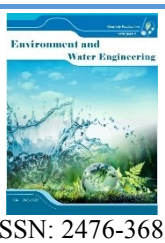
Environ. Water Eng., 2022, 8(2), 278-290 DOI: 10.22034/JEWE.2021.290702.1581

EWE

Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Research Paper

Presenting a New Index of Pollution and Ecology Risk of Groundwater (PERG)

Nafise Izadi[*1], Abbas KhasheiSiuki[2], Mohsen PourrezaBilondi[3] and Seyed Reza Hashemi[3]

[1]M.Sc. Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
[2]Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
[3]Assoc. Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

Article information

Received: June 15, 2021
Revised: August 14, 2021
Accepted: August 16, 2021

Keywords
ERI Index
Groundwater Resources
PERG Index
PIG Index

*Corresponding author:
nafise.izadi1375@birjand.ac.ir

Abstract

Given the growing population of the world especially in countries with limited water resources, investigating and controlling the quantity and quality of water resources especially groundwater resources which is the main source of drinking water supply, can help these communities in the face of the water crisis which will plague mankind in the near future. In this survey, first, 22 wells were selected from Birjand plain aquifer. Then the aquifer was studied using the Groundwater Chemical Pollution Index (PIG) and ecological hazard index (ERI) of heavy metals using zoning maps and final maps of PIG and ERI indices were prepared. According to PIG, 56.74% of the aquifer has a lot of Pollution, and according to ERI, 0.91% of the aquifer has a lot of Pollution. Then, na ew index of Pollution and Environmental Risk of Groundwater (PERG) was introduced according to both PIG and heavy metals Environmental Risk Index. PERG detects chemical pollution and heavy metals in the aquifer and leads to better summarization and decision-making in order to collect water from groundwater aquifers. In terms of PERG, aquifer pollution is 1.755% of the total area.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Introduction

Expensive use of existing water resources and successive droughts occur in the following years so irrigation water resources are severely adversely changed not only quantitatively but also qualitatively. Water quality is one of the most important determining factors in order to use it in different water uses. Water resources management and quality are of great importance. Groundwater is a volatile and valuable natural resource due to its good quality, which is the main source of drinking water in the world. Due to the invisibility of groundwater, many people do not have enough information about its importance and its harmful effects on the environment. One of the indicators that evaluate

groundwater in terms of evaluation is the PIG index. This index was proposed by Suba Rao (2012) and is used to assess the relative impact of each of the chemical parameters on the overall quality of groundwater. Suba Rao found that TDS, Mg, Na, K, HCO_3^-, Cl, SO_4^{2-}, pH, and Ca are considered effective factors in assessing groundwater quality. The PIG index quantifies the measured concentration according to drinking water quality standards. Heavy metals are a group of elements known as pollutants in concentrations above environmental standards. Heavy metals are among the most harmful pollutants in drinking water sources that can cause serious damage to the metabolic, physiological and structural system of the body and through the leakage of factory wastewater to surface water. Or due to improper transportation and disposal of industrial waste and finally their entry into the soil and groundwater, which causes pollution of groundwater aquifers.

Materials and Methods

Birjand plain is in the watershed of Lut desert and by considering the zones where geophysical research has been done, two alluvial aquifers have been identified. Birjand plain aquifer is the largest watershed in the province and the average rainfall is 170 mm/yr. 138.8 million cubic meters of water is extracted annually from groundwater sources in this area. Of this amount, 87.5% is used for agricultural purposes, 11% for drinking, and 1.5% for industrial use. Groundwater level measurements show that there is an annual drop of about 35 cm in the aquifer. In areas where groundwater is used for drinking, it is important to assess the quality of this water. In assessing groundwater quality, the use of appropriate tools and techniques for processing quality data is very effective, because it is difficult to assess water quality despite the large volume of data. One of the indicators used to assess water quality in terms of chemical elements is the Groundwater Pollution Index (PIG). The PIG index quantifies the measured concentration according to drinking water quality standards. Also, one of the indicators that examine the environmental risk of groundwater in terms of heavy metals is the ERI index. Elements Cd, Cu, Ni, Pb, Fe, Cr, and Mn are among the heavy metals affecting the ecological pollution of groundwater. According to this issue, PIG and ERI indices on Birjand plain aquifer have been calculated and zoning maps of each element have been drawn by GIS software. Then PIG and ERI calculations were performed in Arc GIS software and the final map of groundwater pollution index and heavy metal environmental hazard index was drawn. Pollution of aquifer areas is then classified using final maps. Using the final maps of groundwater pollution index and environmental risk index of heavy metals, a new PERG index was introduced, and finally, using a new index, plain aquifer areas were surveyed and classification areas and areas with Contamination were determined.

Results

Given the importance of groundwater resources and the water shortage crisis in Iran, much attention should be paid to these resources. One of the challenges in this regard is the pollution of these resources, so with proper studies, the areas affected by pollution should be identified and necessary measures should be taken to eliminate pollution. In many cases, groundwater contamination is detected after the contamination of drinking water wells. In order to draw the final map of PIG and ERI indices, it is necessary to first draw the zoning map for all parameters in GIS software, and from the total of zoning maps, the final map of PIG and ERI is obtained. The two maps are then combined using the Raster Calculator tool and the final PERG map is drawn. The PERG map is very similar to the ERI index zoning map, because the ERI index is much more effective than the PIG index in calculating the PERG. Even 0.0001 mg / l of heavy metals has a very high effect on groundwater pollution. Therefore, very little change in the level of heavy metals in the water can contaminate the groundwater source, but the range of changes in quality parameters is wider. Therefore, the effect of heavy metals on chemical parameters is greater than the new index.

Conclusions

According to the PIG map, it is better not to use the 2 wells that are located in the high and very polluted area for drinking, and according to the ERI map, the aquifer is in the low environmental risk area, and it is better than the 3 wells in the more polluted areas. Do not use for drinking and agriculture. The final PERG map showed that in the north of the aquifer near the wastewater treatment plant, there is an accumulation of heavy metals and chemical parameters and it has caused very severe

pollution of the aquifer in this area. Therefore, due to the high PERG index around the treatment plant and severe chemical pollution, especially heavy metals, it is not recommended to take water from wells around the municipal wastewater treatment plant for human, animal, and agricultural drinking. The present study shows the use of the new PERG index is a simple, accurate, and fast method in preparing maps and calculations and is a suitable method for interpreting groundwater quality for drinking purposes. Moreover, the climate of the region and the lack of proper spatial imbalance of rainfall in the plain has caused an increase in the use of groundwater in the region for drinking purposes has increased, which has caused an increase in pollutants in the aquifer of Birjand plain. Preventing the bankruptcy of water resources in the region requires proper management for the sustainability of semi-arid regions.

Acknowledgment
The authors of this article thank the Regional Water Company for its cooperation.

Data Availability
Chemical parameter data is available after obtaining permission from the university and the regional water company, but heavy metal data is confidential and not available.

