

Local analysis of areas prone to artificial feeding of underground water resources in the Rozae Chai River catchment of Urmia

Received: 02 September 2024, Accepted: 07 January 2025

Mehdi Hasanzadeh^{1*}, Noorali Haghdoust Ghahramanlou², Behzad Hessari³

¹ M.Sc. Student of Hydraulic Structures Engineering, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

² Ph.D. in irrigation and drainage, Assistant Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

³ Ph.D in Hydrology, Associate professor of Water Engineering Department, Urmia University, Urmia, Iran

***Corresponding Author:**
me.hasanzadeh@urmia.ac.ir

How to Cite This Article:

Hasanzadeh M, Haghdoust Ghahramanlou N, Hessari B. Spatial Analysis of Areas Suitable for Artificial Recharge of Groundwater Resources in the Rozeh Chai River Catchment, Urmia Lake Basin (ULB). Journal of Environmental Health Engineering. 2025; 12(2):152-70.

DOI:
[10.61186/jehe.12.2.152](https://doi.org/10.61186/jehe.12.2.152)

ABSTRACT

Background: In recent decades, the growing population, increasing human needs, and changing consumption patterns necessitate more effective planning and management of water resources. Key strategies for managing groundwater include artificial recharge and sustainable exploitation of aquifers. The aim of this study was to local analysis of areas prone to artificial feeding of underground water resources in the Rozae Chai River catchment of Urmia. According to the Analytic Hierarchy Process (AHP), there were 8 layers, namely surface permeability, unsaturated zone thickness, aquifer transport capacity, groundwater quality, slope, land use, distance from the river, and distance from the village.

Materials and Methods: After preparing the relevant layers, the layers were fuzzified and weighted using the AHP. A pairwise comparison matrix of various factors was created for this purpose. In the output of this model, the highest weights were respectively assigned to surface permeability, unsaturated zone thickness, and aquifer transmissivity. Finally, the potential areas were identified and evaluated using the ROC curve.

Results: In the final weights, the highest values were assigned to surface permeability, unsaturated zone thickness, and aquifer transport. The final zoning map indicated that the central areas of the plain were most conducive to groundwater recharge due to the influence of these three primary factors, exhibiting high weights and gentle slopes of 0 to 2%. Conversely, the western and lowland areas had the least recharge potential due to low aquifer transportability, high slopes, and thick unsaturated zones. The area under the ROC curve of susceptible regions is 0.98, indicating high accuracy of the results.

Conclusion: It can be stated that the use of multi-criterion decision-making methods for designing, evaluating, and prioritizing options for decisions, along with the application of GIS for analyzing large volumes of geographic data, combined with fuzzy logic, can assist us in implementing artificial feeding locations accurately and precisely.

Keywords: local analysis, Hierarchical analysis process, Artificial feeding of underground water sources, Urmia plain

تحلیل مکانی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی درحوضه آبریز رودخانه روضه چای ارومیه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸

مهدی حسن‌زاده^{۱*}، نور علی حق دوست قهرمانلو^۲، بهزاد حصاری^۳^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران^۲ دکترای تخصصی آبیاری و زهکشی، استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران^۳ دکترای تخصصی هیدرولوژی، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

زمینه و هدف: در دهه‌های اخیر افزایش روزافزون جمعیت و تغییر الگوهای مصرف آب جوامع منجر به برنامه‌ریزی و مدیریت مدرن منابع آب شده‌است. از مهمترین راهکارهای مدیریتی منابع آب زیرزمینی می‌توان به‌جبران این منابع از طریق تغذیه مصنوعی و بهره‌برداری باتوجه به ظرفیت آبخوان‌ها اشاره نمود. هدف این پژوهش تحلیل مکانی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی درحوضه آبریز رودخانه‌روضه‌چای ارومیه به‌روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) از ۸ لایه با عناوین نفوذپذیری سطحی، ضخامت ناحیه غیراشباع، قابلیت انتقال آبخوان، کیفیت آب زیرزمینی، شیب، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه و فاصله تا روستا بوده‌است.

مواد و روش‌ها: پس از تهیه لایه‌های مرتبط، لایه‌ها فازی شده و وزن‌دهی به‌روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی انجام گرفت و ماتریس دویه‌دویی عوامل مختلف برای این منظور ایجاد گردید. در خروجی این مدل، بیشترین وزن‌ها به‌ترتیب به نفوذپذیری سطحی، ضخامت ناحیه غیراشباع، قابلیت انتقال آبخوان اختصاص داده‌شد. در نهایت مناطق مستعد شناسایی و با منحنی Roc ارزیابی گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد براساس نقشه‌های پهنه‌بندی، مستعدترین نواحی به‌منظور تغذیه آب زیرزمینی متعلق به نواحی مرکزی دشت می‌باشد، همچنین علت تأثیر ۳ عامل اولیه شامل نفوذپذیری سطحی، ضخامت ناحیه غیراشباع، قابلیت انتقال آبخوان با وزن‌های بالا و شیب کم آن نواحی (شیب ۰ تا ۲ درصد) می‌باشد، نواحی غربی و ورودی دشت به‌علت قابلیت انتقال آبخوان خیلی کم و شیب زیاد و همچنین بالا بودن ضخامت ناحیه غیراشباع در پهنه‌بندی نهایی کم‌ترین پتانسیل تغذیه را نشان داد. سطح زیر منحنی ROC مناطق مستعد، برابر ۰/۹۸ بوده و نشانگر دقت بالای نتایج است.

نتیجه‌گیری: در نهایت می‌توان بیان کرد که استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای طراحی ساختار، ارزیابی و اولویت‌بندی گزینه‌های تصمیم و به کارگیری GIS برای تجزیه و تحلیل حجم بالای داده‌های جغرافیایی درکنار منطق فازی می‌تواند ما را در اجرای صحیح و دقیق مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی کمک‌کند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل مکانی، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی، دشت ارومی

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

me.hasanzadeh@urmia.ac.ir

نحوه استناد به این مقاله:

Hasanzadeh M, Haghdoost Ghahramanlou N, Hessari B. Spatial Analysis of Areas Suitable for Artificial Recharge of Groundwater Resources in the Rozeh Chai River Catchment, Urmia Lake Basin (ULB). Journal of Environmental Health Engineering. 2025; 12(2):152-70.

DOI:

[10.61186/jehe.12.2.152](https://doi.org/10.61186/jehe.12.2.152)

مقدمه

کشور ایران با میانگین بارش سالانه (بلندمدت: ۲۵۴ میلی‌متر، دوره خشک‌سالی: ۲۱۰ میلی‌متر)، میانگین سالانه تبخیر پتانسیل بیش از ۲۰۰۰ میلی‌متر و تسلط اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک بر ۸۵ درصد مساحت آن در یکی از کم‌آب‌ترین مناطق دنیا قرار گرفته است.^۱ امروزه تخلیه آب‌های زیرزمینی و عدم جایگزین شدن آب این منابع، یکی از بزرگ‌ترین مشکلات محسوب می‌شود. خشک شدن تعداد زیادی از قنات‌ها و چاه‌ها باعث شده است که بخش زیادی از سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده از بین برود. تغذیه مصنوعی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند بخشی از آب خارج‌شده از زیرزمین را جایگزین کند.^{۳،۲} تغذیه آب‌های زیرزمینی، هم به صورت طبیعی (از طریق چرخه آب) و هم از طریق فرآیندهای انسان - محیطی به عنوان مثال، تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی که در آن آب باران و یا آب تصفیه‌شده به سطوح زیرین زمین هدایت می‌شود، صورت می‌گیرد.^۴ GIS (Geographic Information System) و روش AHP (Analytic Hierarchy Process) در شناسایی و اولویت‌بندی مناطق مستعد برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شوند.^۵ برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، روش AHP، یکی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی‌شده به حساب می‌آید.^۶ زیرا امکان در نظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی را فراهم کرده و با ایجاد یک ماتریس نسبت به مقایسه دویه‌دویی معیارها می‌پردازد.^۷ GIS یک ابزار تحلیلی داده‌های مکانی است که مهم‌ترین ویژگی این سیستم امکان شناسایی روابط فضائی میان عوارض مختلف روی نقشه بوده و به منظور کسب، ذخیره، بهنگام سازی، پردازش، تحلیل و ارائه کلیه اشکال اطلاعات جغرافیایی طراحی و ایجاد شده است.^۸ در این زمینه مطالعه‌ای توسط جمور و ایل بیگی^۹ درخصوص مکان یابی محل و تعیین روش مناسب تغذیه مصنوعی در دشت میناب براساس روش AHP صورت گرفته است، در این پژوهش

