

## ارزیابی شاخص آلودگی شیرابه محل دفن پسماند شهری سنندج

شعله مصنفی<sup>۱\*</sup>، نادعلی علوی بختیاروند<sup>۲</sup>، اکبر اسلامی<sup>۳</sup>، محسن سعدانی<sup>۲</sup><sup>۱</sup> گروه بیوتکنولوژی صنعت و محیط، پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی شهید بهشتی، تهران، ایران<sup>۲</sup> گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران<sup>۳</sup> مرکز تحقیقات کنترل عوامل زیان آور محیط و کار، پژوهشکده علوم بهداشتی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

## مقاله پژوهشی

## چکیده

**زمینه و اهداف:** شیرابه محل دفن پسماند به واسطه دارا بودن ترکیبات پیچیده آلی و معدنی، سمی بوده و دارای پتانسیل آلودگی بالایی است. برآورد شاخص آلودگی شیرابه محل دفن در پیش‌بینی اثرات طولانی مدت شیرابه بر محیط‌زیست و پیشنهاد راهکارهای مناسب مدیریت و تصفیه آن بسیار حائز اهمیت است. لذا در این مطالعه شاخص آلودگی شیرابه محل دفن پسماند شهری سنندج ارزیابی شده است.

**مواد و روش‌ها:** شش نمونه از حوضچه نگهداری شیرابه در پائین دست محل دفن پسماند شهری سنندج در طول فصل زمستان و بهار جمع‌آوری شد. آنالیزهای فیزیکی شیمیایی به منظور تعیین مشخصات شیرابه انجام شد. شاخص آلودگی شیرابه بر اساس ۱۸ پارامتر شامل pH، TDS، BOD، COD، TKN،  $\text{NH}_4$ ، Fe، Cu، Ni، Zn، Pb، Cr، Hg، As، ترکیبات فنولی، کلراید، سیانید و کل کلیفرم میکروبی محاسبه و ارزیابی گردید. ملاحظات اخلاقی و پژوهشی در تمام مراحل مطالعه در نظر گرفته شد.

**یافته‌ها:** نتایج این تحقیق حاکی از بالا بودن pH، COD، BOD، TKN،  $\text{NH}_4$  در شیرابه محل دفن مورد مطالعه است. همچنین شاخص آلودگی شیرابه بر اساس پارامترهای اندازه‌گیری شده، ۳۰/۱۹ برآورد شد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این مطالعه نشان داد که شاخص آلودگی شیرابه مورد مطالعه نسبت به مقادیر استاندارد برای تخلیه به محیط و آب سطحی به طرز قابل توجهی بالا است. مقدار بالای شاخص آلودگی شیرابه نشان می‌دهد که شیرابه مورد مطالعه خطرناک بوده و دارای پتانسیل آلودگی بالایی می‌باشد که نیازمند تصفیه پیش از تخلیه به محیط است.

**کلید واژه‌ها:** پسماند شهری، شیرابه محل دفن، شاخص آلودگی شیرابه

**Please cite this article as:** Mosanefi Sh, Alavi Bakhtiarvand N, Eslami A, Sadani M. Leachate pollution index evaluation of Sanandaj municipal landfill. Journal of Health in the Field 2024; 12(2):1-11. **Doi:** <https://doi.org/10.22037/jhf.v12i2.44639>.

\*نویسنده مسئول: گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

Email: [sh-mosanefi@sbmu.ac.ir](mailto:sh-mosanefi@sbmu.ac.ir)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

## مقدمه

یکی از پیامدهای رشد روزافزون جوامع بشری و سبک زندگی مصرف‌گرایی، توسعه محل‌های دفن پسماند است [۱،۲]. دفن پسماند در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه به دلیل مزایای اقتصادی آن نسبت به سایر روش‌های دفع مانند سوزاندن، تثبیت، تخلیه به دریا یا چاه، پرکاربردترین روش برای دفع نهایی اکثر پسماندها است [۱،۳]. استفاده وسیع از محل دفن شهری، سبب تولید محصولات ثانویه نامطلوب مانند شیرابه، گازهای گلخانه‌ای (متان و دی‌اکسید کربن) و بوهای نامطبوع می‌شود [۱،۲]. شیرابه یک مایع تیره‌رنگ است که از طریق واکنش‌های بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی پسماند تولید می‌شود و حاوی آلاینده‌های آلی و غیر آلی پیچیده و سمی است [۱،۴]. شیرابه در محل دفن در نتیجه تجزیه پسماند طی پنج فاز تطبیق، گذار، اسیدزایی، متان‌زایی و تثبیت و بلوغ تولید می‌شود [۵،۶]. مقدار و ویژگی‌های شیرابه تولیدی از یک محل دفن به دیگری متفاوت است. مشخصات شیرابه بسته به عوامل مختلفی مانند نوع پسماند، ترکیب و محتوای رطوبت پسماند، روش دفن، عمق دفن، میزان فشردگی در سلول دفن، سن محل دفن، شرایط آب و هوایی، نوع اقلیم، میزان بارش و رطوبت منطقه متفاوت بوده و ممکن است کاهش یا افزایش یابد [۷،۸]. به‌طور کلی مقدار شیرابه تولیدی در محل دفن پسماند حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد مقدار زباله دفن شده را شامل می‌شود [۹]. جاری شدن، عدم کنترل و تصفیه این مقدار شیرابه در محل دفن می‌تواند موجب آلودگی آب‌های سطحی، زیرزمینی، هوا و خاک نواحی پایین‌دست گردد [۸،۹].

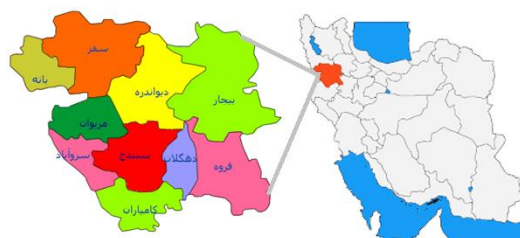
نفوذ شیرابه به آب‌های سطحی، لایه‌های خاک و تراوش آن به سفره آب‌های زیرزمینی به علت وجود آلاینده‌هایی نظیر هیدروکربورها، کلراید، بار آلی بالا، ترکیبات معدنی، سولفات، ترکیبات نیتروژنی و آمونیاک و همچنین فلزات سنگین مانند جیوه، کروم، سرب و کادمیوم باعث ایجاد مخاطرات بهداشتی، زیست‌محیطی و به خطر افتادن سلامت عموم جامعه می‌شود [۶،۱۰]. شاخص آلودگی شیرابه یک روش بر اساس مقیاس نسبی برای کمی نمودن پتانسیل آلودگی شیرابه محل‌های دفن پسماند شهری است [۷،۱۱]. شاخص آلودگی شیرابه (LPI: Leachate Pollution Index) کاربردهای بالقوه زیادی از جمله رتبه‌بندی سایت‌های دفن، تخصیص منابع، اجرای استانداردها، تحقیقات

علمی و اطلاعات عمومی دارد. ارزیابی پتانسیل آلودگی شیرابه محل‌های دفن پسماند در ارزیابی سطح مراقبت مورد نیاز محل دفن، تعیین میزان آلودگی شیرابه و استفاده به‌عنوان یک رویکرد یکپارچه ارزیابی خطر برای پیش‌بینی اثرات بلندمدت یک محل دفن بر سلامت انسان و محیط‌زیست مفید است [۱۲،۱۳]. در این راستا مطالعات بسیاری انجام شده است که به‌طور کلی به بررسی مشخصات شیرابه، تغییرات کیفیت آن و ارزیابی شاخص آلودگی شیرابه پرداخته‌اند [۱،۱۲]. همچنین در برخی مطالعات با استفاده از شاخص LPI به بررسی اثر آلودگی شیرابه در محل‌های دفن [۱۴]، محل‌های دفن غیر مهندسی [۱۵] و محل‌های دفن غیربهداشتی و تأثیر آن بر کیفیت آب‌های زیرزمینی [۱۶] پرداخته شده است. در مطالعاتی دیگر نیز به بررسی و مقایسه شاخص آلودگی شیرابه در شهرهای مختلف [۱۱] و انواع محل‌های دفن فعال و بسته [۱۷،۱۸] پرداخته شده است. شناخت و ارزیابی ویژگی شیرابه محل دفن زباله و شاخص آلودگی شیرابه در پیشنهاد یک راه‌حل و رویکرد تصفیه مناسب در راستای کاهش آلاینده‌های شیرابه محل دفن پسماند شهری به غلظت حد مجاز قبل از تخلیه آن‌ها به محیط اطراف و آب‌های سطحی مؤثر و ضروری است [۱۲،۱۹]. لذا در این مطالعه به منظور تخمین میزان خطرات و اثرات نامطلوب احتمالی بر سلامت انسان و محیط‌زیست کیفیت شیرابه محل دفن پسماند شهری سنجندج مورد مطالعه قرار گرفته و شاخص آلودگی شیرابه مورد ارزیابی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

