اولویت‌بندی آلودگی آب­های زیرزمینی(چاه‌ها) با استفاده از الگوریتم­های بوردا و چانه­زنی در آبخوان خرم­آباد

**مهسا حسنوند 1**، علی حقی زاده 2 \*، بهرام کمره ئی 3، لیلا قاسمی 4

**1 –کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد، ایران**

**2- استاد گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران (نویسنده مسئول).**

Haghizadeh.a@lu.ac.ir

**3- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد، ایران**

**4- دانشجوی دکترا (**Ph.D**)، گروه مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران**

**چکیده**

مقدمه: **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 روش‌ها: **در این مطالعه نقشه­ کاربری اراضی** با استفاده از تصاویر سنجنده­ OLIلندست 8 **تهیه شد.** همچنین در مراحل مختلف تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه خرم­آباد و بررسی صحت نقشه­های پیش‌بینی‌شده، از نرم­افزارهای ArcGIS 10.3 وEnvi 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.**

نتایج: **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 5/179، فسفات با امتیاز 5/135 و نسبت جذب سدیم با امتیاز 5/130 مؤثرترین پارامترها بودند. با اجرای الگوریتم چانه‌زنی پارامترهای کربنات، کلر و سولفات مؤثرترین پارامترها بودند.**

نتیجه‌گیری: **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.**

**کلمات کلیدی: تئوری بازی، پتانسیل آلودگی، چاه‌های خرم‌آباد، پارامتر**

**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 می‌باشد1.** با توسعه کشاورزی و صنعت، تقاضا برای آب‌های زیرزمینی به‌سرعت به رشد خود ادامه می‌دهد2، این امر فشار زیادی را بر استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی وارد می‌کند3. منابع آب زیرزمینی به‌طور چشمگیری تحت تأثیر تغییرات آب‌و‌هوایی4 و همچنین مداخلات انسانی5 قرار دارند. آب‌های زیرزمینی، به‌عنوان یک منبع مهم آب، بر امنیت کشاورزی، صنعت و محیط‌زیست تأثیر می‌گذارد4. 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 است6،7. از سوی دیگر، صنعتی شدن و رشد جمعیت، آلودگی آب‌های زیرزمینی را تسریع کرده است8،9 . **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**10.

**یکی از روش­های مدیریت منابع آب، روش تئوری بازی­ها می­باشد، این تئوری به‌طور موفقیت‌آمیزی در انواع مسائل مدیریتی منابع آب به‌کاربرده شده است11**. **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 کند12**. در مطالعات پیشین، تئوری بازی برای ارزیابی کیفیت آب به‌عنوان روشی مؤثر برای حل این مشکل استفاده شد13،14.

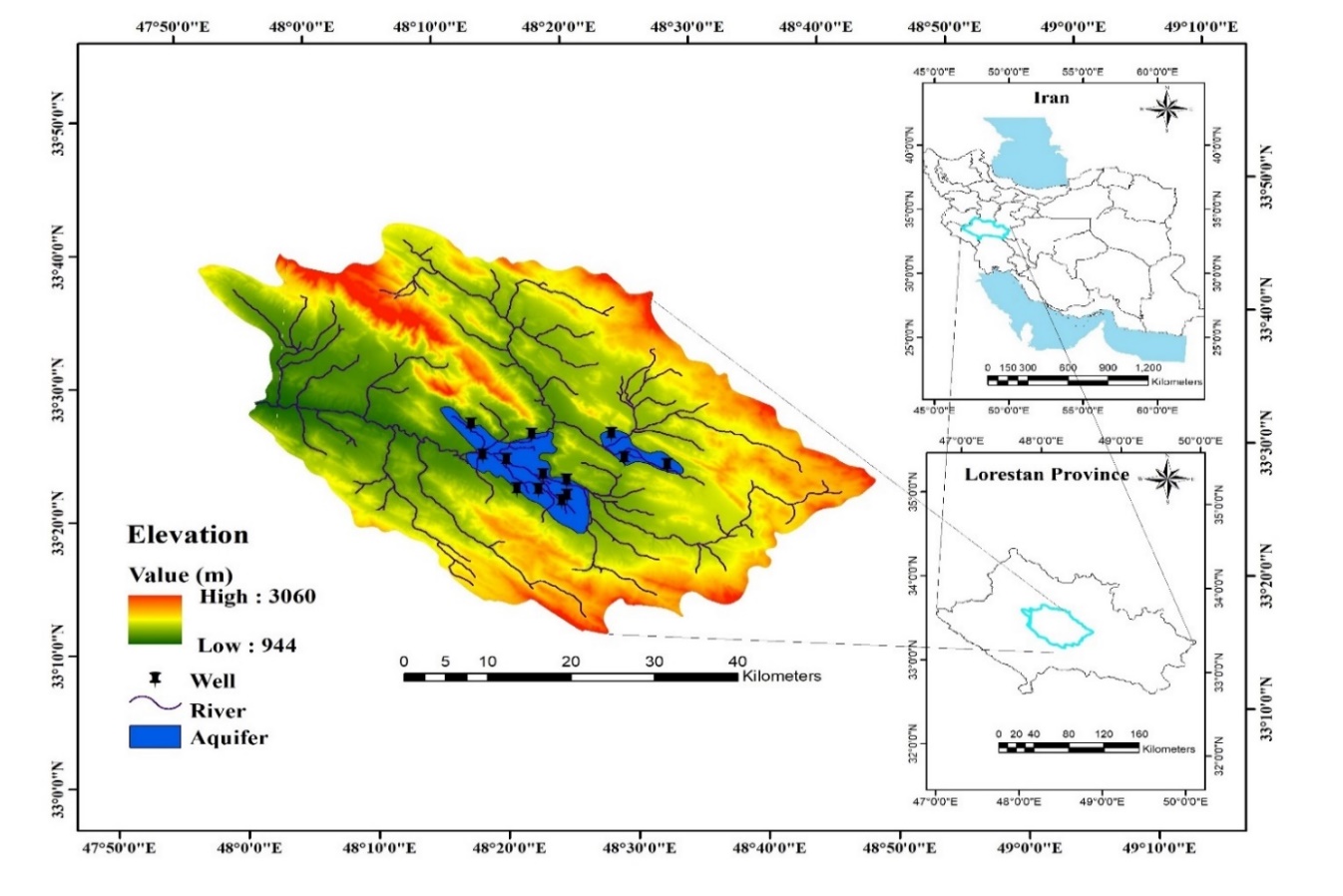
Arshiaو همکاران (2018) نیز در پژوهشی برای اولویت‌بندی زیر حوضه‌های آبخیز سزار بر اساس خطر بروز سیل با استفاده از تئوری بازی از دو الگوریتم بوردا و چانه‌زنی در تئوری بازی، مؤثرترین پارامترها را در تمامی زیر حوضه‌ها و نیز بحرانی‌ترین زیر حوضه‌ها را مشخص نمودند15.Tshamala و همکاران **(2021) در یک گزارش،** 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 کرد16. نتایج پژوهش Santonastaso و همکاران (2021) 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 کند17. همچنین Bayat و همکاران (2021) 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 کرد18. در پژوهشی که توسط**‌**Zhang و همکاران (2023) 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 داده‌های چند متغیره‌ی پیشنهادشده می‌تواند نقش مهمی در پیش‌بینی مسیر انتشار آلودگی آب‌های زیرزمینی داشته باشد19.** Hashemi **و همکاران (2024) 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 آورد20.** Moridi **(2025) 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 داد21.**

