

## Impact assessment of land-use changes on groundwater quality in Dahram watershed of Fars province

Reza Dehrami<sup>1</sup> , Fazel Amiri<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup> Graduated M.Sc. Student, Department of Environment, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Natural Resources and Environment, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

### Abstract

#### Introduction

Groundwater is the sole source of water for drinking, irrigation, and industrial uses in many arid and semi-arid regions of the world. Groundwater can be contaminated by natural as well as anthropogenic influences. Residential, municipal, commercial, industrial, and agricultural activities can all affect groundwater quality. Groundwater contamination results in poor drinking water quality, loss of water supply, high cleanup costs, high costs for alternative water supplies, and/or potential health problems. In Iran, dependence on groundwater has increased tremendously in recent years. Groundwaters can be contaminated by natural as well as human influences. Land use changes, residential and agricultural activities can affect the quality of groundwater. Groundwater contamination can lead to poor drinking water quality, loss of water resources, high cleanup costs, high costs for alternative water sources, and problems for watershed health. In Iran, dependence on underground water in most watersheds has increased greatly in recent years. Therefore, the evaluation, protection and proper management of underground water resources is very necessary for optimal and sustainable use of water resources. Water quality assessment includes the assessment of the physical, chemical and biological nature of water in relation to its natural quality, human effects and intended uses, especially uses that may affect human health and the health of the water system itself. The use of geographic information system technology has greatly simplified the assessment of natural resources and environmental concerns, including groundwater. In groundwater studies, GIS is commonly used to analyze site suitability, manage watershed assessment data, estimate groundwater vulnerability to contamination, model groundwater flow, model solute transport and leaching, and integrate groundwater quality assessment models with spatial data to create Spatial decision support systems are used. This study attempts to assess the influence of changing land-use patterns on the groundwater quality in the Dehram, Fars province. The study area is an agricultural developing region with land development progressing at a fast pace. The objective of this article is to demonstrate the influence of land-use transformations, land-use transition, on the quality of groundwater using geographical information systems. The study also aims at evaluating the significance and applicability of a groundwater quality index (GQI) generated using geographical information system (GIS) approach for the assessment of groundwater quality in a medium sized catchment. Moreover, a simple methodology for the preparation of a groundwater quality sustainability map, for use in planning and management decisions by local government authorities, is developed in this work.

#### Materials and Methods

The water samples were collected from 6 wells in the study area in 2021, which are added to the urban water system for drinking purposes. For 2014, the available data were used to observe the general changes in the quality of underground water during this period. Sampling in the summer season, due to the lack of water in this season, by taking water from wells in the area and injecting it into the drinking water system, in three repetitions for the year 1400 according to the standard method of the American Public Health Association (APHA) with field sampling and the available data of year 2013 were used to show seasonal changes in different water quality parameters during both years. Therefore, samples were taken from each well of the available data three times in 2013 and three times in summer (July to August) 1400. The geographic coordinates of the sampling wells were recorded manually using a Garmin e-Trex GPS receiver. The hydrochemical data obtained from the laboratory analysis of the water samples were linked to the spatial database of the sampling points. Spatial data shapefiles

were prepared in vector format showing the locations of sample wells along with associated hydrochemical data. To evaluate the location of the sampling wells according to the potential sources of groundwater pollution, these shapefiles were placed on the land use map. Then, point shape files were used to prepare variable concentration maps by applying Kriging interpolation method. The GQI proposed was used for quality assessment. To generate the index, seven parameters listed in World Health Organization guidelines for drinking water quality were selected from the main dataset. Six parameters ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ , and TDS) can be categorized as chemically derived contaminants that could alter the water taste, odor, or appearance and affect its “acceptability” by consumers.  $\text{NO}_3^-$  was categorized under chemicals that might inflict “potential health risk” and a guideline value of 50 mg/l was assigned. The GQI integrates the different water quality parameters to give a quantitative index value that can be used for spatio-temporal provides in groundwater quality. In the present study, the land use/cover map for two different periods (2013 and 2014) was prepared to evaluate land use and land cover transition patterns using Landsat satellite images from ETM<sup>+</sup> sensors (2013) and OLI (2014).

### Results and Discussion

The land-use pattern has changed drastically with the increased agricultural and built-up area at the expense of other land uses. The analysis reveals a rapid deterioration of groundwater quality related mainly to the increase in built-up land, drought and land-use change in agricultural lands and uncontrolled withdrawal of water by farmers from wells in the region. Mean GQI decreased from 86.42 to 57.36 over a period of 7 years from 2014 to 2021, which indicates a decrease in water quality. The quality of groundwater in the region in 2014 has a desirable quality and is in a very suitable range. But in 2021 the water quality changed from very good and good to poor and bad.

### Conclusion

GQI and land use were integrated into GIS to yield groundwater quality, in terms of water quality. Zones of sustainable and unsustainable groundwater use were demarcated for better decision making related to land use allotment in this rapidly changing region. The GQI index provides the possibility of mapping the spatial changes of groundwater quality in the study area, which shows that the water quality of the area is generally good, but the deterioration has started with the onset of urbanization. The main sources of pollution identified in this study are agricultural and residential activities. Although agricultural activities and the application of fertilizers related to it have been the main factor in reducing the quality of groundwater, in addition, this study showed that the increase in urbanization has a dominant contribution to pollution in the region. Agricultural activities must comply with methods that ensure minimal impact on groundwater. This study also shows the effectiveness of GIS in groundwater quality assessment. Similarly, GIS-based assessment techniques can be used to characterize groundwater contamination preferably in large watersheds. Of course, the selection of parameters and weights may be different in each location depending on the prevailing land use conditions.

**Keywords:** Change detection, Land use allocation, Groundwater quality index (GQI), Geographical information system (GIS)

### Article Type: Research Article

\*Corresponding Author, E-mail: Fazel.Amiri@iau.ac.ir.

**Citation:** Dehrami, R., & Amiri, F. (2023). Impact assessment of land-use changes on groundwater quality in Dahram watershed of Fars province. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(1), 165-180.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11367.1123

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.1.10.2

Received: 27 August 2022, Received in revised form: 06 September 2022, Accepted: 06 September 2022, Published Online: 06 September 2022

*Water and Soil Management and Modeling*, Year 2023, Vol. 3, No. 1, pp. 165-180

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





## ارزیابی تاثیر تغییرات کاربری زمین بر کیفیت آب‌های زیرزمینی حوضه آبخیز دهرم در استان فارس

رضا دهرمی<sup>۱</sup>، فاضل امیری<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه محیط زیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران  
<sup>۲</sup> دانشیار، گروه منابع طبیعی و محیط زیست، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

### چکیده

آب‌های زیرزمینی تنها منبع آب برای شرب، آبیاری و مصارف صنعتی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان است. آب‌های زیرزمینی می‌توانند توسط تأثیرات طبیعی و هم‌چنین انسانی آلوده شوند. فعالیت‌های مسکونی، شهری، تجاری، صنعتی و کشاورزی می‌توانند بر کیفیت آب‌های زیرزمینی تأثیر بگذارند. آلودگی آب‌های زیرزمینی منجر به کیفیت پایین آب آشامیدنی، از دست دادن منابع آب، هزینه‌های بالای پاک‌سازی، هزینه‌های بالا برای منابع آب جایگزین و/یا مشکلات بالقوه سلامتی می‌شود. در ایران، وابستگی به آب‌های زیرزمینی در سال‌های اخیر به شدت افزایش یافته است. در پژوهش حاضر تأثیر تغییر الگوهای کاربری زمین بر کیفیت آب زیرزمینی در حوضه آبخیز دهرم استان فارس بررسی شد. منطقه مورد مطالعه یک منطقه در حال توسعه کشاورزی است. برای مطالعه تأثیر این تغییر کاربری زمین بر کیفیت آب زیرزمینی، شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شد. در شاخص GQI پارامترهای مختلف کیفیت آب ترکیب شد تا یک شاخص کمی برای مقایسه تغییرات مکانی-زمانی کیفیت آب زیرزمینی ارائه شود. تغییرات کاربری زمین از سال ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰ با استفاده از تصاویر سری زمانی ماهواره لندست بررسی شد. GQI و کاربری زمین در GIS ادغام شدند تا کیفیت آب زیرزمینی تعیین شود. مناطق استفاده پایدار و ناپایدار از آب‌های زیرزمینی برای تصمیم‌گیری بهتر در رابطه با تخصیص کاربری زمین در این منطقه به سرعت در حال تغییر مشخص شدند. تغییرات کاربری زمین با افزایش مساحت سایر کاربری‌ها به اراضی کشاورزی و ساخته شده به شدت تغییر کرده است. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان‌دهنده بدتر شدن کیفیت آب‌های زیرزمینی در منطقه است که عمدتاً به افزایش مناطق ساخته شده، خشکسالی و تغییر کاربری اراضی به زمین‌های کشاورزی و برداشت بی‌رویه آب توسط کشاورزان از چاه‌های منطقه، مربوط می‌شود. میانگین شاخص GQI از ۸۶/۴۲ به ۵۷/۳۶ طی یک دوره ۷ ساله از سال ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰ کاهش یافت، که نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب است. کیفیت آب زیرزمینی منطقه در سال ۱۳۹۳ دارای کیفیتی مطلوب است و در محدوده خیلی مناسب قرار دارد. اما در سال ۱۴۰۰ کیفیت آب از خیلی مناسب و مناسب به ضعیف و حتی بد تغییر کرده است. نتایج نشان می‌دهد که این کیفیت نامناسب و ضعیف آب، بیش‌تر در محدوده مرکز حوزه که محل توسعه کشاورزی و مسکونی است که دشت‌ها و اراضی مرغوب قرار دارند، اتفاق افتاده است و نه در حاشیه حوضه که مناطق کوهستانی است. هم‌چنین، مناطق استفاده پایدار و ناپایدار از آب‌های زیرزمینی برای تصمیم‌گیری بهتر در رابطه با تخصیص کاربری اراضی در این حوضه آبخیز به سرعت در حال تغییر، مشخص شدند.