Conflicts of Interest
The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

دوره ۸، شماره ۲، صفحات: ۲۹۰-۲۷۸
DOI: 10.22034/JEWE.2021.290702.1581

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

ISSN: 2476-3683

مقاله پژوهشی

ارائه شاخص نوین آلودگی و خطر بوم‌شناسی آب‌های زیرزمینی (PERG)

نفیسه ایزدی[1*]، عباس خاشعی سیوکی[2]، محسن پوررضا بیلندی[3] و سید رضا هاشمی[3]

[1]دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
[2]استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
[3]دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

چکیده

با توجه به جمعیت رو به افزایش جهان به‌خصوص در کشورهایی که با محدودیت منابع آب مواجه‌اند، بررسی و کنترل کمیت و کیفیت منابع آب، به‌ویژه منابع آب زیرزمینی که منبع اصلی تأمین آب شرب است، می‌تواند این جوامع را در رویارویی با بحران آب، یاری کند. در این پژوهش ابتدا ۲۲ چاه از آبخوان دشت بیرجند انتخاب شد. سپس آبخوان با استفاده از شاخص آلودگی شیمیایی آب‌های زیرزمینی (PIG) و شاخص خطر بوم‌شناسی(ERI) فلزات سنگین با استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی، موردمطالعه قرار گرفت و نقشه‌های نهایی شاخص‌های PIG و ERI تهیه شد. با توجه به شاخص PIG، ۵۶/۷۴٪ آبخوان دارای آلودگی بسیار زیاد و با توجه به شاخص ERI، ۰/۹۱ ٪ آبخوان دارای آلودگی بسیار زیاد می‌باشد. سپس با توجه به دو شاخص PIG و شاخص ERI، شاخص نوین آلودگی و خطر بوم‌شناسی آب‌های زیرزمینی (PERG) معرفی شد. شاخص PERG آلودگی شیمیایی و فلزات سنگین را در آبخوان شناسایی می‌کند و سبب خلاصه‌سازی در محاسبات و تصمیم‌گیری بهتر برای برداشت آب از سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. از نظر PERG، میزان آلودگی آبخوان ۱/۷۵۵ ٪ مساحت کل می‌باشد.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۳/۲۵]
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۵/۲۳]
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۵/۲۵]

واژه‌های کلیدی:
شاخص PIG
شاخص ERI
شاخص نوین PERG
منابع آب زیرزمینی

***نویسنده مسئول:**
nafise.izadi1375@birjand.ac.ir

۱- مقدمه

با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران، ۹۰٪ از آب مصرفی کشورمان از منابع آب زیرزمینی استخراج می‌گردد (Sobhanardakani 2017). خطر آلودگی کمتر آب زیرزمینی نسبت به سایر منابع آبی و هزینه پایین استحصال آن باعث شده تا برداشت از این منابع همچنان ادامه داشته باشد. دسترسی به آب سالم و بهداشتی برای سلامتی بشر ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین آب‌های شیرین غیر آلوده با کیفیت مناسب یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های بشر در دهه پیش رو خواهد بود. افزایش روزافزون آلاینده‌های شیمیایی شهری، صنعتی و شیوه‌های نوین کشاورزی تهدیدی جدی برای محیط‌زیست به‌حساب می‌آیند. کیفیت آب از مهم‌ترین عواملی است که باید به هنگام ارزیابی توسعه مناسب یک منطقه، بررسی شود (Cordoba et al. 2010). کیفیت آب باید براساس متغیرهای فیزیکی و شیمیایی در ارتباط با استفاده از آب، تعریف شده باشد. اگرچه مفهوم کیفیت آب زیرزمینی واضح به نظر می‌رسد، اما چگونگی

بررسی و ارزیابی آن، نیاز به برخی ترفندها دارد (Babiker et al. 2007). ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، مقیاسی از تناسب آن به‌عنوان منبع آبی برای مصارف انسانی و حیوانی، آبیاری و نیز برای اهداف صنعتی را شامل می‌شود. بنابراین، هدف، تعریف کیفیت آب نیست، بلکه استفاده مطلوب از آب در جامعه موردنظر متخصصان است (Eljamassi et al. 2016). براساس استانداردهای مختلف موجود، برای هر متغیر مقادیر قابل‌پذیرش و غیرقابل‌پذیرش تعریف شده است که اگر آب از این استاندارد تجاوز کند، قبل از استفاده باید تصفیه شود (Cordoba at al. 2010).

تاکنون مطالعات زیادی در راستای توسعه شاخص‌های کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی در سطح دنیا انجام پذیرفته است. از شاخص‌ترین این تحقیقات می‌توان به مطالعه (Backman et al. 1998) اشاره نمود. ایشان در مطالعه خود الگویی جهت توسعه شاخص‌های ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی از منظر آلودگی‌های ورودی ارائه نموده و از این شاخص جهت بررسی وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی منطقه‌ای در جنوب غرب فنلاند و نیز منطقه‌ای در مرکز اسلواکی استفاده نموده‌اند. (2004) Coulibaly and Rodriguez نیز با در نظر گرفتن مشخصات عملیاتی و کاربردی حاکم بر شاخص‌های کیفی، شاخصی مناسب جهت ارزیابی وضعیت کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه کِبک در کانادا به‌عنوان مهم‌ترین منبع شرب این منطقه ارائه نمودند. همچنین مطالعاتی درباره روش‌های مختلفی جهت طبقه‌بندی منابع آبی در سه حوزه آب شرب و بهداشتی، صنعت و کشاورزی انجام شده است به‌طوری‌که با استفاده از این مطالعات، می‌توان ضوابط و معیارهایی به‌منظور مدیریت صحیح و کارآمد و کاهش مشکلات ناشی از مصارف آب‌های نامطلوب ارائه نمود. دیاگرام شولر، نمودار ویل‌کوکس، استانداردهای WHO، شاخص NFSWQI، شاخص BCWQIو شاخص Said از جمله روش‌های طبقه‌بندی کیفی منابع آب محسوب می‌شود (Yazdani et al. 2017).

شاخص آلودگی شیمیایی آب‌های زیرزمینی (PIG)[1] برای اولین بار توسط (Subba Rao 2012) مطرح شد. وی توانست آلودگی مناطق را براساس این شاخص طبقه‌بندی کند. هم‌چنین یکی از شاخص‌هایی که خطر محیط‌زیستی آب‌های زیرزمینی را از حیث فلزات سنگین موردبررسی قرار می‌دهد، شاخص خطر بوم‌شناسی (ERI)[2] فلزات سنگین می‌باشد (Bagheri et al. 2017). فلزات سنگین از طریق نشت فاضلاب صنایع به آب‌های سطحی و یا در اثر حمل‌ونقل و دفع نادرست زباله‌های صنعتی، آب‌های زیرزمینی را آلوده خواهند کرد. شاخص‌های آلودگی امکان مقایسه بین آلودگی ناشی از فلزات سنگین مختلف ناشی از فعالیت‌های انسانی را فراهم می‌کند. (Egbueri 2020) به ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی برای آشامیدن در اوجوتو نیجریه پرداخت. وی جهت کیفیت آب‌های زیرزمینی از سه شاخص PIG، ERI و HCA استفاده کرد و توانست منابع شرب آب‌های زیرزمینی را طبقه‌بندی کند. شاخص PIG براساس طبقه‌بندی (Subba Rao 2012) ارائه شده است، نشان داد که ۸۰٪ از نمونه‌های آب سطح آلودگی ناچیزی دارند و ۲۰٪ از نمونه‌ها سطح آلودگی بسیار بالایی دارند به‌طوری‌که برای مصرف شرب انسان نامناسب می‌باشند. همین‌طور شاخص ERI نشان داد که ۲۰٪ از نمونه‌ها خطر محیط‌زیستی بالایی دارند و ۸۰٪ نمونه‌ها خطر بوم‌شناسی کم‌تری دارند

