سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال پنجم / شماره ۴) زمستان ۱۳۹۳
نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز
آدرس وب سایت : http://girs.iaubushehr.ac.ir

تعیین مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعهٔ موردی: دشت اشترینان)

لیلا گودرزی[۱*]، علی‌محمد آخوندعلی[۲]، حیدر زارعی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲. استاد دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳. استادیار دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده

یکی از روش‌های مدیریت منابع آب که در سال‌های اخیر کاربرد وسیعی یافته است، استفاده از روش تغذیه مصنوعی می‌باشد. این مطالعه با هدف تعیین مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان دشت اشترینان واقع در شهرستان بروجرد صورت گرفته است. معیارهای لازم و تأثیرگذار در انتخاب مکان مناسب تغذیه مصنوعی عبارتند از؛ زمین‌شناسی، شیب، ضخامت بخش غیراشباع، کیفیت آب زیرزمینی، گرادیان هیدرولیکی، قابلیت انتقال، ضریب ذخیره، فاصله از منابع آب سطحی و کاربری اراضی. در ابتدا اقدام به تهیه لایه رستری هر یک از این معیارها و تعیین وزن معیارها بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش مقایسه‌های زوجی گردید. نقشه‌های تهیه شده با استفاده از روش هم‌پوشانی تلفیق گردید. سپس مناطق نامناسب از نظر نزدیکی به چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها، با استفاده از مدل منطق بولین حذف و نقشه پتانسیل تغذیه مصنوعی برای منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. نقشه پتانسیل تغذیه مصنوعی نشان داد که ۱۷ درصد از مساحت منطقه دارای شرایط کاملاً مناسب، ۲۱ درصد دارای شرایط مناسب، ۳۱ درصد دارای شرایط متوسط، ۱۸ درصد دارای شرایط نامناسب و ۱۳ درصد دارای شرایط کاملاً نامناسب برای تغذیه مصنوعی می‌باشد که با بازدید میدانی چهار مکان برای تغذیه مصنوعی دشت اشترینان مشخص گردید.

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:
دریافت: ۳ آذر ۱۳۹۲
پذیرش: ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۳
دسترسی اینترنتی: ۱۸ دی ۱۳۹۳

واژه‌های کلیدی:
آب‌های زیرزمینی
تغذیه مصنوعی
تحلیل سلسله مراتبی
همپوشانی وزنی
منطق بولین
دشت اشترینان

* پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: goodarzi.1988@gmail.com

مقدمه

در چند دهه اخیر با افزایش رشد جمعیت و به دنبال آن افزایش نیاز آبی کشور، تعادل منابع آبی در معرض تهدید قرار گرفته است. برداشت بی‌رویهٔ آب از سفره‌های آبدار در برخی مناطق موجب افت شدید سطح ایستابی و کاهش منابع آب زیرزمینی شده است. افت سطح آب زیرزمینی مشکلاتی همچون خشک شدن چاه‌های آب، کاهش دبی رودخانه‌ها و قنات‌ها، تنزل کیفیت آب، افزایش هزینه پمپاژ و استحصال آب و نشست زمین را به دنبال دارد. در این راستا می‌بایست با اعمال مدیریتی صحیح و اجرای برنامه‌های اصولی از افت سطح آب زیرزمینی جلوگیری کرده و در صورت امکان تعادل بهم خوردهٔ آبخوان را احیا نمود. عمل تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی آبخوان‌ها، با توجه به قابلیت‌های زیاد و هزینه نسبتاً کمی که در مقایسه با سایر روش‌های توسعه بهره‌برداری از منابع آب در بردارد، می‌تواند نقش بسزایی در توسعهٔ منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، نظیر کشور ما داشته باشد.

روش‌های گوناگونی برای تغذیه مصنوعی توسعه یافته است که انتخاب یک روش ویژه بر پایه شرایط توپوگرافی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، کیفیت آب تغذیه‌ای و کاربرد نهایی آب می‌باشد. در شرایط ویژه، ارزش زمین، کیفیت آب زیرزمینی و یا حتی آب و هوا می‌توانند پارامترهای مهمی در گزینش روش تغذیه مصنوعی باشند (۲۳). باید توجه داشت که روش‌های مختلف مکانیابی به عوامل و شاخص‌های زیادی بستگی دارد. بدون استفاده از یک سیستم توانمند که توانایی استفاده از لایه‌های اطلاعاتی مؤثر و تجزیه و تحلیل آن‌ها را داشته باشد، امکان حل این معضل امکان‌پذیر نخواهد بود (٤). سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل توانایی مدیریت حجم عظیمی از داده‌ها، در این خصوص مناسب می‌باشد (۲۱). استفاده از تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی با در نظر گرفتن تمامی پارامترها به طور هم زمان سبب صرفه‌جویی در زمان و هزینه مالی می‌گردد (۱۷ و ۲٤). به دلیل وجود عوامل متعدد در عملیات مکانیابی تغذیه مصنوعی نیاز به استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره احساس می‌شود. تحقیقات متنوعی در زمینه مکانیابی تغذیه مصنوعی صورت گرفته است. رحیم‌زاده و همکاران (۳)، به تعیین مناسب‌ترین موقعیت پخش سیلاب دشت سربیشه پرداختند و نشان دادند که روش سلسله مراتبی موقعیت بهتری را مشخص می‌کند. کریمی و همکاران (۹)، جهت شناسایی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی در دشت داراب پس از تهیهٔ لایه‌های رستری معیارهای مؤثر، نسبت به رتبه‌بندی هر معیار به روش تحلیل سلسله مراتبی و تعیین وزن معیارها با استفاده از روش مقایسه دوتایی اقدام کردند. در نهایت با استفاده از روش هم‌پوشانی وزنی لایه‌های رستری، نقشه نهایی بهترین مکان برای تغذیه مصنوعی را تهیه کردند. ناصری و همکاران (۱۱) به منظور انتخاب مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در دشت چاه دراز از تلفیق سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاری (MCDM) و سیستم اطلاعات جغرافیایی، در قالب یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS) استفاده کردند و با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، محدوده‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی را انتخاب کردند. بالاچاندار و همکاران (۱۳) به منظور مکانیابی تغذیه مصنوعی در حوزهٔ سیواگانگا در هند، از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی تراکم زهکشی، تراکم خطواره، ژئومورفولوژی و کاربری اراضی در محیط GIS مکان‌های مناسب را در سه کلاس خیلی مناسب، متوسط و نامناسب طبقه‌بندی کردند. چاودهاری و همکاران (۱۵) جهت تعیین مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی در بنگال غربی در هند با استفاده از GIS، از فاکتورهای ژئومورفولوژی، ژئولوژی، تراکم زهکشی، شیب و قابلیت انتقال آبخوان استفاده کردند و با تلفیق این لایه‌ها منطقهٔ مورد مطالعه را از نظر پتانسیل تغذیه مصنوعی، به سه کلاس مناسب، نسبتاً مناسب و نامناسب تقسیم کردند. کومار و کومار (١٦)، برای تهیهٔ نقشه تغذیه مصنوعی در حوزهٔ سانجای هند، نقشه‌های موضوعی مختلف مانند ژئومورفولوژی، خطواره، کاربری اراضی، زمین‌شناسی و تراکم زهکشی را تهیه کردند و سپس با توجه به اهمیت هر لایه در ذخیره‌سازی و انتقال آب‌های زیرزمینی، به هرکدام از لایه‌های فوق یک وزن اختصاص دادند و در نهایت با ضرب هر لایه در وزنش نقشهٔ تغذیه مصنوعی منطقهٔ مورد مطالعه را تهیه کردند. از دیگر تحقیقات انجام شده در زمینه تغذیه مصنوعی می‌توان به لیو و همکاران (۱۸) در چین، ناگاراجان و همکاران (۱۹) در هند،

