

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 13 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 جبهی 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 50 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.

1. مقدمه

داشت [1]. خودروها عموماً منابع اصلی تولید آلاینده‌های فلزات سنگین در شهرها هستند که این آلاینده‌ها به صورت ذرات از آگزوز یا دیگر اجزا خودرو وارد محیط می‌شوند. آلاینده‌های خودرویی توسط جریان ترافیکی در اطراف راه‌ها توزیع شده و پژوهشنامه حمل و نقل، سال چهارم، شماره سوم، پاییز-

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 2020 میلادی حدود 950 میلیون وسیله نقلیه در جهان وجود خواهد * تاریخ دریافت: 85/02/20 - تاریخ پذیرش: 86/03/23

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 [2]. 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 [3 و 4]. 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 تایر خودروها وجود دارد و از طریق استهلاک خودروها و انتشار ترافیکی به محیط شهری وارد می‌شود [3، 5 و 6]. 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 [7 و 8]. 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 [9، 10، 11].

پارامترهای محیطی نیز شامل شرایط آب و هوایی همانند دما، میزان بارندگی، جهت و سرعت وزش باد و همچنین خصوصیات خاک حاشیه راه‌اند [8، 9 و 10].
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 [12] 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 [13] در آکلند زلاندنو غلظت فلزات سنگین کادمیوم و سرب را در خاک سطحی حاشیه خیابان‌ها و در 17 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 [14] 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 آهن، منگنز، سرب و روی را در هشت انتشارات ترافیکی پیروی می‌کنند. گارسیا و میلان [15] 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 [16] 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 آبراهه‌های 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.

2. مواد و روشها

13 سایت در خیابان‌های با حجم ترافیکی متفاوت و سن کاردهی نسبتاً زیاد در نقاط مختلف شهر اصفهان انتخاب شدند (جدول 1). 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 150 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 0 تا 5 سانتیمتری داخل آبراهه‌های تمام سایت‌ها و نیز تا فاصله 50 متری سایت‌های 10 تا 13، گرفته شدند. در دیگر سایت‌ها، امکان نمونه‌برداری از خاک تا فاصله 50 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 نقاط دیگر

دنیا بود [12، 13 و 22]. 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 25 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 [17].

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 [12، 13، 14 و 15]. برای تعیین متوسط ترافیکی روزانه در سال و حجم ترافیکی سالانه خیابان‌های مورد مطالعه اقدامات زیر به عمل آمد:

1- برای تمام سایت‌ها (بجز خیابان محتشم کاشانی) از آمار سال 1379 جمع‌آوری شده توسط پژوهشکده حمل و نقل دانشگاه صنعتی شریف [18] استفاده شد.

2- متوسط ترافیکی روزانه سایت محتشم کاشانی در سال 1384 با آمارگیری تعیین شد و سپس حجم ترافیکی آن در سال 1384 محاسبه شد.

3- حجم ترافیکی سال 1366 برای سایت‌های 1، 3، 6، 7 و 9 نیز از داده‌های مرجع [18] تعیین شد.

4- 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 1307 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 2، 10، 11 و 12 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 1381 محاسبه شد. سال 1381 زمان حذف سرب از بنزین است که منبع اصلی انتشار این آلاینده در ایران است [19]. بازه تغییرات حجم ترافیکی کل سایت‌های مورد مطالعه از حدود 52 تا بیش از 520 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 [17]. 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

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 [7، 11، 12، 13 و 14] 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 مبنای قرار گرفت که در آن MAC برای سرب 100 و برای کادمیوم به ترتیب 1 و 5 میلی‌گرم بر کیلوگرم است. در جدول 2 دیده می‌شود که میانگین غلظت سرب در خاک آبراهه‌ها و تا فاصله 50 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 4 داده‌های ترافیکی مورد استفاده برای مدل‌سازی را که شامل حجم ترافیکی کل تاسال 1381، متوسط ترافیک روزانه سالانه در سال 1381، حجم ترافیک کل بر ظرفیت ترافیک کل، حجم ترافیک کل بر عرض جبهی خیابان، متوسط سرعت در سال 1384 و نسبت دیدگاهی هستند را در سایت‌های مورد مطالعه ارائه می‌دهد. از رسم داده‌های غلظت سرب و کادمیوم خاک تا فاصله 50 متری در مقابل فاصله برای سایت‌های 10 تا 13، 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 5 نتایج آزمون جفت شده برای مقایسه میانگین غلظت سرب و کادمیوم خاک در سایت‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول 5 دیده می‌شود نتایج مقایسه میانگین غلظت سرب در سطح معنی‌داری 5 درصد، نشان می‌دهد که سایت 10 در مقابل 11 و 12 با توجه به بیشتر بودن t محاسبه شده از t بحرانی در احتمال دو طرفه، دارای اختلاف معنی‌دار است. همچنین سایت 13 در مقابل 11 و 12 دارای t محاسبه شده

