

## آلودگی خاک حاشیه خیابان‌های شهری به سرب و کادمیوم

سعید سامانی مجد\*<sup>۱</sup>، امیر تائبی<sup>۲</sup>، مجید افیونی<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران محیط زیست، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۸۵/۰۴/۵ تاریخ تصویب: ۸۵/۱۲/۱

### چکیده

افزایش شهرنشینی و تمرکز جمعیت و به دنبال آن افزایش حمل و نقل در شهرها آثار ناگوار زیادی بر شرایط زیستی محیط شهری دارد. بخشی از آلودگی که از طرف حمل و نقل و راهها به محیط وارد می‌شود مربوط به آلاینده‌های فلزات سنگین همچون سرب و کادمیوم است. هدف این تحقیق، بررسی میزان و روند توزیع آلاینده‌های سرب و کادمیوم در خاک حاشیه خیابان‌های شهری است. بدین منظور چهار سایت در حاشیه خیابان‌های شهر اصفهان انتخاب شدند و در آنها نمونه‌های خاک در سطح (۰ تا ۵ سانتیمتر) و در عمق (۵۰ تا ۵۵ سانتیمتر) تا فاصله ۵۰ متری از لبه خیابان‌ها برداشت شدند. نتایج بررسی آماری داده‌های مربوط به مقادیر سرب و کادمیوم نمونه‌ها نشان داد که خاک حاشیه خیابان‌ها به فلزات سنگین آلوده بوده، به طوری که استاندارد حداکثر مجاز این فلزات در خاک کشاورزی را تأمین نمی‌کند. مشاهده شد که غلظت سرب و کادمیوم خاک در هر سایت با افزایش فاصله از لبه خیابان به طور غیر خطی کاهش می‌یابد از تحلیل رگرسیون داده‌های نرمال شده غلظت سرب و کادمیوم، مدل رگرسیون لگاریتمی، به عنوان الگوی مناسبی برای توزیع غلظت این فلزات در خاک حاشیه خیابان‌ها شناسایی شد. نتایج این تحقیق می‌تواند در معماری و طراحی شهری، برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری و مدیریت حمل و نقل و کنترل ترافیک شهری استفاده شود.

### واژه‌های کلیدی

محیط زیست شهری، آلودگی ترافیکی، آلودگی خاک، سرب، کادمیوم، مشهد، اصفهان، تحلیل رگرسیون

### سرآغاز

انسان داشته و عوارض متعددی همچون بیماری‌های خونی، عصبی و استخوانی ایجاد می‌کنند (Sarkar, 2002). با توجه به سمی بودن و دیگر آثار سوء فلزات سنگین بر سلامتی انسان و دیگر جانداران، حضور آنها در خاک حاشیه جاده‌ها و بزرگراه‌های برون‌شهری مورد مطالعه چندین محقق قرار گرفته است. در این مطالعات، اثر عوامل مختلف بر مقدار و چگونگی روند توزیع غلظت فلزات سنگین در خاک حاشیه راه‌ها نیز بررسی شده است.

رحمانی (۱۳۷۴) با انتخاب ۴ سایت در بزرگراه‌های برون‌شهری در ایران، مقدار سرب خاک را در حالت‌های مختلف ترکیبی در فواصل مختلف از بزرگراهها مورد مطالعه قرار داد و دریافت که خاک اطراف بزرگراهها به سرب خودرویی آلوده است و این آلودگی با فاصله گرفتن از بزرگراهها کاهش می‌یابد.

Ward و همکاران (1975) مقدار غلظت سرب خاک اطراف

یکی از منابع اصلی تولید فلزات سنگین در شهرها خودروها هستند که با تولید آلاینده‌ها و وارد کردن آنها به محیط و به خصوص هوا، باعث آلودگی خاک اطراف راهها می‌شوند (Fakayode et al., 2003). در بین عناصر سنگین، فلزات کادمیوم و سرب به دلیل نیمه عمر طولانی در بدن انسان و دیگر حیوانات و سمی بودن زیاد از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

سرب عموماً در نتیجه استفاده از سوخت‌های بنزینی سرب‌دار وارد محیط شهری می‌شود. در سالهای اخیر به دلیل حذف سرب از بنزین، ورود آن به محیط شهری کاهش چشمگیری داشته است، اما همچنان انباشت پیشین آن در محیط باقی است. کادمیوم نیز که در تایر خودروها وجود دارد از طریق استهلاک خودروها و ترافیک به محیط شهری وارد می‌شود. هردوی این فلزات اثر سمی بودن در بدن

آلودگی در خاک حاشیه خیابان هاست. نتایج این تحقیق و تحقیقات مشابه می‌تواند در شهرسازی و برنامه‌ریزی زیرساخت‌های شهری، طراحی معماری خیابان‌ها و پیاده‌روها، مدیریت کاربری اراضی شهری و مدیریت ترافیک شهری استفاده شود.

### مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه مقدار و چگونگی روند توزیع سرب و کادمیوم کل در خاک حاشیه خیابان‌های شهری، در کلانشهر اصفهان، چهار سایت در حاشیه خیابان‌های با حجم ترافیکی متفاوت انتخاب شدند. خاک این سایت‌ها دست نخورده و حداقل عمق (عمود بر محور خیابان) ۵۰ متر و عرض (موازی محور خیابان) ۳۰ متر را دارا بودند و هیچ‌گونه کارگاه صنعتی، یا منبع انتشار فلزات مورد نظر غیر از انتشارهای ترافیکی در اطراف سایت‌ها وجود نداشت. جدول شماره (۱) اسامی، آدرس و حجم ترافیک عبوری از سایت‌ها را ارائه می‌دهد.

از خاک هر سایت، نمونه‌گیری سطحی (۵cm - ۰) در فواصل ۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۸، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ متری و نمونه‌برداری عمقی (۵۰ تا ۵۵ سانتیمتری) در فواصل ۱، ۱۵، ۵۰ متری از لبه داخلی جدول خیابان انجام شد. نمای شماتیک معماری مقاطع عرضی سایت‌های انتخاب شده در شکل شماره (۱) ارائه شده است.

