JZEPN, 2024, 3(2), 77-95; DOI: 10.22034/JZEPN.2025.495674.1009

Print ISSN: 1561-9435 Online ISSN: 3092-779X

Journal of Zakhayer-e Enghelab (Pastoral Nomads)

Journal Homepage: https://www.jzepn.ir/

Research Article

Optimization and Locationing of Water Well Drilling Location based on Analytic Hierarchy Process (the Case of Selected Nomadic Areas of Esfarayen City)

Vahid Yazdani[1], Reza Ghorbani[2], Seyed Ali Hoseini[3]

[1]- Ph.D. in Water Engineering and CEO of Hydrope Mirab Shams Company, Bojnourd, Iran. (Corresponding Author: v.yazdani@yahoo.com)

[2]- Master of Civil Engineering and Deputy for Development and Infrastructure of Nomads Affairs of North Khorasan Province, Bojnourd, Iran.

[3]- Ph.D. in Economics and Expert in Economic and Social Studies of Nomads Affairs of North Khorasan Province, Bojnourd, Iran.

Abstract

Iran is one of the countries located in the arid belt of the Earth and is predicted to be one of the 66 countries experiencing water stress by the end of this century. For this reason, the use of freshwater resources for drinking, health, and industry has been prioritized. This study was conducted with the aim of finding the optimal location for drilling wells in order to provide drinking water to the nomads of the selected areas, increase livestock production, and create sustainable employment. Two nomadic regions of Hassanabad Javanzadeh (34 km from Esfarayen) and Qarjehbayer (154 km from Esfarayen) were selected as study areas. After field visits and meetings with the nomads and provincial administrators, a questionnaire based on the criteria for locating water wells was designed and the analytic hierarchy process was used to prioritize the criteria. The groundwater level in the study area varied between 20 and 90 meters and the electrical conductivity of the water varied between 840 and 7110 microsiemens/cm. In the Hasanabad Javanzadeh area, the water quality was satisfactory and its salinity was moderate in some places. The findings showed that the quantitative and qualitative characteristics of the aquifer, especially thickness and salinity, play a determining role and the distance from residential centers is the least important. In locating the wells. In order to determine the characteristics of the wells, considering the population forecast and the estimated water demand in the project horizon, the water demand of the Hasanabad Javanzadeh study area is (0.63) liters per second and the water demand of the Qarjeh-Bayer study area is (1) liters per second. Therefore, in order to provide water in the long term and also increase the efficiency of water withdrawal, the flow rates of the proposed wells for the Hasanabad Javanzadeh and Qarjeh-Bayer study areas were proposed as (2) and (3) liters per second, respectively, for pump selection.

Article Info

Keywords:
Hierarchy Analysis Process (AHP); Locationing; Maldari's Well; Hassan-Abad Javanzadeh and Qarjehbayer Nomadic Regions.

Article History:
Received:
09 October 2024
Accepted:
13 November 2024
Available online:
15 December2024

How to Cite: Yazdani, V., Ghorbani, R., & Hoseini, S. A. (2024). Optimization and Locationing of Water Well Drilling Location based on Analytic Hierarchy Process (the Case of Selected Nomadic Areas of Esfarayen City). *Journal of Zakhayer-e Enghelab (Pastoral Nomads)*, *3*(2), 77-95. 10.22034/jzepn.2025.495674.1009 [in Persian]

Copyright © 2024 The Authors. Published by Nomads' Affairs Organization of Iran.
This is an open access article under the CC BY NC license. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

ذخایر انقلاب (عشایر)، دورهٔ ۳، شمارهٔ ۲، صص ۹۵-۷۷، DOI: 10.22034/JZEPN.2025.495674.1009

شاپا چاپی: ۹۴۳۵-۱۵۶۱ شاپا الکترونیکی: ۷۷۹X- ۳۰۹۲

فصلنامهٔ ذخایر انقلاب (عشایر)

Journal Homepage: https://www.jzepn.ir/

مقالهٔ پژوهشی

بهینه‌سازی و مکان‌یابی موقعیت حفر چاه آب بر پایهٔ فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (مورد مطالعه: مناطق عشایری منتخب شهرستان اسفراین)

وحید یزدانی[۱]، رضا قربانی[۲]، سیّدعلی حسینی[۳]

[۱]- دکترای مهندسی آب و مدیر عامل شرکت هیدروپی میراب شمس، بجنورد، ایران. (نویسنده مسئول: v.yazdani@yahoo.com)

[۲]- کارشناس ارشد عمران و معاون توسعه و امور زیربنایی اداره‌کل امور عشایر خراسان شمالی، بجنورد، ایران.

[۳]- دکترای اقتصاد و کارشناس بررسی‌های اقتصادی و اجتماعی اداره‌کل امور عشایر خراسان شمالی، بجنورد، ایران.

چکیده

ایران، یکی از کشورهایی است که در کمربند خشک زمین قرار دارد و پیش‌بینی می‌شود تا پایان قرن جاری جزء ۶۶ کشور دچار تنش آبی قرار گیرد. به‌همین دلیل، استفاده از منابع آب شیرین برای شرب، بهداشت و صنعت در اولویت قرار گرفته است. این پژوهش با هدف مکان‌یابی بهینهٔ حفر چاه، به‌منظور تأمین آب شرب عشایر مناطق منتخب، افزایش تولیدات دامی و ایجاد اشتغال پایدار انجام شده است. دو منطقهٔ عشایری حسن‌آباد جوان‌زاده (۳۴ کیلومتری اسفراین) و قرجه‌بایر (۱۵۴ کیلومتری اسفراین) به‌عنوان محدوده‌های مطالعاتی انتخاب شدند. پس از بازدیدهای میدانی و برگزاری جلسات با عشایر و مدیران استانی، پرسشنامه‌ای مبتنی بر معیارهای مکان‌یابی موقعیت حفر چاه آب طراحی و از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی برای اولویت‌بندی معیارها استفاده شد. سطح آب زیرزمینی در محدودهٔ مورد مطالعه، بین ۲۰ تا ۹۰ متر و هدایت الکتریکی آب بین ۸۴۰ تا ۷۱۱۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر، متغیر بود. در منطقهٔ حسن‌آباد جوان‌زاده، کیفیت آب رضایت‌بخش و شوری آن در برخی نقاط در حد متوسط بود. یافته‌ها نشان داد که ویژگی‌های کمّی و کیفی آبخوان، به‌ویژه ضخامت و شوری، نقش تعیین‌کننده و و فاصله از مراکز مسکونی کمترین اهمیت را دارد. در مکان‌یابی چاه‌ها دارند. جهت تعیین مشخصات چاه‌ها، با توجه به پیش‌بینی جمعیت و برآورد نیاز آبی در افق طرح، نیاز آبی محدوده مطالعاتی حسن‌آباد جوان‌زاده (۰/۶۳) لیتر بر ثانیه و نیاز آبی محدودهٔ مطالعاتی قرجه‌بایر (۱) لیتر بر ثانیه است. بنابراین جهت تامین آب در بلندمدت و همچنین افزایش راندمان برداشت آب، دبی چاه‌های پیشنهادی برای محدوده‌های مطالعاتی حسن‌آباد جوان‌زاده و قرجه‌بایر به‌ترتیب (۲) و (۳) لیتر بر ثانیه جهت انتخاب پمپ پیشنهاد گردید.

اطلاعات مقاله

واژگان کلیدی:

فرآیند تحلیل سلسله-مراتبی؛

مکان‌یابی؛

چاه مالداری؛

مناطق عشایری حسن-آباد جوان‌زاده و قرجه‌بایر.

تاریخ‌ها:

دریافت مقاله:
۱۸ مهر ۱۴۰۳

پذیرش مقاله:
۲۳ آبان ۱۴۰۳

انتشار برخط:
۲۵ آذر ۱۴۰۳

استناددهی: یزدانی، وحید.، قربانی، رضا.، حسینی، سیّدعلی. (۱۴۰۳). بهینه‌سازی و مکان‌یابی موقعیت حفر چاه آب بر پایهٔ فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (مورد مطالعه: مناطق عشایری منتخب شهرستان اسفراین). *ذخایر انقلاب (عشایر)*، ۳(۲)، ۹۵-۷۷. 10.22034/jzepn.2025.495674.1009

Copyright © 2024 The Authors. Published by Nomads' Affairs Organization of Iran.
This is an open access article under the CC BY NC license. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱. مقدمه

امروزه جامعهٔ عشایری ایران به‌عنوان یک واقعیت اجتماعی و بخشی فعال از ساختار تاریخی–فرهنگی کشور شناخته می‌شود. گرچه جمعیت آن‌ها نسبت به جمعیت شهر و روستا کمتر است، امّا تأثیر اقتصادی، اجتماعی و نقش دفاعی و مرزداری آن‌ها انکارناپذیر است.

عشایر ایران یکی از میراث‌های ارزشمند این سرزمین هستند که نقشی چند برابر به‌ازای نسبت جمعیتی خود به جمعیت دو جامعهٔ شهری و روستایی در تأمین گوشت قرمز و مواد لبنی ایفا می‌کنند. دام عشایر به‌عنوان ذخیرگاه ژنتیکی دام کشور، فرهنگ ایلی به‌عنوان بخشی از سرمایهٔ ملی، دانش سازگاری با طبیعت، قلمرو گسترده با مناظر طبیعی متنوع و تلاش و سخت‌کوشی عشایر برای تولید، از جمله ظرفیت‌های اصلی این جامعه محسوب می‌شوند.

جمعیت عشایری استان خراسان شمالی در دورهٔ قشلاقی ۲۴۴۰ خانوار با جمعیت ۱۰,۵۴۸ نفر و در دورهٔ ییلاقی ۴۳۰۷ خانوار با جمعیت ۱۹۴۵۰ نفر است، به‌طوری‌که ۳/۴۷ درصد از جمعیت استان را جامعهٔ عشایری تشکیل می‌دهند. از نظر تعداد جمعیت، عشایر خراسان شمالی در رتبهٔ ۱۵ کشور و از نظر تولید گوشت قرمز در رتبهٔ ۱۲ کشوری قرار دارد. عشایر خراسان شمالی به‌طور عمده در نقاط مرزی ساکن هستند. نقش آن‌ها در تولید، اشتغال، انتقال فرهنگ ایرانی–اسلامی، مقابله با تهاجم فرهنگی به‌ویژه از سمت کشور ترکمنستان و ایجاد تعامل مثبت با همسایگان بسیار حائز اهمیت است.

