JEHE Alborz University of Medical Sciences Journal of Environmental Health Engineering , 2025; 13(2):158-178 Original Article

Prioritization of Groundwater (Wells) Contamination Using Borda and Bargaining Algorithms in Khorramabad Aquifer

Received: 19 February 2025, Accepted: 26 May 2025

Mahsa Hasanvand[1], Ali Haghizadeh[2*], Bahram kamarehei[3], Leila Ghasemi[4]

[1]*Student Research Committee, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran*
[2] *Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran*
[3] *Professor, Environmental Health Research Center, Department of Environmental Health, School of Health and Nutrition, Lorestan University of Medical Sciences, khorramabad, Iran*
[4] *Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran*

***Corresponding Author:**
haghizadeh.a@lu.ac.ir

How to Cite This Article:
Ghasemi L, Kamarehei B, Haghizadeh A, Hasanvand M. Prioritization of groundwater (wells) contamination using Borda and Bargaining algorithms in Khorramabad aquifer. J Environ Health Engineering. 2025;13(2):158–78.

DOI:
10.61882/jehe.13.2.158

ABSTRACT

Background: A complex decision-making process that has to be done by examining several regional circumstances, giving priority to places for determining the possibility of using water resources with pollution potential. Therefore, managing water resources calls for the choice of the best decision-making technique for the growth and possible evaluation of areas vulnerable to future pollution. The current study looked at priority depending on pollution potential in the Khorramabad aquifer's groundwater resources.

Materials and Methods: Landsat 8 OLI sensor imagery was used to create a land use map for this study. Moreover, ArcGIS 10.3 and Envi 5.3 tools were used at several phases of creating the Khorramabad basin landuse map and validating the accuracy of the forecasted maps. Various Khorramabad well parameters were gathered and computed; depending on their relevance in generating pollution potential, they were input into the Borda and bargaining algorithms. They were then scored according to the parameters investigated.

Results: The two algorithms, Borda and bargaining, used inside game theory helped to find the most efficient parameters in the wells as well as the most important pollution possible sources. The most efficient parameters were those of carbonate with a score of 179.5, phosphate with a score of 135.5, and sodium adsorption ratio (SAR) with a score of 130.5, all of which were derived from the Borda scoring approach. The most successful parameters were carbonate, chloride, and sulfate by means of the bargaining algorithm.

Conclusion: Finally, the prioritization of water resources was presented using both methods; in the Borda approach, the Sarab Yas, Aliabad, and Balilvand wells had top priority. Game theory has been applied as a multi-dimensional solution in numerous decision-making sectors and eventually delivers a complete and managerial approach.

Keywords: Game Theory, Pollution Potential, Khorramabad wells, Parameter

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158]

Copyright © 2025 The Authors.
Published by Alborz University of Medical Sciences
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License. (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).Non-commercial uses of the work are permitted,provided the original work is properly cited.

JEHE Alborz University of Medical Sciences
مجله مهندسی بهداشت محیط، دوره ۱۳، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، صفحات ۱۵۸ تا ۱۷۸
مقاله پژوهشی

اولویت‌بندی آلودگی آب های زیرزمینی(چاه‌ها) با استفاده از الگوریتم های بوردا و چانه زنی در آبخوان خرم آباد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵

مهسا حسنوند[۱]، علی حقی زاده[۲] *، بهرام کمره ئی[۳]، لیلا قاسمی[۴]

[۱] کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران

[۲] استاد گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

[۳] استاد، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد، ایران

[۴] دانشجوی دکترا (Ph.D)، گروه مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

چکیده

زمینه و هدف: اولویت‌بندی مناطق برای شناسایی پتانسیل بهره‌برداری از منابع آب با پتانسیل آلودگی یک پروسه‌ی تصمیم‌گیری پیچیده است که باید با مطالعه شرایط مختلف منطقه صورت گیرد. لذا به‌منظور مدیریت منابع آب، بایستی یک روش تصمیم‌گیری بهینه برای توسعه و استعدادیابی مناطق مستعد آلودگی در آینده انتخاب گردد. در مطالعه حاضر، اولویت‌بندی بر اساس پتانسیل آلودگی در منابع آب زیرزمینی آبخوان خرم‌آباد مدنظر قرار گرفت.

مواد و روش ها: در این مطالعه نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر سنجنده OLI لندست ۸ تهیه شد. همچنین در مراحل مختلف تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه خرم‌آباد و بررسی صحت نقشه‌های پیش‌بینی‌شده، از نرم‌افزارهای ArcGIS 10.3 و Envi 5.3 بهره گرفته‌شده است. پارامترهای مختلف در چاه‌های خرم‌آباد جمع‌آوری و محاسبه شدند و بر اساس اهمیت در ایجاد پتانسیل آلودگی وارد الگوریتم‌های بوردا و چانه‌زنی شدند. سپس ازنظر پارامترهای بررسی‌شده امتیازبندی شدند.

یافته ها: با استفاده از دو الگوریتم بوردا و چانه‌زنی در تئوری بازی، مؤثرترین پارامترها در چاه‌ها و نیز بحرانی‌ترین منابع ازنظر پتانسیل آلودگی مشخص شدند. با اجرای روش امتیازدهی بوردا پارامترهای کربنات با امتیاز ۱۷۹/۵، فسفات با امتیاز ۱۳۵/۵ و نسبت جذب سدیم با امتیاز ۱۳۰/۵ مؤثرترین پارامترها بودند. با اجرای الگوریتم چانه‌زنی پارامترهای کربنات، کلر و سولفات مؤثرترین پارامترها بودند.

نتیجه گیری: درنهایت، اولویت‌بندی منابع آب با هر دو روش ارائه شد که در روش بوردا برای چاه سراب یاس، علی‌آباد و بلیلوند در اولویت نخست قرار داشته است. تئوری بازی به‌عنوان راه‌حلی چندبعدی در زمینه‌های مختلف تصمیم‌گیری استفاده‌شده است و درنهایت، رویکردی مدیریتی و جامع را ارائه می‌دهد.

واژه های کلیدی: تئوری بازی، پتانسیل آلودگی، چاه‌های خرم‌آباد، پارامتر

***پست الکترونیکی نویسنده مسئول:**
haghizadeh.a@lu.ac.ir

نحوه استناد به این مقاله:
Ghasemi L, Kamarehei B, Haghizadeh A, Hasanvand M. Prioritization of groundwater (wells) contamination using Borda and Bargaining algorithms in Khorramabad aquifer. J Environ Health Engineering. 2025;13(2):158–78.

DOI:
10.61882/jehe.13.2.158

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158]

مقدمه

در حال حاضر برداشت از آب‌های زیرزمینی از میزان تغذیه طبیعی آن‌ها بیشتر است. چنانچه میزان آب در دسترس از میزان تقاضای آب در یک حوزه آبخیز کمتر باشد، در این صورت موجب ایجاد بحران آبی می‌گردد. بنابراین این واقعیت می‌تواند نشان‌دهنده‌ی این موضوع باشد که در بسیاری از مناطق، وضع سفره‌های آب‌های زیرزمینی بحرانی می‌باشد[۱]. با توسعه کشاورزی و صنعت، تقاضا برای آب‌های زیرزمینی به‌سرعت به رشد خود ادامه می‌دهد[۲]، این امر فشار زیادی را بر استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی وارد می‌کند[۳]. منابع آب زیرزمینی به‌طور چشمگیری تحت تأثیر تغییرات آب‌وهوایی[۴] و همچنین مداخلات انسانی[۵] قرار دارند. آب‌های زیرزمینی، به‌عنوان یک منبع مهم آب، بر امنیت کشاورزی، صنعت و محیط‌زیست تأثیر می‌گذارد[۴]. در ایران، مانند سایر کشورهای درحال‌توسعه، کیفیت آب‌های زیرزمینی (GWQ) به دلیل بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی، استفاده گسترده از مواد شیمیایی و نفوذ آفت‌کش‌ها به‌طورجدی در معرض تهدید قرارگرفته است[۶، ۷]. از سوی دیگر، صنعتی شدن و رشد جمعیت، آلودگی آب‌های زیرزمینی را تسریع کرده است[۸، ۹]. تعیین نقاط مستعد آلودگی می‌تواند به‌عنوان کمک‌کننده‌ای برای دستگاه‌های تصمیم‌گیرنده در جهت حفاظت منابع آب زیرزمینی به‌عنوان منابع با ارزش و استراتژیک هر کشور باشد و امکان تعیین مناطق قابل حفاظت از هر آبخوان را به وجود آورد[۱۰].

یکی از روش‌های مدیریت منابع آب، روش تئوری بازی‌ها می‌باشد، این تئوری به‌طور موفقیت‌آمیزی در انواع مسائل مدیریتی منابع آب به‌کاربرده شده است[۱۱]. تئوری بازی، زیرمجموعه‌ای از علم ریاضیات است که می‌کوشد با استفاده از طراحی و تحلیل سناریو، رفتارها و نتایج تصمیم‌گیری موجوداتی را که حق انتخاب دارند، در تعامل با یکدیگر پیش‌بینی کند و در شرایط پیچیده با تشخیص گزینه‌های موجود، منابعی که کمیاب هستند، اهداف و اولویت‌های کسانی که درگیر بازی هستند و قواعد بازی، دستاوردهای بازی و احتمال وقوع هرکدام را تا حد امکان پیش‌بینی کند[۱۲]. در مطالعات پیشین، تئوری بازی برای ارزیابی کیفیت آب به‌عنوان روشی مؤثر برای حل این مشکل استفاده شد[۱۳، ۱۴]. Arshia و همکاران (۲۰۱۸) نیز در پژوهشی برای اولویت‌بندی زیر حوضه‌های آبخیز سزار بر اساس خطر بروز سیل با استفاده از تئوری بازی از دو الگوریتم بوردا و چانه‌زنی در تئوری بازی، مؤثرترین پارامترها را در تمامی زیر حوضه‌ها و نیز بحرانی‌ترین زیر حوضه‌ها را مشخص نمودند[۱۵]. Tshamala و همکاران (۲۰۲۱) در یک گزارش، با استفاده از الگوریتم ژنتیک به شناسایی منابع آلودگی آب‌های زیرزمینی پرداختند. به همین منظور از مقدار کمی از داده‌های پایش آلاینده برای شناسایی منبع آلودگی آب‌های زیرزمینی در سایت‌های منطقه استفاده کرد[۱۶]. نتایج پژوهش Santonastaso و همکاران (۲۰۲۱) نشان‌دهنده‌ی این بود که آن‌ها یک روش شبیه‌سازی-بهینه سازی را ایجاد کردند و آن را در یک سایت آلوده به کار بردند. روش مذکور می‌تواند از مقدار کمی داده‌های آلاینده برای استنباط میزان آلاینده‌های منتشرشده توسط منبع آلودگی در زمان‌های مختلف استفاده کند تا آب‌های زیرزمینی سایت را شناسایی کند[۱۷]. همچنین Bayat و همکاران (۲۰۲۱) نیز در پژوهشی از تحلیل عاملی در روش‌های آماری چند متغیره برای تعیین منبع آلودگی آب‌های زیرزمینی استفاده کردند. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر این بود که با مقایسه روش‌های مختلف شناسایی منبع آلودگی و روش تحلیل عاملی در روش آماری چند متغیره، با تحلیل رابطه بین عوامل مشاهده‌شده، می‌توان متغیرهای پیچیده و چندگانه را در تعداد کمی از عوامل جامع خلاصه کرد و عوامل غیرضروری را حذف کرد[۱۸]. در پژوهشی که توسط Zhang و همکاران (۲۰۲۳) صورت گرفت به پیش‌بینی مسیر انتشار آلودگی آب‌های زیرزمینی پرداختند. در این پژوهش از فناوری همجوشی داده‌های چند متغیره برای پیش‌بینی و تحلیل مسیر انتشار آلودگی آب‌های زیرزمینی استفاده می‌کند. نتایج بیانگر این بود که همجوشی

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158]

داده‌های چند متغیره‌ی پیشنهادشده می‌تواند نقش مهمی در پیش‌بینی مسیر انتشار آلودگی آب‌های زیرزمینی داشته باشد[۱۹]. Hashemi و همکاران (۲۰۲۴) در یک مطالعه به بررسی چگونگی بهبود شبکه‌های پایش آب‌های زیرزمینی با استفاده از ترکیب تکنیک‌های هوش مصنوعی، ژئواستاتیستیک، استنتاج فازی و نظریه بازی‌ها پرداختند. هدف آن‌ها ایجاد یک مدل بهینه بود که بتواند نتایج این دو رویکرد را به تعادل برساند و بهترین کارایی را در پایش کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی فراهم کند. نتایج نشان‌دهنده‌ی این بود که می‌توان با بهینه‌سازی شبکه‌های پایش، تصمیم‌گیری بهتری در مدیریت منابع آب انجام داد و درنتیجه حفاظت بهتری از این منابع حیاتی را فراهم آورد[۲۰]. Moridi (۲۰۲۵) در یک مقاله به بررسی استفاده از نظریه بازی‌ها در مدیریت کیفیت آب پرداخت. به همین منظور، به تحلیل تعاملات بین ذینفعان مختلف که به‌نوعی بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارند، مانند کشاورزان، صنعتگران و دولت‌ها، پرداخته شد. درنهایت نیز چارچوبی برای تجزیه‌وتحلیل تضادهای آب فراهم نمود و راه‌حل‌های نوآورانه‌ای را برای حل بهتر پیشنهاد داد[۲۱].

