

# ارتباط عوامل ترافیکی با غلظت سرب و کادمیوم در خاک حاشیه

## خیابان‌های شهری

امیر تائبی، استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

سعید سامانی مجد، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

سید مهدی ابطی، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

E-mail: amirth@cc.iut.ac.ir

### چکیده

فلزات سنگین همچون سرب و کادمیوم، بخشی از آلاینده‌هایی هستند که توسط خودروها تولید شده و جریان ترافیکی باعث انتشار آنها در محیط شهری می‌شود. به منظور مطالعه میزان آلودگی خاک حاشیه خیابان‌ها و تعیین پارامتر ترافیکی مؤثر بر مقدار سرب و کادمیوم خاک، شهر اصفهان برای مطالعه موردی انتخاب شد. در این شهر از خاک ۱۳ سایت در اطراف خیابان‌های شهر نمونه‌برداری و عوامل ترافیکی خیابان‌های مربوطه نیز تعیین شدند. عوامل ترافیکی مطالعه شده شامل حجم ترافیک کل، حجم ترافیک روزانه، حجم ترافیک کل به عرض جبهتی خیابان، حجم ترافیک کل به ظرفیت کل، سرعت و نسبت دیدگاهی بودند. نتایج تحقیق نشان دادند که میانگین‌های غلظت سرب و کادمیوم خاک تا فاصله ۵۰ متری از لبه خیابان، بیشتر از مقادیر زمینه بودند، به طوری که استاندارد بیشینه غلظت مجاز وجود فلز در خاک کشاورزی را تأمین نمی‌کردند. با تحلیل رگرسیون غلظت فلزات در خاک آبراهه‌ها در مقابل پارامترهای ترافیکی گزیده، دیده شد که اثرگذارترین پارامتر ترافیکی بر مقدار فلزات خاک، حجم ترافیک کل است. همچنین مشاهده شد که غلظت سرب و کادمیوم (به عنوان متغیر وابسته) با افزایش فاصله از لبه خیابان (به عنوان یکی از متغیرهای مستقل) به طور لگاریتمی کاهش می‌یابد، ولی غلظت سرب به صورت خطی، و کادمیوم به صورت نمایی با افزایش حجم ترافیک کل (به عنوان دیگر متغیر مستقل) افزایش می‌یابد. مدل‌های رگرسیون ارائه شده در این تحقیق را می‌توان برای پیش‌بینی غلظت سرب و کادمیوم خاک اطراف خیابان‌ها نسبت به متغیرهای فاصله از لبه خیابان و حجم ترافیک کل، بکار برد. نتایج این تحقیق می‌تواند در مدیریت حمل و نقل و کنترل ترافیک شهری، معماری و طراحی شهری، برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: محیط زیست شهری، آلودگی ترافیکی، مدل تقاضای سفر، توزیع سرب و کادمیوم، آلودگی خاک حاشیه خیابان‌ها.

### ۱. مقدمه

میلادی حدود ۹۵۰ میلیون وسیله نقلیه در جهان وجود خواهد داشت [۱]. خودروها عموماً منابع اصلی تولید آلاینده‌های فلزات سنگین در شهرها هستند که این آلاینده‌ها به صورت ذرات از

با افزایش نیاز جوامع به جابه‌جایی و ارتباطات، استفاده از وسایل نقلیه، به ویژه خودروهای شخصی روز به روز افزایش یافته است، به طوری که بر اساس پیش‌بینی انجام شده در سال ۲۰۲۰

مطالعات مختلفی در زمینه بررسی آلودگی خاک حاشیه خیابان‌ها به فلزات سنگین خصوصاً سرب و کادمیوم و همچنین ارتباط غلظت‌ها با عوامل ترافیکی صورت گرفته است. در این مطالعات با اندازه‌گیری غلظت فلزات در خاک به میزان اثرپذیری روند توزیع از عوامل مختلف ترافیکی پرداخته شده است. رحمانی [۱۲] با نمونه‌گیری از خاک در فواصل مختلف از حاشیه چهار بزرگراه در ایران به روند نزولی شدید غلظت سرب با افزایش فاصله از بزرگراه‌ها اشاره می‌کند. وارد و همکاران [۱۳] در آکلند زلاندنو غلظت فلزات سنگین کادمیوم و سرب را در خاک سطحی حاشیه خیابان‌ها و در ۱۷ سایت اندازه‌گیری کردند. نتایج آنها حاکی از کاهش تدریجی غلظت فلزات سنگین خاک با افزایش فاصله از خیابان بود و مقدار سرب خاک به طور کاملاً مشخصی با ترافیک ارتباط داشت ولی این ارتباط در مورد کادمیوم، ضعیف مشاهده شد. کارلوسنا و همکاران [۱۴] در لاکرونا اسپانیا به مطالعه اثر ترافیک خودرویی بر روی محتوای فلزی خاک حاشیه چند خیابان اقدام کردند و نتیجه گرفتند که سرب، کادمیوم، مس و روی از یک رفتار مشابه تحت اثر انتشارات ترافیکی پیروی می‌کنند. گارسیا و میلان [۱۵] غلظت فلزات کادمیوم، مس، آهن، منگنز، سرب و روی را در هشت موقعیت مختلف در خاک حاشیه بزرگراه‌های شهری با جریان ترافیکی متفاوت در گیپوزکوا اسپانیا اندازه‌گیری کردند که نتایج آنها حاکی از تغییرپذیری غلظت سرب، روی و کادمیوم با فاصله از بزرگراه بود.

بررسی و مطالعه میزان آلاینده‌های خودرویی و اثرات آن بر آلودگی محیط اطراف راه‌ها و نیز بررسی اثرات عوامل مختلف ترافیکی بر میزان و روند توزیع آلاینده‌ها، برای استفاده در معماری و طراحی شهری و نیز مدیریت ترافیک شهری مورد نیاز است. این مطالعات غالباً در دیگر کشورها صورت گرفته [۱۶] اما نتایج آنها را نمی‌توان با اطمینان در ایران بکار برد که علت عمده آن تفاوت در معماری و طراحی خیابان‌ها و پیاده‌روها و نیز ترافیک شهرهای ایران نسبت به شهرهای مطالعه شده خارجی است. بنابراین، اهداف این تحقیق شامل بررسی میزان آلودگی خاک اطراف و خاک آبراه‌های حاشیه خیابان‌ها به سرب و کادمیوم و همچنین بررسی میزان اثر عوامل مختلف ترافیکی بر مقدار این آلودگی و نهایتاً مدل‌سازی روند توزیع آلاینده‌های سرب و کادمیوم به عنوان تابعی از عوامل اثرگذار ترافیکی و فاصله بود.