برای نمونه‌برداری از خاک هر نقطه از روش نمونه‌برداری خطی استفاده شد که در آن سه نمونه یکسان روی خطی موازی محور خیابان و به مرکزیت نقطه اصلی و به فاصله ۲۵ سانتیمتر از یکدیگر برداشت و مخلوط شدند. نمونه‌های جمع‌آوری شده در آزمایشگاه ابتدا عصاره‌گیری شده و سپس غلظت‌های سرب کل و کادمیوم کل آنها با دستگاه اسپکتروسکوپی جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. روش‌های عصاره‌گیری و اندازه‌گیری غلظت فلزات سرب و کادمیوم مطابق روش‌های استاندارد (Page et al., 1982) در آزمایشگاه صورت گرفت، به طوری که نمونه‌های خاک خشک شده در هوای باز به مدت سه روز، کوبیده و خرد و با الک شماره ۶۰ الک شدند.

از هر نمونه، ۱ گرم خاک با ۲۰ میلی لیتر مخلوط ۱:۱ اسیدهای غلیظ نیتریک (HNO<sub>3</sub>) و هیدروفلوریک (HF) در یک ظرف دهان گشاد ترکیب و پس از خشک شدن در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد خشک شدند.

به ماده خشک باقیمانده در ظرف‌ها ۲۰ میلی لیتر اسید کلریدریک ۲ مولار اضافه شد و پس از همزدن با همزن‌های پلاستیکی، از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شد.

بزرگراه ایالتی نیوزلند را اندازه‌گیری کردند و دریافتند که غلظت سرب در خاک حاشیه بزرگراه به طور نمایی با افزایش فاصله کاهش می‌یابد. در مطالعه دیگری Ward و همکاران (1977) در وایورو نیوزلند به مطالعه وجود فلزات سنگین کادمیوم، کروم، مس، سرب، نیکل و روی در خاک و گونه‌های گیاهی حاشیه خیابان‌ها پرداختند و مشاهده کردند که غلظت فلزات کروم، مس، سرب و روی در خاک و گیاه اطراف خیابان‌ها به طور کاملاً مشخصی با ترافیک ارتباط دارند، لیکن این ارتباط در مورد کادمیوم و نیکل ضعیف است.

Carlosena و همکاران (1998) در لاکرونا اسپانیا با برداشت ۹۲ نمونه خاک به مطالعه اثر ترافیک خودرویی روی محتوای فلزی خاک‌های حاشیه خیابان‌ها اقدام کردند. تحلیل چند متغیره مقادیر غلظت‌ها بر اساس ارتباطشان با ترازهای مختلف ترافیک خیابانی نشان داد که سرب، کادمیوم، مس و روی تحت اثر انتشارهای ترافیکی رفتار مشابهی دارند.

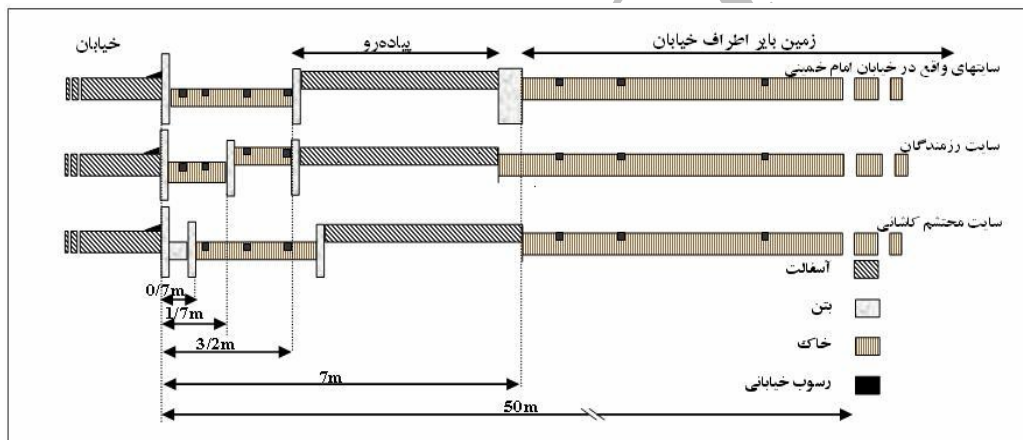
Al-Chalabi و Hawker (2000) نمونه‌هایی را از خاک سه سایت در منطقه شهری بریسبان استرالیا جمع‌آوری کرده و روند توزیع سرب خودرویی را در اطراف جاده‌ها مورد مطالعه قرار دادند. نتایج کار حاکی از آن بود که انتشارهای خودرویی منبع اصلی آلودگی بوده است و در مناطقی با شرایط پایدارتر آب و هوایی، توزیع سرب خاک به طور مشخص با افزایش فاصله از خیابان کاهش یافته است. همچنین در این تحقیق ملاحظه شد که سرب در ۵cm اول عمق خاک تجمع یافته است.

Olu-Owolabi و Fakayode (2003) آلودگی خودرویی خاک حاشیه خیابان‌های شهر اوسگبو نیجریه را مطالعه کرده و با انتخاب ۳۹ سایت با حجم ترافیکی متفاوت روند پخش فلزات روی، نیکل، مس، کادمیوم و سرب را در فواصل ۵، ۱۵، ۳۰ و ۵۰ متری از خیابان‌ها اندازه‌گیری کردند. دسته بندی غلظت‌ها با توجه به حجم ترافیکی نشان داد که با افزایش فاصله از خیابان‌ها تا فاصله ۵۰ متری، غلظت فلزات خاک به طور سریع کاهش می‌یابد.