**واژه‌های کلیدی:** پایش تغییرات، تخصیص کاربری زمین، شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

نوع مقاله: پژوهشی

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Fazel.Amiri@iau.ac.ir

استاد: دهرمی، ر.، و امیری، ف. (۱۴۰۲). ارزیابی تاثیر تغییرات کاربری زمین بر کیفیت آب‌های زیرزمینی: مطالعه حوضه آبخیز دهرم در استان فارس.

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۱۳(۱)، ۱۶۵-۱۸۰.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11367.1123

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.1.10.2

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۱، صفحه ۱۶۵ تا ۱۸۰

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



## ۱- مقدمه

آب‌های زیرزمینی تنها منبع آب برای شرب، آبیاری و مصارف صنعتی در بسیاری از حوضه‌های آبخیز خشک و نیمه‌خشک جهان است. وجود سفره‌های سنگ سخت در چنین مناطقی می‌تواند مشکل ساز باشد زیرا این سیستم‌های آبخوان، ذخیره و بازده پایینی دارند و همچنین آسیب‌پذیری بیش‌تری در برابر آلاینده‌ها از طریق جریان‌های آب عبوری از شکاف و شکست سنگ‌ها دارند. آب‌های زیرزمینی این مناطق می‌توانند توسط تأثیرات طبیعی و همچنین انسانی آلوده شوند (Priyan, 2021). تغییرات کاربری اراضی فعالیت‌های مسکونی و کشاورزی همگی می‌توانند بر کیفیت آب‌های زیرزمینی تأثیر بگذارند. آلودگی آب‌های زیرزمینی منجر به کیفیت پایین آب آشامیدنی، از دست دادن منابع آب، هزینه‌های بالای پاک‌سازی، هزینه‌های بالا برای منابع آب جایگزین و یا مشکلات برای سلامتی حوضه آبخیز شوند (He et al., 2020). در ایران، وابستگی به آب‌های زیرزمینی در اکثر حوضه‌های آبخیز در سال‌های اخیر به شدت افزایش یافته است (Valizadeh Kamran et al., 2016). بنابراین، ارزیابی، حفاظت و مدیریت صحیح منابع آب زیرزمینی در این حوضه‌ها برای استفاده بهینه و پایدار از منابع آبی بسیار ضروری است.

ارزیابی کیفیت آب شامل ارزیابی ماهیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب در رابطه با کیفیت طبیعی، اثرات انسانی و مصارف مورد نظر است، به ویژه استفاده‌هایی که ممکن است بر سلامت انسان و سلامت خود سیستم آبی تأثیر بگذارد (Chapman, 1996). استفاده از فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی، ارزیابی منابع طبیعی و نگرانی‌های زیست محیطی از جمله آب‌های زیرزمینی را بسیار ساده کرده است. در مطالعات آب‌های زیرزمینی، GIS معمولاً برای تجزیه و تحلیل مناسب بودن سایت، مدیریت داده‌های ارزیابی حوضه‌ها، تخمین آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در برابر آلودگی، مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی، مدل‌سازی انتقال املاح و شستشو و ادغام مدل‌های ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی با داده‌های مکانی برای ایجاد سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری مکانی استفاده می‌شود (Engel et al., 2016). اثرات تغییر کاربری اراضی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی توسط بسیاری از پژوهش‌گران مورد مطالعه قرار گرفته است (مانند Sheikhy Narany et al., 2017; Jiang et al., 2008; Singh et al., 2011; Liu et al., 2021; Liaqat et al., 2021; Salhi et al., 2021).

(Badeenezhad et al., 2021) داده‌های موجود در مورد روند کیفیت آب زیرزمینی در رابطه با تغییرات کاربری زمین را به‌منظور تعیین اثرات بلندمدت این تغییرات جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل کرده‌اند. Wang et al. (2021) در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات کاربری زمین بر کیفیت آب‌های زیرزمینی پرداختند. نتیجه این

مطالعه نشان داد که ویژگی‌های توزیع فضایی کیفیت آب‌های زیرزمینی ارتباط نزدیکی با کاربری زمین دارد. از بین متغیرهای کیفی آب توزیع فضایی  $\text{NO}_3^-$  ارتباط نزدیکی با توزیع زمین کشاورزی و زمین مسکونی داشت. (Nas and Berkta, 2010) کیفیت آب زیرزمینی شهری در قونیه، ترکیه را با استفاده از GIS بررسی کردند. مقدار زیادی از آب مورد نیاز شهر قونیه از آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود. در این مطالعه کیفیت این آب زیرزمینی با نمونه‌برداری از ۱۷۷ حلقه چاه تعیین شد. اهداف این پژوهش (۱) ارائه یک نمای کلی از کیفیت آب زیرزمینی منطقه و (۲) تعیین توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی مانند pH، هدایت الکتریکی،  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$ ، سختی، و غلظت  $\text{NO}_3^-$ ، و (۳) تهیه نقشه کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از تکنیک‌های GIS و زمین‌آمار. نقشه‌نمایی کیفیت آب منطقه نشان داد که جنوب غربی شهر دارای کیفیت مطلوب آب زیرزمینی است و به‌طور کلی کیفیت آب زیرزمینی از جنوب به شمال شهر کاهش می‌یابد. ۵/۰۳ درصد از کل منطقه مورد مطالعه در سطح بهینه کیفیت آب زیرزمینی طبقه‌بندی شده است. Lawniczak et al. (2016) اثرات کاربری زمین را بر تغییرات زمانی در کیفیت آب چاه را مطالعه کردند. به‌منظور ارزیابی تأثیر کشاورزی بر کیفیت آب در منطقه حفاظت شده با نسبت بالای اراضی زراعی از نظر سطح و نوع کوددهی، پایش پیچیده‌ای اعمال شده است. هدف از این مطالعه (۱) ارزیابی تأثیر کشاورزی، با توجه ویژه بر کوددهی، آب‌های زیرزمینی و کیفیت آب جاری و (۲) تعیین مناطق اولویت‌دار برای اجرای اقدامات کاهش نیتروژن با توجه ویژه به مناطق حفاظت‌شده بود. در این مطالعه، غلظت بالای نیتروژن در آب‌های زیرزمینی و سطحی در حوضه‌های آبریز کشاورزی شناسایی شد. نتایج نشان داد که در حوضه‌های تحت سلطه اراضی کشاورزی، غلظت نیتروژن بالا در آب‌های زیرزمینی در مقایسه با حوضه‌های جنگلی که در آن غلظت‌های آمونیم بالایی مشاهده شد.

(Verma et al., 2019) آلودگی آب‌های زیرزمینی و تغییرات مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی، توپوگرافی، زمین‌شناسی، کاربری زمین و منابع آلودگی را با استفاده از GIS بررسی کردند. در این مطالعه، پارامترهای کیفی آب pH، TDS، TH،  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{K}^+$ ،  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{HCO}_3^-$  و  $\text{F}^-$  و  $\text{NO}_3^-$  برای ارزیابی مناسب بودن آب زیرزمینی برای شرب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مدل شاخص کیفیت آب بر اساس سیستم اطلاعات و شاخص WQI استفاده شد. برای ارزیابی کیفیت، مقادیر پارامترهای آنالیز شده نمونه‌های آب زیرزمینی با استانداردهای کیفیت آب اداره استانداردهای هند (BIS) و سازمان بهداشت جهانی (WHO) مقایسه شد. نتایج تحلیلی نشان‌دهنده ماهیت کمی اسیدی تا کمی قلیایی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

مصارف مختلف استفاده کردند، از جمله این مطالعات می‌توان به پژوهش‌های (Brown et al. (1970, Prati et al. (1971, Dinius (1972, 1987, Harkins et al. (1974 و Bhargava (1985 اشاره کرد.

چندین شاخص کیفیت آب برای ارزیابی آب‌های زیرزمینی حوضه‌های آبخیز استفاده شده است. (Backman et al. (1998 شاخصی را برای ارزیابی و تعیین شدت آلودگی آب‌های زیرزمینی در جنوب غربی فنلاند و مرکز اسلواکی ارائه کردند. Soltan (1999 شاخص GQI را برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی از ۱۰ چاه واقع در نزدیکی واحه Dakhla در غرب مصر به کار بردند. Sethy et al. (2017 شاخص GQI برای آب‌های سطحی و زیرزمینی استفاده و آن را برای ارزیابی کیفیت آب استفاده کردند. اخیراً، Najafzadeh et al. (2022 شاخص GQI را در حوضه ناسونو، استان توجیگی، ژاپن برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی استفاده شده است.

آب‌های زیرزمینی تأمین کننده بخشی از آب شرب و آب آبیاری و مصارف صنعتی در منطقه مورد مطالعه است. به علت کمبود منابع آب در سال‌های اخیر در منطقه مورد مطالعه و برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی منطقه، این منابع می‌توانند توسط تأثیرات طبیعی و همچنین انسانی آلوده شوند. توسعه فعالیت‌های انسانی مانند مسکونی، شهری، تجاری، صنعتی و کشاورزی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه تأثیر گذاشته و آلودگی آب‌های زیرزمینی منجر به کیفیت پایین آب آشامیدنی، از دست دادن منابع آب، هزینه‌های بالای پاک‌سازی، هزینه‌های بالا برای منابع آب جایگزین شده است. بنابراین هدف پژوهش حاضر نشان دادن تأثیر تغییر کاربری اراضی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی است. از دیگر اهداف این مطالعه ارزیابی اهمیت و کاربرد شاخص GQI در محیط GIS برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