آگزوز یا دیگر اجزا خودرو وارد محیط می‌شوند. آلاینده‌های خودرویی توسط جریان ترافیکی در اطراف راه‌ها توزیع شده و باعث آلودگی خاک و گیاه این نواحی می‌شوند. در خاک با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن، ترکیبات مختلف فلزات سنگین به صورت محدود در ذرات خاک و در لایه‌های اولیه آن تشکیل شده و با توجه به بافت خاک و شرایط محیطی دیگر روند تجمع و انباشت این ذرات تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۲]. سرب و کادمیوم از دسته آلاینده‌های خودرویی هستند که به دلیل سمیت زیاد برای طبیعت و انسان، و ایجاد عوارض متعددی همچون بیماری‌های خونی، عصبی و استخوانی، مورد توجه محققین بسیاری قرار گرفته‌اند [۳ و ۴]. 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 در تایلر خودروها وجود دارد و از طریق استهلاک خودروها و انتشار ترافیکی به محیط شهری وارد می‌شود [۳، ۵ و ۶]. پارامترهای مختلفی بر انتشار آلاینده‌های خودرویی در محیط اثر دارند که در مقیاس بزرگ دربرگیرنده پارامترهای مربوط به شرایط خیابانی، ترافیکی و محیطی هستند. پارامترهای خیابانی که مربوط به شرایط فیزیکی و معماری راه‌هاست شامل طول، شیب، عرض تنگه و عمر خیابان، ارتفاع متوسط، چینش و عمر ساختمان‌های اطراف، عرض پیاده‌رو، تعداد خطوط حرکت، نوع پوشش سبز و ارتفاع گیاهان اطراف هر خیابان، سایبان خیابان و نسبت دیدگاهی هستند [۷ و ۸]. جریان ترافیکی، هوای اطراف راه‌ها را که حاوی ذرات آلاینده‌های فلزات سنگین است به جریان می‌اندازد. از آنجاکه این جریان عمده‌تاً عمود بر محور خیابان است، در برخورد با هر یک از عوامل فیزیکی یاد شده می‌تواند حالت‌های مختلفی به خود بگیرد و نهایتاً روند توزیع آلاینده‌ها در حاشیه راه‌ها را متأثر کند. جریان ترافیکی که از مهم‌ترین عوامل در انتشار آلاینده‌های خودرویی است، شامل عوامل اصلی سرعت، حجم ترافیک و چگالی جریان و نیز عواملی همچون رفتار رانندگی در زمان شروع و حرکت، ترکیب ناوگان عبوری و نحوه مدیریت ترافیکی و چینش علائم راهنمایی و رانندگی در خیابان‌ها هستند [۹، ۱۰، ۱۱]. پارامترهای محیطی نیز شامل شرایط آب و هوایی همانند دما، میزان بارندگی، جهت و سرعت وزش باد و همچنین خصوصیات خاک حاشیه راه‌اند [۸، ۹ و ۱۰].

## ۲. مواد و روشها

۱۳ سایت در خیابان‌های با حجم ترافیکی متفاوت و سن کاردهی نسبتاً زیاد در نقاط مختلف شهر اصفهان انتخاب شدند (جدول ۱). معیار انتخاب این سایت‌ها آن بود که فاصله آنها تا نقاط ایستگاهی و تمرکز خودروها همانند ایستگاه‌های اتوبوس و تاکسی، چهارراه‌ها و تقاطع‌ها، بیش از ۱۵۰ متر باشد و مانعی خاص در برابر انتشار آلاینده‌های خودرویی در نزدیکی این سایت‌ها برای مدت زیادی وجود نداشته باشد. طراحی خیابان‌های شهر اصفهان به گونه‌ای است که اغلب آنها دارای آبراهه در دو طرف خیابان هستند و این آبراهه‌ها دارای کف خاکی و کناره بتنی بوده و محل کاشت درخت و درختچه است. نمونه‌های خاک از ۰ تا ۵ سانتیمتری داخل آبراهه‌های تمام سایت‌ها و نیز تا فاصله ۵۰ متری سایت‌های ۱۰ تا ۱۳، گرفته شدند. در دیگر سایت‌ها، امکان نمونه‌برداری از خاک تا فاصله ۵۰ متری، به دلیل ساخت‌وساز در حاشیه خیابان‌ها وجود نداشت. مبنای انتخاب مکان‌های نمونه‌برداری در این تحقیق، پیشنهادات و نتایج ارایه شده در مطالعات مشابه انجام شده در دیگر نقاط دنیا بود [۱۲، ۱۳، ۲۲]. برای نمونه‌برداری از خاک 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 شده 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. مراحل عصاره‌گیری و اندازه‌گیری غلظت فلزات سرب و کادمیوم در آزمایشگاه مطابق روش‌های استاندارد صورت گرفت [۱۷].

به طور کلی داده‌های ترافیکی مورد نیاز عبارت بودند از: متوسط حجم ترافیکی روزانه در سال، حجم ترافیکی سالانه، حجم ترافیکی کل (در مدت بهره‌برداری)، ظرفیت ترافیکی کل (در مدت بهره‌برداری)، حجم ترافیکی کل بر ظرفیت ترافیکی کل، حجم ترافیکی کل بر عرض جبهی خیابان، میانگین سرعت خودروها در سال و نسبت دیدگاهی، که تعاریف و روش محاسبه این پارامترها به شرح زیر است: متوسط ترافیکی روزانه در سال برابر است با حاصل تقسیم حجم ترافیکی سالانه بر تعداد روزهای سال. این پارامتر توسط محققین بسیاری برای مقایسه غلظت‌ها در خیابان‌های مختلف بکار گرفته شده است [۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵].

برای تعیین متوسط ترافیکی روزانه در سال و حجم ترافیکی سالانه خیابان‌های مورد مطالعه اقدامات زیر به عمل آمد:

- ۱- برای تمام سایت‌ها (بجز خیابان محتشم کاشانی) از آمار سال ۱۳۷۹ جمع‌آوری شده توسط پژوهشکده حمل و نقل دانشگاه صنعتی شریف [۱۸] استفاده شد.
- ۲- متوسط ترافیکی روزانه سایت محتشم کاشانی در سال ۱۳۸۴ با آمارگیری تعیین شد و سپس حجم ترافیکی آن در سال ۱۳۸۴ محاسبه شد.
- ۳- حجم ترافیکی سال ۱۳۶۶ برای سایت‌های ۱، ۳، ۶، ۷ و ۹ نیز از داده‌های مرجع [۱۸] تعیین شد.
- ۴- سال ساخت هر خیابان، با مطالعه روزنامه محلی شهر اصفهان، به نام روزنامه اخگر که بعداً به روزنامه اصفهان تغییر نام یافت و از سال ۱۳۰۷ به چاپ رسیده است، به دست آمد. از ضریب مالکیت خودرو و جمعیت شهر اصفهان برای محاسبه حجم ترافیکی سالانه در سال‌های مختلف بهره‌برداری برای خیابان‌های سایت‌های ۲، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ استفاده شد. با استفاده از داده‌های یادشده، ضرایب رشد حجم ترافیکی سالانه تمام سایت‌ها بین سال‌هایی که آمار آنها مشخص شده بود، محاسبه شد و سپس حجم ترافیکی سالانه عبوری از هر خیابان در سال‌های مختلف بهره‌برداری تخمین زده شد. در نهایت حجم ترافیکی کل عبوری از هر خیابان با جمع حجم ترافیکی سالانه از زمان ساخت آن تا سال ۱۳۸۱ محاسبه شد. سال ۱۳۸۱ زمان حذف سرب از بنزین است که منبع اصلی انتشار این آلاینده در ایران است [۱۹]. بازه تغییرات حجم ترافیکی کل سایت‌های مورد مطالعه از حدود ۵۲ تا بیش از ۵۲۰ میلیون وسیله نقلیه بود. حجم ترافیکی کل که در واقع حجم ترافیکی تجمعی است به این دلیل محاسبه شد که روی غلظت تجمعی سرب در خاک حاشیه خیابان‌ها اثرگذار است. ظرفیت کل به مجموع ظرفیت نهایی یک خیابان در عبوردهی خودروها در طول مدت بهره‌برداری آن گفته می‌شود. حجم ترافیکی کل به ظرفیت ترافیکی کل ( $V/C$ ) که در آن  $V$  حجم ترافیکی کل و  $C$  ظرفیت ترافیکی کل) به عنوان عامل احتمالی اثرگذار بر مقدار آلاینده‌های فلزات سنگین خودرویی معرفی شده است [۱۷]. مقادیر  $C$  را می‌توان با استفاده از نرم‌افزار EMME/2 تعیین کرد. این پارامتر میزان نسبی استفاده از خیابان در طول سال‌های کاردهی را نشان می‌دهد. در هر خیابان، با اندازه‌گیری سرعت‌های دو نوع خودرو سواری غالب در ساعت‌های مختلف، متوسط سرعت تعیین شد.

بازه تغییرات میانگین سرعت در سایت‌های مختلف از ۳۰ تا ۷۶ کیلومتر در ساعت بود. نسبت دیدگاهی نیز به عنوان یکی از پارامترهای احتمالی اثرگذار بر روند توزیع آلاینده‌های خودرویی معرفی شده است [۲۰] که از تقسیم ارتفاع متوسط ساختمان‌های کنار خیابان در هر سایت بر فاصله میان خط پیوسته جدا کننده جهت‌های تردد تا ساختمان کنار پیاده‌رو به دست می‌آید. از این پارامتر برای مدل‌سازی و تخمین آلاینده‌های هوا در تنگه‌های خیابانی در تحقیقات مختلف استفاده شده است [۲۱]. ارتفاع صفر به معنای نبودن وجود ساختمان در کنار خیابان است. به مجموعه خیابان و ساختمانهای اطراف آن و تنگه‌ای که تشکیل می‌دهند تنگه خیابانی گفته می‌شود. به پهنای خط تردد در یک جهت خیابان، عرض جهتی گفته می‌شود که با محاسبه این پارامتر امکان مقایسه اثرگذاری نرخ حجم ترافیکی عبوری از هر خط عبور و مرور ایجاد می‌شود.

۳. نتایج و بحث

جدول ۲ مشخصات آماری غلظت سرب کل و کادمیوم کل در خاک آبراهه‌ها و تا فاصله ۵۰ متری و خاک زمینه را در شهر اصفهان نشان می‌دهد. مقادیر زمینه غلظت‌های سرب و کادمیوم مربوط به زمین‌های بیابانی و دست نخورده دور از شهر اصفهان هستند. همچنین در جدول ۲ دیده می‌شود که میانگین غلظت فلزات در آبراهه‌ها و تا فاصله ۵۰ متری بیش از مقادیر زمینه هستند. در جدول ۳ تفاوت آماری میانگین غلظت سرب و کادمیوم نمونه‌ها با میانگین نمونه‌های زمینه با روش آماری آزمون  $t$  در سطح معنی‌داری ۵ درصد (سطح اطمینان ۹۵ درصد) بررسی شده است. در این مقایسه آماری، احتمال یک طرفه بکار برده شده است، زیرا انتظار می‌رود غلظت سرب و کادمیوم اندازه‌گیری شده مساوی یا بیش از مقدار زمینه باشد. اگر در آزمون  $t$  مقدار  $t$  محاسبه شده ( $t_{cal}$ ) بیش از  $t$  بحرانی ( $t_{cri}$ ) باشد، مؤید معنی‌داری اختلاف بین دو نمونه است.

در جدول ۳ دیده می‌شود که میانگین غلظت سرب در تمام موقعیت‌ها با مقدار زمینه آن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌داری ۵ درصد است. بر این اساس، غلظت سرب کل در خاک نمونه‌ها تحت تأثیر منابع آلاینده قرار گرفته و به دلیل این که مجموعه نمونه‌ها درون شهر قرار دارند، عوامل انسانی دلیل ورود این آلاینده‌ها به خاک هستند. غلظت کادمیوم خاک آبراهه‌ها نیز اختلاف معنی‌داری با مقادیر زمینه دارد و از عوامل خارجی اثرپذیری داشته است. با توجه به این‌که این مشاهدات مربوط به خاک حاشیه خیابان‌ها است، می‌توان نتیجه گرفت که

