Journal of Research in Environmental Health

Volume 9, Issue 2, Summer 2023

# Investigating the level of contamination and ecological risk of cadmium and lead metals in the soil downstream of the burial site (case study: Taibad city)

**Mohammad javad Alipoor**
MSc student of Environmental Pollution , Kheradgerayan Motahar Of Higher Education, Mashhad,Iran

**Mohammad Ghafoori**
Professor, Department of Geology, College of Science, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

**Akrama Ghorbani**
* Member of Scientific Panel , Faculity of Kheradgrayan Motahar Institue of Higher Education, Mashhad, Iran
Corresponding Author:
karaj.envi@gmail.com

Received:2023/04/21
Accepted: 2023/06/20

**Document Type:** Research article

Doi:10.22038/jreh.2023.68065.1553

## ABSTRACT

**Background and purpose:** The distribution of heavy metals within various sediment types has emerged as a crucial and innovative subject within environmental sedimentology. This study has been undertaken to assess factors contributing to pollution, the concentrations of cadmium and lead metals, geochemical accumulation indices, and the ecological risk assessment for soils downstream from the Taibad Landfill.

**Materials and Methods:** 15 stations were strategically selected at 100-meter intervals along the watercourse emerging from the site, spanning 100 to 1500 meters. Following the collection of five samples, each station was sampled three times. These samples were then transported to the laboratory for subsequent analysis.

**Results:** Stations 2 and 6 exhibited an intermediate pollution level due to the pollution factor (CF) ranging between 1 and 3. In contrast, station 10 demonstrated a very high level of pollution. The remaining stations showed elevated pollution levels due to pollution falling within the 3 to 6 range. All stations experienced high pollution levels regarding cadmium metal, with pollution factors (CF) consistently within the 3 to 6 range. Consequently, based on the results, both cadmium and lead metal levels are categorized as ecologically average.

**Conclusion:** Lead metal pollution is classified as moderate at stations 2 and 6, while station 3 experienced a very high pollution level; other stations demonstrated high pollution levels. Cadmium metal contamination was observed across all stations. Both metals fall within the medium risk category in terms of ecological assessment. Notably, the concentration of these metals in the soil downstream from the landfill significantly surpasses global soil averages and Earth's crust levels. This pollution is believed to have emanated from the landfill and disseminated to downstream areas through seasonal runoff.

**Keywords:** pollution, Ecological risk, cadmium, lead, landfill site

▶ **Citation:** Alipoor MJ, Ghafoori M, Ghorbani A. Investigating the level of contamination and ecological risk of cadmium and lead metals in the soil downstream of the burial site (case study: Taibad city). *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Summer 2023; 9(2): 223-232.

# بررسی میزان آلودگی و ریسک اکولوژیکی فلزات کادمیوم و سرب در خاک پایین‌دست محل دفن (مطالعه موردی: شهر تایباد)

**محمدجواد علیپور**
دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگی‌های محیط زیست، مؤسسه آموزش عالی خردگرایان مطهر، مشهد، ایران.
**محمد غفوری**
استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.
**اکرم قربانی**
* مربی، گروه محیط زیست، مؤسسه آموزش عالی خردگرایان مطهر، مشهد، ایران. نویسنده مسئول:
karaj.envi@gmail.com:

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۲/۰۲/۰۱
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۳/۳۰
**نوع مقاله:** پژوهشی

## چکیده

**زمینه و هدف:** پراکندگی فلزات سنگین در انواع رسوبات، از مباحث مهم و نوین در رسوب‌شناسی محیطی است. پژوهش حاضر با هدف بررسی میزان فاکتور آلودگی، غلظت فلزات کادمیوم و سرب، شاخص انباشت ژئوشیمیایی و رده ریسک اکولوژیکی در خاک پایین‌دست لندفیل تایباد انجام شد.
**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه ۱۵ ایستگاه به فاصله ۱۰۰ متری از یکدیگر و در امتداد آبراهه خروجی از سایت از فاصله ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ متری محل دفن زباله انتخاب شدند. بعد از نمونه‌برداری به تعداد ۵ نمونه و تکرار ۳ بار از هر ایستگاه، نمونه‌ها جهت آنالیز به آزمایشگاه منتقل شدند. برای اندازه‌گیری غلظت سرب و کادمیوم از دستگاه جذب اتمی Contraa ۷۰۰ شرکت Analytik Jena استفاده شد. فرضیه ها با استفاده از آزمون تی- تک نمونه‌ای و ضریب همبستگی پیرسون با نرم افزار SPSS 24 مورد تحلیل قرار گرفتند.
**یافته‌ها:** در ایستگاه ۲ و ۶ چون فاکتورهای آلودگی (CF) بین ۱-۳ بودند، بنابراین میزان آلودگی در این ایستگاه‌ها متوسط، در ایستگاه ۱۰ بسیار زیاد و برای بقیه ایستگاه‌ها چون فاکتورهای آلودگی بین ۳-۶ بودند، میزان آلودگی زیاد بود. برای فلز کادمیوم، فاکتور آلودگی در تمامی ایستگاه‌ها بین ۳-۶ و آلودگی زیاد بود. بر اساس نتایج، میزان فلزات سرب و کادمیوم در رده ریسک اکولوژیکی متوسط قرار دارند.
**نتیجه‌گیری:** میزان آلودگی فلز سرب در ایستگاه ۲ و ۶ متوسط، ایستگاه ۳ بسیار زیاد و در سایر ایستگاه‌ها زیاد بود. آلودگی فلز کادمیوم در تمام ایستگاه‌ها زیاد گزارش شد. هر دو فلز از نظر ریسک اکولوژیکی در رده متوسط قرار داشتند. غلظت فلزات مذکور در خاک پایین‌دست لندفیل از میانگین خاک جهانی و پوسته زمین به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. به‌نظر می‌رسد این آلودگی ناشی از لندفیل باشد که توسط رواناب‌های فصلی به اراضی پایین‌دست انتشار یافته است.

