Placement of nutrient wells for artificial nutrition and improvement of aquifer quality in Birjand plain using treated wastewater

Mojtaba Hassanpour
* Mojtaba Hassanpour, Ph.D. student of water resources, Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran. (Corresponding Author: Email: mbohlool69@yahoo.com)
Hossein Khozeymehnezhad
Hossein Khozeymehnezhad, Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

Received: 2018/08/06
Accepted: 2018/12/05
JREH-1808-1235(R1)

ABSTRACT

Background and Aim: More than 85 percent of urban sewage and a large proportion of industrial wastewater are water, so refined sewage can be used in any part of the activities that require water. The aim of this study was to provide a practical solution for quantitative and qualitative groundwater aquifer regeneration in areas where soil and groundwater conditions are suitable for artificial nutrition by introducing refined sewage to groundwater aquifers with a lower quality.

Materials and Methods: In this study, the chemical quality criteria for artificial feeding of aquifer including hydraulic conductivity, thickness unsaturated soil, topography and land use in geographic information systems were studied to determine the appropriate public areas for artificial feeding in land aquifer Birjand. Also, the criteria for increasing the improvement of chemical quality (quantitative and qualitative increase) were also weighed using the (Analytic Network Process) ANP method and Super Decisions software, so that the chemical quality of the aquifer was ranked as the first priority of the artificial nutrition.

Results: Based on the nutritional goal, 6.63 square kilometers of land were classified in very good and 50.66 square kilometers in good regional classifications. Based on the objective of improving the chemical quality , 1.13 square kilometers of lands were classified into a very good category and 55.61 square kilometers in good classification. For this purpose, the treated wastewater is injected into areas of an aquifer that has poor quality, to improve its quality.

Conclusion: In this research, using the location of susceptible artificial feeding areas, a solution was proposed that, while feeding areas of an aquifer that has poor quality, also increases its quality. This will make aquifer water suitable for agricultural use. This solution preserves higher quality resources for drinking and sanitary purposes.

Type of paper: Research paper
Keywords: Prioritization, Quality Improvement, Nutrition Wells, Criteria, ANP

▶ **Citation:** Hassanpour M, Khozeymehnezhad H. Placement of nutrient wells for artificial nutrition and improvement of aquifer quality in Birjand plain using wastewater treated wastewater. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Fall 2018;4 (3) : 215-226.

Archive of SID
www.SID.ir

مکان‌یابی چاه‌های تغذیه جهت تغذیه مصنوعی و بهبود کیفیت آبخوان دشت بیرجند با استفاده از پساب تصفیه شده فاضلاب

مجتبی حسن‌پور
* مجتبی حسن‌پور، دانشجوی دکترای منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. (نویسنده مسئول):
mbohlool69@yahoo.com

حسین خزیمه‌نژاد
حسین خزیمه‌نژاد، دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۴

چکیده

زمینه و هدف: بیش از ۸۵ درصد فاضلاب شهری و بخش اعظم فاضلاب‌های صنعتی را آب تشکیل داده، از این رو فاضلاب تصفیه‌شده می‌تواند در هر بخش از فعالیت‌ها که نیازمند آب باشد، به‌کار گرفته شود. مطالعه حاضر با هدف ارائه راهکار عملی جهت تجدید سفره‌های آب زیرزمینی از لحاظ کمی و کیفی در مناطقی که شرایط خاک و سفره‌های آب زیرزمینی برای تغذیه مصنوعی مناسب باشد، با وارد کردن فاضلاب تصفیه‌شده به سفره‌های آب زیرزمینی که کیفیت کمتری نسبت به پساب تصفیه شده دارند، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه به منظور تغذیه مصنوعی، معیارهای کیفیت شیمیایی، هدایت هیدرولیکی، ضخامت لایه غیراشباع خاک، توپوگرافی و کاربری اراضی در سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار گرفت و مناطق عمومی مستعد تغذیه مصنوعی با هدف تغذیه‌ای (افزایش کمی) در اراضی آبخوان دشت بیرجند مشخص گردید. همچنین معیارها با هدف افزایش بهبود کیفیت شیمیایی (افزایش کمی و کیفی) نیز با استفاده از روش ANP و نرم‌افزار Super Decisions وزن‌دهی گردید؛ به‌طوری‌که کیفیت شیمیایی موجود آبخوان در اولویت تغذیه مصنوعی قرار گرفت.

یافته‌ها: بر اساس هدف تغذیه‌ای، ۶/۶۳ km^2 از اراضی در دسته‌بندی خیلی خوب و ۵۰/۵۶ km^2 در دسته‌بندی خوب منطقه قرار گرفتند. همچنین بر اساس هدف بهبود کیفیت شیمیایی، ۱/۱۳ km^2 از اراضی در دسته‌بندی خیلی خوب و ۵۵/۶۱ km^2 در دسته‌بندی خوب قرار گرفتند. در این هدف، پساب تصفیه شده در مناطقی از آبخوان که کیفیت نامناسبی دارد، تزریق می‌شود تا سبب بهبود کیفیت آن گردد.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش با استفاده از مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی، راهکاری ارائه شد که ضمن تغذیه مناطقی از آبخوان که کیفیت نامناسبی دارد، کیفیت آن را نیز افزایش می‌دهد. این امر سبب می‌گردد آب آبخوان برای مصارف کشاورزی، مناسب و کارا گردد. این راهکار منابع با کیفیت بالاتر را برای مصارف شرب و بهداشتی حفظ نماید.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی
کلید واژه‌ها: اولویت‌بندی، بهبود کیفیت، چاه تغذیه، معیار، ANP

◀ **استناد:** حسن‌پور م، خزیمه‌نژاد ح. مکان‌یابی چاه‌های تغذیه جهت تغذیه مصنوعی و بهبود کیفیت آبخوان دشت بیرجند با استفاده از پساب تصفیه شده فاضلاب. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. پاییز ۱۳۹۷؛۴ (۳): ۲۱۵-۲۲۶.

