Journal of Range & Watershed Management
https://jrwm.ut.ac.ir/

Volume 77 (3)
Online ISSN: 2423-7795

Spatio-Temporal Assessment of Changes in Groundwater Quality in Qazvin Plain

Leila Davoodi Memar Otagvar[1]| Ebrahim Fataei[1*]| Mehdi Tajiabadi[2] | Babak Naeimi[3]

1. Department of Environmental Sciences, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran.
2. Department of Earth Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.
3. Department of Biology, University of Utrecht, Utrecht, Netherlands.
E-mail: eb.fataei@iau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 23 Jan. 2024
Revised: 17 Apr. 2024
Accepted: 27 Apr. 2024
Published online: 22 Oct. 2024

Keywords:
Qazvin Plain,
Groundwater quality Index,
Groundwater quality,
Water resources management.

Abstract

Assessing the quality of water resources is a crucial aspect of enhancing their management. Given the importance of groundwater resources in the Qazvin Plain, this study focuses on examining the quality of groundwater for both drinking and agricultural purposes. Hydro-geochemical parameters were utilized to select two quality indicators for drinking and irrigation water, enabling an investigation into the groundwater quality including Potassium (K^+), Sodium (Na^+), Magnesium (Mg^{2+}), Calcium (Ca^{2+}), Chloride (Cl^-), Bicarbonate (HCO_3^-), Sulfate (SO_4^{2-}), Electrical Conductivity (EC), and Total Dissolved Solids (TDS) in the years 2012, 2016, and 2020.Based on the results, quality indicator maps for drinking and irrigation water were classified. Also, the percentage of each class's area and their average values were obtained for different land uses using ArcMap 10.8.2 software, to consider the mutual effect of land use on groundwater quality. The results revealed that the average drinking water quality index, based on World Health Organization (WHO) standards, was 135.02, 128.30, and 127.38 for the years 2012, 2016, and 2020, respectively, indicating an improvement in drinking water quality over time. The average groundwater quality index for irrigation in the recent years was 62.21, 63.51, and 63.39, showing a relatively stable trend. Generally, the quality of groundwater for drinking and agricultural purposes was better in the northern regions compared to the southern regions. However, groundwater in the central and eastern parts of the plain, encompassing abandoned and neglected lands, exhibited increasing restrictions for irrigation purpose. The study demonstrated a decrease in the area of land with suitable quality groundwater for drinking purposes. Over the study period, there was a noticeable decline in the area classified as good class for drinking water, while the area classified as poor-quality class increased. Given the results obtained in this study, it is suggested that land suitability evaluation studies and crop pattern development be used to prioritize study areas based on water quality categories.

Cite this article: Davoodi Memar Otagvar, L., Fataei, E., Tajiabadi, M., Naeimi, B. (2024). Spatio-temporal assessment of changes in groundwater quality in Qazvin Plain. *Journal of Range & Watershed Management*, 77 (3), 353-369. DOI:10.22059/jrwm.2024.370962.1744

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

نشریه مرتع و آبخیزداری

دوره ۷۷ (۳)

شاپا الکترونیکی: ۷۷۹۵-۲۴۲۳

ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت منابع آب زیرزمینی در حوزه آبریز دشت قزوین

لیلا داوودی معماراطاقور[۱] | ابراهیم فتائی[۱*] | مهدی تاج‌آبادی[۲] | بابک نعیمی[۳]

۱. گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اردبیل، اردبیل، ایران

۲. گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

۳. گروه زیست شناسی، دانشگاه اترخت، اترخت، هلند

رایانامه: eb.fataei@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱

کلیدواژه‌ها:
دشت قزوین،
شاخص کیفیت آب،
کیفیت آب زیرزمینی،
مدیریت منابع آب.

چکیده

ارزیابی کیفیت منابع آب یکی از موارد با اهمیت برای بهبود مدیریت آن‌ها می‌باشد. با توجه به اهمیت منابع اب زیرزمینی در دشت قزوین، و به منظور اگاهی بیشتر از وضعیت این منابع، در این مطالعه به بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف آشامیدن و کشاورزی پرداخته شده است. به این منظور با استفاده از پارامترهای هیدروژئوشیمیایی، دو شاخص کیفیت آب آشامیدنی و آبیاری جهت بررسی و مطالعه کیفیت آب زیرزمینی و با توجه به داده‌های موجود شامل پارامترهای هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی از جمله پتاسیم (K^+)، سدیم (Na^+)، منیزیم (Mg^{2+})، کلسیم (Ca^{2+})، کلرید (Cl^-) بی‌کربنات (HCO_3^-)، سولفات (SO_4^{2-})، هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity (EC)) و کل مواد جامد محلول (Total Dissolved Solid (TDS)) در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹ انتخاب گردیدند. بر اساس نتایج، نقشه‌های شاخص‌های کیفیت آب آشامیدنی و آبیاری رده‌بندی شدند و درصد مساحت هر رده و مقدار میانگین آن‌ها در کاربری اراضی‌های مختلف با استفاده از نرم افزار ArcMap 10.8.2 به دست آمد، تا اثر متقابل کاربری اراضی بر روی کیفیت آب زیرزمینی در نظر گرفته شود. نتایج نشان داد میانگین شاخص کیفیت آب آشامیدنی بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO) در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹ به ترتیب ۱۳۵/۰۲، ۱۲۸/۳۰ و ۱۲۷/۳۸ به دست آمد که بهبود کیفیت آب آشامیدن را نشان می‌دهد. در حالی که میانگین شاخص کیفیت آب آبیاری در این سال‌ها به ترتیب ۶۲/۲۱، ۶۳/۵۱ و ۶۳/۳۹ حاصل شد. کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف آشامیدن و کشاورزی در بخش‌های شمالی منطقه بهتر از بخش‌های جنوبی بود، درحالی که در بخش‌های مرکزی و شرقی دشت که شامل اراضی بایر و رها شده است، برای مصرف آبیاری دارای محدودیت زیاد یا شدید بودندکه با مرور زمان محدودیت آب برای آبیاری بیشتر شده است. نتایج مشخص نمود که مساحت اراضی دارای آب زیرزمینی با کیفیت مناسب برای مصرف آشامیدن، در حال کاهش است و در طول دورهٔ مورد مطالعه از مساحت رده خوب کاسته شده و بر میزان مساحت رده ضعیف افزوده شده است. باتوجه به نتایج به دست آمده در این مطالعه پیشنهاد می‌شود که از مطالعات ارزیابی تناسب اراضی و تدوین الگوی کشت در راستای اولویت‌بندی اراضی مورد مطالعه بر اساس رده‌های کیفیت آب استفاده گردد.

استناد: داوودی معماراطاقور، لیلا؛ فتائی، ابراهیم؛ تاج‌آبادی، مهدی؛ نعیمی، بابک (۱۴۰۳). ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت منابع آب زیرزمینی در حوزه آبریز دشت قزوین. *نشریه مرتع و آبخیزداری*، ۷۷(۳)، ۳۶۹-۳۵۳.

DOI: http//doi.org/10.22059/jrwm.2024.370962.1744

ناشر : انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

امروزه با رشد جمعیت و افزایش نیاز به آب در بخش‌های مختلف آشامیدن، کشاورزی و صنعت، و نیز به علت کمبود منابع آب سطحی، به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، افزایش برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی سبب کاهش کیفیت و افزایش آلودگی این منابع آبی شده است (Amiri et al., 2014)، که این روند می‌تواند تأثیرات جبران‌ناپذیری بر سلامت جامعه از لحاظ تأمین آب آشامیدن و کشاورزی داشته باشد (Bui et al., 2020؛ Dehghan Rahimabadi et al., 2023). اشناخت صحیح و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی می‌تواند در توسعه پایدار فعالیت‌های کشاورزی، اجتماعی و اقتصادی تأثیر بسزایی داشته باشد (اسلامی‌نژاد و همکاران،۲۰۲۲؛ Masoudi et al., 2023). بنابراین در دهه‌های اخیر، مدیریت این منابع آبی در سراسر جهان به مسئله‌ای مهم تبدیل شده است.

مدیریت و بهره‌برداری مناسب از منابع آب زیرزمینی نیازمند ارزیابی و پایش کمی و کیفی این منابع می‌باشد تا با استفاده بهینه از آنها، حداقل خسارت به محیط زیست و مخازن این آب‌ها وارد شود. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی یکی از روش‌های قابل توجه برای مدیریت این منابع ارزشمند است. آگاهی از وضعیت منابع آب در یک منطقه، می‌تواند اطلاعات با ارزشمندی از شرایط آب زیرزمینی در اختیار قرار دهد و در نتیجه نقش تعیین کننده‌ای در برنامه‌ریزی آب ایفا کند (Azimi et al., 2018؛ Shwetank et al., 2020).