در ایران، هر چند رحمانی (۱۳۷۴) وضعیت آلودگی خاک اطراف جاده‌های برون شهری را بررسی کرد، ولی نتایج این چنین مطالعه‌ای، با توجه به تفاوت‌های راه‌های شهری و برون شهری از نظر محیطی و ترافیکی، نمی‌تواند در محیط شهری استفاده شود. یکی از اهداف این تحقیق، بررسی میزان آلودگی خاک حاشیه خیابان‌های شهری به دو فلز سنگین سرب و کادمیوم است که در شهرها به طور مشخص منشاء خودرویی و ترافیکی دارند. هدف دیگر تحقیق، بررسی مدل توزیع

جدول شماره (۱): اسامی، آدرس و حجم ترافیک روزانه سایت‌های منتخب

شماره سایت	نام سایت	موقعیت	حجم ترافیک روزانه (veh/d)
۱	خیابان رزمندگان	۵۰۰ متر بعد از خیابان رباط	۱۲۵۰۰
۲	خیابان امام خمینی	۱۵۰ متر قبل از خیابان خانه اصفهان از طرف میدان جمهوری	۴۰۵۰۰
۳	خیابان امام خمینی	حدود یک کیلومتر قبل از پارک قلمستان به طرف میدان جمهوری	۳۹۴۰۰
۴	خیابان محتشم کاشانی	۴۰۰ متر بعد از چهار راه شریعتی	۳۰۴۰۰



شکل شماره (۱): نمای شماتیک معماری مقاطع عرضی سایت‌های منتخب

در خاک سطحی حاشیه خیابان‌ها در مقایسه با توزیع سرب در خاک عمقی در بازه وسیع‌تری پخشیدگی دارد، به طوری که توزیع سرب در خاک سطحی حاشیه خیابان‌ها در مقایسه با توزیع سرب در خاک زمینه با گرایش به سمت مقادیر بیشتر، رفتار کاملاً متفاوتی را نشان می‌دهد.

از مقایسه توزیع سرب در خاک عمقی با توزیع زمینه دیده می‌شود که خاک عمقی نیز توزیعی خارج از توزیع زمینه یافته است. بر اساس این شکل بیش از ۹۰ درصد از مشاهدات مربوط به غلظت سرب مقادیری بیشتر از مقادیر زمینه دارند.

شکل شماره (۳) توزیع فراوانی نسبی کادمیوم کل را در خاک سطحی و عمقی حاشیه خیابان‌های شهر اصفهان نشان می‌دهد. این شکل توزیع زمینه را نیز برای کادمیوم در خاک نشان می‌دهد. همان‌طور در این شکل دیده می‌شود، هر دو توزیع سطحی و عمقی کادمیوم، توزیعی خارج از توزیع زمینه خود یافته‌اند. از مقایسه دو شکل شماره (۲) و (۳) ملاحظه می‌شود که توزیع سرب بیش از توزیع کادمیوم از توزیع زمینه خارج شده‌است

## نتایج و بحث

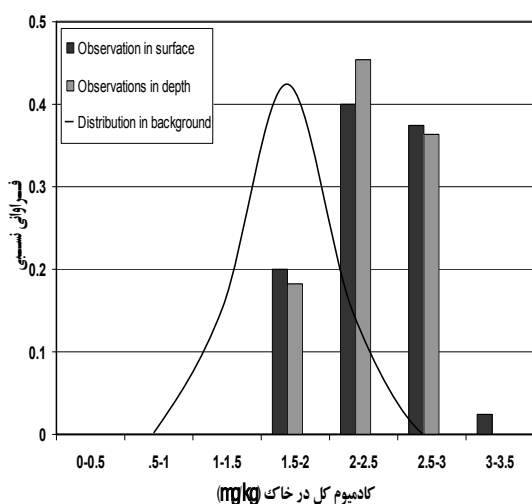
مشخصات آماری غلظت سرب و کادمیوم کل در خاک سایت‌های مورد مطالعه در جدول شماره (۲) نشان داده شده است. مقادیر زمینه به مناطق بیابانی و دور دست شهر اصفهان ارتباط دارد و از نتایج مطالعات افیونی و همکاران (۱۳۸۱) کسب شده است. بر اساس جدول شماره (۲) ملاحظه می‌شود که میانگین غلظت سرب بمراتب بیشتر از میانگین غلظت کادمیوم است. میانگین غلظت‌های سرب و کادمیوم نمونه‌های سطحی از نمونه‌های عمقی بیشتر است و میانگین نمونه‌های سرب و کادمیوم سطحی و عمقی هر دو از مقادیر زمینه بیشترند، در ضمن درصد اختلاف غلظت‌های سطحی و عمقی برای سرب بیش از کادمیوم است.

در شکل شماره (۲) توزیع فراوانی نسبی (احتمال) سرب کل در خاک سطحی و عمقی حاشیه خیابان‌های شهر اصفهان ارائه شده است. این شکل منحنی توزیع سرب در خاک زمینه را نیز نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، نمودار توزیع سرب

جدول شماره (۲): مشخصات آماری کل داده‌های غلظت سرب و کادمیوم کل خاک تا فاصله ۵۰ متری حاشیه خیابان‌های شهر اصفهان (بر حسب mg/kg)

زمینه*		عمق (۵۰ تا ۵۵ سانتیمتر)		سطح (۵ تا ۱۰ سانتیمتر)		مشخصات آماری
Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	
۴۰	۴۰	۱۱	۱۱	۴۰	۴۰	تعداد نمونه
۲/۰۲	۲۸/۹۱	۲/۳۵	۱۰۳/۰۸	۲/۴۱	۱۲۶/۸۲	میانگین
۱/۸	۲۸/۶۵	۲/۲	۵۸/۵۵	۲/۴	۸۶/۸۵	میانه
۰/۵۵	۱۰/۸۷	۰/۳۴	۷۳/۸۳	۰/۳۷	۸۲/۷۷	انحراف معیار
۰/۵۸	۱۲/۱	۰/۴	۷۸/۰۶	۰/۴	۱۲۴/۴۱	فاصله چارکی <sup>۱</sup>
۰/۶	۷/۳	۱/۸	۴۷/۴۹	۱/۸	۳۵/۷۸	حداقل
۲/۷	۵۷/۸	۳/۰	۲۴۷/۲۰	۳/۴	۳۲۵/۲۶	حداکثر
۲/۱	۵۰/۵	۱/۲	۱۹۹/۷۱	۱/۶	۲۸۹/۴۸	دامنه

