

## توزیع مکانی جیوه در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان کرمان

مریم یوسفی فرد<sup>۱</sup> - اعظم جعفری<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۷

### چکیده

خاک‌ها به دلیل دریافت رسوبات، شاخص‌های معتبری از پدیده آلودگی هستند. اطلاعات کمی در زمینه توزیع جیوه در خاک‌های مناطق صنعتی بویژه در ایران موجود است. به منظور بررسی توزیع مکانی جیوه و همچنین وسعت آلودگی جیوه در خاک، مطالعه‌ای در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان کرمان طراحی و اجرا گردید. تعداد ۱۰۳ نمونه خاک سطحی جمع‌آوری و غلظت کل جیوه خاک تعیین گردید. شاخص‌های ارزیابی میزان آلودگی، محاسبه و نقشه‌های پراکنش مکانی جیوه تهیه شد. همچنین نقش فاکتورهای محیطی در توزیع جیوه بررسی گردید. غلظت کل جیوه در خاک در محدوده ۶/۷ تا ۳۴۱ میکروگرم در کیلوگرم با میانگین ۱۶۴/۱ میکروگرم در کیلوگرم به دست آمد. مقایسه مقادیر این عنصر با میانگین جهانی آن در خاک‌ها نشان می‌دهد فعالیت‌های صنعتی در منطقه باعث افزایش غلظت جیوه در خاک شده است. نتایج حاصل از شاخص زمین انباشتگی نمونه‌های خاک نشان داد که خاک‌های مورد مطالعه از نظر آلودگی جیوه در محدوده غیرآلوده تا آلودگی متوسط و براساس فاکتور آلودگی، سطوح آلودگی کم تا آلودگی قابل ملاحظه جیوه مشخص گردید. نقشه توزیع مکانی غلظت کل جیوه نشان می‌دهد بیشترین غلظت جیوه در اطراف کارخانه و به سمت جنوب و جنوب شرقی منطقه مشاهده می‌شود. غلظت‌های بالای جیوه در مناطق کم ارتفاع و کم شیب روی شیب جنوبی منطقه مشاهده می‌شود. نتایج نشان داد هر چند غلظت این آلاینده در منطقه مورد مطالعه حاد نمی‌باشد ولی با توجه به نزدیک بودن منطقه صنعتی به محل مسکونی، برنامه‌ریزی جهت کنترل انتشار این فلز و آلاینده‌های دیگر باید مورد توجه جدی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شاخص آلودگی، غلظت جیوه، کارخانه سیمان، متغیرهای محیطی

### مقدمه

ایجاد اختلال در محیط زیست می‌باشد که به دلیل غیر قابل تجزیه بودن و اثرات مضر بر موجودات زنده در غلظت‌های کم با اهمیت شناخته شده‌اند (۱۰). حضور فلزات سنگین در خاک در مرحله اول به نوع و جنس مواد مادری خاک بستگی دارد، چرا که خاک از مواد مادری زیرین خود تشکیل می‌شود. بنابراین خاک در حال تشکیل، عمده عناصر خود را از مواد مادری به ارث می‌برد مگر اینکه در طی زمان فرایندی یا فعالیتی نامتعارف اتفاق افتد. فعالیت‌های انسانی از جمله فعالیت‌هایی هستند که باعث تغییر روند یک فرایند طبیعی در خاک می‌شوند، از جمله منجر به افزایش بیش از حد غلظت فلزات سنگین در طبیعت می‌شوند. از بین فلزات سنگین، جیوه (Hg) از سمی‌ترین عناصر منتشر شده توسط فعالیت‌های صنعتی است که می‌تواند تأثیرات منفی بر سیستم عصبی و مجاری تنفسی در انسان و حیات وحش داشته باشد. جیوه به اشکال عنصری، فلزی و آلی در طبیعت یافت می‌شود که در هر سه شکل سمی می‌باشد (۱).

انتشار جیوه به اتمسفر هم در اثر فرایندهای طبیعی و هم در اثر فعالیت‌های انسانی اتفاق می‌افتد. انتشار جیوه در اثر فعالیت‌های انسانی به دلیل تبخیر جیوه در اثر استفاده از جیوه فلزی و ترکیبات حاوی جیوه در فرایندهای گرمایی و احتراق است. قسمت عمده انتشار

آلودگی صنعتی از علل عمده تخریب محیط زیست است. در حال حاضر مطالعات متعدد نشان می‌دهند که مناطق مجاور با فعالیت‌های صنعتی با آلودگی قابل توجه هوا، خاک و آب مواجه شده‌اند (۷). مسائلی از قبیل آلودگی خاک، کاهش کیفیت خاک و اراضی طی چند دهه اخیر تبدیل به تهدیدات جدی برای جوامع بشری شده‌اند. این خطرات زیست محیطی و کاهش امنیت غذایی سبب نیاز بیش از پیش به شناخت خاک شده است. یکی از مهمترین خصوصیات خاک، غلظت فلزات سنگین است که از اهمیت زیادی به ویژه از نظر تأثیر بر سلامت موجودات زنده برخوردار است. فلزات سنگین یکی از عوامل

۱- استادیار، گروه مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- استادیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(\* - نویسنده مسئول)

(Email: a.jafari@uk.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.v34i1.79689

اطلاعات کمی در زمینه توزیع جیوه در خاک‌های مناطق صنعتی بویژه در ایران موجود است. مطالعه حاضر، با هدف بررسی توزیع مکانی جیوه و همچنین وسعت آلودگی جیوه در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان کرمان طراحی و اجرا گردید.

