



Semnan University

Climate and Ecosystem of Arid and Semi-arid Regions

<https://ceasr.semnan.ac.ir>



Research Article

Assessment of Heavy Metal Pollution (Chromium, Lead, Nickel and Zinc) in a Municipal Solid Waste Landfill (Case Study: Semeskandeh Forest, Sari)

Mohtaram Sabbagh^a and Maryam Mollashahi^{b,*}

^a M.Sc. Graduated, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran.

^b Assistant Professor, Department of Arid and Semi-arid Regions, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran.

ARTICLE INFO

Article type:

Research Full Paper

Article history:

Received 15 June 2024

Accepted 30 July 2024

Accepted: 21 September 2024

Keywords:

Heavy metals,
Waste leachate,
Landfill,
Forest stand
Pollution.

EXTENDED ABSTRACT

Background and Objectives: Landfill centers, as places for accumulation of various wastes, can become sources of soil and groundwater pollution. Waste leachate generated from municipal landfills constitutes a highly toxic and hazardous form of wastewater, recognized as a potential source of environmental contamination. Heavy metals are among the most important pollutants present in these centers, which, due to their high toxicity and long persistence in the environment, pose a serious threat to human health and the ecosystem. Currently, over 90% of waste generated in Mazandaran Province is managed through traditional disposal methods, which include either burial or surface piling at waste disposal centres. Accumulation of waste in the forest ecosystems leads to elevated concentrations of heavy metals, including lead, cadmium, selenium, zinc, and arsenic. Additionally, various pollutants infiltrate the soil and compromise the natural moisture regulation mechanisms, resulting in toxicity. Certain tree species exhibit high sensitivity to sewage leachate and may exhibit rapid desiccation. The present study aims to investigate the concentration of such heavy metals as chromium, lead, nickel, and zinc in landfill leachate located in the Semeskandeh Sari landfill center.

Materials and Methods: The Semeskandeh habitat is situated along the southern edge of the historic Sari-Neka road within the Mazandaran Province, encompassing an area of over 1041 hectares. Predominantly, this region is characterized by diverse forest ecosystems. The area supports a range of tree and shrub species, including oak, Azad (almond), Angelica, maple, alder, larch, milkweed, hornbeam, black and white ash, oleander, wild plum. For this purpose, 6 sampling stations were considered along a waterway that extends from the landfill center into the forest. At each station, three sampling points were considered. The first sampling point was soil sampling at a depth of 10 cm from the bottom of the water channel where the leachate flows, the second point was less than 10 meters from the channel, and the third point was more than 10 meters from the center of the channel, and a sample was taken from a depth of 10 cm. To investigate the trend of changes in leachate composition, soil sampling was carried out to

* Corresponding author: Maryam.Mollashahi@Semnan.ac.ir

examine the concentration of 4 heavy elements (lead, nickel, zinc, chromium).

Results: Results of the investigations showed that the highest concentration of all 4 studied elements, except for zinc, was obtained at station number 2, with chromium at 55.14 ppm, lead at 51.33 ppm, nickel at 32.55 ppm, and zinc at 12.82 ppm. Gradually, the concentrations decreased with distance from the landfill center. Also, the highest concentration at the three sampling points was obtained at the bottom of the channel, with chromium at 57.59 ppm, lead at 28.93 ppm, nickel at 49.67 ppm, and zinc at 99.08 ppm. Also, the area located within 10 meters from the canal exhibited the highest concentrations of pollutants in the second place, while samples from areas beyond 10 meters showed significantly lower levels. The highest concentrations of elements were recorded in the canal bottom samples, with a gradual decline in element concentrations observed as the distance from the channel increased.

Conclusion: The findings of this study demonstrate elevated concentrations of all analysed elements at various distances from the landfill site. Given that forest lands in this city have been utilized for landfilling, this practice poses significant harmful effects. These effects encompass environmental pollution from various hazardous substances detrimental to the health of all living organisms, air quality degradation, and particularly groundwater contamination. The latter is especially concerning as it serves as the primary water supply for residential areas surrounding these forests.

Cite this article: Sabbagh, M. and Mollashahi, M. (2024). Assessment of heavy metal pollution (chromium, lead, nickel, and zinc) in a municipal solid waste landfill (Case study: Semeskandeh Forest, Sari). *Climate and Ecosystem of Arid and Semi-arid Regions*, 2(1), 138-144.

© 2013 Published by Semnan University Press. All rights reserved.