HCA نمونه‌های آنالیز شده را در ۲ خوشه اصلی گروه‌بندی کرده است. در خوشه اول ۸۰٪ از آب مناسب برای آشامیدن است درحالی‌که در خوشه دوم ۲۰٪ آب نامناسب برای مصرف انسان است. Eftekhari et al. (2021) با استفاده از شاخص DGWQI کیفیت آب شرب دشت بیرجند را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحلیل‌های مکانی بیانگر این بود که ۶۳٪ مساحت آبخوان در رده کیفی مناسب، ۱۸٪ مساحت در رده ضعیف، ۱۰٪ مساحت در رده خیلی ضعیف و ۹٪ مساحت آبخوان نیز در رده غیرآشامیدنی قرار داشت. تحلیل حساسیت نشان داد که پارامترهای Mg^{2+}، EC و TDS با بالاترین میانگین شاخص تغییر ۱۸/۹۸، ۲۰/۶۸ و ۱۹/۰۴ به‌ترتیب حساس‌ترین پارامترها در محاسبه DGWQI بودند. در مطالعه‌ی دیگری که (Izadi et al. 2021) بر روی کیفیت آب شرب دشت بیرجند با استفاده از شاخص PIG انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که ۸۵/۶۳٪ مساحت آبخوان دارای آلودگی ناچیز و ۱۴/۳۷٪ از مساحت آبخوان دارای آلودگی شیمیایی کم می‌باشد. بنابراین آبخوان بیرجند طبق شاخص PIG، از نظر شرب مشکلی ندارد.

[1]Pollution Index of Groundwater

[2]Ecological Risk Index

از شاخص‌های PIG و ERI در ایران برای ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی خیلی کم استفاده شده است. همچنین تاکنون آبخوان بیرجند با استفاده از شاخص ERI بررسی نشده است. در این پژوهش به معرفی شاخص نوین آلودگی و خطر بوم‌شناسی آب‌های زیرزمینی (PERG[1]) پرداخته شد. این شاخص برای اولین بار محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفته است و تاکنون در هیچ پژوهشی نیامده است. شاخص نوین PERG آلودگی شیمیایی و فلزات سنگین را در آبخوان به‌طور هم‌زمان شناسایی می‌کند و سبب خلاصه‌سازی در محاسبات و تصمیم‌گیری بهتر برای برداشت آب از سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

دشت بیرجند از محدوده‌های آبخیز کویر لوت بین طول‌های '۴۱ °۵۸ تا '۴۶ °۵۹ شرقی و عرض‌های '۳۵ °۳۲ تا '۰۸ °۳۳ شمالی قرار گرفته شده است. براساس پراکندگی چاه‌های مشاهده‌ای و بهره‌برداری، و با در نظر گرفتن پهنه‌هایی که پژوهش‌های ژئوفیزیک در آن شده بود، دو آبخوان آبرفتی تشخیص داده شد. آبخوان دشت بیرجند بزرگ‌ترین آبخیز استان و متوسط بارندگی در آن ۱۷۰ mm/yr است (Anonymous 2007). حوضه آبریز بیرجند دارای وسعت ۳۱۵۵ km^2 بوده، که ۱۸۴۵ km^2 دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. این دشت حالت کشیده داشته و تمامی پیرامون آن را ارتفاعات و بخش مرکزی را آبخوان آبرفتی تشکیل می‌دهد (Hamraz et al. 2019) . متوسط ارتفاع دشت از سطح دریا ۱۳۸۳ m است و متوسط دمای سالیانه در ارتفاعات و دشت به‌ترتیب ۱۳/۸ و ۱۱/۴ °C است. متوسط بارندگی سالیانه در ارتفاعات و دشت به‌ترتیب ۲۱۶/۵ و ۱۹۲/۹ mm است که حجم بارش ناشی از آن بالغ بر ۷۰۸/۶Mm^3 است. از این میزان بارندگی، حدود ۸۰/۷٪ یعنی ۵۷۱/۶ Mm^3 به‌صورت تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌گردد و حدود ۷٪ آن یعنی ۴۹/۵ Mm^3 به جریان‌های سطحی تبدیل می‌شود و مابقی یعنی ۸۷/۵ Mm^3 در ارتفاعات و دشت نفوذ می‌نماید (Authority Water Regional Khorasan South 2007). نتایج بررسی‌های مقدماتی انجام شده بر روی واحدهای سنگی و سازندهای موجود در ارتفاعات نشان می‌دهد که سازندهای سخت ارتفاعات این محدوده فاقد پتانسیل قابل‌توجه از نظر آب‌های زیرزمینی می‌باشند. وسعت آبخوان بیرجند حدود ۳۶۰ km^2 است و براساس بررسی‌های انجام شده توسط آب منطقه‌ای، ضخامت آبرفت آن بین ۱۰ تا ۱۹۰ m متغیر می‌باشد. میانگین عمق رسیدن به آب زیرزمینی و ضخامت لایه اشباع آبخوان به‌ترتیب ۵۳ و ۳۰ m است. از منابع آب زیرزمینی این محدوده سالانه ۱۳۸/۸ Mm^3 آب برداشت می‌شود. از این مقدار ۸۷/۵٪ برای مصارف کشاورزی، ۱۱٪ برای مصارف شرب و ۱/۵٪ برای مصارف صنعتی مورداستفاده قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری‌های سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد که سالانه حدود ۳۵ cm افت در آبخوان صورت می‌گیرد (Authority Water Regional Khorasan South 2007). با توجه به این‌که متوسط میزان بارندگی دشت بیرجند کم بوده و با برداشت از چاه‌ها، آب زیرزمینی جبران نمی‌شود، این دشت با کسری مخزن مواجه شده و از سال ۱۳۶۴ به‌دلیل افت سطح آب زیرزمینی وارد لیست دشت‌های ممنوعه شده است. کسری مخزن در این دشت برابر ۶/۳ Mm^3 برآورد شده‌است که نشان‌دهنده وضعیت بحرانی سفره آب زیرزمینی این دشت می‌باشد. در این مطالعه اطلاعات ۲۲ چاه دشت بیرجند از سازمان آب منطقه‌ای خراسان جنوبی اخذ شده است که از این تعداد، ۱۲ چاه در کشاورزی و ۱۰ چاه جهت شرب استفاده می‌شود.