ناپایداری شرایط اقلیمی، به‌ویژه پایین بودن میزان بارندگی و در عین حال، توزیع نامناسب و متغیر زمانی بارش‌ها از جمله مشخصه‌های اصلی مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌روند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که پایدارترین شیوهٔ مدیریت زمین و بهره‌برداری بهینه از منابع مناطق مذکور، زندگی شبانی و دامداری مبتنی بر کوچ‌نشینی است.

ایران با میانگین بارندگی سالانه کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر، در مقایسه با میانگین جهانی، جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. به همین دلیل، زندگی عشایری با جابه‌جایی از ییلاق به قشلاق و بالعکس به‌عنوان یک تکنیک سازگار با تغییرات اقلیمی و بهره‌برداری از منابع طبیعی شکل گرفته و از قدمتی چند هزار ساله در این سرزمین برخوردار است.

همزیستی و تعامل با محیط‌زیست، دانش بومی گسترده، مقررات عرفی و کوشش مداوم برای انطباق شیوهٔ زندگی با شرایط اقلیمی و جغرافیایی هر منطقه باعث شده است که نظام کوچ، نحوهٔ استقرار و فنون بهره‌برداری از منابع طبیعی در بین گروه‌های عشایری به اشکال گوناگون ظهور یابد.

یافته‌های مطالعات بین‌المللی نشان می‌دهد که کوچ‌نشینی و شیوهٔ زیست متعادل‌شدهٔ شبانی، به‌ویژه در مناطق ناپایدار و خشک، یک ضرورت محیط-زیستی است و حتی در برخی کشورهای توسعه‌یافته نیز تلاش می‌شود با تخصیص یارانه و ایجاد تسهیلات لازم برای جابه‌جایی دامداران، از طبیعت حفاظت شده و از فرهنگ و سبک زندگی کوچندگان به‌عنوان فرصتی برای جذب گردشگران بهره گرفته شود.

در مناطق گرم و خشک عشایری، عمدهٔ نیازهای آبی از طریق آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شد. یکی از مسائل مهم در مدیریت منابع آب زیرزمینی، تعیین محل مناسب برای حفر چاه‌های جدید، و تعداد و نرخ پمپاژ است به‌طوری که این چاه‌ها بتوانند نیازهای آبی را تأمین کنند. علاوه بر تأمین این نیازها، می-بایست شرایط توسعهٔ پایدار و الزامات محیط‌زیستی نیز مدنظر قرار گیرد (Ayvaz & Elçi, 2013).

با توجه به اهمیت آب در تأمین نیازهای اساسی جوامع عشایری و تأثیر آن بر زندگی روزمره و معیشت این قشر، بهینه‌سازی و مکانیابی چاه‌های آب در مناطق عشایری استان امری ضروری است. بی‌توجهی به نیازهای آبی عشایر در آینده، منجر به مهاجرت آن‌ها به حاشیه روستاها و شهرها خواهد شد و این اتفاق، تولیدکنندگان را به مصرف‌کنندگان بیکار تبدیل خواهد کرد؛ مسئله‌ای که امروزه در بسیاری از مناطق شهری مشاهده می‌شود.

از آن‌جا که عشایر مناطق حسن‌آباد جوان‌زاده و قرجه‌بایر از توابع شهرستان اسفراین با کمبود شدید آب شرب برای انسان و دام روبه‌رو هستند و این امر تنش‌های اجتماعی را نیز در پی داشته، این پژوهش ضمن بررسی معیارهای مربوط به مکان‌یابی بهینه، تلاش دارد تا با استفاده از مدل (AHP-GIS)، راهکارهای مؤثری برای مدیریت منابع آب ارائه دهد. بدین ترتیب، این مطالعه می‌تواند به افزایش بهره‌وری منابع آبی در مناطق عشایری، کاهش مضرات محیط‌زیستی و بهبود کیفیت زندگی عشایر کمک کرده و در نهایت به توسعه پایدار جامعه عشایری و بهینه‌سازی مصرف آب در این نواحی منجر شود.

۲. ادبیات و مبانی نظری

۱،۲. مبانی نظری

آمارها نشان می‌دهد تا سال ۲۰۵۰ میلادی نزدیک به ۵۵ درصد نیازهای آبی بشر از منابع آب زیرزمینی استحصال خواهد شد و اگر این روند ادامه یابد، ۷۰ درصد کشورهای جهان به‌نوعی با تنش آبی روبه‌رو می‌شوند. در دهه‌های گذشته، کشور ما از ۱۳۰ میلیارد مترمکعب منابع آب زیرزمینی برخوردار بود، اما در ۲۰ سال گذشته این میزان به ۱۱۰ میلیارد مترمکعب و در شش سال اخیر به کمتر از ۱۰۰ میلیارد مترمکعب کاهش یافته است (یزدانی و همکاران، ۱۴۰۰).

برداشت‌های بی‌رویه، حفر چاه‌های غیرمجاز و عدم نظارت کافی بر میزان برداشت‌ها فراتر از مجوز بهره‌برداری، موجب افت سطح و کاهش کیفیت آب زیرزمینی، نشست زمین در تعدادی از دشت‌ها، کاهش محسوس آب‌دهی چاه‌ها و در معرض نابودی قرار گرفتن برخی آبخوان‌های کشور شده است. نکتهٔ قابل‌توجه این است که با وجود افزایش تعداد چاه‌ها در سال‌های اخیر، توان آب‌دهی آن‌ها روندی نزولی داشته و کیفیت منابع آبی کشور در برخی دشت‌ها به‌شدت افت کرده و میزان شوری آن‌ها افزایش یافته است.

بر این مبنا، بیش از ۳۰۰ دشت از ۶۰۹ دشت کشور به‌عنوان دشت ممنوعه اعلام شده‌اند که در آن‌ها، بیش از حدِ ذخیرهٔ راهبردی، آب استفاده شده که به همین دلیل، سالانه نزدیک به پنج میلیون مترمکعب بیلان منفی گزارش می‌شود؛ بخش عمده‌ای از این دشت‌ها در نواحی مرکزی و شرق ایران قرار دارند.

از دیدگاه یزدانی و همکاران (۱۴۰۰) کاربرد آب‌های لب‌شور و شور در بخش کشاورزی را می‌توان به‌عنوان یک منبع تأمین آب در نظر گرفت و آن‌را در زمرهٔ انتخاب‌های راهبردی مهم و اهداف ملی توسعه منظور کرد. بدیهی است این‌گونه آب‌ها در شرایط خاص و برای تولید محصولات مناسب، قابل استفاده هستند؛ بنابراین نباید آن‌ها را به‌عنوان نامطلوب برای آبیاری قلمداد کرد.

از طرفی، روند برداشت بی‌رویهٔ آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و پیش‌روی آب شور در سفره‌های آب شیرین، باعث شده است تا حجم آب شور افزایش یابد و گستردگی آن بیشتر شود. بنابراین، دورنمای آب و آبیاری بر اساس شناخت وضعیت موجود، بیانگر گرایش به سمت

استفاده از آب‌های نامتعارف (مانند آب شور زهکش‌ها، فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی، آب‌های شور زیرزمینی و آب دریا) است.

به‌ویژه در مناطق عشایری، تأمین منابع آبی پایدار به یکی از چالش‌های اساسی تبدیل شده است. از آنجا که بخش قابل‌توجهی از معیشت عشایر به دامداری وابسته است، دسترسی مداوم و مطمئن آن-ها به منابع آب ضروری است. برای این جامعه، عدم تأمین مناسب آب می‌تواند تهدیدی جدی برای بقای فرهنگی و اقتصادی آن‌ها باشد. از این‌رو، بهینه‌سازی مکان‌یابی چاه‌های آب به‌عنوان بخشی از راهکارهای مقابله با این چالش‌ها حائز اهمیت است.

با توجه به اینکه مسئلهٔ اصلی پژوهش، انتخاب بهترین مکان‌ها برای حفاری چاه‌های آب بر حسب معیارهای خاص هر منطقه است، روش تصمیم‌گیری چندشاخصه به پژوهشگران این امکان را می‌دهد که با در نظر گرفتن معیارهای متنوع، مانند دسترسی به منابع آب، کیفیت آب و تأثیرات محیطزیستی، بهترین گزینه‌ها را شناسایی کنند. در این راستا، مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به‌خصوص در حوزه‌های وسیع و متنوعی که دارای چالش‌های خاصی هستند، بسیار مناسب است.

روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، مجموعه‌ای از تکنیک‌ها (از جمله جمع وزن‌ها یا تحلیل‌های هم‌گرایی) را شامل می‌شود که اجازه می‌دهد طیفی از معیارهای وابسته به یک موضوع، امتیازدهی و وزن‌دهی شوند و سپس توسط کارشناسان و گروه‌های ذی‌نفع رتبه‌بندی گردند. تصمیم‌گیری چندمعیاره فرآیندی برای ارزش‌گذاری گزینه‌هایی است که بر پایهٔ چند معیار ارزیابی شده‌اند. این روش به دو طبقه وسیع تصمیم‌گیری چندهدفه و تصمیم‌گیری چندشاخصه تقسیم می‌شود (Sovary, 2008).

اگر مسئله مورد بررسی، انتخاب بهترین گزینه از میان مجموعه‌ای محدود بر اساس وزن ویژگی‌های آن‌ها باشد، این یک تصمیم‌گیری چندشاخصه محسوب می‌شود. تصمیم‌گیری چندهدفه با انتخاب بهترین گزینه‌ها بر مبنای مجموعه‌ای از اهداف نسبتاً ناسازگار سروکار دارد. مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه برای طراحی و مدل‌های چندشاخصه برای انتخاب گزینه برتر به کار می‌روند (Petti, 2004 به نقل از اصغرپور، ۱۴۰۲).

با توجه به اینکه روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی امکان بررسی مناطق وسیع‌تر را فراهم می‌کند و از دامنه و انعطاف‌پذیری بالاتری نسبت به روش‌های سنتی برخوردار است، این روش برای مطالعه حاضر انتخاب شد. این انتخاب، این امکان را فراهم می‌آورد که با در نظر گرفتن معیارهای مختلف، بهترین مکان‌ها برای حفاری چاه‌های آب را شناسایی کرده و به تأمین منابع آب پایدار برای جامعه عشایری کمک شود. در نهایت، این مطالعه می‌تواند به‌عنوان مدلی برای ارتقاء کارایی مدیریت منابع آبی در سایر مناطق مشابه عمل نماید.

۲،۲. پیشینه پژوهش

از دههٔ (۱۹۹۰)، راهبرد یکپارچه‌سازی تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌وسیلهٔ (GIS) برای حل مسائل برنامه‌ریزی فضایی، توجه بسیاری از برنامه‌ریزان را به خود جلب کرد. روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ظرفیت زیادی برای کاهش هزینه و زمان و افزایش دقت در تصمیم‌گیری‌های فضایی دارد و می‌تواند چارچوب مناسبی برای حل مسائل در کاربردهای مختلف فضایی ارائه کند (نصیری، ۱۳۸۸).