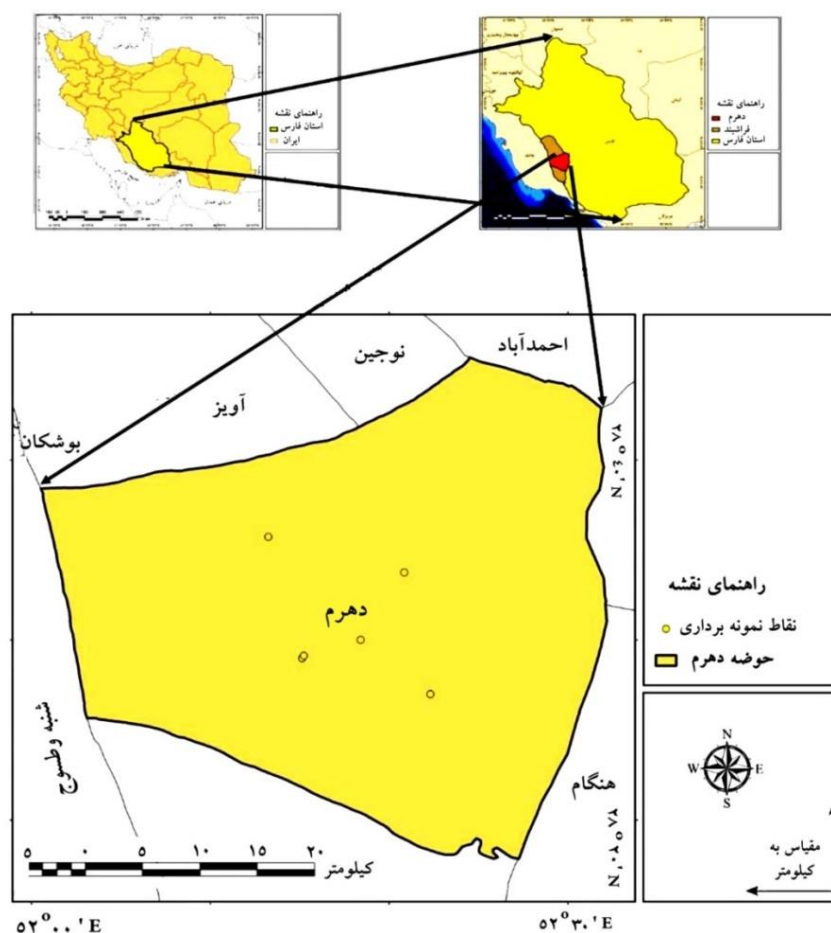
این پژوهش در حوضه دهرم در استان فارس در ۱۹۲ کیلومتری غرب شیراز انجام شد (شکل ۱). این منطقه در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۱۸ دقیقه قرار گرفته است. ارتفاع آن از سطح دریا ۴۰۰ متر است. آب و هوای حوضه دهرم نسبت به سایر نقاط جنوب غرب استان مقداری گرم‌تر است. میزان بارندگی در منطقه دهرم برابر آمار ۱۵ ساله سال‌نامه آماری هواشناسی (۱۳۸۵-۱۴۰۰) ۱۲۵ میلی‌متر است. تغییرات درجه حرارت طی این دوره ۱۵ ساله آماری، به ترتیب حداکثر و حداقل سالانه درجه حرارت ۲۷ و ۱۴

است. غلظت‌های  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{HCO}_3^-$ ،  $\text{F}^-$ ،  $\text{NO}_3^-$ ، TDS و TH از حد مطلوب و همچنین مجاز استانداردهای کیفیت آب آشامیدنی توصیه شده توسط WHO و BIS فراتر رفت. مقادیر بالای WQI در چندین نمونه آب زیرزمینی منطقه بوکارو نشان داد که آب برای مصرف مستقیم مناسب نیست و قبل از استفاده برای مصارف شرب نیاز به تصفیه پایدار دارد.

(Khalili et al. (2021 از شاخص کیفیت آب (WQI) برای تعیین کیفیت آب برای شرب استفاده کرد. نتایج این مطالعه نشان داد که کیفیت آب رودخانه چالوس از بالادست به سمت پایین دست به دلیل افزایش فعالیت‌های انسانی، جاده‌سازی در حاشیه بستر رودخانه، ورود پساب از زمین‌های کشاورزی و فاضلاب خانگی و تخلیه فاضلاب مزارع پرورش دام در رودخانه کاهش یافته است. (Khalili et al. (2021 کیفیت آب را با استفاده از شاخص کیفیت آب آشامیدنی، ارزیابی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که ۱۹٪ نمونه‌های تست شده آب خوب، ۵۶٪ ضعیف و خیلی ضعیف و ۲۵٪ از نمونه‌ها آب نامناسب برای آشامیدن هستند. (Amiri et al. (2020 نقشه خطر آلودگی و کیفیت آب‌های زیرزمینی را با استفاده از GIS در حوضه آبخیز طرجه-شاندیز استان خراسان تهیه کردند. نتایج ایشان مطالعه نشان داد که جریان رودخانه از ناحیه شمال شرقی حوضه امکان تغذیه بیش‌تر آب را فراهم می‌کند که ممکن است کودهای حاصل از زمین‌های کشاورزی اطراف را به همراه آن به آب‌های زیرزمینی تخلیه کند و در نتیجه منجر به آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی این منطقه شد. پهنه‌های آسیب‌پذیری بسیار کم و کم آسیب‌پذیری در بخش‌های غربی و مرکزی حوضه وجود داشت. (Gnanachandrasamy et al. (2015 ژئوشیمی و کارتوگرافی آب‌های زیرزمینی را با استفاده از تکنیک‌های GIS بررسی کرد. نتایج نشان داد که وضعیت نمونه‌های آب زیرزمینی نشان‌دهنده مناسب بودن آن برای مصارف کشاورزی است. برای تهیه نقشه‌های موضوعی مختلف و نقشه نهایی کیفیت آب زیرزمینی از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. برای به‌دست آوردن توزیع مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی، از روش وزن‌دهی معکوس فاصله استفاده شد. نقشه نهایی کیفیت اراضی را طبقه‌بندی کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که تدوین استراتژی‌های مدیریتی برای سیستم آبخوان ضروری است.

روش‌های سنتی ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی محدودیت‌های متعددی در تحلیل و ترسیم روندهای مکانی-زمانی کیفیت آب زیرزمینی دارند. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، شاخص کیفیت آب زیرزمینی (Ground Quality Index, GQI) یک ابزار مؤثر است. (Horton (1965 اولین بار شاخص کیفیت آب را برای ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی ارائه کرد. به دنبال مطالعه هورتون، چندین پژوهش‌گر شاخص‌های کیفیت آب را برای

درجه سانتی‌گراد و متوسط سالانه درجه حرارت ۲۳ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز و نقاط نمونه‌برداری

Figure 1- The watershed location and sampling points

نمونه‌برداری شد. مختصات جغرافیایی چاه‌های نمونه‌برداری با استفاده از گیرنده GPS مدل Garmin e-Trex به صورت دستی ثبت شد. داده‌های هیدروشیمیایی به دست آمده از آنالیز آزمایشگاهی نمونه‌های آب به پایگاه داده مکانی نقاط نمونه‌برداری مرتبط شد. شیب فایل‌های داده‌های مکانی در فرمت برداری که مکان‌های چاه‌های نمونه همراه با داده‌های هیدروشیمیایی مرتبط را نشان می‌دهند، تهیه شدند. برای ارزیابی موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری با توجه به منابع بالقوه آلودگی آب‌های زیرزمینی، این شیب فایل‌ها روی نقشه کاربری زمین قرار گرفتند. سپس از شیب فایل‌های نقطه‌ای برای تهیه نقشه‌های غلظت متغیرها با اعمال روش درون‌یابی کریجینگ استفاده شد (Khan et al., 2011). نقشه‌های غلظت، برای نشان دادن تغییرپذیری مکانی پارامتر کیفیت آب با

## ۲-۲- روش پژوهش

### ۲-۲-۱- نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی و پایگاه داده GIS

در سال ۱۴۰۰ نمونه‌های آب از ۶ چاه در حوضه مورد مطالعه که جهت شرب به سیستم آب شهری اضافه می‌شود، جمع‌آوری شد (شکل ۱). برای سال ۱۳۹۳ از داده‌های موجود برای مشاهده تغییرات کلی در کیفیت آب‌های زیرزمینی در این دوره استفاده شد. نمونه‌برداری در فصل تابستان، به دلیل کمبود آب در این فصل با برداشت آب از چاه‌های موجود در منطقه و تزریق آن به سیستم آب شرب، در سه تکرار برای سال ۱۴۰۰ به روش استاندارد (APHA (2005) با برداشت میدانی و برای سال ۱۳۹۳ از داده‌های موجود استفاده شد تا تغییرات فصلی در پارامترهای مختلف کیفیت آب در طول هر دو سال ضمن تجزیه و تحلیل، به تصویر کشیده شود. بنابراین، از هر چاه از داده‌های موجود با سه بار تکرار در سال ۱۳۹۳ و سه بار در تابستان (تیر و مرداد) ۱۴۰۰

<sup>1</sup> American Public Health Association (APHA)

کاربری/پوشش زمین ضروری است (Syariz et al., 2019). تصحیح هندسی تصویر ۱۳۹۳ به تصویر ۱۴۰۰ با استفاده از خطای جذر میانگین مربعات  $RMSE < 0.5$  تصحیح شد. تصویر ۱۴۰۰ با استفاده از ۲۰ نقطه کنترل زمینی با گیرنده GPS مدل Garmin e-Trex با دقت مکانی یک متر و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ با خطای جذر میانگین مربعات  $RMSE < 0.3$  زمین مرجع زمین شد. بعد از تصحیح رادیومتری و تصحیح اتمسفری، مقدار رقومی هر پیکسل به مقدار تابش و بازتاب سطح تبدیل شد. این عملیات در ENVI انجام شد (Syariz et al., 2019). پردازش تصاویر در ابزار تحلیل تصویر (Image Analysis) در نرم‌افزار ArcGIS® 10.3 (Rwanga and Ndambuki, 2017) انجام شد. مناطق دارای پوشش سبز با استفاده از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی استخراج شد (Huete et al., 2002).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

در این رابطه؛ NIR باند مادون قرمز نزدیک و RED باند مادون قرمز است. آستانه (۰/۲۵۵) پس از تفسیر بصری از منطقه مطالعه تعیین شد. با پردازش تصویر و اعمال طبقه‌بندی نظارت نشده طبقات دیگر کاربری‌ها تعیین و با در نظر گرفتن ۲۰ نقطه کنترل زمینی در هر کلاس کاربری انتخاب شد. خروجی طبقه‌بندی نظارت شده لایه‌های موضوعی در فرمت رستر (تصویر طبقه‌بندی شده) است. نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه در ۵ طبقه مسکونی، کشاورزی، بدون پوشش، مسیل و مرتع در دو دوره ۱۳۹۳ و ۱۴۰۰ تهیه شد.