DOI: <https://doi.org/10.22075/ceasr.2025.37176.1046>



اقلیم و بوم‌سازگان

مناطق خشک و نیمه خشک

<https://Desert.semnan.ac.ir/>



دانشگاه سمنان

مقاله پژوهشی

ارزیابی آلودگی فلزات (کروم، سرب، نیکل و روی) در مرکز دفن پسماند شهری (مطالعه موردی: جنگل سمسکنده، ساری)

محترم صباغ^۱ و مریم ملاشاهی^{۲*}

^۱ کارشناس ارشد رشته جنگلداری در مناطق خشک، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

^۲ استادیار گروه جنگلداری در مناطق خشک، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

* نویسنده مسئول، maryam.mollashahi@semnan.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۳۱	سابقه و هدف: مراکز دفن زباله به عنوان محل انباشت پسماندهای مختلف، می‌توانند به منابع آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی تبدیل شوند. شیرابه زباله موجود در محل دفن پسماندهای شهری، پساب بسیار سمی و خطرناکی است که به عنوان منبع بالقوه آلودگی شناخته می‌شود. فلزات سنگین از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های موجود در این شیرابه‌ها هستند که به دلیل سمیت زیاد و ماندگاری طولانی در محیط‌زیست، تهدیدی جدی برای سلامت انسان و اکوسیستم به شمار می‌آیند. هدف از تحقیق حاضر بررسی غلظت فلزات سنگین کروم، سرب، نیکل و روی در شیرابه و خاک اطراف مرکز دفن زباله واقع در جنگل‌های سمسکنده ساری است. مواد و روش‌ها: زیستگاه سمسکنده در حاشیه جنوبی جاده ساری به نکا در استان مازندران قرار دارد و مساحتی بالغ بر ۱۰۴۱ هکتار را در بر می‌گیرد. این منطقه عمدتاً با اکوسیستم‌های جنگلی متنوع مشخص می‌شود. این منطقه طیف وسیعی از گونه‌های درختی و درختچه‌ای از جمله بلوط، آزاد (بادام)، گلپر، افرا، توسکا، کاج اروپایی، علف شیر، ممرز، خاکستر سیاه و سفید، خرزهره و آلو وحشی را پشتیبانی می‌کند. هدف از انجام این تحقیق، بررسی غلظت فلزات آلاینده مهمی چون سرب، نیکل، روی و کروم در شیرابه، به‌عنوان یک منبع آلاینده عمده بر خاک و گونه‌های درختی منطقه دفن زباله ساری (سمسکنده) است. بدین منظور، ۶ ایستگاه نمونه‌گیری در طول آبراهه‌ای که از مرکز دفن تا داخل جنگل امتداد دارد در نظر گرفته شد. در هر ایستگاه، سه نقطه برداشت در نظر گرفته شد. نقطه اول کف کانال آبی که شیرابه در آن جریان دارد، نقطه دوم در فاصله کمتر از ۱۰ متری از کانال بوده و نقطه سوم در فاصله بیشتر از ۱۰ متری از مرکز کانال، یک نمونه از عمق ۱۰ سانتی متری خاک تهیه گردید. سپس در هر نقطه نمونه‌گیری، غلظت ۴ عنصر سنگین (سرب، نیکل، روی، کروم) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی:

فلزات سنگین،

شیرابه زباله،

مرکز دفن،

توده جنگلی،

آلودگی.

یافته‌ها: نتایج بررسی‌ها نشان داد که بیشترین میزان غلظت هر ۴ عنصر مورد نظر، به جز عنصر روی، در ایستگاه شماره ۲ (فاصله ۲۵۰ متری از مرکز دفن) به میزان کروم ۵۵/۱۴ ppm، سرب ۳۳/۵۱ ppm، نیکل ۵۵/۳۲ ppm و روی ۸۲/۱۲ ppm به‌دست آمد. به تدریج، با فاصله از مرکز دفن، از غلظت‌ها کاسته شد. همچنین، بیشترین غلظت در سه نقطه مورد مطالعه در کف کانال و برابر کروم ۵۷/۵۹ ppm، سرب ۲۸/۹۳ ppm، نیکل ۴۹/۶۷ ppm و روی ۹۹/۰۸ ppm به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج تحقیق حاضر نشان داد که غلظت عناصر مورد مطالعه در تمامی موارد بیشتر از حد استاندارد بوده و نشان از میزان آلودگی بالای این منطقه دارد.

استناد: صباغ، م. و ملاشاهی، م. (۱۴۰۳). ارزیابی آلودگی فلزات کروم، سرب، نیکل و روی در مرکز دفن پسماند شهری (مطالعه موردی: جنگل سمسکنده، ساری). *اقلیم و بوم‌سازگان مناطق خشک و نیمه‌خشک*، ۲ (۱)، ۱۴۴-۱۳۸.