شهر سنجندج، مرکز استان کردستان به مختصات طول جغرافیایی از ۴۶ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۰۲ دقیقه، عرض جغرافیایی از ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲۱ دقیقه هست که در ارتفاع ۱۴۹۵ متری از سطح دریا و در مساحتی حدود ۳۶۸۸/۶ هکتار واقع شده است. همان‌طور که در شکل شماره ۱ قابل مشاهده است، این شهرستان از شمال به شهرستان دیواندره، از جنوب به شهرستان کامیاران، از شرق به شهرستان‌های دهگلان و قروه و از بخش غربی به شهرستان‌های مریوان و سروآباد محدود می‌گردد [۲۰].



شکل ۱- نقشه موقعیت شهر سنجندج در ایران و استان کردستان

Figure 1- Sanandaj location in Iran and Kurdistan province

### پسماند تولیدی شهر سنندج

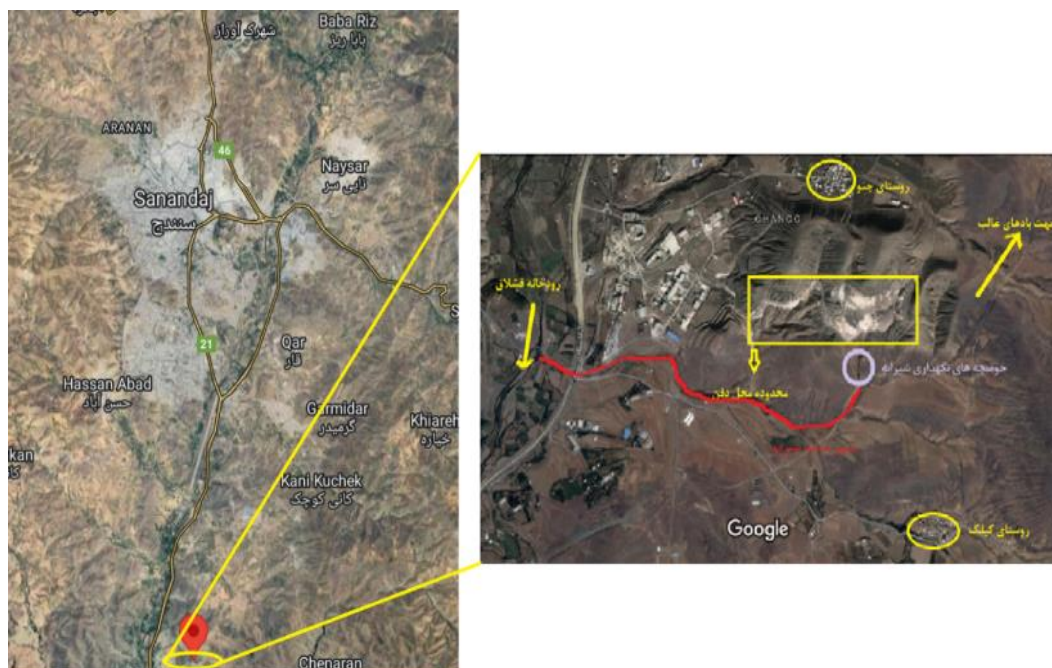
بر اساس آخرین سرشماری مرکز آمار ایران جمعیت سنندج در سال ۱۳۹۹ به ۵۳۰۴۹۴ نفر و جمعیت شهرنشین ۴۳۸۰۹۳ نفر رسیده است. اطلاعات به دست آمده از سازمان مدیریت پسماند سنندج، سرانه پسماند و مقدار پسماند تولیدی شهر سنندج با چگالی ۴۲۵/۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب، به ترتیب ۰/۸۹۵ کیلوگرم و ۴۰۰ تن در روز است. همچنین ۱۶٪ از پسماند تولیدی توسط نواحی روستایی که در شعاع ۲۰ کیلومتری شهر واقع شده‌اند، همراه پسماند شهری جمع‌آوری می‌شود [۲۰]. در حال حاضر در شهر سنندج ۷ بیمارستان مشغول به فعالیت هستند که پسماند بی‌خطر سازی شده را به سازمان مدیریت پسماند تحویل داده و در سلول‌های جداگانه در محل دفن، دفن می‌گردد. همچنین محل دفن هم‌اکنون پذیرای پسماند تولیدی کلیه مراکز و واحدهای صنعتی، تجاری و تولیدی است [۲۱].

### محل نمونه‌برداری

محل دفن پسماند شهر سنندج، در ۱۲ کیلومتری جاده سنندج- کامیاران با ۲/۵ کیلومتر جاده فرعی از اصلی در منطقه‌ای کوهستانی و تپه ماهور واقع شده است که در سال ۱۳۷۰ در زمینی بالغ بر ۳۵ هکتار احداث شده و روزانه نزدیک به ۲۸۰ تن پسماند تولیدی در سطح شهر و دور ریز سایت کمپوست، مستقیماً به محل دفن زباله‌های شهری انتقال داده می‌شود. عملیات و تکنیک دفن از نوع سراسیمی است و عمق دفن در

این محل دفن به ۱۲-۱۰ متر می‌رسد [۲۰]. این محل دفن از نوع غیرمهندسی بوده و فاقد زهکشی و بستر سازی مناسب جهت جمع‌آوری، نگهداری شیرابه و کنترل آلودگی ناشی از نشت احتمالی آن است. سازمان مدیریت پسماند سنندج جهت کنترل آلودگی آب و خاک‌های اطراف محل دفن در پائین دست در نتیجه تولید و سرایز شدن شیرابه، ۳ عدد حوضچه خاکی احداث نموده است که به ترتیب سر ریز هر کدام پس از مدتی ماندگاری وارد حوضچه بعدی می‌شود.

طی چند سال گذشته در پائین دست محل دفن و دورتر از حوضچه‌های قبلی، حوضچه‌ای خاکی ولی بزرگ‌تر احداث گردیده که شیرابه خروجی از حوضچه‌های قبلی با طی مسافتی وارد آن شده و در نهایت بعد از مدتی کوتاه ماندگاری از حوضچه خارج و به رودخانه فصلی پایین دست وارد شده و همان‌گونه که در شکل شماره ۲ مشخص شده است در انتهای مسیر وارد رودخانه قشلاق می‌شود [۲۰، ۲۱]. نمونه شیرابه از قسمت خروجی پایین دست آخرین حوضچه گرفته شد. بدین‌صورت که طی شش ماه در فصل زمستان سال ۱۳۹۸ و بهار سال ۱۳۹۹، هر ماه یک بار نمونه برداشت گردید و در ظروف پلاستیکی ۱۰ لیتری و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه منتقل و مورد آنالیز قرار گرفت. آنالیز فیزیکی شیمیایی شیرابه طبق روش‌های استاندارد متد آب و فاضلاب انجام شد و به منظور کاهش خطا و افزایش دقت نتایج، انجام هر آنالیز سه بار تکرار شد [۲۲]. در تمامی مراحل انجام این مطالعه ملاحظات اخلاقی و پژوهشی به طور کامل مورد توجه قرار گرفت.