#### ۲-۲-۴- شاخص کیفیت آب زیرزمینی

تولید شاخص کیفیت آب زیرزمینی در سه مرحله انجام می‌شود: (۱) انتخاب، (۲) استانداردسازی و (۳) تجمیع پارامترهایی که باید در شاخص در نظر گرفته شوند. انتخاب پارامترهایی که شاخص را تشکیل می‌دهند به عوامل مختلفی مانند هدف شاخص، اهمیت پارامتر و در دسترس بودن داده‌ها بستگی دارد. در این پژوهش، شاخص GQI پیشنهاد شده توسط Babiker et al. (2007) برای ارزیابی کیفیت آب استفاده شد. برای تولید این شاخص، هفت پارامتر پیشنهاد شده در دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2004) برای کیفیت آب آشامیدنی از مجموعه داده اصلی انتخاب شدند. شش پارامتر ( $Ca^{+2}$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $SO_4^{-2}$  و  $Cl^-$ ) را می‌توان به‌عنوان ترکیبات شیمیایی طبقه‌بندی کرد، که می‌تواند طعم، بو یا ظاهر آب را تغییر دهد و بر مقبولیت آب توسط مصرف کنندگان تأثیر بگذارد (WHO, 2004). آستانه برای حداکثر غلظت مورد نظر برای این مواد شیمیایی پیشنهاد شده است، اما

درون یابی مکانی اندازه‌گیری‌های غلظت اولیه متغیرها (داده‌های نقطه‌ای) تهیه شدند (Ziaye et al., 2021). برای تجزیه و تحلیل مکانی داده‌های کیفیت آب و طبقه‌بندی کیفیت آب با شاخص GQI، از فرمت رستری در ArcGIS استفاده شد (به دلیل ساختار ساده داده‌های رستری، تحلیل همپوشانی آنها آسان، و نمایش آنها در سلول‌های شبکه به صورت یکپارچه انجام می‌شود).

#### ۲-۲-۲- تجزیه و تحلیل کیفیت آب زیرزمینی

پارامترهای کیفیت آب مورد تجزیه و تحلیل شامل کل جامدات محلول (TDS)، کلسیم ( $Ca^{+2}$ )، سدیم ( $Na^+$ )، منیزیم ( $Mg^{+2}$ )، سولفات ( $SO_4^{-2}$ )، کلرید ( $Cl^-$ )، و نیترات ( $NO_3^-$ ) است. نمونه‌های آب زیرزمینی طبق قوانین APHA (۲۰۰۵) تجزیه و تحلیل شدند. برای آنالیز کاتیون، نمونه‌ها فیلتر شده و با اسید نیتریک خالص ( $HNO_3$ ) اسیدی شدند. برای تجزیه و تحلیل آنیون، نمونه‌ها فیلتر و غیر اسیدی شدند. تیتراسیون و کروماتوگرافی یونی برای ساده کردن کار تجزیه و تحلیل استفاده شد. کروماتوگرافی یونی شکلی از کروماتوگرافی مایع است که از رزین‌های تبادل یونی برای جداسازی یون‌های اتمی یا مولکولی بر اساس برهمکنش آنها با رزین استفاده می‌کند. بزرگترین کاربرد آن برای آنالیز آنیون‌هایی است که هیچ روش تجزیه و تحلیل سریع دیگری برای آنها وجود ندارد و معمولاً برای گونه‌های کاتیونی استفاده می‌شود. سیستم ICS-90, Dionex برای تجزیه و تحلیل آنیون‌ها و سیستم ICS-2500 برای تجزیه و تحلیل کاتیون استفاده شد، زیرا زمان راه اندازی سریع، عملکرد آسان و عملکرد پایدار را فراهم می‌کند. سه نمونه آب استاندارد با غلظت‌های آنیونی و کاتیونی شناخته شده به سیستم تزریق شد و تجزیه و تحلیل یونی حاصل برای محاسبات دقیق و کالیبراسیون دستگاه مورد استفاده قرار گرفت (Khan et al., 2011).

#### ۲-۲-۳- نقشه کاربری/پوشش زمین

تغییرات کاربری/پوشش زمین در یک حوضه تأثیر مهمی بر کیفیت آب سطحی و همچنین آب‌های زیرزمینی دارد. تغییر در مکان و میزان منابع آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر سناریوی کیفیت آب زیرزمینی در یک حوضه تأثیر بگذارد (Ziaye et al., 2021). در مطالعه حاضر، نقشه کاربری/پوشش زمین برای دو دوره مختلف (۱۳۹۳ و ۱۴۰۰) برای ارزیابی تغییرات در الگوهای کاربری و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست از سنجنده‌های  $ETM^+$  (سال ۱۳۹۳) و OLI (سال ۱۴۰۰) تهیه شد. انجام تصحیح هندسی و اتمسفری جهت تهیه نقشه

<sup>1</sup> Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

شیمیایی برای نشان دادن تاثیر فعالیتهای کشاورزی بر آب زیرزمینی هستند (Eiswirth et al., 1995). غلظت منیزیم در آب‌های زیرزمینی توسط فاضلاب و فعالیتهای انسانی افزایش می‌یابد (Schot and van der Wal, 1992). مطالعه Appleyard (1995) نشان داد که غلظت سولفات با توسعه شهری افزایش می‌یابد. جدول ۱ حد آستانه هفت پارامتر کیفیت آب اندازه‌گیری شده در این پژوهش را به همراه حداکثر غلظت مطلوب WHO را نشان می‌دهد.

جدول ۱- آمار پارامترهای کیفی آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده با حداکثر حدود مطلوب استاندارد WHO

Table 1- Statistics of the selected groundwater quality parameters with the respective WHO maximum desirable limits

1400		1393			مقدار آستانه WHO (mg/l)		پارامتر کیفیت آب	
انحراف معیار	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	میانگین	حداقل	حداکثر	
1803.5	2183.5	884	4536	951.2	1283.6	512	2985	TDS
94.8	195.5	106.7	368	73.2	141	81.6	269.4	Ca <sup>2+</sup>
68.6	100.6	44.7	219.4	65.3	82.6	32.7	205.1	Mg <sup>2+</sup>
308.2	298.4	30	800	143.2	151.6	35	380	Na <sup>+</sup>
481.7	396.5	27	1254.4	236.3	226.1	29.4	586.2	Cl <sup>-</sup>
575.3	675	182	1664	456.7	502.6	158	1300	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
10.8	19.3	5.8	35.5	7.8	22	11	28	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>

آستانه WHO، مقادیر حداکثر و حداقل بر حسب میلی‌گرم در لیتر (mg/l) است.

حالی که رتبه ۱۰ نشان‌دهنده حداکثر تأثیر است. تخصیص وزن‌ها به نقشه‌های رتبه هر پارامتر با میانگین ارزش رتبه‌بندی نقشه رتبه هر پارامتر به دست آمد. وزن‌های اختصاص داده شده به هر پارامتر نشان‌دهنده اهمیت نسبی آن برای کیفیت آب زیرزمینی است. پارامترهای با میانگین نرخ بالا تأثیر بیشتری بر کیفیت آب زیرزمینی دارند و فرض می‌شود که در ارزیابی کیفیت کلی آب زیرزمینی مهم‌تر هستند (Babiker et al., 2007). برای شش پارامتر طبقه‌بندی شده به‌عنوان آلاینده‌های شیمیایی (TDS، Ca<sup>2+</sup>، Na<sup>+</sup>، Mg<sup>2+</sup>، SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> و Cl<sup>-</sup>)، مقدار میانگین رتبه به‌عنوان وزن استفاده شد، در حالی که برای NO<sub>3</sub><sup>-</sup> مقدار متوسط رتبه این پارامتر در عدد "۲" به دلیل خطر بالقوه سلامت ناشی از NO<sub>3</sub><sup>-</sup> اضافه شد.

$$w = (r \text{ میانگین}), \quad (4)$$

$$\times (\text{for } Cl^-, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, \text{ و TDS})$$

$$w = (r \text{ میانگین}) + 2 (\text{برای } NO_3^-)$$

در این رابطه؛ w وزن، r ارزش رتبه است. در نهایت، هفت زیرشاخص (نقشه‌های رتبه‌بندی) برای به دست آوردن یک نقشه شاخص در ArcGIS تجمیع شدند. در اینجا از شاخص جمع وزنی استفاده شد. این شاخص GQI یک ترکیب خطی میانگین وزنی از عوامل را نشان می‌دهد (رابطه ۵).

دستورالعمل‌های ثابتی ارائه نشده است. نیترات (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) به‌عنوان پارامتر شیمیایی که ممکن است "خطر بالقوه برای سلامت" را ایجاد کند، طبقه‌بندی شد و مقدار آن طبق دستورالعمل کیفیت آب آشامیدنی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تعیین شد (WHO, 2004). پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی ذکر شده در بالا، شاخص‌های خوبی برای تغییر شرایط کاربری زمین هستند. TDS به‌عنوان یک شاخص کلی برای کیفیت پایین آب استفاده می‌شود. غلظت سدیم، کلرید و نیترات در آب‌های زیرزمینی به‌طور مستقیم با وجود فعالیتهای انسانی و توسعه شهری مرتبط است. در واقع یون‌های اصلی مانند کلرید، سولفات و نیترژن به‌عنوان نشانگرهای

پس از انتخاب پارامترها، غلظت هر پارامتر در تمام چاه‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از ماژول کریجینگ معمولی در ArcGIS درون‌یابی شد. این هفت نقشه غلظت، برای هر یک از پارامتر به دست آمد. از آنجایی که پارامترهای کیفیت آب دارای واحدهای مختلف و محدوده‌های ارزش متفاوتی هستند، استانداردسازی برای تبدیل پارامترها به مقیاسی مشترک برای ادغام آسان در GIS مورد نیاز است. سپس غلظت‌های مشاهده‌شده هر پیکسل در نقشه غلظت اولیه با حداکثر غلظت مطلوب WHO (X) با استفاده از یک شاخص تفاوت نرمال شده تعیین شد (رابطه ۲).