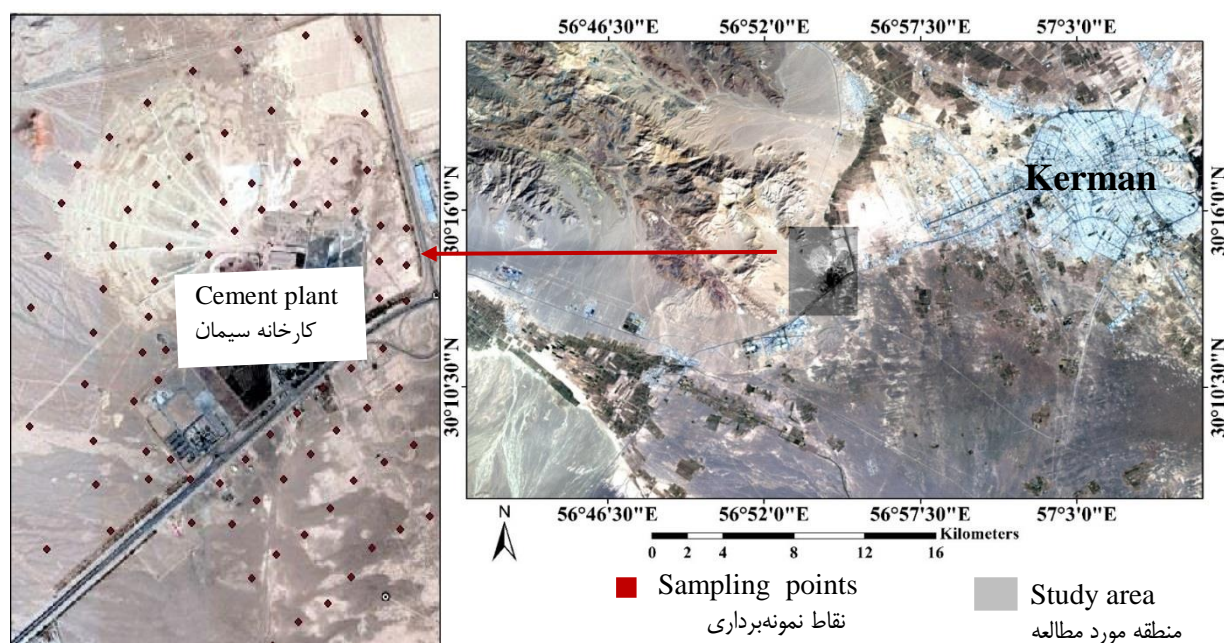
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، محدوده کارخانه سیمان کرمان با عرض‌های جغرافیای  $30^{\circ}12'38''/45''$  و  $30^{\circ}15'36''/25''$  شمالی و طول‌های جغرافیایی  $56^{\circ}52'43''/49''$  و  $56^{\circ}55'41''/27''$  شرقی در جنوب شرق ایران و در ۳۲ کیلومتری بزرگراه کرمان-رفسنجان قرار دارد (۴۰ کیلومتری شمال غرب کرمان). این کارخانه در سال ۱۳۸۱ با ظرفیت تولید ۳۳۰۰ تن کلینکر در روز (معادل یک میلیون تن در سال) با هدف تولید سیمان تأسیس شده است. این کارخانه مساحتی حدود ۸۲ هکتار را به خود اختصاص داده است و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۷۵۴ متر است (شکل ۱).

میانگین دمای سالانه شهر کرمان  $17/4$  درجه سانتی‌گراد و حداقل و حداکثر دما در شبانه‌روز به ترتیب  $12/8-$  و  $40/8$  درجه سانتی‌گراد است. همچنین متوسط بارندگی سالیانه ۱۵۳ میلی‌متر گزارش شده است.

جیوه از فرایندهای احتراق سوخت‌های فسیلی و فرایندهای پخت سنگ معدن در صنایع آهن، فولاد و تولید سیمان است (۹). منبع اصلی انتشار جیوه به اتمسفر احتراق سوخت است که منجر به ورود ۲۶ تن جیوه به اتمسفر می‌شود. فرایندهای احتراق زغال سنگ مسئول رهاسازی تقریباً ۶۰ درصد از کل جیوه منتشر شده به اتمسفر هستند. مقدار انتشار جیوه از منابع دیگر از جمله فرایند تولید سیمان و استفاده از لامپ‌های فلورسنت، به ترتیب ۱۷ و  $6/5$  درصد از کل جیوه را شامل می‌شود (۱۴). ماده اصلی سیمان، سنگ آهک درشت‌دانه است. به ازاء هر تن سیمان،  $1/25$  تن سنگ آهک،  $0/23$  تن رس،  $0/04$  تن سنگ سیلیس و  $0/03$  تن سرباره با هم مخلوط و خشک می‌شوند، سپس در یک کوره سیمان حرارت داده می‌شوند ( $1400-1500$  درجه سانتی‌گراد) (۳). با فرض اینکه مقدار میانگین جیوه در سنگ آهک  $0/16$  میکروگرم بر گرم باشد و کل آن به اتمسفر انتشار یابد، مقدار جیوه رها شده به اتمسفر در جهان تقریباً ۱۴۰ تن بر ایگر یا  $345/94$  تن بر هکتار است (۹). آلودگی جیوه در اصل به دلیل فعالیت‌های انسانی است. ۶۰ تا ۹۰ درصد جیوه کل در برخی مناطق صنعتی به دلیل انتشار جیوه در اثر فعالیت‌های انسان است. در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۵، انتشار جیوه در اثر فعالیت‌های انسان از تقریباً ۳۰ درصد انتشار کل جهانی تا ۵۶ درصد افزایش یافت. کونکو و همکاران (۵) در مطالعه‌ای در اکراین، میانگین غلظت جیوه را در نمونه‌های خاک تهیه شده از زمین بازی و فضاهای عمومی در فاصله ۱۲ کیلومتری از مرکز صنعتی، ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری  
Figure 1- Study area and sampling points

از هر نمونه خاک، مقدار ۰/۵ گرم توزین و بعد از هضم با اسیدنیتریک (۱۳ و ۱۷)، غلظت کل جیوه با دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی (Graphite furnace) (۶) تعیین شد.

### شاخص‌های زیست‌محیطی

#### شاخص زمین انباشتگی

یکی از شاخص‌های مفید برای مطالعه وضعیت تجمع عناصر سنگین در خاک، استفاده از شاخص ژئوشیمیایی مولر می‌باشد که اساس آن بر فرمول (۱) استوار است (۱۵):