**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 ﺗﻮﺳـﻌﻪ ﮐﺸـﺎورزي ﯾﮑـﯽ از دشت‌های ﻣﻬﻢ اﺳﺘﺎن لرستان ﻣﺤﺴﻮب می‌گردد. بنابراین ﺣﻔﺎﻇﺖ و ﺣﺮاﺳـﺖ از ﻣﻨـﺎﺑﻊ آﺑﯽ اﯾﻦ دﺷﺖ از اﻫﻤﯿﺖ وﯾﮋه‌اي ﺑﺮﺧـﻮردار اﺳـﺖ. از ﻃﺮﻓـﯽ، آﻟـﻮدﮔﯽ ﻣﻨـﺎﺑﻊ آب زﯾﺮزﻣﯿﻨﯽ در اﺛﺮ فعالیت‌های اﻧﺴـﺎﻧﯽ از مهم‌ترین ﻣﺸـﮑﻼت ﻣـﺪﯾﺮان ﻣﻨـﺎﺑﻊ آب می‌باشد. به همین منظور، ﺷﻨﺎﺳﺎﯾﯽ ﺳﺎﺧﺘﺎر ﻫﯿـﺪروﻟﻮژﯾﮑﯽ و ﻫﯿـﺪروژﺋﻮﻟﻮژﯾﮑﯽ اﯾﻦ آﺑﺨﻮان و اولویت‌بندی ﺣﺴﺎﺳﯿﺖ آن ﻧﺴﺒﺖ ﺑﻪ آﻟﻮدﮔﯽ می‌تواند ﻣـﺪﯾﺮان ﻣﻨـﺎﺑﻊ آب را ﺟﻬــﺖ ﮐﻨﺘــﺮل آلاینده‌های ﻧﺎﺷــﯽ از فعالیت‌های اﻧﺴــﺎﻧﯽ در ﻣﻨــﺎﻃﻖ آسیب‌پذیر ﯾﺎري 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 جغرافيايي، منطقه موردمطالعه با مساحتي بيش از 1000 كيلومترمربع بين طول‌های جغرافيايي 48 درجه و 21 دقيقه و 48 درجه و 12 دقيقه عرض‌های جغرافيايي 33 درجه و 34 دقيقه و 33 درجه 36 دقيقه قرارگرفته است. همچنین ازلحاظ تقسيمات كشوري 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 25 کیلومتر و وسعتی در حدود 2513 کیلومترمربع می‌باشد. ارتفاع متوسط این دشت 1250 متر از سطح دریا است و بالاترین نقطه آن به 3053 متر می‌رسد.** **در این منطقه، مقدار بارش متوسط در سطح دشت و ارتفاعات به ترتیب 75/60 میلیون مترمکعب و 17/324 میلیون مترمکعب تخمین زده می‌شود. میانگین دمای سالانه در دشت نیز 16 درجه سانتی‌گراد است که نشان‌دهنده اقلیم نسبتاً معتدل این ناحیه می‌باشد.** **علاوه بر این، مساحت آبخوان دشت خرم‌آباد به 133 کیلومترمربع می‌رسد22.**



