

Evaluation of Leachate Quality and its Effects on Agriculture in the Vicinity of Zanjan Landfill

Z. Khodaverdi¹, A. Hosseini Baghanam², V. Nourani³

1. MSc. of Environmental Engineering, Dept. of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2. Assist. Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
(Corresponding Author) hosseinibaghanam@gmail.com
3. Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

(Received Oct. 19, 2021 Accepted Feb. 6, 2022)

To cite this article:

Khodaverdi, Z., Hosseini Baghanam, A., Nourani, V. 2022. "Evaluation of leachate quality and its effects on agriculture in the vicinity of Zanjan landfill" Journal of Water and Wastewater, 33(2), 75-88.
Doi: 10.22093/wwj.2021.311047.3187. (In Persian)

Abstract

Landfills can be considered as a potential threat to groundwater resources, considering the potential of groundwater pollution by leachate with the pollutants such as hydrocarbons and heavy metals. In this study, spatial changes in groundwater quality used in agriculture, in the vicinity of landfill site of municipal solid wastes in the southwest of Zanjan city were investigated. For this purpose, analysis of 18 physicochemical, heavy metals and bacterial parameters in leachate and 14 groundwater samples were investigated around the dumpsite up to a 5 km radius from landfill during two sampling periods (i.e., December 2020 and June 2021). In this study, several indices including leachate pollution index, sodium absorption ratio, Killie index, soluble sodium percentage and permeability index were used to investigate groundwater pollution in the study area due to leachate or other sources. According to the results of LPI, none of the groundwater samples were polluted with leachate. Also, the quality of these resources for use in agriculture was evaluated favorably according to SAR, KR and PI indices, however, according to SSP, 64% and 86% of samples during December 2020 and June 2021, respectively, were reported polluted. In general, the results of qualitative study of groundwater samples in dry season (December 2020) were more pronounced than pollutants. Although based on the results of agricultural indicators and LPI in well number 5 as the closest well to the landfill, no contamination by leachate has been reported, however the high chlorine



concentration which was at maximum of allowed range, the potential dangers of landfill leachate were shown. It is noted that chlorine acts as a leachate detector in groundwater. Therefore it is recommended that monitoring wells be dug at different depths and at distances of less than one kilometer from the landfill, and sampling be done in successive periods to determine even the smallest effects of leachate on groundwater.

Keywords: Sodium Absorption Ratio, Sodium Soluble Percentage, Kelley Ratio, Permeability Index, Leachate, Leachate Pollution Index, Water Quality in Agriculture.



مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۳، شماره ۲، صفحه: ۷۵-۸۸

ارزیابی کیفیت شیرابه و تأثیرات آن بر کشاورزی در مجاورت محل دفن زباله شهر زنجان

زهرة خداوردی^۱، آیدا حسینی بقانام^۲، وحید نورانی^۳

- ۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط‌زیست، گروه مهندسی آب،
دانشکده عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده عمران،
دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
hosseinibaghanam@gmail.com (نویسنده مسئول)
۳- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده عمران،
دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(دریافت ۱۴۰۰/۷/۲۷ پذیرش ۱۴۰۰/۱۱/۱۷)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:

خداوردی، زه، حسینی بقانام، آ، نورانی، و، ۱۴۰۱، "ارزیابی کیفیت شیرابه و تأثیرات آن بر کشاورزی در مجاورت محل دفن زباله شهر زنجان"

مجله آب و فاضلاب، ۳۳(۲)، ۷۵-۸۸. Doi: 10.22093/wwj.2021.311047.3187

چکیده

با توجه به احتمال نشست شیرابه موجود در محل‌های دفن زباله به داخل آبخوان و امکان وجود آلاینده‌هایی مانند هیدروکربن‌ها و فلزات سنگین، می‌توان محل‌های دفن را به‌عنوان یک تهدید بالقوه برای منابع آب زیرزمینی به‌شمار آورد. در این پژوهش، تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی، در مجاورت محل دفن پسماندهای جامد شهری واقع در یک منطقه کشاورزی در جنوب غربی شهر زنجان بررسی شد. برای این منظور تجزیه و تحلیل ۱۸ پارامتر فیزیکوشیمیایی، فلزات سنگین و باکتریایی در شیرابه محل دفن و ۱۴ نمونه آب زیرزمینی تا شعاع ۵ کیلومتری از محل دفن در طی دو دوره نمونه‌برداری (آذرماه ۱۳۹۹ و خردادماه ۱۴۰۰) بررسی شد. در این پژوهش برای بررسی میزان آلاینده‌های شیرابه و نیز میزان آلودگی آبهای زیرزمینی منطقه ناشی از شیرابه و یا سایر منابع از شاخص‌های مختلفی از جمله شاخص آلودگی شیرابه، نسبت جذب سدیم، شاخص کیلی، شاخص نفوذپذیری و درصد سدیم محلول استفاده شد. با توجه به نتایج شاخص LPI آلودگی آبهای نمونه‌برداری شده با شیرابه بررسی شد و نتایج، حاکی از عدم آلودگی منابع آبی بررسی شده به شیرابه است. همچنین کیفیت این منابع برای استفاده در کشاورزی طبق شاخص‌های SAR، KR و PI مطلوب، ارزیابی شد و صرفاً شاخص SSP در ۶۴ و ۸۶ درصد نمونه‌ها به‌ترتیب در آذرماه ۱۳۹۹ و خردادماه ۱۴۰۰، آلوده گزارش شد. در حالت کلی نتایج حاصل از بررسی کیفی نمونه‌های آب زیرزمینی در فصل خشک (آذرماه ۱۳۹۹) نمود بیشتری از آلاینده‌ها دارد. همچنین با وجود اینکه بر اساس نتایج حاصل از شاخص‌های کشاورزی و LPI در چاه ۵ به‌عنوان نزدیک‌ترین چاه به محل دفن، عدم آلودگی توسط شیرابه گزارش شد، اما با توجه به خطرات بالقوه شیرابه محل دفن واقع در منطقه که حاوی مقدار نسبتاً زیادی از غلظت کلر است و به‌عنوان یک شناساگر شیرابه عمل می‌کند، پیشنهاد می‌شود چاه‌های نظارتی در اعماق مختلف و در فواصل کمتر از ۱ کیلومتر نسبت به محل دفن حفر شود و نمونه‌برداری طی دوره‌های متوالی انجام شود تا کوچکترین تأثیرات شیرابه بر آبهای زیرزمینی مشخص شود.

واژه‌های کلیدی: SAR، SSP، KR، PI، شیرابه، LPI، کیفیت آب در کشاورزی



۱- مقدمه

کمبرود آب شیرین یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها در قرن حاضر است. به دلیل کمبود منابع آب موجود به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، حفاظت از این منابع به لحاظ کیفی و کمی اهمیت ویژه‌ای دارد (Baghanam et al., 2020). آبهای زیرزمینی از مهم‌ترین منابع آبی برای استفاده در مصارف شرب، کشاورزی و اهداف صنعتی است (Kamble and Saxena, 2017) که به دلیل محفوظ بودن نسبی، حاوی مواد معلق و یا آلی نیستند و بر همین اساس آلودگی کمتری دارند، اما در صورت آلودگی کیفیت آن به راحتی قابل بازیابی نیست (Dohare et al., 2014). بر اساس مرور ادبیات فنی، نفوذ آلودگی از طریق مراکز دفن زباله، کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی موجود را در پی داشته است (Stefania et al., 2019).

