# آلودگی خاک به وسیله سرب حاصل از وسایل نقلیه در محدوده برخی از بزرگراه‌های ایران

حمیدرضا رحمانی[۱]، محمود کلباسی[۲] و شاپور حاج‌رسولیها[۲]


## چکیده

*سرب حاصل از سوخت وسایل نقلیه به عنوان مهم‌ترین و بیشترین منبع آلوده کننده محیط ذکر گردیده است. تحقیق حاضر به منظور بررسی آلودگی خاک به وسیله ذرات سرب خارج شده از اگزوز اتومبیل‌ها در بزرگراه‌های رشت - انزلی (منطقه انزلی)، کلاچای - رامسر (منطقه رامسر)، تهران - کرج (منطقه کرج) و تهران - اصفهان (منطقه دلیجان) صورت گرفت. در هر بزرگراه راستایی به طول ۱۰۰ متر عمود بر جاده، در یک یا دو طرف انتخاب گردید و در فواصل و عمق‌های مشخص از جاده نمونه‌برداری به عمل آمد. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل شد و بعضی از خصوصیات فیزیکو شیمیایی، و هم چنین غلظت سرب کل نمونه‌ها بعد از عصاره‌گیری، با اسید نیتریک پنج مولار تعیین گردید.*

*نتایج نشان داد که غلظت سرب در حاشیه بزرگراه‌ها، به ویژه در سطح خاک، در مقایسه با غلظت زمینه بسیار بیشتر است، و با افزایش فاصله از جاده به صورت نمایی کاهش می‌یابد. در مورد عمق خاک (به استثنای یک مورد)، بیشترین غلظت سرب در هر فاصله از جاده، در عمق سطحی خاک (صفر تا پنج سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد، که نشان‌دهندهٔ جذب تثبیت سرب در سطح خاک می‌باشد. غلظت سرب نمونه‌های خاک حاشیه جاده‌ها با حجم ترافیک هم‌بستگی مستقیم و خوبی داشت.*


**واژه‌های کلیدی:** *سرب، آلودگی خاک، حجم ترافیک، آلاینده، فلزات سنگین، درجه و شدت آلودگی*

## مقدمه

خاک به عنوان یکی از اجزای مهم محیط زیست، مهم‌ترین دریافت‌کننده پسمان‌های صنعتی و کشاورزی است. این مواد به محض ورود به خاک جزئی از چرخه‌ای می‌گردند که به صورت‌های گوناگون حیات را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بنابراین، اطلاع از ماهیت آلاینده‌ها و رفتار شیمیایی آنها در خاک، برای اعمال مدیریت علمی در پاک سازی یا خنثی سازی آنها امری الزامی است (۲۴).

آلاینده‌ها از جمله عوامل ایجاد اختلال در اکوسیستم به

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان



[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.4.3.7 ]

شمار می‌روند. از میان آنها، فلزات سنگین به دلیل غیر قابل تجزیه بودن و آثار زیان‌بار فیزیولوژیک بر جانداران در غلظت‌های کم، حائز اهمیت ویژه هستند (۸). عنصر سرب یکی از فلزات سنگینی است که موجب آلودگی محیط زیست می‌شود، و با ایجاد آثار سمی شدید در انسان و دیگر جانداران، در آلودگی محیط زیست نقش دارد. مصرف این عنصر در صنایع مختلف موجب بالا رفتن میزان آلودگی در اکوسیستم‌های مختلف شده است. به طور مستقیم خاک را آلوده کرده، و به صورت غیر مستقیم باعث مسمومیت مصرف کنندگان فراورده‌های کشاورزی گردیده است (۲۴).

انسان به دلیل استفاده‌های زیاد از عنصر سرب، همواره به طور ناخودآگاه خود را در معرض آلودگی با این عنصر سمی قرار می‌دهد (۲۹). اگر چه در گذشته مسمومیت‌های حاد سربی (ساتورنیسم[1]) بسیار رواج داشته است، ولی امروزه با پیش‌گیری‌های دقیق و رعایت اصول بهداشتی از این نوع مسمومیت کمتر دیده می‌شود. در عوض، موارد بسیاری از مسمومیت‌های مزمن، به ویژه در کودکان و در مناطق شهری و صنعتی مشاهده می‌شود (۲ و ۱۲). در اثر ورود و تجمع سرب در بدن انسان، با گذشت زمان مسمومیت مزمن عارض گشته و بیماری‌هایی نظیر قولنج سربی[2]، فلج عصبی، فلج[3]، ورم کلیه[4]، ایجاد گلبول‌های قرمز هسته‌دار در خون، افزایش فشار و اسید اوریک خون، نقرس سربی، و نیز سقط جنین در انسان و حیوانات ایجاد می‌شود (به نقل از ۵). هم‌چنین، طی تحقیقات بسیاری، سمیت سرب در جانوران مختلف به ویژه حیوانات اهلی بررسی و گزارش شده است (۷، ۱۷، ۲۷ و ۳۰). از میان منابع مختلف آلودگی سرب در محیط، مهم‌ترین و بیشترین منبع آلوده کننده اتمسفر، خاک، گیاه و آب، ذرات سرب خروجی از اگزوز وسایل نقلیه بنزین سوز می‌باشد (۲، ۱۵، ۱۸ و ۳۴). طبق بررسی‌های به عمل آمده ۸۰٪ و در گزارشی دیگر ۹۷٪ (۲۴) کل سرب اتمسفر از این منبع منشأ می‌گیرد (۲ و ۱۵). مطالعات نشان داده که افزودن سرب به بنزین، آلاینده اصلی و مهم محیط زیست شناخته شده است (۲).

به دلیل خطراتی که سرب خارج شده از اگزوز وسایل نقلیه در آلودگی محیط زیست و سلامت انسان دارد، آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا[5] برنامه کاهش غلظت سرب بنزین را به حداکثر ۰/۱۳ گرم در لیتر بنزین، از ژانویه ۱۹۷۹ به اجرا در آورده است. در آلمان این مقدار ۰/۱۵ و در ژاپن ۰/۳۱ گرم در لیتر می‌باشد. برخی از کشورهای اروپایی حد ۰/۴ گرم در لیتر را بی‌ضرر می‌دانند، اما مقادیر کمتر را ترجیح می‌دهند (۴). در بحرین میزان سرب در بنزین ۰/۸۴ (۲۰)، و در عربستان ۰/۳-۰/۸۴ گرم در لیتر گزارش شده است (۹). در کشورهای استرالیا، نروژ، کانادا، پرتقال و یوگسلاوی مقادیر سرب افزودنی به بنزین به ترتیب ۰/۱۵، ۰/۴، ۰/۷۷، ۰/۴ و ۰/۶ گرم در لیتر می‌باشد (۱۶). در ایران، طبق بررسی‌های به عمل آمده توسط نگارنده بر اساس عملکرد پالایشگاه‌های کشور، مقدار سرب بنزین، ۰/۵۵ گرم در لیتر برآورد گردیده است که از برخی حدود ذکر شده بالاتر می‌باشد (۱ و ۳).