جریان ترافیکی باعث ایجاد این آلودگی شده است که این نتیجه مطابق با نتایج بسیاری از محققین [۷، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴] دیگر است. به دلیل این که معمولاً در آبراهه‌ها پوشش گیاهی ایجاد می‌شود و به خصوص درختچه و درخت کاشته می‌شوند، لازم است که سلامت خاک آبراهه‌ها با استاندارد خاک کشاورزی سنجیده شود. چون در ایران استاندارد برای حداکثر غلظت مجاز فلزات سنگین در خاک کشاورزی تدوین نشده است، برای مقایسه، استاندارد انگلستان و استرالیا مبنا قرار گرفت که در آن MAC برای سرب ۱۰۰ و برای کادمیوم به ترتیب ۱ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. در جدول ۲ دیده می‌شود که میانگین غلظت سرب در خاک آبراهه‌ها و تا فاصله ۵۰ متری از حداکثر مجاز فراتر است و در مورد کادمیوم نیز از حد مجاز انگلستان فراتر است. این مقایسه نشان می‌دهد که باید در ایجاد فضای سبز خیابان‌ها به مسئله آلودگی خاک به فلزات سنگین توجه شود و احتیاط لازم به عمل آید. جدول ۴ داده‌های ترافیکی مورد استفاده برای مدل‌سازی را که شامل حجم ترافیکی کل تا سال ۱۳۸۱، متوسط ترافیک روزانه سالانه در سال ۱۳۸۱، حجم ترافیک کل بر ظرفیت ترافیک کل، حجم ترافیک کل بر عرض جهتی خیابان، متوسط سرعت در سال ۱۳۸۴ و نسبت دیدگاهی هستند را در سایت‌های مورد مطالعه ارائه می‌دهد. از رسم داده‌های غلظت سرب و کادمیوم خاک تا فاصله ۵۰ متری در مقابل فاصله برای سایت‌های ۱۰ تا ۱۳، دیده شد که روند تغییرات با افزایش فاصله نزولی است و از برآزش مدل‌های مختلف به داده‌های غلظت در مقابل فاصله، دیده شد که مدل لگاریتمی بهترین الگوی بیان‌کننده این تغییرات است. جدول ۵ نتایج آزمون جفت شده برای مقایسه میانگین غلظت سرب و کادمیوم خاک در سایت‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۵ دیده می‌شود نتایج مقایسه میانگین غلظت سرب در سطح معنی‌داری ۵ درصد، نشان می‌دهد که سایت ۱۰ در مقابل ۱۱ و ۱۲ با توجه به بیشتر بودن  $t$  محاسبه شده از  $t$  بحرانی در احتمال دو طرفه، دارای اختلاف معنی‌دار است. همچنین سایت ۱۳ در مقابل ۱۱ و ۱۲ دارای  $t$  محاسبه شده بیشتری از  $t$  بحرانی است. نتایج مقایسه میانگین غلظت کادمیوم نیز نشان می‌دهد که سایت ۱۰ در مقابل سایت‌های ۱۱ و ۱۳ دارای  $t$  محاسبه شده بیشتر از  $t$  بحرانی و نیز سایت ۱۱ در مقابل ۱۳ نیز دارای  $t$  محاسبه شده بیشتر از  $t$  بحرانی می‌باشد. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که اختلاف بین سایت‌ها معنی‌دار است و واضح است که این اختلاف مربوط به تفاوت در عوامل ترافیکی مختلفی است که در این سایت‌ها وجود دارد.

بازه تغییرات میانگین سرعت در سایت‌های مختلف از ۳۰ تا ۷۶ کیلومتر در ساعت بود. نسبت دیدگاهی نیز به عنوان یکی از پارامترهای احتمالی اثرگذار بر روند توزیع آلاینده‌های خودرویی معرفی شده است [۲۰] که از تقسیم ارتفاع متوسط ساختمان‌های کنار خیابان در هر سایت بر فاصله میان خط پیوسته جدا کننده جهت‌های تردد تا ساختمان کنار پیاده‌رو به دست می‌آید. از این پارامتر برای مدل‌سازی و تخمین آلاینده‌های هوا در تنگه‌های خیابانی در تحقیقات مختلف استفاده شده است [۲۱]. ارتفاع صفر به معنای نبودن وجود ساختمان در کنار خیابان است. به مجموعه خیابان و ساختمانهای اطراف آن و تنگه‌ای که تشکیل می‌دهند تنگه خیابانی گفته می‌شود. به پهنای خط تردد در یک جهت خیابان، عرض جهتی گفته می‌شود که با محاسبه این پارامتر امکان مقایسه اثرگذاری نرخ حجم ترافیکی عبوری از هر خط عبور و مرور ایجاد می‌شود.

### ۳. نتایج و بحث

جدول ۲ مشخصات آماری غلظت سرب کل و کادمیوم کل در خاک آبراهه‌ها و تا فاصله ۵۰ متری و خاک زمینه را در شهر اصفهان نشان می‌دهد. مقادیر زمینه غلظت‌های سرب و کادمیوم مربوط به زمین‌های بیابانی و دست نخورده دور از شهر اصفهان هستند. همچنین در جدول ۲ دیده می‌شود که میانگین غلظت فلزات در آبراهه‌ها و تا فاصله ۵۰ متری بیش از مقادیر زمینه هستند. در جدول ۳ تفاوت آماری میانگین غلظت سرب و کادمیوم نمونه‌ها با میانگین نمونه‌های زمینه با روش آماری آزمون  $t$  در سطح معنی‌داری ۵ درصد (سطح اطمینان ۹۵ درصد) بررسی شده است. در این مقایسه آماری، احتمال یک طرفه بکار برده شده است، زیرا انتظار می‌رود غلظت سرب و کادمیوم اندازه‌گیری شده مساوی یا بیش از مقدار زمینه باشد. اگر در آزمون  $t$  مقدار  $t$  محاسبه شده ( $t_{cal}$ ) بیش از  $t$  بحرانی ( $t_{cri}$ ) باشد، مؤید معنی‌داری اختلاف بین دو نمونه است.

در جدول ۳ دیده می‌شود که میانگین غلظت سرب در تمام موقعیت‌ها با مقدار زمینه آن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌داری ۵ درصد است. بر این اساس، غلظت سرب کل در خاک نمونه‌ها تحت تأثیر منابع آلاینده قرار گرفته و به دلیل این که مجموعه نمونه‌ها درون شهر قرار دارند، عوامل انسانی دلیل ورود این آلاینده‌ها به خاک هستند. غلظت کادمیوم خاک آبراهه‌ها نیز اختلاف معنی‌داری با مقادیر زمینه دارد و از عوامل خارجی اثرپذیری داشته است. با توجه به این‌که این مشاهدات مربوط به خاک حاشیه خیابان‌ها است، می‌توان نتیجه گرفت که

ارتباط عوامل ترافیکی با غلظت سرب و کادمیوم در خاک حاشیه ...

جدول ۱. مشخصات سایت‌های نمونه‌برداری خاک و مطالعات ترافیکی

شماره سایت	نام سایت	موقعیت	سال ساخت خیابان
۱	خیابان چهارباغ پایین	۱۰۰ متر قبل از چهارراه تختی از طرف میدان شهدا	۱۳۱۶
۲	خیابان فروغی	۵۰۰ متر قبل از میدان شهدا	۱۳۲۰
۳	خیابان بزرگمهر	۲۰۰ متر قبل از میدان بزرگمهر	۱۳۴۰
۴	خیابان احمدآباد	۱۵۰ متر قبل از خیابان مهرگان از طرف خیابان حافظ	۱۳۱۶
۵	خیابان آیت... کاشانی	۳۰ متر قبل از ورودی ساختمان هلال احمر	۱۳۲۰
۶	خیابان مشتاق اول	۵۰۰ متر تا میدان خواجه	۱۳۵۵
۷	خیابان کمال اسماعیل	۲۰۰ متر قبل از پل فردوسی از طرف میدان خواجه	۱۳۳۰
۸	خیابان چهارباغ بالا	۳۰۰ متر تا شریعتی از طرف میدان آزادی	۱۳۳۵
۹	خیابان سجاد	۲۰۰ متر بعد از آبشار اول به طرف میدان شهدا	۱۳۴۵
۱۰	خیابان محتشم کاشانی	۴۰۰ متر بعد از چهار راه شریعتی	۱۳۶۰
۱۱	خیابان امام خمینی	۱۵۰ متر قبل از خیابان خانه اصفهان از طرف میدان جمهوری	۱۳۴۰
۱۲	خیابان امام خمینی	حدود یک کیلومتر قبل از پارک قلمستان به طرف میدان جمهوری	۱۳۴۰
۱۳	خیابان رزمندگان	۵۰۰ متر بعد از خیابان رباط	۱۳۷۰

