



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 Yazdani¹ , Reza Ghorbani² , Seyed Ali Hoseini³ 

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 December 2024

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](https://doi.org/10.22034/jzepn.2025.495674.1009) [in Persian]





فصلنامه ذخایر انقلاب (عشایر)

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



مقاله پژوهشی

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

وحید یزدانی^۱، رضا قربانی^۲، سیدعلی 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 اداره کل امور عشایر خراسان شمالی، بجنورد، ایران.
^۳- دکترای اقتصاد و کارشناس بررسی‌های اقتصادی و اجتماعی اداره کل امور عشایر خراسان شمالی، بجنورد، ایران.

اطلاعات مقاله

واژگان کلیدی:
 فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی؛
 مکان‌یابی؛
 چاه مالدار؛
 مناطق عشایری حسن-آباد جوان‌زاده و قرجه‌بایر.

چکیده

ایران، یکی از کشورهای است که در کمربند خشک زمین قرار دارد و پیش‌بینی می‌شود تا پایان قرن جاری جزء ۶۶ کشور دچار تنش آبی قرار گیرد. به همین دلیل، استفاده از منابع آب شیرین برای شرب، بهداشت و صنعت در اولویت قرار گرفته است. این پژوهش با هدف مکان‌یابی بهینه حفر چاه، به منظور تأمین آب شرب عشایر مناطق منتخب، افزایش تولیدات دامی و ایجاد اشتغال پایدار انجام شده است. دو منطقه عشایری حسن‌آباد جوان‌زاده (۳۴ کیلومتری اسفراین) و قرجه‌بایر (۱۵۴ کیلومتری اسفراین) به عنوان 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 محدوده مورد مطالعه، بین ۲۰ تا ۹۰ متر و هدایت الکتریکی آب بین ۸۴۰ تا ۷۱۱۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر، متغیر بود. در منطقه حسن‌آباد جوان‌زاده، کیفیت آب رضایت‌بخش و شوری آن در برخی نقاط در حد متوسط بود. یافته‌ها نشان داد که ویژگی‌های کمی 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 محدوده مطالعاتی قرجه‌بایر (۱) لیتر بر ثانیه است. بنابراین جهت تأمین آب در بلندمدت و همچنین افزایش راندمان برداشت آب، دبی چاه‌های پیشنهادی برای محدوده‌های مطالعاتی حسن‌آباد جوان‌زاده و قرجه‌بایر به ترتیب (۲) و (۳) لیتر بر ثانیه جهت انتخاب پمپ پیشنهاد گردید.

تاریخ‌ها:

دریافت مقاله: ۱۸ مهر ۱۴۰۳
 پذیرش مقاله: ۲۳ آبان ۱۴۰۳
 انتشار برخط: ۲۵ آذر ۱۴۰۳

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



۱. مقدمه

امروزه جامعه عشایری ایران به عنوان یک واقعیت اجتماعی و بخشی فعال از ساختار تاریخی-فرهنگی کشور شناخته می‌شود. گرچه جمعیت آن‌ها نسبت به جمعیت شهر و روستا کمتر است، اما 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 جامعه شهری و روستایی در تأمین گوشت قرمز و مواد لبنی ایفا می‌کنند. دام عشایر به عنوان ذخیره گاه ژنتیکی دام کشور، فرهنگ ایلی به عنوان بخشی از سرمایه 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 دوره قشلاقی ۲۴۴۰ خانوار با جمعیت ۱۰,۵۴۸ نفر و در دوره بیلاقی ۴۳۰۷ خانوار با جمعیت ۱۹۴۵۰ نفر است، به طوری که ۳/۴۷ درصد از جمعیت استان را جامعه عشایری تشکیل می‌دهند. از نظر تعداد جمعیت، عشایر خراسان شمالی در رتبه ۱۵ کشور و از نظر تولید گوشت قرمز در رتبه ۱۲ کشوری قرار دارد. عشایر خراسان شمالی به طور عمده در نقاط مرزی ساکن هستند. نقش آن‌ها در تولید، اشتغال، انتقال فرهنگ ایرانی-اسلامی، مقابله با تهاجم فرهنگی به ویژه از سمت کشور ترکمنستان و ایجاد تعامل مثبت با همسایگان بسیار حائز اهمیت است.

ناپایداری شرایط اقلیمی، به ویژه پایین بودن میزان بارندگی و در عین حال، توزیع نامناسب و متغیر زمانی بارش‌ها از جمله مشخصه‌های اصلی مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌روند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که پایدارترین شیوه 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 بیلاق به قشلاق و بالعکس به عنوان 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 شیوه زندگی با شرایط اقلیمی و جغرافیایی هر منطقه باعث شده است که نظام کوچ، نحوه استقرار و فنون بهره‌برداری از منابع طبیعی در بین گروه‌های عشایری به اشکال گوناگون ظهور یابد.

یافته‌های مطالعات بین‌المللی نشان می‌دهد که کوچ‌نشینی و شیوه زیست متعادل شده شبانی، به ویژه در مناطق ناپایدار و خشک، یک ضرورت محیط‌زیستی است و حتی در برخی کشورهای توسعه یافته نیز تلاش می‌شود با تخصیص یارانه و ایجاد تسهیلات لازم برای جابه‌جایی دامداران، از طبیعت حفاظت شده و از فرهنگ و سبک زندگی کوچندگان به عنوان فرصتی برای جذب گردشگران بهره گرفته شود.

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

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. نکته قابل توجه 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 به شدت افت کرده و میزان شوری آن‌ها افزایش یافته است.

بر این مبنای بیش از ۳۰۰ دشت از ۶۰۹ دشت کشور به‌عنوان دشت ممنوعه اعلام شده‌اند که در آن‌ها، بیش از حد ذخیره راهبردی، آب استفاده شده که به همین دلیل، سالانه نزدیک به پنج میلیون مترمکعب بیابان 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 زمره 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 بی‌رویه 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

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

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 اصغری‌پور، 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 به عنوان مدلی برای ارتقاء کارایی مدیریت منابع آبی در سایر مناطق مشابه عمل نماید.

