نشریه دانش آب و خاک / جلد۲۵ شماره۲ صفحه‌های ۱۹۳ تا ۲۰۵/ سال ۱۳۹۴

تغییرات سرب و کادمیوم خاک و گیاه کلزا در حاشیه جاده ساوه– همدان

مهری سلیمی *[۱]، محمدعلی بهمنیار[۲]، مهدی قاجار سپانلو[۲]، آذر محمدی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۶/۰۱

[۱]- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

[۲]- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

[۳]- مربی اصلاح نباتات، مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: smehrimi@yahoo.com

چکیده

خودروها از منابع تولید فلزات سنگین از قبیل سرب و کادمیوم در محیط پیرامون جاده‌ها هستند. مطالعه حاضر به‌منظور بررسی تغییرات میزان سرب و کادمیوم حاصل از تردد وسایط نقلیه محور ساوه- همدان، در خاک و گیاه کلزا به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. بدین منظور نمونه‌های خاک و گیاه در سال۹۱ از فواصل ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و۱۶۰ متری حاشیه جاده جمع‌آوری و مقادیر فلزات سنگین سرب و کادمیوم در سه بخش ریشه، اندام هوایی و دانه گیاه و خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مقدار سرب در خاک و گیاه با افزایش فاصله از جاده کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار متوسط سرب کل و قابل‌جذب در نمونه‌های خاک با نزدیک‌ترین فاصله از جاده یعنی ۵ متری و به‌ترتیب ۳۸/۸۶ و۳/۷۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم حاصل گردید که نسبت به فاصله ۱۶۰ متری به‌ترتیب ۳/۶۸ و ۸/۵۹ درصد افزایش یافت. بیشترین مقدار متوسط کادمیوم کل خاک ۳/۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در فاصله ۴۰ متری مشاهده شد. میزان تجمع سرب و کادمیوم در اندام هوایی بیشتر از ریشه و دانه کلزا بود. خاک پیرامون جاده به کادمیوم آلوده بود درحالی‌که گیاهان علاوه کادمیوم به سرب نیز آلوده بودند. لذا تغذیه دام‌ها از این گیاهان می‌تواند سلامت آن‌ها و درنهایت انسان‌ها را تهدید کند. نتایج این تحقیق می‌تواند در برنامه‌ریزی کاربری اراضی حاشیه جاده، مدیریت حمل‌ونقل و کنترل ترافیک شهری استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: حاشیه جاده، سرب، کادمیوم، کلزا، وسایط نقلیه

Archive of SID

www.SID.ir

Lead and Cadmium Changes in Soil and Canola at Saveh-Hamedan Roadside

M Salimi[1*], MA Bahmanyar[2] , M Ghajar Sepanlo[2], A Mohammadi[3]

Received: 14 July 2013 Accepted: 23 August 2014
1-M. Sc Student, Dept. of Soil Science, Agric Sci., Natu Res., Univ. of Sari. Iran
2-Assoc. Prof., Dept. of Soil Science, Agric Sci. Natu Res., Univ. of Sari. Iran
3-Lecturer, Dept. of Science Plant Breeding, Islamic free Univ. Unit Hamedan. Iran
*Corresponding Author, Email: smehrimi@yahoo.com

Abstract

Vehicles are of the sources of heavy metals such as lead and cadmium in the roadsides. The present study was carried out in order to investigate, changes of lead and cadmium levels in the soil and Canola caused by vehicle traffic at Saveh-Hamadan road on the basis of factorial design with complete randomized blocks. Soil and plant samples were collected at the distances of 5, 10, 20, 40, 80 and 160 meters from the road edge. The amounts of cadmium and lead were measured in root, shoot and seed of the plant and soil. The results showed that the amount of the lead decreased with increasing the distance from the road in both of the soil and plant. So that, the highest amounts of the total and absorbable lead belonged to the soil samples with the closest distance (5m) from the road, that were 38.86 and 3.79 mg $kg^{-1,}$ which showed an increase of 3.68% and 8.59% compared to those at the distance of 160 meters respectively. The maximum amount of soil total cadmium was 3.62 mg/ kg^{-1} observed at a distance of 40 meters. Also the levels of accumulation of lead and cadmium in the shoot were more than those in the root and seed sections. While the roadside soil was contaminated with cadmium, the plants were contaminated with both lead and cadmium. Therefore, livestock feeding from these plants threatens their animals and finally human health. The results of this study may be used in planning land use along the road, transportation management and urban traffic control.

Keywords: Cadmium, Canola, Lead, Roadside, Vehicle

Archive of SID

مقدمه

یکی از آلاینده‌های مهم خاک فلزات سنگین هست که در سالیان اخیر به‌دلیل خصوصیات آلایندگی‌شان در خاک شدیداً موردتوجه قرارگرفته‌اند. تغییرات مکانی محتویات فلزات سنگین در خاک سطحی کشاورزی ممکن است تحت تأثیر مواد مادری خاک و منابع انسانی باشد. به‌عبارت‌دیگر این فلزات به‌طور طبیعی عموم به مقادیری اندک در خاک وجود دارند اما در اثر فعالیت-های انسانی هم، به خاک افزوده می‌شوند. در حقیقت فعالیت‌های انسانی ممکن است منجر به تجمع بیشتر فلزات سنگین در خاک شود (یالکین و همکاران ۲۰۰۷). خودروها عموماً از منابع اصلی تولید آلاینده‌های فلزات سنگین در شهرها هستند که این آلاینده‌ها به‌صورت ذرات از اگزوز یا دیگر اجزا خودرو وارد محیط شده و باعث آلودگی خاک و گیاهان این نواحی می‌شوند (وان بوهمن ۲۰۰۳). شایع‌ترین فلزات سنگین حاصل از وسایط نقلیه در جاده‌ها کادمیوم، مس، سرب، نیکل و روی است (الیک و همکاران ۲۰۰۳، لی و همکاران ۲۰۰۱). فلزات سرب و کادمیوم اثر سمی در بدن انسان داشته و عوارض متعددی همچون بیماری‌های خونی،

www.SID.ir

عصبی و استخوانی ایجاد می‌کنند (سرکار ۲۰۰۲). منابع عمده سرب، دود خروجی از اگزوز وسایط نقلیه بنزین سوز، رنگ‌های صنعتی و پساب‌های خانگی و صنعتی است (هریسون و لاکسن ۱۹۷۷). در سال‌های اخیر به‌دلیل حذف سرب از بنزین، ورود آن به محیط شهری کاهش چشمگیری داشته است، اما همچنان انباشت پیشین آن در محیط باقی است (سرکار ۲۰۰۲).

کادمیوم از سمی‌ترین فلزها در محیط زیست است که حلالیت و تحرک بسیار بالایی دارد (پاگوتو و همکاران ۲۰۰۱) و به‌راحتی از خاک به گیاه انتقال می‌یابد (جی و همکاران ۲۰۱۰). کادمیوم در تایر خودروها وجود دارد و از طریق استهلاک خودروها و انتشار ترافیکی به محیط شهری اضافه می‌شود (افیونی ۱۳۸۱، امینی ۱۳۸۳). سازمان سلامت جهانی (WHO)[1] گزارش داد حد قابل‌تحمل هفتگی جذب کادمیوم و سرب با تخمین برای همه گروه‌های سنی به‌ترتیب ۰/۰۰۷ و ۰/۰۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بدن فرد است (باکردر و یامان ۲۰۰۸).

