تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال چهاردهم، شماره ۵، زمستان ۱۳۹۷
Volume 14, No. 5, Winter 2019 (IR-WRR)
۲۱۹-۲۳۶

مدل‌سازی فرآیند مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی جهت پخش سیلاب، مبتنی بر تکنیک GIS و روش AHP (مطالعه موردی: آبخوان دشت خوی)

مهدی شفیعی[۱] و مهدی قنبرزاده لک[۲*]

چکیده

در تحقیق حاضر با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدلی جامع به‌منظور مکان‌یابی مناطق مستعد اجرای تغذیه مصنوعی آبخوان زیرزمینی به روش پخش سیلاب، تهیه شده است. بدین منظور دشت خوی که در سالیان اخیر با افزایش بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی، بیلان آبی منفی داشته است، به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب گردید. ۱۶ معیار شیب، کاربری اراضی، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، جاده، آبراهه، چاه، چشمه و قنات، میزان بارش، دما، تبخیر و تعرق، هدایت الکتریکی، گرادیان هیدرولیکی، ضخامت بخش غیراشباع آبرفت، قابلیت انتقال آبخوان و نفوذپذیری سطحی خاک در قالب چهار خوشه فیزیکی، اقلیمی، هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی دسته‌بندی شدند. پس از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی و تعیین وزن هر کدام از طریق نظرسنجی از کارشناسان، تلفیق لایه‌ها به روش مجموع وزنی (Weighted Sum) در محیط ArcGIS، انجام شد. با حذف مناطق دارای محدودیت، پهنه مورد مطالعه در پنج کلاس طبقه‌بندی شد و تعداد شش سناریو در مناطق بسیار مناسب، پیشنهاد گردید. اولویت‌بندی سناریوها با اجرای مدل پیشنهادی منجر به معرفی سناریوی سوم به‌عنوان برترین گزینه شد. نتایج حاکی از آن است که در پهنه‌های غیروسیع، به‌دلیل تشابه بالای خصوصیات اقلیمی و هیدرولوژیکی سایت‌های منتخب، تصمیم نهایی تأثیر اندکی از این شاخص‌ها خواهد پذیرفت.

کلمات کلیدی: پخش سیلاب، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، دشت خوی، مکان‌یابی، GIS.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۰/۱۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۵/۵

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، مهندسی و مدیریت منابع آب، گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران.
۲- استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

Modeling of Site Selection Process for Artificial Groundwater Recharge (Through Flood Spreading) based on GIS Technique and AHP Method (Case Study: Khoy Plain Aquifer)

*M. Shafiei [1] and M. Ghanbarzadeh Lak [2]**

Abstract

A comprehensive model based on AHP and GIS is developed to locate areas susceptible to artificial groundwater recharge through flood spreading. Khoy plain which faced an increased exploitation from the groundwater in recent years is selected as the case study. Sixteen criteria considered which included slope, land-use, geomorphology, geology, distance from fault zones, roads, waterways, wells, springs and aqueducts, rate of rainfall, temperature, evapotranspiration, electrical conductivity of available groundwater and the hydraulic gradient, thickness of non-saturated alluvial section, ability of aquifer transfer, and surface permeability of soil. Above-mentioned attributes were classified into four groups, i.e. physical, climatic, hydrological and hydro-geological clusters. Gathered data were prepared in GIS environment, and based on pair wise comparisons, the preference of each cluster and its sub-criteria was determined. By combination of the layers using Weighted Sum method in ArcGIS, unacceptable zones were ignored and the remaining zones were classified into five categories. Finally six scenarios were proposed in very suitable zones. The proposed scenarios were then prioritized based on developed model and the 3rd scenario was selected. Results indicated that in non-wide areas the final decision will have a small effect on these indicators due to the similarity of the climatic and hydrological characteristics of selected sites.

Keywords: Flood Spreading, Analytical Hierarchy Process (AHP), Khoy Plain, Site Selection, GIS.

Received: January 7, 2018
Accepted: July 27, 2018

1- M.Sc. Graduate in Civil Engineering-Engineering and Water Resources Management, Department of Civil Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran. Email: m.ghanbarzadehlak@urmia.ac.ir
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

منابع آب زیرزمینی در مناطق وسیعی از کشورمان تنها منبع آب مورد استفاده بوده و این مسأله همواره به‌عنوان یک مشکل عمده در توسعه کشور، به‌دلیل محدود بودن این منابع، به‌شمار رفته است. براساس پیش‌بینی‌های انجام شده، در سال ۲۰۲۵ ایران در گروه کشورهایی قرار خواهد گرفت که با کمبود آب مواجه هستند (Zarghaami, 2005). آب‌های زیرزمینی یکی از با ارزش‌ترین منابع آب در کره زمین به‌شمار می‌روند و در مناطقی مانند کشور ایران به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آب مورد نیاز بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت از اهمیت بالایی برخوردارند (Bayat Varkeshi et al., 2018). نیاز فزاینده به منابع آب در سالیان اخیر، موجب بهره‌برداری بی‌رویه و متعاقب آن برهم خوردن تعادل طبیعی منابع آب زیرزمینی شده است (Shahidasht and Abasnejad, 2011)، به‌طوری‌که بیلان آب در آبخوان‌های بسیاری از مناطق کشور منفی است (Safai, 2007). به‌عنوان نمونه، بهره‌برداری غیر اصولی از منابع آب زیرزمینی دشت خوی-فیرورق طی ۱۲ سال گذشته، منجر به افت بیش از ۴ متری سطح آب (با متوسط حدود ۴۰ سانتی‌متر در سال) شده (Moradi et al., 2017؛ Haji Hosseinlou, 2018) و مشکلات بسیاری در زمینه فرونشست زمین را بوجود آورده است. مطالعات اخیر روی منابع آب ایران نشان می‌دهد از ۴۳۰ ملیارد مترمکعب کل بارندگی سالانه کشور، حدود ۲۰ درصد آن به‌صورت سیلاب‌های ناگهانی با ورود به سواحل و دریاها از دسترس خارج می‌شود (Foltz, 2002). مشکلات ناشی از بروز خشک‌سالی‌ها از یک‌سو و سیلاب‌های مخرب از سوی دیگر، لزوم مدیریت صحیح منابع آب خصوصاً بهره‌گیری از سیلاب‌ها را ضروری می‌سازد. در این رابطه، جمع‌آوری آب‌های سطحی، تغذیه آب‌های زیرزمینی و تنظیم بهره‌برداری صحیح از آب، مهم‌ترین راه‌کارهای مدیریت منابع آب به‌شمار می‌روند (Ghahari and Pakparvar, 2007). از آن‌جا که ساختن مخازن سطحی به‌دلیل نیاز به سرمایه‌گذاری بالا ممکن است در بعضی مناطق به‌صرفه نباشد، بهره‌گیری از روش‌های تغذیه مصنوعی راه‌حلی منطقی جهت جبران قسمتی از کمبود آب در بعضی نواحی به‌شمار می‌رود (Morovati et al., 2009).

از دیدگاه عمومی، تغذیه مصنوعی فعالیتی است بر مبنای وارد کردن آب به داخل یک سازند نفوذپذیر با هدف تغذیه سفره آب زیرزمینی، به‌گونه‌ای که استفاده مجدد از آن با رژیم و کیفیتی متفاوت، به‌وسیله ایجاد تأسیسات اضافی یا اعمال تغییراتی در شرایط طبیعی منطقه قابل حصول باشد (Ministry of Water Resources, 2007; Entezari and Gholami, 2014; Moslemi et al., 2015; Maleki Gezelbar et al., 2015; Khodayari et al., 2017).

امروزه روش‌های متعددی به‌منظور تغذیه آب‌های زیرزمینی توسعه یافته است که از جمله این روش‌ها می‌توان به تغذیه مستقیم سطحی و زیرسطحی، تغذیه غیرمستقیم و روش‌های ترکیبی اشاره نمود (Ministry of Water Resources, 2007). تغذیه مستقیم سطحی یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های تغذیه مصنوعی است و روش پخش سیلاب نیز یکی از ساده‌ترین و کم‌هزینه‌ترین متدهای اجرای این روش می‌باشد. استفاده بجا و بهنگام از سیلاب‌ها و آب مازاد رودخانه‌ها با به‌کارگیری روش پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی، علاوه بر آبدار کردن آبخوان‌ها، کاهش زیان‌های سیل و حفاظت از خاک را نیز به دنبال خواهد داشت (Kowsar, 1995). مهم‌ترین مزیت روش پخش سیلاب، هزینه نسبتاً پایین احداث و نگه‌داری واحدهای آن خصوصاً در مناطق مجاور رودخانه‌ها، کانال‌ها و پهنه‌های دارای شیب کم و ملایم، همچنین نقاطی با ضخامت بخش غیراشباع کافی برای فضای ذخیره‌سازی، می‌باشد. هدف این روش پخش آب بر روی یک منطقه نسبتاً بزرگ به‌صورت یک لایه نازک است که به‌طور آهسته حرکت می‌کند بدون آن‌که باعث فرسایش، بهم‌خوردگی و پخش ذرات خاک شود (Ministry of Water Resources, 2007). به‌طور استاندارد، اجزای یک سیستم پخش سیلاب شامل کانال اصلی و دهانه آبگیر، نهر آبرسان، نهر آبرسان گسترشی، نهرهای گسترشی پخش سیلاب، دروازه‌ها و نهر تخلیه آب مازاد می‌باشد (Vahabi, 2003).

مکان‌یابی از مهم‌ترین مسائل در تغذیه مصنوعی به‌حساب می‌آید و نخستین پیش‌شرط برای احداث طرح تغذیه، شناسایی محل مناسب است (Samadi, 2016). تعیین مکان‌های مناسب با استفاده از روش‌های سنتی دشوار بوده و باعث بروز مسائل و مشکلات پیچیده‌ای در این زمینه می‌شود. یکی از بهترین سیستم‌هایی که دسترسی به اطلاعات زیاد، منابع چندگانه اطلاعاتی، تجزیه و تحلیل، تلفیق و بررسی داده‌های گوناگون را آسان‌تر و سریع‌تر می‌نماید، سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS است (Nakhaei et al., 2014). در کنار آن و به‌منظور تلفیق وزن‌دار لایه‌های اطلاعاتی، یکی از روش‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره (MADM)، یعنی روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مطرح است.

دشت خوی (واقع در شمال استان آذربایجان‌غربی) از جمله مناطق مهم کشاورزی استان آذربایجان‌غربی محسوب شده و منابع آب سطحی آن عمدتاً شامل دو رودخانه قطور و الند می‌باشد. این رودخانه‌ها در طی مسیر خود به سمت رود ارس، ضمن تأمین آب موردنیاز بخش کشاورزی، در محدوده روستای بیلوار به یکدیگر متصل می‌شوند. سطح

آب زیرزمینی دشت خوی، در سالیان اخیر به‌دلیل برداشت بی‌رویه از این آبخوان (از ۳۵۰ تا ۵۰۰ میلیون مترمکعب در سال (Khodayari et al., 2017))، با افت شدیدی مواجه شده و جزو دشت‌های ممنوعه کشور محسوب گردیده است (Ghordooyi Milan and Karami, 2013a,b؛ Khodayari et al., 2017). بر این اساس و با توجه به هدف اصلی تحقیق حاضر که تعیین مکان مناسب به‌کارگیری روش پخش سیلاب (آبخوان داری) جهت تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد، می‌توان در راستای احیاء منابع طبیعی و پیشگیری از خسارت‌های احتمالی سیلاب، به‌عنوان مطالعه موردی، در محدوده دشت خوی چندین سناریوهای عملی معرفی نمود و به اولویت‌بندی آنها پرداخت. در واقع خروجی اصلی تحقیق حاضر تهیه مدلی تصمیم‌ساز به‌منظور تسهیل فرآیند مکان‌یابی روش پخش سیلاب در دشت‌های با شرایط بحرانی (مشابه دشت خوی) است.

