

Original Research Paper

Nitrate pollution level in shallow and deep aquifers underlying Kerman city and the associated health risk assessment

Ahmad Abbasnejad^{1*}, Behnam Abbasnejad¹, Mahdieh Eshaghi¹, and Hoda Bavi¹

¹Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2025 June 12

Accepted: 2025 October 07

Available online: 2025 December 22

Keywords:

Nitrate pollution

Urban groundwater

Correlation analysis

Aquifer

Sewage

ABSTRACT

Considering nitrate is one of the most useful indicators of water pollution, this paper deals with nitrate pollution in the surficial and deep aquifers underlying Kerman city and its health risk assessment. This matter is of importance from the point of management and using groundwater. For this purpose, 32 samples were taken from water wells in the city and suburbs, two cases of them were duplicates. Sample taking and delivery to the lab was performed considering all necessary regulations. In this study, in addition to nitrate, levels of pH, electrical conductivity (EC), and water temperature were determined, and the relevant maps were prepared using Arc GIS software. In the scatter plot of NO_3^- -EC, two separate trends were observed for surficial and deep aquifers. These trends were interpreted as the level of nitrate in these separate aquifers. Accordingly, the surficial aquifer is polluted with respect to nitrate, mainly as a result of recharge from sewage disposal wells. Its maximum NO_3^- level reaches 101.5 mg/L, but the deep aquifer, which is isolated from the surficial one by a thicker than 50m compact clay-marl layer, is almost not polluted in the city environment, and nitrate concentration in it is rather constantly around 10 mg/L. The health risk assessment identified that three wells within the shallow aquifer exhibited health risks surpassing acceptable limits, with children experiencing a higher degree of vulnerability than adults. It is recommended that for drinking purposes only the deep aquifer is extracted, and for green space irrigation only the shallow aquifer be extracted. It is recommended that completion of water wells be undertaken so that mixing between the two aquifers is prevented.

1. Introduction

Nitrate is one of the main indicators of groundwater pollution, specifically in urban areas (Wakida and Lerner, 2005), because it is released from domestic sewage, fertilizers applied to soils of urban green spaces as well as sub-urban

industries and feedlots. There is much evidence of nitrate level rise in groundwater resources. Human exposure to high nitrate levels is thus becoming a global problem (Adelana, 2005). Nitrate pollution is a major concern to water quality

* Corresponding author: Ahmad Abbasnejad; E-mail: aabbas@uk.ac.ir

Citation:

Abbasnejad, A., Abbasnejad, B., Eshaghi, M., and Bavi, H., 2025. Nitrate pollution level in shallow and deep aquifers underlying Kerman city and the associated health risk assessment. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 35(4), 138, 103-116. <https://doi.org/10.22071/gsj.2025.529551.2205>.

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/gsj.2025.529551.2205

 dor: 20.1001.1.10237429.1404.35.4.6.3



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

in Iran (Jalali, 2011). Actually, there are a number of point and diffuse sources of nitrate which give rise to big levels of it in groundwaters (Wakida and Lener, 2005). Any person produces about 5 Kg of nitrogen as sewage per year (Lewis et al., 1980). This amount of nitrogen is of the organic type which is transformed into about 22 Kg of nitrate by the nitrification process. Thus, urban areas, with high concentrations of population, have a high capacity for nitrate pollution. In another word, domestic sewages which contain high amounts of organic matter and urine urea are a major source of groundwater nitrate pollution. However, due to such factors as lacking sewerage system and concentration in an arid climate, the nitrate level in most Iranian urban areas is high. As an example, according to Moghadasi (2006), the maximum levels of nitrate in Mashhad, Zanjan, Qazvin, Arak, and Kermanshah cities of Iran are 486, 69, 96, 171, and 84 mg/L respectively.

The purpose of this study is to determine nitrate levels in aquifers under Kerman city. This city lies at southeast Iran and its population is about 800,000. There is a shallow fine-grained and at least one deep conglomeratic aquifer under this city which are separated by compact clay and marl layers. Groundwaters of Kerman city have been studied by Hassanzadeh et al. (2011), Hassanpour (2010), Haj-Malek (2007), Abbasnejad (2006), and Hassanzadeh (2006). However, no study has been undertaken on nitrate health risk resulting from consumption of ground waters underlying Kerman city. Therefore, in this study, nitrate concentration in each aquifer is assessed indirectly based on nitrate- EC correlations and health risk assessment of waters extracted from these aquifers is undertaken.

2. Research methodology

In this study, 32 samples were taken from pumping wells across the city and its suburbs, two cases of which were duplicates. Locations of samples are shown in Fig.1. The sample analyses are presented in Table 1. Samples were taken in 1- liter polyethylene bottles and covered by black plastics. Temperatures, pHs, and ECs were measured in the field. Nitrate determinations were conducted in the Kerman Molecule laboratory using the spectrophotometric method. Relative Percent Differences (RPDs) of duplicates were 3.77 and 3.54, meaning acceptable precision. Statistical attributes were calculated using SPSS software. The nitrate concentration map was

prepared using ARC GIS software. Health risk assessment was carried out using WHO (2011) method through ingestion exposure.

3. Results

ECs of samples (Fig. 3) ranged from 562 to 8060 $\mu\text{mhos/cm}$, with an average of 2936. Dissolution of evaporitic cement of red conglomerates is supposed to be the main cause of high ECs. Temperatures (Fig. 5) ranged from 22 to 27 $^{\circ}\text{C}$, with an average of 25 $^{\circ}\text{C}$, and pHs (Fig. 4) ranged from 6.5 to 8.5, with an average of 7.5.

Nitrate levels range from 1.5 to 101.5 mg/L, with an average of 16.25 mg/L. The concentration map (Fig. 6) represents high nitrate levels in the central part of the city which contains the highest population density. Nitrate concentration at a point in the north of the city is 53.2 mg/L which is attributed to leaching from a former feedlot in this area.

Analysis of health risks across different demographic groups established an order of susceptibility: children > women > men (Figs.7 and 8). The mean calculated risks were 0.52 for children, 0.45 for women, and 0.38 for men, underscoring the elevated health risk for children.

4. Discussions

Considering the pumping wells in Kerman may take water from one of the aquifers or both of them, it is necessary to determine nitrate levels in the aquifers separately for assessing their pollution level. For this purpose, NO_3^- - versus EC scatter plot was drawn (Fig. 9). This plot reveals two trends. In the first one, EC and nitrate levels reveal a direct relationship, but in the second one, the nitrate level is almost constant despite increases in EC. The first trend is interpreted as polluted groundwaters in the shallow aquifer, while the second one assumably represents the non- polluted groundwater in the deep aquifer, because pollution by sewage raises both EC and NO_3^- amounts. Water wells of the first trend are mainly shallower and have lower discharges (Fig. 10).

5. Conclusion

There are two aquifers under Kerman city, the shallower one which is comprised of fine material is polluted with respect to nitrate, and the deeper one which is separated by thick clay and marl layers from the surficial one is almost not

polluted in the city environment. The amount of nitrate in the shallower aquifer is mostly 20- 100 mg/L, but its level in the deeper aquifer is about 10 mg/L. In the shallower aquifer, EC increases with nitrate while in the deeper one nitrate is

almost constant, despite a wide range of variations in ECs. Health risk assessment revealed that three samples exhibited health risks exceeding permissible limits, necessitating the implementation of drinking restrictions for these sources.

آلودگی و ارزیابی ریسک سلامت نیترات در منابع آب زیرزمینی محدوده شهر کرمان

احمد عباس نژاد^{۱*}، بهنام عباس نژاد^۱، مهدیه اسحاقی^۱ و هدی باوی^۱

^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:

آلودگی نیترات

آب زیرزمینی شهری

تفسیر نمودار همبستگی

سفره آب زیرزمینی

فاضلاب

چکیده

باتوجه به این که نیترات یکی از مهم‌ترین نشانگرهای آلودگی منابع آب است، هدف این مطالعه ارزیابی میزان آلودگی آبخوان‌های سطحی و ژرفی زیر شهر کرمان نسبت به نیترات می‌باشد. این موضوع از نظر امکان و نوع استفاده از آب زیرزمینی موجود در زیر شهر اهمیت زیادی دارد. بدین منظور، تعداد ۳۲ نمونه از آب چاه‌های داخل و حومه شهر تهیه گردید که ۲ نمونه آن تکراری بودند. نمونه برداری و ارسال نمونه‌ها با رعایت تمام نکات مورد نیاز برای سنجش نیترات انجام گردید و غلظت نیترات به روش اسپکتروفتومتری تعیین شد. افزون بر غلظت نیترات، مقادیر pH، هدایت الکتریکی (EC) و دمای نمونه‌ها در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. نقشه‌های تغییرات نیترات، EC، pH و دمای نمونه‌ها با نرم‌افزار Arc GIS رسم شدند. در این مطالعه، در نمودار همبستگی نیترات با EC دو روند متفاوت به دست آمد که به عنوان ارتباط این دو پارامتر برای آبخوان‌های کم ژرفا و ژرف تفسیر شدند و براساس آن، مقادیر غلظت نیترات در آبخوان‌های سطحی و ژرفی برآورد شد. این مطالعه نشان داد که آبخوان سطحی، به طور عمده در اثر تغذیه توسط چاه‌های جاذب فاضلاب، نسبت به نیترات آلوده است و بیشینه غلظت نیترات در آن به ۱۰/۱۵ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد، ولی آبخوان ژرفی که توسط واحدهای رسی-مارنی متراکم با ستبرای بیش از ۵۰ متر از آبخوان سطحی جدا شده، در محیط شهر آلوده نشده و غلظت نیترات در آن حدود ۱۰ میلی‌گرم در لیتر است. با بررسی ریسک سلامتی مشخص شد تعداد ۳ حلقه چاه در آبخوان کم ژرفا، خطر سلامتی بالاتر از حد مجاز ۵۰ میلی‌گرم در لیتر دارند و این خطر برای کودکان بیش از بزرگسالان است. پیشنهاد می‌شود برای تامین آب آشامیدنی تنها از آبخوان ژرف، ولی برای آبیاری فضای سبز تنها از آبخوان کم‌ژرفا برداشت صورت گیرد. توصیه می‌شود تجهیز چاه‌ها به نحوی انجام شود که اختلاط آب بین دو آبخوان صورت نگیرد.