شبان و همکاران (۲۲) در لبنان و یه و همکاران (۲۵) در تایوان، اشاره کرد.

در این تحقیق با توجه به روند نزولی تراز سطح آب زیرزمینی دشت اشترینان، به انتخاب مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان این دشت با در نظر گرفتن کلیهٔ معیارها و تعیین وزن آن‌ها در محیط Expert choice و استفاده از تلفیق دو روش بولین و تحلیل سلسله مراتبی جهت مکانیابی استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

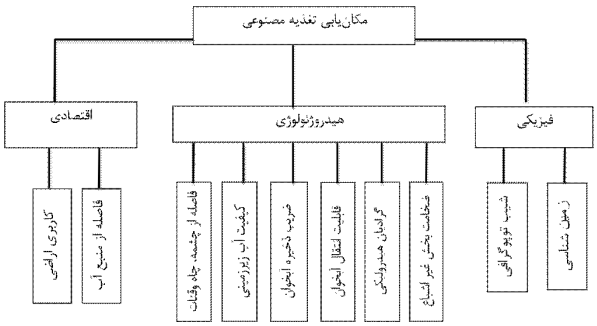
منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ اشترینان یکی از بخش‌های شهرستان بروجرد واقع در استان لرستان می‌باشد که با وسعت ۲۱۰ کیلومتر مربع، بین طول‌های ´۲۷ °۴۸ تا ´۵۰ °۴۸ شرقی و عرض‌های ´۵۲ °۳۳ تا ´۸ °۳۴ شمالی واقع شده است (شکل ۱). مطالعات انجام شده نشان داده است که سطح آب زیرزمینی در این محدوده طی سال آبی ۷۷-۷۶ تا ۸۸-۸۷ حدود ۷ متر افت داشته است (٦).

روش تحقیق

معیارهای لازم و تأثیرگذار در انتخاب مکان مناسب تغذیه مصنوعی؛ زمین‌شناسی، شیب، ضخامت بخش غیراشباع، کیفیت آب زیرزمینی، گرادیان هیدرولیکی، قابلیت انتقال، ضریب ذخیره، فاصله از منابع آب سطحی، کاربری اراضی، فاصله از قنات، فاصله از چشمه و فاصله از چاه تعیین گردید (١٤). سپس بر اساس تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاری و با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، معیارهای لازم و تأثیرگذار، به اجزاء کوچک‌تر و سطوح مختلف تقسیم گردید (شکل ۲). در تصمیم‌گیری چند معیاری، هدف در بالاترین سطح، و در سطوح میانی معیارهای اصلی و فرعی، و در پایین‌ترین سطح نیز، گزینه‌ها (شاخص‌ها) قرار گرفتند.

شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. ساختار سلسله مراتبی AHP برای تغذیه مصنوعی

لایه‌های مورد استفاده

زمین‌شناسی خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و هیدرودینامیکی هر مخزن آب زیرزمینی در ارتباط تنگاتنگ با سازندهای آن منطقه از لحاظ چینه‌شناسی، لیتولوژی، وضعیت تکتونیکی، ژئومورفولوژی و به طور کلی زمین‌شناسی آن منطقه می‌باشد. بنابراین با توجه به نقش زمین‌شناسی در منابع آب، انجام مطالعات زمین‌شناسی در امکان‌سنجی محل مناسب جهت تغذیه مصنوعی، کاملاً ضروری به نظر می‌رسد (۱۰). در این تحقیق از نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده گردید. طبقه‌بندی و امتیازدهی این لایه بر اساس تحقیقات چاودهاری و همکاران (۱۵) و کومار و کومار (١٦) انجام گرفت.

شیب از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) دشت اشترینان تهیه گردید. شیب‌های بالا به علت ایجاد فرسایش و همچنین شیب‌های خیلی پایین به علت اینکه مانع جریان آب می‌شوند مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی نیستند.

طبقه‌بندی لایه شیب بر اساس مطالعه طرفی (۷) و چاودهاری و همکاران (۱۵) انجام گرفت.

لایهٔ ضخامت بخش غیر اشباع از دیگر عوامل مؤثر برای اجرای تغذیه مصنوعی، عمق تا سطح ایستابی می‌باشد. زیرا این عمق در انتقال املاح آب نفوذی، نگهداری آب در بخش غیر اشباع، تأثیر بر زمان رسیدن آب به منطقه اشباع و تأثیر بر نرخ نفوذ آب، مؤثر می‌باشد. کم بودن ضخامت بخش غیر اشباع به دلیل تبخیر شدن آب تزریقی و یا مشکل ماندابی و زیاد بودن آن به علت طولانی شدن مسیر آب و نگهداشت مقدار قابل توجهی از آب تزریقی، برای تغذیه مصنوعی نامناسب است (۵). لایه عمق آب زیرزمینی به کمک اطلاعات چاه‌های پیزومتری تهیه و سپس رده‌بندی شده است. بر این اساس، عمق آب زیرزمینی به چهار رده تقسیم شده است. مناطقی که عمق آب زیرزمینی در آن‌ها بین ۷ تا ۱۵ متر بود، دارای بیشترین ارجحیت می‌باشند. طبقه‌بندی لایه ضخامت بخش غیر اشباع بر اساس تحقیقات طرفی (۷) و کلانتری و جلالوند (۱۰) صورت گرفت.