کیفیت آب زیرزمینی به عوامل مختلفی مانند تاریخچهٔ زمین‌شناسی، نوع خاک، نفوذپذیری خاک، عمق سطح آب، میزان بارندگی و هدایت هیدرولیکی آبخوان، و حلالیت مواد سنگی در یک آبخوان بستگی دارد (Asadi et al., 2020؛ Lwimbo et al., 2019). بنابراین خصوصیات و معیارهای فیزیکی و شیمیایی آب‌های زیرزمینی اطلاعات اساسی در مورد فرآیندهای مختلف ژئوشیمیایی و خواص آب برای مصارف آشامیدن و آبیاری فراهم می‌کند و منابع عناصر اصلی، شرایط محیطی و کیفیت آن را منعکس می‌کند (Taheri et al., 2017). در سال‌های اخیر، روش‌های مختلفی برای ارزیابی دقیق کیفیت آب‌های زیرزمینی اتخاذ شده است. که یکی از این روش‌ها استفاده از شاخص‌ها بر اساس روابط ریاضی، برای ارزیابی تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی می‌باشد (He et al., 2017؛ Kenda et al., 2020؛ Gaffoor et al., 2022). شاخص کیفیت آب که بر اساس پارامترهای مهم هیدروژئوشیمیایی است، یک شاخص ساده است و می‌تواند به عنوان شاخص کیفیت آب زیرزمینی عمل کند و اطلاعات مفید و مهمی را در اختیار کاربران قرار دهد. شاخص کیفیت آب آشامیدنی[1] (Abbasnia et al., 2019؛ Pan et al., 2024) و شاخص کیفیت آب آبیاری[2] (Ibrahim et al., 2023؛ Hussein et al., 2024) برای ارزیابی کیفیت آب برای مصارف آشامیدن و کشاورزی ایجاد شده است. این شاخص‌ها برای پهنه‌بندی کیفی سفره‌های آب زیرزمینی به ترتیب برای مصارف آشامیدن و کشاورزی و نیز جهت تعیین مکان‌های مناسب برای احداث چاه‌های آب در بسیاری از کارهای تحقیقاتی استفاده گردیده‌اند (Keesari et al., 2017؛ Mukate et al., 2020؛ Zhao et al., 2021).

یکی از روش‌های برجسته برای تعیین کیفیت آب زیرزمینی برای اهداف مختلف، ارزیابی کیفیت این منابع آبی به کمک ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی و نقشه‌های کابردی حاصل از تکنیک GIS است که توسط بسیاری از کاربران انجام شده است (Sadat-Noori et al., 2014؛ Amalraj & Pinus, 2018؛ Jha et al., 2020). نقشه‌های توزیع کیفیت آب زیرزمینی ممکن است برای کمک به برنامه‌ریزان، مدیران و مقامات محلی در ارزیابی پتانسیل آلودگی این منابع آبی استفاده شود (Adimalla, 2019).

عباسی نیا و همکاران (۲۰۱۹) با ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب آشامیدنی و آبیاری در استان سیستان و بلوچستان گزارش دادند که در سال‌های اخیر منابع آب زیرزمینی از نظر کیفی و کمی به دلیل برداشت بی‌رویه، فعالیت‌های انسانی و سوء مدیریت منابع آب، به طور قابل توجهی کاهش یافته است. موکات[3] و همکاران (۲۰۱۹) گزارش می‌دهند که شاخص‌های کیفیت آب، انعطاف‌پذیر و از نظر محاسبه و زمان راحت و سریع است و اطلاعات مفیدی را برای اولویت‌بندی و حفظ کیفیت منابع آب و

[1] Drinking Water Quality Index
[2] Irrigation Water Quality Index
[3] Mukate

کاهش اثرات استفاده از منابع آب زیرزمینی با کیفیت پایین بر سلامت انسان ارائه می‌کند. نواز[1] و همکاران (۲۰۲۳) کیفیت آب زیرزمینی در مناطق شهری استان پنجاب پاکستان را با استفاده از شاخص آب آشامیدنی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که به دلیل بالا بودن میزان اکثر پارامترهای فیزیکوشیمیایی، این منابع آبی برای مصرف آشامیدن نامناسب است. پن[2] و همکاران (۲۰۲۴) با ارزیابی مکانی و زمانی آب زیرزمینی در ووهان چین گزارش می‌دهند که یافته‌های نشان داد که کیفیت آب به طور کلی مناسب بوده و از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ بهبود یافته است و محدودیت منابع آب مربوط به مواد جامد محلول بوده است.

با توجه به تغییرات اقلیمی و کمبود بارش که سبب خشک شدن بسیاری از رودخانه‌ها و محدودیت منابع آب سطحی در بسیاری از مناطق دشت قزوین شده است (Isazade et al., 2023) و با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در این منطقه، در این مطالعه هدف بررسی تغییرات ایجاد شده در کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ دو کاربری آشامیدن و آبیاری با استفاده از پارامترهای هیدروژئوشیمیایی و بر اساس استانداردهای تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی است. بر اساس مرور منابع، تاکنون در بحث طبقه‌بندی کیفیت آب آشامیدنی و آبیاری در دشت استراتژیک قزوین بر اساس رویکرد پیشنهادی در این مطالعه، تحقیقی اجام نشده است. بنابراین نتایج حاصله می‌تواند خلاصه‌ای از وضعیت کیفی این منبع آبی را در نقاط مختلف این دشت برای تصمیم گیرندگان جهت اعمال برنامه‌های مدیریتی برای استفاده بهینه از منابع آب زیرزمینی، فراهم کند.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

دشت قزوین در حدواسط ´۱۸ °۳۵ تا ´۳۰ °۳۶ عرض شمالی و طول جغرافیایی ´۱۱ °۴۹ تا ´۴۰ °۵۰ شرقی قرار گرفته است. مساحت منطقه مورد مطالعه ۹۵۲۶/۲۳ کیلومتر مربع و میزان تغییرات ارتفاع آن در حدواسط ۹۵۲ تا ۲۹۱۱ متر از سطح دریا متغیر است به‌طوری که بخش‌های مرکزی و شرقی دشت دارای ارتفاع کمتری نسبت به مناطق شمالی، غربی و جنوبی می‌باشند. شکل ۱ نشان دهنده موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در استان‌های واقع شده و موقعیت چاه‌های پیزومتری مورد مطالعه می‌باشد.

نقشه کاربری اراضی دشت قزوین برگرفته از تصاویر ماهواره لندست سنجنده OLI در سال ۱۳۹۸ بیانگر این موضوع است که اراضی کشاورزی (۲۹/۴۷ درصد) پس از اراضی بایر (۴۱/۵۴ درصد) در دشت قزوین بیشترین سهم کاربری اراضی را به خود اختصاص می دهند (جدول ۱) و بیانگر جایگاه فعالیت‌های کشاورزی در منطقه می باشد (شکل۲). رسوبات ناپیوسته شامل پادگانه‌ها و آبرفت‌های جدید بیشترین مساحت (۵۷۴۴/۶۸ کیلومتر مربع) را در منطقه مورد مطالعه شامل می‌شود. لازم به ذکر است که در این سازندهای کواترنری، سرعت نفوذ آب و تراوایی بسیار بالا است و به همین دلیل این سازند، بستر آبخوان‌های بسیار بزرگی را شکل می‌دهد (Abdalla et al., 2020)؛ که این ویژگی باعث تشکیل منابع آب زیرزمینی در این سازندها می‌شود. شکل ۳ نقشه سازندهای زمین‌شناسی در دشت قزوین را نشان می‌دهد که استخراج شده از نقشه زمین‌شناسی سازمان زمین شناسی ایران است.

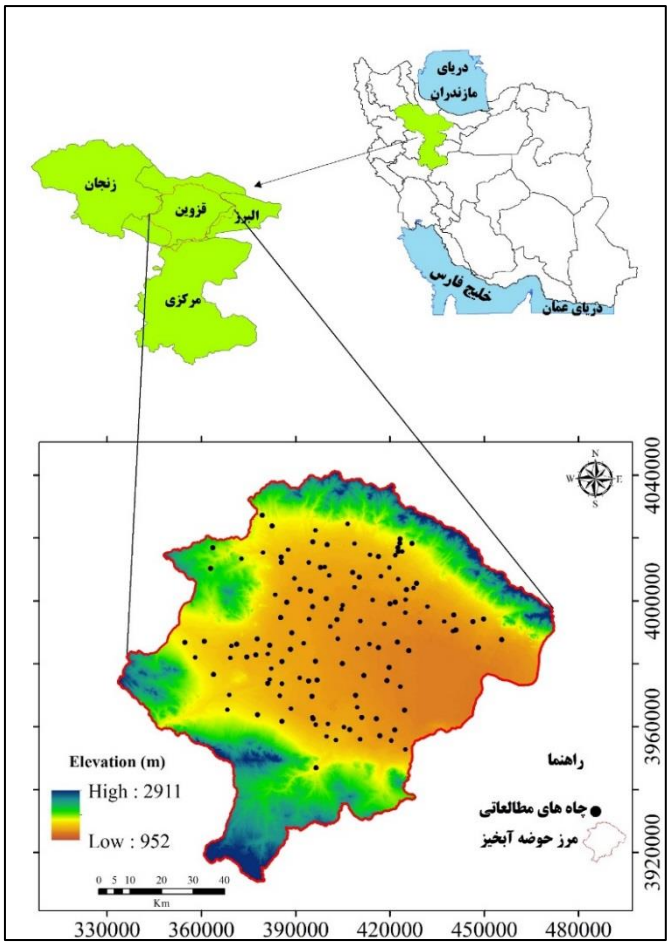
۲-۲. روش‌تحقیق

۲-۲-۱. جمع آوری اطلاعات

جهت ارزیابی شایستگی آب زیرزمینی برای مصارف آشامیدن و آبیاری در حوضه دشت قزوین، دادهای مربوط به ۷۳ چاه مطالعاتی موجود در داخل محدوده، از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به آمار در دسترس و موجود، پارامترهای هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی شامل پتاسیم (K^+)، سدیم (Na^+)، منیزیم (Mg^{2+})، کلسیم (Ca^{2+})، کلرید (Cl^-) بی‌کربنات (HCO_3^-)،

[1] Nawaz
[2] Pan

سولفات (SO_4^{2-})، هدایت الکتریکی (EC[1]) و کل مواد جامد محلول (TDS[2]) برای فصل بهار و در طی سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹، به عنوان داده‌های اولیه و ورودی استفاده قرار گرفت.