**کلید واژه‌ها:** آلودگی، ریسک اکولوژیکی، سرب، کادمیوم، مکان دفن زباله

◀ **استناد:** علیپور م ج، غفوری م، قربانی الف. بررسی میزان آلودگی و ریسک اکولوژیکی فلزات کادمیوم و سرب در خاک پایین‌دست محل دفن (مطالعه موردی: شهر تایباد). *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. تابستان ۱۴۰۲؛۹(۲): ۲۲۳-۲۳۲.

## مقدمه

امروزه آلودگی خاک به فلزات سنگین، به عنوان یکی از مهمترین آلاینده ها محسوب می شود و از نظر سمیت و پایداری، جزء خطرناکترین گروه طبقه بندی شده اند و به دلیل خصوصیات آلایندگی‌شان در خاک، سمی بودن، زمان ماندگاری بالا و تجمع آنها در بافت جانداران، از اهمیت اکولوژیکی و بیولوژیکی زیادی برخوردارند(۱). فلزات سنگین نیز به‌دلیل حضور در غلظت‌های کم‌رنگ (دامنه ppb تا کمتر از ppm ۱۰) در ماتریس‌های مختلف محیطی به‌عنوان عناصر کمیاب در نظر گرفته می‌شوند. فراهمی زیستی قابل دسترس آنها تحت تأثیر عوامل جسمی مانند دما، ارتباط فاز، جذب و جداسازی قرار دارد (۲). نتایج مطالعات نشان می دهد که فلزات سنگین مس، روی، کروم و سرب در محلهای دفن به مقدار بیشتری یافت می شوند (۳). اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین برای کاهش خطرات ناشی از آن، ایجاد منابع زمین دردسترس برای تولید محصولات کشاورزی، تقویت امنیت غذایی و کاهش مشکلات تصرف اراضی ناشی از تغییر در الگوی کاربری زمین ضروری است. بایزونت و همکاران در تحقیقی به بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک لندفیل شهر تونس پرداختند. آن¬ها ۲۰ نمونه از خاک منطقه برداشت و مورد آنالیز قرار دادند. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت مربوط به فلزات نیکل و کرم و کمترین غلظت نیز مربوط به عناصر سرب و مس بود. همچنین لایه خاک رس منطقه مانع رسیدن فلزات به عمق می‌باشد (۴). بازو تحقیقی با عنوان آلودگی خاک مکان دفن زباله شهر زاهدان به فلزات سنگین با استفاده از شاخص آلودگی انجام داد. تعداد ۲۰ نمونه خاک شامل ۱۰ نمونه خاک سطحی (تا عمق ۳۰ سانتی‌متری) و ۱۰ نمونه خاک عمقی (از عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری) از محل دفن زباله برداشت شدند. برای تعیین غلظت عناصر از دستگاه جذب اتمی استفاده و برای تجزیه و تحلیل از نرم‌افزار SPSS، ورژن ۲۳ استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت کروم، کادمیوم، سرب و آرسنیک در خاک سطحی به‌ترتیب ۱۵۲/۴۸، ۰/۲۱۳، ۵۴/۴۹۹ و ۰/۳۴۴ میلی‌گرم در کیلوگرم و در خاک عمقی به‌ترتیب ۱۴/۱۱۷۷، ۰/۲۵۲، ۴۹/۳۶۵ و ۰/۴۱۴ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. بر اساس شاخص آلودگی، بیشتر ایستگاهها در طبقه آلودگی کم تا متوسط قرار گرفتند (۵). در سطح جهان، هر روز مقادیر قابل توجهی از زباله‌های آلی تولید می‌شود که می‌تواند به‌عنوان منبع مواد مغذی مورد استفاده قرار گیرد و همچنین به‌عنوان تهویه کننده برای بهبود کیفیت خاک باشند. چابوکهارا و نما گزارش کردند که مقادیر خطر غیرسرطان‌زای کروم تنها برای کودکان بیشتر از ۱ است، در حالی که خطر بروز سرطان در بزرگسالان بیش از کودکان بوده است (۶). از مهم‌ترین منابع انتشار، سرب و کادمیم در اتمسفر و خاک‌های شهری می‌توان به سوخت‌های فسیلی، سوخت زغال‌سنگ، ترافیک وسایل نقلیه، مواد پوششی لنت ترمز و فرآیندهای مختلف صنعتی اشاره کرد. کادمیم بیشتر در مواد رنگی، در آلیاژها و ترکیبات الکترونیکی و همچنین کودهای فسفاته، پاک‌کننده‌ها و محصولات تصفیه شده نفتی یافت می‌شود. در انسان مقادیر بالای کادمیم ارتباط نزدیکی با سرطان ریه دارد، همچنین در افرادی که کلیه‌های پیوندی دارند، می‌تواند منجر به مسدود شدن کلیه‌های مریض گردد. کادمیوم ممکن است در انسان و حیوانات باعث به‌وجود آمدن استخوان‌های معیوب (آستئامالاسیا و آستئاپروسیا) شود. نتایج بررسی لیو و همکاران بر روی آلودگی خاک اطراف لندفیل شانگهای نشان داد که خاک پیرامون لندفیل نسبت به خاک زمینه دارای مس، روی، کادمیوم و کروم بیشتری هستند(۷).

از مهم‌ترین علائم ناشی از سمیّت کادمیوم در گیاه می توان به توقف رشد ریشه، کاهش سنتز کلروفیل و در نتیجه افت کیفیت سبزیجات اشاره کرد (۸). در مطالعه میرکازهی که وضعیت آلودگی گردوغبار و خاک مکان دفن زباله شهر خاش به فلزات سنگین را مورد بررسی قرار داد، میزان عناصر کادمیوم، سرب، روی و سیلیس در گردوغبار و خاک مکان دفن زباله شهر خاش اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، غلظت فلزات سنگین در گردوغبار مکان دفن زباله بالاتر از حد استاندارد بوده و غلظت

فلزات سنگین در خاک مکان دفن زباله نیز بالاتر از حد استاندارد بود (۹).

با این‌حال، هر فلز دارای ویژگی‌های منحصر به‌فرد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی است که به مکانیسم های خاص سم‌شناسی عملکرد آن اختصاص دارد (۱۰).

