Iranian Journal of
Rainwater Catchment Systems

مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران

شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۲۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیه آب‌های زیرزمینی با استفاده از GIS و WLC (دشت قروه-کردستان)

جهانگیر عابدی کوپایی[1*]، امیر زارعی[2]، عیسی معروف‌پور[3]

۱. استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳. دانشیار، گروه مهندسی علوم آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹

صفحات: ۶۰-۴۳

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

چکیده

در دهه‌های اخیر افزایش روزافزون جمعیت، نیازهای انسانی و تغییر الگوهای مصرفی جوامع، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب را بیش‌ازپیش ایجاب می‌کند. از راه‌کارهای مدیریتی منابع آب زیرزمینی می‌توان به جبران این منابع از طریق تغذیه مصنوعی و بهره‌برداری با توجه به ظرفیت آبخوان‌ها اشاره نمود. منطقه مورد مطالعه، در حوضه آبریز قروه به مساحت ۲۳۲/۱۷ کیلومترمربع واقع شده است. در این پژوهش که در دشت قروه در استان کردستان انجام شده، تعداد نه معیار شامل شیب، کاربری اراضی، ضخامت آبرفت غیراشباع، هدایت هیدرولیکی، فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی، هدایت الکتریکی، قابلیت انتقال آبخوان و پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. روش مورد استفاده در این پژوهش، روش ترکیب وزنی-خطی (WLC)، است. وزن‌های وارد شده در این روش، توسط فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در نرم‌افزار Super Decisions استخراج شد. نتایج این روش نشان داد که حدود ۲۳/۴ درصد از کل مساحت دشت و به میزان ۵۴/۴ کیلومترمربع برای انجام عمل تغذیه، دارای ارزش زیادی است و حدود ۱۹ درصد از کل مساحت دشت نامناسب تشخیص داده شد.

کلمات کلیدی: تغذیه مصنوعی، دشت قروه، سیستم اطلاعات جغرافیایی، WLC.

مقدمه

امروزه آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده در بسیاری از کشورهای جهان به‌خصوص کشورهای دارای اقلیم خشک تا نیمه‌خشک است. این کمبود یکی از تنگناهای توسعه اقتصادی ایران، به‌ویژه در بخش کشاورزی است (Lenzen et al., 2012). با توجه به افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به منابع غذایی و تولیدات صنعتی ارائه الگوهای بهینه جهت مدیریت منابع آب و حفظ محیط‌زیست ضروری است (Asano et al., 1985). علاوه براین، نیاز فزاینده به منابع آب در ایران، موجب بهره‌برداری بی‌رویه و سبب برهم زدن تعادل طبیعی منابع آب زیرزمینی شده است؛ به‌طوری‌که بیلان آبخوان‌ها در بسیاری از نقاط کشور منفی شده است (Foltz, 2002). از آن‌جایی‌که در ایران اصلی‌ترین منبع تأمین آب ذخایر آب زیرزمینی است، لزوم شناخت و بهره‌برداری بهینه از آب‌های زیرزمینی حائز اهمیت است. با پیشرفت فن‌آوری بهره‌برداری از این ذخایر در چند دهه اخیر، بهره‌برداری از این منابع به‌شدت رو به فزونی گذاشته و در نتیجه روند افت سطح ایستابی و کاهش این ذخایر را به دنبال داشته است (Portabari et al., 2008).

تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها به‌عنوان راهبردی برای تقویت و توسعه منابع آب زیرزمینی و جبران زیان‌های وارده به آن‌ها برای ذخیره‌سازی و به تعادل رساندن بیلان آبخوان به‌شمار می‌آید (Bouwer, 2002). علاوه بر آن، جمع‌آوری

[1] Email: koupai@cc.iut.ac.ir نویسنده مسئول: جهانگیر عابدی کوپایی

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]

آب‌های سطحی، تغذیه آب‌های زیرزمینی و تنظیم بهره‌برداری صحیح آب، مهم‌ترین راهکارهای مدیریت منابع آب به‌شمار آمده و می‌توان از طرح‌های تغذیه مصنوعی به‌عنوان راه‌حلی بهینه برای مقابله با بحران آب، بهره جست (Donovan et al., 2002). تغذیه مصنوعی عبارت است از وارد کردن آب به یک سازند نفوذپذیر که با هدف تغذیه آبخوان و به‌منظور استفاده مجدد از آن با رژیم و کیفیتی متفاوت و به‌وسیله ایجاد تأسیسات اضافی یا تغییراتی در شرایط طبیعی منطقه اجرا می‌شود (Kalantari, 2010). استفاده از طرح‌های تغذیه مصنوعی یکی از ساده‌ترین و مؤثرترین روش‌ها برای افزایش منابع آب و رفع مشکل کم‌آبی است که با پایین رفتن سطح آب زیرزمینی علاوه بر افزایش مخارج تولید کاهش میزان آب قابل استحصال و شور شدن احتمالی آب چاه‌ها و نشست زمین، اهمیت اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی به جهت هزینه پایین و زمان اجرای کوتاه‌تر، به‌عنوان مقابله با بحران آب ضروری به نظر می‌رسد (Ghayoumian et al., 2007).

در ایران طرح‌های تغذیه مصنوعی به شکل متداول امروزی از سال ۱۳۱۳ مطالعه شده است و در سال ۱۳۳۲ اولین طرح تغذیه مصنوعی در دشت‌های قزوین ورامین و گرمسار به‌صورت آزمایشی اجرا شد. طرح‌های جدید تغذیه مصنوعی نیز از سال ۱۳۳۳ مطالعه و سپس احداث شدند (سرزعیم و میراب‌زاده‌اردکانی، ۱۳۷۴) تغذیه طبیعی یک منطقه به‌صورت نفوذ آب حاصل از نزولات جوی به داخل زمین و از طریق انهار و رودخانه‌ها و یا از طریق جریان‌های زیرزمینی صورت می‌گیرد. از آن‌جایی‌که ذخیره آب عامل توسعه یک منطقه است و ذخیره طبیعی نمی‌تواند جوابگوی نیازها باشد لذا تغذیه مصنوعی مورد توجه قرار گرفته است (Johnson & Finlayson, 2016). مکان‌یابی پروژه‌های پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی از اهمیت شایانی برخوردار است و موفقیت این پروژه‌ها تا حد زیادی بستگی به مکان‌یابی صحیح دارد. در انتخاب بهترین محل برای تغذیه مصنوعی معیارهای زیادی دخیل هستند و بررسی این‌که هر معیار چگونه می‌تواند بر موفقیت یا عدم موفقیت یک طرح تأثیرگذار باشد نیاز به ابزارها و تکنیک‌هایی دارد که مدیران با استفاده از آن بتوانند بهترین مکان برای اجرای پروژه را انتخاب کنند (Hashemi et al., 2013). در حال حاضر برای مدیریت داده‌های زیاد جغرافیایی ابزارهایی نظیر نرم‌افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور طراحی و ساخته شده‌اند که تحلیل‌های مکانی را با وجود اطلاعات زیاد میسر می‌سازند. در همین راستا یافتن عرصه‌های مناسبی که از هر جنبه شرایط لازم جهت تغذیه مصنوعی منابع آب‌های زیرزمینی را داشته باشد و آثار نامطلوب جانبی آن حداقل بوده یا نداشته باشد یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر در مبحث تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها است (Moeinaddini et al., 2010).

منطق ترکیب خطی-وزنی[1] یا به‌عنوان یکی از انواع روش‌های تصمیم‌گیری برای مکان‌یابی، از متداول‌ترین تکنیک‌ها در تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی هستند (Hwang & Yoon, 2010). این تکنیک‌ها یک روش امتیازبندی نیز محسوب می‌شوند که بر مبنای مفهوم یک میانگین وزنی هستند و کاربرد وسیعی در محیط GIS پیدا کرده‌اند. هم‌چنین، آن‌ها در فرایند ارزیابی و تهیه نقشه تناسب اراضی (مکان‌یابی و...) بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. تصمیم‌گیر به‌طور مستقیم وزن‌های «اهمیت نسبی» را به هر صفت تخصیص می‌دهد. سپس یک امتیاز کلی برای هر گزینه از طریق ضرب نمودن وزن اهمیت تخصیص‌یافته در مقدار مقیاس‌بندی شده که برای گزینه در آن صفت معلوم است و جمع نمودن نتایج حاصل ایجاد می‌شود (Singh et al., 2013). از طرف دیگر، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یا AHP یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری است که اولین بار در دهه ۱۹۷۰ مطرح شد. این روش بر اساس تحلیل مغز انسان به‌منظور تجزیه مسائل پیچیده پیشنهاد شده و تا به امروز کاربردهای فراوانی در حل مسائل اقتصادی-اجتماعی و مدیریتی داشته است. توماس ال ساعتی (Saaty) بنیان‌گذار روش AHP چهار اصل را به‌عنوان اصول فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بیان نموده و کلیه محاسبات قوانین و مقررات را بر این اصول بنا نهاده است (Chabak et al., 2015). Zamani و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی، زمین‌شناسی، توپوگرافی، خاک‌شناسی و سطح ایستابی در محیط GIS و با استفاده از جدول وزن دهی لایه‌ها بهترین مکان مناسب جهت تغذیه

[1] Weighted Linear Combination

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]