آلووی (۸)، مقدار سرب سطحی خاک در کنار جاده را ۱۲۸ تا ۷۰۰ میکروگرم بر گرم اندازه‌گیری کرده و این تجمع زیاد سرب را مربوط به موقعیت نمونه گرفته شده از جاده و سنگینی ترافیک دانسته است. وی در تحقیق دیگری، با بررسی خاک‌های چندین منطقه، غلظت زیاد سرب در خاک و گیاه کنار جاده و کاهش آن با عمق خاک را گزارش نمود. گزارش‌های دیگری از کشورهای سویس (۱۹۶۹ و ۱۹۷۲)، نیوزیلند (۱۹۷۴)، استرالیا (۱۹۷۵)، ژاپن (۱۹۷۵)، مصر (۱۹۷۸)، ونزوئلا (۱۹۸۴)، بلژیک (۱۹۸۵)، ایتالیا (۱۹۸۶) و یونان (۱۹۸۸) نیز تأیید کننده آلودگی خاک کنار جاده در استفاده از بنزین سرب دار است (به نقل از ۹).

میزان آلودگی خاک کنار جاده به عنصر سرب خارج شده از اگزوز وسایل نقلیه، به متغیرهای مهم نوع خاک (۱۱)، نوع وسیله نقلیه، توپوگرافی، پوشش گیاهی (۲، ۵ و ۸). کیفیت بنزین (مقدار سرب بنزین) و میزان بنزین مصرفی (۳۳) بستگی

1. Saturnism 2. Colique Saturnine 3. Paralyse 4. Nephrite 5.Environmental Protection Agency

[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.4.3.7 ]

دارد. هم‌چنین، سرب در خاک کنار جاده، با فاصله از جاده (۲، ۵، ۸، ۲۳، ۲۵ و ۲۹) نسبت معکوس، و با حجم ترافیک (۲، ۵، ۸، ۲۱، ۲۲، ۲۴، ۲۵، ۳۱ و ۳۳) رابطه مستقیم دارد، و در این میان تراکم ترافیک عامل اصلی است (۹ و ۲۵).

## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی آلودگی خاک به وسیله عنصر سرب حاصل از سوخت وسایل نقلیهٔ اراضی مجاور جاده‌ها، بزرگراه‌های تهران- اصفهان (منطقه دلیجان)، رشت - انزلی (منطقه انزلی)، کلاچای - رامسر (منطقه رامسر) و تهران - کرج (منطقه کرج) انتخاب گردید. سعی شد محل‌های انتخابی در محوطه‌ای باز، مسطح و دور از منابع آلوده کننده دیگر باشد، و از نظر اقلیمی و حجم ترافیک با یکدیگر متفاوت باشند (جدول ۱).

برای نمونه‌برداری از خاک در هر بزرگراه، ابتدا راستایی[1] به طول ۱۰۰ متر در یک یا دو طرف جاده و عمود بر آن در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری از خاک در طول راستا، به فواصل ۱، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ متر از هر طرف جاده، و از اعماق ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متر از سطح خاک انجام گرفت. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و پس از خشک شدن در هوا، کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند.

در نمونه‌های خاک اشباع شده، pH گل اشباع به وسیله دستگاه pH سنج مدل ۳۲۰ متر اهم، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع به وسیله دستگاه هدایت سنج متر اهم مدل ۶۴۴، کربنات کلسیم با اضافه نمودن ۲۵ میلی لیتر اسید کلریدریک یک مولار به یک گرم نمونه خاک و تیتره کردن اسید باقی مانده با هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار، ماده آلی با استفاده از روش واکلی وبلک[2] (۲۶)، و بافت خاک به روش هیدرومتر اندازه‌گیری گردید (۱۳).

برای تعیین مقدار سرب کل نمونه‌های خاک، ۰/۲ گرم خاک در ارلن مایر ۵۰ میلی لیتری ریخته شد، و به آن ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک پنج مولار اضافه گردید. مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه جوشانده شد و پس از سرد شدن، با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عصاره‌گیری، و غلظت سرب کل در عصاره حاصل پس از به حجم رساندن، به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید (۱۰). ترسیم نمودارها و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای کواترو پرو[3]، تیبل کرو[4] و اس. آ. اس.[5] انجام شد.

تعداد زیادی معادله (حدود ۳۰۰۰ معادله) با داده‌های هر منطقه به وسیلهٔ نرم‌افزار تیبل کرو برازش داده شد و از بین آنها بهترین و ساده‌ترین معادله انتخاب و نمودار آن ترسیم گردید.

## نتایج و بحث

میانگین نتایج تجزیه فیزیکو شیمیایی نمونه‌های خاک سطحی (صفر تا پنج سانتی متری) مورد مطالعه در جدول ۲ آمده است. میانگین‌های pH در دامنه ۶/۹ تا ۷/۸، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) ۰/۵ تا ۱/۷ دسی زیمنس بر متر، ماده آلی ۱/۱ تا ۲/۷ درصد، کربنات کلسیم معادل ۳/۲ تا ۱۸/۳ درصد و رس ۷/۲ تا ۲۱/۹ درصد قرار دارند. در نمونه‌های خاک انزلی و رامسر به دلیل شست شو و بارندگی، کربنات کلسیم معادل کم، و بافت خاک‌ها در کلیه مناطق سبک تا متوسط است.

مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که مقدار کربنات کلسیم برای کلیه مناطق از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار است. بین شرق و غرب جاده دلیجان، اختلاف معنی داری از نظر pH، EC، ماده آلی و درصد رس وجود ندارد. در مناطق انزلی و رامسر نیز میانگین‌ها برای هر کدام از خصوصیات EC، ماده آلی و درصد رس اختلاف معنی داری را نشان نمی‌دهند. اما میانگین‌ها در منطقه کرج برای کلیه خصوصیات اشاره شده، به استثنای EC، با سایر مناطق از نظر آماری دارای اختلاف معنی دار است. بنابراین، در خصوصیات خاک‌های منطقه رامسر نسبت به منطقه انزلی، و خاک‌های شرق جاده دلیجان نسبت به غرب جاده اختلاف زیادی وجود ندارد.