Riad et al. (2011) در پژوهشی با استفاده از روش بولین[1] و مدل شاخص هم‌پوشانی مشخص کردند که روش بولین زمان‌بر نبوده و جهت تخمین اولیه مناسب می‌باشد، ولی در مقابل آن، مدل شاخص هم‌پوشانی از دقت و انعطاف‌پذیری بالاتری برخوردار است و قابل اطمینان می‌باشد. جهت مکان‌یابی محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی منطقه دیکن[2] واقع در هند، Ravishankar and Mohan (2005) از تکنیک GIS استفاده کرده‌اند. براساس نتایج این تحقیق، استفاده از GIS می‌تواند باعث به حداقل رساندن زمان و هزینه‌ها در شناسایی سایت‌های مناسب تغذیه مصنوعی شود و همچنین براساس نقشه نهایی مستخرج مشخص گردید، مناطقی که ضخامت بخش غیراشباع آبرفت در آن‌ها کمتر بود یا به عبارتی سطح تراز آب در آن‌ها بالا است، در پهنه‌های نامناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی قرار گرفته‌اند. Kaliraj et al. (2014) برای تعیین مناطق بالقوه تغذیه مصنوعی با استفاده از روش AHP در حوضه تامیل نادو[3] هند از لایه‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، نوع خاک، کاربری اراضی و پوشش زمین، آبراهه‌ها و قابلیت انتقال آبخوان، استفاده کردند. براساس نتایج نهایی، مناطق با شیب کم و ملایم برای تغذیه آب‌های زیرزمینی، بالقوه شناخته شد. Chenini et al. (2010) در ناحیه مکناسی[4] از نواحی مرکزی تونس، به تعیین مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره و GIS پرداخته‌اند. نتایج حاصل بیانگر این موضوع بوده است که استفاده از تکنیک GIS قابلیت بالایی برای به نقشه درآوردن مناطق مناسب جهت انجام تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی دارد. Sabuki et al. (2014) طی مطالعه‌ای از فناوری GIS و تصمیم‌گیری چندمعیاره برای امکان‌سنجی اجرای طرح تغذیه مصنوعی دشت قم، استفاده کردند. برای این منظور ابتدا معیارهای تأثیرگذار مشخص گردید و سپس با استفاده از روش AHP، ارزش‌گذاری و وزن‌دهی شدند. در این تحقیق مشخص گردید معیار شیب زمین بیشترین وزن و معیار کاربری اراضی و هدایت الکتریکی(EC)، کمترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. Asgharipourdasht Bozorg et al. (2013) تحقیقی را در مورد انتخاب عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب با کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی AHP در محیط GIS برای منطقه آبید سربیشه گتوند واقع در شمال استان خوزستان انجام داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داده است که عرصه‌هایی با تناسب بالا جهت اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب اغلب در واحد ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه‌ای و مناطق با شیب توپوگرافی کمتر از ۳ درصد قرار دارند. Ghayoumian et al. (2007) در تحقیقی با به‌کارگیری GIS و استفاده از معیارهای شیب، نفوذپذیری، ارتفاع سطح ایستابی، میزان هدایت الکتریکی (EC) و کاربری‌اراضی، در منطقه گاوبندی استان بوشهر و هرمزگان، بهترین مناطق برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌های ساحلی جنوب ایران را شناسایی نمودند. براساس نتایج حاصل، مهم‌ترین عامل محدودکننده، وجود EC بالا می‌باشد و دومین عامل که محدودیت زیادی را سبب شده است ضخامت بخش غیراشباع آبرفت است به‌طوری‌که ۵۰ درصد از کل عرصه، دارای ضخامت کمتر از ۱۰ متر می‌باشد و برای اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی نامناسب است. در نهایت و براساس نقشه نهایی، حدود ۱۲٪ از ناحیه مورد مطالعه کاملاً مناسب برای عملیات پخش سیلاب تعیین گردید که به‌طور عمده در واحدهای دشت‌سر قرار گرفته‌اند. Zakizadeh and Malekinezhad (2012) در تحقیقی سعی کردند با استفاده از GIS و مدل ریاضی بولین، مناسب‌ترین عرصه‌ها برای اجرای عملیات پخش سیلاب در حوضه آبخیز دشت ابراهیم‌آباد شهرستان مهریز را شناسایی نمایند. بدین منظور از داده‌های هفت پارامتر در محیط GIS استفاده کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که برای مکان‌یابی پخش سیلاب، استفاده از منطق بولین دقیق نبوده، بنابراین یکی از مناسب‌ترین ابزارها استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره MADM در تلفیق با GIS می‌باشد. باید در نظر گرفت هر چه لایه‌های اطلاعاتی در داخل مدل افزایش یابد، دقت مدل نیز بیشتر خواهد شد. همچنین در نقشه نهایی مشاهده شد که مناطق مناسب برای پخش سیلاب جهت تغذیه آبخوان‌ها اغلب در نهشته‌های کواترنری (Qt) و مناطقی با شیب زمین کمتر از ۳ درصد واقع شده‌اند. خلاصه‌ای از معیارهای مورد عمل در مکان‌یابی مناطق مستعد اجرای طرح تغذیه مصنوعی آبخوان زیرزمینی در جدول ۱ ارائه

شده و به‌منظور تسهیل مقایسه، معیارهای مدنظر در تحقیق حاضر در ردیف انتهایی این جدول ذکر شده است.

هدف از انجام پژوهش حاضر، تهیه مدل جامع مکان‌یابی مناطق تغذیه مصنوعی آبخوان با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد، که در دو فاز انجام شده است. آبخوان دشت خوی با توجه به حساسیت‌های موجود به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شد. در فاز اول تحقیق با استفاده از ۱۶ معیار در قالب چهار گروه فیزیکی، اقلیمی، هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی و ارزش‌گذاری با روش AHP، پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه جهت تعیین مناطق با بیشترین ارجحیت انجام شد و سناریوهای پیشنهادی با روش AHP اولویت‌بندی شدند. در ادامه و در فاز دوم با استفاده از کلیه شاخص‌ها در خوشه‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی و با بهره‌گیری از روش تصمیم‌گیری ANP، اولویت‌بندی سناریوهای پیشنهادی براساس کلیه شاخص‌ها در منطقه دشت خوی انجام گردید. لازم به‌ذکر است نتایج فاز دوم این تحقیق در قالب مقاله‌ای مجزا ارائه شده است (Shafiei and Ghanbarzadeh Lak, 2018).

لازم است اشاره گردد که در گذشته (سال ۱۳۷۸) یک طرح تغذیه مصنوعی آبخوان زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه (دشت خوی) مطالعه و اجرا شده است. شروع آبگیری حوضچه‌های تغذیه مصنوعی طرح مذکور در سال ۱۳۷۹ بوده و در فاز مکان‌یابی، منطقه‌ای در ۱۲ کیلومتری شمال غرب شهر خوی، در مجاورت جاده خوی–چالدران بر روی یک مخروط افکنه قدیمی، به‌منظور پیاده‌سازی و اجرای هفت حوضچه نفوذ و دو حوضچه رسوب‌گیری، انتخاب گردید (Ghordooyi Milan and Karami, 2013a,b؛ Maleki Gezelbar et al., 2015). آب ورودی به این مجموعه در بازه زمانی اواخر آبان تا اوایل فروردین‌ماه از طریق کانال انحرافی از رودخانه الند تأمین می‌شود. متأسفانه از زمان آبگیری طرح تا سال ۱۳۸۷ به‌دلایل مختلف میزان آبگیری آن بسیار کمتر از ظرفیت طراحی بوده است (Ghordooyi Milan and Karami, 2013b) و پس از این تاریخ رفته رفته حجم آبگیری افزایش داشته است. محل انتخابی فوق‌الذکر در محدوده سناریوی سوم پیشنهادی در تحقیق حاضر، واقع است. با مراجعه به شکل ۳ مشخص می‌گردد محدوده سناریوی شماره سه، خود شامل ۱۲ پهنه مجزا است که در مطالعات سابق، تنها یک پهنه در منتهاالیه شمال‌غربی محدوده سناریوی ۳ جهت اجرا انتخاب شده است (Khodayari et al., 2017).

در مطالعه انجام شده توسط Maleki Gezelbar et al. (2015) مشابه با تحقیق حاضر از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و آنالیز سلسله مراتبی (AHP) بهره‌گیری شد لیکن لایه‌های اطلاعاتی مورد عمل تنها به چهار لایه شیب، کیفیت آب، عمق آب زیرزمینی و واحدهای زمین‌شناسی، محدود می‌باشد. علاوه بر آن، ایشان در مرحله آخر تحقیق از نقشه کاربری اراضی منطقه و نیز از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ جهت بررسی مطابقت محدوده پیشنهادی با کاربری اراضی منطقه، استفاده نموده‌اند. نتایج مطالعات Khodayari et al. (2017) و Ghordooyi Milan and Karami (2013b) مؤید افزایش سطح آب زیرزمینی و کاهش شیب افت آن در پیزومترهای واقع در پایین‌دست محل تغذیه مصنوعی (پس از آبگیری عمده طرح قبلی) می‌باشد. به بیان دیگر، محققان اخیر اجرای طرح را در افزایش کمیت آب‌های زیرزمینی پایین‌دست مؤثر دانسته‌اند. با این وجود روند نزولی افت سطح آب زیرزمینی در کل دشت در سالیان اخیر، حاکی از عدم تأثیر مثبت طرح بر وضعیت آب‌های زیرزمینی در کل دشت خوی (یعنی بالادست و پایین‌دست محل اجرا) است (Khodayari et al., 2017). این یافته لزوم مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی آبخوان در کل پهنه دشت خوی را پُر رنگ‌تر می‌نماید. وجه تمایز اصلی مقاله حاضر در مقایسه با مطالعات پیشین، جامع‌نگری آن در انتخاب معیارهای مورد عمل، انجام آنالیزهای حساسیت تصمیم نهایی به اوزان استخراج شده از پرسش‌نامه‌ها و ارائه مدلی واحد جهت کاربرد در کل پهنه، می‌باشد.