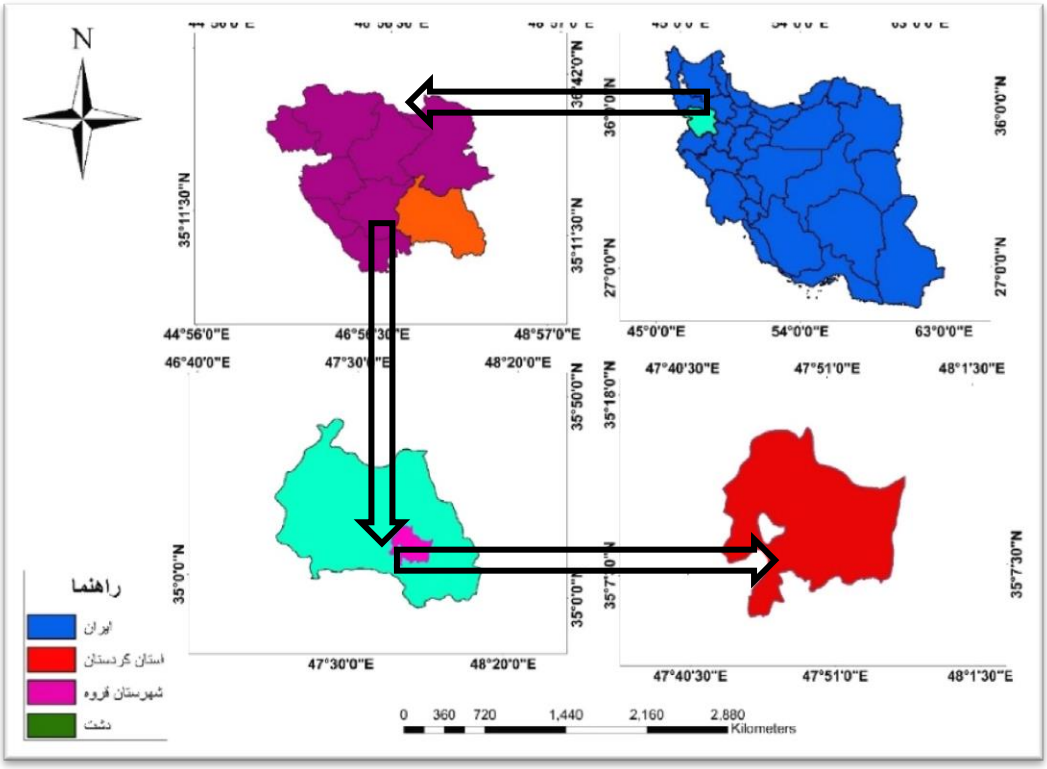
مصنوعی را در منطقه علوبجه اصفهان مشخص کردند (Zamani et al., 2017). هم‌چنین، Pedrero و همکاران (۲۰۱۱) با توجه به معیارهای اقتصادی، محیط زیستی و فیزیکی و ۱۰ نقشه کلیدی تأثیرگذار در نفوذ آب‌های مازاد به آبخوان و با استفاده از منطق بولین مکان‌هایی که از نظر این پارامترها مناسب بودند را تعیین کردند. یک پایش ۲۱ ماهه حاکی از مناسب بودن کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در تلفیق با GIS است (Omrani, 2009). لذا پژوهش حاضر در راستای رسیدن به اهدافی هم‌چون انتخاب محل مناسب برای اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی، شناسایی معیارهای مهم در مکان‌یابی طرح‌های تغذیه مصنوعی، تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی برای مکان‌یابی مناطق مستعد و در نهایت تشخیص مهم‌ترین عامل در مکان‌یابی با استفاده از روش AHP در آبخوان دشت ممنوعه قروه انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در بالادست حوضه آبریز رودخانه تلوار واقع شده است و از نظر مختصات جغرافیایی بین طول‌های ″۵۲ ′۳۸ °۴۷ تا ″۳ ′۶ °۴۸ شرقی و″۲۲ ′۲ °۳۵ تا ″۵۴′ ۳۰ °۳۵ عرض شمالی قرار دارد. مساحت حوضه آبریز قروه ۱۰۶۳/۵ کیلومترمربع و مساحت دشت قروه ۲۳۲/۱۷ کیلومترمربع است. آبخوان دشت قروه در جنوب حوضه آبریز قروه واقع شده است. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه ۴۱۷ میلی‌متر در سال است. این دشت یکی از مهم‌ترین دشت‌های استان است و بخش اعظم کشاورزی این استان مربوط به این دشت است (شرکت مهندسین مشاور مهساب شرق، ۱۳۸۶).

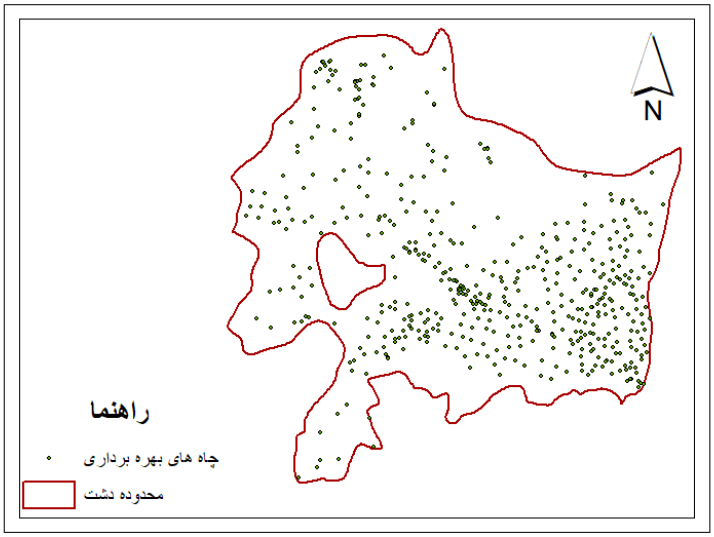
جدول (۱): مشخصات دشت قروه-کردستان

میانگین سالانه (میلی‌متر)	مساحت آبخوان (کیلومترمربع)	ارتفاع متوسط (متر)	محیط دشت (کیلومتر)	مساحت دشت (کیلومتر مربع)
۴۱۷	۱۶۹	۱۸۷۶	۹۶	۲۳۲



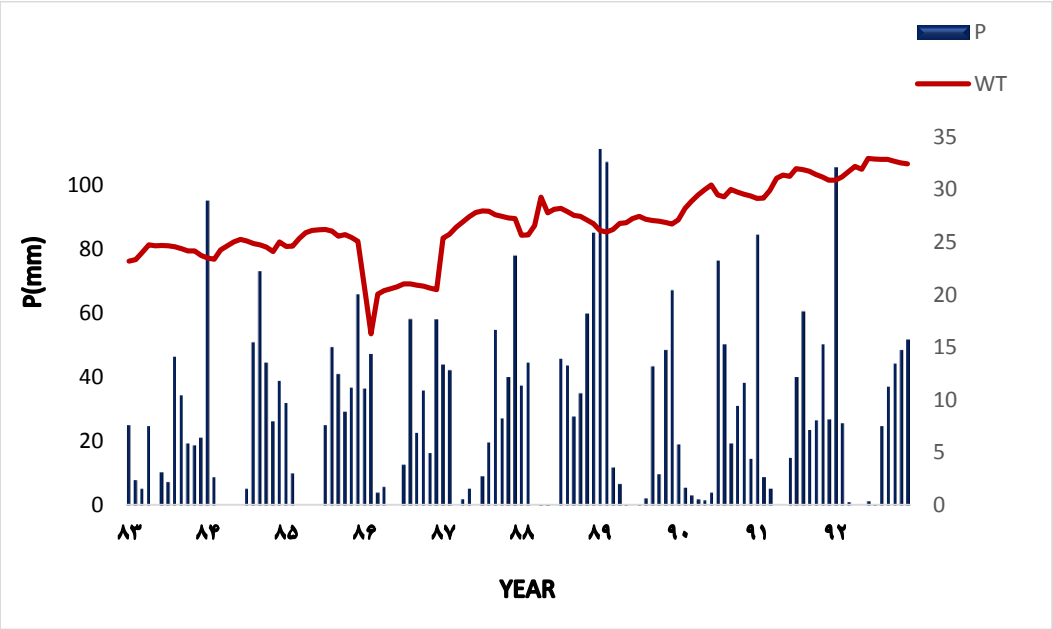
شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]



شکل (۲): موقعیت چاه‌های بهره‌برداری منطقه

. از سال ۱۳۸۶ به‌دلیل افت سطح آب، دشت قروه جزء دشت‌های ممنوعه اعلام گردید. در دشت مورد مطالعه همان‌طور که از شکل(۲) مشخص است، تعداد ۱۰۷۴ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق وجود دارد که از آب‌های زیرزمینی استفاده می‌کنند و برداشت بی‌رویه بهره‌برداران موجب نابودی دشت شده است. هم‌چنین، ۱۹۲۴ دهنه چشمه و ۱۳۶ رشته قنات نیز در این دشت استقرار دارد. حداکثر آبدهی چشمه‌ها در دشت قروه مربوط به چشمه سراب کوثر است که به ۱۲۲ لیتر در ثانیه می‌رسد.



