

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 و کورش شیرانی^{۲*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۲۲)

چکیده

روند روبه 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 است 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 به دست آوردن ارزش معیارها و زیر معیارها و نهایتاً رتبه‌بندی مناطق با استفاده از روش TOPSIS است. نتایج نشان داد که معیارهای لیتولوژی، شیب، عمق 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 موید 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.

واژه‌های کلیدی: تغذیه مصنوعی، رویکرد AHP-TOPSIS گروهی، حوضه شاهرود- بسطام، مکان‌یابی

۱. گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲. بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: k_sh424@yahoo.com

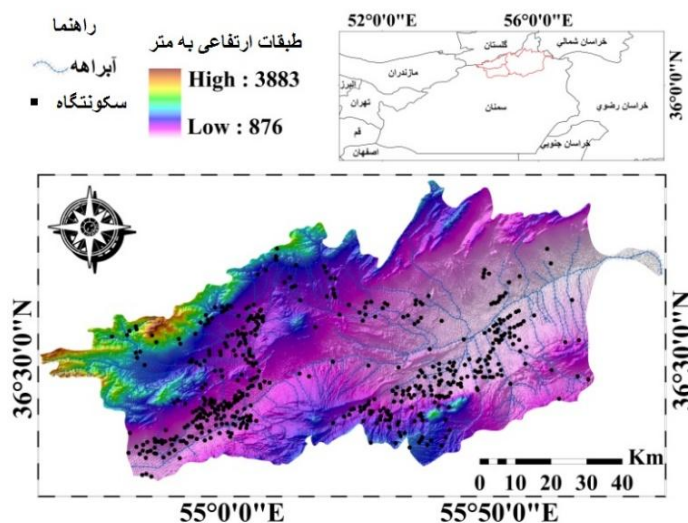
مقدمه

مناطق که منابع آب زیرزمینی منبع تأمین 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 غیرمستقیم سکونتگاه‌های انسانی را متأثر خواهد کرد. در چنین مناطقی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی از مهمترین راه‌کارهای 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 تأسیسات 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 زیرزمینی دارای محاسنی هستند از جمله آن که در مواقع عدم برداشت، به‌طور طبیعی آب را ذخیره می‌نمایند و برخلاف آب‌های سطحی زمین‌های وسیعی را اشغال نمی‌کنند و از تأثیر 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 کیلومترمربع 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 کیلومترمربع تأمین 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 زیرزمینی توسعه یافته‌اند، از جمله این تکنیک‌ها می‌توان به روش‌های تغذیه مستقیم سطحی، مستقیم زیر سطحی، یا تکنیک تغذیه غیرمستقیم اشاره نمود (۴۸، ۴۹). تاکنون مطالعات گسترده‌ای جهت مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی انجام شده است: راملینگام و سانتاکومار با استفاده از تکنیک‌های GIS و سنجش از دور با در نظر گرفتن معیارهای ژئومورفولوژی؛ زمین‌شناسی، خاک، شیب، کاربری اراضی، شدت رواناب و عمق آب‌های زیرزمینی به بررسی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی پرداخته‌اند (۵۱). در تحقیقی دیگر برای نشان دادن توانایی GIS در پهنه‌بندی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی مناطق خشک، چینی و همکاران در حوضه ماکناسی تونس مرکزی پهنه‌بندی تغذیه مصنوعی را با تجزیه و تحلیل داده‌های بارندگی، رواناب حوضه، زمین‌شناسی سطحی و شرایط آب‌خوان انجام داده‌اند (۳۲). در پژوهشی دیگر سرگانکار و همکارانش ارزیابی هیدرولوژیکی آبخیز بر پایه GIS برای تعیین مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی انجام دادند (۵۸). سارف و چودهاری با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور در استخراج لایه‌های مختلفی نظیر کاربری اراضی، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی 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 (۵۷). کریشنامورتی و همکاران از سنجش از دور و GIS برای پهنه‌بندی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در نواحی جنوبی هند با توجه به عوامل زمین‌شناسی، توپوگرافی، گسل‌ها، تراکم آب‌های سطحی و شیب استفاده نموده‌اند و با تلفیق این لایه‌های اطلاعاتی، نقشه عرصه‌های مناسب تهیه گردیده است (۴۰). چودهاری و همکاران در پژوهشی با استفاده از GIS، RS و MCDM نسبت وزن لایه‌های ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، حجم زهکشی شیب و قابلیت

و همکاران در پژوهشی به بررسی کاربرد سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری در مکان‌یابی پخش سیلاب در حوضه آبریز ایور در استان خراسان شمالی با استفاده از چهار معیار اصلی، هشت زیر معیار و بیست و چهار شاخص پرداخته‌اند 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 به‌عنوان اولویت اول انتخاب گردیدند (۲۱). فیضی و همکاران به پهنه‌بندی اراضی مستعد پخش سیلاب با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که لایه کاربری اراضی به‌عنوان اولویت اول در مکان‌یابی پخش سیلاب مطرح گردید و پارامترهای حجم رواناب، نفوذپذیری، شیب، عمق لایه هوادار، ضریب انتقال و کیفیت آبرفت به‌ترتیب در اولویت‌های دوم تا هفتم قرار گرفته‌اند (۱۴). قائمی‌زاده و همکاران در پژوهشی به بررسی کاربرد ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری 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 پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که براساس منطق بولین ۲/۳۴ درصد از اراضی و براساس اپراتور ضرب فازی ۹/۴۴ درصد از اراضی دارای رتبه خیلی خوب از نظر اجرای عملیات تغذیه آب‌خوان می‌باشند (۱۷). صمدی به مدل‌سازی مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آب‌خوان کاشان با استفاده از روش‌های آماری، AHP و ملاحظات محیط زیستی آب‌های زیرزمینی براساس ۷ پارامتر آلودگی آب‌های 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 قسمت‌های غربی و جنوبی آب‌خوان برای تغذیه مصنوعی مناسب تا بسیار مناسب می‌باشند (۱۲). هدف از این پژوهش انتخاب مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از رویکرد ترکیبی AHP-TOPSIS گروهی و با استفاده از ۱۲ لایه اطلاعاتی شامل ارتفاع،