آلودگی گیاهان و خاک حاشیه جاده به فلزات سنگین به‌دلیل احتمال ورود این آلاینده‌ها به زنجیره غذایی، خطری جدی برای سلامتی بشر و حیوانات به شمار می‌رود. به‌منظور حفاظت زیست‌بوم‌ها از آلودگی فلزات سمی، بررسی آلودگی خاک‌ها و گیاهان حاشیه جاده‌ها به این فلزات بسیار ضروری است (هگازی و الکادی ۲۰۱۰).

مطالعات مختلفی در زمینه بررسی آلودگی خاک و گیاهان حاشیه جاده به فلزات سنگین، همچنین ارتباط غلظت‌ها با عوامل ترافیکی صورت گرفته است. برای نمونه در مطالعه‌ای اثرات سرب بر محیط زیست در اطراف نواحی پرترافیک در ایالات متحده موردبررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد نواحی دارای مقدار نسبی بالای سرب، بیشتر بر خطوط اصلی جاده‌های پرترافیک منطبق بوده است (پندیاز و پندیاز ۱۹۹۲). آلودگی سرب و کادمیوم حاصل از سوخت‌های فسیلی در خاک سه منطقه در مسیر جاده تهران -دماوند بررسی شد. نمونه‌ها از فواصل ۰، ۱۰ و ۵۰ متری و عمق‌های ۵ و ۱۵ سانتی‌متری خاک جمع‌آوری شد. نتایج آماری با تعیین ضریب همبستگی بین ویژگی‌های خاک نشان داد که سرب با فاصله از جاده و بارندگی همبستگی منفی و دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵بود. به‌عبارت‌دیگر با افزایش فاصله از محور اصلی جاده غلظت سرب در نمونه‌ها کاهش یافت و با افزایش بارندگی نیز به‌دلیل شستشوی خاک توسط باران، سرب در خاک کاهش یافت و کادمیوم با عمق و بارندگی همبستگی منفی داشت. کادمیوم بیشتر در قسمت‌های سطحی خاک تجمع می‌یابد (بهبهانی‌نیا ۱۳۸۸). مسعودی و همکاران (۲۰۱۲) در جاده ساری- قائمشهر غلظت سرب، کادمیوم، مس و روی را در خاک حاشیه جاده بررسی کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که هر سه فلز به‌جز کادمیوم تفاوت معنی‌داری در فاصله نزدیک جاده دارند، غلظت سرب، مس و روی با افزایش فاصله از جاده کاهش یافت و در برخی فواصل مجدداً افزایش پیدا کرد، به‌علاوه با افزایش عمق خاک غلظت فلزات سنگین کاهش یافت. همچنین به‌دلیل تفاوت در جهت و قدرت باد بین غلظت فلزات سنگین در دو طرف جاده تفاوت‌هایی مشاهده شد. رشیدشمالی و خداوردی‌لو (۱۳۹۱) نیز با بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک و گیاهان حاشیه بزرگراه ارومیه-سلماس به این نتیجه رسیدند که میانگین غلظت فلزات در خاک با افزایش فاصله از جاده روندی نزولی دارد که بیان‌گر تأثیر فعالیت‌های انسان پدید و ترافیک در افزایش غلظت فلزات سنگین در محیط‌های پیرامون جاده‌ها است. صفری سنجانی (۲۰۰۷) تغییرات زمانی و مکانی سرب را بر روی گیاه تاج خروس در بزرگراه رزن- همدان مورد بررسی قرار داد که نتایج حاکی از آن بود که سطح سرب در نمونه‌های گیاهی بالاتر از حد مجاز بود که تحت تأثیر عواملی مانند تراکم ترافیک یا سن جاده، فصل یا فاصله از جاده‌ها است. غلظت سرب در اندام هوایی بیشتر از ریشه بود، به‌علاوه غلظت سرب در فصل خشک (پائیز) بالاتر از دوره مرطوب (بهار) بود. همچنین با افزایش فاصله از جاده کاهش غلظت سرب در گیاه مشاهده شد. پرانسویل و همکاران (۲۰۱۱) در

[1]World Health Organization (WHO)

Archive of SID

www.SID.ir

نیجریه نشان دادند در خاک و گیاهان دارویی در شهر آبا، تجمع آشکاری از فلزات سنگین وجود دارد که وابسته به انتشار آلاینده‌ها از وسایط نقلیه است. جاینفی و همکاران (۲۰۱۲) به این نتیجه رسیدند که افزایش معنی‌دار سطوح فلزات سنگین در خاک و دانه‌های برنج و گندم، در امتداد بزرگراه در شرق چین، تحت تأثیر ترافیک در حاشیه جاده‌های مزارع برنج و گندم است. همچنین در پژوهشی توسط ناصر و همکاران (۲۰۱۲) میزان سرب، کادمیوم و نیکل خاک و سبزی‌ها حاشیه جاده در بنگلادش مورد بررسی قرار گرفت. غلظت سرب و نیکل در خاک و سبزی‌ها با افزایش فاصله از جاده کاهش‌یافته اما غلظت کادمیوم مستقل از فاصله از جاده بود. سوبرتا و تاندا (۲۰۰۶) علاوه بر اندازه‌گیری غلظت سرب و کادمیوم در خاک-های اطراف جاده، غلظت این دو فلز را در سنگ بستر این مناطق نیز اندازه‌گیری کردند. این پژوهشگران اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ در غلظت این دو فلز بین فواصل ۱۰ متری پیدا کردند. غلظت ناچیزی از این دو فلز در نمونه‌های سنگ‌بستر منطقه به‌دست آمد. نتایج آن‌ها نشان داد که غلظت بالای سرب و کادمیوم در نمونه‌های خاک منطقه تنها ناشی از سوخت‌های فسیلی بوده است و سازندهای زمین‌شناختی منطقه نقشی در این رابطه ندارند. هدف از این پژوهش بررسی تغییرات غلظت سرب و کادمیوم در خاک و اندام‌های گیاه کلزا و بررسی میزان تجمع سرب و کادمیوم توسط گیاه کلزا در خاک‌آلوده و به‌کارگیری یک روش اقتصادی و غیر مخرب برای کاهش آلودگی خاک و کاهش هزینه‌ها در حاشیه جاده پرتردد ساوه- همدان هست. بزرگراه ساوه- همدان بار ترافیکی بالایی داشته محدودیتی ازنظر چرای دام و پرورش محصولات کشاورزی در پیرامون آن وجود ندارد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی آلودگی خاک و گیاه کلزا کشت‌شده در اطراف جاده، به فلزات سنگین سرب و کادمیوم ناشی از تردد وسایط نقلیه، جاده ساوه- همدان با قدمت زیاد و بار ترافیکی نسبتاً بالا انتخاب شد. این پژوهش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای گیاه و به‌صورت طرح فاکتوریل (عمق و فاصله) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای خاک در سه تکرار انجام شد. نمونه‌برداری از خاک و گیاه کلزا در تابستان ۱۳۹۱ یک‌طرف جاده و در جهت باد غالب منطقه (جنوب غربی) انجام شد. دامنه وزش باد در منطقه مورد مطالعه، طی چهار فصل سال از جنوب شرقی به جنوب غربی نوسان دارد که در طی بهار و تابستان روند پراکندگی فلزات سنگین حاصل از تردد وسایط نقلیه در جهت جنوب غربی و با حداکثر سرعت ۱۰۸ کیلومتر در ساعت گزارش گردیده است. مختصات جغرافیایی منطقه نمونه‌برداری ˚۴۸ و ´۵۷ شرقی و ˚۳۵ و ´۶ شمالی هست. میزان ترافیک روزانه به‌طور متوسط در محل نمونه‌برداری از جاده ساوه- همدان (سه‌راهی روعان- فامنین) حدود۱۰۴۰خودرو هست (بی‌نام ۱۳۹۱). با توجه به تردد وسایط نقلیه در این محور مزرعه کشت کلزا با میزان دریافتی ۳۰۰-۲۵۰ کیلوگرم کود ازته، و ۲۰۰-۱۵۰ کیلوگرم کود پتاسه در هر هکتار، در پائیز انتخاب شد که کود مصرفی به‌طور یکنواخت در کل منطقه مورد مطالعه استفاده‌شده بود. نمونه‌های گیاه از فواصل ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ متری جاده و همچنین نمونه‌های خاک در همان نقاط از دو عمق ۵-۰ و ۱۵-۵ سانتی‌متری جاده در سه تکرار جمع‌آوری شدند. پس از انتقال به آزمایشگاه، قسمت‌های مختلف نمونه‌های گیاهی (ریشه، اندام هوایی و دانه) جدا گردیده و پس از شستشو در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۷۲ ساعت در آون خشک و سپس آسیاب شدند. نمونه‌های خاک نیز در فضای آزاد، هوا خشک و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. بافت خاک به‌روش هیدرومتری (گی و بادر ۱۹۸۶)، pH گل اشباع خاک با استفاده از دستگاه pH متر، و با روش الکترود شیشه‌ای (ریچارد ۱۹۵۴)، و همچنین ظرفیت تبادل کاتیونی[1] به‌روش استات سدیم (چاپمن ۱۹۶۵) انجام شد. خاک منطقه مورد مطالعه دارای بافت