معروفی و همکاران (۱۳۸۸) فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی را یکی از روش‌های ساده و ابزاری دقیق قدرتمند برای تصمیم‌گیری و انتخاب از میان چند گزینه می‌دانند که در مطالعات مرتبط با کیفیت

آب و اثرات متقابل آن کاربرد فراوانی دارد. این روش از انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار بوده و به‌ویژه در شرایطی که انتخاب فنی بین چند گزینه دشوار است، راهکار مناسبی به‌شمار می‌آید (Bertolini *et al.*, 2006).

فتاحی و آقاجانی (۱۳۹۲) معتقدند افزایش اهمیت مدیریت آب شهری منجر به تلاش‌های گسترده‌تری برای یافتن راه‌حل‌های علمی برای این مسئله شده است. وجود عوامل و معیارهای فراوانی که ممکن است در تعارض با یکدیگر باشند، گزینه‌های متعددی برای استفاده از منابع آب به‌وجود می‌آورند. این موارد لزوم استفاده از علوم تصمیم‌گیری چندمعیاره را تقویت می‌کنند.

در پژوهشی (کرمی و موسوی، ۱۳۹۳) برای مکان‌یابی مناسب حفر چاه از عواملی همچون پمپاژ چاه، حریم اطراف چاه، زمین‌شناسی، هزینه، هیدروژئوشیمی، هیدروژئولوژی و هیدروکلیماتولوژی استفاده کردند. لایه‌های اطلاعاتی در محیط ArcGISوارد شده و وزن‌دهی به معیارها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق فازی انجام شد. سپس با تلفیق وزن‌های به‌دست‌آمده با لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS، تحلیل مکان‌یابی صورت گرفت و نقشهٔ مکان‌یابی تولید شد.

یزدانی و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، به طبقه‌بندی معیارهای انتخاب مکان مناسب برای استخراج آب شور در دشت بجستان پرداختند. آن‌ها دو سناریو (استفاده از چاه‌های موجود در منطقه و حفر چاه‌های جدید با دبی موردنیاز) را بررسی کردند. نتایج نشان داد که سیستم تحلیل سلسله‌مراتبی می‌تواند مکان مناسب برای حفر چاه‌ها را تعیین و جانمایی کند. همچنین، با توجه به موقعیت حوضه بجستان در کویر نمک و وجود منابع سطحی و زیرزمینی آب شور، صنعت شیرین‌سازی آب به‌عنوان راه‌حلی منطقی و قابل‌اطمینان برای مدیریت این منابع و مقابله با کم‌آبی منطقه پیشنهاد شد.

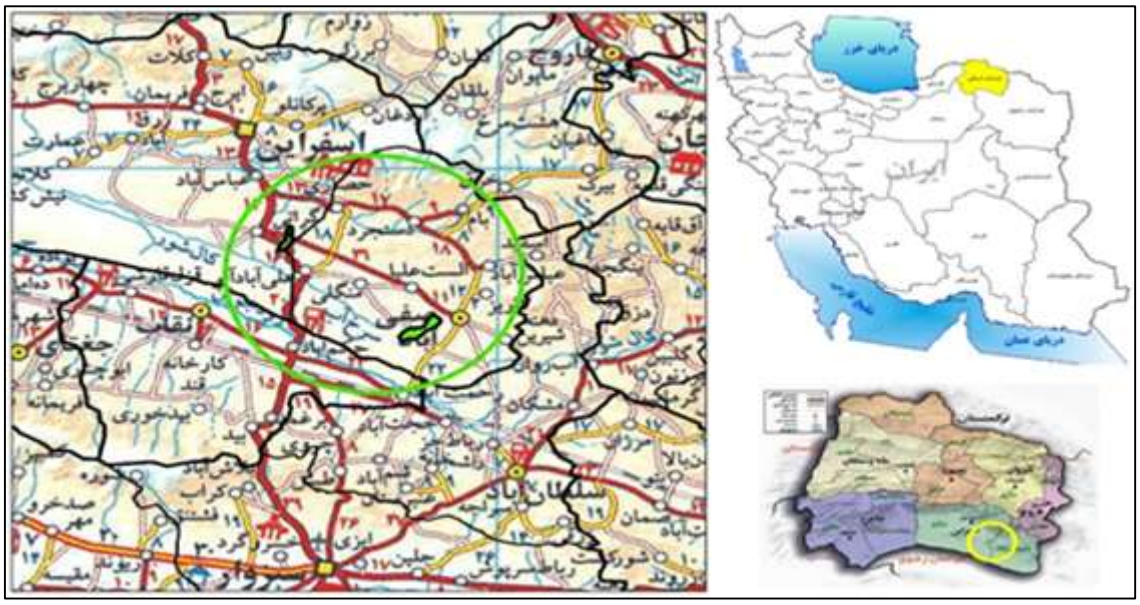
در مجموع، پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ابزارهای مؤثری برای مکان‌یابی و بهینه‌سازی منابع آبی هستند. این روش‌ها به ویژه در شرایطی که گزینه‌های متعدد با معیارهای متضاد وجود دارند، می‌توانند به اتخاذ تصمیمات دقیق و کارآمد کمک کنند. در این راستا، مطالعه حاضر با هدف بهینه‌سازی و مکان‌یابی حفر چاه‌های آب در مناطق عشایری منتخب شهرستان اسفراین، می‌تواند راهکارهای مؤثری برای تأمین منابع آبی این جامعه ارائه دهد.

۳. روش‌شناسی

شهر ستان ا سفراین با جمعیتی بالغ بر ۱۲۰۵۱۳ نفر (معادل ۳۶۵۱۹ خانوار) در استان خراسان شمالی واقع شـده اسـت. این شـهرسـتان بین طول‌های جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۷ دقیقه شـرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی قرار دارد. در میان ارتفاعات منطقه، قلهٔ شاه‌جهان در رشته‌کوه آلاداغ از سـایر قله‌ها بلندتر اسـت. از جمله دیگر کوه‌های شـاخص منطقه می‌توان به شـانو، دلقره، برمهان، پاتو، نادری، خیبران، ار سن، کول، گاوتیغ و قره‌داش اشـاره کرد. شـکل (۱)، موقعیت جغرافیایی شهر ستان ا سفراین و راه‌های د ستر سی به مناطق مورد مطالعه را نشـان می‌دهد. به‌علاوه، در جدول (۱)، موقعیت جغرافیایی محل ا سکان ع شایر، محل برداشـت آب (پیشـنهادی از سـوی اداره‌کل امور ع شایر خرا سان شمالی) و محل پی شنهادی جهت تأمین آب برای عشایر منطقه گزارش شده است.

مناطق ع شایری دارای چاه‌های مالداری شامل دو منطقهٔ عشـایری حسـن‌آباد جوان‌زاده (در ۳۴

کیلومتری شـــهر اســـفراین) و قرجه‌بایر (در ۱۵۴ کیلومتری شـــهر اســـفراین) هســـتند. ۶۰ خانوار در منطقهٔ عشـــایری قرجه‌بایر و ۱۲ خانوار در منطقهٔ حسن‌آباد جوان‌زاده سکونت دارند. عشایر قرجه‌بایر مالک حدود ۷۰۰۰ رأس دام ســـبک هســـتند که سالانه به‌طور میانگین حدود ۱۷۰ تُن گوشت قرمز و ۱/۲ تُن شـــیر تولید می‌کنند. همچنین، عشـــایر منطقهٔ حسن‌آباد جوان‌زاده دارای حدود ۲۵۰۰ رأس دام سبک هستند که سالانه حدود ۶۰ تُن گوشت قرمز و ۰/۴۵ تُن شیر تولید می‌نمایند.



شکل (۱) موقعیت و راه‌های دسترسی به مناطق مورد مطالعه – منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

جدول (۱) موقعیت جغرافیایی مناطق عشایری مورد مطالعه

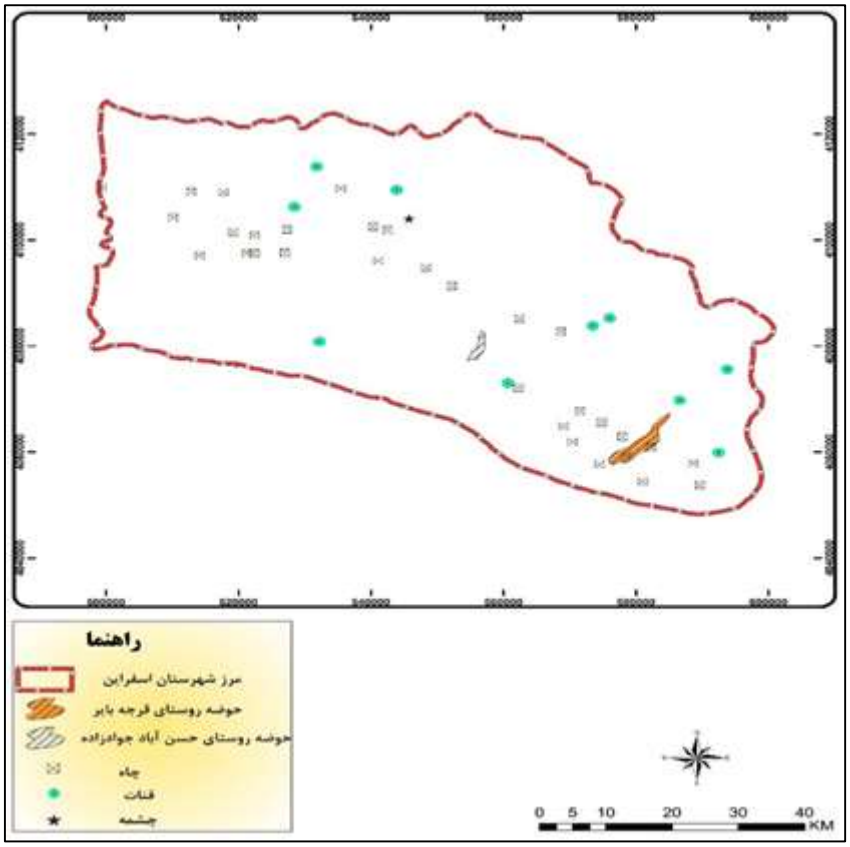
منطقه عشایری	شرح	موقعیت جغرافیایی	
		Y UTM	X UTM
حسن‌آباد جوان‌زاده	محل پیشنهادی برداشت آب	۴۰۷۷۲۲۶/۴۵	۵۵۴۵۶۱/۴
	محل اسکان عشایر	۴۰۷۶۹۸۴/۶	۵۵۴۶۱۹/۴
	محل بهره‌برداری آب	۴۰۷۷۰۰۵/۸	۵۵۴۵۶۰/۳
قرجه‌بایر	محل پیشنهادی برداشت آب	۴۰۵۸۰۱۹/۸	۵۷۶۳۹۳/۸
	محل اسکان عشایر	۴۰۵۷۷۶۳/۶	۵۷۵۷۴۰/۶
	محل بهره‌برداری آب	۴۰۵۷۷۶۳/۶	۵۷۵۷۴۰/۶

منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

برای تعیین محل بهینه و مشخصات فنی چاه‌های پیشنهادی، ابتدا نواحی‌ای که توسط منابع آب سطحی تغذیه می‌شوند، شناسایی شدند. سپس با بهره‌گیری از مطالعات فیزیوگرافی، اقلیمی، هواشناسی و آب زیرزمینی، و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS، مکان مناسب برای حفر چاه‌ها و مشخصات فنی آن‌ها تعیین شد.