شکل 1. 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 13 چاه در آبخوان خرم‌آباد از شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان دریافت شد.**

دریافت تصاویر ماهواره‌ای

الگوریتم بوردا

الگوریتم چانه زنی

پارامترها

Cl

HCO3

CO3

K

Na

Mg

Ca

pH

TDS

EC

SAR

Wilcox

No3

P

Industrial

Landuse

الویت بندی مناطق مستعد آلودگی آب زیرزمینی

انتخاب موثرترین پارامترها

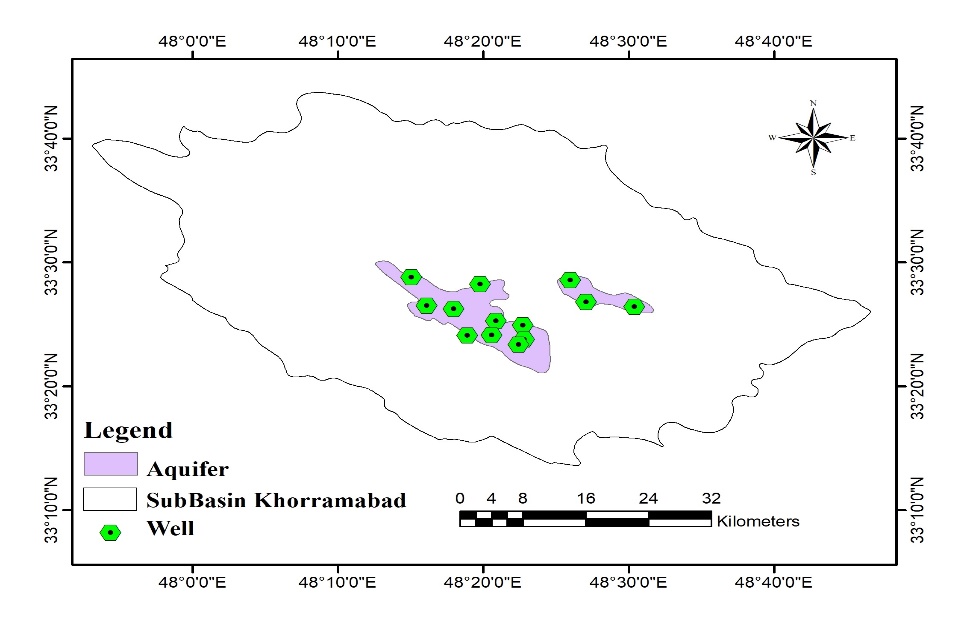
پردازش اطلاعات

تهیه نقشه کاربری اراضی

بررسی صحت نقشه­های پیش­بینی شده ArcGIS 10.3 و Envi 5.3

شکل 2. نمودار جریانی روش تحقیق

**چاه­های موردمطالعه در جدول (1) ارائه شده است و موقعیت آن‌ها نیز در (شکل 3) نشان داده شده است. همچنین تصاویر سنجنده­ 1** OLI**لندست 8 از سازمان زمین‌شناسی آمریکا دریافت شد.**

****

شکل 3. موقعیت مکانی چاه‌های موردمطالعه

جدول 1. چاه‌های موردمطالعه شهرستان خرم‌آباد

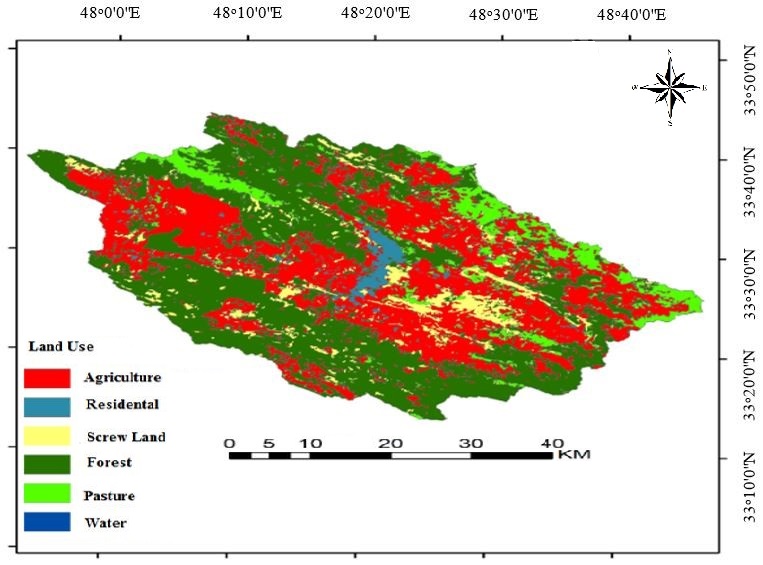
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **رديف** | **ناممحل** | **X** | **Y** |
| 1 | چغاهروشي | 244557 | 3707863 |
| 2 | كهريز | 261444 | 3707005 |
| 3 | گيلوران | 251851 | 3706636 |
| 4 | دربند | 263083 | 3703716 |
| 5 | چم قرق | 246067 | 3703606 |
| 6 | تير بالر | 248917 | 3703034 |
| 7 | علي آباد | 268217 | 3702887 |
| 8 | سراب ياس | 253401 | 3701102 |
| 9 | بليلوند | 256232 | 3700422 |
| 10 | تلوري | 250292 | 3699041 |
| 11 | چنار خيري | 256335 | 3698286 |
| 12 | ده باقر | 255725 | 3697524 |
| 13 | دارايي | 252888 | 3699005 |