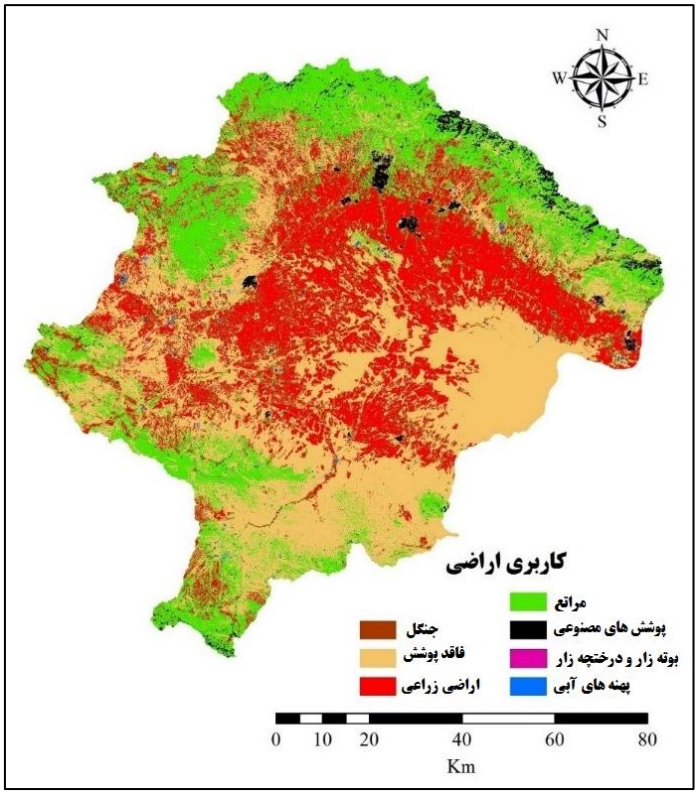


شکل ۱. موقعیت دشت قزوین در ایران و پراکنش موقعیت چاه‌های مطالعاتی

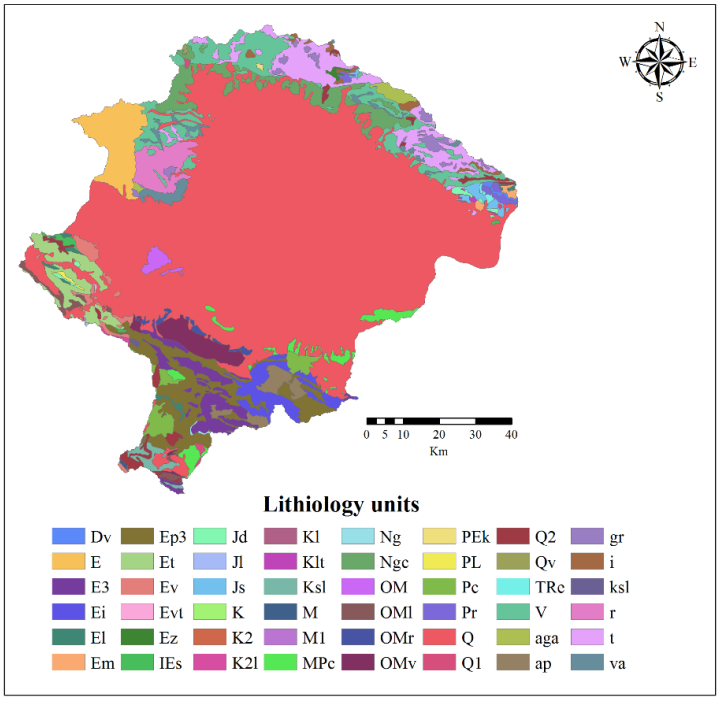
جدول ۱. درصد مساحت طبقات کاربری اراضی در دشت قزوین

ردیف	نوع کاربری اراضی	مساحت (درصد)
۱	جنگل	۰/۱۴
۲	اراضی بدون پوشش گیاهی	۴۱/۵۴
۳	اراضی کشاورزی	۲۹/۴۷
۴	علفزار	۲۷/۲۹
۵	غیرقابل نفوذ	۰/۸۵
۶	بوته‌زار	۰/۴۲
۷	پهنه‌های آبی	۰/۲۸
مجموع	---------	۱۰۰

[1] Electrical Conductivity
[2] Total Dissolved Solid



شکل ۲. نقشه کاربری اراضی دشت قزوین



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی دشت قزوین

۲-۲-۲. شاخص کیفیت آب آشامیدنی

شاخص کیفیت آب آشامیدنی یک شاخص ساده و بر اساس پارامترهای مهم هیدروژئوشیمیایی است که می‌تواند بیانگر کیفیت آب زیرزمینی باشد (Banda & Kumarasamy, 2020). در این مطالعه، ارزیابی کیفیت آب با استفاده از شاخص کیفیت آب آشامیدنی، که به طور گسترده برای ارزیابی کیفیت آب آشامیدنی استفاده می‌شود، انجام شد. محاسبات این شاخص شامل تخصیص وزن به هر پارامتر و نرمال کردن وزن‌ها، نرمالسازی پارامترها بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO)، محاسبه شاخص کیفیت آب آشامیدنی برای هر نقطه مشاهده شده و در نهایت زون‌بندی و درون‌یابی امتیازات است. به این منظور وزن نسبی هر پارامتر بر اساس اهمیت نسبی پارامترها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$w_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i}$$ رابطه ۱)

که در آن، W_i وزن نسبی، w_i وزن هر پارامتر و n تعداد پارامترها هیدروژئوشیمیایی است. جدول ۲ وزن پارامترهای هیدروژئوشیمیایی و مقادیر استاندارد آنها بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی نشان می‌دهد.

جدول ۲. وزن پارامترهای هیدروژئوشیمیایی و مقادیر استاندارد آنها بر اساس سازمان بهداشت جهانی (۲۰۱۱)

پارامتر	واحد	استاندارد سازمان بهداشت جهانی	وزن (W_i)	وزن نسبی (rw_i)
پتاسیم	میلی‌گرم بر لیتر	۱۲	۲	۰/۰۷۷
سدیم	میلی‌گرم بر لیتر	۲۰۰	۲	۰/۰۷۷
کلسیم	میلی‌گرم بر لیتر	۵۰	۱	۰/۰۳۸
منیزیم	میلی‌گرم بر لیتر	۷۵	۲	۰/۰۷۷
کلرید	میلی‌گرم بر لیتر	۲۵۰	۳	۰/۱۱۵
بی‌کربنات	میلی‌گرم بر لیتر	۱۲۰	۳	۰/۱۱۵
سولفات	میلی‌گرم بر لیتر	۲۵۰	۴	۰/۱۵۴
اسیدیته	–	۶/۵ – ۸/۵	۴	۰/۱۵۴
کل مواد جامد محلول	میلی‌گرم بر لیتر	۵۰۰	۵	۰/۱۹۳
جمع	–	–	۲۶	۱

برای هر پارامتر، مقیاس درجه‌بندی کیفیت با تقسیم غلظت آن در هر نمونه آب بر استانداردهای مربوطه ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی و طبق رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$qi = (\frac{C_i}{S_i}) \times 100$$ رابطه ۲)

که در آن q_i رتبه‌بندی کیفیت، C_i غلظت هر پارامتر هیدروژئوشیمیایی در هر چاه به میلی‌گرم بر لیتر و S_i استاندارد سازمان بهداشت جهانی برای هر پارامتر هیدروژئوشیمیایی بر حسب میلی‌گرم در لیتر است.

سپس با ضرب کیفیت هر پارامتر (q_i) در وزن نرمال شده آن (w_i)، زیرشاخص هر پارامتر (S_I) با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$SI_i = w_i \times q_i$$ رابطه ۳)

$$q_{i=} (\frac{C_i}{S_i}) \times 100$$

و در نهایت با جمع مقادیر زیرشـاخص پارامترهای هیدروژئوشـیمیایی، مقدار عددی شـاخص کیفیت آب آشـامیدنی برای هر نقطه مشاهداتی (نمونه‌برداری شده) طبق رابطه ۴ به دست می‌آید:

$$DWQI = \sum_{i=1}^{n} SI_i$$ رابطه ۴)

پس از محاسبه مقادیر شاخص کیفیت آب آشامیدنی برای هر نقطه نمونه‌برداری، کیفیت آب زیرزمینی بر اساس جدول ۳ به رده‌های مختلف طبقه‌بندی می‌شود.

