تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هجدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱
Volume 18, No. 2, Summer 2022 (IR-WRR)
۹۸-۱۱۰

تأثیر محل دفن زباله غیر بهداشتی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: شهر بروجرد)

عیسی سلگی[۱*] و رضا گودرزی[۲]

چکیده

محل‌های دفن پسماند شهری با انتشار آلاینده‌های ناشی از نفوذ شیرابه باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی محیط پیرامون خود می‌شوند. این پژوهش با هدف بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی مجاور محل دفن زباله‌های شهری بروجرد انجام شد. برای سنجش متغیرهای کیفیت آب از دستگاه جذب اتمی، دستگاه اسپکتروفتومتر، فلیم فتومتر، pH و EC متر استفاده شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که میانگین غلظت سرب، آهن، نیکل، روی، مس، سدیم، پتاسیم، نیترات در منطقه پایین دست به ترتیب ۱/۳۶، ۷/۴۲، ND (غیرقابل تشخیص)، ۲/۸۷، ۰/۰۳۵، ۱۳۶/۸۴، ۸۸/۱۹، ۱۷/۵۵ میلی‌گرم بر لیتر و میانگین pH ۷ و نیز میانگین EC ۰/۰۱۳ دسی زیمنس بر متر به دست آمد و در منطقه بالادست به ترتیب ۱/۳۹، ۴/۳۹، ND، ۱/۴۳، ۰/۰۱، ۳۲/۸، ۲/۳۶، ۵/۸۶ میلی‌گرم بر لیتر و میانگین pH ۷/۳۳ و نیز میانگین EC ۰/۰۰۸ دسی زیمنس بر متر بدست آمد. مقایسه غلظت فلزات سنگین و پارامترهای آب زیرزمینی اطراف محل دفن زباله و منطقه شاهد نشان داد که بجز فلز سرب در سایر موارد غلظت در منطقه اطراف محل دفن زباله بیش از شاهد بود. مقایسه غلظت فلزات سنگین و پارامترهای آب زیرزمینی اطراف محل دفن زباله و منطقه شاهد با استاندارد WHO نشان داد که مقادیر سرب و آهن (در آب‌های زیرزمینی اطراف محل دفن زباله و نیز منطقه شاهد) و پتاسیم (فقط در آب‌های زیرزمینی اطراف محل دفن زباله) به طور معنی‌داری از استاندارد WHO بیشتر هستند. اما مقدار روی، مس، سدیم و نیترات از این استاندارد کم‌تر می‌باشند. نتایج شاخص‌های HEI و HPI نشان‌دهنده‌ی آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه به فلزات سنگین می‌باشد. نتایج این پژوهش بیانگر آلودگی آب‌های زیرزمینی اطراف محل دفن زباله در اثر نفوذ شیرابه زباله‌های دفن شده است.

کلمات کلیدی: محل دفن زباله، فلزات سنگین، شیرابه، آب زیرزمینی، بروجرد.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۸/۱۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۵/۱۵

۱- دانشیار، گروه محیطزیست، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه ملایر، همدان، ایران.
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد محیطزیست، گروه محیطزیست، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه ملایر، همدان، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۴۰۱ امکانپذیر است.

The Effect of Unsanitary Landfill on Groundwater Quality (Case Study: Borujerd City)

E. Solgi [1] and R. Goudarzi[2]*

Abstract

Municipal solid waste landfill sites contaminate the surrounding groundwater by releasing pollutants due to leachate infiltration. The purpose of this study was to evaluate the groundwater quality around the Borujerd municipal landfill. To measure water quality variables, Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS), Flame Photometer, pH, and EC meter were used. The results showed that the mean concentrations of lead, iron, nickel, zinc, copper, sodium, potassium, and nitrate in the downstream region were 1.36, 7.42, ND (Non-detectable), 2.87, 0.035, 136.84, 88.19, and 17.55 mg/l, respectively. Also the mean pH of 7 and the mean EC of 0.013 ds/cm were obtained. In the upstream region the values were 1.39, 4.39, ND, 1.43, 0.01, 32.8, 2.36, 5.86 mg/l, respectively. The mean pH was 7.33 and the mean EC was 0.008 ds/cm.

Comparison of heavy metal concentrations and groundwater parameters around the landfill and control area showed that except for lead, concentrations around the landfill were higher than the control values. Comparison of heavy metal concentrations and groundwater parameters around landfill and control area with WHO standard showed that the values of lead and iron (in groundwater around landfill and control area) and potassium (in groundwater around landfill) was significantly higher than the WHO standard. Zinc, copper, sodium and nitrate concentrations were lower than this standard. The results of the HEI and HPI indices showed that the groundwater in the area is contaminated with heavy metals. The results of this study indicated that groundwater contamination around landfills was due to landfill leachate.

***Keywords*:** Landfill, Heavy metals, Leachate, Groundwater, Borujerd.

Received: November 7, 2020
Accepted: August 6, 2022

1- Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Hamedan, Iran. Email:e.solgi@yahoo.com
2- M.Sc. Graduated, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Hamedan, Iran.
*- Corresponding Author
Dor: 20.1001.1.17352347.1401.18.2.7.7

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱- مقدمه

آب یکی از منابع محیط‌زیستی فراوان کره زمین است؛ اما دسترسی به آن بستگی به کیفیت، کمیت، فضا و زمان دارد. ممکن است در اشکال و مقادیر مختلفی وجود داشته باشد ولی استفاده از آن برای اهداف مختلف به کیفیت آن بستگی دارد (Enger and Smith, 2006). توزیع نامتقارن آب سطحی و افزایش تقاضا برای آب سالم منجر به استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی شده است. حدود یک سوم جمعیت دنیا به آب‌های زیرزمینی وابسته هستند (UNESCO, 2012). به رغم وابستگی بالا به آب‌های زیرزمینی، موارد آلودگی آنها افزایش یافته است. یکی از این منابع آلودگی آب‌های زیرزمینی، محل‌های دفن غیر بهداشتی زباله هستند (Rajasekhar et al., 2018). زباله‌های دفن شده در لندفیل به تدریج آب میان بافتی اولیه خود را در اثر تجزیه‌هایی که روی آن‌ها انجام می‌گیرد آزاد می‌کنند این مایع آزاد شده حاوی ترکیبات بی‌شماری از مواد آلی و معدنی است، این مایع شیرابه نام دارد که در قسمت زیرین محل دفن جمع شده و از طریق خاک به قسمت‌های پایینی نفوذ می‌کند و باعث آلودگی خاک و آب زیرزمینی می‌شود. همچنین، این فرآیند را آب باران نیز تشدید نموده و سرعت آن را افزایش می‌دهد (Mor et al., 2006). ویژگی‌های شیرابه به عوامل متعددی مانند ترکیبات زباله‌های جامد دفن شده، اندازه‌ی ذرات، درجه تراکم، هیدرولوژی محل دفن، سن دفن، شرایط رطوبت، دما و اکسیژن بستگی دارد (Fletcher, 2002). به طور عموم شیرابه دارای میزان بالایی از BOD، COD، TOC، TSS، TDS، آلاینده‌های آلی پایدار غیرقابل تجزیه، ترکیبات آمونیوم، ترکیبات گوگرد، مواد آلی حل‌شده (DOM[1])، فلزات سنگین و غیره است که در نهایت با ورود به محیط زیست مشکلات جدی را به وجود می‌آورد (Gajski et al., 2012). از آنجا که دسترسی به آب‌های زیرزمینی برای تصفیه مشکل بوده و هزینه بسیار بالایی دارند به همین دلیل آلودگی آب‌های زیرزمینی پدیده‌ای طولانی مدت است (Wang et al., 2012).