کیفیت آب زیرزمینی جهت حفظ منابع آب زیرزمینی، مکان تغذیه مصنوعی نباید در آبخوان‌های با کیفیت نامناسب قرار گیرد. جهت بررسی کیفیت آب از میزان هدایت الکتریکی (EC) استفاده شده است. هر چه میزان EC آب کم باشد، نشان دهنده وجود املاح کم در آب و کیفیت مطلوب آب است. برای تهیهٔ این لایه از هدایت الکتریکی چشمه‌ها، چاه‌ها و قنات‌های موجود در منطقه استفاده شد. کیفیت آب زیرزمینی بر اساس تحقیقات سپند (۵) به چهار کلاس تقسیم گردید.

گرادیان هیدرولیکی از جمله پارامترهای مؤثر هیدروژئولوژیکی در پروژه‌های تغذیه مصنوعی، میزان گرادیان هیدرولیک منطقه می‌باشد. زمانی که جریان آب زیرزمینی افقی باشد، شیب سطح ایستابی در آبخوان‌های آزاد و شیب سطح پیزومتریک در آبخوان‌های تحت فشار نمایانگر گرادیان هیدرولیک می‌باشد. در پروژه‌های تغذیه مصنوعی میزان ماندگاری آب تزریق شده اهمیت خاصی دارد و اجرای این گونه طرح‌ها زمانی توجیه اقتصادی پیدا می‌کند که آب تزریقی در آبخوان باقی بماند. اگر در منطقه میزان گرادیان هیدرولیک کم باشد، بیشتر آب تزریقی از طریق نقاط خروجی تخلیه می‌شود و عملاً فرآیند تغذیه مصنوعی با مشکل مواجه می‌شود. به منظور تهیهٔ این لایه، نقشهٔ سطح ایستابی با استفاده از داده‌های پیزومتری موجود در منطقه ترسیم و سپس با استفاده از Surface Analyze در نرم‌افزار GIS، این لایه تهیه گردید. امتیازدهی این لایه بر اساس تحقیقات سپند (۵) صورت گرفته است.

قابلیت انتقال آبخوان توانایی انتقال آب در آبرفت، یکی از ضرایب هیدرودینامیکی است که نشان دهندهٔ حرکت آب در محیط متخلخل است. هر چه میزان انتقال‌پذیری بیشتر باشد برای تغذیه مصنوعی مناسب‌تر است.

ضریب ذخیره ضریب ذخیره حجم آبی است که در اثر پایین یا بالا رفتن سطح فشار به اندازه یک واحد از هر واحد سطح آکیفر خارج شده و یا به ذخیره آن افزوده می‌شود. بنابراین زیاد بودن این پارامتر به معنای توان ذخیره‌ای بیشتر آبخوان است (۵). قابلیت انتقال بر اساس تحقیقات کریمی و همکاران (۹) طبقه‌بندی گردید.

کاربری اراضی شامل استفاده از اراضی به منظور رفع نیازهای گوناگون انسان است. اگر چه کاربری اراضی بر رفتار هیدرولوژی حوضه‌های مشرف به دشت مؤثر است، اما در این تحقیق به عنوان یکی از پارامترهای اقتصادی مؤثر در مکانیابی به کار برده شده است. در این تحقیق نقشه این سه معیار، از نقشهٔ تهیه شده توسط سازمان آب منطقه‌ای استان لرستان استفاده گردید.

فاصله از منبع آب سطحی در مکانیابی تغذیه مصنوعی آبراهه‌هایی با حجم رواناب کافی مورد توجه قرار می‌گیرند. علاوه بر این، ابنیه تغذیه مصنوعی باید در نواحی ساخته شود که در فاصله مناسب از آبراهه‌هایی با رواناب کافی قرار گرفته باشند. با زیاد بودن فاصلهٔ نواحی شناسایی شده جهت اجرای طرح تغذیه مصنوعی از رودخانه، هزینه اجرای طرح بالا رفته و عملاً توجیه اقتصادی خود را از دست می‌دهد و اگر این فاصله کم باشد ممکن است رودخانه به حالت زهکش در آمده و بخشی از آب تزریقی به درون زمین را زهکشی نماید. از این رو در منطقهٔ مورد مطالعه نقشه شبکه آبراهه در محیط نرم‌افزار GIS تهیه و آبراهه‌های رده ۳ و بیشتر انتخاب گردید. نواحی که در فاصلهٔ ۶۰۰-۴۰۰ متری این آبراهه‌ها واقع شده‌اند

بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند. امتیازدهی این لایه بر اساس تحقیقات انجام شده توسط سپند (۵) صورت گرفته است.

فاصله از قنات از آنجا که وجود قنات در نزدیکی مکان تغذیه مصنوعی، ممکن است باعث فرار آب تزریقی و تخلیه آن شود، برای قنات‌های موجود در منطقه یک حریم ۵۰۰ متری در نظر گرفته شد.

فاصله از چشمه به دلیل مشابه با آنچه برای قنات ذکر شد، برای چشمه‌های موجود در منطقه یک حریم ۲۰۰ متری در نظر گرفته شد.

فاصله از چاه اگر ابنیه تغذیه مصنوعی در نزدیکی چاه‌های موجود در منطقه ساخته شوند، ممکن است بار فشاری اعمال شده به چاه‌ها، باعث تخریب آن‌ها شود. در این تحقیق برای کلیهٔ چاه‌های پیزومتری و بهره‌برداری در منطقهٔ مورد مطالعه یک حریم ۲۰۰ متری در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای هر فاکتور مؤثر در تغذیه مصنوعی یک وزن در نظر می‌گیرد، در این تحقیق وزن هر معیار اصلی و فرعی و نیز وزن گزینه‌های فرعی با توجه به اهمیت آن و بر اساس اطلاعات کتابخانه‌ای (۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱٤ و ۱۵) و با استفاده از روش مقایسه دوتایی که در جدول ۱ نشان داده شده است، تعیین گردید. در مرحله بعد در روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تلفیق قضاوت‌ها انجام و اولویت هر معیار تعیین گردید. در این تحقیق اوزان هر معیار و گزینه به روش ساعتی (۲۰) مشخص گردید. در این روش، ابتدا ماتریس حاصل از مقایسه‌ها به بی بعد گردید. یعنی آنکه مقادیر هر ستون را جداگانه جمع نموده و سپس هر عنصر ماتریس بر حاصل جمع ستون مربوطه، تقسیم شد. در مرحله بعد، آرایه‌های هر سطر ماتریس با هم جمع و بر تعداد آرایه‌های سطر تقسیم گردید. پاسخ به دست آمده یک ماتریس ستونی است که آرایه‌های آن، وزن معیارهای مقایسه شده می‌باشد (۱). جهت جلوگیری از اعمال سلیقه و قضاوت‌های تصادفی از شاخص نرخ ناسازگاری استفاده گردید (۱۲). برای اینکه نتایج حاصل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی قابل قبول باشد باید نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد (۸). مقایسه دودوئی و تعیین وزن نهایی برای هر یک از معیارها و گزینه‌ها و محاسبه نرخ ناسازگاری در محیط نرم‌افزار Expert choice انجام گرفت. در این تحقیق، معیارهای فاصله از چشمه، فاصله از قنات و فاصله از چاه به عنوان معیارهای حذفی در نظر گرفته شدند.