جدول ۳. طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی بر اساس شاخص کیفیت آب آشامیدنی (Meireles et al., 2010)

ردیف	محدوده شاخص کیفیت آب آشامیدنی	کیفیت آب زیرزمینی
۱	کمتر از ۵۰	عالی
۲	۵۰ – ۱۰۰	خوب
۳	۱۰۰ – ۲۰۰	ضعیف
۴	۲۰۰ – ۳۰۰	بسیار ضعیف
۵	بیش از ۳۰۰	نامناسب برای نوشیدن

۲-۲-۳. شاخص کیفیت آب آبیاری

شـاخص کیفیت آب آبیاری توسـط میرلز [1] و همکاران در سـال ۲۰۱۰ توسـعه یافته اسـت که عمدتاً برای ارزیابی کیفیت آب برای اهداف کشاورزی استفاده می‌شود. در این شاخص از پنج پارامتر هیدروژئوشیمیایی شامل سدیم (Na^+)، کلرید (Cl^-) بی‌کربنات (HCO_3^-)، هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم [2] (SAR) که نقش اصلی در کیفیت آب‌های زیرزمینی برای آبیاری دارند، استفاده می‌شود. مقادیر این شاخص بین صفر تا صد می‌باشد که صفر بدترین و صد بهترین شرایط آب زیرزمینی جهت آبیاری را نشان می‌دهد.

نسبت جذب سدیم طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{2+}+Mg^{2+})}{2}}}$$ رابطه ۵)

که در آن غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر می‌باشد.

برای محاسبه این شاخص ابتدا مقدار پارامتر اندازه‌گیری کیفیت آب (q_i) طبق رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$q_i = q_{max} - \left(\frac{[(x_{ij}-x_{inf})\times q_{iamp}]}{x_{amp}}\right)$$ رابطه ۶)

که در آن، q_{max} حداکثر مقدار q_i برای هر رده، x_{ij} مقدار مشـاهده شـده برای هر پارامتر، x_{inf} حد پایین رده‌ای اسـت که پارامتر به آن تعلق دارد، q_{amp} دامنه رده و x_{amp} دامنه رده‌ای است که پارامتر به آن تعلق دارد. جدول ۴ مقادیر پارامتر برای محاسبه اندازه‌گیری کیفیت پارامترها در شاخص کیفیت آب آبیاری را نشان می‌دهد.

همچنین مقادیر وزن نسبی هر پارامتر هیدروژئوشیمیایی که توسط کمیته مشورتی دانشگاه کالیفرنیا [3] ارائه شده است، در جدول ۵ نشان داده شده است.

در نهایت، مقدار عددی شاخص کیفیت آب آبیاری (IWQI) را می‌توان با استفاده از معادله ۷ محاسبه و طبق جدول ۶ طبقه بندی می‌شود.

[1] Meireles
[2] Sodium Adsorption Ratio
[3] University of California Committee of Consultants (UCCC)

رابطه ۷) $$IWQI = \sum_{i=1}^{n} q_i \times w_i$$

جدول ۴. مقادیر پارامتر برای محاسبه اندازه‌گیری کیفیت پارامترها (q_i) در شاخص کیفیت آب آبیاری (Meireles et al., 2010)

q_i	سدیم (میلی‌اکی‌والان در لیتر)	کلرید (میلی‌اکی‌والان در لیتر)	بی‌کربنات (میلی‌اکی‌والان در لیتر)	هدایت الکتریکی (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر)	نسبت جذب سدیم
۸۵ – ۱۰۰	۲ – ۳	۱ – ۴	۱ – ۱/۵	۲۰۰ – ۷۵۰	۲ – ۳
۶۰ – ۸۵	۳ – ۶	۴ – ۷	۱/۵ – ۴/۵	۷۵۰ – ۱۵۰۰	۳ – ۶
۳۵ – ۶۰	۶ – ۹	۷ – ۱۰	۴/۵ – ۸/۵	۱۵۰۰ – ۳۰۰۰	۶ – ۱۲
۰ – ۳۵	کمتر از ۲ و بیشتر از ۹	کمتر از ۱ و بیشتر از ۱۰	کمتر از ۱ و بیشتر از ۸/۵	کمتر از ۲۰۰ و بیشتر از ۳۰۰۰	کمتر از ۲ و بیشتر از ۱۲

جدول ۵. وزن پارامترها در شاخص کیفیت آب آبیاری (Meireles و همکاران، ۲۰۱۰)

پارامتر	وزن نسبی
سدیم	۰/۲۰۴
کلرید	۰/۱۹۴
بی‌کربنات	۰/۲۰۲
هدایت الکتریکی	۰/۲۱۱
نسبت جذب سدیم	۰/۱۸۹

جدول ۶. طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی بر اساس شاخص کیفیت آب آبیاری (Meireles و همکاران، ۲۰۱۰)

ردیف	محدوده شاخص کیفیت آب آشامیدنی	کیفیت آب زیرزمینی
۱	۸۵ – ۱۰۰	بدون محدودیت
۲	۷۰ – ۸۵	محدودیت کم
۳	۵۵ – ۷۰	محدودیت متوسط
۴	۴۰ – ۵۵	محدودیت بالا
۵	۰ – ۴۰	محدودیت شدید

پس از برآورد شاخص‌های کیفیت آب برای مصارف آشامیدن و کشاورزی، نقشه‌های توزیع مکانی این شاخص‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcMap 10.8.2 تهیه گردید. به این منظور، از روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW)[1] برای درونیابی نقشه‌های تغییرپذیری مکانی شاخص‌های مذکور، به کار گرفته شد. کارایی این روش در تولید نقشه های توزیع مکانی شاخص ها و پارامترهای آب زیرزمینی توسط محققین بسیاری بررسی شده که نتایج قابل قبول آن گزارش شده ست (Azhari et al., 2022؛ Selmane et al., 2022؛ Supardi et al., 2022). همچنین، با توجه به نقشه کاربری اراضی منطق، میانگین و انحراف معیار شاخص‌های کیفیت آب آشامیدنی و آبیاری در هر کاربری اراضی برآورد شد.

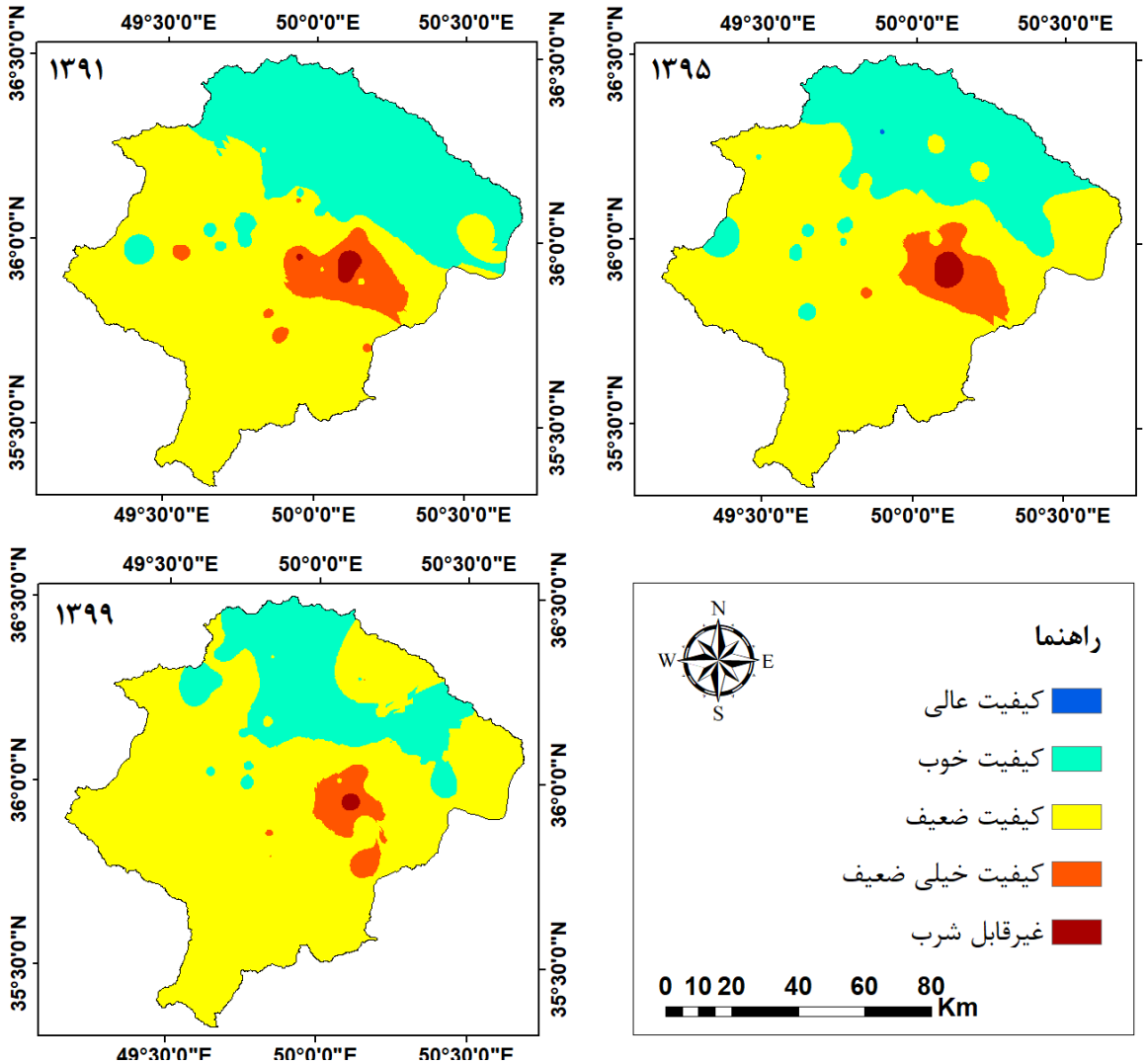
[1] Inverse Distance Weighting

۳. یافته‌های پژوهش

۳-۱. شاخص کیفیت آب آشامیدنی (DWQI)