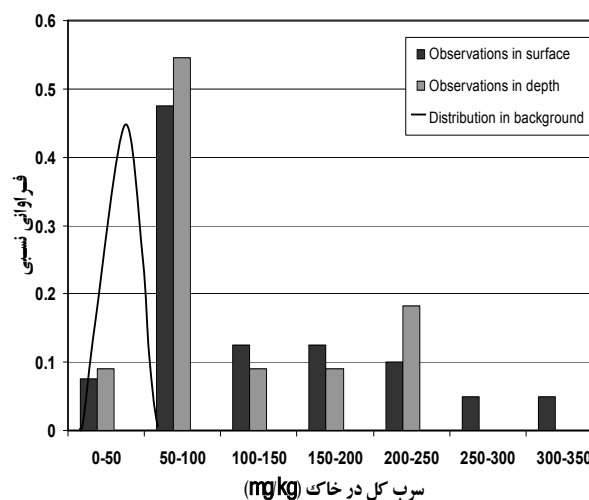
\* مقادیر زمینه مربوط به مناطق بیابانی و دور دست شهر اصفهان است



شکل شماره (۳): توزیع فراوانی نسبی کادمیوم کل در خاک سطحی و عمقی تا فاصله ۵۰ متری حاشیه خیابان‌های شهری

آماري آزمون t استفاده شده است.

در (جدول شماره ۳) نتایج مقایسه آماری میانگین غلظت‌های



شکل شماره (۲): توزیع فراوانی نسبی سرب کل در خاک سطحی و عمقی تا فاصله ۵۰ متری حاشیه خیابان‌های شهری

برای آنکه مشخص شود که آیا ترافیک تأثیر چشمگیری در آلودگی خاک حاشیه خیابان‌ها به فلزات سنگین دارد یا نه، از روش

که پیش بینی می شود غلظت‌های سرب و کادمیوم اندازه‌گیری شده مساوی یا بیش از مقادیر زمینه باشند.

در آزمون  $t$ ، چنانچه  $t$  محاسبه شده ( $t_{cal}$ ) بیش از  $t$  بحرانی ( $t_{cri}$ ) باشد، میانگین‌ها از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند.

سرب و کادمیوم نمونه‌ها با میانگین نمونه‌های زمینه با روش آماری آزمون  $t$  در سطح معنی‌داری ۵ درصد (سطح اطمینان ۹۵ درصد) نشان داده شده‌است.

در این مقایسه آماری، احتمال یکطرفه استفاده شده است، چرا

### جدول شماره (۳): آزمون $t$ یکطرفه برای مقایسه میانگین‌های غلظت سرب و کادمیوم خاک تا ۵۰ متری از خیابان با مقادیر زمینه در سطح

#### معنی داری ۵ درصد

موقعیت نمونه‌ها	تعداد مشاهدات	میانگین، mg/kg	انحراف معیار، mg/kg	درجات آزادی	$t_{cal}$	$t_{cri}$
سرب						
زمینه	۴۰	۲۸/۹۱	۱۰/۸۷			
خاک سطحی	۴۰	۱۲۶/۸۲	۸۲/۷۷	۷۸	۶/۲۸	۱/۶۶
خاک عمقی	۱۱	۱۰۳/۰۸	۷۳/۸۳	۴۹	۴/۴۸	۱/۶۸
کادمیوم						
زمینه	۴۰	۲/۰۲	۰/۵۵			
خاک سطحی	۴۰	۲/۴۱	۰/۳۷	۷۸	۲/۲۰	۱/۶۶
خاک عمقی	۱۱	۲/۳۵	۰/۳۴	۴۹	۱/۲۴	۱/۶۸

کشورهای مختلف از جمله Celick و همکاران (2005) در ترکیه، Ndiokwere (1984) در نیجریه و Harrison و همکاران (1981) در انگلیس همخوانی دارد

مقادیر غلظت سرب و کادمیوم کل در خاک اطراف خیابان‌های شهر اصفهان را باید با مقادیر حداکثر غلظت قابل قبول آنها در خاک‌های کشاورزی مقایسه کرد.

این مقایسه از آن جهت مفید است که معمولاً آبراهه‌های اطراف خیابان‌ها، محل کاشت درختچه، درختان و گاهی چمن و گل است و نیز حاشیه خیابان‌ها در مواردی برای ایجاد فضای سبز استفاده می‌شود، بنابراین خاک آنها باید از استاندارد خاک کشاورزی برخوردار باشد.

نظر به اینکه در ایران تاکنون برای حد مجاز غلظت فلزات سنگین در خاک کشاورزی استاندارد ارائه نشده است، غلظت سرب و کادمیوم خاک حاشیه خیابان‌های شهر اصفهان با استاندارد چند کشور پیشرفته مقایسه می‌شود (جدول شماره ۴).

در جدول شماره (۳) ملاحظه می‌شود که میانگین غلظت سرب خاک حاشیه خیابان‌ها، در سطح و همچنین در عمق با مقدار زمینه آن دارای اختلاف معنی‌دار، در سطح معنی‌داری ۵ درصد است، بنابر این، خاک حاشیه خیابان‌ها تحت تأثیر منابع آلاینده قرار گرفته و به دلیل اینکه مجموعه نمونه‌ها درون شهر قرار دارند، عوامل انسانی، بخصوص ترافیک دلیل ورود این آلاینده‌ها به محیط هستند. غلظت کادمیوم خاک سطحی نیز اختلاف معنی‌داری با مقادیر زمینه دارد ( $t_{cal} = 2/20 > t_{cri} = 1/66$ )، هر چند در مورد خاک عمقی این اختلاف معنی‌دار نیست.