جدول ۲. مشخصات آماری غلظت سرب کل و کادمیوم کل در خاک آبراهه‌ها و تا فاصله ۵۰ متری حاشیه خیابان و خاک زمینه

مشخصات آماری	واحد	آبراهه		تا فاصله ۵۰ متری		زمینه	
		Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb
تعداد نمونه		۱۹	۱۹	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
میانگین	mg/kg و	۲/۹۴	۲۲۰/۸۶	۲/۴۱	۱۲۶/۸۲	۲/۰۲	۲۸/۹۱
میانه	mg/kg و	۳	۱۸۶/۳۴	۲/۴	۸۶/۸۵	۱/۸	۲۸/۶۵
انحراف معیار	mg/kg و	۰/۳۱	۱۱۲/۵۲	۰/۳۷	۸۲/۷۷	۰/۵۵	۱۰/۸۷
حداقل	mg/kg و	۲/۴	۶۵/۰۵	۱/۸	۳۵/۷۸	۰/۶	۷/۳
حداکثر	mg/kg و	۳/۴	۴۸۱/۳۵	۳/۴	۳۲۵/۲۶	۲/۷	۵۷/۸
دامنه	mg/kg و	۱	۴۱۶/۳۰	۱/۶	۲۸۹/۴۸	۲/۱	۵۰/۵

تأبب؁ سامانی مجد و ابطحی

جدول ۳. آزمون t برای مقایسه میانگینهای غلظت سرب و کادمیوم خاک آبراهه‌ها و خاک تا فاصله ۵۰ متری با مقادیر زمینه

موقعیت نمونه‌ها	تعداد مشاهدات	میانگین، mg/kg	انحراف معیار، mg/kg	درجات آزادی	tcal	tcri
سرب						
زمینه	۴۰	۲۸/۹۱	۱۰/۸۷			
خاک آبراهه‌ها	۱۹	۲۲۰/۸۶	۱۱۲/۵۲	۵۷	۱۸/۷۳	۲/۰۰
خاک تا ۵۰ متری	۴۰	۱۲۶/۸۲	۸۲/۷۷	۷۸	۶/۲۸	۱/۶۶
کادمیوم						
زمینه	۴۰	۲/۰۲	۰/۵۵			
خاک آبراهه‌ها	۱۹	۲/۹۴	۰/۳۱	۵۷	۲/۲۰	۲/۰۰
خاک تا ۵۰ متری	۴۰	۲/۴۱	۰/۳۷	۷۸	۲/۲۰	۱/۶۶

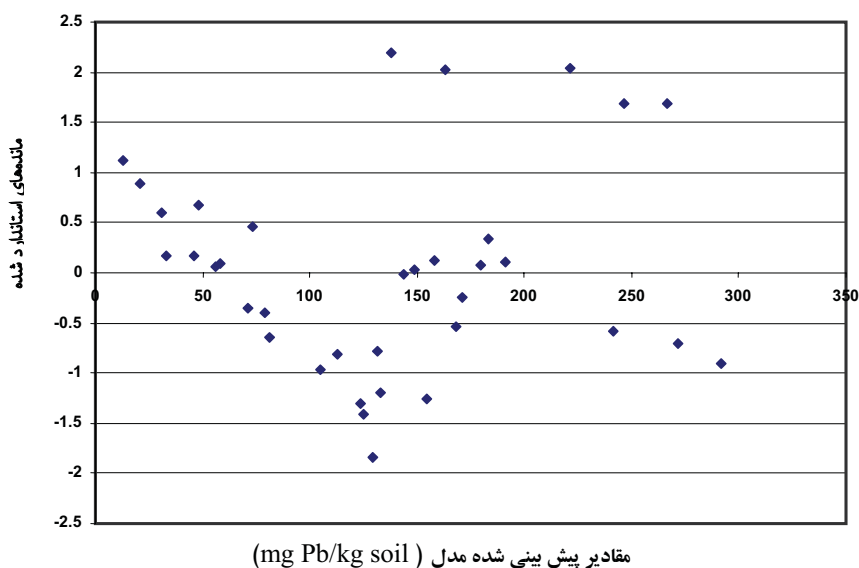
جدول ۴. داده‌های ترافیکی مورد استفاده برای هر سایت

شماره سایت	نام سایت	حجم ترافیک کل (veh) تا سال ۱۳۸۱	متوسط ترافیک روزانه در سال در سال ۱۳۸۱ (veh/d)	حجم ترافیک کل بر ظرفیت کل تا سال ۱۳۸۱	حجم ترافیک کل بر عرض جبهی خیابان (veh/m)	سرعت در سال ۱۳۸۴ (km/h)	نسبت دیدگاهی
۱	چهارباغ پایین	۳۲۳۲۷۷۳۰۵	۳۱۵۸۳	۰/۴۷۳	۸۷۱۰۷۲۳/۹۸	۳۰/۲	۰/۱۲۹
۲	فروغی	۴۸۶۵۷۸۴۵	۵۴۷۰	۰/۱۲۱	۱۱۷۰۱۲۷۴/۰۲	۳۰/۳	۰/۳
۳	بزرگمهر	۳۸۸۰۰۳۲۵۱	۳۹۶۸۶	۰/۳۱۸	۷۵۶۱۳۴۸	۵۴/۳	۰/۱۴۴
۴	احمد آباد	۱۵۲۵۷۶۱۴۱	۱۲۳۲۵	۰/۴۲۹	۲۰۶۰۱۹۶۱/۳۹	۳۳/۸	۰/۱۹۸
۵	کاشانی	۵۲۰۶۱۹۹۹۹	۳۲۳۰۳	۰/۳۹۰	۲۴۰۶۷۵۴۱/۶۵	۴۵/۴	۰/۲۴
۶	مشتاق اول	۱۱۹۳۵۲۹۹۵	۱۸۳۰۴	۰/۳۲۸	۷۹۷۶۶۹۵/۹۰۲	۵۲/۲	۰/۵۱۴
۷	کمال اسماعیل	۲۸۵۲۲۷۰۲۷	۲۰۷۵۹	۰/۶۳۸	۲۸۷۸۷۹۵۱/۱۳	۴۳	۰/۱۰۶
۸	چهارباغ بالا	۲۴۷۸۹۵۶۷۹	۲۳۹۷۰	۰/۳۱۱	۳۱۰۴۰۲۶۰/۰۸	۴۳/۳	۰/۲۱۴
۹	سجاد	۲۲۲۵۰۱۱۸۳	۲۵۳۵۸	۰/۲۴۳	۳۴۰۲۹۱۹۰	۵۳	۰/۰۶۷
۱۰	رزمندگان	۶۸۰۵۲۱۳۲	۱۰۶۰۰	۰/۱۸۴	۱۸۶۴۹۶۱۲/۱۲	۵۴	۰
۱۱	امام خمینی (خانه اصفهان)	۲۹۵۸۶۴۴۸۸	۳۴۲۳۰	۰/۱۹۲	۲۱۱۳۳۱۷۷/۷۱	۵۴	۰
۱۲	امام خمینی (قلمستان)	۲۵۵۴۹۹۶۸۶	۲۹۵۶۰	۰/۱۸۷	۴۳۸۸۱۰۸۱/۰۸	۷۵/۸	۰
۱۳	محتشم کاشانی	۷۲۲۹۹۰۰۹	۲۶۲۰۵	۰/۵۰	۳۲۵۳۸۷۴۹/۹۴	۵۴	۰