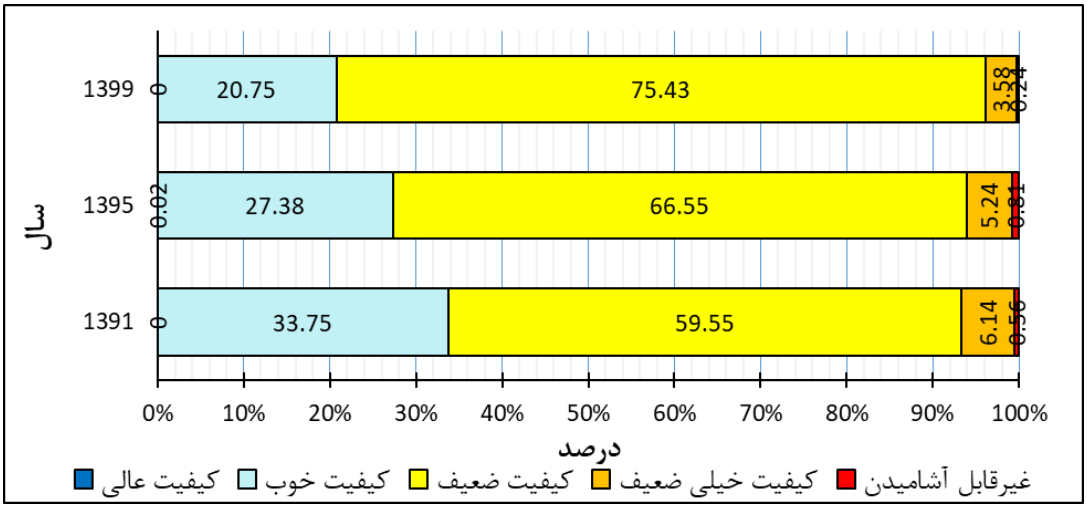
حداکثر و حداقل و نیز میانگین شاخص کیفیت آب آشامیدنی در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹ در کاربری‌های مختلف برآورد شد. در کل حوضه مورد مطالعه، میانگین این شاخص در این سال‌های به ترتیب ۱۳۵/۰۲، ۱۲۸/۳۰ و ۱۲۷/۳۸ محاسبه شد، که بیانگر بهتر شدن کیفیت آب زیرزمینی برای مصرف آشامیدن در پایان دوره می‌باشد.

همچنین شکل ۴ نقشه‌های شاخص کیفیت آب آشامیدنی در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹ را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۵ میزان درصد مساحت رده‌های مختلف شاخص کیفیت آب آشامیدنی در طی این سال‌ها ارائه شده است. با توجه به نقشه‌های توزیع مکانی شاخص کیفیت آب آشامیدنی در سال‌های مورد مطالعه، به طور کلی مقدار این شاخص در بخش‌های شمالی کمتر از بخش‌های جنوبی بوده، که نشان دهنده کیفیت بهتر آب زیرزمینی در بخش های شمالی نسبت به بخش‌های جنوبی است. علاه بر این بخش‌های مرکزی نیز دارای آب زیرزمینی با کیفیت خیلی ضعیف یا غیرقابل آشامیدن است.



شکل ۴. نقشه شاخص کیفیت آب آشامیدنی در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹

نتایج شکل ۵ نشان می دهد که به طور کلی بیشتر دشت قزوین دارای آب زیرزمینی با کیفیت رده ۳ (ضعیف) می‌باشد. در طی این سه دوره، از میزان مساحت رده خوب کاسته شده و بر میزان مساحت رده ضعیف افزوده شده است.



شکل ۵. نمودار درصد مساحت رده‌های مختلف شاخص کیفیت آب آشامیدنی در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹

جدول ۷ میانگین و انحراف معیار شاخص کیفیت آب آشامیدنی در کاربری‌های مختلف در طی زمین را نشان می‌دهد. در اراضی جنگلی، میانگین این شاخص در طی زمان در حال افزایش است، در حالی که انحراف معیار آن در حال کاهش است که نشان دهنده این است که تغییرات کیفیت در طی زمان در این کاربری در حال همگن شدن می‌باشد. در اراضی بایر و بدون پوشش کیفیت آب در طی زمان تغییرات چشم‌گیری نداشته است. در اراضی کشاورزی مقدار شاخص کیفیت آب در حال افزایش است که بیانگر کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد و دلیل آن می‌تواند استفاده بیشتر از کودهای مختلف در طی زمان در این اراضی باشد. در اراضی علفزار، مناطق غیرقابل نفوذ شهری و بوته‌زارها کیفیت آب آشامیدنی به مرور زمان کاهش پیدا کرده است، اگر چه در علفزارها در سال ۱۳۹۵ یک کاهش اندک در مقدار شاخص کیفیت آب آشامیدنی (افزایش کیفیت) دیده می‌شود، و نیز در این کاربری میزان تغییرات (انحراف معیار) کیفیت آب آشامیدنی در حال کاهش و همگن‌تر شدن است.

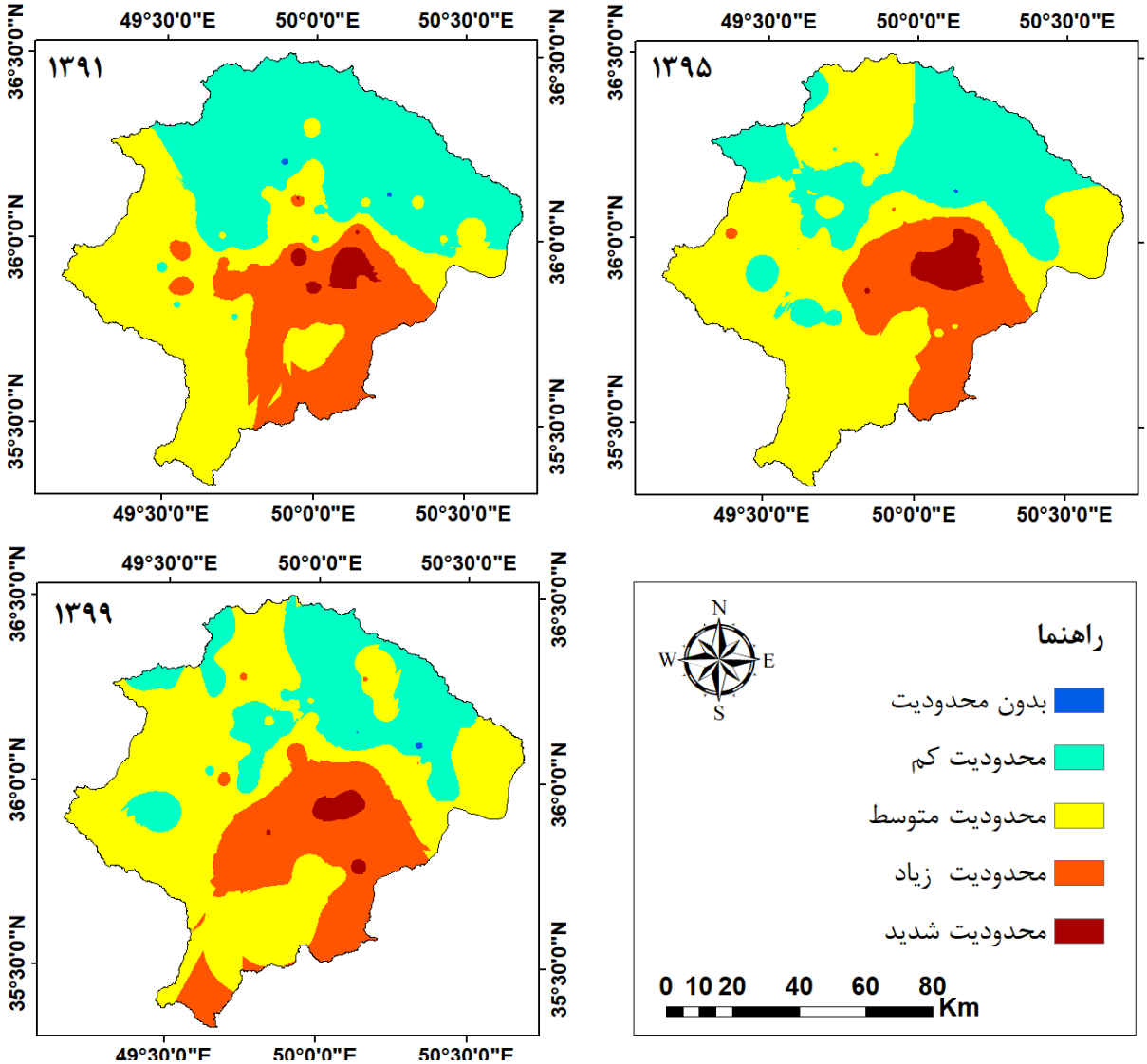
جدول ۷. مقدار میانگین شاخص کیفیت آب آشامیدنی در کاربری‌های مختلف در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹

کاربری اراضی	سال ۱۳۹۱		سال ۱۳۹۵		سال ۱۳۹۹	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
جنگل	۱۰۵/۵۸	۳۹/۳۱	۱۰۶/۱۵	۲۹/۸۳	۱۱۱/۸۸	۲۷/۳۸
اراضی بایر	۱۴۸/۴۱	۴۶/۴۳	۱۴۶/۱۰	۴۶/۷۳	۱۴۵/۷۴	۳۵/۱۹
اراضی کشاورزی	۱۲۲/۹۵	۴۹/۹۶	۱۲۴/۹۰	۴۷/۶۸	۱۲۸/۳۳	۳۹/۹۳
علفزار	۱۱۰/۷۳	۳۶/۷۹	۱۰۸/۹۱	۲۷/۹۱	۱۱۷/۴۰	۲۵/۴۰
مناطق غیرقابل نفوذ	۹۳/۲۸	۲۷/۹۵	۱۰۴/۰۳	۲۷/۱۰	۱۰۶/۷۴	۲۶/۵۵
بوته‌زار	۸۸/۲۲	۲۸/۷۱	۹۷/۳۶	۲۰/۴۲	۱۱۰/۷۴	۱۷/۰۲

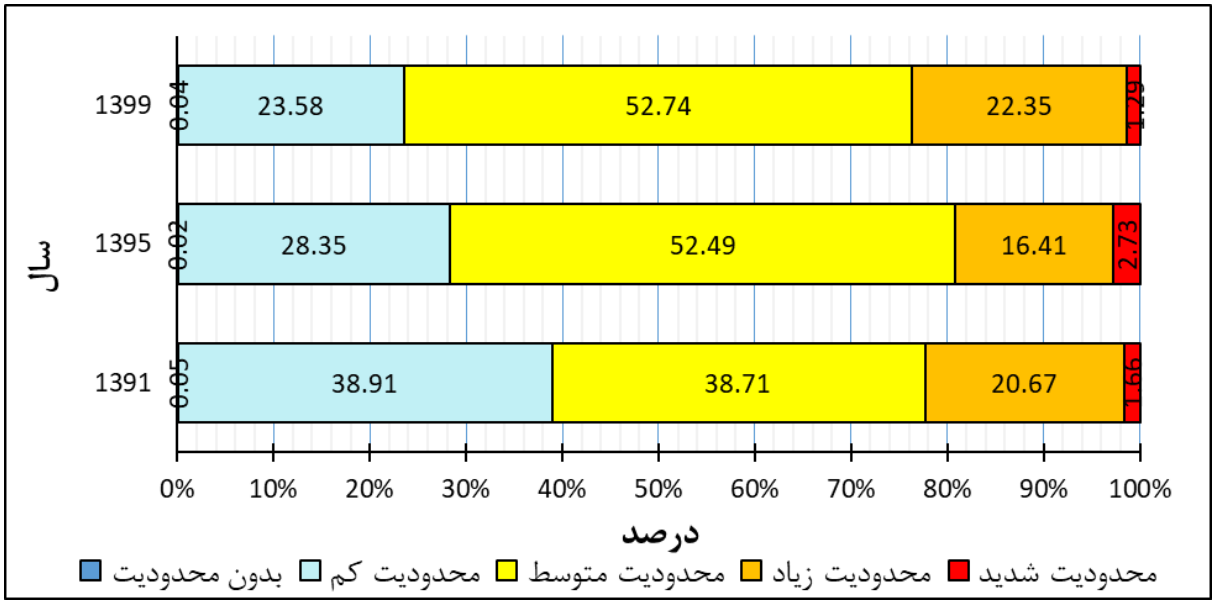
۳-۲. شاخص کیفیت آب آبیاری (IWQI)

حداکثر، حداقل و میانگین شاخص کیفیت آب آبیاری در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹ در کاربری‌های مختلف برآورد شد. در کل حوضه مورد مطالعه، میانگین این شاخص در این سال‌ها به ترتیب ۶۲/۲۱، ۶۳/۵۱ و ۶۳/۳۹ به دست آمد، که بیانگر تغییرات کم کیفیت آب زیرزمینی و بهتر شدن جزئی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی می‌باشد.

شکل ۶ نقشه‌های شاخص کیفیت آب آبیاری در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹ را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۷ میزان درصد مساحت رده‌های مختلف شاخص کیفیت آب آبیاری در طی این سال‌ها ارائه شده است. با توجه به نقشه‌های توزیع مکانی شاخص کیفیت آب آبیاری در سال‌های مختلف، به طور کلی مقدار این شاخص در بخش‌های شمالی بیشتر از بخش‌های جنوبی بوده که بیانگر کیفیت بهتر آب زیرزمینی در بخش‌های شمالی نسبت به مناطق جنوبی است، در حالی که آب زیرزمینی در بخش‌های مرکزی و شرقی دشت برای مصرف آبیاری دارای محدودیت زیاد یا شدید می‌باشد. با مرور زمان محدودیت آب زیرزمینی برای آبیاری بیشتر شده است (شکل ۷).



شکل ۶. نقشه شاخص کیفیت آب آبیاری در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹



شکل ۷. نمودار درصد مساحت رده‌های مختلف شاخص کیفیت آب آبیاری در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹

جدول ۸ مقدار میانگین شاخص کیفیت آب آبیاری در رده‌های مختلف کاربری اراضی در سال‌های مختلف را نشان می‌دهد. در همه کاربری‌ها، میانگین این شاخص در طول زمان تغییرات چندانی ندارد و به طور کلی بهترین کیفیت آب برای آبیاری در مناطق غیرقابل نفوذ شهری است، در حالی که اراضی بایر و بدون پوشش دارای آب زیرزمینی با کیفیت پایین‌تری می‌باشد. در همه کاربری‌ها مقدار عددی شاخص کیفیت آب آبیاری از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۹ کاهش ناچیزی یافته است که نشان‌دهنده کاهش اندک در کیفیت آب آبیاری می‌باشد.

جدول ۸. مقدار میانگین شاخص کیفیت آب آبیاری در کاربری‌های مختلف در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹

کاربری اراضی	سال ۱۳۹۱		سال ۱۳۹۵		سال ۱۳۹۹	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
جنگل	۶۸/۰۰	۷/۹۹	۶۸/۲۸	۶/۵۷	۶۶/۵۰	۷/۰۳
اراضی بایر	۵۹/۳۷	۱۰/۲۴	۵۹/۶۲	۱۰/۱۲	۵۸/۸۱	۹/۳۸
اراضی کشاورزی	۶۵/۰۱	۱۱/۲۱	۶۷/۰۷	۱۱/۱۵	۶۳/۰۸	۱۰/۶۹
علفزار	۶۷/۸۹	۸/۰۷	۶۷/۷۱	۶/۴۰	۶۶/۱۳	۶/۹۳
مناطق غیرقابل نفوذ	۷۰/۴۷	۶/۲۹	۶۹/۸۳	۷/۰۷	۶۸/۹۳	۶/۹۸
بوته‌زار	۷۲/۴۴	۶/۱۹	۷۱/۲۶	۵/۵۲	۶۸/۷۳	۵/۰۰

۴. بحث و نتیجه‌گیری

دشت قزوین در تولید محصولات کشاورزی و تأمین غذا در استان قزوین و استان‌های همجوار دارای اهمیت ویژه‌ای است. این شرایط و پتانسیل بالای این دشت، آن را مرکز اصلی بخش‌های کشاورزی، صنعت و مسکونی کرده است. در این راستا، و با توجه به خشکسالی‌های اخیر و کمبود منابع اب سطحی، منابع آب زیرزمینی در این دشت به عنوان منبع اصلی تأمین آب آشامیدن و آبیاری در نظر گرفته می‌شود (پرهیزکاری و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین راه کارها و برنامه‌ریزی‌های مناسب در جهت حفظ منابع آب زیرزمینی به

عنوان منابع با ارزش آب باید در نظر گرفته شود، زیرا حجم مناسب منابع آب زیرزمینی و قابلیت در دسترس بودن آن با کیفیت بالا جهت استفاده در بخش‌های آشامیدن و کشاورزی مسئله‌ای ضروری می‌باشد. به این منظور در این مطالعه تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در دشت قزوین با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب آشامیدنی و آبیاری و بررسی پارامترهای هیدروژئوشیمیایی آب و اطلاعات موجود در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفت و نقشه‌های کیفیت آب زیرزمینی از نظر زمانی و مکانی با استفاده از محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه گردیدند. ارزیابی کیفی آب زیرزمینی جهت مصرف آشامیدن بر اساس استانداردهای ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی و نیز جهت مصارف آبیاری به کمک شاخص‌های اصلی مورد نیاز در آبیاری صورت پذیرفت.