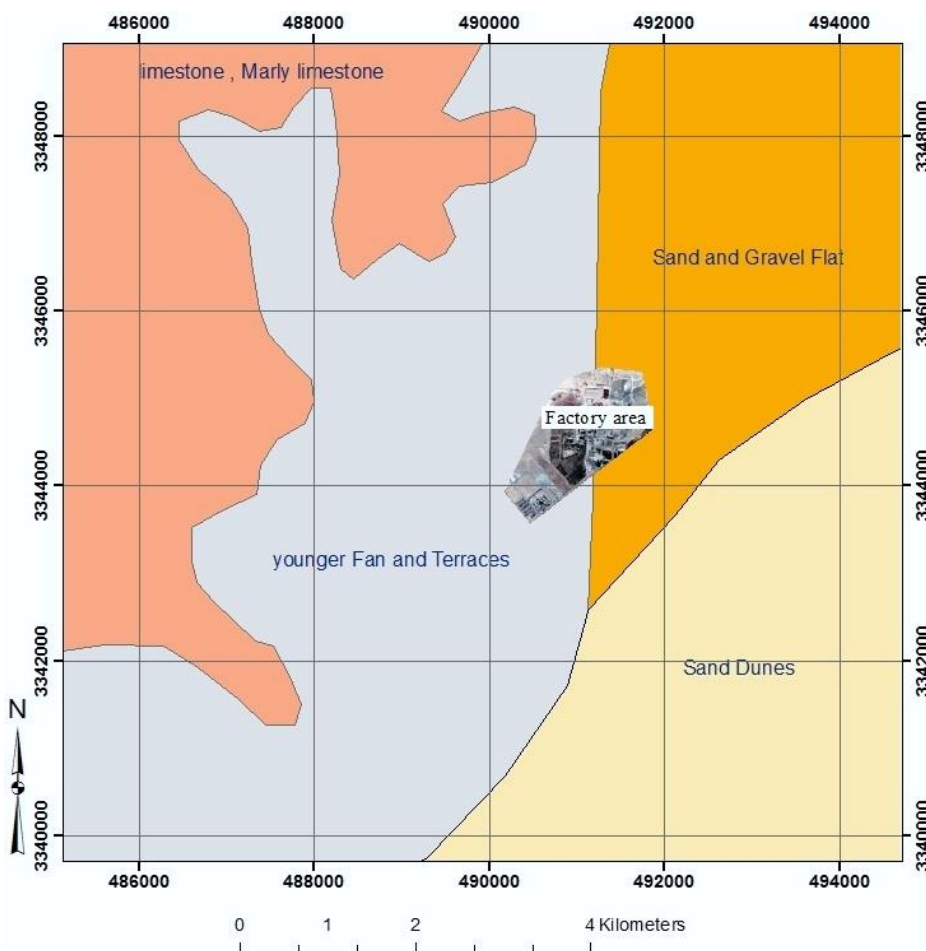
$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1.5 B_n} \right) \quad (1)$$

در این رابطه،  $I_{geo}$  شاخص تجمع و یا شاخص شدت آلودگی در خاک،  $\log_2$  لگاریتم در پایه دو،  $C_n$  غلظت آلاینده موردنظر در نمونه خاک،  $B_n$  غلظت زمینه یا مرجع عنصر مورد نظر و ضریب ۱/۵، ضریب تصحیح تأثیر لیتوژنیکی مقدار غلظت زمینه می‌باشد.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه عمدتاً شامل سنگ آهک و مواد آبرفتی سخت نشده است (شکل ۲). کاربری اراضی شامل مرتع (۴۹/۱۰ درصد)، رخنمون سنگی (۸/۱۴ درصد)، مسکونی (۱/۳۹ درصد)، کشاورزی (۲/۷۵ درصد) و مابقی کاربری صنعتی می‌باشد.

#### نمونه‌برداری خاک و اندازه‌گیری برخی خصوصیات خاک

تعداد ۱۰۳ نمونه خاک سطحی از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری به صورت آشیانه‌ای از اطراف کارخانه سیمان جمع‌آوری شد. بعد از هوا خشک کردن نمونه‌ها در دمای محیط، نمونه‌ها از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند و نمونه‌های خاک برای انجام برخی از آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی از جمله بافت خاک، pH و شوری خاک به آزمایشگاه منتقل شده و به شرح زیر اندازه‌گیری شدند: pH نمونه‌های خاک در گل اشباع به وسیله pH متر، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع به وسیله هدایت سنج و بافت خاک به روش هیدرومتر اندازه‌گیری شد.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه  
Figure 2- Geology map of the Study area

جدول ۱- کلاس‌های شاخص تجمع (Igeo)

Table 1- The Igeo classes

کلاس Igeo	مقدار Igeo	کلاس آلودگی خاک
Igeo classes	Igeo amount	Soil pollution class
1	≤0	غیر آلوده (Clean)
2	1-2	غیر آلوده تا آلودگی متوسط (Clean to medium pollution)
3	2-3	آلودگی متوسط (Medium pollution)
4	3-4	آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد (Medium to high pollution)
5	4-5	آلودگی زیاد (High pollution)
6	5-6	آلودگی زیاد تا بسیار زیاد (High to very high pollution)
7	>6	آلودگی بسیار زیاد (Very high pollution)

است. غلظت کل جیوه در خاک در محدوده ۶/۷ تا ۳۴۱ میکروگرم در کیلوگرم با میانگین ۱۶۴/۱ میکروگرم در کیلوگرم به دست آمد.

جیوه به طور طبیعی در غلظت‌های بسیار کم در خاک وجود دارد. غلظت این عنصر در خاک‌های سراسر جهان در محدوده بین ۰/۰۱ و ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم است (۱). میانگین غلظت جیوه در پوسته زمین، ۸۰ میکروگرم در کیلوگرم گزارش شده است (۱۹). مقایسه مقادیر این عنصر در منطقه مورد مطالعه با مقادیر آن در پوسته زمین و میانگین جهانی آن در خاک‌ها نشان می‌دهد فعالیت‌های صنعتی در منطقه باعث افزایش غلظت جیوه در خاک شده است. در واقع غلظت جیوه بالاتر از مقادیر پوسته زمین نشان دهنده شروع آلودگی در اثر فعالیت‌های مختلف صنعتی است.

سلگی و همکاران (۱۸) در بررسی میزان آلودگی جیوه در خاک شهرک‌های صنعتی اراک، غلظت جیوه کل را در محدوده ۶۸/۴۳ تا ۱۳۷/۰۳ میکروگرم در کیلوگرم با میانگین ۱۰۲/۰۷ میکروگرم در کیلوگرم گزارش کردند.

لیو و همکاران (۱۱) میانگین غلظت جیوه در خاک‌های منطقه صنعتی بیجینگ چین را ۴/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین و گزارش کردند که ۱۰۰ درصد نمونه‌های خاک غلظتی بیش از غلظت قابل قبول یا حد آستانه جیوه (۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) را دارا هستند.