انتقال را براساس میزان ارتباط آنها با تغذیه و نرمال‌سازی وزن‌ها را با استفاده از AHP به‌دست آوردند و به این نتیجه رسیدند که ۴۶ درصد از ناحیه برای تغذیه مصنوعی مناسب می‌باشد (۳۳). رید و همکاران با استفاده از دو روش بولینی و مدل وزنی هم‌پوشانی مشخص کرده‌اند که بولینی برای تخمین عرصه‌های مناسب برای پخش سیلاب غیر زمان‌بر و و مدل وزنی هم‌پوشانی از دقت و انعطاف‌پذیری بالاتری برخوردار است (۵۳). رامشت و همکاران در پژوهشی در منطقه آبخیز زرنده ساوه از روش‌های ELECTRE و ارزیابی خطی در GIS، مناطق مناسب را براساس ماتریس مقایسه جفتی جهت تهیه ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده وزنی پارامترهای میزان بارندگی، حجم رواناب، شیب، تراکم زیستگاه و ارتفاع به‌دست آوردند (۵۰). سینگ و همکاران در تحقیقی در پنجاب هند ۸ لایه اطلاعاتی ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، حجم زهکشی، شیب، بافت خاک، قابلیت انتقال آب‌خوان و آب‌دهی ویژه براساس سهم ارتباط آنها با تغذیه مصنوعی وزن‌دهی شده و وزن‌های نرمال شده را براساس روش تحلیل سلسله مراتبی محاسبه کرده‌اند و مناسب‌ترین مکان در مرکز و غرب ناحیه به علت وجود نفوذپذیری بالا تعیین شد (۵۹). عرب عامری و همکاران به انتخاب مکان مناسب تغذیه مصنوعی آب‌خوان مشهد با استفاده از پارامترهای لیتولوژی، میزان رواناب، مساحت، تراکم گسل، شیب، دما، ارتفاع و زیستگاه‌ها و با استفاده از روش Topsis پرداخته‌اند (۲۴). ویجی پرآب‌ها در تحقیقی در آب‌خوان سارابانگا زیر حوضه رودخانه کاووری در هند با استفاده از روش WIOA و براساس پارامترهای زمین‌شناسی، فیزیوگرافی، خطواره، تراکم زهکشی، کاربری اراضی و پوشش زمین به انتخاب مناطق مناسب جهت تغذیه مصنوعی پرداخته‌اند (۶۳). در ایران نیز تحقیقات زیادی (۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۳) در زمینه انتخاب مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌خوان‌های زیرزمینی انجام شده است که در ادامه برخی از آنها به‌طور مختصر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ملکیان



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 ارث Google Earth محدوده مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت و تعیین حدود گردید. سپس مدل ارتفاع رقومی با استفاده از نقشه توپوگرافی تهیه گردید. تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای پهنه‌بندی در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.2 به صورت موارد زیر انجام گرفت: مدل ارتفاع رقومی منطقه براساس شکست‌های طبیعی Natural break فراوانی پیکسل‌های آن به ۱۲ کلاس ارتفاعی طبقه‌بندی گردید. طبقات مذکور نمایانگر پهنه‌های مطالعاتی در منطقه می‌باشند که محاسبات بعدی در هر کدام از

لیتولوژی، بارش، تراکم آبراهه، سطح جمع‌کننده، تراکم گسل، شیب، دما، تراکم سکونت‌گاه، وجه شیب، عمق 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 جنوب‌شرقی البرز شرقی واقع شده است. حوضه آبخیز شاهرود-بسطام زیر حوضه کویر نمک است. کویر نمک نیز با مساحت ۲۲۴۳۷۰ کیلومتر مربع زیر حوضه ایران مرکزی می‌باشد. حوضه ایران مرکزی سرزمین وسیعی با وسعت ۸۳۱۰۰۰ کیلومتر مربع 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 کیلومتر مربع 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 ژئیس اشاره نمود.

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

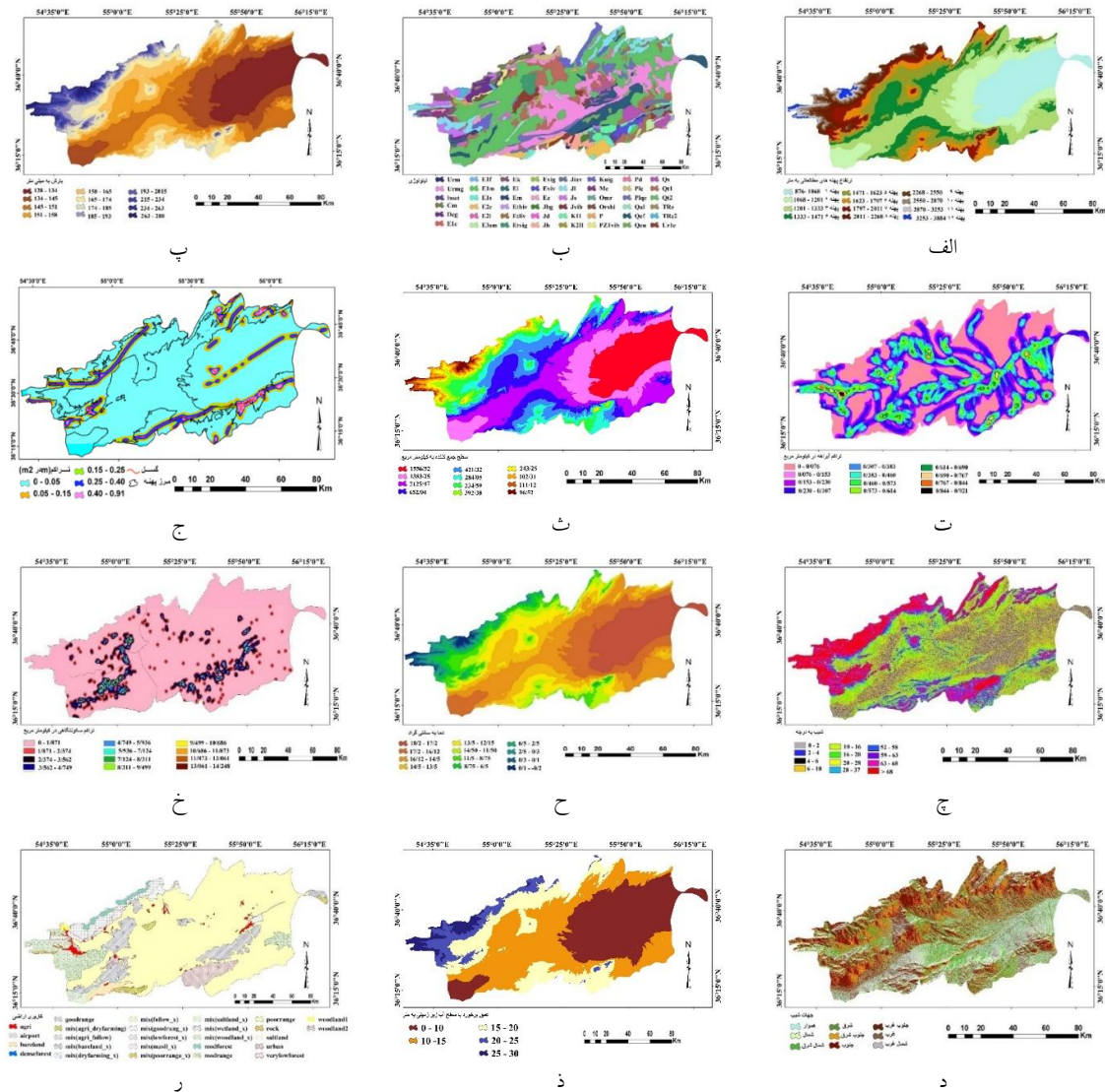
TOPSIS	AHP	خصوصیات
اطلاعات عددی - MADM	اطلاعات عددی - MADM	طبقه
فاصله از PIS و NIS (اندازه‌گیری مطلق)	مقایسات زوجی (اندازه‌گیری نسبی)	فرایند اصلی
معین و معلوم	معین و معلوم	شاخص
معین و معلوم	مقایسات زوجی	استنباط وزن
-	ارائه می‌شود	بررسی سازگاری
خیلی زیاد	۷±۲	تعداد شاخص‌های تطبیقی
خیلی زیاد	۷±۲	تعداد گزینه‌های تطبیقی
عملکرد جبرانی	عملکرد جبرانی	سایر