شکل ۲- موقعیت محل دفن و مسیر حرکت شیرابه

Figure 2- Landfill location and leachate movement direction

## محاسبه شاخص آلودگی شیرابه

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

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

در رابطه بالا، LPI شاخص آلودگی شیرابه،  $W_i$  وزن پارامتر آلاینده نام است،  $P_i$  مقدار زیر شاخص پارامتر آلاینده نام است.  $n$  و  $m$  تعداد عوامل آلاینده شیرابه است. مجموع وزن عوامل در رابطه شماره ۱ برابر یک است؛ اما در رابطه شماره ۲ در صورت عدم وجود هر تعداد از عوامل، مجموع وزن عوامل کمتر از یک است. در این مطالعه به دلیل عدم وجود اطلاعات آنالیز تمامی ۱۸ عامل مورد نیاز برای محاسبه شاخص آلودگی شیرابه از رابطه شماره ۲ استفاده شد [۱۳]. در ادامه پس از آنالیز شیرابه نمونه برداری شده و به دست آمدن مشخصات شیرابه، وزن و زیر شاخص هر پارامتر محاسبه شده و با جایگزاری در رابطه شماره ۲ شاخص آلودگی شیرابه محاسبه شد. همچنین وضعیت شاخص LPI بدست آمده در این مطالعه براساس استاندارد LPI برای تخلیه به محیط (۵/۵۶) و تخلیه به آب سطحی (۷/۴) مقایسه و ارزیابی گردید [۱۲، ۱۷، ۲۳].

## یافته‌ها

نتایج به دست آمده از آنالیز فیزیکی شیمیایی شیرابه محل دفن پسماند شهری سنندج در راستای تعیین مشخصات و کیفیت آن در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

شاخص آلودگی شیرابه یک روش مناسب و معنادار برای ارزیابی و تعیین پتانسیل آلودگی شیرابه محل‌های دفن پسماند در محیط اطراف محل دفن در یک زمان خاص است [۱۲، ۱۵]. این شاخص یک مقدار نسبی و کمی از میزان آلودگی مکان‌های دفن را بر اساس اندازه‌گیری ۱۸ عامل مختلف نشان می‌دهد. عوامل انتخاب شده عبارت‌اند از pH، کل جامدات محلول (TDS)، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، نیتروژن کل کج‌لدال (TKN)، نیتروژن آمونیومی ( $NH_4^+$ )، آهن، مس، نیکل، روی، سرب، کروم، جیوه، آرسنیک، ترکیبات فنولی (PC)، کلراید ( $Cl^-$ )، سیانید ( $CN^-$ ) و کل باکتری‌های کلیفرم (TCB) [۱۳، ۱۵]. به هر یک از عوامل انتخاب شده، وزن‌هایی اختصاص داده می‌شود که بر اساس میانگین نمرات ارائه شده توسط متخصصین در پرسشنامه‌ها در مقیاس ۱ تا ۵ محاسبه می‌گردد. مقدار "۱" پارامتری را نشان می‌دهد که کمترین اهمیت نسبی را برای آلودگی شیرابه دارد؛ درحالی‌که مقدار "۵" به پارامتری که دارای بیشترین اهمیت نسبی است، اختصاص داده می‌شود [۱۳]. این شاخص می‌تواند به عنوان یک ابزار اطلاعاتی مهم برای سیاست‌گذاران و عموم مردم در مورد تهدید آلودگی شیرابه محل‌های دفن پسماند عمل کند. به‌طور معمول برای ارزیابی شاخص آلودگی شیرابه محل دفن، از معادلات ارائه شده در رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده می‌شود [۱۲، ۱۳].

جدول ۱- مشخصات فیزیکی شیمیایی شیرابه محل دفن پسماند شهری سنندج

Table 1- Physicochemical characteristics of Sanandaj municipal landfill leachate

| عوامل                         | واحد | دامنه تغییرات | میانگین |
|-------------------------------|------|---------------|---------|
| pH                            | -    | ۷/۴- ۸/۳      | ۷/۶۸    |
| کل جامدات محلول (TDS)         | mg/L | ۲۳۶۱- ۲۷۸۸    | ۲۵۰۹    |
| نیتروژن آمونیایی ( $NH_4-N$ ) | mg/L | ۱۳۵۰- ۱۲۹۵    | ۱۳۲۰    |
| کل نیتروژن آلی (TKN)          | mg/L | ۱۸۲۰- ۲۸۸۴    | ۲۱۸۴    |
| COD                           | mg/L | ۵۳۰۰- ۱۸۰۰۰   | ۳۰۹۱۶   |
| BOD <sub>5</sub>              | mg/L | ۱۵۶۰۰- ۱۱۳۰۰  | ۱۳۴۵۰   |
| BOD <sub>5</sub> /COD         | -    | ۰/۶- ۰/۳      | ۰/۴۳    |
| کلراید ( $Cl^-$ )             | mg/L | ۲۴۳- ۹۳۱      | ۵۸۷     |
| آهن (Fe)                      | mg/L | ۳/۱۸- ۳/۹     | ۳/۵۵    |
| نیکل (Ni)                     | mg/L | ۰/۲۴- ۰/۳۲    | ۰/۲۸    |
| روی (Zn)                      | mg/L | ۰/۲۵- ۰/۳۳    | ۰/۲۹    |
| سرب (Pb)                      | mg/L | ۰/۰۵- ۰/۰۷    | ۰/۰۶    |
| مس (Cu)                       | mg/L | ۰/۱۳- ۰/۲۶    | ۰/۱۹    |
| کروم (Cr)                     | mg/L | ۰/۱۹- ۰/۲۹    | ۰/۲۴    |

شاخص و مقادیر به دست آمده در سایر مطالعات انجام شده، صورت گرفت که نتایج حاصل از این مقایسه در جدول شماره ۳ ارائه شده است. یافته‌های این بخش نشان می‌دهد که شاخص آلودگی شیرابه در محل‌های دفن فعال بالاتر از محل‌های دفن بسته است و LPI به دست آمده برای شیرابه مورد مطالعه نیز در رنج شیرابه محل‌های دفن فعال و اندکی بالاتر است.

یافته‌های این تحقیق حاکی از بالابودن pH، COD، BOD، کل نیتروژن و نیتروژن آمونیاکی شیرابه محل دفن مورد مطالعه است. داده‌های به دست آمده از واردکردن مشخصات و اطلاعات شیرابه در رابطه شماره ۲ برای برآورد شاخص آلودگی شیرابه نیز در جدول شماره ۲ ارائه شده است. یافته‌های این بخش نشان می‌دهد که شاخص آلودگی شیرابه در محل دفن پسماند شهری سنندج معادل ۳۰/۱۹ است. ارزیابی و مقایسه شاخص آلودگی شیرابه در مطالعه پیش رو با مقدار استاندارد

جدول ۲- محاسبه شاخص آلودگی شیرابه (LPI)  
Table 2- Calculation of leachate pollution index (LPI)