شکل (۳): هیدرو گراف آبخوان (تغییرات تراز آب) در مقابل بارش

برای ارزیابی یک سفره آبدار از لحاظ ذخیره آبی می‌توان با استفاده از سطح آب پیزومترهای منطقه برای دوره معینی مثلاً یک‌ساله یا چندساله هیدرو گراف رسم کرد. در این پروژه با توجه به هدف پژوهش، هیدرو گراف ۱۰ ساله

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]

آبخوان دشت قروه ترسیم شد. برای ترسیم هیدرو گراف تراز آب، از فرمول تیس[1] استفاده شد. هیدرو گراف‌های تراز آب زیرزمینی نشان می‌دهند که در مدت ۱۰ سال (۱۳۹۳-۱۳۸۳) افت سطح آب در دشت ۱۰/۸۴ متر است که به‌طور متوسط هرسال ۱/۰۸ متر سطح آب افت کرده است. بر اساس یافته‌های شکل (۳) منطقه مورد مطالعه با کسری MCM ۲/۴ (میلیون مترمکعب) مواجه خواهد شد (شرکت مهندسین مشاور مهساب شرق، ۱۳۸۶).

روش تحقیق

در این پژوهش پس از مشخص شدن مرز محدوده مطالعاتی، با دریافت داده‌های مورد نیاز از اداره‌ها و سازمان‌های مرتبط با پژوهش نقشه‌های شیب، DEM، چاه‌های اکتشافی، ضخامت لایه غیراشباع، کاربری اراضی، هدایت الکتریکی، پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه، قابلیت انتقال آبخوان، ضخامت کلی و هدایت هیدرولیکی آبخوان با کمک نرم‌افزار GIS 10.2 و Aquifer test V.4.0 برای محدوده مورد نظر تهیه شد. در مرحله بعد و پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز، اقدام به استانداردسازی لایه‌های ایجادشده برای یکسان نمودن مقیاس همه لایه‌ها با نرم‌افزار IDRISI 13 انجام شد. در نهایت، پس از استخراج وزن‌های نسبی به کمک فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مناطق مستعد تغذیه مصنوعی در محدوده مطالعاتی شناسایی شد. در فرایند مکان‌یابی پس از تبیین اهداف کلی، بیان مقاصد، اهداف عملیاتی مکان‌یابی و تهیه گزینه‌های مختلف برای رسیدن به مکان بهینه، ارزیابی صورت می‌گیرد تا بر اساس شایستگی هر یک از گزینه‌ها، گزینه مطلوب یا بهتر انتخاب شود. برای سنجش شایستگی نسبی هر یک از گزینه‌ها، معمولاً از معیارهایی استفاده می‌شود. پس از تحلیل و ایجاد ساختار سلسله مراتبی به ازای هر معیار ماتریس مقایسه زوجی برای گزینه‌های مسئله تشکیل می‌شود. اساس روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بر مقایسات زوجی بنا نهاده شده است. ماتریس مقایسات زوجی پیچیدگی مفهوم تصمیم را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد زیرا تنها دو عنصر تصمیم‌گیری در یک‌زمان مورد بررسی قرار می‌گیرند. درایه‌های این ماتریس حاصل دانش متخصصان است. متخصصان میزان اهمیت معیارها را با مقایسه دوبه‌دوی آن‌ها مشخص می‌کنند. اهمیت معیارها می‌تواند به‌صورت فردی محاسبه‌شده باشد و یا تلفیقی از قضاوت کارشناسان باشد که در حالت دوم نظرات کارشناسان با استفاده از میانگین هندسی به یک جواب تبدیل می‌شود. در مقایسات زوجی درجه‌بندی اولویت‌های نسبی در رابطه با معیارها از یک مقیاس پایه‌ای که مقادیر آن از ۱ تا ۹ است استفاده می‌شود. علاوه بر این، در مرحله بعد از روش WLC در محیط GIS استفاده شد که شامل مراحل ذیل است: ۱) تعریف مجموعه معیارهای ارزیابی (لایه‌های نقشه) و مجموعه گزینه‌های ممکن، ۲) استاندارد نمودن هر لایه اطلاعاتی، ۳) تعریف وزن‌های هر معیار؛ یعنی یک وزن اهمیت نسبی به هر نقشه معیار مستقیماً تخصیص داده شود، ۴) ساختن لایه‌های اطلاعاتی استاندارد شده دارای وزن یعنی ضرب نمودن لایه‌های نقشه استاندارد شده دارای وزن، ۵) ایجاد امتیاز نهایی هر گزینه با استفاده از عملیات روی‌هم‌گذاری جمع برای لایه‌های اطلاعاتی استاندارد شده دارای وزن و ۶) مرتب نمودن گزینه‌های مطلوب با امتیاز ارجحیت کلی. گزینه دارای بیش‌ترین امتیاز یا رتبه بهترین است. روش WLC می‌تواند با استفاده از هر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) دارای قابلیت‌های روی‌هم‌گذاری انجام شود. این روش در دو محیط GIS رستر و بردار قابل اجراست (Ghodsipour, 2009).

[1] Theis

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]

جدول (۲): اولویت نسبی در مقایسه زوجی

امتیاز	ارجحیت
۱	اهمیت برابر
۲	اهمیت برابر تا اهمیت متوسط
۳	اهمیت متوسط
۴	اهمیت متوسط تا اهمیت قوی
۵	اهمیت قوی
۶	اهمیت قوی تا اهمیت خیلی قوی
۷	اهمیت خیلی قوی
۸	از اهمیت خیلی قوی تا اهمیت فوق‌العاده قوی
۹	اهمیت فوق‌العاده قوی

نتایج و بحث

معیارهای تأثیرگذار در تغذیه مصنوعی

یکی از عوامل مؤثر در مکان‌یابی عرصه‌های مستعد پخش سیلاب و تغذیه آب‌های زیرزمینی معیار شیب است که نقش بسیار مهمی در کنترل عواملی مانند سیل و نفوذپذیری و نیروی فرسایندگی دارد. برای تهیه نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاع DEM[1] استفاده شده است. مدل رقومی ارتفاع را می‌توان نقشه رقومی دانست که حاوی ارتفاع تمامی نقاط منطقه تحت پوشش خود است. لازمه ایجاد مدل رقومی ارتفاع در اختیار داشتن داده‌های اولیه ارتفاعی است (Naseri, 2012). در این پژوهش از خطوط تراز ارتفاع نقشه‌های توپوگرافی رقومی به‌عنوان داده‌های اولیه ارتفاعی برای ساختن مدل رقومی ارتفاع، استفاده شد. پس از تهیه مدل رقومی ارتفاعی در محیط GIS، بر اساس ارتفاع نقاط در مدل رقومی زمین و فاصله آن‌ها از هم نقشه شیب منطقه برحسب درصد تهیه شد. برای تهیه نقشه ضخامت لایه غیراشباع آبخوان، از داده‌های چاه‌های اکتشافی استفاده می‌شود، چون چاه‌های اکتشافی تا سنگ کف، حفاری شده‌اند. با استفاده از سطح آب در نقاط مختلف چاه‌های اکتشافی و درون‌یابی این نقاط، می‌توان نقشه ضخامت لایه غیراشباع آبخوان را به‌دست آورد. اگر اختلاف سطح آب در چاه‌های اکتشافی با عمق کلی چاه محاسبه شود، مقادیر نقاط لایه ضخامت غیراشباع مشخص می‌شود و از درون‌یابی این نقاط، نقشه لایه غیراشباع تهیه می‌شود. در طرح‌های تغذیه مصنوعی بخش غیراشباع آبخوان اهمیت زیادی دارد. برای تهیه نقشه هدایت الکتریکی منطقه، از متوسط هدایت الکتریکی چاه‌های مشاهده‌ای در یک دوره ۲۰ ساله (۱۳۹۲-۱۳۷۲) برای ۳۵ حلقه چاه استفاده شد. سپس، متوسط هدایت الکتریکی هر چاه با مختصات آن‌ها به‌صورت یک فایل رقومی وارد محیط GIS شد و پس از درون‌یابی، نقشه هدایت الکتریکی منطقه مطابق شکل (۶) تهیه شد. برای تهیه نقشه پوشش گیاهی دشت تصاویر ماهواره‌ای منطقه تهیه و پس از انجام تصحیح اتمسفریک روی آن در نرم‌افزار ERDAS، شاخص پوشش گیاهی محاسبه می‌شود. بدین‌منظور از شاخص تفاضل نرمال شده (NDVI) استفاده شد که به میزان و وضعیت پوشش گیاهی حساسیت دارد و از رابطه (۱) به‌دست می‌آید؛ در این رابطه R3 و R4 به‌ترتیب نشان‌دهنده بازتابندگی در باندهای ۳ و ۴ هستند. بر همین اساس، پوشش گیاهی منطقه مشخص و نقشه مربوط به آن در محیط نرم‌افزار ERDAS تهیه و در محیط GIS کلاس‌بندی شد. به‌طوری‌که مقادیر صفر نشان‌دهنده عدم وجود پوشش گیاهی و مقادیر عددی بیش‌تر نشان‌دهنده وجود مقادیر زیادی از پوشش گیاهی است که از نظر مکانی برای تغذیه مصنوعی مناسب‌ترند.

$$NDVI = R4- R3/ R4+ R3 \qquad (۱)$$

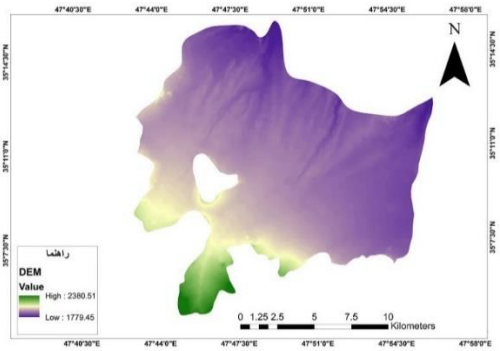
[1] Digital Elevation Model

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]