استفاده از نقشه DEM منطقه، تهیه گردید و حوضه به ۱۲ سطح جمع کننده تقسیم گردید. ملاک تقسیم بندی زیر حوضه‌ها در این لایه مساحت آنها می‌باشد. 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 زیرزمینی با استفاده از روش ترکیبی AHP-TOPSIS گردید. به‌طور کلی مراحل تحقیق به شرح زیر است: ۱- ترسیم ساختار سلسله مراتبی معیارها و گزینه‌های مختلف، ۲- تعیین شاخص‌ها (مناطق دوازده‌گانه) 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- به‌دست آوردن وزن معیارها با استفاده از روش AHP ۵- رتبه بندی و انتخاب بهترین مکان برای تغذیه مصنوعی به‌کمک روش TOPSIS. در شکل (۳) دیاگرام مراحل پژوهش نشان داده شده است.

رویکردهای تصمیم‌گیری چند شاخصه

تصمیم‌گیری چند شاخصه از مدل‌های ریاضی است و به رویکردی از حل مسئله اشاره دارد که به‌منظور انتخاب یک

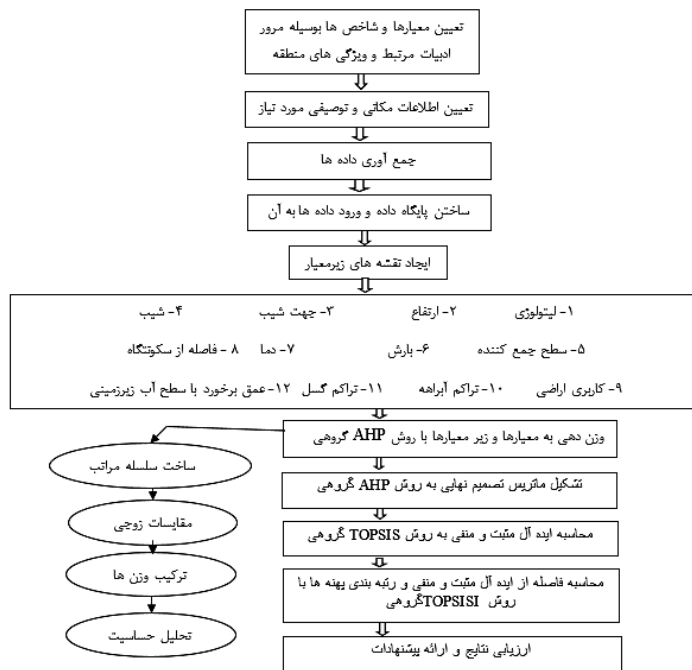
این طبقه‌ها انجام گرفت (۳۳، ۲۹، ۶). لایه شیب و جهت شیب از روی مدل ارتفاعی رقومی منطقه و از طریق ابزار Analyses 3D analyses تهیه گردید. لایه تراکم زهکشی، تراکم گسل، تراکم سکونتگاهی به‌ترتیب از طریق رقومی کردن لایه آبراهه‌های اصلی و فرعی از روی نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی منطقه، رقومی کردن گسل‌های اصلی 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 شدند. با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه وضعیت زمین‌شناسی منطقه به‌خوبی بررسی، سپس با مطالعه و بررسی فتوزئولوژیکی عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و بررسی‌های میدانی، اقدام به تهیه نقشه زمین‌شناسی گردید. پس از تهیه نقشه واحدهای سنگ شناسی و خطواره‌ها، اقدام به رقومی نمودن آنها گردید و نقشه لیتولوژی تهیه گردید. خطوط هم‌دما و هم‌بارش از طریق میان‌یابی به‌روش 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⁺ در محیط نرم‌افزار ENVI 4.5 تصحیح و تهیه گردید. لایه سطح جمع کننده با



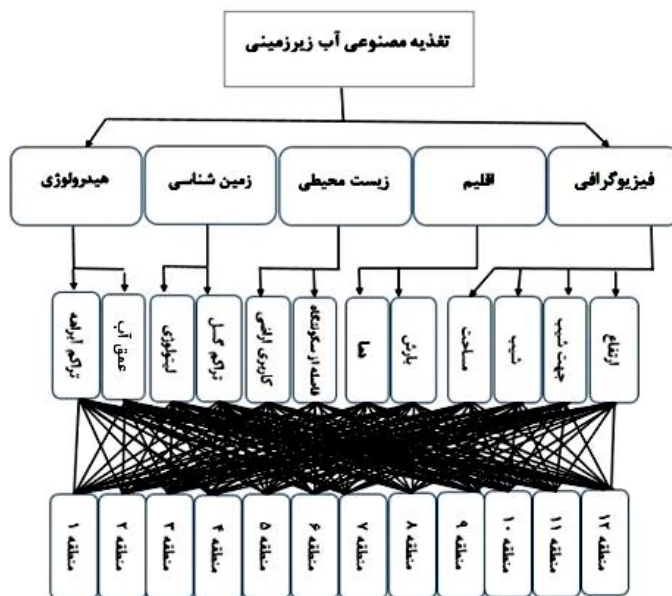
شکل ۲. نقشه‌های مورد استفاده در پژوهش: الف) نقشه ارتفاع، ب) نقشه لیتولوژی، پ) نقشه بارش، ت) نقشه تراکم آب‌راه، ث) نقشه سطح جمع‌کننده، ج) نقشه تراکم گسل، چ) نقشه شیب، ح) نقشه دما، خ) نقشه تراکم سکونتگاه، د) وجه شیب، ذ) عمق برخورد با سطح آب زیرزمینی، ر) انواع کاربری و پوشش اراضی

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 ایده‌آل مثبت و منفی است (۴۲).

گزینه از تعداد محدودی گزینه مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵۲). روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره Multi Attribute Decision Making (MADM) به سهولت کاربرد معروف هستند. رویه‌های ترکیبی چنانچه به درستی ترکیب شوند می‌توانند این نقاط قوت را حفظ کنند و منابع چندگانه‌ای از دانش و تجربه ایجاد کنند (۵۴). بنابراین این پژوهش به منظور دستیابی به تصمیمات کارا تر



شکل ۳. مراحل انجام پژوهش



شکل ۴. ساختار سلسله مراتبی

راه حل ایده‌آل مثبت ((PIS) Positive Ideal Solution)) راه حل
 معیارهای هزینه سود بیشینه و از لحاظ معیارهای سود کمینه است
 ((NIS) Negative Ideal Solution)) راه حلی است که از نظر
 معیارهای هزینه بیشینه و از لحاظ معیارهای سود کمینه است
 در TOPSIS مقادیر قطعی Crisp Values برای بیان (۱۸،۴۲).