پس از محاسبه شاخص ژئوشیمیایی مولر، برای طبقه‌بندی کیفیت خاک می‌توان از جداول استاندارد شاخص فوق استفاده نمود (جدول (۱۲) (۱).

### ارزیابی پتانسیل آلودگی خاک با استفاده از فاکتور آلودگی

جهت تعیین پتانسیل آلودگی خاک به عناصر سنگین از فاکتور آلودگی استفاده می‌گردد. براساس این فاکتور می‌توان مقدار عناصر را نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید و میزان آلودگی خاک را تعیین کرد. این فاکتور از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$CF = \frac{C_n}{B_n} \quad (2)$$

در رابطه فوق، CF فاکتور آلودگی،  $C_n$  غلظت عنصر در نمونه آلوده و  $B_n$  غلظت همان عنصر در نمونه استاندارد، پوسته زمین و یا غلظت زمینه طبیعی منطقه می‌باشد. خاک‌ها براساس فاکتور آلودگی مطابق با جدول ۲ به هفت کلاس تقسیم می‌شوند.

### نتایج و بحث

#### غلظت کل جیوه در خاک‌های سطحی

نتایج مربوط به آنالیز آماری غلظت کل جیوه در خاک‌های سطحی اطراف کارخانه سیمان کرمان در جدول ۳ نشان داده شده

جدول ۲- کلاس‌های مقادیر فاکتور آلودگی (۹)

Table 2- The classification levels of contamination factor (9)

مقدار فاکتور (CF)	درجه آلودگی Degree of pollution
0	غیر آلوده (Clean)
1	غیر آلوده تا آلودگی متوسط (Clean to medium pollution)
2	آلودگی متوسط (Medium pollution)
3	آلودگی متوسط تا قوی (Medium to high pollution)
4	آلودگی قوی (High pollution)
5	آلودگی قوی تا خیلی قوی (High to very high pollution)
6	آلودگی خیلی قوی (Very high pollution)



جدول ۳- خلاصه نتایج آماری غلظت کل جیوه (میکروگرم در کیلوگرم) در خاک سطحی اطراف کارخانه سیمان کرمان

Table 3- Descriptive statistics of total concentration of Mercury (ppb) in surface soils around the Kerman cement plant

Element	N	Minimum	Maximum	Mean	Coeff. Variation (CV)	Skewness	Kurtosis
Hg	103	6.700	340.963	164.061	0.549	0.165	-1.084

جدول ۵- شاخص زمین انباشتگی و فاکتور آلودگی

Table 5- Geo-accumulation index and contamination factor

	حد اقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean
شاخص زمین انباشتگی Geo-accumulation index ( $I_{geo}$ )	-4.16	1.51	0.15
فاکتور آلودگی Contamination factor (CF)	0.08	4.26	2.05

نتایج حاصل از شاخص زمین انباشتگی نمونه‌های خاک نشان داد که خاک‌های مورد مطالعه از نظر آلودگی جیوه در محدوده غیرآلوده تا آلودگی متوسط قرار دارند. به عبارت دیگر، شروع آلودگی را در برخی مناطق شاهد هستیم. مقادیر بسیار کمی برای شاخص زمین انباشتگی در مطالعه سلگی و همکاران (۱۸) به دست آمد که نشان از عدم آلودگی و یا آلودگی کم خاک‌های مورد مطالعه داشت. سطوح آلودگی کم ( $CF < 1$ ) تا آلودگی قابل ملاحظه ( $3.00 \leq CF < 6.00$ ) جیوه براساس فاکتور آلودگی مشاهده گردید. نتایج پیشنهاد می‌کند منابع آنتروپوژنیک، غلظت عنصر جیوه در خاک را کنترل می‌کنند. میانگین فاکتور آلودگی بزرگتر از یک ( $CF > 1$ ) نشان‌دهنده این است که خاک‌های این منطقه دچار آلودگی جیوه شدند.

#### توزیع مکانی جیوه در منطقه مورد مطالعه

نقشه توزیع مکانی غلظت کل جیوه در شکل ۳ ارائه شده است. حداقل مقدار غلظت جیوه ۷ و حداکثر ۳۴۱ میکروگرم در کیلوگرم می‌باشد. بیشترین غلظت جیوه خاک بین ۲۰۰ تا ۳۴۱ میکروگرم در کیلوگرم می‌باشد که در اطراف کارخانه و به سمت جنوب شرقی منطقه مشاهده می‌شود. به عبارتی، بالاترین غلظت جیوه در اطراف کارخانه مشاهده گردید و با دور شدن از آن کاهش می‌یابد (شکل ۴). بنابراین، وسعت پراکندگی و گستردگی غلظت بالای جیوه در اطراف کارخانه و جنوب شرقی کارخانه می‌باشد.

انتشار جیوه در محیط زیست مربوط به فرایندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی می‌باشد. انتشار جیوه در اثر فعالیت‌های انسانی عمدتاً در اثر احتراق سوخت‌های فسیلی، فرایندهای پردازش سنگ معدن آهن، صنعت فولاد و کارخانه‌های سیمان است (۹). در کارخانه‌های سیمان، سنگ آهک جزء اصلی سیمان است. در مورد غلظت

ضریب تغییرات غلظت جیوه در خاک ۵۵ درصد به دست آمد که برطبق تقسیم‌بندی پیشنهاد شده توسط ویلدرینگ و همکاران (۲۰) تغییرپذیری بالایی ( $CV \geq 35\%$ ) را نشان می‌دهد. ضریب تغییرپذیری بالا، توزیع ناهمگن و غیریکنواخت ویژگی را نشان می‌دهد. بر این اساس، غلظت بالای عنصر جیوه در برخی موقعیت‌های منطقه وجود دارد. به عبارت دیگر، خاک در برخی مناطق تحت تأثیر فاکتورهای بیرونی آلوده شده است. مطالعه بوسکه و همکاران (۴) در رسوبات پایینی و خاک شهر پوزنان لهستان به منظور بررسی توزیع مکانی جیوه صورت گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که توزیع جیوه در نمونه‌های آب و رسوبات پایینی جمع‌آوری شده از مکان‌های مختلف در پوزنان، نسبتاً یکنواخت است. برخلاف رسوبات و آب غلظت جیوه در نمونه‌های خاک تغییرپذیری بیشتری نشان داد. براساس استانداردهای پاکسازی خاک برای جیوه در خاک‌های مورد استفاده برای اهداف صنعتی در برخی کشورها (جدول ۴)، همه نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه دارای غلظت جیوه بسیار کمتر از مقادیر استاندارد دارند. به عبارت دیگر اگر چه فعالیت کارخانه سیمان باعث افزایش غلظت جیوه در خاک شده است، اما می‌تواند به فعالیت صنعتی خود ادامه دهد، منتهی باید برنامه‌ریزی جهت کنترل انتشار این فلز و آلاینده‌های دیگر را مورد توجه جدی قرار دهد.