Archive of SID
www.SID.ir

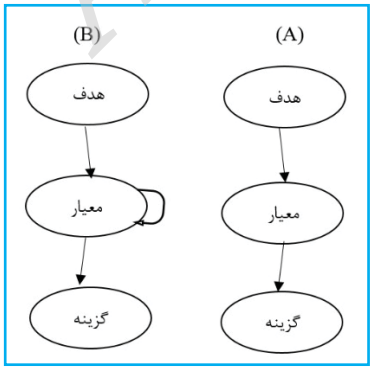
مقدمه

امروزه به سبب برداشت اضافی و نبود بهره‌برداری پایدار از منابع آبی، در ۳۱۷ دشت کشور سطح آب زیرزمینی افت پیدا کرده است و کشاورزی و توسعه اقتصادی پایدار را دچار چالش نموده است، لذا ذخیره‌سازی و حفظ منابع آب برای تداوم بهره‌برداری از این ذخایر در مواقع مصرف اجتناب‌ناپذیر است. در سال ۱۴۰۰ بیش از m^3 ۱۰ میلیارد آب در سال در بخش شرب شهری و روستایی و صنعت مصرف خواهد شد که این نشانگر رشد حدود ۲ برابری حجم پساب تولیدی شهرها و روستاهای کشور است (۱). یکی از راه‌های ذخیره‌سازی جریان، استفاده از مخازن زیرزمینی است که به‌واسطه دارا بودن ظرفیت ذخیره‌سازی بالا، کم بودن تبخیر و تلفات آب، عدم نیاز به زمین وسیع و سرمایه‌گذاری اندک نسبت به راه‌حل‌های دیگر دارای برتری است. آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع آب است و تغذیه مصنوعی آن، یکی از فنون مهم مدیریتی است (۲).

از اوایل قرن بیستم کاربرد فاضلاب به‌صورت برنامه‌ریزی شده در ایالات متحده آمریکا و در کالیفرنیا آغاز شد و اولین مقررات در زمینه استفاده فاضلاب در آبیاری در سال ۱۹۱۸ در این ایالت تدوین شد. در دهه ۱۹۲۰ بر اساس این ضوابط، پروژه‌هایی در کالیفرنیا و آریزونا برای آبیاری به اجرا درآمد. در دهه ۱۹۴۰ در مریلند پساب کلرزنی شده، در فرآوری فولاد مجدداً مورد مصرف قرار گرفت. در شروع سال ۱۹۶۲ اولین پروژه تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی با استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده شهری، در لوس‌آنجلس صورت گرفت. در آخرین ربع قرن بیستم، مزایای کاربرد پساب تصفیه‌شده به‌عنوان گزینه‌ای در توسعه منابع آب رسماً تأیید گردید و توسط تمام ایالات آمریکا و اتحادیه اروپا قانونی شد (۳).

با بررسی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در مناطق مختلف در چند دهه اخیر، مشخص گردید که غلظت عناصر شیمیایی آب زیرزمینی در سال‌های اخیر نسبت به دوره قبل افزایش یافته است و کیفیت آب زیرزمینی در جهت حرکت آب زیرزمینی نامطلوب‌تر می‌شود، بنابراین با حرکت به سمت نواحی خروجی آبخوان و با افزایش عمق سطح آب زیرزمینی، غلظت عناصر شیمیایی آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. با بررسی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در چاه‌های اطراف طرح‌های تغذیه مصنوعی واقع در منطقه، مشخص گردید که به‌طور کلی این طرح‌ها در بهبود کیفیت آب زیرزمینی مؤثر می‌باشند (۴).

بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری نمی‌توانند ساختار سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy process: AHP) داشته باشند، زیرا وابستگی‌های درونی و بیرونی بر روی خوشه‌ها و یا همان معیارها و گزینه‌ها تأثیر می‌گذارند. ANP یک چارچوب عمومی برای اخذ تصمیمات فراهم می‌آورد، بدون اینکه فرض غیرواقعی استقلال عناصر سطح بالاتر به عناصر سطح پایین‌تر و یا استقلال عناصر در یک سطح را در مسأله وارد نماید. در واقع ANP از یک شبکه به‌جای سلسله مراتب استفاده می‌نماید (۵). فرآیند ANP اولین بار توسط Saaty و Takizawa (۱۹۸۶) معرفی گردید و در سال ۱۹۹۶ آن را توسعه داد و یک کتاب با نام فرآیند شبکه تحلیلی منتشر نمود. در این روش به‌جای ساختار سلسله مراتبی، از ساختار شبکه‌ای برای بیان ارتباطات میان عناصر تصمیم استفاده شده است. در واقع ANP حالت عمومی AHP و شکل گسترده آن محسوب می‌شود که در آن موضوعات با وابستگی متقابل و بازخورد را می‌توان در نظر گرفت (۶). تفاوت ساختار AHP و ANP در شکل ۱ نشان داده شده است(۷).



شکل ۱. ساختار سلسله مراتبی (A) و تحلیل شبکه‌ای (B) (۸)

Archive of SID
www.SID.ir

به‌طور کلی اهداف تغذیه مصنوعی با فاضلاب تصفیه‌شده شامل: ایجاد یک مانع برای دخول آب شور به آبخوان‌های ساحلی، تأمین تصفیه بیشتر برای استفاده‌های ثانویه از فاضلاب تصفیه‌شده، بهبود کیفیت آبخوان، تقویت آبخوان‌های آب آشامیدنی و غیر آشامیدنی و ایجاد یک محل ذخیره فاضلاب تصفیه‌شده برای استفاده در کنترل و جلوگیری از نشست زمین می‌باشد (۹).

مطالعه Nuri و Sharifi (۲۰۱۰) که به بررسی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و کاربرد آن در مدیریت منابع آب پرداختند، نشان داد برنامه‌ریزی منابع آب با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، توجه بسیاری از تصمیم‌گیران را به خود جلب کرده و این روش‌ها، راه‌حلی مناسب برای تصمیم‌گیری پیچیده آب فراهم می‌کند (۱۰).