شکل‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب غلظت سرب نمونه‌های

1. Transect 2. Walkly & Black 3. Quattro pro 4. Table curve 5. SAS



[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.4.3.7 ]

جدول ۱. موقعیت مناطق مورد مطالعه و آمار ترافیک روزانه بزرگراه‌ها (۷)

| منطقه مورد مطالعه | بزرگراه | موقعیت و سمت جاده برای نمونه‌برداری | آمار ترافیک |
|---|---|---|---|
| انزلی | رشت- انزلی | ۲۷ کیلومتری جاده رشت - انزلی (غرب جاده) | ۱۷۰۲۶ |
| رامسر | کلاچای- رامسر | ۱۱ کیلومتری جاده کلاچای - رامسر (شمال جاده) | ۱۰۷۳۸ |
| کرج | تهران- کرج | ۱۹ کیلومتری جاده کرج- تهران (جنوب جاده) | ۲۲۷۰۴ |
| دلیجان | اصفهان - تهران | ۲۰۰ کیلومتری جاده اصفهان - تهران دو طرف جاده | ۱۳۴۱۰ |

جدول ۲. میانگین برخی از مشخصات فیزیکو شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در عمق سطحی (صفر تا پنج سانتی‌متری)

| منطقه مورد مطالعه | pH گل اشباع | EC (dS/m) | ماده آلی (%) | کربنات کلسیم معادل (%) | اندازه ذرات (%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | رس | سیلت | شن |
| انزلی | ۶/۹$^{d}$ | ۰/۵$^{b}$ | ۲/۴$^{b}$ | ۳/۲$^{e}$ | ۷/۵$^{c}$ | ۹/۳ | ۸۳/۲ |
| رامسر | ۷/۳$^{c}$ | ۱/۱$^{ab}$ | ۲/۳$^{b}$ | ۵/۴$^{d}$ | ۷/۲$^{c}$ | ۸/۴ | ۸۴/۴ |
| کرج | ۷/۴$^{b}$ | ۱/۷$^{a}$ | ۲/۷$^{a}$ | ۱۳/۴$^{c}$ | ۲۱/۹$^{a}$ | ۴۸/۲ | ۲۹/۹ |
| دلیجان (شرق جاده) | ۷/۶$^{a}$ | ۱/۶$^{a}$ | ۱/۱$^{c}$ | ۱۸/۳$^{a}$ | ۱۷/۰$^{b}$ | ۲۵/۸ | ۵۷/۲ |
| دلیجان (غرب جاده) | ۷/۸$^{a}$ | ۱/۱$^{ab}$ | ۱/۱$^{c}$ | ۱۷/۹$^{b}$ | ۱۵/۶$^{b}$ | ۲۶/۰ | ۵۸/۴ |

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشترک می‌باشند با آزمون دانکن در سطح ۵% اختلاف معنی دار ندارند.

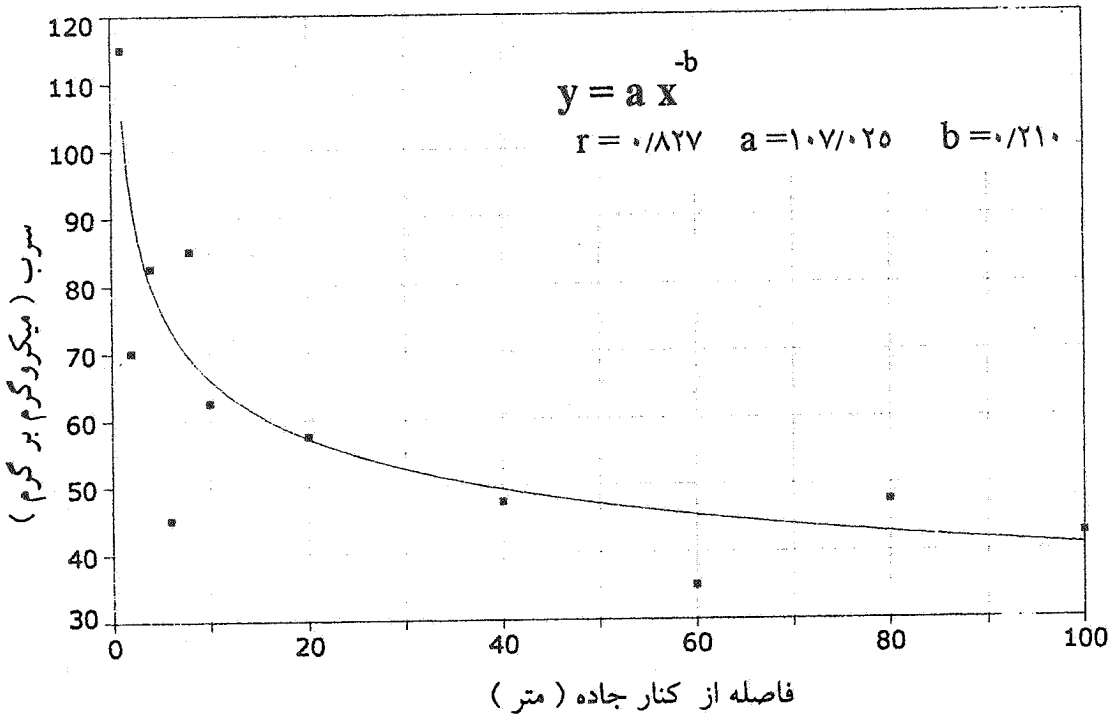
خاک عمق سطحی (صفر تا پنج سانتی متر) را با فاصله از جاده‌های انزلی، رامسر، کرج، دلیجان (شرق) و دلیجان (غرب) نشان می‌دهند. در کلیه مناطق، غلظت سرب خاک در کنار جاده زیاد بوده و با فاصله از جاده کاهش یافت. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها هم‌بستگی سرب کل خاک با فاصله از جاده در منطقه انزلی، رامسر، کرج، دلیجان (شرق جاده) و دلیجان (غرب جاده) را به ترتیب ۰/۸۲۷، ۰/۸۲۹، ۰/۹۲۷، ۰/۸۸۸ و ۰/۸۳۲ نشان داد. روند تغییرات سرب خاک با فاصله از جاده در کلیه مناطق یکسان و به صورت نمایی[1] بود. کلیه معادلات برازش شده بر داده‌ها این وضعیت را تأیید کرد، که از بین آنها بهترین و ساده‌ترین مدل $y=ax^{-b}$ انتخاب و نمودار آن ترسیم گردید. زیاد بودن میزان سرب خاک در کنار جاده و کاهش ناگهانی آن با فاصله از کنار جاده را احتمالاً می‌توان در ارتباط با وزن نسبی زیاد ذرات سرب و سقوط سریع آنها دانست. تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده نشان می‌دهد ذرات درشت سرب خارج شده از اتومبیل‌ها، بیشتر در کنار جاده و تا شعاع کمتر از ۱۰۰ متری رسوب کرده، اما ذرات ریز سرب وارد هوا شده و نهایتاً توسط باران و برف بر سطح خاک فرود می‌آید (۵ و ۸). زیاد