شکل ۱-موقعیت مکانی استان خراسان جنوبی، دشت بیرجند و آبخوان دشت بیرجند

Fig. 1 Location of South Khorasan province, Birjand plain and aquifer of Birjand plain

در مناطقی که از آب زیرزمینی برای مصارف شرب استفاده می‌شود، ارزیابی کیفیت این آب‌ها بسیار بااهمیت می‌باشد. در ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی استفاده از ابزارها و فن‌های مناسب برای پردازش داده‌های کیفی بسیار کارآمد است، زیرا ارزیابی کیفیت آب با وجود حجم زیاد داده‌ها دشوار است (Sharma and Patel 2010). یکی از شاخص‌هایی که برای ارزیابی کیفیت آب از حیث عناصر شیمیایی استفاده می‌شود، شاخص PIG است. این شاخص برای اولین بار

[1]Pollution and Ecological Risk of Groundwater

توسط Subba Rao (2012) پیشنهاد شد و برای ارزیابی تأثیر نسبی هر یک از پارامترهای شیمیایی بر کیفیت کلی آب‌های زیرزمینی مورداستفاده قرار می‌گیرد. Subba Rao (2012) دریافت که TDS، Mg، Na، K، HCO_3، Cl، SO_4^{2-}، pH، Ca به‌عنوان شاخص‌های آلودگی برای ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته می‌شوند. شاخص PIG غلظت اندازه‌گیری شده را با توجه به استانداردهای کیفیت آب آشامیدنی، کمّی می‌کند. همچنین یکی از شاخص‌هایی که خطر بوم شناسی آب‌های زیرزمینی را از نظر فلزات سنگین موردبررسی قرار می‌دهد، شاخص ERI می‌باشد (Bagheri et al. 2017). عناصر Cd، Cu، Ni ، Pb، Fe، Cr، Mn از جمله فلزات سنگین مؤثر بر آلودگی بوم‌شناسی آب‌های زیرزمینی می‌باشند. با توجه به این مسئله، شاخص‌های PIG و ERI روی آبخوان دشت بیرجند محاسبه و نقشه‌های پهنه‌بندی هر عنصر توسط نرم‌افزار GIS رسم شده است. سپس محاسبات PIG و ERI در نرم‌افزار ArcGIS انجام و نقشه نهایی شاخص PIG و ERI فلزات سنگین رسم شد. سپس با استفاده از نقشه‌های نهایی، آلودگی مناطق آبخوان طبقه‌بندی شدند. در پایان با استفاده از نقشه‌های نهایی شاخص PIG و ERI فلزات سنگین، شاخص نوین PERG معرفی، تحلیل و مناطق دشت طبقه‌بندی شدند. تعیین کیفیت آبخوان با استفاده از شاخص PIG طبق نظریه Subba Rao (2012) شامل ۵ مرحله زیر می‌باشد:

۲-۱- تعیین وزن نسبی Rw

وزن نسبی، با توجه به تأثیر آن بر سلامت انسان به هر پارامتر تخصیص داده می‌شود. دامنه اندازه عددی Rw بین ۱ تا ۵ است. کم‌ترین نقش قابل‌توجه در سلامت مربوط به مقدار ۱ می‌باشد، درحالی‌که ۵ بیش‌ترین نقش را در سلامتی انسان دارد. این مقادیر نیز توسط Subba Rao (2012) ارائه شده است (جدول ۱).

جدول ۱- مقادیر وزن نسبی پارامترهای کیفی

Table 1 Relative weight values of qualitative parameters

Qualitative parameter	SO_4^{2-}	HCO_3	Mg	Ca	Na	K	Cl	TDS	pH
Rw	5	3	2	2	4	1	4	5	5

۲-۲- تعیین پارامتر وزن Wp

برای ارزیابی نسبی هر یک از متغیرهای مؤثر بر کیفیت آب از رابطه (۱) استفاده می‌شود. پارامتر وزن، نسبت وزن نسبی هر پارامتر را به مجموع وزن نسبی همه پارامترها می‌سنجد

$$Wp = \frac{\mathrm{Rw}}{\sum \mathrm{Rw}} \quad (۱)$$

لازم به ذکر است که مجموع Wp برابر یک می‌باشد.

۲-۳- تعیین غلظت Sc

وضعیت غلظت هر نمونه آب با توجه به نوشیدن آن و استاندارد کیفیت آب برآورد می‌شود. Sc از تقسیم غلظت C هر پارامتر بر مقدار مجاز آن طبق استاندارد کیفیت آب آشامیدنی مربوطه (Ds) به‌دست می‌آید (رابطه ۲). در این مطالعه از حد مجاز استاندارد سازمان جهانی بهداشت (WHO) استفاده می‌شود (Subba Rao 2012).

$$Sc = {}^{C}/_{Ds} \quad (۲)$$

۲-۴- تعیین کیفیت کلی آب Ow

برای تعیین کیفیت کلی آب، وزن هر پارامتر در مقدار Sc مربوطه ضرب می‌شود (رابطه ۳) (Subba Rao 2012).

$$Ow = Wp \times Sc \quad (۳)$$

۲-۵- محاسبه شاخص PIG

بنابراین، شاخص PIG طبق مقادیر ارائه شده توسط Subba Rao (2012) بدین گونه طبقه‌بندی می‌شود که، اگر میزان PIG کم‌تر از ۱ باشد، آلودگی مناطق ناچیز، اگر مقدار PIG بین ۱ تا ۱/۵ باشد، آلودگی منطقه کم، اگر مقدار PIG بین ۱/۵ تا ۲ باشد آلودگی متوسط، اگر مقدار PIG بین ۲ تا ۲/۵ باشد آلودگی زیاد و اگر PIG بیش‌تر از ۲/۵ باشد آلودگی منطقه بسیار زیاد می‌باشد (رابطه ۴) (Subba Rao 2012).

$$PIG = \sum Ow \quad (۴)$$

شاخص ERI، فلزات سنگین را از نظر کمی مورد تحلیل قرار می‌دهد و با در نظر گرفتن شاخص آلودگی و ضریب پاسخ سمی آن‌ها، ارزیابی می‌شود (Egbueri 2020). شاخص بوم-شناسی پس از تعیین میزان فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی، از طریق رابطه (۵) محاسبه می‌گردد. سپس در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9.3 به انجام پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های لازم پرداخته می‌شود. بدین منظور نقشه‌های پهنه‌بندی هر پارامتر با استفاده از ابزار IDW به‌دلیل داشتن

کم‌ترین خطا در محیط نرم‌افزار ArcGIS (9.3) رسم می‌شود. روش درون‌یابی معکوس فاصله (IDW)[1] بر این فرض استوار است که تأثیر پدیده موردنظر با افزایش مسافت کاهش می‌یابد به بیانی دیگر پدیده پیوسته در نقاط اندازه‌گیری نشده، بیش‌ترین شباهت را به نزدیک‌ترین نقاط برداشت‌شده دارد. پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی هر یک از پارامترها و محاسبات شاخص PIG و با ترکیب این نقشه‌ها در محیط GIS با استفاده از ابزار Raster Calculate نقشه شاخص آلودگی آب‌های زیرزمینی محاسبه می‌گردد. (Egbueri 2020)

$$ERI = \sum RI = \sum T_i * \frac{C_s}{C_b} \quad (۵)$$

که، RI عامل خطر بوم‌شناسی بالقوه هر فلز سنگین، T_i عامل پاسخ سمی فلزات سنگین، C_s غلظت فلز سنگین در نمونه آب، C_b مقدار مربوط به پس‌زمینه (مقدار مجاز) می‌باشد. عامل پاسخ سمی برخی از فلزات سنگین در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲- عامل پاسخ سمی برخی از فلزات سنگین

Table 2 Toxic response factor of some heavy metals

Heavy Metals	Cd	Cu	Ni	Pb	Fe	Cr	Mn
Ti	30	5	5	5	1	1	1

در نهایت با جمع‌کردن عامل خطر بوم‌شناسی هر فلز سنگین در نمونه‌های آب، شاخص ERI بدین‌صورت طبقه‌بندی می‌شود که، اگر میزان ERI از ۱۵۰ کم‌تر باشد خطر بوم-شناسی کم، اگر ERI بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ باشد خطر بوم-شناسی متوسط، اگر ERI بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ باشد خطر بوم-شناسی زیاد و اگر ERI بیش‌تر از ۶۰۰ باشد خطر بوم-شناسی فلزات سنگین خیلی‌زیاد است (Hu et al. 2017). جهت پهنه‌بندی نقشه‌های فلزات سنگین نیز از روش درون‌یابی معکوس فاصله استفاده می‌شود. پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی هر یک از پارامترها توسط ابزار IDW و محاسبات شاخص PIG و با ترکیب این نقشه‌ها در محیط GIS با استفاده از ابزار Raster Calculate نقشه شاخص ERI محاسبه می‌گردد.