جدول۱. درجه اهمیت در مقایسه دو دویی در روش AHP (۱۲)

اهمیت مطلق	اهمیت بسیار قوی	اهمیت قوی	اهمیت متوسط	اهمیت برابر	درجه اهمیت در مقایسه دودویی
۹	۷	۵	۳	۱	مقدار عددی

تعیین محل مناسب

ابتدا ماتریس اوزان در سطوح مختلف سلسله مراتب در یکدیگر ضرب گردید و مطلوبیت گزینه‌ها از رابطهٔ ۱ محاسبه گردید:

$$S.I = W_n \times W_{n-1} \times ... W_2 \times 1 \qquad [۱]$$

که در این رابطه؛ S.I شاخص تناسب، W_n ماتریس اوزان در سطح n، W_{n-1} ماتریس اوزان در سطح n-1 و W_2 ماتریس اوزان در سطح ۲ می‌باشد. بر این اساس، لایه‌های اطلاعاتی، توسط تابع Raster Calculator در محیط GIS تلفیق شدند. در این مرحله، با رابطه ۱ شاخص تناسب، اوزان محاسبه شده در هر سطح سلسله مراتب در لایه رستری مربوطه ضرب گردیده و سپس این لایه‌ها با یکدیگر تلفیق گردید. سپس نتیجهٔ حاصل از این مرحله با استفاده از مدل منطق بولین در لایه‌های فاصله از چشمه، فاصله از چاه و فاصله از قنات ضرب شد. بدیهی است، مجموعه سلول‌هایی که دارای بیشترین ارزش باشند به عنوان مناسب‌ترین مکان برای پخش سیلاب انتخاب شدند.

نتایج و بحث

نتایج ماتریس زوجی و درجه اهمیت (وزن) معیار زمین‌شناسی در جدول ۲ ارائه شده است. واحدهای کواترنری

دشت اشترینان (Q_{t2}، Q_{t1} و Q_{pl}) به دلیل نفوذپذیری بالا به ترتیب بیشترین امتیاز را به خود اختصاص دادند و واحدهای با نفوذپذیری کمتر وزن کمتری را به خود اختصاص دادند.

در جدول ۳ نتایج طبقات شیب و وزن‌دهی این معیار در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول۲. ماتریس مقایسه زوجی، درجه اهمیت و نرخ ناسازگاری معیار زمین‌شناسی

زمین‌شناسی	[۱]Qt_2	[۲] Qt_1	[۳]Q_{pl}	[۴]Sn-ph	[۵]sl، [۶]cf، [۷]h، [۸]sch، [۹]g	درجه اهمیت
Qt_1	۱	۳	۵	۷	۹	۰/۵۱۳
Qt_2		۱	۳	۵	۷	۰/۲۶۱
Qpl			۱	۳	۵	۰/۱۲۹
Sn-ph				۱	۳	۰/۰۶۳
g ،sch ،h ،cf ،sl					۱	۰/۰۳۳

C.R = ۰/۰۵

[۱]تراس‌های کوتاه و جوان، [۲]تراس‌های بلند و قدیمی، [۳]کنگلومرا، [۴]ماسه سنگ دگرگون شده و فیلیت، [۵]اسلیت، [۶]کفه‌رسی، [۷]هورنفلس، [۸]شیست لکه‌دار، [۹]گرانیت.

جدول۳. ماتریس مقایسه زوجی، درجه اهمیت و نرخ ناسازگاری رده‌های معیار شیب

شیب توپوگرافی (٪)	<۱	۱-۵	۵-۱۰	>۱۰	درجه اهمیت
<۱	۱	۱/۹	۱/۳	۱	۰/۰۶۷
۱-۵		۱	۵	۹	۰/۶۸۹
۵-۱۰			۱	۳	۰/۱۷۸
>۱۰				۱	۰/۰۶۷

C.R = ۰/۰۱

در جدول ٤، نتایج طبقه‌بندی و وزن‌دهی ضخامت بخش غیر اشباع ارائه شده است. بر این اساس مناطقی که عمق آب زیرزمینی در آن‌ها بین ۷ تا ۱۵ متر باشد دارای بیشترین ارجحیت می‌باشند. مناطق با عمق آب زیرزمینی کمتر از ۷ متر به دلیل تبخیر شدن آب تزریقی و یا مشکل ماندابی و مناطق با عمق آب زیرزمینی بیش از ۲۵ متر به علت طولانی شدن مسیر آب و نگهداشت مقدار قابل توجهی از آب تزریقی وزن کمتری به خود اختصاص دادند.

جدول۴. ماتریس مقایسه زوجی، درجه اهمیت و نرخ ناسازگاری رده‌های ضخامت بخش غیر اشباع

ضخامت بخش غیر اشباع (متر)	<۷	۷-۱۵	۱۵-۲۵	>۲۵	درجه اهمیت
<۷	۱	۱/۹	۱/۵	۱	۰/۰۶
۷-۱۵		۱	۳	۹	۰/۶۱۶
۱۵-۲۵			۱	۵	۰/۲۶۵
>۲۵				۱	۰/۰۶

C.R = ۰/۰۱

نتیجه ماتریس مقایسهٔ زوجی و وزن رده‌های هدایت الکتریکی در جدول ۵ ارائه شده است، بر این اساس به کلاس‌های با کیفیت بهتر امتیاز بیشتری اختصاص داده شد. نتایج هدایت الکتریکی در جدول ٦ آورده شده است، به مناطقی که قابلیت انتقال بالاتری دارند درجه اهمیت (وزن) بیشتری اختصاص داده شده است.