۲.۲. پیشینه پژوهش

از دهه (۱۹۹۰)، راهبرد یکپارچه‌سازی تصمیم‌گیری چندمعیاره به وسیله (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) فرآیند 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

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 قابل توجهی از معیشت عشایر به دامداری وابسته است، دسترسی مداوم و مطمئن آن‌ها به منابع آب ضروری است. برای این جامعه، عدم تأمین مناسب آب می‌تواند تهدیدی جدی برای بقای فرهنگی و اقتصادی آن‌ها باشد. از این رو، بهینه‌سازی مکان‌یابی چاه‌های آب به عنوان بخشی از راهکارهای مقابله با این چالش‌ها حائز اهمیت است.

با توجه به اینکه مسئله 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 پایه چند معیار ارزیابی شده‌اند. این روش به دو طبقه وسیع تصمیم‌گیری چندهدفه و تصمیم‌گیری چندشاخصه تقسیم می‌شود (Sovary, 2008).

قابل اطمینان 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

شهرستان اسفراین با جمعیتی بالغ بر ۱۲۰۵۱۳ نفر (معادل ۳۶۵۱۹ خانوار) در استان خراسان شمالی واقع شده است. این شهرستان بین طول‌های جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۷ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی قرار دارد. در میان ارتفاعات منطقه، قلعه شاهجهان در رشته‌کوه آلاداغ از سایر قلعه‌ها بلندتر است. از جمله دیگر کوه‌های شاخص منطقه می‌توان به شانو، دلقره، برمهان، پاتو، نادری، خیبران، ار سن، کول، گاو تیغ و قره‌داش اشاره کرد. شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی شهرستان اسفراین و راه‌های دسترسی به مناطق مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به‌علاوه، در جدول (۱)، موقعیت جغرافیایی محل اسکان عشایر، محل برداشت آب (پیشنهادی از سوی اداره کل امور عشایر خراسان شمالی) و محل پیشنهادی جهت تأمین آب برای عشایر منطقه گزارش شده است. مناطق عشایری دارای چاه‌های مالداري شامل دو منطقه عشایری حسن‌آباد جوان‌زاده (در ۳۴

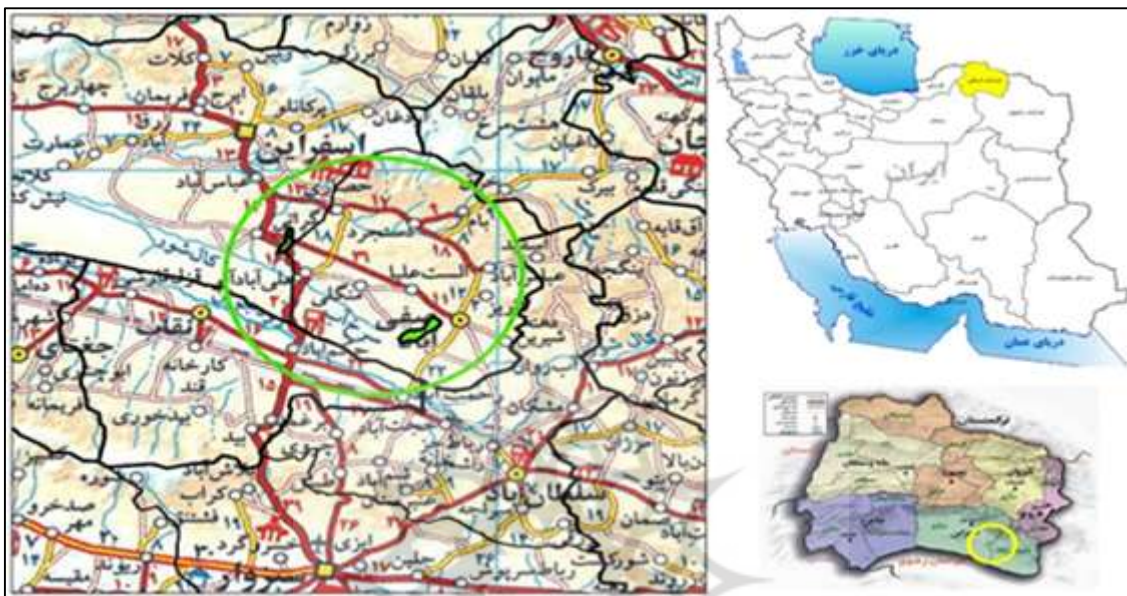
آب و اثرات متقابل آن کاربرد فراوانی دارد. این روش از انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار بوده و به‌ویژه در شرایطی که انتخاب فنی بین چند گزینه دشوار است، راهکار مناسبی به‌شمار می‌آید (Bertolini *et al.*, 2006).

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 ArcGIS وارد 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 نقشه 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

سالانه به طور میانگین حدود ۱۷۰ تن گوشت قرمز و ۱/۲ تن شیر تولید می کنند. همچنین، عشایر منطقه حسن آباد جوانزاده دارای حدود ۲۵۰۰ رأس دام سبک هستند که سالانه حدود ۶۰ تن گوشت قرمز و ۰/۴۵ تن شیر تولید می نمایند.

کیلومتری شهر اسفراین) و قرجه بایر (در ۱۵۴ کیلومتری شهر اسفراین) هستند. ۶۰ خانوار در منطقه عشایری قرجه بایر و ۱۲ خانوار در منطقه حسن آباد جوانزاده سکونت دارند. عشایر قرجه بایر مالک حدود ۷۰۰۰ رأس دام سبک هستند که



شکل (۱) موقعیت و راه های دسترسی به مناطق مورد مطالعه - منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

جدول (۱) موقعیت جغرافیایی مناطق عشایری مورد مطالعه

موقعیت جغرافیایی		شرح	منطقه عشایری
X UTM	Y UTM		
۵۵۴۵۶۱/۴	۴۰۷۷۲۲۶/۴۵	محل پیشنهادی برداشت آب	حسن آباد جوانزاده
۵۵۴۶۱۹/۴	۴۰۷۶۹۸۴/۶	محل اسکان عشایر	
۵۵۴۵۶۰/۳	۴۰۷۷۰۰۵/۸	محل بهره برداری آب	قرجه بایر
۵۷۴۳۹۳/۸	۴۰۵۸۰۱۹/۸	محل پیشنهادی برداشت آب	
۵۷۵۷۴۰/۶	۴۰۵۷۷۶۳/۶	محل اسکان عشایر	
۵۷۵۷۴۰/۶	۴۰۵۷۷۶۳/۶	محل بهره برداری آب	

