

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

مهری سلیمی\*<sup>۱</sup>، محمدعلی بهمنیار<sup>۲</sup>، مهدی قاجار سپانلو<sup>۳</sup>، آذر محمدی<sup>۳</sup>

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

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

<sup>۳</sup> 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 به منظور بررسی تغییرات میزان سرب و کادمیوم حاصل از تردد وسایط نقلیه محور ساوه- همدان، در خاک و گیاه کلزا به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. بدین منظور نمونه‌های خاک و گیاه در سال ۹۱ از فواصل ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ 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، به طوری که بیشترین مقدار متوسط سرب کل و قابل جذب در نمونه‌های خاک با نزدیک‌ترین فاصله از جاده یعنی ۵ متری و به ترتیب ۳۸/۸۶ و ۳/۷۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم حاصل گردید که نسبت به فاصله ۱۶۰ متری به ترتیب 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 بر کادمیوم به سرب نیز آلوده بودند. لذا تغذیه دام‌ها از این گیاهان می‌تواند سلامت آن‌ها و در نهایت 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

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

M Salimi<sup>1\*</sup>, MA Bahmanyar<sup>2</sup>, M Ghajar Sepanlo<sup>2</sup>, A Mohammadi<sup>3</sup>

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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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

### مقدمه

فلزات سنگین در خاک شود (یالکین و همکاران ۲۰۰۷). خودروها عموماً از منابع اصلی تولید آلاینده‌های فلزات سنگین در شهرها هستند که این آلاینده‌ها به صورت ذرات از آگزوز 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،

یکی از آلاینده‌های مهم خاک فلزات سنگین هست که در سالیان اخیر به دلیل خصوصیات آلاینده‌گی‌شان در خاک شدیداً مورد توجه قرار گرفته‌اند. تغییرات مکانی محتویات فلزات سنگین در خاک سطحی کشاورزی ممکن است تحت تأثیر مواد مادری خاک و منابع انسانی باشد. به عبارت دیگر این فلزات به‌طور طبیعی عموم به مقادیری اندک در خاک وجود دارند اما در اثر فعالیت‌های انسانی هم، به خاک افزوده می‌شوند. در حقیقت فعالیت‌های انسانی ممکن است منجر به تجمع بیشتر

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 ۰/۰۵ بود. به عبارت دیگر با افزایش فاصله از محور اصلی جاده غلظت سرب در نمونه‌ها کاهش یافت و با افزایش بارندگی نیز به دلیل 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 به جز 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، به علاوه با افزایش عمق خاک غلظت فلزات سنگین کاهش یافت. همچنین به دلیل 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، به علاوه 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

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

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

آلودگی گیاهان و خاک حاشیه جاده به فلزات سنگین به دلیل احتمال ورود این آلاینده‌ها به زنجیره غذایی، خطری جدی برای سلامتی بشر و حیوانات به شمار می‌رود. به منظور 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 مورد بررسی 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.

<sup>1</sup>World Health Organization (WHO)

شد. این پژوهش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای گیاه و به صورت 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 یکطرفه 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 پراکنندگی 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 است. میزان ترافیک روزانه به طور متوسط در محل نمونه‌برداری از جاده ساوه-همدان (سه‌راهی روعان- فامنین) حدود ۱۰۴۰ خودرو هست (بی‌نام ۱۳۹۱). با توجه به تردد وسایط نقلیه در این محور مزرعه کشت کلزا با میزان دریافتی ۲۵۰-۳۰۰ کیلوگرم کود ازته، و ۲۰۰-۱۵۰ کیلوگرم کود پتاسه در هر هکتار، در پائیز انتخاب شد که کود مصرفی به طور یکنواخت در کل منطقه مورد مطالعه استفاده شده 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 به مدت 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 به روش هیدرومتری (گی و بادر ۱۹۸۶)، pH، گل اشباع خاک با استفاده از دستگاه pH متر، و با روش الکتروود شیشه‌ای (ریچارد ۱۹۵۴)، و همچنین ظرفیت تبادل کاتیونی<sup>۱</sup> به روش استات سدیم (چاپمن ۱۹۶۵) انجام شد. خاک منطقه مورد مطالعه دارای بافت

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. جابینی 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 کاهش یافته 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 به دست 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 است. بزرگراه ساوه-همدان بار ترافیکی بالایی داشته محدودیتی از نظر چرای دام و پرورش محصولات کشاورزی در پیرامون آن وجود ندارد.