بر این اساس پژوهش حاضر با استفاده از تئوری بازی به اولویت‌بندی آلودگی چاه‌های آبخوان خرم‌آباد می‌پردازد. آب‌های زیرزمینی آبخوان خرم‌آباد تأمین‌کننده بخش مهمی از آب موردنیاز شرب و کشاورزی است. همچنین دشت خرم‌آباد ازنظر توسعه کشاورزی یکی از دشت‌های مهم استان لرستان محسوب می‌گردد. بنابراین حفاظت و حراست از منابع آبی این دشت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از طرفی، آلودگی منابع آب زیرزمینی در اثر فعالیت‌های انسانی از مهم‌ترین مشکلات مدیران منابع آب می‌باشد. به همین منظور، شناسایی ساختار هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی این آبخوان و اولویت‌بندی حساسیت آن نسبت به آلودگی می‌تواند مدیران منابع آب را جهت کنترل آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی در مناطق آسیب‌پذیر یاری نماید.

همان‌گونه که گفته شد در این مطالعه از روش تئوری بازی استفاده می‌گردد. تئوری بازی باوجود قدمت زیاد، در اولویت‌بندی و ارزیابی مناطق مستعد آلودگی کمتر مورداستفاده قرارگرفته است و نیاز به صحت سنجی ندارد. همین موضوع یکی از برتری‌های این نظریه نسبت به سایر تئوری‌ها می‌باشد و می‌توان با استفاده از آن در هزینه و زمان صرفه‌جویی کرد. هم‌چنین در مناطقی که نتایج آزمایش‌های آب‌های زیرزمینی در دسترس نیستند این روش به‌عنوان روش برتر مطرح خواهد بود.

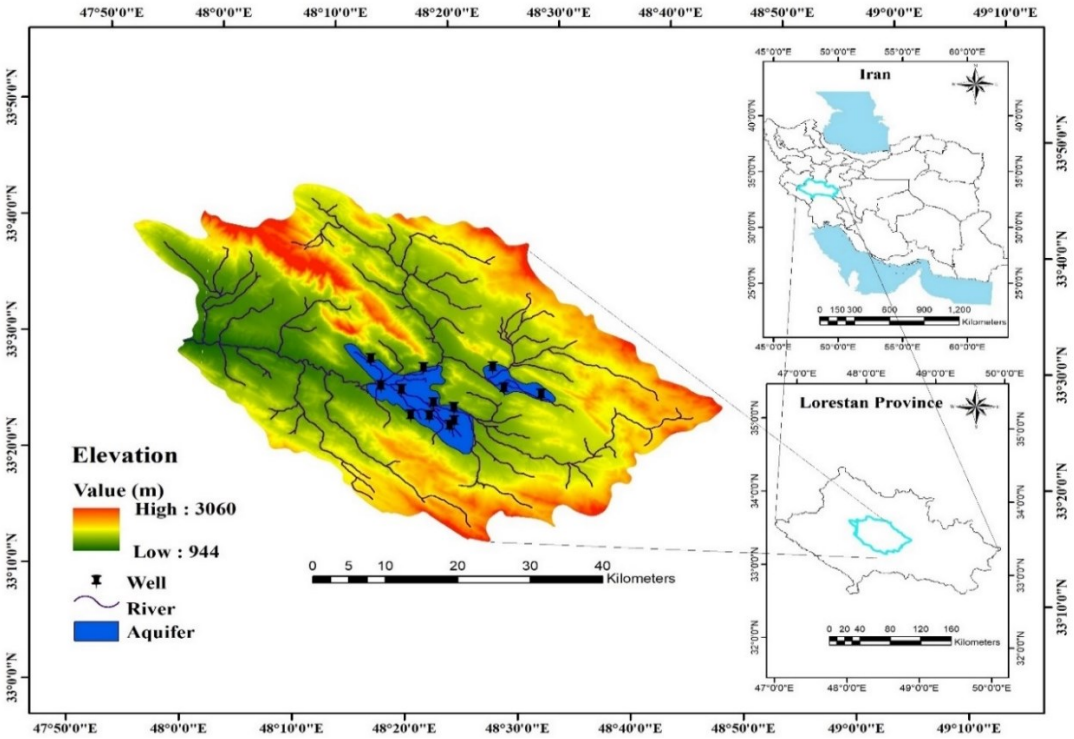
روش پژوهش

معرفی منطقه‌ی مطالعاتی

منطقه مطالعه شده در تحقیق حاضر، آبخوان خرم‌آباد است. ازنظر جغرافیایی، منطقه موردمطالعه با مساحتی بیش از ۱۰۰۰ کیلومترمربع بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه و ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۴ دقیقه و ۳۳ درجه ۳۶ دقیقه قرارگرفته است. همچنین ازلحاظ تقسیمات کشوری در استان لرستان و قسمتی از شهرستان خرم‌آباد می‌باشد. دشت خرم‌آباد به شکل یک بیضی گسترده است که در محور شمال باختر به جنوب خاوری کشیده شده و دارای طولی بالغبر ۲۵ کیلومتر و وسعتی در حدود ۲۵۱۳ کیلومترمربع می‌باشد. ارتفاع متوسط این دشت ۱۲۵۰ متر از سطح دریا است و بالاترین نقطه آن به ۳۰۵۳ متر می‌رسد. در این منطقه، مقدار بارش متوسط در سطح دشت و ارتفاعات به ترتیب ۶۰/۷۵ میلیون مترمکعب و ۳۲۴/۱۷ میلیون مترمکعب تخمین زده می‌شود. میانگین دمای سالانه در دشت نیز ۱۶ درجه سانتی‌گراد است که نشان‌دهنده اقلیم نسبتاً معتدل این ناحیه می‌باشد. علاوه بر این، مساحت آبخوان دشت خرم‌آباد به ۱۳۳ کیلومترمربع می‌رسد[۲۲].

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158]



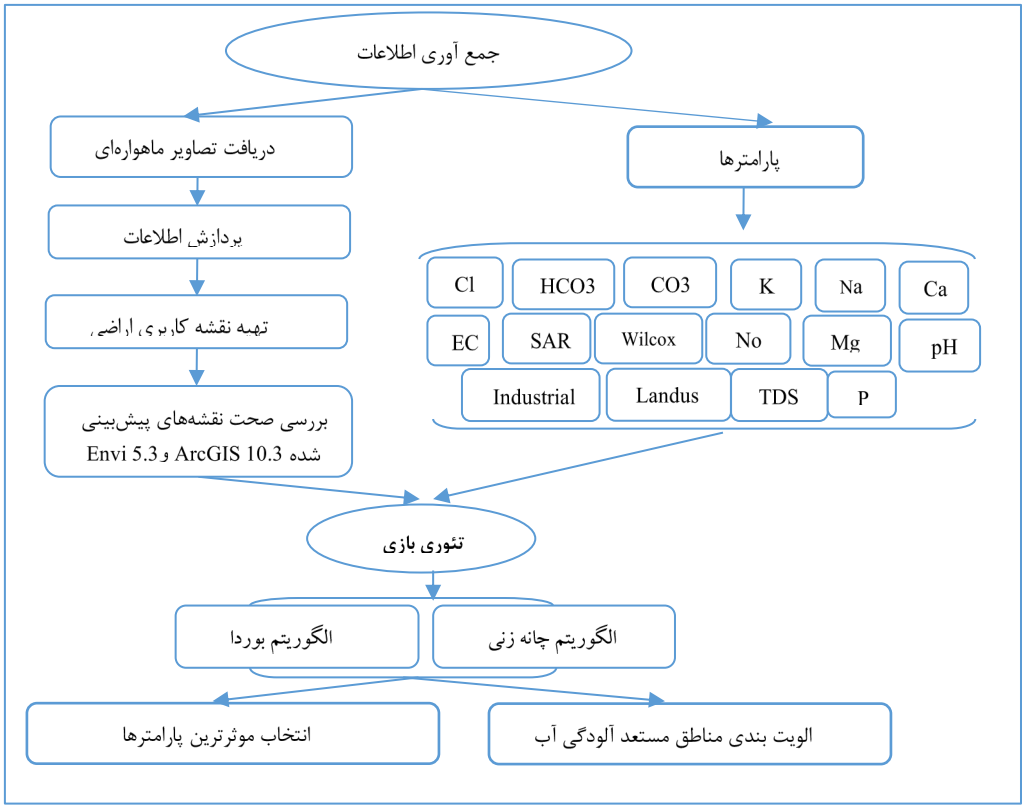
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

داده‌های موردنیاز پژوهش

در این پژوهش داده‌های مربوط به پارامترهای هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول، سولفات، کلراید، بیکربنات، کربنات، پتاسیم، سدیم، منیزیم، کلسیم، اسیدیته، سختی کل، نسبت جذب سدیم، فسفات، نیترات و کلاس ویلکاکس برای ۱۳ چاه در آبخوان خرم‌آباد از شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان دریافت شد.

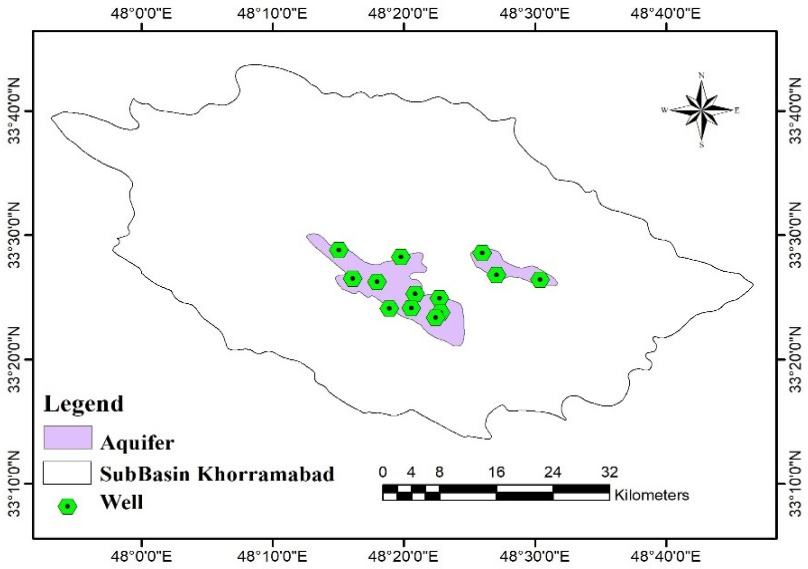
[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158]



شکل ۲. نمودار جریانی روش تحقیق

چاه‌های موردمطالعه در جدول (۱) ارائه شده است و موقعیت آن‌ها نیز در (شکل ۳) نشان داده شده است. همچنین تصاویر سنجنده OLI [۱] لندست ۸ از سازمان زمین‌شناسی آمریکا دریافت شد.