ناشر: دانشگاه سمنان

DOI: <https://doi.org/10.22075/ceasr.2025.37176.1046>

۱. مقدمه

یکی از بزرگترین مشکلات امروزی جوامع، حجم بسیار زیاد زباله تولیدی است. اگر تولید زباله با همین سرعت ادامه یابد، مدت زیادی طول نخواهد کشید که محلی برای دفن زباله باقی نخواهد ماند و این به معنی وقوع یک بحران جدی در زندگی شهری است. مشکل دفن مواد زاید همواره از سال‌های دور گریبان‌گیر بشر بوده است و شاید ساده‌ترین و ممکن‌ترین راهی که در ابتدا به نظر رسید تجمع زباله در زمین‌های پست خارج از محدوده شهری و سپس سوزاندن آن به منظور جلوگیری از آلودگی بوده است و مسایل و مشکلات ناشی از دفن زباله‌ها در مکان‌های مذکور سبب شد تا در برخی از کشورهای جهان زباله‌دان‌های روباز جای خود را به محل دفن بهداشتی بدهند. مواد زاید جامد شهری یکی از چالش‌های مهم در زندگی شهرنشینی مدرن محسوب می‌شود. مدیریت پسماندهای جامد شهری به‌دلیل حضور آلاینده‌های سمی و خطرناک و تغییرات زمانی در کمیت و کیفیت پسماند از اهمیت خاصی در بحث مدیریت شهری برخوردار می‌باشند. پسماندهای شهری نیازمند مدیریت مناسب می‌باشند تا کمترین میزان اثرات سوء اقتصادی، اجتماعی، بهداشتی و زیست‌محیطی را داشته باشند.

متأسفانه، در حال حاضر، برای مدیریت بیش از ۹۰ درصد از زباله‌های تولید شده در استان مازندران از روش سنتی دفن یا تلنبار نمودن سطحی زباله‌ها در مراکز دفع استفاده می‌شود. روش سنتی دفن زباله به دلیل شرایط اقلیمی، جغرافیایی و توپوگرافی خاص و همچنین اکوسیستم و محیط‌زیست شکننده استان و از طرفی جانمایی بسیاری از این مراکز در میان زیباترین مناطق جنگلی، کوهستانی و مرتعی، مناطق شهری و حتی سواحل، ضمن تخریب منابع زیستی و محیط‌زیست و تهدید حیات وحش، به دلیل ورود شیرابه‌ها به منابع پذیرنده از جمله آب، خاک و هوا و... آلودگی شدید محیط‌زیست را نیز در پی خواهد داشت. در مدت بهره‌برداری از محل دفن، نفوذ آب باران، رطوبت حاصل از زباله و فعل و انفعالات شیمیایی داخل محل دفن، باعث تولید شیرابه می‌شود. انواع آلاینده‌های آلی و معدنی، فلزات سنگین و آلاینده‌های شیمیایی خطرناک ممکن است در شیرابه محل‌های دفن وجود داشته باشند و در اثر نفوذ به سطوح پایین‌تر، موجب آلودگی خاک و منابع آب‌های زیرزمینی شوند. این در حالی است که تولید شیرابه و مدیریت آن یکی از مشکلات اساسی زیست‌محیطی در اکثر شهرهای کشور می‌باشد که اگر

به درستی مدیریت نشود می‌تواند باعث بروز معضلات بزرگ زیست‌محیطی، از جمله آلودگی خاک و منابع آب سطحی و زیرزمینی، شود (Sartaj و همکاران، ۲۰۰۷). انباشت زباله در جنگل باعث افزایش عناصر سنگین مانند سرب، کادمیوم، سلیسیم، روی و آرسنیک می‌شود. همچنین، دیگر ترکیبات آلاینده که هم خاک و هم آب‌های زیرزمینی را آلوده می‌کنند در خاک وارد می‌شود و موجب سمی شدن بخش کنترل رطوبتی خاک می‌شود. بعضی از درختان به شیرابه ناشی از فاضلاب بسیار حساس بوده و سریع خشک می‌شوند (Shokoh و همکاران، ۲۰۱۴). طی آمار برآورد شده، حدود ۲۷ مرکز دفع زباله در استان مازندران وجود دارند که مساحتی حدود بیش از ۲۸۰ هکتار از سطح جنگل‌ها را به خود اختصاص می‌دهند و به‌طور میانگین روزانه حدود ۲۵۰ تن زباله در آنها دفع می‌گردد (Yousefi Kebria و همکاران، ۲۰۱۱).