رویکرد این پژوهش بررسی آلودگی آبهای زیرزمینی ناشی از شیرابه بود. علی‌رغم وجود استراتژی‌های مختلف در زمینه مدیریت پسماند، همچون کاهش در تولید زباله‌ها، کمپوست‌سازی، سوزاندن و بازیافت، متداول‌ترین روش مدیریت پسماند در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، دفن آن است (Talalaj and Biedka, 2016) که امکان آلودگی آبهای منطقه به شیرابه در این روش بسیار زیاد است. ویژگی‌های خاص ترکیبات پسماند شهری در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران از جمله بالا بودن درصد مواد فسادپذیر و همچنین شرایط خاص اقلیمی همچون بارندگی کم و تبخیر زیاد در اکثر نقاط سبب شده است که شیرابه به وجود آمده، بار آلودگی زیادی در مقایسه با سایر مناطق مرطوب داشته باشد (Yousefi Kebria et al., 2014).

دفن زباله‌ها در صورت عدم ایمن‌سازی مناسب محیط و مدیریت نادرست، سلامت محیط‌زیست و انسان‌ها را به خطر می‌اندازد. مقیاس این تهدید به کیفیت و کمیت شیرابه، زمان بهره‌برداری و تجهیزات فنی محل دفن، نوع آب و هوا و خاک منطقه، نوع آبخوان و همچنین فاصله از منابع آبی بستگی دارد (Talalaj and Biedka, 2016).

باتوجه به عدم مدیریت صحیح مراکز دفن در ایران، ممکن است علاوه بر پسماندهای عادی شهری سایر پسماندها همچون، پسماندهای خطرناک از جمله بیمارستانی و صنعتی نیز همراه با زباله‌های شهری دفن شوند، در نتیجه شیرابه حاصل از این نوع دفن،

بار آلودگی زیادی از لحاظ مواد آلی محلول، مواد معلق، ترکیبات غیرآلی، فلزات سنگین و ترکیبات سمی خواهد داشت (Talalaj and Biedka, 2016) این شیرابه، پس از رسیدن به خاک و عبور از لایه‌های آن، وارد سفره‌های آب زیرزمینی شده که تهدید جدی برای این منابع به شمار می‌آید؛ بنابراین برای اطمینان از کمترین تأثیر محیط‌زیستی، مدیریت شیرابه‌های سمی حاصل از این گونه مراکز دفن پسماند جامد شهری ضروری است. برای رسیدن به این هدف، نمونه‌برداری از شیرابه حاصل از پسماندهای تازه و موجود در حوضچه محل دفن و آبهای زیرزمینی در مجاورت محل دفن پسماند شهری زنجان در فصل خشک و تر، آزمایش شد تا شاخص LPI^۱ که نشان‌دهنده میزان آلودگی شیرابه است محاسبه شود. سپس با توجه به وجود زمین‌های کشاورزی و باغی در منطقه کیفیت آبهای منطقه به لحاظ آلودگی به شیرابه و نیز مناسب بودن برای کشاورزی از طریق شاخص‌های نسبت جذب سدیم^۲، درصد سدیم محلول^۳، شاخص کیلی^۴ و شاخص نفوذپذیری^۵ ارزیابی شد.

۲- روش پژوهش

در این پژوهش پس از مروری بر ادبیات فنی مسئله، اقدام به جمع‌آوری نمونه‌هایی از ۱۴ چاه، تا حداکثر به فاصله ۵ کیلومتری از محل دفن شد. نمونه‌برداری، بعد از گذشت حداقل ۱۰ دقیقه از فعالیت پمپ و در ظروف پیرکس ۱ لیتری که توسط اسید نیتریک شستشو داده شده بودند، انجام شد. ظروف نمونه‌برداری در دمای کمتر از ۴ درجه به آزمایشگاه انتقال یافت. در این پژوهش، ۱۸ پارامتر فیزیکوشیمیایی، فلزات سنگین و باکتریایی در شیرابه محل دفن و ۱۴ نمونه آب زیرزمینی، بررسی شد که نتایج آن در جدول ۳ آمده است. اندازه‌گیری طبق استاندارد APHA انجام شد (Rice, et al., 2017).

برای اطمینان از صحت پارامترهای اندازه‌گیری شده، تمام آزمون‌ها، ۳ مرتبه تکرار شد. اطلاعات نقاط نمونه‌برداری به شرح جدول ۱ است.

¹ Leachate Pollution Index (LPI)² Sodium Adsorption Ratio (SAR)³ Sodium Soluble Percentage (SSP)⁴ Kelley's Ratio (KR)⁵ Permeability Index (PI)

جدول ۱- اطلاعات چاه‌های نمونه‌برداری در اطراف محل دفن پسماند شهر زنجان

Table 1. Location of sampling in vicinity of Zanjan landfill

Site	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Depth (m)	130	110	120	80	135	150	8	120	157	140	120	145	85	89
Distance from landfill (Km)	3.4	3.8	3.6	3.5	1.5	1.9	2.9	3.7	4.15	4.3	4.5	4.8	5.2	5.4
Position	Up stream						Down stream							
Land use	Agriculture	Livestock	Aviculture	Agriculture	Industrial	Residential	Industrial	Agriculture	Livestock	Agriculture	Aviculture	Industrial		

وزن و زیرشاخص هر پارامتر بر اساس میزان اهمیت و سطح معناداری آن پارامتر در پتانسیل آلاینده‌گی شیرابه طبق نظر کارشناسی مشخص شده است (Kumar and Alappat, 2005a).

۲-۲- شاخص‌های سنجش کیفیت آب برای مصرف کشاورزی

ترکیب شیمیایی آب استفاده شده در آبیاری به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر عملکرد گیاهان تأثیر می‌گذارد (Khalid, 2019).

در بررسی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی، به ترکیبات معدنی آن پرداخته می‌شود. شاخص‌های مختلف کیفیت آب مناسب آبیاری از پارامتر اولیه کیفیت آب آشامیدنی (Ca, Na, Mg, K, HCO_3) حاصل می‌شوند (Aher and Gaikwad, 2017).

SAR, SSP, KR و PI از شاخص‌های مهمی هستند که برای ارزیابی کیفیت آب مناسب برای کشاورزی استفاده می‌شوند.

غلظت زیاد در آبیاری باعث کاهش نفوذپذیری خاک شده و گردش هوا و آب را محدود می‌کند (Patel et al., 2019). (Paterson, 1994) از این روش شاخص SAR یک پارامتر مهم در بررسی کیفی آب کشاورزی محسوب می‌شود که بر اساس غلظت سدیم با توجه به مقدار کلسیم و منیزیم قابل محاسبه است. مقدار شاخص SAR طبق معادله ۳ قابل محاسبه است و محدوده تقسیم‌بندی آن در جدول ۲ گزارش شده است

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}} \quad (3)$$

گرایش آب به وارد شدن در واکنش‌های تبادل کاتیون معمولاً با شاخص SSP ارزیابی می‌شود. نفوذپذیری خاک به واسطه وجود سدیم در آب و کلوخه شدن خاک، کاهش می‌یابد، این موضوع مانع

در این پژوهش، ابتدا میزان آلاینده‌گی شیرابه، بررسی شد و سپس امکان آلوده بودن آبهای منطقه به شیرابه با استفاده از شاخص LPI ارزیابی شد. از سوی دیگر به‌منظور بررسی کفایت کیفیت منابع آبهای زیرزمینی برای استفاده در کشاورزی شاخص‌های SAR, SSP, KR و PI بررسی شد. در ادامه شاخص‌های استفاده شده در این پژوهش به اختصار شرح داده می‌شود.