Ramezani Mehriyan و همکاران (۲۰۱۶) استفاده از منطق فازی در مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی آبخوان با تلفیق روش‌های FTOPSIS و AHP را مورد بررسی قرار دادند. موفقیت طرح‌های تغذیه مصنوعی مستلزم شناسایی مکان مناسب برای احداث طرح تغذیه است. 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 مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله با رویکردی نو مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی با استفاده از منطق فازی با ترکیب روش‌های FTOPSIS و AHP در محیط نرم‌افزار GIS انجام شد. روش FTOPSIS یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که با کاربرد منطق فازی در روش TOPSIS توسعه یافته است. با انتخاب دشت شمیل و آشکارا به عنوان مطالعه موردی روش پیشنهادی، معیارهای شیب، هدایت الکتریکی، خطر سیل‌خیزی، زمین‌شناسی، کاربری زمین و عمق آب‌های زیرزمینی برای انتخاب محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از منطق فازی نظر تصمیم‌گیر در قالب اعداد فازی مثلثی در وزن‌دهی به طبقات این معیارها اعمال شد. برای اعتباردهی به روش پیشنهادی، نتایج آن با نتایج به‌دست آمده از روش AHP مقایسه شد. نتایج نشان داد که استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای طراحی ساختار، ارزیابی و اولویت‌بندی گزینه‌های تصمیم و بکارگیری GIS برای تجزیه و تحلیل حجم بالای داده‌های جغرافیایی در کنار منطق فازی به منظور استفاده از واژه‌های زبانی در قضاوت کارشناسانه ابزار کارآمدی را برای مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی فراهم می‌کند (۱۱).

Taheri Dehkordi و همکاران (۲۰۱۰) در مقاله‌ای تحت عنوان بررسی اثرات ناشی از اجرای طرح تغذیه مصنوعی بر کمیت و کیفیت آبخوان (مطالعه موردی: سفیددشت شهرکرد) به این نتیجه رسیدند که پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی، کمیت آب زیرزمینی، افزایش تولید در بخش کشاورزی، فرونشست زمین، کاهش اثرات خشکسالی، کاهش اثرات سیل‌خیزی، کاهش اثرات سیل‌گیری، بهبود پوشش مرتعی و اشتغال‌زایی، به ترتیب بیش‌ترین تا کم‌ترین تأثیرپذیری را نسبت به طرح تغذیه مصنوعی از خود نشان می‌دهند (۱۲).

مطالعه حاضر با هدف ارائه راهکار عملی در مناطقی که شرایط خاک و سفره‌های آب زیرزمینی برای تغذیه مصنوعی مناسب دارند انجام شد تا با وارد کردن پساب تصفیه‌شده به سفره‌های آب زیرزمینی، بتوان این سفره‌ها را از لحاظ کمی و کیفی تجدید نمود.

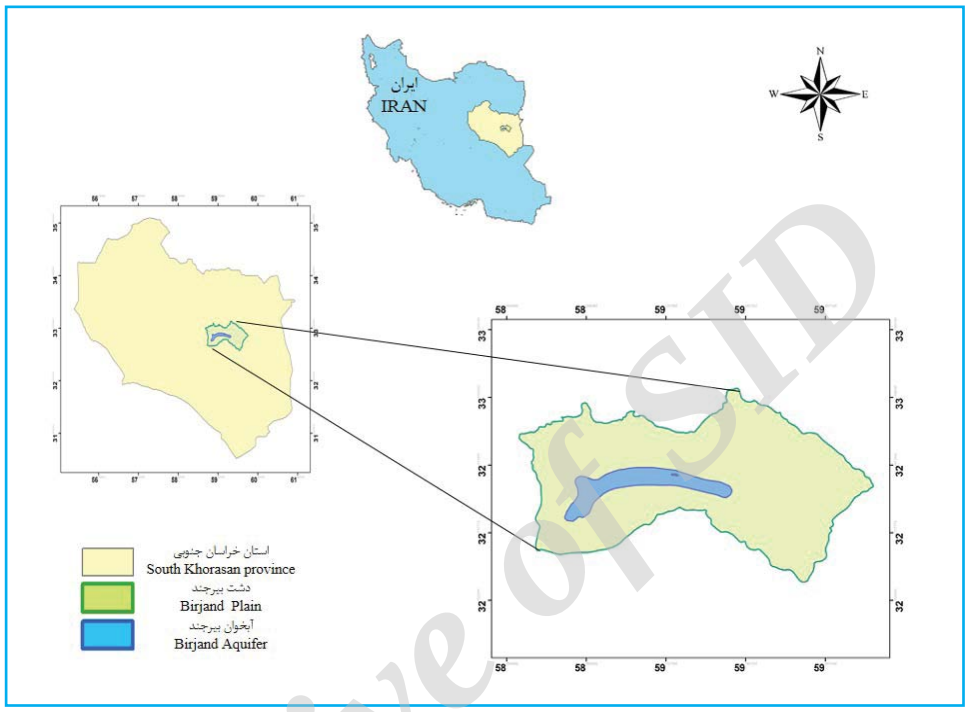
روش کار

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه دشت بیرجند است که در قسمت شمالی ارتفاعات باقران با مختصات تقریبی "۲۵ ′۳۴ °۳۲ تا "۱۵ ′۰۸ °۳۳عرض جغرافیایی و "۰۵ ′۴۱ °۵۸ تا "۳۰ ′۴۴ °۵۹ طول جغرافیایی قرار گرفته است. حوضه آبریز بیرجند دارای وسعت ۳۴۰۸ km² بوده که ۱۸۴۵ k دشت و بقیه

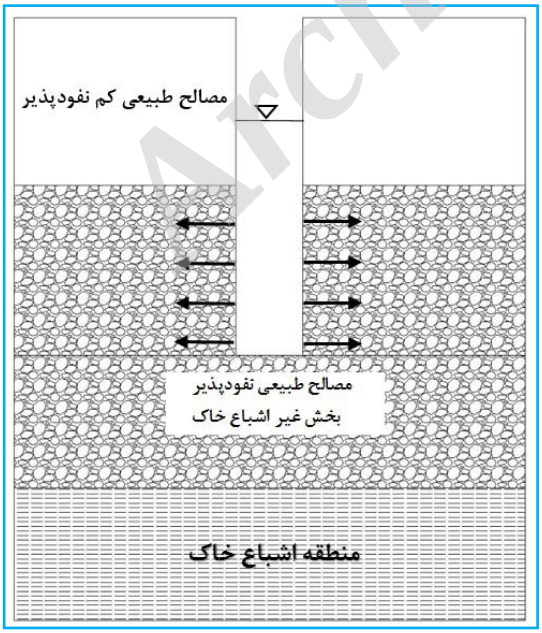
Archive of SID
www.SID.ir

را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. این دشت حالت کشیده داشته و تمامی پیرامون آن را ارتفاعات و بخش مرکزی را آبخوان آبرفتی تشکیل می‌دهد. از نظر توپوگرافی، حداکثر ارتفاع حوضه از سطح دریا ۲۷۸۷ m در ارتفاعات شمالی منطقه (کوه بند دره) و حداقل ارتفاع نیز ۱۱۸۰ m در خروجی دشت (منطقه فدشک) می‌باشد (شکل ۲) (۱۳).