در مدت بهره‌برداری از محل دفن زباله، نفوذ آب باران، رطوبت حاصل از زباله و فعل و انفعالات شیمیایی داخل محل دفن، باعث تولید شیرابه می‌شود. انواع آلاینده‌های آلی و معدنی، فلزات سنگین و آلاینده‌های شیمیایی خطرناک ممکن است در شیرابه محل‌های دفن وجود داشته باشد. در حال حاضر، تولید شیرابه و مدیریت آن مشکل زیست‌محیطی در مورد بهره‌برداری صحیح از محل‌های دفن زباله می‌باشد که اگر به درستی مدیریت نشود می‌تواند باعث بروز معضلات بزرگ زیست‌محیطی از جمله آلودگی خاک و منابع آب سطحی و زیرزمینی شود (Lema و همکاران، ۱۹۹۸). دفع زباله در جنگل و یا حاشیه‌های آن معضلی است که از سال‌ها پیش دامن جنگل‌های شمالی کشور، به خصوص جنگل‌های استان مازندران را گرفته است. با توجه به اینکه تقریباً ۱۵ سال از آخرین زمان دفن زباله در منطقه جنگلی روستای سمسکنده می‌گذرد، به دلیل شرایط اقلیمی شمال کشور و رطوبت و بارندگی‌های متعدد در فصول مختلف سال، جریان شیرابه سیاه رنگ در مسیر کانال ضلع جنوبی محل دپو دیده می‌شود. لذا، به نظر می‌رسد که خشکه‌دارها، درختان ضعیف با تاج‌های کوتاه، که در مسیر ۱/۵ کیلومتری این کانال در داخل جنگل‌های منطقه حفاظت شده سمسکنده از فراوانی نسبی بیشتری برخوردار می‌باشد، به دلیل اثرات سمی ناشی از شیرابه‌های زباله باشد که پس از گذشت تقریبی دو دهه از ترک مکان دفن همچنان عوارض زیانبار آن به چشم می‌خورد. در این تحقیق، سعی شده است که غلظت فلزات آلاینده مهمی چون سرب، نیکل، روی و کروم در شیرابه به‌عنوان یک منبع آلاینده عمده بر خاک و گونه‌های درختی منطقه دفن زباله ساری (سمسکنده) مورد بررسی قرار گیرد.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه پژوهش

رویشگاه سمسکنده در امتداد حد جنوبی جاده قدیمی ساری- نکا واقع شده است که با مساحت بالغ بر ۱۰۴۱ هکتار، بخشی از مساحت استان مازندران را تشکیل می‌دهد. قسمت عمده سطح این منطقه را اکوسیستم‌های جنگلی تشکیل می‌دهد. از گونه‌های مختلف درختی و درختچه‌ای منطقه می‌توان به بلوط، آزاد، انجیلی، افرا پلت، توسکا، لرگ، شیردار، ممرز، خرمندی، سیاه تلو، ازگیل، ولیک و آلوچه وحشی اشاره نمود.

۲-۲. روش کار

برای انجام این تحقیق، در طول آبراهه‌ای که از مرکز دفن تا داخل جنگل امتداد دارد شش ایستگاه نمونه‌گیری در نظر گرفته شد. در هر ایستگاه سه نقطه برداشت انتخاب شد. نقطه اول در عمق ۱۰ سانتی‌متر از کف کانال آبی که شیرابه در آن جریان دارد، نقطه دوم در فاصله کمتر از ۱۰ متری از کانال و نقطه سوم در فاصله بیشتر از ۱۰ متری از مرکز کانال. در هر نقطه، نمونه خاک از عمق ۱۰ سانتی‌متر و با سه تکرار تهیه گردید. برای بررسی روند تغییرات در ترکیب شیرابه، نمونه‌گیری از خاک جهت بررسی

غلظت چهار عنصر سنگین (سرب، نیکل، روی، کروم) صورت پذیرفت. در ابتدا، نمونه‌ها با مخلوطی از سه قسمت اسید هیدروکلریک و یک قسمت اسید نیتریک هضم و استخراج گردید. بعد از افزودن اسید، مخلوط به مدت یک شب در دمای اتاق قرار داده شد تا واکنش اولیه انجام گیرد. روز بعد، با قرار دادن شیشه ساعت یا قیف کوچک در درب ارلن مایر برای بازگرداندن بخارات به آرامی حرارت داده تا عصاره بی‌رنگ و کلیه املاح به‌صورت محلول در آمد. این روش استاندارد برای هضم اسیدی عناصر فوق در پساب، آب، کود و خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش هضم با اسید نیتریک و اسید کلریدریک در ارلن مایر با استفاده از اجاق برقی انجام گرفت. سپس، برای اندازه‌گیری غلظت عناصر از دستگاه جذب اتمی استفاده گردید (Sabbagh و همکاران، ۲۰۱۷).

۳. نتایج و بحث

در ابتدا، جهت بررسی میزان غلظت هر یک از فلزات در ایستگاه‌های مورد مطالعه، میانگین غلظت فلزات در سه نقطه نمونه- برداری در هر ایستگاه محاسبه و سپس در شش ایستگاه بررسی گردید. نتایج بررسی میانگین غلظت فلزات در شش ایستگاه مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری را نشان داد. نتایج تجزیه واریانس بررسی غلظت هر عنصر در شش ایستگاه مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