جدول۵. ماتریس مقایسهٔ زوجی، درجه اهمیت و نرخ ناسازگاری رده‌های هدایت الکتریکی (میکروموهس بر سانتی‌متر)

هدایت الکتریکی	<٤٠٠	٤٠٠–٥٢٠	٥٠٠–٦٢٠	>٦٢٠	درجه اهمیت
<٤٠٠	١	٢	٣	٤	٠/٤٦٧
٤٠٠–٥٢٠		١	٢	٣	٠/٢٧٧
٥٠٠–٦٢٠			١	٢	٠/١٦
>٦٢٠				١	٠/٠٩٥

C.R =٠/٠١

جدول۶. ماتریس مقایسه زوجی، وزن و نرخ ناسازگاری قابلیت انتقال (متر مربع بر روز)

قابلیت انتقال	<٢٥٠	٢٥٠–٥٠٠	٥٠٠–٧٥٠	>٧٥٠	درجه اهمیت
<٢٥٠	١	١/٣	١/٥	١/٧	٠/٠٥٧
٢٥٠–٥٠٠		١	١/٣	١/٥	٠/١٢٢
٥٠٠–٧٥٠			١	١/٢	٠/٢٩٨
>٧٥٠				١	٠/٥٢٣

C.R=٠/٠٣

نتایج گرادیان هیدرولیکی در جدول ۷ نشان می‌دهد که گرادیان هیدرولیکی در منطقه بالا است، به طوری که پایین‌ترین رده نیز نمی‌تواند مانعی در مقابل تغذیه مصنوعی باشد. از این رو به رده‌های پایین‌تر امتیاز بیشتری اختصاص داده شد. نتیجه وزن و نرخ ناسازگاری آبدهی ویژه در جدول ۸ نشان می‌دهد که مناطقی با ضریب ذخیره بالا وزن بیشتری دارند.

جدول۷. ماتریس مقایسه زوجی، وزن و نرخ ناسازگاری گرادیان هیدرولیکی (متر مربع بر روز)

گرادیان هیدرولیکی	<٢	٢–٦	٦–١٠	>١٠	درجه اهمیت
<٢	١	٣	٥	٧	٠/٥٨٧
٢–٦		١	٢	٣	٠/٢١٨
٦–١٠			١	٢	٠/١٢٣
>١٠				١	٠/٠٧٢

C.R =٠/٠١

جدول۸. ماتریس مقایسه زوجی، وزن و نرخ ناسازگاری آبدهی ویژه

آبدهی ویژه	۰/۰٦۵	۰/۰۸۵	۰/۱۰۹	۰/۳۱۷	درجه اهمیت
۰/۰٦۵	۱	۱/۲	۱/۵	۱/۹	۰/۰۵۳
۰/۰۸۵		۱	۱/۳	۱/۷	۰/۰۹۱
۰/۱۰۹			۱	۱/۳	۰/۲٤۵
۰/۳۱۷				۱	۰/٦۱۱

C.R =۰/۰۱

نتایج ارائه شده در جدول ۹ نشان می‌دهد که مناطق مسکونی به دلیل هزینه بالا و محدودیت در اجرای طرح تغذیه مصنوعی کمترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند و دیم‌زارهای پراکنده، کشت دیم و کشت آبی با توجه به مسائل اقتصادی به ترتیب در اولویت‌های بعد قرار گرفتند.

جدول۹. ماتریس مقایسه زوجی، وزن و نرخ ناسازگاری کاربری اراضی

کاربری اراضی	دیم‌زار پراکنده	کشت دیم	کشت آبی	مسکونی	درجه اهمیت
دیم‌زار پراکنده	۱	۲	۳	۹	۰/٤۹۱
کشت دیم		۱	۲	۷	۰/۲۹۳
کشت آبی			۱	۵	۰/۱۷۳
مسکونی				۱	۰/۰٤۳

C.R =۰/۰۲

از آنجا که در مکانیابی تغذیه مصنوعی آبراهه‌های با حجم رواناب بالاتر مورد توجه قرار می‌گیرند، در این پژوهش نقشه شبکه آبراهه در محیط نرم‌افزار GIS تهیه و آبراهه‌های رده سه و بیشتر انتخاب گردید. نتایج ارائه شده در جدول ۱۰ نشان می‌دهد که مناطقی با فاصله مناسب از این آبراهه‌ها وزن بیشتری دارند.

جدول۱۰. ماتریس مقایسه زوجی فاصله از منبع آب سطحی (متر)

فاصله از منبع آب سطحی	<۲۰۰	۲۰۰-٤۰۰	٤۰۰-٦۰۰	٦۰۰-۸۰۰	>۸۰۰	درجه اهمیت
<۲۰۰	۱	۱/۳	۱/۹	۱/۷	۱/۲	۰/۰٤۱
۲۰۰-٤۰۰		۱	۱/۵	۱/۳	۳	۰/۱۲۲
٤۰۰-٦۰۰			۱	۲	۷	۰/٤۸۵
٦۰۰-۸۰۰				۱	۵	۰/۲۹۲
>۸۰۰					۱	۰/۰٦۱

C.R =۰/۰۲

معیارهای فاصله از چاه، چشمه و قنات به صورت حذفی در نظر گرفته شده‌اند و وزن‌دهی آن‌ها بر اساس منطق بولین تعیین گردید. نتایج وزن‌دهی این سه معیار در جدول ۱۱ آورده شده است. به مناطقی که درون حریم واقع شده‌اند وزن صفر و این مناطق از محدوده‌های جواب حذف گردید.

در جدول ۱۲ وزن‌های معیارهای اصلی و زیرمعیارها آورده شده است. معیارهای فیزیکی به دلیل آنکه در منطقه مورد مطالعه عموماً مناسب هستند، نسبت به معیارهای اقتصادی وزن کمتری به خود اختصاص داده‌اند. از نظر شیب حدود ٦٠٪ منطقه در محدودهٔ شیب ۱-۵٪ و ۲۷٪ آن در محدودهٔ شیب ۵-۱۰٪ قرار دارد.

با لحاظ معیار زمین‌شناسی بخش اعظم منطقه از پادگانه‌های آبرفتی جدید و قدیمی که از نظر تغذیه مصنوعی مناسب هستند، پوشیده شده است.

جدول۱۱. طبقه‌بندی و وزن سه لایه فاصله از چشمه، چاه و قنات (متر)

فاصله از چشمه	رده	<۲۰۰	>۲۰۰	به صورت معیار حذفی در نظر گرفته شده است.
	وزن	۰	۱	
فاصله از چاه	رده	<۲۰۰	>۲۰۰	به صورت معیار حذفی در نظر گرفته شده است.
	وزن	۰	۱	
فاصله از قنات	رده	<۵۰۰	>۵۰۰	به صورت معیار حذفی در نظر گرفته شده است.
	وزن	۰	۱	

جدول۱۲. وزن‌های مربوط به سه معیار اصلی (فیزیکی، هیدروژئولوژی و اقتصادی)

فیزیکی	هیدروژئولوژی	اقتصادی
۰/۱۱۷	۰/٦٨٣	۰/۲

نتایج ارائه شده در جدول ۱۳ نشان می‌دهد که در مقایسهٔ معیارهای اقتصادی، زیرمعیار فاصله از منبع آب سطحی نسبت به کاربری اراضی وزن بیشتری به خود اختصاص داده است، به این دلیل که در تهیهٔ لایه فاصله از منبع آب، آبراهه‌های رده ۳ و بالاتر از آن انتخاب شده است، بنابراین، این لایه می‌تواند بیانگر حجم رواناب نیز باشد و به دلیل اهمیت وجود آب در منطقه به این معیار وزن بیشتری داده شده است.