۲- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی خوی با کد ۱۱۰۹ (مطابق با کدگذاری حوضه‌های آبریز کشور و محدوده‌های مطالعاتی، توسط معاونت هماهنگی حوضه‌های آبریز، شرکت مدیریت منابع آب ایران، وزارت نیرو) در موقعیت جغرافیایی ′۱۵ و °۴۴ تا ′۱۲ و °۴۵ طول شرقی و ′۱۹ و °۳۸ تا ′۵۱ و °۳۸ عرض شمالی، در شمال استان آذربایجان‌غربی و در فاصله ۱۳۵ کیلومتری شمال شهر ارومیه (مرکز استان) واقع شده است و یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز رودخانه ارس محسوب می‌شود. این محدوده مطالعاتی دارای آبخوانی به وسعت ۶۳۲/۸۱ کیلومترمربع است. خوی و فیرورق مهم‌ترین شهرهای واقع در این محدوده مطالعاتی هستند. ارتفاع متوسط دشت از سطح دریاهای آزاد حدود ۱۱۵۰ متر می‌باشد و به‌طور کلی شیب عمومی دشت نیز از جنوب‌غربی به شمال‌شرقی است. همچنین براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، این محدوده دارای اقلیم نیمه‌خشک و براساس اقلیم‌نمای آمبرژه، اقلیم آن از نوع خشک سرد تعیین گردید. میانگین بارندگی و تبخیر سالانه به‌ترتیب ۲۷۶/۷ و ۱۳۷۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه

۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد است. براساس نتایج حاصل از مطالعات ژئوفیزیک، لوگ حفاری چاه‌ها و اطلاعات زمین‌شناسی، آبخوان دشت خوی در رسوبات آبرفتی جدید (دوران چهارم) تشکیل شده است. کمترین ضخامت آبرفت در نواحی حاشیه‌ای دشت کمتر از ۵۰ متر و بیشترین ضخامت آبرفت حدود ۲۰۰ متر می‌باشد. تغذیه منابع آب زیرزمینی از طریق بارش، آبیاری و از طریق رودخانه‌های قطور، الند، قره‌سو و غازان‌چای و منابع آب زیرزمینی همجوار صورت می‌گیرد. براساس آخرین آماربرداری‌ها از منابع آب‌های زیرزمینی در سطح آبخوان خوی، از تعداد ۹۷۸ حلقه چاه، ۵ رشته قنات و ۹ دهنه چشمه، حجم آبی برابر با ۳۱۸/۳۱، ۰/۷۹ و ۰/۸۵ میلیون مترمکعب در سال برداشت می‌شود که در مجموع برابر ۳۱۹/۹۵ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. براساس هیدروگراف واحد معرف آبخوان در درازمدت طی دوره ۲۵ ساله آبی از سال ۷۱-۷۰ لغایت ۹۶-۹۵ میزان افت دراز مدت این آبخوان ۶/۵ متر و افت متوسط سالانه ۰/۲۶ متر است. دشت خوی با توجه به افزایش بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی، فعالیت‌های کشاورزی و مصارف دیگر، بیلان منابع آبی منفی داشته و از سوی وزارت نیرو تحت عنوان «دشت ممنوعه» شناخته شده است.

۳- روش تحقیق

۳-۱- روند اجرای تحقیق

پژوهش حاضر با توجه به ماهیت و اهداف تحقیق از نوع تحقیقات کاربردی است و به لحاظ ویژگی در نحوه جمع‌آوری اطلاعات، از نوع توصیفی-تحلیلی بوده که به‌صورت نظرسنجی و به شکل میدانی نیز انجام گردیده است. در زمینه جمع‌آوری اطلاعات از منابع کتابخانه‌ای، اینترنت، مقالات، نشریات، مدارک و اسناد، پایان‌نامه‌های مرتبط با موضوع و همچنین از پرسش‌نامه به‌صورت ماتریس زوجی استفاده شد. این مطالعه در دو فاز انجام گردید، در فاز اول یعنی تحقیق حاضر، شانزده معیار فنی که در گروه‌های فیزیکی، اقلیمی، هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی طبقه‌بندی شده‌اند، استفاده گردیده است. این معیارها عبارتند از شیب توپوگرافی، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، فاصله از آبراهه‌ها، گسل‌ها، مسیرهای ارتباطی، چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها، ضخامت ناحیه غیراشباع آبرفت، بافت خاک و نفوذپذیری سطحی، ضریب قابلیت انتقال آبخوان، گرادیان هیدرولیکی آب زیرزمینی، کیفیت آب (میزان هدایت الکتریکی یا EC)، میزان بارش، دمای متوسط و میزان تبخیر و تعرق. در انتخاب معیارهای فوق و همچنین تقسیم‌بندی و تخصیص اوزان آن‌ها، از منابع و مراجع معتبر، تحقیقات انجام شده پیشین و نظرات کارشناسان و متخصصین بهره گرفته شده است (جدول ۱). داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز پژوهش حاضر به شرح زیر از مراجع مختلف جمع‌آوری و اخذ شدند. نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، نقشه‌های زمین‌شناسی و گسل‌های منطقه در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه‌های کاربری اراضی، ژئومورفولوژی و بافت خاک از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی و سازمان منابع طبیعی که در کنار آن نقشه‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 سنجنده OLI مربوط به سال ۲۰۱۶ جهت تکمیل اطلاعات مورد استفاده قرار گرفت، موقعیت محدوده مطالعاتی و آبخوان دشت خوی، موقعیت و مختصات چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها، آمار و اطلاعات مربوط به لوگ چاه‌های حفاری و اکتشافی، داده‌ها و کلیه اطلاعات مربوط به پیزومترها شامل عمق آب‌های زیرزمینی، ضرایب قابلیت انتقال آبخوان، آزمایش‌های پمپاژ، ضخامت آبرفت، میزان هدایت الکتریکی و همچنین نقشه سیمای مهندسی رودخانه شهرستان خوی، از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌غربی، مسیرهای ارتباطی از طریق

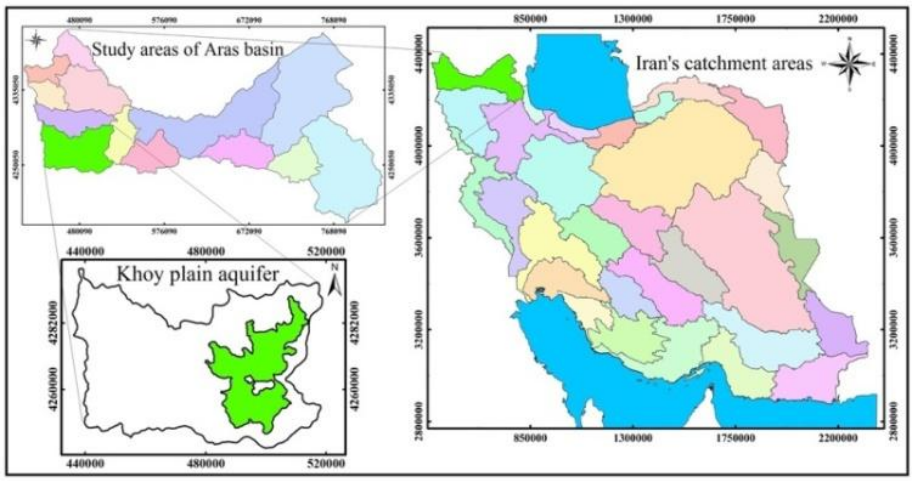


Fig. 1- The geographical location of the case study area

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

نقشه‌های توپوگرافی منطقه و بروزرسانی توسط تصاویر Google Earth، داده‌های اقلیمی شامل بارش، دما و تبخیر و تعرق با استفاده از آمار و داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیک خوی، اخذ شده از اداره کل هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌غربی، تهیه گردید. پس از تهیه داده‌های فوق‌الذکر، لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در بحث مکان‌یابی در محیط نرم‌افزار GIS آماده‌سازی، رقومی‌سازی و استخراج گردید. در این پژوهش از نرم‌افزار نسخه ArcGIS.10.2 استفاده شده است و همچنین نرم‌افزار Expert Choice جهت محاسبه اوزان معیارها به‌کار برده شد.

داده‌های هر یک از معیارها به چهار کلاس طبقه‌بندی شد، با استفاده از پرسش‌نامه جداول مقایسات زوجی و روش تحلیل سلسله مراتبی AHP تأثیرگذاری و وزن هریک از معیارها و کلاسه‌های آن‌ها در نرم‌افزار Expert Choice محاسبه، سپس در محیط نرم‌افزار ArcGIS به روش هم‌پوشانی مجموع وزنی (Weighted Sum) کلیه لایه‌ها براساس وزن کلاسه‌ها و وزن خود معیارها، باهم تلفیق و نقشه پهنه‌بندی شده اولیه به‌دست آمد. با مطالعه منابع و آئین‌نامه‌های مختلف، عوامل محدودکننده شناسایی و حریم‌های تعیین شده اعمال گردید که نهایتاً نقشه پهنه‌بندی شده نهایی مدل مکان‌یابی در پنج کلاس از سطح بسیار مناسب تا سطح بسیار نامناسب استخراج شد. در پهنه‌هایی که بیشترین امتیاز را کسب کرده بودند، تعداد ۶ سناریو در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه تعیین شد. سپس سناریوها با در نظر گرفتن ۱۶ معیار (شاخص‌های فنی لایه‌های GISای) باهم مقایسه و اولویت‌بندی شدند.

۳-۲- شناسایی معیارهای مؤثر در مکان‌یابی تغذیه مصنوعی جهت پخش سیلاب

خلاصه‌ای از لایه‌های اطلاعاتی و معیارهای استفاده شده در تحقیقات پیشین مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی، در جدول ۱ گردآوردی شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، در تحقیق حاضر معیارهای دمای متوسط و نرخ تبخیر/تعرق، علاوه بر شاخص‌های پیشین مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه شرح مختصری از معیارهای مورد عمل آورده می‌شود.

۳-۲-۱- شیب توپوگرافی

شیب زمین به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر توپوگرافی، نقش بسیار مهمی در کنترل عواملی هم‌چون پتانسیل سیل‌خیزی، نفوذپذیری و حفاظت خاک دارد. گسترش سیلاب در اراضی کم‌شیب با یکنواختی بیشتر، دارای هزینه و خطر کمتری نسبت به زمین‌های پرشیب می‌باشد. پخش سیلاب در شیب‌های بیشتر از ۵ درصد باعث افزایش فرسایش ورقه‌ای و شیاری می‌شود. براساس تجربیات و پژوهش‌های اخیر، مکان‌های مناسب برای پخش سیلاب، دارای شیب‌های ملایم و کمتر از ۵ درصد می‌باشند (Krishnamurthy and Srinivas, 1995). با افزایش شیب عمومی سطح حوضه، فرصت لازم برای نفوذ کاهش می‌یابد، به بیان دیگر شیب‌های بالا به‌علت ایجاد فرسایش و مناطق بدون شیب یا شیب‌های خیلی پایین به‌علت ممانعت از جریان آزاد آب، برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی مناسب نیستند.

۳-۲-۲- کاربری اراضی

کاربری اراضی از جمله فاکتورهایی است که در تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی نقش دارد، لیکن در مقایسه با سایر عوامل، اثرگذاری آن ناچیز است و داشتن اطلاعات صحیح از کاربری اراضی برای هر نوع فعالیت و برنامه‌ریزی، ضروری می‌باشد.

۳-۲-۳- تیپ ژئومورفولوژی

نقشه‌های ژئومورفولوژی در مناطقی که فاقد اطلاعات زیرسطحی است می‌تواند به‌عنوان معیاری مناسب برای تعیین مناطق مناسب پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرند. عمدتاً دشت‌های پهناور، دشت‌های دامنه‌ای با شیب ملایم و مخروط افکنه‌ها بسته به وسعت و موقعیت آن‌ها، به‌عنوان محل‌های بهینه برای اجرای طرح‌های آبخوان‌داری در نظر گرفته می‌شوند.

۳-۲-۴- زمین‌شناسی

خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و هیدرودینامیکی هر مخزن آب زیرزمینی در ارتباط تنگاتنگ با سازندهای آن منطقه از لحاظ چینه‌شناسی، لیتولوژی، وضعیت تکتونیکی، ژئومورفولوژی و به‌طور کلی زمین‌شناسی آن منطقه می‌باشد، بنابراین با توجه به نقش زمین‌شناسی در منابع آب، انجام مطالعات زمین‌شناسی در امکان‌سنجی محل مناسب جهت تغذیه مصنوعی، کاملاً ضروری به‌نظر می‌رسد.

۳-۲-۵- فاصله از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها

همان‌طورکه گفته شد از آن‌جایی‌که روش مدنظر در این تحقیق، روش پخش سیلاب می‌باشد، بنابراین وجود هر نوع حفره و مجرایی به‌عنوان محدودیت اجرای طرح خواهد بود. همچنین اگر ابنیه تغذیه مصنوعی در نزدیکی چاه‌های موجود در منطقه ساخته شوند، ممکن است بار فشاری اعمال شده به چاه‌ها باعث تخریب آن‌ها شود، بنابراین

محل‌های اجرای طرح هرچه از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها دورتر باشد، بهتر خواهد بود.

