌پذیری بالاتری برخوردار است. رامشت و همکاران (۵۰) در پژوهشی در منطقه آبخیز زرنده ساوه از روش‌های ELECTRE و ارزیابی خطی در GIS، مناطق مناسب را بر اساس ماتریس مقایسه جفتی جهت تهیه ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده وزنی پارامترهای میزان بارندگی، حجم رواناب، شیب، تراکم زیستگاه و ارتفاع بدست آوردند. سینگ و همکاران (۵۹) در تحقیقی در پنجاب هند ۸ لایه

اطلاعاتی ژئومورفولوژی، زمین شناسی، کاربری اراضی، حجم زهکشی، شیب، بافت خاک، قابلیت انتقال آبخوان و آبدهی ویژه بر اساس سهم ارتباط آنها با تغذیه مصنوعی وزن دهی شده و وزن های نرمال شده را بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی محاسبه کرده و مناسب ترین مکان در مرکز و غرب ناحیه به علت وجود نفوذپذیری بالا تعیین شد. عرب عامری و همکاران (۲۴) به انتخاب مکان مناسب تغذیه مصنوعی آبخوان مشهد با استفاده از پارامترهای لیتولوژی، میزان رواناب، مساحت، تراکم گسل، شیب، دما، ارتفاع و زیستگاه ها و با استفاده از روش TOPSIS پرداخته اند. ویجی پرابها (۶۳) در تحقیقی در آبخوان سارابانگا زیر حوضه رودخانه کاووری در هند با استفاده از روش WIOA و بر اساس پارامترهای زمین شناسی، فیزیوگرافی، خطواره، تراکم زه کشی، کاربری اراضی و پوشش زمین به انتخاب مناطق مناسب جهت تغذیه مصنوعی پرداخته اند. در ایران نیز محققانی چون (۱،۲،۳،۴،۶،۷،۸،۱۰،۱۱،۱۲،۱۳،۱۴،۱۵،۱۷،۱۹،۲۰،۲۱،۲۳) در زمینه انتخاب مکان های مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان های زیرزمینی صورت گرفته است که در ادامه برخی از آنها به طور مختصر مورد بررسی قرار گرفته اند. ملکیان و همکاران (۲۱) در پژوهشی به بررسی کاربرد سامانه پشتیبانی تصمیم گیری در مکان یابی پخش سیلاب در حوضه آبریز ایور در استان خراسان شمالی با استفاده از چهار معیار اصلی، هشت زیر معیار و بیست و چهار شاخص پرداخته اند و به این نتیجه رسیدند که از بین دو زیر حوضه منطقه ایور با توجه به میانگین مطلوبیت آنها، زیر حوضه یک و از بین سناریوهای اجرا شده سناریوی یک به عنوان اولویت اول انتخاب گردیدند. فیضی و همکاران (۱۴) به پهنه بندی اراضی مستعد پخش سیلاب با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی پرداخته اند و به این نتیجه رسیدند که لایه کاربری اراضی به عنوان اولویت اول در مکان یابی پخش سیلاب مطرح گردید و پارامترهای حجم رواناب، نفوذپذیری، شیب، عمق لایه هواده، ضریب انتقال و کیفیت آبرفت به ترتیب در اولویت های دوم تا هفتم قرار گرفته اند. قائمی زاده و همکاران (۱۷) در پژوهشی به بررسی کاربرد ابزارهای پشتیبانی تصمیم گیری با هدف مدیریت مناسب تغذیه آبخوان در دشت همدان-بهار با استفاده از ۷ لایه اطلاعاتی شامل عمق آب زیرزمینی، کیفیت آبخوان، کاربری اراضی، شیب، نفوذپذیری، تغذیه خالص و قابلیت انتقال پرداخته اند و به این نتیجه رسیدند که بر اساس منطق بولین ۲/۴۴ درصد از اراضی و بر اساس اپراتور ضرب فازی ۹/۴۴ درصد از اراضی دارای رتبه خیلی خوب از نظر اجرای عملیات تغذیه آبخوان می باشد. صمدی (۱۲) به مدل سازی مکان یابی تغذیه مصنوعی آبخوان کاشان با استفاده از روش های آماری، AHP و ملاحظات محیط زیستی آبهای زیرزمینی بر اساس ۷ پارامتر آلودگی آب های زیرزمینی، نرخ نفوذپذیری خاک، قابلیت هدایت هیدرولیکی، آلودگی خاک، کاربری اراضی، شیب و سطح آب ایستابی پرداخته است و به این نتیجه رسید که ۱۵ درصد از قسمت های غربی و جنوبی آبخوان برای تغذیه مصنوعی

مناسب تا بسیار مناسب می‌باشد. هدف از این پژوهش انتخاب مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیر زمینی با استفاده از رویکرد ترکیبی AHP-TOPSIS گروهی و با استفاده از ۱۲ لایه اطلاعاتی شامل ارتفاع، لیتولوژی، بارش، تراکم آبراهه، سطح جمع کننده، تراکم گسل، شیب، دما، تراکم سکونتگاه، وجه شیب، عمق برخورد با سطح آب زیرزمینی و انواع کاربری و پوشش اراضی در حوضه آبخیز شاهرود-بسطام می‌باشد.

منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، حوضه آبخیز شاهرود-بسطام می‌باشد که در شمال شهرستان شاهرود در استان سمنان، در دامنه‌های جنوب و جنوب شرقی البرز شرقی واقع شده است. حوضه آبخیز شاهرود-بسطام زیر حوضه کویر نمک است. کویر نمک نیز با مساحت ۲۲۴۳۷۰ کیلومترمربع زیر حوضه ایران مرکزی می‌باشد. حوضه ایران مرکزی سرزمین وسیعی با وسعت ۸۳۱۰۰۰ کیلومترمربع را شامل می‌شود که از ویژگی‌های این حوضه گسترش حداقلی شبکه‌های آبراهه‌ای به علت خشکی بالا است (۲۲). حوضه آبخیز شاهرود-بسطام با مساحت ۷۶۰۳/۲۵ کیلومترمربع در محدوده‌ای به عرض ۳۶ درجه تا ۳۷ درجه شمالی و طول ۵۴ درجه تا ۵۷ درجه شرقی گسترده شده است (شکل ۱). از مهمترین سازندهای موجود در منطقه می‌توان به ماسه سنگ، مارن، کنگلومرای قرمز، دولومیت و ژئپس اشاره نمود.