| ردیف           | عوامل                                 | واحد | غلظت<br>آلاینده | اهمیت<br>آلاینده | مقدار<br>زیر شاخص (Pi) | وزن آلاینده<br>(Wi) | (PiWi) |
|----------------|---------------------------------------|------|-----------------|------------------|------------------------|---------------------|--------|
| ۱              | pH                                    | -    | ۷/۶۸            | ۳/۵۰             | ۵                      | ۰/۰۵۵               | ۰/۳۲۵  |
| ۲              | کل جامدات محلول (TDS)                 | mg/L | ۲۵۰۹            | ۳/۱۹             | ۸                      | ۰/۰۵۰               | ۰/۴    |
| ۳              | نیتروژن آمونیاکی (NH <sub>4</sub> -N) | mg/L | ۱۳۲۰            | ۳/۲۵             | ۱۰۰                    | ۰/۰۵۱               | ۵/۱    |
| ۴              | کل نیتروژن آلی (TKN)                  | mg/L | ۲۱۸۴            | ۳/۳۶             | ۸۰                     | ۰/۰۵۳               | ۴/۲۴   |
| ۵              | BOD <sub>5</sub>                      | mg/L | ۱۳۴۵۰           | ۳/۹۰             | ۷۰                     | ۰/۰۶۱               | ۴/۲۷   |
| ۶              | COD                                   | mg/L | ۳۰۹۱۶           | ۳/۹۶             | ۸۷                     | ۰/۰۶۲               | ۵/۳۹۴  |
| ۷              | کلراید (Cl <sup>-</sup> )             | mg/L | ۵۸۷             | ۳/۰۷             | ۸                      | ۰/۰۴۸               | ۰/۳۸۴  |
| ۸              | آهن (Fe)                              | mg/L | ۳/۵۵            | ۲/۸۳             | ۵                      | ۰/۰۴۵               | ۰/۲۲۵  |
| ۹              | نیکل (Ni)                             | mg/L | ۰/۲۸            | ۳/۳۲             | ۶                      | ۰/۰۵۲               | ۰/۳۱۲  |
| ۱۰             | روی (Zn)                              | mg/L | ۰/۲۹            | ۳/۵۸             | ۵                      | ۰/۰۵۶               | ۰/۲۸   |
| ۱۱             | سرب (Pb)                              | mg/L | ۰/۰۶            | ۴/۰۱             | ۵                      | ۰/۰۶۳               | ۰/۳۱۵  |
| ۱۲             | مس (Cu)                               | mg/L | ۰/۱۹            | ۳/۱۷             | ۵                      | ۰/۰۵۰               | ۰/۲۵   |
| ۱۳             | کروم (Cr)                             | mg/L | ۰/۲۴            | ۴/۰۵             | ۶                      | ۰/۰۶۴               | ۰/۳۸۴  |
| ۱۴             | جیوه (Hg)                             | mg/L | ---             | ۳/۹۲             | ---                    | ---                 | ---    |
| ۱۵             | آرسنیک (As)                           | mg/L | ---             | ۳/۸۸             | ---                    | ---                 | ---    |
| ۱۶             | سیانید (CN <sup>-</sup> )             | mg/L | ---             | ۳/۶۹             | ---                    | ---                 | ---    |
| ۱۷             | ترکیبات فنولیک                        | mg/L | ---             | ۳/۶۲             | ---                    | ---                 | ---    |
| ۱۸             | کل کلیرم (TC)                         | MPN  | ---             | ۳/۲۸             | ---                    | ---                 | ---    |
| $\sum W_i$     |                                       |      |                 |                  |                        |                     | ۰/۷۱   |
| $\sum P_i W_i$ |                                       |      |                 |                  |                        |                     | ۲۱/۴۴۵ |
| LPI            |                                       |      |                 |                  |                        |                     | ۳۰/۱۹  |

تهدیدات بالقوه‌ای را برای محیط اطراف و اکوسیستم‌ها ایجاد نماید [۱۰]؛ بنابراین شناخت شیرابه محل دفن پسماند، آگاهی از خصوصیات آن و بررسی شاخص آلودگی آن امری ضروری است [۱۷].

## بحث

شیرابه محل دفن زباله مخلوطی از آب باران نفوذ یافته، آب حاصل از تجزیه زیستی زباله و آب ذاتی پسماند است که حاوی مقادیر زیادی مواد آلی محلول، نمک‌ها، نیتروژن آمونیومی، یون‌های فلزات سنگین و سایر ترکیبات آلی مانند آلیفاتیک‌های کلردار و آفت‌کش‌ها است که می‌تواند

### خصوصیات فیزیکی شیمیایی شیرابه کل جامدات محلول (TDS) و اسیدیته (pH)

مقدار TDS یکی از عواملی اولیه برای صدور مجوز تخلیه شیرابه تصفیه شده در بسیاری از کشورهای جهان است [۱]. این پارامتر منعکس کننده حضور مواد آلی و غیر آلی محلول و میزان معدنی سازی نمونه بوده و غلظت بالای TDS می تواند خصوصیات فیزیکی شیمیایی آب پذیرنده را تغییر دهد. جامدات به دلیل ماهیت و ویژگی فیزیکی خود در محیط های آبی سبب پراکنده شدن نور عبوری می شوند که بر میزان کدورت سنجش شده تاثیر گذار است [۲۳]. بنابراین TDS نسبتاً بالا ممکن است

سبب افزایش رنگ، کدورت و کاهش شفافیت یا زلالیت آب شود که به نوبه خود سبب محدودیت عبور نور و کاهش فتوسنتز در محیط آبی پذیرنده می شود. به علاوه TDS بالا سبب محدود نمودن رشد و متعاقباً مرگ بسیاری از میکروارگانیسم ها در بدنه های آبی پذیرنده شیرابه می شود [۷]. میانگین مقادیر اندازه گیری شده TDS شیرابه مورد مطالعه ۲۵۰۹ میلی گرم بر لیتر به دست آمد که نسبت به TDS اندازه گیری شده در مطالعات مختلف بر روی شیرابه برخی از محل دفن فعال پایین تر است [۱۷] و تقریباً در بازه جامدات محلول شیرابه محل های دفن غیرفعال بوده و اندکی بالاتر است [۲۳].

جدول ۳- مقایسه شاخص آلودگی شیرابه (LPI) در محل های دفن پسماند شهری در مقالات مختلف

Table 2- Leachate Pollution Index (LPI) comparison in municipal landfills in deferent studies

| فعالیت محل دفن                                  | عنوان شهر/ محل دفن | شاخص آلودگی شیرابه (LPI) | منابع       |
|-------------------------------------------------|--------------------|--------------------------|-------------|
| فعال                                            | تالش               | ۲۳/۶۴                    | [۱۱]        |
|                                                 | رودسر              | ۲۷/۵۱                    |             |
|                                                 | فریدون کنار        | ۱۷/۹۶                    |             |
| فعال                                            | Al Amirat          | ۲۷/۲۳                    | [۱۵]        |
| فعال                                            | Ulu Maasop         | ۱۵/۲۸                    | [۱۷]        |
|                                                 | Kampung Keru       | ۱۳/۸۹                    |             |
|                                                 | Pajam1             | ۱۲/۹۱                    |             |
|                                                 | Pajam2             | ۱۱/۵۱                    |             |
| فعال                                            | Amir Hitam         | ۲۲/۷۱                    | [۱۴]        |
|                                                 | Sungai Sedu        | ۱۶/۶۳                    |             |
| بسته                                            | Wiroclaw           | ۵/۷۳                     | [۱۹]        |
|                                                 | Bielawa            | ۱۷/۴                     |             |
|                                                 | Legnica            | ۲۰/۵                     |             |
| فعال                                            | Jawor              | ۱۹/۲۳                    | [۱۲]        |
| فعال                                            | Karsan             | ۱۶/۸۱                    |             |
|                                                 | Ramna              | ۱۲/۴۰                    | [۱۸]        |
| بسته                                            | Dhapa-Kolkata      | ۳۱/۸۰                    |             |
| فعال                                            | Dhapa-Kolkata      | ۳۴/۰۲                    |             |
| فعال                                            | Pulau Burung       | ۲۳/۴۵                    | [۲۳]        |
|                                                 | Kulim              | ۱۹/۵۰                    |             |
|                                                 | Kuala Sepetang     | ۲۱/۷۷                    |             |
|                                                 | Ampang Jajar       | ۱۶/۴۴                    |             |
| فعال                                            | سنندج              | ۳۰/۱۹                    | مطالعه حاضر |
| میزان / نرخ استاندارد برای تخلیه به محیط        |                    | ۵/۶۹۶                    | [۱۷ و ۲۴]   |
| میزان / نرخ استاندارد برای تخلیه به آب های سطحی |                    | ۷/۴                      | [۱۲ و ۱۷]   |