۲-۱- شاخص LPI

LPI یک روش شناخته شده برای ارزیابی پتانسیل آلودگی شیرابه سایت‌های دفن پسماند به‌صورت مقایسه‌ای است که بازه تغییرات آن بین ۵ تا ۱۰۰ است. این روش مبتنی بر ارائه وزن برای هر شاخص است که به‌صورت معادله ۱ بیان می‌شود (Kumar and Alappat, 2005a, 2005b)

$$LPI = \sum_{i=1}^n (W_i P_i) \quad (1)$$

که در آن

LPI شاخص آلاینده‌گی شیرابه، n تعداد آلاینده‌های بررسی شده (n حداکثر ۱۸)، W_i وزن (تأثیر) آلاینده i ام در میزان آلاینده‌گی شیرابه و $\sum_{i=1}^n W_i = 1$ ، i شماره آلاینده و P_i مقدار زیرشاخص هر پارامتر است.

در صورتی که تمام ۱۸ پارامتر مشخص شده در شاخص LPI در دسترس نباشد، می‌توان LPI را طبق معادله ۲ محاسبه کرد (Kumar and Alappat, 2005a)

$$LPI = \frac{\sum_{i=1}^m (W_i P_i)}{\sum_{i=1}^m W_i} \quad (2)$$



جدول ۲- حدود تعیین شده برای شاخص‌های کشاورزی

Table 2. Limits set for agricultural indicators

Index/Range	SAR (meq/L)	SSP (meq/L)	KR (meq/L)	PI (meq/L)
Great	<10	<20	-	>75
Good	18-10	20-40	-	25_75
Medium	18-26	40-60	-	-
Suspect	-	60-80	-	-
Inappropriate	>26	>80	-	<25
Usable	-	-	<1	-
Unusable	-	-	>1	-

جدول ۳- خلاصه نتایج پارامترهای آنالیز شده فیزیکوشیمیایی و باکتریایی

Table 3. Summary of physico-chemical and bacterial parameters

Parameter	Groundwater						Leachate				
	December			June			Parameter	June		December	
	Average	Max	Min	Average	Max	Min		Fresh waste	Old waste	Fresh waste	Old waste
pH	6.5	7.2	6.1	6.5	6.8	5.9	pH	5.1	7.9	5.7	8.2
TDS (ppm)	755.6	2150	376.0	615.6	1210	350	EC (µs)	26700	26000	34900	34100
Cl (mg/L)	142.2	396.9	39.1	123.7	326.6	63.9	TDS (ppm)	13400	13100	17400	17100
COD (mg/L)	55.2	155.5	3.6	32.0	86.3	4.4	NO ₃ (mg/L)	160	40	200	666
NH ₃ (mg/L)	0.11	0.31	0.04	0.08	0.11	0.05	Cl (mg/L)	6248	200	200	150
HCO ₃ (mg/L)	175.9	237.0	128.8	200.8	233.9	123.9	COD (mg/L)	42522	5500	55750	9079
Ca (mg/L)	229.5	410.0	128	103.7	234	40.6	PO ₄ (mg/L)	240	78	234	61
Mg (mg/L)	36.1	49.7	24.1	23.8	33.5	15.7	SO ₄ (mg/L)	1100	500	1800	200
Na (mg/L)	142.3	621.0	36.4	67.8	178.5	22.9	NH ₃ (mg/L)	680	820	640	790
K (mg/L)	3.6	7.3	1.1	2.1	3.8	0.6	Hg (µg/L)	0.02	0.01	0.02	0.01
Hg (µg/L)	-	-	-	-	-	-	Cr (µg/L)	0.1	1.1	0.3	1.4
Cr (µg/L)	10.1	11.1	9.9	13.5	13.7	13.3	Cu (ppm)	0.04	0.03	0.2	0.17
Cu (µg/L)	4.1	4.2	4	4.4	4.8	4.1	Fe (ppm)	9.5	3	16	5.1
Fe (mg/L)	-	-	-	-	-	-	Ni (ppm)	0.5	1.1	0.6	1.4
Ni (µg/L)	1.5	2	1.2	1.1	1.1	1	Pb (ppm)	0.02	0.07	0.01	0.06
Pb (µg/L)	-	-	-	-	-	-	Zn (ppm)	0.25	0.03	3	0.42
Zn (µg/L)	-	-	-	-	-	-	Mn (ppm)	9.3	0.1	24	0.3
Coliforms	-	-	-	-	-	-	Coliforms	460	1100	460	1100

نسبت سدیم اندازه‌گیری شده به مجموع کلسیم و منیزیم را KR می‌نامند. هرچه میزان Na در خاک بیشتر شود سبب کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود. بنابراین مقدار بیشتر KR به‌عنوان شاخصی از خطر کاهش نفوذپذیری نیز می‌تواند به‌کار رود. مقدار این پارامتر طبق معادله ۵ محاسبه می‌شود. اطلاعات مربوط به

رسیدن مواد غذایی به گیاه می‌شود و رشد آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Patel et al., 2019). این شاخص طبق معادله ۴ محاسبه شده و اطلاعات مربوط به تقسیم‌بندی کیفی آن در جدول ۲ ارائه شده است

$$SSP = \frac{(Na^+ + K^+) \times 100}{(Na^+ + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+})} \quad (4)$$

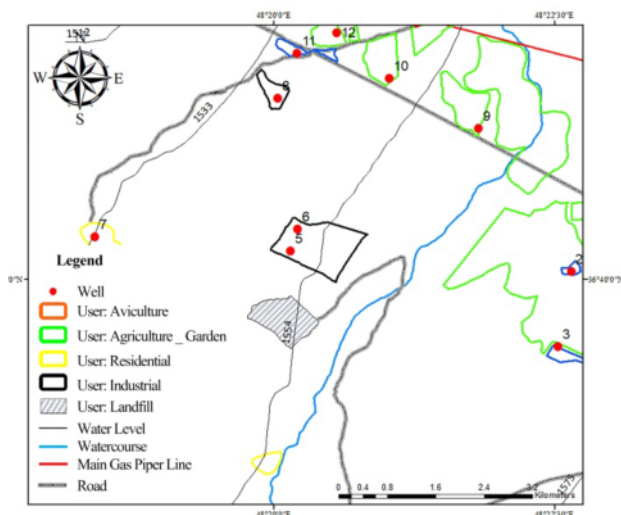


Fig. 1. Study area

شکل ۱- منطقه مطالعاتی

۵۰ هکتاری سایت، به نظر می‌رسد تا ۲ دهه آینده نیز به فعالیت خود ادامه دهد.

روزانه حدود ۳۴۰ تن پسماند شهری از شهر زنجان و بخش‌های مجاور این شهر به این محل انتقال می‌یابد. برای آب زیرزمینی منطقه، با توجه به داده‌های سال ۱۳۹۷ چاه‌های پیژومتریکی موجود در حوضه آبی ارائه شده توسط سازمان آب و فاضلاب استان زنجان، به صورت جنوب شرقی- شمال غربی است.