نتایج بررسی غلظت فلز کروم در شش ایستگاه در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در بین شش ایستگاه نمونه‌برداری، بیشترین میزان کروم در نمونه خاک ایستگاه ۲ مشاهده شده است که برابر ۵۵/۱۴ ppm بوده و به تدریج به سمت ایستگاه‌های دورتر از مرکز دفن زباله از شدت آلودگی خاک به این عنصر کاسته شده است و در ایستگاه شماره ۶ به ۲۸/۹۱ ppm رسیده است.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس میانگین غلظت عناصر در شش ایستگاه مورد مطالعه

Table 1. Analysis of variance of the elements' concentrations in the 6 studied stations

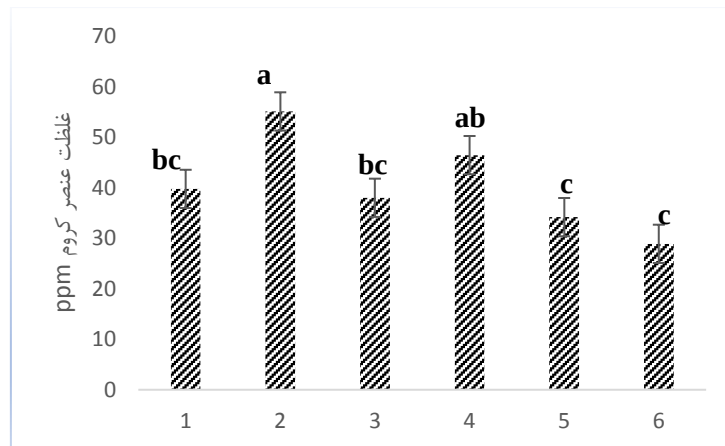
	روی Zn	نیکل Ni	سرب Pb	کروم Cr
درجه آزادی df	5	5	5	5
ازمون F	2.69	17.32	71.28	5.75
معنی‌داری	0.03ance*	0.00**	0.00**	0.00**
Significance				

*Mean significance at 0.05 probability level

**Mean significance at 0.01 probability level

*معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ درصد

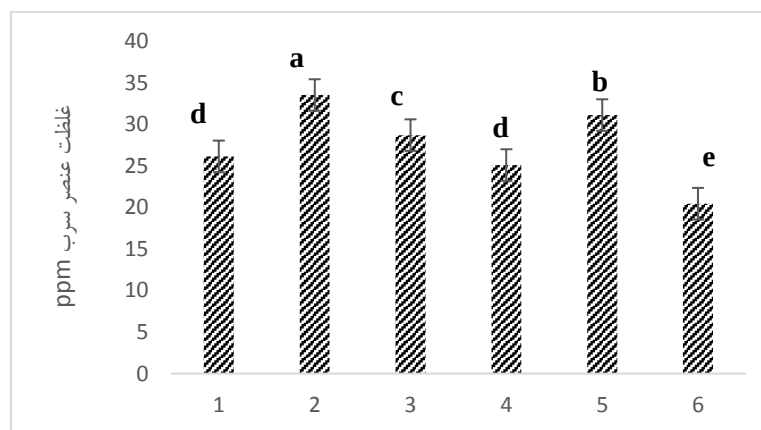
**معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد



شکل ۱. میانگین غلظت عنصر کروم در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه

Fig. 1 Mean concentration of Cr element at each of the studied stations

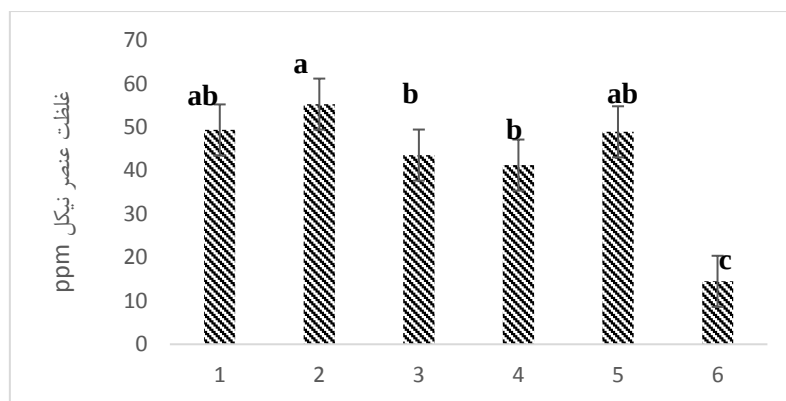
میانگین غلظت عنصر سرب در هر یک از شش ایستگاه در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین میزان غلظت در ایستگاه شماره ۲ و برابر ۳۳/۵۱ ppm بود و به تدریج به سمت ایستگاه شماره ۶ از غلظت این عنصر کاسته شده است، به جز ایستگاه شماره ۵ که مجدداً یک روند افزایشی را نشان داده است.