۳-۲-۶- فاصله از مسیرهای ارتباطی

شبکه راه‌ها به‌عنوان یک عامل که در میزان هزینه‌ها تأثیر دارد مورد بررسی قرار می‌گیرند. در دسترس بودن و نزدیکی به راه‌های ارتباطی دارای اهمیت بوده و یک جنبه مثبت جهت اجرای کلیه طرح‌ها از جمله تغذیه مصنوعی به‌شمار می‌آید.

۳-۲-۷- فاصله از گسل‌ها

گسل‌ها به دلیل ایجاد فضاهایی در سازندها و واحدهای زمین‌شناسی، از نقطه نظر پخش آب و حرکت آن به‌سمت نقاط پایین‌دست، از جمله مناطق نامطلوب برای اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب، در نظر گرفته می‌شوند.

۳-۲-۸- فاصله از آبراهه‌ها

ابنیه تغذیه مصنوعی باید در مناطقی احداث شوند که در فاصله مناسب از آبراهه‌هایی با رواناب کافی قرار گرفته باشند، چرا که فاصله زیاد از منابع آب سطحی، هزینه‌های اجرای طرح را بالا می‌برد.

Table 1- The criteria used by other researchers for the artificial recharge site selection

جدول ۱- معیارهای مورد استفاده توسط دیگر محققان در مکان‌یابی تغذیه مصنوعی

NO.	Parameters / Researchers	Slope topography	Land Use	Aquifer transfer capability	Groundwater quality(EC)	Thickness of the non-saturated alluvial zone	Soil texture and surface permeability	Distance from the waterways	Geology	Geomorphology	Precipitation rate	Distance from faults	Groundwater gradient	Distance from the roads	Distance from wells, springs and aqueducts	Evapotranspiration rate	Average temperature
1	Krishnamurthy et al. (1996)	✓	✓			✓	✓	✓	✓			✓					
2	Ravi shankar and Mohan (2005)	✓	✓			✓		✓	✓	✓		✓					
3	Saraf and Choudhury (1998)	✓	✓						✓	✓		✓					
4	Ali et al. (2015)	✓	✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓					
5	Senanayake et al. (2016)	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓					
6	Vaqharfard and Dashtpagerdi (2014)	✓			✓	✓	✓										
7	Alesheikh et al. (2008)	✓	✓			✓	✓		✓								
8	Mehrabi et al. (2012)	✓					✓		✓		✓	✓					
9	Mehrvarz and Kalantari (2007)	✓		✓	✓	✓	✓										
10	Nasiri et al. (2013)	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓							
11	Ghayoumian et al. (2007)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
12	Rahimi et al. (2014)	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓							
13	Kaliraj et al. (2014)	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓					
14	Chowdhury et al. (2010)	✓		✓				✓	✓	✓							
15	Dashtpagerdi et al. (2013)	✓			✓	✓	✓										
16	Ghayoumian et al. (2005)	✓		✓	✓	✓	✓										
17	Hekmatpour et al. (2007)	✓		✓	✓	✓	✓										
18	Naseri et al. (2009)	✓			✓	✓	✓		✓					✓	✓		
19	Mousavi et al. (2009)	✓	✓					✓	✓		✓	✓					
20	Mahdavi et al. (2011)	✓	✓		✓	✓	✓										
21	Ebrahimi et al. (2011)	✓	✓			✓	✓	✓	✓								
22	Ramezani Mehrian et al. (2011)	✓	✓		✓	✓			✓								
23	Ramesht and Ameri (2013)	✓	✓					✓	✓		✓	✓					
24	Khanbazi Sabuki et al. (2014)	✓	✓		✓	✓	✓	✓					✓	✓			
25	Ebrahimi (2014)	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓				✓				
26	Goodarzi (2015)	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓				✓		✓		
27	Keykhosravi and Yarmoradi (2014)	✓	✓				✓				✓						
28	Saeed Moghaddam et al. (2016)	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
29	Nassimi and Zare (2015)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓						
30	Karimi et al. (2013)	✓	✓			✓		✓	✓		✓						
31	Rahimi et al. (2016)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓								
32	Baharvand et al. (2016)	✓						✓	✓		✓	✓					
33	Feyzi et al. (2016)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
	Current research	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

✓: این علامت بیانگر معیارهایی است که در تحقیق مربوطه مورد استفاده قرار گرفته اند.

از طرف دیگر اگر چنانچه این فاصله خیلی کم باشد، ممکن است رودخانه به حالت زهکش درآمده و بخشی از آب تزریقی به درون زمین را زهکشی نماید.

۳-۲-۹- بافت خاک و نفوذپذیری سطحی

مقدار نفوذ آب در زمین به بافت و ساختمان خاک بستگی دارد. نفوذپذیری سطحی از جمله عوامل تأثیرگذار در میزان تغذیه آبخوان‌ها می‌باشد. تأثیر این عامل در کاهش تبخیر و تعرق نیز نمایان می‌شود، به‌نحوی‌که اگر میزان نفوذپذیری سطحی زیاد باشد، آب زمان کمتری بر روی سطح باقی مانده و نرخ تبخیر کاهش می‌یابد و بالعکس اگر نفوذپذیری پایین باشد، در شیب‌های کم، آب بر روی سطح زمین باقی مانده و بعد از مدتی تبخیر گردیده و باعث افزایش املاح خاک نیز می‌گردد. نفوذپذیری بالا از ویژگی خاک‌های خوب برای پخش سیلاب می‌باشد.

۳-۲-۱۰- ضخامت ناحیه غیراشباع آبرفت

عمق سطح آب زیرزمینی نشان‌دهنده ضخامت این لایه است. این عمق در انتقال املاح آب نفوذی، نگه‌داری آب در بخش غیراشباع، تأثیر بر زمان رسیدن آب به منطقه اشباع و تأثیر بر نرخ نفوذ آب مؤثر می‌باشد. کم بودن ضخامت بخش غیراشباع به دلیل تبخیر شدن آب تزریقی و یا مشکل ماندابی و زیاد بودن آن به‌علت طولانی شدن مسیر آب و نگهداشت مقدار قابل توجهی از آب تزریقی، برای تغذیه مصنوعی نامناسب می‌باشد.

۳-۲-۱۱- ضریب قابلیت انتقال آبخوان

این ضریب یکی از مهم‌ترین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان است که نشان‌دهنده حرکت آب در محیط متخلخل می‌باشد. توانایی انتقال در لایه‌های آبدار در مناطق مختلف، مقادیر بسیار متفاوتی داشته ولی به‌طور معمول مقدار آن بین ۱۰ تا ۱۰۰۰۰ مترمربع در روز تغییر می‌کند. هرچه میزان انتقال‌پذیری آبرفت بیشتر باشد، برای تغذیه مصنوعی مناسب‌تر است. فرمول محاسبه قابلیت انتقال به‌صورت $T=K\times D$ بیان می‌شود که در آن K هدایت هیدرولیکی آبخوان و D ضخامت لایه آبدار است. بهترین و دقیق‌ترین روش تعیین ضرایب هیدرودینامیک برای هر آبخوان روش آزمون پمپاژ است. برای این منظور به‌طور استاندارد در هر ۲۰ الی ۲۵ کیلومترمربع نیاز به یک آزمایش پمپاژ خواهد بود.

۳-۲-۱۲- کیفیت آب (میزان هدایت الکتریکی EC)

کاربری نهایی آب زیرزمینی وابسته به کیفیت آن بوده و در مکان‌یابی محل تغذیه مصنوعی می‌بایست از مکان‌هایی که سبب نامطلوب شدن کیفیت آب زیرزمینی می‌شوند، اجتناب نمود. جهت حفظ منابع آب زیرزمینی، مکان تغذیه مصنوعی نباید در محل‌هایی با کیفیت نامناسب قرار گیرد، اگر آبرفت دارای املاح زیاد باشد در اثر حرکت آب در این محیط متخلخل، تحت تأثیر یون‌های مختلف قرار گرفته و کیفیت آب کاهش می‌یابد. لذا لازم است کیفیت آب موجود در آبرفت مورد بررسی قـــرار گیرد. هرچه میزان هدایت الکتریکی آب برحسب واحد میکروزیمنس بر سانتی‌متر کم باشد، نشان دهنده وجود املاح کم در آب و کیفیت مطلوب آن است.

۳-۲-۱۳- گرادیان هیدرولیکی آب زیرزمینی

در پروژه‌های تغذیه مصنوعی، میزان ماندگاری آب تزریق شده اهمیت خاصی دارد و اجرای این گونه طرح‌ها زمانی توجیه اقتصادی پیدا خواهد نمود که آب تزریقی در آبخوان باقی بماند. اگر در منطقه میزان گرادیان هیدرولیکی بسیار زیاد باشد، بیشتر آب تزریقی از طریق نقاط خروجی سریعاً تخلیه می‌شود و عملاً فرآیند تغذیه مصنوعی با مشکل مواجه می‌گردد.

۳-۲-۱۴- میزان بارش

هرگونه رطوبتی که به‌صورت مایع یا جامد از ابرها جدا شده و به سطح زمین می‌رسد را بارش گویند. بارش تنها بردار ورودی چرخه هیدرولوژی است و هر نوع تحلیل در خصوص ورود و خروج از یک سیستم نیاز به تفسیر اطلاعات ورودی دارد. دانش الگوی بارش در فضا و توزیع زمانی و مکانی آن در زمین، اساس اطلاعات هیدرولوژیکی است.

۳-۲-۱۵- دمای متوسط

شرایط بهینه اقلیمی در مکان‌یابی محل تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی اهمیت خاصی داشته و دما یکی از عوامل مؤثر در ایجاد شرایط اقلیمی بهینه می‌باشد.

۳-۲-۱۶- تبخیر و تعرق

تعیین میزان تبخیر و تعرق به‌عنوان یکی از جریان‌های اصلی در چرخه هیدرولوژی حائز اهمیت است. تبخیر[5] یکی از مهم‌ترین فرآیندهای کاهش آب می‌باشد که آگاهی از میزان آن می‌تواند نقش مهمی در

تعیین میزان آب قابل دسترس و تهیه بیلان آب زیرزمینی منطقه داشته باشد.

۳-۳- روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

روش تحلیل سلسله مراتبی از جمله تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد که در سال ۱۹۸۰ توسط توماس ال ساعتی[6] استاد دانشگاه پیتسبورگ ارائه شده است (Ataei, 2016). تحلیل سلسله مراتبی یک روش نیمه کیفی است که شامل ماتریس‌های وزن‌دهی بر مبنای مقایسات زوجی بین عوامل بوده و میزان مشارکت هر یک از عوامل را در مکان‌یابی مشخص می‌کند. از مزایای این روش آن است که با استفاده از تجربه و دانش کارشناسان و متخصصین در زمینه کاربرد موردنظر و با در نظر گرفتن خصوصیات محدوده مطالعاتی، فاکتورهای مناسب تعیین و وزن‌دهی می‌شوند. در تحلیل سلسله مراتبی روش کار بدین صورت است که ابتدا به‌منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی از قضاوت‌های شفاهی نظرات کارشناسی بر مبنای مقایسات زوجی استفاده می‌شود، به‌طوری که تصمیم‌گیرنده ارجحیت یک عامل را نسبت به علل دیگر در نظر گرفته و این قضاوت‌ها را به مقادیر کمی بین ۱ الی ۹ (از کم اهمیت‌ترین تا بیشترین میزان اهمیت) تبدیل می‌نماید. ذکر این نکته ضروری است که در صورت موجود بودن داده‌های قطعی برای یک معیار (به‌عنوان نمونه فواصل محدوده‌های پیشنهادی از خطوط مواصلاتی)، لزومی به نظرسنجی از افراد خبره در تکمیل ماتریس‌های مقایسات زوجی نبوده و اتفاقاً با وارد کردن داده‌های مذکور، میزان ناسازگاری ماتریس حاصله صفر خواهد بود.