#### مواد و روش‌ها

به منظور 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

<sup>1</sup> cation exchange capacity (CEC)

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 به طوری که بیشترین مقدار سرب کل و قابل‌جذب (به ترتیب ۲۸/۸۶ 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. به علاوه مقدار سرب کل و قابل‌جذب در فاصله ۵ متری از حاشیه جاده به ترتیب 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 به وجود می‌آورند، این پدیده می‌تواند تحت تأثیر عوامل زیادی مثل شدت و سرعت و جهت باد غالب منطقه، شیب و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه، 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 به سمت با باد به اتمسفر انتقال پیدا می‌کنند و سبب توزیع آلودگی فلزات سنگین می‌شوند.

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

شکل کل فلزات سرب و کادمیوم در خاک به روش مخلوط اسیدکلریدریک و اسید نیتریک با نسبت ۱:۳ به روش مک‌گراث 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 به روش هضم تر آماده‌سازی و سپس توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید (بنتون جنز و کیس ۱۹۹۰). تجزیه و تحلیل 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 ذکر شده است (عبدالوهابی و قدوسی ۱۳۶۴، مدنی و همکاران ۱۹۹۰). باد باعث جابجایی گردوغبار و بخارات حاوی فلزات سنگین به سمت 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 به دلیل وجود باد غالب منطقه بیشتر بود و غلظت فلزات سنگین با افزایش فاصله از کارخانه تا شعاع ۳ کیلومتری کاهش یافت ولی مجدداً افزایش یافته و معمولاً در ۹ کیلومتری به بیشینه مقدار خود رسید.

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

منبع تغییرات	درجه آزادی	سرب		کادمیوم	
		کل	قابل جذب	کل	قابل جذب
تکرار	۲	۱/۱۷۲	۰/۰۰۲	۰/۰۸۹	۰/۰۰
فاصله	۵	۱۱/۵۸۱**	۰/۱۱۰**	۰/۰۷۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱**
عمق	۱	۷/۶۴۵**	۰/۱۴۸**	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>
فاصله* عمق	۵	۰/۳۵۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۳۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>
خطا	۲۲	۰/۲۸۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹	۰/۰۰
ضریب تغییرات (%)	-	۱/۴۵	۱/۵۶	۸/۶۸	۱۱/۶۸

\*\*، \*، ns، به ترتیب معنی دار در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی دار.

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 نمونه برداری شده باشد که تأثیر فاصله از جاده را کم رنگ نموده است (رشید شمالی و خداوردی لو ۱۳۹۱). بنابراین می توان 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 به طور 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 (۰-۵ سانتی متری) بیشتر از خاک لایه زیرین آن (۵-۱۵ سانتی متری) بود. برای مثال در فاصله ۵ متری، مقادیر غلظت سرب کل به ترتیب برای لایه سطحی و زیرین آن ۳۸/۸۶ و ۳۷/۱۴ به دست آمد (شکل ۱). انتشارهای خودروبی منبع اصلی آلودگی بوده و در مناطقی با شرایط پایدارتر آب و هوایی، توزیع سرب خاک به طور مشخص با افزایش فاصله از جاده کاهش می یابد و سرب بیشتر در ۵ سانتی متر اول عمق خاک تجمع می یابد (الچابی و هاوکر ۲۰۰۰). آلووی (۱۹۹۰) مقدار سرب خاک سطحی را ۱۲۸ تا ۷۰۰ میلی-