شکل ۲. میانگین غلظت عنصر سرب در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه

Fig. 2 Mean concentration of Pb element at each of the studied stations

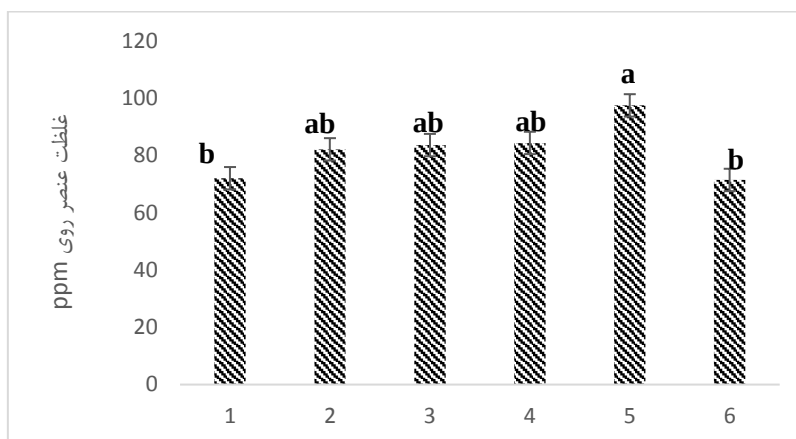
شکل ۳، میانگین غلظت عنصر نیکل را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در ایستگاه شماره ۲ بیشترین غلظت این عنصر در نمونه خاک به میزان ۵۵/۳۲ ppm به دست آمده است. البته همانند عنصر سرب، نیکل نیز در ایستگاه ۵ افزایش غلظت را نشان داده است.



شکل ۳. میانگین غلظت عنصر نیکل در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه

Fig. 3 Mean concentration of Ni element at each of the studied stations

شکل ۴، میانگین غلظت عنصر روی را در شش ایستگاه نشان می‌دهد. این عنصر، بیشترین میزان غلظت را در ایستگاه ۵ و به میزان ۹۷/۴۶ ppm نشان داده و ایستگاه شماره ۲ با غلظت ۸۲/۱۲ ppm در رتبه دوم قرار گرفته است.



شکل ۴. میانگین غلظت عنصر روی در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه

Fig. 4 Mean concentration of Zn element at each of the studied stations

در جدول ۲، نتایج تجزیه واریانس بررسی غلظت هر یک از عناصر در سه منطقه مورد مطالعه (نمونه از کف کانال، فاصله کمتر از ۱۰ متر و فاصله بیشتر از ۱۰ متر از کانال) نشان داده شده است.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس غلظت عناصر در سه منطقه مورد مطالعه

Table 2. Analysis of variance of elements' concentrations in the 3 studied areas

	روی Zn	نیکل Ni	سرب Pb	کروم Cr
درجه آزادی	2	2	2	2
df				
ازمون F	38.95	2.67	1.19	24.67
معنی‌داری	0.00**	0.00**	0.3 ^{ns}	0.00**
Significance				

*Mean significance at 0.05 probability level

**Mean significance at 0.01 probability level

^{ns} No significance

*معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ درصد

**معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد

^{ns} عدم معنی‌داری

همان طور که مشاهده می‌شود، به جز عنصر سرب، تمامی عناصر تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. بیشترین میانگین غلظت در مورد هر سه عنصر در منطقه اول نمونه‌برداری، یعنی کف کانال عبور شیرابه، به‌دست آمده و سپس منطقه با فاصله کمتر از ۱۰ متر بیشترین غلظت را داشته و در مرحله آخر نمونه مربوط به فاصله بیشتر از ۱۰ متر بوده است. میانگین غلظت هر یک از عناصر نیز در سه منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. در تمامی مناطق، بیشترین غلظت در نمونه کف کانال مشاهده شد و به تدریج با فاصله از کانال از غلظت عناصر در نمونه کاسته شد.

جدول ۳. میانگین غلظت عناصر در سه منطقه مورد مطالعه

Table 3. Mean concentration of each element in the 3 studied areas

	روی Zn	نیکل Ni	سرب Pb	کروم Cr
کف کانال Channel floor	99.08 ^a	49.67 ^a	28.93 ^{ns}	57.59 ^a
فاصله کمتر از ۱۰ متر Distance <10 m	85.86 ^b	47.19 ^a	26.76 ^{ns}	49.71 ^a
فاصله بیشتر از ۱۰ متر Distance >10 m	63.06 ^c	29.65 ^b	27.22 ^{ns}	28.97 ^b