نتایج شاخص کیفیت آب برای مصرف آشامیدن نشان داد که در طول زمان مساحت اراضی با آب زیرزمینی با کیفیت خوب در حال کاهش بوده، به طوری که در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹، مقدار شاخص آب برای مصرف آشامیدن به ترتیب ۱۳۵/۰۲، ۱۲۸/۳۰ و ۱۲۷/۳۸ به دست آمد و نتایج نشن داد که از مساحت رده خوب کاسته شده و بر مساحت رده ضعیف افزوده شده است. حداکثر و حداقل و نیز میانگین شاخص کیفیت آب آشامیدنی در کاربری‌های مختلف برآورد شد. در کل حوضه مورد مطالعه، میانگین این شاخص در این سال‌های محاسبه شد، که بیانگر بهتر شدن کیفیت آب زیرزمینی برای مصرف آشامیدن در پایان دوره می‌باشد.

به طور کلی کیفیت آب زیرزمینی برای آشامیدن در بخش‌های شمالی منطقه بهتر از بخش‌های جنوبی می‌باشد. در بخش‌های مرکزی و شرقی دشت برای مصرف آبیاری دارای محدودیت زیاد یا شدید می‌باشد که با مرور زمان محدودیت آب زیرزمینی برای آبیاری بیشتر شده است. میزان بالای عناصر در منابع آب زیرزمینی به دلیل وجود سازندها و رسوبات کواترنری در بخش‌هایی از حوضه می‌باشد. نتایج تحقیق طالبی و همکاران (۲۰۱۶) نیز موکد این موضوع است که اثرات رسوبات مختلف و سازندهای زمین‌شناسی و نیز فعالیت‌های کشاورزی در مناطق شرقی و جنوبی در دشت قزوین بیشتر بر روی کیفیت منابع آب زیرزمینی اثر می‌گذارد، به طوری که غلظت یون‌های مختلف در این بخش‌ها در مقایسه با مناطق شمالی دشت بیشتر است.

سازندهای کواترنری و پادگانه‌ای جوان موجود در منطقه بیشترین مساحت را به خود اختصاص می‌دهد که به دلیل داشتن ویژگی سرعت نفوذ آب بسیار بالا باعث می‌شوند که مقدار زیادی آب در این سازندها جذب شود و در تغذیه منبع آب زیرزمینی مؤثر می‌باشند. این ویژگی سبب این می‌شوند که آب به سرعت در این سازندها حرکت کند و نیز امکان تلفیق زیادی با مواد موجود در سازندها و نیز مواد آلوده خارجی وجود داشته باشد. همچنین این سازندها بستر آبخوان‌های بسیار بزرگی را شکل می‌دهند که باعث می‌شود که این بخش‌ها به عنوان منابع آب زیرزمینی بسیار مهم محسوب شوند (Abdalla et al., 2020). سازندهای کواترنری و پادگانه‌ای جوان دارای غلظت کربنات بالایی هستند. این ویژگی باعث می‌شود که آب زیرزمینی حاصل از این سازندها دارای pH و سختی بالایی باشد. در بخش کشاورزی وجود منابع آبی کافی و با کیفیت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آب کافی و با کیفیت موجب رشد بهتر محصولات و در نتیجه افزایش سطح تولید و بهبود کیفیت آنها می‌گردد؛ و استفاده از آب با کیفیت نامناسب خود، سبب افزایش شوری خاک و کاهش نفوذ آب و در نهایت کاهش سطح تولیدات کشاورزی می‌گردد (Al-Karablieh & Al-Momani, 2017).

همچنین از طرفی، با توجه به نقشه کاربری اراضی، قسمت‌های شرقی منطقه مورد مطالعه را اراضی بایر تشکیل داده است که تمرکز چاه‌های پیزومتری نیز در این مناطق کم می‌باشد. بنابراین، عدم بهره‌برداری و برداشت از منابع آب زیرزمینی در این مناطق می‌تواند سبب تغذیه و افزایش سطح آب در طول زمان شده و در نتیجه کیفیت بهتر آب در نواحی شرقی شود. بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در بخش‌های غربی و نیز نوع سازندهای زمین‌شناسی در کیفیت آب این بخش‌ها مؤثر است.

لازم به ذکر است که افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی منجر به افت سطح آب زیرزمینی، افزایش غلظت عناصر مختلف و شوری در آب شود و در نهایت می‌تواند تخریب خاک، کاهش پتانسیل تولید و توسعه روند بیابان‌زایی را به دنبال داشته باشد. نتایج تحقیق فخار و نظری (۲۰۲۲) نیز نشان داد که برداشت بی‌رویه منابع زیرزمینی و نیز افزایش خشکی‌ها، شوری خاک در دشت قزوین را تشدید خواهد نمود.

میانگین شاخص کیفی آب آبیاری در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹ به ترتیب ۶۲/۲۱، ۶۳/۵۱ و ۶۳/۳۹ به دست آمد، که بیانگر تغییرات کم کیفیت آب زیرزمینی و بهتر شدن جزئی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، منابع آب زیرزمینی از نظر کیفی برای آبیاری در بخش‌های شمالی و غربی نسبت به بخش‌های جنوبی و شرقی مناسب‌تر است که این می‌تواند به علت وجود کاربری کشاورزی در نواحی مرکزی و شرقی باشد که سبب افزایش سطح برداشت آب از سفره‌های آب زیرزمینی و کاهش کیفیت این منابع آب گردد که نتایج حاصل از پژوهش پناهی فرد و همکاران (۲۰۱۷) نیز در منطقه مورد مطالعه با نتایج بدست امده مطابقت دارد.

همچنین بر اساس شاخص کیفیت آب آشامیدنی و شاخص کیفیت آب زیرزمینی در سراسر منطقه در طی دوره مورد مطالعه به صورت کلی کاهش پیدا کرده است. با توجه به نقشه کاربری اراضی، در بوته‌زار بیشترین و در اراضی اراضی بایر کمترین نوسانات در کیفیت آب زیرزمینی در طی دوره مورد مطالعه اتفاق افتاد. همچنین شاخص کیفیت آب آبیاری نشان داد که در اراضی کشاورزی کیفیت آب زیرزمینی به طور کلی دارای محدودیت بالا و شدید می‌باشد، در حالی که در مناطق غیرقابل نفوذ و بوته‌زار این کیفیت به طور کلی بالاتر است.

با توجه به اینکه کشاورزی کاربری غالب دشت قزوین می‌باشد، آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی، می‌تواند خسارات چشمگیری در پی داشته باشد و زمینه بیابانی شدن این مناطق را فراهم نماید؛ بنابراین برنامه‌ریزی و اتخاذ برنامه‌های جدی در بخش کشاورزی که بتواند به کاهش وابستگی این بخش به منابع آب زیرزمینی کمک کند و یا تغییر الگوی کشت با توجه به کیفیت آب و خاک منطقه بسیار حائز اهمیت خواهد بود. بنابراین پیشنهاد می‌شود که از مطالعات ارزیابی تناسب اراضی و تدوین الگوی کشت در راستای اولویت‌بندی اراضی مورد مطالعه بر اساس رده‌های کیفیت آب آبیاری استفاده گردد در نهایت می‌توان پیشنهاد کرد که منابع آب زیرزمینی باید به درستی مدیریت شود و قبل از استفاده برای مصارف آشامیدن و آبیاری، اقدامات احتیاطی لازم انجام شود. همچنین هر گونه رویکرد اصلاحی برای بهبود کیفیت آب زیرزمینی در بخش‌های جنوب و شرق منطقه مورد مطالعه می‌تولند آن را برای آشامیدن و آبیاری در بخش کشاورزی قابل بهره‌برداری کند.

References

Abbasnia, A., Yousefi, N., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Radfard, M., Yousefi, M., & Alimohammadi, M. (2019). Evaluation of groundwater quality using water quality index and its suitability for assessing water for drinking and irrigation purposes: Case study of Sistan and Baluchistan province (Iran). *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, *25*(4), 988-1005.

Abdalla, F., Moubark, K., & Abdelkareem, M. (2020). Groundwater potential mapping using GIS, linear weighted combination techniques and geochemical processes identification, west of the Qena area, Upper Egypt. *Journal of Taibah University for Science, 14(1)*, 1350-1362.

Adimalla, N. (2019). Groundwater quality for drinking and irrigation purposes and potential health risks assessment: a case study from semi-arid region of South India. *Exposure and health, 11(2*), 109-123.

Al-Karablieh, E. K., & Al-Momani, F. A. (2017). Water resources management for sustainable agriculture in Jordan. *Journal of soil and water conservation, 72(2)*, 115-121.

Amalraj, A., & Pius, A. (2018). Assessment of groundwater quality for drinking and agricultural purposes of a few selected areas in Tamil Nadu South India: a GIS-based study. *Sustainable Water Resources Management, 4*, 1-21.

Amiri, V., Rezaei, M., & Sohrabi, N. (2014). Groundwater quality assessment using entropy weighted water quality index (EWQI) in Lenjanat, Iran. *Environmental Earth Sciences, 72,* 3479-3490.