شکل ۳. موقعیت مکانی چاه‌های موردمطالعه

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158]

جدول ۱. چاه‌های موردمطالعه شهرستان خرم‌آباد

ردیف	نام محل	X	Y
۱	چغاهروشی	۲۴۴۵۵۷	۳۷۰۷۸۶۳
۲	کهریز	۲۶۱۴۴۴	۳۷۰۷۰۰۵
۳	گیلوران	۲۵۱۸۵۱	۳۷۰۶۶۳۶
۴	دربند	۲۶۳۰۸۳	۳۷۰۳۷۱۶
۵	چم قرق	۲۴۶۰۶۷	۳۷۰۳۶۰۶
۶	تیر بالر	۲۴۸۹۱۷	۳۷۰۳۰۳۴
۷	علی آباد	۲۶۸۲۱۷	۳۷۰۲۸۸۷
۸	سراب یاس	۲۵۳۴۰۱	۳۷۰۱۱۰۲
۹	بلیلوند	۲۵۶۲۳۲	۳۷۰۰۴۲۲
۱۰	تلوری	۲۵۰۲۹۲	۳۶۹۹۰۴۱
۱۱	چنار خیری	۲۵۶۳۳۵	۳۶۹۸۲۸۶
۱۲	ده باقر	۲۵۵۷۲۵	۳۶۹۷۵۲۴
۱۳	دارایی	۲۵۲۸۸۸	۳۶۹۹۰۰۵

آلایندگی آب‌های زیرزمینی

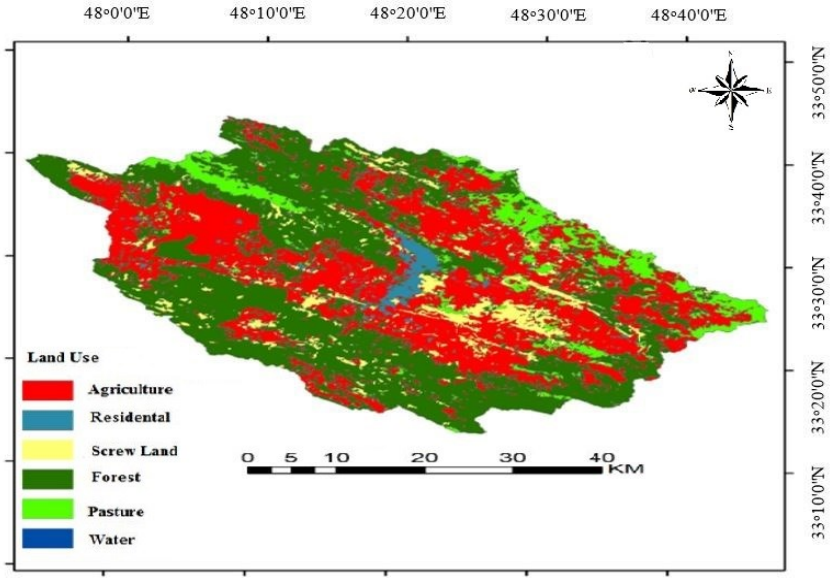
بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع طبیعی و تولید بالای محصولات زائد در جامعه مدرن، تهدید آب‌های زیرزمینی را در پی داشته است و موجب آلودگی‌های فراوانی می‌شود. به دلیل این‌که آب زیرزمینی بسیار کند حرکت می‌کند پس از آغاز آلودگی بایستی سال‌ها بگذرد تا آب، تحت تأثیر قرارگرفته و آلودگی در چاهی نمایان گردد. درصورتی‌که آلوده شدن فضای زیرزمینی، مشاهده آن مشکل‌تر و بنابراین نگرانی آن نیز بیشتر می‌باشد[۲۳]. آلودگی بزرگ‌مقیاس آب زیرزمینی می‌تواند در اثر منابع نقطه‌ای صنعتی ناشی از نشت یا تخلیه اتفاقی در محدوده‌های آسیب‌پذیر همراه باشد. بااین‌همه، مشکلات بسیار پنهان‌تر و گسترده‌تر، از برخی راه و رسم‌های دفع فاضلاب شهری و کشاورزی ناشی می‌شود. در پژوهش حاضر، به‌منظور بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی پارامترهای هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول، سولفات، کلراید، بیکربنات، کربنات، پتاسیم، سدیم، منیزیم، کلسیم، اسیدیته، سختی کل، نسبت جذب سدیم، فسفات، نیترات و کلاس ویلکاکس موردبررسی قرار گرفتند.

استخراج نقشه‌ی کاربری اراضی

در تحقیق حاضر از تصاویر سنجنده OLI [۱] لندست ۸ به تاریخ تصویربرداری ۲۰۱۸ استفاده شد. در مراحل مختلف تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه خرم‌آباد و بررسی صحت نقشه‌های پیش‌بینی‌شده، از نرم‌افزارهای ArcGIS 10.3 و Envi 5.3 بهره گرفته‌شده است. در این تحقیق داده‌های فصل رویش برای تجزیه‌وتحلیل تهیه شد. از میان روش‌های طبقه‌بندی، روش حداکثر احتمال تاکنون از دقیق‌ترین و پر استفاده‌ترین روش‌های ذکر شده است[۲۴]. در ادامه با استفاده از روش حداکثر احتمال در نرم‌افزار، نقشه کاربری اراضی حوضه خرم‌آباد در محیط نرم‌افزار در ۶ طبقه حاصل گردید. با توجه به شناختی که از منطقه وجود دارد، هم‌چنین بررسی وضعیت کاربری‌های موجود در منطقه، نظر کارشناسان، بررسی‌های میدانی و آگاهی از قابلیت‌های تصاویر مورداستفاده، کاربری‌های کشاورزی، مسکونی، بایر، جنگل، مرتع، آب در منطقه موردمطالعه مدنظر قرار گرفتند (شکل ۴).

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158]



شکل ۴. نقشه کاربری اراضی

تعیین فاصله منابع آب زیرزمینی از محل دفن زباله و مراکز تولید فاضلاب صنعتی

این مرحله از پژوهش به کمک نرم‌افزار GIS صورت گرفت. مختصات چاه‌ها از شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان و مختصات محل دفن زباله شهرستان خرم‌آباد و هم‌چنین نقاط تولید فاضلاب صنعتی با استفاده از GPS و همکاری سازمان حفاظت از محیط‌زیست جمع‌آوری گردید. پس از واردکردن مختصات نقاط مذکور در Excel و انتقال آن‌ها به نرم‌افزار GIS، خروجی به‌صورت نقشه‌ای که نقاط در آن نمایش داده شدند، به دست آمد. پس از تهیه نقشه، فواصل منابع آب زیرزمینی با محل دفن و هم‌چنین نزدیک‌ترین مرکز صنعتی تولید فاضلاب محاسبه گردید.

تئوری بازی

تئوری بازی، زیرمجموعه‌ای از علم ریاضیات است که می‌کوشد با استفاده از طراحی و تحلیل سناریو، رفتارها و نتایج تصمیم‌گیری موجوداتی را که حق انتخاب دارند، در تعامل با یکدیگر پیش‌بینی کند[۱۲].

تئوری بازی باوجود قدمت زیاد، در اولویت‌بندی و ارزیابی مناطق مستعد آلودگی کمتر مورداستفاده قرارگرفته است و نیاز به صحت سنجی ندارد. همین موضوع یکی از برتری‌های این نظریه نسبت به سایر تئوری‌ها می‌باشد و می‌توان با استفاده از آن در هزینه و زمان صرفه‌جویی کرد. هم‌چنین در مناطقی که نتایج آزمایش‌های آب‌های زیرزمینی در دسترس نیستند این روش به‌عنوان روش برتر مطرح خواهد بود. تئوری بازی قادر است ارزیابی پارامترهای آلودگی محیطی را نیز انجام دهد. درنتیجه این نظریه قابلیت ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی و آسیب‌پذیری ویژه آبخوان را دارد. تعداد و نوع پارامترهای تأثیرگذار و قابل‌رقابت در این نظریه با توجه به نوع آلاینده‌ها در منطقه موردمطالعه قابل‌تغییر بوده و با استفاده از آن‌ها اولویت‌بندی مناطق مستعد آلودگی صورت می‌پذیرد.

در تحقیق حاضر، از تئوری بازی به‌منظور اولویت‌بندی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی با استفاده از الگوریتم‌های بوردا و چانه‌زنی، استفاده‌شده است. نتایج تصمیم‌گیری برخی از ذینفعان (پارامترها) در مواردی به تصمیم سایر ذینفعان (پارامترها) وابسته است و هیچ تصمیم‌گیرنده‌ای احاطه‌ی کامل بر آنچه اتفاق می‌افتد را ندارد[۲۵]. هدف، رسیدن به فضایی است که در آن بیشترین خواسته‌ی هر ذینفع به‌شرط تأمین شدن حداکثر نیاز ذینفعان، برآورده شود[۲۶]. ازاین‌رو، استفاده از تئوری بازی به‌منظور مواجهه با

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]
[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158]

تضادهای تصمیم‌گیری و نیز مشارکت ذینفعان متعدد، بسیار کارا خواهد بود.

الگوریتم بوردا در تئوری بازی

در روش امتیازدهی بوردا هرکدام از زیر حوضه‌ها به‌عنوان یک نماینده تلقی شده و به‌صورت خطی امتیازدهی می‌شوند. پس به ازای n نماینده (زیر حوضه‌ها) n رتبه وجود خواهد داشت. رتبه‌بندی زیر حوضه‌ها با توجه به جمع امتیاز متغیرهای مستقل تأثیرگذار محاسبه خواهد شد. بر این اساس امتیاز n-1 به نماینده‌ای که در رتبه نخست قرار دارد تعلق می‌گیرد و n-2 به نماینده با اولویت دوم به همین ترتیب رتبه‌بندی ادامه می‌یابد. نماینده آخر با کم‌ترین اولویت امتیاز n-n یا همان صفر را به خود اختصاص می‌دهد[۲۷].

در این روش امتیازدهی، امتیاز هر نماینده با $BS(A)^2$ نشان داده شده و به‌صورت رابطه بیان می‌شود:

$$BS(A) = (n-1) * \#\{i \mid i \text{ ranks } A \text{ first}\} + (n-2) * \#\{i \mid i \text{ ranks } A \text{ second}\} + \ldots + 1 * \#\{i \mid i \text{ ranks } A \text{ second to last}\} + 0 * \#\{i \mid i \text{ ranks } A \text{ last}\} \quad (1)$$

هر نماینده با بیشترین امتیاز به‌عنوان نماینده نخست (اولویت اول) انتخاب می‌شود[۲۸].