چندین داده علمی گزارش می‌دهند که آب، خاک، سبزیجات، محصولات زراعی و گردوغبار در فاصله نزدیک از مناطق معدن توسط سرب، آرسنیک، مس، کروم، روی و کادمیوم بسیار آلوده شده است (۱۱).

محل دفن بهداشتی زباله‌های شهر تایباد در مکانی تپه ماهوری و در دامنه کوه‌ها می‌باشد که یک آبراهه فصلی از وسط آن می گذرد، به لحاظ اقلیمی میزان بارندگی در تایباد ۲۴۰ میلی‌متر در سال است، جنس خاک از نوع لومی شنی بوده و عمق خاک تا ۱ متر می‌رسد و نوع کاربری در پایین‌دست کشاورزی می‌باشد و ۹۰٪ نوع زباله‌ها ی این مکان از نوع خانگی است. مطالعه حاضر با هدف بررسی میزان فاکتور آلودگی فلزات کادمیوم و سرب ورده ریسک اکولوژیکی در خاک اراضی پایین‌دست لندفیل شهر تایباد انجام شد.

## روش کار

تایباد از شهرهای استان خراسان و مرکز شهرستان تایباد است، در شرق استان خراسان رضوی در نزدیکی مرز ایران و افغانستان قرار دارد. شهر تایباد در ارتفاع ۹۰۰ متری از سطح دریا در طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۴۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۴ دقیقه در ۶۰ کیلومتری جنوب تربت‌جام واقع در شرق استان خراسان رضوی در ایران واقع شده است. شهرستان تایباد دارای آب‌وهوای گرم و خشک می‌باشد. میانگین بارش سالانه در دوره آماری ۲۰ ساله این شهرستان حدود ۲۰۰ میلی‌متر و میانگین دمایی آن ۱۶/۴ درجه سانتی‌گراد است. این شهرستان در تابستان تحت تأثیر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان قرار می‌گیرد. جهت باد غالب منطقه شمال به جنوب است. جمعیت شهری تحت پوشش خدمات شهرداری تایباد حدود ۷۳۱۲۰ نفر می‌باشد. مکان دفن زباله شهری تایباد در ۶/۵ کیلومتری جنوب تایباد و نزدیک‌ترین روستای اسدآباد دربند بوده و مساحت این منطقه حدود ۱۶/۴ هکتار می‌باشد. فاصله آن تا نزدیک‌ترین روستا ۴/۳ کیلومتر و تا مخازن آب چاه کشاورزی ۱/۱۸ کیلومتر و جاده آسفالت ۶۱۰ متر است.

به‌منظور انجام پژوهش به محل دفن زباله تایباد مراجعه کرده و ابتدا از طریق مشاهده به بررسی وضعیت کنونی محل دفن زباله پرداخته و سپس تعداد ۱۵ ایستگاه در دو عنصر (کادمیوم و سرب) بر اساس محدوده مکان و در مسیر آبراهه خروجی از لندفیل در فاصله ۱۰۰ متری تا ۱۵۰۰ متری به آن انتخاب شد؛ به‌طوری‌که فاصله ایستگاه‌ها از هم ۱۰۰ متر باشد.

### مواد و روش مورد استفاده نمونه‌های آزمایشگاهی

در این تحقیق جهت آماده‌سازی نمونه‌ها و تعیین غلظت فلزات سنگین از اسید نیتریک ($HNO_3$) ۶۵٪، اسید کلریدریک (HCL) ۳۷٪ و اسید پرکلریک ($HCLO_4$) ۷۰-۷۲٪ استفاده شد. تمام مواد مورد استفاده از محصولات شرکت مرک آلمان بود. در تمام مراحل این تحقیق برای فیلتر نمودن نمونه‌ها از فیلترهای نیتروسلولزی با اندازه ۰/۴۵ میکرومتر استفاده شد.

### روش تعیین غلظت کل فلزات سنگین

جهت آماده‌سازی نمونه‌ها برای تعیین فلزات سنگین از روش استاندارد جهانی (استاندارد متد) استفاده شد. ابتدا نمونه خاک از الک ۰/۰۶۳ میلی‌متری (۲۳۰ مش) عبور داده شد. سپس ۱ گرم از هر نمونه برداشته و در ارلن‌های ۱۰۰ سی‌سی ریخته شد. در ادامه ۱۲ سی‌سی اسید کلریدریک ۳۷٪ و ۴ سی‌سی اسید نیتریک ۶۵٪ به هر یک افزوده شد. ارلن‌ها به‌مدت ۶-۷ ساعت در حمام شن با دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا هضم اسیدی صورت گرفته و محلولی شیری رنگ به‌دست آید. بعد از آن به هر یک از ارلن‌ها ۴ سی‌سی اسید پرکلریک ۷۰-۷۲٪ افزوده و مجدداً در حمام شن قرار داده شد. بعد از تبخیر ۳ سی‌سی اسید نمونه‌ها از روی شن برداشته شد و با آب دو بار تقطیر به حجم ۲۰ سی‌سی رسانده شد و با استفاده از قیف پلاستیکی و کاغذ صافی با دستگاه پمپ خلأ صاف گردید. سپس حجم نمونه‌ها به ۵۰ سی‌سی رسانده شد و در باکس‌های

مطمئن قرار داده و شماره‌گذاری و ثبت شد. نمونه‌برداری در زمستان ۱۳۹۸ و از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک برداشت و برای جلوگیری از دخالت عوامل آلی و سطحی، در ظروف پلاستیکی خشک و تمیز نگهداری و کل نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل گردیدند . در این تحقیق برای اندازه‌گیری غلظت سرب و کادمیوم از دستگاه جذب اتمی Contraa 700 شرکت Analytik Jena واقع در آزمایشگاه (آزمایشگاه ناب) در شهر مشهد استفاده شد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها توسط دستگاه GPS ثبت شد.

## شاخص انباشت ژئوشیمیایی

در تحلیل‌های زیست‌محیطی، از شاخص انباشت ژئوشیمیایی به‌منظور مشخص کردن سطح آلودگی و میزان تأثیر عوامل انسان‌زاد از عوامل طبیعی استفاده می‌شود. این شاخص می‌تواند بیانگر تأثیر عوامل خارجی (انسان‌زاد) باشد.