پس از انجام مقایسات زوجی، محاسبه شاخص سازگاری این ماتریس‌ها ضروری است و باید نسبت به قابل قبول یا مردود بودن آن قضاوت نمود. در حالت کلی می‌توان گفت که میزان قابل قبول ناسازگاری یک ماتریس یا سیستم، بستگی به تصمیم‌گیرنده دارد. اما ساعتی، عدد ۰/۱ را به‌عنوان حد قابل قبول ارائه می‌نماید. بنابراین در صورتی که این شاخص برای هر یک از ماتریس‌های مقایسات زوجی، مقدار عددی بزرگتر از ۰/۱ داشته باشد، مقایسه‌ها و وزن‌های اختصاص داده شده با یکدیگر ناسازگارند و در قضاوت‌ها باید تجدیدنظر کرد (Saaty, 2001). برای محاسبه نرخ ناسازگاری (I.R) از دو پارامتر شاخص ناسازگاری (I.I.) و شاخص ناسازگاری تصادفی (R.I.I.) استفاده می‌شود. شاخص ناسازگاری از رابطه (۱) به‌دست می‌آید (Ataei, 2016; Marinoni, 2004):

$$I.I. = \frac{\lambda \max - n}{n-1} \qquad (۱)$$

$$I.R. = \frac{I.I.}{R.I.I.} \qquad (۲)$$

که در آن λmax مقدار ویژه حداکثر ماتریس مقایسات زوجی مورد بررسی و n بُعد ماتریس یا تعداد گزینه‌ها (معیارها) می‌باشد. محققین مقادیر شاخص ناسازگاری (I.I.) را برای ماتریس‌هایی که اعداد آن‌ها کاملاً تصادفی اختیار شده باشند، محاسبه نموده و تحت عنوان شاخص ناسازگاری تصادفی (R.I.I.)[7] در جداولی ارائه کرده‌اند (Ataei, 2016; Marinoni, 2004). برای هر ماتریس، حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری بر شاخص ناسازگاری تصادفی، نرخ ناسازگاری (I.R)[8] نامیده می‌شود که معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری می‌باشد (رابطه ۲).

۴- نتایج و تحلیل نتایج

۴-۱- سلسله مراتب تصمیم‌گیری مدل مکان‌یابی

جهت مکان‌یابی تغذیه مصنوعی با استفاده از روش AHP، معیارها و زیرمعیارها در این پژوهش به چهار گروه اصلی تقسیم‌بندی شدند و سلسله مراتب تصمیم‌گیری برای مدل مکان‌یابی در شکل ۲ نشان داده شده است.

۴-۲- کلاسه‌بندی و وزن‌دهی داده‌های هر شاخص

در رابطه با درجه اهمیت کلاسه‌های هر یک از شاخص‌های به‌کار گرفته شده در این تحقیق، براساس نظرات کارشناسان و متخصصین و استفاده از تحقیقات پیشین، گستره دامنه داده‌های هر معیار طبقه‌بندی، سپس نتایج ماتریس‌های مقایسات زوجی محاسبه گردید که در جدول ۲ ارائه شده است. لازم به‌ذکر است طی مروری بر ادبیات فنی موضوع، مشخص گردید محققان عموماً برمبنای شرایط موجود منطقه مورد مطالعه خود اقدام به کلاسه‌بندی محدوده نموده‌اند. به بیان دیگر اگر محدوده مورد مطالعه دارای شیب توپوگرافی در گستره وسیعی باشد، نحوه کلاسه‌بندی زمین‌ها از نقطه نظر شاخص شیب، با محدوده‌های هموار متفاوت خواهد بود.

۴-۳- وزن‌دهی و ارزش‌گذاری معیارها و زیرمعیارها به روش AHP

با در نظر گرفتن میانگین هندسی نظرات کارشناسان و استفاده از نرم‌افزار Expert Choice، وزن‌های نسبی و نهایی برای شانزده معیار انتخاب شده به‌دست آمد. برای این‌که نتایج حاصل از مقایسات زوجی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP قابل قبول باشد، باید ضریب ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد. در واقع این ضریب تعیین‌کننده صحت وزن‌دهی انجام شده می‌باشد.

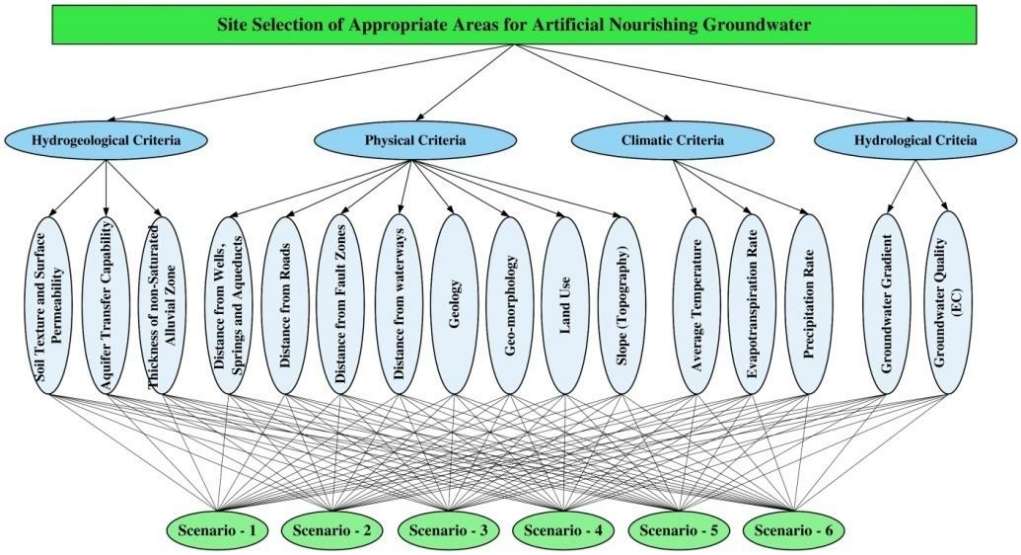


Fig. 2- The decision-making hierarchy structure in the site selection model

شکل ۲- ساختار سلسله مراتب تصمیم‌گیری در مدل مکان‌یابی

در این پژوهش ضریب ناسازگاری به‌دست آمده برای کل مدل مکان‌یابی برای وزن معیارها با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice برابر ۰/۰۲ به‌دست آمد که مقدار آن با توجه به دامنه ضریب ناسازگاری (کمتر از ۰/۱) قابل قبول بوده و مورد تأیید می‌باشد. لازم به‌ذکر است جامعه هدف در تکمیل پرسش‌نامه‌ها شامل ۱۰ نفر از متخصصین مدیریت منابـــع آب در شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌غربی، ۵ نفر از کارشناسان محیط‌زیست از اداره کل حفاظت محیط زیست استان آذربایجان‌غربی، ۵ نفر از اساتید دانشگاهی و ۵ نفر از افراد شاغل در این زمینه و همچنین متخصصین GIS، جمعاً به تعداد ۲۵ نفر، بوده است. در جدول ۳ وزن‌های هرکدام از معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در تصمیم آورده شده است.

۴-۴- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

پس از محاسبه وزن کلاسه‌های هر معیار و همچنین وزن نهایی شاخص‌ها و زیرمعیارها، اوزان محاسبه شده در محیط نرم‌افزار Arc GIS.10.2 به لایه‌های اطلاعاتی که قبلاً با پیکسل سایز ۱۰×۱۰ متر آماده‌سازی شده بود، اعمال گردید و تلفیق لایه‌ها با استفاده از روش هم‌پوشانی مجموع وزنی (Weighted Sum) که یکی از ایده‌آل‌ترین روش‌های تلفیق در GIS می‌باشد، انجام گرفت. سپس محدودیت‌ها و حریم‌های شناسایی شده مطابق جدول ۴ اعمال گردید و نهایتاً نقشه رستری پهنه‌های مختلف در پنج کلاس بسیار مناسب، مناسب، متوسط، نامناسب و بسیار نامناسب طبقه‌بندی شدند.

بر این اساس مناطقی که بیشترین مجموع وزنی را کسب کرده بودند در پهنه‌های بسیار مناسب جهت پخش سیلاب در راستای اجرای طرح تغذیه مصنوعی در منطقه مورد مطالعه شناسایی شدند که مساحتی حدود ۱۰ کیلومترمربع از کل مساحت منطقه را شامل می‌شود. اطلاعات بیشتر در خصوص پهنه‌بندی فـــوق در جـدول ۵ ارائه شده است.

۴-۵- مناطق پیشنهادی (سناریوهای) اجرای طرح

در پهنه‌های بسیار مناسب که بیشترین امتیاز را کسب کرده بودند، در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه محدوده‌هایی کلی به تعداد شش سناریوی پیشنهادی به‌عنوان محل‌های اجرای طرح پخش سیلاب در راستای تغذیه مصنوعی آبخوان دشت خوی تعیین و معرفی گردید. موقعیت سناریوها در شکل ۳ ارائه شده است.

۴-۶- اولویت‌بندی و تعیین سناریوی برتر براساس AHP

در شکل ۴ نتایج تحلیل سلسله مراتبی اولویت‌بندی سناریوها با جزئیات مربوطه آورده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، سناریوی سوم با کسب امتیاز ۰/۲۰۷۸ رتبه اول را کسب نموده و پس از آن به‌ترتیب سناریوهای شماره ۴، ۲، ۶، ۵ و ۱ با اوزان ۰/۱۷۳۲، ۰/۱۶۶۵، ۰/۱۵۷۸، ۰/۱۵۵۵ و ۰/۱۳۹۲ در رتبه‌های دوم تا ششم قرار می‌گیرند. در بین خصوصیات مربوط به شاخص‌ها، خصوصیات هیدروژئولوژیکی بیشترین تأثیر را در اولویت‌بندی سناریوها ایفا نموده است و بعد از آن خصوصیات فیزیکی، اقلیمی و هیدرولوژیکی به‌ترتیب

Table 2- Classification of criteria used in site selection model and the respective weights

جدول ۲- کلاسه‌بندی معیارهای مدل مکان‌یابی و اوزان مربوطه

No.	Parameters	Classification	Weight	No.	Parameters	Classification	Weight
1	Land Use	Rangeland	**0.594**	9	Precipitation Rate (mm)	> 300	**0.619**
		Rainfed Areas	**0.268**			280-300	**0.206**
		Agricultural	**0.092**			260-280	**0.111**
		Residential areas	**0.045**			< 260	**0.064**
2	Slope Topography (percent)	0 - 2	**0.533**	10	Evapotranspiration Rate (mm)	< 1350	**0.605**
		2 - 4	**0.312**			1350 - 1450	**0.222**
		4 - 6	**0.104**			1450 - 1550	**0.111**
		> 6	**0.052**			> 1550	**0.062**
3	Geology	Qt2	**0.559**	11	Average Temperature (°C)	< 10.5	**0.482**
		Qt1	**0.318**			10.5 - 11.5	**0.309**
		Qf-Q2f-Qal	**0.064**			11.5 - 12	**0.135**
		Plc, Plqc, Qtr, Mm, Mtmt, Amg, Oml, Peb	**0.059**			> 12	**0.074**
4	Geomorphology	Flood plains, Plated mount plains, Gravelly alluvium fans	**0.568**	12	Groundwater Quality (Electrical Conductivity) (µSiemens/cm)	< 1000	**0.497**
		Plateaus and upper terraces, Plains of the river sediment	**0.263**			1000 - 1500	**0.212**
		Low land, Gravelly collavial fans	**0.113**			1500 - 2000	**0.191**
		Mountains, Hills	**0.057**			> 2000	**0.100**
5	Distance from Waterways (m)	< 500	**0.649**	13	Groundwater Gradient (percent)	< 1	**0.536**
		500 - 1000	**0.217**			1 - 1.5	**0.320**
		1000 - 2000	**0.083**			1.5 - 2	**0.099**
		> 2000	**0.051**			> 2	**0.045**
6	Distance from Roads (m)	< 2000	**0.483**	14	Thickness of non-Saturated Alluvial Zone (m)	30 -80	**0.573**
		2000 - 4000	**0.272**			10 - 30	**0.259**
		4000 - 6000	**0.157**			> 80	**0.116**
		> 6000	**0.088**			< 10	**0.052**
7	Distance from Wells, Springs and Aqueducts (m)	> 400	**0.626**	15	Aquifer Transfer Capability (m^2/day)	> 1000	**0.495**
		200 - 400	**0.230**			700 - 1000	**0.276**
		100 - 200	**0.088**			400 - 700	**0.164**
		< 100	**0.056**			< 400	**0.064**
8	Distance from Fault Zones (m)	> 3000	**0.544**	16	Soil Texture and Surface Permeability (rate)	Very high	**0.487**
		2000 - 3000	**0.292**			High	**0.308**
		1000 - 2000	**0.107**			Medium	**0.115**
		< 1000	**0.057**			Low	**0.089**