پژوهش‌های مختلفی در ایران و سایر نقاط دنیا در مورد آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از ورود شیرابه انجام شده است و نتایج حاکی از اثر شیرابه ناشی از زباله روی خاک و آب زیرزمینی مناطق مورد پژوهش هستند. از این موارد می‌توان به پژوهش Dejankrcmar et al. (2018) اشاره کرد که با هدف بررسی تأثیر آلودگی دفن زباله‌ها بر خاک و آب‌های زیرزمینی در صربستان انجام دادند، نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی و خاک اطراف مناطق دفن زباله صورت گرفت و به این نتیجه رسیدند که آب و خاک منطقه دفن از نظر فلزات سنگین به شدت آلودگی دارند. Mor et al. (2006) پژوهشی را با هدف شناسایی و ارزیابی آلاینده‌های آب‌های زیرزمینی در نزدیکی محل دفن زباله‌های دهلی انجام دادند و غلظت پارامترهای مختلف فیزیکی و شیمیایی از جمله فلزات سنگین (Cu، Cr، Cd، Pb، Ni، Fe، Zn) و پارامترهایی مثل TC و FC را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که غلظت Cl، NH_4، SO_2، NO_3، فنل‌ها، Fe، Zn و COD بالا است که نشان‌دهنده نفوذ شیرابه به آب‌های زیرزمینی بود. Kakaei and Riyahi (2017) در پژوهشی به بررسی تأثیر محل دفن پسماند شهر همدان بر آب‌های زیرزمینی و خاک انجام دادند، هفت نمونه آب، دو نمونه شیرابه و پانزده نمونه خاک از منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری کردند، نتایج نشان داد که خاک و آب‌های زیرزمینی در منطقه نزدیک لندفیل دارای غلظت بالایی از Ni، Pb و Cd است و دلیل آن حجم بالای پسماندهای الکتریکی و پلاستیکی است. بنابراین، آگاهی از کیفیت آب زیرزمینی در اطراف محل دفن زباله‌های شهری امری بسیار ضروری و با اهمیت است. لندفیل غیر بهداشتی شهرستان بروجرد در جنوب غربی این شهرستان قرار دارد و قدمتی حدود ۴۰ ساله دارد. روزانه ۱۸۰ تا ۲۲۰ تن زباله در این لندفیل دفن می‌شود، بنابراین شیرابه تولیدی لندفیل منجر به آلودگی احتمالی آب‌های زیرزمینی منطقه می‌شود. بنابراین با توجه به این که تا به حال پژوهشی در این زمینه انجام نشده است، اجرای یک طرح تحقیقاتی جهت تعیین آلودگی آب زیرزمینی در این محدوده لازم و ضروری به نظر رسید. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی به فلزات سنگین، نیترات و سایر پارامترها ناشی از ورود شیرابه و نیز مقایسه غلظت فلزات سنگین و نیترات در آب‌های زیرزمینی با استاندارد WHO انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محل دفن زباله شهرستان بروجرد با ابعاد حدود ۳۷۶۶۴۹ متر مربع در فاصله ۴ کیلومتری این شهر در جاده بروجرد- خرم‌آباد در نزدیکی روستای سراب زارم قرار گرفته است. میانگین بارش سالیانه در این دشت ۴۹۲/۸ میلی‌متر در سال محاسبه شده است (Sabzevari et al., 2020). در این لندفیل که قدمتی حدود ۴۰ ساله دارد، روزانه حدود ۱۸۰ تا ۲۲۰ تن زباله شهری دفن می‌شود که ۲۰ درصد آن را زباله خشک و مابقی را زباله تر شامل می‌شود. میزان زباله‌های بیمارستانی شهرستان بروجرد در روز حدود ۱ تن است که تا ۴ سال پیش این زباله‌های خطرناک همراه با زباله‌های جامد شهری دفع می‌شد ولی پس از آن دفن این زباله‌ها به صورت جداگانه صورت می‌گیرد. مکان

دفن آنها ۵۰۰ متر با مکان دفن زباله‌های شهری فاصله دارد. برای زباله‌های بیمارستانی اقدامات اولیه‌ای چون کندن ترانشه، آهک‌پاشی و پوشش کف با پلاستیک به منظور جلوگیری از نفوذ شیرابه انجام گرفته است. اما تنها کاری که برای زباله‌های شهری طی این چند سال انجام شده این است که شهرداری تصمیم گرفته که زباله‌ها را با خاک مخلوط کرده و و آن‌ها را روی زمین صاف کند و دیگر خبری از آن تپه‌های زباله نباشد. ارزشیابی محل دفن پسماند شهرستان بروجرد در سال ۱۳۹۴ نشان داد که مکان دفن بر اساس روش الکنو دارای امتیاز غیرقابل قبول است. همچنین، بر اساس معیارهای سازمان حفاظت از محیط زیست منطقه مورد مطالعه برای دفن نامناسب بود (Goudarzi and Lohrasbi, 2015).

۲-۲- نمونه‌برداری

طی چندین مرحله بازدید از منطقه‌ی مورد مطالعه و بررسی نقشه منطقه در اردیبهشت ۹۸ تعداد ۴۸ نمونه آب از ۲۴ چاه آب (هر چاه ۲ نمونه، یک نمونه جهت سنجش فلزات سنگین و نمونه دیگر جهت سنجش نیترات، سدیم، پتاسیم، pH و EC) که ۵ چاه آب از روستاهای با فوصل دورتر از محل دفن زباله و ۱۹ چاه آب در پایین دست آن انتخاب شد. نمونه‌ها پس از روشن کردن پمپ چاه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه جمع‌آوری شدند. ظروف نمونه‌برداری از جنس پلی‌اتیلنی بود که قبل از نمونه‌برداری اسیدشویی و با آب مقطر شسته شدند. همچنین، در زمان نمونه‌برداری، این ظروف سه مرتبه با آب مورد نظر شستشو داده شدند. نمونه‌های مد نظر برای سنجش فلزات سنگین با استفاده از اسید نیتریک غلیظ در محل نمونه‌برداری تا pH زیر ۲ اسیدی شدند (Solgi and Sheikhzadeh, 2016). سپس نمونه‌ها تا زمان انجام آنالیز شیمیایی که بلافاصله صورت گرفت در یخچال نگهداری شدند. همچنین در محل نمونه‌برداری، موقعیت هریک از نقاط نمونه‌برداری با دستگاه GPS ثبت شد.