۱- پیش‌نوشتار

تا پراکنده تولید نیترات وجود دارند که سبب افزایش مقدار آن در آب زیرزمینی می‌شوند (Wakida and Lerner, 2005). هرفرد سالانه ۵ کیلوگرم نیتروژن فاضلابی تولید می‌کند (Lewis et al., 1980). این نیتروژن از انواع آلی است که در طی فرایند نیتراتی شدن (nitrification) می‌تواند تا به ۲۲ کیلوگرم نیترات تبدیل شود. بنابراین، شهرها با داشتن تمرکز بالای جمعیت، ظرفیت بالایی برای تولید نیترات دارند.

نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر کودی است و در کشاورزی به صورت کودهای مختلف (مانند اوره، نیترات آمونیم و فسفات آمونیم) به خاک اضافه می‌شود (Addiscott et al., 1991). نیتروژن موجود در کودها به طور عمده به صورت نیترات درآمده و جذب گیاه می‌شود (عباس نژاد، ۱۳۹۰). همواره بخشی از این نیترات پیش از جذب توسط گیاهان، به وسیله آب‌های عبورکننده از خاک و لایه‌های سطحی شسته شده و وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود (Schwartz and Zhang, 2002; Spalding and Exner, 1993).

نیترات یکی از مهم‌ترین نشانگرهای آلودگی منابع آب زیرزمینی، به ویژه در زیر شهرها است (Wakida and Lerner, 2005)، چرا که توسط فاضلاب‌های خانگی داخل شهر، مجتمع‌های گاو‌داری و دام‌داری حومه، کودهای اضافه شده به فضای سبز و برخی از صنایع حومه شهرها تولید می‌شود. شواهد زیادی در مورد افزایش مقدار نیترات در منابع آب زیرزمینی وجود دارد و رویارویی انسان با مقادیر بالای نیترات در حال تبدیل به یک معضل جهانی است (Adelana, 2005). با توجه به این که حدود ۱/۵ میلیارد نفر برای آب آشامیدنی به آب زیرزمینی وابسته‌اند (Adimalla and Wu, 2019)، توجه به این تهدید زیست‌محیطی دارای اهمیت زیادی است. آلودگی به نیترات یکی از نگرانی‌های اصلی کیفیت آب در بسیاری از نقاط ایران است (Jalali, 2011). با توجه به این که نیترات‌زدایی از آب آلوده مشکل و پرهزینه است، جلوگیری از آلودگی آن بهترین راه حل برای این تهدید می‌باشد (Corniello et al., 2007). در واقع، در محیط‌های شهری منابع گوناگون نقطه‌ای

* نویسنده مسئول: احمد عباس نژاد؛ E-mail: aabbas@uk.ac.ir

ماخذنگاری:

عباس نژاد، ا.، عباس نژاد، ب.، اسحاقی، م. و باوی، ه.، ۱۴۰۴، آلودگی و ارزیابی ریسک سلامت نیترات در منابع آب زیرزمینی محدوده شهر کرمان. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۵(۴)، ۱۳۸، ۱۰۳-۱۱۶. <https://doi.org/10.22071/gsj.2025.529551.2205>

doi: 10.22071/gsj.2025.529551.2205

doi: 20.1001.1.10237429.1404.35.4.6.3

حقوق معنوی مقاله برای فصلنامه علوم زمین و نویسندگان مقاله محفوظ است.



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

از جمله می‌توان به مطالعات کاظمی (Kazemi, 2011) برای شاهرود، ذکاوت بخش (۱۳۹۲) برای جهرم، اسمعیلی و همکاران (۱۳۹۷) برای دشت قره ضیاالدین، جهانداری (Jahandari, 2020) برای شیراز، صفری نژاد (۱۳۹۴) برای استهبان، شجاع‌الدینی (۱۳۹۴) برای میناب و معتمدنیا (۱۳۹۱) برای زرنده اشاره کرد. در تمام این موارد، آلودگی آب زیرزمینی به نیترات در محیط شهری گزارش شده است. مقدسی (۱۳۸۵) بیشینه مقدار نیترات در آب‌های زیرزمینی مشهد، زنجان، قزوین، اراک و کرمانشاه را به ترتیب ۴۸۶، ۶۹، ۹۶، ۱۷۱ و ۸۴ میلی‌گرم در لیتر اعلام کرده است. مطالعه آب‌های زیرزمینی شهر کرمان، یا جنبه‌هایی از آن، توسط حسن‌زاده و همکاران (Hassanzadeh et al., 2011)، حاج ملک (۱۳۸۶)، حسن‌زاده (۱۳۸۵) و عباس نژاد (۱۳۸۵ و ۱۳۹۹) صورت گرفته است.

هدف این مطالعه تعیین میزان آلودگی آب‌خوان‌های کم‌ژرفا و ژرفا زیر شهر کرمان به نیترات و ریسک سلامت ناشی از خوردن آب استخراجی از چاه‌های داخل شهر است. این نوع مطالعات نه تنها درک ما از شدت و ابعاد مشکل نیترات در آب‌های زیرزمینی شهرها را افزایش می‌دهند، بلکه دیدگاه ما در مورد آلودگی آب‌های زیرزمینی توسط شهرها و ارتباط آن با جمعیت و شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی شهر را هم بهبود می‌بخشند. یادآور می‌شود که تاکنون ارزیابی ریسک سلامت نیترات برای منابع آب زیرزمینی محدوده شهر کرمان صورت نگرفته است.

۲- روش پژوهش

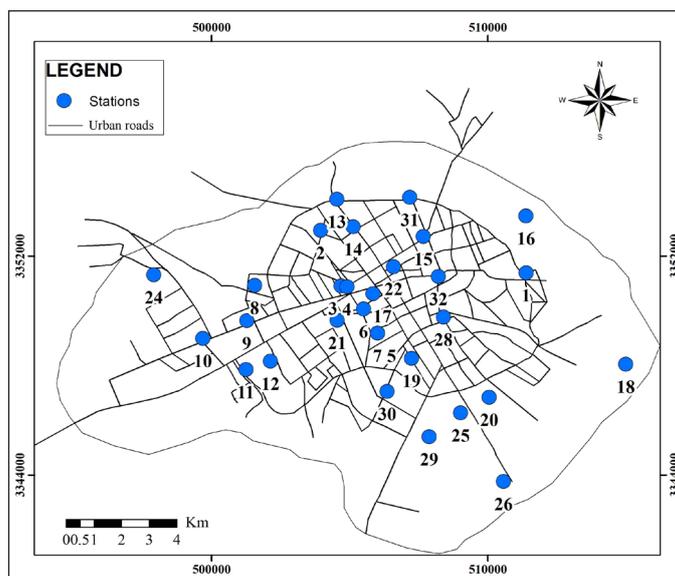
در این مطالعه، تعداد ۳۲ نمونه آب از چاه‌های موجود در داخل شهر کرمان و حومه آن در تیرماه ۱۳۹۷ برداشت گردید که ۲ نمونه آن از نوع تکراری بودند. موقعیت نقاط نمونه برداری در شکل ۱ نشان داده شده است. ویژگی‌های نقاط نمونه برداری در جدول ۱ درج شده است. کلیه چاه‌ها در هنگام نمونه برداری در حال پمپاژ بودند. نمونه برداری در بطری‌های ۱ لیتری پلی‌اتیلن انجام شد و پیش از برداشت نمونه، ظروف با همان آب شستشو شدند. جهت جلوگیری از تاثیر نور بر غلظت نیترات (به سبب جذب آن توسط فیتوپلانکتون‌ها)، نمونه‌ها بلافاصله پس از برداشت در پلاستیک تیره قرار داده شدند و در مخزن حاوی یخ به آزمایشگاه کرمان ملکول انتقال داده شدند.

شهرها می‌تواند از مناطق کشاورزی هم بیشتر باشد (Wakida and Lerner, 2005). حلالیت نیترات بسیار بالا است و با هیچ کدام از کاتیون‌های موجود در خاک و رسوب ترکیب نامحلولی را نمی‌سازد (Tew et al., 2018).

فراوانی نیترات در منابع آب سطحی سبب ایجاد پدیده تغذیه‌گرایی (Eutrophication) می‌شود (Jahangir et al., 2012) که در اثر آن، رشد شدید جلبک‌ها صورت گرفته و بقایای آن‌ها با مصرف اکسیژن سبب چیرگی شرایط احیا می‌شوند. در این وضعیت، ترکیبات مضر زیادی تولید می‌شوند و بسیاری از جانوران آبزی قادر به زیست نخواهند بود (Addiscott et al., 1991). بدیهی است که بالا بودن غلظت نیترات در یک منبع آب سطحی می‌تواند ناشی از تخلیه آب‌های زیرزمینی غنی از نیترات به آن منبع باشد.

میزان دریافت مجاز روزانه نیترات توسط هر فرد ۳/۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن است (WHO, 2011). بیشینه غلظت مجاز نیترات در آب ۵۰ میلی‌گرم در لیتر توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) و استاندارد ایران (ISIRI 1053, 1997) تعیین شده است. اما سازمان محیط زیست آمریکا (USEPA, 2011) مقدار مجاز آن را ۴۵ میلی‌گرم در لیتر در نظر گرفته است. نیتراتی که معمولاً از طریق آب آلوده وارد بدن می‌شود، از راه دستگاه گوارش جذب گردیده و وارد خون می‌شود. این نیترات، آهن موجود در هموگلوبین خون را اکسید کرده و به آهن سه ظرفیتی تبدیل می‌کند. در این حالت، انتقال اکسیژن توسط خون دچار اختلال شده و ممکن است خفگی و مرگ عارض شود (Muramoto, 1999). این بیماری که متهموگلوبینمی (Methemoglobinemia) نام دارد با رنگ آبی پوست (به ویژه دور چشم‌ها، دهان و لب‌ها)، سردرد، سرگیجه و ضعف عمومی مشخص می‌گردد (Craun, 1984). تاثیر دیگر نیترات تبدیل آن به نیتريت در معده است. نیتريت با آمین‌های ثانویه ترکیب شده و ماده‌ای به نام نیتروزآمین تولید می‌شود که سرطان‌زا بوده و سبب بروز سرطان مری و معده می‌شود (Bao et al., 2017). حدود ۵٪ از نیترات، در بدن به نیتريت تبدیل می‌شود که با تشکیل ترکیبات نیتروزآمین و نیتروزآمید به شدت به DNA آسیب می‌زند (Parvizishad et al., 2017). نیترات آب برای بسیاری از حیوانات هم مسموم کننده و سرطان‌زا است (Addiscott et al., 1991).

غلظت نیترات در برخی از شهرهای ایران و جهان مورد مطالعه قرار گرفته است.