در مطالعه حاضر با توجه به اینکه ۱۳ چاه وجود دارد مجموعاً ۱۳ نماینده به تعداد منابع آب‌های زیرزمینی وجود داشت. با بررسی پارامترهای هیدرولوژی، کاربری اراضی و پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب‌های زیرزمینی و جمع امتیازهایی که برای هر یک از این پارامترها در نظر گرفته شد، اقدام به رتبه‌بندی منابع آب‌های زیرزمینی و اولویت‌بندی آن‌ها شد. این رتبه‌بندی با توجه به محل قرارگیری هر یک از منابع آب‌های زیرزمینی در منطقه و استعداد آلودگی آن‌ها تعیین گردید. به این صورت که رتبه اول به نماینده‌ای با عدد ۱۳، رتبه دوم به نماینده‌ای با عدد ۱۲ و ... درنهایت آخرین رتبه به نماینده با عدد صفر اختصاص یافت. درواقع نماینده (منبع آب زیرزمینی) با عدد ۱۳ دارای استعداد آلودگی کمتر و نماینده (منبع آب زیرزمینی) با عدد صفر دارای استعداد آلودگی بیشتر نسبت به بقیه منابع آب‌های زیرزمینی در منطقه بود. و بدین ترتیب منابع آب‌های زیرزمینی منطقه موردمطالعه رتبه‌بندی و اولویت‌بندی شدند.

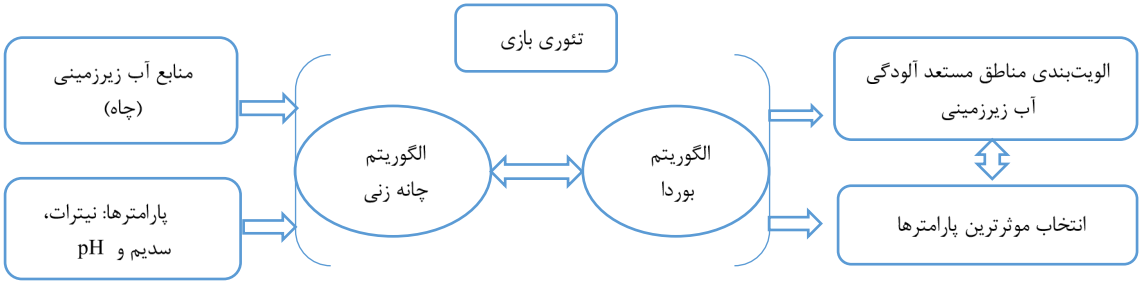
الگوریتم چانه‌زنی در تئوری بازی

روند و مراحل چانه‌زنی مجدد به معرفی آن دسته از متغیرهایی می‌پردازد که کمینه رضایت‌مندی هر عضو قابل‌رقابت را به حداکثر میزان خود می‌رسانند. روش مورداستفاده در این الگوریتم به‌گونه‌ای است که برای همه متغیرها، به مقدار معینی، یک وزن مساوی تعیین می‌کند[۲۹]. درواقع این روش به‌صورت روندی ظاهر می‌شود که اعضا با مدنظر قرار دادن میزان برتری‌شان و هم‌چنین با توجه به دامنه تمام متغیرها رقابت می‌کنند. با توجه به تغییرهای کم‌تر ارائه شده گزینش‌های آغازین و سپس افزایش دادن گزینه‌های دومی و ادامه دادن آن تا درنهایت انتخاب شدن متغیری که همان اعضا درباره آن به توافق برسند، این کار ادامه می‌یابد[۳۰].

در این الگوریتم فرض بر این است که به تعداد n، اعضای قابل چانه زن وجود دارد و k مجموعه‌ای از متغیرها (انتخاب احتمالی) است. بازیکن‌ها انتخاب‌هایشان را تراز بندی می‌کنند. این تراز بندی در ماتریس A (k*n) در یک سیر نزولی نشان داده می‌شود. اولین و آخرین اولویت عضو چانه زن (i) به ترتیب a_{il} و a_{ik} است. به‌عنوان‌مثال اگر دو بازیکن داشته باشیم و $k=\{a,b,c,d\}$ بنابراین، $k=4$ و $A = \begin{bmatrix} a & b & c & d \\ b & d & c & a \end{bmatrix}$. در شکل (۵)، روند اجرای الگوریتم‌های تئوری بازی در منابع آب زیرزمینی آبخوان خرم‌آباد مشاهده می‌شود.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158]



شکل ۵. روند اجرای تئوری بازی در منابع آب زیرزمینی شهرستان خرم‌آباد

یافته‌ها

رتبه‌بندی چاه‌ها ازنظر پتانسیل پارامترهای آن در ایجاد آلودگی

پارامترهای اندازه‌گیری شده در چاه‌های آبخوان خرم‌آباد در جدول (۲) ارائه شده است. منابع آب زیرزمینی چاه آبخوان ازنظر پارامترهای بررسی‌شده امتیازبندی می‌شوند.

برای ورود به الگوریتم‌های تئوری بازی، پارامترها برحسب امتیازشان، از کم به زیاد مرتب‌شده و خانه‌های هم‌رتبه در هر منبع با رنگ مشابه مشخص می‌شوند. خانه‌هایی که به‌تنهایی دارای یک رنگ هستند یعنی امتیازشان با پارامتر دیگری در منابع آب زیرزمینی مدنظر یکسان نیست (جدول ۳).

نتایج انتخاب مؤثرترین پارامترها و بحرانی‌ترین چاه‌ها ازنظر پتانسیل آلودگی با الگوریتم بوردا

نتایج به‌دست‌آمده به روش الگوریتم بوردا در جدول‌های (۴) آورده شده است. با بهره‌گیری از الگوریتم‌ها، تمامی پارامترها در تعامل با یکدیگر قرار می‌گیرند و مؤثرترین پارامترها در منابع آب زیرزمینی چاه به تفکیک مشخص می‌شوند و بحرانی‌ترین منبع نیز در مقایسه با تمامی منابع آب زیرزمینی مشخص می‌شود.

در جدول (۴) طبق اصول روش بوردا که در قسمت روش تحقیق توضیح داده شد، منابع آب زیرزمینی چاه آبخوان خرم‌آباد ازنظر پارامترهای موردنظر و بر مبنای جدول (۳) امتیازدهی شدند. سپس در جدول (۵)، امتیاز هر پارامتر در هر منبع، در ستون متعلق به همان پارامتر قرار گرفت تا درنهایت به جمع ستونی امتیازات هر پارامتر در تمامی منابع دست پیدا شود. در روش امتیازدهی بوردا، پارامترهایی که بیشترین امتیاز را در تمامی منابع داشته باشند، بحرانی‌ترند. در جدول (۵)، امتیاز هر منبع ازنظر هر پارامتر محاسبه شد و درنهایت منابعی که بیشترین امتیاز (بیشترین جمع سطری) را داشته باشند، بحرانی‌تر هستند چون امتیاز پارامترهای آن منابع درنهایت، بیش از دیگر منابع شده است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158] [Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

جدول ۲. پارامترهای به‌دست‌آمده برای چاه‌های شهرستان خرم‌آباد

پارامتر / منبع	SO_4	Cl	HCO_3	CO3	K	Na	Mg	Ca	pH	TDS	TH	SAR	EC	Wilcox	NO_3	P	Landfill	Industrial	Landuse
چغاهروشی	۰/۶۴	۰/۵۱	۵/۲۱	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۶۵	۲/۵۷	۲/۹۸	۷/۵۷	۴۱۴/۶۹	۲۷۷/۶۹	۰/۴۲	۶۴۱/۳۸۵	C_3S_1-	۸/۲۷	۰/۰۸	۲۰۰۹۰	۹۹۷	۱۰
کهریز	۰/۴۲	۰/۳۹	۲/۸۲	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۳۳	۰/۹۹	۲/۳۳	۷/۷۳	۲۵۶/۶۰	۱۶۶/۲۵	۰/۲۹	۴۰۲/۱۰۰	C_3S_1-	۵/۰۰	۰/۰۸۸	۶۴۲۲	۳۸۲۵	۱۳۹۰
گیلوران	۰/۵۸	۰/۴۶	۴/۳۷	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۲۲	۱/۸۷	۳/۳۲	۷/۴۳	۳۷۳/۰۰	۲۶۰/۰۰	۰/۱۵	۵۸۱/۲۵	C_3S_1-	۶۶/۲۵	۰/۰۸۲	۱۲۸۹۶	۱۱۸۳	۳۹۵۲
دربند	۰/۵۷	۰/۷۲	۳/۹۶	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۶۶	۲/۰۱	۲/۶۲	۷/۵۲	۳۷۹/۷۰	۲۳۱/۵۰	۰/۴۶	۵۹۲/۴۰	C_3S_1-	۶/۶۲	۰/۰۸۷	۲۸۴۶	۶۲۹۵	۱۰
چم‌قرق	۰/۵۰	۰/۰۵	۵/۸۱	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۹۹	۲/۶۸	۳/۷۰	۷/۶۱	۵۱۵/۷۷	۳۱۹/۲۸	۰/۵۹	۸۰۰/۶۴	C_3S_1-	۷/۱۸	۰/۰۷۷	۱۷۵۴۱	۱۲۰۶	۱۴۵۵
تیربالر	۰/۴۸	۱/۵۸	۴/۸۴	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۶۷	۲/۱۶	۴/۱۰	۷/۵۳	۵۲۵/۴۰	۳۱۳/۰۰	۰/۳۷	۸۱۲/۴۰	C_3S_1-	۶/۶۶	۰/۰۶۳	۱۴۶۳۶	۱۲۵۹	۵۵۰
علی‌آباد	۰/۸۲	۰/۵۰	۳/۴۰	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۵۴	۱/۴۳	۲/۷۷	۷/۶۴	۳۲۰/۵۰	۲۱۰/۲۰	۰/۴۰	۵۰۰/۵۰	C_3S_1-	۵/۸۹	۰/۰۸۷	۵۲۲۹	۶۱۲۳	۵۰۶
سراب‌یاس	۱/۳۲	۱/۱۸	۴/۷۸	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۸۱	۳/۰۲	۳/۴۶	۷/۳۸	۴۶۸/۵۰	۳۲۴/۳۷	۰/۴۸	۷۳۷/۸۷	C_3S_1-	۳/۰۱	۰/۰۹۴	۹۹۹۴	۲۸۲۹	۱۰
بلیلوند	۱/۰۰	۰/۷۱	۴/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۶۶	۲/۵۰	۲/۶۰	۷/۵۶	۳۶۵/۶۶	۲۵۵/۰۰	۰/۴۴	۵۶۱/۶۶	C_3S_1-	۶/۹۹	۰/۰۹۲	۷۱۷۴	۳۸۴۸	۲۰
تلوری	۱/۵۰	۱/۵۴	۵/۳۷	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۸۲	۳/۱۸	۴/۴۴	۷/۴۳	۵۸۵/۶۳	۳۸۱/۴۴۵	۰/۴۴	۸۹۹/۰۹	C_3S_1-	۷/۹۹	۰/۰۹۸	۱۳۲۳۲	۱۰۶۲	۳۰
چنارخیری	۰/۹۸	۲/۲۹	۴/۳۲	۰/۰۰	۰/۱۰	۱/۳۰	۲/۹۶	۳/۳۸	۷/۰۹	۵۴۵/۰۰	۳۱۷/۰۰	۰/۸۰	۸۳۳/۴۰	C_3S_1-	۶/۹۳	۰/۰۹۸	۷۵۲۱	۲۱۷۸	۱۴۰۸
ده‌باقر	۰/۴۸	۱/۹۳	۴/۹۵	۰/۰۰	۰/۰۶	۱/۱۵	۲/۶۵	۳/۵۵	۷/۵۷	۵۲۶/۶۶	۳۱۰/۰۰	۰/۶۸	۸۱۱/۸۳	C_3S_1-	۷/۰۰	۰/۱۰	۸۳۷۳	۵۴۹۱	۱۰۴
دارایی	۰/۷۱	۱/۴۴	۴/۹۶	۰/۰۰	۰/۰۳	۱/۲۸	۲/۳۱	۳/۴۹	۷/۵۹	۴۸۵/۹۴	۲۹۰/۵۵	۰/۷۵	۷۰۷/۹۴	C_3S_1-	۸/۹۸	۰/۱۲	۱۰۶۷۲	۲۲۹۱	۳۰