Asadi, E., Isazadeh, M., Samadianfard, S., Ramli, M. F., Mosavi, A., Nabipour, N., Shamshirband, S., Hajnal, E. & Chau, K. W. (2020). Groundwater quality assessment for sustainable drinking and irrigation. *Sustainability, 12(1),* 177.

Azhari, H. E., Cherif, E. K., Sarti, O., Azzirgue, E. M., Dakak, H., Yachou, H., Esteves da Silva, J.C. and Salmoun, F., & Salmoun, F. (2022). Assessment of Surface Water Quality Using the Water Quality Index (IWQ), Multivariate Statistical Analysis (MSA) and Geographic Information System (GIS) in Oued Laou Mediterranean Watershed, Morocco. *Water, 15(1),* 130.

Azimi, S., Azhdary Moghaddam, M., & Hashemi Monfared, S. A. (2018). Spatial assessment of the potential of groundwater quality using fuzzy AHP in GIS. *Arabian Journal of Geosciences, 11,* 1-22.

Banda, T. D., & Kumarasamy, M. (2020). Application of multivariate statistical analysis in the development of a surrogate water quality index (WQI) for South African watersheds. *Water, 12(6),* 1584.

Bui, D. T., Khosravi, K., Karimi, M., Busico, G., Khozani, Z. S., Nguyen, H., Mastrocicco, M., Tedesco, D., Cuoco, E. & Kazakis, N. (2020). Enhancing nitrate and strontium concentration prediction in groundwater by using new data mining algorithm. *Science of the Total Environment, 715,* 136836.

Dehghan Rahimabadi, P., Masoudi, R., Heydari Alamdarloo, E., Khosravi, H., & Azarnivand, H. (2023). Assessment of Groundwater Quality and its Suitability for Irrigation Purpose using Hydrogeochemical Properties. *Environmental Resources Research, 10(2),* 221-236.

Gaffoor, Z., Gritzman, A., Pietersen, K., Jovanovic, N., Bagula, A., & Kanyerere, T. (2022). An autoregressive machine learning approach to forecast high-resolution groundwater-level anomalies in the Ramotswa/North West/Gauteng dolomite aquifers of Southern Africa. *Hydrogeology Journal, 30(2),* 575-600.

Eslaminezhad, S. A., Eftekhari, M., Akbari, M., Bayat, H., & Barghi, W. (2022). Using Boosted Regression Tree, Logistic Model Tree, and Random Forest Algorithms to Evaluate the Groundwater Potential. *Watershed Management Research Journal, 35(3),* 44-59. (In Persian)

Fakhar, M. S., & Nazari, B. (2022). Evaluation and validation of salinity monitoring indices in the Qazvin plain. *Water and Soil Management and Modelling, 2(3),* 40-51. (In Persian)

He, C., Wang, T., Zhao, Z., Hao, Y., Yeh, T. C. J., & Zhan, H. (2017). One-dimensional analytical solution for hydraulic head and numerical solution for solute transport through a horizontal fracture for submarine groundwater discharge. *Journal of contaminant hydrology, 206,* 1-9.

Hussein, E. E., Derdour, A., Zerouali, B., Almaliki, A., Wong, Y. J., Ballesta-de los Santos, M., Minh Ngoc, P., Hashim, M.A., & Elbeltagi, A. (2024). Groundwater Quality Assessment and Irrigation Water Quality Index Prediction Using Machine Learning Algorithms. *Water, 16*(2), 264.

Ibrahim, H., Yaseen, Z. M., Scholz, M., Ali, M., Gad, M., Elsayed, S., Khadr, M., Hussein, H., Ibrahim, H.H., Eid, M.H., & Khalifa, M. M. (2023). Evaluation and prediction of groundwater quality for irrigation using an integrated water quality index, machine learning models and GIS approaches: A representative case study. *Water, 15*(4), 694.

Isazade, V., Qasimi, A. B., Toomanian, A., & Isazade, E. (2023). The Effect of Drought Phenomenon on the Surface of Groundwater Aquifer in Qazvin Plain in Iran. *Journal of Applied Science and Technology Trends, 4*(2), 80-85.

Jha, M. K., Shekhar, A., & Jenifer, M. A. (2020). Assessing groundwater quality for drinking water supply using hybrid fuzzy-GIS-based water quality index. *Water Research, 179,* 115867.

Keesari, T., Sinha, U. K., Kamaraj, P., & Sharma, D. A. (2019). Groundwater quality in a semi-arid region of India: Suitability for drinking, agriculture and fluoride exposure risk. *Journal of Earth System Science, 128,* 1-14.

Kenda, K., Peternelj, J., Mellios, N., Kofinas, D., Čerin, M., & Rožanec, J. (2020). Usage of statistical modeling techniques in surface and groundwater level prediction. Journal of Water Supply: *Research and Technology-AQUA, 69(3),* 248-265.

Lwimbo, Z. D., Komakech, H. C., & Muzuka, A. N. (2019). Impacts of emerging agricultural practices on groundwater quality in Kahe catchment, Tanzania. *Water, 11(11),* 2263.

Panahi fard, M., Mahvi, A. H., Asgari, A., Nazemi, S., & Moradnia, M. (2017). A Survey on drinking water quality in qazvin in 2015. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences, 16*(1), 3-16.

Masoudi, R., Mousavi, S. R., Dehghan Rahimabadi, P., Panahi, M., & Rahmani, A. (2023). Assessing data mining algorithms to predict the quality of groundwater resources for determining irrigation hazard. *Environmental Monitoring and Assessment, 195(2),* 319.

Meireles, A. C. M., Andrade, E. M. D., Chaves, L. C. G., Frischkorn, H., & Crisostomo, L. A. (2010). A new proposal of the classification of irrigation water. *Revista Ciência Agronômica, 41, 349*-357.

Mukate, S. V., Panaskar, D. B., Wagh, V. M., & Baker, S. J. (2020). Understanding the influence of industrial and agricultural land uses on groundwater quality in semiarid region of Solapur, India. *Environment, Development and Sustainability, 22,* 3207-3238.

Mukate, S., Wagh, V., Panaskar, D., Jacobs, J. A., & Sawant, A. (2019). Development of new integrated water quality index (IWQI) model to evaluate the drinking suitability of water. *Ecological indicators, 101,* 348-354.

Naderi, M. M., Mirchi, A., Bavani, A. R. M., Goharian, E., & Madani, K. (2021). System dynamics simulation of regional water supply and demand using a food-energy-water nexus approach: Application to Qazvin Plain, Iran. *Journal of Environmental Management, 280,* 111843.

Nawaz, R., Nasim, I., Irfan, A., Islam, A., Naeem, A., Ghani, N., Irshad, M.A., Latif, M., Nisa, B.U., & Ullah, R. (2023). Water quality index and human health risk assessment of drinking water in selected urban areas of a Mega City. *Toxics, 11*(7), 577.

Pan, F., Zhu, S., Shang, L., Wang, P., Liu, L., & Liu, J. (2024). Assessment of drinking water quality and health risk using water quality index and multiple computational models: a case study of Yangtze River in suburban areas of Wuhan, central China, from 2016 to 2021. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-23.

Parhizkari, A., Hoseyni, M. K., Ranjbari, H. T., & Mahmoodi, A. (2016). Determining the appropriate economic strategy to conserve groundwater resources in Qazvin plain. *Rural Development Strategies, 2(4)*, 477-498.

Sadat-Noori, S. M., Ebrahimi, K., & Liaghat, A. M. (2014). Groundwater quality assessment using the Water Quality Index and GIS in Saveh-Nobaran aquifer, Iran. *Environmental Earth Sciences, 71*, 3827-3843.

Selmane, T., Dougha, M., Djerbouai, S., Djemiat, D., & Lemouari, N. (2023). Groundwater quality evaluation based on water quality indices (WQI) using GIS: Maadher plain of Hodna, Northern Algeria. *Environmental Science and Pollution Research, 30(11)*, 30087-30106.

Shwetank, Suhas, and J.K. Chaudhary. 2020. A Comparative Study of Fuzzy Logic and WQI for Groundwater Quality Assessment. *Procedia Computer Science 171*, 1194-1203.

Supardi, I. H. K., Abdullah, N. M., Ismail, B. H., Tugi, A., & Opaluwa, Y. D. (2023). Generating Water Quality Maps of Klang River Based on Geographic Information System (GIS) and Water Quality Index (WQI). *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology, 14(3)*, 408-418.

Taheri, M., Gharaie, M. H. M., Mehrzad, J., Afshari, R., & Datta, S. (2017). Hydrogeochemical and isotopic evaluation of arsenic contaminated waters in an argillic alteration zone. *Journal of geochemical exploration, 175*, 1-10.

Talebi, B., Sajjadi, N., & Sharmad, T. (2016). Hydrogeochemical evaluation of groundwater in the north of Qazvin Plain. *Journal of Marine Science & Technology Research, 11(1)*, 66-76. (In Persian)

World Health Organization (W.H.O). (2011). Guidelines for drinking-water quality. 38(4): 104-108.

Zhao, X., Guo, H., Wang, Y., Wang, G., Wang, H., Zang, X., & Zhu, J. (2021). Groundwater hydrogeochemical characteristics and quality suitability assessment for irrigation and drinking purposes in an agricultural region of the North China plain. *Environmental Earth Sciences, 80*, 1-22.