*Mean significance at 0.05 probability level

**Mean significance at 0.01 probability level

^{ns} No significance

*معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ درصد

**معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد

^{ns} عدم معنی‌داری

آلودگی فلزات سنگین در محیط‌زیست از جمله نگرانی‌های بشر امروزی است زیرا می‌تواند سلامتی انسان‌ها و محیط طبیعی را به مخاطره بیندازد. در این راستا، مطالعات زیادی در خصوص آلودگی خاک‌ها به انواع آلاینده‌هایی با منشأ انسانی همچون صنایع و مراکز دفن زباله‌های شهری صورت پذیرفته است (Haines و Pocock، ۱۹۸۰؛ Parry و همکاران، ۱۹۸۱؛ Olajire و Ayodele، ۱۹۹۸؛ Gibson و Farmer، ۱۹۸۳؛ Culbard و همکاران، ۱۹۸۳؛ غریب، ۲۰۱۴). Behbahaninia و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که وجود فلزات سنگین Ni و Cr، Pb در آب شرب موجب سمی شدن آب شده و جابجایی این عناصر در خاک می‌تواند موجب واکنش این مواد با فاز جامد خاک، تغییر در جذب سطحی خاک و سرعت جابجایی آب در خاک و در نهایت افزایش غلظت این مواد در خاک اطراف مراکز دفن زباله گردد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در ایستگاه ۲ با فاصله ۲۵۰ متر از مرکز دفن زباله، سرب با غلظت ۳۳/۵۱ ppm، کروم با غلظت ۵۵/۱۴ ppm و نیکل با غلظت ۵۵/۳۲ ppm بیشترین میزان را در داخل کانال شیرابه داشتند. به دلیل اینکه در زمان بارندگی، شیرابه زباله با شدت زیاد جریان می‌یابد، در نقطه اول یعنی دقیقاً در کنار مرکز دفن زباله فرصت نفوذ کمتری در خاک داشته ولی بعد از طی ۲۵۰ متر، یعنی در ایستگاه دوم، فرصت نفوذ بیشتر شده و حداکثر نفوذ در خاک اتفاق می‌افتد و بعد از آن در ایستگاه‌های بعدی از غلظت آن کاسته می‌شود (Tedder, 1992). دلیل این مطلب، کاهش غلظت شیرابه طی مسیر است. البته این موضوع با توجه به شدت جریان شیرابه در فصول مختلف و نیز پستی و بلندی‌های طول مسیر می‌تواند باعث تغییر در غلظت فلزات گردد.

همچنین، براساس نتایج به‌دست آمده از شش ایستگاه مورد مطالعه، تمامی عناصر مورد بررسی در داخل کانال شیرابه میانگین غلظت بیشتری از سایر نمونه‌ها داشته‌اند. لذا، غلظت تمامی عناصر، به جز عنصر سرب، در بین سه نقطه مورد بررسی (کف کانال، فاصله کمتر از ۱۰ متر و فاصله بیشتر از ۱۰ متر) تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. علت عدم معنی‌داری سرب در سه

نقطه مورد مطالعه می‌تواند تحرک‌پذیری کمتر سرب در خاک نسبت به سایر فلزات مورد مطالعه باشد. جوان و همکاران (۲۰۱۶) نیز بیان کردند که میزان تحرک‌پذیری فلز سرب در خاک کمتر از کروم و کادمیوم می‌باشد. منبع اصلی فلزات سنگین مورد مطالعه (Cd, Cr, Mn, Ni) صناعی چون صنایع الکتریکی، صنایع شیمیایی و انواع باتری‌های قابل شارژ خانگی می‌باشد (Gotvajن و همکاران، ۲۰۰۹). نوع و حضور فلزات در این مراکز بسته به نوع pH خاک و فرآیند تخریب آنها متفاوت است. وجود غلظت‌های زیاد فلزات سنگین در خاک‌ها می‌تواند فرایند تخریب آنها را به تأخیر بیندازد (Abu-Daabes و همکاران، ۲۰۱۳). در سال ۲۰۰۳، Al-Yaqout و Hamoda با مقایسه میزان شیرابه ناشی از مراکز دفن زباله در مناطق خشک و مرطوب نتیجه گرفتند که میزان و غلظت آن در مناطق خشک به مراتب کمتر از مناطق مرطوب است. لذا، استفاده از جنگل‌ها به عنوان مراکز دفن زباله به دلیل رطوبت بیشتر آن نسبت به محیط‌های دیگر قطعاً باعث تشدید میزان آلودگی خاک و آب به انواع مواد، منجمله فلزات سنگین، خواهد شد. علاوه بر این، Abu-Daabes و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان دادند که غلظت شیرابه در فصول مرطوب سال بیشتر از فصول خشک می‌باشد.

۴. نتیجه‌گیری

نتیجه تحقیق حاضر حاکی از بالا بودن غلظت تمامی عناصر مورد مطالعه در فواصل مختلف از مرکز دفن زباله است. از آنجایی که در شهرستان ساری از اراضی جنگلی برای دفن زباله استفاده شده است، می‌تواند اثرات زیانباری را در پی داشته باشد. از جمله این اثرات، آلودگی محیط‌زیست به انواع مواد مضر برای زیست تمامی موجودات زنده، آلودگی هوا و بخصوص آلودگی آب‌های زیرزمینی است که منبع تأمین آب مراکز مسکونی اطراف این جنگل‌ها هستند.