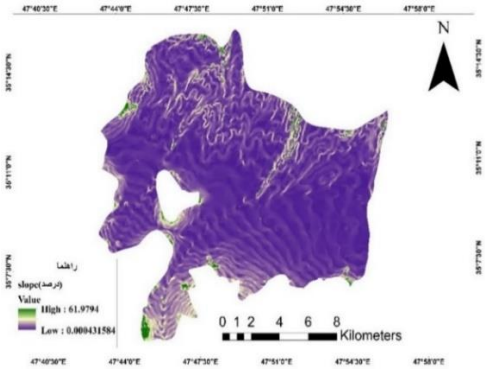
محاسبه فاصله‌ها در Spatial Analyst به دو روش اصلی اقلیدسی و فاصله هزینه‌ای (وزن‌دهی شده با هزینه) تعیین می‌شود. در روش اقلیدسی طول خط مستقیم بین مرکز هر سلول لایه رستر تا نزدیک‌ترین سلول معرف عوارض منبع اندازه‌گیری می‌شود. منظور از منبع عوارضی نظیر محل چاه‌ها، رودخانه‌ها، جاده‌ها و مدارس است (Ghodrati, 2014). ضریب هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال، ضریب ذخیره یا آبدهی ویژه، ضرایب هیدرودینامیکی لایه‌های آبدار هستند که تعیین‌کننده سرعت حرکت آب در محیط متخلخل و نیز تغییرات سطح ایستابی و سطح پیزومتریک در انواع لایه‌های آبدار است. پیش‌بینی دقیق وضعیت حرکت آب زیرزمینی بستگی به تخمین و ارزیابی دقیق این ضرایب هیدرودینامیکی دارد. روش‌های دستی و محاسباتی در محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی بسیار پیچیده و وقت‌گیر است، لذا استفاده از نرم‌افزار سرعت و دقت محاسبات را افزایش می‌دهد (Faraji Sabokbar, 2012).

در این مطالعه از نرم‌افزار Aquifer test V.4.0 (محصول شرکت واترلو کانادا)، در تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان استفاده شد. بهترین و دقیق‌ترین روش تعیین قابلیت انتقال آبخوان روش آزمون پمپاژ است. برای تهیه نقشه ضریب قابلیت انتقال آبخوان، داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش پمپاژ در نرم‌افزار Aquifer test V.4.0 را وارد GIS کرده و پس از درون‌یابی این نقاط نقشه لایه قابلیت انتقال مطابق شکل (۹)، به‌دست آمد؛ که با نتایج اعتباری (Etebari, 2010) و (Ghermez Cheshmeh et al., 2014) مطابقت دارد. شکل (۱۰) به فاصله از رودخانه اختصاص‌یافته است. برای محاسبه T در نرم‌افزار Aquifer test V.4.0 از روش برگشت آزمون پمپاژ که دارای دقت بیش‌تری است، استفاده شد (شکل ۱۱). در نرم‌افزار ArcGIS، ابتدا لایه کلی ضخامت آبخوان (شکل ۱۲) را با استفاده از داده‌های چاه‌های اکتشافی به‌دست آورده و سپس در قسمت Raster Calculator تفاضل این لایه (ضخامت کلی) با لایه ضخامت غیراشباع تعیین و لایه اشباع محاسبه شود.

از تقسیم لایه قابلیت انتقال (T) آبخوان بر لایه اشباع (B) می‌توان لایه هدایت هیدرولیکی (K) را محاسبه کرد (۶) یعنی: K=T/B. نتایج حاصل در شکل (۱۳) که نقشه هدایت هیدرولیکی آبخوان است؛ مشاهده می‌شود. لایه اطلاعاتی دیگری که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته، نقشه کاربری اراضی منطقه است. از منظر کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه شامل بستر رودخانه، اراضی شهری، کشاورزی آبی، کشاورزی، باغ، دیم و مرتع است (شکل ۱۴). به‌طورکلی واحدهای سنگی دشت، شامل سنگ‌های دگرگونی‌تر یاس، تریاس ژوراسیک، ژوراسیک و سنگ‌های دگرگون نشده ائوسن و سازندهای کواترنر هستند که بیش از ۹۳ درصد مساحت دشت را سازندهای کواترنر تشکیل می‌دهند (شکل ۱۵).

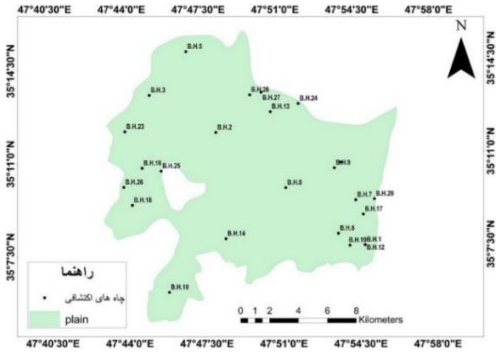


شکل (۴): DEM

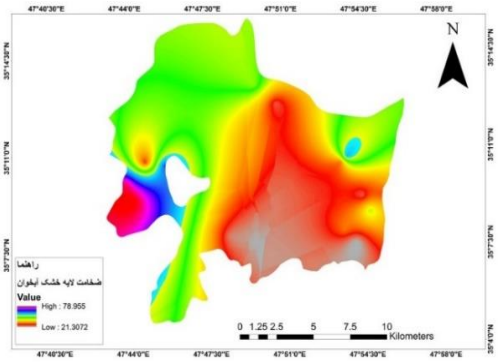


شکل (۵): شیب

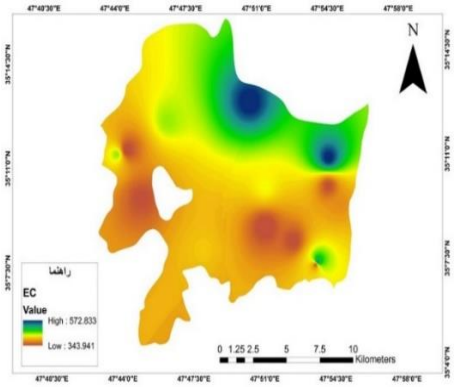
[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]



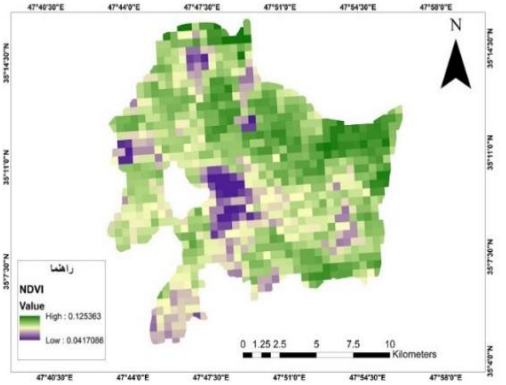
شکل (۶): موقعیت جغرافیایی چاه‌های اکتشافی



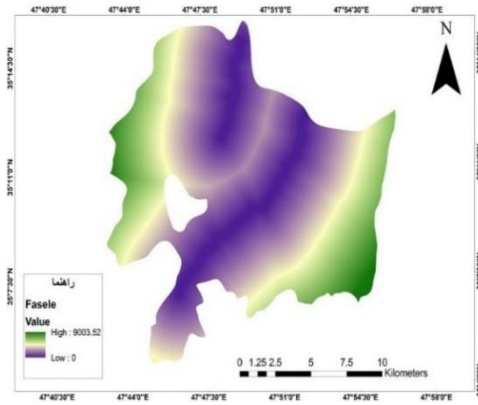
شکل (۷): ضخامت لایه غیراشباع



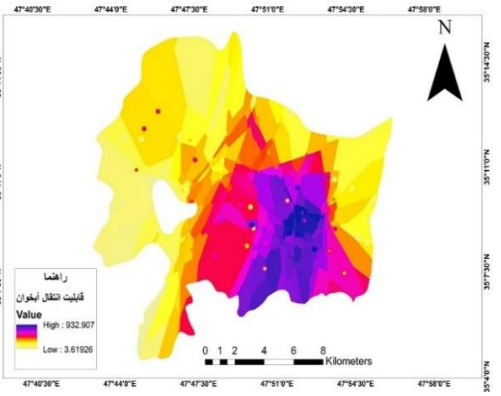
شکل (۸): هدایت الکتریکی



شکل (۹): پوشش گیاهی



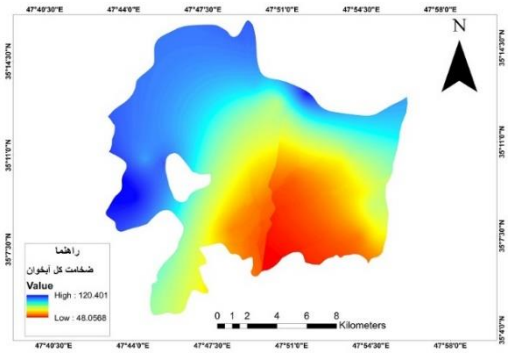
شکل (۱۰): فاصله از رودخانه



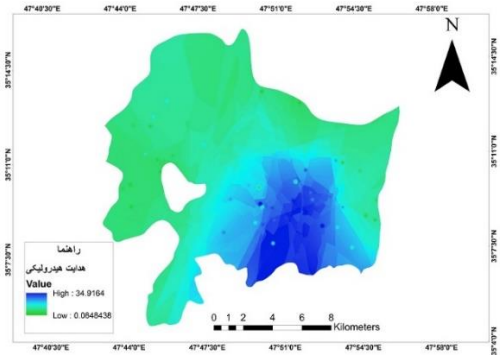
شکل (۱۱): لایه قابلیت انتقال آبخوان

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]