براساس آنالیز داده‌های تراز سطح آب زیرزمینی، آزمایش پمپاژ، نقشه زمین‌شناسی، داده‌های منابع آب و همچنین بازدیدهای متعدد میدانی به بررسی مکان مناسب جهت تغذیه مصنوعی و همچنین روش مناسب آن در آبخوان میناب پرداخته شد. بدین منظور ابتدا لایه‌های اطلاعاتی مربوط به ۷ پارامتر شامل ضخامت آبرفت، قابلیت انتقال آبخوان، عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی، توپوگرافی منطقه، فاصله از رودخانه، لیتولوژی سطحی زمین و تراکم منابع آب زیرزمینی در محیط نرم‌افزار GIS ایجاد شد. سپس براساس روش AHP وزن هر یک از لایه‌ها با کمک قضاوت مهندسی و روش مقایسه زوجی مشخص شد. در نهایت، محدوده آبخوان میناب به ۳ بخش با پتانسیل خوب، متوسط و ضعیف تقسیم شد. در ادامه با بررسی وضعیت کاربری اراضی و انجام مطالعات متعدد میدانی به‌ویژه در مناطق با پتانسیل بالا، تعدادی شن چاله قدیمی در بستر رودخانه میناب شناسایی گردید که برای اهداف تغذیه مصنوعی پیشنهاد گردید. با استفاده از نتایج این پژوهش، ۶٪ از مساحت آبخوان جهت تغذیه مصنوعی مناسب تشخیص داده شد. مقدم و همکاران^{۱۰} مکانیابی پتانسیل آب‌های زیرزمینی تجدیدشونده آبخوان‌های غرب دریاچه ارومیه با تحلیل AHP و تکنیک فازی فضایی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که در مدل تحلیل سلسله مراتبی و مدل ترکیبی منطق فازی به ترتیب حدود ۱۸/۹ درصد و ۲۵/۳۳ درصد از سطح منطقه دارای پتانسیل بالایی بوده و مناسب حفر چاه می‌باشند. در نهایت برای تعیین صحت نقشه‌های نهایی از منحنی ROC (Receiver Operating Characteristic) استفاده گردید که میزان دقت نقشه‌های نهایی تهیه شده با روش تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی - تحلیل سلسله مراتبی به ترتیب ۰/۷۷۵ و ۰/۸۱۲ بوده و روش منطق فازی - تحلیل سلسله مراتبی نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی دارای عملکرد بهتری در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی بود. برای انتخاب مناطق مناسب جهت اجرای پروژه‌های

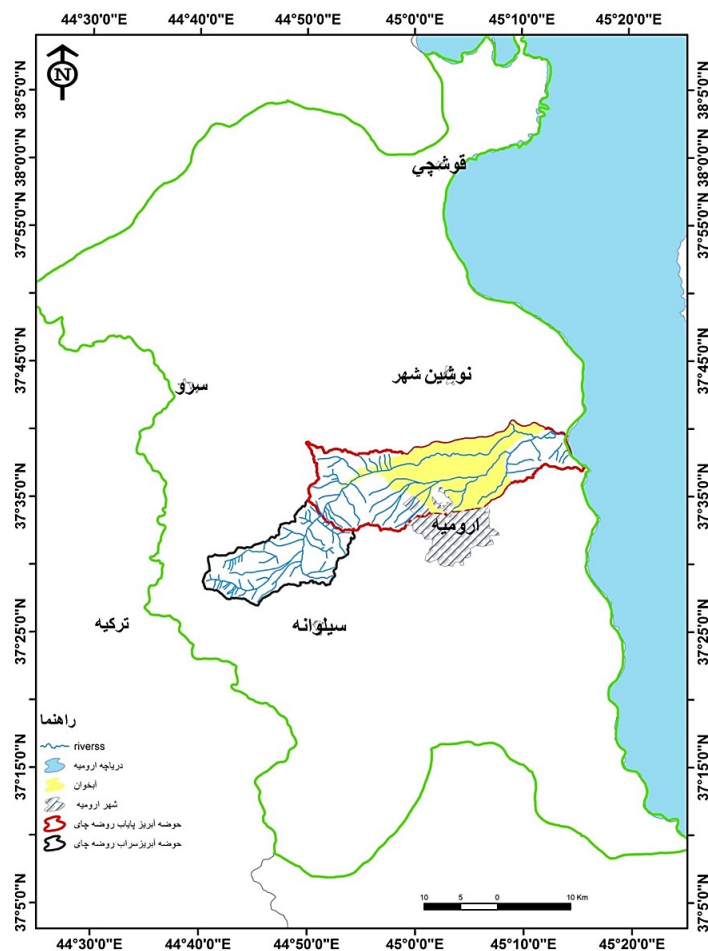
تغذیه مصنوعی بایستی زیرمعیارهای مختلف مؤثر در انتخاب بهترین مکان در نظر گرفته شوند. با ایجاد ارتباط بین زیرمعیارها می توان عمل اولویت بندی را انجام داده و تصمیم گیری به منظور انتخاب مستعدترین مکان برای منطقه ی موردنظر را سریع تر و دقیق تر انجام داد. با توجه به توسعه و رونق کشاورزی و تمرکز بالای چاه های بهره برداری در دشت ارومیه، علی الخصوص حوضه آبریز رودخانه روضه چای، شناسایی و پتانسیل یابی مکان های مستعد تغذیه مصنوعی، صحت سنجی و پیش بینی مناطق مناسب تغذیه آب زیرزمینی و تأثیر آن در احیاء تعادل به هم خورده آبخوان، امری ضروری هست به این ترتیب هدف از این مطالعه تحلیل مکانی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی درحوضه آبریز رودخانه روضه چای ارومیه می باشد که یافته های این مطالعه می تواند در مدیریت مناسب منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در غرب دریاچه ارومیه و بین مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۵ درجه عرض شمالی واقع شده است. حوضه آبریز روضه چای از شمال به محدوده نازلو چای، از جنوب به محدوده شهر چای و شهر ارومیه، از شرق به دریاچه ارومیه و از غرب به مرز سیاسی کشور ترکیه محدود می شود (شکل ۱). مهم ترین رودخانه منطقه، روضه چای هست که از سمت کوه های مرزی ترکیه سرچشمه گرفته و به سمت

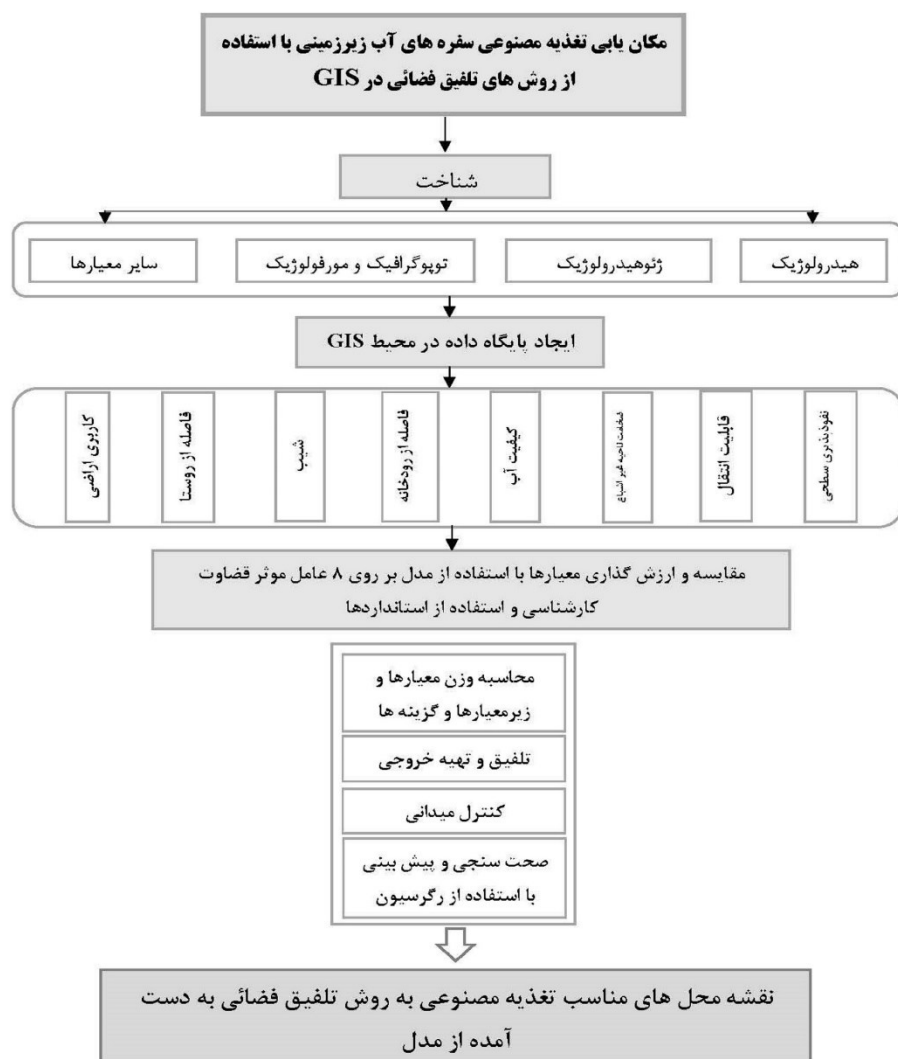
شرق حرکت کرده و در مسیر حرکت خود آب مورد نیاز کشاورزی برخی روستاها را تأمین کرده و در نهایت به دریاچه ارومیه منتهی می شود. سیلاب های این رودخانه از طریق مسیل گویجه لوی اصلان وارد اراضی باتلاقی دریاچه ارومیه می شود. این منطقه از نظر تأمین آب جهت مصارف کشاورزی با کمبود مواجه هست. با توجه به افزایش فعالیت های کشاورزی در منطقه، احتمال آن می رود که در آینده ای نه چندان دور شاهد کاهش ذخیره آبخوان های موجود باشیم. به همین منظور، ابتدا تمام پارامترهای مورد نیاز جهت گزینش مکان مناسب اجرای طرح تغذیه مصنوعی شناسایی و مورد بررسی قرار گرفت. حوضه آبریز روضه چای به دو بخش سراب و پایاب تقسیم می شود لذا با توجه به اینکه هدف مطالعه حاضر، ارزیابی پتانسیل تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی در دشت ارومیه است، تمرکز مطالعه در بخش پایاب حوضه بوده و آبخوان ارومیه هم در بخش پایاب قرار گرفته است. این منطقه مشابه اکثر آبخوان ها و سفره های آبریز زمینی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با مشکل اضافه برداشت برای آبیاری و افت شدید آب زیرزمینی مواجه است و در این تحقیق به عنوان یک راهکار پایدار، آبخوانداری با تغذیه مصنوعی آبهای مازاد در خارج فصل زراعی مد نظر هست و برای این هدف لازم است مناطق با شرایط هیدروکلیمایی و هیدرودینامیکی سفره، شناسایی و مورد اولویت بندی قرار گیرد و مناسب ترین مستعدترین مکانها و ترجیحا بدون معارض تعیین گردد. در استان آذربایجان غربی تجربیات موفق تغذیه مصنوعی بصورت حوضچه ای نفوذی در اطراف رودخانه ها وجود دارد^{۱۱} لذا در تحقیق این روش مد نظر بوده است.