راه حل ایده‌آل منفی ((PIS) Positive Ideal Solution)) راه حل
 معیارهای هزینه سود بیشینه و از لحاظ معیارهای سود کمینه است
 ((NIS) Negative Ideal Solution)) راه حلی است که از نظر
 معیارهای هزینه بیشینه و از لحاظ معیارهای سود کمینه است
 در TOPSIS مقادیر قطعی Crisp Values برای بیان (۱۸،۴۲).

ماتریس A_{ij} نشان‌دهنده ارزش معیار λ_m برای گزینه m است.

$$A_{ij} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

گام سوم: به دست 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 ماتریس‌های مقایسه زوجی. در این ماتریس، عنصر a_{ij} نشان‌دهنده 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 قضاوت‌های ترجیحی متوسط، قوی، کاملاً قوی و مطلق هستند. همچنین در این ماتریس همواره $a_{ij} = 1/a_{ji}$ است. ماتریس‌های مقایسه زوجی باید سازگار باشند تا اعتبار پرسش‌نامه مورد تأیید قرار گیرد. چنانچه سازگاری ماتریس‌ها تأیید شود، پرسش‌نامه مجدداً توزیع می‌شود.

گام پنجم: تشکیل ماتریس زوجی جامع. این ماتریس از ترکیب نظرات خبرگان ایجاد شده و با توجه به آن، وزن معیارها محاسبه می‌شود. ماتریس فوق‌الذکر با استفاده از رابطه (۲) به دست می‌آید.

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

گام ششم: تعیین اهمیت نسبی هر شاخص. وزن نسبی هر شاخص پس از بی‌مقیاس‌سازی ماتریس مقایسه زوجی جامع (۳) با استفاده از رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad [3]$$

$$W_j = \frac{\sum_{i=1}^n n_{ij}}{n} \quad [4]$$

گام هفتم: محاسبه ماتریس نرمال وزین V_{ij} . این ماتریس با ضرب ماتریس R_{ij} در وزن مربوطه W_j (ماتریس قطری)

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 ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از راه حل ایده‌آل منفی داشته باشد. برآیند این دو فاصله در قالب ضریب نزدیکی بیان می‌شود که بر این اساس گزینه‌ای که مقدار عددی ضریب نزدیکی بزرگتری داشته باشد به‌عنوان گزینه ارجح شناخته می‌شود (۳۵). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای اولین بار در سال ۱۹۸۰ توسط ساعتی معرفی گردید (۵۵ و 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 برحسب مقیاس، به‌منظور 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 به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. جدول (۱) مقایساتی از ویژگی‌ها و خصوصیات این دو تکنیک ارائه می‌کند.

به‌کارگیری AHP به‌دلیل ظرفیت محدود بشری در پردازش اطلاعات به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای 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 رویه‌ای را ارائه می‌کند (۱۰، ۵۲). بنابراین برای دستیابی به مزایای هر دو روش در رتبه‌بندی و انتخاب بهترین گزینه، روش ترکیبی (TOPSIS, AHP) استفاده می‌شود. در ادامه این رویه مرحله به مرحله توضیح داده می‌شود:

گام اول: تعیین اهداف و شناسایی معیارهای مرتبط با موضوع
گام دوم: تشکیل ماتریس تصمیم براساس اطلاعات موجود.

برای اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی خاک‌های درشت‌دانه، ابتدای آبرفت‌های ماسه‌ای، خاک‌های سنگلاخی، مناطق کارستی، مسیل‌های با بستر شنی و مخروط افکنه رودخانه‌های فصلی می‌باشد (۶۰). موفقیت طرح‌های تغذیه مصنوعی مستلزم جمع‌آوری و تکمیل داده‌ها و اطلاعات بسیار زیادی است. نخستین پیش شرط جهت احداث طرح تغذیه؛ شناسایی محل مناسب است (۴۳). مکان‌یابی از مهمترین مسائل در تغذیه مصنوعی به حساب می‌آید (۳۰). مکان‌یابی به عوامل و شاخص‌های زیادی بستگی دارد. بدون استفاده از یک سیستم توانمند که توانایی استفاده از لایه‌های اطلاعاتی موثر و تحلیل آنها را داشته باشد، امکان حل این معضل امکان‌پذیر نخواهد بود (۹). سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل توانایی مدیریت حجم عظیمی از داده‌ها، در این خصوص مناسب می‌باشد. استفاده از تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی با در نظر گرفتن تمامی پارامترها به‌طور هم‌زمان سبب صرفه‌جویی در زمان و هزینه مالی می‌گردد (۴۱). به دلیل وجود عوامل متعدد در عملیات مکان‌یابی تغذیه مصنوعی، نیاز به استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره نیز احساس می‌شود. در این پژوهش از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره گروهی در کنار سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور تعیین عرصه‌های مستعد برای تغذیه مصنوعی استفاده گردیده است. مدل AHP به کمک ساختاردهی مناسب مسئله و تجزیه آن به قسمت‌های ساده‌تر و همچنین با وزن‌دهی معیارها می‌تواند به TOPSIS که فن خاصی برای وزن‌دهی معیارها بیان نمی‌کند، کمک کند. بنابراین در پژوهش حاضر با توجه به کاستی‌های هر یک از این روش‌ها از رویکرد ترکیبی AHP-TOPSIS استفاده شده است. بنابراین در این پژوهش برای انتخاب بهترین مکان برای تغذیه مصنوعی آب‌خوان‌ها از روش TOPSIS و برای وزن‌دهی به معیارها از روش AHP استفاده شده است. در این بخش نتایج و یافته‌های حاصله در قالب وزن‌دهی معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها ارائه می‌گردد. نتایج حاصل از روش ترکیبی به ترتیب جداول (۲) تا (۹) و شکل (۵) می‌باشد.

به دست می‌آید که در رابطه (۵) نشان داده شده است.

$$V_{ij} = W_j \times n_{ij} \quad [5]$$

گام هشتم: به دست آوردن راه حل ایده‌آل مثبت (A^+) و ایده‌آل منفی (A^-). این راه حل‌ها به صورت روابط (۶) و (۷) تعریف می‌شوند:

$$A^+ = \left\{ \left(\max_{j \in J} V_{ij} \right)_{j \in J} \left(\min_{j \in J} V_{ij} \right)_{j \in J} \right\} \quad [6]$$

$$A^- = \left\{ \left(\min_{j \in J} V_{ij} \right)_{j \in J} \left(\max_{j \in J} V_{ij} \right)_{j \in J} \right\} \quad [7]$$

گام نهم: محاسبه اندازه فاصله. فاصله هر گزینه از راه حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی به کمک فاصله اقلیدسی براساس روابط (۸) و (۹).

$$S_i^+ = \left[\prod_{k=1}^k S_i^{k+} \right]^{1/k} \quad i=1,2,3,\dots,n \quad [8]$$

$$S_i^- = \left[\prod_{k=1}^k S_i^{k-} \right]^{1/k} \quad i=1,2,3,\dots,n \quad [9]$$

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

$$C_i^* = \frac{S_i^+}{\left(\frac{S_i^+}{S_i^+ + S_i^-} \right)} \leq C_i^* \leq 1 \quad [10]$$

گام یازدهم: در این گام بر طبق ارزش‌های ترجیحی که نشان‌دهنده بیشترین و کمترین ترجیح راه حل‌ها هستند، گزینه‌ها به ترتیب نزولی مرتب می‌شوند.