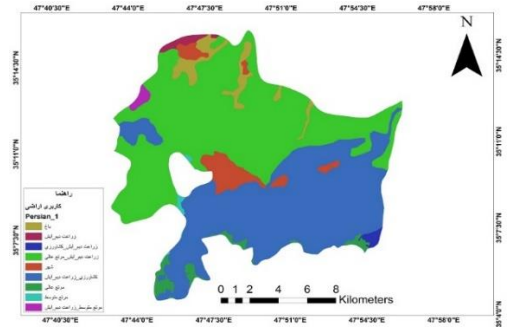
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]



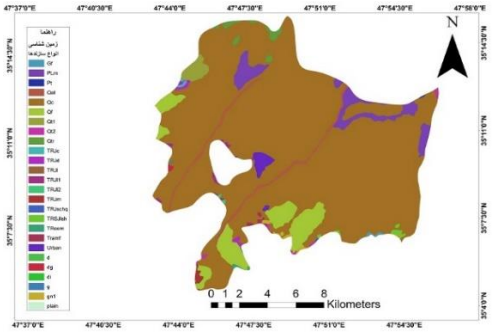
شکل (۱۲): ضخامت کلی آبخوان



شکل (۱۳): هدایت هیدرولیکی آبخوان



شکل (۱۴): کاربری اراضی



شکل (۱۵): زمین‌شناسی

تلفیق لایه‌ها بر اساس مدل ارزیابی چندمعیاری ترکیب خطی- وزنی (WLC)

ترکیب وزنی-خطی (WLC) رایج‌ترین روش در تحلیل ارزیابی چندمعیاره است که روش امتیازدهی نیز نامیده می-شود. این روش بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است. تحلیل‌گر یا تصمیم‌گیرنده به‌طور مستقیم بر مبنای اهمیت نسبی هر معیار مورد بررسی، وزن‌هایی به معیار می‌دهد. سپس از طریق ضرب کردن وزن نسبی در مقدار آن ویژگی یک مقدار نهایی برای هر گزینه به‌دست می‌آید. پس از آن‌که مقدار نهایی هر گزینه مشخص شد، گزینه‌ای‌که بیش‌ترین مقدار را داشته باشد مناسب‌ترین گزینه برای هدف مورد نظر خواهد بود. هدف مورد نظر می‌تواند تعیین تناسب زمین برای یک کاربرد خاص یا ارزیابی پتانسیل یک رخداد ویژه باشد. در این روش قاعده تصمیم‌گیری، مقدار هر گزینه را به‌وسیله رابطه (۲) محاسبه می‌کند:

$$WLC=[(Gx1\times W1)+(Gx2\times W2)+....+(Gxm\times Wm)] \qquad (۲)$$

Gx1 لایه استانداردشده (۱)، Gx_2 لایه استانداردشده (۲)،.....Gxm لایه استانداردشده آخر (شماره m)

W1 وزن استخراج‌شده لایه (۱) با مدل AHP، W2 وزن استخراج‌شده لایه (۲) با مدل AHP،.....Wm وزن استخراج‌شده لایه آخر (شماره m) با مدل AHP

در این روش می‌بایست مجموع وزن‌ها برابر یک باشد که در صورت عدم وجود چنین شرایطی باید در مرحله آخر، مقدار WLC بر مجموع کل وزن‌ها تقسیم شود. در این صورت خروجی عددی بین صفر و یک خواهد بود. بیش‌تر یا کم تر بودن مقدار خروجی می‌تواند دلیلی برای مناسب‌تر بودن یک گزینه باشد. در پژوهش حاضر، عملیات WLC در محیط Idrisi و با استفاده از تابع MCE (Multi-Criteria Evaluation) انجام شد. ضمن آن‌که خروجی حاصل از مدل WLC، با کشش خطی ساده با استفاده از تابع STRETCH در حد فاصل ۲۵۵-۰ استانداردسازی شد تا کار مقایسه نمرات گزینه‌ها با وضعیت مطلوب صورت گیرد و روال مشخصی به خود بگیرد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]

مراحل اجرای روش ترکیب خطی وزنی (WLC)

۱- تعریف و تعیین مجموعه معیارهای ارزیابی (متغیرها یا لایه‌های اطلاعاتی) که در این طرح ۱۱ متغیر مؤثر است.

۲- استاندارد کردن و تبدیل مقیاس ارزش‌ها و مقادیر لایه‌های اطلاعاتی (معیارهای ارزیابی)، یعنی مقیاس ارزش‌ها و مقادیر لایه‌های نقشه‌ای هم‌خوان و قابل مقایسه شوند.

روش استانداردسازی معیارها

نقشه‌های معیارهای مورد استفاده در پژوهش حاضر در مقیاس‌های متفاوتی قرار داشته و امکان انجام عملیات حسابی روی آن‌ها وجود نداشت. بر همین اساس برای از بین بردن اثر مقیاس‌های متفاوت و تبدیل همه آن‌ها به یک مقیاس استاندارد در حد فاصل صفر تا یک و صفر تا ۲۵۵، از روش مبتنی بر دامنه نمره استفاده شد. با استفاده از امکاناتی که در تابع FUZZY از نرم‌افزار IDRISI وجود دارد (Hekmat Poor et al., 2016). برای استانداردسازی نقشه‌هایی که به‌صورت نقشه‌های معیار تهیه شده بودند، به‌تناسب از توابع عضویت J-Shape، linear و Sigmoidal در قالب الگوهایی چون افزایشی به‌صورت یکنواخت، کاهشی به‌صورت یکنواخت و سایمتریک استفاده شد. علاوه براین توابع، کاربر می‌تواند با توجه به نیاز خود، تابع را نیز تعریف نماید.

در منطق فازی مقادیر عضویت بیش‌تر، مطلوبیت بیش‌تر و مقادیر عضویت کم‌تر، مطلوبیت کم‌تری را بیان می‌کنند. در منطق فازی عدد ۱ از بیش‌ترین مطلوبیت و عدد صفر فاقد مطلوبیت است و طیفی از ارزش‌ها بین این دو عدد قرار می‌گیرند. علاوه بر مسئله انتخاب مقیاس برای تهیه نقشه‌های فازی، نوع تابع فازی نیز باید مورد بررسی قرار گیرد و تابع مناسب برای معیار مورد نظر انتخاب شود. ازجمله توابع مشهور می‌توان از تابع J-Shape،Linear و Sigmoidal را نام برد. یکی دیگر از عوامل مؤثر در استانداردسازی نقشه‌های فازی تعیین حد آستانه است که به آن‌ها نقاط کنترل نیز گفته می‌شود (Ramezani et al., 2012). در این‌جا منظور از کاهشی، حداقل شونده یا نزولی بودن تابع و منظور از افزایشی، حداکثر شونده یا صعودی بودن تابع است. به‌طور مثال در رابطه با شیب، هر چه شیب کم‌تر باشد مناسب‌تر است. لذا در این‌جا از تابع کاهشی استفاده می‌شود. نتایج حاصل از استانداردسازی نقشه‌های معیار در جدول (۳) درج شده است.

تعیین وزن‌های معیار

در این مطالعه، معیارهای مورد استفاده در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به‌ترتیب اولویت عبارت‌اند از: شیب، ضریب ذخیره، هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، هدایت الکتریکی، ضخامت غیراشباع آبخوان، فاصله از رودخانه، تراکم و پوشش گیاهی. روش مورد استفاده برای پیدا کردن اولویت‌ها: ابتدا پرسشنامه‌ای برای مقایسه معیارها نسبت به هدف تهیه شد. سپس پرسشنامه بین ۳۰ افراد متخصص توزیع و نتایج هر پرسشنامه به‌صورت یک ستون در Excel ذخیره و بعد میانگین وزنی هر ۳۰ ستون محاسبه شد و اعداد آن در نرم‌افزار Super Decisions وارد شد. اگر نرخ ناسازگاری محاسبه‌شده، کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد سازگاری قابل‌قبول است و در غیر این صورت، باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود. همان‌طور که در جدول (۳)، ملاحظه می‌شود میزان نرخ ناسازگاری حدود ۰/۰۸۳۳ بوده که قابل‌قبول است. در مرحله بعد پس از ساخت و تولید لایه‌های اطلاعاتی وزن‌دار استاندارد شده، در نهایت به‌منظور دستیابی به تولید نقشه نهایی و تعیین امتیاز کلی هر گزینه نتیجه گرفته شد که نقشه‌ای است که دارای ارزش‌های بین ۱-۰ است. مناطق دارای ارزش صفر نامطلوب‌ترین و مناطق دارای ارزش یک مطلوب‌ترین قسمت‌ها هستند (شکل ۲۳).