۵. داده‌ها و اطلاعات

مبنای داده‌ها و اطلاعات مقاله حاضر، رساله دکتری نویسنده اول است.

۶. تعارض منافع

در این مقاله، تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

۷. مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این مقاله به شرح زیر است:

مشارکت محترم صباغ، نمونه‌برداری، انجام آزمایش‌ها، تفسیر و تحلیل داده‌های اولیه می‌باشد.

مشارکت مریم ملاشاهی، نظارت و راهنمایی بر روند انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج و ویرایش نهایی متن مقاله می‌باشد.

۸. اصول اخلاقی

نویسندگان، اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها می‌باشد.

۹. حمایت مالی

این مقاله حاصل نتایج بخشی از رساله دوره کارشناسی ارشد می‌باشد که تحت حمایت مالی دانشگاه سمنان در قالب گرنت دانشجو و گرنت استاد راهنما انجام گردیده است.

۱۰. مراجع

1. Abu-Daibes, M., Abu Qdais, H., & Alsyouri, H., 2013. Assessment of heavy metals and organics in municipal solid waste leachates from landfills with different ages in Jordan. *Journal of Environmental Protection*, 4, 344-352.
2. Al Yaqout, A. F., & Hamoda, M. F. 2003. Evaluation of landfill leachate in arid climate- A case study. *Environment International*, 29(5), 593-600.
3. Behbahaninia, A., Mirbagheri, S. A., & Nouri, J. 2010. Effects of sludge from wastewater treatment plants on heavy metals transport to soils and groundwater. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 7(5), 401-406. [In Persian]
4. Culbard, E. B., Thornton, I, Watt, J., Moorcroft S., & Brooks, K. 1983. Sources and distribution of lead and cadmium in United Kingdom dusts and soils. In: Proceedings of the 4th International Conference on Heavy Metals in the Environment, CEP, Edinburgh, pp. 426-429.
5. Gharib, Z., 2014. Heavy elements in soils and wastewater influence. *Journal of Scientific Research and Development*, 1(1), 38-44.
6. Gibson, M. J., & Farmer, J. G. 1983. A survey of trace metal contamination in Glasgow urban soils. In: Proceedings of the 4th International Conference on Heavy Metals in the Environment, CEP, Edinburgh, 1144 p.
7. Gotvajn, Z., Tisler T., & Zagorc-Koncan, J. 2009. Comparison of different treatment strategies for industrial landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 162(2-3), 1446-1456.
8. Haines, R. C., & Pocock, R. L. 1980. Heavy metal land contamination: Background levels and site case histories in the London Borough of Greenwich. Research notes 16 Birmingham, Joint Unit for Research on the Urban Environment, University of Aston, Birmingham.
9. Javan, S., Didehvar, M., Raiesi, R., Abbasian, M., Ahmadi, S., & Nouri, R. 2016. Investigation of the mobility and risk assessment of heavy metals, cadmium, chromium, and lead in Zahedan vermicompost. *Journal of Environmental Health Engineering*, 3(2), 81-91. [In Persian]
10. Lema, J. M., Mendez, R., & Blazques, R. 1998. Characteristics of landfill leachate and alternatives for their treatment: A review. *Water Air Soil Pollution*, 40, 223-250.
11. Olajire, A. A., & Ayodele, E. T. 1998. Heavy metal analysis of solid municipal wastes in the western part of Nigeria. *Water Air Soil Pollution*, 103, 219-228.
12. Parry, G. D. R., Johnson, M. S., & Bell, R. M. 1981. Trace metal surveys of soil as a component of strategic and local planning policy development. *Environmental Pollution, Series B*, 2, 97-107.
13. Sabbagh, M., Mollashahi, M., & Moshki, A. 2017. Investigating the effects of landfills on soil in forest ecosystems (Semeskandeh forest wildlife refuge study). Faculty of Desert Studies, Semnan University, 95 p. [In Persian]
14. Sartaj, M., Sadouq, M. B., & Jalalvandi, H. 2007. Application of geographic information systems (GIS) in locating special waste disposal sites. Third National Conference on Waste Management, pp. 271-281. [In Persian]
15. Shokoh, A., Safari, A., & Hashemi, S. H. 2014. Investigating the quality of leachate from a municipal landfill and compost plant (Case study: Mashhad city). *Environmental Science and Technology*, 11(4), 97-105. [In Persian]
16. Tedder, R. B. 1992. Memorandum-landfill liner cost benefit analysis. Florida Department of Environmental Regulation, September 8.
17. Yousefi Kebria, D., Darvishi, G., Taghizadeh Khalili, M., & Shoosh Pasha, A. 2011. The effect of leachate infiltration on landfill soils. Fifth Specialized Conference on Environmental Engineering, University of Tehran, Faculty of Environment, Tehran.