با توجه به احتمال وجود ارتباط هیدرولیکی بین منابع آب زیرزمینی آبخوان، انجام بررسی‌های کمّی و کیفی الزامی است. منابع آب زیرزمینی شهرستان اسفراین شامل چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق، قنات‌ها

و یک چشمه می‌باشد. همان‌گونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، پنج رشته قنات در ارتفاعات و با فاصله از محدوده‌های مطالعاتی قرار دارند و تنها یک چشمه نیز در موقعیتی مرتفع و دور از محدوده مطالعاتی واقع شده است.



شکل (۲) موقعیت منابع آب زیرزمینی - منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

پراکنش چاه‌ها در اطراف محدوده‌های مطالعاتی (در مناطق دشت و ارتفاعات)، نشان‌دهندهٔ موقعیت مطلوب‌تر آن‌ها برای تعیین نوع منبع به‌منظور مکان‌یابی است. در مجموع، ۱۸ حلقه چاه عمیق و دو حلقه چاه نیمه‌عمیق در منطقه شناسایی شده‌اند[۱] که در جدول (۲) و (۳) اطلاعات آن‌ها گزارش شده است.

هدایت الکتریکی[۲] (EC) یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفی آب‌های زیرسطحی و زیرزمینی به‌شمار می‌رود. بر اساس داده‌های جدول (۲)، بیشترین مقدار هدایت الکتریکی برابر با ۷۱۱۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر مربوط به چاه عمیق زرق‌آباد و کمترین مقدار معادل ۸۴۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر مربوط به چاه عمیق جنوب زاری بوده است. مقدار کل املاح محلول[۳](TDS) با هدایت الکتریکی رابطهٔ مستقیم دارد. بر این اساس، بیشترین مقدار (TDS) معادل ۴۳۲۰ میلی‌گرم بر لیتر در چاه

[۱]- بر اساس داده‌های اخذ شده از ادارهٔ آب‌منطقه‌ای استان خراسان شمالی، تراز آب زیرزمینی در منطقه، بین ۱۰۲۸ تا ۱۳۰۸ متر و عمق سطح ایستابی آب از سطح زمین بین ۲۰ تا ۹۰ متر متغیر است.

[۲] Electrical Conductivity (EC)

[۳] Total Dissolved Solids (TDS)

زرق‌آباد و کمترین مقدار معادل ۵۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در چاه جنوب زاری اندازه‌گیری شده است.

یکی دیگر از شاخص‌های مهم کیفیت آب، سختی کل[۱] (TH) می‌باشد که بر مبنای کربنات کلسیم سنجیده می‌شود. بیشترین سهم سختی آب مربوط به یون‌های کلسیم و منیزیم است. در مناطق دارای ترکیبات گچی، سختی آب‌های زیرزمینی گاهی از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیز فراتر می‌رود.[۲] بر اساس داده‌های حاصل از نمونه‌برداری، بیشترین و کمترین مقادیر سختی کل به‌ترتیب برابر با ۹۷/۰۳ میلی‌گرم بر لیتر در چاه عمیق اسماعیل‌آباد و ۱۶/۹ میلی‌گرم بر لیتر در چاه تخته سرفراز بوده است. نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که حدود ۴۰ درصد از منابع آب زیرزمینی مورد بررسی دارای سختی کل بالاتر از استاندارد جهانی هستند.

استانداردهای مختلفی برای ارزیابی کیفیت منابع آب وجود دارد که می‌توان با استناد به آن‌ها، مناسب‌ترین نوع استفاده از آب منطقه را تعیین نمود. در این پژوهش، از استانداردهای ارائه‌شده توسط نی‌ریزی (۱۳۷۷) برای بررسی منابع آبی منطقه استفاده شده است. مبنای این طبقه‌بندی، میزان آب-شویی ناخواسته در مزارع آبی و اثر آن بر کاهش عملکرد محصولات زراعی است.

جدول (۲) مقادیر پارامترهای کیفی آب در آبخوان

محل	نوع سامانه آبدهی	UTM X	UTM Y	EC	TDS	TH	SAR	pH
خراشا	چاه عمیق	۴۸۴۵۵۹	۴۱۰۶۴۸۵	۴۰۴۰	۲۳۵۵	۴۷/۷۳۶۳	۹/۵۷۱۵۵	۷/۱۹
سنخواست	چاه عمیق	۴۸۷۱۵۰	۴۱۱۲۵۰۰	۴۶۵۰	۲۷۸۰	۵۱/۴۶۰۸	۹/۸۵۳۵۰۹	۷/۲۹
سنخواست	چاه عمیق	۴۸۷۴۳۴	۴۱۱۰۲۶۸	۷۰۴۰	۴۲۶۰	۹۶/۰۴۹۸	۱۰/۸۸۷۲۲	۷/۴۷
سنخواست	چاه عمیق	۴۸۹۳۰۹	۴۱۰۵۶۸۳	۳۲۵۰	۲۰۵۰	۲۴/۲۸۴۷	۱۰/۲۷۹۰۴	۷/۶۳
کلاته شور	چاه عمیق	۴۹۷۱۲۹	۴۱۱۰۲۷۱	۱۳۱۰	۸۱۰	۲۰/۸۲۷۸	۳/۹۰۴۶۱۳	۷/۶۵
انجیرلی	چاه عمیق	۴۹۷۶۲۶	۴۰۹۸۳۹۹	۶۸۸۰	۴۰۹۰	۸۹/۳۰۰۹	۱۱/۸۶۲۸۸	۷/۴۲
تخته سرفراز	چاه عمیق	۴۹۹۳۳۴	۴۱۰۹۹۳۹	۸۷۰	۵۴۰	۱۶/۸۹۷۵۵	۲/۲۲۱۴۸۸	۷/۴۳
اسماعیل آباد	چاه عمیق	۵۰۷۰۲۴	۴۰۹۷۶۵۰	۵۹۴۰	۳۴۹۰	۹۷/۰۲۷۶	۸/۵۱۷۲۳۸	۷/۲۳
جنوب زاری	چاه عمیق	۵۱۲۸۰۵	۴۱۰۹۲۷۰	۸۴۰	۵۱۰	۱۹/۵۵۶۳۵	۱/۳۱۶۶۵۷	۷/۳۸
حاجی آباد	چاه عمیق	۵۱۴۱۰۶	۴۱۰۱۵۹۹	۱۸۳۰	۱۰۳۵	۳۰/۸۴۷۷	۳/۴۸۲۶۰۳	۷/۴۹
مهدی آباد	چاه عمیق	۵۱۴۳۲۱	۴۰۹۶۹۷۳	۶۵۷۰	۳۹۱۰	۸۰/۱۱۲۱۵	۱۱/۰۳۴۵۸	۷/۰۸
چهار برج	چاه عمیق	۵۱۷۷۱۵	۴۱۰۹۰۱۰	۲۱۶۰	۱۲۶۵	۳۱/۷۳۷۶	۵/۴۴۵۲۷۵	۷/۳۹
عمارت	چاه عمیق	۵۱۹۲۳۶	۴۱۰۱۴۶۳	۱۵۷۰	۱۰۱۰	۲۶/۴۱۸۰۵	۳/۸۹۳۶۶۶	۷/۲۹
زرق آباد	چاه عمیق	۵۲۲۴۹۹	۴۰۹۹۲۸۶	۷۱۱۰	۴۳۲۰	۹۶/۱۸۱۶۵	۱۰/۹۰۸۹۶	۷
کربلایی علیخان	چاه عمیق	۵۳۱۶۰۰	۴۱۱۱۸۰۰	۱۳۴۰	۸۰۵	۲۹/۷۰۳۰۵	۲/۰۵۳۶۵۳	۷/۳۵
ایرج	چاه عمیق	۵۳۵۴۴۸	۴۱۰۹۶۸۳	۱۵۱۰	۱۰۵۰	۳۱/۸۶۷۵	۲/۱۵۰۳۸۵	۷/۰۵
کلاته سادات	چاه عمیق	۵۳۶۵۹۲	۴۱۰۳۶۷۵	۲۸۶۰	۱۶۹۰	۴۷/۹۰۵۱	۵/۰۴۲۰۶	۷/۴۶
جوشقان	چاه عمیق	۵۴۱۱۳۵	۴۰۹۶۰۷۰	۲۴۴۷	۱۴۹۰	۳۷/۰۲۷۲	۵/۴۲۱۶۶۵	۷/۱۵
کوشکی	چاه عمیق	۵۴۲۵۳۱	۴۱۰۱۸۶۳	۱۲۸۰	۸۱۵	۳۱/۲۰۶۳	۱/۰۰۵۶۸۷	۶/۷۹
قهرمان آباد	چاه عمیق	۵۵۲۲۲۵	۴۰۹۱۳۲۹	۲۰۲۰	۱۱۹۰	۲۵/۶۰۰۱	۴/۹۳۳۳۴۴	۶/۴۷

منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

[۱] Total Hardness (TH)

[۲]- مبتنی بر توصیهٔ سازمان بهداشت جهانی، سختی آب شرب نباید از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر تجاوز کند و در شرایط ایده‌آل، کمتر از ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد. سختی آب در صنایع مختلف نیز نقش تعیین‌کننده دارد و به‌ویژه در صنایعی مانند تهویه، تولید کاغذ، فرآوری مواد معدنی و نساجی، افزایش سختی آب می‌تواند باعث ایجاد رسوب، اُفت عملکرد و کاهش کیفیت محصولات شود.