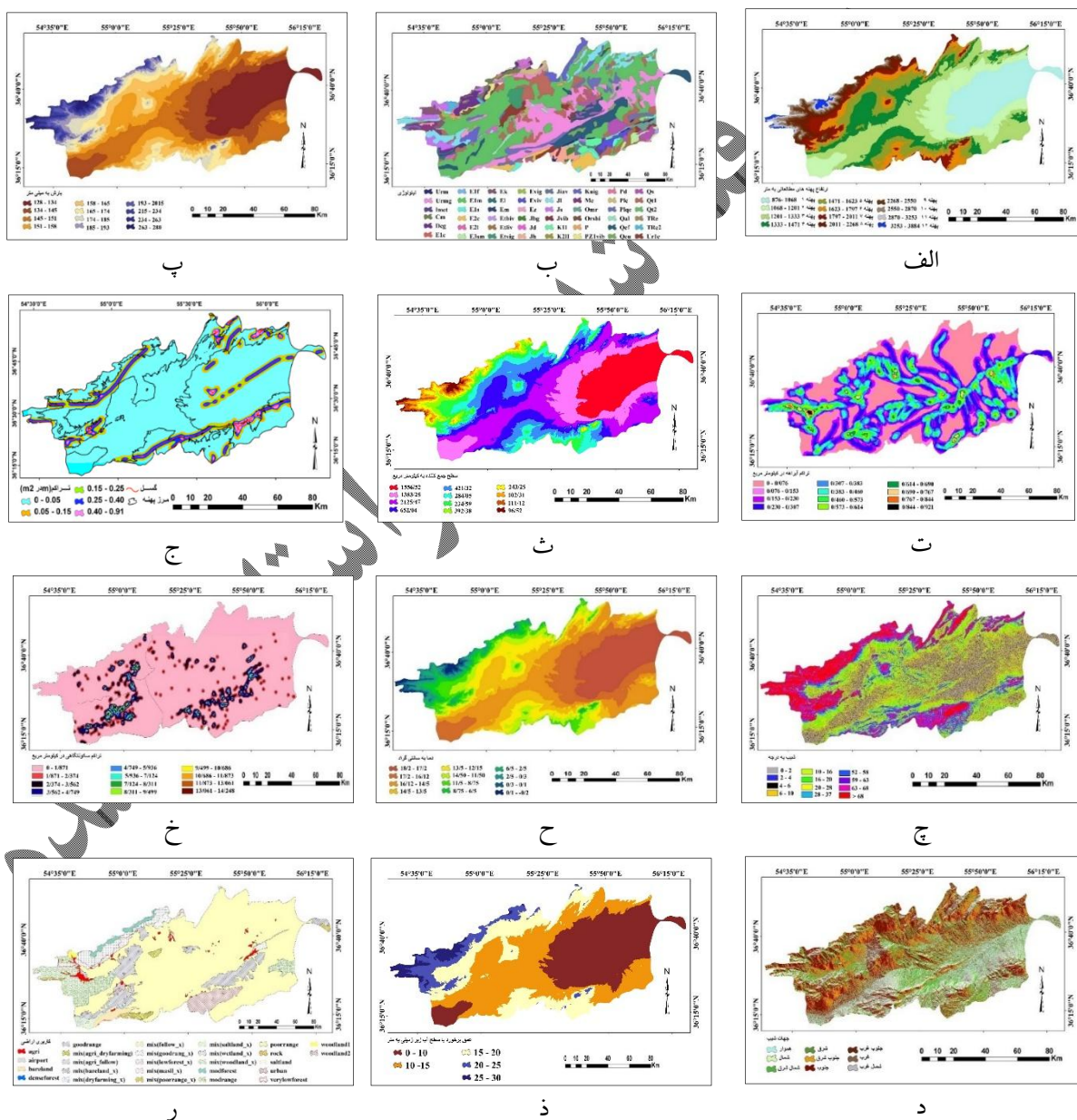


شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی

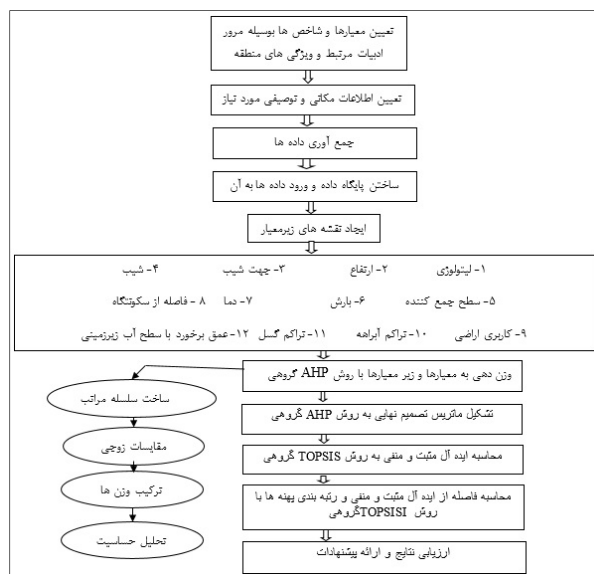
روش تحقیق

روش تحقیق از نوع آزمایشی-پیمایشی و تحلیلی می‌باشد که در این زمینه از روش اسنادی و بررسی‌های کتابخانه‌ای، جستجوهای اینترنتی، بررسی نقشه‌ها و عکس‌های هوایی منطقه مورد مطالعه و بررسی‌های میدانی استفاده شده است. نقشه‌های پایه مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای ETM+ و با استفاده از آمار بارندگی ایستگاه‌های باران سنجی، نقشه همباران تهیه گردید. ابتدا به کمک تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارتس Google Earth محدوده مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفته و تعیین حدود گردید. سپس مدل ارتفاع رقومی با استفاده از نقشه توپوگرافی تهیه گردید. تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای پهنه‌بندی در محیط نرم افزار Arc GIS 10.2 به صورت موارد زیر انجام گرفت: ابتدا مدل ارتفاع رقومی منطقه بر اساس شکست‌های طبیعی Natural break که در ارتفاعات منطقه وجود دارد به ۱۲ کلاس ارتفاعی طبقه‌بندی گردید. طبقات مذکور نمایانگر پهنه‌های مطالعاتی در منطقه می‌باشند که محاسبات بعدی در هر کدام از این طبقه‌ها صورت گرفت (۳۳، ۲۹، ۶). لایه شیب و جهت شیب از روی مدل ارتفاعی رقومی منطقه و از طریق ابزار Surface Analyses در 3D analyses تهیه گردید. لایه تراکم زهکشی، تراکم گسل، تراکم سکونتگاهی به ترتیب از طریق رقومی کردن لایه آبراهه‌های اصلی و فرعی از روی نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی منطقه، رقومی کردن گسل‌های اصلی و فرعی از روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه و رقومی کردن لایه سکونتگاهی شهری و روستایی منطقه و ابزار Density در Spatial Analyses تهیه شد. با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه وضعیت زمین‌شناسی منطقه به خوبی بررسی، سپس با مطالعه و بررسی فتوژئولوژیکی عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و بررسی‌های میدانی، اقدام به تهیه نقشه زمین‌شناسی گردید. پس از تهیه نقشه واحدهای سنگ‌شناسی و خطواره‌ها، اقدام به رقومی نمودن آنها گردید و نقشه‌های لیتولوژی تهیه گردید. خطوط همدم و همبارش از طریق میان‌یابی به روش کریجینگ و رابطه خطی بین دما - ارتفاع و باران - ارتفاع و ابزار Interpolate در 3D analyses تهیه گردید. نقشه کاربری اراضی منطقه نیز از طریق نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر سنجنده ETM+ که در محیط نرم افزار ENVI 4.5 تصحیح گردید، تهیه گردید. لایه سطح جمع‌کننده با استفاده از نقشه DEM منطقه، تهیه گردید و حوضه به ۱۲ سطح جمع‌کننده تقسیم گردید که ملاک تقسیم‌بندی زیر حوضه‌ها در این لایه مساحت آنها بوده است. سپس معیارهای مورد بررسی برای هر یک از پهنه‌های ارتفاعی مورد نظر محاسبه گردید (جدول ۱). در آخرین گام پس از جمع‌آوری داده‌ها و تشکیل ماتریس تصمیم اولیه اقدام به تعیین بهترین مکان برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌های زیر زمینی با استفاده از روش ترکیبی AHP-TOPSIS گردید. به طور

کلی مراحل تحقیق به شرح زیر است: ۱- ترسیم ساختار سلسله مراتبی معیارها و گزینه‌های مختلف، ۲- تعیین شاخص‌ها (مناطق دوازده گانه) و معیارهای مناسب (کاربری اراضی، میزان بارش، دما، فاصله از آبراهه و) (شکل ۲) و تکمیل ماتریس مقایسات زوجی بین آنها توسط تصمیم‌گیران ۳- گردآوری داده‌های کمی و کیفی مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها با توجه به معیارهای مشخص ۴- بدست آوردن وزن معیارها با استفاده از روش AHP ۵- رتبه‌بندی و انتخاب بهترین مکان برای تغذیه مصنوعی به کمک روش TOPSIS. در شکل (۳) دیدگاه مراحل پژوهش نشان داده شده است.



شکل ۲. نقشه‌های مورد استفاده در پژوهش: الف. نقشه ارتفاع، ب. نقشه لیتولوژی، پ. نقشه بارش، ت. نقشه تراکم آبراهه، ث. نقشه سطح جمع کننده، ج. نقشه تراکم گسل، چ. نقشه شیب، ح. نقشه دما، خ. نقشه تراکم سکونتگاه، د. وجه شیب، ذ. عمق برخورد با سطح آب زیرزمینی، ر. انواع کاربری و پوشش اراضی.



شکل ۳. مراحل انجام پژوهش

رویکردهای تصمیم‌گیری چند شاخصه

تصمیم‌گیری چند شاخصه از مدل‌های ریاضی است و به رویکردی از حل مسئله اشاره دارد که به منظور انتخاب یک گزینه از تعداد محدودی گزینه مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵۲). روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MADM) Multi Attribute Decision Making به سهولت کاربرد معروف هستند. رویه‌های ترکیبی چنانچه به درستی ترکیب شوند می‌توانند این نقاط قوت را حفظ کنند و منابع چند گانه‌ای از دانش و تجربه ایجاد کنند (۵۴). بنابراین این پژوهش به منظور دستیابی به تصمیمات کاراتر از ترکیب دو رویکرد AHP و TOPSIS که نقاط ضعف هر یک با نقاط قوت دیگری جبران می‌شود، استفاده می‌کند. تکنیک TOPSIS که نخستین بار در سال ۱۹۸۱ توسط وان و یون (۱۹۸۱) معرفی شد. نقاط اشتراکی زیادی با AHP دارد. بنیان و مایه اصلی TOPSIS، محاسبه فاصله اقلیدسی گزینه‌های تصمیم‌گیری از راه حل‌های ایده آل مثبت و منفی است (۴۲). راه حل ایده آل مثبت (PIS) Positive Ideal Solution (راه حل ایده آل مثبت) و راه حل ایده آل منفی (NIS) Negative Ideal Solution (راه حل ایده آل منفی) است که از لحاظ معیارهای سود بیشینه و از لحاظ معیارهای هزینه وضعیت کمینه را دارد و راه حل ایده آل منفی (NIS) Solution (راه حل ایده آل منفی) است که از نظر معیارهای هزینه بیشینه و از لحاظ معیارهای سود کمینه است (۱۸، ۴۲). در TOPSIS مقادیر قطعی Crisp Values برای بیان ارجحیت نسبی گزینه‌ها در برآورده کردن معیارهای تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد (۴۴) و