شاخص نوین PERG به معنای شاخص آلودگی و خطر بوم-شناسی آب‌های زیرزمینی می‌باشد. که توسط نویسندگان مقاله برای اولین بار ارائه گردیده است. این شاخص از ترکیب دو شاخص آلودگی شیمیایی آب‌های زیرزمینی و خطر بوم-شناسی فلزات سنگین به‌دست می‌آید که تا به حال در هیچ پژوهشی ارائه نشده است. از مزایای این روش می‌توان به دقیق بودن و سرعت عمل در تهیه نقشه و محاسبات دانست. با استفاده از این شاخص با به‌دست آوردن فقط یک نقشه پهنه‌بندی رستری می‌توان درباره منابع آب و میزان استفاده و برداشت، محل حفر چاه و.... تصمیم گرفت. رابطه (۶) از ترکیب رابطه‌های (۲)، (۳) و (۵) حاصل شده است.

شاخص PERG با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$PERG = \sum \frac{C_{ws}}{P_s} \times W_p \quad (۶)$$

که C_{ws} برابر غلظت پارامتر در نمونه آب برحسب mg/l، P_s غلظت حد مجاز برحسب mg/l، و W_p وزن هر پارامتر است. در نهایت شاخص PERG عددی بی‌بعد بوده که میزان آلودگی شیمیایی و فلزات سنگین در آبخوان را نشان می‌دهد. C_{ws} از نمونه‌برداری از آب به‌دست می‌آید که می‌توان این اطلاعات را از شرکت‌های آب منطقه‌ای و یا آب و فاضلاب هر شهرستان به‌دست آورد. غلظت حد مجاز با توجه به استانداردهای موجود مانند استاندارد ملی ایران، استاندارد جهانی، و استاندارد شولر به‌دست می‌آید و مقدار W_p بدین گونه محاسبه می‌شود که: وزن فلزات سنگین ثابت بوده و از جدول (۲) قابل استخراج است. همچنین وزن پارامترهای شیمیایی از رابطه (۷) به‌دست می‌آید.

$$Wp = \frac{\mathrm{Rw}}{\sum \mathrm{Rw}} \quad (۷)$$

پارامتر وزن، نسبت وزن نسبی هر پارامتر را به مجموع وزن نسبی همه پارامترها می‌سنجد. وزن نسبی پارامترهای کیفی از جدول (۱) قابل استخراج است. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی شاخص نوین PERG، کافی است تنها رابطه (۶) در اکسل محاسبه و با استفاده از ابزار IDW در ArcGIS نقشه آن ترسیم گردد. کلاس‌بندی به این صورت انجام می‌شود که، اگر میزان PERG کم‌تر از ۲۰ باشد میزان آلودگی کم و کیفیت آب خوب است. اگر PERG بین ۲۰ تا ۵۰ باشد، میزان آلودگی متوسط و کیفیت آب مناسب است؛ اگر PERG بین ۵۰ تا ۸۰ باشد میزان آلودگی زیاد و کیفیت آب مجاز است و اگر PERG بیش‌تر از ۸۰ باشد میزان آلودگی بسیار زیاد بوده و کیفیت آب نامناسب است. با استفاده از این

[1]Inverse Distance Weighting

نقشه می‌توان به‌راحتی درباره منابع آب زیرزمینی تصمیم گرفت.

۳- یافته‌ها و بحث

با توجه به اهمیت منابع آب‌های زیرزمینی و بحران کم‌آبی در ایران باید توجه بسیار زیادی به این منابع شود. یکی از چالش‌ها در این خصوص آلوده شدن این منابع است، لذا با بررسی‌های مناسب باید مناطقی که تحت تأثیر آلودگی قرار دارند شناسایی شده و برای رفع آلودگی اقدامات لازم صورت گیرد. در بسیاری از موارد، آلودگی آب‌های زیرزمینی بعد از آلوده شدن چاه‌های آب شرب شناسایی می‌شوند (Eftekhari et al. 2019).

۳-۱- شاخص PIG

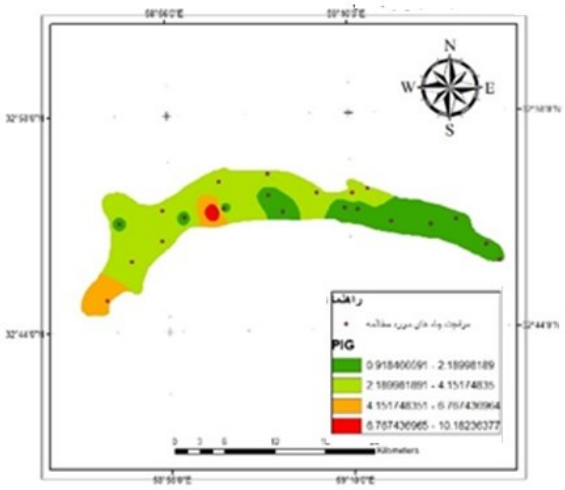
در آبخوان دشت بیرجند ۲۲ چاه (سال ۱۳۹۹) جهت ارزیابی آلودگی شیمیایی با استفاده از شاخص PIG انتخاب شدند. مقدار حداقل، حداکثر، میانگین و مقدار استاندارد WHO در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳- مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین غلظت (mg/l) پارامترهای اندازه‌گیری شده در هر نمونه آب و استاندارد سازمان جهانی بهداشت

Table 3 Minimum, maximum and average concentrations (mg/l) of the measured parameters in each water sample and the standard of the World Health Organization

Parameters	Maximum	Minimum	Average	WHO
Cl	4268.12	198.67	1077.708	250
Na	4212.5	173.86	808.96	200
K	79.3	1.28	21.19	12
Ca	272.4	24.84	97.86	75
Mg	252.8	63.3	135.7	50
TDS	12334.16	935.45	3024.25	1000
pH	7.99	7.16	7.52	6.5-8.5
HCO_3^-	548.68	140.81	302.86	250
SO_4^{2-}	3850.84	141.57	778.9	250

همانطور که در جدول (۳) دیده می‌شود، متوسط غلظت اندازه‌گیری شده پارامترهای کیفی آب زیرزمینی به pH نسبت به استاندارد WHO بسیار بالاتر می‌باشد و این نشان‌دهنده آلودگی شیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت بیرجند از این نظر می‌باشد. با توجه به اینکه میزان مجاز pH در آب زیرزمینی طبق استاندارد WHO بین ۶/۵ الی ۸/۵ می‌باشد، تمامی چاه‌ها در محدوده مناسب قرار گرفته‌اند. همچنین مقدار حداقل منیزیم از حد مجاز استاندارد بالاتر بوده و نشانه آلودگی شدید چاه‌ها به عنصر منیزیم می باشد که احتمالا ناشی از زمین‌شناسی منطقه می‌باشد. بنابراین، به‌طورکلی میزان آلاینده‌های شیمیایی آبخوان بیرجند نسبت به حد استاندارد زیاد است. پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی یک دشت از مهم‌ترین مراحل در مدیریت کیفیت منابع آب زیرزمینی به شمار می‌آید. با نشان دادن روند و چگونگی تغییرات کیفی آب نسبت به مکان و با توجه به وضعیت کیفی آب می‌توان جنبه مصرفی آن را از لحاظ شرب و کشاورزی مشخص نمود. نقشه پهنه‌بندی شاخص PIG در شکل (۲) آمده است. با توجه به شکل (۲)، در سمت شرق آبخوان میزان آلودگی کم است و آلودگی شیمیایی به سمت غرب افزایش می‌یابد. از محدوده شهرک امیرآباد به سمت غرب میزان آلودگی زیاد می‌شود. طوری‌که این مناطق (قرمزرنگ) طبق محاسبات PIG بالاتر از ۲/۵ می‌باشد که در محدوده آلودگی بسیار بالا قرار می‌گیرد.