۲-۴- نقاط نمونه برداری

شیرابه: به منظور بررسی میزان آلاینده‌گی شیرابه تولید شده در محل دفن پسماندهای شهری، از شیرابه تازه و شیرابه حوضچه که مربوط به شیرابه قدیمی‌تر یا به عبارتی بالغ است، طی دو دوره نمونه برداری آذرماه ۱۳۹۹ و خردادماه ۱۴۰۰، تعداد ۴ مورد نمونه برداشت شد (شکل ۲). شایان ذکر است که به دلیل عدم دسترسی به حوضچه اصلی محل دفن شیرابه بالغ از شیرابه پسماندهای ۳ تا ۴ ساله برداشته شد.

آب زیرزمینی: به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای استفاده در آبیاری و تعیین میزان اثرگذاری شیرابه محل دفن، ۱۴ نمونه چاه تا حداکثر به فاصله ۵ کیلومتر از محل دفن طی دو فصل خشک و تر یعنی آذرماه ۱۳۹۹ و خردادماه ۱۴۰۰، نمونه برداری انجام شد.

تقسیم‌بندی کیفی آن در جدول ۲ ارائه شده است (Kelly, 1940)

$$KR = \frac{Na^+}{(Ca^{2+} + Mg^{2+})} \quad (5)$$

همان گونه که اشاره شد، شاخص نفوذپذیری خاک با افزایش محتوای یونی کاهش می‌یابد. استفاده طولانی مدت از آب غنی از مواد معدنی، نفوذپذیری خاک را کاهش می‌دهد و به طور غیرمستقیم بر تولید اثر می‌گذارد (Khalid, 2019, Patel et al., 2019).

با توجه به اینکه نفوذپذیری خاک وابسته به میزان یون‌های Ca, Mg, HCO₃ و Na است، پیشنهاد شده، شاخص PI برای بررسی تأثیر پارامترهای نفوذپذیری خاک در رده‌بندی آب در مصارف کشاورزی استفاده شود که حدود آن در جدول ۲ ارائه شده است (Doneen, 1962)

$$PI = \frac{(Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}) \times 100}{(Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+})} \quad (6)$$

۲-۳- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، در مساحتی بالغ بر ۹۰ کیلومترمربع، در جنوب غربی شهر زنجان است. این منطقه از شمال به رودخانه زنجان رود، از شرق به یک شهرک صنعتی، از غرب به روستای باغلوچه و از جنوب به محل دفن پسماندهای شهری، به طول و عرض جغرافیایی ۴۸°۱۹' و ۴۸°۲۰' و ۳۶°۳۹' و ۳۶°۴۰' محدود است. کاربری منطقه مورد مطالعه، اغلب کشاورزی و باغی است، به علاوه این منطقه و مناطق مجاور آن محل قرارگیری شهرک‌های صنعتی اصلی استان است. همچنین روستاهای باغلوچه بیات، مهتر و آغچه پیره در این محدوده قرار دارند (شکل ۱). جایگاه کنونی انباشت پسماندهای شهری این شهر واقع در کیلومتر ۱۳ جاده زنجان- بیجار و در مرزدشت زنجان، داخل حوضه آبریز زنجان رود و در مجاورت روستای مهتر واقع شده است. دفن پسماندها در یک بستر طبیعی، به صورت خاکچال کم عمق و بدون تفکیک، تلنبار می‌شود. در این مکان هیچ گونه عملیات حفاظتی از جمله (کنترل یا تصفیه شیرابه، سیستم‌های جمع‌آوری شیرابه و یا گاز)، برای جلوگیری از انتشار آلودگی به محیط انجام نمی‌شود. این محل دفن از سال ۱۳۷۴ فعالیت خود را آغاز کرده و با توجه به مساحت



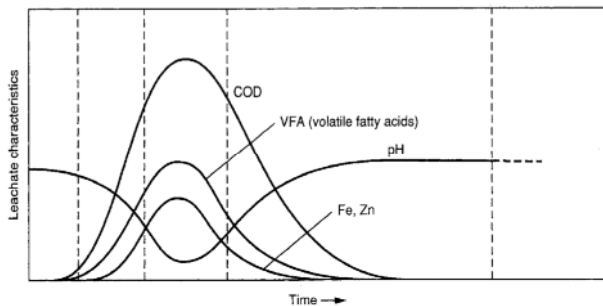


Fig. 3. Leachate quality change diagram over the time (Tchobanoglous et al., 1993)

شکل ۳- نمودار سیر تغییرات پارامترهای شیرابه در طول زمان (Tchobanoglous et al., 1993)

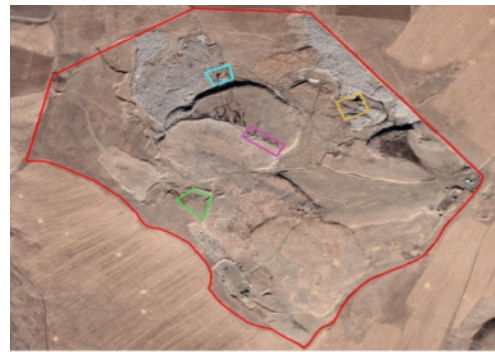
۳۴۹۰۰ در آذرماه بود که نشان دهنده بالا بودن مواد معدنی همچون کلرید، نیترات و فسفات به عنوان آنیون و نیز سدیم، منیزیم، کلسیم و آهن به عنوان کاتیون در شیرابه بود. مقدار پارامتر TDS در شیرابه تازه در دو دوره خردادماه و آذرماه به ترتیب ۱۳۴۰۰ و ۱۷۴۰۰ ppm به دست آمده است، همچنین مقدار این پارامتر در حوضچه برابر ۱۳۱۰۰ و ۱۷۱۰۰ ppm بود که با توجه به مقدار هدایت الکتریکی قابل پیش بینی بود.

محل های دفن زباله به طور کلی یک سیستم بی هوازی در نظر گرفته می شوند، با این حال در دپوهای تازه به علت اختلاط و عدم فشرده گی، اکسیژن زیادی در سیستم وجود خواهد داشت. به این سبب در شیرابه تازه، نیتروژن موجود طی فرایند نیتریفیکاسیون از آمونیاک به نیترات تبدیل می شود؛ بنابراین نیترات موجود در شیرابه تازه نسبت به شیرابه حوضچه اصلی محل دفن بیشتر است و میزان آمونیاک موجود در شیرابه قدیمی مقدار بیشتری نسبت به شیرابه تازه دارد (Abd El-Salam and Abu-Zuid, 2015).

(Vaverková, 2019)

در شیرابه تازه مقدار آمونیاک به ترتیب در ماه های خرداد و آذر ۶۸۰ و ۶۴۰ میلی گرم در لیتر و این مقدار در حوضچه ۸۲۰ و ۷۹۰ میلی گرم در لیتر بود. آمونیاک به دلیل پایداری در شرایط بی هوازی، یک آلاینده بلندمدت محسوب می شود که در اثر تخمیر بخش نیتروژنی پسماندهایی با قابلیت تجزیه پذیری زیستی ایجاد می شود (Kulikowska and Klimiuk, 2008).