Table 3- Results of weighting criteria and sub-criteria (Expert Choice software output)

جدول ۳- نتایج وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها (خروجی نرم‌افزار Expert Choice)

Criteria	Weight	Sub-Criteria	Local Weight	Overall Weight
Hydrogeological Criteria	**0.440**	1-1- Thickness of non-Saturated Alluvial Zone	0.413	**0.182**
		1-2- Aquifer Transfer Capability	0.327	**0.144**
		1-3- Soil Texture and Surface Permeability	0.260	**0.114**
Physical Criteria	**0.385**	2-1- Slope Topography	0.305	**0.118**
		2-2- Land Use	0.211	**0.081**
		2-3- Geomorphology	0.098	**0.038**
		2-4- Geology	0.078	**0.030**
		2-5- Distance from Waterways	0.210	**0.082**
		2-6- Distance from Fault Zones	0.043	**0.016**
		2-7- Distance from Roads	0.025	**0.009**
		2-8- Distance from Wells, Springs and Aqueducts	0.030	**0.011**
Climatic Criteria	**0.127**	3-1- Precipitation Rate	0.550	**0.070**
		3-2- Evapotranspiration Rate	0.240	**0.031**
		3-3- Average Temperature	0.210	**0.026**
Hydrological Criteria	**0.048**	4-1- Groundwater Quality	0.667	**0.032**
		4-2- groundwater gradient	0.333	**0.016**

Table 4- Factors and Privacy Considered for site selection

جدول ۴- عوامل و حریم‌های در نظر گرفته شده جهت مکان‌یابی

Factors	Privacy	Reference
Wells, Springs, and Aqueducts	50 m	**Iran Ministry of Energy (2014)**
Roads	200 m	**Naseri et al. (2009)**
Faults	200 m	**Mehrabi et al. (2012)**
Waterways	100 m	**Iran Ministry of Energy (2005)**
Demographic Locations Range	1,000 m	**Shaeri and Rahmati (2012)**

اثرگذاری قرار دارند. عمده‌ترین دلیل برتری سناریوی سوم بر دیگر سناریوها، وزن اکتسابی آن از معیارهای هیدروژئولوژیکی است که شامل ضریب قابلیت انتقال آبخوان، بافت خاک و میزان نفوذپذیری سطحی، همچنین ضخامت بخش غیراشباع آبرفت می‌باشد.

۴-۷- تحلیل حساسیت نتایج در AHP

تحلیل حساسیت امکان بازبینی نتایج نهایی را فراهم نموده و می‌تواند در تعیین میزان اثرگذاری یک شاخص بر تصمیم، مورد استفاده قرار گیرد.

Table 5- Final zoning information for Khoy plain artificial aquifer recharge

جدول ۵- اطلاعات پهنه‌بندی نهایی دشت خوی جهت تغذیه مصنوعی آبخوان

Ranges	Area	
	(km^2)	(Percent)
Very suitable ranges	57.16	9.04
Suitable ranges	126.98	20.07
Moderate preferred areas	144.61	22.85
Unsuitable areas	105.77	16.71
Very Unsuitable areas	198.29	31.33

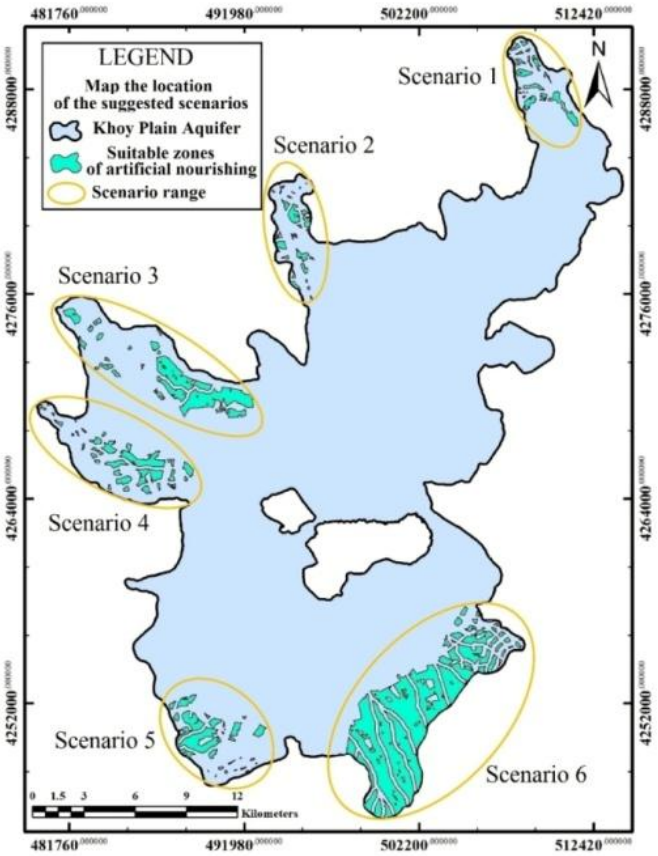
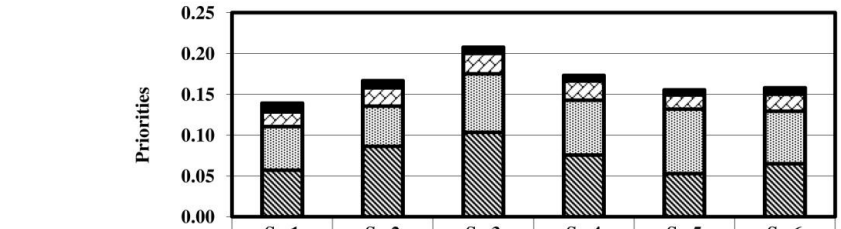


Fig. 3- Map the location of the proposed sites

شکل ۳- نقشه موقعیت محدوده سناریوهای پیشنهادی



	Sc-1	Sc-2	Sc-3	Sc-4	Sc-5	Sc-6
Hydrological Criteria	0.0109	0.0086	0.0078	0.0069	0.0062	0.0077
Climatic Criteria	0.0178	0.0225	0.0250	0.0236	0.0174	0.0208
Physical Criteria	0.0535	0.0493	0.0717	0.0670	0.0790	0.0644
Hydrogeological Criteria	0.0570	0.0862	0.1034	0.0757	0.0529	0.0649

Fig. 4- The results of analytical hierarchy process (AHP)

شکل ۴- نتایج تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

به بیان دیگر، اگر تصمیم نهایی نسبت به وزن شاخصی مفروض حساسیت بالایی داشت (یعنی با ایجاد تغییرات انتخابی در وزن شاخص، اولویت سناریوها دچار تغییر گردید)، لازم است نحوه محاسبه وزن این شاخص با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گیرد. نرم‌افزار Expert Choice چهار حالت گرافیکی برای تحلیل حساسیت ارائه می‌کند که عبارتند از پویا (Dynamic)، شیب خط (Gradient)، عملکرد (Performance) و دو بعدی (2D Plot). با توجه به امکان تفسیر نتایج در حالت عملکرد، در تحقیق حاضر از این روش استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، اولویت اول تصمیم (سناریوی شماره ۳) حساسیتی نسبت به تغییر وزن معیار هیدروژئولوژیکی ندارد (خط عمودی وزن معیار هیدروژئولوژیکی در تصمیم معادل ۰/۴۴۰ را نشان می‌دهد). با این وجود با کاهش یا افزایش وزن این معیار به میزان حدود ۲۰ درصد، امکان ایجاد تغییر در اولویت‌های دوم تا پنجم وجود خواهد داشت.

در شکل ۶ نتایج آنالیز حساسیت نسبت به وزن معیار فیزیکی آورده شده است. براساس این شکل، تصمیم نهایی در تعیین اولویت‌های سوم تا پنجم به‌شدت متأثر از وزن این معیار می‌باشد ولی اولویت اول چندان تحت تأثیر نیست.

نتایج تحلیل حساسیت تصمیم نسبت به وزن معیارهای هواشناسی و اقلیم، حاکی از عدم تأثیرپذیری و غیرحساس بودن تصمیم است. به بیان دیگر افزایش یا کاهش وزن این معیار بر ترتیب اولویت‌های اول تا چهارم هیچ تأثیری نداشته و فقط ترتیب اولویت‌های پنجم تا ششم، آن هم در شرایط کاهش وزن این معیار از مقدار اولیه ۰/۱۲۷ تا حدود ۰/۰۵۰ و یا افزایش شدید آن تا حدود ۰/۹۰۰، مشهود است. در عمل این شرایط امکان‌پذیر نبوده و لذا می‌توان چنین ادعا نمود که در منطقه مورد مطالعه به دلیل نزدیکی خصوصیات اقلیمی (شامل میزان بارش، نرخ تبخیر و تعرق و متوسط دما)، اولویت‌بندی سناریوها از این منظر ضروری نمی‌باشد.

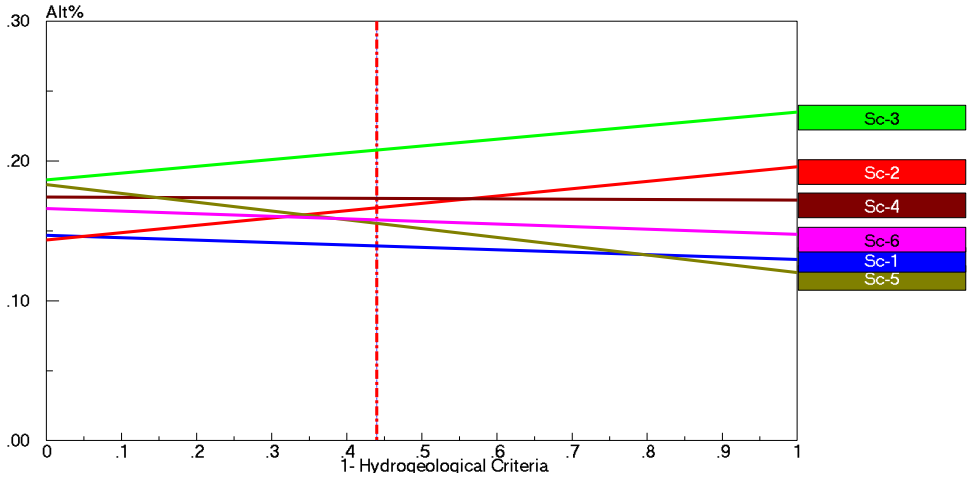


Fig. 5- Sensitivity analysis of the decision with respect to the changes of hydrogeological criteria weight