گزینه برتر گزینه‌ای است که کمترین فاصله را از راه حل ایده آل مثبت و بیشترین فاصله را از راه حل ایده آل منفی داشته باشد. برآیند این دو فاصله در قالب ضریب نزدیکی Closeness Coefficient بیان می‌شود که بر این اساس گزینه‌ای که مقدار عددی ضریب نزدیکی بزرگتری داشته باشد به عنوان گزینه ارجح شناخته می‌شود (۳۵). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای اولین بار در سال ۱۹۸۰ توسط ساعتی معرفی گردید (۵۶). روش AHP نظرات کارشناسان را ترکیب کرده، سیستم تصمیم‌گیری پیچیده را به سیستم سلسله مراتبی ساده تبدیل می‌کند. سپس با استفاده از مقایسات زوجی، روش ارزیابی بر حسب مقیاس، به منظور بررسی اهمیت نسبی انجام می‌شود (۶۲). علی‌رغم کاربرد وسیع AHP، از این روش در شرایط عدم اطمینان و غیر دقیق انتقادهایی شده است (۳۴،۳۶).

مدل مفهومی پژوهش: رویکرد ترکیبی TOPSIS – AHP گروهی

روش‌های TOPSIS و AHP به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. جدول (۱) مقایساتی از ویژگی‌ها و خصوصیات این دو تکنیک ارائه می‌کند.

جدول ۱. مقایسه ویژگی‌های روش TOPSIS, AHP (۵۴)

خصوصیات	AHP	TOPSIS
طبقه	اطلاعات عددی – MADM	اطلاعات عددی – MADM
فرایند اصلی	مقایسات زوجی (اندازه‌گیری نسبی)	فاصله از PIS و NIS (اندازه‌گیری مطلق)
شاخص	معین و معلوم	معین و معلوم
استنباط وزن	مقایسات زوجی	معین و معلوم
بررسی سازگاری	ارائه می‌شود	-
تعداد شاخص‌های تطبیقی	7 ± 2	خیلی زیاد
تعداد گزینه‌های تطبیقی	7 ± 2	خیلی زیاد
سایر	عملکرد جبرانی	عملکرد جبرانی

به کارگیری AHP به دلیل ظرفیت محدود بشری در پردازش اطلاعات به طور قابل ملاحظه‌ای محدود گشته، سقف مقایسات زوجی به تعداد 7 ± 2 در نظر گرفته می‌شود. روش TOPSIS، می‌تواند نیازمندی مقایسات زوجی را برآورده سازد و محدودیت ظرفیتی در فرایند غالب نمی‌شود (۵۴). از طرفی این رویکرد نیاز به رویه‌ای کارا دارد تا اهمیت نسبی شاخص‌های مختلف را با توجه به هدف تعیین نماید،

روش AHP چنین رویه ای را ارائه می کند (۵۲، ۱۰). بنابراین برای دستیابی به مزایای هر دو روش در رتبه بندی و انتخاب بهترین گزینه،

روش ترکیبی (TOPSIS, AHP) استفاده می شود. در ادامه این رویه مرحله به مرحله توضیح داده می شود:

گام اول: تعیین اهداف و شناسایی معیارهای مرتبط با موضوع

گام دوم: تشکیل ماتریس تصمیم بر اساس اطلاعات موجود. ماتریس A_{ij} نشان دهنده ارزش معیار j ام برای گزینه i ام است.

$$A_{ij} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} \cdots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

گام سوم: بدست آوردن ماتریس تصمیم نرمال R_{ij} با استفاده از رابطه (۱).

$$R_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m A_{ij}^2}} \quad [1]$$

گام چهارم: تشکیل ماتریس های مقایسه زوجی. در این ماتریس، عنصر a_{ij} نشان دهنده ترجیح شاخص i در مقابل شاخص j مطابق نظر خبرگان است. چنانچه $i=j$ باشد، همواره $a_{ij}=1$ است. اعداد ۳، ۵، ۷، ۹، مطابق قضاوت های ترجیحی متوسط، قوی، کاملاً قوی و مطلق هستند. همچنین در این ماتریس همواره $a_{ij} = 1/a_{ji}$ است. ماتریس های مقایسه زوجی باید سازگار باشند تا اعتبار پرسش نامه مورد تایید قرار گیرد. چنانچه ناسازگاری ماتریس ها تایید شود، پرسشنامه مجدداً توزیع می شود.

گام پنجم: تشکیل ماتریس زوجی جامع. این ماتریس از ترکیب نظرات خبرگان ایجاد شده و با توجه به آن، وزن معیارها محاسبه میشود. ماتریس فوق الذکر با استفاده از رابطه (۲) بدست می آید.

$$GM_i = \left[\prod_{j=1}^N a_{ij} \right]^{\frac{1}{N}} \quad [2]$$

گام ششم: تعیین اهمیت نسبی هر شاخص. وزن نسبی هر شاخص پس از بی مقیاس سازی ماتریس مقایسه زوجی جامع (۳) با استفاده از رابطه (۴) بدست می آید.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad [۳]$$

$$W_j = \frac{\sum_{i=1}^n n_{ij}}{n} \quad [۴]$$

گام هفتم: محاسبه ماتریس نرمال وزین V_{ij} . این ماتریس با ضرب ماتریس R_{ij} در وزن مربوطه W_j (ماتریس قطری) بدست می آید که در رابطه (۵) نشان داده شده است.

$$V_{ij} = W_j \times n_{ij} \quad [۵]$$

گام هشتم: بدست آوردن راه حل ایده آل مثبت (A^+) و ایده آل منفی (A^-). این راه حل ها به صورت روابط (۶ و ۷) تعریف می شوند:

$$A^+ = \left\{ \left(\max_{ij} V_{ij} \right) j \in J \left(\min_{ij} V_{ij} \right) j \in J \right\} \quad [۶]$$

$$A^- = \left\{ \left(\min_{ij} V_{ij} \right) j \in J \left(\max_{ij} V_{ij} \right) j \in J \right\} \quad [۷]$$

گام نهم: محاسبه اندازه فاصله. فاصله هر گزینه از راه حل های ایده آل مثبت و منفی به کمک فاصله اقلیدسی بر اساس روابط (۸ و ۹).

$$S_i^+ = \left[\prod_{k=1}^k S_i^{k+} \right]^{\frac{1}{k}} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad [۸]$$

$$S_i^- = \left[\prod_{k=1}^k S_i^{k-} \right]^{\frac{1}{k}} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad [۹]$$

گام دهم: محاسبه نزدیکی نسبی هر گزینه به راه حل ایده آل با استفاده از رابطه (۱۰).

$$C_i^* = \frac{S_i^+}{(S_i^+ + S_i^-)} \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad [۱۰]$$

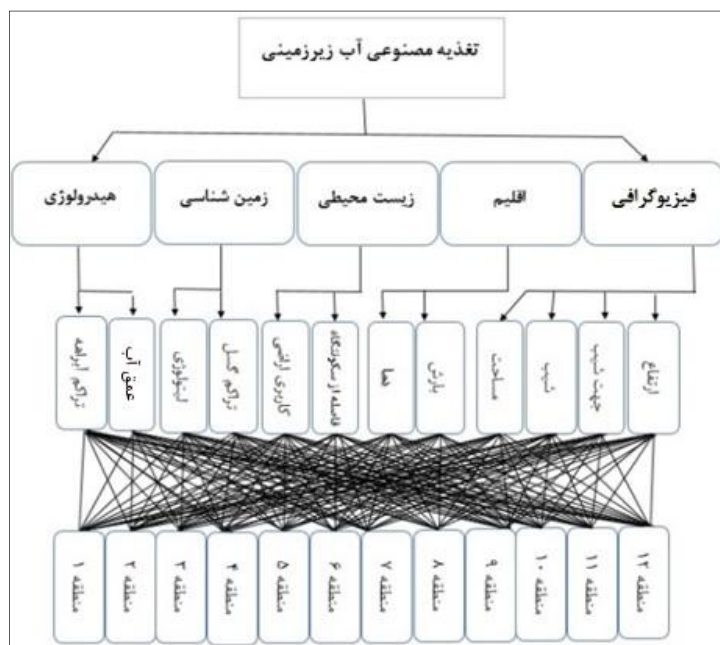
گام یازدهم: در این گام بر طبق ارزش های ترجیحی که نشان دهنده بیشترین و کمترین ترجیح راه حل ها هستند، گزینه ها به ترتیب نزولی مرتب می شوند