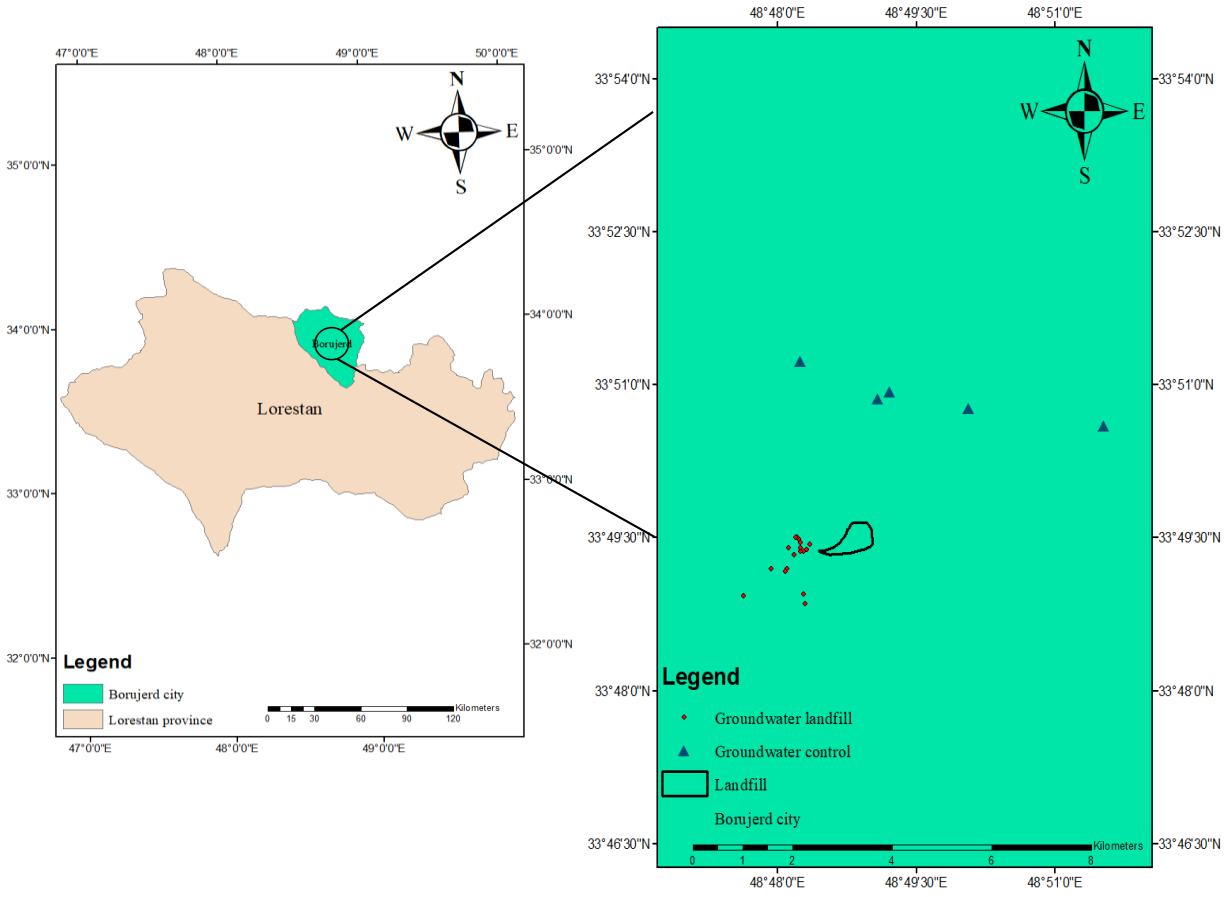

Fig. 1- Geographical location and sampling point distribution in the study area

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه‌برداری

در آزمایشگاه به منظور تثبیت و جلوگیری از رسوب‌گذاری عناصر محلول در نمونه‌ها، یک میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به ۲۵ میلی‌لیتر از نمونه آب اضافه و نمونه روی هیتر در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه در زیر هود قرار داده شد. سپس نمونه‌ها با دور ملایم (۸۵ دور در دقیقه) روی شیکر به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شده و سپس توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف شدند (Standard method, 2005). اندازه‌گیری فلزات با استفاده از دستگاه جذب اتمی انجام گرفت. به منظور سنجش نیترات نمونه‌های آب، به ۵۰ میلی‌لیتر نمونه آب ۱ میلی‌لیتر اسید کلریک ۱ نرمال اضافه شده و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR 6000 در طول موج ۲۷۵nm، مقدار نیترات نمونه‌ها قرائت گردید (Standard method, 2005). به منظور سنجش سدیم و پتاسیم به هریک از نمونه‌های آب در محل نمونه‌برداری به منظور کاهش pH اسید نیتریک اضافه شد و سپس به آزمایشگاه منتقل شدند. مقدار سدیم و پتاسیم نمونه‌ها با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر مدل ۶۲۰c قرائت گردید. سنجش pH و EC هم با استفاده از دستگاه pH متر و EC متر انجام گرفت.

۲-۳- شاخص‌های ارزیابی آلودگی

از شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI[2]) و شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI[3]) برای ارزیابی درجه آلودگی آب به فلزات سنگین برای مصارف شرب استفاده می‌شود. این شاخص‌ها با توجه به غلظت سنجش شده فلزات سنگین در منطقه نسبت به حداکثر غلظت مجاز تعیین شده برای مصارف شرب، کیفیت آب را مشخص می‌کنند (Prasanna et al., 2012). شاخص (HEI) کیفیت کلی آب را با توجه به فلزات سنگین بدست می‌دهد (Edet and Offiong, 2002; Prasanna et al., 2012) و به صورت معادله زیر بیان می‌شود:

$$HEI = \sum_{i=1}^{n} \frac{Hc}{Hmax} \qquad (۱)$$

H_c و H_{max} به ترتیب نشان‌دهنده مقدار غلظت اندازه‌گیری شده فلزات سنگین و حداکثر غلظت مجاز فلز سنگین موجود در آب می‌باشد. در صورتی که HEI کمتر از ۱۰ باشد درجه آلودگی کم، بین ۱۰ تا ۲۰ باشد درجه آلودگی متوسط و بیشتر از ۲۰ باشد درجه آلودگی زیاد است. شاخص HPI برای ایستگاه‌های مورد مطالعه بر مبنای استاندارد WHO از معادله زیر بدست می‌آید:

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^{n} wi\ Qi}{\sum_{i=1}^{n} wi} \qquad (۲)$$

در این معادله Wi نسبت وزنی i امین مؤلفه است که از طریق معکوس استاندارد محاسبه می‌شود و Qi نرخ کیفی i امین مؤلفه است که از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Qi = \frac{Mi - Ii}{Si - Ii} * 100 \qquad (۳)$$

در این معادله Mi و Si به ترتیب نشان‌دهنده مقدار غلظت اندازه‌گیری شده فلزات سنگین و حداکثر غلظت مجاز فلز سنگین موجود در آب می‌باشد و Ii نشان‌دهنده مقدار ایده‌آل (حداکثر غلظت مطلوب) فلز سنگین در نمونه می‌باشد. در صورتیکه HPI بیشتر از ۱۰۰ باشد، آب به فلزات سنگین آلوده است، اگر مساوی با ۱۰۰ باشد، آب در آستانه خطر آلودگی به فلزات سنگین قرار دارد و اگر کمتر از ۱۰۰ باشد، آب فاقد آلودگی به فلزات سنگین می‌باشد.