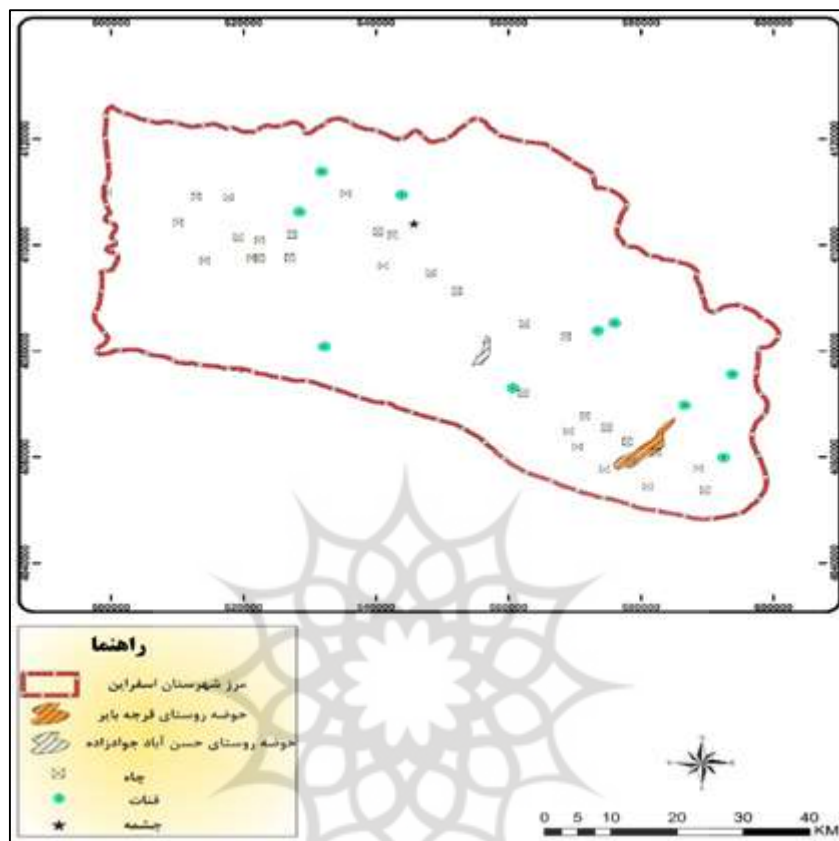
منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

اطلاعاتی در محیط GIS، مکان مناسب برای حفر چاه ها و مشخصات فنی آن ها تعیین شد. با توجه به احتمال وجود ارتباط هیدرولیکی بین منابع آب زیرزمینی آبخوان، انجام بررسی های کمی و کیفی الزامی است. منابع آب زیرزمینی شهرستان اسفراین شامل چاه های عمیق و نیمه عمیق، قنات ها

برای تعیین محل بهینه و مشخصات فنی چاه های پیشنهادی، ابتدا نواحی ای که توسط منابع آب سطحی تغذیه می شوند، شناسایی شدند. سپس با بهره گیری از مطالعات فیزیوگرافی، اقلیمی، هواشناسی و آب زیرزمینی، و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تلفیق لایه های

چشمه نیز در موقعیتی مرتفع و دور از محدوده مطالعاتی واقع شده است.

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



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

پراکنش چاه‌ها در اطراف محدوده‌های مطالعاتی (در مناطق دشت و ارتفاعات)، نشان‌دهنده 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 که در جدول (۲) و (۳) اطلاعات آن‌ها گزارش شده است.

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 جنوب‌زاری بوده است. مقدار کل املاح محلول^۱ (TDS) با هدایت الکتریکی رابطه مستقیم دارد. بر این اساس، بیشترین مقدار (TDS) معادل ۴۳۲۰ میلی‌گرم بر لیتر در چاه

هدایت الکتریکی^۲ (EC) یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفی آب‌های زیرسطحی و زیرزمینی

^۱ Electrical Conductivity (EC)

^۲ Total Dissolved Solids (TDS)

^۱ - بر اساس داده‌های اخذ شده از اداره آب منطقه‌ای 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.

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 ارائه شده توسط نی‌ریزی (۱۳۷۷) برای بررسی منابع آبی منطقه استفاده شده است. مبنای این طبقه‌بندی، میزان آب-سویی ناخواسته در مزارع آبی و اثر آن بر کاهش عملکرد محصولات زراعی است.

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 به ترتیب 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) مقادیر پارامترهای کیفی آب در آبخوان