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 می‌باشد23. 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 OLI1 لندست 8 به تاریخ تصویربرداری 2018 استفاده شد. در مراحل مختلف تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه خرم­آباد و بررسی صحت نقشه­های پیش‌بینی‌شده، از نرم­افزارهای ArcGIS 10.3 وEnvi 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 است24.در ادامه با استفاده از روش حداکثر احتمال در نرم­افزار، نقشه کاربری اراضی حوضه خرم­آباد در محیط نرم­افزار در 6 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 4).



**شکل 4. 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 کند12.**

**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**25. **هدف، رسیدن به فضایی است که در آن بیشترین خواسته­ی هر ذینفع به­شرط تأمین شدن حداکثر نیاز ذینفعان، برآورده شود‌**26. **از‌این‌رو، استفاده از تئوری بازی به­منظور مواجهه با 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 می­دهد27.

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

|  |  |
| --- | --- |
| **(1)** | *BS (A) = ( n – 1)\* #{i | i ranks A first} + (n – 2)*  *\* #{i | i ranks A second} + … + 1*  *\* #{i | i ranks A second to last} + 0*  *\* #{i | i ranks A last}* |

**هر نماینده با بیشترین امتیاز به­عنوان نماینده نخست (اولویت اول) انتخاب می­شود28**.

در مطالعه حاضر با توجه به اینکه 13 چاه وجود دارد مجموعاً 13 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 13، رتبه دوم به نماینده­ای با عدد 12 و ... درنهایت آخرین رتبه به نماینده با عدد صفر اختصاص یافت. درواقع نماینده (منبع آب زیرزمینی) با عدد 13 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 می­کند29**. **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 می­یابد30**.

**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 ail و aik است. به‌عنوان‌مثال اگر دو بازیکن داشته باشیم و k={a,b,c,d} بنابراین، k=4 وA =  **. در شکل (5)، روند اجرای الگوریتم‌های تئوری بازی در منابع آب زیرزمینی آبخوان خرم­آباد مشاهده می­شود.**

تئوری بازی

پارامترها: نیترات، سدیم و pH

الویت‌بندی مناطق مستعد آلودگی آب زیرزمینی

انتخاب موثرترین پارامترها

منابع آب زیرزمینی (چاه)

شکل 5. 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 (2) 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 3).**

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

**نتایج به‌دست‌آمده به روش الگوریتم بوردا در جدول­های (4) 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 (4) 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 (3) امتیازدهی شدند. سپس در جدول­ (5)، 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 (5)، 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**