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه

محیط نرم‌افزار ArcGIS موردبررسی قرار گرفت و با استفاده از مدل ترکیبی منطق فازی، تلفیق لایه‌ها انجام شد. درنهایت برای انجام صحت سنجی نقشه‌های نهایی، از بازدیدهای میدانی، ضریب رگرسیون در نرم‌افزار Terrset و منحنی ROC استفاده شده است. در شکل زیر گردش کار مطالعه ارائه شده است.

داده‌های کمی مربوط به هشت لایه اطلاعاتی از سازمان‌های آب منطقه‌ای، جهاد کشاورزی و سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح استان آذربایجان غربی اخذ شده و مکان‌یابی پتانسیل آب‌های زیرزمینی تجدیدشونده آبخوان روضه چای با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در نرم‌افزار Expert Choice و تکنیک فازی فضایی در



شکل ۲- گردش کار مطالعه

تهیه نقشه های موثر در مکان یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی

لایه نفوذپذیری سازندهای زمین شناسی

برای تهیه محدوده نقشه نفوذپذیری، از نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه استفاده شد و با تشکیل لایه لیتولوژی نفوذپذیری هر عنصر در جدول اطلاعات لایه وارد شد و بر اساس نفوذپذیری هر عنصر لایه رستر تهیه شد.

لایه ضخامت ناحیه غیر اشباع

برای ایجاد این لایه از اطلاعات پیزومترهای سال ۱۳۹۶ سازمان آب منطقه ای آذربایجان غربی استفاده شده

است برای دسته بندی پهنه ها در محیط - Arc GIS
Arc Map از روش طبقه بندی پیش فرض Arc GIS
Arc Map - یعنی Natural Breaks استفاده شده است.

لایه قابلیت انتقال ناحیه اشباع

این ضریب نشان دهنده حرکت آب در محیط متخلخل می باشد این لایه از درون یابی نتایج آزمایش پمپاژ به دست می آید.

لایه کاربری اراضی

نقشه‌های کاربری اراضی به صورت فایل GIS از سازمان جهادکشاورزی اخذ و در این تحقیق استفاده شده است. نقشه کاربری اراضی برای استفاده در پهنه‌بندی در محیط GIS مستلزم لحاظ کردن اولویت‌ها و طبقه‌بندی می‌باشد.

لایه فاصله از آب های سطحی

لایه رودخانه‌های حوضه از سازمان آب به صورت فایل GIS اخذ شده است و در محیط GIS حریم‌ها یا فاصله از آبراهه با استفاده از فاصله اقلیدسی ایجاد شده است.

لایه شیب

از داده‌های توپوگرافی منطقه که از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح اخذ شده است در محیط GIS ایجاد شده‌اند. به این ترتیب که خطوط هم‌ارزش ارتفاعی (کانتورهای ارتفاعی) به مدل رقومی زمین یا DEM (digital elevation model) تبدیل شده و لایه شیب از روی لایه DEM در محیط GIS به دست آمده است.

لایه فاصله از روستا

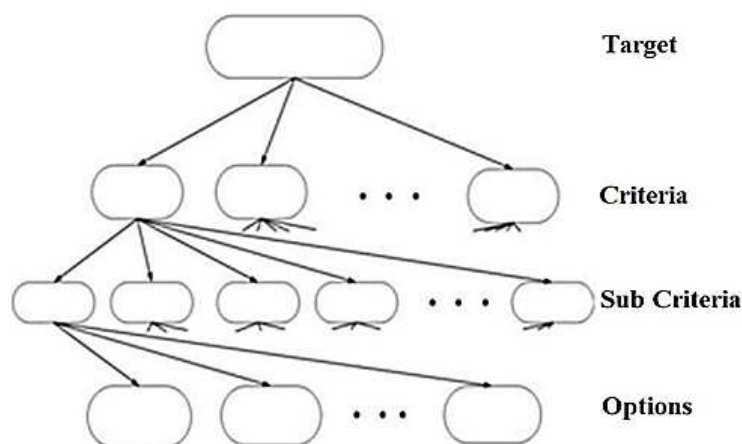
لایه موقعیت روستاهای منطقه از سازمان جهادکشاورزی استان اخذ و فاصله یا حریم روستاها در محیط GIS ایجاد شد. نقشه فاصله از روستاها برای استفاده در پهنه‌بندی در محیط GIS مستلزم لحاظ کردن اولویت‌ها و طبقه‌بندی می‌باشد

لایه کیفیت آب زیرزمینی

برای کیفیت آب زیرزمینی از نتایج آنالیزهای سال ۱۳۹۶ استفاده شده ۱۰ نقطه نمونه برداری در داخل ناحیه مطالعاتی قرار دارد ولی از ۱۵ نقطه که در مجاورت ناحیه قرار دارند، به صورت کمکی برای پهنه‌بندی استفاده شده است. پهنه‌بندی در محیط GIS و به طریق kriging. درون‌یابی انجام یافته است. برای دسته‌بندی پهنه‌ها در محیط Arc Map - Arc GIS از روش طبقه‌بندی پیش‌فرض Arc Map - Arc GIS یعنی Natural Breaks استفاده شده است.

مراحل انجام تحلیل سلسله مراتبی

در تحقیق حاضر، برای وزن دهی معیارها و قضاوت با ذهن و طبیعت بشری از روش AHP استفاده شده است. اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله است که در ابتدا هدف کلی مسئله و در مراحل بعدی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند (شکل ۳). علاوه بر آن در نگاه کلی می‌توان بیان کرد که روش ساختن یک سلسله مراتب به نوع تصمیمی که باید اتخاذ شود بستگی دارد^{۱۲}.



شکل ۳- ساختار سلسله مراتبی

یکدیگر با استفاده از امتیازدهی معیارها و تکمیل پرسشنامه خبرگان توسط کارشناسان آب و مشورت با اساتید گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه ارومیه انجام شد و در نهایت وزن هرکدام از معیارها به دست آمد برای مقایسه زوجی متغیرها به صورت طبقه بندی کمی بین ۱ تا ۹ از جدول قیاسی که توسط ساعتی^{۱۳} بیان شده است، انجام پذیرفته است (جدول ۱).

با توجه به این که هریک از متغیرهای ۸ گلنه تأثیر متفاوتی در انتخاب محل مناسب اجرای پروژه های تغذیه مصنوعی سفره های آب زیرزمینی حوضه آبریز رودخانه روضه چای دارند و متغیرهای مؤثر بیش از یک فاکتور بوده و ارجحیت فاکتورها نسبت به هم سنجیده می شوند، از روش مقایسه زوجی استفاده شده است. در روش مقایسه زوجی، معیارها دوبه دو با یکدیگر مقایسه شده و اهمیت آن ها نسبت به

جدول ۱- وزن دهی به عوامل بر اساس ارجحیت به صورت مقایسه زوجی

مقدار عددی	ترجیحا (قضاوت شفاهی)
۹	کاملا مرجع یا کاملا مهم یا کاملا مطلوب
۷	مرجع بااهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح بااهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجع یا کمی مهم تر یا کمی مطلوب
۱	ترجیح بااهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحا بین فواصل قوی

اهمیت نسبی پارامترها تجدیدنظر صورت گیرد^{۱۴}. تمامی این فرایندها در نرم افزار Expert Choice انجام شده و خروجی نهایی لایه های ۸ گانه با وزن های به دست آمده در محیط Raster ARC map-ARC GIS با دستور calculator وزن دهی شده و نقشه نهایی پهنه بندی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی در دشت ارومیه (حوضه آبریز روضه چای) به دست آمده است.