شکل ۲- نقشه پهنه‌بندی شاخص PIG

Fig. 2 Zoning map of PIG

با توجه به محاسبات PIG که در GIS انجام شده است (شکل ۲) و طبقه بندی، ۴۳/۲۵ ٪ از مساحت کل دشت دارای آلودگی کم و ناچیز(مناطق سبز تیره)، ۴۷/۹ ٪ دارای آلودگی متوسط (سبز روشن)، ۸/۲۲ ٪ آبخوان دارای آلودگی زیاد (نارنجی)

و ۰/۶۳٪ دارای آلودگی بسیار زیاد (قرمز) می‌باشد. که یکی از دلایل آن می‌تواند پرجمعیت‌تر بودن غرب دشت نسبت به شرق باشد همچنین برداشت زیاد از سفره آب زیرزمینی سبب افزایش آلودگی شده است. بنابراین بهتر است از ۲ چاهی که در منطقه آلودگی زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته، جهت شرب استفاده نشود. لازم به ذکر است اگر برداشت‌ها از سطح سفره آب‌های زیرزمینی بیرجند با همین روند ادامه یابد مناطق خطر متوسط و چه‌بسا که مناطق با خطر کم هم گرفتار آلودگی بسیار زیاد می‌شود.

بررسی کارهای مشابه در زمینه تحلیل کیفی آبخوان از لحاظ پارامترهای شیمیایی نیز، نشان‌دهنده تأیید این نتایج می‌باشد. در پژوهشی با عنوان مکان‌یابی مناسب استحصال آب شرب با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی در آبخوان دشت بیرجند، نقشه طبقه‌بندی استعداد استحصال آب شرب در سطح آبخوان بیرجند با استفاده از پنج کلاس از ضعیف تا بسیار خوب تهیه شد (Keshavarz et al. 2014). براساس نتایج به‌دست آمده، مناطق غربی و جنوب غربی آبخوان دارای کلاس ضعیف و مناطق شرقی آبخوان دارای کلاس بسیار خوب می‌باشد که در مقایسه با پهنه‌بندی با استفاده از شاخص DGWQI نتایج بیانگر این بوده که مناطق ضعیف در زمینه استحصال آب شرب شرایط کیفی مناسبی ندارند. در پژوهش دیگری که Izadi et al. (2021) با عنوان ارزیابی آلودگی شیمیایی آبخوان دشت بیرجند با استفاده از شاخص آلودگی آب‌های زیرزمینی (PIG) انجام داده‌اند، به این نتیجه رسیدند که در سمت شرق آبخوان میزان آلودگی کم است و هر چه به سمت غرب پیش می‌رویم آلودگی شیمیایی افزایش می‌یابد که دلایل آن را پرجمعیت‌تر بودن غرب دشت نسبت به شرق، همچنین وجود شیب رودخانه از شرق به غرب و برداشت زیاد از سفره آب زیرزمینی بیان می‌کند.

۳-۲- شاخص ERI

فلزات سنگین از مضرترین آلاینده‌های موجود در منابع آب آشامیدنی هستند که دلیل آسیب‌های جدی در سیستم متابولیکی، فیزیولوژیکی و ساختاری بدن به شمار می‌روند. بنابراین سنجش میزان این عناصر در منطقه مصرف ضروری می‌باشد (Farrokh Neshat et al. 2016). این فلزات از طریق نشت فاضلاب، دفع نادرست زباله‌ها و سایر فعالیت‌های مشابه به آبخوان راه می‌یابند. میزان خیلی کم از فلزات سنگین سبب آلودگی منابع آب زیرزمینی می‌شود. اطلاعات ۲۲ چاه در آبخوان بیرجند مربوط به سال ۱۳۹۹ از سازمان آب منطقه‌ای بیرجند اخذ شده که مقدار میانگین و استاندارد فلزات سنگین در جدول (۴) آمده است. با توجه به جدول (۴)، تنها مقادیر آهن و کروم از حد استاندارد بالاتر هستند و مقادیر دیگر فلزات سنگین از حد استاندارد کم‌تر هستند. ویژگی‌های خاص زمین‌شناسی منطقه عامل اصلی افزایش کروم در منابع آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه می‌باشد. اصولاً کروم به‌علت انحلال‌پذیری و قابلیت تحرک زیاد در خاک می‌تواند به سایر بوم‌سازگان از جمله آب‌های سطحی و زیرزمینی نفوذ کند و باعث آلودگی این بوم‌سازگان گردد (Huang et al. 2009).

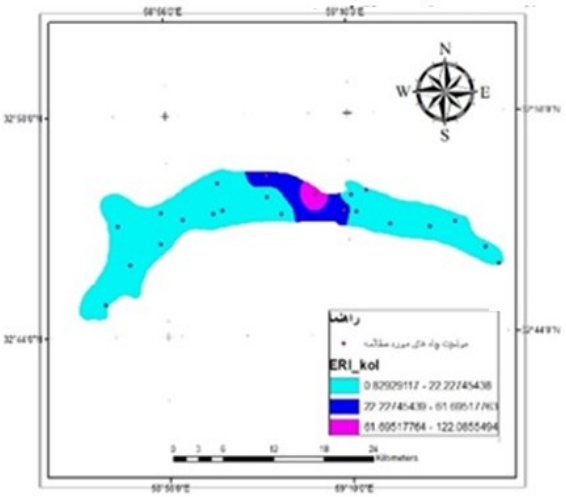
جدول ۴– میانگین غلظت فلزات سنگین (mg/l) آب زیرزمینی دشت بیرجند و استاندارد WHO

Table 4 Average of heavy metals concentration (mg/l) in groundwater of Birjand plain and WHO standard

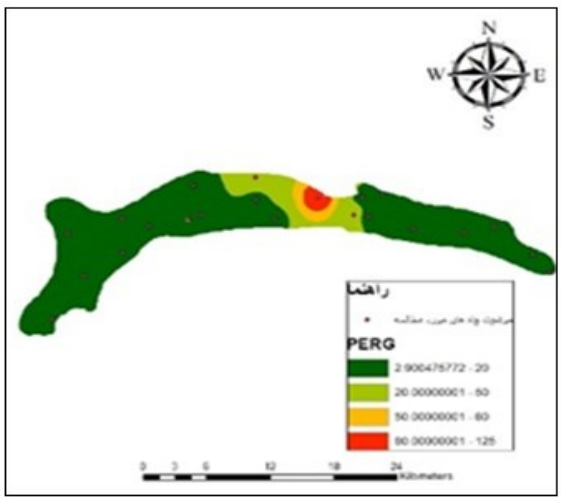
Heavy Metals	Pb	Cd	Cu	Ni	Fe	Mn	Cr
Average	0.0004	0.0005	0.5	0.002	0.78	0.02	0.27
WHO	0.01	0.003	2	0.002	0.3	0.5	0.05