[1] cation exchange capacity (CEC)

Archive of SID

www.SID.ir

لومی،pH=۷/۵ و ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۵/۲۱ سانتی-مول بار بر کیلوگرم بود.

شکل کل فلزات سرب و کادمیوم در خاک به‌روش مخلوط اسیدکلریدریک و اسید نیتریک با نسبت ۱:۳ به‌روش مک گراث و کانلیف (۱۹۸۵) آماده‌سازی شد و با دستگاه جذب اتمی واریان مدل AA10 قرائت شد. شکل قابل‌جذب این فلزات نیز با عصاره‌گیری DTPA از روش رید و همکاران (۱۹۹۶) آماده‌سازی و با دستگاه جذب اتمی تعیین شد. جهت تعیین میزان فلزات سرب و کادمیوم در اندام‌های گیاه، نمونه‌ها به‌روش هضم تر آماده‌سازی و سپس توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید (بنتون جنز و کیس ۱۹۹۰). تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام شد. مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ انجام گردید.

نتایج و بحث

سرب و کادمیوم در خاک بستر کلزا

نتایج حاصل از تجزیه واریانس خاک بستر کلزا نشان داد که مقدار کل و قابل‌جذب عنصر سرب برای فاکتور فاصله عمق معنی‌دار بود، درحالی‌که اثر متقابل فاصله و عمق معنی‌دار نبود (جدول ۱). از عوامل مؤثر بر آلودگی سرب در حاشیه جاده‌ها نوع وسیله نقلیه، مقدار سرب افزایشی به بنزین، اقلیم (جهت باد و میزان بارندگی)، نزدیکی به سایر منابع آلاینده، عمر جاده و ترافیک جاده ذکرشده است (عبدالوهابی و قدوسی ۱۳۶۴، مدنی و همکاران ۱۹۹۰). باد باعث جابجایی گردوغبار و بخارات حاوی فلزات سنگین به‌سمت غربی جاده و فرود آن بر روی اراضی غربی می‌گردد. گلچین و شفیعی (۱۳۸۵) در زنجان تأثیر کارخانه سرب و روی را در آلودگی خاک تا شعاع ۱۰ کیلومتری کارخانه، در چهار جهت، شمال، جنوب، شرق و غرب بررسی کردند که نتایج نشان داد که تمرکز فلزات سنگین در اراضی غرب کارخانه به‌دلیل وجود باد غالب منطقه بیشتر بود و غلظت فلزات سنگین با افزایش فاصله از کارخانه تا شعاع ۳ کیلومتری کاهش یافت ولی مجدداً افزایش‌یافته و معمولاً در ۹ کیلومتری به بیشینه مقدار خود رسید. مقدار کل کادمیوم برای هیچ‌کدام از فاکتورهای فاصله، عمق و اثر متقابل فاصله و عمق تفاوت معنی‌داری را نشان نداد و غلظت قابل‌جذب آن تنها برای فاکتور فاصله معنی‌دار بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که سرب کل در فواصل مختلف از حاشیه جاده متفاوت بود به‌طوری‌که بیشترین مقدار سرب کل و قابل‌جذب (به‌ترتیب ۳۸/۸۶ و ۳/۷۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برای نزدیک‌ترین فاصله از جاده یعنی ۵ متر بود و با افزایش فاصله از جاده کاهش یافت. اما این کاهش روند منظمی نداشت و مقدار آن در فاصله ۴۰ متری و ۱۶۰ متری مجدداً افزایش یافت. به‌علاوه مقدار سرب کل و قابل‌جذب در فاصله ۵ متری از حاشیه جاده به‌ترتیب ۳/۶۸ و ۸/۵۹ درصد بیشتر از مقدار آن در فاصله ۱۶۰ متری بود (جدول ۲). این نایکنواختی و روند کاهش یا افزایش میزان سرب بدان علت است که سرب خارج‌شده از اتومبیل‌ها در اندازه‌های مختلف و با وزن مولکولی متفاوت است. هرشلر و همکاران (۱۹۷۵) گزارش کردند که اندازه ذرات سرب خروجی از اگزوز وسایط نقلیه بنزین سوز از ۱ تا ۵ میکرون متفاوت است که ۵٪ ذرات در حد یک میکرون، ۲۷٪ ذرات، ۵ میکرون و بالاتر و ۶۸٪ ذرات بین ۱ تا ۵ میکرون قرار دارند. لذا ذرات با اندازه بزرگ‌تر بلافاصله در نزدیک‌ترین فاصله از جاده رسوب می‌کنند و ذرات کوچک‌تر با وزن مولکولی کم‌تر مسافت‌های طولانی را می‌توانند طی کنند و سپس درجایی که نیروی جاذبه بر وزن آن‌ها غالب شد سقوط کرده و نقطه اوج دوم را به‌وجود می‌آورند، این پدیده می‌تواند تحت تأثیر عوامل زیادی مثل شدت و سرعت و جهت باد غالب منطقه، شیب و توپوگرافی منطقه موردمطالعه، جریان‌های چرخشی ناشی از حرکت اتومبیل‌ها، وزن و اندازه آلاینده باشد (مسعودی ۱۳۹۰). از طرفی ونگ و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه فلزات سنگین در جزءهای اندازه‌ای ذرات خاک، بالاترین غلظت فلزات سنگین را در جزء کوچک‌تر از ۴۵ میکرون گزارش کردند و اظهار داشتند که ذرات ریزتر از ۱۲۵ میکرون به‌سمت با باد به اتمسفر انتقال پیدا می‌کنند و سبب توزیع آلودگی فلزات سنگین می‌شوند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱-نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) غلظت سرب و کادمیوم ($mg\ kg^{-1}$) در خاک بستر کلزا تحت دو فاکتور فاصله از جاده و عمق خاک.