نتایج و بحث

بر اساس مطالعات اخیر که بر روی توسعه منابع آب در ایران صورت گرفته است از ۴۳۰ میلیارد متر مکعب کل بارندگی سالیانه کشور، حدود ۲۰ درصد از آن به صورت سیلاب های ناگهانی با ورود به پلایاها و دریاها از دست می روند (۳۷،۵۷). پخش سیلاب بر روی آبخوان ها، یک استراتژی مناسب برای مهار سیلاب ها، مقابله با کم آبی و همچنین یک شیوه مطلوب برای مدیریت منابع آب به شمار می رود (۲۵، ۳۸). بهترین محل برای اجرای طرح های تغذیه مصنوعی خاک های درشت دانه، ابتدای آبرفت های ماسه ای، خاک های سنگلاخی، مناطق کارستی، مسیل های بایستر شنی و مخروط افکنه رودخانه های فصلی می باشد (۶۰). موفقیت طرح های تغذیه مصنوعی مستلزم جمع آوری و تکمیل داده ها و اطلاعات بسیار زیادی است و نخستین پیش شرط جهت احداث طرح تغذیه؛ شناسایی محل مناسب است (۴۳). مکان یابی از مهمترین مسائل در تغذیه مصنوعی به حساب می آید (۳۰). مکانیابی به عوامل و شاخص های زیادی بستگی دارد. بدون استفاده از یک سیستم توانمند که توانایی استفاده از لایه های اطلاعاتی موثر و تحلیل آنها را داشته باشد، امکان حل این معضل امکان پذیر نخواهد بود (۹). سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل توانایی مدیریت حجم عظیمی از داده ها، در این خصوص مناسب می باشد. استفاده از تکنیک های سیستم اطلاعات جغرافیایی با در نظر گرفتن تمامی پارامترها به طور همزمان سبب صرفه جویی در زمان و هزینه مالی می گردد (۴۱). به دلیل وجود عوامل متعدد در عملیات مکان یابی تغذیه مصنوعی، نیاز به استفاده از سیستم تصمیم گیری چند معیاره نیز احساس می شود. در این پژوهش از روش های تصمیم گیری چند معیاره گروهی در کنار سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور تعیین عرصه های مستعد برای تغذیه مصنوعی استفاده گردیده است. مدل AHP به کمک ساختاردهی مناسب مسئله و تجزیه آن به قسمت های ساده تر و همچنین با وزن دهی معیارها می تواند به TOPSIS که فن خاصی برای وزن دهی معیارها بیان نمی کند، کمک کند. بنابراین در پژوهش حاضر با توجه به کاستی های هر یک از این روش ها از رویکرد ترکیبی AHP-TOPSIS استفاده شده است. بنابراین در این پژوهش برای انتخاب بهترین مکان برای تغذیه مصنوعی آبخوان ها از روش TOPSIS و برای وزن دهی به معیارها از روش AHP استفاده شده است. در این بخش نتایج و یافته های حاصله در قالب وزن دهی معیارها و رتبه بندی گزینه ها ارائه می گردد. نتایج حاصل از روش ترکیبی به ترتیب جداول (۲ تا ۹) و شکل (۶) می باشد.

ساخت سلسله مراتب معیارها و وزن دهی آنها

در گام نخست اقدام به تهیه ساختار سلسله مراتبی گردید که شامل چهار سطح هدف از پژوهش، زیرمعیارها، معیارها و گزینه‌ها می‌باشد (شکل ۵). ساختن مرحله سلسله مراتبی مهمترین فرایند تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد، زیرا در این قسمت با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده، می‌توان آنها را به شکلی ساده که با ذهن و طبیعت انسان مطابقت داشته باشد تبدیل نمود (۱۹).



شکل ۴. ساختار سلسله مراتبی

پس از تعیین معیارها و زیر معیارها از متخصصان خواسته شد که ماتریس‌های مقایسات زوجی را برای تعیین وزن معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها تکمیل کنند. بدین منظور، پرسشنامه تحلیل سلسله مراتبی طراحی و توسط ۱۵ ژئومورفولوژیست و ۱۱ نفر متخصص هیدرولوژی به منظور انتخاب بهترین مکان برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌های زیر زمینی در منطقه مورد مطالعه پاسخ داده شد و در نتیجه نظر افراد مختلف در رتبه‌بندی در نظر گرفته شد. در ابتدا به دلیل ناسازگاری برخی از ماتریس‌های مقایسه زوجی حاصل از نظر خبرگان، نیاز به توزیع مجدد و اصلاح پرسشنامه‌ها ایجاد شد تا سازگاری ماتریس‌ها و در نتیجه اعتبار پرسشنامه تایید شود. ماتریس‌های مقایسات زوجی با استفاده از رابطه (۲) ترکیب و ماتریس جامع تشکیل شد. ماتریس جامع معیارها به صورت زیر است (جدول ۲).

جدول ۲. ماتریس جامع معیارها

زمین شناسی	هیدروژئولوژیکی	فیزیوگرافی	اقلیم	زیست محیطی	بردار وزن
۱	۳/۹۷	۵/۴۳	۷/۲۳	۸/۱۲	۰/۵۰۵
هیدروژئولوژی	۱	۳/۹۷	۵/۴۳	۷/۲۳	۰/۲۵۵
فیزیوگرافی		۱	۳/۹۷	۵/۴۳	۰/۱۳۵

۰/۰۶۹	۳/۹۷	۱			اقلیم
۰/۰۳۳	۱				زیست محیطی
۱	۲۵/۷۵۰	۱۷/۸۸۲	۱۰/۸۳۶	۵/۵۴۴	جمع
نرخ سازگاری: ۰/۰۰۳۶					

برای بررسی اعتبار مقایسات زوجی مقایسه‌ای انجام گرفته میان معیارها، باید ضریب یکنواختی ماتریس بوسیله معادله زیر محاسبه شود:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad [11]$$

که در آن، CI: ضریب یکنواختی Consistency index ماتریس مقایسه‌های زوجی، λ_{max} بزرگترین بردار ویژه ماتریس مقایسه‌های زوجی و n تعداد معیارهای مسئله است. سپس با استفاده از معادله زیر می‌توان نرخ سازگاری را محاسبه نمود:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad [12]$$

RI: شاخص سازگاری تصادفی است که از ماتریس مقایسه‌های زوجی که به طور تصادفی تولید شده، حاصل می‌شود (جدول ۳)

جدول ۳. شاخص‌های تصادفی سازگاری (۳۷)

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
RI	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۵۶	۱/۶۷	۱/۵۹

اگر نرخ سازگاری کوچک‌تر از ۰/۱ باشد، مقایسه‌ها قابل قبول است. اما اگر بزرگتر یا مساوی ۰/۱ باشد، در آن صورت قضاوت‌ها ناسازگار بوده و باید مقادیر ماتریس مقایسه‌های زوجی دوباره بررسی و تجدید نظر شوند. نرخ سازگاری ماتریس جامع معیارها با استفاده از فرمول‌های ۱۱ و ۱۲ محاسبه گردید و مقدار آن ۰/۰۰۳۶ بدست آمد که نشان دهنده سازگاری بالای این ماتریس است. پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی جامع، وزن معیارهای اصلی با استفاده از AHP، بر اساس روابط (۳ و ۴) محاسبه گردید. نتایج حاصل از وزن معیارهای اصلی نشان داد که معیارهای زمین شناسی، هیدروژئولوژیکی، فیزیوگرافی، اقلیم و زیست محیطی به ترتیب با کسب امتیازات (۰/۰۳۳، ۰/۰۶۹، ۰/۱۳۵، ۰/۲۵۵، ۰/۵۰۵) بیشترین تاثیر را در مکان‌یابی تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی داشته‌اند. بطور مشابه وزن معیارهای فرعی نیز با توجه به ماتریس مقایسه زوجی آنها محاسبه شد. این اوزان در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴. ماتریس جامع زیر معیارها

بردار وزن	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	۱	۱/۲۳	۱/۸۷	۲/۳۲	۳/۱۲	۳/۸۹	۴/۳۲	۵/۱۴	۶/۸۷	۷/۲۷	۷/۹۱	۸/۶۳