به‌طورکلی منشاء عناصر سنگین در دشت بیرجند متعلق به کرتاسه می‌باشد (Khaledi et al. 2010) . نقشه پهنه‌بندی شاخص ERI در شکل (۳) آمده است. با توجه به شکل (۳)، چاهی در نزدیکی تصفیه‌خانه فاضلاب بیرجند قرار دارد (در محدوده بنفش رنگ) که احتمالا وجود این تصفیه‌خانه روی کیفیت آب زیرزمینی اثر گذاشته است. همچنین زمین‌شناسی منطقه نیز برروی کیفیت این چاه می‌تواند موثر باشد. دو چاه دیگری که در منطقه رنگ آبی تیره قرار گرفته‌اند، نیز به تصفیه‌خانه فاضلاب نزدیک می‌باشند و چون شیب زمین به سمت غرب است، این چاه‌ها آلودگی بیش‌تری نسبت به سایر چاه‌ها دارد. از نظر درصد مساحت، ۴/۲۳ از مساحت کل آبخوان دارای آلودگی زیاد (بنفش رنگ)، ۷/۹ دارای آلودگی متوسط (آبی تیره)، و ۸۷/۸۷ دارای آلودگی ناچیز (آبی روشن) می‌باشد.. با توجه به محاسبات GIS و طبقه‌بندی ERI، آبخوان در منطقه خطر بوم‌شناسی کم قرار دارد. زیرا چاه منطقه بنفش که میزان فلزات سنگین زیادی دارد از لحاظ عددی دارای ۱۲۲/۰۸ می‌باشد و زیر ۱۵۰ این شاخص از لحاظ بوم‌شناسی، کم است که اگر برای آن چاره‌ای

اندیشیده نشود خطر بوم‌شناسی آن افزایش می‌یابد و مشکلات بیش‌تری را ایجاد می‌کند.



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی شاخص ERI
Fig. 3 Zoning map of ERI



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی شاخص PERG
Fig. 4 Zoning map of PERG index

۳-۳- محاسبه شاخص نوین PERG

شاخص PERG برای اولین بار توسط نویسندگان این مقاله مطرح شده است که تنها با محاسبه رابطه (۷) در اکسل و با استفاده از ابزار IDW در ArcGIS نقشه پهنه‌بندی شاخص PERG رسم شد. شاخص آلودگی شیمیایی و ERI ب این امکان را می‌دهد که تنها با استفاده از یک رابطه و تهیه یک نقشه پهنه‌بندی شده، درباره مسائل مدیریتی منابع آب زیرزمینی تصمیم‌گیری شود. با توجه به شاخص نوین، ۳۰/۵۳٪ از مساحت کل آبخوان دارای آلودگی کم و ناچیز(سبز تیره)، ۵۰/۴۲ ٪ دارای آلودگی متوسط(سبز روشن)، ۱۶/۰۱ ٪ دارای آلودگی زیاد (نارنجی) و ۳/۰۴ ٪ دارای آلودگی بسیار زیاد (قرمز) می‌باشد.. در شکل (۴)، تمامی چاه‌های شرب دشت روی نقشه پهنه‌بندی شاخص PERG مشخص است.

همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، یک چاه در محدوده آلودگی بسیار زیاد قرار دارد و دو چاه در محدوده آلودگی متوسط قرار دارند. از لحاظ مکانی، موقعیت این ۳ چاه در نزدیکی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری بیرجند می‌باشد. بنابراین توصیه می‌شود از این سه چاه جهت شرب انسان و دام و حتی کشاورزی استفاده نشود. همچنین ۱۹ چاه دیگر، در محدوده آلودگی کم قرار دارند که در این مناطق کیفیت آب خوب است و برای شرب مناسب است.

همان‌طور که مشخص است، شکل (۴) بسیار شبیه شکل (۳)، نقشه پهنه‌بندی شاخص ERI می‌باشد، دلیل این امر این است که شاخص ERI بسیار اثرگذارتر از شاخص PIG در محاسبه PERG است. حتی مقدار ۰/۰۰۰۱ mg /l از فلزات سنگین اثر بسیار بالایی بر آلودگی آب‌های زیرزمینی دارد. بنابراین تغییر بسیار کم در مقدار فلزات سنگین موجود در آب می‌تواند منبع آب زیرزمینی را آلوده کند اما محدوده تغییرات پارامترهای کیفی بیشتر است. بنابراین تأثیر فلزات سنگین نسبت به پارامترهای شیمیایی بر شاخص نوین بیشتر است. این خود دلیل دیگری جهت استفاده نکردن از چاه‌های اطراف تصفیه‌خانه فاضلاب شهری است. زیرا وجود فلزات سنگین در آب حتی به مقدار خیلی کم، سلامت انسان و حیوانات را به خطر می‌اندازد.

موضوع ارزیابی منابع آب زیرزمینی از حیث فلزات سنگین موضوع جدیدی بوده که تاکنون در دشت بیرجند مطالعه‌ای برای آن انجام نشده است. همچنین شاخص نوین PERG شاخص جدیدی است که به‌صورت ترکیبی در پژوهش‌های دیگر کم‌تر دیده شده‌است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه جهت ارزیابی کیفیت آبخوان دشت بیرجند، دو شاخص PIG و ERI با استفاده از نرم‌افزار GIS موردبررسی قرار گرفتند. سپس شاخص نوین PERG معرفی و محاسبه شد.

۱- از نظر PIG، ۱۸/۸۴٪ از آبخوان دارای مناطق آلودگی کم و ناچیز قرار می‌گیرد، ۱۲/۲۰٪ از مناطق دارای آلودگی

متوسط، ۱۲/۲۲٪ آبخوان دارای آلودگی زیاد و ۵۶/۷۴٪ دارای آلودگی بسیار زیاد می‌باشد.

۲- از نظر ERI، ۲/۰۱ ٪ از مساحت کل آبخوان دارای آلودگی خیلی زیاد، ۱۰/۱۲٪ دارای آلودگی متوسط، و ۸۷/۸۷ ٪ دارای آلودگی کم می‌باشد. با توجه به محاسبات GIS و طبقه‌بندی ERI، آبخوان در منطقه خطر بوم‌شناسی کم قرار دارد.

۳- از نظر PERG، ۱۴/۸۴ ٪ از مساحت کل آبخوان دارای آلودگی کم ، ۱۱/۵۴٪ دارای آلودگی متوسط، ۲/۵۶٪ دارای آلودگی زیاد و ۱/۷۶٪ دارای آلودگی بسیار زیاد بود. با توجه به نتیجه شاخص PERG، میزان تأثیر فلزات سنگین بر کیفیت سفره آب زیرزمینی بیش‌تر از اثر آلودگی شیمیایی است.

۴- نقشه نهایی PERG نشان داد که در شمال آبخوان در نزدیکی تصفیه‌خانه فاضلاب، تجمع فلزات سنگین و پارامترهای شیمیایی وجود دارد و سبب آلودگی بسیار شدید آبخوان در این منطقه شده است.