1. Exponential

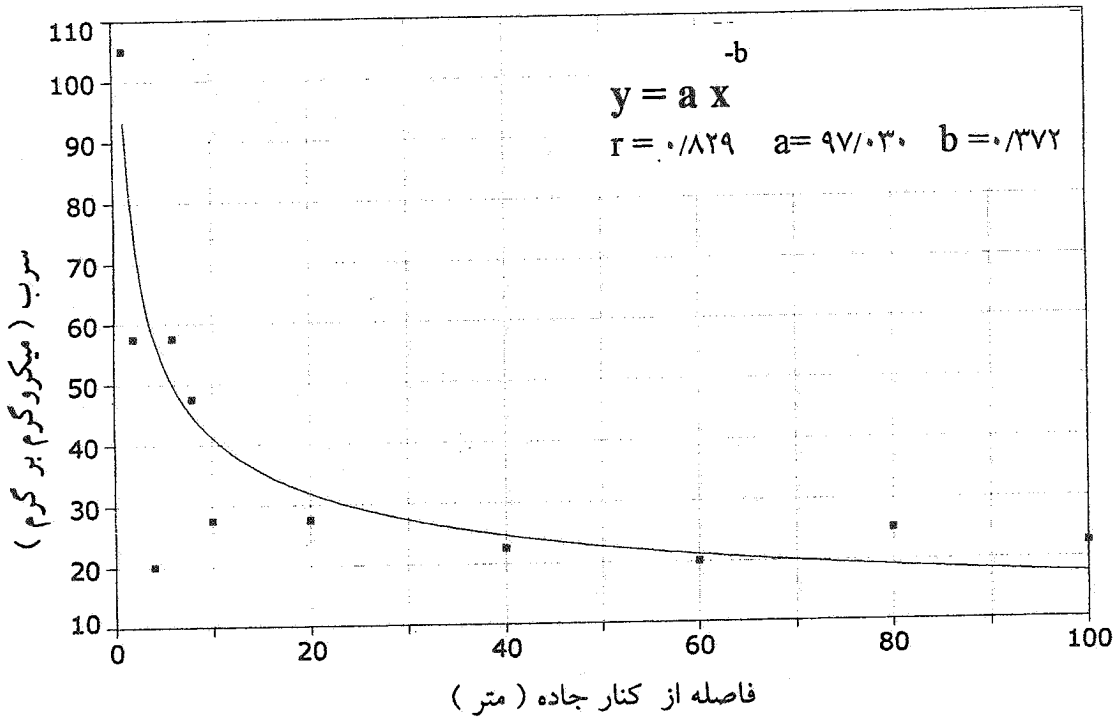


[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.4.3.7 ]



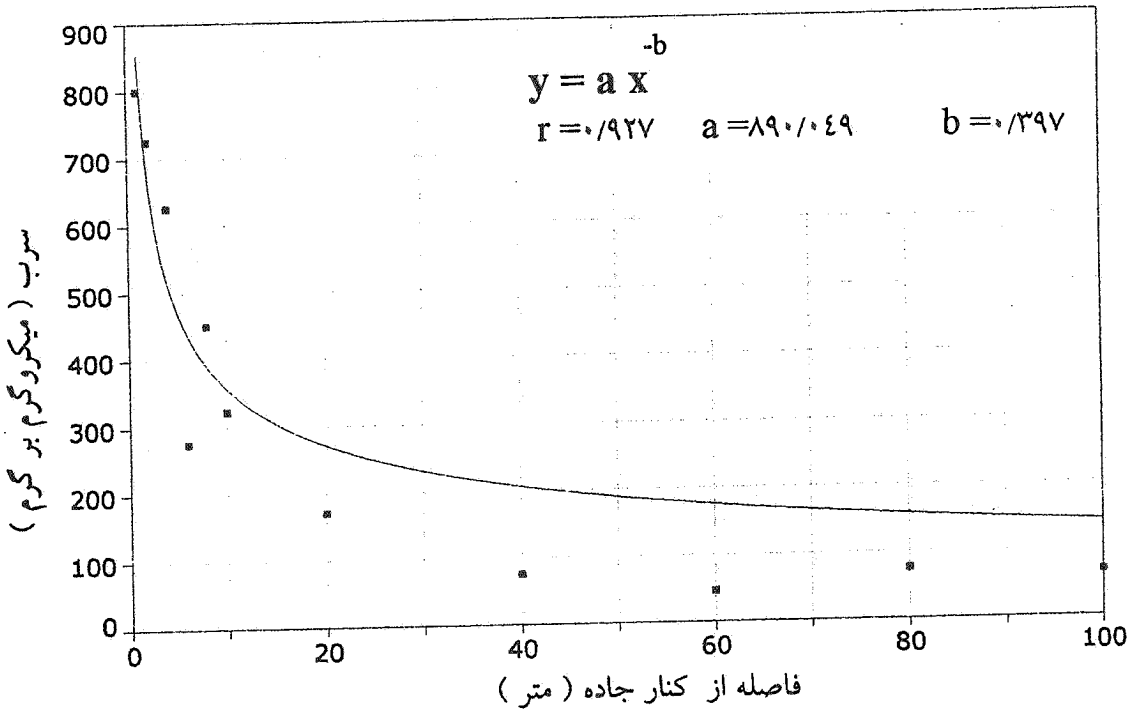

شکل ۱. تغییرات غلظت سرب با فاصله از جاده در عمق سطحی (صفر تا پنج سانتی‌متر) خاک‌های منطقه انزلی