B	۱	۱/۲۳	۱/۸۷	۲/۳۲	۳/۱۲	۳/۸۹	۴/۳۲	۵/۱۴	۶/۸۷	۷/۲۷	۷/۹۱	۰/۱۷۸
C		۱	۱/۲۳	۱/۸۷	۲/۳۲	۳/۱۲	۳/۸۹	۴/۳۲	۵/۱۴	۶/۸۷	۷/۲۷	۰/۱۴۲
D			۱	۱/۲۳	۱/۸۷	۲/۳۲	۳/۱۲	۳/۸۹	۴/۳۲	۵/۱۴	۶/۸۷	۰/۱۱۲
E				۱	۱/۲۳	۱/۸۷	۲/۳۲	۳/۱۲	۳/۸۹	۴/۳۲	۵/۱۴	۰/۰۸۷
F					۱	۱/۲۳	۱/۸۷	۲/۳۲	۳/۱۲	۳/۸۹	۴/۳۲	۰/۰۶۸
G						۱	۱/۲۳	۱/۸۷	۲/۳۲	۳/۱۲	۳/۸۹	۰/۰۵۳
H							۱	۱/۲۳	۱/۸۷	۲/۳۲	۳/۱۲	۰/۰۴۱
I								۱	۱/۲۳	۱/۸۷	۲/۳۲	۰/۰۳۲
J									۱	۱/۲۳	۱/۸۷	۰/۰۲۵
K											۱/۲۳	۰/۰۲۰
L												۱
جمع	۴/۳۰۸	۵/۴۲۲	۷/۱۶۶	۹/۳۴۸	۱۲/۳۲	۱۶/۰۱	۲۰/۱	۲۴/۹۸	۳۱/۵۳	۳۸/۳۷	۴۵/۷۵	۵۳/۵۷

نرخ سازگاری: ۰/۰۰۶۵

*A: لیتولوژی، B: شیب، C: عمق برخورد با سطح آب زیرزمینی، D: کاربری اراضی، E: سطح جمع کننده، F: تراکم آبراهه، G: تراکم گسل، H: فاصله از سکونگاه، I: بارش، J: ارتفاع، K: جهت شیب، L: دما.

نتایج حاصل از وزن دهی زیر معیارها نشان داد که لیتولوژی، شیب، عمق برخورد با سطح آب زیر زمینی و کاربری اراضی بیشترین تاثیر را در مکان یابی عرصه های مستعد برای تغذیه مصنوعی داشته اند. لیتولوژی تاثیر زیادی بر روی نفوذ پذیری دارد و نفوذپذیری مناسب سازندها باعث ذخیره مناسب آب می گردد (۱۴،۴۶). شیب یکی دیگر از مهمترین عوامل موثر در مکان یابی عرصه های مستعد تغذیه مصنوعی سفره های آب زیر زمینی می باشد که نقش مهمی در کنترل سیل و نفوذپذیری دارد (۱۳،۱۶). بر اساس نتایج حاصل از تحقیقات محققین داخلی و خارجی شیب های صفر تا ۳ درجه مناسب ترین شیب برای تغذیه مصنوعی می باشد. ضخامت آبرفت و عمق سطح آب زیرزمینی نیز یکی از عوامل تاثیرگذار در تغذیه آب های زیرزمینی است. میزان ضخامت لایه هودار با میزان ذخیره آب دارای رابطه مستقیم می باشد، بنابراین با افزایش ضخامت این لایه میزان ذخیره آب نیز افزایش می یابد (۱۴). نوع بهره برداری از زمین نیز در تغذیه مصنوعی تاثیر زیادی دارد. وجود مناطق مسکونی، بخش کشاورزی، باغات و کفه های نمکی و مواردی از این قبیل باعث ایجاد محدودیت در اجرای برنامه تغذیه مصنوعی می گردد. از میان انواع کاربری ها تنها مراتع فقیر از نظر پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی مناسب تشخیص داده شده اند تا منابع پوشش گیاهی طبیعی نیز تخریب نگردد (۱۴). به منظور تعیین وزن هر یک از گزینه ها (مناطق) نیز به تشکیل ماتریس های مقایسات زوجی گزینه ها با توجه به معیارها پرداخته شد و وزن هر یک از گزینه ها با توجه به ۵ معیار اصلی محاسبه گردید. وزن دهی

به گزینه‌ها با توجه به معیارها، با استفاده از ۲۶ DM صورت گرفت و از تلفیق آنها ماتریس جامع گزینه‌ها با توجه به معیارها محاسبه و از این طریق وزن نهایی هر یک از مناطق با توجه به معیارها محاسبه گردید (جدول ۵). نرخ سازگاری نیز برای هر یک از ماتریس‌ها محاسبه گردید. نتایج نشان داد که با توجه به معیارهای فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و زیست‌محیطی منطقه ۴ بالاترین امتیازات (۰/۱۴۵)، (۰/۲۷۳، ۰/۱۶۹، ۰/۱۵۹) را کسب نموده است و مناطق ۶ و ۷ به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند و در مقابل مناطق ۱۱ و ۱۲ با کسب پایین‌ترین امتیاز در رتبه‌های آخر قرار گرفته‌اند

جدول ۵. وزن هر یک از گزینه‌ها با توجه به معیارها

معیارها	مناطق	فیزیوگرافی	اقلیم	زمین شناسی	هیدرولوژی	زیست محیطی
۱	۰/۰۵۵	۰/۰۱۶	۰/۰۲۹	۰/۰۳۴	۰/۰۳۸	
۲	۰/۰۶۶	۰/۰۲۹	۰/۰۴۹	۰/۰۵۵	۰/۰۶۲	
۳	۰/۰۷۵	۰/۰۳۹	۰/۰۶۱	۰/۰۷۱	۰/۰۷۷	
۴	۰/۱۴۵	۰/۰۵۴	۰/۰۲۷۳	۰/۱۶۹	۰/۱۵۹	
۵	۰/۰۸۴	۰/۰۶۵	۰/۰۶۷	۰/۰۹۴	۰/۰۹۳	
۶	۰/۱۲۰	۰/۰۸۲	۰/۱۶۸	۰/۱۳۵	۰/۱۳۸	
۷	۰/۱۱۱	۰/۰۸۹	۰/۱۲۶	۰/۱۲۵	۰/۱۲۱	
۸	۰/۰۸۹	۰/۰۹۳	۰/۰۷	۰/۱۰۴	۰/۱	
۹	۰/۱	۰/۱۰۲	۰/۰۷۷	۰/۱۱۲	۰/۱۱۲	
۱۰	۰/۰۶	۰/۱۱۱	۰/۰۴	۰/۰۴۵	۰/۰۴۸	
۱۱	۰/۰۴۶	۰/۱۳۸	۰/۰۲۲	۰/۰۳	۰/۰۳	
۱۲	۰/۰۴	۰/۱۷۷	۰/۰۱۲	۰/۰۲۱	۰/۰۲۲	
نرخ سازگاری	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۲۷	

رتبه‌بندی مناطق برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌های زیر زمینی با استفاده از روش TOPSIS

پس از تعیین وزن هر یک از معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها اقدام به تشکیل ماتریس تصمیم اولیه وزین گردید. بدین صورت که وزن‌های تعلق گرفته به هر یک از مناطق با توجه به معیارهای مربوطه را در وزن آن معیار و زیرمعیارهای مربوط به آن ضرب نموده و از این طریق ماتریس تصمیم اولیه وزین شکل گرفت. به عنوان مثال منطقه ۱ با توجه به معیار فیزیوگرافی وزن ۰/۰۵۵ را کسب نموده است. وزن معیار فیزیوگرافی نیز که در ماتریس جامع معیارها محاسبه گردیده است ۰/۱۳۵ می‌باشد. وزن زیرمعیارهای فیزیوگرافی نیز که شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب و مساحت می‌باشد به ترتیب (۰/۰۲۵، ۰/۱۷۸، ۰/۰۲۰، ۰/۰۸۷) می‌باشد. نحوه محاسبه وزن نهایی منطقه ۱ با توجه به معیار فیزیوگرافی به ترتیب زیر می‌باشد

$$\frac{0.0087 + 0.187 + 0.02 + 0.025}{4} = 0.06 \quad [۱۳]$$

$$0.06 \times 0.135 = 0.0081 \quad [۱۴]$$

$$0.0081 \times 0.055 = 0.00044 \quad [۱۵]$$

ماتریس تصمیم اولیه وزین (جدول ۶) با استفاده از رابطه (۱) نرمالیزه گردید (جدول ۷). این عملیات از طریق تقسیم تک تک درآیه‌های ماتریس داده‌ها بر مجذور مجموع ستونی توان دو درآیه‌ها صورت می‌گیرد.