جدول (۳) مقادیر پارامترهای کیفی (آنیون‌ها) آب در آبخوان

محل	so_4	cl	hco_3	co_3	no_3	na%	na	k	mg	ca
خراشا	۱۳/۵۵	۲۳/۵۲	۴/۲۵	۰	۰	۰/۲۶۳	۲۶/۳	۰/۱۱	۶,۲	۸,۹
سنخواست	۹/۵۲	۳۰/۱۳	۶/۴۵	۰	۰	۰/۲۸۱۳	۲۸/۱۳	۰/۱۳	۶,۶۵	۹,۶۵
سنخواست	۱۳/۸۵	۵۳	۳/۲۵	۰	۰	۰/۴۱۶	۴۱/۶	۰/۱۴	۱۴,۳	۱۴,۹
سنخواست	۵/۵۷	۲۳/۰۶	۴/۲۵	۰	۰	۰/۲۰۹۴	۲۰/۹۴	۰/۱	۲,۲	۶,۱
کلاته شور	۵/۹	۳/۳۳	۴/۳	۰	۰	۰/۰۶۹۳	۶/۹۳	۰/۰۷	۳,۱۵	۳,۱۵
انجیرلی	۲۵/۸۲	۳۶/۸	۵/۹	۰	۰	۰/۴۳۱	۴۳/۱	۰/۱۷	۱۴,۴۵	۱۱,۹۵
تخته سرفراز	۲/۷۸	۱/۸۸	۳/۹۵	۰	۰	۰/۰۳۵۳	۳/۵۳	۰/۰۶	۲,۶۵	۲,۴
اسماعیل‌آباد	۲۱/۵	۳۵/۱۶	۵/۱	۰	۰	۰/۳۲۶	۳۲,۶	۰/۱۶	۱۴,۷۵	۱۴,۵۵
جنوب زاری	۳/۲	۱/۵۲	۳/۸	۰	۰	۰/۰۲۲۹	۲,۲۹	۰/۰۹	۲,۷۵	۳,۳
حاجی‌آباد	۷/۵۹	۶/۱۳	۴/۳	۰	۰	۰/۰۷۶۳	۷,۶۳	۰/۰۹	۴,۲۵	۵,۳۵
مهدی‌آباد	۲۲/۳۳	۳۸/۱	۴/۱	۰	۰	۰/۳۹۱۳	۳۹,۱۳	۰/۱۷	۱۰,۷	۱۴,۴۵
چهار برج	۶/۰۹	۱۰/۷۲	۴/۹۵	۰	۰	۰/۱۱۹۳	۱۱,۹۳	۰/۱۶	۴,۸	۴,۸
عمارت	۵/۸۴	۵/۴۵	۴/۴۵	۰	۰	۰/۰۷۸۶	۷,۸۶	۰/۰۹	۳,۷۵	۴,۴
زرق‌آباد	۱۷/۷۹	۴۹	۳/۶۵	۰	۰	۰/۴۱۷۹	۴۱,۷۹	۰/۱۸	۱۴,۱۵	۱۵,۲
کربلایی علیخان	۴/۵۳	۵/۶۸	۳/۵۵	۰	۰	۰/۰۴۳۲	۴,۳۲	۰/۰۷	۴,۷	۴,۱۵
ایرج	۴/۲	۵/۵۸	۵/۴۵	۰	۰	۰/۰۴۸۸	۴,۸۸	۰/۰۷	۳,۸	۶,۵
کلاته‌سادات	۱۲/۷۳	۱۲/۸۶	۴/۱۵	۰	۰	۰/۱۳۹	۱۳,۹	۰/۱۲	۶,۱۵	۹,۰۵
جوشقان	۷/۰۲	۱۱/۹	۵/۴	۰	۰	۰/۱۲۸۳	۱۲,۸۳	۰/۱۳	۵,۶	۵,۶
کوشکی	۴/۲۴	۳/۱۷	۵/۲	۰	۰	۰/۰۲۲۶	۲,۲۶	۰/۰۸	۳,۷	۶,۴
قهرمان‌آباد	۶/۸۲	۸/۲۵	۴/۲۵	۰	۰	۰/۱۰۲۳	۱۰,۲۳	۰/۱۲	۲,۵۵	۶,۰۵

منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

بر اساس مشاهدات، حتی زمانی که آبیاری با سیستم‌های تحت فشار و به میزان نیاز رطوبتی خاک انجام می‌شود، نفوذ عمقی آب می‌تواند منجر به از دست رفتن حدود ۱۰ درصد از آب آبیاری شود. به این پدیده، نفوذ اجتناب‌ناپذیر یا آبشویی ناخواسته گفته می‌شود. همچنین به‌عقیدهٔ رجب (Rajab, 1998)، کسر آب‌شویی به‌طور غیرمستقیم و در نتیجهٔ راندمان پایین آبیاری، به‌عنوان تلفات اجتناب‌ناپذیر در نظر گرفته می‌شود.

با در نظر گرفتن راندمان حداکثری سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد و راندمان سیستم‌های آبیاری سطحی در شرایط موجود معادل ۵۰ تا ۶۰ درصد، می‌توان حداقل کسر آب‌شویی را برای خاک‌های با بافت متوسط، در حدود ۲۰ درصد (LF = 0.2) در نظر گرفت. بنابراین، فرض چنین ضریبی در مدیریت موجود سیستم‌های آبیاری، منطقی و واقع‌بینانه به نظر می‌رسد.

بر این اساس، می‌توان شوری عصارهٔ اشباع خاک را تحت شرایط آبیاری با آب‌های دارای کیفیت متفاوت برآورد کرد و با استفاده از آن، عملکرد نسبی گیاهان مختلف را تخمین زد. در این مدل، پتانسیل تولید نسبی گیاهان زراعی بر اساس داده‌های ارائه‌شده توسط مس (Mass, 1984) تعیین می‌شود.

در طبقه‌بندی یادشده، اثر شوری آب آبیاری بر تولید گیاهان در چهار گروه حساس، نیمه‌حساس، نیمه‌مقاوم و مقاوم مورد تحلیل قرار گرفته و در شرایطی با ضریب آب‌شویی حدود ۲۰ درصد، مقادیر آستانه کاهش عملکرد در جدول (۴) ارائه شده است. در صورتی که آبیاری بیش از حد معمول باشد یا بافت خاک سبک‌تر بوده و ضریب آبشویی بیش از

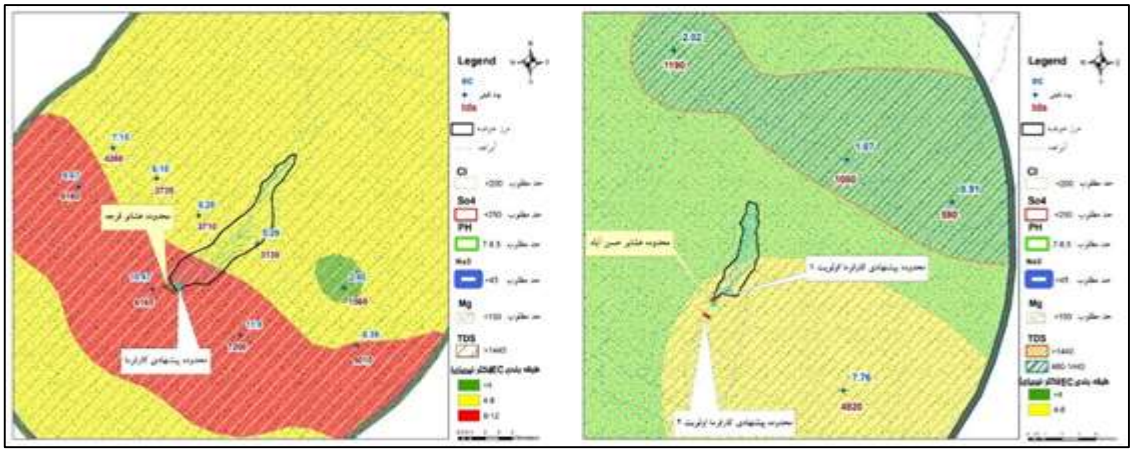
۲۰ درصد در نظر گرفته شود، آستانه‌های تولید محصول افزایش یافته و در نتیجه، امکان استفاده از آب‌های شور با مقبولیت بیشتری فراهم می‌شود. با افزایش ضریب آب‌شویی (LF) چه در اثر کاربرد بیشتر آب آبیاری و چه به‌دلیل سبکی بافت خاک، میزان تولید محصول نسبت به مقادیر ارائه‌شده در جدول‌های استاندارد افزایش یافته و در نتیجه، استفاده از آب‌های شور توجیه‌پذیرتر خواهد بود.

جدول (٤) طبقه‌بندی آب شور برای مصارف کشاورزی در شرایط (LF = 0.2)*

شوری آب آبیاری	تأثیرات آن بر تولیدات زراعی
شوری کم (EC < 4ds/m)	اغلب گیاهان محصول مناسب خواهند داشت. بعضی از گیاهان حساس به شوری نظیر ذرت حدود ۳۰ درصد و گیاهان خیلی حساس نظیر لوبیا حدود ۵۰ درصد محصول را از دست می‌دهند.
لب‌شور (4 < EC < 8ds/m)	گیاهان مقاوم به شوری نظیر چغندر، پنبه و جو محصول مناسب می‌دهند. گیاهان نیمه‌مقاوم نظیر گندم حدود ۳۰ درصد و یونجه ۵۰ درصد محصول را از دست می‌دهند.
شوری متوسط (8 < EC < 12ds/m)	گیاهان مقاوم به شوری حدود ۳۰ درصد و گیاهان نیمه مقاوم بیش از ۵۰ درصد محصول را از دست می‌دهند.
شوری زیاد (EC < 12ds/m)	مناسب کشت گیاهان شور زیست، گیاهان مقاوم به شوری بیش از ۵۰ درصد محصول را از دست می‌دهند.

منبع: (پژوهش حاضر، ۱٤۰۳)

بر اساس تجزیه و تحلیل‌های کیفی نمونه‌های برداشت‌شده و همچنین نتایج پهنه‌بندی کیفی انجام‌شده در محدودهٔ مطالعاتی قرجه‌بایر (مطابق شکل ۲)، پارامترهای کیفی نظیر منیزیم، کلراید، سولفات و pH در محدودهٔ قابل‌قبول قرار داشته و محدودیتی در مصرف ایجاد نمی‌کنند. تنها عامل محدودکننده در این منطقه، شوری آب است. با توجه به داده‌های کیفی و پهنه‌بندی انجام‌شده (شکل ۲) و همچنین با استناد به طبقه‌بندی استاندارد (جدول ۴)، آب‌های منطقه قرجه‌بایر از نظر شوری در ردهٔ آب‌های با شوری زیاد برای مصارف کشاورزی قرار می‌گیرند.