با توجه به جدول (۴)، بررسی وزن معیارها نشان می‌دهد که شیب دارای بیش‌ترین وزن حدود ۳۱/۴۰ درصد، مهم‌ترین عامل در مکان‌یابی تشخیص داده شد که این نتیجه با نتایج خیرخواه‌زرکش و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت داشته و با مطالعه Krishnamorthy (۲۰۱۲) برای تعیین مناط مناسب برای تغذیه آب‌های زیرزمینی در جنوب هند عوامل زمین‌شناسی، لندفرم‌ها، گسل‌ها و شکستگی‌ها، آب‌های سطحی، تراکم آبراهه و شیب را مطالعه کرده و نشان داد که انواع عوامل زمین‌ساختی و ژئومرفولوژی در سطوح مختلف نقش مهمی در رفتار آب‌های زیرزمینی دارد، مطابقت

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]

ندارد (Vaezi et al., 2013) و عوامل هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، هدایت الکتریکی، فاصله از رودخانه و پوشش گیاهی به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند که با نتایج مهدوی (۱۳۹۰) که ویژگی‌های زمین‌ساختی (رسوبات کواترنر)، وقوع سیلاب و هیدرولوژی حوزه‌های آبخیز را از مهم‌ترین عوامل مؤثر در مکان‌یابی مناطق مستعد اجرای عملیات آبخوان‌داری مورد توجه قرار داده است، دارد (مهدوی و همکاران،۱۳۹۰). آن‌ها گزارش دادند که از میان نقشه‌های مؤثر در مکان‌یابی (شیب، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی، بارندگی، شبکه زهکشی و ضخامت آبرفت)، عامل شیب دارای بیش‌ترین وزن حدود ۷۵ درصد وزن کل را به خود اختصاص داد. نتیجه این پژوهش در راستای نتایج پژوهش‌گران دیگر مانند Mehrvarz و Kalantari (۲۰۱۸)، Ghayoumian و همکاران (۲۰۱۶)، کلانتری و همکاران (۱۳۹۶)، Alesheikh و همکاران (۲۰۱۷) و فیضی و همکاران (۱۳۹۵) است که در همه این پژوهش‌ها عامل شیب به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در مکان‌یابی تغذیه آب‌های زیرزمینی تشخیص داده شده است. هم‌چنین، روش‌های وزنی به نسبت سایر روش‌ها دارای مزیت نسبی معرفی شدند.

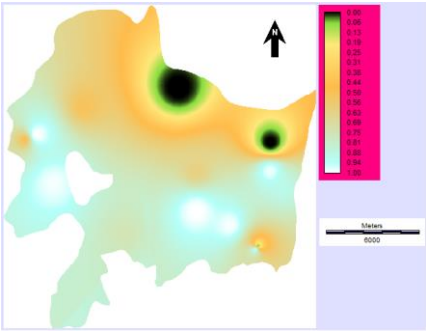
رستمی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی به بررسی تأثیر تغذیه مصنوعی بر دشت قروه با استفاده از مدل Modflow پرداختند و به این نتیجه رسیدند که اگر میزان تغذیه آبخوان از بارش(تغذیه مصنوعی) ۱۰ درصد افزایش پیدا کند، میزان کسری آبخوان حدود ۴۴ درصد در یک سال جبران می‌شود. بنابراین می‌توان در چند سال روند افت سطح ایستابی مخزن رو جبران نمود و آبخوان را به تعادل رساند. این پژوهش به‌درستی اهمیت عملیات تغذیه مصنوعی را بیان می‌کند که در وهله اول باید جانمایی آن به‌درستی انجام گیرد. هم‌چنین، صادقی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی به بررسی مکان‌یابی محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی آبخوان دشت شریف‌آباد قم با تأکید بر ویژگی‌های هیدروژئومرفولوژیکی منطقه پرداختند و در مجموع ۱۰ لایه هیدروژئومرفولوژیکی–اقلیمی را برای انجام پژوهش در نظر گرفتند (زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، بافت خاک، کاربری اراضی و پوشش زمین، شیب، ارتفاع رواناب، تراکم زهکشی، تراکم خطواره، عمق آب زیرزمینی بعد از دوره بارش (تغذیه) و فاصله از چاه‌های بهره‌برداری). در نهایت آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که شیب و بافت خاک دارای بیش‌ترین تأثیر جهت انجام پروژه هستند.

مرضیه موغلی (۱۴۰۰) در پژوهشی به بررسی پتانسیل‌یابی مناطق مناسب برای انجام تغذیه مصنوعی با استفاده از روش‌های PROMETHEE II-SAW و AHP-Fuzzy پرداخت..نتایج مطالعه نشان داد که مناسب‌ترین مناطق برای تغذیه مجدد مصنوعی آب‌های زیرزمینی در واحدهای زمین‌شناسی Quaternary Q_g and Q_{gsc} و برای واحدهای ژئومورفولوژیکی در سنگ‌فرش‌ها و مخروط افکنه ها با شیب بیش از سه درصد است.

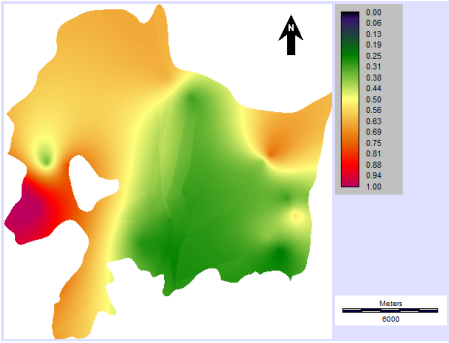
جدول (۳): اطلاعات مربوط به فازی کردن لایه‌ها در نرم‌افزار IDRISI

معیار	شکل تابع	نوع تابع	نقاط کنترل	
			a	d
Slope	Sigmoidal	کاهشی	۰/۰۰۰۴	۶۱/۹
B	Linear	افزایشی	۳۰	۷۸
EC	Sigmoidal	کاهشی	۳۴۵	۵۷۰
NDVI	J-Shaped	افزایشی	۰/۰۰۱	۰/۱۲
K	Sigmoidal	افزایشی	۳	۲۵
zamin	Sigmoidal	افزایشی	(Plm) طبقه ۱	(Qc) طبقه ۶
Fasele	Linear	کاهشی	۵	۹۰۰۰
landuse	Sigmoidal	افزایشی	(Urban)۰	(Dryfarming)۱
T	Sigmoidal	افزایشی	۲۰۰	۹۰۰

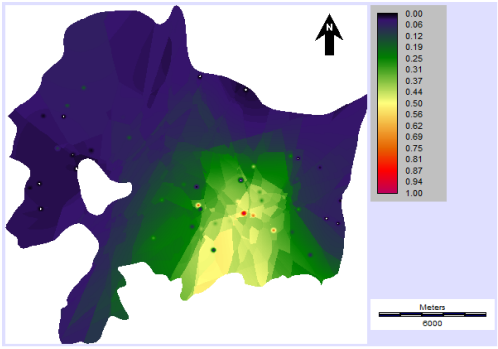
[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]



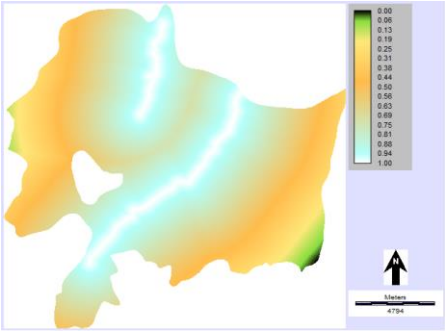
شکل (۱۶): لایه فازی هدایت الکتریکی



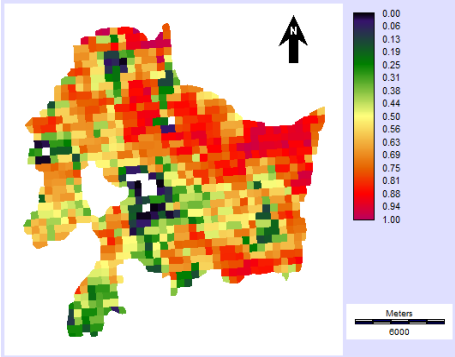
شکل (۱۷): لایه فازی ضخامت غیراشباع



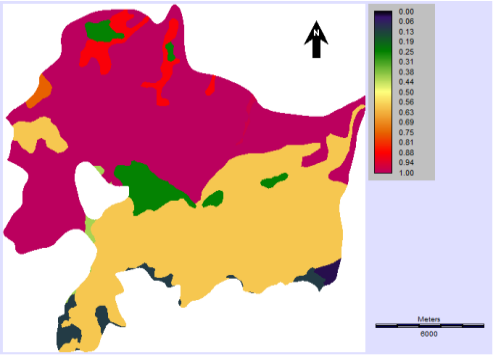
شکل (۱۸): لایه فازی هدایت هیدرولیکی



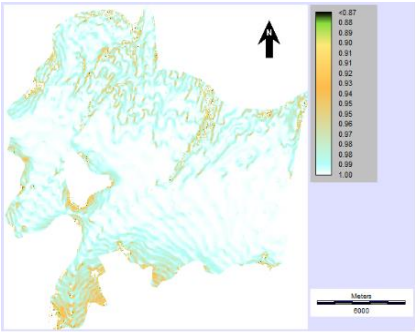
شکل (۱۹): لایه فازی فاصله از رودخانه



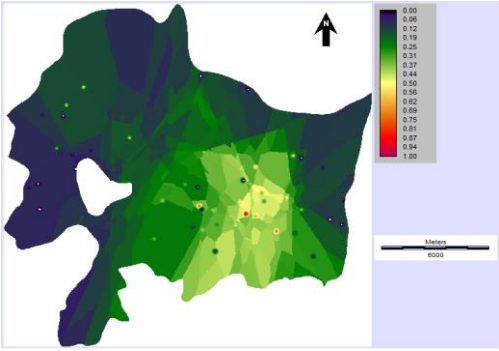
شکل (۲۰): لایه فازی پوشش گیاهی



شکل (۲۱): لایه فازی کاربری اراضی



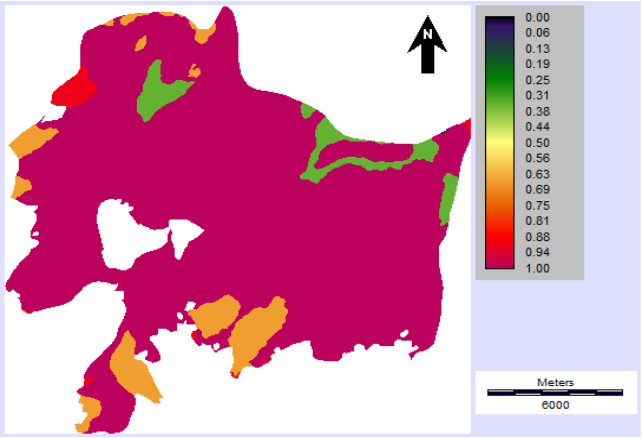
شکل (۲۲): لایه فازی شیب



شکل (۲۳): لایه فازی قابلیت انتقال

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]