می‌شود [۲۷]. همانطور که در بخش قبلی ذکر شد، براساس تغییرات pH شیرابه، محل دفن در مرحله متانوژنیک قرار دارد، هرچند که در این مطالعه مقادیر  $BOD_5$  و COD بسیار بیشتر از مقدار اندازه‌گیری در حالت فاز متانوژنیک محل دفن (به ترتیب ۱۸۰ و ۳۰۰۰) است [۱۷، ۲۵]. به‌طور کلی، نسبت ترکیبات آلی زیست‌تخریب‌پذیر در شیرابه محل دفن زباله با نسبت  $BOD_5/COD$  نشان داده می‌شود [۳۰]. این نسبت نشان‌دهنده بلوغ محل‌های دفن زباله و قابلیت تجزیه‌پذیری زیستی شیرابه است [۱]. مرور مطالعات نشان می‌دهد که در محل‌های دفن جوان و فعال این نسبت بین ۰/۴ الی ۰/۶ بوده و در محل‌های دفن قدیمی و بسته به حدود ۰/۲ الی ۰/۵ می‌رسد [۱]. نسبت بیشتر از ۰/۵ نشان‌دهنده فاز اسیدی شیرابه است، درحالی‌که نسبت کمتر از ۰/۱ نشان‌دهنده تثبیت نسبی شیرابه و پایین بودن قابلیت تجزیه‌پذیری زیستی محتویات آلی در شیرابه است که با افزایش سن دفن اتفاق می‌افتد [۱۰، ۳۰]. در مطالعه حاضر نسبت  $BOD_5/COD$  برای شیرابه محل دفن پسماند شهری سنج ۴۳/۰ به دست آمد. مقدار نسبتاً بالای  $BOD_5/COD$  نشان می‌دهد که محل دفن مورد مطالعه علاوه بر قدیمی بودن و بالا بودن سن دفن (حدود ۳۲ سال)، به وضعیت پایدار نرسیده، مواد آلی موجود در شیرابه تقریباً زیست‌تخریب‌پذیر هستند و تصفیه شیرابه به روش‌های بیولوژیکی مناسب به نظر می‌رسد [۱۰، ۱۷، ۳۱].

#### کل نیتروژن (TKN)، نیتروژن آمونیومی ( $NH_4$ ) و کلراید

نیتروژن کل کج‌دال (TKN)، مجموع نیتروژن آلی و نیتروژن آمونیایی را نشان می‌دهد [۱۸]؛ درحالی‌که نیتروژن آمونیایی اندازه‌گیری مقدار نیتروژن به‌صورت یون آمونیوم است. شیرابه در نتیجه تخریب بیولوژیکی اسیدهای آمینه و سایر مواد آلی حاوی ترکیبات نیتروژن دار است [۱]. با توجه به پایداری آن در شرایط بی‌هوازی، به نظر می‌رسد نیتروژن آمونیومی آلاینده‌ای است که در شیرابه‌های دفن زباله دوام بیشتری دارد؛ بنابراین از آن برای تعیین پتانسیل آلاینده در محل‌های دفن زباله استفاده می‌شود [۳۲].

مقادیر کل نیتروژن و آمونیوم برای شیرابه نمونه‌برداری شده به ترتیب ۲۱۸۴ و ۱۳۲۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده که آمونیوم بخش عمده نیتروژن کل را به خود اختصاص داده است. در مقایسه با مواد آلی محلول، انتشار نیتروژن محلول از پسماند به شیرابه در مدت طولانی‌تری ادامه می‌یابد [۲۶]. در نتیجه، غلظت نیتروژن آمونیایی با افزایش سن محل دفن زباله افزایش می‌یابد که به دلیل هیدرولیز و تخمیر بخش‌های نیتروژنی بسترهای زباله زیست‌تخریب‌پذیر است [۱، ۲۳]. آمونیاک به دلیل پایداری در شرایط بی‌هوازی به عنوان یک آلاینده اصلی در بلندمدت در نظر گرفته می‌شود که میانگین غلظت آن در شیرابه بین ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر پس از یک دوره ۳ تا ۵۰ ساله دفن پسماند باقی می‌ماند. نیتروژن آمونیایی به‌عنوان سمی اصلی برای موجودات زنده رتبه‌بندی می‌شود، به‌گونه‌ای که غلظت‌های بالاتر آمونیاک برای افزایش رشد

مقدار اندازه‌گیری شده pH در محدوده ۷/۴ الی ۸/۳ و طور میانگین ۷/۶ بوده و در بازه قلیایی قرار دارد. مقدار pH شرابه مورد مطالعه با مطالعات انجام شده بر روی شیرابه بر اساس دسته‌بندی فعالیت و سن محل دفن همخوانی و مطابقت دارد. ماهیت قلیایی شیرابه نشان می‌دهد که شیرابه در مرحله متانوژنیک یا متان‌زایی قرار دارد [۱۷، ۲۵]. مقدار pH شیرابه در این مرحله، به دلیل کاهش غلظت نسبی اسیدهای چرب فرار یونیزه شده که توسط باکتری‌های متانوژن با باکتری‌های تولیدکننده متان مصرف شده‌اند، بالا می‌رود [۱، ۱۴]. بنابراین با افزایش سن محل دفن و به ثبات رسیدن آن، pH شیرابه در طول زمان، تمایل به افزایش تدریجی از حالت تقریباً اسیدی به حالت قلیایی (۹-۷/۵) دارد [۲۶]. با توجه به مطالعات انجام شده محل دفن پسماند شهری سنج با حدود ۳۲ سال فعالیت به عنوان یک محل دفن قدیمی به شمار می‌رود [۱۰، ۱۷]. در محل‌های دفن قدیمی مانند محل دفن پسماند سنج به دلیل بالا بودن نسبت پسماندهای قدیمی و تثبیت شده به پسماند جدید، حتی با ادامه بارگیری پسماند جدید در سلول‌های دفن و دفن پسماند در محل دفن، شیرابه اسیدی مشاهده نشده و شیرابه در فاز قلیایی باقی می‌ماند [۲۷].

#### $BOD_5$ ، COD و نسبت $BOD_5/COD$

اندازه‌گیری مواد آلی مانند  $BOD_5$  و COD برای شناسایی و تعیین میزان تجزیه‌پذیری شیرابه تولیدی از محل دفن و فاز آن حائز اهمیت است. مقدار  $BOD_5$  در واقع ارزیابی مقادیر آلاینده آلی در آب و فاضلاب است که بر اساس اکسیژن محلول مصرف شده توسط میکروارگانیسم‌ها در طول اکسیداسیون بیوشیمیایی مواد آلی است [۲۷، ۲۸]. از سوی دیگر COD بیانگر مقدار اکسیژن لازم به منظور اکسیداسیون کامل ترکیبات آلاینده آلی به غیر آلی یا معدنی به عنوان محصول نهایی است. همچنین این پارامتر حضور آلاینده‌های دارای قابلیت اکسیداسیون و مواد شیمیایی سمی را برآورد می‌کند [۲۹، ۳۰]. آلودگی  $BOD_5$  و COD از عوامل اساسی در محدود کردن تخلیه شیرابه به محیط هستند [۷، ۱۰].

مقادیر  $BOD_5$  و COD در نمونه شیرابه ۱۳۴۵۰ و ۳۰۹۱۶ میلی‌گرم بر لیتر بود که بیشتر از میزان مجاز استاندارد برای تخلیه به محیط است. به علاوه مقادیر این دو پارامتر بسیار بیشتر از مقدار متناظر آن، هم در محل دفن بسته شده و هم در محل دفن فعال در برخی از مطالعات مرتبط است [۱۷]. با افزایش سن محل دفن، به علت تجزیه سرعت پسماندهای قابل تجزیه زیستی مقدار  $BOD_5$  بیشتر از مقدار COD کاهش می‌یابد [۱]. همچنین در طول فاز متانوژنیک مقادیر pH به طور تقریبی تا ۷/۹ افزایش یافته و مقادیر  $BOD_5$ ، COD و  $BOD_5/COD$  کاهش می‌یابد [۱، ۱۷]. پسماند تازه دفن شده منجر به افزایش تجزیه‌پذیری ترکیبات آلی دارای  $BOD_5$  و COD بالا شده و به دلیل بالا بودن تخریب اسیدی مواد آلی و نسبت پسماند قدیمی و تثبیت‌شده به پسماند تازه، فاز اسیدزایی توسط فاز متان‌زایی سرکوب

مقادیر آهن، مس، نیکل، روی، سرب و کروم به دست آمده از آنالیز شیرابه مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۳/۵۵، ۰/۱۹، ۰/۲۸، ۰/۲۹، ۰/۰۶ و ۰/۲۴ میلی گرم بر لیتر بوده است.