جدول ۳. ترتیب اثر پارامترها در چاه‌های شهرستان خرم‌آباد

پارامتر / منبع	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	12th	13th	14th	15th	16th	17th	18th	19th
چغاهروشی	Land	Ind	NO_3	HCO_3	CO_3	K	Mg	pH	TDS	TH	EC	Ca	SAR	Cl	Na	Use	P	SO_4	Class
کهریز	pH	CO_3	Use	K	P	Ind	Land	Na	SAR	NO_3	SO_4	Cl	HCO_3	Mg	Ca	TDS	TH	EC	Class
گیلوران	Use	Ind	Land	CO_3	SO_4	Ca	HCO_3	K	TH	NO_3	TDS	P	EC	Mg	pH	Cl	SAR	Na	Class
دربند	CO_3	SAR	SO_4	Cl	K	P	Na	pH	TDS	EC	Mg	Use	HCO_3	NO_3	TH	Ca	Land	Class	Ind
چم‌قرق	HCO_3	CO_3	Land	Use	pH	TH	Ca	NO_3	SAR	K	Na	Mg	Ind	TDS	EC	Cl	SO_4	P	Class
تیربالر	CO_3	Ca	Cl	EC	Land	TDS	Use	TH	Ind	HCO_3	K	Na	pH	NO_3	Mg	SO_4	SAR	P	Class
علی‌آباد	pH	SO_4	CO_3	Use	P	Ca	SAR	NO_3	Cl	Na	HCO_3	K	TDS	TH	EC	Land	Ind	Mg	Class
سراب‌یاس	K	SO_4	TH	Mg	CO_3	SAR	P	Cl	Na	Ca	TDS	EC	Land	HCO_3	Ind	Use	pH	NO_3	Class
بلیلوند	SO_4	CO_3	NO_3	P	Mg	pH	Na	SAR	Cl	Use	HCO_3	TH	Land	Ind	K	Ca	TDS	EC	Class
تلوری	SO_4	Mg	Ca	TDS	TH	EC	HCO_3	Ind	NO_3	Cl	P	Land	Na	CO_3	K	SAR	Use	pH	Class
چنارخیری	Cl	Na	SAR	TDS	EC	Mg	P	Use	SO_4	TH	CO_3	Ind	Ca	NO_3	HCO_3	Land	K	pH	Class
ده‌باقر	Cl	K	P	Na	TDS	SAR	Ca	EC	HCO_3	CO_3	Mg	pH	NO_3	TH	Use	Land	SO_4	Ind	Class
دارایی	NO_3	P	Na	SAR	HCO_3	pH	Cl	CO_3	Ca	SO_4	Land	TDS	TH	EC	Ind	Mg	Use	K	Class

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158] [Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

جدول ۴. امتیازدهی پارامترها به روش بوردا در چاه‌های شهرستان خرم‌آباد

امتیازدهی بوردا / منبع	n-1 18	n-2 17	n-3 16	n-4 15	n-5 14	n-6 13	n-7 12	n-8 11	n-9 10	n-10 9	n-11 8	n-12 7	n-13 6	n-14 5	n-15 4	n-16 3	n-17 2	n-18 1	n- n 0
چغاهروشی	۱۷/۵	۱۷/۵	۱۶	۱۴	۱۴	۱۴	۱۱/۵	۱۱/۵	۹	۹	۹	۶/۵	۶/۵	۴	۴	۴	۲	۱	۰
کهریز	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۰	۱۰	۱۰	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
گیلوران	۱۸	۱۷	۱۵/۵	۱۵/۵	۱۴	۱۲/۵	۱۲/۵	۱۰	۱۰	۱۰	۷	۷	۷	۴/۵	۴/۵	۳	۱	۱	۱
دربند	۱۸	۱۷	۱۴/۵	۱۴/۵	۱۴/۵	۱۴/۵	۱۰/۵	۱۰/۵	۱۰/۵	۱۰/۵	۷/۵	۷/۵	۵	۵	۵	۳	۱	۱	۱
چم‌قرق	۱۷/۵	۱۷/۵	۱۵/۵	۱۵/۵	۱۳	۱۳	۱۳	۸/۵	۸/۵	۸/۵	۸/۵	۸/۵	۸/۵	۴/۵	۴/۵	۳	۲	۱	۰
تیربالر	۱۷/۵	۱۷/۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۳	۱۱	۱۱	۱۱	۹	۷/۵	۷/۵	۵/۵	۵.۵	۴	۳	۲	۰/۵	۰/۵
علی‌آباد	۱۸	۱۶/۵	۱۶/۵	۱۵	۱۴	۱۲	۱۲	۱۲	۹/۵	۹/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۰
سراب‌یاس	۱۸	۱۶	۱۶	۱۶	۱۴	۱۲/۵	۱۲/۵	۹	۹	۹	۹	۹	۵/۵	۵/۵	۴	۳	۲	۰/۵	۰/۵
بلیلوند	۱۸	۱۷	۱۵/۵	۱۵/۵	۱۳/۵	۱۳/۵	۱۱/۵	۱۱/۵	۹/۵	۹/۵	۶/۵	۶/۵	۶/۵	۶/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۰
تلوری	۱۵/۵	۱۵/۵	۱۵/۵	۱۵/۵	۱۵/۵	۱۵/۵	۱۱/۵	۱۱/۵	۱۰	۸	۸	۸	۵/۵	۵/۵	۴	۳	۲	۱	۰
چنارخیری	۱۷	۱۷	۱۷	۱۴/۵	۱۴/۵	۱۲	۱۲	۱۲	۹/۵	۹/۵	۸	۷	۵/۵	۵/۵	۳/۵	۳/۵	۱	۱	۱
ده‌باقر	۱۷	۱۷	۱۷	۱۴	۱۴	۱۴	۱۱/۵	۱۱/۵	۸	۸	۸	۸	۸	۵	۴	۳	۱/۵	۱/۵	۰
دارایی	۱۷/۵	۱۷/۵	۱۵/۵	۱۵/۵	۱۳/۵	۱۳/۵	۱۱	۱۱	۱۱	۸/۵	۸/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۲/۵	۲/۵	۱	۰

جدول ۵. رتبه‌بندی مؤثرترین پارامترها به روش بوردا در چاه‌های شهرستان خرم‌آباد

پارامتر / منبع	SO_4	Cl	HCO_3	CO_3	K	Na	Mg	Ca	pH	TDS	TH	SAR	EC	Wilcox	No_3	P	Landfdll	Industrial	Landuse
چغاهروشی	۱	۴	۱۴	۱۴	۱۴	۴	۱۱/۵	۶/۵	۱۱.۵	۹	۹	۶/۵	۹	۰	۱۶	۲	۱۷/۵	۱۷/۵	۴
کهریز	۴	۴	۴	۱۷	۱۵	۱۰	۴	۴	۱۸	۴	۴	۱۰	۴	۴	۱۰	۱۴	۱۲	۱۳	۱۶
گیلوران	۱۴	۳	۱۲/۵	۱۵/۵	۱۰	۱	۴/۵	۱۲/۵	۴/۵	۷	۱۰	۱	۷	۱	۱۰	۷	۱۵/۵	۱۷	۱۸
دربند	۱۴/۵	۱۴/۵	۵	۱۸	۱۴/۵	۱۰/۵	۷/۵	۳	۱۰/۵	۱۰/۵	۵	۱۷	۱۰/۵	۱	۵	۱۴/۵	۱	۱	۷/۵
چم‌قرق	۲	۳	۱۷/۵	۱۷/۵	۸/۵	۸/۵	۸/۵	۱۳	۱۳	۴/۵	۱۳	۸/۵	۴/۵	۰	۸/۵	۱	۱۵/۵	۸/۵	۱۵/۵
تیربالر	۳	۱۵	۹	۱۷/۵	۷/۵	۷/۵	۴	۱۷/۵	۵.۵	۱۳	۱۱	۲	۱۵	۰/۵	۵/۵	۰/۵	۱۵	۱۱	۱۱
علی‌آباد	۱۶/۵	۹/۵	۴/۵	۱۶/۵	۴/۵	۹/۵	۴/۵	۱۲	۱۸	۴/۵	۴/۵	۱۲	۴/۵	۰	۱۲	۱۴	۴/۵	۴/۵	۱۵
سراب‌یاس	۱۶	۹	۵/۵	۱۴	۱۸	۹	۱۶	۹	۲	۹	۱۶	۱۲/۵	۹	۰/۵	۰/۵	۱۲/۵	۵/۵	۴	۳
بلیلوند	۱۸	۹/۵	۶.۵	۱۷	۵/۲	۱۱/۵	۱۳/۵	۲.۵	۱۳/۵	۲/۵	۶.۵	۱۱/۵	۲/۵	۰	۱۵/۵	۱۵/۵	۶/۵	۶/۵	۹/۵
تلوری	۱۵/۵	۸	۱۱/۵	۵/۵	۴	۵/۵	۱۵/۵	۱۵/۵	۱	۱۵/۵	۱۵/۵	۳	۱۵/۵	۰	۱۰	۸	۸	۱۱/۵	۲
چنارخیری	۹/۵	۱۷	۳/۵	۸	۱	۱۷	۱۲	۵/۵	۱	۱۴/۵	۹/۵	۱۷	۱۴/۵	۱	۵/۵	۱۲	۳/۵	۷	۱۲
ده‌باقر	۱/۵	۱۷	۸	۸	۱۷	۱۴	۸	۱۱/۵	۸	۱۴	۵	۱۴	۱۱/۵	۰	۸	۱۷	۳	۱/۵	۴
دارایی	۸.۵	۱۱	۱۳.۵	۱۱	۱	۱۵.۵	۲.۵	۱۱	۱۳.۵	۵.۵	۵.۵	۱۵.۵	۵.۵	۰	۱۷.۵	۱۷.۵	۸.۵	۵.۵	۲.۵
مجموع	۱۲۴	۱۲۴.۵	۱۱۵	۱۷۹.۵	۱۱۷.۵	۱۲۳.۵	۱۱۲	۱۲۳.۵	۱۲۰	۱۱۳.۵	۱۱۴.۵	۱۳۰.۵	۱۱۳	۸	۱۲۴	۱۳۵.۵	۱۱۶	۱۰۸.۵	۱۲۰

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158] [Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

جدول ۶. رتبه‌بندی بحرانی‌ترین چاه‌های شهرستان خرم‌آباد ازنظر پتانسیل آلودگی ـ بوردا