بعد از محاسبه وزن هرکدام از معیارها، در ادامه این وزن ها را به امتیاز کسب شده ضرب کرده تا وزن هر زیر معیار به دست آید و امتیاز نهایی هر زیر معیار محاسبه می شود و در آخر با جمع جبری امتیازهای نهایی زیرمعیارها، امتیاز کل برای هر یک از عوامل مؤثر در رابطه با مکان یابی تغذیه مصنوعی آب های زیرزمینی به دست می آید. یکی از مزیت های روش AHP، برای تعیین ضریب اهمیت معیارها، امکان بررسی سازگاری در قضاوت های انجام شده هست. سازوکار بررسی این سازگاری، محاسبه ضریبی به نام ضریب سازگاری (CR) هست که در زیر به فرمول آن اشاره شده است^{۱۳}. این معیار بایستی کمتر از ۰/۱ باشد در صورتی که مقدار ضریب بیشتر باشد، می بایست در

$$CR = CI / RI \quad (1)$$

منطق فازی

در تئوری کلاسیک مجموعه ها، یک عنصر یا عضو مجموعه است یا نیست به عبارتی این تئوری عضویت درجه بندی شده را مطرح می کند. یک مجموعه فازی،

مجموعه ایی از المان‌ها با ویژگی‌های مشابه است که در آن، مجموعه درجه ایی مشخص از صفر تا یک را دارد^{۱۵}. در روش ترکیبی منطق فازی-تحلیل سلسله مراتبی، با استفاده از روش فرایند سلسله مراتبی و با توجه به اهمیت هر پارامتر در پتانسیل منابع آب، وزن آنها محاسبه گردید و با اعمال تابع عضویت فازی خطی به حالت فازی تبدیل و با در نظر گرفتن وزنهای محاسبه شده از روش AHP تمامی لایه‌ها با عملگر جمع فازی با یکدیگر ترکیب و نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی در دشت ارومیه (حوضه آبریز روضه چای) حاصل گردید.

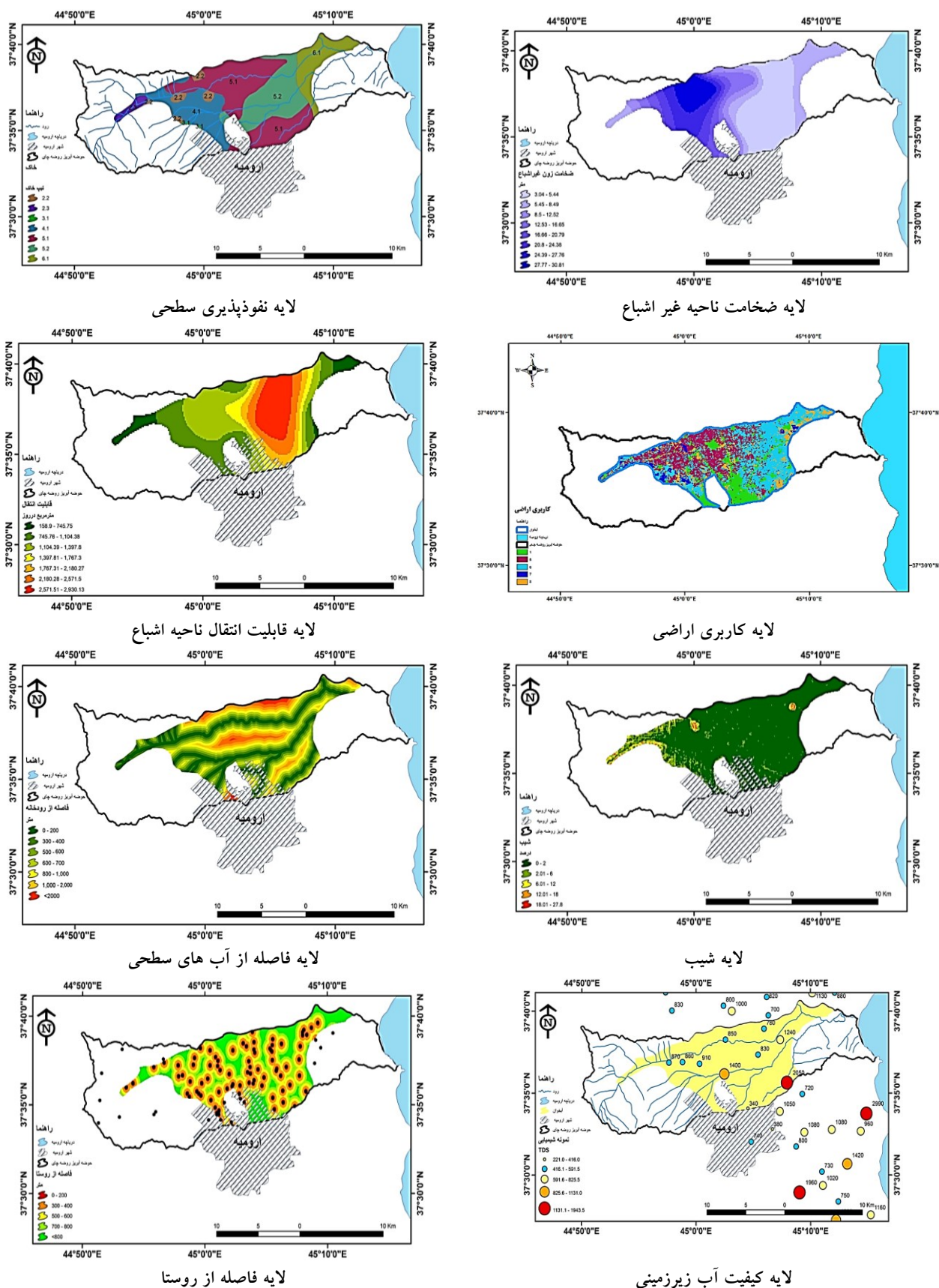
نتایج

نتایج ۸ لایه اطلاعاتی در محیط GIS

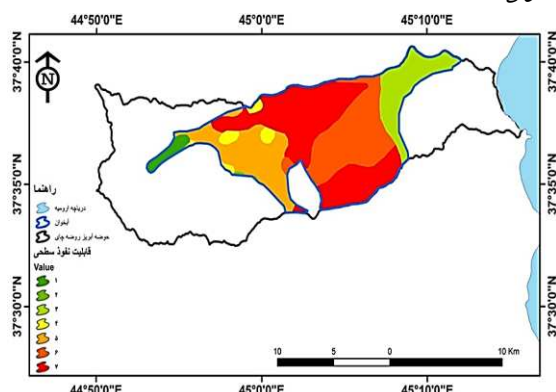
در مطالعه حاضر از هشت لایه اطلاعاتی شامل نفوذپذیری سطحی، ضخامت ناحیه غیراشباع، قابلیت انتقال آبخوان، کیفیت آب زیرزمینی، شیب، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه و فاصله تا روستا استفاده شده است و نتایج نقشه پهنه بندی در محیط GIS مطالعه حاضر نشان می‌دهد که نواحی مرکزی دشت به دلیل این که نفوذپذیری سطحی خاک و قابلیت انتقال از ناحیه اشباع بیشتر و ضخامت ناحیه غیراشباع و میزان TDS (Total dissolved solids) این ناحیه کمتر از نواحی دیگر است در نتیجه نواحی مرکزی دشت مستعدترین ناحیه به منظور ایجاد تغذیه مصنوعی محسوب می‌گردد. درخصوص لایه کاربری

اراضی، نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که مناطق مسکونی و شهری از نظر پهنه بندی پتانسیل تغذیه مصنوعی نامطلوب هستند اما زمین‌های غیر کشاورزی و مراتع ضعیف مطلوب‌ترین مکان برای اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی از لحاظ کاربری اراضی محسوب می‌شوند علاوه بر آن نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که فاصله ۰ تا ۲۰۰ متری از رودخانه یا آبراهه و شیب ۰ تا ۲ درجه مطلوب‌ترین حالت برای اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی به نظر می‌رسد و در فواصل بیشتر از ۲۰۰۰ متری و شیب ۱۸ تا ۲۷ امکان ایجاد تأسیسات بسیار کم بوده و اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی در این شرایط نامناسب می‌باشد. درمورد لایه فاصله از روستا نتایج مطالعه حاضر بیان می‌کند که هرچقدر از روستا دور شویم منطقه مورد نظر برای ایجاد تغذیه مصنوعی مناسب‌تر می‌باشد و به عبارت دیگر فواصل بیشتر از ۸۰۰ متر مطلوب‌ترین مکان در نظر گرفته شده است و فواصل ۰ تا ۲۰۰ متری از روستا نامطلوب‌ترین مکان محسوب می‌گردند همچنین مکان‌یابی مناطق مستعد اجرای طرح‌های پروژه تغذیه مصنوعی در دشت ارومیه (حوضه آبریز رودخانه روضه چای) با تشکیل لایه‌های مکانی و تلفیق آنها در وزن‌های به دست آمده برای هرکدام از سامانه‌ها بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی اتخاذ گردید (شکل ۴) و با توجه به اهمیت و اولویت هر یک از لایه‌ها، نقشه‌های پهنه‌بندی خروجی نهایی در (شکل ۵) ارائه شد.