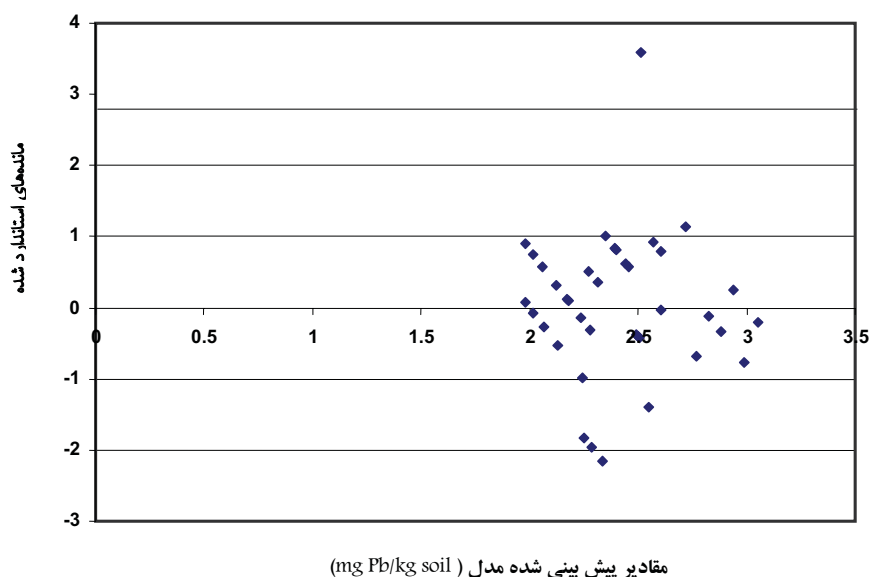
ارتباط عوامل ترافیکی با غلظت سرب و کادمیوم در خاک حاشیه ...

جدول ۵. نتایج آزمون t جفت شده برای مقایسه میانگین غلظت سرب و کادمیوم در سایت‌های مختلف

شماره سایت‌ها												پارامتر
۱۲ در مقابل ۱۳		۱۱ در مقابل ۱۳		۱۱ در مقابل ۱۲		۱۰ در مقابل ۱۳		۱۰ در مقابل ۱۲		۱۰ در مقابل ۱۱		
سرب												
۶۵/۹۲	۱۸۴/۱	۶۵/۹۲	۱۸۱/۸۹	۱۸۴/۱	۱۸۱/۸۹	۶۵/۹۲	۷۴/۷۹	۱۸۴/۱	۷۴/۷۹	۱۸۱/۸۹	۷۴/۷۹	میانگین
۹	۹	۹	۹	۱۰	۱۰	۹	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	مشاهدات
	۸		۸		۹		۸		۹		۹	df
	۴/۹۰۸		۵/۸۵۸		۰/۱۷۰		۰/۵۵۹		۴/۵۵۰		۶/۰۳۲	t <sub>cal</sub>
	۲/۳۰۶		۲/۳۰۶		۲/۲۶۲		۲/۳۰۶		۲/۲۶۲		۲/۲۶۲	t <sub>cri</sub>
	۰/۰۵		۰/۰۵		۰/۰۵		۰/۰۵		۰/۰۵		۰/۰۵	سطح
												معنی‌داری
	<۰/۰۰۱		<۰/۰۰۱		۰/۸۶۹		۰/۵۹۱		<۰/۰۰۱		<۰/۰۰۱	احتمال
کادمیوم												
۲/۱۱	۲/۴۴	۲/۱۱	۲/۷	۲/۴۴	۲/۷	۲/۱۱	۲/۳۶	۲/۴۴	۲/۳۶	۲/۷	۲/۳۶	میانگین
۹	۹	۹	۹	۱۰	۱۰	۹	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	مشاهدات
	۸		۸		۹		۸		۹		۹	df
	۱/۶۶۴		۱۰		۱/۸۱۶		۸		۰/۴۹۷		۶/۵۳۰	t <sub>cal</sub>
	۲/۳۰۶		۲/۳۰۶		۲/۲۶۲		۲/۳۰۶		۲/۲۶۲		۲/۲۶۲	t <sub>cri</sub>
	۰/۰۵		۰/۰۵		۰/۰۵		۰/۰۵		۰/۰۵		۰/۰۵	سطح
												معنی‌داری
	۰/۱۳۵		<۰/۰۰۱		۰/۱۰۳		<۰/۰۰۱		۰/۶۳۱		<۰/۰۰۱	احتمال



شکل ۱. پراکنش مانده‌ها در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده مدل (رابطه ۱) برای سرب کل



شکل ۲. پراکنش مانده‌ها در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده مدل (رابطه ۲) برای کادمیوم کل