جدول ۶. ماتریس تصمیم اولیه وزین

معیارها	مناطق	فیزیوگرافی	اقلیم	زمین شناسی	هیدرولوژی	زیست محیطی
۱		۰/۰۰۰۴۴	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۱۹۷	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۱
۲		۰/۰۰۰۶۶	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۳۳۳	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۱۵
۳		۰/۰۰۰۷۵	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۴۱۴	۰/۰۰۱۸۴	۰/۰۰۰۱۷
۴		۰/۰۰۱۴۵	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۱۸۵۶	۰/۰۰۴۳۹	۰/۰۰۰۳۹
۵		۰/۰۰۰۸۴	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۴۵۵	۰/۰۰۲۴۶	۰/۰۰۰۲۳
۶		۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۱۱۴۲	۰/۰۰۳۵۱	۰/۰۰۰۳۴
۷		۰/۰۰۱۱۱	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۸۵۶	۰۰۳۲۵	۰/۰۰۰۰۳
۸		۰/۰۰۰۸۹	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۴۷۶	۰/۰۰۲۷۲	۰/۰۰۰۲۵
۹		۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۵۲۳	۰/۰۰۲۹۳	۰/۰۰۰۲۸
۱۰		۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۲۷۲	۰/۰۰۱۱۷	۰/۰۰۰۱۲

۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۷۹	۰/۰۰۱۴۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۴	۱۱
۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۸۱	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۴	۱۲

جدول ۷. ماتریس تصمیم نرمالیزه وزین

معیارها	فیزیوگرافی	اقلیم	زمین شناسی	هیدرولوژی	زیست محیطی
مناطق					
۱	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳
۲	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۶
۳	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۷
۴	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۱۵
۵	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۹
۶	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۳
۷	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲
۸	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۱	۰/۱
۹	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۱
۱۰	۰/۰۶	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴
۱۱	۰/۰۴	۰/۱۳	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳
۱۲	۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲

پس از محاسبه ماتریس نرمالیزه وزین باید ایده آل مثبت و منفی محاسبه گردد. نحوه محاسبه آن بدین صورت است که در ایده آل مثبت، اگر یک معیار با توجه به هدفی که داریم برای ما روند صعودی داشته باشد، یعنی این که هر چه عدد آن معیار بیشتر باشد برای ما مطلوب تر باشد برای محاسبه ایده آل مثبت بزرگترین عدد در ستون ماتریس بی بعد وزین را می گذاریم و بالعکس (جدول ۸).

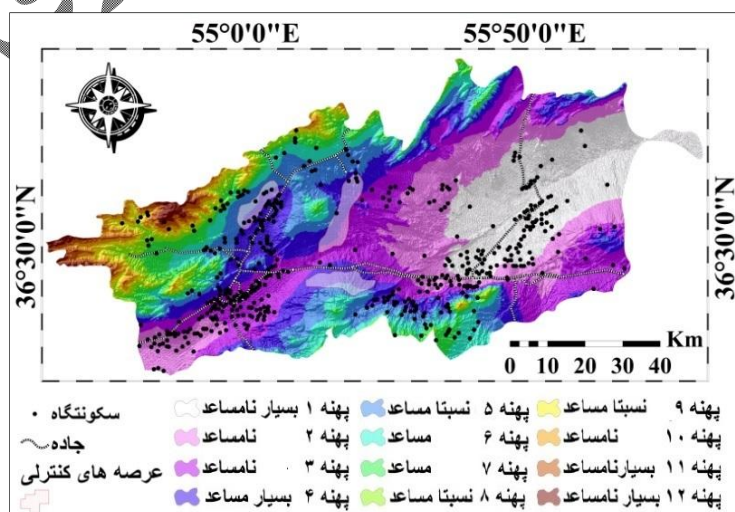
جدول ۸. مقادیر ایده آل مثبت و ایده آل منفی (بالاترین و پایین ترین عملکرد هر شاخص)

معیارها	فیزیوگرافی	اقلیم	زمین شناسی	هیدرولوژی	زیست محیطی
ایده آل مثبت A+	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۱۵
ایده آل منفی A-	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲

به منظور به دست آوردن میزان فاصله هر یک از گزینه ها (مناطق) از ایده آل مثبت از فرمول (۸) و ایده آل منفی از فرمول (۹) استفاده شده است. برای محاسبه نزدیکی نسبی هر گزینه به راه حل ایده آل از رابطه (۱۰) استفاده شده است. نتایج حاصل از رتبه بندی مکان های بهینه تغذیه مصنوعی آبخوان های منطقه مورد مطالعه به شرح جدول (۹) و شکل (۶) می باشد.

جدول ۹. رتبه بندی مکان های تغذیه مصنوعی آبخوان ها

پارامترها	$\overline{S_i^+}$	$\overline{S_i^-}$	$\overline{C_i}$	رتبه	پهنه‌بندی
مناطق					
۱	۰/۳۲	۰/۱	۰/۲۳	دوم	بسیار نامساعد
۲	۰/۲۹	۰/۱	۰/۲۶	هشتم	نامساعد
۳	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۲۹	هفتم	نامساعد
۴	۰/۱۶	۰/۳۴	۰/۶۸	اول	بسیار مساعد



نسبتا مساعد	ششم	۰/۳۵	۰/۱۴	۰/۲۵	۵
مساعد	دوم	۰/۵۶	۰/۲۴	۰/۱۸	۶
مساعد	سوم	۰/۴۸	۰/۱۹	۰/۲۱	۷
نسبتا مساعد	پنجم	۰/۳۶	۰/۱۴	۰/۲۵	۸
نسبتا مساعد	چهارم	۰/۳۹	۰/۱۶	۰/۲۴	۹
نامساعد	نهم	۰/۲۴	۰/۰۹	۰/۳	۱۰
بسیار نامساعد	یازدهم	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۳۳	۱۱
بسیار نامساعد	دوازدهم	۰/۱۳	۰/۱	۰/۳۴	۱۲

شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی برای تغذیه مصنوعی

ارزیابی روش

به منظور ارزیابی روش از عرصه‌های اجرا شده به منظور تغذیه مصنوعی توسط وزارت جهاد کشاورزی به عنوان عرصه‌های کنترل استفاده شده است. بدین منظور نقشه عرصه‌های مستعد تغذیه مصنوعی با نقشه عرصه‌های کنترل مقایسه شده و تعداد کل پیکسل‌های منطبق بر عرصه‌های کنترلی در کلاس کاملاً مناسب نسبت به فراوانی تعداد پیکسل‌های مناسب پخش سیلاب در عرصه‌های کنترل محاسبه گردید. در واقع درصد همپوشانی آنها به عنوان معیار ارزیابی مدل در نظر گرفته شد. از طریق رابطه A میزان همپوشانی عرصه‌های پیشنهادی با عرصه‌های کنترل به دست آمد.

$$A = \frac{a}{b} \times 100 \quad [۱۶]$$

$$A = \frac{16.23}{18.65} \times 100 = 87.02$$

که در آن a مساحت عرصه‌های پیشنهادی و b مساحت عرصه‌های کنترلی می‌باشد و A در واقع بیانگر میزان صحت مدل می‌باشد. نتایج حاصل از همپوشانی مقدار ۸۷/۰۲ درصد را نشان می‌دهد یعنی حدود ۸۷ درصد از عرصه‌های کاملاً مناسب با عرصه‌های کنترلی که عملیات تغذیه مصنوعی در آن اجرا شده است منطبق است که این موضوع بیانگر دقت بالای روش مورد استفاده در این پژوهش می‌باشد.

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش تعیین اهمیت و اولویت‌بندی عوامل مختلف موثر در امر مکان‌یابی و مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از رویکرد ترکیبی AHP-TOPSIS گروهی در پی نظرخواهی از متخصصان در حوضه آبخیز شاهرود- بسطام می‌باشد. به منظور تعیین عرصه‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی از ۵ معیار شامل فیزیوگرافی، زیست محیطی، اقلیم، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و ۱۲ زیر معیار شامل ارتفاع، لیتولوژی، شیب، کاربری اراضی، تراکم آبراهه، عمق برخورد با سطح آب زیر زمینی، بارش، تراکم گسل، فاصله