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه برداری.

Figure 1. Location of sampling points.

جدول ۱- نتایج آنالیز هدایت الکتریکی، نیترات، pH و دما در نمونه‌ها.

Table 1. Results of electrical conductivity, nitrate, pH, and temperature measurements in the samples.

Sample No.	pH	NO ₃ ⁻ (mg/L)	EC (µS/cm)	T (°C)
1	7.91	5.53	3420	23
2	7.61	11.74	4060	25
3	7.83	3.32	647	24
4	7.85	11.96	2950	25
5	7.96	3.54	567	25
6	7.41	10.5	5480	27
7	7.95	3.77	562	25
8	7.62	3.1	2550	25
9	7.82	16.6	5990	26
10	7.97	5.76	571	26
11	7.99	10.63	3620	26
12	8.15	10.41	2860	27
13	7.93	4.87	675	25
14	7.71	5.98	3490	25
15	7.73	28.13	2760	26
16	7.26	1.55	2520	22
17	7.24	24.37	2510	25
18	7.34	8.86	1335	25
19	7.18	9.08	5720	25
20	7.64	6.2	959	23
21	7.29	12.9	3270	24
22	7.28	23.5	2880	26
23	6.51	4.21	7260	25
24	6.61	5.76	8060	26
25	7.43	14.62	2170	25
26	7.67	9.3	951	25
27	7.75	9.75	1338	23
28	7.23	8.86	3900	24
29	7.63	19.1	1488	25
30	7.77	13.96	1491	24
31	7.41	53.16	2140	26
32	7.91	55.38	3410	27

کنترل دقت سنجش‌ها، ۲ نمونه تکراری برداشت شد. غلظت نیترات در آزمایشگاه با روش اسپکتروفتومتری تعیین گردید. در این روش ۱۰ cc از نمونه داخل بشر ریخته می‌شود و به آن ۲ cc از مخلوط اسید (شامل ۱۲/۵ گرم فنل، ۷۵ cc اسید سولفوریک غلیظ و ۳۷/۵ cc اسید سولفوریک دود کننده) اضافه می‌شود. ماده اضافه شونده دیگر ۱۰ cc آمونیاک است. بستگی به غلظت نیترات، تغییر رنگی در محلول ایجاد می‌شود که با رنگ استاندارد مقایسه شده و غلظت نیترات به دست می‌آید.

برای کنترل دقت سنجش‌ها از رابطه «درصد تفاوت‌ها» (RPD= Relative Percent Difference) استفاده شد که در آن تفاوت غلظت نمونه‌های تکراری بر میانگین غلظت تقسیم و رقم حاصله در ۱۰۰ ضرب می‌شود. در صورتی که رقم حاصله کوچک‌تر از ۵ باشد، دقت سنجش‌ها قابل قبول است. در این مطالعه، مقادیر درصد خطا (RPD) برای نمونه‌های تکراری به ترتیب ۳/۷۷ و ۳/۵۴ به دست آمد که

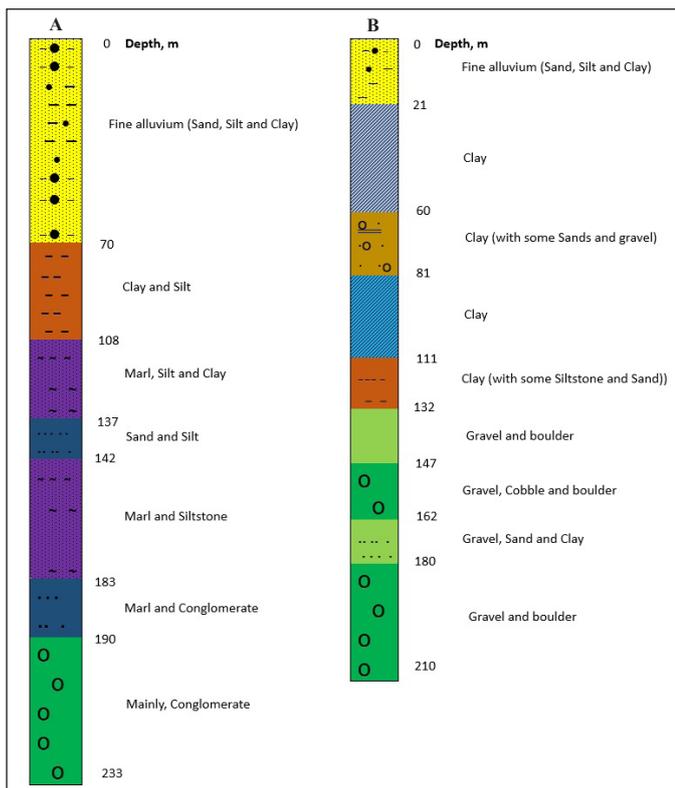
در شرایط ایده‌آل، می‌بایست نمونه‌برداری در دو دوره خشک و تر صورت می‌گرفت، ولی در این مطالعه، سنجش تنها به صورت یک بار پیش‌بینی شده بود. البته، لازم به یادآوری است که در مورد لایه‌های ژرفی زیر شهر کرمان، تغییرات فصلی نیترات ناچیز به نظر می‌رسد؛ و در مورد لایه‌های سطحی، به سبب پوشیده بودن سطح زمین توسط خانه‌ها و آسفالت (به معنی عدم امکان تاثیر شدید تبخیر)، میزان تغییرات نیترات در دوره‌های خشک و تر کم برآورد می‌شود. میانگین غلظت نیترات در دوره‌های خشک و تر در آب‌های زیرزمینی شهر شیراز که به ترتیب ۳۶/۸۹ و ۳۷/۹۷ میلی‌گرم در لیتر بوده است (امیری، ۱۳۹۲) می‌تواند گویای این نکته باشد. با این حال، توصیه می‌شود در مطالعات بعدی، سنجش نیترات در آب‌های زیرزمینی کرمان به تفکیک در دوره‌های خشک و تر صورت گیرد.

در محل نمونه‌برداری؛ دما، pH و هدایت الکتریکی آب (EC) هم سنجیده شدند. مختصات هر نقطه با یک دستگاه GPS تعیین و یادداشت گردید. همچنین، به منظور

نزدیک مرز آن با دشت زرند) قرار دارد. بقایای آثار باستانی موجود در تپه‌های واقع در شمال خاوری شهر گویای قدمت زیاد آن است. به احتمال زیاد، کرمان در ۲ تا ۳ هزار سال پیش (کمی پس از ابداع قنات) و با حفر تعدادی قنات در محل فعلی این شهر و اطراف آن، شکل گرفت. وجود حدود ۶۰ رشته قنات در زیر این شهر (Abbasnejad et al., 2016) گویای مناسب بودن محل از نظر منابع آب زیرزمینی و حفر قنات بوده است. بخش عمده شهر در سطح کفه رسی با شیب ملایم به سمت باختر و شمال باختری قرار دارد. خاک این کفه رسی بسیار حاصلخیز است و بنابراین، قنات‌ها موجب رونق کشاورزی و توسعه شهر شده‌اند.

کرمان در چند دهه گذشته گسترش بسیار زیادی داشته و در حال حاضر محدوده‌ای به وسعت حدود ۱۶۰ کیلومتر مربع را اشغال کرده است. جمعیت فعلی آن حدود ۸۰۰،۰۰۰ نفر است و در اطراف آن کارخانه سیمان، مجتمع شیر پاستوریزه، صنایع جنبی مس و سه شهرک صنعتی قرار دارند. ارتفاع کرمان از سطح دریا از حدود ۱۸۰۰ متر در خاور تا حدود ۱۷۵۵ متر در باختر آن متغیر است. میانگین درجه حرارت آن ۱۶ °C و میانگین بارش سالانه آن ۱۴۸ میلی‌متر است. بنابراین، در یک آب و هوای خشک واقع شده است.

از دیدگاه زمین‌شناختی، این شهر روی رسوبات دوران چهارم قرار دارد که به طور پیوسته رسوبات نئوژن را پوشانده‌اند. رسوبات دوران چهارم زیر شهر به طور عمده شامل رس، سیلت و ماسه می‌باشند و در برخی نقاط عدسی‌های ماسه بادی هم در آن‌ها دیده می‌شوند. ولی، رسوبات نئوژن شامل لایه‌های رسی و مارینی ستبر همراه با لایه‌های کنگلومرای قرمز می‌باشند. به سمت باختر، در میان رسوبات نئوژن، گچ و نمک تبخیری هم وجود دارند که از انحلال آن‌ها یک فروچاله با قطر حدود ۴۵ متر (معروف به فروچاله اختیارآباد) در دهم تیرماه ۱۳۷۷ ایجاد شد (عباس نژاد، ۱۳۸۳). مقایسه ستون زمین‌شناسی چاه شماره یک شرکت تعاونی چند منظوره دانشگاه شهید باهنر کرمان (عباس نژاد، ۱۳۷۷) واقع در خاور شهر، با چاه اکتشافی محله طاهرآباد (CITRA, 1965) واقع در باختر شهر (شکل ۲)، وضعیت کلی رسوبات زیر شهر و روند تغییرات آن در جهت حرکت آب زیرزمینی (خاور به باختر) را نشان می‌دهد. جهت اطلاعات بیشتر در مورد زمین‌شناسی منطقه به عزیزان و همکاران (Azizan et al., 1998) مراجعه شود.



به معنی قابل قبول بودن دقت اندازه‌گیری است. با درج ارقام حاصل از اندازه‌گیری در شیب فایل تهیه شده از شهر کرمان، نقشه تغییرات مکانی غلظت نیترات رسم شد. البته نقشه‌های مقادیر EC، pH و دما هم به طور مشابه تهیه شدند. همچنین، از نرم‌افزارهای SPSS و Excel برای محاسبات آماری و همبستگی پارامترها استفاده شد. در واقع، از آنجا که هیچ گزارشی در مورد شیوه تجهیز چاه‌های شهر وجود ندارد، نمی‌توان به طور مستقیم مقدار غلظت نیترات در دو آب‌خوان زیر شهر را به طور جداگانه سنجید. از این رو، در این مطالعه، به طور غیرمستقیم، و به ویژه، بر اساس وجود دو روند مشخص در نمودار پراکنش مقادیر نیترات در برابر EC، شرایط آلودگی به نیترات در این دو آب‌خوان مورد بررسی قرار گرفته و از شواهد دیگر (مانند ژرفای چاه‌ها) برای تایید آن استفاده شده است.