شکل ۲. موقعیت مکانی آبخوان دشت بیرجند

چاه‌های تغذیه، مشابه با چاه‌های پمپاژ هستند. در این روش آب وارد چاه شده و با ایجاد مخروط تغذیه به اطراف آن نفوذ می‌کند (شکل ۳). باید توجه داشت که میزان تغذیه چاه برابر مقدار پمپاژ آن نیست، زیرا هدایت هیدرولیکی در هنگام تغذیه به دلیل مسدود شدن منافذ کمتر از هدایت هیدرولیکی در هنگام پمپاژ است. با توجه به اینکه پساب تصفیه شده مورد استفاده قرار می‌گیرد، کمتر با مشکل گرفتگی منافذ خاک روبه‌رو می‌شود. از طرفی می‌توان یک فیلتر شنی قابل تعویض در اطراف جدار چاه تغذیه ایجاد نمود تا مشکل مسدود شدن منافذ را کاهش دهد. همچنین با نصب یک شناور در چاه می‌توان جریان آب ورودی به چاه را کنترل نمود. منبع آب مورد استفاده جهت استفاده در این روش، تغذیه مصنوعی پساب فاضلاب‌های شهری است. تصفیه فاضلاب با روش برکه‌های تصفیه صورت گرفته است. از ویژگی‌های این منبع، دبی نسبتاً ثابت در طول سال و همچنین فاقد رسوب و مواد معلق است.



شکل ۳. تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با استفاده از چاه تغذیه

Archive of SID
www.SID.ir

روش کار در اولویت‌بندی کلی مکان مناسب تغذیه مصنوعی

در ابتدا با استفاده از منابع علمی و نظر متخصصان، معیارهای مؤثر در اولویت‌بندی مکان مناسب تغذیه مصنوعی تعیین شد. این معیارها شامل: ضریب هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره، ضریب انتقال، تخلیه آبخوان، ضخامت لایه غیر اشباع خاک، تراکم چاه‌ها در واحد سطح، افت آب زیرزمینی در طول دوره، فاصله از چاه‌های کشاورزی و شرب، فاصله از تأسیسات، کاربری اراضی، فاصله از تصفیه‌خانه فاضلاب، کیفیت آبخوان و توپوگرافی منطقه است. از طرفی برای مکان‌یابی محل‌های مناسب اجرای طرح، بایستی معیارها در چارچوب کارهای نرم‌افزاری، آزمایشگاهی و میدانی مورد بررسی قرار گیرد، لذا قبل از بررسی دقیق موارد فوق، ابتدا بایستی به یک برآورد کلی از شاخصه‌های اصلی آبخوان منطقه مورد نظر دست پیدا نمود. این مسأله باعث می‌شود بررسی معیارها به صورت علمی‌تر و با موفقیت بیشتر به نتیجه برسد، لذا در این پژوهش با استفاده از چند معیار مؤثر که با مشورت متخصصین امر صورت پذیرفت، مشخص گردید. این معیارها شامل: هدایت هیدرولیکی، ضخامت لایه غیراشباع خاک، کیفیت آب آبخوان، تخلیه در واحد سطح، کاربری اراضی و توپوگرافی است.

جهت مشخص نمودن وزن هر یک از معیارها، پرسشنامه‌ای تهیه و تنظیم گردید. در این پرسشنامه از متخصصین صاحب نظر خواسته شد با استفاده از جدول مقایسات زوجی ال ساعتی به مقایسه دوبه‌دویی معیارها اقدام نمایند. مقایسه دوبه‌دویی این معیارها توسط تعدادی از متخصصین مهندسی آب شامل اعضای هیئت علمی، دانشجویان دکترای رشته منابع آب و کارشناسان دستگاه‌های ذی‌ربط انجام پذیرفت. سپس از نتایج مقایسات که به صورت عددی انجام گرفت، میانگین هندسی گرفته شد. میانگین گرفته شده به عنوان امتیاز اصلی در ماتریس قرار گرفته و محاسبات شاخص‌ها بر اساس فرمول‌های آماری تعیین گردید. همچنین جهت تعیین صحت محاسبات، میزان نرخ ناسازگاری، مقدار شاخص ناسازگاری و شاخص تصادفی تعیین شد که این مقدار در محاسبات بایستی کمتر از ۰/۱ باشد.

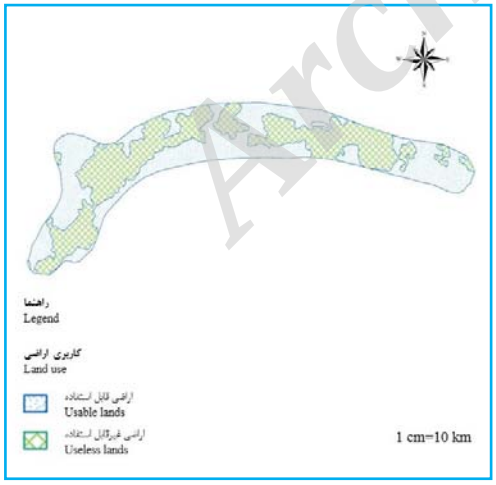
در ادامه معیارها با استفاده از روش ANP وابستگی‌های متقابل معیارها نیز صورت گرفت. برای این منظور با استفاده از نرم‌افزار Super Decisions با تحت کنترل قرار دادن یک معیار، سایر معیارها با یکدیگر به‌صورت دوبه‌دو مقایسه شد، لذا مقایسات دوبه‌دویی بین معیارها به تعداد معیارها مقایسه شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار مذکور، سوپرماتریس حدی که وزن نهایی هریک از معیارها در رویکرد تغذیه‌ای و بهبود کیفیت شیمیایی است، مشخص شد.

در نهایت هر یک از معیارها کلاس‌بندی شد و با استفاده از روش کریجینگ پهنه‌بندی گردید. در ادامه با استفاده از فن Weighted Overlay، لایه‌ها روی هم قرار گرفته و محدوده‌های مناسب جهت تغذیه مصنوعی در دو رویکرد تغذیه‌ای و بهبود کیفیت شیمیایی مشخص گردید.

یافته‌ها

کاربری اراضی

در این مطالعه، اراضی مستعد و قابل استفاده جهت اجرای طرح تغذیه مصنوعی انتخاب شد. در محدوده آبخوان دشت بیرجند مناطق شهری و روستایی، اراضی کشاورزی و باغی و تأسیسات به‌دلیل کاربری اراضی آن حذف گردید (شکل ۴).