تفسیر مقادیر به دست آمده از مرور منابع در مطالعه Abunama و همکاران حاکی از متغییر بودن غلظت فلزات سنگین در محل دفن کشورهای مختلف است [۱]. به عنوان مثال مقادیر آهن در نمونه شیرابه محل دفن در کشورهای اروپایی (۴۱ mg/L)، آسیایی (۲۶ mg/L)، آمریکای جنوبی (۲۶ mg/L) و شمالی (۲۲ mg/L) بالا است، در حالی که در مطالعات انجام شده بر روی محل های دفن در آمریکای شمالی مقدار آرسنیک (۳۳/۸ mg/L) و کروم (۴۲/۵ mg/L) بالاتر از کشورهای اروپایی و آسیایی بوده است. به علاوه غلظت مس (۱/۱۳ mg/L)، سرب (۲/۵ mg/L) و جیوه (۳/۷۸ mg/L) در شیرابه محل دفن کشورهای آمریکای جنوبی بیشتر از سایر کشورهای دیگر است. بنابراین غلظت فلزات سنگین اندازه گیری شده در شیرابه محل دفن پسماند شهری سنجش نشان می دهد که میزان این فلزات در محدوده متوسط رو پایین قرار دارد [۱].

علت پایین بودن مقادیر فلزات سنگین، قلیایی بودن pH شیرابه است که نشان از فاز متانوژنیک محل دفن دارد. در نتیجه، بالا بودن میزان pH سبب کاهش حلالیت فلزات و متعاقباً سبب کاهش مقادیر اندازه گیری شده است [۱۵]. همچنین نتایج به دست آمده از مقایسه مطالعات مختلف انجام شده توسط Hussain و همکاران نشان می دهد که نمونه های شیرابه محل های دفن جوان و فعال حاوی غلظت بالایی از فلزات سنگین بودند؛ در حالی که با افزایش سن دفن و بسته شدن محل دفن به دلیل کاهش انحلال فلزات ناشی از افزایش pH و در نتیجه تثبیت واکنش های جذب و رسوب شیرابه، غلظت فلزات سنگین کاهش می یابد [۵، ۱۷، ۲۳].

### شاخص آلودگی شیرابه (LPI)

شاخص LPI تأثیر ترکیبی از متغیرهای آلاینده بر میزان آلودگی و کیفیت شیرابه را منعکس می کند و روشی معنادار و آسان برای ارزیابی پتانسیل آلودگی شیرابه مکان های مختلف دفن زباله در یک زمان خاص است [۳۵]. این شاخص نشان دهنده پتانسیل آلودگی شیرابه محل های دفن زباله در یک منطقه جغرافیایی معین، بصورت مقایسه ای و براساس مجموعه ای از قضاوت ها و مقایسه های نسبی است و در بهترین حالت یک ابزار شناسایی خطر است [۱۳]. مقدار LPI محاسبه شده برای شیرابه محل دفن پسماند شهری سنجش ۳۰/۱۹ به دست آمد که مقدار آن نسبت به شاخص LPI به دست آمده در محل های دفن فعال مانند محل دفن Al-Amirat، تالش، Pulau Burung به ترتیب با شاخص ۲۷/۲۳، ۲۳/۶۴ و ۲۳/۴۵ هم محدوده بوده [۱۱، ۱۵، ۲۳] و در برخی موارد از جمله مطالعه انجام شده بروی محل دفن بسته Dhapa-Kolkata با شاخص ۳۴/۰۲ و محل دفن فعال Dhapa-Kolkata با شاخص ۳۴/۰۲

جلبک سمی شناخته شده است. همچنین به دلیل کاهش اکسیژن محلول سبب افزایش اتروفیکاسیون شده و به همین دلیل می تواند عملیات تصفیه شیرابه بیولوژیکی را نیز مختل نماید [۸، ۲۳]. کلراید از دیگر آلاینده های شیرابه است که تحت هر شرایطی بسیار متحرک بوده و به راحتی از سد خاک عبور می کند [۲۳]. کلراید به عنوان عنصر ردیابی ستون شیرابه در آب های زیرزمینی از اهمیت ویژه ای برخوردار است [۱۰، ۱۲]. مقدار بالای کلر در شیرابه را می توان به اختلاط زباله های خانگی نسبت داد که نشان دهنده وجود مقادیر قابل توجهی نمک های محلول در زباله های آشپزخانه از خانه ها، رستوران ها و هتل ها است [۳۳]. غلظت کلراید ممکن است بین ۲۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر برای یک محل دفن پسماند جوان باشد و به ۱۰۰ تا ۴۰۰ برای محل دفن با سن بیشتر از ۵-۱۰ ساله برسد [۳۴]. نتایج آنالیز شیرابه مقدار کلراید را ۵۸۷ میلی گرم بر لیتر برآورد کرده اند که این مقدار بیشتر از مقادیر شناسایی شده در محل های دفن قدیمی و کمتر از مقدار متناظر آن (به ترتیب ۷۶۵ و ۱۲۲۱) در مطالعه انجام شده بر روی شیرابه دو محل دفن فعال در هند بوده است [۱۲].

### فلزات سنگین

به طور کلی غلظت فلزات سنگین در شیرابه دفن زباله نسبتاً پایین است [۵، ۲۳]. غلظت فلزات سنگین در شیرابه محل دفن زباله در مراحل جوانی به علت pH پایین ناشی از تولید اسیدهای آلی است، چراکه پایین بودن pH سبب حلالیت بیشتر فلزات می شود [۱، ۲۳]. در نتیجه افزایش pH تا فاز قلیایی، حلالیت فلز کاهش یافته و در نتیجه غلظت فلزات سنگین در شیرابه کاهش می یابد [۵، ۲۳]. منابع اصلی فلزات سنگین در پسماندهای شهری باتری ها، لوازم الکترونیکی مصرفی، سرامیک ها، لامپ ها، گرد و غبار خانه، تراشه های رنگ، فویل های سربی مانند درب بطری ها، روغن موتور کارکرده، پلاستیک ها، جوهر و شیشه هستند [۱۰، ۱۶]. مرور منابع و مطالعات انجام شده در این زمینه نشان می دهد که آهن (Fe) موجود در شیرابه از دفع ضایعات فلزی و پسماندهای برپایه قلع، مس (Cu) از دفع پسماند کیسه های سیمان، سرب (Pb) از دفع باتری ها، مواد شیمیایی عکسبرداری، رنگ های مبتنی بر سرب و لوله های سربی، نیکل (Ni) از دفع باتری های مصرفی، کروم (Cr) از مواد نگه دارنده چوب و محصولات رنگی را در پسماند منتشره از خودروهای تانکر دیزلی حمل و جمع آوری ضایعات فلزی، روی (Zn) از دفع لامپ های فلورسنت و باتری های مصرفی، آرسنیک (As) از دفع کنترل نشده ضایعات الکترونیکی از تخته های مدار، تراشه های کامپیوتر و نمایشگرهای کریستال مایع (LCD) و کودهای کشاورزی، جیوه (Hg) از دفع لامپ ها و چراغ های فلورسنت، باتری ها، کلیدها و رله های الکتریکی، فشارسنج ها و دماسنج ها و سیانید (CN<sup>-</sup>) از دفع پسماندهای صنعتی راه یافته به پسماند شهری نشأت می گیرد [۱۰، ۱۶].

لایه‌های خاک اطراف محل دفن، سلامت جامعه پایین دست محل دفن و به طور ویژه به ارزیابی شاخص آلودگی شیرابه (LPI) پردازد [۱۲، ۱۳].

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی مشخصات شیرابه و ارزیابی شاخص آلودگی آن در محل دفن پسماند شهری سنج با استفاده از روش پیشنهادی کومار و آلپات در سال ۲۰۰۵ پرداخته شد. نتایج این مطالعه حاکی از بالابودن عواملی مانند pH، COD، BOD، کل نیتروژن (TKN) و نیتروژن آمونیاکی شیرابه محل دفن مورد مطالعه بود. همچنین بر اساس خصوصیات نمونه شیرابه، هرچند که دفن در این محل هنوز ادامه دارد و یک محل دفن پسماند فعال محسوب می‌شود، اما در فاز متانوژنیک بوده که احتمالاً به دلیل سن بالای دفن و بالا بودن نسبت پسماند قدیمی به جدید است.