۱-۲- ارزیابی خطر سلامتی

برای بررسی ریسک احتمالی مواجهه با مواد بالقوه سمی، روش‌های گوناگونی وجود دارد، اما روش اصلی که به مقدار زیاد در پژوهش‌های علمی از آن استفاده می‌شود (Abbasnejad et al., 2024)، روش ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی WHO (2011) است. این روش ریسک سلامتی را از مسیرهای اصلی مواجهه که شامل بلع، استنشاق و تماس پوستی است، محاسبه می‌کند. از آنجا که بیشتر پژوهش‌ها نشان داده‌اند که مسیر بلع راه اصلی رویارویی انسان با نیترات آب است، در این مطالعه، این مسیر با استفاده از رابطه زیر مورد بررسی قرار گرفت (Abbasnejad et al., 2023):

$$\text{خطر سلامتی بلع} = \frac{CW \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

که در آن CW غلظت نیترات (میلی‌گرم در لیتر)، IR میزان مصرف (لیتر / روز)، EF میزان مواجهه (روز / سال)، ED مدت زمان مواجهه (سال)، BW وزن بدن (کیلوگرم) و AT میانگین زمان مواجهه با نیترات (روز) است.

۳- داده‌ها و اطلاعات

۱-۳- معرفی شهر کرمان و آب‌خوان زیر آن

کرمان که بزرگ‌ترین شهر در جنوب‌خاوری کشور است، در شمال دشت کرمان

شکل ۲- ستون زمین‌شناسی چاه‌های طاهرآباد (A) در باختر شهر کرمان و دانشگاه شهید باهنر (B) در خاور شهر کرمان.

Figure 2. Geological column of the Taherabad well (A), located in the western part of Kerman city, and Shahid Bahonar University well (B), located in the eastern part of Kerman city.

بر اساس این جدول، هدایت الکتریکی نمونه‌ها در محدوده ۵۶۲ تا ۸۰۶۰ میکروموس بر سانتی متر متغیر است (با میانگین ۲۹۳۶). این ارقام و نیز شکل ۳ گویای تغییرات شدید هدایت الکتریکی نمونه‌ها است. بر اساس آن، بالاترین مقدار (۸۰۶۰ میکروموس بر سانتی متر) در اختیارآباد دیده می‌شود که هم در جهت پایین دست حرکت آب زیرزمینی قرار دارد و هم بر اساس مطالعات عباس نژاد (۱۳۸۵)، به سبب وجود لایه‌های گچی- نمکی نئوژن و انحلال آن‌ها، دچار نشست زمین به صورت ایجاد فروچاله شده است. باتوجه به شکل ۳، اگرچه افزایش غلظت املاح در آب‌های زیرزمینی شهر در جهت جریان آب زیرزمینی دیده می‌شود، ولی بی‌نظمی‌هایی هم در آن به چشم می‌خورند. عواملی مانند تاثیر متغیر فاضلاب، تغییرات جانبی سنگ‌شناسی و نقش متفاوت دو آب‌خوانی که چاه‌ها از آن‌ها تغذیه می‌شوند، از جمله عوامل تاثیر گذار می‌باشند. در مجموع، هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در بدو ورود به شهر کرمان از خاور، حدود ۱۲۰۰ میکروموس بر سانتی متر است که در باختر شهر (در منطقه اختیارآباد) به ۸۰۶۰ می‌رسد.

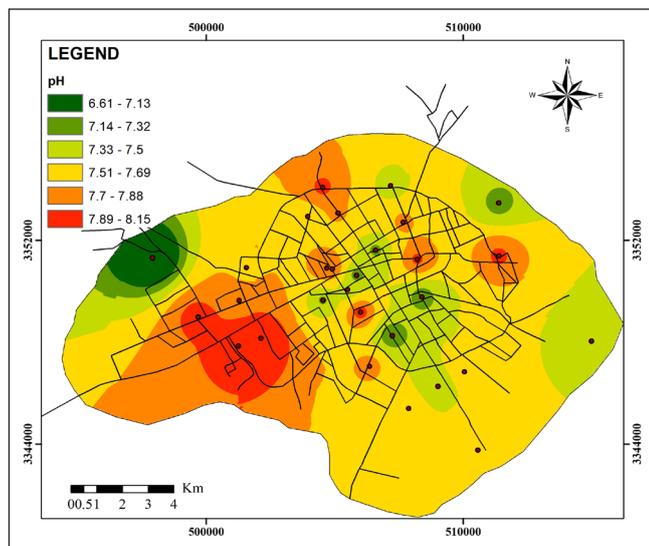
باتوجه به جدول ۱، مقدار pH نمونه‌ها در محدوده ۶/۵ تا ۸/۵ متغیر است (با میانگین ۷/۵). کمترین مقدار آن (در حد ۶/۵) در باختر شهر (اختیارآباد) و بالاترین مقادیر (۸/۵) در مجاورت جاده تهران اندازه گیری شده‌اند. تغییرات pH را می‌توان بر اساس تغییر نوع آنیون چیره در آب‌های منطقه توجیه کرد، بدین ترتیب که در مناطق تغذیه از نوع بی کربنات (یک اسید ضعیف) است و در مناطق تخلیه (اختیارآباد) از نوع اسید قوی (سولفات و کلرید) می‌باشد (شکل ۴). در واقع، در محدوده کوچکی در باختر شهر که مقدار pH کمتر از ۷ است در سال ۱۳۷۷ یک فروچاله ایجاد شد (عباس نژاد، ۱۳۸۳). مطالعات نام‌برده نشان داد که در آن محل گچ و نمک‌های نئوژن حل شده‌اند و این فروچاله محصول ریزش سقف غار ناشی از انحلال آن‌ها است. مقادیر pH کمتر از ۷ در این محل به علت انحلال گچ است که به علت اشتراک یونی با کلسیت (یون کلسیم) سبب فوق اشباع شدن کربنات کلسیم و رسوب گذاری آن می‌شود. درست برعکس انحلال کربنات کلسیم که سبب افزایش pH می‌شود، رسوب گذاری آن pH آب را کاهش می‌دهد (تانی، ۱۳۹۸). توزیع مقادیر pH در سایر نقاط تقریباً عادی است (جدول ۱). مفهوم آن چنین می‌تواند باشد که آب‌های زیرزمینی آب‌خوان‌های سطحی و ژرف از نظر pH تفاوت چندانی ندارند.

در واقع، در محدوده شهر کرمان، آنچه را که «آب‌خوان شهر» نامیده می‌شود، در خاور شهر متشکل از ۲ واحد کنگلومرای قرمز در ژرفای بیش از حدود ۱۳۰ متر است که به سمت باختر آن، به یک واحد کنگلومرای همراه با میان لایه‌های نازک ماری تبدیل می‌شود (شکل ۲). در محدوده این شهر، آب زیرزمینی در جهت خاور به باختر حرکت دارد، ولی به سبب کاهش شدید نفوذپذیری و ستبرای لایه‌ها، این حرکت به شدت کند و محدود است. ژرفای آب زیرزمینی در شهر کرمان در سال‌های گذشته به سبب تغذیه شدید توسط فاضلاب (حدود ۶۰ میلیون مترمکعب) و کاهش نفوذپذیری لایه‌ها در جهت شیب سطح آب زیرزمینی (باختر)، به شدت بالا آمده و در بعضی مناطق زیرزمین ساختمان‌ها هم دچار آب گرفتگی شده است (حسن‌پور، ۱۳۸۹). در پی این مشکل، پروژه زه کشی این آب‌ها در بخش مرکزی شهر که مشکلات آن شدیدتر بوده، مورد اجرا قرار گرفته است. در داخل شهر کرمان، حدود ۴۰ حلقه چاه وجود دارد که تنها بخشی از آب ورودی ناشی از فاضلاب را تخلیه می‌کنند. بدیهی است که این حجم زیاد فاضلاب ورودی به رسوبات نسبتاً ریزدانه سطحی موجب افزایش شایان توجه غلظت نیترات در آب زیرزمینی موجود در این رسوبات می‌شود.

شناسایی و تفکیک لایه‌های آب‌دار به دو روش حفاری و ژئوالکتریک صورت می‌گیرد. در حالی که حفاری‌ها تعداد و موقعیت لایه‌های آب‌دار در زیر شهر کرمان را تا حدی مشخص ساخته‌اند (شکل ۲)، مطالعات ژئوالکتریک انجام شده در این مورد برای دشت کرمان (CITRA, 1965) به دلیل ستبرای زیاد لایه‌های رسی دارای مقاومت الکتریکی کم، موفق به شناسایی و تفکیک لایه‌های آب‌دار ژرفی نشده‌اند. یادآور می‌شود که وجود لایه‌های کم مقاومت سبب کاهش انتقال جریان الکتریکی به ژرفا می‌شود. در عین حال، نزدیک بودن مقاومت الکتریکی لایه‌های رسی با آب‌خوان هم امکان تفکیک را کاهش داده است. ناگفته نماند که اگر چه لاگ‌های زمین شناسی گویای وجود لایه‌های آب‌دار سطحی و ژرفی در زیر این شهر می‌باشند؛ ولی، به دلیل کم بودن تعداد آن‌ها، رسم نقشه جداگانه برای این لایه‌ها امکان‌پذیر نبوده است.

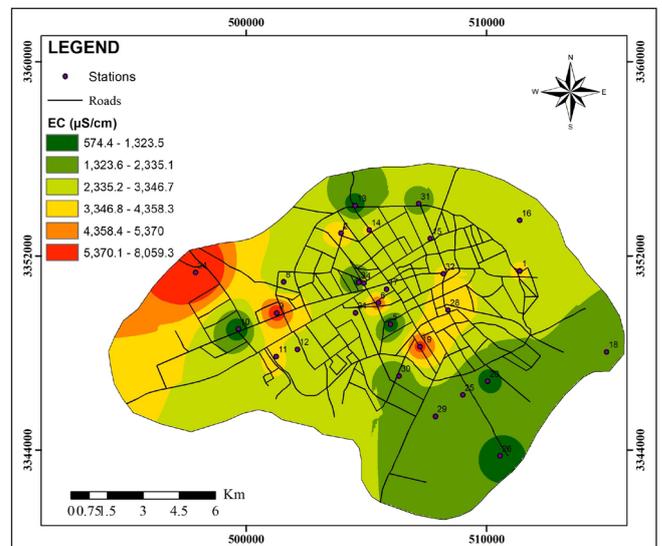
۳-۲- نتایج آنالیز نمونه‌ها

غلظت نیترات و مقادیر EC، pH و دمای نمونه آب‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌اند.



شکل ۴- نقشه مقادیر pH نمونه‌ها.

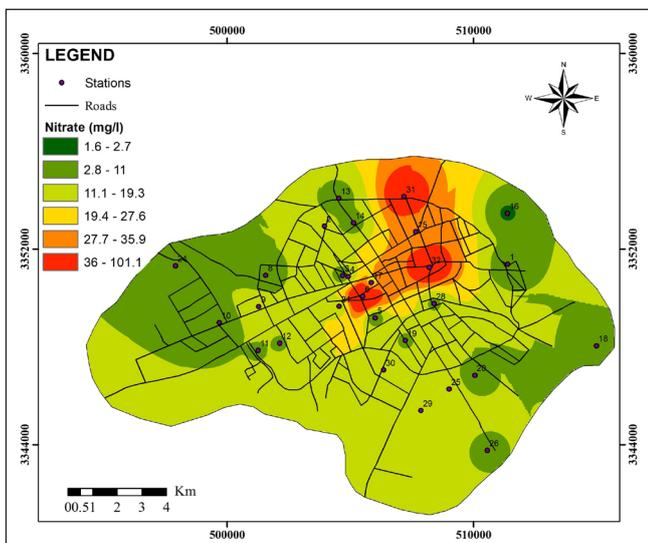
Figure 4. Spatial distribution map of pH values in the samples.



شکل ۳- نقشه تغییرات هدایت الکتریکی نمونه‌های برداشت شده.

Figure 3. Spatial distribution map of electrical conductivity in the collected samples.

غیر آلوده اصولاً کمتر از ۱ میلی گرم در لیتر است (Rezaei et al., 2019). بیشترین مقدار نیترات در نمونه آب چاهی واقع در خیابان خواجو (نمونه شماره ۶) گرفته شده که ۱۰۱/۵ میلی گرم در لیتر است. جالب است که در نمونه شماره ۳۱ (واقع در خیابان سیدی) نیز غلظت نیترات بالا است (۵۳/۲ میلی گرم در لیتر). این محل به نمونه دارای کمترین غلظت نیترات نزدیک می‌باشد. براساس بررسی‌های صحرائی، مشخص شد که در گذشته نزدیک (چند سال پیش از نمونه‌برداری) در این محل یک گاوداری قرار داشته است. از این رو، ادامه شستشوی نیترات موجود در پهنه غیراشباع این منطقه می‌تواند عامل افزایش مقدار نیترات آب زیرزمینی باشد. غلظت نیترات در مرکز شهر نیز به نسبت بالا است، به گونه‌ای که در مسجد جامع واقع در مجاورت میدان مشتاقیه به ۵۵/۴ میلی گرم در لیتر می‌رسد.



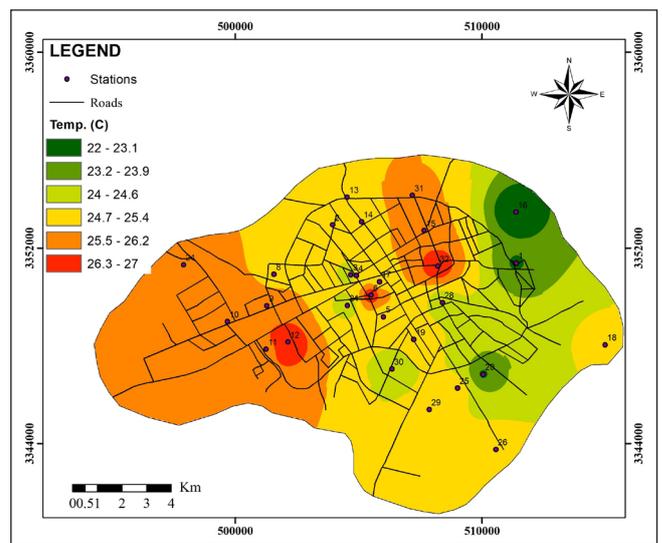
شکل ۶- نقشه تغییرات مقدار نیترات نمونه‌ها.

Figure 6. Spatial distribution map of nitrate concentrations in the samples.

آب زیرزمینی زیر شهر است (عباس نژاد، ۱۳۸۵). همچنین، به‌رغم این که گرادیان هیدرولیک به سمت باختر شهر است (حسن پور، ۱۳۸۹)، غلظت نیترات در باختر شهر کمتر از مرکز شهر است، زیرا که به سبب حذف لایه‌های آب‌دار، ارتباط هیدرولیکی بین باختر با مرکز شهر تقریباً قطع است و باختر شهر از طریق کوه‌های بادامو واقع در انتهای باختری شهر تغذیه می‌شود. در واقع، هاله آلودگی مرکز شهر که نیترات بالایی دارد (شکل ۶) تقریباً راکد است و باید از طریق چاه‌های زه‌کشی تخلیه شود و گرنه بالا آمدن سطح آب در نهایت مشکلاتی برای شهر ایجاد می‌کند. به احتمال، محدوده با ناهنجاری دمای بالا در مرکز و شمال شهر که با هاله آلودگی نیترات (شکل ۶) مطابقت زیادی دارد ناشی از آزاد شدن دما تحت تاثیر تجزیه مواد آلی است.

حسن زاده و همکاران (۱۳۸۹) غلظت‌های تا بیش از ۳۰۰ میلی گرم در لیتر نیترات را برای بخش مرکزی شهر گزارش کرده‌اند. ولی با اجرای طرح زه‌کشی آب‌های زیرزمینی کم ژرفای آلوده، غلظت نیترات کاهش یافته است. بنابراین، مقادیر نیترات فعلی وضعیت کاهش یافته‌ی ناشی از زه‌کشی آب آلوده در مرکز شهر می‌باشند. همچنین، مقایسه نقشه فعلی مقادیر نیترات (شکل ۶) با نقشه تهیه شده توسط حسن زاده و همکاران (۱۳۸۹) گویای آن است که هاله آلودگی به سمت شمال دشت، جایی که سال‌های طولانی محل استقرار یک گاوداری بوده، گسترش یافته است.

براساس جدول ۱، دمای نمونه‌ها بین ۲۲ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد (با میانگین ۲۵) متفاوت است. در شکل ۵، نقشه تغییرات دما نشان داده شده است که گویای افزایش آن از مناطق تغذیه به سمت مناطق تخلیه (در جهت حرکت آب زیرزمینی) است. براساس جدول ۱، مقدار تغییرات نیترات در آب‌های زیرزمینی در محدوده ۱/۵ تا ۱۰۱/۵ میلی گرم در لیتر (با میانگین ۱۶/۲۵) است. در عین حال، نقشه تغییرات مقادیر نیترات در نمونه‌های برداشتی در شکل ۶ نشان داده شده است. کم‌ترین مقدار نیترات (۱/۵ میلی گرم در لیتر) به نمونه شماره ۱۶ تعلق دارد که در محل دانشکده کشاورزی رضوان قرار دارد. این محل یک جبهه ضعیف ورود آب زیرزمینی به شهر است و در بالا دست آن هیچ منبع آلاینده‌ای (زمین کشاورزی یا آبادی) وجود ندارد. به احتمال، این حد از نیترات گویای مقدار زمینه (عدم آلودگی) است. غلظت نیترات در آب



شکل ۵- نقشه تغییرات مقدار دمای نمونه‌ها.

Figure 5. Spatial distribution map of temperature values in the samples.

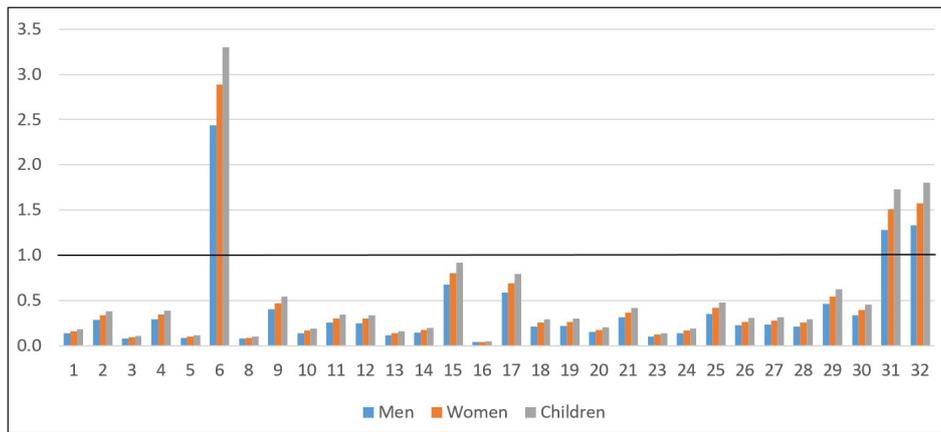
۳-۳- بررسی خطر سلامتی

با توجه به این که در سطح شهر کرمان چاه‌های آب زیادی وجود دارند و از آن‌ها به طور عمده برای مصارف خانگی و آبیاری استفاده می‌شود، در این مطالعه به بررسی خطر سلامتی نیترات در آن‌ها پرداخته شده است. برای بررسی بیشتر، خطر سلامتی برای ۳ گروه مردان، زنان و کودکان محاسبه شد.

همان‌گونه که از نتایج بررسی خطر سلامتی (شکل ۷) مشخص است، بیشترین ریسک آلودگی نیترات در نمونه‌های ۶، ۳۱ و ۳۲ وجود دارد. نمونه ۶، سه برابر حد مجاز (۱) ریسک سلامتی دارد و نمونه‌های ۳۱ و ۳۲ نیز دارای ریسک بیشتر از حد مجاز هستند. همان‌گونه که مشخص است، در بررسی گروه‌های مختلف، خطر سلامتی به ترتیب کودکان < زنان < مردان است (شکل ۸). میانگین ریسک محاسبه شده به ترتیب برای کودکان، زنان و مردان ۰/۵۲، ۰/۴۵ و ۰/۳۸ است. این نتایج بیانگر خطر بیشتر برای کودکان است. بالاتر بودن آن برای کودکان به علت عدم تکامل سیستم ایمنی بدن، رفتارهای پرخطر (مثل خوردن مواد آلوده و گرفتن دست به دهان) و نسبت پایین وزن بدن آن‌ها می‌باشد (Adimalla and Qian, 2019).