شکل ۵- تحلیل حساسیت تصمیم نسبت به تغییر وزن معیار هیدروژئولوژیکی

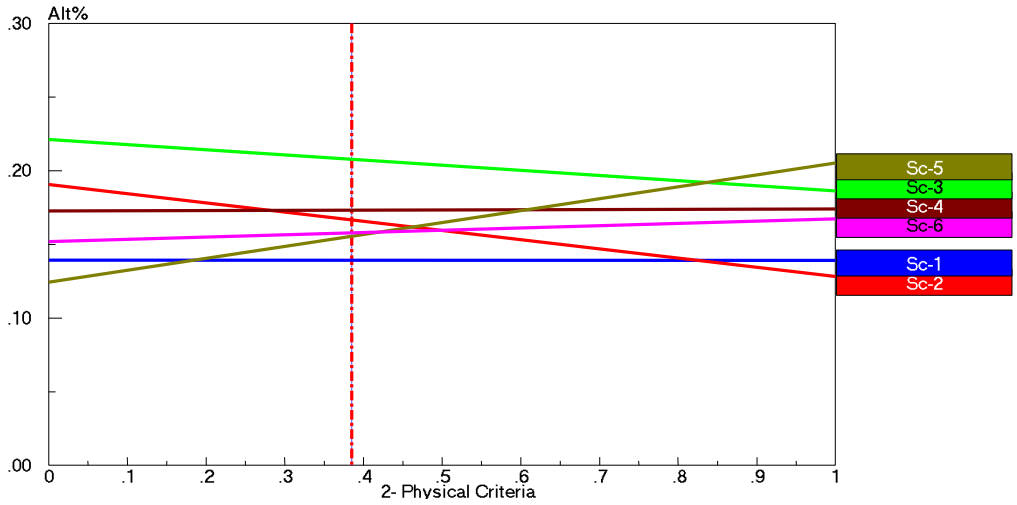


Fig. 6- Sensitivity analysis of the decision with respect to changes of physical criteria weight

شکل ۶- تحلیل حساسیت تصمیم نسبت به تغییر وزن معیار فیزیکی

با این وجود از آن‌جا که سعی شده است مدل ارائه شده در مقاله حاضر جامعیت کافی برای کاربرد در سایر مناطق را داشته باشد، این معیار در مدل نگاه داشته شد.

از منظر هیدرولوژیکی نیز مشابه مورد هواشناسی و اقلیم، تصمیم نهایی حساسیت بالایی نسبت به وزن این معیار ندارد. چرا که تغییرات در اولویت‌های دوم و سوم و نیز پنجم و ششم تنها درصورت افزایش وزن معیار هیدرولوژیکی به میزان بیش از ۲۰۰ درصد مقدار اولیه (۰/۰۴۸) رخ خواهد داد و اولویت اول بدون تغییر باقی می‌ماند.

تحلیل‌های حساسیت نسبت به وزن زیرمعیارها نیز انجام گردید. با توجه به اوزان معیارهای اصلی، ایجاد تغییرات انتخابی در وزن زیرمعیارهای هیدروژئولوژیکی و فیزیکی مورد توجه قرار گرفتند که نتایج حاکی از عدم تأثیرپذیری اولویت اول می‌باشد.

۵- خلاصه و جمع‌بندی

در مطالعات مکان‌یابی جهت تغذیه مصنوعی، شاخص‌های مختلفی در نظر گرفته می‌شوند. این عوامل دارای مقادیر مختلفی از نظر اولویت‌های وزنی هستند که عموماً برمبنای نظرات کارشناسی و تلفیق قضاوت‌های متخصصین تعیین می‌گردند. در این پژوهش با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و همچنین روش تحلیل سلسله مراتبی AHP، گزینه‌های متعددی با توجه به معیارهای تعیین شده جهت انتخاب سایت‌های تغذیه مصنوعی معرفی شده است. در حقیقت از تکنیک GIS به‌عنوان ابزاری جهت مکان‌یابی استفاده شد و از مدل AHP در اولویت‌بندی و تعیین گزینه برتر، بهره گرفته شد. برای شناسایی مکان‌های مناسب جهت اجرای طرح تغذیه مصنوعی از تعداد شانزده معیار (برخی ثابت و بعضی متغیر در زمان) شامل شیب توپوگرافی، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، بافت خاک و نفوذپذیری سطحی، ضخامت ناحیه غیراشباع آبرفت، ضریب قابلیت انتقال آبخوان، میزان بارش، دمای متوسط، میزان تبخیر و تعرق، کیفیت آب زیرزمینی، گرادیان هیدرولیکی آب زیرزمینی، فاصله از منابع آب سطحی، فاصله از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها، فاصله از گسل‌ها و همچنین فاصله از جاده در قالب چهار خوشه فیزیکی، اقلیمی، هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی، استفاده گردیده است. با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP و جداول مقایسات زوجی، وزن و ارجحیت هریک از معیارها از طریق تکمیل پرسش‌نامه‌ها و نرم‌افزار Expert Choice محاسبه گردید و با اعمال اوزان به‌دست آمده به لایه‌های استفاده شده در نرم‌افزار ArcGIS، نقشه مکان‌یابی نهایی منطقه تهیه گردید. به بیان دیگر، براساس تلفیق لایه‌ها به روش هم‌پوشانی مجموع وزنی (Weighted Sum) در محیط GIS و بعد از اعمال محدودیت‌ها، نقشه‌های موردنیاز استخراج گردید و منطقه مذکور در پنج کلاس، بسیار مناسب تا بسیار نامناسب طبقه‌بندی شد. در پهنه‌های بسیار مناسب که بالاترین ارزش را کسب کرده بودند، تعداد شش سناریوی پیشنهادی در بخش‌های مختلف منطقه معرفی گردیدند.

در این مطالعه نرخ ناسازگاری برای مدل مکان‌یابی ۰/۰۲ به‌دست آمد که دلالت بر سطح قابل قبول سازگاری مقایسات زوجی دارد. با توجه به نتایج حاصل از وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی GIS مشخص گردید

که معیارهای ضخامت ناحیه غیراشباع آبرفت، ضریب قابلیت انتقال آبخوان، شیب توپوگرافی و بافت خاک و نفوذپذیری سطحی یعنی خصوصیات گروه هیدروژئولوژیکی به‌ترتیب دارای بیشترین اهمیت (به‌ترتیب دارای اوزان نرمال شده ۰/۱۸۲، ۰/۱۴۴، ۰/۱۱۸ و ۰/۱۱۴) و معیار فاصله از مسیرهای ارتباطی دارای کمترین تأثیر (با وزن نرمال شده ۰/۰۰۹) در مدل مکان‌یابی تغذیه مصنوعی بوده است. براساس نقشه نهایی مشخص گردید که عمدتاً نواحی حاشیه کوهستان‌ها، دشت‌های دامنه‌ای و ورودی‌ها به طرف دشت، مناطق با شیب‌های ملایم و به‌طور متوسط در شیب‌های کمتر از ۲ درصد، مناطق با بالاترین کیفیت آب و دارای ضخامت ناحیه غیراشباع کافی جهت تغذیه و واحدهای کواترنری آبرفت‌های عهد حاضر (Qt1) با ضریب قابلیت انتقال بالا، جهت اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب، در پهنه‌های بسیار مناسب قرار دارند، همچنین مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیق انجام شده در این منطقه در گذشته (Maleki Gezelbar et al., 2015) نشان می‌دهد که محل اجرای طرح قبلی تغذیه مصنوعی به روش حوضچه‌ای نیز در محدوده پهنه‌های بسیار مناسب و سناریوی برتر این پژوهش (محدوده سناریوی شماره سه) واقع می‌باشد.

با توجه به این نکته که نقطه نظرات کارشناسی در تعیین اوزان خوشه‌های چهارگانه تصمیم نسبت به هدف اصلی و نیز اوزان معیارهای شانزده‌گانه از نقطه نظر خوشه مربوطه، تأثیرگذار بوده است، تحلیل‌های حساسیت تصمیم در نرم‌افزار Expert Choice انجام گردید. همان‌طور که در بخش ۴-۷ اشاره گردید، اولویت اول تحقیق حاضر (سناریوی شماره ۳) حساسیتی نسبت به تغییر وزن خوشه‌ها و معیارها نداشته و تنها در شرایطی که وزن خوشه فیزیکی درحدود ۸۰ درصد از کل وزن تصمیم را به خود اختصاص دهد، این سناریو از رتبه اول نزول خواهد نمود. به بیان دیگر اگر تصمیم‌گیرنده در مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی آبخوان زیرزمینی صرفاً معیارهای کاربری اراضی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، فاصله از آبراهه‌ها، گسل‌ها، مسیرهای ارتباطی، چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها، را مدنظر قرار دهد، سناریوی سوم دیگر اولویت اول وی نخواهد بود. پُر واضح است که سایر معیارهای موجود در خوشه‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی، دارای اهمیت در تصمیم بوده و احتمال برقراری شرایط فوق‌الذکر بسیار اندک است.

پی‌نوشت‌ها

1- Boolean
2- Deccan
3- Tamil Nadu
4- Meknassy
5- Evaporation
6- Saaty
7- Random Inconsistency Index
8- Inconsistency Ratio

۶- مراجع

Alesheikh AA, Soltani MJ, Nouri N and Khalilzadeh M (2008) Land assessment for flood spreading site selection using geospatial information system. International Journal of Environmental Science and Technology 5(4):455-462

Ali HY, Priju CP and Prasad NN (2015) Delineation of groundwater potential zones in deep midland aquifers along Bharathapuzha river basin, Kerala using geophysical methods. Aquatic Procedia 4:1039-1046

Asgharipourdasht Bozorg N, Servati MR, Kardovani P and Shayan S (2013) Identification suitable areas of flood spreading for artificial recharge groundwater using AHP method in GIS environment case study Abied Sarbishe of Gotvand. Quarterly Geographical Journal of Territory 10(38):93-108 (In Persian)

Ataei M (2016) Multi Criteria Decision making. Shahrood University of Technology, 342p (In Persian)

Baharvand S, Soori S, Farhadinejad T and Amiri V (2016) Delineation of groundwater potential by using the Fuzzy and AHP integrated method: A case study area around the Khorramabad city. International Bulletin of Water Resources and Development 3(4):28-37

Bayat Varkeshi M, Farahani M and Ghabaei Sough M (2018) Effect of meteorological drought on groundwater resource (Case study: Komijan aquifer in Markazi province). Iran-Water Resources Research 14(1):114-124 (In Persian)

Chenini I, Mammou AB and Elmay M (2010) Groundwater recharge zone mapping using GIS based multi criteria analysis: A case study in Central Tunisia Maknassy basin. Water Resources Management 24(5):921-939

Chowdhury A, Jha MK, Chowdary VM (2010) Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur District, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques. Environmental Earth Sciences 59(6):1209-1222

Dashtpagerdi MM, Nohegar A, Vagharfard H, Honarbakhsh A, Mahmoodinejad V, Norouzi A and Ghochepoor D (2013) Application of spatial analysis techniques to select the suitable areas for flood

Goodarzi L, Akhondali A and Zarei H (2015) Identification of sites suitable for artificial recharging using GIS and AHP techniques (Case study: Oshtorinan plain). Journal of RS and GIS for Natural Resources 5(4):47-60 (In Persian)

Haji Hosseinlou H (2018) Assessment of decreasing of groundwater-table using Geographic Information System (GIS) (Case study: Firuragh Plain Aquifer), Geography and Environmental Hazards 7(26) DOI: 10.22067/geo.v7i2.67365 (In Persian)

Hekmatpour M, Feyznia S, Ahmadi H and Khalilpour A (2007) Zonation of suitable areas for ground water artificial recharge in Varamin plain using GIS and Decision support system (DSS). Journal of Environmental Studies 33(42):1-8 (In Persian)

Iran Ministry of Energy (2005) Iran water resources management company guidelines on determining surface water qualitative privacy range. Available at (accessed on: June 2018): http://www.wrm.ir/SC.php?type=component_sections&id=86&sid=18 (In Persian)