## شاخص انباشت

ژئوشیمیایی اولین بار توسط مولر [1] ارائه شد.

فرمول ۱

$$I\,geo = log_2 \frac{C_n}{1/5B_n}$$

در این رابطه I geo شاخص انباشت ژئوشیمیایی، Cn غلظت فلز در نمونه و Bn غلظت فلز در خاک می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی مولر، ۷ رده آلودگی را می‌توان در نظر گرفت. چنانچه این شاخص کوچک‌تر از صفر باشد، از نظر درجه آلودگی غیرآلوده، بین ۰-۱ غیرآلوده تا کمی آلوده، بین ۱-۲ کمی آلوده، بین ۲-۳ کمی آلوده تا خیلی آلوده، بین ۳-۴ خیلی آلوده، بین ۴-۵ خیلی آلوده تا شدیداً آلوده و اگر بیشتر از ۵ باشد، شدیداً آلوده است.

جهت تعیین آلایندگی خاک به عناصر سنگین از فاکتور آلودگی (CF) [2] استفاده گردید. بر اساس این فاکتور می‌توان مقدار عناصر را نسبت به محیط طبیعی خود سنجید و میزان آلودگی خاک را تعیین کرد. فاکتور آلودگی طبق رابطه زیر برای تمام عناصر مورد بررسی محاسبه شد:

فرمول ۲

$$CF_{metal} = \frac{C_{metal}}{C_{background}}$$

در این معادله $CF_{metal}$، نسبت غلظت هر فلز (metal) به مقدار غلظت زمینه طبیعی آن (Background) می‌باشد. غلظت ماده مرجع، میانگین جهانی غلظت عناصر موجود در پوسته زمین می‌باشد (۲۰). در این مطالعه از طبقه‌بندی هکستون برای فاکتور آلودگی جهت ارزیابی آلایندگی فلزات سنگین استفاده شد.

چنانچه CF<۱ باشد آلودگی کم، ۳> CF ≥۱ میزان آلودگی متوسط، ۶ > CF ≥ ۳ آلودگی زیاد و CF ≥ ۶ آلودگی بسیار زیاد است. میانگین عناصر سرب و کادمیوم به‌ترتیب در پوسته زمین ۱۲/۵ ppm و ۰/۲ ppm ، در میانگین غلظت خاک جهانی ۱۲ ppm و ۰/۳۵ ppm در میانگین غلظت در خاک ۳۵ ppm و ۰/۳۵ ppm و در USPEA میزان سرب ۱۰ و میزان کادمیوم ۰/۳۵ (ppm) (سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا) می‌باشد.

## شاخص بارِ آلودگی (PLI) [3]

به‌منظور ارزیابی شدت آلودگی، شاخص بارِ آلودگی برای شناخت اثرات آلودگی کل ناشی از فلزات مختلف محاسبه می‌شود. بر اساس این شاخص، مقادیر استاندارد شده کیفیت خاک طبق جدول زیر در ۵ سطح طبقه‌بندی می‌شود. شاخص بارِ آلودگی با استفاده از فرمول ۳ محاسبه شد. چنانچه شاخص جامع آلودگی کوچک‌تر یا مساوی ۰/۷ باشد، سطح آلودگی عالی، کوچک‌تر یا مساوی ۱ و بزرگ‌تر از ۰/۷ پاک، بزرگ‌تر از ۱ و کوچک‌تر یا مساوی ۲ آلودگی کم، بزرگ‌تر از ۲ و کوچک‌تر یا مساوی ۳ آلودگی متوسط و اگر بزرگ‌تر از ۳ باشد، سطح آلودگی زیاد می‌باشد.

مطابق فرمول ۳:

$$PLI = \sqrt[n]{CF1 \times CF2 \times \cdots \times CFn}$$

PLI: مقدار بدست آمده شاخص بارِ آلودگی برای هر نمونه

CF: فاکتور آلودگی

## ریسک اکولوژیکی

برای به‌دست آوردن ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین از فرمول زیر استفاده گردید:

مطابق فرمول ۴

$$Er = Tr \times CF$$

1. Muller
2. Contamination Factor
3. Pollution Load Index

مطابق فرمول ۵

$$RI = \sum_{i=1}^{m} Tr\,Er$$

که در آن CF: فاکتور آلودگی، Er: ریسک اکولوژیکی عنصر، Tr: فاکتور سمّیت فلزات سنگین و RI: ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر است. هاکانسون میزان Tr را فاکتور سمّیت فلزات نامید و به‌ترتیب مقادیر ۵ و ۳۰ را برای فلزات سنگین سرب و کادمیوم ارائه داده است.

چنانچه مقدار این شاخص RI<۱۵۰ باشد میزان ریسک اکولوژیکی در رده کم، ۱۵۰≤RI<۳۰۰ ریسک اکولوژیکی دررده متوسط، ۳۰۰≤RI<۶۰۰ میزان این ریسک دررده قابل توجه و چنانچه RI≥۶۰۰ باشد میزان ریسک اکولوژیکی در رده خیلی زیاد قرار دارد .

## روش تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS، ورژن ۲۴ انجام شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و آزمون تی- تک نمونه‌ای بررسی شد. تجزیه همبستگی بین عناصر با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون صورت گرفت.

## یافته‌ها

نتایج آزمون شاپیرو ویلک نشان داد با توجه به سطح معناداری فلز سرب ۰/۹۰۱ و فلز کادمیوم ۰/۱۸۴، غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه از توزیع نرمال برخوردار بود؛ چون سطح معناداری (sig) آماره آزمون شاپیروویلک بیشتر از ۰/۰۵ بود. با توجه به میزان چولگی فلز سرب (۰/۲۲۸) و کادمیوم (۰/۷۶۹-) و میزان کشیدگی فلز سرب (۰/۳۲۳-) و کادمیوم (۰/۲۱۲-) و چون مقادیر چولگی و کشیدگی برای هر دو فلز سرب و کادمیوم در بازه (۲ و ۲-) قرار داشتند، از این رو داده‌ها نرمال بودند.