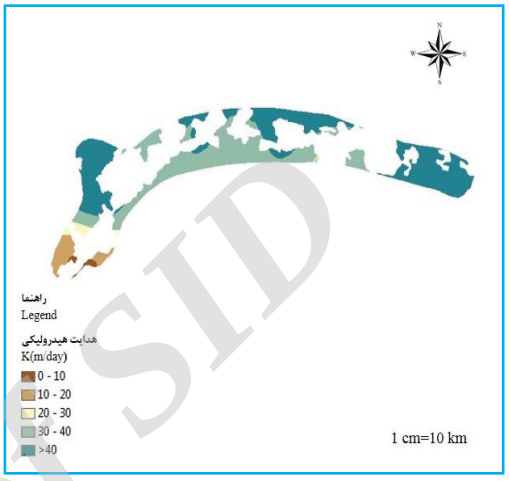
شکل ۴. کاربری اراضی آبخوان دشت بیرجند

هدایت هیدرولیکی

هدایت هیدرولیکی با نماد K، نوعی ویژگی در خاک، سنگ و

Archive of SID
www.SID.ir

گیاهان آوندی است که سهولت جریان آب را در فضاهای خالی و شکاف‌ها نشان می‌دهد. میزان آن به میزان نفوذپذیری ماده و درصد رطوبت آن بستگی دارد. هدایت هیدرولیکی، یکی از مؤثرترین شاخص‌های تغذیه مصنوعی محسوب می‌گردد (شکل ۵).



شکل ۵. هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت بیرجند

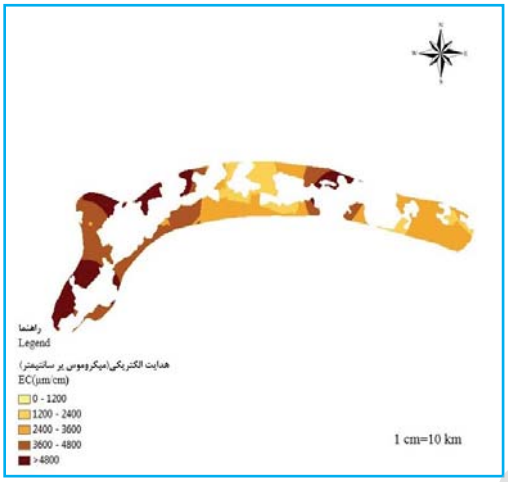
ضخامت لایه غیراشباع خاک

در بحث تغذیه مصنوعی، هرچه این ضخامت زیادتر باشد، ضمن بیشتر بودن حجم فضای بالای آبخوان جهت دریافت آب حاصل از تغذیه، جهت کنترل و به‌دام انداختن آلودگی نیز بسیار کاراتر است (شکل ۶).

شکل ۶. ضخامت لابه غیراشباع آبخوان دشت بیرجند

هدایت الکتریکی (کیفیت) آب آبخوان

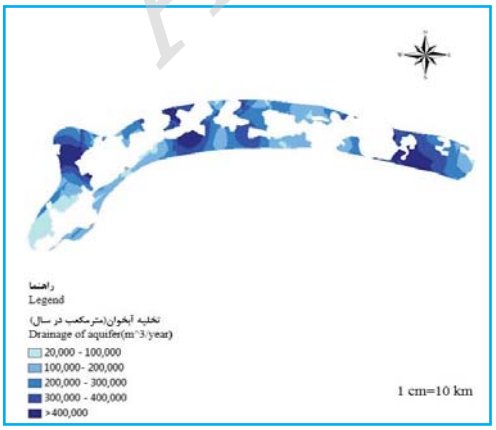
یکی از کارایی‌های تغذیه مصنوعی، بهبود کیفیت آب زیرزمینی است. از طرفی یکی از روش‌های مدیریتی جهت استفاده از آب‌های شور، تلفیق آب شور و شیرین می‌باشد؛ لذا با تزریق آب حاصل از پساب تصفیه شده به قسمتی از آبخوان که دارای کیفیت پایین‌تری است، ضمن تغذیه آبخوان می‌توان کیفیت را افزایش داده و در مصارف کشاورزی جهت دستیابی به عملکرد بهتر محصول استفاده نمود (شکل ۷).



شکل ۷. هدایت الکتریکی آبخوان دشت بیرجند

تخلیه در واحد سطح

عوامل مختلف طبیعی و انسانی در چند دهه اخیر باعث ایجاد شرایط بحرانی و افت سطح آب زیرزمینی در بیشتر مناطق کشور شده است. تخلیه زیاد در برخی از نقاط آبخوان ضمن کاهش سطح آب زیرزمینی، منجر به پیامدهایی مانند فرونشست زمین و از بین رفتن آبخوان می‌گردد (شکل ۸).