با توجه به تبدیل شرایط محل دفن از هوازی به بی هوازی، در



Index	
□	Landfill Area
□	Sampling range of adult pond leachate (December 2020 to June 2021)
□	Sampling range of fresh leachate (December 2020)
□	Sampling range of fresh leachate (June 2021)
□	Landfill waste area of Paper factory (December 2020)

Fig. 2. Landfill leachate sampling points
شکل ۲- نقاط نمونه برداری از شیرابه مرکز دفن

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی کیفی شیرابه

بر اساس جدول ۳ به طور کلی نمونه های برداشت شده از شیرابه در آذرماه ۱۳۹۹ مقدار آلانیدگی بیشتری نسبت به خردادماه ۱۴۰۰ دارد که می توان علت را در عبور از خشکسالی دانست. سن مکان های دفن زباله اغلب بر اساس میزان pH طبقه بندی می شود و می تواند مقداری بین ۴/۵ تا ۹ را داشته باشد. شیرابه حاصل از حوضچه با pH بالا به دلیل رسیدن به پایداری به عنوان شیرابه بالغ تلقی می شود (Kulikowska and Klimiuk, 2008).

pH شیرابه حاصل از حوضچه، به ترتیب مقدار ۸/۱۶ و ۷/۹۰ در آذرماه و خردادماه دارد که خاصیت نسبتاً قلیایی آن به علت تبدیل ترکیبات اسیدی به متان و دی اکسید کربن است، این در حالی است که pH نمونه شیرابه ناشی از پسماند تازه در هر دو فصل به دلیل تشکیل اسید کربوکسیلیک، اسیدی است. به این نوع شیرابه، شیرابه تازه یا جوان می گویند و pH آن به ترتیب ۵/۶۶ و ۵/۰۸ در دو دوره آذرماه و خردادماه بود (Talalaj and Biedka, 2016).

این موضوع نشان داد بخش قدیمی محل دفن به فاز چهارم خود رسیده و نسبتاً تثبیت شده است، حال آنکه محل دفن زباله های تازه در فازهای اولیه هستند (شکل ۳). مقدار هدایت الکتریکی شیرابه در حدود ۲۶۰۰۰ تا ۲۶۷۰۰ μs در خردادماه و ۳۴۱۰۰ تا ۳۴۱۰۰ μs



مدیریتی جدید دفن، پسماندهای کارخانه کاغذسازی در بخش جداگانه‌ای نسبت به آذرماه انجام می‌شود (شکل ۳).

فلزات سنگین در بسیاری از محصولات مصرفی و صنعتی همچون باتری، برد لوازم الکترونیکی استفاده می‌شود (Aucott, 2006).

فلزات سنگین موجود در شیرابه با توجه به شرایط متفاوتی که می‌تواند در محل دفن ایجاد شود، روند تغییرات متفاوتی را تجربه می‌کنند. به علت بالا بودن قلیابیت و وجود مواد آلی در شیرابه، اغلب فلزات سنگین جذب ظرفیت بالای این مواد شده و در خاک رسوب می‌کند و در شیرابه حل نمی‌شوند (Talalaj, 2014, Mishra et al., 2018).

به این ترتیب در مراکز دفن و طی زمان، با افزایش pH غلظت اغلب فلزات سنگین در شیرابه کاهش می‌یابد، به جز سرب که به دلیل ظرفیت بالای جذب مواد آلی با آنها تشکیل کمپلکس می‌دهند (Kumar and Alappat, 2005a). از این رو در این پژوهش نیز غلظت سرب در شیرابه تازه در خردادماه ۰/۰۱ و در آذرماه ۰/۰۲ ppm بود که این مقدار در حوضچه (با شیرابه بالغ) به ترتیب به ۰/۰۶ و ۰/۰۷ ppm رسیده بود و در واقع در تأیید نتایج پژوهش (Kumar and Alappat, 2005a) بود.

در بین تمام پارامترهای فلزی، آهن مقدار بیشتری داشت که می‌تواند ناشی از دفن ضایعاتی بر پایه آهن و فولاد همچون قوطی کنسرو و لاشه خودروها، در مکان‌های دفن تفکیک نشده باشد (Rana et al., 2017, Mor et al., 2006).

افزایش غلظت آهن محلول در شیرابه به دلیل انتقال الکترون به آهن در تخریب مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها است (Jaskelevičius and Lynikiene, 2009).

شرایط بی‌هوازی می‌تواند شرایط مطلوبی را برای خوردگی آهن در طول زمان فراهم کند (Sizirici and Tansel, 2010) که رنگ قهوه‌ای تیره شیرابه نیز معمولاً به اکسیداسیون فرم آهن به فریک و تشکیل کلئیدهای هیدروکسید فریک نسبت داده می‌شود (Mor et al., 2006).

در این پژوهش ماکسیمم غلظت پارامتر آهن و منگنز در شیرابه تازه به ترتیب ۱۵/۹۷ و ۲۳/۹۶ ppm بود. با توجه به بررسی‌های انجام شده در پژوهشی در سال ۲۰۰۹، غلظت آهن در صورت ایجاد شرایط بی‌هوازی، در طول دوره بهره‌برداری افزایشی است

ماه‌های خرداد و آذر، نیترات موجود در شیرابه، از ۱۶۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در شیرابه تازه، به ۴۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در حوضچه رسید.

فسفر موجود در شیرابه معمولاً به صورت ارتوفسففات است و اساساً در زباله‌ها و خاک بدون حرکت باقی می‌ماند (Chen et al., 2021).

محتوای فسفات معمولاً مربوط به تخریب بیولوژیکی مواد آلی حاوی فسفولیپیدها و فسفوپروتئین‌ها است (Kapelewska et al., 2018).

میانگین غلظت این پارامتر در شیرابه تازه، ۲۳۷ و در شیرابه حوضچه ۷۰ میلی‌گرم در لیتر بود. سولفات موجود در شیرابه حاصل تجزیه پروتئین‌ها، ضایعات خانگی و صنعتی است که به‌وفور در پسماند شهری یافت می‌شود. غلظت این پارامتر در شیرابه حاصل از پسماند تازه بسیار بیشتر از شیرابه حوضچه است که دلیل آن به سبب شرایط هوازی موجود در شیرابه تازه است (Abd El-Salam and Abu-Zuid, 2015) مقدار برداشت شده سولفات در خردادماه و آذرماه و به ترتیب در شیرابه تازه و حوضچه برابر ۱۱۰۰، ۱۸۰۰ و ۵۰۰، ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود.

به دلیل عدم جذب کلر توسط خاک، تحت تأثیر قرار نگرفتن این پارامتر در فرایندهای بیوشیمیایی و پایداری تا فواصل دور، کلر می‌تواند به‌عنوان شناساگر وجود شیرابه در منابع آب زیرزمینی عمل کند (Ling and Zhang, 2017, Kumar and Alappat 2005b).

فراوانی مقدار جامدات محلول در شیرابه محل دفن زباله، ناشی از وجود کلر است و افزایش غلظت کلر چالش‌های مهمی را در فرایند تصفیه شیرابه ایجاد می‌کند (Chen et al., 2017).