با توجه به نتایج آزمون تی تک نمونه‌ای، چون سطح معناداری این آزمون برای هر دو فلز سرب و کادمیوم مقدار صفر و کمتر از ۰/۰۵ (p=۰/۰۰۰) به‌دست آمد، بنابراین معنادار بود؛ یعنی میانگین فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) در این تحقیق بیشتر از حد استاندارد بود.

در نمونه مورد مطالعه فلز سرب با کادمیوم ضریب همبستگی بسیار ضعیف (r= -۰/۰۰۴) داشت که در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نبود، بنابراین می‌توان گفت سرب و کادمیوم ارتباط و وابستگی قابل توجهی ندارند و از منشأ آلودگی یکسان برخوردار نیستند.

## مقایسه غلظت فلزات مورد مطالعه در مکان دفن زباله شهر تایباد با استاندارد جهانی و پوسته زمین

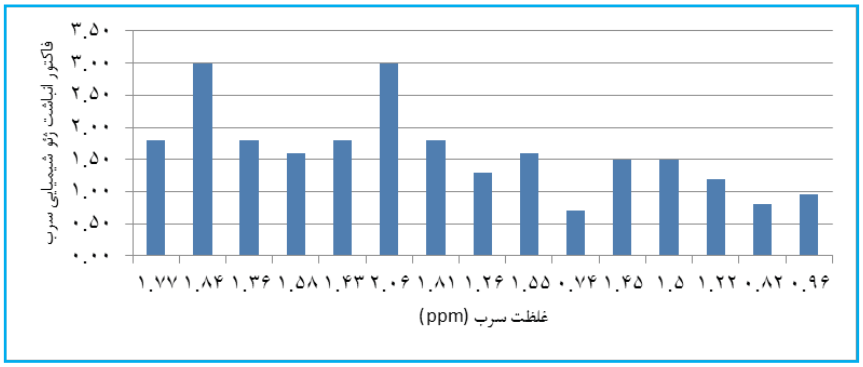
در مقایسه غلظت فلزات مورد بررسی با میانگین خاک جهانی و پوسته زمین در جدول ۱، غلظت فلزات سرب و کادمیوم در خاک مکان مورد مطالعه از میانگین خاک جهانی و پوسته زمین به‌طور معنی‌داری بیشتر بود و در نتیجه وضعیت این عناصر خطرناک و نگران‌کننده می‌باشد که بیانگر ورود این فلزات بر اثر فعالیت‌های انسانی به خاک این منطقه می‌باشد. با توجه به اینکه نمونه‌ها از بستر آبراهه پایین‌دست لندفیل برداشته شدند، به‌نظر می‌رسد این آلودگی ناشی از این زباله‌گاه باشد که توسط رواناب‌های فصلی به اراضی پایین‌دست انتشار یافته است. در واقع جانمایی اشتباه و عدم رعایت اصول مکان‌یابی صحیح زباله‌گاه، باعث فراهم آمدن انتشار آلودگی شده است. زباله‌گاه تایباد در مسیر یک آبراهه قرار دارد که هنگام بارندگی سیلاب جاری شده از ۱۴۵ هکتار اراضی شیبدار بالادست به داخل سایت سرازیر شده و پس از عبور از آن به فاضلابی با انواع زیادی از آلودگی‌ها تبدیل شده و به طرف اراضی پایین‌دست حرکت می‌کند. این زباله‌گاه نزدیک به ۴۰ سال مورد استفاده قرار گرفته و احتمال انتشار آلودگی ناشی از آن به آب‌های زیرزمینی و خاک مناطق دورتر از محدوده مورد مطالعه (۱۵۰۰ متر) نیز وجود دارد.

## شاخص انباشت ژئوشیمیایی (Igeo)

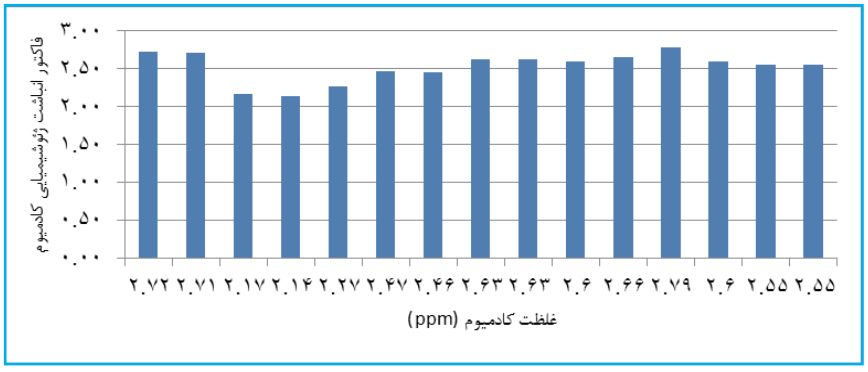
شاخص انباشت ژئوشیمیایی اولین بار توسط مولر ارائه شد. مطابق فرمول ۶:

$$I\,geo = log_2 \frac{C_n}{1/5B_n}$$

در این رابطه I geo شاخص انباشت ژئوشیمیایی، Cn غلظت فلز در نمونه و Bn غلظت فلز در خاک می‌باشد.