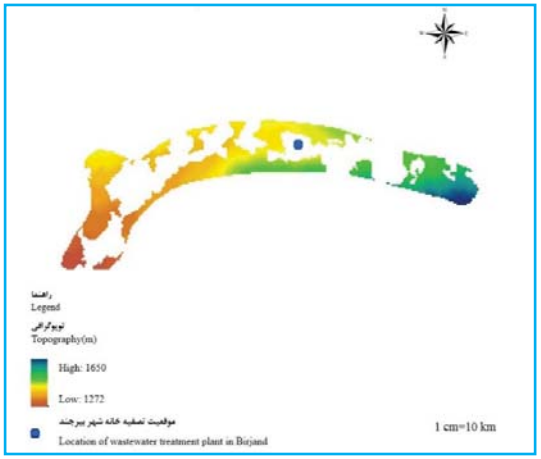


شکل ۸. تخلیه آبخوان دشت بیرجند

Archive of SID
www.SID.ir

توپوگرافی

هرگاه خواسته شود آب و یا دیگر سیالات از تراز ارتفاع منفی (در نقطه پست زمین) به نقطه بالاتری انتقال داده شود و یا اینکه آب را از یک محل به محل دیگر منتقل گردد، از خطوط انتقال آب استفاده می‌شود؛ بدین معنا که هرگاه محل ذخیره سیالات شامل آب و یا پساب نسبت به محل مصرف یا تصفیه آن در ارتفاع بالاتری قرار داشته باشد، با استفاده از نیروی ثقل آب جابه‌جا می‌شود و اگر در نقطه پایین‌تری قرار داشته باشد، بایستی به منظور جابجایی آب از شبکه انتقال تحت فشار یا یک خط انتقال استفاده نمود. بدین منظور در محل ذخیره آب در پایین دست، ایستگاه پمپاژ احداث می‌شود و به وسیله آن، هد یا فشار مورد نیاز خطوط انتقال تأمین می‌گردد. در برخی از موارد نیز اختلاف ارتفاع زیادی بین مبدأ و مقصد آب وجود ندارد، اما فاصله طولی زیادی وجود دارد که سبب افت فشار آب در طول مسیر می‌گردد و لذا در این موارد نیز خطوط انتقال کاربرد دارد. بدین منظور تهیه نقشه توپوگرافی ضروری به نظر می‌رسد که اگر نقاطی که مستعد تغذیه مصنوعی هستند در پایین دست تصفیه‌خانه موجود باشند، هزینه‌ها بسیار کاهش پیدا می‌کند (شکل ۹).



شکل ۹. توپوگرافی اراضی آبخوان دشت بیرجند

این وزن‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System: GIS) جهت روی هم انداختن لایه‌های GIS مورد استفاده قرار گرفت.

اولویت‌بندی شاخص‌های تغذیه مصنوعی با استفاده از تکنیک فرآیند شبکه تحلیلی ANP

لازم است در این مرحله با توجه به ساختار شبکه‌ای مدل، ساختار کلی سوپرماتریس یا همان سوپرماتریس اولیه تشکیل شود (جدول ۱).

جدول ۱. ساختار شبکه‌ای مدل

	معیار	هدف
هدف	۰	۰
معیار	W۲۲	W۲۱

مقایسه دودویی معیارهای اصلی ماتریس

مقایسه دودویی معیارهای اصلی بر اساس جدول مقیاس ۹ کمیتی انجام می‌شود. در این جدول چگونگی ارجحیت معیارها از لحاظ کمی مشخص شده است (۱۴). نتیجه مقایسه دودویی معیارهای اصلی و همچنین بردار ویژه آن یعنی وزن معیارها (W_{21}) در ادامه به صورت ماتریس آورده شده است (جدول ۲).

جدول ۲. ماتریس وزن معیارهای دیدگاه فنی (بر اساس فرآیند سلسله مراتبی)

W_{21}=	کیفیت شیمیایی	۰/۱۲
	هدایت هیدرولیکی	۰/۴۲
	ضخامت لایه غیر اشباع	۰/۱۹
	تخلیه در واحد سطح	۰/۲۷

مقایسه دودویی وابستگی درونی معیارهای اصلی ماتریس (W_{22})

برای درک وابستگی‌های متقابل بین معیارهای اصلی، مقایسه دودویی بین معیارهای اصلی برای به‌دست آوردن عناصر مربوط ماتریس (W_{22}) با استفاده از مقیاس ۹ کمیتی انجام می‌شود. برای نحوه محاسبه ضریب اهمیت هر یک از معیارهای اصلی، مقایسه دودویی معیارهای اصلی سه‌گانه با کنترل معیار اول یعنی طول انجام می‌گیرد، به همین ترتیب ۳ ماتریس دیگر تشکیل می‌شود.

Archive of SID
www.SID.ir

پس از تشکیل ماتریس‌ها، مقادیر آنها در سوپر ماتریس (W_{22}) قرار داده می‌شوند. با تلفیق ماتریس (W_{21}) و ماتریس (W_{22})، سوپرماتریس ناموزون به‌دست می‌آید.

محاسبه سوپرماتریس موزون

حال برای به‌دست آوردن سوپرماتریس موزون، هر یک از عناصر خوشه‌های ستونی سوپرماتریس موزون در بردار اهمیت نسبی آن خوشه (از ماتریس خوشه‌ای) باید ضرب شود.

محاسبه سوپرماتریس حد

برای این کار سوپرماتریس موزون به توان K که یک عدد اختیاری بزرگ است، رسانده می‌شود تا اینکه همه عناصر سوپرماتریس با هم برابر شوند، این کار با تکرار انجام می‌شود. در چنین حالتی ماتریس حد به‌دست می‌آید (جدول ۳).

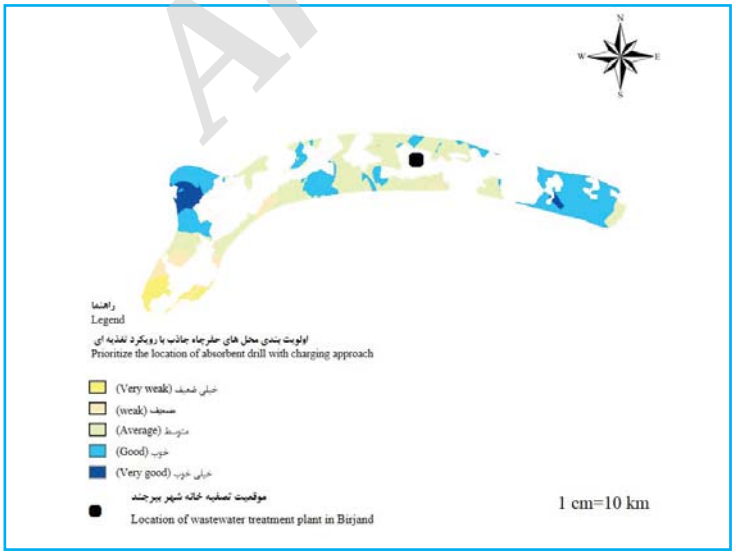
جدول ۳. سوپرماتریس حدی با رویکرد تغذیه‌ای

سوپرماتریس حد		هدف	معیارها			
		وزن	کیفیت شیمیایی	هدایت هیدرولیکی	ضخامت لایه غیر اشباع	تخلیه در واحد سطح
هدف	وزن	۰	۰	۰	۰	۰
معیارها	کیفیت شیمیایی	۰/۱۲۶	۰/۱۲۶	۰/۱۲۶	۰/۱۲۶	۰/۱۲۶
	هدایت هیدرولیکی	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷
	ضخامت لایه غیر اشباع	۰/۲۰۷	۰/۲۰۷	۰/۲۰۷	۰/۲۰۷	۰/۲۰۷
	تخلیه در واحد سطح	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶

بحث

تعیین عرصه مناسب جهت تغذیه مصنوعی با استفاده از GIS با رویکرد تغذیه آبخوان

با استفاده از وزن‌های به‌دست آمده برای شاخص‌های مورد استفاده شامل کیفیت شیمیایی، هدایت هیدرولیکی، ضخامت لایه غیراشباع خاک و تخلیه آبخوان در واحد سطح و همچنین استفاده از تکنیک روی هم انداختن لایه‌ها بر اساس وزن (Weighted Overlay) در سیستم اطلاعات جغرافیایی مناطق مختلف آبخوان به جهت تعیین عرصه‌های مستعد، تغذیه مصنوعی در ۵ گروه خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و خیلی خوب پهنه‌بندی گردید. بر اساس نتایج به‌دست آمده ۶/۶۳ km^2 از اراضی در دسته‌بندی خیلی خوب و حدود ۵۰/۵۶ km^2 در دسته‌بندی خوب منطقه تعیین گردید (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. اولویت‌بندی محل‌های حفرچاه جاذب با رویکرد تغذیه‌ای

Archive of SID
www.SID.ir

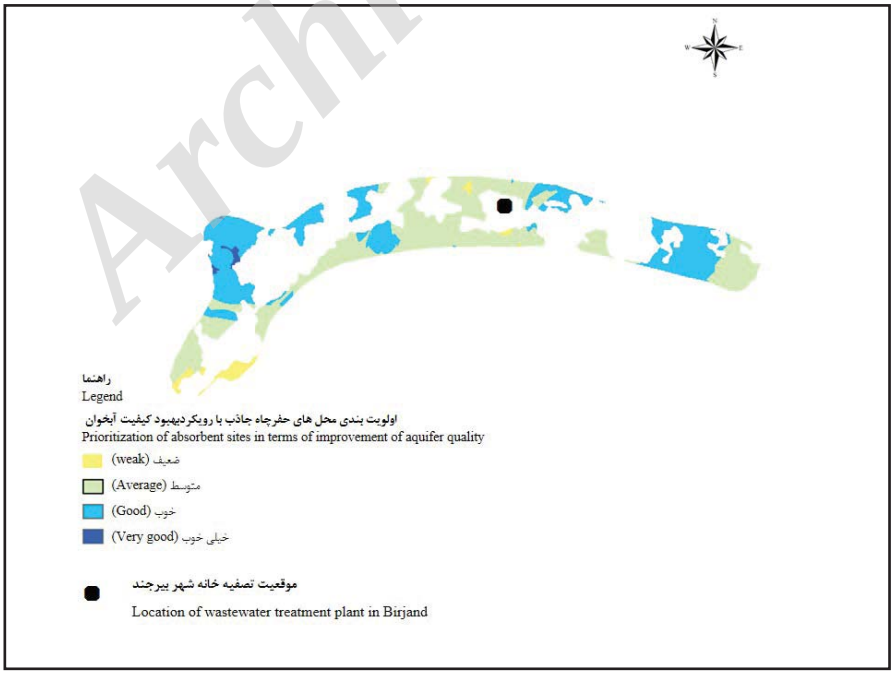
تعیین عرصه مناسب جهت تغذیه مصنوعی با استفاده از GIS با رویکرد بهبود کیفیت آبخوان

در این رویکرد تغذیه مصنوعی در مکان‌های آبخوان که کیفیت شیمیایی آب نامناسبی داشته باشد، صورت می‌پذیرد تا منتهی به رسیدن به کیفیت بهتر شود. در این رویکرد که فرآیندی همانند فرآیند رویکرد تغذیه‌ای دارد، معیار کیفیت شیمیایی از وزن بیشتری برخوردار است تا حساسیت بیشتری را نسبت به تغییرات کیفیت شیمیایی اعمال نماید. وزن معیارها جهت استفاده از این رویکرد تغییر نموده و سوپرماتریس حدی آن در زیر آمده است.

جدول ۴. سوپرماتریس حدی با رویکرد بهبود کیفیت شیمیایی

سوپرماتریس حد		هدف	معیارها			
		وزن	کیفیت شیمیایی	هدایت هیدرولیکی	ضخامت لایه غیر اشباع	تخلیه در واحد سطح
هدف	وزن	۰	۰	۰	۰	۰
معیارها	کیفیت شیمیایی	۰/۳۸۰	۰/۳۸۰	۰/۳۸۰	۰/۳۸۰	۰/۳۸۰
	هدایت هیدرولیکی	۰/۳۲۰	۰/۳۲۰	۰/۳۲۰	۰/۳۲۰	۰/۳۲۰
	ضخامت لایه غیر اشباع	۰/۱۸۰	۰/۱۸۰	۰/۱۸۰	۰/۱۸۰	۰/۱۸۰
	تخلیه در واحد سطح	۰/۱۲۰	۰/۱۲۰	۰/۱۲۰	۰/۱۲۰	۰/۱۲۰

با استفاده از وزن‌های فوق، پهنه‌بندی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی با رویکرد بهبود کیفیت شیمیایی آبخوان به شکل زیر مشخص گردید (شکل ۱۱). در رویکرد بهبود کیفیت شیمیایی، ۱/۱۳ km^2 در دسته خیلی‌خوب و ۵۵/۶۱ km^2 در دسته‌بندی خوب قرار گرفت. در این رویکرد پساب تصفیه شده که از کیفیت بهتری برخوردار است در مناطقی که کیفیت نامناسب‌تری داشته، تزریق شده و باعث بهبود کیفیت آن می‌گردد.



شکل ۱۱. اولویت‌بندی محل‌های حفرچاه جاذب با رویکرد بهبود کیفیت آبخوان

Archive of SID
www.SID.ir

نتایج این تحقیق با نتایج مطالعه Moradi و همکاران (۲۰۱۷)، Rafiei و همکاران (۲۰۱۲) و Salamian و همکاران (۲۰۰۹) از نظر برخی جنبه‌ها به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت (۱۷-۱۵).