منبع تغییرات	درجه آزادی	سرب		کادمیوم	
		کل	قابل‌جذب	کل	قابل‌جذب
تکرار	۲	۱/۱۷۲	۰/۰۰۲	۰/۰۸۹	۰/۰۰
فاصله	۵	۱۱/۵۸۱**	۰/۱۱۰**	۰/۰۷۲^{ns}	۰/۰۰۱**
عمق	۱	۷/۶۴۵**	۰/۱۴۸**	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۰^{ns}
فاصله* عمق	۵	۰/۳۵۲^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۰۳۶^{ns}	۰/۰۰^{ns}
خطا	۲۲	۰/۲۸۳	۰/۰۰۳	۰/۰۹	۰/۰۰
ضریب تغییرات (٪)	–	۱/۴۵	۱/۵۶	۸/۶۸	۱۱/۶۸

**، * و ns، به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

سامانی مجد و همکاران (۱۳۸۶) گزارش دادند روند کاهشی غلظت سرب با افزایش فاصله از خیابان در همه سایت‌ها موجی شکل است. آن‌ها این پدیده را مربوط به‌اندازه و وزن ذرات تولیدشده توسط خودروها دانستند و بیان کردند هر موج تا جایی ادامه دارد که مستهلک‌شده و یا به مانعی برخورد کند. رحمانی و همکاران (۱۳۷۴) بیان داشتند، بالا بودن سرب در حاشیه جاده را احتمالا می‌توان در ارتباط با چگالی بالای سرب و سقوط سریع آن‌ها دانست.

ابراهیمی و صفری (۲۰۰۴) اظهار داشتند که مقدار سرب با افزایش فاصله از جاده به‌صورت نمایی کاهش می‌یابد که این کاهش غلظت با فاصله در سمت غرب جاده بیشتر از سمت شرق بود که احتمالا مربوط به جهت وزش باد باشد که از سمت جنوب غربی به شمال شرقی است. با توجه به اینکه بیشترین مقدار آلودگی سرب در نزدیک‌ترین فاصله از جاده مشاهده شد، می‌توان نتیجه گرفت که ترافیک از عامل مؤثر بر میزان آلودگی سرب است. محققان دیگر نیز نسبت مستقیم آلودگی در خاک و گیاه کنار جاده به عنصر سرب، با حجم ترافیک را تأیید کرده‌اند. برای نمونه دیانس و همکاران (۱۹۷۰) نشان دادند که بیشتر سرب در محیط شهری قویاً به حجم ترافیک وسایط نقلیه مربوط است. روند تغییرات مشابهی برای سرب قابل‌جذب نیز به‌دست آمد (جدول ۲).

بیشترین مقدار کادمیوم کل خاک مربوط به فاصله ۴۰ متری از جاده است که مقدار آن ۳/۶۲ میلی-گرم بر کیلوگرم هست (جدول ۲). این غلظت زیاد در فاصله دورتر از منبع آلودگی، ممکن است ناشی از نوع مواد مادری یا وجود آلودگی کادمیومی در محل نمونه‌برداری شده باشد که تأثیر فاصله از جاده را کمرنگ نموده است (رشید شمالی و خداوردی‌لو ۱۳۹۱). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کادمیوم کمتر تحت تأثیر ترافیک قرار دارد. در تحقیقی وارد و همکاران (۱۹۷۷) فلزات سنگین را در خاک و گیاهان حاشیه جاده بررسی کرده و مشاهده کردند که غلظت فلزات کروم، مس، سرب و روی در خاک و گیاه اطراف خیابان به‌طور کاملاً مشخصی با ترافیک ارتباط دارند، لیکن این ارتباط در مورد کادمیوم و نیکل ضعیف بوده است.

در تمامی فواصل همواره غلظت سرب در خاک سطحی (۵-۰ سانتی‌متری) بیشتر از خاک لایه زیرین آن (۱۵-۵ سانتی‌متری) بود. برای مثال در فاصله ۵ متری، مقادیر غلظت سرب کل به‌ترتیب برای لایه سطحی و زیرین آن ۳۸/۸۶ و ۳۷/۱۴ به‌دست آمد (شکل۱) . انتشارهای خودرویی منبع اصلی آلودگی بوده و در مناطقی با شرایط پایدارتر آب و هوایی، توزیع سرب خاک به‌طور مشخص با افزایش فاصله از جاده کاهش می‌یابد و سرب بیشتر در ۵ سانتی‌متر اول عمق خاک تجمع می‌یابد (الچابی و هاوکر ۲۰۰۰). آلووی (۱۹۹۰) مقدار سرب خاک سطحی را ۱۲۸ تا ۷۰۰ میلی-

Archive of SID

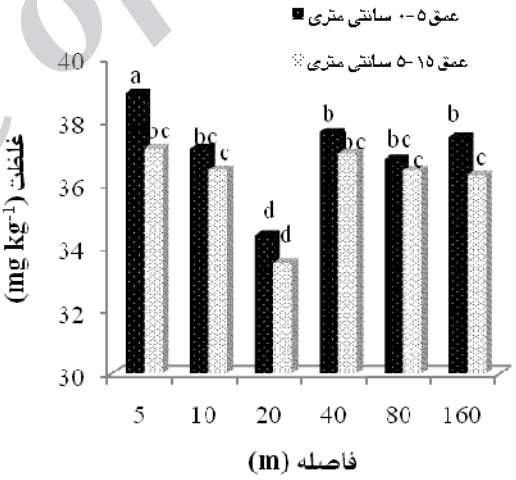
www.SID.ir

گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری کرده و این تجمع زیاد سرب را مربوط به موقعیت نمونه گرفته‌شده از جاده و سنگینی ترافیک بیان کرد و 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. مقدار کادمیوم با افزایش عمق تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۲).

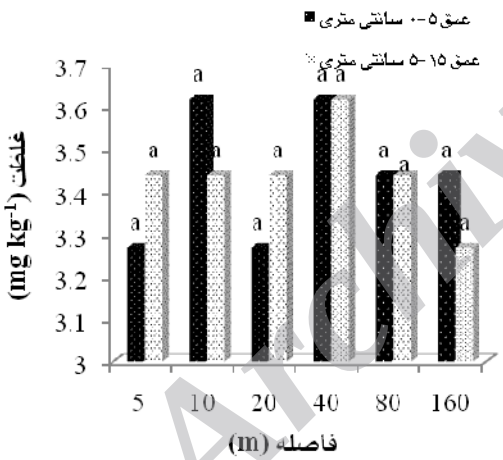
جدول ۲- مقایسه میانگین غلظت کل و قابل‌جذب سرب و کادمیوم ($mg\ kg^{-1}$) در خاک بسترکلزا در فواصل مختلف از کنار جاده.

فاصله (m)	سرب		کادمیوم	
	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب
۵	۳۸/۸۶^{a}	۳/۷۹^{a}	۳/۲۷^{a}	۰/۰۸۶^{bc}
۱۰	۳۷/۱۴^{bc}	۳/۴۸^{cd}	۳/۶۱^{a}	۰/۰۸۶^{bc}
۲۰	۳۴/۳۷^{d}	۳/۳۹^{d}	۳/۲۷^{a}	۰/۱^{ab}
۴۰	۳۷/۶۵^{b}	۳/۵۷^{bc}	۳/۶۲^{a}	۰/۱^{ab}
۸۰	۳۶/۷۹^{bc}	۳/۴۴^{d}	۳/۴۴^{a}	۰/۱۱۳^{a}
۱۶۰	۳۷/۴۸^{b}	۳/۴۹^{cd}	۳/۴۴^{a}	۰/۰۹۳^{bc}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵ ٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.