شاخص آلودگی شیرابه محل دفن مدنظر بر اساس ۱۸ عامل اندازه‌گیری شده شیرابه، ۳۰/۱۹ به دست آمد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که شاخص آلودگی شیرابه مورد مطالعه براساس دسته بندی شاخص LPI در محدوده آلایندهی متوسط رو به بالا قرار دارد و نسبت به مقادیر استاندارد شاخص LPI برای تخلیه به محیط و آب سطحی نیز اختلاف قابل توجهی داشته و بسیار بالاتر است. مقدار بالای شاخص LPI نشان می‌دهد که شیرابه مورد مطالعه خطرناک بوده دارای پتانسیل آلودگی بالایی برای آب و خاک پذیرنده آن می‌باشد؛ بنابراین شیرابه این محل دفن نیازمند به‌کارگیری فرآیندهای تصفیه پیش از تخلیه به محیط پذیرنده به منظور کاهش آلایندهی آن است.

### تشکر و قدردانی

این مطالعه برگرفته از بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد مصوب دانشکده بهداشت و ایمنی با کد اخلاق IR.SBMU.REC.082.1398 می‌باشد. نویسندگان این مقاله از همکاری سازمان مدیریت پسماند سنج در تسهیل شرایط نمونه‌گیری، حمایت مالی دانشکده بهداشت و ایمنی دانشگاه شهید بهشتی و تمامی افرادی که در این مطالعه همکاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

### تضاد منافع

در این مطالعه نویسندگان هیچگونه تضاد منافع ندارند.

## References

1- Abunama T, Moodley T, Abualqumboz M, Kumari S, Bux F. Variability of leachate quality and polluting potentials in light of leachate pollution index (LPI)—a

اندکی بالاتر است [۱۸]. همچنین مقدار شاخص بدست آمده بسیار بالاتر از مقدار LPI استاندارد برای تخلیه شیرابه به محیط (۵/۶۹) و به آب‌های سطحی (۷/۴) است که نشان دهنده بالا بودن سمیت شیرابه تولید شده است [۱۲]. این در حالی است که حوضچه‌های پایین دست محل دفن فقط عمل جمع آوری و نگهداری کوتاه مدت شیرابه را برعهده دارند. در نهایت مازاد شیرابه نسبت به حجم حوضچه به صورت سرریز و بدون اعمال فرآیندهای تصفیه وارد محیط اطراف و در نتیجه ایجاد آلودگی خاک و آب پایین دست محل می‌شود. بنابراین با توجه به مقادیر استاندارد شاخص آلودگی برای تخلیه به محیط و آب‌های سطحی، شیرابه مورد مطالعه دارای پتانسیل و ظرفیت آلوده کردن محیط و بدنه‌های آبی در مجاورت محل دفن بوده و نیازمند تصفیه پیش از تخلیه و دفع است [۱۷، ۲۴]. همچنین در دسته‌بندی ارائه شده توسط Abunama و همکاران طی یک مطالعه مروری که شیرابه را بر اساس میزان تغییرات آلایندهی و شاخص آلودگی شیرابه به سه دسته بالا (۳۲/۲۷ – ۱۹/۹۰)، متوسط (۳۰/۲۶ – ۱۵/۱۵) و پایین یا تثبیت شده (۲۳/۹۳ – ۸/۵۳) تقسیم می‌کند، میزان آلایندهی شیرابه محل دفن سنج با LPI معادل ۳۰/۱۹ در محدوده با آلایندهی متوسط رو به بالا قرار دارد [۱]. مقدار بالای LPI در محل دفن به غلظت بالای BOD، COD و عناصر فلزی خاص مانند As، Cr و Fe نسبت داده می‌شود، چراکه علاوه بر اینکه وزن این عوامل در بین ۱۸ پارامتر مورد نیاز برای محاسبه LPI بیشتر است، مقادیر اندازه‌گیری شده آن‌ها در این مطالعه نیز بالا است که در تعیین مقدار زیر شاخص (Pi) نیز مؤثر است [۲۳]. علی‌رغم سن بالای ۳۲ سال محل دفن مورد مطالعه، با توجه به این که سایت دفن هنوز در حال فعالیت بوده و به‌صورت روزانه دریافت‌کننده زباله‌های خانگی و بخشی از پسماندهای تجاری، کشاورزی، صنعتی هست و با در نظر گرفتن مشخصات شیرابه تولیدی در دسته‌بندی شیرابه محل دفن‌های جوان تا میانه قرار می‌گیرد که پتانسیل آلایندهی بالایی دارد [۱۰، ۱۲]. از آنجایی که شاخص LPI فقط به بررسی کیفیت و میزان آلایندهی شیرابه می‌پردازد؛ بنابراین به منظور جلوگیری از آلودگی‌های احتمالی منتشره از شیرابه محل دفن پسماند شهری به محیط و مدیریت کارآمد آن، علاوه بر شاخص ارزیابی آلودگی شیرابه (LPI) وجود یک شاخص برنامه‌ریزی مناسب ضروری است که به صورت منظم و مداوم به برآورد و بررسی کیفیت و کمیت شیرابه تولید شده، وضعیت زهکشی و لاین‌کشی محل دفن، دوره قرار گرفتن در معرض رواناب، سیلاب و بارش، عمق سفره آب‌های زیرزمینی، نوع

global perspective. Chemosphere 2021; 282. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131119.