بوردا / منبع	n-1	n-2	n-3	n-4	n-5	n-6	n-7	n-8	n-9	n-10	n-11	n-12	n-13	n-14	n-15	n-16	n-17	n-18	n-19	SUM
چغاهروشی	۲۰۳۰	۱۸۹۸/۵	۱۹۸۴	۱۶۱۰	۲۵۱۳	۱۶۴۵	۱۲۸۸	۱۳۸۰	۱۰۲۱/۵	۱۰۳۰/۵	۱۰۱۷	۸۰۲/۷۵	۸۴۸/۲۵	۴۹۸	۴۹۴	۴۸۰	۲۷۱	۱۲۴	۰	۲۱۹۳۵/۵
کهریز	۲۱۶۰	۳۱۵۱/۵	۱۹۲۰	۱۷۶۲/۵	۱۸۹۷	۱۴۱۰/۵	۱۳۹۲	۱۲۳۵	۱۳۰۵	۱۲۴۰	۴۹۶	۴۹۸	۴۶۰	۴۴۸	۴۹۴	۴۵۴	۴۵۸	۴۵۲	۳۲	۲۱۱۶۵/۵
گیلوران	۲۱۶۰	۱۸۴۴/۵	۱۷۹۸	۲۷۸۲/۲۵	۱۷۳۶	۱۵۴۳/۷۵	۱۴۳۷/۵	۱۱۷۵	۱۱۴۵	۱۲۴۰	۷۹۴/۵	۵/۹۴۸	۷۹۱	۵۰۴	۵۴۰	۳۷۳/۵	۱۳۰/۵	۱۲۳/۵	۸	۲۱۰۷۵/۵
دربند	۳۲۳۱	۲۲۱۸/۵	۱۷۹۸	۱۸۰۵/۲۵	۱۷۰۲/۷۵	۱۹۶۴/۷۵	۱۲۹۶/۷۵	۱۲۶۰	۱۱۹۱/۷۵	۱۱۸۶/۵	۸۴۰	۹۰۰	۵۷۵	۶۲۰	۵۷۲/۵	۳۷۰/۵	۱۱۶	۸	۱۰۸.۵	۲۱۷۶۶/۷
چم قرق	۲۰۱۲/۵	۳۱۴۱/۲۵	۱۷۹۸	۱۸۶۰	۱۵۶۰	۱۴۸۸/۵	۱۶۰۵/۵	۱۰۵۴	۱۱۰۹/۲۵	۹۹۸/۷۵	۱۰۴۹/۷۵	۹۵۲	۹۲۲/۲۵	۷۵/۵۱۰	۵۰۸/۵	۳۷۳/۵	۲۴۸	۱۳۵/۵	۰	۲۱۳۲۸
تیربالر	۳۱۴۱/۲۵	۲۱۶۱/۲۵	۱۸۶۷/۵	۱۶۹۵	۱۷۴۰	۱۴۷۵/۵	۱۳۲۰	۱۲۵۹/۵	۱۱۹۳/۵	۱۰۳۵	۲۵/۸۸۱	۹۲۶/۲۵	۶۶۰	۶۸۲	۴۴۸	۳۷۲	۲۶۱	۶۷/۷۵	۴	۲۱۱۹۰/۷
علی آباد	۲۱۶۰	۲۰۴۶	۲۹۶۱/۷۵	۱۸۰۰	۱۸۹۷	۱۴۸۲	۱۵۶۶	۱۴۸۸	۱۱۸۲/۷۵	۱۱۷۳/۲۵	۵۱۷/۵	۵۲۸/۷۵	۵۱۰/۷۵	۵۱۵/۲۵	۵۰۸/۵	۵۲۲	۴۸۸/۲۵	۵۰۴	۰	۲۱۸۵۱/۷
سراب یاس	۲۱۱۵	۱۹۸۴	۱۸۳۲	۱۷۹۲	۲۵۱۳	۱۳۶۱/۲۵	۱۶۹۳/۷۵	۱۶۹۳/۷۵	۱۱۲۰/۵	۱۱۱۱/۵	۱۱۱۱/۵	۱۰۲۱/۵	۶۳۸	۶۳۲/۵	۴۳۴	۳۶۰	۲۴۰	۶۲	۴	۲۱۹۹۰/۲
بلیلوند	۲۲۳۲	۳۰۵۱/۵	۱۹۲۲	۲۱۰۰/۲۵	۱۵۱۲	۱۶۲۰	۱۴۲۰/۲۵	۱۵۰۰/۷۵	۱۱۸۲/۷۵	۱۱۴۰	۷۴۷۵/۵	۷۴۴/۲۵	۷۵۴	۷۰۵/۲۵	۲۹۳/۷۵	۳۰۸/۷۵	۲۸۳/۷۵	۲۸۲/۵	۰	۲۱۸۰۱/۲
تلوری	۱۹۲۲	۱۷۳۶	۱۹۱۴/۲۵	۱۷۵۹/۲۵	۱۷۷۶/۷۵	۱۷۵۱/۵	۱۲۳۳/۵	۱۲۴۷/۷۵	۱۲۴۰	۹۹۶	۱۰۸۴	۹۲۸	۶۷۹/۲۵	۹۸۷/۲۵	۴۷۰	۳۹۱.۵	۲۴۰	۱۲۰	۰	۲۰۵۶۴
چنارخیری	۲۱۱۶/۵	۲۰۹۹/۵	۲۲۱۸/۵	۱۶۴۵/۷۵	۱۶۳۸/۵	۱۳۴۴	۱۶۲۶	۱۴۴۰	۱۱۷۸	۱۰۸۷/۷۵	۱۴۳۶	۷۵۹/۵	۶۷۹/۲۵	۶۸۲	۴۰۲/۵	۴۰۶	۱۱۷/۵	۱۲۰	۸	۲۱۰۰۵/۲
ده باقر	۲۱۱۶/۵	۱۹۹۷/۵	۲۳۰۳/۵	۱۷۲۹	۱۵۸۹	۱۸۲۷	۱۴۲۰/۲۵	۱۲۹۹/۵	۹۲۰	۱۴۳۶	۸۹۶	۹۶۰	۹۹۲	۵۷۲/۵	۴۸۰	۳۴۸	۱۸۶	۱۶۲/۷۵	۰	۲۱۲۳۵/۵
دارایی	۲۱۷۰	۲۳۷۱/۲۵	۱۹۱۴/۲۵	۲۰۲۲/۷۵	۱۵۵۲/۵	۱۳۶۹/۵	۱۳۶۹/۵	۱۹۷۴/۵	۱۳۵۸.۵	۱۰۵۴	۹۸۶	۶۲۴/۲۵	۶۲۹/۷۵	۶۲۱/۵	۵۹۶/۷۵	۲۸۰	۳۰۰	۱۱۷/۵	۰	۲۱۳۱۲/۵

انتخاب مؤثرترین پارامترها و بحرانی‌ترین چاه‌ها ازنظر پتانسیل آلودگی با الگوریتم چانه‌زنی

نتایج به‌دست‌آمده به روش الگوریتم چانه‌زنی در منابع آب زیرزمینی چاه آبخوان خرم‌آباد، در جدول‌های (۷) و (۸) آورده شده است. در جدول (۷)، شاهد دویدن بازیکن‌ها (پارامترها) در تمامی میدان‌ها هستیم و درواقع طبق اصول چانه‌زنی، این چانه زدن‌ها ادامه می‌طلبد تا زمانی که پارامتری ازنظر همه‌ی منابع بحرانی تشخیص داده شود. چاه دارای ۱۳ منبع است، هر پارامتری که زودتر به ۱۳ برسد، یعنی ازنظر همه‌ی رأی‌دهندگان (منابع) بحرانی است. اگر چند پارامتر هم‌زمان به ۱۳ رسیدند، اول آن پارامتری بحرانی است که جمع سطری آن در همه ستون‌ها بیشتر شود. در منبع آب زیرزمینی چاه، اول پارامتر K بحرانی است و بعد HCO_3 و Cl. مبنای جدول (۷)، به ترتیب جدول (۳) است. در جدول (۶)، انتخاب منابع بحرانی‌تر طبق اصول چانه‌زنی انجام گرفت و اعدادی که مشاهده می‌شوند، همان جمع سطری هر پارامتر در جدول (۸) است که هرکدام سر جای خود قرارگرفته‌اند. مبنای جدول (۸) نیز، جدول (۳) است. حال انتخاب منابع بحرانی‌تر، یعنی آن‌که کدام زودتر به ۱۹۲ برای چاه می‌رسد، در اولویت است.

اولویت‌بندی چاه‌ها با اجرای الگوریتم‌های بوردا و چانه‌زنی

با اجرای الگوریتم‌های بوردا و چانه‌زنی در منابع آب زیرزمینی آبخوان خرم‌آباد، علاوه بر انتخاب مؤثرترین پارامترها، اولویت‌بندی منابع آب ازنظر ایجاد پتانسیل آلودگی مشخص می‌شود. با توجه به هدف اصلی مطالعه که ارائه یک مدل تصمیم‌گیری بهینه برای مدیریت منابع آب زیرزمینی این آبخوان بر اساس پتانسیل ایجاد آلودگی است. هدف از مطالعه حاضر، مقایسه این دو روش و تشخیص برتری یکی بر دیگری نیست و تصمیم‌گیرنده نهایی مدیر است که با آگاهی از اصول حاکم بر این دو روش که در مطالعه حاضر بررسی شدند، یکی از آن‌ها را برای مدیریت منابع آب زیرزمینی آبخوان برگزیند.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158] [Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

جدول ۷. رتبه‌بندی مؤثرترین پارامترها با روش چانه‌زنی در منبع آب زیرزمینی چاه شهرستان خرم‌آباد

چانه‌زنی پارامترها در منابع / پارامتر	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	12th	13th	14th	15th	16th	17th	18th	19th	SUM
SO_4	۲	۴	۵	۵	۶	۶	۶	۶	۷	۸	۹	۹	۹	۹	۹	۱۰	۱۲	۱۳	۱۳	۱۴۸
Cl	۲	۲	۳	۴	۴	۴	۵	۶	۸	۹	۹	۱۰	۱۰	۱۱	۱۱	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۵۰
HCO_3	۱	۱	۱	۲	۳	۳	۵	۵	۶	۷	۹	۹	۱۱	۱۲	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۴۰
CO_3	۲	۵	۶	۷	۹	۹	۹	۱۰	۱۰	۱۱	۱۲	۱۲	۱۲	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۹۲
K	۱	۲	۲	۳	۴	۵	۵	۶	۶	۷	۸	۹	۹	۹	۱۱	۱۱	۱۲	۱۳	۱۳	۱۳۶
Na	۰	۱	۲	۳	۳	۳	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۱	۱۲	۱۲	۱۲	۱۳	۱۳	۱۴۱
Mg	۰	۱	۱	۲	۳	۴	۵	۵	۵	۵	۷	۸	۸	۱۰	۱۱	۱۲	۱۲	۱۳	۱۳	۱۲۵
Ca	۰	۱	۲	۲	۲	۴	۶	۶	۷	۸	۸	۹	۱۰	۱۰	۱۱	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳۸
pH	۲	۲	۲	۲	۳	۵	۵	۷	۷	۷	۷	۸	۹	۹	۱۰	۱۰	۱۱	۱۳	۱۳	۱۳۲
TDS	۰	۰	۰	۲	۳	۴	۴	۴	۶	۶	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۱	۱۲	۱۳	۱۳	۱۳	۱۲۹
TH	۰	۰	۱	۱	۲	۳	۳	۴	۵	۷	۷	۸	۹	۱۱	۱۲	۱۲	۱۳	۱۳	۱۳	۱۲۴
SAR	۰	۱	۲	۳	۳	۵	۶	۷	۹	۹	۹	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۱۱	۱۳	۱۳	۱۳	۱۴۳
EC	۰	۰	۰	۱	۲	۳	۳	۴	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۱	۱۱	۱۱	۱۳	۱۳	۱۱۱
Wilcox	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱۲	۱۳
No_3	۱	۱	۳	۳	۳	۳	۳	۵	۶	۸	۸	۸	۹	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۳	۱۳	۱۳۵
P	۰	۱	۲	۳	۵	۶	۸	۸	۸	۸	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۱	۱۳	۱۳	۱۴۵
Landfill	۱	۱	۳	۳	۴	۴	۵	۵	۵	۵	۶	۷	۹	۹	۹	۱۲	۱۳	۱۳	۱۳	۱۲۷
Industrial	۰	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۴	۵	۵	۵	۶	۷	۸	۱۰	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۱۰
Landuse	۱	۱	۲	۴	۴	۴	۵	۶	۶	۷	۷	۸	۸	۸	۹	۱۱	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳۰

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158] [Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

جدول ۸. انتخاب بحرانی‌ترین منابع آب زیرزمینی (چاه) شهرستان خرم‌آباد ازنظر پتانسیل آلودگی ـ روش چانه‌زنی