نتایج و بحث

براساس 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 سیلاب‌های ناگهانی با ورود به پلایاها و دریاها از دست می‌روند (۳۷، ۵۷). پخش سیلاب بر روی آب‌خوان‌ها، یک استراتژی مناسب برای مهار سیلاب‌ها، مقابله با کم‌آبی و همچنین یک شیوه مطلوب برای مدیریت منابع آب به‌شمار می‌رود (۳۸، ۲۵). بهترین محل

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
اقلیم			۱	۳/۹۷	۰/۰۶۹
زیست محیطی				۱	۰/۰۳۳
جمع	۱/۶۹۸	۵/۵۴۴	۱۰/۸۳۶	۱۷/۸۸۲	۲۵/۷۵۰

نرخ سازگاری: ۰/۰۳۶

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

ساخت سلسله مراتب معیارها و وزن‌دهی آنها

در گام نخست اقدام به تهیه ساختار سلسله مراتبی گردید که شامل چهار سطح هدف از پژوهش، زیرمعیارها، معیارها و گزینه‌ها می‌باشد (شکل ۴). 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).

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 زیرزمینی 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 تأیید شود.

ماتریس‌های مقایسات زوجی با استفاده از رابطه (۲) ترکیب و ماتریس جامع تشکیل شد. ماتریس جامع معیارها به صورت زیر است (جدول ۲).

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 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).

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

جدول ۴. ماتریس جامع زیر معیارها

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	بردار وزن
A	۱	۱/۲۳	۱/۸۷	۲/۳۲	۳/۱۲	۳/۸۹	۴/۳۲	۵/۱۴	۶/۸۷	۷/۲۷	۷/۹۱	۸/۶۳	۰/۲۱۸
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	۱/۲۳	۰/۰۲۰
L												۱	۰/۰۱۷
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	۱

نرخ سازگاری: ۰/۰۰۶۵

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

داشته‌اند. لیتولوژی تأثیر زیادی بر روی نفوذپذیری دارد و نفوذپذیری مناسب سازندها باعث ذخیره مناسب آب می‌گردد (۱۴، ۴۶). شیب یکی دیگر از مهمترین عوامل مؤثر در مکان‌یابی عرصه‌های مستعد تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد که نقش مهمی در کنترل سیل و نفوذپذیری دارد (۱۳، ۱۶). براساس نتایج حاصل از تحقیقات محققین داخلی و خارجی شیب‌های صفر تا ۳ درجه مناسب‌ترین شیب برای تغذیه مصنوعی می‌باشد. ضخامت آبرفت و عمق سطح آب زیرزمینی نیز یکی از عوامل تأثیرگذار در تغذیه آب‌های زیرزمینی است. میزان ضخامت لایه هوادار با میزان ذخیره آب دارای رابطه مستقیم می‌باشد، بنابراین با افزایش ضخامت این لایه میزان ذخیره آب نیز افزایش می‌یابد (۱۴). نوع بهره‌برداری از زمین نیز در تغذیه مصنوعی تأثیر زیادی دارد. وجود مناطق مسکونی، بخش کشاورزی، باغات و کفه‌های نمکی و مواردی از این قبیل باعث ایجاد محدودیت در اجرای برنامه تغذیه

ماتریس جامع معیارها با استفاده از روابط (۱۱) و (۱۲) محاسبه گردید و مقدار آن ۰/۰۰۳۶ به دست آمد که نشان‌دهنده سازگاری بالای این ماتریس است. پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی جامع، وزن معیارهای اصلی با استفاده از AHP، براساس روابط (۳) و (۴) محاسبه گردید. نتایج حاصل از وزن معیارهای اصلی نشان داد که معیارهای زمین‌شناسی، هیدروژئولوژیکی، فیزیوگرافی، اقلیم و زیست‌محیطی به ترتیب با کسب امتیازات (۰/۰۳۳، ۰/۰۶۹، ۰/۱۳۵، ۰/۲۵۵، ۰/۵۰۵) بیشترین تأثیر را در مکان‌یابی تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی داشته‌اند. به‌طور مشابه وزن معیارهای فرعی نیز با توجه به ماتریس مقایسه زوجی آنها محاسبه شد. این اوزان در جدول (۴) ارائه شده است.

نتایج حاصل از وزن‌دهی زیر معیارها نشان داد که لیتولوژی، شیب، عمق سطح آب زیرزمینی و کاربری اراضی بیشترین تأثیر را در مکان‌یابی عرصه‌های مستعد برای تغذیه مصنوعی

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

معیارها مناطق	فیزیوگرافی	اقلیم	زمین‌شناسی	هیدرولوژی	زیست‌محیطی
۱	۰/۰۵۵	۰/۰۱۶	۰/۰۲۹	۰/۰۳۴	۰/۰۲۸
۲	۰/۰۶۶	۰/۰۲۹	۰/۰۴۹	۰/۰۵۵	۰/۰۶۲
۳	۰/۰۷۵	۰/۰۳۹	۰/۰۶۱	۰/۰۷۱	۰/۰۰۷
۴	۰/۱۴۵	۰/۰۵۴	۰/۲۷۳	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	۰/۰۰۷	۰/۱۰۴	۰/۱
۹	۰/۱	۰/۱۰۲	۰/۰۷۷	۰/۱۱۲	۰/۱۱۲
۱۰	۰/۰۰۶	۰/۱۱۱	۰/۰۰۴	۰/۰۴۵	۰/۰۴۸
۱۱	۰/۰۴۶	۰/۱۳۸	۰/۰۲۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
۱۲	۰/۰۰۴	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 زیرزمینی