جدول 2. پارامترهای به‌دست‌آمده برای چاه‌های شهرستان خرم‌آباد

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Landuse | Industrial | Landfill | P | NO3 | Wilcox | EC | SAR | TH | TDS | pH | Ca | Mg | Na | K | CO3 | HCO3 | Cl | SO4 | پارامتر  منبع |
| ۱۰ | ۹۹۷ | ۲۰۰۹۰ | 08/0 | 27/8 | **C2-S1** | 385/641 | 42/0 | 69/277 | 69/414 | 57/7 | 98/2 | 57/2 | 65/0 | 05/0 | 07/0 | 21/5 | 51/0 | 64/0 | چغاهروشی |
| ۱۳۹۰ | ۳۸۲۵ | ۶۴۲۲ | 088/0 | 00/5 | **C2-S1** | 100/402 | 29/0 | 25/166 | 60/256 | 73/7 | 33/2 | 99/0 | 33/0 | 04/0 | 10/0 | 82/2 | 39/0 | 42/0 | کهریز |
| ۳۹۵۲ | ۱۱۸۳ | ۱۲۸۹۶ | 082/0 | 25/66 | **C2-S1** | 25/581 | 15/0 | 00/260 | 00/373 | 43/7 | 32/3 | 87/1 | 22/0 | 03/0 | 00/0 | 37/4 | 46/0 | 58/0 | گیلوران |
| ۱۰ | ۶۲۹۵ | ۲۸۴۶ | 087/0 | 62/6 | **C2-S1** | 40/592 | 46/0 | 50/231 | 70/379 | 52/7 | 62/2 | 01/2 | 66/0 | 04/0 | 06/0 | 96/3 | 72/0 | 57/0 | دربند |
| ۱۴۵۵ | ۱۲۰۶ | ۱۷۵۴۱ | 077/0 | 18/7 | **C2-S1** | 64/800 | 59/0 | 28/319 | 77/515 | 61/7 | 70/3 | 68/2 | 99/0 | 05/0 | 13/0 | 81/5 | 05/0 | 50/0 | چم‌قرق |
| ۵۵۰ | ۱۲۵۹ | ۱۴۶۳۶ | 063/0 | 66/6 | **C2-S1** | 40/812 | 37/0 | 00/313 | 40/525 | 53/7 | 10/4 | 16/2 | 67/0 | 04/0 | 10/0 | 84/4 | 58/1 | 48/0 | تیربالر |
| ۵۰۶ | ۶۱۲۳ | ۵۲۲۹ | 087/0 | 89/5 | **C2-S1** | 50/500 | 40/0 | 20/210 | 50/320 | 64/7 | 77/2 | 43/1 | 54/0 | 03/0 | 05/0 | 40/3 | 50/0 | 82/0 | علی‌آباد |
| ۱۰ | ۲۸۲۹ | ۹۹۹۴ | 094/0 | 01/3 | **C2-S1** | 87/737 | 48/0 | 37/324 | 50/468 | 38/7 | 46/3 | 02/3 | 81/0 | 09/0 | 06/0 | 78/4 | 18/1 | 32/1 | سراب‌یاس |
| ۲۰ | ۳۸۴۸ | ۷۱۷۴ | 092/0 | 99/6 | **C2-S1** | 66/561 | 44/0 | 00/255 | 66/365 | 56/7 | 60/2 | 50/2 | 66/0 | 03/0 | 00/0 | 00/4 | 71/0 | 00/1 | بلیلوند |
| ۳۰ | ۱۰۶۲ | ۱۳۲۳۲ | 098/0 | 99/7 | **C2-S1** | 09/899 | 44/0 | 445/381 | 63/585 | 43/7 | 44/4 | 18/3 | 82/0 | 04/0 | 00/0 | 37/5 | 54/1 | 50/1 | تلوری |
| ۱۴۰۸ | ۲۱۷۸ | ۷۵۲۱ | 098/0 | 93/6 | **C2-S1** | 40/833 | 80/0 | 00/317 | 00/545 | 09/7 | 38/3 | 96/2 | 30/1 | 10/0 | 00/0 | 32/4 | 29/2 | 98/0 | چنارخیری |
| ۱۰۴ | ۵۴۹۱ | ۸۳۷۳ | 10/0 | 00/7 | **C2-S1** | 83/811 | 68/0 | 00/310 | 66/526 | 57/7 | 55/3 | 65/2 | 15/1 | 06/0 | 00/0 | 95/4 | 93/1 | 48/0 | ده‌باقر |
| ۳۰ | ۲۲۹۱ | ۱۰۶۷۲ | 12/0 | 98/8 | **C2-S1** | 94/707 | 75/0 | 55/290 | 94/485 | 59/7 | 49/3 | 31/2 | 28/1 | 03/0 | 00/0 | 96/4 | 44/1 | 71/0 | دارایی |

جدول 3. 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 | NO3 | HCO3 | CO3 | K | Mg | pH | TDS | TH | EC | Ca | SAR | Cl | Na | Use | P | SO4 | Class |
| کهریز | pH | CO3 | Use | K | P | Ind | Land | Na | SAR | NO3 | SO4 | Cl | HCO3 | Mg | Ca | TDS | TH | EC | Class |
| گیلوران | Use | Ind | Land | CO3 | SO4 | Ca | HCO3 | K | TH | NO3 | TDS | P | EC | Mg | pH | Cl | SAR | Na | Class |
| دربند | CO3 | SAR | SO4 | Cl | K | P | Na | pH | TDS | EC | Mg | Use | HCO3 | NO3 | TH | Ca | Land | Class | Ind |
| چم‌قرق | HCO3 | CO3 | Land | Use | pH | TH | Ca | NO3 | SAR | K | Na | Mg | Ind | TDS | EC | Cl | SO4 | P | Class |
| تیربالر | CO3 | Ca | Cl | EC | Land | TDS | Use | TH | Ind | HCO3 | K | Na | pH | NO3 | Mg | SO4 | SAR | P | Class |
| علی‌آباد | pH | SO4 | CO3 | Use | P | Ca | SAR | NO3 | Cl | Na | HCO3 | K | TDS | TH | EC | Land | Ind | Mg | Class |
| سراب‌یاس | K | SO4 | TH | Mg | CO3 | SAR | P | Cl | Na | Ca | TDS | EC | Land | HCO3 | Ind | Use | pH | NO3 | Class |
| بلیلوند | SO4 | CO3 | NO3 | P | Mg | pH | Na | SAR | Cl | Use | HCO3 | TH | Land | Ind | K | Ca | TDS | EC | Class |
| تلوری | SO4 | Mg | Ca | TDS | TH | EC | HCO3 | Ind | NO3 | Cl | P | Land | Na | CO3 | K | SAR | Use | pH | Class |
| چنارخیری | Cl | Na | SAR | TDS | EC | Mg | P | Use | SO4 | TH | CO3 | Ind | Ca | NO3 | HCO3 | Land | K | pH | Class |
| ده‌باقر | Cl | K | P | Na | TDS | SAR | Ca | EC | HCO3 | CO3 | Mg | pH | NO3 | TH | Use | Land | SO4 | Ind | Class |
| دارایی | NO3 | P | Na | SAR | HCO3 | pH | Cl | CO3 | Ca | SO4 | Land | TDS | TH | EC | Ind | Mg | Use | K | Class |