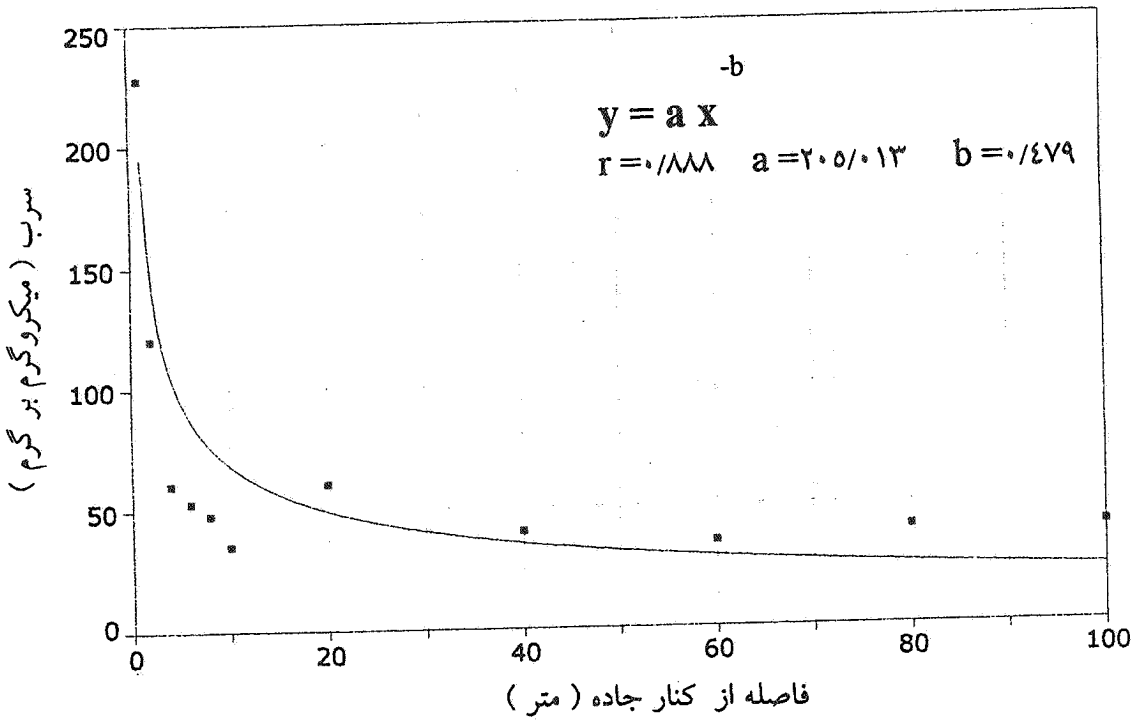

شکل ۲. تغییرات غلظت سرب با فاصله از جاده در عمق سطحی (صفر تا پنج سانتی‌متر) خاک‌های منطقه رامسر

[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.4.3.7 ]



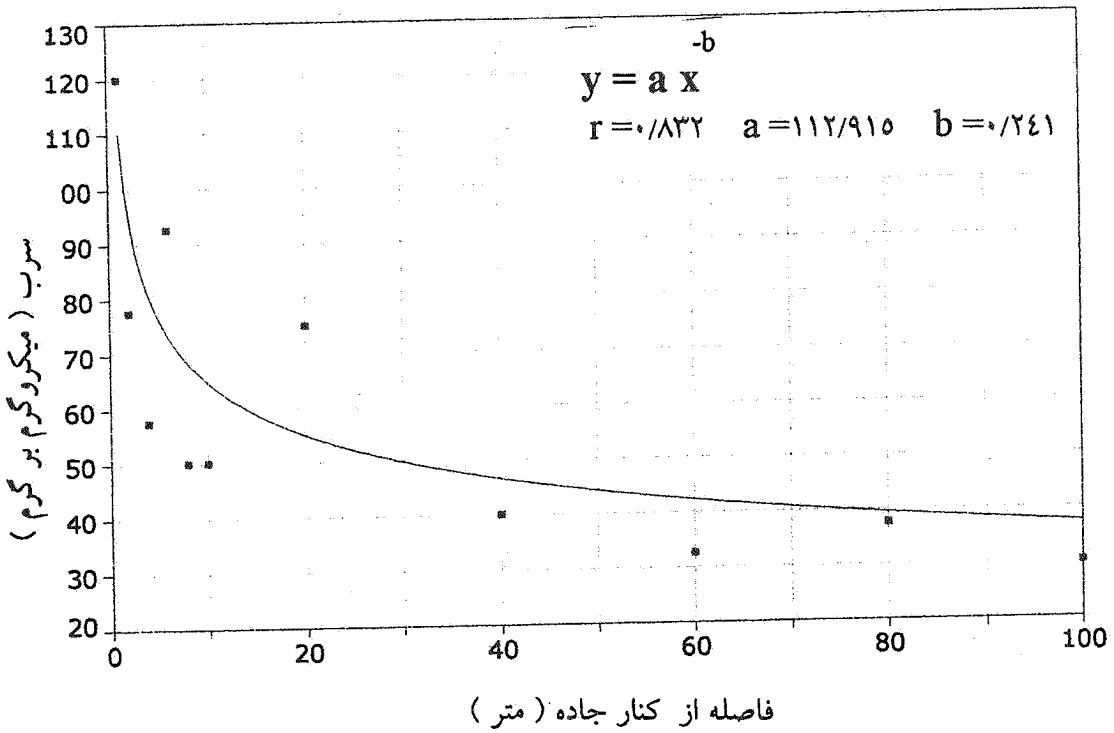

شکل ۳. تغییرات غلظت سرب با فاصله از جاده در عمق سطحی (صفر تا پنج سانتی‌متر) خاک‌های منطقه کرج