جدول ۴- استانداردهای پاکسازی خاک برای جیوه برای کاربری

صنعتی در کشورهای مختلف (۱۶)

Table 4- Overview of the soil cleanup standards for Hg (mg/kg) for industrial land use in various countries (16)

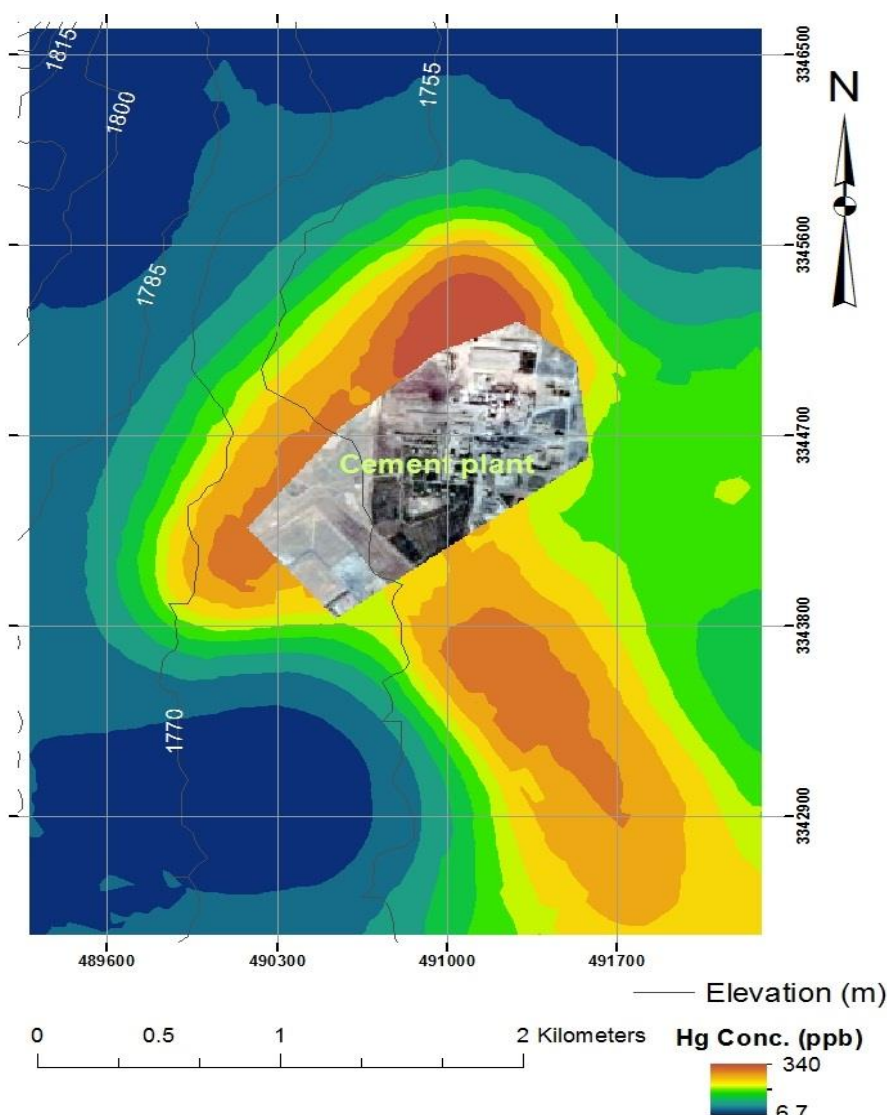
کشور Country	کاربری صنعتی Industrial land
Belgium	30
Germany	80
France	600
Sweden	7
Great Britain	480
Canada	50
USA	310

شاخص زمین انباشتگی و فاکتور آلودگی برای نمونه‌های خاک مورد مطالعه محاسبه و نتایج در جدول ۵ ارائه شده است. برای غلظت زمینه از متوسط جهانی پوسته زمین (۸۰ میکروگرم در کیلوگرم) استفاده گردید (۱۹).

1- Extrinsic factors

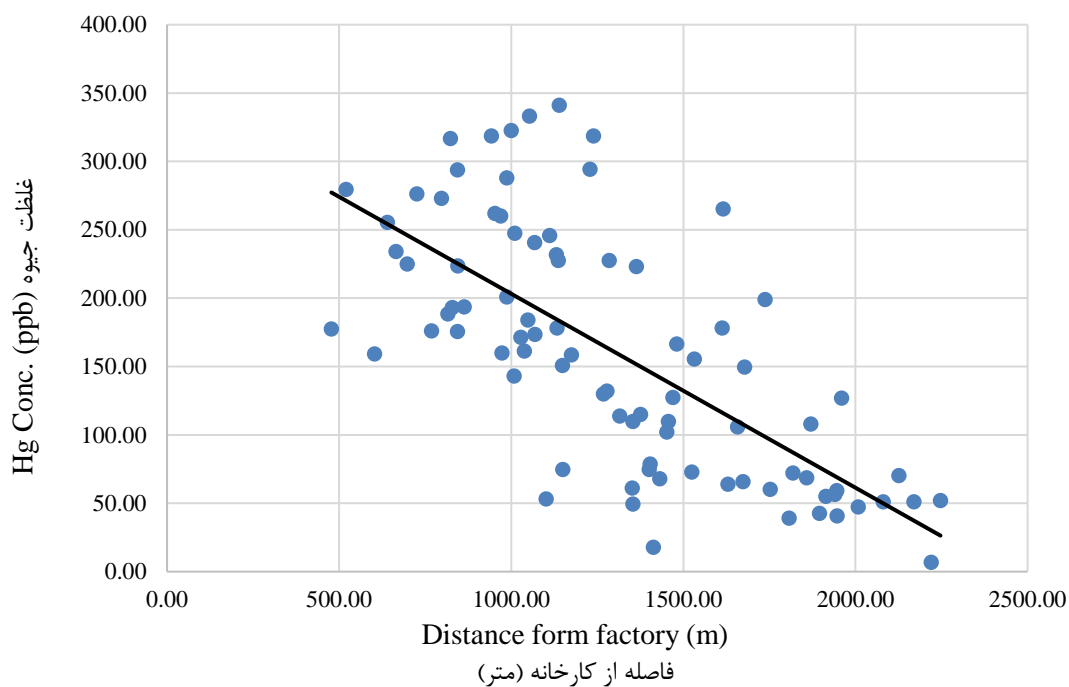
یابد و در حدود ۲۰ میکروگرم در کیلوگرم (یعنی ۰/۰۲ میکروگرم در گرم) است. بنابراین غلظت آن در محدوده غلظت‌های ارائه شده در گزارش‌های مربوطه می‌باشد. این درحالی است که غلظت جیوه در اطراف کارخانه و در قسمت جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه افزایش یافته و به مقدار ۲۰۰ تا ۳۴۰ میکروگرم در کیلوگرم (۰/۲ تا ۰/۳۴ میکروگرم در گرم) می‌رسد. احتمالاً فعالیت‌های کارخانه باعث تجمع و افزایش غلظت جیوه و در نهایت آلودگی خاک‌های منطقه شده است. همانطور که نتایج حاصل از شاخص زمین‌انباشتگی و فاکتور آلودگی، احتمال آلودگی را در برخی نقاط منطقه مورد مطالعه نشان داد.