Table 1- Standard values for calculation of pollution indices (after Edet and Offiong, 2002)

جدول ۱- مقادیر استاندارد برای محاسبه شاخص‌های آلودگی

Parameters	W[7] (1/MAC)	S[6] (ppb)	I[5] (ppb)	MAC[4] (ppb)
Cu	0.001	1000	2000	1000
Fe	0.006	300	200	200
Ni	0.05	20	20	20
Pb	0.75	100	10	1.5
Zn	0.0002	5000	3000	5000

۲-۴- آنالیز آماری

پس از استخراج داده‌ها، جهت مرتب‌سازی و انجام آنالیزهای آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد. برای رسم نمودارها و جداول نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد. با استفاده از آزمون شاپیروویک نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. به منظور بررسی همبستگی بین مقادیر غلظت فلزات سنگین و سایر پارامترها در اطراف لندفیل و منطقه شاهد آزمون همبستگی اسپیرمن استفاده شد. برای مقایسه دو به دو غلظت فلزات سنگین و سایر پارامترها در اطراف لندفیل و منطقه شاهد با توجه به نتایج نرمالیتی داده‌ها، برای داده‌های نرمال از آزمون تی مستقل و برای داده‌های غیر نرمال از آزمون من ویتنی یو استفاده گردید. برای مقایسه غلظت فلزات سنگین و سایر پارامترها با استاندارد WHO از آزمون تی تک نمونه‌ای استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

نتایج آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین سرب، مس، روی، نیکل و آهن در آب زیرزمینی نزدیک محل دفن زباله و منطقه شاهد در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است. بر اساس یافته‌های این پژوهش بیش‌ترین

و کم‌ترین غلظت فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی اطراف محل دفن زباله و شاهد به ترتیب مربوط به فلز آهن و نیکل است. همان طور که از نتایج پیداست بجز برای فلز سرب، سایر فلزات در آب زیرزمینی اطراف محل دفن زباله غلظت بیش‌تری نسبت به شاهد دارند چنین افزایشی می‌تواند احتمالاً متأثر از تأثیر نشت و نفوذ شیرابه به منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی باشد. Negi et al. (2018) نیز طی مطالعه در هند به نتایجی مشابه دست یافتند. نتایج حاصل از آنالیز همبستگی اسپیرمن بین فلزات سنگین و پارامترهای کیفی آب زیرزمینی اطراف لندفیل و شاهد در جدول ۴ نمایش داده شده است. بر این اساس در آب زیرزمینی اطراف محل دفن زباله بین (سدیم با pH)، (پتاسیم با pH)، (پتاسیم با سدیم)، (نیترات با EC)، (سرب با سدیم) همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ وجود داشت و همچنین بین (پتاسیم با EC)، (نیترات با پتاسیم) و (سرب با pH) همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ وجود داشت. نتایج این پژوهش با توجه به این که فلزات سنگین هیچ‌گونه همبستگی با هم ندارند همسو با نتایج Sobhanardakani (2016) در شهر رزن همدان می‌باشد. نتایج حاصل از آنالیز همبستگی آب زیرزمینی شاهد به این صورت بود که بین (مس با سرب) و (پتاسیم با سدیم)، همبستگی منفی معنی‌داری به ترتیب در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ وجود داشت که نشان‌دهنده منشأ متفاوت آن‌ها است و همچنین بین، (نیترات با EC) و (روی با سدیم) همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ وجود داشت.

Table 2- Descriptive statistics of heavy metals and qualitative parameters in groundwater around the landfill

جدول ۲- آمار توصیفی فلزات سنگین و پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده در آب زیرزمینی اطراف محل دفن زباله

Metals	Units	Min.	Max.	Mean	SD.
Pb	mg/l	ND	2.60	1.36	0.69
Fe	mg/l	0.60	24.70	7.42	6.03
Ni	mg/l	ND	ND	ND	ND
Zn	mg/l	0.63	10.79	2.87	2.46
Cu	mg/l	ND	0.27	0.035	0.074
Na	mg/l	30	310	136.84	85.24
K	mg/l	1.3	300	88.19	114.24
No_3	mg/l	5.8	60	17.55	13.64
EC	DS/m	0.007	0.021	0.013	0.0034
pH		6.69	7.47	7	0.26

ND: Non-detected

Table 3- Descriptive statistics of expanding heavy metals and qualitative parameters in groundwater near the control area

جدول ۳- آمار توصیفی فلزات سنگین و پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده در آب زیرزمینی شاهد

Metals	Units	Min.	Max.	Mean	SD.
Pb	mg/l	1.08	1.79	1.39	0.29
Fe	mg/l	ND	12.06	4.39	5.33
Ni	mg/l	ND	ND	ND	ND
Zn	mg/l	0.26	2.73	1.43	1.1
Cu	mg/l	ND	0.05	0.01	0.02
Na	mg/l	16	71	32.80	21.83
K	mg/l	1.6	3.7	2.36	0.93
No_3	mg/l	3.5	9.3	5.86	2.29
Ec	Ds/m	0.006	0.01	0.008	0.007
pH		6.91	7.75	7.33	0.3

ND: غیر قابل تشخیص

Table 4- Correlation between heavy metals and groundwater quality parameters around the landfill and control area

جدول ۴- همبستگی بین فلزات سنگین و پارامترهای کیفی آب زیرزمینی نزدیک لندفیل و شاهد

		pH	EC	Na	K	No_3^-	Fe	Pb	Zn	Cu
Landfill	pH	1								
	EC	0.059	1							
	Na	0.784**	0.415	1						
	K	0.795**	0.526*	0.730**	1					
	No_3^-	0.105	0.659**	0.256	0.524*	1				
	Fe	0.278	0.083	0.134	0.191	-0.095	1			
	Pb	0.569*	0.300	0.661**	0.418	0.147	0.239	1		
	Zn	0.086	0.039	0.132	0.134	0.284	0.244	-0.009	1	
	Cu	0.052	0.230	0.026	-0.042	0.195	0.238	0.383	0.070	1
Control	pH	1								
	EC	0.300	1							
	Na	-0.200	-0.500	1						
	K	0.100	0.600	-0.900*	1					
	No_3^-	0.600	0.900*	-0.600	0.700	1				
	Fe	0.154	-0.667	0.872	-0.872	-0.564	1			
	Pb	0.300	0.700	-0.300	0.100	0.500	-0.410	1		
	Zn	-0.600	-0.600	0.900*	-0.800	-0.800	0.667	-0.400	1	
	Cu	-0.250	-0.667	0.103	0.051	-0.410	0.284	-0.975**	0.205	1

** Correlation at 1% level, * Correlation at 5% level

یافته‌های مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین و پارامترهای کیفی آب زیرزمینی اطراف محل دفن زباله و منطقه شاهد با استفاده از آزمون‌های تی مستقل و من ویتنی یو برای مقایسه دو به دو در شکل ۲ و ۳ و نیز مقایسه غلظت فلزات سنگین و پارامترهای آب زیرزمینی اطراف محل دفن زباله و منطقه شاهد با استاندارد WHO در جدول ۵ نشان داده شده است.