به دلیل اینکه در منطقهٔ مورد مطالعه، مقدار هدایت الکتریکی آب زیرزمینی مناسب می‌باشد، در بین زیرمعیارهای هیدروژئولوژی، کیفیت آب زیرزمینی، کمترین وزن را به خود اختصاص داده است.

در شکل ۲ تا ٤ لایه‌های اطلاعاتی که در محیط ArcGIS®9.3 تهیه شده‌اند، آورده شده است. بعد از تلفیق لایه‌ها، منطقه مورد مطالعه از نظر پتانسیل تغذیه مصنوعی به پنج کلاس کاملاً نامناسب، نامناسب، متوسط، مناسب و کاملاً مناسب تقسیم گردید (شکل۵).

کلاس کاملاً نامناسب مناطقی هستند که در حریم چاه، چشمه و قنات واقع شده‌اند. به طور کلی می‌توان گفت مناطقی که در کلاس‌های مناسب و کاملاً مناسب قرار دارند جهت انتخاب مکان‌های مورد نظر مناسب هستند. از آنجایی که محل تغذیه مصنوعی باید در بالادست جریان آب زیرزمینی انتخاب شود که آب تزریقی بلافاصله بعد از نفوذ به آب زیرزمینی از دسترس خارج نشود و با توجه به اهمیت وجود آبراهه در نزدیکی محل تغذیه مصنوعی، چند مکان جهت تغذیه مصنوعی انتخاب گردید.

بدون شک عملیاتی را نمی‌توان یافت که از دقت و صحت کامل برخوردار باشد. برخی خطاها سیستماتیک می‌باشند و کاربر نقشی در ایجاد آن‌ها ایفا نخواهد کرد. لیکن برخی خطاها

نظیر انتخاب وزن‌ها با دقت بیشتر از سوی کاربر تا حدی قابل رفع می‌باشد (۲). لذا بازدیدهای میدانی کامل کننده ارزیابی شاخص‌ها با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی بوده و تکیه به نتایج سامانه اطلاعات جغرافیایی به تنهایی نمی‌تواند نشان دهنده نتایج نهایی باشد.

با توجه به این مسئله که مکان‌های انتخابی باید در فاصله مناسبی از جاده و خطوط انتقال نیرو باشند از مکان‌های انتخابی بازدید به عمل آمد. بعد از بازدیدهای صحرایی، برخی مکان‌ها حذف و سایر مکان‌ها برای تغذیه مصنوعی مناسب تشخیص داده شدند. شکل ۵ موقعیت سایت‌های پیشنهادی جهت اجرای تغذیه مصنوعی را نشان می‌دهد.

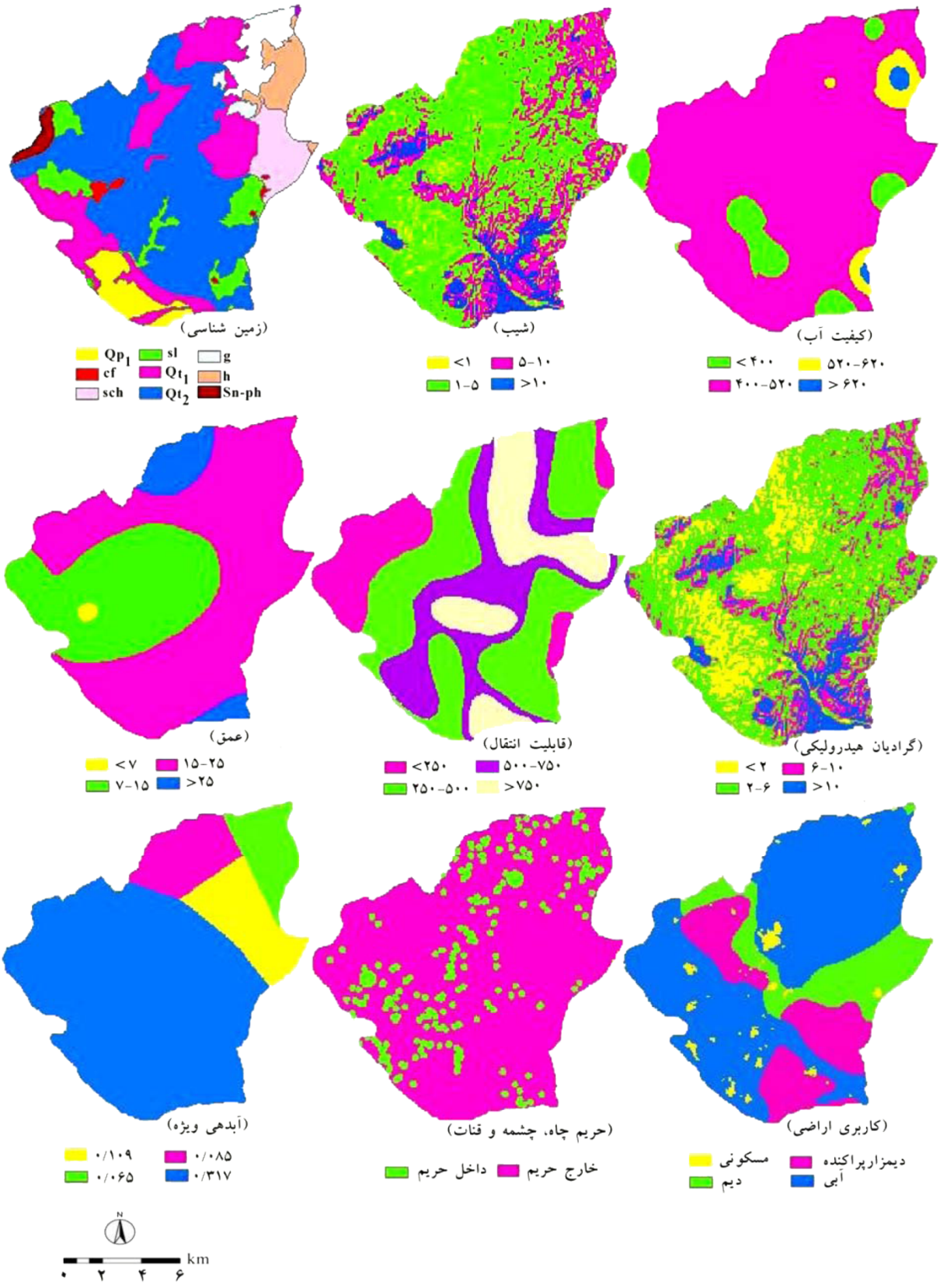
پس از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS، منطقه مورد مطالعه به پنج کلاس تقسیم شد. مطابق این نقشه ۱۷٪ از مساحت منطقه دارای شرایط کاملاً مناسب، ۲۱٪ دارای شرایط مناسب، ۳۱٪ دارای شرایط متوسط، ۱۸٪ دارای شرایط نامناسب و ۱۳٪ دارای شرایط کاملاً نامناسب برای تغذیه مصنوعی می‌باشد.