جیوه در سنگ آهک، گزارش‌های متعددی وجود دارد که غلظت آن از ۰/۰۱ تا ۰/۱۶ میکروگرم در گرم (۲) تغییر می‌کند. باید توجه کرد این مقادیر مربوط به غلظت جیوه در سنگ آهک به عنوان ماده مادری خاک می‌باشد. میانگین مقدار جیوه در خاک‌های سطحی اطراف کارخانه سیمان کرمان از ۷ تا ۳۴۱ میکروگرم در کیلوگرم تغییر می‌کند (جدول ۱). براساس نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (شکل ۲)، مواد مادری سنگ آهک در قسمت شمال غربی منطقه وجود دارد که در واقع ماده اصلی مورد استفاده برای تهیه سیمان در کارخانه سیمان کرمان است. همچنین طبق نقشه مکانی توزیع عنصر جیوه (شکل ۳)، غلظت این عنصر به سمت مواد مادری کاهش می‌-



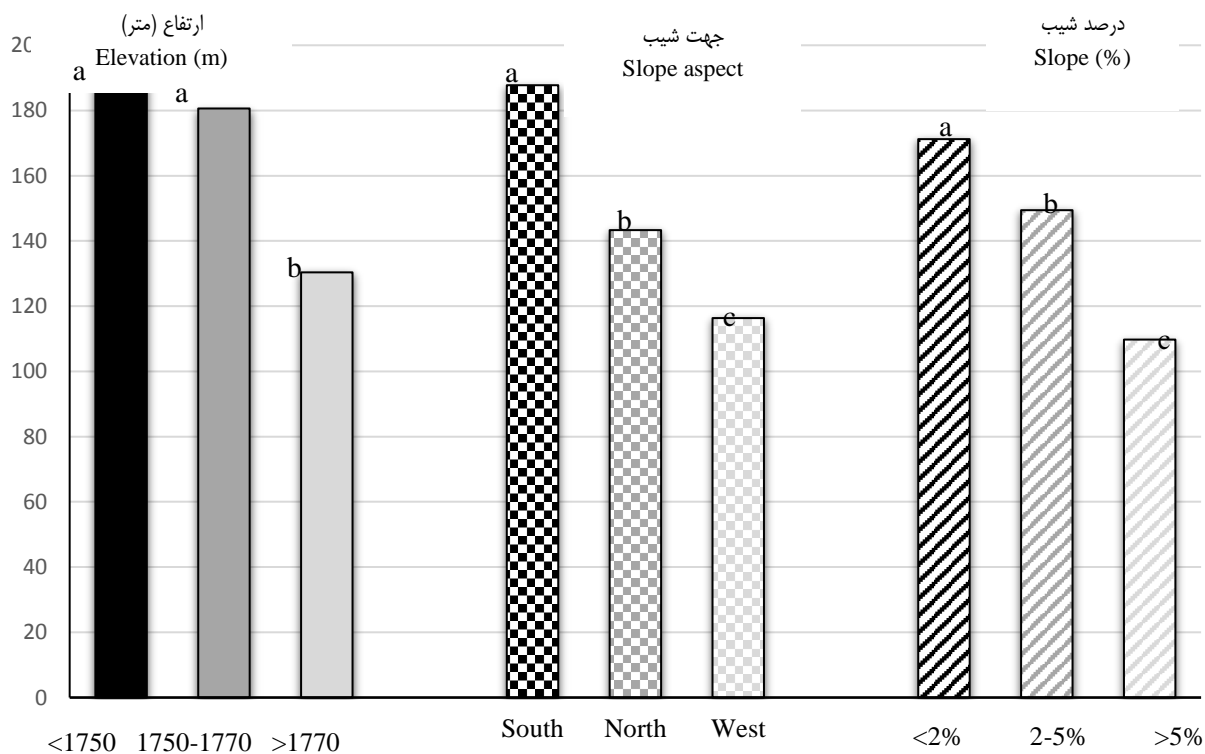
شکل ۳- نقشه توزیع مکانی غلظت کل جیوه در خاک سطحی اطراف کارخانه سیمان کرمان

Figure 3- Spatial distribution map of Hg total concentration in the surface soils around Kerman cement plant



شکل ۴- تغییر غلظت جیوه با فاصله از کارخانه سیمان

Figure 4- Variation of Hg concentration as a function of distance from the Cement factory



شکل ۵- توزیع غلظت جیوه تحت تاثیر فاکتورهای محیطی

(حروف متفاوت بر روی میانگین‌ها، نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آماری می‌باشد).

Figure 5- Distribution of Hg concentration under environmental factors (Differential letters on the mean show a significant difference in 5% level).

پراکنش مکانی جیوه (شکل ۳)، شاید بتوان نتیجه گرفت که علاوه بر فعالیت کارخانه که باعث آلودگی خاک اطراف کارخانه شده، پارامترهای محیطی به توزیع جهت‌دار این آلودگی کمک کردند.

### نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر نشان داد که خاک‌ها در محدوده کارخانه سیمان کرمان به جیوه آلوده شدند. مقادیر جیوه در خاک منطقه مورد مطالعه از مقدار زمینه و مقادیر میانگین جهانی بالاتر است که تأییدکننده نقش فعالیت‌های انسانی در آلوده ساختن این منطقه می‌باشد. همچنین براساس شاخص زمین انباشتگی درجه آلودگی خاک توسط این عنصر در همه نمونه‌ها در حد خاک‌های غیرآلوده تا متوسط تشخیص داده شد و بر اساس فاکتور آلودگی، سطوح آلودگی کم ( $CF < 1$ ) تا آلودگی قابل ملاحظه ( $3.00 \leq CF < 6.00$ ) مشاهده گردید. توزیع مکانی جیوه نشان می‌دهد غلظت جیوه در اطراف کارخانه دارای مقادیر بالایی است و با فاصله از کارخانه کاهش می‌یابد. اگرچه آلودگی جیوه در منطقه مورد مطالعه شدید نیست، خاک‌های سطحی به مدیریت زیست‌محیطی دقیقی نیاز دارند چرا که تجمع جیوه غالباً به عمق ۰-۸۰ سانتی‌متری خاک محدود می‌شود. بهتر است با انجام تحقیقات بیشتر، اطلاعات بیشتری در مورد غلظت این آلاینده در محیط زیست منطقه و الگوی پراکندگی آنها در اجزای مختلف محیط زیست و به خصوص در افرادی که به طور مستقیم تحت تأثیر قرار دارند را به دست آوریم.

آنچه که مورد توجه است دامنه گسترش و توزیع جیوه در منطقه است که دارای غلظت بالایی در جنوب شرقی منطقه، یعنی در قسمت پایین دست کارخانه می‌باشد. به نظر می‌رسد احتمالاً فاکتورهای محیطی از جمله توپوگرافی منطقه در توزیع آن تأثیر داشته باشد.

توزیع غلظت جیوه خاک تحت تأثیر شیب، ارتفاع و جهت‌های شیب مختلف بررسی و آنالیز گردید و در شکل ۴ نمایش داده شده است. غلظت‌های بالای جیوه در ارتفاعات و شیب‌های کمتر و در جهت جغرافیایی جنوب مشاهده گردید. درصد شیب جنوبی و جنوب شرقی منطقه کمتر از شیب شمالی و غربی است و منطقه کم ارتفاع این قسمت، مستعد دریافت رسوب است. دو آن و همکاران (۸) نقش متغیرهای محیطی را در توزیع مکانی عناصر کروم، نیکل، مس، رویو سرب را در حوزه ابخیز رودخانه آپر رد (Upper Red) در جنوب غربی چین بررسی کردند. این محققین غلظت‌های بالای عناصر مذکور را در مناطق کم ارتفاع و کم‌شیب گزارش کردند و نتیجه گرفتند غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی توسط فاکتورهای توپوگرافی و خاک کنترل می‌شود.

همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده، غلظت‌های بالای جیوه در اطراف کارخانه و حوزه گسترش آن به سمت جنوب و جنوب شرقی است، جایی که شیب و ارتفاع منطقه هم کاهش پیدا می‌کند. این نتایج با شکل ۴ همخوانی دارد که غلظت‌های بیشتر جیوه در شیب کمتر از ۲ درصد، ارتفاع کمتر از ۱۷۵۰ متر و در جهت جغرافیایی جنوبی مشاهده گردید.

با در نظر گرفتن اطلاعات محیطی منطقه مورد مطالعه و نقشه

### منابع

- 1- Adriano D.C. 1986. Trace Elements in the Terrestrial Environment. New York: Springer-Verlag; 533p.
- 2- Airey D. 1982. Contributions from coal and industrial materials to mercury in air, rainwater and snow. Science of Total Environment 25: 19-40.
- 3- Bahuiyan M.A.H., Parvez L., Islam M.A., Dampare S.B., and Suzuki S. 2010. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. Journal of Hazardous Materials 173(1-3): 384-392.
- 4- Boszke L., and Kowalski A. 2006. Spatial Distribution of Mercury in Bottom Sediments and Soils from Poznań, Poland. Polish. Journal of Environment Studies 15(2): 211-18.
- 5- Conko K.M., Landa E.R., Kolker A., Kozlov K., Gibb H.J., Centeno J.A., and B.S Panov Y.B. 2013. Arsenic and mercury in the soils of an industrial city in the Donets basin, Ukraine. Soil and Sediment Contamination 22: 574-93.
- 6- Crock J.G. 1999. Mercury. p. 769-792. In A.L. Page et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- 7- De Bartolomeo A., Poletti L., Sanchini G., Sebastiani B., and Morozzi G. 2004. Relationship among parameters of lake polluted sediments evaluated by multivariate statistical analysis. Chemosphere 55(10): 1323-29.
- 8- Duan X., Zhang G., Rong L., Fang H., He D., and Feng D. 2015. Spatial distribution and environmental factors of catchment-scale soil heavy metal contamination in the dry-hot valley of Upper Red River in southwestern China. Catena 135: 59-69.
- 9- Fukuzaki N., Tamura R., Hirano Y., and Mizushima Y. 1986. Mercury emission from a cement factory and its influence on the environment. Atmospheric Environment 20(12): 2291-2299.
- 10- Kheirabadi H. 2011. Investigation of the origin of heavy elements in soil and their risk assessment on human health in surface soils of Hamadan province. Thesis Master of Science in Soil Science, Faculty of Agriculture,