جدول 4. 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 | 5/17 | 5/17 | ۱۶ | ۱۴ | ۱۴ | ۱۴ | 5/11 | 5/11 | ۹ | ۹ | ۹ | 5/6 | 5/6 | 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 | 5/15 | 5/15 | ۱۴ | 5/12 | 5/12 | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۷ | ۷ | ۷ | 5/4 | 5/4 | ۳ | ۱ | ۱ | ۱ |
| دربند | ۱۸ | ۱۷ | 5/14 | 5/14 | 5/14 | 5/14 | 5/10 | 5/10 | 5/10 | 5/10 | 5/7 | 5/7 | ۵ | ۵ | ۵ | ۳ | ۱ | ۱ | ۱ |
| چم‌قرق | 5/17 | 5/17 | 5/15 | 5/15 | ۱۳ | ۱۳ | ۱۳ | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | 5/4 | 5/4 | ۳ | ۲ | ۱ | ۰ |
| تیربالر | 5/17 | 5/17 | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۱۳ | ۱۱ | ۱۱ | ۱۱ | ۹ | 5/7 | 5/7 | 5/5 | ۵.۵ | ۴ | ۳ | ۲ | 5/0 | 5/0 |
| علی‌آباد | ۱۸ | 5/16 | 5/16 | ۱۵ | ۱۴ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | 5/9 | 5/9 | 5/4 | 5/4 | 5/4 | 5/4 | 5/4 | 5/4 | 5/4 | 5/4 | ۰ |
| سراب‌یاس | ۱۸ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۶ | ۱۴ | 5/12 | 5/12 | ۹ | ۹ | ۹ | ۹ | ۹ | 5/5 | 5/5 | ۴ | ۳ | ۲ | 5/0 | 5/0 |
| بلیلوند | ۱۸ | ۱۷ | 5/15 | 5/15 | 5/13 | 5/13 | 5/11 | 5/11 | 5/9 | 5/9 | 5/6 | 5/6 | 5/6 | 5/6 | 5/2 | 5/2 | 5/2 | 5/2 | ۰ |
| تلوری | 5/15 | 5/15 | 5/15 | 5/15 | 5/15 | 5/15 | 5/11 | 5/11 | ۱۰ | ۸ | ۸ | ۸ | 5/5 | 5/5 | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | ۰ |
| چنارخیری | ۱۷ | ۱۷ | ۱۷ | 5/14 | 5/14 | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | 5/9 | 5/9 | ۸ | ۷ | 5/5 | 5/5 | 5/3 | 5/3 | ۱ | ۱ | ۱ |
| ده‌باقر | ۱۷ | ۱۷ | ۱۷ | ۱۴ | ۱۴ | ۱۴ | 5/11 | 5/11 | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۵ | ۴ | ۳ | 5/1 | 5/1 | ۰ |
| دارایی | 5/17 | 5/17 | 5/15 | 5/15 | 5/13 | 5/13 | ۱۱ | ۱۱ | ۱۱ | 5/8 | 5/8 | 5/5 | 5/5 | 5/5 | 5/5 | 5/2 | 5/2 | ۱ | ۰ |

جدول 5.رتبه‌بندی مؤثرترین پارامترها به روش بوردا در چاه‌های شهرستان خرم‌آباد

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| پارامتر  **منبع** | SO4 | Cl | HCO3 | CO3 | K | Na | Mg | Ca | pH | TDS | TH | SAR | EC | Wilcox | No3 | P | Landfill | Industrial | Landuse |
| چغاهروشی | ۱ | ۴ | ۱۴ | ۱۴ | ۱۴ | ۴ | 5/11 | 5/6 | ۱۱.۵ | ۹ | ۹ | 5/6 | ۹ | ۰ | ۱۶ | ۲ | 5/17 | 5/17 | ۴ |
| کهریز | ۴ | ۴ | ۴ | ۱۷ | ۱۵ | ۱۰ | ۴ | ۴ | ۱۸ | ۴ | ۴ | ۱۰ | ۴ | ۴ | ۱۰ | ۱۴ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۶ |
| گیلوران | ۱۴ | ۳ | 5/12 | 5/15 | ۱۰ | ۱ | 5/4 | 5/12 | 5/4 | ۷ | ۱۰ | ۱ | ۷ | ۱ | ۱۰ | ۷ | 5/15 | ۱۷ | ۱۸ |
| دربند | 5/14 | 5/14 | ۵ | ۱۸ | 5/14 | 5/10 | 5/7 | ۳ | 5/10 | 5/10 | ۵ | ۱۷ | 5/10 | ۱ | ۵ | 5/14 | ۱ | ۱ | 5/7 |
| چم‌قرق | ۲ | ۳ | 5/17 | 5/17 | 5/8 | 5/8 | 5/8 | ۱۳ | ۱۳ | 5/4 | ۱۳ | 5/8 | 5/4 | ۰ | 5/8 | ۱ | 5/15 | 5/8 | 5/15 |
| تیربالر | ۳ | ۱۵ | ۹ | 5/17 | 5/7 | 5/7 | ۴ | 5/17 | ۵.۵ | ۱۳ | ۱۱ | ۲ | ۱۵ | 5/0 | 5/5 | 5/0 | ۱۵ | ۱۱ | ۱۱ |
| علی‌آباد | 5/16 | 5/9 | 5/4 | 5/16 | 5/4 | 5/9 | 5/4 | ۱۲ | ۱۸ | 5/4 | 5/4 | ۱۲ | 5/4 | ۰ | ۱۲ | ۱۴ | 5/4 | 5/4 | ۱۵ |
| سراب‌یاس | ۱۶ | ۹ | 5/5 | ۱۴ | ۱۸ | ۹ | ۱۶ | ۹ | ۲ | ۹ | ۱۶ | 5/12 | ۹ | 5/0 | 5/0 | 5/12 | 5/5 | ۴ | ۳ |
| بلیلوند | ۱۸ | 5/9 | ۶.۵ | ۱۷ | ۲/۵ | 5/11 | 5/13 | ۲.۵ | 5/13 | 5/2 | ۶.۵ | 5/11 | 5/2 | ۰ | 5/15 | 5/15 | 5/6 | 5/6 | 5/9 |
| تلوری | 5/15 | ۸ | 5/11 | 5/5 | ۴ | 5/5 | 5/15 | 5/15 | ۱ | 5/15 | 5/15 | ۳ | 5/15 | ۰ | ۱۰ | ۸ | ۸ | 5/11 | ۲ |
| چنارخیری | 5/9 | ۱۷ | 5/3 | ۸ | ۱ | ۱۷ | ۱۲ | 5/5 | ۱ | 5/14 | 5/9 | ۱۷ | 5/14 | ۱ | 5/5 | ۱۲ | 5/3 | ۷ | ۱۲ |
| ده‌باقر | 5/1 | ۱۷ | ۸ | ۸ | ۱۷ | ۱۴ | ۸ | 5/11 | ۸ | ۱۴ | ۵ | ۱۴ | 5/11 | ۰ | ۸ | ۱۷ | ۳ | 5/1 | 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 |