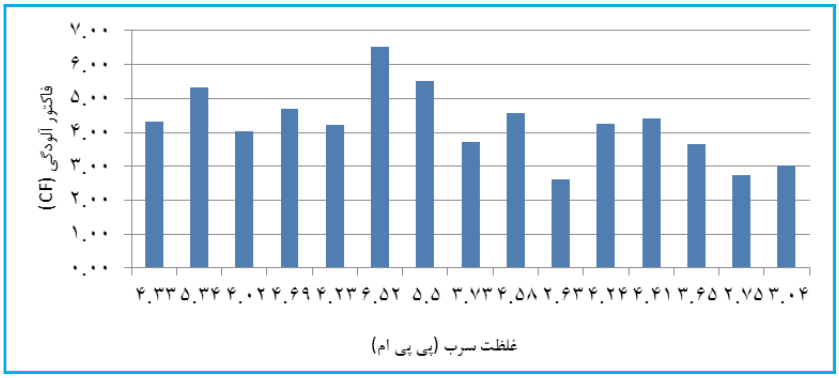

**نمودار ۱. فراوانی انباشت ژئوشیمیایی (I geo) فلز سرب در خاک مورد مطالعه**



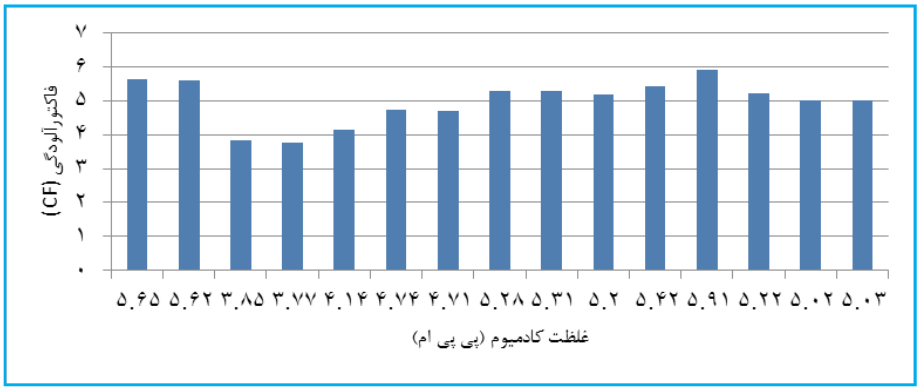

**نمودار ۲. فراوانی انباشت ژئوشیمیایی (I geo) فلز کادمیوم در خاک مورد مطالعه**

## فاکتور آلودگی (CF)

فاکتورهای آلودگی (CF) به‌دست آمده برای فلزات سرب و کادمیوم در این تحقیق برای فلز سرب در نمونه‌ها، ایستگاه ۲ و ۶ یعنی چون فاکتورهای آلودگی بین ۱ تا ۳ هستند ($۱ \leq CF < ۳$)، بنابراین میزان آلودگی فلز سرب در این ایستگاه‌ها میزان آلودگی متوسط است. برای ایستگاه‌های ۱، ۳، ۴، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ چون فاکتورهای آلودگی بین ۳ تا ۶ بودند ($۳ \leq CF < ۶$)، میزان آلودگی فلز سرب در این ایستگاه‌ها زیاد و در ایستگاه ۱۰ یعنی در فاصله ۱۰۰۰ متری سایت تا دفع زباله، میزان آلودگی فلز سرب بسیار زیاد بود ($CF>۶$). برای فلز کادمیوم فاکتور آلودگی (CF) در تمامی ایستگاه‌ها بین ۳ تا ۶ بود ($۳ \leq CF < ۶$)، بنابراین میزان آلودگی فلز کادمیوم در تمام ایستگاه‌ها زیاد بود.




**نمودار ۳. فراوانی فاکتور آلودگی (CF) فلز سرب در خاک مورد مطالعه**




**نمودار۴. فراوانی فاکتور آلودگی (CF) فلز کادمیوم در خاک مورد مطالعه**

## محاسبه شاخص بار آلودگی در خاک دفن زباله شهری تایباد

مطابق فرمول ۷

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times \cdots \times CF_n}$$

که در آن PLI: مقدار به‌دست آمده شاخص بارِ آلودگی برای هر نمونه و CF: فاکتور آلودگی می‌باشد.

با توجه به یافته های جدول ۱ در مورد شاخص انباشت ژئوشیمیایی، نتیجه‌گیری می‌شود که ایستگاه های ۱، ۲ و ۶ نسبت به فلز سرب غیرآلوده تا کمی آلوده هستند. ایستگاه‌های ۳، ۴، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ کمی آلوده به فلز سرب هستند و در نهایت ایستگاه ۱۰ کمی آلوده تا خیلی آلوده به فلز سرب است. از طرفی بر اساس نتایج، تمام ایستگاه‌های انتخابی از نظر آلودگی به فلز کادمیوم کمی آلوده تا خیلی آلوده هستند (چون میزان آلودگی در بازه ۲-۳ بود). با توجه به سطح آخر جدول ۱ در مورد فاکتورهای آلودگی (CF) به‌دست آمده برای فلزات سرب و کادمیوم در این تحقیق، میزان آلودگی این دو فلز در فواصل مختلف زیاد است.

نتایج حاصل از بررسی شاخص بارِ آلودگی را نشان می‌دهد. مقادیر استاندارد این شاخص در جدول ۱ موجود است بنابر نتایج حاصل همه نمونه ها در تمامی ایستگاه‌ها میزان بارِ آلودگی بیشتر از ۳ را نشان می‌دهد، بنابراین تحت تأثیر غلظت‌های غیرطبیعی ناشی از مکان دفن قرار گرفته‌اند.

## محاسبه ریسک اکولوژیکی

برای به‌دست آوردن ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین، از فرمول زیر استفاده گردید: مطابق فرمول ۸:

$$Er = Tr \times CF$$

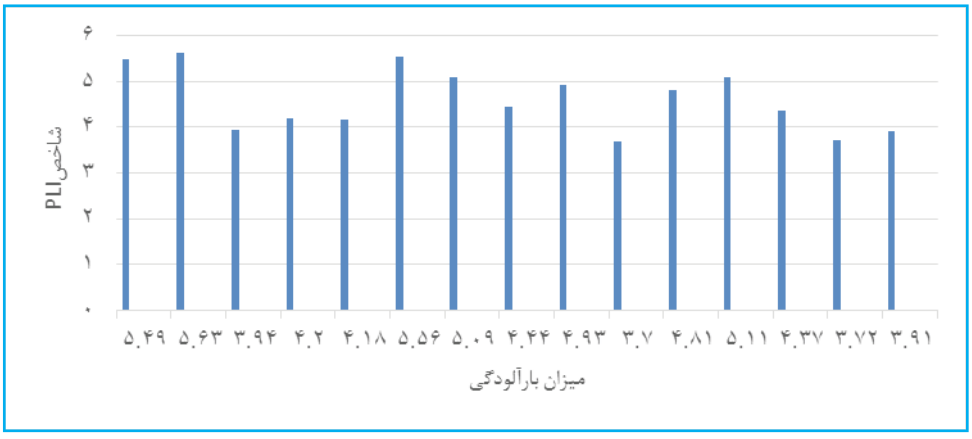
که در آن CF: فاکتور آلودگی، Er: ریسک اکولوژیکی عنصر، Tr: فاکتور سمّیت فلزات سنگین و RI: ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر است. میانگین ریسک اکولوژیکی عناصر سرب و کادمیوم به‌ترتیب ۶۸/۲۱، ۸۸/۱۴۹ و ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر ۵۶/۱۷۱ و در رده متوسط قرار دارد.