اولویت‌بندی / منبع	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	12th	13th	14th	15th	16th	17th	18th	19th
چغاهروشی	۱۲۷	۱۱۰	۱۳۵	۱۴۰	۱۹۲	۱۳۶	۱۲۵	۱۳۲	۱۲۹	۱۲۴	۱۱۱	۱۳۸	۱۴۳	۱۵۰	۱۴۱	۱۳۰	۱۴۵	۱۴۸	۱۳
کهریز	۱۳۲	۱۹۲	۱۳۰	۱۳۶	۱۴۵	۱۱۰	۱۲۷	۱۴۱	۱۴۳	۱۳۵	۱۴۸	۱۵۰	۱۴۰	۱۲۵	۱۳۸	۱۲۹	۱۲۴	۱۱۱	۱۳
گیلوران	۱۳۰	۱۱۰	۱۲۷	۱۹۲	۱۴۸	۱۳۸	۱۴۰	۱۳۶	۱۲۴	۱۳۵	۱۲۹	۱۴۵	۱۱۱	۱۲۵	۱۳۲	۱۵۰	۱۴۳	۱۴۱	۱۳
دربند	۱۹۲	۱۴۳	۱۴۸	۱۵۰	۱۳۶	۱۴۵	۱۴۱	۱۳۲	۱۲۹	۱۱۱	۱۲۵	۱۳۰	۱۴۰	۱۳۵	۱۲۴	۱۳۸	۱۲۷	۱۳	۱۱۰
چم قرق	۱۴۰	۱۹۲	۱۲۷	۱۳۰	۱۳۲	۱۲۴	۱۳۸	۱۳۵	۱۴۳	۱۳۶	۱۴۱	۱۲۵	۱۱۰	۱۲۹	۱۱۱	۱۵۰	۱۴۸	۱۴۵	۱۳
تیربالر	۱۹۲	۱۳۸	۱۵۰	۱۱۱	۱۲۷	۱۲۹	۱۳۰	۱۲۴	۱۱۰	۱۴۰	۱۳۶	۱۴۱	۱۳۲	۱۳۵	۱۲۵	۱۴۸	۱۴۳	۱۴۵	۱۳
علی‌آباد	۱۳۲	۱۴۸	۱۹۲	۱۳۰	۱۴۵	۱۳۸	۱۴۳	۱۳۵	۱۵۰	۱۴۱	۱۴۰	۱۳۶	۱۲۹	۱۲۴	۱۱۱	۱۲۷	۱۱۰	۱۲۵	۱۳
سراب‌یاس	۱۳۶	۱۴۸	۱۲۴	۱۲۵	۱۹۲	۱۴۳	۱۴۵	۱۵۰	۱۴۱	۱۳۸	۱۲۹	۱۱۱	۱۲۷	۱۴۰	۱۱۰	۱۳۰	۱۳۲	۱۳۵	۱۳
بلیلوند	۱۴۸	۱۹۲	۱۳۵	۱۴۵	۱۲۵	۱۳۲	۱۴۱	۱۴۳	۱۵۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۲۴	۱۲۷	۱۱۰	۱۳۶	۱۳۸	۱۲۹	۱۱۱	۱۳
تلوری	۱۴۸	۱۲۵	۱۳۸	۱۲۹	۱۲۴	۱۱۱	۱۴۰	۱۱۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۴۵	۱۲۷	۱۴۱	۱۹۲	۱۳۶	۱۴۳	۱۳۰	۱۳۲	۱۳
چنارخیری	۱۵۰	۱۴۱	۱۴۳	۱۲۹	۱۱۱	۱۲۵	۱۴۵	۱۳۰	۱۴۸	۱۲۴	۱۹۲	۱۱۰	۱۳۸	۱۳۵	۱۴۰	۱۲۷	۱۳۶	۱۳۲	۱۳
ده‌باقر	۱۵۰	۱۳۶	۱۴۵	۱۴۱	۱۲۹	۱۴۳	۱۳۸	۱۱۱	۱۴۰	۱۹۲	۱۲۵	۱۳۲	۱۳۵	۱۲۴	۱۳۰	۱۲۷	۱۴۸	۱۱۰	۱۳
دارایی	۱۳۵	۱۴۵	۱۴۱	۱۴۳	۱۴۰	۱۳۲	۱۵۰	۱۹۲	۱۳۸	۱۴۸	۱۲۷	۱۲۹	۱۲۴	۱۱۱	۱۱۰	۱۲۵	۱۳۰	۱۳۶	۱۳

بحث

نتایج حاصل از این پژوهش، پس از پیاده‌سازی الگوریتم امتیازدهی بوردا، تصویری روشن از سلسله‌مراتب تأثیرگذاری پارامترهای مختلف در تعیین پتانسیل آلودگی منابع آب زیرزمینی آبخوان خرم‌آباد ارائه می‌دهد. بر اساس داده‌های مندرج در جدول (۵)، در رقابت میان نوزده پارامتر مورد ارزیابی در تمامی چاه‌های مطالعاتی، سه پارامتر کربنات با کسب امتیاز ۱۷۹/۵، فسفات با امتیاز ۱۳۵/۵ و نسبت جذب سدیم (SAR) با امتیاز ۱۳۰/۵ به‌عنوان مؤثرترین عوامل در ایجاد پتانسیل آلودگی شناسایی شدند.

این برتری پارامترهای مذکور، که برآمده از منطق درونی الگوریتم بوردا است، نمایانگر عملکرد نسبی آن‌ها در مقایسه با سایر پارامترها در سرتاسر مجموعه داده‌های مربوط به چاه‌ها است. به بیان دقیق‌تر، امتیاز بالاتر این سه پارامتر نشان می‌دهد که آن‌ها به‌طور مداوم و در تعداد بیشتری از چاه‌ها، سطوح یا ویژگی‌هایی را از خود بروز داده‌اند که به‌طور بالقوه با افزایش خطر آلودگی مرتبط هستند. از این منظر، می‌توان استنباط کرد که کربنات، فسفات و نسبت جذب سدیم، به‌عنوان شاخص‌های فراگیرتر و احتمالاً بحرانی‌تری در ارزیابی کیفیت کلی آب در سطح آبخوان خرم‌آباد عمل می‌کنند.

الگوریتم بوردا پارامترهای کربنات (با امتیاز ۱۹۲)، کلر (با امتیاز ۱۵۰) و سولفات (با امتیاز ۱۴۸) را به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در پتانسیل آلودگی هر چاه به‌صورت جداگانه تعیین نمود. این انتخاب، مستقیماً از سازوکار الگوریتم بوردا نشأت می‌گیرد که در آن هر پارامتر در تمامی "میدان‌ها" (یعنی چاه‌های مختلف) به‌نوعی "رقابت" می‌کند. امتیازات بالاتر کربنات، کلر و سولفات در این سطح، دلالت بر آن دارد که این پارامترها در تعداد بیشتری از چاه‌ها، مقادیر بالا یا ویژگی‌های نامطلوب مرتبط با آلودگی را نشان داده‌اند و ازاین‌رو، به‌عنوان نشانگرهای بالقوه بحرانی‌تری در سطح تک‌تک چاه‌ها قابل‌شناسایی هستند.

علاوه بر این، پژوهش حاضر به مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم بوردا با الگوریتم چانه‌زنی در شناسایی مؤثرترین پارامترها در زمینه پتانسیل آلودگی چاه‌های آبخوان خرم‌آباد پرداخته است (مطابق جدول ۶). این مقایسه نشان می‌دهد که در انتخاب پارامتر کربنات، هر دو روش به یک نتیجه مشابه دست‌یافته‌اند و آن را به‌عنوان یک عامل کلیدی در پتانسیل آلودگی شناسایی کرده‌اند. بااین‌حال، در انتخاب سایر پارامترهای مؤثر، بین نتایج دو الگوریتم اختلافاتی مشاهده می‌شود.

نتایج حاصل از اولویت‌بندی منابع آب زیرزمینی بر مبنای پتانسیل آلودگی، با بهره‌گیری از هر دو الگوریتم بوردا و چانه‌زنی، نشان می‌دهد که این دو روش در تعیین اولویت برخی منابع همسو و در مورد برخی دیگر، رویکردهای متفاوتی را اتخاذ می‌کنند. این ناهمگونی در اولویت‌بندی، ریشه در مبانی نظری و اصول عملکردی متمایز این دو الگوریتم دارد.

به‌طور مشخص، الگوریتم چانه‌زنی، با تمرکز بر اجماع و اهمیت مشترک، گزینه‌ای را به‌عنوان اولویت برتر انتخاب می‌کند که از دیدگاه تمامی "رأی‌دهنده‌ها" (در اینجا، پارامترهای آلاینده) از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌عبارت‌دیگر، این روش پارامتری را به‌عنوان بحرانی‌ترین عامل معرفی می‌کند که به‌طور گسترده در تمامی چاه‌های موردمطالعه مشکل‌ساز بوده و پتانسیل آلودگی قابل‌توجهی را در سطح کلی آبخوان ایجاد کرده است. درنتیجه، چاهی که پارامترهای آن در مراحل اولیه "چانه‌زنی" موردتوجه قرارگرفته و اولویت یافته‌اند، به‌عنوان بحرانی‌ترین و مهم‌ترین منبع آب شناسایی می‌شود. این رویکرد بر یافتن نقاط ضعف فراگیر و مؤثر در کل سیستم تأکید دارد.

در مقابل، الگوریتم بوردا، رویکردی متفاوت اتخاذ کرده و گزینه‌ها (منابع آب یا پارامترها) را بر اساس یک سیستم رتبه‌بندی وزنی اولویت‌بندی می‌کند. در این روش، هر گزینه بر اساس رتبه‌ای که در مقایسه با سایر گزینه‌ها کسب می‌کند، امتیاز دریافت می‌کند و درنهایت، گزینه‌ای که مجموع وزن

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158]

بیشتری را به خود اختصاص دهد، به‌عنوان اولویت برتر معرفی می‌شود. پیامد این سازوکار آن است که ممکن است منبع یا پارامتری درنهایت به‌عنوان اولویت تعیین شود که لزوماً در تمامی موارد بحرانی‌ترین نبوده، اما به‌دفعات بیشتری به‌عنوان یک عامل مهم در ارزیابی‌های فردی رتبه بالایی کسب کرده است. این روش، تأثیر تجمعی و فراوانی نسبی یک عامل را در نظر می‌گیرد، حتی اگر شدت تأثیر آن در موارد خاص به‌اندازه سایر عوامل نباشد.

از آنجایی‌که روش‌های مختلف اولویت‌بندی می‌توانند نتایج متفاوتی در شناسایی مناطق بحرانی به همراه داشته باشند، اتخاذ هرگونه تصمیم مدیریتی در این زمینه مستلزم بررسی دقیق و چندجانبه مسئله با استفاده از رویکردهای گوناگون است. این امر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است تا از یک دیدگاه جامع و همه‌جانبه برای مدیریت پایدار منابع آب اطمینان حاصل شود.

با توجه به اینکه فرآیند اولویت‌بندی در این مطالعه بر اساس داده‌های پارامترهای فیزیکوشیمیایی، کاربری اراضی و فیزیوگرافی، و درواقع بر مبنای واقعیت‌های موجود در منابع آب و اصول منطقی حاکم بر هر دو روش صورت گرفته است، نتایج حاصله به‌طور عقلانی و منطقی پارامترهایی را که دارای امتیاز بالاتری بوده‌اند و نیز منابع آبی را که بیشترین میزان خطر بالقوه آلودگی را نشان می‌دهند، مشخص می‌کنند. ازاین‌رو، می‌توان استنباط کرد که هر دو روش بوردا و چانه‌زنی، به‌نوعی مؤید مبانی و اصول بهداشت محیط بوده و در راستای شناسایی و مدیریت مخاطرات زیست‌محیطی عمل می‌کنند، هرچند با تأکیدات و رویکردهای متفاوت.