$$C = (X' + X) / (X' + X) \quad (2)$$

در نقشه تفاوت نرمال شده حاصل، مقادیر شاخص آلودگی بین ۱- و ۱ متغیر است. به‌منظور حذف مقادیر منفی، نقشه تفاوت نرمال شده با استفاده از تابع چند جمله‌ای زیر به نقشه رتبه‌ای (زیر شاخص) تبدیل شد (Babiker et al., 2007):

$$r = (0.5 \times C^2) + (4.5 \times C) + 5 \quad (3)$$

در این رابطه؛ C مقدار شاخص آلودگی برای هر پیکسل در نقشه تفاوت نرمال شده و r مخفف مقدار رتبه مربوطه است. نقشه رتبه‌بندی مقادیر شاخص آلودگی را از ۱ تا ۱۰ درجه بندی می‌کند. رتبه ۱ نشان‌دهنده حداقل تأثیر بر کیفیت آب زیرزمینی است، در



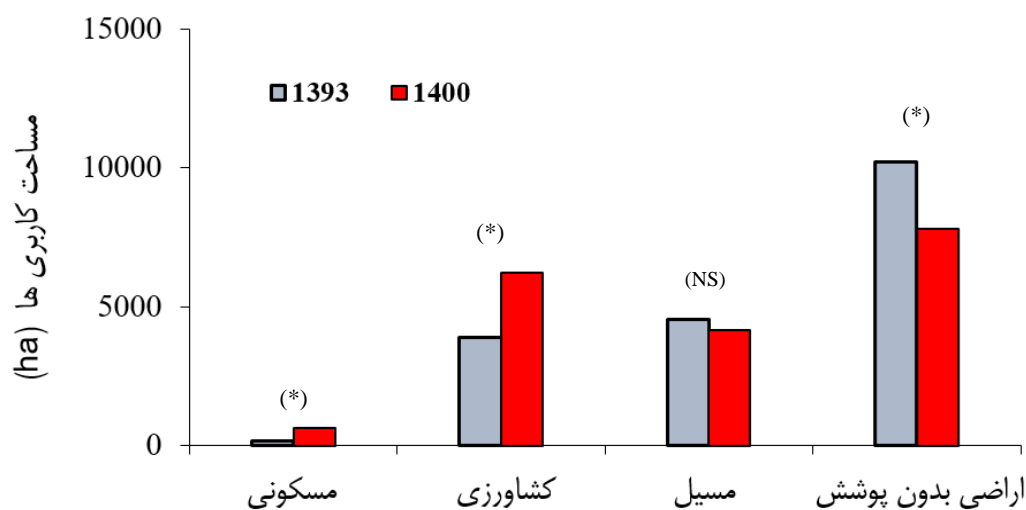
سطح ۵ درصد است. به دلیل عدم معنی دار بودن تغییرات اراضی مرتعی و جنگلی برای تفکیک بهتر کاربری‌ها این کاربری در نمودار در نظر گرفته نشد. بنابراین، تبدیل مسیل به کاربری زمین‌های زراعی، باغ‌ها، و زمین‌های با پوشش مرتعی و جنگلی به اراضی کشاورزی و مسکونی در شکل ۳ نشان داده شده است. زمین‌های ساخته شده در منطقه دهرم شامل سکونتگاه‌های انسانی، و زمین‌های تازه تبدیل کاربری شده به مناطق مسکونی است. توسعه روستاها که اخیراً سکونتگاه‌های کوچک، اکنون به دلیل تغییر اجتماعی-اقتصادی به سرعت در حال گسترش هستند. شغل اصلی مردم منطقه دهرم کشاورزی است. توسعه کشاورزی در سراسر منطقه دیده می‌شود. به طور کلی، مساحت اراضی کشاورزی در منطقه از ۱۵۲ هکتار در سال ۱۳۹۳ به ۶۱۰ هکتار در سال ۱۴۰۰ افزایش یافته است (شکل ۴). میزان تغییرات به وضوح در نقشه‌های کاربری اراضی دو دوره مشخص است (شکل ۲). اراضی کشاورزی با استفاده از کودهای ازته با رهاسازی نیترات در آب‌های زیرزمینی سهم قابل توجهی دارند. انتقال این آلاینده‌های نیتروژنی به آب‌های زیرزمینی عمدتاً در طول فصل کشاورزی و قبل از شروع بارندگی‌های پاییزه و زمستانه، اتفاق می‌افتد. مجموعه فعالیت‌های کشاورزی موجب انتقال نیترات به آب‌های زیرزمینی می‌شوند.

$$GQI = 100 - ((r_1w_1 + r_2w_2 + \dots + r_nw_n)/N) \quad (5)$$

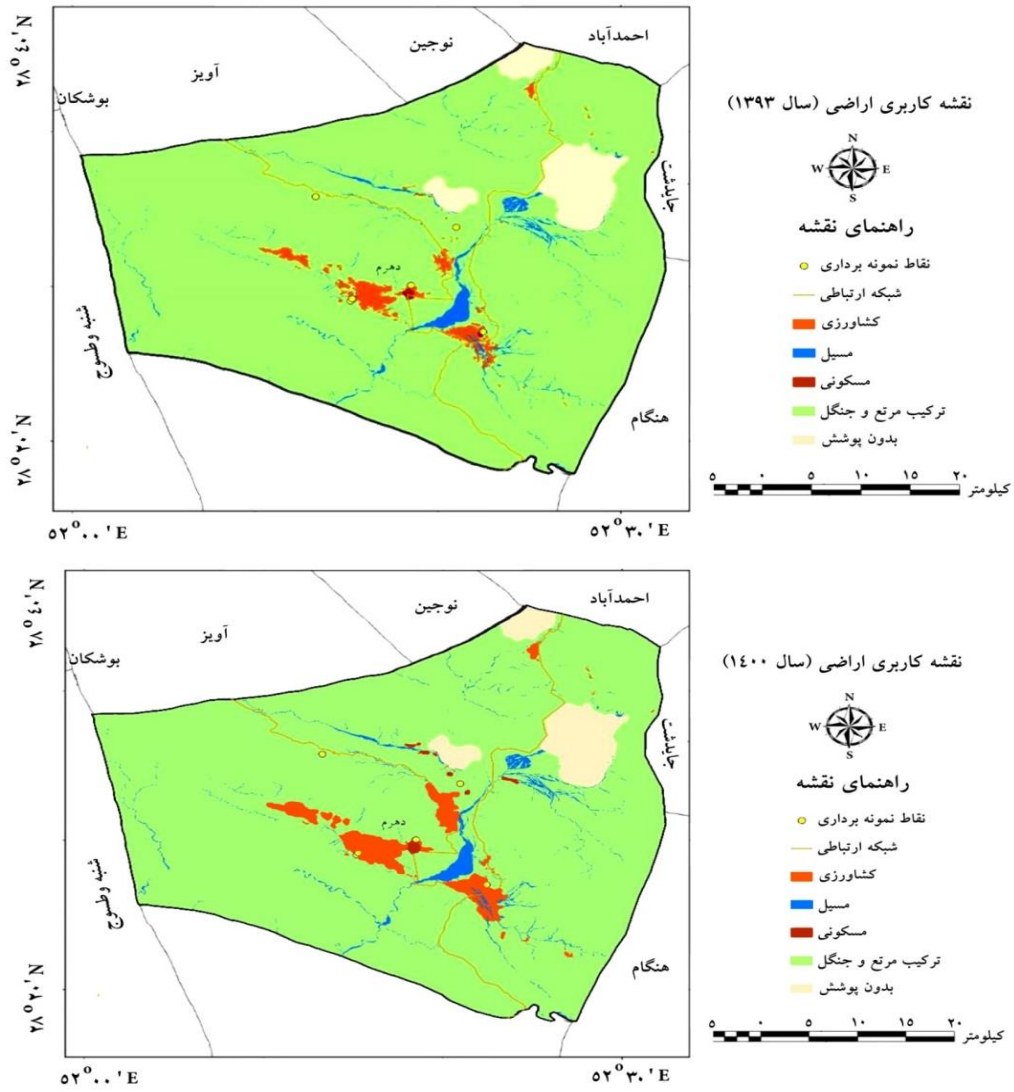
در این رابطه؛  $r$  نشان‌دهنده مقدار نقشه رتبه‌بندی شده  $(1-10)$ ،  $w$  نشان‌دهنده وزن نسبی پارامتر،  $N$  تعداد کل پارامترهای مورد استفاده در تجزیه و تحلیل است. تقسیم بر تعداد کل پارامترهای موثر در محاسبه  $GQI$ ، داده‌ها را میانگین می‌کند و مقادیر شاخص را بین ۱ تا ۱۰۰ محدود می‌کند. به این ترتیب تأثیر هر پارامتر تا حد زیادی کاهش می‌یابد و محاسبه شاخص هرگز به تعداد معینی از پارامترهای شیمیایی محدود نمی‌شود. مقادیر بالای شاخص  $GQI$  نزدیک به ۱۰۰ منعکس کننده کیفیت بالای آب و مقادیر شاخص بسیار کمتر از ۱۰۰ (نزدیک به ۱) کیفیت پایین آب را نشان می‌دهد.