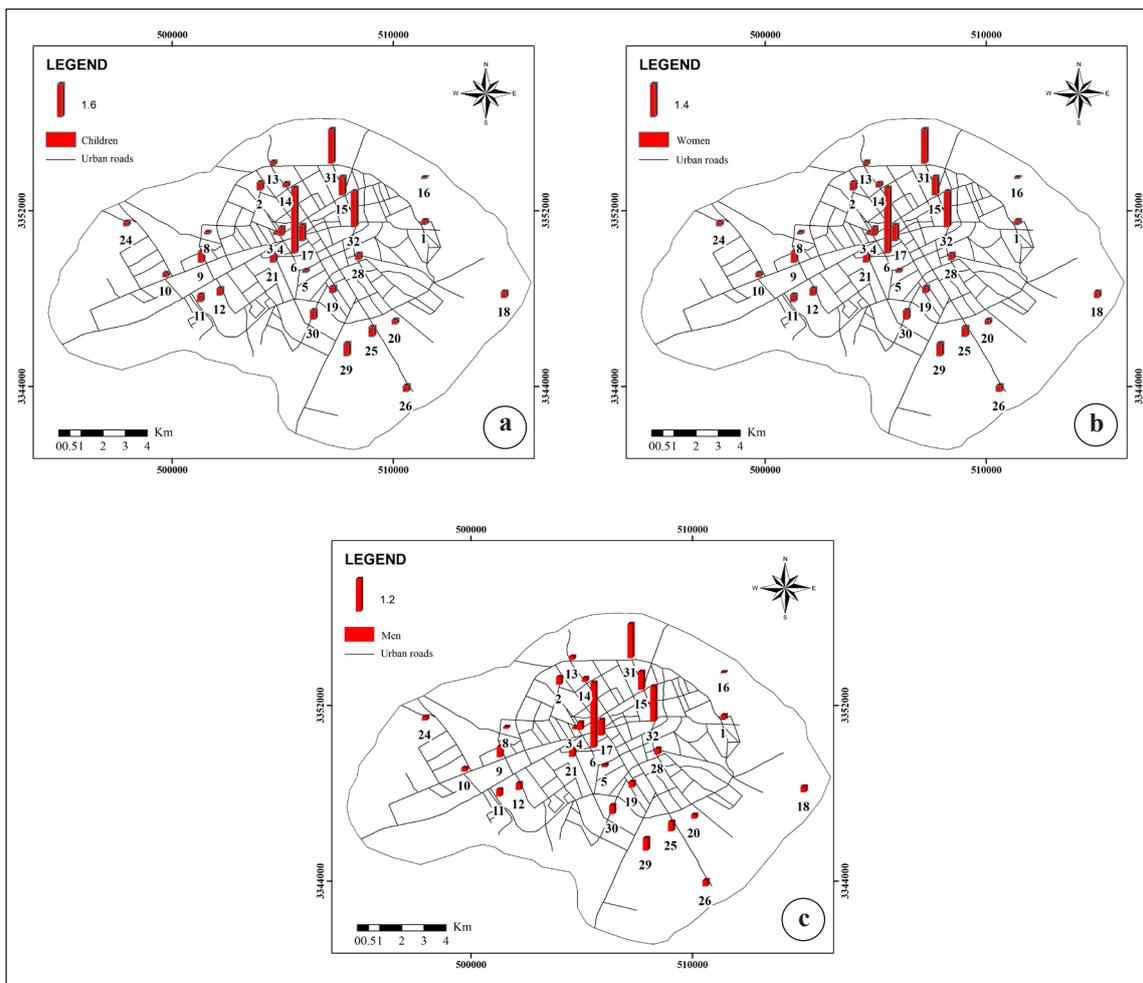
۴- بحث

پایین بودن غلظت نیترات در خاور شهر به این دلیل است که این محور اصلی تغذیه



شکل ۷- مقادیر ریسک سلامتی در ایستگاه‌های نمونه برداری.

Figure 7. Health risk values at the sampling stations.

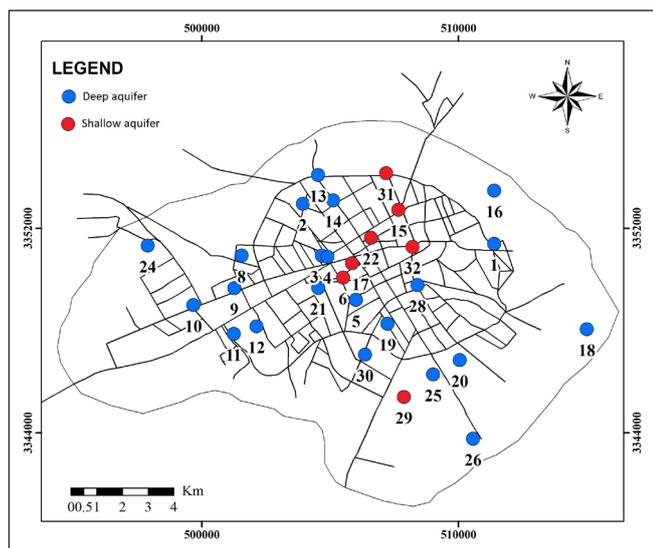


شکل ۸- نقشه ریسک سلامتی نیترات آب زیرزمینی چاه‌های شهر کرمان برای کودکان (a)، زنان (b) و مردان (c).

Figure 8. Nitrate health risk values of water in wells of Kerman city for children (a), women (b) and men (c).

روند دوم متعلق به چاه‌هایی است که فقط از آب‌خوان ژرفی (کنگلومرای) تغذیه می‌شوند و در آن، در حین حرکت آب زیرزمینی، به سبب انحلال گچ و نمک موجود در سیمان کنگلومرای قرمز، مقدار املاح محلول افزایش یافته، ولی به سبب نبود منبع تامین نیترات، تغییری در مقدار نیترات آن صورت نگرفته است. براساس این روند (روند دوم)، مقدار نیترات در آب زیرزمینی موجود در آب‌خوان ژرفی حدود ۱۰ میلی‌گرم در لیتر است. به نظر می‌رسد، به علت عدم جداسازی کامل آب‌خوان آلوده سطحی از آب‌خوان غیرآلوده ژرفی در برخی از چاه‌ها، مقدار نیترات خروجی از آن‌ها اندکی بیش از مقدار زمینه (۱۰ میلی‌گرم در لیتر) است. پراکنندگی چاه‌های تحت تاثیر دو آب‌خوان سطحی و ژرفی در شکل ۱۰ مشخص شده است. بازدیدهای صحرائی و پرس‌وجو در مورد ژرفای چاه‌ها گویای این نکته است که چاه‌هایی که در محدوده روند ۲ قرار دارند، ژرف و با آب‌دهی بالا بوده و به‌طور عمده از کنگلومرای زیرین تغذیه می‌شوند، ولی چاه‌های محدوده روند ۱ چندان ژرف نبوده و به لایه‌های کنگلومرای ژرف برخورد نکرده‌اند، در عین حال که آب‌دهی آن‌ها هم معمولاً بسیار کمتر است. بنابراین، تنها توسط آب‌خوان کم و بیش آلوده سطحی تغذیه می‌شوند.

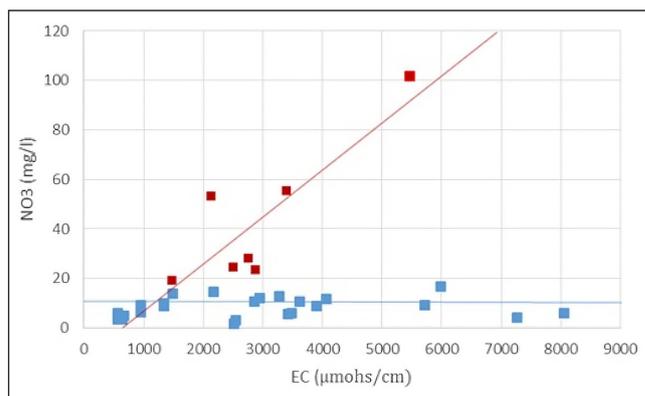
براساس نقشه تغییرات غلظت نیترات (شکل ۶)، اگرچه تاثیر شهر کرمان بر افزایش غلظت نیترات در آب نمونه‌های برداشت شده آشکار و قطعی است، ولی با توجه به وجود آب‌خوان‌های سطحی و ژرفی در زیر شهر، لازم است آلودگی به نیترات به تفکیک نوع آب‌خوان مورد بررسی قرار گیرد. نکته شایان توجه این است که آب‌خوان سطحی اصولاً دریافت‌کننده فاضلاب است و توسط لایه‌های متراکم رسی با ستبری بیش از ۵۰ متر از آب‌خوان ژرفی جدا شده است. بدیهی است که امکان انتقال آلاینده‌های سطحی از چنین ستبرایی از رسوب رسی متراکم و رسیدن به لایه‌های ژرفی دور از ذهن است. بنابراین، به منظور بررسی وضعیت آلودگی نیترات در این ۲ گروه، نمودار همبستگی نیترات در برابر هدایت الکتریکی رسم شد (شکل ۹). در این نمودار، دو روند مشخص به چشم می‌خورد. در روند (۱) همبستگی مثبت بین نیترات و هدایت الکتریکی دیده می‌شود. در حالی که در روند (۲) با افزایش هدایت الکتریکی مقدار نیترات تقریباً تغییر نکرده است. در واقع، روند (۱) مربوط به آب‌خوان سطحی است که تحت تاثیر فاضلاب شهر به شدت آلوده است و با افزایش تاثیر فاضلاب، هم مقدار املاح (هدایت الکتریکی) و هم غلظت نیترات زیاد می‌شود.



شکل ۱۰- موقعیت چاه‌های تغذیه شونده توسط دو آب‌خوان کم ژرفا (قرمز) و ژرف (آبی).

Figure 10. Location of the wells recharged by the shallow aquifer (red) and the deep aquifer (blue).

داده است. بر اساس آن، غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی ورودی به آب‌خوان زیر شهر کرمان از سمت خاور (محور تغذیه اصلی) حدود ۱۰ میلی‌گرم در لیتر است. غنچه‌لی پور (۱۳۹۰) غلظت آن در آب زیرزمینی ورودی به آب‌خوان زیر شهر کرمان از سمت خاور را حدود ۱۱ میلی‌گرم در لیتر گزارش کرده است. در جدول ۲ مقادیر جمعیت و کمینه، بیشینه و میانگین غلظت نیترات در کرمان با چند شهر دیگر ایران مورد مقایسه قرار گرفته است. با توجه به آن، مقادیر بیشینه نیترات به نحو بهتری با جمعیت شهرها هماهنگی نشان می‌دهند. مقادیر میانگین تحت تاثیر تعداد کل نقاط نمونه برداری، تعداد نقاط نمونه برداری از حومه شهر و شرایط آب‌های زیرزمینی هر شهر هم می‌باشند. البته، مقدار بیشینه، افزون بر جمعیت هر شهر، از تراکم جمعیت، وجود یا عدم وجود شبکه جمع‌آوری فاضلاب، میزان حرکت آب زیرزمینی، ژرفای آب زیرزمینی و سایر ویژگی‌های آب‌خوان نیز تاثیر می‌پذیرد. مقدار بیشینه نیترات در آب‌های زیرزمینی شهر کرمان (۱۰/۵ میلی‌گرم در لیتر)



شکل ۹- نمودار همبستگی مقادیر هدایت الکتریکی و نیترات نمونه‌ها.