شکل (۲) پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب (پهنهٔ سمت راست) قرجه‌بایر (پهنهٔ سمت چپ) - منبع: (پژوهش حاضر، ۱٤۰۳)

پارامترهای کیفی اندازه‌گیری‌شده در منطقهٔ قرجه‌بایر بر اساس شکل (۲) و طبقه‌بندی نی‌ریزی (۱۳۷۷) برای محدودهٔ مطالعاتی حسن‌آباد جوان‌زاده در وضعیت مطلوب قرار دارند و محدودیتی از این

نظر وجود ندارد. تنها عامل محدودکنندهٔ کیفیت آب در این منطقه، شوری آب است. در ضمن، با توجه به داده‌های کیفی و بر اساس طبقه‌بندی انجام‌شده، محدودهٔ قرجه‌بایر در ردهٔ شوری زیاد قرار دارد (۸ تا ۱۲ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر). در مقابل، در محدودهٔ عشایری حسن‌آباد جوان‌زاده، میانگین شوری آب‌های زیرزمینی در بازهٔ ۴ تا ۸ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر قرار گرفته است که نسبت به قرجه‌بایر وضعیت مطلوب‌تری دارد. لازم به ذکر است که سایر پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی در هر دو منطقه، در بازه‌های استاندارد و قابل‌قبول برای مصارف مورد نظر (از جمله شرب دام و کشاورزی محدود) قرار دارند.

بر اساس نظر احمدی‌زاده و بنای رضوی (۱۳۸۸)، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از روش‌های قدرتمند و در عین حال ساده برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره محسوب می‌شود. این فرآیند نخستین‌بار در سال (۱۹۸۰) توسط توماس اِل. ساعتی[1] پیشنهاد شد. اساس این مدل، تعیین ترتیب اولویت معیارها و وزن‌دهی به آن‌ها با استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان است.

پس از انجام بررسی های اولیه، بازدیدهای میدانی و برگزاری جلسات متعدد با عشایر منطقه و کارشناسان اداره‌کل امور عشایر خراسان شمالی، اقدام به طراحی پرسشنامه‌ای بر اساس معیارهای کمیّت و کیفیت آبخوان، وجود برق، فاصله از روستا یا محل استقرار عشایر، و نحوه دسترسی به جاده شد. سپس با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان متخصص در حوزه‌های مختلف، میزان اهمیت و ارزش هر یک از این معیارها نسبت به هدف پروژه تعیین گردید. در این راستا، با استفاده از مقیاس کمّی ساعتی (جدول ۵)، داده‌های کیفی به داده‌های کمّی تبدیل شدند.

جدول (۵) مقیاس ۹کمیتی اِل.ساعتی برای مقایسه دودویی معیاره

امتیاز	تعریف	توضیح
۱	اهمیت مساوی	در تحقق هدف دو معیار اهمیت مساوی دارند.
۳	اهمیت اندکی بیشتر	برای تحقق هدف اهمیت (i) بیشتر از (j) است.
۵	اهمیت بیشتر	اهمیت (i) خیلی بیشتر از (j) می‌باشد.
۷	اهمیت خیلی بیشتر	اهمیت (i) خیلی‌خیلی بیشتر از (j) می‌باشد.
۹	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی بیشتر (i) نسبت به (j) به‌طور قطعی به اثبات رسیده است.
۸ ،۶ ،۴ ،۲	–	هنگامی که حالت‌های میانه وجود دارد.

منبع: (Saaty, 1980)

با توجه به اهداف و الزامات پروژه استحصال آب جهت تأمین نیاز آبی عشایر منطقه، برخی ویژگی‌های جغرافیایی و به‌ویژه مشخصات آبخوان، نقش بسیار مهمی در مکان‌یابی محل حفر چاه ایفا می‌کنند. یکی از این پارامترهای مؤثر، ضخامت آبخوان است؛ زیرا منطقی است که چاه‌های استخراج آب در نقاطی حفر شوند که آبخوان دارای ضخامت بیشتر باشد و امکان دستیابی به دبی مناسب برای تأمین آب مورد نیاز عشایر در بلندمدت فراهم گردد. برای انجام عملیاتی نظیر حفر چاه و نصب ایستگاه پمپاژ، تأمین نیروی برق یک ضرورت اساسی به‌شمار می‌رود. از آنجا که در برخی روستاهای منطقه زیر ساخت‌های برق‌رسانی وجود دارد، نزدیکی به این روستاها به‌عنوان یکی از

[1] Saaty

معیارهای مؤثر در تعیین محل ا ستخراج آب در نظر گرفته شده است. از سوی دیگر، استقرار تجهیزات، اجرای عملیات، و نگهداری سیستم در دورهٔ بهره‌برداری، نیازمند دسترسی مناسب به جاده است؛ بنابراین نزدیکی به راه‌های موجود در منطقه، یک مزیت به‌حساب می‌آید، در غیر این صورت، هزینه احداث مسیر دسترسی به هزینه‌های کل پروژه اضافه خواهد شد؛ به همین دلیل، فاصله از جاده نیز به‌عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در مکان یابی در نظر گرفته شد.

در ادامه، سناریوی حفر چاه‌های جدید در منطقه مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. پس از تعیین مکان بهینه برای استحصال آب و با در نظر گرفتن نیاز آبی برای مصارف شرب و دام عشایر، مقدار دبی مورد نیاز برآورد گردید.

پس از جمع‌آوری نظرات ۳۰ کارشناس متخصص در حوزه‌های مختلف از جمله محیط‌زیست، مدیریت منابع آب، مهندسی آب، اقتصاد و سایر زمینه‌های مرتبط، میزان ارزش و اهمیت معیارهای مورد نظر به‌صورت زوجی و در قالب مقایسات دو به دو تعیین شد. بر اساس این ارزیابی‌ها، ماتریس مقایسه زوجی معیارها تشکیل گردید (جدول ۶) مقادیر درج شده در این ماتریس با میانگین‌گیری از نظرات کلیه کار شنا سان به‌دست آمده‌اند. همچنین برای تکمیل سلول‌های پایین‌تر از قطر اصلی ماتریس، از اصل معکوس‌پذیری استفاده شده است.

جدول (٦) ماتریس مقایسات زوجی معیارها

معیارها	فاصله از روستا	فاصله از برق	خصوصیات کمی و کیفی آبرفت	فاصله از جاده
فاصله از روستا	۱	۰/۳۳۳۳	۰/۳۳۳۳	۰/۵۵۵۶
فاصله از برق	۳	۱	۱	۱.۶
خصوصیات کمّی و کیفی آبرفت	۳	۱	۱	۳
فاصله از جاده	۱/۸	۰/۶۲۵۰	۰/۳۳۳۳	۱

منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

یکی از مزیت‌های مهم فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، امکان ارزیابی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها است (توفیق، ۱۳۷۲). هنگام برآورد اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر، احتمال بروز ناسازگاری در قضاوت‌ها وجود دارد؛ بنابراین، لازم است شاخصی برای اندازه‌گیری میزان ناسازگاری داوری‌ها تعیین شود.این شاخص، ضریب سازگاری[1] است که از تقسیم شاخص سازگاری[2] بر شاخص تصادفی[3] به‌دست می‌آید، محاسبه می شود (رابطهٔ ۱).

رابطهٔ (۱): $CR = \frac{CI}{RI}$ ، $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$

در رابطهٔ (۱)، شاخص سازگاری در قضاوت‌ها با (CI)، ضریب سازگاری در قضاوت های تصمیم‌گیرندگان با (CR)، شاخص تصادفی بودن با (RI)، تعداد معیارهای تصمیم‌گیری با (n) و مقدار ویژه بیشینه با (λ_{max}) نشان داده می‌شود. اگر مقدار ضریب سازگاری کمتر یا مساوی ۰/۱ باشد،

۱ Consistency Ratio-CR
۲ Consistency Index-CI
۳ Random Index-RI

سازگاری ق ضاوت‌ها قابل‌قبول ا ست و در غیر این صورت، لازم است که تصمیم‌گیرندگان قضاوت‌های خود را بازبینی نمایند (زبردست، ۱۳۸۰).

در روش میانگین هندسی که یک روش تقریبی است (رابطهٔ ۲)، به‌جای محاسبهٔ مقدار ویژه ماکزیمم (λ_{max}) از (L) به شرح زیر ا ستفاده می شود که در آن (AW_i) بُرداری اســت که از ضــرب ماتریس مقایســه دودویی معیارها (A) در بُردار (W_i) (بُردار وزن یا ضــریب اهمیت معیارها) به‌دســت می‌آید (زبردست، ۱۳۸۰).

رابطهٔ (۲): $L = \frac{1}{n}\left[\sum_{i=1}^{n} \frac{AW_i}{W_i}\right]$

در رابطهٔ (۲)، حاصــل‌ضــرب ماتریس مقایســه زوجی معیارها در ماتریس وزن‌دهی آنها (جدول ۸) با (AW_i)، بردار وزن‌های معیارهای تصمیم‌گیری با (W_i)، و تعداد معیارهای تصمیم‌گیری با (n) نشان داده می‌شــود. شــاخص تصــادفی بودن با توجه به تعداد معیارها (n) به پیروی از باون (۱۹۹۳) از جدول (۷) قابل استخراج است.

جدول (۷) شاخص تصادفی بودن (RI)

n	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥
RI	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۹

منبع: (پژوهش حاضر، ۱٤۰۳)

جدول (۸) محاسبه بردار (AW_i)

فاصله از روستا	۰/۱۱	۴/۰۴۰۱۵۶	۰/۱۱
فاصله از برق	۰/۳۳	۴/۰۳۷۷۷۵	۰/۳۳
خصوصیات کمی و کیفی آبرفت	۰/۳۹	۴/۰۸۰۷۴۹	۰/۳۹
فاصله از جاده	۰/۱۸	۴/۰۲۸۳۶۲	۰/۱۸

منبع: (پژوهش حاضر، ۱٤۰۳)

برای محاسـبهٔ ضـریب سـازگاری (CR) (رابطهٔ ۵)، می‌بایســت مقدار (L) (رابطهٔ ۳) و شــاخص سازگاری (CI) (رابطهٔ ۴) محاسبه می‌شود. در رابطهٔ (۵)، با توجه به این که تعداد معیارها برابر با ۴ می باشــد بنابراین، شــاخص تصــادفی (RI) برابر با (۰/۰۱۵) ا ست. بر ا ساس محا سبات، مقدار ضریب سـازگاری (CR) برابر با (۰/۰۹۰۱۴) اسـت، یعنی سـازگاری در قضـاوت‌ها رعایت شـده اسـت. اگر ضریب سازگاری (CR) بزرگتر از (۰/۱) شد، آنگاه تصمیم‌گیرندگان باید در تصمیمات خود تجدید نظر کنند.