## بحث

آلودگی خاک به فلزات سنگین به‌دلیل سمّیت و پایداری آنها در محیط زیست حائز اهمیت می‌باشد. این عناصر به‌دلیل تحرک کم، به مرور در خاک انباشته می‌شوند و انباشت این عناصر در خاک باعث ورود آنها به چرخه غذایی و تهدید سلامت انسان می‌شود. وجود منابع آلاینده طبیعی و مصنوعی و عوامل مؤثر بر انتشار آلودگی، مبنای تمام آلودگی‌های زیست‌محیطی به این نوع فلزات می‌باشد. در میان فلزات سنگین، کادمیوم و سرب نه‌تنها به‌عنوان خطرات جدی برای سلامتی انسان، بلکه با توجه به افزایش مداوم آنها در محیط و تجمع زیستی در سراسر زنجیره غذایی، توجه ویژه‌ای را به‌خود جلب می کنند. در مطالعه حاضر میزان آلودگی فلز سرب در ایستگاه ۲ و ۶ متوسط، ایستگاه ۳ بسیار زیاد و در بقیه ایستگاه‌ها زیاد بود. آلودگی فلز کادمیوم در تمام ایستگاه‌ها زیاد

جدول ۱. مختصات ایستگاه‌ها، غلظت فلزات اندازه‌گیری شده، میزان شاخص انباشت ژئوشیمیایی، فاکتور آلودگی و میزان بارِ آلودگی در محل مورد نظر

| ایستگاه / عناصر | X | Y | فاصله تا سایت دفن زباله (متر) | غلظت اندازه‌گیری شده | | فاصله تا سایت دفن زباله (متر) | شاخص انباشت ژئوشیمیایی | | فاکتور آلودگی | | میزان بارِ آلودگی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | سرب (mg/kg) | کادمیوم (mg/kg) | | سرب | کادمیوم | سرب | کادمیوم | |
| ۱ | ۲۹۱۱۴۱ | ۳۸۴۰۱۵۵ | ۱۰۰ | ۳۶/۵۳ | ۱/۷۶ | ۱۰۰ | ۰/۹۶۲ | ۲/۵۵ | ۳/۰۴۴ | ۵/۰۳۱ | ۳/۹۱۳ |
| ۲ | ۲۹۱۱۸۲ | ۳۸۴۰۲۳۷ | ۲۰۰ | ۳۳/۰۵ | ۱/۷۶ | ۲۰۰ | ۰/۸۱۷ | ۲/۵۵ | ۲/۷۵۴ | ۵/۰۲۸ | ۳/۷۲۱ |
| ۳ | ۲۹۱۲۴۷ | ۳۸۴۰۳۲۱ | ۳۰۰ | ۴۳/۸۵ | ۱/۸۳ | ۳۰۰ | ۱/۲۲ | ۲/۶۰ | ۳/۶۵۴ | ۵/۲۲ | ۴/۳۷۱ |
| ۴ | ۲۹۱۱۹۱ | ۳۸۴۰۴۰۰ | ۴۰۰ | ۵۳/۰۲ | ۲/۰۷ | ۴۰۰ | ۱/۵۰ | ۲/۷۹ | ۴/۴۱۸ | ۵/۹۱۴ | ۵/۱۱۱ |
| ۵ | ۲۹۱۲۱۴ | ۳۸۴۰۵۱۰ | ۵۰۰ | ۵۱/۲۸ | ۱/۹۰ | ۵۰۰ | ۱/۴۵ | ۲/۶۶ | ۴/۲۴۳ | ۵/۴۲۸ | ۴/۸۱۶ |
| ۶ | ۲۹۱۲۰۹ | ۳۸۴۰۶۱۵ | ۶۰۰ | ۳۱/۶۱ | ۱/۸۲ | ۶۰۰ | ۰/۷۴۰ | ۲/۶۰ | ۲/۶۳۴ | ۵/۲۰۰ | ۳/۷۰۱ |
| ۷ | ۲۹۱۲۳۳ | ۳۸۴۰۷۱۳ | ۷۰۰ | ۵۵/۰۵ | ۱/۸۶ | ۷۰۰ | ۱/۵۵ | ۲/۶۳ | ۵/۵۸۴ | ۵/۳۱۴ | ۴/۹۳۷ |
| ۸ | ۲۹۱۲۷۳ | ۳۸۴۰۸۰۲ | ۸۰۰ | ۴۴/۷۸ | ۱/۸۵ | ۸۰۰ | ۱/۲۶ | ۲/۶۳ | ۳/۷۳۱ | ۵/۲۸۵ | ۴/۴۴۱ |
| ۹ | ۲۹۱۲۸۵ | ۳۸۴۰۸۹۸ | ۹۰۰ | ۶۶/۰۰ | ۱/۶۵ | ۹۰۰ | ۱/۸۱ | ۲/۴۶ | ۵/۵۰ | ۴/۷۱۴ | ۵/۰۹۰ |
| ۱۰ | ۲۹۱۲۸۲ | ۳۸۴۱۰۰۲ | ۱۰۰۰ | ۷۸/۳۵ | ۱/۶۶ | ۱۰۰۰ | ۲/۰۶ | ۲/۴۷ | ۶/۵۲۹ | ۴/۷۲۴ | ۵/۵۶۴ |
| ۱۱ | ۲۹۱۳۳۵ | ۳۸۴۱۰۹۳ | ۱۱۰۰ | ۵۰/۷۸ | ۱/۴۵ | ۱۱۰۰ | ۱/۴۳ | ۲/۲۷ | ۴/۲۳۱ | ۴/۱۴۲ | ۴/۱۸۷ |
| ۱۲ | ۲۹۱۳۵۳ | ۳۸۴۱۱۹۱ | ۱۲۰۰ | ۵۶/۳۳ | ۱/۳۲ | ۱۲۰۰ | ۱/۸۵ | ۲/۱۴ | ۴/۶۹۴ | ۳/۷۷۱ | ۴/۲۰۷ |
| ۱۳ | ۲۹۱۴۱۲ | ۳۸۴۱۲۷۷ | ۱۳۰۰ | ۴۸/۳۴ | ۱/۳۵ | ۱۳۰۰ | ۱/۳۶ | ۲/۱۷ | ۴/۰۲۸ | ۳/۸۵۱ | ۳/۹۴۱ |
| ۱۴ | ۲۹۱۳۷۶ | ۳۸۴۱۳۷۵ | ۱۴۰۰ | ۶۷/۶۸ | ۱/۹۷ | ۱۴۰۰ | ۱/۸۴ | ۲/۷۱ | ۵/۶۴۰ | ۵/۶۲۸ | ۵/۶۳۴ |
| ۱۵ | ۲۹۱۴۰۶ | ۳۸۴۱۴۷۸ | ۱۵۰۰ | ۶۴/۰۹ | ۱/۹۸ | ۱۵۰۰ | ۱/۷۷ | ۲/۷۲ | ۵/۳۴۰ | ۵/۶۷۵ | ۵/۴۹۶ |
| میانگین | – | – | ۸۰۰ | ۵۲/۰۴ | ۱/۷۴۸ | ۸۰۰ | ۱/۴۲ | ۲/۵۳ | ۴/۳۳۷ | ۴/۹۹۶ | ۳/۹۱۳ |