مناطق مناسب عمدتاً در قسمت‌های میانی دشت قرار گرفته‌اند. در نهایت سه مکان برای مکانیابی تغذیه مصنوعی انتخاب شد. جمع‌بندی کلیه فاکتورهای مؤثر در مکانیابی و بررسی صحت نتایج حاصل از کاربرد تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به همراه سیستم اطلاعات جغرافیایی توسط بازدیدهای میدانی، کارایی روش مورد استفاده در این پژوهش را نشان داد.

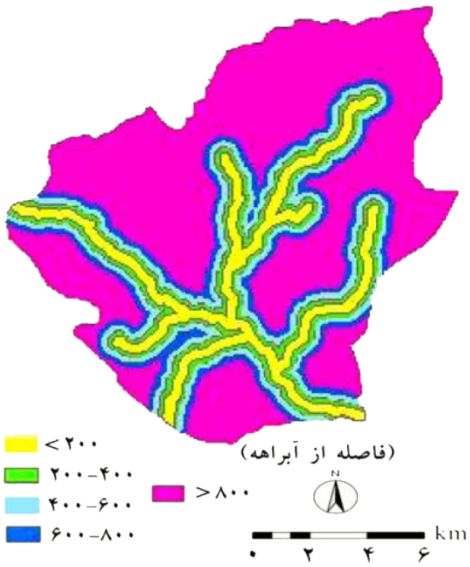
در تحقیق حاضر از پارامترهایی استفاده گردید که داده‌های خام مورد نیاز این پارامترها مهیا بود. با توجه به دخیل بودن پارامترهای متعدد در مکانیابی، پیشنهاد می‌گردد در مطالعات بعدی در این زمینه از پارامترهایی همچون لیتولوژی بخش غیر اشباع، فاصله از جاده نیز استفاده گردد. همچنین در صورت امکان از نقشه‌های مقیاس بزرگ در مراحل ارزیابی استفاده شود تا با اطمینان بیشتری بتوان به نتایج تکیه کرد.

جدول۱۳. وزن‌های زیرمعیارهای اصلی در مکانیابی محل پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی

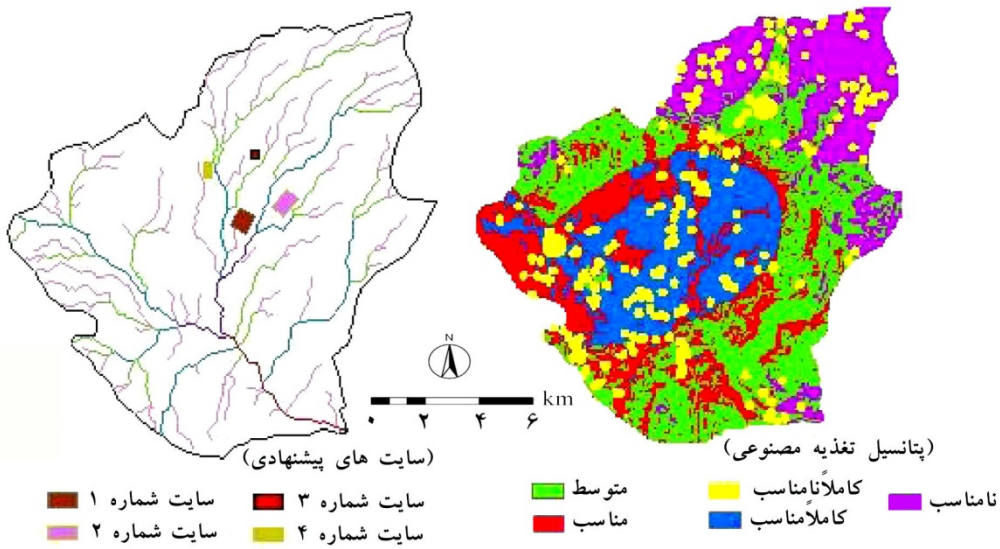
فیزیکی		هیدروژئولوژی							اقتصادی	
شیب توپوگرافی	زمین‌شناسی	ضخامت غیر اشباع	گرادیان هیدرولیکی	قابلیت انتقال	ضریب ذخیره	کیفیت آب	فاصله از چاه	فاصله از چشمه	فاصله از قنات	فاصله از منبع آب	کاربری اراضی
۰/۵	۰/۵	۰/٤١٦	۰/۱٤۹	۰/۱٤۹	۰/۲۵۳	۰/۰۳۲	معیار حذفی	معیار حذفی	معیار حذفی	۰/٦٦۷	۰/۳۳۳



شکل۳. نقشه لایه‌های اطلاعاتی کیفیت آب، شیب، زمین‌شناسی، گرادیان هیدرولیکی، قابلیت انتقال، عمق، کاربری اراضی، حریم چاه- چشمه و قنات، و آبدهی ویژه



شکل۴. نقشه لایه اطلاعاتی فاصله از منبع آب سطحی



شکل۵. نقشه پهنه‌بندی مناطق مستعد و سایت‌های در نظر گرفته شده برای تغذیه مصنوع

منابع مورد استفاده

۱. آذر، ع. و ع. رجب‌پور. ۱۳۸۱. تصمیم‌گیری کاربردی، انتشارات نگاه دانش. ۱۸٦ صفحه.

۲. چیت‌سازان، م.، ف. دهقانی، ف. راست‌منش و ی. میرزایی. ۱۳۹۲. مکانیابی محل دفن پسماندهای جامد شهری با استفاده از فن‌آوری‌های اطلاعات مکانی و منطق فازی – تحلیل سلسله مراتبی (مطالعهٔ موردی: رامهرمز). مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ٤(۱): ۳۹-۵۷.