با استفاده از روش TOPSIS

پس از تعیین وزن هر یک از معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها اقدام به تشکیل ماتریس تصمیم اولیه و وزن 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 و وزن 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، جهت‌شیب و مساحت می‌باشد به ترتیب (۰/۰۲۵، ۰/۱۷۸، ۰/۰۲۰، ۰/۰۰۸۷) می‌باشد. نحوه محاسبه وزن نهایی منطقه ۱ با توجه به معیار فیزیوگرافی به ترتیب زیر می‌باشد:

$$\frac{0/0087 + 0/187 + 0/02 + 0/025}{4} = 0/06 \quad [13]$$

$$0/06 \times 0/135 = 0/0081 \quad [14]$$

$$0/0081 \times 0/055 = 0/00044 \quad [15]$$

مصنوعی می‌گردد. از میان انواع کاربری‌ها تنها مراتع فقیر از نظر پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی مناسب تشخیص داده شده‌اند تا منابع پوشش گیاهی طبیعی نیز تخریب نگردد (۱۴). به منظور تعیین وزن هر یک از گزینه‌ها (مناطق) نیز به تشکیل ماتریس‌های مقایسات زوجی گزینه‌ها با توجه به معیارها پرداخته شد و وزن هر یک از گزینه‌ها با توجه به معیار اصلی محاسبه گردید. وزن‌دهی به گزینه‌ها با توجه به معیارها، با استفاده از DM ۲۶ 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 ۶. ماتریس تصمیم اولیه وزین

معیارها مناطق	فیزیوگرافی	اقلیم	زمین‌شناسی	هیدرولوژی	زیست‌محیطی
۱	۰/۰۰۰۴۴	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۱۹۷	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۱
۲	۰/۰۰۰۶۶	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۳۳۳	۰/۰۰۱۴۳	۰/۰۰۰۰۱۵
۳	۰/۰۰۰۷۵	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۴۱۴	۰/۰۰۱۸۴	۰/۰۰۰۰۱۷
۴	۰/۰۰۰۱۴۵	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۱۸۵۶	۰/۰۰۴۳۹	۰/۰۰۰۰۳۹
۵	۰/۰۰۰۰۸۴	۰/۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۴۵۵	۰/۰۰۲۴۶	۰/۰۰۰۰۲۳
۶	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۱۱۴۲	۰/۰۰۳۵۱	۰/۰۰۰۰۳۴
۷	۰/۰۰۰۱۱۱	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۸۵۶	۰۰۳۲۵	۰/۰۰۰۰۰۳
۸	۰/۰۰۰۰۸۹	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۴۷۶	۰/۰۰۲۷۲	۰/۰۰۰۰۲۵
۹	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵۲۳	۰/۰۰۲۹۳	۰/۰۰۰۰۲۸
۱۰	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲۷۲	۰/۰۰۱۱۷	۰/۰۰۰۰۱۲
۱۱	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۴۹	۰/۰۰۰۰۷۹	۰/۰۰۰۰۰۸
۱۲	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۰۸۱	۰/۰۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۰۰۶

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.

$$A = \frac{a}{b} \times 100$$

$$A = \frac{16/23}{18/65} \times 100 = 87/02 \quad [16]$$

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

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

پس از محاسبه ماتریس نرمالیزه وزین باید ایده‌آل مثبت و منفی محاسبه گردد. نحوه محاسبه آن بدین صورت است که در ایده‌آل 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 مطلوب‌تر باشد برای محاسبه ایده‌آل مثبت بزرگترین عدد در ستون ماتریس بی بعد وزین را می‌گذاریم و براعکس (جدول ۸).

به منظور به دست آوردن میزان فاصله هر یک از گزینه‌ها (مناطق) از ایده‌آل مثبت از فرمول (۸) و ایده‌آل منفی از فرمول (۹) استفاده شده است. برای محاسبه نزدیکی نسبی هر گزینه به راه حل ایده‌آل از رابطه (۱۰) استفاده شده است. نتایج حاصل از رتبه بندی مکان‌های بهینه تغذیه مصنوعی آبخوان‌های منطقه مورد مطالعه به شرح جدول (۹) و شکل (۵) می‌باشد.

جدول ۷. ماتریس تصمیم نرمالیزه وزین

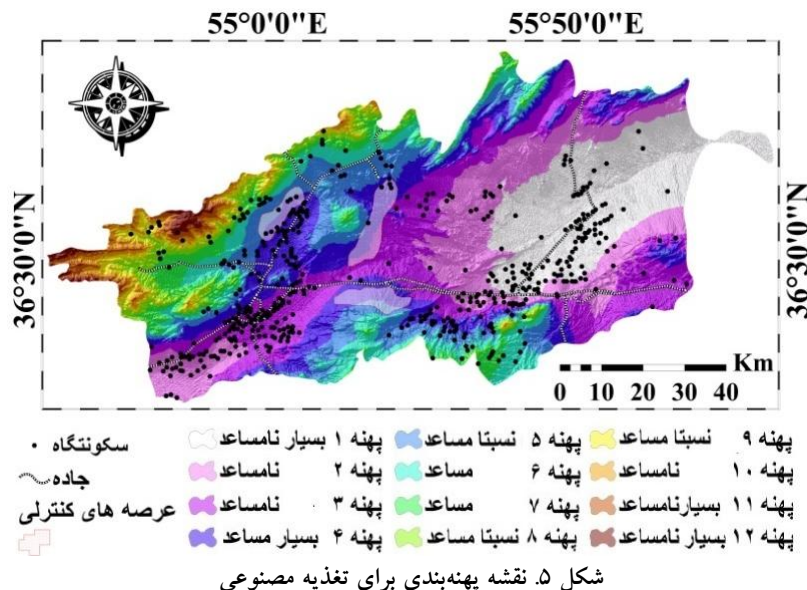
معیارها مناطق	فیزیوگرافی	اقلیم	زمین شناسی	هیدرولوژی	زیست محیطی
۱	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳
۲	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۶
۳	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۷
۴	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۱۵
۵	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۹
۶	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۳
۷	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲
۸	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۱	۰/۱
۹	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۱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

جدول ۸. مقادیر ایده آل مثبت و ایده آل منفی (بالا ترین 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

جدول ۹. رتبه بندی مکان های تغذیه مصنوعی آبخوانها

پارامترها مناطق	$\overline{S_i^+}$	$\overline{S_i^-}$	$\overline{C_i^*}$	رتبه	پهنه بندی
۱	۰/۳۲	۰/۱	۰/۲۳	دهم	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
۵	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۳۵	ششم	نسبتا مساعد
۶	۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۵۶	دوم	مساعد
۷	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۴۸	سوم	مساعد
۸	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۳۶	پنجم	نسبتا مساعد
۹	۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۳۹	چهارم	نسبتا مساعد
۱۰	۰/۳	۰/۰۹	۰/۲۴	نهم	نامساعد
۱۱	۰/۳۳	۰/۱۲	۰/۱۲	یازدهم	بسیار نامساعد
۱۲	۰/۳۴	۰/۱	۰/۱۳	دوازدهم	بسیار نامساعد