Figure 9. Correlation diagram between EC and nitrate concentrations in the samples.

همان گونه که بیان شد، غلظت نیترات در آب‌خوان ژرفی که توسط فاضلاب شهر کرمان آلوده نشده است حدود ۱۰ میلی‌گرم در لیتر است که از کمینه غلظت (۱/۵ میلی‌گرم در لیتر) بیشتر می‌باشد. دلیل بیشتر بودن آن چنین است که جبهه اصلی تغذیه آب‌های زیرزمینی آب‌خوان ژرفی زیر شهر (کنگلومرای قرمز) در خاور شهر قرار دارد و مقدار نیترات این آب‌های زیرزمینی از کوهستان‌های تغذیه‌کننده (کوه‌های سیرج- گلباف و کوهستان جوپار) تا رسیدن به شهر کرمان افزایش یافته و به رقم ۱۰ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. بنابراین، غلظت نیترات آب‌های زیرزمینی جبهه اصلی ورودی به شهر کرمان از کوهستان تا رسیدن به شهر کرمان افزایش می‌یابد. بیشترین سهم این آلودگی مربوط به آبادی‌ها و مزارع حاشیه دشت است که در آنجا آب‌خوان کنگلومرای به سطح زمین رسیده و از آب برگشتی کشاورزی و فاضلاب روستاها تاثیر می‌پذیرد.

عباس نژاد (۱۳۹۹) نقشه غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی دشت کرمان را ارائه

زیرزمینی، غلظت نیترات افزایش نشان می‌دهد. در مقایسه، مقادیر نیترات در شهر نورآباد (۱۱۲/۷ میلی‌گرم در لیتر) (حسینی، ۱۳۹۳)، به نسبت جمعیت این شهر (۵۷۰۰۰ نفر) بیش از کرمان است که دلیل آن مشخص نیست.

در مقایسه با شیراز (۱۴۹ میلی‌گرم در لیتر) و بیرجند (۸۶ میلی‌گرم در لیتر) تا حدی منطقی به نظر می‌رسد، ولی در مقایسه با شهر بندرعباس (۱۱۲ میلی‌گرم در لیتر) اندکی پایین است. به احتمال، در بندرعباس به سبب بالا بودن سطح آب‌های

جدول ۲- مقایسه جمعیت و مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین غلظت نیترات آب زیرزمینی در شهر کرمان با چند شهر دیگر.

Table 2. Comparison of population and minimum, maximum and average nitrate levels in groundwater of Kerman with several other cities.

No.	City	Population	Min	Max	Mean	No. of samples	Source
1	Kerman	800,000	1.5	101.5	16.3	32	This study
2	Shiraz	1,700,000	3	149	37.5	30	Jahandari (2014)
3	Bandar Abbas	527,000	5	112	45	20	Hasanzadeh (2019)
4	Birjand	203,000	3.03	86	27.2	23	Ahmadi (2015)
5	Jiroft	130,000	15.4	54.3	23.5	20	Heydari (2011)
6	Jahrom	70,000	3.3	50.2	16.9	20	Zekavatbakhsh (2013)
7	Nourabad	57,000	18	112.7	42	30	Hassani (2014)
8	Shahr-e Babak	51,000	8.8	68	24	25	Normandi (2014)
9	Estahban	36,000	9	44	20.5	22	Safarinezhad (2015)
10	Bardsir	30,000	0.9	94.9	22.4	27	Shoaei (2013)

۵- نتیجه‌گیری

بر اساس این مطالعه، در زیر شهر کرمان دو آب‌خوان (سطحی و ژرفی) وجود دارد که آب‌خوان سطحی متشکل از رسوبات غیرمتراکم رسی، سیلتی و ماسه‌ای است. فاضلاب خانگی تخلیه شونده در چاه‌های جاذب وارد آن می‌شود. آب آن کم‌وبیش نسبت به نیترات آلوده است. شدت آلودگی در مرکز شهر بیش از سایر نقاط است. این نیترات به طور عمده منشأ فاضلابی دارد، ولی نیترات کودهای اضافه شده به فضاهای سبز داخل شهر و نیز نیترات گاوداری شمال شهر هم تاثیر دارند. بر اساس شواهد هیدروژئوشیمیایی حاصل از این مطالعه، آب‌خوان کنگلومرایی ژرفی که توسط لایه‌های رسی سبتر و متراکم از آب‌خوان آلوده سطحی جدا شده، در اثر فاضلاب شهر آلوده نشده است. غلظت نیترات در آن حدود ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بوده و بنابراین، زیر حد مجاز ۵۰ میلی‌گرم در لیتر قرار دارد. توصیه می‌شود برای برداشت آب زیرزمینی جهت فضاهای سبز داخل شهر از آب‌خوان سطحی بهره‌برداری شود؛ و در صورت نیاز، می‌توان حتی در داخل شهر از آب‌خوان ژرفی غیرآلوده برای

تامین آب آشامیدنی استفاده کرد. البته، بهتر است پیش از این نوع بهره‌برداری، غلظت ترکیبات مهم دیگر (به ویژه آرسنیک) در آب آن اندازه‌گیری شود. در بررسی ریسک سلامتی، مشخص شد در ۳ حلقه چاه خطر نیترات بیش از حد مجاز است و لازم است برای آشامیدن استفاده نشوند. همچنین، لازم است تجهیز چاه‌هایی که از آب‌خوان ژرفی برای آشامیدن برداشت می‌کنند، به دقت صورت گیرد؛ به گونه‌ای که نسبت به آب‌خوان آلوده سطحی به خوبی جداسازی شوند تا آب سطحی آلوده وارد چاه‌ها نشود. به‌طور کلی، این نتیجه‌گیری که در زیر شهر کرمان آب‌خوان وجود دارد که نوع سطحی آلوده است و آب‌خوان ژرفی بر اساس غلظت نیترات آلوده نیست، از نظر مدیریت منابع آب زیرزمینی شهر و نوع استفاده از آن‌ها دارای اهمیت زیادی است. در هر حال، برای تعیین نقش عوامل مختلف در افزایش نیترات آب نیاز به انجام مطالعات ایزوتوپی است؛ و نیز، برای تایید کیفیت آب در آب‌خوان‌های سطحی و ژرفی، سنجش غلظت یون‌های اصلی توصیه می‌شود.

کتابنگاری

- احمدی، ع.، ۱۳۹۴، بررسی شرایط و مسائل زمین‌شناسی شهری بیرجند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۰۴ص.
- اسمعیلی، س.، اصغری مقدم، ا.، برزگر، ر.، کاظمیان، ن.، ۱۳۹۷، عوامل موثر بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت قره ضیال‌الدین، استان آذربایجان غربی، فصلنامه علمی علوم زمین، سال ۲۷، شماره ۱۰۸، ص ۲۴۵-۲۵۶. gsj.2017.79556.1063/10.22071
- امیری، ه.، ۱۳۹۲، ارزیابی آلودگی و تفکیک منشأ نیترات در سفره آب زیرزمینی شهری دشت شیراز، رساله دکترا، دانشگاه شیراز.
- تائبی، ا.، ۱۳۹۸، کیفیت آب، مابانی و محاسبات، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ۶۲۷ص.
- جهاننداری، ا.، ۱۳۹۳، بررسی مسائل زمین‌شناسی شهری شیراز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۹۶ص.
- حاج‌ملک، س.، ۱۳۸۶، تأثیرات شهر کرمان بر منابع آب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۰ص.
- حسن‌پور، ن.، ۱۳۸۹، عوامل و پیامدهای زیست‌محیطی بالاآمدگی سطح ایستابی در زیر شهر کرمان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۴۸ص.
- حسن‌زاده، ا.، ۱۳۹۸، بررسی شرایط و مسائل زمین‌شناسی شهری بندرعباس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۸۲ص.

- حسن‌زاده، ر.، ۱۳۸۵، بررسی شرایط و مسائل زمین‌شناسی شهری کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۴۰ ص.
- حسن‌زاده، ر.، عباس‌نژاد، ا. و حمزه، م.، ۱۳۸۹، ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی محدوده شهر کرمان، محیط‌شناسی، شماره ۵۶، ص ۱۰۱-۱۱۰.
- حسینی، م.، ۱۳۹۳، ارزیابی شرایط و مشکلات زمین‌شناسی شهری نورآباد ممسنی (استان فارس) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۶۵ ص.
- حیدری، م.، ۱۳۹۰، بررسی شرایط و مسائل زمین‌شناسی شهری جیرفت با کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۶۶ ص.
- ذکاویت‌بخش، ف.، ۱۳۹۲، زمین‌شناسی شهری چهرم با استفاده از GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۵۷ ص.
- شجاع‌الدینی، ز.ف.، ۱۳۹۴، زمین‌شناسی شهری میناب با استفاده از GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۶۵ ص.
- شعاعی، ف.، ۱۳۹۲، مطالعه زمین‌شناسی شهری بردسیر با کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۴۷ ص.
- صفری‌نژاد، ف.، ۱۳۹۴، زمین‌شناسی شهری استهبان با استفاده از GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۴۸ ص.
- عباس‌نژاد، ا.، ۱۳۷۷، لاگ زمین‌شناسی چاه شماره ۱ اراضی کشاورزی کارکنان دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- عباس‌نژاد، ا.، ۱۳۸۳، فوجاله کارستی در اختیارآباد، شمال‌غرب کرمان، فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین، ۱۱ (۵۱-۵۲)، ص ۲۸-۳۵.
- عباس‌نژاد، ا.، ۱۳۸۵، گزارش آلودگی منابع آب شهرستان کرمان، سازمان حفاظت محیط‌زیست استان کرمان، ۳۳۹ ص.
- عباس‌نژاد، ا.، ۱۳۹۰، خاک‌شناسی برای زمین‌شناسان، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۵۳۵ ص.
- عباس‌نژاد، ا.، ۱۳۹۹، گزارش کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت‌های استان کرمان، شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان.
- غنجعلی‌پور، ف.، ۱۳۹۰، هیدروژئوشیمی زیست محیطی منابع آب زیرزمینی دشت کرمان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۶۲ ص.
- معمدنی، ف.، ۱۳۹۱، زمین‌شناسی شهری زرنده با استفاده از GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۵۲ ص.
- مقدسی، م.س.، ۱۳۸۵، آلودگی نیتراتی آب زیرزمینی در مناطق شهری ایران. اولین همایش مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، ۹ ص.
- نورمندی‌پور، ن.، ۱۳۹۳، بررسی شرایط و مسائل زمین‌شناسی شهری شهر بابک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۸۴ ص.