۳. رحیم‌زاده، ز.، ح. کاردان مقدم، م. دهقانی و ر. هاشمی. ۱۳۹۰. ارزیابی روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در مکانیابی بهینه تغذیه مصنوعی با استفاده از RS و GIS. مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. ۱۳ و ۱٤ اردیبهشت ماه. دانشگاه امیر کبیر، تهران.

٤. 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. صفحه ۱۱۲ صفحه.

۵. سپند، س. ۱۳۸٦. امکان‌سنجی طرح تغذیه مصنوعی در محدودهٔ لالی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران، اهواز. ۱٤۵ صفحه.

٦. شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان. ۱۳۸۹. گزارش آب زیرزمینی محدوده اشترینان. جلد پنجم. ۸۵ صفحه.

۷. طرفی، ح. ۱۳۸۷. امکان‌سنجی تغذیه مصنوعی دشت خران با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران، اهواز. ۱۲۰ صفحه.

۸. قنبری، ف.، م. پناهنده، ب. ارسطو و ا. قویدل. ۱۳۸۸. کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی در مکانیابی جایگاه دفن پسماند شهر سمنان. مجله سلامت و محیط، ۲(٤): ۲۷٦-۲۸۳.

۹. کریمی، ث.، م. زارع. م. ر. کریمی و ز. بهرامی. ۱۳۹۰. مکانیابی مناطق مناسب جهت تغذیه مصنوعی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله مراتبی. مجموعه مقالات اولین همایش ملی زمین‌شناسی ایران، ٤ و ٥ خردادماه. دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز.

۱۰. کلانتری، ن. ا. و ع. جلالوند. ۱۳۸۸. تعیین مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی سفره آبدار کوشکک در شمال شوشتر با استفاده از روش‌های معمول و GIS. مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، ۲۲: ٥٦-۷۲.

۱۱. ناصری، ح. ر.، م. ج. عزیزخانی و س. مکنونی گیلانی. ۱۳۸۸. تلفیق سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری و اطلاعات جغرافیایی در مکانیابی محل‌های مناسب پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی (مطالعهٔ موردی: دشت چاه دراز- سیرجان). فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۳(۱۰): ۹۷-۱۰۵.

۱۲. ولیخانی، ن.، ا. ح. چرخابی، م. خیرخواه زرکش و م. ج. سلطانی. ۱۳۹۰. کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصمیم‌گیری چند معیاره MCDM در پهنه‌بندی درجه تناسب توسعه فیزیکی اراضی شهری (مطالعهٔ موردی: شمال شهر کرج). فصلنامه کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۲(۲): ۱-۱۵.

13. Balachandar D, Alaguraja P, Sundaraj P, Rutharvelmurthy K. 2010. Application of Remote Sensing and GIS for artificial recharge zone in Sivaganga District, Tamilnadu, India. International Journal of Geomatics and Geosciences, 1(1): 84-97.
14. Brema J, Arulraj G. 2012. Identification of sites suitable for artificial recharging and groundwater flow modeling in Noyyal River basin, Tamilnadu, India. International Journal of Sustainable Development, 3(8): 45-58.
15. Chowdhury A, Jha MK, Chowdary V. 2010. Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques. Environmental Earth Sciences, 59(6): 1209-1222
16. Kumar B, Kumar U. 2011. Ground water recharge zonation mapping and modeling using Geomatics techniques. International Journal Of Environmental Sciences, 1(7): 1677-1688.
17. Leblanc M, Leduc C, Razack M, Lemoalle J, Dagorne D, Mofor L. 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.
18. Liu B, Shu L, Iro Ong'Or BT, Sun Q. 2007. Evaluation method for artificial recharge potential in a cone of depression in Jining City, China. IAHS-AISH publication: 424-430
19. Nagarajan M, Singh S. 2009. Assessment of groundwater potential zones using GIS technique. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 37(1): 69-77.
20. Saaty TL. 2002. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. European Journal of Operational Research, 145: 85–91.
21. Şener B, Süzen ML, Doyuran V. 2006. Landfill site selection by using geographic information systems. Environmental Geology, 49(3): 376-388.
22. Shaban A, Khawlie M, Abdallah C. 2006. Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon. Hydrogeology Journal, 14(4): 433-443
23. Todd DK, Mays LW. 2005. Groundwater Hydrology. 3 Edition, John Wiley and Sons publishers, 636 pp.
24. Tweed SO, Leblanc M, Webb JA, Lubczynski MW. 2007. Remote sensing and GIS for mapping groundwater recharge and discharge areas in salinity prone catchments, southeastern Australia. Hydrogeology Journal, 15(1): 75-96.
25. 24. Yeh H-F, Lee C-H, Hsu K-C, Chang P-H. 2009. GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone. Environmental Geology, 58(1): 185-195.

RS & GIS for Natural Resources
(Vol. 5/ Issue 4) winter 2015
Indexed by ISC, SID, Magiran and Noormags
http://girs.iaubushehr.ac.ir

Identification of sites suitable for artificial recharging using GIS and AHP techniques (Case study: Oshtorinan Plain)

L. Goodarzi[1*], A. M. Akhondali[2], H. Zarei[3]

1. MSc. Student, College of Water Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz
2. Prof. College of Water Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz
3. Assis. Prof. College of Water Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

ARTICLE INFO

Article history:
Received 24 November 2013
Accepted 8 May 2014
Available online 8 January 2015

Keywords:
Groundwater
Artificial recharge
Analytic Hierarchy Process (AHP)
Weighted overlay analysis
Boolean logic
Oshtorinan Plain

ABSTRACT

One of the water management methods that had wide application in recent years is the artificial recharge. The aim of this study is to determine the suitable sites for artificial recharge in Oshtorinan plain located in Boroujerd City. The effective factors of artificial recharge were identified includes: geology, slope, the thickness of the unsaturated zones, groundwater quality, aquifer transmissivity, hydraulic gradient, storage coefficient, distance from surface water sources, and land use. In first, raster maps for different layers were prepared and arranged using the paired comparison method and Analytic Hierarchy Process (AHP). Raster layers were integrated using the Weighted Index Overlay Method. Unsuitable areas according to the proximity to wells, springs and Qantas were eliminated by using the Boolean model, and the artificial recharge map was prepared. Three sites were determined for artificial recharge in Oshtorinan Plain. The potential artificial recharge map shown, 17% of the region area had quite suitable, 21% was suitable, 31% was moderately suitable, 18% was unsuitable and 13% was prefect unsuitable for artificial recharge. Finally, through field visiting four sites were determined for artificial recharge in Oshtorinan Plain.

* Corresponding author e-mail address: goodarzi.1988@gmail.com