سازمان بهداشت جهانی حداکثر میزان مجاز فلز سرب را در آب شرب را ۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر توصیه کرده است. از این رو با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده می‌توان دریافت که وضعیت کیفی آب زیرزمینی کل منطقه (پایین دست و بالادست محل دفن زباله) بسیار نامطلوب و بیش از میزان مجاز می‌باشد. با توجه به میزان غلظت سرب اندازه‌گیری شده در آب بالادست محل دفن زباله و بالا بودن این غلظت نسبت به آب پایین‌دست می‌توان گفت احتمالاً عوامل زمین‌شناسی سبب افزایش غلظت سرب در آب‌های زیرزمینی منطقه شده‌اند. همسو با این نتایج، Baghvand et al. (2015) در آب‌های زیرزمینی اطراف محل دفن تاکستان و نیز Kwame Boateng et al. (2019) در آب‌های زیرزمینی اطراف محل دفن زباله غنا به مقادیر بالاتر از استاندارد توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی دست یافتند. برای فلز آهن حداکثر میزان مجاز توصیه شده در آب ۰/۰۳ میلی‌گرم بر لیتر است، با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده وضعیت کیفی آب زیرزمینی کل منطقه (پایین دست و بالادست لندفیل) بسیار نامطلوب و بیش از میزان مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی است. غلظت بالای فلز آهن در آب زیرزمینی منطقه بالاست که احتمالاً به دلیل عوامل زمین‌شناسی است؛ اما با توجه به اینکه غلظت فلز آهن در آب زیرزمینی پایین دست بیشتر از بالا دست است چنین افزایشی می‌تواند احتمالاً به دلیل نفوذ شیرابه به منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی باشد. همسو با نتایج این پژوهش، Gravand et al. (2016) در آب‌های مجاور مرکز دفن زباله سراوان رشت، غلظت فلزات سنگین (کروم، سرب، روی، آهن، منگنز) را بیش از حد استاندارد آب شرب در ایران گزارش کردند. Abd El-

Abu-Zuid and Salam (2014) در پژوهشی با هدف تأثیر شیرابه محل دفن زباله بر کیفیت آب زیرزمینی در مصر به این نتیجه رسیدند که شیرابه محل دفن زباله بر آب‌های زیرزمینی تأثیر گذاشته و سبب افزایش غلظت فلزات سنگینی مثل آهن در آب زیرزمینی می‌شود. در ادامه همسویی با نتایج این پژوهش می‌توان به مطالعه Mor et al. (2006) اشاره کرد که به این نتیجه دست یافتند که غلظت NH_4، Cl، SO_2، NO_3، فنل‌ها، Fe، Zn و COD بالا بوده و حاکی از نفوذ شیرابه به آب‌های زیرزمینی است. حداکثر غلظت مجاز توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی برای فلز روی و مس به ترتیب ۳ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. مقادیر اندازه‌گیری شده فلز روی و مس در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده وضعیت کیفی مطلوب این آب‌ها است و غلظت این دو فلز در آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه پایین‌تر از میزان حداکثر مجاز سازمان بهداشت جهانی است. با این حال بالا بودن غلظت این دو فلز در آب زیرزمینی اطراف لندفیل را می‌تواند احتمالاً متأثر از نفوذ شیرابه به منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی باشد. همسو با نتایج این پژوهش Khanlari et al. (2012) نشان دادند که نفوذ شیرابه لندفیل سبب آلودگی آب‌های زیرزمینی به فلزات سنگینی مثل Hg، Al و As می‌شود؛ اما غلظت فلز سنگینی مثل روی بیش از حد استاندارد آب آشامیدنی نرفته است. Abdollahi et al. (2019) در مطالعه آب‌های زیرزمینی آزاد شهر به این نتیجه رسیدند که غلظت فلزات سنگین روی و مس در آب‌های زیرزمینی اطراف لندفیل بیش‌تر از آب زیرزمینی بالادست محل دفن زباله است.

میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده pH در آب زیرزمینی پایین دست محل دفن زباله و بالا دست آن به ترتیب ۷ و ۷/۳۳ است. با توجه به این که حداکثر مجاز pH توصیه شده توسط استاندارد آب شرب ۱۰۵۳ و استاندارد آب شرب اتحادیه اروپا به ترتیب ۹ و ۸/۵ است و مقدار pH در آب زیرزمینی منطقه کمتر از مقدار توصیه شده است از این رو آب زیرزمینی منطقه از منظر pH وضعیت کیفی مطلوبی دارد.

سازمان بهداشت جهانی حداکثر مجاز را برای EC ۰/۰۱ دسی زیمنس بر متر توصیه کرده است. با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده می‌توان دریافت که وضعیت کیفی نمونه‌های برداشت شده از منطقه پایین دست لندفیل نامطلوب بوده و بیشتر از حداکثر مجاز توصیه شده توسط سازمان جهانی بهداشت است که می‌تواند به دلیل نفوذ شیرابه به منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی باشد. همسو با این نتایج، Jafari et al. (2016) طی پژوهشی که با هدف بررسی آلایندگی فلزات سنگین در پایین دست محل دفن زباله‌های شهر اردبیل انجام دادند به این نتیجه رسیدند که لندفیل بر آب زیرزمینی پایین دست خود تأثیر گذاشته و سبب افزایش EC آن می‌شود. Przydatek and Kanownik (2019) طی پژوهشی در لهستان که با هدف بررسی تأثیر زباله روی آب‌های زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که شیرابه نفوذ کرده از محل دفن زباله سبب افزایش غلظت EC در آب‌های زیرزمینی اطراف لندفیل می‌شود. حداکثر غلظت مجاز توصیه شده برای سدیم ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در آب می‌باشد و با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده می‌توان دریافت که وضعیت کیفی نمونه‌های برداشت شده از نظر میزان سدیم مطلوب و کمتر از میزان حداکثر مجاز سازمان بهداشت جهانی است. با این حال بالا بودن غلظت سدیم در آب زیرزمینی اطراف لندفیل را می‌تواند به علت نفوذ شیرابه به منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی باشد. حداکثر غلظت مجاز برای پتاسیم ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در آب توصیه شده است. با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده در آب‌های زیرزمینی منطقه مور مطالعه، وضعیت کیفی نمونه‌های برداشت شده از منطقه پایین دست لندفیل بسیار نامطلوب بوده و بیشتر از حداکثر مجاز توصیه شده توسط سازمان جهانی بهداشت است که احتمالاً متأثر از نفوذ شیرابه به منابع آب زیرزمینی باشد. اما برای منطقه بالادست غلظت پتاسیم در حد مطلوبی می‌باشد. همسو با نتایج این پژوهش می‌توان به مطالعه Hajinezhad et al. (2015) اشاره کرد که با هدف بررسی تأثیر شیرابه‌های مرکز دفن زباله بر کیفیت آبهای زیرزمینی شهرستان بجنورد با رویکرد طراحی محل دفن استاندارد و یا جایگزینی هاضم بی‌هوازی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که نفوذ شیرابه زباله به خاک مکان دفن باعث افزایش برخی آلاینده‌ها مثل پتاسیم در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه می‌شود. حداکثر غلظت مجاز توصیه شده سازمان بهداشت جهانی برای نیترات ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در آب می‌باشد. مقادیر اندازه‌گیری شده نیترات در آب‌های زیرزمینی منطقه نشان می‌دهد که وضعیت کیفی آب از نظر میزان نیترات مطلوب و میزان غلظت نیترات موجود در آب زیرزمینی منطقه کمتر از میزان حداکثر مجاز سازمان بهداشت جهانی است. با این حال بالا بودن غلظت نیترات در آب زیرزمینی اطراف لندفیل را می‌تواند به دلیل نفوذ شیرابه باشد. همسو با این نتایج، Ebrahimi et al. (2009) و Alidadi et al. (2015) طی پژوهش‌های جداگانه‌ای به این نتیجه دست یافتند که نفوذ شیرابه محل دفن زباله به آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه سبب افزایش نیترات در این این آب‌ها می‌شود.