از سکونتگاه، ارتفاع، سطح جمع کننده و دما استفاده شده است. برای تعیین وزن معیارها، زیر معیارها و گزینه ها از مقایسات زوجی و نظرات کارشناسی استفاده شده است. پس از تعیین وزن ها، اقدام به تشکیل ماتریس تصمیم وزنی اولیه گردید و در گام بعد ماتریس تصمیم نرمالیزه گردیده و در نهایت با استفاده از روش TOPSIS به رتبه بندی مناطق پرداخته شد. نتایج حاصل از وزن زیر معیارها نشان داد که زیر معیارهای لیتولوژی، شیب، عمق برخورد با سطح آب زیرزمینی و کاربری اراضی به ترتیب با کسب امتیازات (۰/۱۷۸، ۰/۲۱۸)، (۰/۱۴۲، ۰/۱۱۲) بیشترین تاثیر را در تعیین عرصه های مناسب برای تغذیه مصنوعی داشته اند که با نتایج (۲،۳۸،۱۴،۲۰،۲۸،۳۹،۶۱) مطابقت دارد. بر اساس نتایج حاصل از رتبه بندی مناطق برای تغذیه مصنوعی سفره های آب زیرزمینی، پهنه ۴ با داشتن کمترین فاصله از ایده آل مثبت (۰/۱۶) و بیشترین فاصله از ایده آل منفی (۰/۳۴) و با کسب بالاترین امتیاز (۰/۶۸۴۰) به عنوان مناسب ترین پهنه شناخته شد که از مهمترین دلایل آن می توان به شیب مناسب، نفوذپذیری بالا، فاصله مناسب از مناطق مسکونی، ضخامت زیاد لایه غیر اشباع و عمق زیاد سطح آب زیر زمینی و قرار نگرفتن پهنه در مناطق مسکونی و کشاورزی اشاره نمود و در مقابل پهنه های ۱۱ و ۱۲ به ترتیب با کسب (۰/۱۲، ۰/۱۳) امتیاز به عنوان نامناسب ترین پهنه ها شناخته شده اند. به منظور صحت سنجی روش، نتایج حاصل از این روش با کنترل زمینی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت که بیانگر دقت بالای مدل و رضایت بخش بودن به کارگیری روش های تصمیم گیری چند معیاره گروهی در تلفیق با GIS در مکان یابی عرصه های مناسب برای تغذیه مصنوعی سفره های آب زیرزمینی می باشد که با نتایج آل شیخ و همکاران (۲۷) و فرجی سبکبار و همکاران (۱۵) که در تحقیقات خود به افزایش دقت در به کارگیری روش های مفهومی با سامانه اطلاعات جغرافیایی اشاره کرده اند مطابقت دارد. در مجموع از کل منطقه مطالعاتی به مساحت ۷۶۳/۲۵ کیلومتر مربع، ۶/۷۳ درصد (۵۱۳/۹۷ کیلومتر مربع) در کلاس بسیار مساعد برای تغذیه مصنوعی، ۱۲/۸۲ درصد (۹۷۴/۷۳ کیلومتر مربع) در کلاس مساعد، ۸/۷۷ درصد (۶۶۵/۲۸ کیلومتر مربع) در کلاس نسبتا مساعد، ۴۵/۲۳ درصد (۳۴۳۸/۹۴ کیلومتر مربع) در کلاس نامساعد و ۲۶/۴۷ درصد (۲۰۱۲/۵۸ کیلومتر مربع) در کلاس بسیار نامساعد قرار گرفته است. با توجه به دقت بالا و عملیاتی بودن سیستم اطلاعات جغرافیایی در تلفیق با روش های تصمیم گیری چند معیاره گروهی به مدیران و برنامه ریزان حوضه های مدیریت منابع آب و همچنین پژوهشگران پیشنهاد می گردد به منظور افزایش کارایی، سرعت و دقت مطالعات کاربردی در زمینه تعیین عرصه های مستعد برای تغذیه مصنوعی از سیستم اطلاعات جغرافیایی در کنار روش های تصمیم گیری چند معیاره مانند TOPSIS, ELECTER, PROMETHEE و غیره استفاده کنند.

منابع:

۱. ابراهیمی مقدم، ح. ۱۳۸۲. مکان یابی مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان ها، دشت اسفراین. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم تهران.
۲. افتخاری اهندانی، س.، و. بردی شیخ، ن. نورا، س.ج. طباطبایی یزدی و د. اختری. ۱۳۹۳. شناسایی و اولویت بندی مکان های مناسب تغذیه آب زیرزمینی در سیستم حوضه آبخیز (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گلبهار، خراسان رضوی)، نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک ۱۲ (۳): ۳۰-۱.
۳. امیری، م. و ب. یعقوبی. ۱۳۸۵. ارزیابی عرصه های پیشنهادی پخش سیلاب با بررسی روش های بهره وری از سیلاب. کارگاه فنی همزیستی با سیلاب. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
۴. حامد پناه، ر. ۱۳۸۱. بررسی کارایی مدل های مختلف در مکان یابی پخش سیلاب. نشریه بیابان ۷ (۱): ۲۹-۱۹.
۵. درگاه ملی آمار ایران. ۱۳۸۵.
۶. رامشت، م. ح و ع. ر. عرب عامری. ۱۳۹۱. پهنه بندی حوضه آبخیز شاهرود-بسطام از نظر تغذیه مصنوعی با استفاده از روش تخصیص خطی و تکنیک GIS. فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی ۱۲ (۴۰): ۱۴۹-۱۳۴.
۷. رامشت، م. ح و ع. ر. عرب عامری. ۱۳۹۲. پهنه بندی حوضه آبخیز بیاض به منظور تغذیه مصنوعی آب های زیر زمینی با استفاده از روش AHP و تکنیک GIS. نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی ۴۵: ۹۶-۶۹.
۸. زکی زاده، ف. و ح. ملکی نژاد. ۱۳۹۱. مکان یابی مناطق مناسب برای پخش سیلاب با استفاده از GIS و مدل ریاضی بولین. اولین کنفرانس ملی سامانه های آبگیر ایران، مشهد مقدس، ۲ تا ۲۳ آذرماه ۱۳۹۱.
۹. سالاری، م. ۱۳۹۰. مکانیابی مناطق مناسب جهت دفن پسماندهای جامد شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. پایان نامه کارشناسی ارشد عمران-محیط زیست، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
۱۰. سلطانی، م. ج. ۱۳۸۱. کاربرد GIS در مکان یابی پخش سیلاب. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۲: ۲۳-۳۸.
۱۱. صفاری، ا.، م. جان احمدی و م. رعیتی شوازی. ۱۳۹۴. کاربرد مدل تلفیقی AHP/FUZZY در مکانیابی عرصه های مناسب پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی (مطالعه موردی: دشت بوشکان-استان بوشهر). هیدروژئومورفولوژی ۳: ۹۷-۸۱.
۱۲. صمدی، ج. ۱۳۹۵. مدلسازی مکان یابی تغذیه مصنوعی آبخوان کاشان با استفاده از روش های آماری، AHP و ملاحظات محیط زیستی آب های زیرزمینی. تحقیقات منابع آب ایران ۱۲: ۹۴-۸۴.
۱۳. عبدی، پ. و ج. غیومیان. ۱۳۷۹. تعیین محل های مناسب برای پخش سیلاب در دشت زنجان با استفاده از داده های ژئوفیزیکی و GIS، مجموعه مقالات دومین همایش سراسری دست آوردهای طرح آبخوان داری، ۹۹-۸۶.
۱۴. فیضی، ز.، ا. ر. کشتکار، ا. ملکیان و ه. قاسمیه. ۱۳۹۵. پهنه بندی عرصه های مستعد پخش سیلاب با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: جنوب دشت کاشان). نشریه علوم آب و خاک ۲۰ (۷۸): ۱۴۱-۱۲۹.
۱۵. فرجی سبکبار، ع.، ح. نصیری، م. حمزه، س. طالبی و ی. رفیعی. ۱۳۹۰. تعیین عرصه های مناسب برای تغذیه مصنوعی بر پایه تلفیق روش های ANP و مقایسه زوجی در محیط GIS، مطالعه موردی دشت گربایگان فسا. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی ۲۲ (۴۴): ۱۶۶-۱۴۴.
۱۶. قرمر چشمه، ب. ۱۳۷۹. تعیین شاخص های مورد نیاز در مکان یابی پخش سیلاب. مجموعه مقالات دومین همایش سراسری دست آوردهای طرح آبخوانداری: ۳۹-۵۰.

۱۷. قائمی زاده، ف.، ص. معروفی، ا. ترنجیان، ع. ر. ایلدرومی و ع. ملکی. ۱۳۹۵. کاربرد ابزارهای پشتیبانی تصمیم گیری با هدف مدیریت مناسب تغذیه آبخیز در دشت همدان- بهار. مهندسی و مدیریت آبخیز ۸: ۲۷-۱۳.
۱۸. محمدی، ع و س. محمد حسین زاده. ۱۳۸۶. کاربرد رویکرد تلفیقی AHP/DEM در رتبه بندی نمایندگی های بیمه. پژوهش نامه اقتصادی ۳: ۳۰۴-۲۸۱.
۱۹. مهدوی، ر.، ج. عابدی کوپایی، م. رضایی و م. عبدالحسینی. ۱۳۸۳. مکان یابی محل های مناسب تغذیه مصنوعی منابع آب زیر زمینی. دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.
۲۰. مهدوی، ع.، م. ر. نوری امام زاده، ر. مهدوی نجف آبادی و س. ح. طباطبایی. ۱۳۸۹. مکان یابی عرصه های مناسب تغذیه مصنوعی سفره های زیرزمینی به روش منطق فازی در حوضه آبریز دشت شهرکرد، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۵۶: ۷۶-۶۳.
۲۱. ملکیان، ا. ح. علی پور، م. م. خیرخواه زرکش و س. قره چلو. ۱۳۹۳. کاربرد سامانه پشتیبانی تصمیم گیری در مکان یابی پخش سیلاب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ایور استان خراسان شمالی). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۱۸: ۱۷۷-۱۶۵.
۲۲. موحد دانش، ع. ا. ۱۳۸۳. هیدرولوژی آبهای سطحی. انتشارات سمت، تهران.
۲۳. نوری، ب. و ج. غیومیان. ۱۳۸۳. تعیین مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب های زیر زمینی به روش حوضچه های تغذیه. مجله منابع طبیعی ایران ۵۷ (۳): ۱۵-۱.