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 به اندازه و وزن ذرات تولید شده توسط خودروها دانستند و بیان کردند هر موج تا جایی ادامه دارد که مستهلک شده و یا به مانعی برخورد کند. رحمانی و همکاران (۱۳۷۴) بیان داشتند، بالا بودن سرب در حاشیه جاده را احتمالاً می توان 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 به صورت نمایی کاهش می یابد که این کاهش غلظت با فاصله در سمت غرب جاده بیشتر از سمت شرق بود که احتمالاً 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، می توان 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 کرده اند. 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 قابل جذب نیز به دست آمد (جدول ۲).

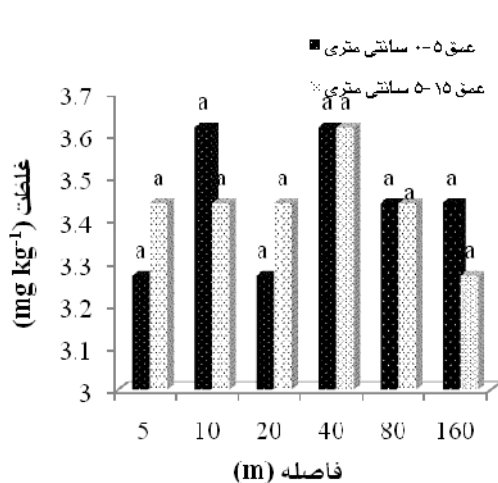
گیاه کنار جاده و کاهش آن با عمق خاک را گزارش نمود. مقدار کادمیوم با افزایش عمق تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۲).

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

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

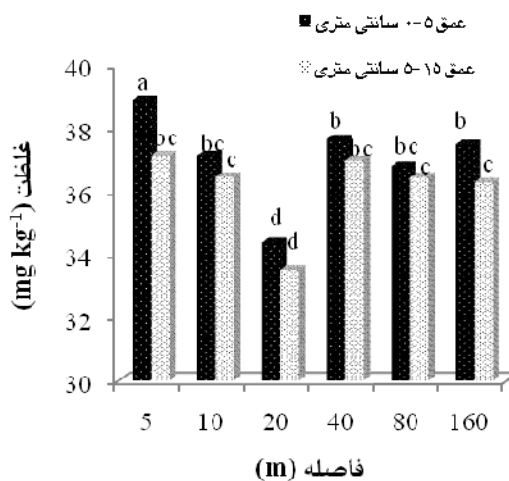
فاصله (m)	سرب		کادمیوم	
	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب
۵	۳۸/۸۶ <sup>a</sup>	۳/۷۹ <sup>a</sup>	۳/۲۷ <sup>a</sup>	۰/۰۸۶ <sup>bc</sup>
۱۰	۳۷/۱۴ <sup>bc</sup>	۳/۴۸ <sup>cd</sup>	۳/۶۱ <sup>a</sup>	۰/۰۸۶ <sup>bc</sup>
۲۰	۳۴/۳۷ <sup>d</sup>	۳/۳۹ <sup>d</sup>	۳/۲۷ <sup>a</sup>	۰/۱ <sup>ab</sup>
۴۰	۳۷/۶۵ <sup>b</sup>	۳/۵۷ <sup>bc</sup>	۳/۶۳ <sup>a</sup>	۰/۱ <sup>ab</sup>
۸۰	۳۶/۷۹ <sup>bc</sup>	۳/۴۴ <sup>d</sup>	۳/۴۴ <sup>a</sup>	۰/۱۱۳ <sup>a</sup>
۱۶۰	۳۷/۴۸ <sup>b</sup>	۳/۴۹ <sup>cd</sup>	۳/۴۴ <sup>a</sup>	۰/۰۹۳ <sup>bc</sup>

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



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.