### ۳- نتایج و بحث

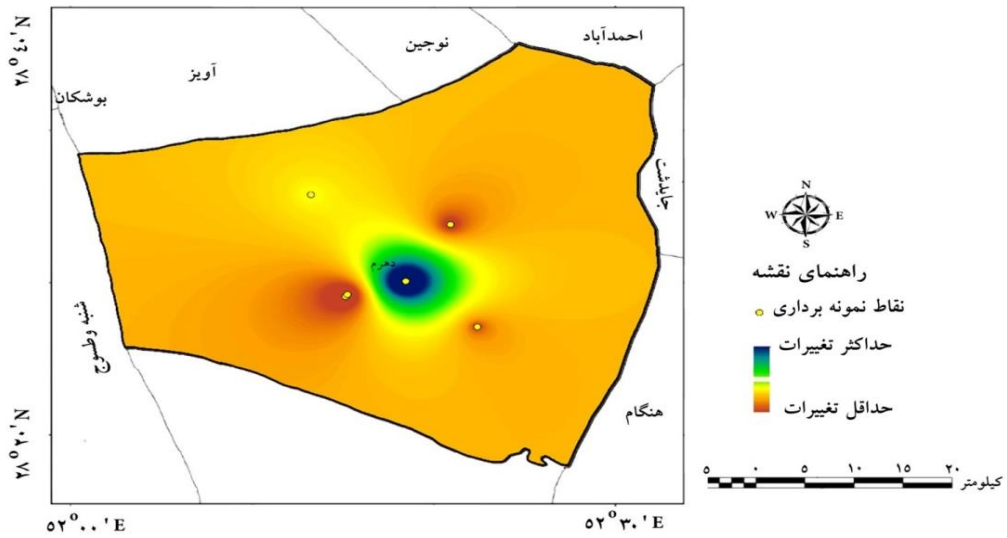
یک تحلیل آماری ساده از تغییرات پوشش اراضی نشان‌دهنده افزایش اراضی کشاورزی و اراضی مسکونی است. تغییرات مثبت (افزایش مساحت) در زمین‌های ساخته شده ثبت شده است. در حالی که تغییرات منفی (کاهش سطح) در مسیل‌ها و زمین‌های بایر مشاهده می‌شود (شکل ۲). در این شکل، علامت‌های \* و NS به ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار و عدم تفاوت معنی‌دار در



شکل ۲- تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبریز دهرم  
Figure 2 - Land-use changes in the Dehram watershed



شکل ۳- نقشه‌های کاربری زمین حوضه آبخیز دهرم برای سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۴۰۰  
Figure 3- Land-use maps of Dehram watershed for 2014 and 2021



شکل ۴- نقشه تفاوت نرمال شده نشان‌دهنده مناطق با حداکثر و حداقل تغییرات کیفیت آب (طی دوره ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰)  
Figure 4- Normalized difference map showing the regions of maximum water quality changes (during 2014 to 2021 period)

حالی که برای سال ۱۴۰۰ مقادیر شاخص از ۱۹ تا ۷۸ متغیر است. همان‌طور که از جدول مشاهده می‌شود، انحراف معیار آب زیرزمینی مقادیر شاخص کیفیت برای سال ۱۴۰۰ (۳/۱۲) بیش‌تر است، در حالی که میانگین (۸۶/۴۲) برای سال ۱۳۹۳ بیش‌تر است.

داده‌های جدول ۲ از هفت نقشه (پارامتر) رتبه‌ای مورد استفاده برای محاسبه GQI نشان می‌دهد که پارامترهایی مانند  $\text{NO}_3^-$ ، TDS،  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$  به دلیل ارزش متوسط رتبه بالایی که دارند، الگوی مکانی کیفیت آب زیرزمینی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. مقادیر شاخص GQI در منطقه عموماً بالا است (جدول ۳)، از ۸۴ تا ۹۳ برای سال ۱۳۹۳ متغیر است در

جدول ۲- خلاصه آماری هفت نقشه رتبه‌ای مورد استفاده برای تولید شاخص کیفیت آب زیرزمینی

Table 2- Statistical summary of the seven rank maps used to generate the groundwater quality index

پارامتر	حداقل رتبه	حداکثر رتبه	میانگین رتبه	انحراف معیار
TDS	3.2	7.6	4.6	1.02
$\text{Ca}^{+2}$	1.38	3.5	2.2	0.45
$\text{Mg}^{+2}$	1.28	3.93	1.82	0.51
$\text{Na}^+$	1.47	7.24	3.7	1.33
$\text{Cl}^-$	0.95	8.1	3.5	1.7
$\text{SO}_4^{-2}$	1.25	6.2	2.85	1.2
$\text{NO}_3^-$	1.65	3.7	4.8	0.60

جدول ۳- آمار نقشه‌های شاخص کیفیت آب زیرزمینی سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۴۰۰

Table 3- Statistics for the groundwater quality index maps of 2014 and 2021

پارامتر	حداقل شاخص	حداکثر شاخص	میانگین شاخص	انحراف معیار
2014	84.01	93.1	86.42	2.05
2021	19.45	78.44	57.36	3.12

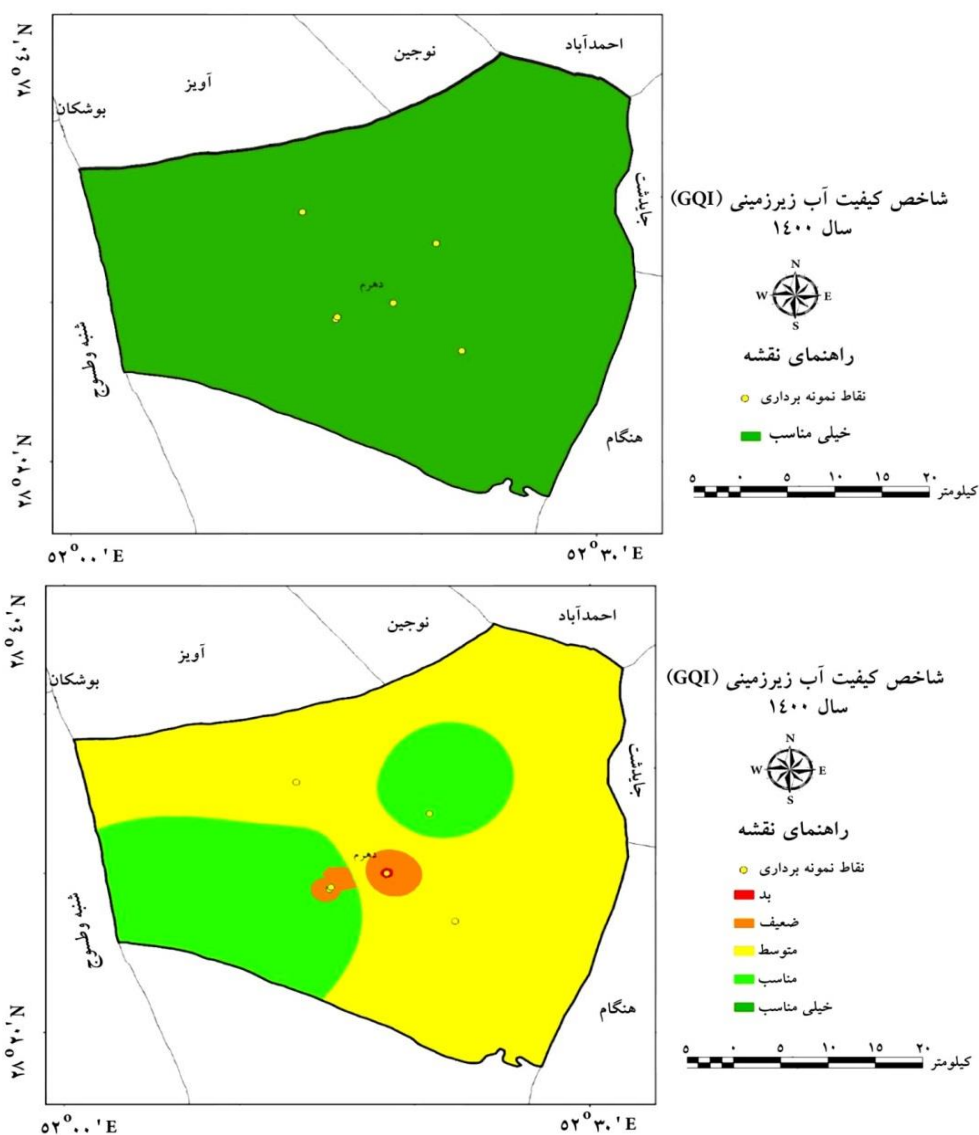
ساخت و ساز است. این بیش‌تر در بخش مرکزی متمرکز است. شاخص تفاوت نرمال شده دو لکه بزرگ را نشان می‌دهد که در آن تغییرات عمده در کیفیت آب زیرزمینی متمرکز شده است. این لکه‌ها تقریباً زیربنای منطقه احیای اخیر زمین برای مناطق مسکونی و تحت فعالیت انسانی در بخش مرکزی است. این اصلاحات در حال حاضر در مراحل مختلف توسعه هستند. اثرات تغییر کاربری اراضی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته توسط بسیاری از پژوهش‌گران مورد مطالعه قرار گرفته است (مانند Sheikhy Narany et al. 2017; Jiang et al. 2008; Singh et al. 2011; Liu et al. 2021; Liaqat et al. 2021; Salhi et al. 2021).

جهت ارزیابی صحت نقشه‌های شاخص کیفیت آب زیرزمینی از مقایسه غلظت‌های اندازه‌گیری شده برای سال ۱۴۰۰ و غلظت‌های مشاهده شده از داده‌های جمع‌آوری شده از اداره آب در شش چاه نمونه‌برداری شده (شکل ۱)، با نقشه تغییرات کاربری زمین در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۴۰۰، برای تفسیر بهتر ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی بر اساس روش پیشنهادی GQI انجام شد. شش چاه نمونه‌برداری شده، نشان‌دهنده دو تغییر کاربری زمین متمایز است. چاه‌های شماره ۱ تا ۴ مناطقی را نشان می‌دهد که از سایر کاربری‌ها به کشاورزی و مسکونی تبدیل شده‌اند. افزایش کلی در غلظت پارامترهای انتخاب شده در این چهار چاه‌ها معرف مشاهده می‌شود (شکل ۶) که نشان‌دهنده افزایش کلی آلاینده‌ها در منطقه مورد مطالعه است. با این حال، تجزیه و تحلیل الگوهای آلودگی در هر چاه‌ها تابع تغییرات کاربری زمین است. چاه‌های ۱ تا ۴ در نزدیکی دهستان دهرم و مناطق مسکونی و اراضی اطراف