با توجه به شکل‌های زیر میانگین شاخص HEI در آب زیرزمینی نزدیک محل دفن زباله و منطقه شاهد به ترتیب ۳۰/۰۲ و ۲۸/۸۶ می‌باشند که نشان‌دهنده درجه آلودگی زیاد می‌باشد و همچنین

میانگین HPI در آب زیرزمینی نزدیک محل دفن زباله و منطقه شاهد به ترتیب ۲۶۹۷ و ۲۰۴۲ می‌باشند که نشان‌دهنده آلودگی آب به فلزات سنگین می‌باشد. همسو با این نتایج، Shojaei et al. (2018) طی پژوهشی که با هدف ارزیابی آلودگی عناصر نادر و پتانسیل خورندگی در منابع آب زیرزمینی نواحی جنوب و جنوب غربی شهر سیرجان انجام دادن به این نتیجه رسیدند که میانگین شاخص HEI و HPI نشان‌دهنده آلودگی آب زیرزمینی منطقه اطراف معدن به فلزات سنگین می‌باشد. Chiamsathit et al. (2020) طی پژوهشی با هدف بررسی شاخص آلودگی فلزات سنگین برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی فصلی در منطقه روستایی کالاسین تایلند انجام دادند، بیان کردند که غلظت فلزات سنگین در فصل بارانی در آب‌های زیرزمینی بیشتر می‌شود و با اندازه‌گیری شاخص‌های HEI و HPI به این نتیجه رسیدند که آب‌های زیرزمینی این منطقه در فصل بارانی غیرقابل مصرف هستند.

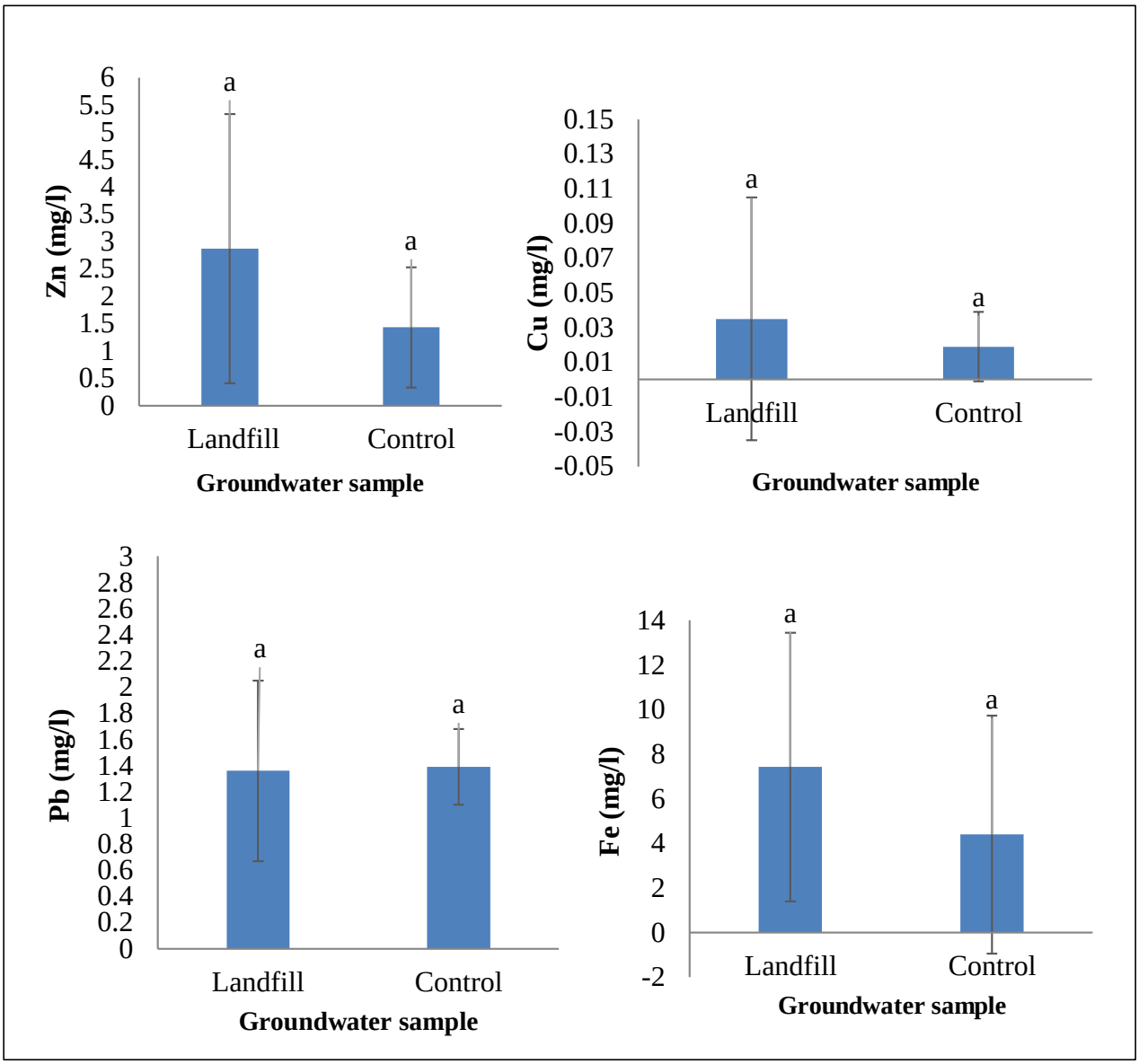

Fig. 2- Comparison of heavy metal concentrations (Pb, Fe, Cu and Zn) in groundwater around landfill and control area (similar letters indicate no significant differences)

شکل ۲- مقایسه غلظت فلزات سنگین (سرب، آهن، مس و روی) در آب زیرزمینی اطراف محل دفن زباله و منطقه شاهد (حروف مشابه بیانگر عدم معنی‌داری است)