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

تجزیه واریانس مقادیر غلظت عناصر سرب و کادمیوم در ریشه، اندام هوایی و دانه گیاه کلزا تحت فاکتور فاصله از جاده در جدول ۳ گزارش شده است. بر اساس این جدول، غلظت سرب با فاصله 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

غلظت سرب و کادمیوم در اندام‌های گیاهی کلزا ذرات سرب منتشره از آگزوز اتومبیل‌ها به دو طریق گیاهان اطراف جاده را آلوده می‌سازند: یکی رسوب بر سطح خاک و جذب آن به وسیله ریشه گیاه است و دیگری رسوب بر روی اندام هوایی گیاه از هوا (حقیقت و قدوسی ۱۳۶۴، پندیاز و پندیاز ۱۹۹۲) نتایج

اکسیداسیون و احیا، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم، شوری، نوع رس، گونه و یا ارقام گیاهی اشاره نمود (آلوی ۱۹۹۰).

بوده اما کادمیوم برای اندام هوایی تفاوت معنی‌داری نشان نداد. از مهم‌ترین عوامل خاکی و گیاهی مؤثر بر قابلیت جذب کادمیوم توسط گیاه می‌توان به میزان کل کادمیوم، منشأ کادمیوم خاک، pH، پتانسیل

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) غلظت سرب و کادمیوم ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) 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	۰/۰۵۹	۰/۰۱۵	۰/۰۰
فاصله	۵	۲/۵۵۳**	۱۵/۲۷۳**	۷/۵۹**	۰/۲۸ <sup>ns</sup>	۰/۲۰۶**	۰/۱۹۱*
خطا	۱۰	۰/۳۰۴	۰/۹۱۲	۰/۰۹۹	۰/۱۲۸	۰/۰۱۵	۰/۰۴۸
ضریب تغییرات (%)	-	۳/۶۱	۴/۹۵	۲/۸۴	۱۵/۶۵	۹/۲۲	۱۶/۵۲

ns و \*\*، به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

تحقیقات بسیاری وجود دارند که غلظت سرب را در گیاهان کنار جاده بالا گزارش کرده و به کاهش آن با فاصله از جاده اشاره کرده‌اند (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 به ترتیب 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 به صورت اندام‌هوایی < ریشه < دانه مرتب نمود (جدول ۴). سرب در خاک چندان محلول نیست با این حال 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 گزارش شده است (خادم حقیقت و قدوسی ۱۳۶۴).

مقایسه میانگین غلظت فلزات سرب و کادمیوم برای فواصل مختلف از جاده در جدول ۴ گزارش شده است بر اساس گزارش‌ها این جدول فلز سرب در گیاه کلزا با افزایش فاصله رویش از لبه جاده کاهش یافته اما این روند کاهش به صورت کاملاً منظم نبوده به طوری که در فواصل ۴۰ و ۱۶۰ متری افزایش پیدا کرده است. وزش باد از عوامل مؤثر بر تجمع سرب هست که از عوامل مهم پراکنده شدن سرب در منطقه است اما کوه به عنوان 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 اندام‌هوایی 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 به ترتیب 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 با فاصله گرفتن از جاده در مناطق مورد بررسی نشان‌گر این واقعیت است که منشأ سرب در گیاه از سرب خارج شده از آگزوز وسایط نقلیه است.



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

کادمیوم		سرب		فاصله (m)
اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	
دانه	دانه	دانه	دانه	۵
۱/۰۴ <sup>b</sup>	۲/۵۶ <sup>a</sup>	۱/۳۹ <sup>ab</sup>	۱۰/۸ <sup>c</sup>	۱۰
۱/۰۴ <sup>b</sup>	۱/۹۷ <sup>ab</sup>	۱/۵۹ <sup>ab</sup>	۹/۷۴ <sup>d</sup>	۲۰
۱/۲۱ <sup>b</sup>	۱/۷۷ <sup>b</sup>	۱/۱۹ <sup>b</sup>	۸/۹۹ <sup>e</sup>	۴۰
۱/۵۶ <sup>a</sup>	۲/۳۶ <sup>ab</sup>	۱/۱۹ <sup>b</sup>	۱۳/۳۷ <sup>a</sup>	۸۰
۱/۵۶ <sup>a</sup>	۱/۹۷ <sup>ab</sup>	۱/۱۹ <sup>b</sup>	۱۱/۲۷ <sup>c</sup>	۱۶۰
۱/۵۶ <sup>a</sup>	۲/۳۶ <sup>ab</sup>	۱/۷۹ <sup>a</sup>	۱۲/۱۷ <sup>b</sup>	
			۲۲/۲۹ <sup>a</sup>	
			۱۶/۵۵ <sup>a</sup>	