pH	SAR	TH	TDS	EC	UTM Y	UTM X	نوع سامانه آبدهی	محل
۷/۱۹	۹/۵۷۱۵۵	۴۷/۷۳۶۳	۲۳۵۵	۴۰۴۰	۴۱۰۶۴۸۵	۴۸۴۵۵۹	چاه عمیق	خراشا
۷/۲۹	۹/۸۵۳۵۰۹	۵۱/۴۶۰۸	۲۷۸۰	۴۶۵۰	۴۱۱۲۵۰۰	۴۸۷۱۵۰	چاه عمیق	سنخواست
۷/۴۷	۱۰/۸۸۷۲۲	۹۶/۰۴۹۸	۴۲۶۰	۷۰۴۰	۴۱۱۰۲۶۸	۴۸۷۴۳۴	چاه عمیق	سنخواست
۷/۶۳	۱۰/۲۷۹۰۴	۲۴/۲۸۴۷	۲۰۵۰	۳۲۵۰	۴۱۰۵۶۸۳	۴۸۹۳۰۹	چاه عمیق	سنخواست
۷/۶۵	۳/۹۰۴۶۱۳	۲۰/۸۲۷۸	۸۱۰	۱۳۱۰	۴۱۱۰۲۷۱	۴۹۷۱۳۹	چاه عمیق	کلاته شور
۷/۴۲	۱۱/۸۶۲۸۸	۸۹/۳۰۰۹	۴۰۹۰	۶۸۸۰	۴۰۹۸۳۹۹	۴۹۷۶۳۶	چاه عمیق	انجیرلی
۷/۴۳	۷/۲۲۱۴۸۸	۱۶/۸۹۷۵۵	۵۴۰	۸۷۰	۴۱۰۹۹۳۹	۴۹۹۳۳۴	چاه عمیق	تخته سرفراز
۷/۲۳	۸/۵۱۷۳۳۸	۹۷/۰۲۷۶	۳۳۹۰	۵۹۴۰	۴۰۹۷۶۵۰	۵۰۷۰۲۴	چاه عمیق	اسماعیل‌آباد
۷/۳۸	۱/۳۱۶۶۵۷	۱۹/۵۵۶۳۵	۵۱۰	۸۴۰	۴۱۰۹۲۷۰	۵۱۲۸۰۵	چاه عمیق	جنوب زاری
۷/۴۹	۳/۴۸۲۶۰۳	۳۰/۸۴۷۷	۱۰۳۵	۱۸۳۰	۴۱۰۱۵۹۹	۵۱۴۱۰۶	چاه عمیق	حاجی‌آباد
۷/۰۸	۱۱/۰۳۴۵۸	۸۰/۱۱۲۱۵	۳۹۱۰	۶۵۷۰	۴۰۹۶۹۷۳	۵۱۴۳۳۱	چاه عمیق	مهدی‌آباد
۷/۳۹	۵/۴۴۵۲۷۵	۳۱/۷۳۷۶	۱۲۶۵	۲۱۶۰	۴۱۰۹۰۱۰	۵۱۷۷۱۵	چاه عمیق	چهار برج
۷/۲۹	۳/۸۹۳۶۶۶	۲۶/۴۱۸۰۵	۱۰۱۰	۱۵۷۰	۴۱۰۱۴۶۳	۵۱۹۲۳۶	چاه عمیق	عمارت
۷	۱۰/۹۰۸۹۶	۹۶/۱۸۱۶۵	۴۳۲۰	۷۱۱۰	۴۰۹۹۲۸۶	۵۲۲۴۹۹	چاه عمیق	زرق‌آباد
۷/۳۵	۲/۰۵۳۶۵۳	۳۹/۷۰۳۰۵	۸۰۵	۱۳۴۰	۴۱۱۱۸۰۰	۵۳۱۶۰۰	چاه عمیق	کربلایی علیخان
۷/۰۵	۲/۱۵۰۳۸۵	۳۱/۸۶۷۵	۱۰۵۰	۱۵۱۰	۴۱۰۹۶۸۳	۵۳۵۴۴۸	چاه عمیق	ایرج
۷/۴۶	۵/۰۴۲۰۶	۴۷/۹۰۵۱	۱۶۹۰	۲۸۶۰	۴۱۰۳۶۷۵	۵۳۶۵۹۲	چاه عمیق	کلاته سادات
۷/۱۵	۵/۴۲۱۶۶۵	۳۷/۰۲۷۲	۱۴۹۰	۲۴۴۷	۴۰۹۶۰۷۰	۵۴۱۱۳۵	چاه عمیق	جوشقان
۶/۷۹	۱/۰۰۵۶۸۷	۳۱/۲۰۶۳	۸۱۵	۱۲۸۰	۴۱۰۱۸۶۳	۵۴۲۵۳۱	چاه عمیق	کوشکی
۶/۴۷	۴/۹۳۳۳۴۴	۲۵/۶۰۰۱	۱۱۹۰	۲۰۲۰	۴۰۹۱۳۳۹	۵۵۲۲۲۵	چاه عمیق	قهرمان‌آباد

منبع: پژوهش حاضر، (۱۴۰۳)

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، آفت عملکرد و کاهش کیفیت محصولات شود.

^۱ Total Hardness (TH)

^۲ - مبتنی بر توصیه سازمان بهداشت جهانی، سختی آب شرب نباید از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر تجاوز کند و در شرایط ایده‌آل، کمتر از ۸۰ میلی‌گرم بر

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

محل	so4	cl	hco3	co3	no3	na%	k	na	mg	ca
خراشا	۱۳/۵۵	۲۳/۵۲	۴/۲۵	.	.	۰/۲۶۳	۰/۱۱	۲۶/۳	۶,۲	۸,۹
سنخواست	۹/۵۲	۳۰/۱۳	۶/۴۵	.	.	۰/۲۸۱۳	۰/۱۳	۲۸/۱۳	۶,۶۵	۹,۶۵
سنخواست	۱۳/۸۵	۵۳	۳/۲۵	.	.	۰/۴۱۶	۰/۱۴	۴۱/۶	۱۴,۳	۱۴,۹
سنخواست	۵/۵۷	۲۳/۰۶	۴/۲۵	.	.	۰/۲۰۹۴	۰/۱	۲۰/۹۴	۲,۲	۶,۱
کلاته شور	۵/۹	۳/۳۳	۴/۳	.	.	۰/۰۶۹۳	۰/۰۷	۶/۹۳	۳,۱۵	۳,۱۵
انجیرلی	۲۵/۸۲	۳۶/۸	۵/۹	.	.	۰/۴۳۱	۰/۱۷	۴۳/۱	۱۴,۴۵	۱۱,۹۵
تخته سرفراز	۲/۷۸	۱/۸۸	۳/۹۵	.	.	۰/۰۳۵۳	۰/۰۶	۳/۵۳	۲,۶۵	۲,۴
اسماعیل‌آباد	۲۱/۵	۳۵/۱۶	۵/۱	.	.	۰/۳۳۶	۰/۱۶	۳۳/۶	۱۴,۷۵	۱۴,۵۵
جنوب زاری	۳/۲	۱/۵۲	۳/۸	.	.	۰/۰۲۲۹	۰/۰۹	۲,۲۹	۲,۷۵	۳,۳
حاجی‌آباد	۷/۵۹	۶/۱۳	۴/۳	.	.	۰/۰۷۶۳	۰/۰۹	۷,۶۳	۴,۲۵	۵,۳۵
مهدی‌آباد	۲۲/۳۳	۳۸/۱	۴/۱	.	.	۰/۳۹۱۳	۰/۱۷	۳۹,۱۳	۱۰,۷	۱۴,۴۵
چهار برج	۶/۰۹	۱۰/۷۲	۴/۹۵	.	.	۰/۱۱۹۳	۰/۱۶	۱۱,۹۳	۴,۸	۴,۸
عمارت	۵/۸۴	۵/۴۵	۴/۴۵	.	.	۰/۰۷۸۶	۰/۰۹	۷,۸۶	۳,۷۵	۴,۴
زررق‌آباد	۱۷/۷۹	۴۹	۳/۶۵	.	.	۰/۴۱۷۹	۰/۱۸	۴۱,۷۹	۱۴,۱۵	۱۵,۲
کربلایی علیخان	۴/۵۳	۵/۶۸	۳/۵۵	.	.	۰/۰۴۳۲	۰/۰۷	۴,۳۲	۴,۷	۴,۱۵
ایرج	۴/۲	۵/۵۸	۵/۴۵	.	.	۰/۰۴۸۸	۰/۰۷	۴,۸۸	۳,۸	۶,۵
کلاته‌سادات	۱۲/۷۳	۱۲/۸۶	۴/۱۵	.	.	۰/۱۳۹	۰/۱۲	۱۳,۹	۶,۱۵	۹,۰۵
جوشقان	۷/۰۲	۱۱/۹	۵/۴	.	.	۰/۱۲۸۳	۰/۱۳	۱۲,۸۳	۵,۶	۵,۶
کوشکی	۴/۲۴	۳/۱۷	۵/۲	.	.	۰/۰۲۲۶	۰/۰۸	۲,۲۶	۳,۷	۶,۴
قهرمان‌آباد	۶/۸۲	۸/۲۵	۴/۲۵	.	.	۰/۱۰۲۳	۰/۱۲	۱۰,۲۳	۲,۵۵	۶,۰۵

منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

فرض چنین ضریبی در مدیریت موجود سیستم‌های آبیاری، منطقی و واقع‌بینانه به نظر می‌رسد. بر این اساس، می‌توان شوری عصاره 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

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 به عقیده رجب (Rajab, 1998)، کسر آب‌شویی به‌طور غیرمستقیم و در نتیجه 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،

بیشتر آب آبیاری و چه به دلیل سبکی بافت خاک، میزان تولید محصول نسبت به مقادیر ارائه شده در جدول های استاندارد افزایش یافته و در نتیجه، استفاده از آب های شور توجیه پذیرتر خواهد بود.

۲۰ درصد در نظر گرفته شود، آستانه های تولید محصول افزایش یافته و در نتیجه، امکان استفاده از آب های شور با مقبولیت بیشتری فراهم می شود. با افزایش ضریب آب شویی (LF) چه در اثر کاربرد

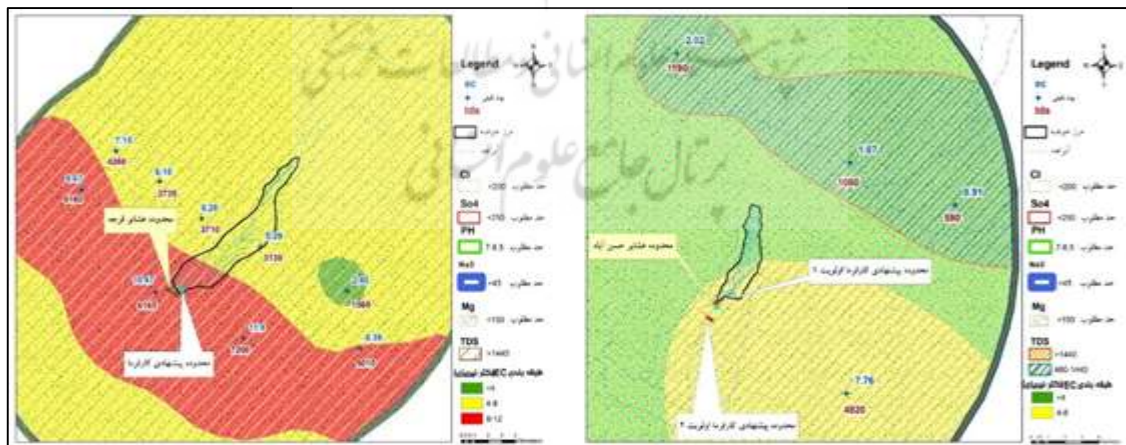
جدول (۴) طبقه بندی آب شور برای مصارف کشاورزی در شرایط $(LF = 0.2)$ *

تأثیرات آن بر تولیدات زراعی	شوری آب آبیاری
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 می دهند.	شوری کم ($EC < 4ds/m$)
گیاهان مقاوم به شوری نظیر چغندر، پنبه و جو محصول مناسب می دهند. گیاهان نیمه مقاوم نظیر گندم حدود ۳۰ درصد و یونجه ۵۰ درصد محصول را از دست می دهند.	لب شور ($4 < EC < 8ds/m$)
گیاهان مقاوم به شوری حدود ۳۰ درصد و گیاهان نیمه مقاوم بیش از ۵۰ درصد محصول را از دست می دهند.	شوری متوسط ($8 < EC < 12ds/m$)
مناسب کشت گیاهان شور زیست، گیاهان مقاوم به شوری بیش از ۵۰ درصد محصول را از دست می دهند.	شوری زیاد ($EC < 12ds/m$)

منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

محدودکننده در این منطقه، شوری آب است. با توجه به داده های کیفی و پهنه بندی انجام شده (شکل ۲) و همچنین با استناد به طبقه بندی استاندارد (جدول ۴)، آب های منطقه قرقه بایر از نظر شوری در رده آب های با شوری زیاد برای مصارف کشاورزی قرار می گیرند.