Moradi و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند آب‌های زیرزمینی می‌توانند با مکانیسم‌های خاص طبیعی (عبور پساب از ناحیه اشباع و غیراشباع) فاضلاب احیاء شده و دیگر اشکال، آب‌های سطحی را درون خود جای داده و در حین ذخیره‌سازی، موجبات تصفیه آن را نیز فراهم آورد (۱۵). Rafiei و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی تحت عنوان لزوم تصفیه پساب‌ها جهت استفاده در تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی، معیارهایی همچون کیفیت شیمیایی و ضخامت لایه غیراشباع به ترتیب با وزن‌های ۰/۱۳ و ۰/۱۹ با تحقیق حاضر هماهنگی داشت (۱۶). Salamian و همکاران (۲۰۰۹) ابراز داشتند از کاربردهای تغذیه مصنوعی با استفاده از پساب تصفیه‌شده علاوه بر تغذیه آبخوان و بازیافت آب، می‌توان به‌عنوان محدود کننده پیشروی آب شور به آب‌های زیرزمینی در خشکی‌ها نام برد که خود باعث حفظ منابع آب با کیفیت شیمیایی مناسب است (۱۷).

این پژوهش با استفاده از آب تصفیه‌شده حاصل از فاضلاب، راهکار عملی و بهینه را جهت تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی در مناطق کویری ارائه داده است که می‌تواند منابع آب با کیفیت را جهت آب شرب اطمینان‌سازی نمود.

از مزایای دیگر این طرح می‌توان به مواردی مانند کم نمودن تلفات ناشی از تبخیر تا میزان تقریباً صفر، منبع آب تغذیه پایدار، اجرای طرح در مقیاس کوچک و بزرگ به طوری که در زمین‌هایی با ارزش بالا نیز قابل اجراست و هزینه نسبتاً کم اجرا اشاره نمود.

نتیجه‌گیری

با توجه به کاهش چشمگیر سطح سفره‌های آب زیرزمینی و بحران پیشروی آب، در مناطقی که شرایط خاک و سفره‌های آب زیرزمینی برای تغذیه مصنوعی مناسب باشد، با وارد کردن فاضلاب تصفیه شده به سفره‌های آب زیرزمینی می‌توان این سفره‌ها را تجدید نمود. با اولویت‌بندی معیارهای طرح تغذیه مصنوعی می‌توان مناسب‌ترین مکان را برای این امر انتخاب نمود. در رویکرد بهبود کیفیت آبخوان، پساب تصفیه شده که از کیفیت بهتری برخوردار است، در مناطقی که کیفیت نامناسب‌تری داشته، تزریق شده و باعث بهبود کیفیت آن گردد. این عمل سبب می‌شود که در مناطقی از آبخوان که کیفیت نامناسب داشته، کیفیت آن بهبود یافته و برای مصارف کشاورزی مناسب و کارا شده و جایگزین مناسبی برای منابع آب با کیفیت باشد. این امر سبب می‌گردد تا منابع با کیفیت بالاتر از قبیل قنات، چشمه، چاه و ... برای مصارف شرب و بهداشتی حفظ شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از تمامی اساتید و دوستانی که ما را در نگارش این پژوهش یاری نمودند، تشکر می‌نماییم.

References:

1. Jahani A.Gh. Water Management Challenges in Future Seals, Water and Development Quarterly, Sixth Year, No. II & III 1998; p. 5-19. (Persian)
2. Yousefirad M, Safaee R and Bakhshaee M. Calculate the Volume of Alluvial Aquifers (Groundwater Aquifers) using GIS (Case Study of Komijan Plain of Arak), Proceeding Geomatic Conference 2008; 11pp. (Persian)
3. Tchobanoglous L, Burton F. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. McGraw-Hill2004; Inc.
4. Nekooei M, Eslamian S, AbediKoohpaei J. Modeling of Natural and Artificial Nutrition in Shahreza Plain and Effect of Artificial Nutrition on Groundwater Quality (Masters Thesis).Iran. Government - Ministry of Science, Research, Technology - Isfahan University of Technology - Faculty of Agriculture and Natural Resources. 2012. (Persian)
5. Saaty T. L. Fundamentals of the Analytic Network Process, ISAHP Japan 1990; pp. 12–14.
6. Zebardast A. Application of Network Analysis Process (ANP) in Urban and Regional Planning. 2011; Volume 2, Issue 41, 90-79. (Persian)
7. Saaty T.L, Takizawa M. Dependence and independence: From linear hierarchies to nonlinear networks. European Journal of Operational Research 1986; No 26, 229–237.
8. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process, RWS Publications, Pittsburg 1990; pp. 184–192.

Archive of SID
www.SID.ir

9. Cook J. Asano and Nellor M.H. Groundwater recharge with reclaimed water in California. Water Environ. Technol 1990; P. 9-42

10. Nuri, M., Sharifi, M. Investigates the methods of multicriteria decision making and its application in water resource management. The 5th National Water Engineering Congress. 2010.
11. Ramezani Mehriyan, M., Malek-Ahmadi, B., Rafiee, J. Application of fuzzy logic in location of artificial aquifer feeding places by combining FTOPSIS and AHP methods. Environmental Journal, Thirty-eighth Year. 2016. No. 3, pp. 108-99.
12. Taheri Dehkordi R, Ekhtesasi M, Malekinejad H and Tabatabaei H. Investigating the Effects of Artificial Nutrition Implementation on Aquifer Quality and Quality (Case Study: Sevdasht Shahrekord), [Master Thesis]. Government - Ministry of Science, Research, Technology - Yazd University - Faculty of Agriculture and Natural Resources. 2010. (Persian).
13. Compatible, B. Akbarpour, A. Pourzabilandi, M. Parametric Uncertainty Analysis of the Modflove Model by J (Case Study: Birjand Plain) Water and Soil Conservation Research Journal, Vol.2, No.6, 2015.(Persian)
14. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process, with Luis G. Vargas, 2001.
15. Moradi F, Zarei H and Akhundali A. The need for wastewater treatment for use in groundwater artificial nutrition, 4th International Conference on Environmental Planning and Management, Tehran, Faculty of Environment, University of Tehran 2017.(Persian)
16. Rafiei Y, Malek Mohammadi B and Ramezani Mehrian M. Using Fuzzy Logic in Locating Artificial Nutrition of the Aquifer by Combining AHP and FTOPSIS, Methods Journal of Environmental Studies, Thirty-eighth Years, No 3, Autumn 2012, pp. 99-108.(Persian)
17. Salamian S, Ghasemizadeh R and Tarkesh Esfahani S. Implementation of Sustainable Management with Artificial Nutrition of Refined Wastewater at Salvation Center, Third National Conference on Water and Wastewater with Utilization Approach, Tehran, Water and Wastewater Industry University, Water and Wastewater Company Country 2009 .(Persian)

Archive of SID

www.SID.ir