شکل ۱- مقایسه میانگین مقادیر سرب کل در دو عمق خاک بستر کلزا .



شکل ۲- مقایسه میانگین مقادیر کادمیوم کل در دو عمق خاک بستر کلزا.

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵ ٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.

غلظت سرب و کادمیوم دراندام‌های گیاهی کلزا

ذرات سرب منتشره از اگزوز اتومبیل‌ها به دو طریق گیاهان اطراف جاده را آلوده می‌سازند: یکی رسوب بر سطح خاک و جذب آن به‌وسیله ریشه گیاه است و دیگری رسوب بر روی اندام هوایی گیاه از هوا (حقیقت و قدوسی ۱۳۶۴، پندیازو پندیاز ۱۹۹۲) نتایج تجزیه واریانس مقادیر غلظت عناصر سرب و کادمیوم در ریشه، اندام هوایی و دانه گیاه کلزا تحت فاکتور فاصله از جاده در جدول ۳ گزارش‌شده است. بر اساس این جدول، غلظت سرب بافاصله از جاده در ریشه، اندام هوایی و دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار شد. کادمیوم نیز در ریشه در سطح ۵٪ و در دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار

Archive of SID

www.SID.ir

بوده اما کادمیوم برای اندام هوایی تفاوت معنی‌داری نشان نداد. از مهم‌ترین عوامل خاکی و گیاهی مؤثر بر قابلیت جذب کادمیوم توسط گیاه می‌توان به‌میزان کل کادمیوم، منشا کادمیوم خاک، pH، پتانسیل اکسیداسیون و احیا، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم، شوری، نوع رس، گونه و یا ارقام گیاهی اشاره نمود (آلووی ۱۹۹۰).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس(میانگین مربعات) غلظت سرب و کادمیوم ($mg\ kg^{-1}$) در اندام‌های مختلف کلزا تحت فاکتور فاصله از حاشیه جاده.

منبع تغییرات	درجه آزادی	سرب			کادمیوم		
		ریشه	اندام‌هوایی	دانه	ریشه	اندام‌هوایی	دانه
تکرار	۲	۰/۰۵	۰/۲۸۵	۰/۴۱	۰/۰۰	۰/۰۵۹	۰/۰۱۵
فاصله	۵	۲/۵۵۳**	۱۵/۲۷۳**	۷/۵۹**	۰/۱۹۱*	۰/۲۸^{ns}	۰/۲۰۶**
خطا	۱۰	۰/۳۰۴	۰/۹۱۲	۰/۰۹۹	۰/۰۴۸	۰/۱۲۸	۰/۰۱۵
ضریب تغییرات(٪)	–	۳/۶۱	۴/۹۵	۲/۸۴	۱۵/۶۵	۱۶/۵۲	۹/۲۲

**، * و ns، به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

مقایسه میانگین غلظت فلزات سرب و کادمیوم برای فواصل مختلف از جاده در جدول ۴ گزارش‌شده است بر اساس گزارش‌ها این جدول فلز سرب در گیاه کلزا با افزایش فاصله رویش از لبه جاده کاهش‌یافته اما این روند کاهش به‌صورت کاملاً منظم نبوده به‌طوری‌که در فواصل ۴۰ و ۱۶۰ متری افزایش پیداکرده است. وزش باد از عوامل مؤثر بر تجمع سرب هست که از عوامل مهم پراکنده شدن سرب در منطقه است اما کوه به‌عنوان یک عارضه طبیعی با جلوگیری از وزش باد می‌تواند در تجمع بیشتر سرب در مناطق هم‌جوار مؤثر باشد (فاضلی و همکاران ۱۳۷۹). بیشترین مقدار سرب در اندام هوایی کلزا در فاصله ۱۶۰ متری و کمترین مقدار آن در فاصله ۲۰ متری از جاده است و همچنین بیشترین مقدار سرب در ریشه و دانه کلزا به‌ترتیب در فواصل ۱۶۰ و ۴۰ متری و کمترین مقدار در فاصله ۲۰ متری مشاهده شد. بالا بودن غلظت سرب گیاه در کنار جاده و کاهش آن بافاصله گرفتن از جاده در مناطق مورد بررسی نشان‌گر این واقعیت است که منشأ سرب در گیاه از سرب خارج‌شده از اگزوز وسایط نقلیه است. تحقیقات بسیاری وجود دارند که غلظت سرب را در گیاهان کنار جاده بالا گزارش کرده و به کاهش آن با فاصله از جاده اشاره‌کرده‌اند (خادم حقیقت و قدوسی ۱۳۶۴، عبدالوهابی و قدوسی ۱۳۶۴، رحمانی ۱۳۷۴).

کادمیوم در تمامی فواصل دارای اختلاف معنی‌دار نیست و بیشترین مقدار آن در ریشه و دانه به‌ترتیب ۱/۷۹ و ۱/۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در فاصله ۱۶۰ متری از جاده مشاهده شد (جدول ۴). با افزایش فاصله از لبه جاده مقادیر کادمیوم در خاک و گیاهان کاهش می‌یابد اما مقادیر آن برخلاف سرب قابل‌مقایسه با سایر مطالعات نیست (باکردر و یامان ۲۰۰۸). مقدار سرب و کادمیوم در اندام‌های مختلف کلزا را می‌توان به‌صورت اندام هوایی > ریشه > دانه مرتب نمود (جدول ۴). سرب در خاک چندان محلول نیست بااین‌حال عمدتاً توسط ریشه‌های مویین جذب و در دیواره‌های سلولی ذخیره می‌گردد. در بسیاری از مطالعات، جذب سرب از راه اندام‌های هوایی گیاهان بسیار چشمگیر و بیشتر از جذب توسط ریشه‌ها گزارش‌شده است (خادم حقیقت و قدوسی ۱۳۶۴).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- مقایسه میانگین غلظت سرب و کادمیوم ($mg\ kg^{-1}$) نسبت به فاکتور فاصله از حاشیه جاده دراندام‌های مختلف گیاه کلزا.

فاصله (m)	سرب			کادمیوم		
	ریشه	اندام هوایی	دانه	ریشه	اندام هوایی	دانه
۵	۱۵/۲۱^{bc}	۲۱/۰۶^{ab}	۱۰/۸^{c}	۱/۳۹^{ab}	۲/۵۶^{a}	۱/۰۴^{b}
۱۰	۱۵/۰۶^{cd}	۱۷/۰۲^{c}	۹/۷۴^{d}	۱/۵۹^{ab}	۱/۹۷^{ab}	۱/۰۴^{b}
۲۰	۱۴/۱۱^{d}	۱۶/۴۶^{c}	۸/۹۹^{e}	۱/۱۹^{b}	۱/۷۷^{b}	۱/۲۱^{b}
۴۰	۱۶/۱۲^{ab}	۱۹/۷۳^{b}	۱۳/۳۷^{a}	۱/۱۹^{b}	۲/۳۶^{ab}	۱/۵۶^{a}
۸۰	۱۴/۵۵^{cd}	۱۹/۲۶^{b}	۱۱/۲۷^{c}	۱/۱۹^{b}	۱/۹۷^{ab}	۱/۵۶^{a}
۱۶۰	۱۶/۵۵^{a}	۲۲/۲۹^{a}	۱۲/۱۷^{b}	۱/۷۹^{a}	۲/۳۶^{ab}	۱/۵۶^{a}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵ ٪ با آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.