نمودار ۵. مقادیر شاخص PLI در خاک سایت دفن زباله شهری تایباد

گزارش شد. هر دو فلز سرب و کادمیوم از نظر ریسک اکولوژیکی در رده متوسط قرار دارند. مطالعه تقی‌پور در بخش‌هایی از استان همدان نشان داد که با توجه به غلظت بالای مس در کاربری شهری، فعالیت‌های انسانی از مهم‌ترین عوامل کنترل کننده غلظت مس در منطقه مورد مطالعه است (۱۲).

چنانچه پژوهشگران سایر فلزات سمی مثل ارسنیک ، روی ، کروم و... را درسایر فصول مورد بررسی قراردهند نتایج دقیقتری خواهیم داشت.

## نتیجه‌گیری

در مقایسه غلظت فلزات مورد بررسی با میانگین خاک جهانی و پوسته زمین، غلظت فلزات سرب و کادمیوم در خاک پایین‌دست مکان دفن زباله شهر تایباد از میانگین خاک جهانی و پوسته زمین به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (میزان میانگین استاندارد سرب و کادمیوم بر اساس سازمان محیط زیست آمریکا به‌ترتیب ۱۰ و ۰/۳۵ ppm می‌باشد). در نتیجه وضعیت این عناصر خطرناک و نگران کننده می‌باشد. حجم و غلظت آلودگی روان آب جاری شده از داخل زباله‌گاه (عامل انتقال آلودگی) در طول مسیر ثابت است. در واقع جانمایی اشتباه و عدم رعایت اصول مکان‌یابی صحیح زباله‌گاه باعث فراهم آمدن انتشار آلودگی شده است.

## ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

## تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از آزمایشگاه محترم علوم دانشگاه فردوسی مشهد که در انجام آزمایشات صمیمانه همکاری داشتند، تشکر و قدردانی می‌شود.

## References

1.Atabaki, M. Lotfi,A. Investigating the concentration of heavy metals (lead, cadmium, zinc and copper) in the soil of different regions of Isfahan in 2016. Journal of Environmental Health Research. 2018. 4(1): 23-35 .(in persian)

2.Ahuja S. Evaluating water quality to prevent future disasters: Academic Press. 2019.

3.Bayat B. Comparative study of adsorption properties of Turkish fly ashes: I. The case of nickel (II), copper (II) and zinc (II). Journal of hazardous materials. 20023:251-7.

4.Bouzayani F, Aydi A, Abichou T. Soil contamination by heavy metals in landfills: measurements from an unlined leachate storage basin. Environmental monitoring and assessment. 2014; 186:5033-40

5.Basu A, Mahata J, Gupta S, Giri AK. Genetic toxicology of a paradoxical human carcinogen, arsenic: a review. Mutation Research/Reviews in Mutation Research. 2001;488(2):171-94.

6.Chabukdhara M, Nema AK. Heavy metals assessment in urban soil around industrial clusters in Ghaziabad, India: probabilistic health risk approach. Ecotoxicology and environmental safety. 2013;87:57-64.

7. Liu C, Cui J, Jiang G, Chen X, Wang L, Fang C. Soil heavy metal pollution assessment near the largest landfill of China. Soil and Sediment Contamination: An International Journal. 2013; 22(4):390-403.

8.Mikhak A. Sohrabi A.., Ostovar, P. Environmental effects of cadmium metal in soil, plant and human., The first national conference on agricultural pollutants and food health, challenges and solutions. Ramin Khuzestan University.2013.(in persian)

9. Mirkazehi Z. Investigating dust contamination of Khash landfill site with heavy metals., Master›s thesis, Faculty of Natural Resources and Environment, Birjand University.2014 .(in persian)

10.Santos D, Vieira R, Luzio A, Félix L. Zebrafish early life stages for toxicological screening: insights from molecular and biochemical markers. Advances in molecular toxicology. Elsevier. 2018; 151-79.

11. Scognamiglio V, Rea G, Arduini F, Palleschi G. Biosensors for sustainable food-new opportunities and technical challenges.Elsevier.2019; 201

12.Taghipour M, Ayoubi S, Khademi H. Contribution of lithologic and anthropogenic factors to surface soil heavy metals in western Iran using multivariate geostatistical analyses. Soil and Sediment Contamination: An International Journal. 2011; 20(8):921-37.