کلر شیرابه، ناشی از وجود پلاستیک و کاغذ در پسماند است. مقدار غلظت کلر در آذرماه، به ترتیب در شیرابه تازه و شیرابه حوضچه ۲۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد که در دامنه مقدار مشاهده شده سایر مراکز دفن است، اما بالا بودن مقدار این پارامتر در شیرابه ناشی از پسماند تازه در خردادماه (۶۲۴۸ میلی‌گرم در لیتر) می‌تواند به سبب ریختن پسماند کارخانه کاغذسازی که دارای ترکیبات کلرداری مانند دی‌اکسید کلر و ترکیبات آلی کلره شده در دپویی مشترک با سایر پسماندهای شهری است که در آذرماه به دلیل جدا بودن محل دفن این نوع پسماندها مقدار کمتری رویت شد. شایان ذکر است که بر اساس برنامه



مقدار ۲۴/۵۱ و ۲۶/۷۹ ثبت شد. این نتایج با نتایج به دست آمده از سایر پژوهش‌ها از جمله (Kumar and Alappat, 2005a, Wdowczyk and Pulikowska, 2021) مطابقت داشت.

۳-۲- بررسی کیفیت آبهای زیرزمینی بر اساس آنالیز نمونه‌ها
در بررسی کیفیت آبهای زیرزمینی منطقه که در جدول ۳ آمده است به شاخص‌های آلودگی آب از منظر آلودگی به شیرابه یعنی LPI و نیز از منظر مناسب بودن آب برای آبیاری یعنی SAR, SSP, KR و PI به دلیل غالب بودن در کشاورزی از حیث کاربری اراضی منطقه پرداخته شد.

بر اساس جدول ۴، نتایج حاصل از شاخص LPI در منابع آب زیرزمینی با میانگین ۵/۳۳ نشان‌دهنده عدم نشت شیرابه محل دفن به منابع آب زیرزمینی بود. همچنین فاصله معناداری بین مقدار این شاخص در آب زیرزمینی با شیرابه محل دفن وجود داشت که خود علتی بر عدم نشت شیرابه به منابع آبی منطقه بود.

مقدار بیش از حد یون‌های محلول در آب، از نظر فیزیکی و شیمیایی گیاهان و خاک را تحت تأثیر قرار داده و منجر به کاهش بهره‌وری در کشاورزی می‌شود (Tahmasebi et al., 2018).

در این راستا نتایج حاصل از شاخص‌های کیفی مؤثر در کشاورزی به شرح جدول ۴ شده است. بر اساس نتایج این جدول، منابع آبی منطقه در هر دو فصل از نظر شاخص SAR در حدود مجاز قرار گرفته و بر اساس طبقه‌بندی جدول ۲، در رده عالی قرار می‌گیرند، در نتیجه خطر سدیم در دسترس، کشاورزی منطقه را تهدید نمی‌کند. روند تغییرات این پارامتر در اکثریت چاه‌ها در طی دو دوره نمونه‌برداری از ماه آذر به خرداد کاهش یافته که متناسب با گذار از خشک‌سالی به ترسالی است. شاخص SSP در طبقه‌بندی انجام شده در دوره نمونه‌برداری متأثر از فصل خشک (آذرماه ۱۳۹۹)، ۳۶ درصد چاه‌ها در طبقه‌بندی عالی، ۵۷ درصد چاه‌ها خوب و ۷ درصد چاه‌ها در محدوده بد قرار دارند. این آمار در دوره خردادماه ۱۴۰۰ با کاهش روبه‌رو بوده و تنها ۱۴ درصد از چاه‌ها در حد عالی برای استفاده در کشاورزی قرار دارند و اکثریت چاه‌ها در محدوده خوب ۲۰ تا ۴۰ قرار می‌گیرند که به سبب وجود پارامتر پتاسیم در این شاخص است. خلاصه مقدار شاخص SSP در شکل ۴ آمده است که در چاه‌هایی با کاربری کشاورزی (شکل ۱)، تنها چاه ۵

(Sizirci and Tansel, 2009).

با این حال در این پژوهش، با توجه به عدم دسترسی به حوضچه اصلی محل دفن و برداشت نمونه از حوضچه زباله‌های ۳ تا ۴ ساله و عدم ایجاد شرایط بی‌هوازی کامل، غلظت این پارامتر کاهش یافته بود و ماکسیم غلظت در حوضچه بین دو فصل به ترتیب برابر ۵/۱ و ۰/۳ ppm بود. از آنجایی که وجود منگنز در شیرابه به دلیل کاربرد منگنز در تولید آلیاژهای آهن و فولاد است و به‌عنوان اکسیدان برای تمیزکردن، سفیدکردن و ضدعفونی (به شکل پرمنگنات پتاسیم) استفاده می‌شود (WHO, 2017) که به دلیل عدم بازیافت پسماندهای ورودی به مراکز دفن در ایران، مقدار منگنز بیشتری در شیرابه گزارش شده است.

اکسیژن موردنیاز شیمیایی^۱ با گذشت زمان و تثبیت شیرابه به شدت کاهش می‌یابد و برای شیرابه‌های تثبیت شده، COD به‌طور کلی بین ۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر متغیر است و در شیرابه تازه این مقدار بین ۳۰۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰ می‌تواند باشد (Umar et al., 2010, Vaverková, 2019).

مقدار COD در شیرابه تازه در آذرماه ۵۵۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر گزارش شد، در حالی که COD شیرابه موجود در حوضچه در زمان مشابه به سبب تجزیه بخش آلی شیرابه ۹۰۷۹ میلی‌گرم بود (Umar et al., 2010).

مقدار کلیفرم باکتریایی کل به ترتیب در شیرابه تازه و حوضچه و در هر دو دوره نمونه‌برداری برابر ۴۶۰ و ۱۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. داده‌های حاصل از باکتری‌های کلیفرم در شیرابه نشان‌دهنده ثابت بودن رژیم پسماند تولید شده در طی دو دوره نمونه‌برداری بود، به علاوه افزایش مقدار این پارامتر به سبب روند رشد و تکثیر توانی باکتری‌ها قابل پیش‌بینی بود.

شاخص LPI که معرف میزان آلاینده‌های شیرابه است متأثر از سن محل دفن زباله و کاربری محل دفن (در این پژوهش بهره‌برداری) است (Wdowczyk and Pulikowska, 2021).

دامنه تغییرات این شاخص در شیرابه تازه و در دو دوره نمونه‌برداری آذرماه و خردادماه (۶ ماه) به ترتیب بین ۲۴/۵۴ تا ۲۷/۹۳ بود. در شیرابه جمع‌آوری شده از حوضچه که نشان‌دهنده شرایط نسبی بلوغ شیرابه بود، میزان این پارامتر کاهش یافته و

^۱ Chemical Oxygen Demand (COD)



جدول ۴- نتایج شاخص‌های مورد بررسی نقاط نمونه برداری شده (آذرماه ۱۳۹۹ و خردادماه ۱۴۰۰)

Table 4. Results of the evaluated indexes through sampling points (December 2020 and June 2021)

Parameters	Average	Max	Min	Standard deviation	Coefficient of changes
Leachate LPI	24.52	24.54	24.51	0.02	0
Groundwater LPI	5.32	5.5	5.15	0.11	0.02
SAR	2.15	7.73	0.66	1.81	0.84
SSP	26	52.69	12.53	10.99	0.42
KR	0.38	1.11	0.14	0.26	0.67
PI	35.23	55.56	25.58	8.32	0.24
Leachate LPI	27.36	27.93	26.79	0.81	0.03
Groundwater LPI	5.34	5.40	5.08	0.55	0.10
SAR	1.5	2.9	0.62	0.71	0.47
SSP	28.37	43.4	16.93	7.54	0.27
KR	0.4	0.86	0.14	0.16	0.39
PI	49.84	64.93	35.59	9.27	0.19