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

#### 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<sup>۲</sup> (BCF) و فاکتور انتقال<sup>۳</sup> (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).

#### 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 استاندارد اروپا<sup>۱</sup> (EU) ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (بی‌نام ۱۹۷۸). 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 (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، زیمدهلو اسکوگرو 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.

<sup>۲</sup> biological concentration factor

<sup>۳</sup> transformation factor

<sup>۱</sup> European Commission (EU)

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.

سرب					درجه آزادی	منابع تغییرات
TF <sub>seed</sub>	TF <sub>shoot</sub>	BCF <sub>seed</sub>	BCF <sub>shoot</sub>	BCF <sub>root</sub>		
۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۲	تکرار
۰/۰۱۰**	۰/۰۳۳*	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۱**	۵	فاصله
۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۱۰	خطا
۴/۷۹	۶/۷۵	۳/۹۳	۵/۷۹	۳/۲۱	-	ضریب تغییرات (%)
کادمیوم					درجه آزادی	منابع تغییرات
TF <sub>seed</sub>	TF <sub>shoot</sub>	BCF <sub>seed</sub>	BCF <sub>shoot</sub>	BCF <sub>root</sub>		
۰/۰۲۱	۰/۰۲۸	۰/۰۰۷	۰/۰۱۳	۰/۰۰۴	۲	تکرار
۰/۰۷۵ <sup>NS</sup>	۰/۰۲۳ <sup>NS</sup>	۰/۰۱۶**	۰/۰۲۹ <sup>NS</sup>	۰/۰۱۶ <sup>NS</sup>	۵	فاصله
۰/۰۳۳	۰/۱۴۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۱۰	۱۰	خطا
۲۸/۳۴	۲۳/۴۰	۷/۵۶	۱۹/۱۴	۲۴/۸۴	-	ضریب تغییرات (%)

\*\*\*، \* و NS، به ترتیب معنی دار در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی دار.

کادمیوم از ریشه به اندام هوایی در همه فواصل بالاتر از یک به دست 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 اندام هوایی به دانه در تمام فواصل مورد بررسی 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 تجمع‌دهنده-ی 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 مدت زمان 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.

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 به ترتیب ۰/۴۳ و ۰/۵۹ بود در حالی که 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 افزایش یافته 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 به ترتیب ۰/۵۱ و ۰/۴۵ بود در حالی که 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

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.

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

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

### نتیجه‌گیری کلی

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.

مقدار سرب در خاک و گیاه با افزایش فاصله از حاشیه جاده کاهش یافت. اما این کاهش روند منظمی نداشت که احتمالاً به دلیل 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

### منابع مورد استفاده

- 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.

- 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 خداوردی لوح، ۱۳۹۱. آلودگی خاک‌ها و گیاهان پیرامون بزرگراه ارومیه- سلماس به برخی فلزهای سنگین. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۳، صفحه‌های ۱۵۷ تا ۱۷۲.
- سامانی مجد س، تائبی ا و افیونی م، ۱۳۸۶. آلودگی خاک خیابان‌های شهری به سرب و کادمیوم. محیط شناسی، جلد ۲۳، 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 Monitoring 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.

- 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 Iori 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 Schwartz C, 2005. Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in Yunnan. China. Environmental International 31: 755-762.