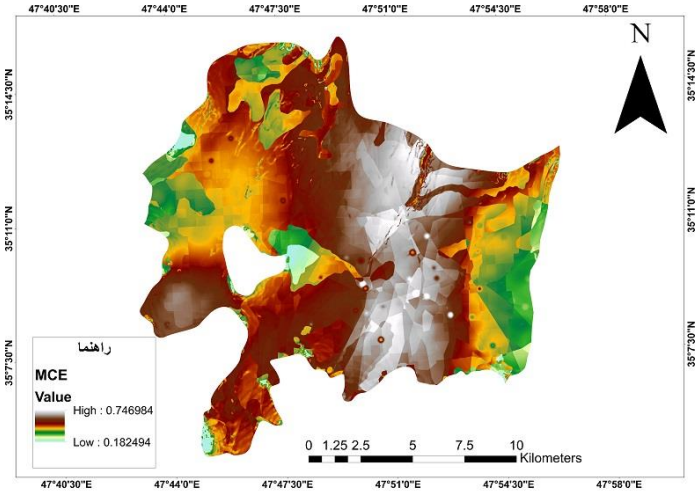
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]



شکل (۲۴): لایه فازی زمین‌شناسی

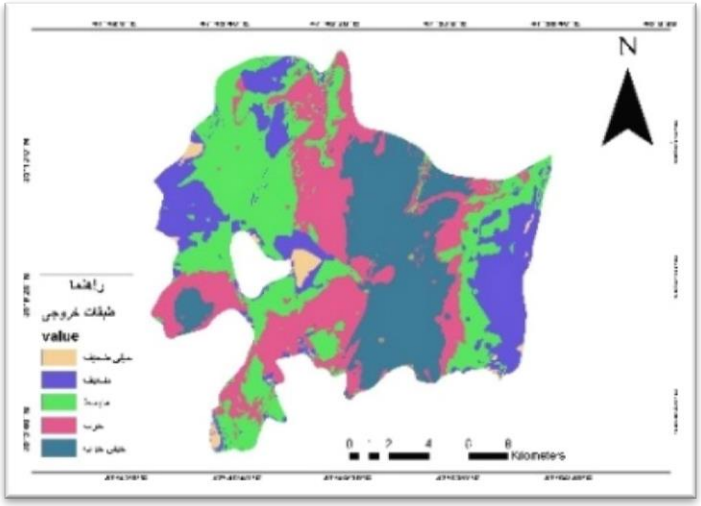
جدول (۴): نتایج حاصله از مدل AHP با استفاده از نرم‌افزار Super Decisions

معیار	وزن
شیب	۰/۳۱۴۰۷۶
کاربری	۰/۰۹۲۷۵۹
زمین‌شناسی	۰/۰۸۷۲۱۸
هدایت الکتریکی	۰/۰۶۰۶۸۱
هدایت هیدرولیکی	۰/۱۸۷۲۳۴
ضخامت آبخوان	۰/۰۳۰۳۴۵
پوشش گیاهی	۰/۰۱۹۲۷۷
فاصله	۰/۰۲۹۶۷۷
قابلیت انتقال	۰/۱۶۹۶۹۱



شکل (۲۵): خروجی حاصل از مدل WLC

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]



شکل(۲۶): طبقه‌بندی خروجی WLC از لحاظ تغذیه

جدول (۵): اطلاعات مربوط به طبقه‌بندی خروجی WLC

طبقات خروجی WLC	ارزش از لحاظ تغذیه	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت نسبت به دشت
۰/۱۸-۰/۴۰	خیلی ضعیف	۳/۸۶	۱/۶۷
۰/۴۰-۰/۴۷	ضعیف	۴۰/۴۵	۱۷/۴
۰/۴۷-۰/۵۱	متوسط	۷۲	۳۱
۰/۵۱-۰/۵۶	خوب	۶۱/۲	۲۶/۴
۰/۵۷-۰/۷۴	خیلی خوب	۵۴/۴	۲۳/۴

نتیجه‌گیری

با عنایت به این‌که سفره‌های آب زیرزمینی به‌عنوان یک مخزن طبیعی محسوب می‌شوند، می‌توان در دوره‌های مرطوب با استفاده از روش‌های تغذیه مصنوعی نسبت به ذخیره آب‌های سطحی در آن‌ها اقدام نمود تا در دوره‌های خشک و با افزایش نیاز آبی مورد بهره‌برداری قرار گیرد. پژوهش حاصل در راستای اهدافی نظیر پیش‌گیری از پایین رفتن تراز آب زیرزمینی و نگهداری آن در حد متعادل، مهار و ذخیره کردن آب‌های سطحی در زمین و برای استفاده در آینده، جلوگیری از فروشست زمین و کاهش هزینه بهره‌برداری و تأمین کمبود آب در زمان افزایش تقاضا، با انجام مطالعه اصولی مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آبخوان دشت قروه انجام گرفت. در نهایت نتیجه گرفته شد که شیب دارای بیش‌ترین وزن حدود ۳۱/۴۰ درصد، مهم‌ترین عامل در مکان‌یابی تشخیص داده شده و عوامل هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، هدایت الکتریکی، فاصله از رودخانه و پوشش گیاهی به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. علاوه بر این، مناطق باارزش تشخیص داده شده برای تغذیه مصنوعی در این آبخوان به‌روش مدل ترکیب وزنی-خطی (WLC) حدود ۲۳/۴ درصد از کل مساحت دشت و به میزان ۵۴/۴ کیلومترمربع است. در همین راستا، به‌منظور افزایش کارایی و غنا بخشیدن به مطالعات کاربردی در زمینه انتخاب عرصه‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی به پژوهشگران، مدیران و برنامه‌ریزان حوزه‌های مدیریت منابع آب پیشنهاد می‌شود که: ۱) از روش‌های جدید سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند PROMETHEE، ELECTERE و TOPSIS استفاده شود. ۲) از معیارها و زیرمعیارها و شاخص‌های بیش‌تری جهت حصول نتایج دقیق‌تر استفاده شود. ۳) مطالعات اقتصادی-اجتماعی در منطقه مکان‌یابی شده از لحاظ ارزش زمین و مالکیت در منطقه مورد پژوهش و نیز میزان مقبولیت و مشارکت مردم بومی منطقه بررسی شود. ۴) با عنایت به کمبود و نقصان در گردآوری برخی داده‌های پژوهش نیاز است بانک اطلاعاتی کامل

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]

و دقیق‌تری از مناطق استان آماده شود. ۵) ارزیابی اثرات قبل و پس از اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی در آبخوان‌های استان به لحاظ محیط زیستی بررسی و واکنش مثبت یا منفی آبخوان در برابر اعمال پروژه برآورد شود.

سپاس‌گزاری

مقاله حاضر حاصل انجام پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد در گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان است. بدین‌وسیله نویسندگان مقاله از کارکنان شرکت آب منطقه‌ای کردستان به‌دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های پژوهش و از دانشگاه صنعتی اصفهان، به خاطر حمایت مادی و معنوی، تشکر می‌نمایند.

منابع

۱. خیرخواه‌زرکش، م.، مایجرنک، و ج. گودرزی (۱۳۹۳) سیستم پشتیبانی تصمیم (DSS) برای انتخاب محل طرح های پخش سیلاب با استفاده از سنجش از دور (RS) و سیستم های اطلاعات جغرافیایی(GIS)، مجله هیدرولوژی ۲۵۴-۲۶۷.

۲. رستمی، ص.، م. نخعی و ک. خدایی (۱۳۸۹) بررسی تأثیر تغذیه مصنوعی بر پتانسیل آب‌های زیرزمینی دشت قروه-کردستان، نخستین کنفرانس پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه.

۳. شرکت مهندسین مشاور مهساب شرق، (۱۳۸۶) گزارش توضیحی تمدید ممنوعیت دشت قروه در استان کردستان.

۴. صادقی، ا. ر.، س. م. حسینی، م. یمانی و م. ج. بیگلو (۱۴۰۱) مکان‌یابی محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی آبخوان دشت شریف‌آباد قم با تأکید بر ویژگی‌های هیدروژئومرفولوژیکی منطقه، پژوهش‌های دانش زمین، ۱۳(۱): ۱۰۰-۱۱۶.

۵. فیضی، ز.، ع. کشتکار، ع. ملکیان و ح. قاسمیه (۱۳۹۵) کاربرد AHP فازی برای انتخاب محل پخش سیل در حوضه مطالعاتی دشت کاشان. علوم آب‌وخاک، ۲۰(۳):۱۲۹-۱۴۱.