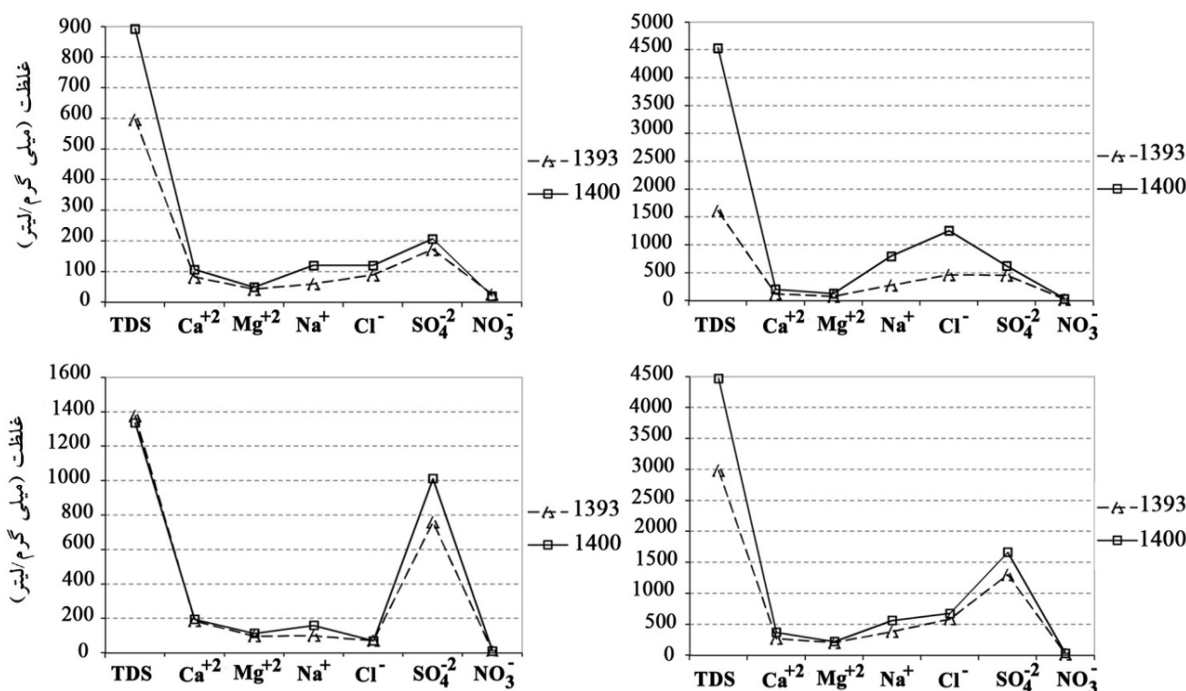
کاهش میانگین مقدار شاخص حاکی از افزایش کلی آلودگی آب‌های زیرزمینی حوضه آبخیز دهرم در این دوره ۷ ساله است. با این حال، به نظر می‌رسد که این بدتر شدن کیفیت آب زیرزمینی در مکان‌های خاص متمرکز شده است، هم‌چنین از الگوی روی نقشه‌های شاخص کیفیت آب زیرزمینی در شکل ۵ به دلیل تفاوت زیاد در مقادیر حداقل شاخص مشهود است. افزایش انحراف معیار مقادیر شاخص از سال ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰ حاکی از تاثیر فزاینده منابع نقطه‌ای در حوضه است زیرا تغییرات مکانی زیاد در کیفیت آب زیرزمینی عمدتاً ناشی از منابع نقطه‌ای است (Schmidt, 1977). این مشاهدات هم‌چنین با این واقعیت همخوانی دارد که وسعت اراضی کشاورزی و مسکونی در منطقه مورد مطالعه افزایش قابل توجهی داشته است و بیش‌تر این تغییرات کاربری در قسمت اراضی بدون پوشش انجام شده است. این مشاهدات با مقایسه بصری نقشه‌های شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) برای دو دوره مختلف تکمیل می‌شوند. به‌منظور نشان دادن تغییرات واضح تر و در قالب تصویری، شاخص کیفیت آب زیرزمینی تولید شده برای دو سال (۱۳۹۳ و ۱۴۰۰) برای ایجاد یک نقشه شاخص تفاوت نرمال شده (Normalized difference index, NDI) ترکیب شدند. با مقایسه شاخص تفاوت نرمال شده با نقشه کاربری اراضی، مشاهده می‌شود که تغییرات کیفی آب زیرزمینی از روند الگوهای کاربری اراضی تبعیت می‌کند. عمده تغییرات کاربری اراضی توسعه مناطق مسکونی و اراضی شهری در قسمت مرکزی این حوضه در محل دهستان دهرم در این دوره بوده است. یکی دیگر از تغییرات عمده در کاربری زمین، احیای زمین‌های دارای پوشش طبیعی مرتعی و جنگلی برای کشاورزی و

کشاورزی و مسکونی در آن متمرکز است، در قسمت شمال مرکزی منطبق است. محدوده دهستان دهرم در محدوده ناپایدار قرار دارد. این دهستان که در حال گسترش است و فعالیت‌های کشاورزی در این منطقه در حال گسترش است که باعث ناپایداری در کیفیت آب زیرزمینی منطقه شده است. (Ahmadi (2021) کیفیت منابع آب دشت ورامین با استفاده از شاخص کیفیت آب در یک بازه ۱۰ ساله (۱۳۸۷-۱۳۹۷) مورد بررسی قرار داد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد با توجه به تأثیر گسترده عوامل انسانی بر منابع آب زیرزمینی دشت ورامین و برداشت شدید آب زیرزمینی، در این دوره کیفیت آب ۶ درصد بهتر شده است، و میزان آب با کیفیت خوب در سال ۱۳۹۷ تا ۲۵ درصد افزایش یافته است که نتایج بدست آمده با نتایج پژوهش حاضر مطابقت ندارد که دلیل آن استفاده از سامانه‌های آبیاری مناسب و همچنین زهکشی مناسب اراضی کشاورزی است.

دهستان دهرم که به کشاورزی تبدیل شده‌اند قرار دارد، از این رو غلظت‌های نسبتاً بالاتری را می‌توان سال ۱۳۹۳ در مقایسه با سال ۱۴۰۰ نشان داد. این احتمالاً تأثیر مستقیم فعالیت‌های انسانی (مسکونی و کشاورزی) در دهستان دهرم به سرعت در حال گسترش است. نقشه شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) و نقشه کاربری اراضی در GIS برای به‌دست آوردن نقشه پایداری کیفیت آب زیرزمینی ترکیب شدند. میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی و کاربری اراضی مرتبط با آن آلودگی با هم پایداری استفاده از آب‌های زیرزمینی را مشخص می‌کند. پایداری استفاده از آب‌های زیرزمینی با آلودگی زیاد و تغییرات مکانی زیاد کاهش می‌یابد. برعکس، پایداری استفاده از آب‌های زیرزمینی با آلودگی کم همراه با تغییرات مکانی کم کیفیت آب‌های زیرزمینی افزایش می‌یابد. مناطقی که ارزش پایداری آب زیرزمینی پایینی دارند (یعنی مناطق غیرپایدار) در حوضه با دره‌های دو رودخانه‌ای که بیش‌تر فعالیت



شکل ۵- نقشه‌های شاخص کیفیت آب‌های زیرزمینی برای سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۴۰۰  
Figure 5- Groundwater quality index maps for the years 2014 and 2021



شکل ۶- غلظت پارامترهای کیفی آب زیرزمینی انتخاب شده در چهار چاه معرف

Figure 6- The concentration of the selected groundwater quality parameters in four representative borewells

به این ترتیب توجه به تأثیر گسترده عوامل انسانی بر کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی حوضه دهرم و برداشت شدید آب زیرزمینی، بررسی دقیق چاه‌های غیرمجاز در منطقه، حفاظت کیفی از منابع آب زیرزمینی و مدیریت برداشت چاه‌های بهره‌برداري و هم‌چنین استفاده از سامانه‌های آبیاری مناسب در جهت کاهش برداشت و هم‌چنین زهکشی مناسب اراضی کشاورزی در طرح‌های آبی امری ضروری به نظر می‌رسد. لذا در این منطقه نیاز به تمرکز ویژه بر تصمیم‌گیری‌های تخصیص زمین است. از آنجایی که تخصیص کاربری زمین برای مقاصد مسکونی، کشاورزی، صنعتی و سایر اهداف باید با در نظر گرفتن پیامدهای محیط زیست باشد. ارزیابی زمین و به ویژه کیفیت آب‌های زیرزمینی، امکان تهیه نقشه راهنما، برای استفاده پایدار از آب‌های زیرزمینی را در منطقه را فراهم می‌سازد.

#### سیاسگذاری

این مقاله حاصل پایان‌نامه با عنوان پایش تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی دهرم با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در مقطع (کارشناسی ارشد) است که با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر اجرا شده است.

احمدی، ع. (۱۴۰۱). بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی در دشت ورامین تهران. *مجله‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۱)، ۱۴-۲۶.

#### ۴- نتیجه گیری

با استفاده از شاخص GQI، می‌توان تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی را در منطقه مورد مطالعه ترسیم کرد که نشان می‌دهد کیفیت آب منطقه به‌طور کلی خوب است، اما بدتر شدن با شروع شهرنشینی آغاز شده است. منابع عمده آلودگی شناسایی شده در این مطالعه، فعالیت‌های کشاورزی و مسکونی است. اگرچه فعالیت‌های کشاورزی و کاربرد کودهای مرتبط با آن عامل اصلی کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی بوده است، علاوه بر آن این مطالعه نشان داد که افزایش شهرنشینی، سهم غالب در آلودگی در منطقه دارد. فعالیت‌های کشاورزی باید با روش‌هایی مطابقت داشته باشد که حداقل تأثیر را بر آب‌های زیرزمینی تضمین می‌کند. این مطالعه هم‌چنین کارایی GIS را در ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد. مشابه، تکنیک‌های ارزیابی مبتنی بر GIS را می‌توان برای توصیف آلودگی آب‌های زیرزمینی ترجیحاً در حوضه‌های بزرگ استفاده کرد. البته، انتخاب پارامترها و وزن‌ها ممکن است بسته به شرایط کاربری غالب زمین، در هر مکان متفاوت باشد. در مقیاس‌های منطقه‌ای، چنین نوع ارزیابی سریع می‌تواند برای تعیین مناطقی که نیاز به نظارت و ارزیابی دقیق کیفیت آب‌های زیرزمینی دارند بسیار مفید باشد. در نهایت، نقشه کیفیت آب زیرزمینی تهیه‌شده برای منطقه مورد مطالعه می‌تواند برای راهنمایی مدیران محلی در تصمیم‌گیری‌های تخصیص کاربری زمین در منطقه در حال توسعه مسکونی و فعالیت کشاورزی، استفاده شود.