بنا بر این در مورد کادمیوم، به نظر می‌رسد که عوامل ترافیکی اثر کمتری روی آلودگی خاک حاشیه خیابان‌ها به این فلز دارند.

آنچه در مورد آلودگی خاک حاشیه خیابان‌های شهر اصفهان به فلزات سرب و کادمیوم مشاهده شد با مشاهدات چند محقق دیگر در

**جدول شماره (۴): مقایسه غلظت سرب و کادمیوم کل در خاک سطحی و عمقی حاشیه خیابان‌های شهر اصفهان با مقادیر استاندارد خاک کشاورزی**

مکان	مشخصه آماری	غلظت (mg/kg)	
		Cd	Pb
زمینه	میانگین	۲/۰۲	۲۸/۹۱
خاک سطحی، اصفهان	حداکثر	۳/۴	۳۲۵/۲۶
	میانگین	۲/۴۱	۱۲۶/۸۲
خاک عمقی، اصفهان	حداکثر	۳	۲۴۷/۲۰
	میانگین	۲/۳۵	۱۰۴/۰۸
استرالیا	MAC*	۵	۱۰۰
کانادا	MAC	۸	۲۰۰
ژاپن	MAC	-	۴۰۰
انگلیس	MAC	۱	۱۰۰
آلمان	MAC	۲	۵۰۰

\* حداکثر غلظت قابل قبول وجود فلزات سنگین در خاک کشاورزی

در جدول شماره (۴) ملاحظه می‌شود که میانگین غلظت سرب و کادمیوم کل در خاک سطحی و عمقی از حد مجاز کشورهای استرالیا و انگلیس فراتر رفته است. مقادیر کادمیوم نیز در همه موارد از حد مجاز کشور آلمان بیشتر اند

با توجه به شکل شماره (۲) و جدول شماره (۴) مشاهده می‌شود که نزدیک به ۴۷ درصد از نمونه‌های خاک سطحی حاشیه خیابان‌های اصفهان حاوی سرب بیش از حد مجاز کشورهای استرالیا و انگلیس هستند. همچنین با توجه به شکل شماره (۳) به ترتیب بیش از ۸۴ و ۸۲ درصد از نمونه‌های خاک در سطح و عمق دارای غلظت کادمیوم بیش از حد مجاز آلمان هستند.

آزمون t جفت شده در سطح معنی‌داری ۵ درصد با احتمال یکطرفه به منظور تعیین معنی‌داری اثر فاصله بر توزیع فلزات انجام شد. احتمال یکطرفه به این دلیل انتخاب شد که پیش بینی می‌شود فواصل نزدیک‌تر به خیابان‌ها دارای غلظت بیشتری نسبت به فواصل دورتر باشند. در هر سایت در ده فاصله، غلظت فلز خاک اندازه‌گیری شد، لیکن مقایسه همه آنها با یکدیگر ضروری نبود و فقط به مقایسه غلظت فلزات خاک در فواصل ۱، ۸، ۱۵ و ۵۰ متری پرداخته شد.

جدول شماره (۵) و (۶) نتایج آزمون جفت شده را برای مقایسه میانگین غلظت سرب و کادمیوم خاک در فواصل مختلف نشان می‌دهد.

**جدول شماره (۵): نتایج آزمون t جفت شده برای مقایسه میانگین غلظت سرب خاک در فواصل مختلف**

مشخصه	فاصله ۱ در مقابل ۸ متری		فاصله ۱ در مقابل ۱۵ متری		فاصله ۱ در مقابل ۵۰ متری		فاصله ۸ در مقابل ۱۵ متری		فاصله ۸ در مقابل ۵۰ متری		فاصله ۱۵ در مقابل ۵۰ متری	
	۲۱۱/۴۲	۱۲۰/۳۵	۲۱۱/۴۲	۱۰۴/۹۰	۲۱۱/۴۲	۵۸/۷۰	۲۱۱/۴۲	۱۰۴/۹۰	۲۱۱/۴۲	۵۸/۷۰	۲۱۱/۴۲	۱۰۴/۹۰
میانگین	۲۱۱/۴۲	۱۲۰/۳۵	۲۱۱/۴۲	۱۰۴/۹۰	۲۱۱/۴۲	۵۸/۷۰	۲۱۱/۴۲	۱۰۴/۹۰	۲۱۱/۴۲	۵۸/۷۰	۲۱۱/۴۲	۱۰۴/۹۰
مشاهدات	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
df	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
t <sub>cal</sub>	۲/۸۱	۲/۶۴	۲/۵۸	۱/۷۲	۲/۵۸	۲/۳۰	۲/۴۰	۲/۳۰	۲/۳۰	۲/۳۰	۲/۴۰	۲/۴۰
t <sub>cri</sub>	۲/۳۵۳	۲/۳۵۳	۲/۳۵۳	۲/۳۵۳	۲/۳۵۳	۲/۳۵۳	۲/۳۵۳	۲/۳۵۳	۲/۳۵۳	۲/۳۵۳	۲/۳۵۳	۲/۳۵۳
سطح معنی‌داری	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
احتمال	۰/۰۲۱	۰/۰۲۷	۰/۰۳۰	۰/۱۲۰	۰/۰۳۰	۰/۰۳۰	۰/۰۳۰	۰/۰۳۰	۰/۰۳۰	۰/۰۳۰	۰/۰۳۰	۰/۰۳۰