مقایسه غلظت فلزات در خاک و گیاه پیرامون جاده با استانداردهای کشورهای مختلف

نظر به اینکه در ایران تاکنون برای حد مجاز غلظت فلزات سنگین در خاک کشاورزی استانداردی ارائه نشده است غلظت سرب و کادمیوم خاک حاشیه جاده ساوه- همدان با استاندارد چند کشور پیشرفته مقایسه می‌شود. حد مجاز بحرانی سرب در خاک بر اساس استاندارد اتحادیه اروپا[1](EU) ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (بی‌نام ۱۹۷۸). در مطالعات بسیاری غلظت زیاد سرب در خاک‌های حاشیه بزرگراه‌ها گزارش‌شده که از حد مجاز سرب در خاک بالاتر بوده و سبب آلودگی خاک‌ها شده است (آلووی ۱۹۹۰، پندیاز و پندیاز ۱۹۹۲). به‌طورکلی بیشتر خاک‌های غیرآلوده غلظت‌های کمتر از ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم دارند و غلظت بحرانی آن در خاک ۱/۵ تا ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم هست (صاحبقدم لطفی ۱۳۶۷، زیمداهلو اسکوگربو ۱۹۷۴). درحالی‌که کارینی (۱۹۹۵) حد مجاز کادمیوم در خاک را ۱ تا ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم اعلام نموده است. EU حد مجاز کادمیوم در خاک را ۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش داده است (شارما و پراسد ۲۰۱۰). بنابراین بر اساس نتایج این پژوهش غلظت سرب خاک کمتر از غلظت مجاز در خاک‌ها هست اما کادمیوم بیشتر از بیشینه غلظت مجاز اعلام‌شده بعضی از کشورها هست.

فاکتور تجمع زیستی و فاکتور انتقال سرب و کادمیوم در اندام‌های گیاهی کلزا

بعضی از گونه‌های اختصاصی گیاهان می‌توانند فلزات سنگین را به اندام هوایی انتقال دهند. برداشت اندام هوایی غنی از فلزات سنگین از مکان‌های آلوده می‌تواند در خروج فلزات سنگین از خاک بدون صرف هزینه‌های بالایی همچون خاک‌برداری و انتقال و خروج خاک‌های سطحی از منطقه مؤثر باشد (بلی‌لوک ۱۹۹۷). فاکتور تجمع زیستی[2] (BCF) و فاکتور انتقال[3] (TF)، مشخص‌کننده توانایی گیاهان برای تحمل و تجمع فلزات سنگین در اندام‌های خود بوده که این پارامترها با استفاده از غلظت فلز در اندام‌های ریشه / مقدار فلز در خاک (فاکتور تجمع زیستی ریشه)، غلظت فلز در اندام-های هوایی/ مقدار فلز در خاک (فاکتور تجمع زیستی اندام‌های هوایی) و غلظت فلز در اندام‌های هوایی/ غلظت فلز در اندام زیرزمینی (فاکتور انتقال) محاسبه گردیدند (زاچینی و همکاران ۲۰۰۸). فاکتور تجمع زیستی ریشه، اندام هوایی و دانه و همچنین فاکتور انتقال از اندام هوایی به دانه، برای عنصر سرب در فواصل مختلف از حاشیه جاده در سطح ۱٪ و برای فاکتور انتقال از ریشه به اندام هوایی در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. عنصر کادمیوم در فواصل مختلف تنها برای فاکتور تجمع زیستی اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۵).

[1] [3]European Commission (EU)

[2] biological concentration factor
[3] transformation factor

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) فاکتور تجمع زیستی (BCF) ریشه، اندام هوایی و دانه و فاکتور انتقال (TF) سرب و کادمیوم در اندام هوایی و دانه تحت فاکتور فاصله از جاده.

منابع تغییرات	درجه آزادی	سرب				
		BCF_{root}	BCF_{shoot}	BCF_{seed}	TF_{shoot}	TF_{seed}
تکرار	۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
فاصله	۵	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۴**	۰/۰۳۳*	۰/۰۱۰**
خطا	۱۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۳/۲۱	۵/۷۹	۳/۹۳	۶/۷۵	۴/۷۹
		کادمیوم				
		BCF_{root}	BCF_{shoot}	BCF_{seed}	TF_{shoot}	TF_{seed}
تکرار	۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۷	۰/۰۲۸	۰/۰۲۱
فاصله	۵	۰/۰۱۶^{ns}	۰/۰۲۹^{ns}	۰/۰۱۶**	۰/۲۷۳^{ns}	۰/۰۷۵^{ns}
خطا	۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۵	۰/۰۰۱	۰/۱۴۰	۰/۰۳۳
ضریب تغییرات (٪)	-	۲۴/۸۴	۱۹/۱۴	۷/۵۶	۲۳/۴۰	۲۸/۳۴

**، * وns، به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

بیشترین مقدار فاکتور تجمع زیستی ریشه و اندام هوایی برای فلز سرب در دورترین فاصله از جاده یعنی ۱۶۰ متری مشاهده شد که مقدار آن‌ها به‌ترتیب ۰/۴۳ و ۰/۵۹ بود درحالی‌که بیشترین مقدار فاکتور تجمع زیستی دانه برای فلز سرب در فاصله ۴۰ متری از حاشیه جاده مشاهده شد که مقدار آن ۰/۳۵ هست که ۹/۳۷ درصد بیشتر از مقدار آن در فاصله ۱۶۰ متری بود. فاکتور انتقال از ریشه به اندام هوایی برای سرب در همه فواصل بالاتر از یک بود که بیشترین مقدار آن در فاصله ۵ متری از حاشیه جاده مشاهده شد که مقدار آن ۱/۳۸ هست که نسبت به فاصله ۱۶۰ متری ۲/۹۵ درصد افزایش‌یافته است. از طرفی فاکتور انتقال سرب از اندام هوایی به دانه در همه فواصل کمتر از یک بود که بیشترین مقدار آن ۰/۶۷ است که در فاصله ۴۰ متری از جاده مشاهده شد که ۲۴ درصد بیشتر از فاصله ۱۶۰ متری است (جدول ۶).

بیشترین مقدار فاکتور تجمع زیستی ریشه و دانه برای فلز کادمیوم در فاصله ۱۶۰ متری مشاهده شد که مقدار آن به‌ترتیب ۰/۵۱ و ۰/۴۵ بود درحالی‌که بیشترین مقدار فاکتور تجمع زیستی دانه در فاصله ۵ متری از جاده مشاهده شد که مقدار آن ۰/۷۹ بود که ۱۶/۱۷ درصد بیشتر از فاصله ۱۶۰ متری بود. فاکتور انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی در همه فواصل بالاتر از یک به‌دست آمد که بالاترین مقدار آن ۱/۹۷ در فاصله ۴۰ متری بود که ۵۰/۳۸ درصد بیشتر از مقدار آن در فاصله ۱۶۰ متری است. همچنین فاکتور انتقال کادمیوم از اندام‌هوایی به دانه در تمام فواصل موردبررسی کمتر از یک بود که بالاترین مقدار آن ۰/۸۸ است که در فاصله ۸۰ متری از جاده مشاهده شد (جدول ۶).