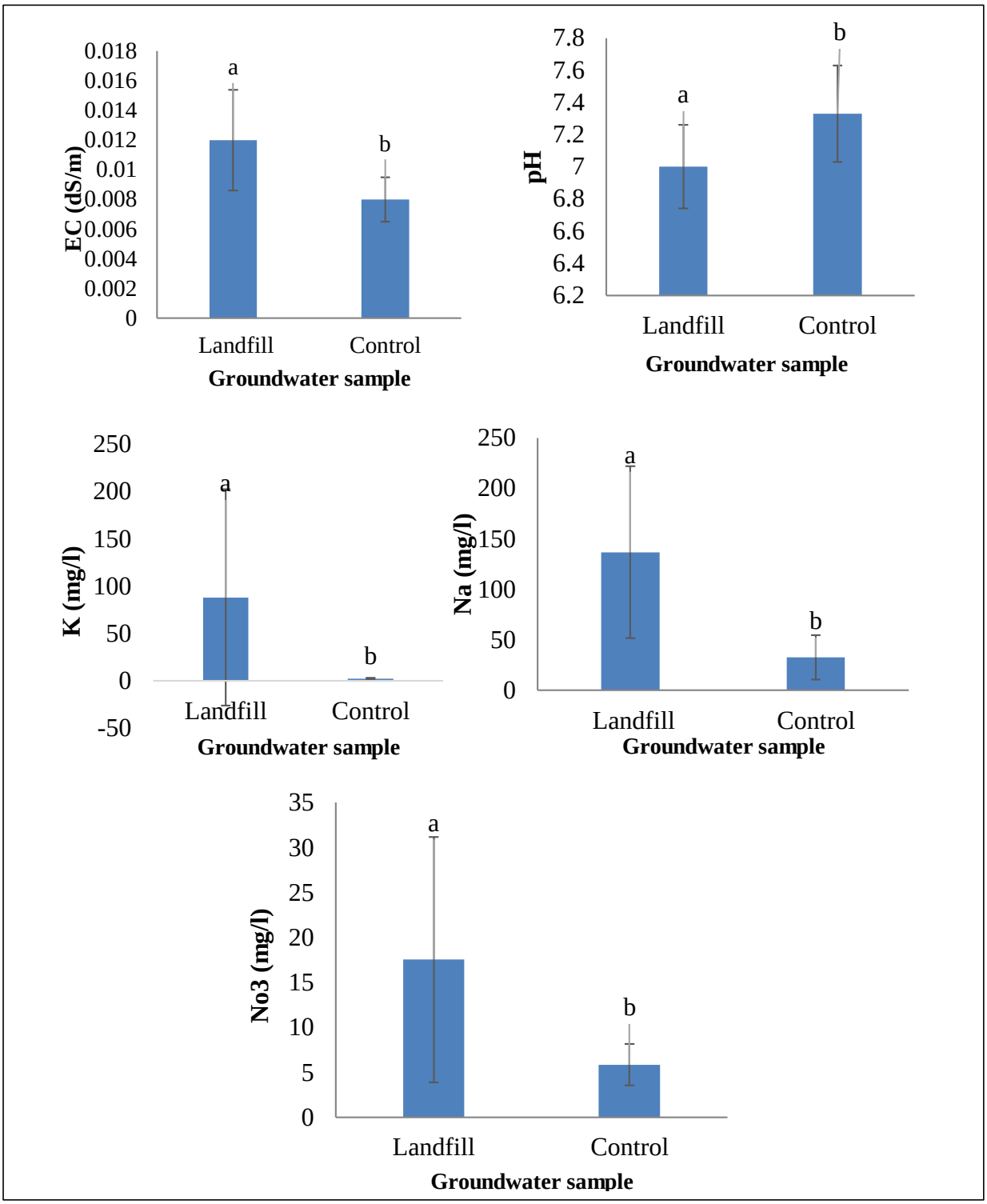

Fig. 3- Comparison of Sodium, Potassium and Nitrate Concentrations and pH and EC in groundwater

شکل ۳- مقایسه غلظت سدیم، پتاسیم، نیترات و pH و EC در آب زیرزمینی اطراف محل دفن زباله و منطقه شاهد (حروف متفاوت بیانگر معنی‌داری است)

Table 5- Comparison of heavy metal concentrations and quality parameter concentration of the landfill and control area with WHO standard

جدول ۵- مقایسه غلظت فلزات سنگین و پارامتر کیفی آب زیرزمینی محل دفن زباله و منطقه شاهد با استاندارد WHO

Groundwater	Statistics	Degree of freedom	Sig	WHO standard limit
Zn landfill	-0.217	18	0.831	3
Zn control	-3.187	4	0.033	3
Pb landfill	8.541	18	0.000	0.01
Pb control	10.405	4	0.000	0.01
Cu landfill	-115.135	18	0.000	2
Cu control	-189.697	4	0.000	2
Fe landfill	5.145	18	0.000	0.3
Fe control	1.717	4	0.161	0.3
Na landfill	-3.229	18	0.005	200
Na control	-17.124	4	0.000	200
K landfill	2.98	18	0.008	10
K control	-18.18	4	0.000	10
No_3^- landfill	-10.365	18	0.000	50
No_3^- control	-43.023	4	0.000	50

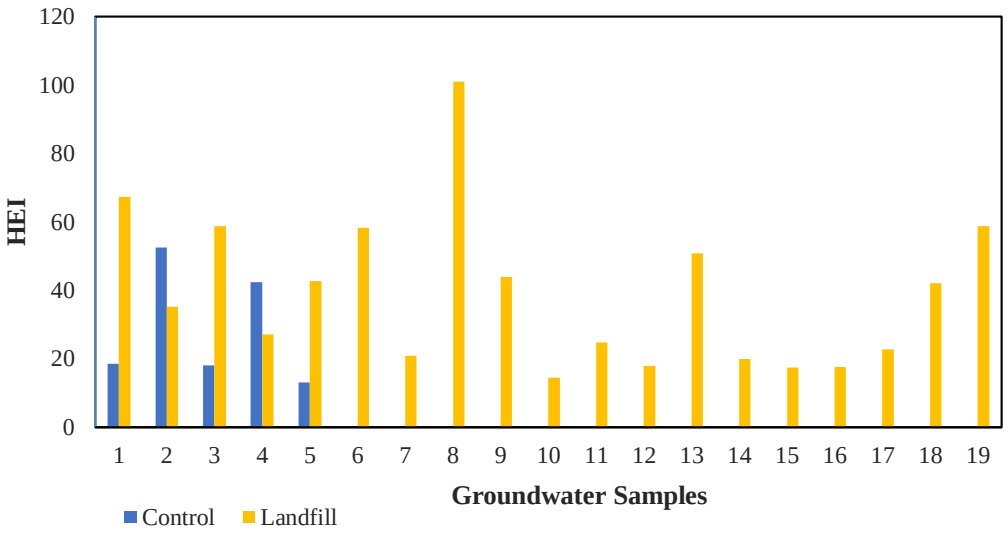

Fig. 4- Groundwater HEI assessment index for the landfill and control area

شکل ۴- شاخص ارزیابی HEI آب زیرزمینی محل دفن زباله و منطقه شاهد

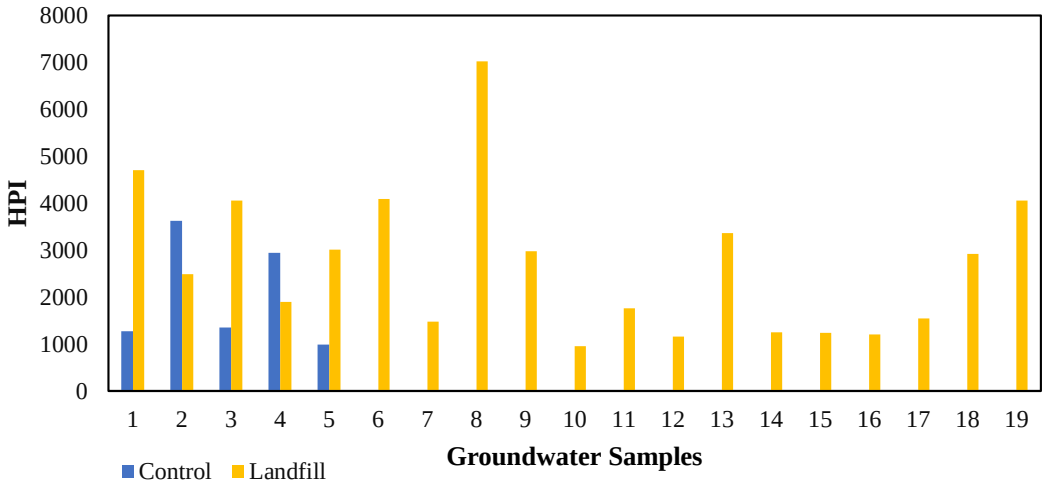

Fig. 5- Ground water HPI assessment index for the landfill and control area
شکل ۵- شاخص ارزیابی HPI آب زیرزمینی محل دفن زباله و منطقه شاهد