نتایج جدول ۴، برابر ۴۲ است که نشان‌دهنده بالا بودن نسبی پارامترهای تأثیرگذار در نفوذپذیری خاک است. استفاده طولانی‌مدت از آب آبیاری غنی از مواد معدنی باعث کاهش نفوذپذیری در خاک می‌شود و شخم زدن را سخت می‌کند، همچنین رشد گیاهان جوان در این نوع خاک با تأخیر انجام می‌شود (Khalid, 2019) که در صورت ادامه‌دار بودن روند افزایشی این شاخص، کشاورزی منطقه می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد. بیشینه این شاخص در دوره نمونه‌برداری ماه خرداد و چاه ۱۱ با مقدار ۶۴/۹۳ رخ داد و کمینه آن نیز در نمونه‌برداری آذرماه و چاه ۵

به‌عنوان نزدیک‌ترین چاه به محل دفن، در هر دو دوره نمونه‌برداری، نتایج مطلوب در کشاورزی از دیدگاه شاخص SSP دارد که می‌تواند نشان‌دهنده عدم نفوذ آلودگی شیرابه به منابع آبی باشد.

بر اساس نتایج جدول ۴، وضعیت آبهای زیرزمینی منطقه بررسی شده با توجه به شاخص KR، مناسب ارزیابی می‌شود و تنها یک چاه در دوره نمونه‌برداری آذرماه خارج از محدوده مطلوب است که این چاه نیز کاربری کشاورزی ندارد. بر اساس شکل ۵، مقدار شاخص PI در طی دو دوره نمونه‌برداری در رتبه خوب قرار گرفته و میانگین کل این شاخص در طی دو فصل بر اساس

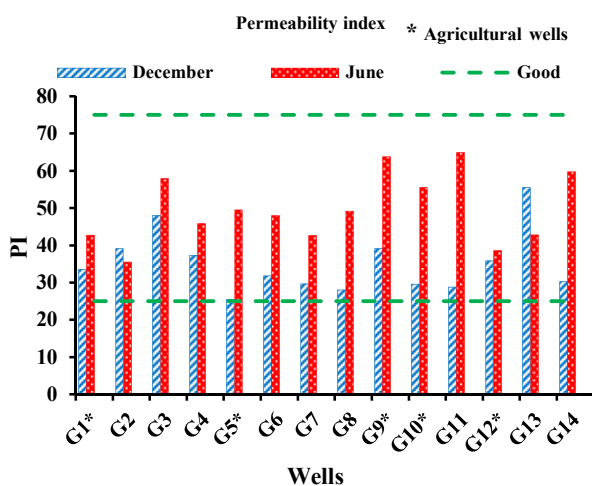


Fig. 5. PI index variation diagram over the sampling points

شکل ۵- نمودار تغییرات شاخص PI در نقاط نمونه‌برداری

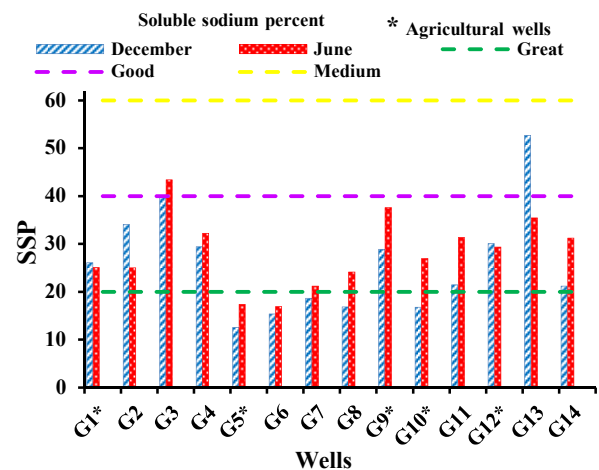


Fig. 4. SSP index variation diagram over the sampling points

شکل ۴- نمودار تغییرات شاخص SSP در نقاط نمونه‌برداری



و بقیه شاخص‌ها در منابع آب زیرزمینی منطقه کاملاً مناسب برای کشاورزی ارزیابی شد. همچنین با وجود اینکه بر اساس نتایج حاصل از شاخص‌های کشاورزی و LPI در چاه ۵ به‌عنوان نزدیک‌ترین چاه به محل دفن، عدم آلودگی توسط شیرابه گزارش شده است، اما با توجه به خطرات بالقوه شیرابه محل دفن واقع در منطقه که حاوی مقدار نسبتاً زیادی از غلظت کلر است که به‌عنوان یک شناساگر شیرابه عمل می‌کند. پیشنهاد می‌شود چاه‌های نظارتی در اعماق مختلف و در فواصل کمتر از ۱ کیلومتر نسبت به محل دفن حفر شود و نمونه‌برداری طی دوره‌های متوالی انجام شود تا کوچکترین تأثیرات شیرابه بر آبهای زیرزمینی مشخص شود.

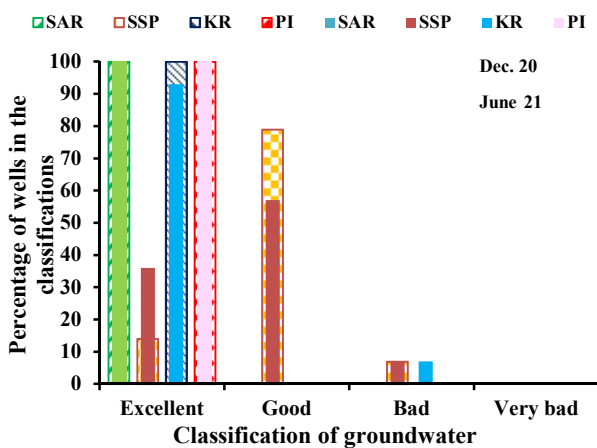


Fig. 6. Groundwater quality diagram of variation based on agricultural indexes

شکل ۶- نمودار کیفیت آب زیرزمینی بر اساس شاخص‌های کشاورزی

۵- قدردانی

به این وسیله نویسندگان از سازمان محیط‌زیست استان زنجان قدردانی می‌کنند.

که کاربری کشاورزی دارد اتفاق افتاد.

به‌طور کلی غلظت پارامترهای بررسی شده در آب زیرزمینی در دوره نمونه‌برداری آذرماه مقدار بیشتری نسبت به خردادماه داشت که می‌تواند به سبب عبور از فصل خشک به تر باشد. بررسی کاتیون‌های فلزی از دیدگاه زمین‌شناسی خاص منطقه به دلیل منبع آتشفشانی نیز می‌تواند مهم باشد. به‌طوری که یون کلسیم مقداری در بازه ۱۲۸ تا ۴۱۰ و ۴۱ تا ۲۳۴ میلی‌گرم در لیتر را به ترتیب در آذرماه و خردادماه داشت. حداکثر غلظت پارامتر منیزیم ۴۲/۶۵ و ۳۳/۴۷ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب در آذرماه و خردادماه بوده است.