فاکتور انتقال بیشتر از یک گونه‌های تجمع‌دهنده‌ی فلزات و فاکتور انتقال کوچک‌تر از یک، گونه‌های دفع‌کننده فلزات را نشان می‌دهد (زو و همکاران ۲۰۰۵). آلن و همکاران (۱۹۹۵) نشان دادند که نوع گونه گیاهی و مدت‌زمان قرارگیری گیاه در معرض فلزات سنگین بر غلظت آلاینده‌ها در گیاه اثرگذار بوده و در نتیجه بر شاخص انتقال گیاهی این فلزات اثر می‌گذارد. فاکتور انتقال سرب و کادمیوم از ریشه به اندام هوایی بالاتر از یک و از اندام هوایی به دانه کلزا کمتر از یک بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که گیاه کلزا توانایی تجمع فلزات سرب و کادمیوم را در اندام هوایی دارد. و به‌عنوان گیاه مناسب برای پاک‌سازی خاک‌های آلوده می‌توان استفاده نمود.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶- مقایسه میانگین فاکتور تجمع زیستی (BCF) ریشه، اندام هوایی و دانه و فاکتور (TF) انتقال سرب و کادمیوم در اندام هوایی و دانه کلزا تحت فاکتور فاصله از جاده.

فاصله	سرب					کادمیوم				
(m)	BCF_{root}	BCF_{shoot}	BCF_{seed}	TF_{shoot}	TF_{seed}	BCF_{root}	BCF_{shoot}	BCF_{seed}	TF_{shoot}	TF_{seed}
۵	۰/۳۹^{c}	۰/۵۴^{ab}	۰/۲۷^{d}	۱/۳۸^{a}	۰/۵۱^{c}	۰/۴۵^{a}	۰/۷۹^{a}	۰/۳۲^{bc}	۱/۹۱^{a}	۰/۴۱^{b}
۱۰	۰/۴۰^{c}	۰/۴۵^{d}	۰/۲۵^{d}	۱/۲۷^{b}	۰/۵۷^{bc}	۰/۴۳^{a}	۰/۵۳^{b}	۰/۲۸^{c}	۱/۲۵^{a}	۰/۵۳^{ab}
۲۰	۰/۴۰^{bc}	۰/۴۷^{cd}	۰/۲۵^{d}	۱/۱۶^{b}	۰/۵۴^{bc}	۰/۳۶^{a}	۰/۵۴^{b}	۰/۳۶^{b}	۱/۴۸^{a}	۰/۶۸^{ab}
۴۰	۰/۴۲^{ab}	۰/۵۱^{bc}	۰/۳۵^{a}	۱/۲۲^{ab}	۰/۶۷^{a}	۰/۳۳^{a}	۰/۶۵^{ab}	۰/۴۳^{a}	۱/۹۷^{a}	۰/۶۶^{ab}
۸۰	۰/۳۹^{c}	۰/۵۲^{bc}	۰/۳۰^{c}	۱/۳۲^{a}	۰/۵۸^{b}	۰/۳۴^{a}	۰/۵۷^{ab}	۰/۴۵^{a}	۱/۶۴^{a}	۰/۸۸^{a}
۱۶۰	۰/۴۳^{a}	۰/۵۹^{a}	۰/۳۲^{b}	۱/۳۴^{a}	۰/۵۴^{bc}	۰/۵۱^{a}	۰/۶۸^{ab}	۰/۴۵^{a}	۱/۳۱^{a}	۰/۶۶^{ab}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵ ٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.

نتیجه‌گیری کلی

مقدار سرب در خاک و گیاه با افزایش فاصله از حاشیه جاده کاهش یافت. اما این کاهش روند منظمی نداشت که احتمالاً به‌دلیل اندازه نسبی ذرات و یا سرعت و جهت باد باشد که ذرات با وزن مولکولی بیشتر، در نزدیک جاده ته‌نشین شده اما ذرات با وزن مولکولی کمتر با جریان باد به فواصل دورتر حمل شده و سپس ته‌نشین می‌شوند. همچنین سرب بیشتر در اعماق سطحی تجمع یافت و مقدار آن در عمق زیرین به‌طور متوسط ۲/۵ درصد کمتر از عمق سطحی بود، بنابراین ترافیک می‌تواند یکی از عوامل آلودگی خاک و گیاهان حاشیه جاده باشد. با افزایش فاصله از جاده و عمق مقدار کادمیوم تغییر چندانی نداشت. غلظت سرب در خاک کمتر از استاندارد اعلام‌شده از سوی برخی از کشورها بود درحالی‌که غلظت کادمیوم در خاک بیشتر از حد مجاز بود. به‌علاوه غلظت سرب و کادمیوم در کلزا بیشتر از حد مجاز برخی از کشورها بود. کلزا توانایی تجمع فلزات سرب و کادمیوم را در اندام هوایی خود دارد. با توجه به خطر سرب و کادمیوم برای سلامتی انسان توصیه می‌شود از کاشت گیاهان در حاشیه جاده‌های پرتردد جلوگیری به عمل آید و مصرف آن جهت تعلیف دام با احتیاط صورت پذیرد. از طرفی می‌توان از کلزا برای کاهش آلودگی در اراضی آلوده استفاده کرد.

منابع مورداستفاده

افیونی م، ۱۳۸۱. بررسی وضعیت آلودگی خاکهای سطحی منطقه مرکزی اصفهان. گزارش علمی، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.

امینی م، ۱۳۸۳. مدل‌سازی روند تجمع عناصر سنگین در اکوسیستمهای زراعی و ارزیابی عدم قطعیت آن در منطقه اصفهان. رساله دکتری، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.

بهبهانی‌نیا آ، ۱۳۸۸. بررسی آلودگی فلزی حاصل از سوخت‌های فسیلی در خاک‌های اطراف جاده تهران-دماوند. فصل-نامه علمی پژوهشی گیاه و زیست بوم، شماره ۱۷، صفحه‌های ۴۵ تا ۵۶.

بی‌نام ۱۳۷۲. گزارش عملیات ماهیانه پالایشگاه‌های کشور. امور پالایش شرکت ملی نفت ایران، تهران.

بی‌نام، ۱۳۹۱. آمار ترافیک حمل و نقل کشور. اداره کل حمل و نقل و پایانه‌های مسافربری ایران، همدان.

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

Archive of SID

www.SID.ir

رحمانی ح ، کلباسی م و حاج رسولیها ش، ۱۳۷۴ . آلودگی گیاه بوسیله سرب حاصل از وسائط نقلیه در محدوده برخی بزرگراه‌های ایران. مجله محیط شناسی، شماره ۲۶، صفحه‌های ۷۸ تا ۸۳.

رشید شمالی آ و خداوردی‌لو ح، ۱۳۹۱. آلودگی خاک‌ها و گیاهان پیرامون بزرگراه ارومیه- سلماس به برخی فلزهای سنگین. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۳، صفحه‌های۱۵۷ تا ۱۷۲.

سامانی مجد س، تائبی ا و افیونی م، ۱۳۸۶. آلودگی خاک خیابان‌های شهری به سرب و کادمیوم. محیط شناسی، جلد ۳۳، شماره ۴۳، صفحه‌های ۱ تا ۱۰.

شریف فاضلی م، ریاحی بختیاری ع و حبیبی م، ۱۳۷۹. اندازه‌گیری سرب اراضی تحت کشت کاهودر حاشیه جاده سراسری مازندران. دوماهنامه علمی- پژوهشی دانشگاه شاهد، سال ۸، شماره ۳۱، صفحه‌های ۸۳ تا ۸۸.

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

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

گلچین آ و شفیعی س، ۱۳۸۵. بررسی تأثیر کارخانجات سرب و روی زنجان بر آلودگی محصولات زرعی و باغی به فلزات سنگین. صفحه‌های ۲۴ تا ۲۲. همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار. ۱۷ و ۱۸ آبان ماه. دانشگاه تهران، کرج.