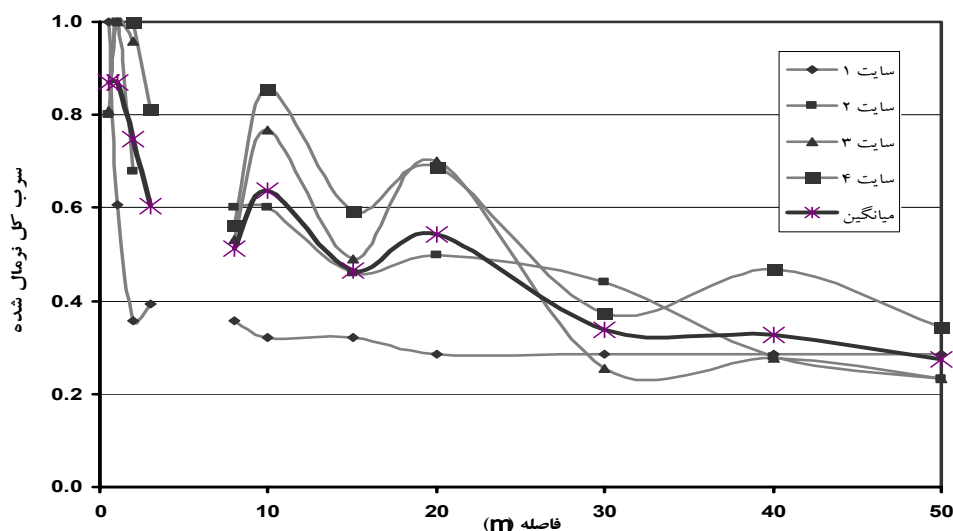
در جدول شماره (۵) مشاهده می‌شود که در سطح معنی‌داری ۵ درصد، اختلاف غلظت‌های سرب در فواصل ۱ در مقابل ۸، ۱۵ و ۵۰ متری و نیز در فواصل ۱۵ در مقابل ۵۰ متری، به دلیل بیشتر بودن  $t$  محاسبه شده از  $t$  بحرانی، معنی‌دار است. همچنین در فواصل ۸ متری در مقابل ۵ متری فقط احتمال به دست آمده مساوی سطح معنی‌داری ۵ درصد است و بنابراین این اختلاف در این فواصل نیز معنی‌دار است.

جدول شماره (۶): نتایج آزمون  $t$  جفت شده برای مقایسه میانگین غلظت کادمیوم خاک در فواصل مختلف

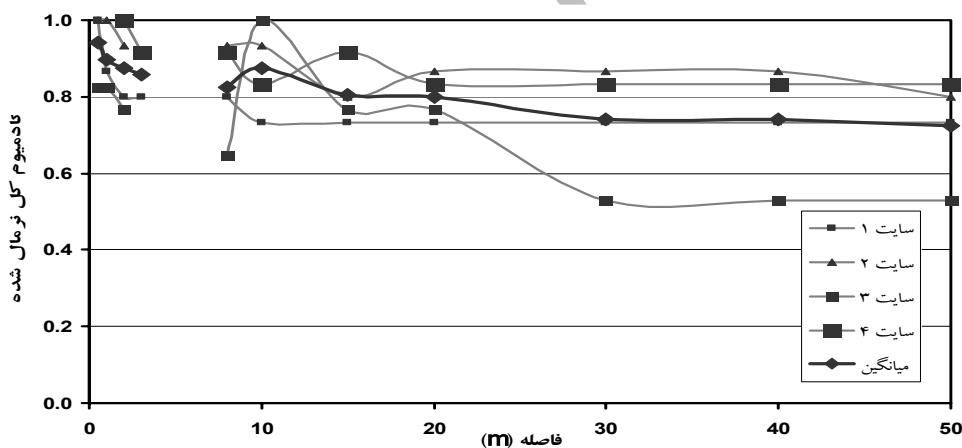
مشخصه	فاصله ۱ در مقابل ۸ متری		فاصله ۱ در مقابل ۱۵ متری		فاصله ۱ در مقابل ۵۰ متری		فاصله ۸ در مقابل ۱۵ متری		فاصله ۸ در مقابل ۵۰ متری	
میانگین	۲/۷	۲/۴	۲/۷	۲/۳۵	۲/۷	۲/۱۰	۲/۴	۲/۳۵	۲/۳۵	۲/۱۰
مشاهدات	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
df	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
$t_{cal}$	۲/۶۰	۴/۰۳	۳/۱۴۷	۱/۰۵۵	۳/۴۸	۲/۰۵۰				
$t_{cri}$	۲/۳۵۳	۲/۳۵۳	۲/۳۵۳	۲/۳۵۳	۲/۳۵۳	۲/۳۵۳				
سطح معنی‌داری	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵				
احتمال	۰/۰۲۹	۰/۰۰۳	۰/۰۱۲	۰/۳۱۹	۰/۰۰۷	۰/۰۷۱				

سایت‌ها موجی شکل است. نکته مهم منحنی‌ها این است که موقعیت قله‌های موج در تمام سایت‌ها تقریباً بر هم منطبق بوده و در فاصله‌های به نسبت یکسانی روی داده‌اند. این پدیده مربوط به اندازه و وزن ذرات تولید شده توسط خودروهاست که در اثر سرعت جریان ترافیک عبوری از مقطع خیابان و جریان‌های هوای چرخشی به وجود آمده در کنار خیابان، روی می‌دهد. هر موج تا جایی ادامه می‌یابد که مستهلک شده و غلظت‌ها به مقادیر زمینه برسند، یا به مانعی در حاشیه خیابان برخورد کند. نکته دیگری که در روند پخش فلزات سنگین در این سایت‌ها به نظر می‌رسد این است که غلظت‌ها در فاصله نیم متری، کمتر از فاصله یک متری هستند (شکل‌های شماره ۴ و ۵). این پدیده نیز به معماری خیابان‌ها و ارتفاع جدول‌های حاشیه آنها (شکل شماره ۲) و جریان چرخشی بوجود آورده در اثر عبور و مرور خیابانی در کنار جدول‌ها باز می‌گردد. از مقایسه دوشکل شماره (۴) و (۵)، ملاحظه می‌شود که روند موجی شکل توزیع فلزات در مورد ذرات حاوی سرب گویاتر از ذرات حاوی کادمیوم است که احتمالاً مربوط به تفاوت غلظت و دیگر مشخصات این دو فلز است.