Iran Ministry of Energy (2014) Office of standards and water and sewage projects, preparation of technical criteria for the country's water industry plan, instructions for determining the quantitative privacy range of wells and aqueducts. Available at (accessed on: June 2018):http://waterstandard.wrm.ir/SC.php?type=component_section&id=278&sid=56 (In Persian)

Kaliraj S, Chandrasekar N and Magesh NS (2014) Identification of potential groundwater recharge zones in Vaigai upper basin, Tamil Nadu, using GIS based analytical hierarchical process AHP technique. Arabian Journal of Geosciences 7(4):1385-1401

Karimi h, Naseri B and Naderi F (2013) Determination of suitable localities for flood spreading and artificial recharge using BLM model in Chardavol basin Ilam province. Iranian Journal of Watershed management Science & Engineering 7(21):71-76 (In Persian)

Keykhosravi G and Yarmoradi Z (2014) Locate suitable sites for artificial recharge surface water and flood spreading using geographic information system GIS (Case study: City of Sabzevar). Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR) 23(90):25-31 (In Persian)

Khanbazi Sabuki S, Kalantari N and Zarei M (2014) Locating of feasible artificial recharge sites using analytic hierarchy process AHP and GIS. In: Proc. of 32nd National & the 1st International Geosciences Congress, Geological Survey of Iran, Tehran (In Persian)

Khodayari M, Hessari B, Ahmadi H and Mohammadpor M (2017) Surveying effects of artificial recharge spreading. Water Resources Management 27(8):3071-3084

Ebrahimi A (2014) Locate areas of artificial recharge projects by using GIS and modeling the specified area (Cases study: Behshahr and Galogah). Master's thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz (In Persian)

Ebrahimi F, Karami G and Hafezi Moghadas N (2011) AHP method used in site selection of artificial recharge in Shahrood County. In: Proc. of the 7th Iranian Conference of Engineering Geology and the Environment, Shahrood University of Technology (In Persian)

Entezari M and Gholami M (2014) Potential groundwater resources of Romeshgan basin with GIS technique. Applied Geomorphology of Iran 2(4):31-43 (In Persian)

Feyzi Z, Keshtkar AR, Malekian A and Ghasemieh H (2016) Fuzzy AHP application for flood spreading site selection (Case study: South of Kashan plain). Journal of Water and Soil Science 20(76):129-141 (In Persian)

Foltz RC (2002) Iran's water crisis cultural political and ethical dimensions. Journal of Agricultural and Environmental Ethics 15(4):357-380

Ghahari GH and Pakparvar M (2007) Effect of floodwater spreading and consumption on groundwater resources in Gareh Bygone plain. Iranian Journal of Range and Desert Research 14(3):368-390 (In Persian)

Ghayoumian J, Ghermezcheshmeh B, Feyznia S and Noroozi AA (2005) Integrating GIS and DSS for identification of suitable areas for artificial recharge, Case study Meimeh basin, Isfahan, Iran. Environmental Geology 47(4):493-500

Ghayoumian J, Saravi MM, Feiznia S, Nouri B and Malekian A (2007) Application of GIS techniques to determine areas most suitable foe artificial ground water recharge in a Coastal aquifer in southern Iran. Journal of Asian Earth Sciences 30(2):364-374

Ghordooyi Milan M and Karami QH (2013-a) Qualitative assessment of water entering to Khoy artificial ponds. In: Proc. of 1st Conference on Applied Geo-Chemistry in Iran, Damghan University, Damghan (In Persian)

Ghordooyi Milan M and Karami QH (2013-b) Evaluating the effects of artificial nourishing. In: Proc. of 8th Conference of the Iranian Association of Engineering Geology and the Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad (In Persian)

Morovati M, Monavari M, Farshchi P and Hassani AH (2009) Artificial recharge schemes for aquifers provide a suitable solution for increasing groundwater levels. Journal of Human and Environment 7:68-77 (In Persian)

Moslemi H, Abkar AJ and Choopani S (2015) Evaluation studies on the effect of flood spreading on the development of water resources. Journal of Rainwater Catchment Systems 3(3):73-91 (In Persian)

Mousavi SF, Chitsazan M, Mirzaei Y, Shaban M and Mohammadibehzad HR (2009) Integration of remote sensing and GIS in order to potential suitable areas for groundwater recharge. Case study: Kamestan anticline. In: Proc. of Geomatics Conference, Iran National Cartographic Center, Tehran (In Persian)

Nakhaei M, Vadiati M and EsmaeiliFalak M (2014) Groundwater qualitative zoning of Varamin plain for agricultural applications using analytical hierarchy process method in GIS. Iran-Water Resources Research 9(3):94-98 (In Persian)

Naseri HR, Azizkhani MJ and Maknouni S (2009) Integration of GIS and MCDM for selection of appropriate site for artificial recharge case study Chahderaz region Kerman province. Iranian Journal of Geology 3(10):97-105 (In Persian)

Nasiri H, Boloorani AD, Sabokbar HA, Jafari HR, Hamzeh M and Rafii Y (2013) Determining the most suitable areas for artificial groundwater recharge via an integrated AHP method in GIS environment a case study: Garabaygan basin, Iran. Environmental Monitoring and Assessment 185(1):707–718

Nassimi A and Zare M (2015) Site selection of basins for artificial recharge of groundwater in Boushkan Catchment based on analytical hierarchical process (AHP). Water and Soil Science 25(1):125-141 (In Persian)

Rahimi M, Solaimani K, Babaei K and Zandi J (2016) Site selection of suitable areas for artificial groundwater recharge using analytical hierarchical processing AHP in GIS: A case study Dehgolan plain. International Bulletin of Water Resources and Development 3(4):84-95

Rahimi S, Roodposhti MS and Abbaspour RA (2014) Using combined AHP genetic algorithm in artificial ground water recharge site selection of Gareh Bygone plain, Iran. Environmental Earth Sciences 72(6):1979-1992

Ramesht MH and Arab Ameri A (2013) Zoning watershed for artificial recharge of groundwater using AHP and GIS techniques. Geography and Planning 17(45):69-96 (In Persian)

project on groundwater fluctuation of Khoy plain with GIS. In: Proc. of 2nd National Iranian Conference on Hydrology, Shahrkord University, Shahrkord (In Persian)

Kowsar SA (1995) Forms for controlling floods and their optimal productivity flood irrigation and artificial nutrition. Tehran, Publications of Forestry and Rangeland Research Institute of Iran, 522p (In Persian)

Krishnamurthy J, Kumar N, Jayaraman V and Manivel M (1996) An approach to demarcate groundwater potential zones through remote sensing and a geographical information system. International Journal of Remote Sensing 17(10):1867-1884

Krishnamurthy J and Srinivas G (1995) Role of geological and geomorphological factors in groundwater exploration a study using IRS LISS Data. International Journal of Remote Sensing 16(14):2595-2618

Mahdavi A, Nouri Emamzadei MR, Mahdavi Najafabadi R and Tabatabaei SH (2011) Identification of artificial recharge sites using fuzzy logic in Shahrekord basin. Journal of Water and Soil Science 15(56):63-78 (In Persian)

Maleki Gezelbar B, Abghari H, Alijanpour A and Nadiri A (2015) Locating artificial nourishing of groundwater using analytical hierarchy process (Case study: Khoy Plain, West Azarbaijan Province). In: Proc. of 1st National Conference on Geography, Tourism, Natural Resources, and Sustainable Development, Tehran (In Persian)

Marinoni O (2004) Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS. Computers & Geosciences 30(6):637-646

Mehrabi H, Zeinivand H and Hadidi M (2012) Site selection for groundwater artificial recharge in Silakhor Rangelands using GIS technique. Journal of Rangeland Science 2(4):687-695

Mehrvarz K and Kalantari Oskouei A (2007) Investigation of quaternary deposits suitable for floodwater spreading. In Proc. International Congress of River Basin Management, Antalya, 572-582

Ministry of Water Resources (2007) Manual on artificial recharge of groundwater. Government of India, 185p

Moradi M, Sadraddini AA, Nazemi AH and Rezazadeh P (2017) Investigation on quantitative changes of groundwater level of Khoy plain using Kriging statistical method. 2nd National Iranian Conference on Hydrology, Shahrekord University, Shahrekord (In Persian)

Saraf Ak and Choudhury PR (1998) Integrated remote sensing and GIS for groundwater exploration and identification of artificial recharge sites. International Journal of Remote Sensing 19(10):1825-1841

Senanayake IP, Dissanayake DM, Mayadunna BB and Weerasekera WL (2016) An approach to delineate groundwater recharge potential sites in Ambalantota, Sri Lanka using GIS techniques. Geoscience Frontiers 7(1):115-124

Shaeri AM and Rahmati AR (2012) Humans environmental laws regulation criteria and standards. Publications of IR Department of Environment, 336p (In Persian)

Shafiei M and Ghanbarzadeh Lak M (2018) Prioritizing artificial groundwater nourishing-flood spreading scenarios, based on analytical network process (ANP) (Case study: Khoy Plain Aquifer). Iran-Water Resources Research, 14(4): 140-159 (In Persian)

Shahidasht AR and Abasnejad A (2011) Survey of consequences of water table decline in Zarand plain and provision management remedies. IWRJ 4(7):119-124 (In Persian)

Vahabi J (2003) Analysis of flood spreading systems and introducing research needs. Journal of Pajouhesh and Sazandegi in Natural Resources 16(60):22-29 (In Persian)

Vaqharfard H and Moradi Dashtpagerdi M (2014) Delineation of groundwater recharge sites using GIS case study: Sefied Dasht. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 2(5):1316-1324

Zakizadeh F and Malekinezhad H (2012) Locating suitable areas for flood spreading using GIS and Boolean mathematical model. 1st International Conference on Rain Water Catchment Systems, Agricultural Research and Training Center of Khorasan Razavi, Mashhad, 1-10 (In Persian)

Zarghaami M (2005) Uncertain criteria in ranking inter-basin water transfer projects in Iran. 73rd Annual Meeting of ICOLD, 1-6 May, Tehran, Iran Paper No:180-S1 (In Persian)

Ramezani Mehrian M, Malekmohammadi B, Jafari HR and Rafii Y (2011) Site selection of the artificial groundwater recharge using multiple criteria decision making and geographic information system: Case study Hormozgan province Shemil Ashkara plain. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering 5(14):1-10 (In Persian)

Ravishankar MN and Mohan G (2005) A GIS based hydro-geomorphic approach for identification of site specific artificial recharge techniques in the Deccan Volcanic province. Journal of Earth System Science 114(5):505-514

Riad PH, Billib M, Hassan AA, Salam MA and El Din MN (2011) Application of the overlay weighted model and Boolean logic to determine the best locations for artificial recharge of groundwater. Journal of Urban and Environmental Engineering 5(2):57-66

Saeed Moghaddam M, Espahbod MR, Rezaei F and Bouzari S (2016) Detection of potential zones for artificial recharge of aquifers using geographic information system GIS in Aleshtar plain. In: Proc. of the 34th National and the 2nd International Geosciences Congress, Geological Survey of Iran, Tehran (In Persian)

Saaty TL (2001) Making with dependence and feedback. 2nd ed., RWS Publication

Sabuki S, Kalantari N and Zarei M (2014) Locating of feasible artificial recharge sites using analytic hierarchy process AHP and GIS. 32nd National and the 1st International Geosciences Congress, Geological Survey & Mineral Exploration of Iran, Tehran Iran (In Persian)

Safai R (2007) Providing a groundwater mathematical model, Komijan Arak plain. Master's thesis, University of Tehran (In Persian)

Samadi J (2016) Site selection modeling for artificial recharge in Kashan aquifer using statistical methods, AHP and groundwater environmental considerations. Iran-Water Resources Research 12(1):84-94 (In Persian)