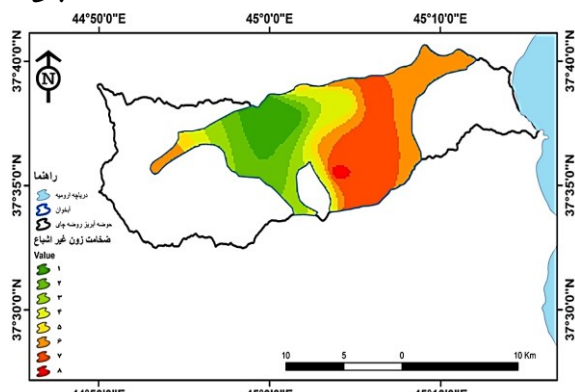
تحلیل مکانی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی در حوضه آبریز رودخانه روضه چای ارومیه



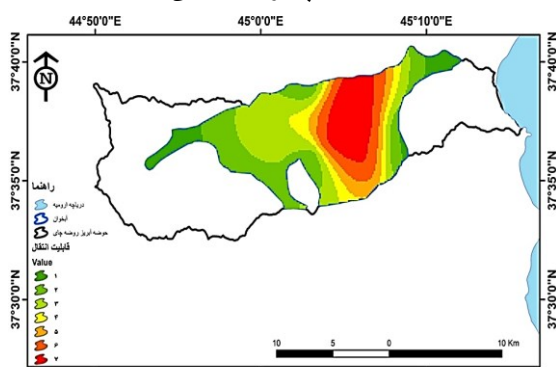
شکل ۴ - هشت لایه ورودی مؤثر در تغذیه مصنوعی رودخانه روضه چای



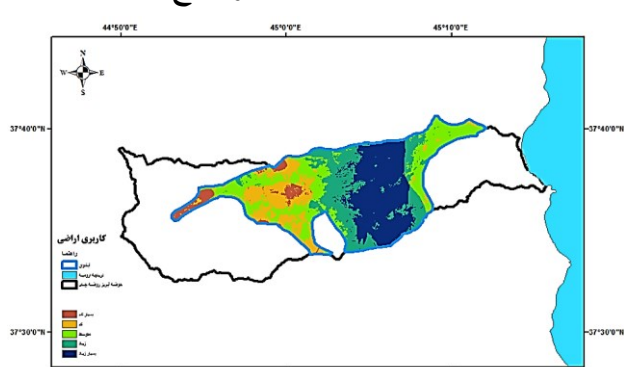
لایه نفوذپذیری سطحی



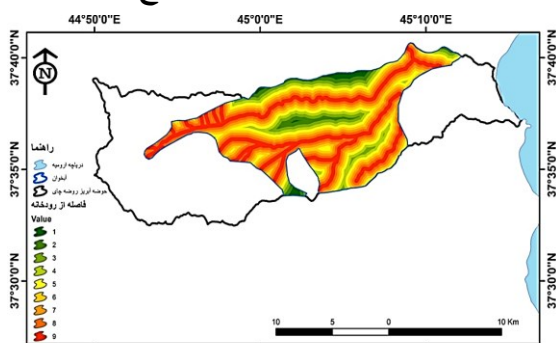
لایه ضخامت ناحیه غیر اشباع



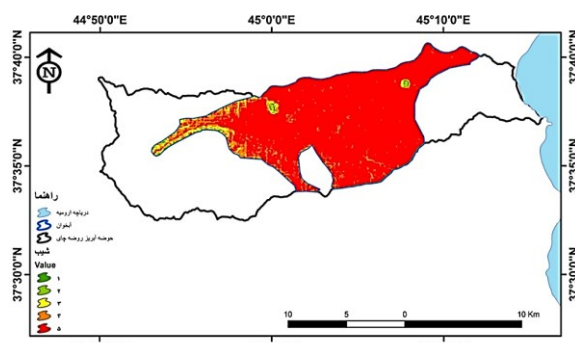
لایه قابلیت انتقال ناحیه اشباع



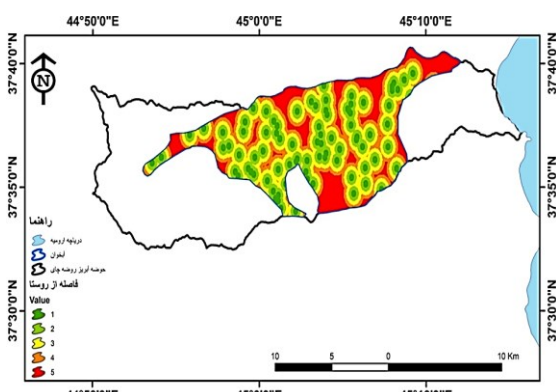
لایه کاربری اراضی



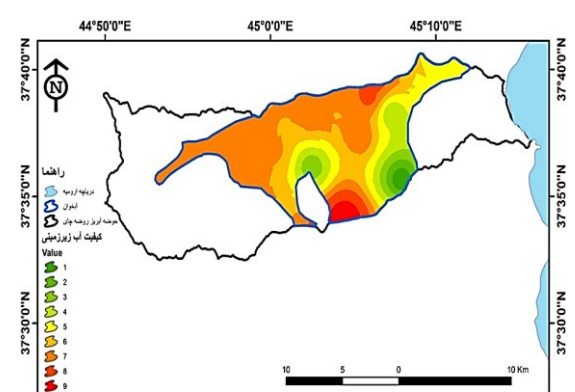
لایه فاصله از آب های سطحی



لایه شبیه



لایه فاصله از روستا



لایه کیفیت آب زیرزمینی

شکل ۵- نقشه های امتیازدهی شده منطقه مورد مطالعه

نتایج وزن دهی لایه های اطلاعاتی

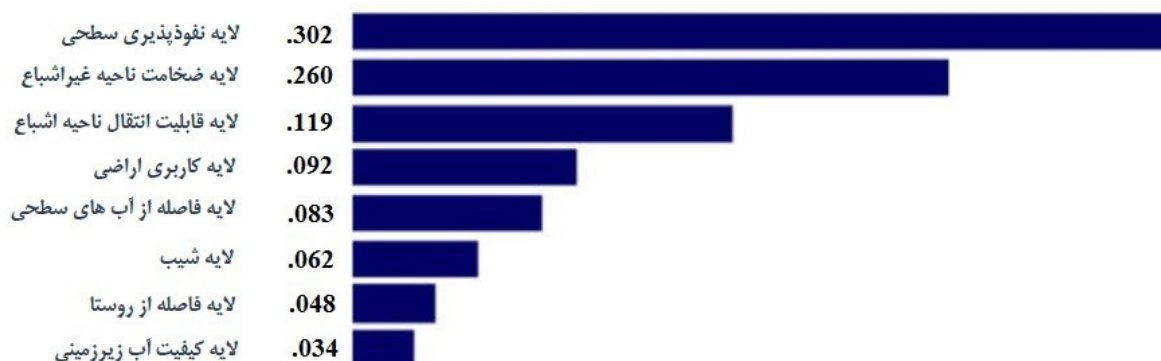
پس از تشخیص عوامل مؤثر در پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، وزن دهی به لایه های اطلاعاتی (برای اولویت بندی عوامل نسبت به یکدیگر با در نظر گرفتن پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی منطقه) طی پرسشنامه ای از ۱۲ متخصص نظر سنجی شد و ماتریس های مقایسه زوجی بر اساس ویژگی های منطقه، مطالعات تطبیقی و نظرات متخصصین برای معیارها و زیرمعیارها

شکل گرفت. نتایج حاصل از وزن دهی، ماتریس های مقایسه زوجی و عوامل مؤثر در پهنه بندی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه به صورت (جدول ۲) (ماتریس های مقایسه زوجی خروجی نرم افزار) و (شکل ۶) آورده شده است. البته محاسبات لازم در محیط نرم افزار Expert Choice به عمل آمده است. استفاده از این نرم افزار به منظور صرفه جویی در وقت و اجتناب از بروز خطاهای انسانی صورت گرفته است.