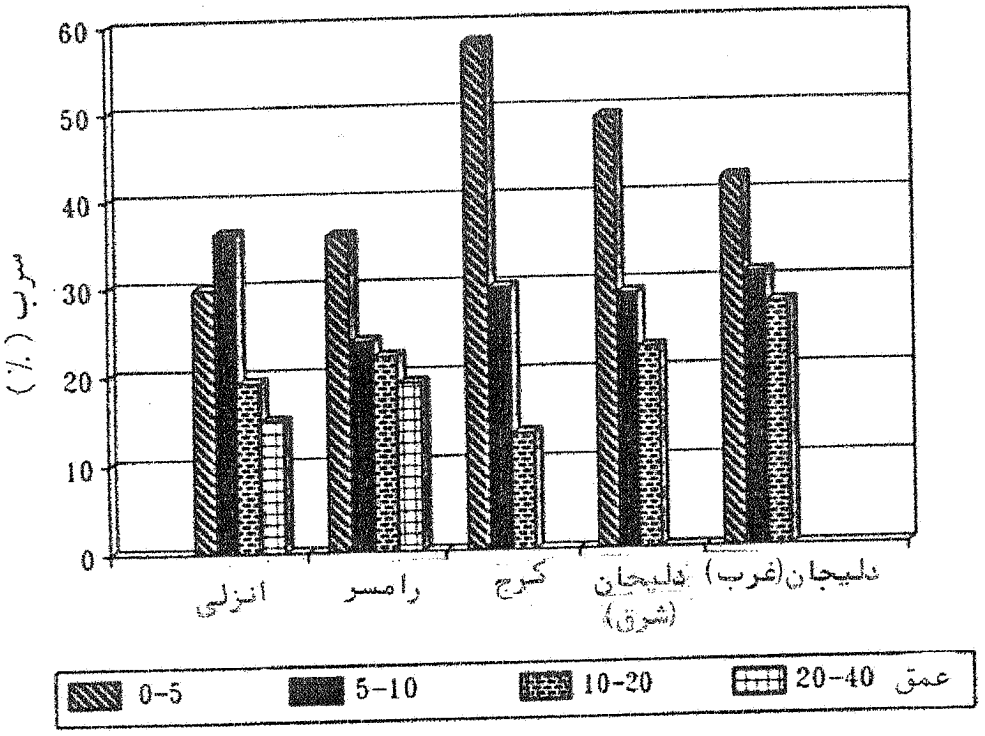

شکل ۴. تغییرات غلظت سرب با فاصله از جاده در عمق سطحی (صفر تا پنج سانتی‌متر) خاک‌های منطقه دلیجان (شرق جاده)

[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.4.3.7 ]




شکل ۵. تغییرات غلظت سرب با فاصله از جاده در عمق سطحی (صفر تا پنج سانتی‌متر) خاک‌های منطقه دلیجان (غرب جاده)




شکل ۶. میانگین درصد غلظت سرب هر عمق، نسبت به جمع غلظت‌های سرب اعماق مختلف خاک‌های مورد مطالعه

[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.4.3.7 ]

بودن غلظت سرب خاک در کنار جاده و کاهش آن با فاصله از جاده در مناطق مورد بررسی، نشان‌دهندهٔ این واقعیت است که منشأ سرب در خاک، اگزوز وسایل نقلیه است. گزارش‌های بسیاری (۲، ۳، ۵، ۸، ۱۴، ۲۳، ۲۵، ۲۸ و ۲۹) این موضوع را تأیید کرده است. بررسی خاک‌ها و گیاهان چندین منطقه، غلظت سرب زیادی را در خاک و گیاه کنار جاده نشان داد (۸). گزارش‌های دیگری از مصر (۱۹۷۸)، ونزوئلا (۱۹۸۴)، بلژیک (۱۹۸۵)، یونان (۱۹۸۸) و ایتالیا (۱۹۸۶) بر آلودگی خاک در کنار جاده در اثر استفاده از بنزین سرب‌دار اشاره کرده‌اند (به نقل از ۹).

تغییر سرب خاک با فاصله از جاده به صورت نمایی است، و از مدل $y=ax^{-b}$ تبعیت می‌کند. شکل ۶ میانگین درصد غلظت سرب هر عمق را نسبت به کل غلظت سرب اعماق مختلف خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. در کلیه اعماق، به استثنای منطقه انزلی، غلظت سرب نسبت به عمق خاک کاهش یافته است. در خاک‌های منطقه انزلی میانگین درصد غلظت سرب عمق دوم (۵-۱۰ سانتی‌متر) نیم‌رخ خاک بیشتر از عمق اول است، که احتمالاً در اثر دست خوردگی خاک کنار جاده، یا فرسایش خاک سطحی به خاطر شیب کنار جاده می‌باشد.

بافت سبک خاک می‌تواند در حرکت سرب به عمق زیرین خاک مؤثر باشد. در یک تحقیق، سرب خاک در ۱۱ نمونه، با شست شوی طبیعی مورد مطالعه قرار گرفت. در همه خاک‌ها، بجز خاک اولتی سول[1] یا بافت‌های شنی و لومی و دارای ظرفیت تبادل کاتیونی کم، بی‌حرکت ماند (۲۲). هم‌چنین، مطالعات بسیاری در مورد وضعیت سرب در خاک وجود دارد که همه بر تجمع سرب در لایه سطحی اشاره کرده‌اند. اما در گزارش‌های محدودی نیز به حرکت سرب در مواردی خاص، در اثر عواملی مانند حرکت سرب به بافت خاک، نوع و مقدار کانی رسی و زهکشی خاک اشاره شده است (۸، ۲۸ و ۳۴). بنابراین، بافت سبک خاک در منطقه انزلی را می‌توان عاملی مؤثر در حرکت سرب از عمق اول به عمق دوم ذکر کرد.

افزایش و تجمع سرب در سطح خاک‌های مورد مطالعه (به استثنای منطقه انزلی) و کاهش غلظت ناگهانی آن در عمق پایین‌تر را می‌توان به حرکت کند و ناچیز این عنصر به عمق زیرین نسبت داد که با نظر سایر پژوهشگران مطابقت دارد (۲، ۸، ۱۹، ۲۸ و ۳۲). در یک تحقیق، با اندازه‌گیری سرب در اعماق صفر تا ۱۰ و ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متری خاک، میزان غلظت سرب در عمق دوم فقط ۲۵ درصد از سرب عمق اول گزارش گردید (۳۴).

کلیه کسانی نیز که در زمینه آلودگی خاک به وسیله سرب کار کرده‌اند، بر این عقیده‌اند که غلظت سرب با فاصله از جاده و از سطح به طرف عمق کاهش می‌یابد (۸، ۱۴ و ۳۱).