رابطهٔ (۳):

L= 4.04676

$$L = \frac{1}{n}\left[\sum_{i=1}^{n} \frac{AW_i}{W_i}\right] = \frac{1}{9}\left[\frac{2.61}{0,271} + \frac{1.66}{0,163} + \frac{1,44}{0,138} + \frac{0,82}{0,082} + \frac{1,06}{0,110} + \frac{0,71}{0,073} + \frac{0,59}{0,058} + \frac{0.5}{0,050} + \frac{0,56}{0,053}\right] = 10,045$$

رابطهٔ (۴):

$$CI = \frac{L-n}{n-1} = \frac{6,584-9}{9-1} = 0,1307$$

رابطهٔ (۵):

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,1307}{1.45} = 0,09014 < 0,1$$

پس از این بخش، نوبت به کمّی‌سازی طبقات مختلف نقشه‌های معیارها جهت روی‌هم‌اندازی آنها تحت عنوان سطوح برازندگی ا ست. در این مرحله، با توجه به نوع تأثیر معیارها بر هدف مورد نظر –که می‌تواند افزایشی، کاهشی یا ترکیبی از هر دو باشد– بر اساس نظر کارشناسان، به هر یک از طبقات معیارها ارزش عددی بین ۱ تا ۹ اختصاص داده شد که به آن سطوح برازندگی گفته می‌شود.

مرحلهٔ بعد، می‌بایست لایه‌های ر ستری معیارها ترکیب شوند. لایه‌های مختلف با توجه به وزن‌های محاسبه‌شده (جدول ۹)، در محیط (GIS 9.3) تلفیق و منا سب‌ترین مکان‌ها برای ا ستح صال آب تعیین گردند. در مرحلهٔ آخر، نق شه نهایی حا صل از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی طبقه‌بندی می‌شود. پس از تهیهٔ نقشه مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران، نمودار فراوانی تجمعی مقادیر پیک‌سل‌های آن ر سم شده و نقاطی که در آن‌ها شیب نمودار تغییرات قابل توجهی نشان می‌داد، به‌عنوان مرز کلاس‌های طبقه‌بندی انتخاب شدند.

٤. یافته‌ها و بحث

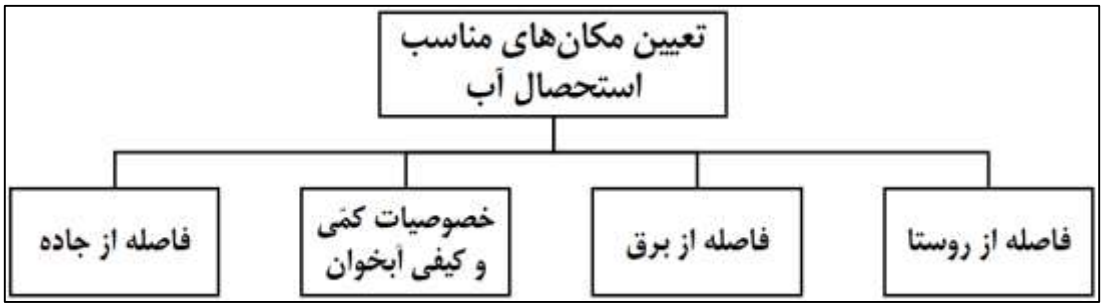
مطابق با شکل (۳)، در رأس سلسله‌مراتب، هدف اصلی که تعیین مکان‌های مناسب برای استحصال آب است، قرار دارد. در سطح دوم، معیارهای مؤثر در دستیابی به این هدف، همان‌گونه که در ادامه نشان داده شده، قرار می‌گیرند. بر اساس نتایج تحلیل سلسله‌مراتبی، بیشترین امتیاز مربوط به خصوصیات کمّی و کیفی آبخوان بود. به‌عبارت دیگر، پارامترهای (EC) و (TDS) که بیانگر کیفیت منابع آب هستند، به‌همراه عمق آبخوان، نقش مؤثری در امتیازدهی داشته‌اند. منابع آب با کیفیت پایین، کمترین امتیاز را دریافت کرده‌اند.

یافته‌های این پژوهش با مطالعات قبلی مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد که ویژگی‌های کمّی و کیفی آبخوان مهم‌ترین معیار در مکان‌یابی چاه‌های آب هستند. این نتیجه با یافته‌های پژوهش یزدانی و همکاران (۱۴۰۰) همخوانی دارد؛ آن‌ها نیز به این نتیجه رسیدند که ضخامت آبرفت و کیفیت آب زیرزمینی تعیین‌کننده‌ترین عوامل در مکان‌یابی چاه‌ها هستند. در مقابل، نتایج این مطالعه با پژوهش فتاحی و همکاران (۱۳۹۱) تفاوت‌هایی دارد؛ آن‌ها فاصله از مراکز مسکونی را یکی از معیارهای کلیدی در مکان‌یابی در نظر گرفته بودند.

جدول (۹) امتیاز و وزن داده‌شده به پارامترهای موثر در تعیین مکان استحصال آب

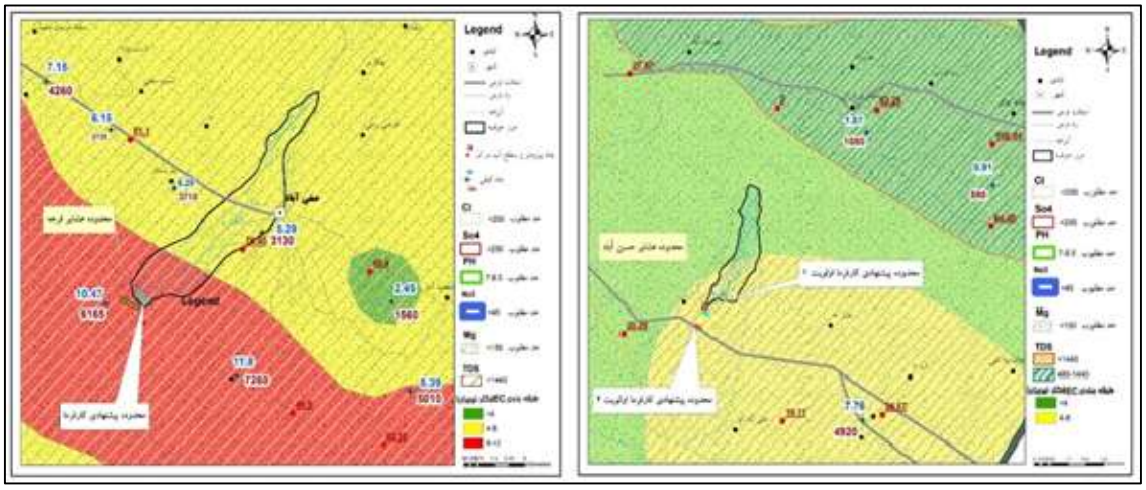
پارامتر	وزن	بازه	امتیاز
فاصله از برق	۰/۳۳	> ۵۰۰	۹
		۱۰۰۰–۵۰۰	۸
		۲۰۰۰–۱۰۰۰	۷
		۴۰۰۰–۲۰۰۰	۵
		< ۴۰۰۰	۴
فاصله از روستا	۰/۱	۱۰۰۰	۹
		۳۰۰۰–۱۰۰۰	۷
		۶۰۰۰–۳۰۰۰	۴
		۹۰۰۰–۶۰۰۰	۳
		۹۰۰۰	۲
خصوصیات کمّی و کیفی آبخوان	۰/۳۹	۲۰	۲
		۵۰–۲۰	۴
		۸۰–۵۰	۷
		۱۱۰–۸۰	۸
		۱۱۰	۹
فاصله از جاده	۰/۱۸	۲۰۰	۹
		۵۰۰	۷
		۱۰۰۰	۵
		۲۰۰۰	۳

منبع: (پژوهش حاضر، ۱٤۰۳)

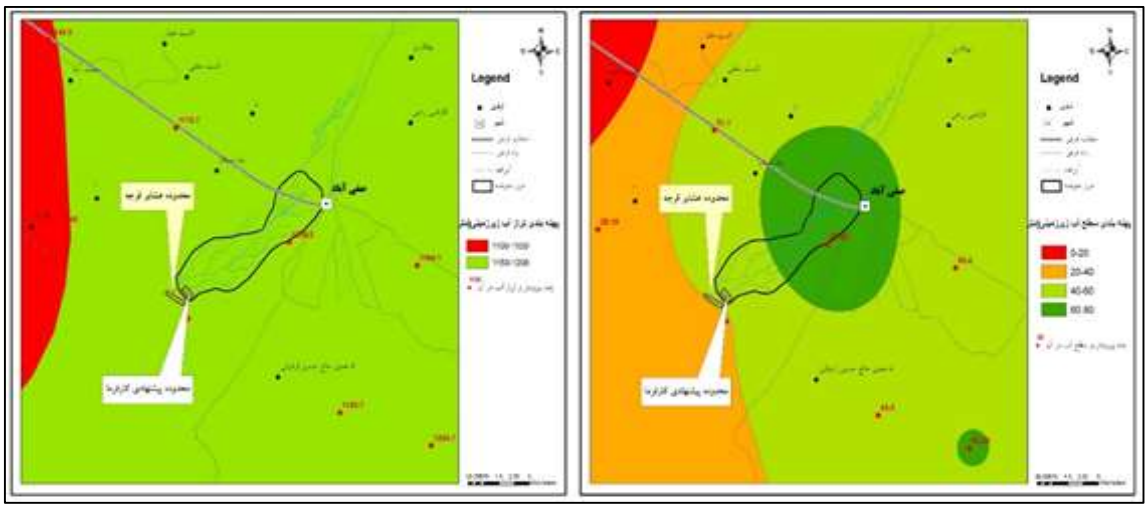


شکل (۳) نمودار درختی و معیارهای مورد استفاده در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی - منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

برای تعیین مکان‌های مناسب برای استحصال آب با استفاده از لایه‌های تهیه‌شده (فاصله از برق، فاصله از روستا، خصوصیات کمّی و کیفی آبخوان، و فاصله از جاده) و تلفیق لایه‌ها در محیط (GIS) مطابق شکل‌های (۴) و (۵) بهترین مکان جهت تامین آب مشخص خواهد شد.