متوسط غلظت سدیم در منطقه مطالعاتی ۱۴۲/۵ میلی‌گرم در لیتر در آذرماه و ۶۷/۸ میلی‌گرم در لیتر در خردادماه بود. با توجه به سازندهای زمین‌شناسی موجود در منطقه که اغلب منبع آتشفشانی دارد، غلظت زیاد سدیم را می‌توان ناشی از این ساختار دانست. ماکسیمم غلظت یون پتاسیم در نمونه‌های آب منطقه به ترتیب در آذرماه و خردادماه ۷/۳۲ و ۳/۷۵ بود. مقدار این پارامتر در شمال غربی منطقه مورد مطالعه به سبب تمرکز باغات تفریحی و کشاورزی در این بخش، بالاتر است (شکل ۱).

۴- نتیجه‌گیری

کیفیت آبهای زیرزمینی منطقه از منظر کشاورزی و عدم آلودگی به شیرابه بررسی شد که نتایج آن در شکل ۶ ارائه شده است. بر این اساس منابع آب زیرزمینی در منطقه، در دوره نمونه‌برداری ماه خرداد شرایط بهتری را برای استفاده در کشاورزی دارد، به‌نحوی که تنها بر اساس شاخص SSP، ۷۹ درصد از چاه‌ها در رتبه خوب و ۷ درصد در شرایط نامطلوب برای استفاده در کشاورزی قرار گرفته‌اند.

References

- Abd El-Salam, M. M. & Abu-Zuid, G. 2015. Impact of landfill leachate on the groundwater quality: a case study in Egypt. *Journal of Advanced Research*, 6(4), 579-586.
- Aher, K. R. & Gaikwad, S. G. 2017. Irrigation groundwater quality based on hydrochemical analysis of Nandgaon block, Nashik district in Maharashtra. *International Journal of Advanced Geosciences*, 5(1), 1-5.
- Baghanam, A. H., Nourani, V., Aslani, H. & Taghipour, H. 2020. Spatiotemporal variation of water pollution near landfill site: application of clustering methods to assess the admissibility of LWPI. *Journal of Hydrology*, 591, 125581.



- Boehme, S., 2008. *Industrial Ecology, Pollution Prevention and the NY/NJ Harbor*. Environmental Protection Agency. USEPA Pub. New York, USA.
- Chen, G., Grasel, P., Millington, G., Hallas, J., Ahmad, H. & Tawfiq, K. 2017. Chloride removal from landfill leachate by the ultra-high lime with aluminum process. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 9(1), 3-8.
- Dohare, D., Deshpande, S. & Kotiya, A. 2014. Analysis of groundwater quality parameters: a review. *Research Journal of Engineering Sciences*, 3(5), 26-31.
- Doneen, L. 1962. The influence of crop and soil on percolating water. *In Proc. 1961 Biennial Conference on Groundwater Recharge*, California, USA. 156-163.
- Jaskelevičius, B. & Lynikiene, V. 2009. Investigation of influence of lapes landfill leachate on ground and surface water pollution with heavy metals. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 17(3), 131-139.
- Kamble, B. S. & Saxena, P. R. 2017. Environmental impact of municipal dumpsite leachate on ground-water quality in Jawaharnagar, Rangareddy, Telangana, India. *Applied Water Science*, 7(6), 3333-3343.
- Kapelewska, J., Kotowska, U., Karpińska, J., Astel, A., Zieliński, P., Suchta, J., et al. 2019. Water pollution indicators and chemometric expertise for the assessment of the impact of municipal solid waste landfills on groundwater located in their area. *Chemical Engineering Journal*, 359, 790-800.
- Kelly, W. 1940. Permissible Composition and Concentration of Irrigation Water. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 106(1), TACEAT.0005384.
- Khalid, S. 2019. An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. *Journal of Geochemical Exploration*, 197, 14-26.
- Kulikowska, D. & Klimiuk, E. 2008. The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Bioresource Technology*, 99, 5981-5985.
- Kumar, D. & Alappat, B. J. 2005a. Analysis of leachate pollution index and formulation of sub-leachate pollution indices. *Waste Management and Research*, 23(3), 230-239.
- Kumar, D. & Alappat, B. J. 2005b. Evaluating leachate contamination potential of landfill sites using leachate pollution index. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 7(3), 190-197.
- Ling, C. & Zhang, Q. 2017. Evaluation of surface water and groundwater contamination in a MSW landfill area using hydrochemical analysis and electrical resistivity tomography: a case study in Sichuan province, Southwest China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(4), 1-18.
- Mishra, S., Tiwary, D., & Ohri, A. 2018. Leachate characterisation and evaluation of leachate pollution potential of urban municipal landfill sites. *Journal of Environment and Waste Management*, 21(4), 217-230.
- Mor, S., Ravindra, K., Dahiya, R. P. & Chandra, A. 2006. Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. *Environmental Monitoring and Assessment*, 118, 435-456.
- Patel, M. P., Gami, B., Patel, A., Patel, P. & Patel, B. 2019. Climatic and anthropogenic impact on groundwater quality of agriculture dominated areas of southern and central Gujarat, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100306.
- Patterson, R. 1994. On-site treatment and disposal of septic. Ph.D. Thesis, University of New England, Armidale,





Australia.

- Rana, R., Ganguly, R. & Gupta, A. K. 2017. Indexing method for assessment of pollution potential of leachate from non-engineered landfill sites and its effect on groundwater quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(1), 1-23.
- Rice, E. W., Baird, R. B. & Eaton, A. D. 2017. *Standard APHA Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (23 Ed.) American Public Health Association Pub. Washington, DC, USA.
- Sizirici, B. & Tansel, B. 2009. Projection of landfill stabilization period by time series analysis of leachate quality and transformation trends of VOCs. *Waste Management*, 30, 82-91.
- Stefania, G. A., Rotiroti, M., Buerge, I. J., Zanotti, C., Nava, V., Leoni, B., et al. 2019. Identification of groundwater pollution sources in a landfill site using artificial sweeteners, multivariate analysis and transport modeling. *Waste Management*, 95, 116-128.
- Tahmasebi, P., Mahmudy-Gharaie, M. & Ghase, F. 2018. Assessment of groundwater suitability for irrigation in a gold mine surrounding area, NE Iran. *Environmental Earth Sciences*, 77(766), 1-12
- Talalaj, I. A. 2014. Assessment of groundwater quality near the landfill site using the modified water quality index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(6), 3673-3683.
- Talalaj, I. A. & Biedka, P. 2016. Use of the landfill water pollution index (LWPI) for groundwater quality assessment near the landfill sites. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(24), 24601-24613.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. & Vigil, S. 1993. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*, McGraw-Hill Companies, Incorporated. New York, USA.
- Umar, M., Abdul Aziz, H., & Suffian Yusoff, M. 2010. Variability of parameters involved in leachate pollution index and determination of LPI from four landfills in Malaysia. *International Journal of Chemical Engineering*, 747953.
- Vaverková, M. D. 2019. Landfill impacts on the environment-review. *Geosciences*, 9(10), 431.
- WHO. 2017. *Guidelines for Drinking-Water Quality*. First Addendum to the 4th Ed. World Health Organization. Geneva, Switzerland.
- Wdowczyk, A. & Pulikowska, A. S. 2021. Comparison of landfill leachate properties by LPI and phytotoxicity-a case study. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 693112.
- Yousefi Kebria, D., Taghizadeh, M. & Darvishi, Gh. 2014. The effect of leachate penetration on physical and chemical properties of urban landfill soil (case study: Tonekabon landfill). *Chemistry and Chemical Engineering of Iran*, 33(2), 63-69. (In Persian).



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