جدول ۴ دامنه غلظت معمول، بحرانی و اندازه‌گیری شده سرب در خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. دامنه غلظت معمول سرب در خاک دو تا ۳۰۰ میکروگرم در گرم، و دامنه غلظت بحرانی در خاک ۱۰۰ تا ۴۰۰ میکروگرم بر گرم ذکر شده است (۸ و ۲۸). طبق جدول ۴، در خاک‌های مناطق رامسر و دلیجان (غرب جاده)، که به ترتیب دارای دامنه غلظت سرب ۱۰-۱۰۵ و ۲۲-۱۲۰ میکروگرم بر گرم بودند، میزان آلودگی کم است. دامنه غلظت سرب در خاک‌های مناطق انزلی و دلیجان (شرق جاده) به ترتیب ۱۷-۱۸۷ و ۲۲-۲۲۷ میکروگرم بر گرم بود که تا فاصله ۲۰ متری از جاده در دامنه بحرانی قرار داشت. بنابراین، خاک‌های اطراف این دو بزرگراه، به ویژه تافاصله ۲۰ متری از جاده، آلوده شده و میزان آلودگی از کم تا متوسط است. هم‌چنین، دامنه غلظت سرب خاک‌های منطقه کرج ۱۷-۸۰۰ میکروگرم بر گرم بود، که تا فاصله ۱۰ متری از جاده از غلظت بحرانی بیشتر بوده، و بعد از آن در محدوده غلظت بحرانی قرار داشت. بنابراین، خاک‌های این منطقه شدیداً به عنصر سرب آلوده شده و دارای غلظت زیادی از این عنصر می‌باشد. در مطالعات بسیاری غلظت زیاد سرب در خاک‌های حاشیه بزرگراه‌ها گزارش شده که از حد مجاز سرب در خاک بالاتر بوده و سبب آلودگی خاک‌ها شده است (۱، ۸، ۱۴ و ۲۸). در مجموع، نتایج نشان داد که کلیه خاک‌های حاشیه بزرگراه‌ها به

1. Ultisols



[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.4.3.7 ]

جدول ۴. غلظت سرب در نمونه‌های خاک، در مقایسه با غلظت معمول و بحرانی آن (۸ و ۲۸)، بر حسب میکروگرم بر گرم

| دامنه غلظت معمول سرب در خاک | دامنه غلظت بحرانی سرب در خاک | دامنه غلظت سرب در نمونه خاک‌های مورد مطالعه | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | انزلی | رامسر | کرج | دلیجان (شرق جاده) | دلیجان (غرب جاده) |
| ۲-۳۰۰ | ۱۰۰-۴۰۰ | ۱۷-۱۸۷ | ۱۰-۱۰۵ | ۲۷-۸۰۰ | ۲۲-۲۲۷ | ۲۲-۱۲۰ |

عنصر سرب به ویژه در کنار جاده آلوده شده‌اند و میزان آلودگی در آنها متفاوت است.

غلظت سرب نمونه‌های خاک مناطق مورد مطالعه با حجم ترافیک بزرگراه‌های مربوطه ارتباط مستقیم دارد. آمار ترافیک روزانه بزرگراه‌های مورد مطالعه (۷) ترتیب زیر را نشان می‌دهد:

رامسر < دلیجان < انزلی < کرج

آمار ترافیک روزانه بزرگراه‌ها(۷)

۱۰۷۳۸ ۱۳۴۱۰ ۱۷۰۲۶ ۲۲۷۰۴

غلظت کل سرب در خاک سطحی (۰-۵ سانتی‌متر) مناطق مورد مطالعه با فاصله از جاده نیز از همان روند پیروی می‌کند. بدین معنی که ترتیب زیادی غلظت سرب در خاک‌های کنار جاده مورد مطالعه عبارت بود از:

رامسر < دلیجان < انزلی < کرج

چنان که ملاحظه می‌شود این دو روند کاملاً با یکدیگر هماهنگ و منطبق بوده و نشان‌دهندهٔ نسبت مستقیم تراکم ترافیک با غلظت سرب خاک است. از نظر آماری نیز ترافیک جاده‌ها هم‌بستگی زیادی با غلظت سرب خاک سطحی ($r=0/97$) نشان داد. بنابراین، می‌توان گفت ترافیک جاده عاملی مؤثر بر میزان آلودگی خاک به عنصر سرب است، و با افزایش ترافیک بزرگراه میزان آلودگی خاک افزایش می‌یابد. گزارش‌های بسیاری در مورد تأثیر ترافیک بر آلودگی خاک توسط عنصر سرب وجود دارد (۸، ۲۱، ۲۲، ۲۵، ۳۱، ۳۲ و ۳۳). بررسی اطراف نواحی پر ترافیک در ایالات متحده آمریکا نشان داد که نواحی دارای مقدار نسبی سرب زیاد بر خطوط اصلی جاده‌ها منطبق است (به نقل از ۶). در گزارش دیگری، مقادیر سرب سطحی خاک کنار جاده ۱۲۷ تا ۷۰۰ میکروگرم بر گرم، و عامل آلودگی خاک، موقعیت نمونه از جاده و تراکم ترافیک ذکر گردید (۸).

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

ذرات سرب خروجی از اگزوز اتومبیل‌ها با سقوط و نفوذ در خاک‌های اطراف جاده‌ها، خاک و موجودات زنده کنار جاده را آلوده کرده و این عنصر را وارد زنجیره غذایی می‌نماید. میزان آلودگی به سرب در خاک‌های کنار جاده، در فواصل نزدیک زیاد بوده و با فاصله از جاده به صورت نمایی کاهش می‌یابد، که از مدلی مشخص تبعیت می‌کند. غلظت سرب در این خاک‌ها با عمق نیز کاهش نشان می‌دهد. در این مورد استثنائی وجود دارد که به دست خوردگی خاک کنار جاده، شیب کنار جاده و بافت سبک خاک مربوط می‌شود. هم‌چنین، میزان آلودگی خاک با ترافیک جاده رابطه مستقیم داشته، با افزایش حجم ترافیک میزان آلودگی شدید می‌گردد.

نظر به نقش بسیار سرب در تهدید سلامتی انسان و حیوانات، ضرورت دارد این نوع تحقیقات در مناطق شهری و اطراف بزرگراه‌ها، با توجه به روند رو به رشد وسایل نقلیه، ادامه یافته و در زمینه آلودگی خاک‌ها و هوای شهرها و حاشیه اتوبان‌ها ردیابی‌های لازم انجام گیرد. ضروری است از احداث مراکز عمومی و مسکونی در حاشیه بزرگراه‌های پرترافیک و خیابان‌های پرتردد خودداری شود. هم‌چنین، برای سرب

[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.4.3.7 ]

افزودنی به بنزین در کشور حد مجاز تعیین شده و کلیه پالایشگاه‌ها ملزم شوند در افزایش سرب به بنزین حد مجاز را رعایت نمایند. اما بهتر این است که در برنامه‌ریزی‌های کشور سعی در تولید خودروهایی شود که از بنزین بدون سرب استفاده می‌نمایند، و پالایشگاه‌ها تولید بنزین بدون سرب را در برنامه کار خود قرار دهند.