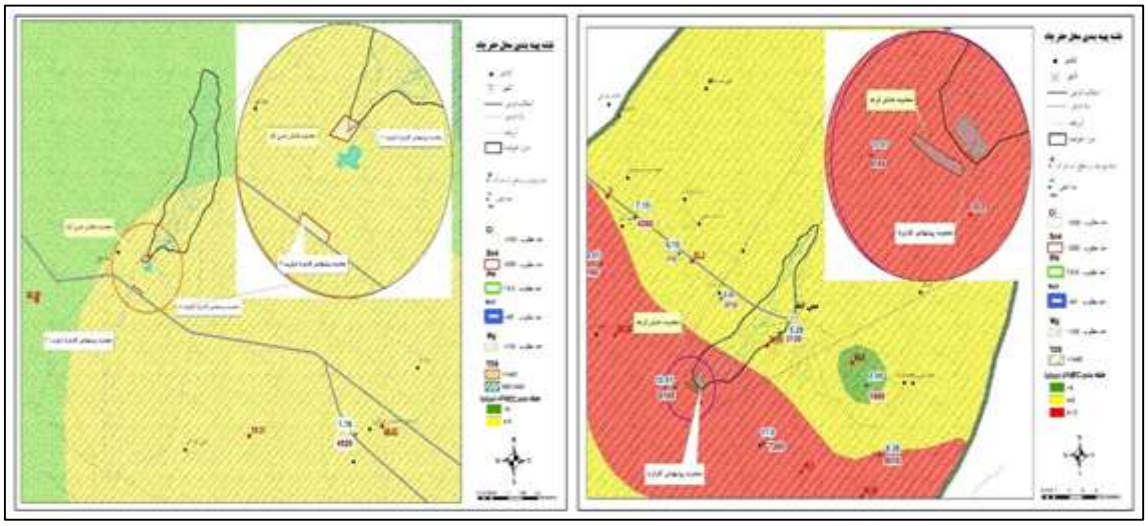
شکل (٤) پهنه‌بندی و تلفیق لایه‌ها جهت تعیین مکان (سمت راست) و قرجه‌بایر (سمت چپ) - منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)



شکل (٥) پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی در محدودهٔ مطالعاتی قرجه‌بایر - منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

همان‌گونه که از نقشه‌های پهنه‌بندی کمّی و کیفی آب در محدوده‌های مطالعاتی مشخص است، هرچه عمق چاه بیشتر باشد، کیفیت آب از نظر شوری بهتر خواهد بود. علت این موضوع وجود رگه‌های شور در نزدیکی سطح خاک است که با افزایش عمق، می‌توان به منابع آب با کیفیت بالاتر دست یافت.

در شکل (۶) نقشهٔ پهنه‌بندی مکان مناسب برای حفر چاه به تفکیک برای هر یک از محدوده‌های مطالعاتی ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، موقعیت مناسب برای حفر چاه در پایین‌دست محل اولیه قرار دارد و حفر چاه با عمق ۱۰۰ متر برای هر دو محدوده مطالعاتی توصیه می‌شود.



شکل (٦) پهنه‌بندی محل حفر چاه (سمت راست) و قرجه‌بایر (سمت چپ) - منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بر اساس نتایج فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، معیار خصوصیات کمّی و کیفی آبخوان، بیشترین تأثیر و امتیاز را در مکان‌یابی بهینهٔ حفر چاه در منطقه داشته است. در مقابل، کمترین امتیاز مربوط به فاصله از روستا (یا مکان استقرار عشایر) بوده است. به‌عبارت دیگر، ویژگی‌های آبخوان به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در مکان‌یابی مطرح هستند و نقش کلیدی در تعیین محل مناسب حفر چاه ایفا می‌کنند.

یکی از پارامترهای مؤثر، ضخامت آبخوان است؛ زیرا منطقی است که چاه‌های برداشت آب در نقاطی حفر شوند که ضخامت آبخوان بیشتر باشد و بتوان با دبی مناسب و پایدار، آب مورد نیاز عشایر را در بلندمدت تأمین کرد. پس از مکان‌یابی محل مناسب برای استحصال آب و با در نظر گرفتن نیاز مصرفی آب برای شرب و دام عشایر، میزان دبی مورد نیاز برآورد شد. طبق اطلاعات میدانی، تعداد دام عشایر حسن‌آباد جوان‌زاده ۳۰۰۰ رأس و جمعیت انسانی ۶۰ نفر و در محدودهٔ قرجه‌بایر، تعداد دام ۶۰۰۰ رأس و جمعیت انسانی ۳۰۰ نفر گزارش شده است.

سپس با در نظر گرفتن دبی مورد نیاز، شعاع تأثیر چاه‌ها محاسبه گردید و این فاصله در جانمایی چاه‌های پیشنهادی لحاظ شد. به‌منظور تعیین مشخصات چاه‌ها و با توجه به پیش‌بینی جمعیت و برآورد نیاز آبی در افق طرح، نیاز آبی محدودهٔ حسن‌آباد جوان‌زاده برابر با (۰/۶۳) لیتر بر ثانیه و در محدودهٔ قرجه‌بایر معادل (۱) لیتر بر ثانیه برآورد شده است. از این‌رو، برای تأمین آب در بلندمدت و افزایش

راندمان برداشت، دبی پیشنهادی چاه‌ها به ترتیب (۲) لیتر و (۳) لیتر بر ثانیه تعیین شد که مبنای انتخاب پمپ مناسب نیز قرار گرفت.

حامی مالی

بنا به اظهارات نویسندگان، مقاله، فاقد حامی مالی می‌باشد.

سهم نویسندگان در پژوهش

سهم نویسندگان در نگارش مقاله برابر بوده است.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همهٔ افرادی از یافته‌های پژوهش‌شان در این مقاله استفاده شد و اداره‌کل امور عشایر استان خراسان شمالی کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند

منابع

اصغرپور، محمّدجواد. (۱۴۰۲). ***تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره*** (چاپ بیستم). تهران: دانشگاه تهران.

احمدی‌زاده، سید سعید. و بنای رضوی، مسعود. (۱۳۸۸). تحلیل مکان مناسب فضای سبز شهری با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP و GIS مطالعه موردی شهر بیرجند. ***تحقیقات جغرافیایی***، ۲۴(۹۳)، ۱۱۸-۹۷. بازیابی شده از: [https://sid.ir/paper/29861/fa]، تاریخ دسترسی (۱۳ آذر ۱۴۰۳).

توفیق، فیروز. (۱۳۷۲). ارزشیابی چندمعیاری در طرح‌ریزی کالبدی. ***آبادی***، شمارهٔ ۱۱، ۴۰-۴۳.

زبردست، اسفندیار. (۱۳۸۰). کاربرد فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. ***هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی***، ۶(۴)، ۲۱-۱۳. بازیابی شده از: [https://journals.ut.ac.ir/article_13624.html]، تاریخ دسترسی (۱۳ آذر ۱۴۰۳).

فتاحی، مهدی. و آقاجانی، حسین. (۱۳۹۲). الگوهای توسعه مجتمع‌های مسکونی با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (Fuzzy AHP–OWA) مبتنی بر GIS (مطالعه موردی: شهر مشهد). ***جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس***، ۴(۱۳)، ۳۶-۲۱.

کرمی، حجت. و موسوی، سیّد فرهاد. (۱۳۹۳). ***مکان‌یابی محل حفر چاه آب با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط (GIS)***. مجری: دانشگاه سمنان و کارفرما: شرکت مدیریت منابع آب ایران، شناسه ملی سند علمی: R-۱۲۸۳۶۷۱. بازیابی شده از: [https://civilica.com/doc/1283671]، تاریخ دسترسی (۱۳ آذر ۱۴۰۳).

معروفی، صفر.، ترنجیان، امین. و زارع‌ابیانه، حمید. (۱۳۸۸). ارزیابی روش‌های زمین‌آمار جهت تخمین هدایت هیدرولیکی و pH زه‌آب‌های آبراهه همدان-بهار. ***پژوهش‌های حفاظت آب و خاک***، ۱۶(۲)، ۱۷۸-۱۶۹. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222069.1388.16.2.9.1

نصیری، اسماعیل (۱۳۸۸). کاربرد تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی (SMCDM) با GIS در کاربری اراضی شهری. ***همایش ژئوماتیک ۸۸***، ۲۰ اردیبهشت (۱۳۸۸). سازمان نقشه‌برداری کشور و گروه مهندسی نقشه‌برداری-پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، تهران. بازیابی شده از: [https://civilica.com/doc/69778]، تاریخ دسترسی (۱۳ آذر ۱۴۰۳).

نی‌ریزی، سعید، (۱۳۷۷). نگرشی بر استفاده از آب‌های شور و لب-شور در کشت آبی. ***مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران***. ۱ آبان (۱۳۷۷). کمیته ملی آبیاری و زهکشی، تهران. بازیابی شده از: [https://civilica.com/l/3490/]، تاریخ دسترسی (۱۳ آذر ۱۴۰۳).

یزدانی، وحید؛ یکه‌باش، سپیده. و حیدرزاده، رضا. (۱۴۰۰). مکان‌یابی مناسب جهت استحصال آب شور بر اساس تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی دشت بجستان). ***دومین همایش ملی کم‌آبیاری و استفاده از آب‌های نامتعارف در کشاورزی مناطق خشک***، ۲۷ بهمن (۱۴۰۰). دانشگاه فسا، فسا، فارس. بازیابی شده از: [https://civilica.com/doc/1514197]، تاریخ دسترسی (۳ آذر ۱۴۰۳).

Ayvaz, M. T., & Elçi, A. (2013). A groundwater management tool for solving the pumping cost minimization problem for the Tahtali watershed (Izmir-Turkey) using hybrid HS-Solver optimization algorithm. ***Journal of Hydrology***, Vol. 478, 63-76. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.11.045

Bertolini, M., Braglia, M., & Carmignani, G. (2006). Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract. ***International Journal of Management***, 24(5), 422-430. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.01.005

Bowen, W. M. (1993). AHP: Multipe Criteria Evaluation. In Klosterman. R. et al (Eds), ***spreadsheet Models for Urban and Regional Analysis***. New Brunswick: Center for Urban Policy Research.

Maas, E.V. (1984). ***Salt tolerance of plants. The handbook of plant science in agriculture***. BR Christie. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Rajab, R. (1998). The use of saline brackish water for irrigation, possibilities and constrain. In: Rajab Rajab and Geoff Piearce (eds.). ***Proceedings of the International Workshop on the Use of Saline and Brackish Water for Irrigation***. 59-71 PP. ICID, Bali, Indonesia.

Saaty, T. L. (1980). ***The Analytic Hierarchy Process***. McGraw-Hill, New York.

Sovary, F. (2008). ***GIS and multicriteria decision analysis***. USA, New York.