جدول 6.رتبه‌بندی بحرانی‌ترین چاه‌های شهرستان خرم‌آباد ازنظر پتانسیل آلودگی \_ 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 | 5/1898 | ۱۹۸۴ | ۱۶۱۰ | ۲۵۱۳ | ۱۶۴۵ | ۱۲۸۸ | ۱۳۸۰ | 5/1021 | 5/1030 | ۱۰۱۷ | 75/802 | 25/848 | ۴۹۸ | ۴۹۴ | ۴۸۰ | ۲۷۱ | ۱۲۴ | ۰ | 5/21935 |
| کهریز | ۲۱۶۰ | 5/3151 | ۱۹۲۰ | 5/1762 | ۱۸۹۷ | 5/1410 | ۱۳۹۲ | ۱۲۳۵ | ۱۳۰۵ | ۱۲۴۰ | ۴۹۶ | ۴۹۸ | ۴۶۰ | ۴۴۸ | ۴۹۴ | ۴۵۴ | ۴۵۸ | ۴۵۲ | ۳۲ | 5/21165 |
| گیلوران | ۲۱۶۰ | 5/1844 | ۱۷۹۸ | 25/2782 | ۱۷۳۶ | 75/1543 | 5/1437 | ۱۱۷۵ | ۱۱۴۵ | ۱۲۴۰ | 5/794 | ۹۴۸/۵ | ۷۹۱ | ۵۰۴ | ۵۴۰ | 5/373 | 5/130 | 5/123 | ۸ | 5/21075 |
| دربند | ۳۲۳۱ | 5/2218 | ۱۷۹۸ | 25/1805 | 75/1702 | 75/1964 | 75/1296 | ۱۲۶۰ | 75/1191 | 5/1186 | ۸۴۰ | ۹۰۰ | ۵۷۵ | ۶۲۰ | 5/572 | 5/370 | ۱۱۶ | ۸ | ۱۰۸.۵ | 7/21766 |
| چم قرق | 5/2012 | 25/3141 | ۱۷۹۸ | ۱۸۶۰ | ۱۵۶۰ | 5/1488 | 5/1605 | ۱۰۵۴ | 25/1109 | 75/998 | 75/1049 | ۹۵۲ | 25/922 | ۵۱۰/۷۵ | 5/508 | 5/373 | ۲۴۸ | 5/135 | ۰ | ۲۱۳۲۸ |
| تیربالر | 25/3141 | 25/2161 | 5/1867 | ۱۶۹۵ | ۱۷۴۰ | 5/1475 | ۱۳۲۰ | 5/1259 | 5/1193 | ۱۰۳۵ | 881/25 | 25/926 | ۶۶۰ | ۶۸۲ | ۴۴۸ | ۳۷۲ | ۲۶۱ | 75/67 | ۴ | 7/21190 |
| علی آباد | ۲۱۶۰ | ۲۰۴۶ | 75/2961 | ۱۸۰۰ | ۱۸۹۷ | ۱۴۸۲ | ۱۵۶۶ | ۱۴۸۸ | 75/1182 | 25/1173 | 5/517 | 75/528 | 75/510 | 25/515 | 5/508 | ۵۲۲ | 25/488 | ۵۰۴ | ۰ | 7/21851 |
| سراب یاس | ۲۱۱۵ | ۱۹۸۴ | ۱۸۳۲ | ۱۷۹۲ | ۲۵۱۳ | 25/1361 | 75/1693 | 75/1693 | 5/1120 | 5/1111 | 5/1111 | 5/1021 | ۶۳۸ | 5/632 | ۴۳۴ | ۳۶۰ | ۲۴۰ | ۶۲ | ۴ | 2/21990 |
| بلیلوند | ۲۲۳۲ | 5/3051 | ۱۹۲۲ | 25/2100 | ۱۵۱۲ | ۱۶۲۰ | 25/1420 | 75/1500 | 75/1182 | ۱۱۴۰ | 5/747۵ | 25/744 | ۷۵۴ | 25/705 | 75/293 | 75/308 | 75/283 | 5/282 | ۰ | 2/21801 |
| تلوری | ۱۹۲۲ | ۱۷۳۶ | 25/1914 | 25/1759 | 75/1776 | 5/1751 | 5/1233 | 75/1247 | ۱۲۴۰ | ۹۹۶ | ۱۰۸۴ | ۹۲۸ | 25/679 | 25/987 | ۴۷۰ | ۳۹۱.۵ | ۲۴۰ | ۱۲۰ | ۰ | ۲۰۵۶۴ |
| چنارخیری | 5/2116 | 5/2099 | 5/2218 | 75/1645 | 5/1638 | ۱۳۴۴ | ۱۶۲۶ | ۱۴۴۰ | ۱۱۷۸ | 75/1087 | ۱۴۳۶ | 5/759 | 25/679 | ۶۸۲ | 5/402 | ۴۰۶ | 5/117 | ۱۲۰ | ۸ | 2/21005 |
| ده باقر | 5/2116 | 5/1997 | 5/2303 | ۱۷۲۹ | ۱۵۸۹ | ۱۸۲۷ | 25/1420 | 5/1299 | ۹۲۰ | ۱۴۳۶ | ۸۹۶ | ۹۶۰ | ۹۹۲ | 5/572 | ۴۸۰ | ۳۴۸ | ۱۸۶ | 75/162 | ۰ | 5/21235 |
| دارایی | ۲۱۷۰ | 25/2371 | 25/1914 | 75/2022 | 5/1552 | 5/1369 | 5/1369 | 5/1974 | ۱۳۵۸.۵ | ۱۰۵۴ | ۹۸۶ | 25/624 | 75/629 | 5/621 | 75/596 | ۲۸۰ | ۳۰۰ | 5/117 | ۰ | 5/21312 |