که زیر معیارهای لیتولوژی، شیب، عمق سطح آب زیرزمینی و کاربری اراضی به ترتیب با کسب امتیازات (۰/۱۷۸، ۰/۲۱۸)، (۰/۱۴۲، ۰/۱۱۲) بیشترین تأثیر را در تعیین عرصه‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی داشته‌اند که با نتایج (۲، ۳، ۸، ۱۴، ۲۰، ۲۸، ۳۹، ۶۱) مطابقت دارد. براساس نتایج حاصل از رتبه‌بندی مناطق برای تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی، پهنه ۴ با داشتن کمترین فاصله از ایده‌آل مثبت (۰/۱۶) و بیشترین فاصله از ایده‌آل منفی (۰/۳۴) و با کسب بالاترین امتیاز (۰/۶۸۴۰) به عنوان مناسب‌ترین پهنه شناخته شد. از مهم‌ترین دلایل آن می‌توان به شیب مناسب، نفوذپذیری بالا، فاصله مناسب از مناطق مسکونی، ضخامت زیاد لایه غیر اشباع و عمق زیاد سطح آب زیرزمینی و قرار نگرفتن پهنه در مناطق مسکونی و کشاورزی اشاره نمود. در مقابل پهنه‌های ۱۱ و ۱۲ به ترتیب با کسب (۰/۱۲، ۰/۱۳) امتیاز به عنوان نامناسب‌ترین پهنه‌ها شناخته شده‌اند. به منظور صحت‌سنجی روش، نتایج حاصل از این روش با کنترل زمینی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت که بیانگر دقت بالای مدل و رضایت بخش بودن به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره گروهی در تلفیق با GIS در مکان‌یابی عرصه‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد. نتایج این تحقیق

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 مؤثر در امر مکان‌یابی و مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از رویکرد ترکیبی AHP-TOPSIS گروهی در پی نظر خواهی 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 زیرزمینی، بارش، تراکم گسل، فاصله از سکونت‌گاه، ارتفاع، سطح جمع‌کننده و دما استفاده شده است. برای تعیین وزن معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها از مقایسات زوجی و نظرات کارشناسی استفاده شده است. پس از تعیین وزن‌ها، اقدام به تشکیل ماتریس تصمیم وزنی اولیه گردید و در گام بعد ماتریس تصمیم نرمالیزه گردید. در نهایت با استفاده از روش TOPSIS به رتبه‌بندی مناطق پرداخته شد. نتایج حاصل از وزن زیر معیارها نشان داد

نامساعد قرار گرفته است. با توجه به دقت بالا و عملیاتی بودن سیستم اطلاعات جغرافیایی در تلفیق با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره گروهی به مدیران و برنامه‌ریزان حوضه‌های مدیریت منابع آب و همچنین پژوهشگران پیشنهاد می‌گردد به منظور افزایش کارایی، سرعت و دقت مطالعات کاربردی در زمینه تعیین عرصه‌های مستعد برای تغذیه مصنوعی از سیستم اطلاعات جغرافیایی در کنار روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند PROMETHEE و غیره استفاده کنند.

با نتایج آل شیخ و همکاران (۲۷) و فرجی سبکبار و همکاران (۱۵) که در تحقیقات خود به افزایش دقت در به‌کارگیری روش‌های مفهومی با سامانه اطلاعات جغرافیایی اشاره کرده‌اند، مطابقت دارد. در مجموع از کل منطقه مطالعاتی به مساحت ۷۶۰۳/۲۵ 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 نسبتاً مساعد، ۴۵/۲۳ درصد (۳۴۳۸/۹۴ کیلومتر مربع) در کلاس نامساعد و ۲۶/۴۷ درصد (۲۰۱۲/۵۸ کیلومتر مربع) در کلاس بسیار

منابع مورد استفاده

۱. ابراهیمی مقدم، ح. ۱۳۸۲. مکان‌یابی مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌خوان‌ها، دشت اسفراین. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم تهران.
۲. افتخاری‌هندانی، س. و. بردی شیخ، ن. نورا، س. ج. طباطبایی یزدی و د. اختری. ۱۳۹۳. شناسایی و اولویت بندی مکان‌های مناسب تغذیه آب زیرزمینی در سیستم حوضه آبخیز (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گل‌بهار، خراسان رضوی). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۱۲(۳): ۳۰-۱.
۳. امیری، م. و ب. یعقوبی. ۱۳۸۵. ارزیابی عرصه‌های پیشنهادی پخش سیلاب با بررسی روش‌های بهره‌وری از سیلاب. کارگاه فنی هم‌زیستی با سیلاب. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
۴. حامدپناه، ر. ۱۳۸۱. بررسی کارایی مدل‌های مختلف در مکان‌یابی پخش سیلاب. نشریه بیابان ۷(۱): ۲۹-۱۹.
۵. درگاه ملی آمار ایران. ۱۳۸۵. <https://www.amar.org.ir>
۶. رامشت، م. ح. و ع. ر. عرب عامری. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی حوضه آبخیز شاهرود-بسطام از نظر تغذیه مصنوعی با استفاده از روش تخصیص خطی و تکنیک GIS. فضای جغرافیایی ۱۲(۴۰): ۱۴۹-۱۳۴.
۷. رامشت، م. ح. و ع. ر. عرب عامری. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی حوضه آبخیز بیاض به منظور تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش AHP و تکنیک GIS. جغرافیا و برنامه‌ریزی ۱۷(۴۵): ۹۶-۶۹.
۸. زکی زاده، ف. و ح. ملکی نژاد. ۱۳۹۱. مکان‌یابی مناطق مناسب برای پخش سیلاب با استفاده از GIS و مدل ریاضی بولین. اولین کنفرانس ملی سامانه‌های آبیگر 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. پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران-محیط زیست، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
۱۰. سلطانی، م. ج. ۱۳۸۱. کاربرد GIS در مکان‌یابی عرصه‌های پخش سیلاب. تحقیقات جغرافیایی ۱۷(۴): ۳۸-۲۳.
۱۱. صفاری، ا. م. جان احمدی و م. رعیتی شوازی. ۱۳۹۴. کاربرد مدل تلفیقی AHP/FUZZY در مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی (مطالعه موردی: دشت بوشکان - استان بوشهر). هیدروژئومورفولوژی ۱(۳): ۹۷-۸۱.