بر اساس تجزیه و تحلیل های کیفی نمونه های برداشت شده و همچنین نتایج پهنه بندی کیفی انجام شده در محدوده مطالعاتی قرقه بایر (مطابق شکل ۲)، پارامترهای کیفی نظیر منیزیم، کلراید، سولفات و pH در محدوده قابل قبول قرار داشته و محدودیتی در مصرف ایجاد نمی کنند. تنها عامل



شکل (۲) پهنه بندی پارامترهای کیفی آب (پهنه سمت راست) قرقه بایر (پهنه سمت چپ) - منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

(۱۳۷۷) برای محدوده مطالعاتی حسن آباد جوانزاده در وضعیت مطلوب قرار دارند و محدودیتی از این

پارامترهای کیفی اندازه گیری شده در منطقه قرقه بایر بر اساس شکل (۲) و طبقه بندی نی ریزی

نخستین بار در سال (۱۹۸۰) توسط توماس ال. ساعتی^۱ پیشنهاد شد. اساس این مدل، تعیین ترتیب اولویت معیارها و وزن‌دهی به آن‌ها با استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان است.

پس از انجام بررسی‌های اولیه، بازدیدهای میدانی و برگزاری جلسات متعدد با عشایر منطقه و کارشناسان اداره کل 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 کمی ساعتی (جدول ۵)، داده‌های کیفی به داده‌های کمی تبدیل شدند.

نظر وجود ندارد. تنها عامل محدودکننده کیفیت آب در این منطقه، شوری آب است. در ضمن، با توجه به داده‌های کیفی و بر اساس طبقه‌بندی انجام‌شده، محدوده قرجه‌بایر در رده شوری زیاد قرار دارد (۸ تا ۱۲ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر). در مقابل، در محدوده عشایری حسن‌آباد جوان‌زاده، میانگین شوری آب‌های زیرزمینی در بازه 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 قابل قبول 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

جدول (۵) مقیاس ۹ کمیتی ال. 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) خیلی خیلی بیشتر از (j) می‌باشد.
۹	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی بیشتر (i) نسبت به (j) به‌طور قطعی به اثبات رسیده است.
۲، ۴، ۶، ۸	-	هنگامی که حالت‌های میانه وجود دارد.

منبع: (Saaty, 1980)

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 زیرساخت‌های برقرسانی وجود دارد، نزدیکی به این روستاها به‌عنوان یکی از

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

^۱ Saaty

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 به صورت 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 کارشناسان به دست آمده‌اند. همچنین برای تکمیل سلول‌های پایین‌تر از قطر اصلی ماتریس، از اصل معکوس‌پذیری استفاده شده است.

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

در ادامه، سناریوی حفر چاه‌های جدید در منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پس از تعیین مکان بهینه برای استحصال آب و با در نظر گرفتن نیاز

جدول (۶) 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 کمی و کیفی آبرفت	۳	۱	۱	۳
فاصله از جاده	۱/۸	۰/۶۲۵۰	۰/۳۳۳۳	۱

منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

شاخص تصادفی به دست می‌آید، محاسبه می‌شود (رابطه ۱).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)، شاخص سازگاری در قضاوت‌ها با (CI)، ضریب سازگاری در قضاوت‌های 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،

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 داورها تعیین شود. این شاخص، ضریب سازگاری است که از تقسیم شاخص سازگاری بر

‡ Random Index-RI

‡ Consistency Ratio-CR

‡ Consistency Index-CI

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

در رابطه (۲)، حاصل ضرب ماتریس مقایسه زوجی معیارها در وزن‌دهی آنها (جدول ۸) با (AW_i) ، بردار وزن‌های معیارهای تصمیم‌گیری با (W_i) ، و تعداد معیارهای تصمیم‌گیری با (n) نشان داده می‌شود. شاخص تصادفی بودن با توجه به تعداد معیارها (n) به پیروی از باون (۱۹۹۳) از جدول (۷) قابل استخراج است.

سازگاری قضاوت‌ها قابل قبول است 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 (رابطه ۲)، به‌جای محاسبه مقدار ویژه ماکزیمم (λ_{max}) از (L) به شرح زیر استفاده می‌شود که در آن (AW_i) برداری است که از ضرب ماتریس مقایسه دودویی معیارها (A) در بردار (W_i) (بردار وزن یا ضریب اهمیت معیارها) به دست می‌آید (زبردست، ۱۳۸۰).

جدول (۷) شاخص تصادفی بودن (RI)

n	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
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، ۱۴۰۳)

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، ۱۴۰۳)

سازگاری (CR) برابر با $(۰/۰۹۰۱۴)$ است، یعنی سازگاری در قضاوت‌ها رعایت شده است. اگر ضریب سازگاری (CR) بزرگتر از $(۰/۱)$ شد، آنگاه تصمیم‌گیرندگان باید در تصمیمات خود تجدید نظر کنند.

برای محاسبه ضریب سازگاری (CR) (رابطه ۵)، می‌بایست مقدار (L) (رابطه ۳) و شاخص سازگاری (CI) (رابطه ۴) محاسبه می‌شود. در رابطه (۵)، با توجه به این که تعداد معیارها برابر با ۴ می‌باشد بنابراین، شاخص تصادفی (RI) برابر با $(۰/۰۱۵)$ است. بر اساس محاسبات، مقدار ضریب

رابطه (۳):

$$L = 4.04676$$

$$L = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n \frac{AW_i}{W_i} \right] = \frac{1}{9} \left[\frac{2.61}{0.271} + \frac{1.66}{0.163} + \frac{1.44}{0.138} + \frac{0.82}{0.082} + \frac{1.06}{0.110} + \frac{0.71}{0.073} + \frac{0.59}{0.058} + \frac{0.5}{0.050} + \frac{0.56}{0.053} \right] = 10.045$$

رابطه (۴):

$$CI = \frac{L-n}{n-1} = \frac{6.584-9}{9-1} = 0.1307$$

رابطه (۵):

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.1307}{1.45} = 0.09014 < 0.1$$

یافته‌های این پژوهش با مطالعات قبلی مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد که ویژگی‌های کمی 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 مؤثر در تعیین مکان استحصال آب