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 (7) و (8) آورده شده است. در جدول­ (7)، 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 13 منبع است، هر پارامتری که زودتر به 13 برسد، یعنی ازنظر همه­ی رأی‌دهندگان (منابع) بحرانی است. اگر چند پارامتر هم­زمان به 13 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** HCO3 **و** Cl**. مبنای جدول ­(7)، به ترتیب جدول­ (3) است. در جدول­ (6)، انتخاب منابع بحرانی­تر طبق اصول چانه­زنی انجام گرفت و اعدادی که مشاهده می­شوند، همان جمع سطری هر پارامتر در جدول­ (8) است که هرکدام سر جای خود قرارگرفته­اند. مبنای جدول­ (8) نیز، جدول (3) است. حال انتخاب منابع بحرانی­تر، یعنی آن­که کدام زودتر به 192 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.**

جدول 7. 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 |
| SO4 | 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 |
| HCO3 | ۱ | ۱ | ۱ | ۲ | ۳ | ۳ | ۵ | ۵ | ۶ | ۷ | ۹ | ۹ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۳ | ۱۳ | ۱۳ | ۱۳ | ۱۴۰ |
| CO3 | 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 |
| No3 | 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 |

جدول 8. انتخاب بحرانی‌ترین منابع آب زیرزمینی (چاه) شهرستان خرم‌آباد ازنظر پتانسیل آلودگی \_ 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 (5)، در رقابت میان نوزده پارامتر مورد ارزیابی در تمامی چاه‌های مطالعاتی، سه پارامتر کربنات با کسب امتیاز 5/179، فسفات با امتیاز 5/135 و نسبت جذب سدیم (**SAR**) با امتیاز 5/130 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 192)، کلر (با امتیاز 150) و سولفات (با امتیاز 148) 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 6). 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 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.**

**ازآنجایی‌که 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 همکاران31، Alvarado و همکاران32، 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 همکاران33 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 همکاران34 در دشت پامپا در آرژانتین ‌و Tilahun و همکاران10 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 خطر، تخصیص آب و بهینه­سازی استفاده‌شده است و درنهایت، رویکردی مدیریتی و جامع را ارائه می­دهد. استفاده از الگوریتم­های تئوری بازی می­تواند برای برنامه­ریزی 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.**

تشکر و قدردانی

**نویسندگان مقاله از تمامی کسانی که در مراحل مختلف انجام این تحقیق همکاري کردند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.**

**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 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.

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

Mahsa Hasanvand1, Ali Haghizadeh2\*, Bahram kamarehei3, Leila Ghasemi4

Environmental Health Engineering, Faculty of Health and Nutrition, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran

Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran,

Corresponding Author: Email: Haghizadeh.a@lu.ac.ir

Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health and Nutrition, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran,

Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

**Abstract**

**Background:** A complex decision-making process that has to be done by examining the several regional circumstances is giving priority to places for determining the possibility of using water resources with pollution potential. Therefore, managing water resources thus calls for the choice of 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.

**Methods:** Landsat 8 OLI sensor imagery were 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 on 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.

**Key words:** Game Theory, Pollution Potential, Khorramabad wells, Parameter