۶. کلانتری، ن.، ک. رنگزن، س. تیگله و م. رحیمی (۱۳۹۶) انتخاب محل و تحلیل هزینه و فایده برای تغذیه مصنوعی در دشت باغملک، استان خوزستان، جنوب غربی ایران. هیدروژئولوژی، ۱۸ (۵): ۷۶۱-۷۷۳.

۷. موغلی، م. (۱۴۰۰) مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آبخوان با استفاده از GIS (مطالعه موردی: حوضه گربایگان، فارس)، جغرافیای طبیعی، ۵۱ (۱۴): ۱۳۱-۱۵۳.

۸. مهدوی، ع.، م. ر. نوری امامزاده‌یی، ر. مهدوی نجف‌آبادی و س. ح. طباطبائی (۱۳۹۰) مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی به روش منطق فازی در حوضه آبریز دشت شهرکرد. علوم آب‌وخاک، ۱۵ (۵۶):۷۸-۶۳.

۹. سرزعیم، م.ص. و میراب زاده اردکانی، م. (۱۳۷۴) نقش طرح های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در توسعه پایدار منابع آب. مجموعه مقالات کنفرانس منطقه ای مدیریت منابع آب، اصفهان، ایران (۱۳۳-۱۴۵).

10. Alesheikh A. A., Soltani M. J., Nouri N. and Khalilzadeh M. (2017*) Land assessment for flood spreading site selection using geospatial information system*. International Journal of Environmental Science and Technology. *5: 455-462*.
11. Asano T. (1985) *Artificial Recharge of Groundwater*. Butterworth Publishers, p 767.
12. Bouwer H. (2002) *Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering.* Hydrogeology Journal, *10:121–142.*
13. Chabak Beldaji M., Nafouti M., Ebrahimi H. and Khosfi Z. (2015) *Locating the flood spreading area using Analytic Hierarchy Process (AHP).* Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, *4 (13): 31-38.*
14. Donovan D. J., Katzer T., Brothers K., Cole E. and Johnson M. (2002) *Cost-benefit analysis of artificial recharge in Las Vegas Valley, Nevada*. Journal of Water Resour Plan Manag-Asce *128:356–365.*

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]

15. Etebari B.V. (2010) *Comparison of pumping test methods in determining the hydrodynamic coefficients of the Sarisheh plain aquifer in South Khorasan Province*, 7th Iran Hydraulic Conference, University of Water and Power Industry. Tehran.
16. Faraji Sabokbar H., Rafiei Y., Nasiri H., Hamze M., Talebi S. and Rafiei, Y. (2012*) Identification of suitable areas for artificial groundwater recharge using integrated ANP and pair wise comparison methods in GIS environment, (case study: Garbaygan Plain of Fasa).* Geography and Environmental Planning, *22(4): 143-166*.
17. Foltz R. C. (2002) *Iran's water crisis: cultural, political, and ethical dimensions*, Journal of Agricultural and Environmental Ethics, *15: 357–380*.
18. Ghayoumian J., Mohseni Saravi M., feiznia S., Nouri B. and Malekian A. (2016) *Application of GIS techniques to determine areas most suitable for artificial groundwater recharge in a coastal aquifer in southern Iran.* Journal of Asian Earth Sciences. *30: 346-374.*
19. Ghayoumian J., Mohseni Saravi M., Feiznia S., Nouri B. and Malekian A. (2007) *Application of GIS techniques to determine areas most suitable for artificial groundwater recharge in a coastal aquifer in southern Iran*, Asian Earth Sci, *30: 346-374*.
20. Ghermez Cheshmeh B., Faiznia S., Qayyumian J. and Zehtabian G. R. (2014) *Investigation of the ability to use geomorphological maps in locating areas prone to flood spreading in Maymeh region.* Iranian Journal of Natural Resources Tehran.
21. Ghodrati M. (2014) *Training in the application of ARC GIS in water engineering*, Simaye Danesh Publications, Tehran.
22. Ghodsipour S. (2009) *AHP Hierarchical Analysis Process*, Amirkabir University of Technology Publishing Center, Tehran.
23. Hashemi H., Berndtsson R., Kompani-Zare M. and Persson M. (2013) *Natural vs. artificial groundwater recharge, quantification through inverse modeling*, Hydrology and Earth System Sciences, *17(2):637-650.*
24. Hekmat Poor M., Feyznia S., Ahmadi H. and Khalil Poor A. (2016*) Zoning of suitable areas for artificial feeding in Varamin plain with the help of GIS and decision support system (DSS).* Environmental Science, *33 (42):1-8.*
25. Hwang C. L. and Yoon K. (2010) *Multiple attribute decision making: methods and applications*. Springer, Berlin. Amiri,M.P. Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods. Expert Systems with Applications, *37: 6218-6224*.
26. Johnson A. I. and Finlayson D.J. (2016) *Artificial recharge of ground water*. American Society of Civil Engineers, New York.
27. Kalantari N. (2010 *Site selection and cost-benefit analysis for artificial recharge in the Baghmalek plain, Khuzestan Province, southwest Iran.* Hydrogeology Journal, *18: 761-773*.
28. Krishnamorthy J. (2012) *an approach to demarcate groundwater potential zones through remote sensing and geographic information system*. International Journal of Remote Sensing, 245-257.
29. Lenzen M., Bhaduri A., Moran D., Kanemoto K., Bekchanov M., Geschke, A. and Foran, B. (2012) *The role of scarcity in global virtual water flows*. ZEF-Discussion Papers on Development Policy. 169.
30. Mehrvarz K. and Kalantari Oskouei A. (2018) *Investigation of quaternary deposits suitable for floodwater spreading.* Proceedings of the international congress of river basin management. Antalya, Turkey. *572-582*.
31. Moeinaddini M., Khorasani N., Danehkar A., Darvishsefat A. A. and Zienalyan M. (2010) *Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj),* Waste Management Journal, *30(5): 912-920.*
32. Mozaffari J. (2018*) Artificial feeding of groundwater aquifers using excess seasonal river water Case study of Karaj river, M.Sc. thesis*, University of Tehran.
33. Naseri M. (2012) *Integrating Multi-Criteria Decision Making Systems and Geographic Information in Locating Suitable Flood Distribution Areas for Artificial Feeding (Case Study: Chah Daraz Plain - Sirjan)* Iranian Journal of Geology, Third Year, *3 (10): 105-97*.
34. Omrani M. (2009) *Selecting a suitable place and method of artificial feeding in Takestan plain using GIS*. Master Thesis, Shahid Beheshti University of Tehran.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]

35. Pedrero F., Albuquerque A., Marecos D. O., Monte H., Cavaleiro V. and Alarcón J. (2011) *Application of GIS-based multi-criteria analysis for site selection of aquifer recharge with reclaimed water*, Resources, Conservation and Recycling, *56: 105–116.*
36. Portabari M., Morsali M. and Nouri H. (2008*) Locating susceptible areas for the implementation of aquifer artificial feeding projects with Use of GIS: A Case Study of Hashtgerd Plain* "Fourth National Congress of Civil Engineering Tehran.
37. Ramezani Mehrian M., Malekmohammadi B. and Rariee Y. (2012) *Application of Fuzzy Logic in Site Selection of Artificial Groundwater Recharge Using Integrated Method of AHP and FTOPSIS.* Journal of Environmental Studies, *38(3): 99-108.*
38. Singh A., Panda S. N., Kumar K. S. and Sharma C.S. (2013) *Artificial groundwater recharge zones mapping using remote sensing and GIS: a case study in Indian Punjab.* Environmental Management Journal, *52:61–71.*
39. Vaezi A. R., Hoseinshahi A. and Abdinejad P. (2013) *Physical and Chemical Soil Properties as Affected by the Flood Spreading in Garehcharyan Plain*, Zanjan. Journal of Water and Soil Science, *16 (62):149-161.*
40. Zamani N., Abedi Koupaei J. and Javaheri Tehrani M. (2017). *Locating the implementation of artificial feeding plan in Alavijeh area using the software*, GIS National Conference on Water Crisis, Islamic Azad University of Khorasgan.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]

Locating Suitable Areas for Groundwater Recharge Using GIS and WLC (Qorveh Plain in Kurdistan Province)

Jahangir Abedi Koupai[1]*, Amir Zarei[2] and Esa Maroufpoor[3]

1. Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology Isfahan, Iran.
2. Former MSc Student, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3. Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

Received: 2022/04
Accepted: 2022/11

Abstract

In recent decades, the ever-increasing population, human needs, and changes in the consumption patterns of societies require the planning and management of water resources more than ever. Among the management strategies of underground water resources, we can point out the compensation of these resources through artificial nutrition and exploitation according to the capacity of aquifers. The studied area is located in the Qorve watershed with an area of 232.17 km^2. In this research, which was carried out in Qorve plain in Kurdistan province, nine parameters of the slope, land use, the thickness of unsaturated alluvium, hydraulic conductivity, distance from the river, geology, electrical conductivity, aquifer transfer capability, and vegetation were investigated. The research method was based on the weighted-linear combination (WLC) method. The weights entered in this method were extracted by the AHP model in Super Decisions software. The results of this method showed that about 23.4% of the total area of the plain and 54.4 km^2 have a great value for feeding, and about 19% of the total area of the plain is considered unsuitable.

Keywords: Artificial Recharge, Qorveh Plain, GIS, WLC.

[1] *Corresponding author: koupai@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-19]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.4.5]