۱۲. صمدی، ج. ۱۳۹۵. مدل‌سازی مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آب‌خوان کاشان با استفاده از روش‌های آماری، AHP و ملاحظات محیط زیستی آب‌های زیرزمینی. تحقیقات منابع آب ایران ۱۲(۱): ۸۴-۹۴.
۱۳. عبدی، پ. و ج. غیومیان. ۱۳۷۹. تعیین محل‌های مناسب برای پخش سیلاب در دشت زنجان با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی و GIS. مجموعه مقالات دومین همایش سراسری دست‌آوردهای طرح آب‌خوان‌داری ۴(۲): ۸۶-۹۹.
۱۴. فیضی، ز.، ا. ر. کشتکار، ا. ملکیان و ه. قاسمیه. ۱۳۹۵. پهنه‌بندی عرصه‌های مستعد پخش سیلاب با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: جنوب دشت کاشان). علوم آب و خاک ۲۰(۷۶): ۱۴۱-۱۲۹.
۱۵. فرجی سبکیار، ح. ع.، ح. نصیری، م. حمزه، س. طالبی و ی. رفیعی. ۱۳۹۰. تعیین عرصه‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی بر پایه تلفیق روش‌های ANP و مقایسه زوجی در محیط GIS، مطالعه موردی دشت گریابگان فسا. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی ۲۲(۴۴): ۱۶۶-۱۴۴.
۱۶. قرمزچشمه، ب. ۱۳۷۹. تعیین شاخص‌های مورد نیاز در مکان‌یابی پخش سیلاب. مجموعه مقالات دومین همایش سراسری دست‌آوردهای طرح آب‌خوان‌داری ص. ۳۹-۵۰.
۱۷. قائمی زاده، ف.، ص. معروفی، ا. ترنجیان، ع. ر. ایلدرومی و ع. ملکی. ۱۳۹۵. کاربرد ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری با هدف مدیریت مناسب تغذیه آب‌خوان در دشت همدان- بهار. مهندسی و مدیریت آبخیز ۸(۱): ۲۷-۱۳.
۱۸. محمدی، ع. و س. م. حسین زاده. ۱۳۸۶. کاربرد رویکرد تلفیقی AHP/DEM در رتبه‌بندی نمایندگی‌های بیمه. پژوهش‌نامه اقتصادی ۷(۳): ۳۰۴-۲۸۱.
۱۹. مهدوی، ر.، ج. عابدی کوپایی، م. رضایی و م. عبدالحسینی. ۱۳۸۳. مکان‌یابی محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی. دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.
۲۰. مهدوی، ع.، م. ر. نوری امام زاده‌یی، ر. مهدوی نجف‌آبادی و س. ح. طباطبایی. ۱۳۸۹. مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی به روش منطق فازی در حوضه آبریز دشت شهرکرد، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۱۵(۵۶): ۶۳-۷۶.
۲۱. ملکیان، ا.، ح. علی پور، م. م. خیرخواه زرکش و س. قره‌چلو. ۱۳۹۳. کاربرد سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری در مکان‌یابی پخش سیلاب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ایور استان خراسان شمالی). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۱۸(۶۹): 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 آب‌های زیرزمینی به روش حوضچه‌های تغذیه. مجله منابع طبیعی ایران ۵۷(۳): ۱-۱۵.
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 J. 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. Abutaleb, M. F. 2003. Recharge of groundwater through multi-stage reservoirs in a desert basin. Environ. Geol. 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. J. Environ. Sci. Technol. 5: 455-462.
28. Bimal Nepal, O. M. P and Y. Alper Murat. 2010. A fuzzy AHP approach to prioritization of cs attributes in target planning for automotive product development. Expert Syst. Appl. 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. *Int. J. Sustainable Dev.* 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. *Hydrogeol J.* 10: 121-142.
 32. Chenini, I. and A. Benmammou. 2010. Groundwater recharge study in arid region: An approach using GIS techniques and numerical modeling. *Comput. Geosci.* 36: 801-817.
 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. *Env. Earth Sci.* 59: 1209-1222.
 34. Cimren, E., B. Catay and E. Budak. 2007. Development of a machine tool selection system using AHP. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 35: 363-376.
 35. Chu, T. C and Y. C. Lin. 2009. An interval arithmetic based fuzzy TOPSIS model. *Expert Syst. Appl.* 8: 10870-10876.
 36. Cheng, C. H. 1997. Evaluating naval tactical missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function. *Eur. J. Oper. Res.* 96: 343-350.
 37. Foltz, R. C. 2002. Iran's water crisis: cultural, political, and ethical dimensions. *J. Agric. Environ. Ethics* 15: 357-380.
 38. Ghayoumian, J. 2005. Integrating GIS and DSS for identification of suitable areas for artificial recharge, case study Meimeh Basin. *Environ. Geol.* 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. *J. Hydrol.* 127: 173-192.
 40. Krishnamurthy, J., N. V. Kumar, V. Jayaraman and M. Manivel. 1996. An approach to demarcate ground water potential zones through remote sensing and geographic information system. *Int. J. Remote Sens.* 21: 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. *Int. J. Remote Sens.* 16: 2595-2618.
 42. Kannan, G. 2009. A hybrid approach using ISM and fuzzy TOPSIS for the selection of reverse logistics provider. *Resour. Conserv. Recycl. and Recycling.* 1: 28-36.
 43. Kalantari, N. 2010. Site selection and cost-benefit analysis for artificial recharge in the Baghmalek plain, Khuzestan Province. *Hydrogeol. J.* 18: 761-773.
 44. Liou, T. S and M. J. J. Wang. 1992. Fuzzy weighted average: An improved algorithm. *Fuzzy Sets Syst.* 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. *Mt. Res. Dev.* 23: 169-185.
 47. Mandal, N. and V. Singh. 2004. A new approach to delineate the groundwater recharge in hard rock terrain. *Current Science* 87(5): 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. *GJHSS* 12: 23-34.
 51. Ramalingam, M. and A. Santhakumar. 2002. Case study on artificial recharge using remote sensing and GIS. *GIS development.* www.gisdevelopment.net.
 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. *J. Urban Environ. Eng.* 5: 57-66.
 54. Shih, H., H. J. Shyr and E. S. Lee. 2007. An Extension of TOPSIS for Group Decision Making. *Math. Comput. Modell.* 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. *Int. J. Remote Sens.* 19: 2595-2616.
 58. Sargaonkar, A., B. Rathi and A. Baile. 2010. Identifying potential sites for artificial groundwater recharge in sub-watershed of River Kanhan, India, *Environ. Earth Sci.* 62: 1099-1108

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. *Environ. Manage.* 52: 61-71.
60. Samani, N. and S. Behrooz. 1997. Optimal distribution of artificial recharge and its stability. PP. 182-189. *In: Proc. 8th International Conference on Rainwater Catchment Systems*, Tehran, Iran.
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. *Water Resour. Manage.* 28: 3319-3340.

Delineation of Suitable Sites for Groundwater Artificial Recharge using Integrated AHP-TOPSIS (Case Study: Shahrood-Bastam Basin)

A. Arabameri¹ and K. Shirani^{2*}

(Received: Sep. 04-2015 ; Accepted: Dec. 12-2016)

Abstract

Recent urban development and 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 including 5 main criteria and 12 sub-criteria were obtained by field observation and literature review. Then, the appropriate sites for groundwater recharge were determined. The process of the used method consists of designing hierarchical structure of the project, preparation of pairwise comparison matrices, weighting criteria and sub criteria values by experts, and ultimately ranking them by TOPSIS method. Results showed that lithology, slope, water table depth, and land use have the main role in sites delineation. A number of control sites were employed for model validation that indicates 87.20 percent accuracy. Overall, 73.6 and 82.12 percent of the total area were grouped as very suitable and suitable classes, respectively.

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

1. Dept. of Geomorphology, College of Human Scie., Tarbiyat Modares Univ., Tehran, Iran.

2. Dept. of Soil Conservation and Watershed Manage. Res., Isf. Agric. and Natural Resour. Res. and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: k_sh424@yahoo.com