با توجه به جدول شماره (۶)، اختلاف غلظت‌های کادمیوم در فواصل ۱ در مقابل ۸، ۱۵ و ۵۰ متری و نیز در فواصل ۸ در مقابل ۵۰ متری، به دلیل بیشتر بودن  $t$  محاسبه شده از  $t$  بحرانی، معنی‌دار است. به طور کلی از نتایج آزمون‌های  $t$  جفت شده نتیجه‌گیری می‌شود که فاصله از لبه خیابان یک مشخصه مؤثر بر غلظت فلزات سنگین خودرویی در خاک حاشیه خیابان‌هاست و هر چه فاصله از خیابان بیشتر شود، تأثیر آن کمتر می‌شود. نظر به این که بررسی روند توزیع فلزات سنگین ناشی از عوامل خودرویی در خاک حاشیه خیابان‌ها جزو اهداف این تحقیق است، غلظت‌های نرمال شده در مقابل فاصله در شکل‌های شماره (۵ و ۴) رسم شده‌اند. غلظت نرمال شده هر نقطه در هر سایت از تقسیم غلظت آن نقطه بر ماکزیمم غلظت در آن سایت به دست آمده است و مقادیر غلظت‌های نرمال شده همواره بین ۰ و ۱ هستند. با این منحنی‌ها امکان مطالعه و مقایسه بهتر روند توزیع غلظت‌ها، جدای از مقدار واقعی آنها به وجود می‌آید. با توجه به شکل‌های شماره (۴) و (۵) ملاحظه می‌شود که روند کاهش غلظت سرب و کادمیوم در همه



شکل شماره (۴): غلظت سرب کل نرمال شده در خاک حاشیه خیابان‌ها در مقابل فاصله از لبه خیابان



شکل شماره (۵): غلظت کادمیوم کل نرمال شده در خاک حاشیه خیابان‌ها در مقابل فاصله از لبه خیابان

شده در سایت طبق شکل‌های شماره (۴ و ۵)، معمولاً در فاصله یک متری،  $C/C_{max}$  غلظت نرمال شده،  $D$  فاصله از لبه خیابان برحسب متر و  $a_0$  و  $a_1$  ضرایب ثابت مدل هستند.

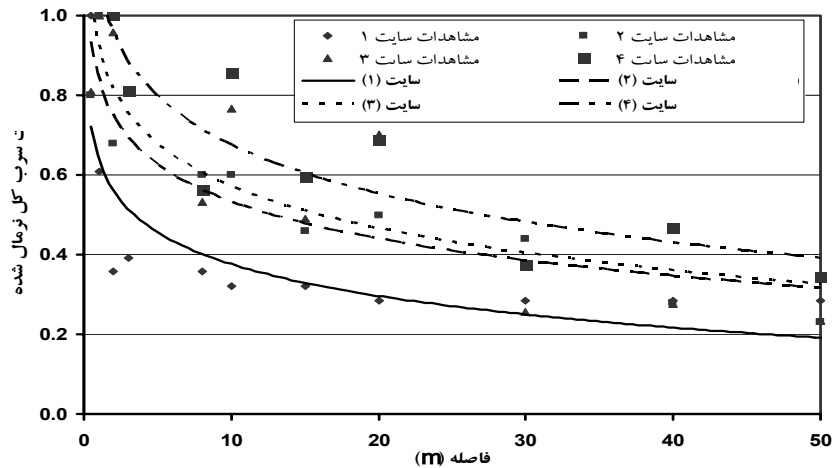
مقادیر ضرایب مدل ( $a_0$  و  $a_1$ ) برای هر سایت خاص از برازش معادله (۱) به داده‌های آن سایت به دست می‌آید. میانگین ضرایب تبیین  $R^2$  مربوط به برازش معادله (۱) به داده‌های چهار سایت مورد مطالعه شهر اصفهان برای سرب ۰/۹۱ و برای کادمیوم ۰/۸۹ است. در شکل‌های شماره (۶ و ۷)، رابطه (۱) به داده‌های غلظت نرمال شده سرب و کادمیوم در مقابل فاصله برازش شده است.

با بررسی روند تغییرات سرب و کادمیوم خاک نسبت به فاصله از خیابان (شکل‌های شماره ۴ و ۵)، مدل‌های رگرسیونی مختلفی همانند مدل‌های ساده خطی، توانی، چند جمله‌ای، نمایی و لگاریتمی به داده‌ها برازش شدند که در میان آنها مدل لگاریتمی زیر از سادگی و برازش به نسبت خوب به داده‌های تمام سایت‌ها، به عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب شد

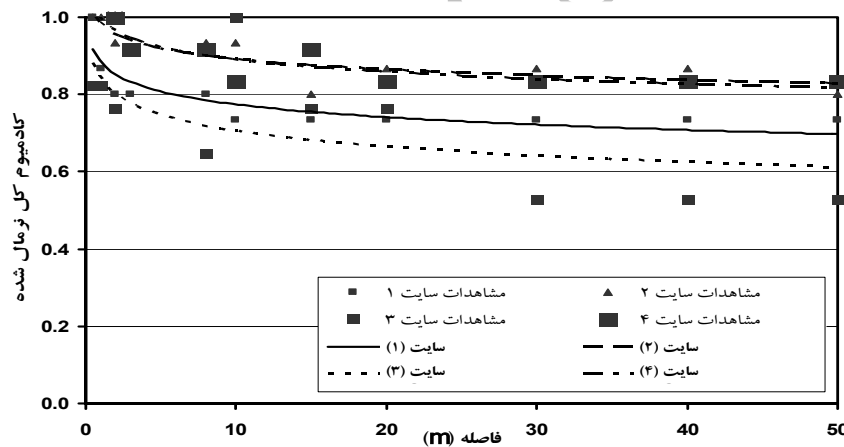
$$\frac{C}{C_{max}} = a_0 + a_1 \ln D \quad (1)$$

که در این رابطه  $C$  غلظت سرب، یا کادمیوم خاک بر حسب میلی گرم در کیلوگرم در فاصله  $D$ ،  $C_{max}$  حداکثر غلظت مشاهده





شکل شماره (۶): برازش رابطه لگاریتمی (۱) به غلظت نرمال شده سرب در مقابل فاصله در سایت های مختلف



شکل شماره (۷): برازش رابطه لگاریتمی (۱) به غلظت نرمال شده کادمیوم در مقابل فاصله در سایت های مختلف

صفر، رسوبات خیابانی انباشته می شود غلظت فلز سنگین در این رسوبات به دلیل جابه جایی ذرات فلزی درگیر شده در ذرات گرد و خاک با عملیات جاروی روزانه اطراف خیابان ها و نیز با جریان آب باران، نمی تواند نماینده مناسبی از مقدار فلز در فاصله صفر باشد.