منابع

ضیایی، س، اسمعیلی، ا، مصطفی‌زاده، ر، و قربانی، ا. (۱۴۰۰). بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات سطح آب زیرزمینی و افت آبخوان در دشت اردبیل. *هیدروژئومورفولوژی*، ۸(۲۸)، ۱۲۷-۱۴۳.

ولی‌زاده کامران، خ، روستایی، ش، رحیم‌پور، ت، و نخستین روحی، م. (۱۳۹۵). تعیین مناسب‌ترین روش زمین‌آمار در تهیه نقشه تغییرات شوری آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت شیرامین، استان آذربایجان شرقی). *هیدروژئومورفولوژی*، ۳(۶)، ۱۷-۳۲.

خلیلی، ر، منتصری، ح، و متقی، ح. (۱۴۰۰). ارزیابی کیفیت آب رودخانه چالوس با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری و شاخص کیفیت آب (WQI). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۳)، ۳۸-۵۲.

خلیلی، ر، منتصری، ح، متقی، ح، و جلیلی، م. (۱۴۰۰). ارزیابی کیفیت آب رودخانه تالار استان مازندران با استفاده از ترکیب شاخص‌های کیفیت آب و مدل‌سازی چندمتغیره. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۴)، ۳۰-۴۷.

## References

- Ahmadi, A. (2021). Investigation of groundwater quality changes in Varamin Plain of Tehran. *Water and Soil Management and Modelling*, 2(1), 14-26 (in Persian).
- Amiri, F., Tabatabaie, T., & Entezari, M. (2020). GIS-based DRASTIC and modified DRASTIC techniques for assessing groundwater vulnerability to pollution in Torghabeh-Shandiz of Khorasan County, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(12), 479.
- APHA, (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. Standard methods for the examination of water & wastewater, Washington, DC.
- Appleyard, S. (1995). The Impact Of Urban Development On Recharge and Groundwater Quality In A Coastal Aquifer Near Perth, Western Australia. *Hydrogeology Journal*, 3(2), 65-75.
- Babiker, I.S., Mohamed, M.A.A., & Hiyama, T. (2007). Assessing groundwater quality using GIS. *Water Resources Management*, 21(4), 699-715.
- Backman, B., Bodiš, D., Lahermo, P., Rapant, S., & Tarvainen, T. (1998). Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia. *Environmental Geology*, 36(1), 55-64.
- Badeenezhad, A., Radfard, M., Abbasi, F., Jurado, A., Bozorginia, M., Jalili, M., & Soleimani, H. (2021). Effect of land use changes on non-carcinogenic health risks due to nitrate exposure to drinking groundwater. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(31), 41937-41947.
- Bhargava, D.S. (1985). Expression for drinking water supply standards. *Journal of Environmental Engineering*, 111(3), 304-316.
- Brown, R.M., McClelland, N.I., Deininger, R.A., & Tozer, R.G. (1970). A water quality index-do we dare. *Water and sewage works*, 117(10), 339-343.
- Dinius, S. (1972). Social accounting system for evaluating water resources. *Water Resources Research*, 8(5), 1159-1177.
- Dinius, S. (1987). Design of an index of water quality 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 23(5), 833-843.
- Eiswirth, M., Hořtzi, H., Lazar, C., & Merkle, G. (1995). Detection of contaminant transport from damaged sewerage systems and leaky landfills. In: *Groundwater quality: remediation and protection*, IAHS, 225, 337-346.
- Engel, B.A., Jang, W.S., Lim, K.J., Navulur, K.C., & Theller, L. (2016). The role of geographical information systems in groundwater engineering. Pp. 969-990, In: *The handbook of groundwater engineering*, CRC Press.
- Gnanachandrasamy, G., Ramkumar, T., Venkatramanan, S., Vasudevan, S., Chung, S. Y., & Bagyaraj, M. (2015). Accessing groundwater quality in lower part of Nagapattinam district, Southern India: using hydrogeochemistry and GIS interpolation techniques. *Applied Water Science*, 5(1), 39-55.
- Harkins, R.D. (1974). An objective water quality index. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 588-591.
- He, S., Li, P., Wu, J., Elumalai, V., & Adimalla, N. (2020). Groundwater quality under land use/land cover changes: A temporal study from 2005 to 2015 in Xi'an, Northwest China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 26(10), 2771-2797.
- Horton, R.K. (1965). An index number system for rating water quality. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 37(3), 300-306.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., & Ferreira, L.G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1), 195-213.
- Jiang, Y., Zhang, C., Yuan, D., Zhang, G., & He, R. (2008). Impact of land use change on groundwater quality in a typical karst watershed of southwest China: a case study of the Xiaojiang watershed, Yunnan Province. *Hydrogeology Journal*, 16(4), 727-735.
- Khalili, R., Montaseri, H., & Motaghi, H. (2021). Evaluation of water quality in the Chalus River using the statistical analysis and water quality index (WQI). *Water and Soil Management and Modelling*, 1(3), 38-52 (in Persian).
- Khalili, R., Montaseri, H., Motaghi, H., & Jalili, M. B. (2021). Water quality assessment of the Talar River in Mazandaran Province based on a

- combination of water quality indicators and multivariate modeling. *Water and Soil Management and Modelling*, 1(4), 30-47 (in Persian).
- Khan, H. H., Khan, A., Ahmed, S., & Perrin, J. (2011). GIS-based impact assessment of land-use changes on groundwater quality: study from a rapidly urbanizing region of South India. *Environmental Earth Sciences*, 63(6), 1289-1302.
- Lawniczak, A.E., Zbierska, J., Nowak, B., Achtenberg, K., Grześkowiak, A., & Kanas, K. (2016). Impact of agriculture and land use on nitrate contamination in groundwater and running waters in central-west Poland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(3), 172.
- Liaqat, M.U., Mohamed, M.M., Chowdhury, R., Elmahdy, S.I., Khan, Q., & Ansari, R. (2021). Impact of land use/land cover changes on groundwater resources in Al Ain region of the United Arab Emirates using remote sensing and GIS techniques. *Groundwater for Sustainable Development*, 14, 100587.
- Liu, X., Wang, X., Zhang, L., Fan, W., Yang, C., Li, E., et al. (2021). Impact of land use on shallow groundwater quality characteristics associated with human health risks in a typical agricultural area in Central China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(2), 1712-1724.
- Najafzadeh, M., Homaei, F., & Mohamadi, S. (2022). Reliability evaluation of groundwater quality index using data-driven models. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(6), 8174-8190.
- Nas, B., & Berktaş, A. (2010). Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160(1), 215-227.
- Prati, L., Pavanello, R., & Pesarin, F. (1971). Assessment of surface water quality by a single index of pollution. *Water Research*, 5(9), 741-751.
- Priyan, K. (2021). Issues and Challenges of Groundwater and Surface Water Management in Semi-Arid Regions. Pp. 1-17, In Pande, C.B., & Moharir, K.N. (Eds.), *Groundwater Resources Development and Planning in the Semi-Arid Region*, Cham: Springer International Publishing.
- Rwanga, S.S., & Ndambuki, J.M. (2017). Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8(04), 611.
- Salhi, A., Benabdelouahab, S., Bouayad, E.O., Benabdelouahab, T., Larifi, I., El Mousaoui, M., et al. (2021). Impacts and social implications of landuse-environment conflicts in a typical Mediterranean watershed. *Science of The Total Environment*, 764, 142853.
- Schmidt, K.D. (1977). Water quality variations for pumping wells. *Groundwater*, 15(2), 130-137.
- Schot, P. P., & van der Wal, J. (1992). Human impact on regional groundwater composition through intervention in natural flow patterns and changes in land use. *Journal of Hydrology*, 134(1), 297-313.
- Sethy, S.N., Syed, T.H., & Kumar, A. (2017). Evaluation of groundwater quality in parts of the Southern Gangetic Plain using water quality indices. *Environmental Earth Sciences*, 76(3), 116.
- Sheikhy Narany, T., Aris, A. Z., Sefie, A., & Keesstra, S. (2017). Detecting and predicting the impact of land use changes on groundwater quality, a case study in Northern Kelantan, Malaysia. *Science of The Total Environment*, 599-600, 844-853.
- Singh, C. K., Shashtri, S., Mukherjee, S., Kumari, R., Avatar, R., Singh, A., et al. (2011). Application of GWQI to Assess Effect of Land Use Change on Groundwater Quality in Lower Shiwaliks of Punjab: Remote Sensing and GIS Based Approach. *Water Resources Management*, 25(7), 1881-1898.
- Soltan, M. E. (1999). Evaluation Of Ground Water Quality In Dakhla Oasis (Egyptian Western Desert). *Environmental Monitoring and Assessment*, 57(2), 157-168.
- Syariz, M.A., Lin, B.-Y., Denaro, L.G., Jaelani, L. M., Van Nguyen, M., & Lin, C.-H. (2019). Spectral-consistent relative radiometric normalization for multitemporal Landsat 8 imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 147, 56-64.
- Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. 2nd Edition: Chapman and Hall Ltd., London, 651 pages.
- Valizadeh Kamran, K., Roostaei, S., Rahimpour, T., & Nakhostin Rohee, M. (2016). Determining the Most Appropriate Geostatistical Method for Groundwater Salinity Mapping (Case Study: Shiramin Plain, East Azerbaijan Province). *Hydrogeomorphology*, 3(6), 17-32 (in Persian).
- Verma, P., Singh, P. K., Sinha, R. R., & Tiwari, A. K. (2019). Assessment of groundwater quality status by using water quality index (WQI) and geographic information system (GIS) approaches: a case study of the Bokaro district, India. *Applied Water Science*, 10(1), 27.
- Wang, Z., Li, F., Xia, Y., Chen, H., Wang, K., Fu, S., et al. (2021). Spatial distribution of groundwater quality in the coastal plain and its relationship with land use and seawater intrusion. *Environmental Earth Sciences*, 80(14), 465.
- WHO, (2004). Guidelines for drinking-water quality. vol 1, 3<sup>rd</sup> edn, recommendations. WHO, Geneva, Switzerland, 145-220.

Ziaye Shendershami, S., Esmali Ouri, A.,  
Mostafazadeh, R., & Ghorbani, A. (2021).  
Effective Factors in Ground Water Variations  
and Water Table Decrease in Ardabil Plain.  
*Hydrogeomorphology*, 8(28), 127-143.