پژوهش حاضر نشان می‌دهد استفاده از شاخص نوین PERG، روشی ساده، دقیق و دارای سرعت عمل در تهیه نقشه و محاسبات جهت تفسیر کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف شرب است. بنابراین توصیه می‌شود به‌دلیل بالا بودن شاخص PERG در اطراف تصفیه‌خانه و آلودگی شدید شیمیایی و بخصوص فلزات سنگین، از چاه‌های اطراف تصفیه‌خانه فاضلاب شهری آبی جهت شرب انسان، حیوانات و کشاورزی برداشت نشود. همچنین به‌دلیل جامع و کامل نبودن اطلاعات چاه‌ها، این مطالعه فقط با استفاده اطلاعات سال ۹۹ ارائه شده است و اگر این محدودهی زمانی بیش‌تر باشد خطای مطالعه کاهش می‌یابد که توصیه می‌شود پژوهشگران، با استفاده از جامعه آماری بیش‌تر، شاخص نوین را مورد ارزیابی قرار دهند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی به‌دلیل در اختیار قرار دادن اطلاعات موردنیاز صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنند.

نحوه دسترسی به داده‌ها

اطلاعات پارامترهای شیمیایی برحسب مجوز قابل‌ارائه خواهد بود اما اطلاعات فلزات سنگین به‌دلیل محرمانه بودن قابل‌انتشار نیست.

تضاد منافع نویسندگان

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

References

Anonymous. (2003). The World health report, World Health Organization, Available at: https://apps.who.int/iris/handle/10665/42789

Anonymous. (2007). Identifying water resources and planning for optimal use of water resources in South Khorasan province (an integrated project). South Khorasan Regional Water Authority, accessible from the local library [In Persian].

Anonymous. (2017). Monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. World Health Organization (WHO), Available at: https://apps.who.int/iris/handle/10665/255336

Babiker, I., Mohamed, M. and Hiyama, T. (2007). Assessing groundwater quality using GIS. Water Resour. Manage., 21, 699-715. DOI: 10.1007/s11269-006-9059-6

Backman, B., Bodis, D., Lahermo, P., Rapant, S. and Tarvainen, T. (1998). Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia. Environ Geo, 36, 55-64. DOI:10.1007/s002540050320

Bagheri, Y. R., Meskin Vishkai, F., Mohammad Ismail, Z., Saadat, S. and Rezaei, H. (2017). Environmental hazard assessment and zoning of heavy metal metals using pollution indicators in agricultural lands of south tehran .Soil and Water Research Institute, Agricultural Education and Extension Research Organization, Karaj, 70(4), 857-868 [In Persian]

Cordoba, E., Martinez, A. and Ferrer, E. (2010). Water quality indicators: comparison of a probabilistic index and a general quality index, The case of the confederacion hidrografica del jucar (spain). Ecol. Indicat.,

10, 1049-1054. DOI:10.1016/j.ecolind.2010.01.013

Coulibaly, H. and Rodriguez, M. J. (2004). Development of performance indicators for Quebec small water utilities. Environ. Manage., 73(3), 243-255. DOI:10.1016/j.jenvman.2004.07.003

Eftekhari, M., Akbari, M. and Ghezel Sofloo, A. (2019). Assessing the qualitative vulnerability of Birjand plain aquifer by SINTACS method. Nat. Environ., 72(3), 279-294. [In Persian]

Eftekhari, M., Islaminejad, A., Haji Eliassy, A. and Akbari, M. (2021). Geostatistical study with groundwater quality index for drinking (DGWQI) in Birjand plain aquifer. Environ. Water Eng., 7(2), 267-278 [In Persian].

Egbueri, J. C. (2020). Groundwater quality assessment using pollution index of groundwater (PIG), ecological risk index (ERI) and hierarchical cluster analysis (HCA): A case study. J. Groundwater Sustain. Develop., 10, 100292, DOI:10.1016/j.gsd.2019.100292

Eljamassi, A. and El Amassi, KH. (2016). Assessment of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in Gaza, Palestine. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Islamic University, Gaza, Palestine, An - Najah Univ. J. Res., 30(1), 1-30.

Farrokh Neshat, F., Rahmani, A. R., Samadi, M. T. and Soltanian, A. R. (2016). Non-cancer risk assessment of heavy metals lead, zinc and chromium in drinking water resources of Hamadan in winter 2015. Sci. J. Hamadan Univ. Med. Sci. Health Serv., 23(1), 25- 33 [In Persian].

Hamraz, B., Shahidi, A. and KhasheiSiouki, A. (2019). Qualitative evaluation of Birjand plain aquifer for pressure irrigation using marker kriging geostatistical method – Iran. J. Irrig. Drain., 13(1), 34-44 [In Persian]

Hu, B., Zhou, J., Liu, L., Meng, W. and Wang, Z. (2017). Assessment of heavy metal pollution and potential ecological risk in soils of Tianjin sewage irrigation region. North China. Environ. Anal. Toxicol., 7(1), 1- 6. DOI:10.4172/2161-0525.1000425

Huang, S-H., Bing, P., Yang, Z-H., Chai, L-Y., Xu, Y-Z. and Su, C-Q. (2009). Spatial distribution of chromium in soils contaminated by chromium-containing slag. Trans. Nonferrous Metal. Soc. China. 19(3), 756-764

Izadi, N., Khashei Siouki, A., Pourreza Belandi, M. and Hashemi, R. (2021). Evaluation of chemical pollution of Birjand plain aquifer using groundwater pollution index (PIG), 5th Iranian Irrigation and Drainage. University of Birjand.

Keshavarz, A., Khashei-siuki, A. and Najafi, M. (2014). Locating of suitable area of pumping drinking water using FAHP method (Case Study: Birjand Aquifer). J. Water Wastewater, 25(3), 135-142 [In Persian]

Khaledi, Z. and Mohammadzadeh, H. (2010). Investigation of Cr+6 and its health issues in Ali_Abad plain, southeastern part of Birjand_Iran. The first international symposium on medical geology. Tehran, Iran [In persian]

Sharma, N. and Patel, J. N. (2010). Evaluation of groundwater quality index of the urban segments of Surat City, India. Int. J. Geol., 1(4), 1-4.

Sobhanardakani, S. (2017). Assessing of As, Zn, Pb, Cd, Cr, Cu and Mn contamination in groundwater resources of Razan Plain using water quality pollution indices. J Neyshabur Univ. Med. Sci., 4(4), 33-45 [In Persian].

Subba Rao, N. (2012). PIG: a numerical index for dissemination of groundwater contamination zones. Hydrol. Process., 26(22), 3344–3350. DOI: 10.1002/hyp.8456

Yazdani, M. R., Koohbanani, H., Dashti Amirabad, J. and Aziminejad, M. (2017). Sciences Evaluation of groundwater quality indicators in Mashhad plain using geostatistical and GIS techniques. J. Neishabour School Med., 5(3), 63-73 [In Persian].

How to cite this paper:

Nafise Izadi, N., KhasheiSiuki, A., PourrezaBilondi, M. and Hashemi, S. R (2022). Presenting a new index of pollution and ecology risk of groundwater (PERG). Environ. Water Eng., 8(2), 538-550. DOI: 10.22034/JEWE.2020.253534.1445.