جدول ۲ - ماتریس های مقایسه زوجی خروجی نرم افزار Expert Choice

کیفیت آب زیرزمینی	فاصله از روستا	شیب	فاصله از رودخانه	کاربری اراضی	قابلیت انتقال آبخوان	ضخامت ناحیه غیراشباع	نفوذپذیری سطحی
۹	۷	۴	۶	۵	۳	۲	۱
۸	۷	۵	۲	۴	۳	۱	
۶	۵	۵	۳	۲	۱		
۴	۲	۳	۲	۱			
۴	۳	۲	۱				
۳	۲	۱					
۲	۱						
۱							

Overall Inconsistency = 0.4

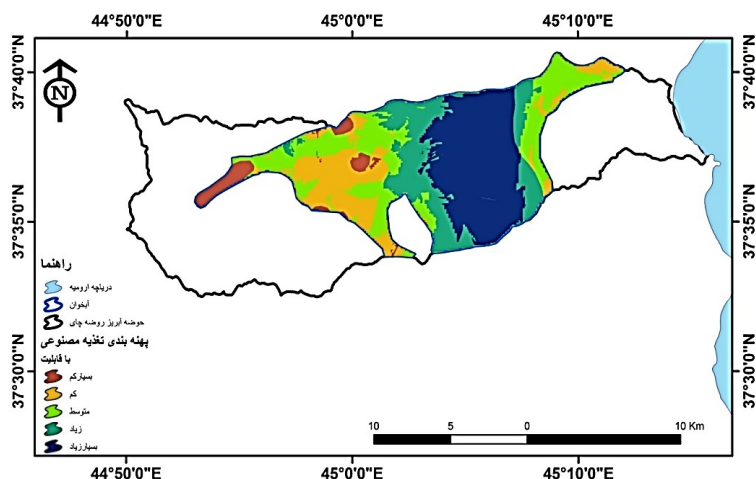


شکل ۶ - وزن های نهایی برای عوامل ۸ گانه پهنه بندی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی (خروجی نرم افزار Expert Choice)

نتایج نقشه نهایی پهنه بندی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی
لایه های ۸ گانه با وزن های به دست آمده در محیط ARC map-GIS با دستور Raster calculator وزن

۲۷/۴ کیلومترمربع می باشد و در قسمت‌های غربی دشت، نواحی باقابلیت تغذیه مصنوعی بسیار کم و کم مورد تلفیق قرار گرفته است، به‌طوری‌که کمترین قابلیت تغذیه مصنوعی در متنها علیه غربی دشت قرار دارد. (شکل ۷)

دهی شده و نتایج نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی در دشت ارومیه (حوضه آبریز روضه‌چای) نشان می دهد که در مرکز حوضه آبریز روضه‌چای وسعت ناحیه باقابلیت تغذیه مصنوعی بسیار زیاد حدود ۴۶ کیلومترمربع بوده و وسعت ناحیه باقابلیت تغذیه مصنوعی زیاد حدود

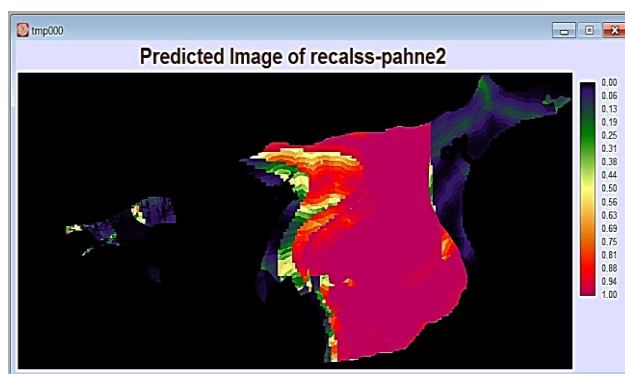


شکل ۷ - نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی در دشت ارومیه (حوضه آبریز روضه‌چای) به روش AHP

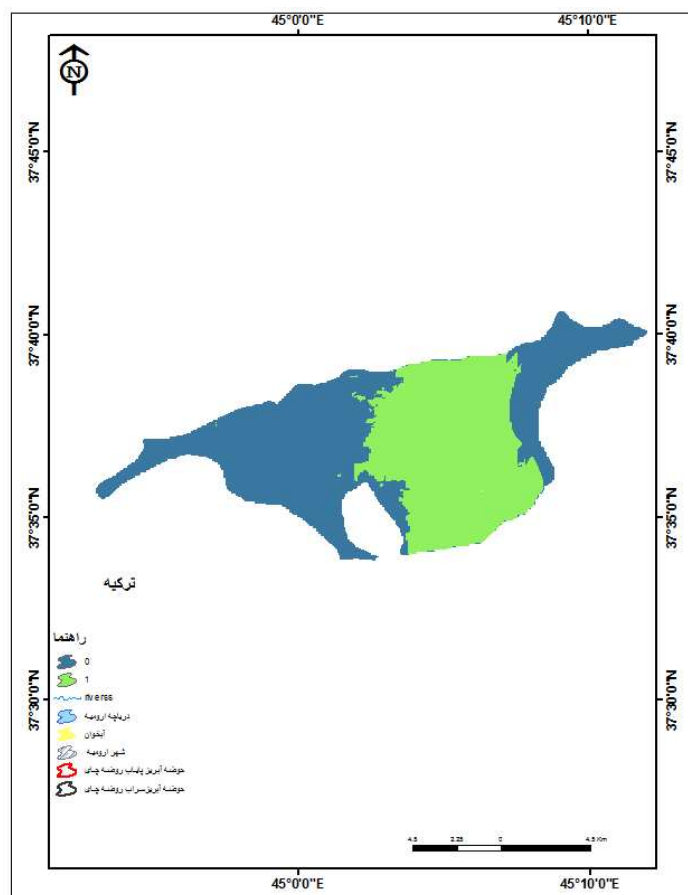
تغذیه مصنوعی باقابلیت‌های بسیار زیاد و زیاد را در ناحیه مرکز دشت مطابق (شکل ۹) نشان می‌دهد. بیانگر نزدیک بودن و موفقیت‌آمیز بودن کار تحقیقاتی با پژوهش انجام‌شده هست.

نتایج خروجی نرم‌افزار Terrset

با توجه به نتایج خروجی نرم‌افزار Terrset (شکل ۸) که محدوده‌ی AUC (Area Under the Curve)، ۰.۹۸ را نشان می‌دهد، پهنه‌بندی انجام‌گرفته که بیشترین قابلیت



شکل ۸ - خروجی نرم‌افزار Terrset



شکل ۹ - نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی در دشت ارومیه (حوضه آبریز روضه‌چای) با نرم‌افزار Terrset

بحث

داخل زمین و نهایتاً تغذیه سفره های آب زیرزمینی اولین مرز، خاک سطحی می باشد و خاک ها براساس بافت مصالح متشکله قابلیت نفوذپذیری متفاوتی دارند به این دلیل قابلیت نفوذپذیری سطحی یکی از عوامل مهم در پروسه نفوذ آب به زیرزمین و تغذیه مصنوعی به حساب می آید^{۱۶}. که در مرکز دشت ارومیه مقدار آن زیادتر می باشد. در ادامه آب نفوذیافته برای پیوستن به سفره های آب زیرزمینی مستلزم عبور از ناحیه غیر اشباع بوده و بدیهی است که هرچقدر ضخامت این ناحیه کمتر باشد قابلیت اراضی برای ایجاد تغذیه مصنوعی بیشتر می باشد در نهایت آب زیرزمینی بعد از عبور از ناحیه غیراشباع به سفره آب زیرزمینی می‌رسد، قابلیت انتقال ناحیه اشباع یا قابلیت انتقال سفره نقش مهمی در انتقال افقی آب نفوذ یافته به سایر نقاط سفره را دارد که مقدار آن در نواحی مرکزی دشت ارومیه زیادتر می باشد. در

این مطالعه با هدف تحلیل مکانی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی درحوضه آبریز رودخانه روضه چای ارومیه صورت پذیرفت و برای پهنه بندی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی در دشت ارومیه (حوضه آبریز روضه‌چای) به روش AHP از ۸ لایه با عناوین نفوذپذیری سطحی، ضخامت ناحیه غیراشباع، قابلیت انتقال از ناحیه اشباع، کیفیت آب زیرزمینی، شیب، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه و فاصله تا روستا استفاده شد. یافته های مطالعه حاضر نشان داد که در نواحی مرکزی دشت ارومیه میزان نفوذپذیری سطحی خاک و قابلیت انتقال از ناحیه اشباع زیادتر و ضخامت ناحیه غیر اشباع از نواحی دیگر کمتر می باشد. بررسی ها نشان داده است که در روند نفوذ آب به

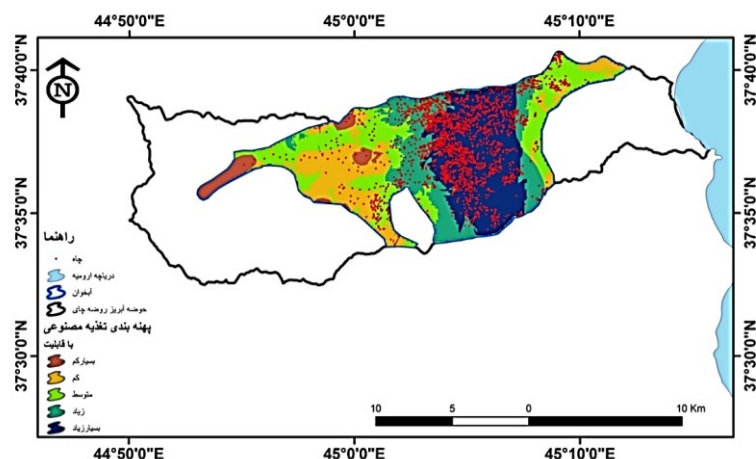
مطالعه ایی که جمور و همکاران در سال ۱۳۹۸ در مورد مکان یابی محل و تعیین روش مناسب تغذیه مصنوعی در دشت میناب بر اساس روش AHP انجام دادند، مقدار قابلیت انتقال ناحیه اشباع براساس داده های دانه بندی لوگ زمین شناسی چاه های پیژومتری و بازدیدهای صحرائی برآورد شد. نتایج این مطالعه نشان داده است که در بخشهای شرقی و مرکزی آبخوان که رسوبات از نوع دانه درشت و گرد شده میباشند، قابلیت انتقال آبخوان بالا و در بخشهای غربی آبخوان که رسوبات دانه ریزتر میشوند مقدار هدایت هیدرولیکی و به تبع آن مقدار قابلیت انتقال کاهش می یابد.^۹ همچنین طبق نتایج مطالعه حاضر میزان کیفیت آب نفوذیافته در نواحی مرکزی دشت ارومیه به دلیل پایین بودن میزان TDS نسبت به سایر نواحی دیگر بالاتر است، لایه کیفیت آب زیرزمینی یکی از عوامل مهم اثر گذار در تعیین محل مناسب برای تغذیه مصنوعی محسوب می گردد که برای بیان آن از پارامترهای مختلفی من جمله نیترات و فلزات سنگین استفاده می شود اما در این مطالعه به علت عدم دسترسی به این مواد از پارامتر شیمیایی دیگر مانند TDS استفاده شده است. در مطالعه ایی که ایمانی و همکاران در سال ۱۴۰۲ درخصوص ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی قابل شرب روستایی با استفاده از تحلیلهای زمین آمار و سامانه اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی: شهرستان اردبیل انجام داده است بیان می کند که TDS، مجموع کل مواد آلی و غیرآلی محلول در آب می باشد و همچنین یکی از مهمترین فاکتورها در استانداردسازی کیفیت مطلوب آب شرب محسوب میشود که زیاد یا کم بودن مقدار آن در آب اثراتی را در سلامتی بدن انسان به وجود می آورد^{۱۷}. در ادامه در مدل‌های پهنه‌بندی، کاربری اراضی یکی از فاکتورهای مهم به حساب می‌آید و در مطالعه حاضر نیز نقش کاربری‌های مختلف به لحاظ اقتصادی و تملک زمین برای تأسیسات و حوضچه‌های تغذیه مصنوعی می‌تواند حائز اهمیت باشد و نواحی مسکونی و شهری از نظر پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه مصنوعی نامطلوب‌ترین منطقه به