۴- نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش‌های آب زیرزمینی اطراف محل دفن زباله و منطقه شاهد بیان‌گر این بود که به جز برای فلز سرب که در منطقه شاهد و اطراف لندفیل غلظت آن تقریبا به یک میزان بود، غلظت فلز آهن، روی، مس، پتاسیم سدیم، نیترات و نیز EC در اطراف محل دفن زباله بیشتر از منطقه شاهد بود این افزایش احتمالاً متأثر از نفوذ شیرابه زباله است. نتایج همبستگی آب زیرزمینی اطراف لندفیل نشان می‌دهدکه فلزات سنگین هیچ‌گونه همبستگی با هم ندارند و از میان فلزات سنگین فقط سرب با پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب همبستگی مثبت معنی‌دار دارد. اما پارامترهای فیزیکوشیمیایی با یکدیگر همبستگی مثبت دارند. مقایسه غلظت فلزات سنگین و پارامترهای آب زیرزمینی با استاندارد WHO نشان داد که غلظت سرب، آهن و پتاسیم بیش از استاندارد می‌باشند ولی غلظت روی، مس، سدیم و نیترات کم‌تر از استاندارد WHO هستند. شاخص‌های HEI و HPI نشان‌دهنده آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه (محل دفن زباله و شاهد) به فلزات سنگین است اما همان‌طور که مشخص است غلظت فلزات سنگین در منطقه محل دفن زباله بیشتر از منطقه شاهد می‌باشد که نشان از تأثیر شیرابه زباله بر آب زیرزمینی اطراف محل دفن زباله دارد.

پی‌نوشت‌ها

1- Dissolved Organic Matter
2- Heavy Metal Evaluation Index
3- Heavy Metal Pollution Index
4- Maximum Admissible Concentration/Upper Permissible
5- Highest Permissible
6- Standard Permissible
7- Weightage

۵- مراجع

Abd El-Salam MM, Abu-Zuid GI (2015) Impact of landfill leachate on the groundwater quality: A case study in Egypt. Journal of Advanced Research 6(4):579-586

Abdollahi S, Hosseini HMS, Dehghan R (2019) Evaluation of the effects of landfill on the concentration of heavy metals in groundwater (Case study: Azadshahr). Environmental Sciences 18(1):151-164 (In Persian)

Alidad H, Ghaderifar SH, Ahmadi E, Bakhti S (2015) Comparison of chemical quality of water wells around the Mashhad's old landfill site in 2014. Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences 3(2):37-43

Baghvand A, Naserzadeh R, Abdoli M, Vosoogh A (2015) Survey of contamination of groundwater resources around landfills (Case study: Takestan Landfill Center). Journal of Environmental Studies 41(4):909-921 (In Persian)

Chiamsathit C, Charin P, Thammarakcharoen S (2020) Heavy metal pollution index for assessment of seasonal groundwater supply quality in rural area, Kalasin, Thailand. NU. International Journal of Science 17(1):45-60

Dejankrcmar D, Tenodi S, Grba N, Kerkez D, Watson M, Roncevic S, Dalmacija B (2018) Preremedial assessment of the municipal landfill pollution impact on soil and shallow groundwater in Subotica, Serbia. Science of the Total Environment 615:1341–1354

Ebrahimi A, Ehrampoush M, Ghaneian M, Davoudi M, Hashemi H, Behzad SH (2009) The survey chemical quality of ground water in the vicinity of sanitary landfill of Yazd in 2008. Journal of Health System Research, Sixth Year. 6:1048-1056 (In Persian)

Edet AE, Offiong OE (2002) Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring. A study case from Akpabuyo-Odukpani area, Lower Cross River Basin (southeastern Nigeria). GeoJournal 57(4):295-304

Fletcher T (2002) Neighbourhood change at Love Canal: Contamination, evacuation and resettlement. Land Use Policy 19(4):311–323

Gajski G, Orescanin V, Garaj-Vrhovac V (2012) Chemical composition and genotoxicity assessment of sanitary landfill leachate from Rovinj Coatia. Ecotoxicology and Environmental Safety 78:253-259

Goudarzi D, Lohrasbi A (2015) Environmental assessment of the Boroujerd landfill with Oleckno index and criteria of the Department of Environment (DOE). International Conference on Architecture, Civil Engineering and Urban Development in the Third, Tehran (In Persian)

Gravand F, Amirnezhad R, Hejazi A (2016) Investigation of the effects of heavy metals in waste leachate on groundwater quality adjacent to Landfill. National Conference of New Research and Training, Civil Engineering, Architecture, Urbanism, and Environment of Iran, 1-12, Tehran (In Persian)

Hajinezhad A, Servati P, Yosefi H (2015) Impact of landfill leachate on groundwater quality in Bojnourd city using standard landfill design or anaerobic digester replacement. Ecohydrology 2(3):301-310 (In Persian)

Jafari K, Hafezi N, Mazlomi A, Ghzi A (2016) Investigate of heavy metal pollution downstream of Ardebil municipal landfill. Journal of Environmental Studies 1(3):489-506 (In Persian)

Kakaei K, Riyahi Bakhtiari A (2017) Investigating the impact of Hamedan landfill on groundwater and soil. Journal of Water and Soil Science 22(1):87-97

Khanlari GH, Taleb Bedakhti A, Momenin A, Ahmadi R (2012) Impact of Hamedan landfill leachate on groundwater. Iranian Society of Engineering Geology 5(3):81-92 (In Persian)

Kwame Boateng T, Opoku F, Akoto O (2019) Heavy metal contamination assessment of groundwater quality: a case study of Oti landfll site, Kumasi. Applied Water Science 9:33

Mor S, Ravindra KH, Dahiya RP, Chandra A (2006) Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. Environmental Monitoring and Assessment 118:435–456

Prasanna M, Praveena S, Chidambaram S, Nagarajan R, Elayaraja A (2012) Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring: A case study from Curtin Lake, Miri City, East Malaysia. Environmental Earth Sciences 67(7):1987-2001

Przydatek G, Kanownik W (2019) Impact of small municipal solid waste landfill on groundwater quality. *Environmental Monitoring* and *Assessment* 191(169):1-14

Rajasekhar B, Nambi IM, Kumar S (2018) Human health risk assessment of ground water contaminated with petroleum PAHs using Monte Carlo simulations: A case study of an Indian Metropolitan

City. Journal of Environmental Management 205:183–191

Sabzevari Y, Haghiabi AH, Heidar Nasrollahi A (2020) Evaluation of groundwater resources quality and its effect on soil permeability in Borujerd-Doroud Plain using statistical and geostatistical analysis. Desert Ecosystem Engineering Journal 8(25):27-38 (In Persian)

Shojaei S, Jahanshahi R, Mali S (2018) Evaluating the trace elements contamination and corrosive potential in the groundwater of south and southwest of Sirjan city, Iran. Journal of Natural Environmental Hazards 8(21):111-128 (In Persian)

Solgi E, Sheikhzadeh H (2016) Study of water quality of Aras River using physico-chemical variables. Iran-Water Resources Research 12(3):208-213 (In Persian)

American Public Health Association (APHA) (2005) Eaton AD, Clesceri LS, Rice EW, Greenberg AE (eds.) Standard methods for the examination of water and wastewater (21th ed.), Washington, DC; 2005

Wang J, He J, Chen H (2012) Assessment of groundwater contamination risk using hazard quantifcation, a modifed DRASTIC model and groundwater value, Beijing Plain, China. Science of the Total Environment 432:216–226