#### نتیجه گیری

از این تحقیق، موارد زیر را می توان نتیجه گیری کرد:  
 - میانگین غلظت سرب و کادمیوم خاک حاشیه خیابان های شهری در سطح بیش از عمق است، لیکن درصد اختلاف غلظت فلز در نمونه های خاک سطحی و عمقی برای سرب بیش از کادمیوم است.  
 - از نظر آماری، بین میانگین غلظت سرب و کادمیوم در فاصله ۵۰ متری خیابان ها و مقادیر زمینه (محل های خارج از شهرها و دیگر منابع آلوده کننده) اختلاف معنی دار وجود دارد و در بیشتر مشاهدات

تحقیقات محدودی در زمینه مدل سازی روند توزیع فلزات سنگین در خاک حاشیه جاده ها و خیابان ها انجام گرفته است، اما از این میان می توان به مطالعه میدانی Ward و همکاران (1975) و مدل ارائه شده توسط آنها اشاره کرد. این مدل به صورت نمایی زیر است:

$$M(x) = M(0) \exp[-k(x)^{1/2}] \quad (2)$$

که در آن  $M(x)$  غلظت مازاد سرب خاک در فاصله  $x$  از بزرگراه،  $M(0)$  غلظت در فاصله صفر و  $k$  ضریب مدل است. در این مدل فرض بر آن است که در فاصله صفر از خیابان حداکثر مقدار سرب وجود دارد. علت اختلاف بین رابطه (۲) و مدل پیشنهادی در این تحقیق (رابطه ۱) احتمالاً مربوط به این نکته است که رابطه (۲) اساساً برای بزرگراهها توانایی کاربرد دارد و معماری بزرگراههای مورد مطالعه در تحقیق Ward و همکاران (1975) متفاوت از معماری خیابان های شهری ایران است. در خیابان های شهری ایران در فاصله

Celick, A. et al. 2005. Determining the heavy metal pollution in denizli (Turkey) by using Robinio psedo-acacial. Environment international, 31, 105-112.

Fakayode, S.O. and Olu-Owolabi, B.I. 2003. Heavy metal contamination of roadside topsoil in Osogbo, Nigeria: Its relationship to traffic density and proximity to highways. Environmental Geology, 44, 150-157.

Harrison, R.M., Laxen, D. P. H. and Wilson, S. J. 1981. Chemical associations of lead, cadmium, copper, and zink in street dusts and roadside soils. Environmental Science and Technology, 15/11.

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. Environmental Pollution (Series B), 7, 35-42.

Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. 1982. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, USA.

Sarkar, B. 2002. Heavy metals in environment. Marcel Dekker, New York.

Turer, D., Maynard, J.B. and Sansalone, J.J. 2001. Heavy metal contamination in soils of urban highways: Comparison between runoff and soil concentrations at Cincinnati, Ohio. Water, Air, and Soil Pollution, 132, 293-314.

Ward, N.I., Reeves, R.D. and Brooks, R.R. 1975. Lead in soil and vegetation along a New Zealand state highway with low traffic volume. Environmental Pollution, 9, 243-251.

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.

غلظت سرب و کادمیوم بیش از مقادیر زمینه است. این اختلاف مربوط به تأثیر عوامل ترافیکی و حمل و نقل روی آلودگی خاک حاشیه خیابانها است.

- در حدود نیمی از نمونه‌های خاک سطحی و نیز حدود یک سوم نمونه‌های خاک عمقی حاشیه خیابانها از غلظت سرب کل بالاتر از حداکثر غلظت قابل قبول (MAC) سرب در خاک کشاورزی برخوردارند، بنا بر این در کاربرد این خاکها برای ایجاد فضای سبز باید احتیاط لازم به عمل آید.

- روند تغییرات غلظت سرب و کادمیوم خاک حاشیه خیابان نسبت به فاصله از لبه خیابان، غیر خطی است و مشاهده شد که مدل رگرسیون لگاریتمی (رابطه ۱) مناسب‌ترین الگوی توزیع این فلزات در خاک حاشیه خیابانهاست.

- نتایج این تحقیق می‌تواند در شهرسازی و طراحی معماری شهری، مدیریت ترافیک شهری و مدیریت کاربری اراضی شهری مورد استفاده قرار گیرد. به طور مثال می‌توان از نتایج این تحقیق در مواردی همچون طراحی عرض پیاده‌روها، انتخاب مکان مناسب برای مراکز حساس مثل بیمارستانها و کودکانستانها، انتخاب نوع گیاهان در آبراهه‌ها و تعیین ارتفاع جداول کنار خیابانها استفاده کرد.

#### یادداشت‌ها

- 1-Interquartile Range (IQR)
- 2-Maximum Acceptable Concentration
- 3Coefficient of Determination

#### منابع مورد استفاده

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

رحمانی، ح. ر. ۱۳۷۴. آلودگی خاک توسط عنصر سرب حاصل از وسائط نقلیه در محدوده برخی از بزرگراههای ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

Al-Chalabi, A. S. 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.

Carlosena, A., Andrade, A.M. and Prada, D. 1998. Searching for heavy metals grouping roadside soils as a function of motorized traffic influence. Talanta, 47, 753-767.