- Isfahan University of Technology.
- 11- Luo W., Yonglong L., Bin W., Xiaojuan T., Guang W., Yajuan S., Tiyu W., and John P.G. 2009. Distribution and sources of mercury in soils from former industrialized urban areas of Beijing, China. *Environmental Monitoring and Assessment* 158: 507-571.
  - 12- Meza-Montenegro M.M., Gandolfi A.J., Santana-Alcanter M.E., Klimecki W.T., Aguilar-Apodaca M.G., Rio-Salas R.D., O-Villanueva M.D.L., Gomez-Alvarez A., Mendivil-Quijada H., Valencia H., and Meza-Figueroa D. 2012. Metals in residential soils and cumulative risk assessment in Yaqui and Mayo agricultural valleys, northern Mexico. *Science of the Total Environment* 433: 472-481.
  - 13- Mizanur Rahman G.M., and Skip Kingston H.M. 2005. Development of a microwave-assisted extraction method and isotopic validation of mercury species in soils and sediments. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 20: 183-191.
  - 14- Mniszek W. 1996. Emission of mercury to the atmosphere from industrial sources in Poland. *Environmental Monitoring and Assessment* 41: 291.
  - 15- Muller G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal* 2: 108-118.
  - 16- Provoost J., Cornelis C., and Swartjes F. 2006. Comparison of soil clean-up between countries: Why do they differ? *Journal of Soils standards for trace elements and Sediments* 6: 173-181.
  - 17- Sergio A., Covarrubias S.A., Armando Flores de la Torre J., Maldonado Vega M., Francisco Javier Avelar Gonzalez F.J., and Cabriaes J.J.P. 2018. Spatial Variability of Heavy Metals in Soils and Sediments of "La Zacatecana" Lagoon, Mexico. *Applied and Environmental Soil Science* ID 9612412, 8 pages.
  - 18- Solgi E., Esmaili Sari A., and Riyahi Bakhtiari A. 2013. Evaluation of mercury contamination in soils of industrial estates of Arak city. *Journal of Health in the Field* 1(2): 22-28.
  - 19- Taylor S.R., and McLennan S.M. 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Review Geophysics* 33: 165-241.
  - 20- Wilding L., Drees L.R., and Nordt L.C. 2001. Spatial variability: enhancing the mean estimate of organic and inorganic carbon in a sampling unit. p. 69-85. In: Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F., Stewart, B.A., (ed.), *Assessment Methods for Soil Carbon*, CRC/Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

## Spatial Distribution of Mercury Contamination in Soils around of Kerman Cement Plant

M. Yousefifard<sup>1</sup>- A. Jafari<sup>2\*</sup>

Received: 15-04-2019

Accepted: 28-12-2019

**Introduction:** In recent decades, industrial and technological advancements have led to the gradual increase of heavy metal concentrations. As such, this phenomenon of heavy metals being present in the environment at high concentrations causes deleterious effects on various terrestrial creatures and human beings. Mercury (Hg) is one of the most toxic elements and can cause renal and neurotoxicity to humans and wildlife. It has been identified as a priority toxic substance in many countries. It is, however, rare to find information on Hg in soils from industrialized areas of Iran in literature. In order to ascertain the distribution of Hg, as well as the extent of contamination with Hg, and to provide policymakers with remediation measures for the affected soils, a study of surface soils was conducted in areas around of Kerman cement plant.

**Materials and Methods:** Soil samples were collected from the depth of 0 to 20 cm. 103 samples were taken and analyzed. Mercury concentration in soil samples were determined by atomic adsorption method coupled Graphite furnace. Statistical analysis and indices calculation were performed by SPSS and EXCEL, respectively, and distribution maps were prepared by kriging method in ArcGIS software. For evaluating pollution, Geoaccumulation index, enrichment factor and contamination factor were also calculated and interpreted.

**Results and Discussion:** The mercury concentration in soil samples ranged from 6.70 to 340.96  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , with a mean value of 164.06  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Mercury is naturally present in very low concentrations in the soil. The concentration of this element in soils ranges from 0.01 to 0.5  $\text{mg}/\text{kg}$  around the world. The average Hg concentration in the earth crust is reported to be 80  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . In soils of the study area, the Hg concentration was higher than most of the reported values for soils worldwide and earth crust. This indicates that industrial activities have increased the concentration of mercury in the soil. In fact, the concentration of mercury more than the amount of earth crust indicates the onset of contamination due to various anthropogenic activities. The coefficient of variation of mercury concentration in the soil was 55%, which shows a high variability ( $\text{CV} \geq 35\%$ ) according to the classification proposed by Wilding et al. (19). The high variability coefficient shows the heterogeneous and non-uniform distribution of the property. Therefore, there is a high concentration of mercury in some areas of the study region. In other words, soil was affected by external factors in some areas. Based on the cleaning standards of soil for mercury in soils used for industrial purposes in some countries, all soil samples in the studied area have a much lower concentration of mercury than standard values. In other words, although the activity of the cement plant has increased the concentration of mercury in the soil, it can continue its industrial activity. The plant's managers should, however, take a close look at the release of this metal and other pollutant. According to the results derived from Igeo, Hg was graded as unpolluted to moderately polluted. Low levels of contamination ( $\text{CF} < 1$ ) to significant contamination ( $3.00 \leq \text{CF} < 6.00$ ) of mercury were observed based on the contamination factor. The results suggest that anthropogenic sources control the concentration of mercury in the soil. The average contamination factor more than one ( $\text{CF} > 1$ ) indicates that the soils of this region have been exposed to mercury contamination. Spatial distribution map indicates that the highest concentration of mercury in the soil is between 200 and 341  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , which was observed around the factory and south-east of the region. Release of mercury in the environment is related to natural processes and human activities. Mercury release due to human activities is mainly due to combustion of fossil fuels, iron ore processing, steel industry and cement plants. Considering the high concentrations of mercury in the southeastern part of the region, the lower

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering and Technology, Payame Noor University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

(\* - Corresponding Author Email: a.jafari@uk.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.v34i1.79689

part of the plant, it seems that environmental factors such as the topography of the area may affect its distribution. The high concentrations of Hg were observed at low elevations, on the south side, and over the areas with relatively low slope gradients.

**Conclusion:** The results demonstrated that the concentration of Hg was higher than most of the reported values for soils worldwide and earth crust. This indicates that industrial activities have increased the concentration of mercury in the soil. According to the results derived from Igeo, Hg was graded as unpolluted to moderately polluted. In addition, the level of contamination was identified to be low to high, based on the contamination factor (CF). The spatial distribution map of the total concentration of mercury shows that the highest concentration of mercury was observed around the factory and to the south and southeast of the region. The high concentrations of this metal were at low elevations and on the south side of the catchment and in areas with relatively low slope gradients. It is concluded that although the concentration of this pollutant is not critical in the study area, due to the close proximity of the industrial area to the residential area, planning to control the release of this metal and other pollutants should be seriously considered.

**Keywords:** Cement factory, Environment variables, Hg concentration, Pollution index