می‌شود. از برازش مدل‌های رگرسیون مختلف به داده‌های غلظت سرب و کادمیوم در آبراهه‌های تمام سایت‌ها در مقابل هر یک از عوامل ترافیکی مندرج در جدول ۴، مشاهده شد که غلظت فلزات فقط همبستگی مکفی با حجم ترافیک کل دارند و بهترین الگوی آن برای سرب به صورت مدل خطی (با ضریب رگرسیون ۰/۷۳) و برای کادمیوم (با ضریب رگرسیون ۰/۶۹) به صورت مدل نمایی است. اگرچه در مرجع [۸] از پارامتر حجم ترافیک کل بر ظرفیت ترافیک کل به عنوان عاملی اثرگذار بر روند توزیع نام برده شده است، اما در این تحقیق ارتباط مناسبی بین غلظت سرب کل و این پارامتر نیز دیده نشد. بر خلاف تعدادی از محققین [۱۳ و ۲۲] که از پارامتر حجم ترافیک روزانه برای مقایسه غلظت در سایت‌ها استفاده کرده‌اند، در این تحقیق ارتباط ضعیفی بین آن و غلظت فلزات دیده شد که این مشاهده با توجه به این که حجم ترافیک روزانه کمیتی است کوتاه مدت، منطقی به نظر می‌رسد. در ضمن ارتباط نسبتاً مناسبی بین غلظت فلزات و پارامترهای ترافیکی سرعت و نسبت دیدگاهی مشاهده نشد. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که پارامترهایی همانند حجم ترافیک روزانه، سرعت و نسبت دیدگاهی ممکن است بر روند توزیع آلاینده‌های گازی که ذرات آنها اندازه کوچکی دارند و امکان جابه‌جایی بیشتری برای آنها در هوا وجود دارد، مؤثر باشند، ولی نمی‌توانند بر آلاینده‌هایی همانند فلزات سنگین که بزرگ‌تر و

از رسم داده‌های غلظت سرب و کادمیوم خاک تا فاصله ۵۰ متری در مقابل فاصله برای سایت‌های ۱۰ تا ۱۳ ملاحظه شد که روند تغییرات با افزایش فاصله نزولی است و از برازش مدل‌های مختلف به داده‌های غلظت در مقابل فاصله، دیده شد که مدل لگاریتمی بهترین الگوی بیان‌کننده این تغییرات است. جدول ۵ نتایج آزمون جفت شده برای مقایسه میانگین غلظت سرب و کادمیوم خاک در سایت‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۵ دیده می‌شود نتایج مقایسه میانگین غلظت سرب در سطح معنی‌داری ۵ درصد نشان می‌دهد که سایت ۱۰ در مقابل ۱۱ و ۱۲ با توجه به بیشتر بودن  $t$  محاسبه شده از  $t$  بحرانی در احتمال دو طرفه دارای اختلاف معنی‌دار است. همچنین سایت ۱۳ در مقابل ۱۱ و ۱۲ دارای  $t$  محاسبه شده بیشتری از  $t$  بحرانی است. نتایج مقایسه میانگین غلظت کادمیوم نیز نشان می‌دهد که سایت ۱۰ در مقابل سایت‌های ۱۱ و ۱۳ دارای  $t$  محاسبه شده بیشتر از  $t$  بحرانی و نیز سایت ۱۱ در مقابل ۱۳ نیز دارای  $t$  محاسبه شده بیشتر از  $t$  بحرانی است. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که اختلاف بین سایت‌ها معنی‌دار است و واضح است که این اختلاف مربوط به تفاوت در عوامل ترافیکی مختلفی است که در این سایت‌ها وجود دارد. اکنون که مشخص شد که عوامل ترافیکی بر غلظت و توزیع فلزات سنگین در اطراف راه‌ها تأثیر دارد، نحوه و شدت این ارتباط با تحلیل رگرسیون مشخص



- میانگین‌های غلظت سرب و کادمیوم در سایت‌های مختلف با یکدیگر دارای اختلاف معنی‌داری هستند که این اختلاف ناشی از اختلاف در عوامل ترافیکی آنهاست.
- غلظت سرب و کادمیوم خاک اطراف خیابان‌ها ارتباط بیشتری با پارامتر ترافیکی "حجم ترافیک کل"، نسبت به دیگر پارامترهای ترافیکی (حجم ترافیک روزانه در سال، حجم ترافیک کل بر عرض جبهی خیابان، نسبت دیدگاهی، سرعت میانگین و حجم ترافیک کل بر عرض جبهی) دارد.
- به طور کلی در بررسی میزان ارتباط غلظت فلزات سنگین در خاک حاشیه راه‌ها با پارامترهای ترافیکی، این نتیجه گرفته می‌شود که پارامترهایی اثر بیشتری دارند که امکان در نظر گرفتن اثرگذاری آنها در دراز مدت میسر باشد.
- غلظت سرب و کادمیوم خاک حاشیه خیابان‌ها، با افزایش فاصله از لبه خیابان به صورت لگاریتمی کاهش می‌یابد.
- غلظت سرب خاک آبراهه‌ها به صورت خطی و غلظت کادمیوم خاک آبراهه‌ها به صورت نمایی با افزایش حجم ترافیک کل افزایش می‌یابند.
- مدل‌های ارائه شده در این تحقیق (روابط ۱ و ۲) قادرند با تقریب مناسبی، غلظت سرب و کادمیوم خاک را تا فاصله ۵۰ متری به صورت تابعی از فاصله از لبه خیابان و حجم ترافیک کل، پیش‌بینی کنند.
- نتایج این تحقیق می‌تواند در 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 و تعیین ارتفاع جداول کنار خیابان‌ها استفاده کرد.

## ۵. مراجع

1. Schwela, D. and Zali, O. (1999) "Urban traffic pollution", London: E & FN Spon.
2. Van Bohemen, H.D. and Janssen Van De Laak, W. H. (2003) "The influence of road infrastructure and traffic on soil, air and water quality", J. Environmental Management, 31- 1, p. 50-68.
3. Sarkar, B. (2002) "Heavy metals in environment", New York: Marcel Dekker.
4. Alloways, B.J. (1990) "Heavy Metals in soils", Blackie, London.

سنگین‌تر هستند و به سرعت فرونشست جوئی دارند، اثرگذار باشند. برعکس، با توجه به این که غلظت سرب و کادمیوم در خاک تجمعی است و این تجمع در طول مدت بهره‌برداری از خیابان اتفاق افتاده، بنابراین پارامترهایی بر روند توزیع این نوع آلاینده‌ها اثرگذارند که مربوط به بازه زمانی بزرگ‌تری باشند. به همین دلیل، در این تحقیق، بین حجم ترافیک کل و غلظت فلز در خاک ارتباط معنی‌داری مشاهده شد. با استفاده از الگوهای به دست آمده برای تغییرات غلظت در مقابل فاصله و غلظت در مقابل حجم ترافیک کل، برای مدل‌سازی جامع، از مدل‌های مختلف ترکیبی استفاده شد که در این مدل‌ها متغیر وابسته غلظت سرب و کادمیوم و متغیرهای مستقل حجم ترافیک کل و فاصله بودند و در نهایت مدل‌های زیر به عنوان مناسب‌ترین مدل از نظر بیشینه همبستگی (با ضرایب تبیین حدود ۰/۸) و نیز سادگی، نتیجه‌گیری شدند:

$$CPb = 120/83 + 4/92 * 10^{-7} V - 35/39 \ln D \quad (1)$$

$$CCd = 2/25 + 0/29 e^{3E-9} * V - 0/16 \ln D \quad (2)$$

CCd غلظت سرب کل و CPb که در آنها:

غلظت کادمیوم کل بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم خاک خشک، فاصله بر D حجم ترافیک کل بر حسب تعداد خودرو و V حسب متر است. مقادیر مانده‌های استاندارد شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده مدل‌های ۱ و ۲ به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ برای سرب و کادمیوم ارائه شده‌اند. مانده‌های استاندارد شده از تقسیم اختلاف مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر مشاهده شده بر میانگین مربعات مانده‌ها به دست می‌آید و دارای میانگین صفر و انحراف معیار واحد هستند و در صورتی که بین ۲-۲ قرار گیرند بیانگر انتخاب مدل مناسب برای رگرسیون است. با بررسی مانده‌های استاندارد شده در برابر مقادیر پیش‌بینی شده شکل‌های ۱ و ۲، دیده می‌شود که برای سرب و کادمیوم تقریباً تمامی مانده‌ها در بازه ۲ و ۲ تقریباً معادل مثبت و منفی ۱/۹۶ انحراف معیار قرار می‌گیرند. پراکنش داده‌ها نیز شکل خاصی ندارند، بنابراین نتیجه بیانگر مدل‌های رگرسیون ارائه شده دارای اعتبار مناسبی هستند.

## ۴. نتیجه‌گیری

از این تحقیق می‌توان موارد زیر را نتیجه‌گیری کرد:

- میانگین‌های غلظت سرب و کادمیوم در خاک آبراهه‌ها و خاک تا ۵۰ متری، بیش از مقدار زمینه و نیز بیش از حد استاندارد غالب کشورها برای خاک کشاورزی است.

- species in New Zealand", *Environmental Science and Technology*, 11- 9, p. 917-920.
14. 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, p. 753-767.
15. Garcia, R. and Millan, E. (1998) "Assessment of Cd, Pb and Zn contamination in roadside soils and grasses from Gipuzkoa (Spain)", *Chemosphere*, 37- 8, p. 1615-1625.
16. Harrison, R.M., Laxen, D. P. H. and Wilson, S. J. (1981) "Chemical associations of lead, cadmium, copper, and zinc in street dusts and roadside soils", *Environmental Science and Technology*, 15- 11, p.1378-1383.
17. Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (1982) "Methods of soil analysis", Madison, Wisconsin, USA.
18. پژوهشکده حمل و نقل. دانشگاه صنعتی شریف (۱۳۸۰) "مطالعات جامع حمل و نقل اصفهان"، تهران: دانشگاه صنعتی شریف.
19. پیمان پاک، ع. (۱۳۸۲) "محدود شدن مصرف MTBE در کشور"، شبکه تحلیل گران تکنولوژی ایران.
20. Kastner-Klein, P., Berkowicz, R. and Britter, R. (2004) "The influence of street architecture on flow and dispersion in street canyons", *Meteorol Atmos Phys* 87, p. 121–131.
21. Vardoulakis, S., Fisher ,B.E.A., Pericleous, K. and Gonzalez-Flesca, N (2003) "Modelling air quality in street canyons: a review", *Atmospheric Environment*, 37, p. 155–182.
22. 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, p.150–157.
۵. امینی، م. (۱۳۸۳) "مدل سازی روند تجمع عناصر سنگین در اکوسیستمهای زراعی و ارزیابی عدم قطعیت آن در منطقه اصفهان"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان نامه دکتری.
۶. افیونی، م. (۱۳۸۱) "بررسی وضعیت آلودگی خاکهای سطحی منطقه مرکزی اصفهان"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، گزارش علمی.
7. Armstrong, J. (1998) "Development of methodology for estimating vehicle emissions", Master's Thesis, Hamilton, Ontario: McMaster University.
8. Wang, X. (2005) "Integrating GIS, simulation models and visualization in traffic impact analysis", *Computers, Environment and Urban Systems*, 29, p. 471–496.
9. Johnson, L. and Ferreira, L. (2001) "Modelling particle emissions from traffic flows at a freeway in Brisbane, Australia", *Transportation Research Part D*, 6, p.357-369.
10. Coelho, M. C., Farias, T. L. and Roupail, N. M. (2005) "Impact of speed control traffic signals on pollutant emissions", *Transportation Research Part D*, 10, p. 323–340.
11. Frey, C., Roupail, N., Unal, A. and Colyar, J. (2001) "Emission reduction through better management", North Carolina: Department of Civil Engineering, North Carolina State University.
۱۲. رحمانی، ح. ر. (۱۳۷۴) "آلودگی خاک توسط عنصر سرب حاصل از وسائط نقلیه در محدوده برخی از بزرگراههای ایران"، اصفهان: دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد.
13. Ward, N., Brooks, R. and Roberts, E. (1977) "Heavy metal pollution automotive emissions and its effect on roadside soils and pasture

# The Relationship Between Traffic Parameters and Lead and Cadmium Concentrations in Urban Roadside Soil

*A. Taebi, Full Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.*

*S. Samani Majd, Graduate, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.*

*M.I Abtahi, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan. Iran.*

*E-mail: amirth@cc.iut.ac.ir*

## ABSTRACT

Lead and cadmium are heavy metal pollutants released by vehicles which are propagated into the urban environment by traffic flow. To study roadside soil pollution and to determine the traffic parameters affecting levels of lead and cadmium in soil, Isfahan was selected for a case study. In this city, soil samples were collected from 13 roadside sites and traffic parameters were determined. The traffic parameters studied include total traffic volume, daily traffic volume, total traffic volume to road oriented width, total traffic volume to total traffic capacity, speed, and aspect ratio. Average lead and cadmium concentrations in soil at distances from 0 to 50 meters from the road edge were found to be higher than background values, thus failing to meet maximum acceptable agricultural soil standards. The regression analysis of concentrations in stream soils versus selected traffic parameters showed that the total traffic volume was the parameter with the highest impact on soil metal content. Also, it was observed that lead and cadmium concentrations (as dependent variables) decreased logarithmically with increasing distance (as one of the independent variables) while each of the lead and cadmium concentrations increased linearly and exponentially, respectively, with increasing total traffic volume (as another independent variable). The regression models developed in this study can be used for predicting lead and cadmium levels in roadside soil in terms of distance from road edge and total traffic volume. The results obtained from this study may be used in urban traffic control, transportation management, urban design and architecture, and urban land use planning.

**Keywords:** Urban environment, traffic pollution, traffic demand model, lead and cadmium distribution, roadside soil pollution.