- 2- Kumar Tyagi V, Ojha CSP. Landfill leachate management. 1st ed. London: IWA Publishing 2023.
- 3- Gani KM, Hlongwa N, Abunama T, Kumari S, Bux F. Emerging contaminants in South African water environment- A critical review of their occurrence, sources and ecotoxicological risks. *Chemosphere* 2021; 269. Doi: 10. 1016/ j. chemosphere.2020.128737.
- 4- Inglezakis VJ, Amzebek A, Kuspangaliyeva B, Sarbassov Y, Balbayeva G, Yerkinova A, et al. Treatment of municipal solid waste landfill leachate by use of combined biological, physical and photochemical processes. *Desalination and Water Treatment* 2018; 112:218-31. Doi: 10. 5004/dwt.2018.22252.
- 5- Hussein M, Yoneda K, Mohd-Zaki Z, Amir A, Othman N. Heavy metals in leachate, impacted soils and natural soils of different landfills in Malaysia: An alarming threat. *Chemosphere* 2021; 267. Doi: 10. 1016/ j. chemosphere.2020.128874.
- 6- Ibrahim TNBT, Othman F, Mahmood NZ, Abunama T. Seasonal effects on spatial variations of surface water quality in a tropical river receiving anthropogenic influences. *Sains Malaysiana* 2021; 50(3):571-93.
- 7- Naveen BP, Mahapatra DM, Sitharam TG, Sivapullaiah PV, Ramachandra TV. Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate. *Environmental Pollution* 2017; 220:1-12. Doi 10.1016/j.envpol.2016.09.002.
- 8- Mosanefi Sh, Alavi N, Eslami A, Saadani M, Ghavami A. Ammonium removal from landfill fresh leachate using zeolite as adsorbent. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 2021; 23:1383-93. Doi: 10.1007/s10163-021-01216-5.
- 9- Naveen BP, Mahapatra DM, Sitharam TG, Sivapullaiah PV, Ramachandra TV. Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate. *Environmental Pollution* 2017; 220:1-12. Doi: 10.1016/j.envpol.2016.09.002.
- 10- Teng C, Zhou K, Peng C, Chen W. Characterization and treatment of landfill leachate: A review. *Water Research* 2021; 203. Doi: 10.1016/j.watres.2021.117525.
- 11- Kazemi A, Younesi H, Bahramifar N. Determining the leachate pollution potential of the waste disposal sites in Talesh, Rudsar and Faridunknar cities using the leachate pollution potential index (LPI). *Journal of New Technologies in Aquaculture Development* 2013; 6(4): 43-50 (In Persian).
- 12- Mishra S, Tiwary D, Ohri A. Leachate characterisation and evaluation of leachate pollution potential of urban municipal landfill sites. *International Journal of Environment and Waste Management* 2018; 21(4):217-30.
- 13- Kumar D, Alappat BJ. Evaluating leachate contamination potential of landfill sites using leachate pollution index. *Clean Technologies and Environmental Policy* 2005; 7:190-97.
- 14- Rajoo KS, Karam DS, Ismail A, Arifin A. Evaluating the leachate contamination impact of landfills and open dumpsites from developing countries using the proposed leachate pollution index for developing countries (LPIDC). *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* 2020; 14. Doi: 10.1016/j.enmm.2020.100372.
- 15- Al Raisi SA. Assessment of degree of contamination of an un-engineered landfill leachate using leachate pollution index (LPI). *European Journal of Environment and Earth Sciences* 2022; 3(2):52-54.
- 16- Solgi E, Goudarzi R. The Effect of unsanitary landfill on groundwater quality (Case study: Borujerd city). *Iran-Water Resources Research* 2022; 18(2):98-110 (In Persian).
- 17- Hussein M, Yoneda K, Zaki ZM, Amir A. Leachate characterizations and pollution indices of active and closed unlined landfills in Malaysia. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* 2019; 12. Doi: 10. 1016/ j. enmm. 2019. 100232.
- 18- De S, Maiti S, Hazra T, Debsarkar A, Dutta A. Leachate characterization and identification of dominant pollutants using leachate pollution index for an uncontrolled landfill site. *Global Journal of Environmental Science and Management* 2016; 2(2):177-86.
- 19- Wdowczyk A, Szymańska-Pulikowska A. Comparison of landfill leachate properties by LPI and phytotoxicity-a case study. *Frontiers in Environmental Science* 2021; 9. Doi: 10. 3389 / fenvs.2021.693112.
- 20- Mosanefi Sh. Investigation of bio-hydrogen production from landfill fresh leachate by dark fermentation using zeolite for ammonium removal [dissertation]. School of Health and Safety: Shahid Beheshti University of Medical Sciences 2021; P:30-85.
- 21- Sadeghi Sh, Ghahramani E, Soleimani M. Survey of quantitative and qualitative of waste produced in beasat hospital of Sanandaj city in 2011. *The Journal of Toloo-e-behdasht* 2014; 13(4):144-53 (In Persian).
- 22- Rice EW, Brid RB, Eaton AD. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23rd ed. Washington DC: American Public Health Association 2012.
- 23- Umar M, Aziz HA, Yusoff MS. Variability of parameters involved in leachate pollution index and determination of LPI from four landfills in Malaysia. *International Journal of Chemical Engineering* 2010; 2010. Doi: 10.1155/2010/747953.
- 24- Ofomola MO, Umayah OS, Akpoyibo O. Contamination assessment of dumpsites in Ughelli, Nigeria using the leachate pollution index method.

Journal of Applied Sciences and Environmental Management 2017; 21(1):77-84.

25-Kjeldsen P, Barlaz MA, Rooker AP, Baun A, Ledin A, Christensen TH. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 2002; 32(4):297-336.

26- Abbas AA, Jingsong G, Ping LZ, Ya PY, Al-Rekabi WS. Review on landfill leachate treatments. Journal of Applied Sciences Research 2009; 5(5):534-45.

27-Demirbilek D, Öztüfekçi Önal A, Demir V, Uslu G, Arslanoglu-Isık H. Characterization and pollution potential assessment of Tunceli, Turkey municipal solid waste open dumping site leachates. Environmental Monitoring and Assessment 2013; 185:9435-49.

28-Enitan IT, Enitan AM, Odiyo JO, Alhassan MM. Human health risk assessment of trace metals in surface water due to leachate from the municipal dumpsite by pollution index: A case study from Ndawuse River, Abuja, Nigeria. Open Chemistry 2018; 16(1):214-27.

29-Xaypanya P, Takemura J, Chiemchaisri C, Seingheng H, Tanchuling MAN. Characterization of landfill leachates and sediments in major cities of Indochina peninsular countries—heavy metal partitioning in municipal solid waste leachate. Environments 2018; 5(6):65. Doi: 10. 3390/environments5060065.

30-Metcalf L, Eddy HP, Tchobanoglous G. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th ed. New York: McGraw-Hill 1991. Doi: 10.1016/0309-1708(80)90067-6.

31-Sewwandi BGN, Takahiro K, Kawamoto K, Hamamoto Sh, Asamoto Sh, Sato H. Evaluation of leachate contamination potential of municipal solid waste dumpsites in Srilanka using leachate pollution index. Proceedings of the 14th International Waste Management and Landfill Symposium 2013 Sep. 30 to Oct. 4. Margherita di Pula, Cagliari, Italy.

32-Gamar A, Khiya Z, Zair T, El Kabriti M, Bouhlal A, El Hilali F. Assessment of physicochemical quality of the polluting load of leachates from the wild dump of El Hajeb city (Morocco). International Journal of Research—Granthaalayah 2017; 5(6):63-71.

33-Gomez M, Corona F, Hidalgo MD. Variations in the properties of leachate according to landfill age. Desalin Water Treat 2019; 159:24-31.

34-Deng Y, Englehardt JD. Electrochemical oxidation for landfill leachate treatment. Waste Management 2007; 27(3):380-88.

35-Salami L, Fadayini O, Patinvoh RJ, Koleola O. Evaluation of leachate contamination potential of Lagos dumpsites using leachate pollution index. British Journal of Applied Science & Technology 2015; 5(1):48-59. Doi: 10. 9734/BJAST/ 2015/11707.



Journal homepage: <https://journals.sbmu.ac.ir/jhf>



## Leachate pollution index evaluation of Sanandaj municipal landfill

Shole Mosanefi<sup>1, 2\*</sup> , Nadali Alavi Bakhtiarvand<sup>2</sup> , Akbar Eslami<sup>2, 3</sup> , Mohsen Sadani<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Department of Industrial and Environmental Biotechnology, Research Institute of Applied Science (ACECR), Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Environmental and Occupational Hazards Control Research Center, Research Institute for Health Sciences and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

### Abstract

**Background and Aims:** Municipal landfill leachate is toxic due to its complex organic and inorganic compounds, demonstrating a high potential for pollution. Estimating the leachate pollution index (LPI) is crucial for predicting the long-term effects of leachate on the environment and for proposing suitable management and treatment solutions. Therefore, this study investigates the leachate pollution index (LPI) of the municipal waste landfill in Sanandaj.

**Materials and Methods:** Six samples from the leachate storage pond situated downstream of Sanandaj municipal landfill were collected during the winter and spring seasons. Physicochemical analyses were conducted to determine the characteristics of the leachate. The leachate pollution index was calculated and evaluated based on 18 parameters, including pH, TDS, BOD, COD, TKN, NH<sub>4</sub>, Fe, Cu, Ni, Zn, Pb, Cr, Hg, As, phenolic compounds, chloride, cyanide, and total coliform bacteria. Ethical and research considerations were taken into account at all stages of the study.

**Results:** The findings of this study revealed elevated concentrations of pH, COD, BOD, TKN, and NH<sub>4</sub> in the leachate from the landfill being studied. Furthermore, the leachate pollution index, calculated from the measured parameters, was determined to be 30.19.

**Conclusion:** The results of this study indicated that the leachate pollution index of the investigated site was slightly higher as compared to the corresponding values in active landfills; however, it was significantly elevated in comparison to closed landfills and the guideline LPI values for discharge into the environment and surface water. The high LPI indicates that the leachate in question is hazardous and has a high pollution potential, necessitating treatment before being discharged into the environment.

**Keywords:** Municipal waste, Landfill leachate, Leachate Pollution Index (LPI)

**Please cite this article as:** Mosanefi Sh, Alavi Bakhtiarvand N, Eslami A, Sadani M. Leachate pollution index evaluation of Sanandaj municipal landfill. Journal of Health in the Field 2024; 12(2):1-11. **Doi:** <https://doi.org/10.22037/jhf.v12i2.44639>.

**Corresponding Author:** Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

**Corresponding Author:** Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

**Email:** sh-mosanefi@sbmu.ac.ir

**Received:** 11 February 2024

**Accepted:** 22 September 2024