## سپاسگزاری

از مسؤلین دانشکده کشاورزی و دانشگاه صنعتی اصفهان به خاطر ایجاد تسهیلات لازم، و نیز از مسئولین سازمان تحقیقات کشاورزی کشور به مناسبت تأمین بخشی از بودجه طرح تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع مورد استفاده

۱. امور پالایش شرکت ملی نفت ایران. ۱۳۷۲. گزارش عملیات ماهیانه پالایشگاه‌های کشور.

۲. خادم حقیقت، م. و ج. قدوسی. ۱۳۶۴. توزیع سرب در برگ‌های چنار نسبت به مراکز تردد خودروها در مناطق مختلف تهران. انتشارات جهاد دانشگاهی.

۳. رحمانی، ح. ر. ۱۳۷۴. آلودگی خاک توسط عنصر سرب حاصل از وسایط نقلیه محدوده برخی از بزرگراه‌های ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴. صاحبقدم لطفی.ع. ۱۳۶۷. *متابولیسم سرب و مسمومیت‌های ناشی از آن*. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

۵. عبدالوهابی، ع. و ج. قدوسی. ۱۳۶۴. پراکنش سرب در گیاه و خاک باغستان‌های مختلف چای لاهیجان نسبت به جاده. انتشارات جهاد دانشگاهی.

۶. کریمیان، ن (مترجم). ۱۳۷۱. شیمی خاک. جلد اول: مبانی. ویراسته بولت و بروگنوت. مرکز نشر دانشگاهی.

۷. وزارت راه و ترابری. ۱۳۷۱. آمار ترافیک بصری راه‌های وزارت راه و ترابری کشور.

8. Alloway, B. J. 1990. Heavy Metals in Soils: Lead. Blackie and Glasgow. Ltd. London. pp. 177-196.

9. Al-Mutaz, I. S. 1987. Automotive emission problem in Saudi Arabia. Environ. Inter. 13: 335-338.

10. Ajayi, A. and O. F. Kamson. 1983. Determination of lead in roadside dust in Logos City by atomic absorption spectrophotometry. Environ. Inter. 9: 397-400.

11. Elkhatib, E. A., G. M. Elshebiny and A. M. Balba. 1991. Lead sorption in calcareous soils. Environ. Pollut. 69: 269-276.

12. Ericson, J. E. and S. Mishra. 1990. Soil lead concentration and prevalence of hyperacitve behavior among school children in Ottawa, Canada. Environ. Inter. 16: 247-256.

13. Gee. G. W. and J. W. Bauder. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods. Particle-size Analysis. 2nd ed. Soil Sci. Soc. Inc. Publisher. pp. 404-408.

14. Gulson, B. L., K. G. Tiller, K. J. Mizon and R. H. Merry. 1981. Use of lead isotopes in soils to identify the source of lead contamination near Adelide, South Australia. Environ. Sci. and Technol. 15(6): 691- 696.

15. Harrison, R. M. and D. P. H. Laxen. 1977. A comparative study of methods for the analysis of total lead in soils. Water, Air & Soil Pollut. 8: 387-392.

16. Harter, R. D. 1979. Adsorption of copper and lead by Ap and $B_2$ horizon of several Northeastern United States soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 43: 697-683.

17. Honda, K., D. P. Lee and R. Tatsukawa. 1990. Lead poisoning in swans in Japan. Environ. Pollut. 56: 209-218.

18. Jonghe, W., D. Chakraborti and F. C. Adams. 1981. Identification and determination of individual

[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.4.3.7 ]

tetraalkyllead species in air. Environ. Sci. Technol. 15(10): 1217-1222.

19. Korte, N. E., J. Skopp, W. H. Fuller, E. E. Niebla and B. A. Alesh. 1976. Trace element movement in soil: Influence of soil physical and chemical properties. Soil Sci. 1202(6): 350-359.
20. Madany, I. M., S. M. Ali and S. Akhter. 1990. Assessment of lead in roadside vegetation in Bahrain. Environ. Inter. 6: 123-126.
21. McLean, R. O. and B. Shields. 1977. A study factors causing changes the lead levels of crops growing beside roadways. Environ. Pollut. 14: 267-273.
22. Motto, H. L., R. H. Daines, D. M. Chilko and C. K. Motto. 1970. Lead in soils and plants: Its relationship to traffic volume and proximity to highways. Environ. Sci. Technol. 4(3): 231-237.
23. Nasallah, N., H. Tatsumoto and A. Misawa. 1994. Effect of roadside planting on suspended particulate matter concentration near road. Environ. Technol. 15: 293-298.
24. Nasralla, M. M. 1984. Lead in Jaddah urban dust. Environ. Pollut, Ser. B., pp. 133-141.
25. Ndiokwere, C. L. 1984. A study of heavy metal pollution from motor vehicle emissions and its effect on roadside soil vegetation and crops in Nigeria. Environ. Pollut., Ser. B., 7: 35-42.
26. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Total Carbon, Organic Carbon, Organic Matter. 2nd ed. Soil Sci. Soc. Am. Inc. Publisher. pp. 570-573.
27. Ohalloran, J. and A. A. Myers. 1988. Blood lead levels and free red blood cell protoporphyrin as measure of lead exposure in mute swans. Environ. Pollut. 52: 19-38
28. Pendias, A. K. and H. Pendias. 1992. Trace Elements in Soils and Plants. V. Lead. 2nd ed. Boca Raton Arbor, London. pp. 187-198.
29. Tiller, K. G. 1989. Heavy Metals in Soils and their Environmental Significance. Advances in Soil Science. Springer, Verlag. New York. Inc., Vol. 9. pp. 113-142.
30. Underwood, E. J. 1987. Trace Elements in Human and Animal Nutrition. Lead. Quarterman. J. London LTD. Inc., pp. 281-318.
31. Ward, N. I., R. R. Brooks and E. Roberts. 1977. Heavy metal pollution from automotive emissions and its effect on roadside soils and pasture species in New Zealand. Environ. Sci. Technol. 11(9): 917-920.
32. Ward, N. I., R. O. Reeves and R. R. Brooks. 1975. Lead in soil and vegetation along a New Zealand state highway with low traffic volume. Environ. Pollut. 9: 243-251.
33. Ward, N. I., R. R. Brooks and R. O. Reeves. 1974. Effect of lead from motor vehicle exhausts on trees along a major thoroughfare in Palmerston North, New Zealand. Environ. Pollut. 6: 149-158.
34. Zimdahl, R. L. and R. K. Skogerboe. 1977. Behavior of lead in soil. Environ. Sci. Technol. 11(13): 1202-1207.

[ Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-24 ]

[ DOR: 20.1001.1.22518517.1379.4.4.3.7 ]