References

- Abbasnejad, A., 1998. Geological log of well No. 1, Agricultural Lands of Shahid Bahonar University of Kerman. (in Persian), Shahid Bahonar University of Kerman, Internal Report.
- Abbasnejad, A., 2004. Karstic sinkhole in Ekhtiarabad, northwest of Kerman. (in Persian), Journal of Earth Sciences, 11(51-52), 28-35.
- Abbasnejad, A., 2006. Report on water resource pollution in Kerman County. (in Persian), Department of Environment, Kerman Province, 339 p.
- Abbasnejad, A., 2011. pedology for Geologists. (in Persian), Shahid Bahonar University of Kerman Press, 535 p.
- Abbasnejad, A., 2020. Report on groundwater quality of plains in Kerman Province. (in Persian), Kerman Regional Water Company.
- Abbasnejad, A., Abbasnejad, B., Derakhshani, R., and Hemmati Sarapardeh, A., 2016. Qanat hazard in Iranian urban areas: explanation and remedies. Environ. Earth Sci., 75(19), 1-14.
- Abbasnejad, B., Abbasnejad, A., and Derakhshani, R., 2023. Groundwater evaluation of northern Jazmourian (south Iran) for drinking, agriculture, and associated health risks of nitrate and fluoride contamination. Hum. Ecol. Risk Assess., 29(1), 36-57.
- Abbasnejad, B., Abbasnejad, A., Fakhradini, S.S., and Dehbandi, R., 2024. Arsenic and fluoride occurrence in groundwater of an alluvial fan-delta junction zone in an arid climate: Implication for potential health risk and irrigation water quality. Environmental Science and Pollution Research, 31(45), 56697-56717.
- Addiscott, T.M., Whitmore, A.P., and Powlson, D.S., 1991. Farming, fertilizers and the nitrate problem. CAB International (CABI).
- Adelana, S.A., 2005. Water and human health. Water Encycl., 1, 19-30.
- Adimalla, N., and Qian, H., 2019. Hydrogeochemistry and fluoride contamination in the hard rock terrain of central Telangana, India: analyses of its spatial distribution and health risk. SN Appl. Sci., 1(3), 202.
- Adimalla, N., and Wu, J., 2019. Groundwater quality and associated health risks in a semi-arid region of south India: Implication to sustainable groundwater management. Hum. Ecol. Risk Assess., 25(1-2), 191-216.
- Ahmadi, A., 2015. Investigation of urban geological conditions and problems of Birjand. (in Persian) M.Sc. thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, 204 p.
- Amiri, H., 2013. Assessment of pollution and identification of nitrate sources in the urban groundwater aquifer of Shiraz Plain. (in Persian) Ph.D. thesis, Shiraz University.
- Azizan, H., Shahraki, A., and Seifuri, S., 1998. Geological map of Kerman (1:100,000). Geological Survey of Kerman.
- Bao, Z., Hu, Q., Qi, W., Tang, Y., Wang, W., Wan, P., Chao, J., and Yang, X.J., 2017. Nitrate reduction in water by aluminum alloys particles. J. Environ. Manage., 196, 666-673.
- CITRA, 1965. Etude sur le developement de l'utilisation des eaux souterraines dans la zone de Kerman.
- Corniello, A., Ducci, D., and Ruggieri, G., 2007. Areal identification of groundwater nitrate contamination sources in periurban areas. J. Soils Sediments, 7(3), 159-166.
- Craun, G.F., 1984. Health aspects of ground-water pollution. In: Bitton, G., and Gerba, C.P. (eds.), Groundwater Pollution Microbiology.
- Esmaeili, S., Asghari Moghadam, A., Barzegar, R., and Kazemian, N., 2018. Factors affecting the chemical quality of groundwater in Qarah Ziaeddin Plain, West Azerbaijan Province. (in Persian) Earth Sciences Journal, 27(108), 245-256. 10.22071/gsj.2017.79556.1063.
- Ghonchealipour, F., 2011. Environmental hydrogeochemistry of groundwater resources in Kerman Plain. (in Persian), M.Sc. thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, 162 p.

- Haj-Malek, S., 2007. *Impacts of Kerman City on water resources. (in Persian) M.Sc. thesis, Shahrood University of Technology, 130 p.*
- Hassani, M., 2014. *Evaluation of urban geological conditions and problems of Nourabad Mamasani (Fars Province) using GIS. (in Persian) M.Sc. thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, 165 p.*
- Hassanpour, N., 2010. *Environmental factors and consequences of groundwater level rise beneath Kerman City. (in Persian) M.Sc. thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, 148 p.*
- Hassanzadeh, A., 2019. *Investigation of urban geological conditions and problems of Bandar Abbas. (in Persian) M.Sc. thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, 182 p.*
- Hassanzadeh, R., 2006. *Investigation of urban geological conditions and problems of Kerman using GIS. (in Persian) M.Sc. thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, 140 p.*
- Hassanzadeh, R., Abbasnejad, A., and Hamzeh, M., 2010. *Assessment of groundwater pollution in Kerman urban areas. (in Persian) Environmental Studies, 56, 101–110.*
- Hassanzadeh, R., Abbasnejad, A., and Hamzeh, M.A., 2011. *Assessment of groundwater pollution in Kerman urban areas. J. Environ. Stud., 36(56), 101–110.*
- Heydari, M., 2011. *Study of urban geological conditions and problems of Jiroft using GIS. (in Persian) M.Sc. thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, 166 p.*
- ISIRI 1053, 5th Revision 1997. *Drinking Water-Physical and Chemical Specifications. Industrial Research and Standard Institute of Iran. Tehran, Iran.*
- Jahandari, A., 2014. *Investigation of urban geological conditions of Shiraz using Geographic Information System (GIS). (in Persian) M.Sc. thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, 196 p.*
- Jahandari, A., Abbasnejad, A. and Jamasb, R., 2020. *Concentration, likely sources, and ecological risk assessment of potentially toxic elements in urban soils of Shiraz City, SW Iran: a preliminary assessment. Arabian Journal of Geosciences, 13, pp.1-10.*
- Jahangir, M.M., Johnston, P., Khalil, M.I., and Richards, K.G., 2012. *Linking hydrogeochemistry to nitrate abundance in groundwater in agricultural settings in Ireland. J. Hydrol., 448, 212–222.*
- Jalali, M., 2011. *Nitrate pollution of groundwater in Toyserkan, western Iran. Environ. Earth Sci., 62(5), 907–913.*
- Kazemi, G.A., 2011. *Impacts of urbanization on the groundwater resources in Shahrood, Northeastern Iran: Comparison with other Iranian and Asian cities. Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C, 36(5–6), 150–159.*
- Lewis, W.J., Farr, J.L., and Foster, S.S.D., 1980. *The pollution hazard to village water supplies in eastern Botswana. Proc. Inst. Civ. Eng., 69(2), 281–293.*
- Moghaddasi, M.S., 2006. *Nitrate pollution of groundwater in urban areas of Iran. (in Persian), First Conference on Environmental Engineering, University of Tehran, 9 p.*
- Motamednia, F., 2012. *Urban geology of Zarand using GIS. (in Persian), M.Sc. thesis, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, 152 p.*
- Muramoto, J., 1999. *Comparison of nitrate content in leafy vegetables from organic and conventional farms in California. Center for Agroecology and Sustainable Food Systems, Univ. of California, Santa Cruz.*
- Normandipour, N., 2014. *Investigation of urban geological conditions and problems of Shahr-e Babak using GIS. (in Persian), M.Sc. thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, 184 p.*
- Parvizishad, M., Dalvand, A., Mahvi, A.H., and Goodarzi, F., 2017. *A review of adverse effects and benefits of nitrate and nitrite in drinking water and food on human health. Health Scope, 6(3).*
- Rezaei, H., Jafari, A., Kamarehie, B., Fakhri, Y., Ghaderpoury, A., Karami, M.A., Ghaderpoori, M., Shams, M., Bidarpoor, F., and Salimi, M., 2019. *Health-risk assessment related to the fluoride, nitrate, and nitrite in the drinking water in Sanandaj, Kurdistan County, Iran. Hum. Ecol. Risk Assess., 25(5), 1242–1250.*
- Safarinezhad, F., 2015. *Urban geology of Estahban using GIS. (in Persian) M.Sc. thesis, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, 148 p.*
- Schwartz, F.W., and Zhang, H., 2002. *Fundamentals of Ground Water. John Wiley & Sons.*
- Shoaei, F., 2013. *Urban geology of Bardsir using GIS. (in Persian) M.Sc. thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, 147 p.*
- Shojaoddini, Z.F., 2015. *Urban geology of Minab using GIS. (in Persian) M.Sc. thesis, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, 165 p.*
- Spalding, R.F., and Exner, M.E., 1993. *Occurrence of nitrate in groundwater—a review. J. Environ. Qual., 22(3), 392–402.*
- Taebi, A., 2019. *Water quality: Principles and calculations. (in Persian) Isfahan University of Technology Press, 627 p.*
- Tew, K., 2018. *Fetter C.W., Boving T., Kreamer D. (eds.), Contaminant Hydrogeology. Environ. Earth Sci., 77(22), 1–2.*
- US EPA, 2011. *Drinking water standards and health advisories.*
- Wakida, F.T., and Lerner, D.N., 2005. *Non-agricultural sources of groundwater nitrate: a review and case study. Water Res., 39(1), 3–16.*
- WHO, 2011. *Guidelines for drinking water quality: first addendum to the fourth edition. J. Am. Water Works Assoc., 109(7), 44–51.*
- Zekavatbakhsh, F., 2013. *Urban geology of Jahrom using GIS. (in Persian) M.Sc. thesis, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, 157 p.*