بیشتر مطالعات در داخل و خارج کشور نشان می‌دهد در وزن دهی هر یک از پارامترها بر مبنای نظرهای کارشناسی، امکان خطا و عدم قطعیت بالا می‌رود. برای مثال، پژوهش‌هایی مشابه بامطالعه‌ی Pizzol و همکاران[۳۱]، Alvarado و همکاران[۳۲]، ازجمله مواردی بودند که از روش‌های مبتنی بر نظرهای کارشناسی برای اولویت‌بندی پتانسیل آلودگی منابع آب استفاده کردند.

از دیگر موارد مشابه در مطالعات مانند Oikonomidis و همکاران[۳۳] در یونان با پژوهش حاضر، استفاده از قابلیت‌های سنجش‌ازدور جهت پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی است که علاوه بر تجزیه‌وتحلیل شرایط موجود در مناطق، در استخراج نقشه‌های کاربردی همچون کاربری اراضی همواره موردتوجه بوده است. در مطالعات مشابه دیگر همچون Lima و همکاران[۳۴] در دشت پامپا در آرژانتین و Tilahun و همکاران[۱۰] در اتیوپی با پژوهش حاضر، در استفاده از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی است که در بیشتر مطالعات مربوط به ارزیابی پتانسیل آلودگی منابع آب زیرزمینی موردتوجه بوده است. در پژوهش حاضر نیز در مراحل آماده‌سازی نقشه‌های مختلف و محاسبات پارامترهای نیترات و فسفات، از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. وجه مشترک دیگر در مطالعات یادشده و پژوهش حاضر، در بررسی پارامترهای مختلف ازجمله خصوصیات فیزیکوشیمیایی منابع آب و هم‌چنین خصوصیات فیزیوگرافی منطقه هست. همچنین هیچ عامل یا پارامتری به‌تنهایی نمی‌تواند برای مدیریت آلودگی منابع آب زیرزمینی تعیین تکلیف کند.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعات نشان داد که ارزیابی ریسک آلودگی آب‌های زیرزمینی یک ابزار ضروری برای حفاظت از این منابع، مدیریت و برنامه‌ریزی استفاده از سرزمین است. اما قوت دیگر پژوهش حاضر در اصول حاکم بر تئوری بازی است که تمامی پارامترهای منابع آب زیرزمینی را بدون هیچ‌گونه محدودیتی در تعداد پارامترها، در کنار یکدیگر بررسی کرده و مؤثرترین پارامترها در منابع آب زیرزمینی چاه را معرفی می‌کند. اجرای این الگوریتم‌ها به‌صورت جعبه سیاه نیست و تمامی مراحل و محاسبات برای اولویت‌بندی منابع آب ازنظر پتانسیل ایجاد آلودگی، واضح و روشن است. تئوری بازی به‌عنوان راه‌حلی چندبعدی در زمینه‌های مختلف تصمیم‌گیری مانند حل مشکلات مدیریت منابع بین‌المللی، تحلیل

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158]

خطر، تخصیص آب و بهینه‌سازی استفاده‌شده است و درنهایت، رویکردی مدیریتی و جامع را ارائه می‌دهد. استفاده از الگوریتم‌های تئوری بازی می‌تواند برای برنامه-ریزی سریع و مقرون‌به‌صرفه برای شناسایی مناطق بحرانی ازنظر پتانسیل آلودگی، پارامترهای اصلی ایجاد آلودگی در منابع آب، هوا، زمین و به‌طورکلی محیط‌زیست، مفید واقع شود. با توجه به اینکه از تئوری بازی برای اولویت‌بندی منابع آب زیرزمینی در کشور بسیار اندک استفاده‌شده، پیشنهاد می‌شود که محققان، با توجه به سوابق نتیجه‌بخش این روش در علوم مختلف و هم‌چنین در مطالعات مدیریت منابع آب، طی تحقیقات آینده از تئوری بازی در مطالعات منابع آب کشور بهره گیرند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله، تشکر و قدردانی خود را در راستای انجام این پژوهش از دانشگاه علوم پزشکی لرستان اعلام می نمایند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ تعارض منافعی با یکدیگر ندارند.

حمایت مالی

نویسندگان مقاله اعلام می‌نمایند که این پژوهش پشتیبان مالی نداشته است.

ملاحظات اخلاقی

این پژوهش بر روی نمونه‌های انسان و حیوانی انجام نشده است.

مشارکت نویسندگان

- **نگارش، انجام آنالیز و تحلیل داده‌ها، نرم افزار:** مهسا حسنوند
- **مدیریت پروژه، نظارت:** علی حقی زاده
- **مدیریت و پردازش داده‌ها:** بهرام کمره‌ئی
- **ایده پردازی، روش شناسی:** مهسا حسنوند، علی حقی زاده، بهرام کمره‌ئی
- **بازبینی و ویرایش:** علی حقی زاده، لیلا قاسمی
- **تهیه شکل ها و تصاویر:** مهسا حسنوند، لیلا قاسمی

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158]

References

1. Falah F, Daneshfar M, Ghorbaninejad S. Application of the Statistical Index Model in Groundwater Potential Mapping in the Khorramabad Plain. Journal of Water and Sustainable Development. 2017; 4(1): 89-98. (In Persian)
2. Tauqeer HM, Turan V, Iqbal M. Production of safer vegetables from heavy metals contaminated soils: the current situation, concerns associated with human health and novel management strategies. In Advances in bioremediation and phytoremediation for sustainable soil management: principles, monitoring and remediation (pp. 301-312). Cham: Springer International Publishing. 2022a.
3. Ostad-Ali-Askari K, Shayannejad M, Ghorbanizadeh-Kharazi H. Artificial neural network for modeling nitrate pollution of groundwater in marginal area of Zayandeh-rood River, Isfahan, Iran. KSCE Journal of Civil Engineering. 2017; 21: 134-140.
4. Akram R, Turan V, Hammad HM, Ahmad S, Hussain S, Hasnain A, Nasim W. Fate of organic and inorganic pollutants in paddy soils. Environmental pollution of paddy soils. 2018; 197-214.
5. Tauqeer HM, Turan V, Farhad M, Iqbal M. Sustainable agriculture and plant production by virtue of biochar in the era of climate change. In Managing plant production under changing environment (pp. 21-42). Singapore: Springer Nature Singapore. 2022b.
6. Akhtar N, Syakir Ishak MI, Bhawani SA, Umar K. Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: A review. Water. 2021; 13(19): 2660.
7. Panaskar DB, Wagh VM, Muley AA, Mukate SV, Pawar RS, Aamalawar ML. Evaluating groundwater suitability for the domestic, irrigation, and industrial purposes in Nanded Tehsil, Maharashtra, India, using GIS and statistics. Arabian Journal of Geosciences. 2016; 9: 1-16.
8. Sarker B, Keya KN, Mahir FI, Nahiun KM, Shahida S Khan, RA. Surface and ground water pollution: Causes and effects of urbanization and industrialization in South Asia. Scientific Review. 2021; 7(3): 32-41.
9. Kumar A, Malyan SK, Kumar SS, Dutt D, Kumar V. An assessment of trace element contamination in groundwater aquifers of Saharanpur, Western Uttar Pradesh, India. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2019; 20, 101213.
10. Tilahun K. Merkel BJ. Assessment of groundwater vulnerability to pollution in Dire Dawa, Ethiopia using DRASTIC. Environmental Earth Sciences. 2010; 59: 1485-1496.
11. Rogers P. A game theory approach to the problems of international river basins. Water resources research. 1969; 5(4): 749-760.
12. Abdoli G. Game theory and its applications (Static and dynamic games with complete information). Tehran: Jihad daneshgahi-Tehran university. 2011. (In Persian).
13. Liu Y, Hu Y, Hu Y, Gao Y, Liu Z. Water quality characteristics and assessment of Yongding New River by improved comprehensive water quality identification index based on game theory. Journal of environmental sciences. 2021; 104: 40-52.
14. Yang B, Lai C, Chen X, Wu X, He Y. Surface water quality evaluation based on a game theory-based cloud model. Water. 2018; 10(4): 510.
15. Arshia A, Haghizadeh A, Tahmasebipour N, Zeinivand H. Prioritization of Sezar Subbasins in terms of flooding potentian using game theory. Iranian journal of Ecohydrology. 2018; 5(4): 1219-1231. (In Persian)
16. Tshamala AK, Musala MK, Kalenga GK, Wa Mumapanda HD. Assessment of surface water quality in Kakanda: detection of pollution from mining activities. 2021.
17. Santonastaso GF, Di Nardo A, Creaco E, Musmarra D, Greco R. Comparison of topological, empirical and optimization-based approaches for locating quality detection points in water distribution networks. Environmental Science and Pollution Research. 2021; 28: 33844-33853.
18. Bayat F, Didar TF, Hosseinidoust Z. Emerging investigator series: bacteriophages as nano engineering tools for quality monitoring and pathogen detection in water and wastewater. Environmental Science: Nano. 2021; 8(2): 367-389.
19. Zhang Y, Huo X, Luo Y. Prediction of groundwater pollution diffusion path based on multi-source data fusion. Frontiers in Environmental Science. 2023; 10: 1116309.
20. Hashemi M, Peralta RC, Yost M. Balancing Results from AI-Based Geostatistics versus Fuzzy Inference by Game Theory Bargaining to Improve a Groundwater Monitoring Network. Machine Learning and Knowledge Extraction. 2024; 6(3): 1871-1893.
21. Moridi A.Game Theory in Water Quality Management. 2025. doi: 10.5772/intechopen.1007862
22. Beirnvand L, Afzali A. Assessment of groundwater vulnerability to contamination in Khorramabad plain. 15th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction. Kerman. 2019. (In Persian)
23. Rezaei R, Maleli A, Safari M, Ghavami A. Evaluation of chemical contamination of ground water resource in the downstream areas of the buria site of Sanandaj city. Scientific journal of Kurdistan University of Medical Sciences. 2010; 15: 89-98.
24. Bolstad P, Lillesand TM. Rapid maximum likelihood classification. Photogrammetric engineering and remote sensing. 1991; 57(1): 67-74.
25. Madani K. Game theory and water resources. Journal of hydrology. 2010; 381(3-4): 225-238.
26. Suresh M, Sudhakar S, Tiwari KN, Chowdary VM. Prioritization of watersheds using morphometric parameters and assessment of surface water potential using remote sensing. Journal of the indian society of remote sensing. 2004; 32: 249-259.
27. Pacuit E. Voting methods .2011.
28. Balinski M, Laraki R. A theory of measuring, electing, and ranking. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2007; 104(21): 8720-8725.
29. Brams SJ, Kilgour DM. Fallback bargaining. Group Decision and Negotiation. 2001; 10: 287-316.
30. Baharad E, Nitzan S. The Borda rule, Condorcet consistency and Condorcet stability. Economic Theory. 2003; 22(3): 685-688.
31. Pizzol L, Zabeo A, Critto A, Giubilato E, Marcomini A. Risk-based prioritization methodology for the classification of groundwater pollution sources. Science of the Total Environment. 2015; 506: 505-517.
32. Alvarado A, Esteller MV, Quentin E, Expósito JL. Multi-criteria decision analysis and GIS approach for prioritization of drinking water utilities protection based on their vulnerability to contamination. Water Resources Management. 2016; 30: 1549-1566.
33. Oikonomidis D, Dimogianni S, Kazakis N, Voudouris K. A GIS/remote sensing-based methodology for

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158]

groundwater potentiality assessment in Tirnavos area, Greece. Journal of Hydrology. 2015; 525: 197-208.
34. Lima ML, Romanelli A, Massone HE. Decision support model for assessing aquifer pollution hazard and prioritizing groundwater resources management in the wet Pampa plain, Argentina. Environmental monitoring and assessment. 2013; 185: 5125-5139.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-05-28]

[DOI: 10.61882/jehe.13.2.158]