24. Arabameri, A R., Z. Ameripoor, S. Kazemi mohsenabadi and M. R. Biglari. 2014. Zoning Mashhad watershed for artificial recharge of underground aquifers using TOPSIS model and GIS technique. Global Journal Inc 14(8): 44-53.
25. ASCE STANDARD. 2001. Environmental and Water Resources Institute, American Society of Civil Engineers. Standard guidelines for artificial recharge of groundwater, ASCE standards, EWRI/ ASCE 34-01:106.
26. Abu-Taleb, M. F. 2003. Recharge of groundwater through multi-stage reservoirs in a desert basin. Environmental Geology 44: 379-390.
27. Alesheikh, A., A. Soltani, M. J. Nouri and N. Khalilzadeh. (2008). Land assessment for flood spreading site selection using geospatial information system. International Jorنال of Environmental Science Technology 5: 455-462.
28. Bimal Nepal, Q. M. P and Y. Alper Murat. 2010. A fuzzy AHP approach to prioritization of cs attributes in target planning for automotive product development. J. Expert Systems With Applications 37: 6775- 6786.
29. Brema, J and G. Arulraj. 2012. Identification of sites suitable for artificial recharging and groundwater flow modeling in Noyyal River basin. OIDA International Journal of Sustainable Development 3:45-58.
30. Bize, J., J. Lemoine and L. Bourguet. 1972. L'alimentation artificielle des nappes souterraines. Masson et Cie:160.
31. Bouwer, H. 2002. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. Hydrogeology Journal 10: 121-142.
32. Chenini, I., A. Ben Mammou and M. May. 2009. Groundwater Recharge Zone Mapping Using GIS Based.

33. Chowdhury, A., M.K. Jha and V. Chowdary. 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* 59:1209-1222.
34. Cimren, E., B. Catay and E. Budak. 2007. Development of a machine tool selection system using AHP. *International Journal of Advanced Manufacturing Technolxgy* 35: 363–376.
35. Chu, T.C and Y.C. Lin. 2009. An interval arithmetic based fuzzy TOPSIS model. *Expert Systems with Applications* 8:10870-10876.
36. Cheng, C. H. 1997. Evaluating naval tactical missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function. *European Journal of Operational Research* 96: 343–350.
37. Foltz, R.C. 2002. Iran's water crisis: cultural, political, and ethical dimensions. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 15: 357–380.
38. Ghayoumian, J. 2005. Integrating GIS and DSS for identification of suitable areas for artificial recharge, case study Meimeh Basin. *Environmental Geology* 47: 493-500.
39. Hendrick, J. M. H., A. S. Khan, M. H. Bannink, D. Birch and C. Kidd. 1991. Numerical analysis of groundwater recharge through stony soils using limited data. *Journal of Hydrology* 127:173-192.
40. Krishnamurthy, J., N. V. Kkumar, V. Jayaraman and M. Manivel. 1996. An approach to demarcate ground water potential zones through remote sensing and geographic information system. *International Jornal of Remote Sensing* 17:1867-1884.
41. Krishnamurthy, J and G. Srinivas. 1995. Role of geological and geomorphological factors in ground water exploration: A study using IRS LISS data. *International Journal of Remote Sensing* 16: 2595-2618.
42. Kannan, G. 2009. A hybrid approach using ISM and fuzzy TOPSIS for the selection of reverse logistics provider. *Resources, Conservation and Recycling* 1: 28-36.
43. Kalantari, N. 2010. Site selection and cost-benefit analysis for artificial recharge in the Baghmalek plain, Khuzestan Province. *Hydrogeology Journal* 18: 761-773.
44. Liou, T.S and M. J. J. Wang. 1992. Fuzzy weighted average: An improved algorithm. *Fuzzy Sets and Systems* 3: 307-315.
45. Leblanc, M., C. Leduc, M. Razack, J. Lemoalle, D. Dagorne, and L. Mofor,. 2003. Applications of remote sensing and GIS for groundwater modelling of large semiarid areas: example of the Lake Chad Basin, Africa. *IAHS PUBLICATION*:186-194
46. Mohammadnia, M and A. Kowsar. 2003. Clay translocation in the artificial recharge of a groundwater system in the Southern Zagros Mountains, Iran. *Jornal of Mountain Research and Development* 23: 169-185.
47. Mandal, N and V. Singh. 2004. A new approach to delineate the groundwater recharge in hard rock terrain. *Curr Sci* 75: 658-662.
48. O'Hare, M. P., D. M. Fairchild and P.A. Hajali. 1986. *Center LW Artificial recharge of groundwater*. Lewis, New York: 419.
49. Oakford, E.T. 1985. Artificial recharge: Methods, hydraulics, and monitoring. In: Asano T (ed) *Artificial recharge of groundwater*. Butterworth: 767 .
50. Ramesht, M. H., A. R. Arab ameri and M. Soltanian. 2012. Zoning Zarand-Saveh watershed for artificial recharge of underground aquifers using ELECTRE method & linear assignment with GIS technique. *Global Journal of Human Social Science Geography & Environmental GeoSciences* 12:23-34.
51. Ramalingam, M and A. Santhakumar. 2002. Case study on artificial recharge using remote sensing and GIS. *GIS developmennt*.
52. Rao, R. V and J. P. Davim. 2008. Decision-Making Framework Models for Material Selection Using a Combined Multiple Attribute Decision-Making Method. *Manufacturing Technology* 35: 751–760.

53. Riad, P. H. S., M. Billib, A. A. Hassan, M. A. Salam and M. Nour el din. 2011. Application of the overlay weighted model and boolean logic to determine the best locations for artificial recharge of groundwater. *Journal of Urban and Environmental Engineering* 5:57-66.
54. Shih, H., H. J. Shyur and E. S. Lee. 2007. An Extension of TOPSIS for Group Decision Making. *Mathematical and Computer Modelling* 45: 801–813.
55. Saaty, T.L. 1980. The analytical hierarchy process, pinning priority, resource allocation, RWS publication, USA.
56. Saaty, T.L. 1986. Axiomatic foundation of analytical hierarchy process. *Management science* 31.
57. Saraf, A. K and P.R. Choudhury. 1998. Integrated remote sensing and GIS for groundwater exploration and identification of artificial recharge sites. *International Journal of Remote Sensing* 19: 2595–2616.
58. Sargaonkar, A., B. Rath and A. Baile. 2010. Identifying potential sites for artificial groundwater recharge in sub-watershed of River Kanhan,
59. Singh, A., S. N. Panda, K. S. and C. Kumar Shekhar Sharma. 2013. Artificial groundwater recharge zones mapping using remote sensing and GIS: a case study in Indian Punjab. *Environmental Management* 52:61-71.
60. Samani, N and S. Behrooz. 1997. Optimal distribution of artificial recharge and its stability. In: *Proc. 8th International Conference on Rainwater Catchment Systems*, Tehran, Iran: 182-189.
61. Shereif, H. M., A. A. Alazba and M. T. Amin. 2014. Identification of potential sites for groundwater recharge using a GIS-based decision support system in Jazan Region-Saudi Arabia. *J. Water Resour. Manage* 28: 3319-3340.
62. Tsaor, S.H., T.Y. Chang and C.H. Yen. 2002. The Evaluation of Airline Service Quality by Fuzzy MCDM. *Tourism Management* 23: 107–115.
63. Vijay prabhu, M and S. Venkateswaran. 2015. Delineation of artificial recharge zones using geospatial techniques in Sarabanga sub basin Cauvery river, Tamil Nadu. *15th International Conference on Water Resources Coastal and Ocean Engineering* 4:1265-1274.

Delineation of suitable sites for groundwater artificial recharge using Integrated AHP-TOPSIS (Case study: Shahrood-Bastam Basin)

¹Alireza Arabameri, ^{2*}Kourosh Shirani

¹Msc. Of Geomorphology, Tarbiyat Modares university

^{2*}Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

Recent urban development as well as population growth in Shahrood tend to adopt a strategy for ground water management. This project, which is a descriptive- analytic type study based on field observation and laboratory analysis, aims to delineate proper sites for groundwater artificial recharge using integrated AHP-TOPSIS. First, the study area was delineated using remote sensing techniques. Then, appropriate criteria were obtained by field observation and literature review, including 5 main criteria and 12 sub-criteria. The appropriate sites for groundwater recharge were then determined. The process of the used method consists of designing hierarchical structure of the project, preparation of pairwise comparison matrices, weighting of criteria sub criteria sub criteria values by experts, and ultimately ranking of them by TOPSIS method. Results show that lithology, slope, water table depth, and land use have the main role on sites delineation. A number of control sites were employed for model validation that tend to 87.20 percent accuracy. Over ally, 73.6 and 82.12 percent out of the total area were grouped as very suitable and suitable classes, respectively.

Keywords: Artificial recharge, AHP-TOPSIS, Shahrood-Bastam.