مسعودی ن، ۱۳۹۰. تعیین عناصر سرب ، کادمیوم، مس و روی در خاک و برخی گیاهان حاشیه جاده، مطالعه موردی (جاده ساری قائم‌شهر). پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

Allen HE, Huang CP, Bailey GW and Bowers AR, 1995. Metal Speciation and Contamination of Soil. Lewis Publishers, USA.

Allen SE, 1989. Chemical Analysis of Ecological Materials (2nd ed). Blackwell Scientific Publication, Oxford, London, UK.

Alloway BJ, 1990. Heavy Metals in Soils. Blakie and Sons LTD, London.

Al-Chalabi AS and Hawker D, 2000. Distribution of vehicular lead in roadside soils of major roads of Brisbane, Australia. Water, Air and Soil Pollution 118: 299–310.

Anonymous, 2005. Roadside Soil and Plant Pollution, Metal Trace Elements (ETM). Service D'Etudes Techniques Des Routes et Autoroutes. France.

Bakirdere S and Yaman M, 2008. Determination of lead, cadmium and copper in roadside soil plants in Elazig, Turkey. Environmental Mointoring and Assessment 136: 401-410.

Benton Jones JR and Case V W, 1990. Sampling, Handling and Analyzing Plant Tissue Sample. Pp. 389-429. In: Westerman RL (ed.), Soil Testing and Plant Analysis. Madison, WI.

Blaylock MJ, Salt D Dushenkov E, Zakharova O, Gussman C, and Kapulnik Y, 1997. Enhanced accumulation of Pb in indian mustard by soil applied chelating agents. Technology 31: 860-865.

Cariny T, 1995. The Reuse of Contaminated Land. John Wiley and Sons Ltd, Publisher. USA.

Chapman HD, 1965. Cation exchange capacity. Pp. 891-901. In: Black CA (ed). Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy. Madison, WI.

Daines RH, Mott HL and Chilko DM, 1970. Atmospheric lead; its relationship to traffic volume and proximity to highways. Environmental Science and Technology 4: 318-322.

Ebrahimi P and Safari Sinegani AA, 2004. Lead contamination and impacts on microorganisms in the vicinal soils of Razan-Hamadan highway, Iran. Pp. 463-469. 4th International Iran and Russia Conference Agriculture and Natural Resources, 8-10 September, ShahrKord, Iran.

Elik A, 2003. Heavy metal accumulation in street dust samples in Sivas. Communications in Soil Science and Plant Analysis 34: 145–156.

Gee GW and Bauder JW, 1986. Particle-size analysis. Pp. 383-411. In: Klute A (ed). Methods of Soil Analysis. SSSA and ASA, Madison, WI.

Harrison R M and laxen DPH, 1977. A comparative study of methods for the analysis of total lead in soil. Water, Air and Soil pollution 8: 387-392.

Hegazi AA and El-Kady A, 2010. Effect of road dust on vegetative characters and leaves heavy metal contents of Zizyphus Spina-christi (L.). willd, Syzygiumcuimini(L.) skeels and Olea europea L. seedlings. Horticultural Science and Ornamental Plants 2: 98-107.

Archive of SID

www.SID.ir

Hirschler DA ,Gilbert LF ,Lamb PW and Niebylski LM, 1957. Particulatelead Compounds in Automobile Exhaustgas Industrial and Engineering Chemistry 49: 1131-1141.

Jia L, Wang W, Li Y and Yang L, 2010. Heavy metals in soil and crops of an intensively farmed area: A case study in Yucheng City, Shandong Province, China. International Journal Environmental Research and Public Health 7: 395-412.

Jinfei F, Jian Z, Xinmin B and Weijian Z, 2012. Spatial distribution and controlling factors of heavy metals contents in paddy soil and crop grains of rice–wheat cropping system along highway in East China. Enviromental Geochemistry and Health 34: 605- 614.

Li X, Poon CS and Liu PS, 2001. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. Applied Geochemistry 16 : 1361–1368.

McGrath SP and Cunliffe CII , 1985. A simplifide method for the extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sluge. Food and Agriculture 36: 794-798.

Madany IM, Ali SM and Akhter S, 1990. Assessment of lead in roadside vegetation in Bahrain. Environment International 6: 123-126.

Masoudi SN, Ghajar Sepanlo M and Bahmanyar MA, 2012. Distribution of lead, cadmium, copper and zinc in roadside soil of Sari-GHaemshahr, rood, Iran. Agricultural Research 7: 198-204.

Naser HM, Sultana S, Gomes R and Noor SH, 2012. Heavy metal pollution and vegetable grown near roadside at Gazipur. Agricultural Research 37: 9-17.

Page AL, Miller RH and Keeney DR, 1982. Methods of soil analysis The chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy 24: 26-92.

Pagotto C, Remy N, Legret M and LeCloirec P, 2001. Heavy metal pollution of road dust and roadside soil near a major rural highway. Environmental Technology 22: 307-319.

Pendias A K and Pendias H, 1992. Trace Elements in Soils and Plants. Boca Ratton Arbor, London.

Princewell-Ogbonna L and Ogbonna C, 2011. Heavy metal content in soil and medicinal plants in high traffic urban area. Pakistan Journal of Nutrition 10: 618-624.

Reed TH and Martend DC ,1996. Copper and zinc in methods of soil analysis. Pp. 703-723. In: Sparks DL (ed). Chemical Methods. Soil Science Society. Book Series. Madison, WI.

Richards AL , 1954. pH reading of saturated soil paste. Pp. 102-154. In: Allison LE (ed). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agricultural Handbook 60. US. Government Printing Office, Salinity laboratory staff. Washington, D.C.U.S.

Safari Sinegani AA, 2007. Temporal and spatial variability of lead levels in Salsola kali near Razan-Hamadan highway. Journal of Applied Sciences and Environmental Management 11:143-146.

Sarkar B 2002. Heavy Metals in Environment. New York, Marcel Dekker.

Sharma S and Prasad FM, 2010. Accumulation of lead and cadmium in and soil vegetable crops along major highways in Agra, India. Electronic Journal in Chemistry 7: 1174-1183.

Sobotra K and F Tanda ,2006. Evaluation of Pb and Cd concentrations in soils and bedrocks. Environmental Pollution 12: 457-460.

Van Bohemen HD and Janssen Van De Laak, WH, 2003. The influence of road infrastructure and traffic on soil, air and water quality. Environmental Management 31: 50-68.

Wang X, Qin Y ,Chen Y, 2006. Heavy metals in urban roadside soils, part 1: effect of particle size fractions on heavy metals partitioning. Environmental Geology 50: 1061-1066.

Ward N. Brooks R and Roberts E, 1977. Heavy metal pollution automotive emissions and its effect on roadside soils and pasture species in New Zealand. Environmental Science and Technology 11(9) : 917-920.

Yalcin MG, Battaloglu R and Ilhan S, 2007. Heavy metal sources in sultan marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. Environmental Geology (Environmental Earth Sciences) 53:399-415.

Zacchini M, Pietrini F, Mugnozza G and lori V, 2008. Metal tolerance, accumulation and translocation in poplar and willow clones treated with cadmium in hydroponics. Water, Air and Soil Pollution 197: 23-34.

Zimdahl RL and Skogerboe RK, 1977. Behavior of lead in soil. Environmental Science and Technology 11: 1202-1207.

Zu YQ, Li Y, Chen JJ, Chen HY, Qin L and Schvartz C, 2005. Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in Yunnan. China. Environmental International 31: 755–762.

Archive of SID

www.SID.ir