حساب می‌آیند ولی زمین‌های غیر کشاورزی و مراتع ضعیف همانند نواحی مرکزی دشت ارومیه مطلوب‌ترین مکان برای اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی از لحاظ کاربری اراضی محسوب می‌شوند. صادقی و همکاران در سال ۱۴۰۰ درمورد مکانیابی محلهای مناسب تغذیه مصنوعی آبخوان دشت شریف آباد قم با تأکید بر ویژگیهای هیدروژئومورفولوژیکی منطقه، مطالعه ایی انجام دادند. منطقه مورد مطالعه شامل زمینهای فاقد پوشش درشت دانه، خاک فاقد پوشش ریزدانه، زمین کشاورزی و مناطق شهری و روستایی میباشد. لذا مناطقی با پوشش گیاهی ضعیف و فاقد فعالیتهای انسانی و پوشش درشت دانه مناطقی مناسب جهت تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی میباشند^{۱۸}. علاوه بر آن برای تغذیه آب‌های زیرزمینی از منابع آب‌های سطحی به ویژه آب رودخانه‌ها و سیلاب‌های احتمالی استفاده می‌شود لذا انتقال این آب‌ها به محل مورد نظر مستلزم احداث کانال یا سایر ملزومات انتقال می‌باشد در نتیجه هر چقدر محل موردنظر (تأسیسات تغذیه مصنوعی) به رودخانه یا منابع تأمین آب سطحی نزدیک‌تر باشد از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه تر می‌باشد چون هزینه احداث ملزومات انتقال و همچنین تملک اراضی برای این ملزومات کاهش می‌یابد و نتایج مطالعه حاضر هم فاصله ۰ تا ۲۰۰ متری از رودخانه یا آبراهه را مطلوب‌ترین محل برای اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی را نشان داده است همچنین می توان بیان کرد که هرچقدر شیب کمتر باشد آب سطحی فرصت بیشتری برای نفوذ به زیر زمین دارد برای همین منظور شیب ۰ تا ۲ درصد بیشترین مطلوبیت را برای پهنه‌بندی مناطق مستعد برای تغذیه مصنوعی را دارد که نواحی مرکزی دشت ارومیه بیشترین امتیاز را دارا می باشد. در پهنه‌بندی مناطق مستعد برای تغذیه مصنوعی داشتن فاصله از مناطق مسکونی به ویژه روستاها که دارای سیستم دفع فاضلاب نیستند معقول به نظر می‌رسد چون سپتیک های جذبی سرویس های بهداشتی در روستاها می‌تواند آلودگی را به آب زیرزمینی منتقل کند و نتایج مطالعه نشان داد که داشتن فاصله بیشتر از ۸۰۰ متر از

نسبت به سایر مناطق مناسب‌تر باشد زیرا تخلیه آب زیرزمینی در این ناحیه بیشتر از سایر نواحی است. نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه و محل چاه‌های بهره‌برداری در (شکل ۱۰) نشان داده شده است. همچنین مطابق (شکل ۷) در نواحی شرقی به‌ویژه نواحی غربی منطقه مورد مطالعه که قابلیت تغذیه مصنوعی کمی بر آب آبخوان برآورد شده است تعداد چاه‌های بهره‌برداری به‌مراتب کمتر از نواحی مرکزی می باشد.

روستا مطلوب‌ترین مکان برای احداث تغذیه مصنوعی در نظر گرفته می شود.

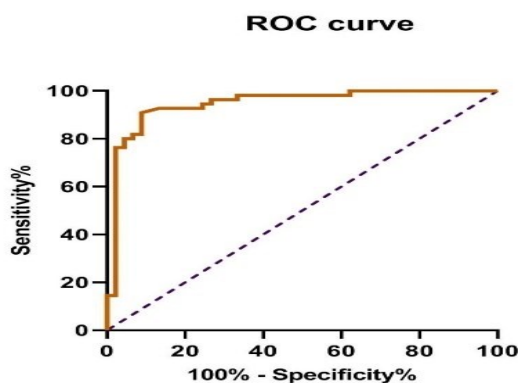
نتایج پهنه‌بندی انجام گرفته مطالعه حاضر نشان داد که در مرکز حوضه آبریز روضه‌چای وسعت ناحیه باقابلیت تغذیه مصنوعی بسیار زیاد حدود ۴۶ کیلومتر مربع بوده و وسعت ناحیه باقابلیت تغذیه مصنوعی زیاد حدود ۲۷/۴ کیلومتر مربع می باشد و با در نظر گرفتن تمرکز بالای چاه‌های بهره‌برداری در مرکز دشت به نظر می‌رسد تغذیه مصنوعی در این نواحی



شکل ۱۰ - نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه و محل چاه‌های بهره‌برداری

که داده‌ها عموماً در بالای خط نیمساز قرار گرفته‌اند و میزان نرخ مثبت صحیح بالا است. مقدار عددی ROC خروجی نرم‌افزار Tersset برابر ۰.۹۸ هست که با توجه به (جدول ۳) از نظر قدرت تشخیص آزمون، در رتبه‌ی عالی قرار گرفته است.^{۱۰}

در نهایت برای تعیین صحت نقشه‌های نهایی از منحنی ROC استفاده گردید نتیجه ROC با آستانه ۱۰۰ در نرم‌افزار Tersset برابر $ROC = 0.998$ می باشد. سطح زیر منحنی ROC (شکل ۱۱) که با اندازه عددی AUC مشخص می‌شود، عددی بین صفر تا یک را نشان می‌دهد. که این عدد هرچه قدر به یک نزدیک‌تر باشد، به این معنی است



شکل ۱۱ - منحنی ROC

جدول ۳ - مقادیر AUC

اندازه عددی AUC در منحنی راک	قدرت تشخیص تست
۱-۰/۹	عالی
۰/۹-۰/۸	خوب
۰/۸-۰/۷	نسبتاً خوب
۰/۷-۰/۶	ضعیف
۰/۶-۰/۵	بی فایده
<۰/۵	غیرقابل استناد

در مطالعه ایی مشابه مطالعه حاضر، که در دشت شهرکرد توسط مهدوی و همکاران در سال ۱۳۸۹ در استان چهارمحال و بختیاری برای مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی به روش منطق فازی صورت گرفته بود نتایج نشان می‌دهد که شیب، نفوذپذیری، ضخامت لایه آبرفتی و کیفیت آب‌های زیرزمینی به ترتیب اولویت بیشتری نسبت به سایر فاکتورها در انتخاب محل مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان دارند^{۱۹}. در مطالعه مشابه دیگر پوردشت بزرگ و همکاران اقدام به مطالعه مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی در شمال اندیمشک در سال ۱۳۹۰ نمودند آن‌ها در این تحقیق با تلفیق روش بولین و هم‌پوشانی وزنی، پارامترهای قابلیت انتقال و شیب را به‌عنوان مهم‌ترین پارامترها در نظر گرفتند و بر این اساس حوضه آبریز جارمه اندیمشک را به‌عنوان مستعدترین مکان برای اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی مشخص نمودند^{۲۰}. مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت خاصی برخوردار است. عوامل مختلف طبیعی و انسانی در چند دهه اخیر باعث ایجاد شرایط بحرانی و افت

سطح آب‌های زیرزمینی شده است. در چنین مناطقی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی از مهم‌ترین راهکارهای مدیریتی است. موفقیت طرح‌های تغذیه مصنوعی مستلزم شناسایی مکان مناسب برای احداث آن‌ها می‌باشد. استفاده از نظریه مجموعه فازی در مکان‌یابی پروژه‌ها، امکان استفاده از اطلاعات کیفی و غیرقطعی را به تصمیم‌گیر می‌دهد. بر این اساس در تحقیقات جدید مکان‌یابی پروژه‌ها به روش تصمیم‌گیری چندمعیاره با استفاده از منطق فازی موردتوجه قرار گرفته است. در مناطق خشک، تغذیه مصنوعی برای: (۱) تقویت تغذیه طبیعی ناشی از باران و رواناب، (۲) جلوگیری از کاهش سطح آب آبخوان، (۳) کنترل آلودگی ذخایر آب به‌وسیله پساب و (۴) جلوگیری از تداخل آب‌شور به آب شیرین در سواحل دریاها انجام می‌شود. موفقیت طرح‌های تغذیه مصنوعی مستلزم جمع‌آوری و تکمیل داده‌ها و اطلاعات بسیار زیادی است و نخستین پیش‌شرط برای احداث طرح تغذیه، شناسایی محل مناسب است.