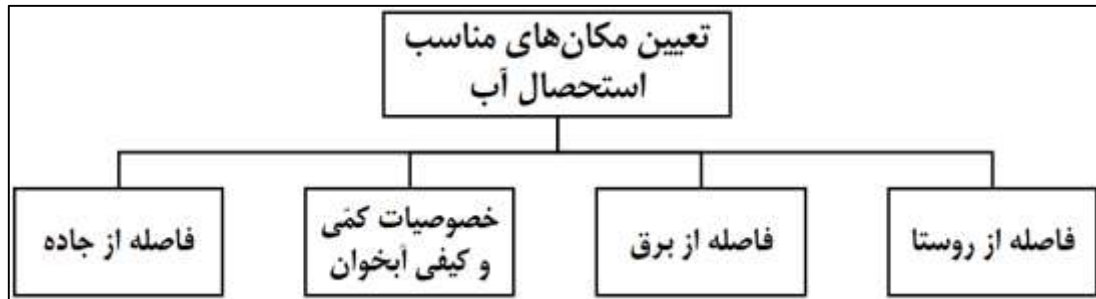
امتیاز	بازه	وزن	پارامتر
۹	> ۵۰۰	۰/۳۳	فاصله از برق
۸	۱۰۰۰-۵۰۰		
۷	۲۰۰۰-۱۰۰۰		
۵	۴۰۰۰-۲۰۰۰		
۴	< ۴۰۰۰		
۹	۱۰۰۰	۰/۱	فاصله از روستا
۷	۳۰۰۰-۱۰۰۰		
۴	۶۰۰۰-۳۰۰۰		
۳	۹۰۰۰-۶۰۰۰		
۲	۹۰۰۰		
۲	۲۰	۰/۳۹	خصوصیات کمی و کیفی آبخوان
۴	۵۰-۲۰		
۷	۸۰-۵۰		
۸	۱۱۰-۸۰		
۹	۱۱۰		
۹	۲۰۰	۰/۱۸	فاصله از جاده
۷	۵۰۰		
۵	۱۰۰۰		
۳	۲۰۰۰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

منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

پس از این بخش، نوبت به کمی‌سازی طبقات مختلف نقشه‌های معیارها جهت هم‌اندازی آنها تحت عنوان سطوح برازندگی است. 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. مرحله بعد، می‌بایست لایه‌های رستری معیارها ترکیب شوند. لایه‌های مختلف با توجه به وزن‌های محاسبه‌شده (جدول ۹)، در محیط (GIS 9.3) تلفیق و مناسب‌ترین مکان‌ها برای استحصال آب تعیین گردند. در مرحله آخر، نقشه نهایی حاصل از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی طبقه‌بندی می‌شود. پس از تهیه نقشه مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران، نمودار فراوانی تجمعی مقادیر پیکسل‌های آن رسم شده و نقاطی که در آن‌ها شیب نمودار تغییرات قابل توجهی نشان می‌داد، به‌عنوان مرز کلاس‌های طبقه‌بندی انتخاب شدند.

۴. یافته‌ها و بحث

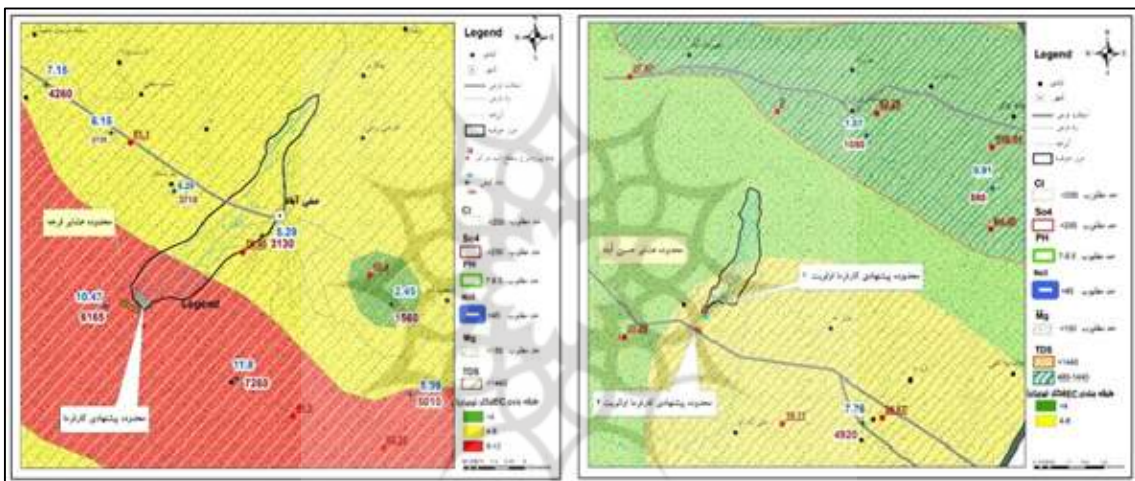
مطابق با شکل (۳)، در رأس سلسله‌مراتب، هدف اصلی که تعیین مکان‌های مناسب برای استحصال آب است، قرار دارد. در سطح دوم، معیارهای مؤثر در دستیابی به این هدف، همان‌گونه که در ادامه نشان داده شده، قرار می‌گیرند. بر اساس نتایج تحلیل سلسله‌مراتبی، بیشترین امتیاز مربوط به خصوصیات کمی و کیفی آبخوان بود. به‌عبارت 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.



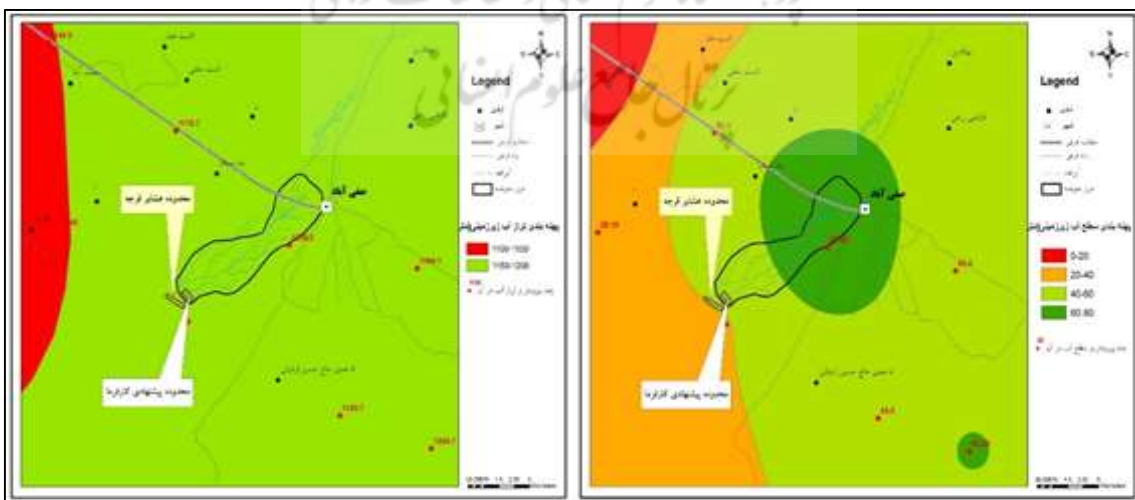
شکل (۳) نمودار درختی و معیارهای مورد استفاده در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی - منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

فاصله از جاده) و تلفیق لایه‌ها در محیط (GIS) مطابق شکل‌های (۴) و (۵) بهترین مکان جهت تامین آب مشخص خواهد شد.

برای تعیین مکان‌های مناسب برای استحصال آب با استفاده از لایه‌های تهیه‌شده (فاصله از برق، فاصله از روستا، خصوصیات کمی و کیفی آبخوان، و



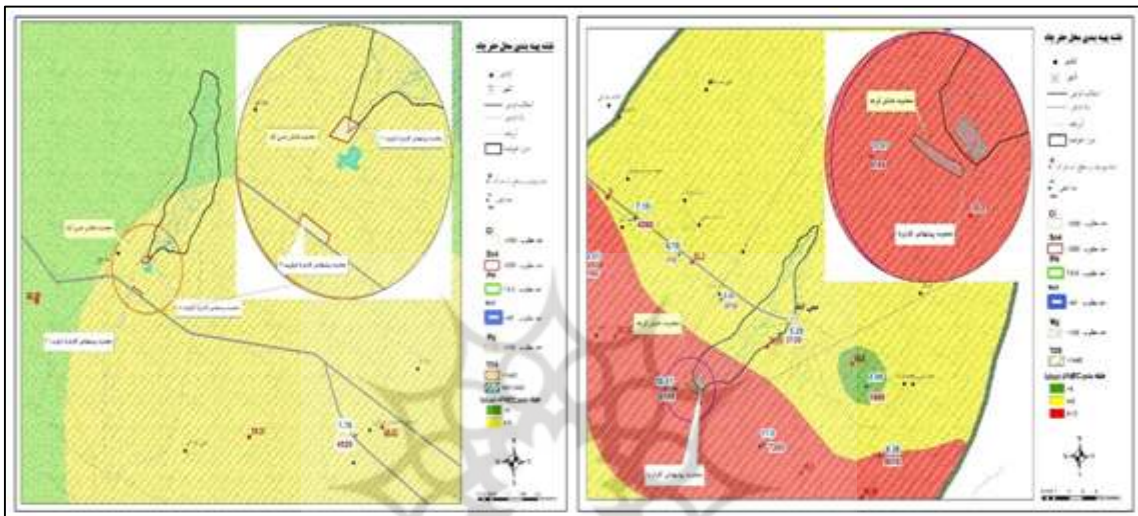
شکل (۴) بهینه‌بندی و تلفیق لایه‌ها جهت تعیین مکان (سمت راست) و قرجه‌بایر (سمت چپ) - منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)



شکل (۵) بهینه‌بندی سطح آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی قرجه‌بایر - منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

در شکل (۶) نقشه 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.

همان‌گونه که از نقشه‌های پهنه‌بندی کمی 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.



شکل (۶) پهنه‌بندی محل حفر چاه (سمت راست) و قرجه‌بایر (سمت چپ) - منبع: (پژوهش حاضر، ۱۴۰۳)

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 محدوده 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 محدوده حسن‌آباد جوان‌زاده برابر با (۰/۶۳) لیتر بر ثانیه و در محدوده قرجه‌بایر معادل (۱) لیتر بر ثانیه برآورد شده است. از این‌رو، برای تأمین آب در بلندمدت و افزایش

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بر اساس نتایج فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، معیار خصوصیات کمی و کیفی آبخوان، بیشترین تأثیر و امتیاز را در مکان‌یابی پهنه 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

تضاد منافع

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

تقدیر و تشکر

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

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.

سهام نویسندگان در پژوهش

سهام نویسندگان در نگارش مقاله برابر بوده است.



منابع

- اصغریور، محمدجواد. (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)، ۹۷-۱۱۸. بازیابی شده از: [\[https://sid.ir/paper/29861/fa\]](https://sid.ir/paper/29861/fa)، تاریخ دسترسی (۱۳ آذر ۱۴۰۳).
- توفیق، فیروز. (۱۳۷۲). ارزشیابی چندمعیاری در طرح‌ریزی کالبدی. **آبادی**، شماره 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: [\[https://journals.ut.ac.ir/article_13624.htm\]](https://journals.ut.ac.ir/article_13624.htm)، 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.
- کریمی، حجت. و موسوی، سید فرهاد. (۱۳۹۳). **مکان‌یابی محل حفر چاه آب با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط (GIS)**. مجری: دانشگاه سمنان و کارفرما: شرکت مدیریت منابع آب ایران، شناسه ملی سند علمی: R-۱۲۸۳۶۷۱. بازیابی شده از: [\[https://civilica.com/doc/1283671\]](https://civilica.com/doc/1283671)، تاریخ دسترسی (۱۳ آذر ۱۴۰۳).
- معروفی، صفر، ترنجیان، امین. و زارع‌ایبانه، 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: [\[https://civilica.com/doc/69778\]](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: [\[https://civilica.com/1/3490/\]](https://civilica.com/1/3490/)، 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 بجنستان). **دومین همایش ملی کم‌آب‌یاری و استفاده از آب‌های نامتعارف در کشاورزی مناطق خشک**، ۲۷ بهمن (۱۴۰۰). دانشگاه فسا، فسا، فارس. بازیابی شده از: [\[https://civilica.com/doc/1514197\]](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: Multiple 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 Pearce (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.