نتیجه گیری

با توجه به اینکه در سال‌های اخیر حوضه آبخیز دریاچه ارومیه با تغییرات زیادی همانند وقوع خشکسالی، کاهش منابع آب سطحی، خشک شدن رودخانه‌های فصلی و در نتیجه خشک شدن سطح تالاب‌های حوضه و افت سطح آب زیرزمینی رو به رو بوده است، پژوهشگران صنعت آب بر آن شدند که محدودیت‌ها و روند تغییرات سطح سفره های آب زیرزمینی حوضه کوچکی از محدوده آبریز دریاچه ارومیه را بررسی نمایند و با توجه به روند موجود، تغییرات آن‌ها را در آینده با تأکید بر بررسی علل افت کمی و باهدف کنترل و سازمان‌دهی آن‌ها پیش‌بینی کنند. بنابراین در این مطالعه، به منظور شناسایی محل مناسب تغذیه مصنوعی حوضه آبریز رودخانه روضه‌چای، از نرم‌افزار GIS استفاده گردید. همچنین برای پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی در دشت ارومیه (حوضه آبریز روضه‌چای) به روش AHP از ۸ لایه با عناوین نفوذپذیری سطحی، ضخامت ناحیه غیراشباع، قابلیت انتقال آبخوان، کیفیت آب زیرزمینی، شیب، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه و فاصله تا روستا استفاده شده است. در نهایت خروجی وزن‌های نهایی به ترتیب به نفوذپذیری سطحی، ضخامت ناحیه غیراشباع، قابلیت انتقال آبخوان اختصاص داده شد. مطابق نتایج پهنه‌بندی نهایی مستعدترین نواحی به منظور تغذیه آب زیرزمینی نواحی مرکزی دشت می باشد، به نظر می‌رسد علت آن تأثیر ۳ عامل اولیه (نفوذپذیری سطحی، ضخامت ناحیه غیراشباع، قابلیت انتقال آبخوان) با وزن‌های بالا و شیب کم آن نواحی باشد، نواحی غربی و ورودی دشت نیز به علت قابلیت انتقال آبخوان خیلی کم و شیب زیاد و همچنین بالا بودن ضخامت ناحیه غیراشباع در پهنه‌بندی نهایی کم‌ترین استعداد را در اجرای پروژه های تغذیه مصنوعی نشان می‌دهند. در نهایت می توان بیان کرد که استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای طراحی ساختار، ارزیابی و اولویت‌بندی گزینه‌های تصمیم و به‌کارگیری GIS برای تجزیه و تحلیل حجم بالای داده‌های

جغرافیایی در کنار منطق فازی می تواند ما را در اجرای صحیح و دقیق مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی کمک کند.

سپاسگزاری

نویسنده از جناب آقای دکتر بهزاد حصاری و جناب آقای دکتر نورعلی حقدوست قهرمانلو به دلیل راهنمایی‌ها و حمایت‌های ارزشمندشان در انجام این پژوهش صمیمانه قدردانی می‌نماید.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تعارض منافی در این پژوهش وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش بدون دریافت هیچ‌گونه حمایت مالی از نهادهای دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی انجام شده است.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه نیاز به ملاحظات اخلاقی و دریافت کد طرح نداشته است.

مشارکت نویسندگان

- راهنمایی در طراحی مطالعه: بهزاد حصاری
- طراحی مطالعه: نورعلی حقدوست قهرمانلو
- اجرای مطالعه: مهدی حسن زاده
- تجزیه و تحلیل داده‌ها: مهدی حسن زاده
- تجزیه و تحلیل آماری: بهزاد حصاری
- تضمین کیفیت و صحت نتایج مطالعه: نورعلی حقدوست قهرمانلو
- مسئول اصلی تحقیق و نگارش مقاله: مهدی حسن زاده
- پاسخ به نظرات داوران: مهدی حسن زاده
- بررسی و اصلاح محتوا: بهزاد حصاری
- بازبینی مقاله: نورعلی حقدوست قهرمانلو

References

1. Bazrafshan J, Khalili A, Zad-Parsa S, et al. Documentary Study of the Situation of Agricultural Water Resources and Uses in Iran: Analysis of the Current Situation, Pathology and Solutions to the Challenges. *Strategic Research J Agric Sci Nat Resour* 2021;6(1): 35-50 [In Persian].
2. Shafa NS, Babazadeh H, Aghayari F, Saremi A. Optimal utilization of groundwater resources and artificial recharge system of Shahriar plain aquifer, Iran *Phys Chem Earth Parts A/B/C* 2023;129: 103358 [In Persian].
3. Rani M, Pande A, Kumar K, et al. Investigation of groundwater recharge prospect and hydrological response of groundwater augmentation measures in Upper Kosi watershed, Kumaun Himalaya, India. *J Groundw Sustain Dev*. 2022;16: 100720.
4. Karimi H EN, Rostami N, Azami A. The use of geographic information system in locating suitable places for flood spreading (case study of Mehran plain, Ilam province). *The first conference of new ideas and technologies in geographical sciences* 2016 [In Persian].
5. Azareh A. Evaluating Groundwater Resources Potential in Herat-Marvast Plain Using a Combined Method of Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Logic. *J Irrig Water Eng*. 2023;13(3): 234-50 [In Persian].
6. CHabok BM, Hassanzadeh NM, Ebrahimi KZ. Site Selection Of Flood Water Spreading Project Using Analytical Hierarchical Processing (AHP) Model (Case Study: Eshghabad Watershed-Tabas). 2011;4(13):31-38 [In Persian].
7. Saaty T. *The analytical Hierarchy process*. McGraww-Hill. Inc; 1980.
8. Pourrazavi Vali H. Application of geographic information system (GIS) in route design. 2016.
9. Jamour R, Eilbeigy M. Site Selection and Determination of the Most Suitable Artificial Recharge Method in the Minab Plain Based on AHP Method. *J Environ Water Eng*. 2019;5(2): 166-73 [In Persian].
10. Moghaddam S, Ahmadi H, Zeynalzadeh K, Hessari B. Potential location of renewable groundwater in Urmia Lake basin by AHP analysis and spatial fuzzy technique (case study: Urmia plain). *J Hydrogeol* 2020;5(2): 142-53 [In Persian].
11. Khodaiari M, Hessari B, Ahmadi H, Mohammadpour M. Evaluation of artificial recharge project efficiency for groundwater recovery with mathematical modeling (A case study on Firuraq of Khoys Plain in West Azerbaijan province). *Hydrogeology*. 2023;8(1): 170-86 [In Persian].
12. Saaty TL. Applications of analytical hierarchies. *Math Comput Simulate*. 1979;21(1): 1-20
13. Saaty TL. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J Math Psychol*. 1977;15(3): 234-81.
14. Qudsipour H. *AHP Hierarchical Analysis Process*. Amir Kabir University of Technology 2012. 200p [In Persian].
15. Duman T, Can T, Gokceoglu C, et al. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey. *Environ Geol*. 2006;51: 241-56
16. Nassimi A, Zare M. Site selection of basins for artificial recharge of groundwater in Boushkan Catchment based on analytical hierarchical process (AHP). *Water Soil Sci*. 2015;25(1): 125-41 [In Persian].
17. Imani B, Jafarzadeh J. Investigating the quality of potable groundwater in rural areas using geostatistical analysis in geographic information system - Case study: Ardabil City. *Geogr Data*. 2023;32(127) [In Persian].
18. Sadeghi A-R, Hosseini SM, Yamani M, Jafa-Beiglou M. Site-selection of groundwater artificial recharge in Sharif-Abad aquifer with emphasis on hydrogeomorphological characteristics. *Res Earth Sci*. 2022;13(1): 100-16 [In Persian].
19. Mahdavi A IM, Najafabadi Ram, Tabatabai S. Locating suitable areas for artificial feeding of underground aquifers by fuzzy logic method in Shahrekord plain watershed. *Water and soil science*. (Isfahan University of Technology) 2011;15(56): 63-78.
20. Nizam A MRS, Farideh A, Zainab Z. Site Selection Flood Spreading For Artificial Recharge In The North Of Andimeshk. *Quarterly Geogr J Territory*. 2012;8(32): 99-112 [In Persian].