اندازه‌گیری سرعت‌های دو نوع خودرو سواری غالب در ساعت‌های مختلف، متوسط سرعت تعیین شد. بازه تغییرات میانگین سرعت در سایت‌های مختلف از 30 تا 76 کیلومتر در ساعت بود. نسبت دیدگاهی نیز به عنوان یکی از پارامترهای احتمالی اثرگذار بر روند توزیع آلاینده‌های خودرویی معرفی شده است [20] که از تقسیم ارتفاع متوسط ساختمان‌های کنار خیابان در هر سایت بر فاصله میان خط پیوسته جداکننده 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 [21]. 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 جبهی گفته می‌شود که با محاسبه این پارامتر امکان مقایسه اثرگذاری نرخ حجم ترافیکی عبوری از هر خط عبور و مرور ایجاد می‌شود.

3. نتایج و بحث

جدول 2 مشخصات آماری غلظت سرب کل و کادمیوم کل در خاک آبراهه‌ها و تا فاصله 50 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 2 دیده می‌شود که میانگین غلظت فلزات در آبراهه‌ها و تا فاصله 50 متری بیش از مقادیر زمینه هستند. در جدول 3 تفاوت آماری میانگین غلظت سرب و کادمیوم نمونه‌ها با میانگین نمونه‌های زمینه با روش آماری آزمون t در سطح معنی‌داری 5 درصد (سطح اطمینان 95 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 3 دیده می‌شود که میانگین غلظت سرب در تمام موقعیت‌ها با مقدار زمینه آن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌داری 5 درصد است. بر این اساس، غلظت سرب کل در خاک نمونه‌ها تحت تأثیر منابع آلاینده قرار گرفته و به دلیل

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

بیشتری از t بحرانی است. نتایج مقایسه میانگین غلظت کادمیوم 13 دارای t محاسبه شده بیشتر از t بحرانی و نیز سایت 11 در مقابل 13 نیز دارای t محاسبه شده بیشتر از t بحرانی می‌باشد. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که اختلاف بین سایت‌ها معنی‌دار

نیز نشان می‌دهد که سایت 10 در مقابل سایت‌های 11 و 13 است و واضح است که این اختلاف مربوط به تفاوت در عوامل ترافیکی مختلفی است که در این سایت‌ها وجود دارد.

جدول 1. مشخصات سایت‌های نمونه‌برداری خاک و مطالعات ترافیکی

شماره سایت	نام سایت	موقعیت	سال ساخت خیابان
1	خیابان چهارباغ پایین	100 متر قبل از چهارراه تختی از طرف میدان شهدا	1316
2	خیابان فروغی	500 متر قبل از میدان شهدا	1320
3	خیابان بزرگمهر	200 متر قبل از میدان بزرگمهر	1340
4	خیابان احمدآباد	150 متر قبل از خیابان مهرگان از طرف خیابان حافظ	1316
5	خیابان آیت ا... کاشانی	30 متر قبل از ورودی ساختمان هلال احمر	1320
6	خیابان مشتاق اول	500 متر تا میدان خواجه	1355
7	خیابان کمال اسماعیل	200 متر قبل از پل فردوسی از طرف میدان خواجه	1330
8	خیابان چهارباغ بالا	300 متر تا شریعتی از طرف میدان آزادی	1335
9	خیابان سجاد	200 متر بعد از آبشار اول به طرف میدان شهدا	1345
10	خیابان محتشم کاشانی	400 متر بعد از چهار راه شریعتی	1360
11	خیابان امام خمینی	150 متر قبل از خیابان خانه اصفهان از طرف میدان جمهوری	1340
12	خیابان امام خمینی	حدود یک کیلومتر قبل از پارک قلمستان به طرف میدان جمهوری	1340
13	خیابان رزمندگان	500 متر بعد از خیابان رباط	1370

جدول 2. مشخصات آماری غلظت سرب کل و کادمیوم کل در خاک آبراهه‌ها و تا فاصله 50 متری حاشیه خیابان و خاک زمینه

زمینه		تا فاصله 50 متری		آبراهه		واحد	مشخصات آماری
Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb		
40	40	40	40	19	19		تعداد نمونه
2/02	28/91	2/41	126/82	2/94	220/86	و mg/kg	میانگین
1/8	28/65	2/4	86/85	3	186/34	و mg/kg	میانه
0/55	10/87	0/37	82/77	0/31	112/52	و mg/kg	انحراف معیار
0/6	7/3	1/8	35/78	2/4	65/05	و mg/kg	حداقل
2/7	57/8	3/4	325/26	3/4	481/35	و mg/kg	حداکثر

تأثیری، سامانی مجدد و ابطحی

2/1	50/5	1/6	289/48	1	416/30	mg/kg و	دامنه
-----	------	-----	--------	---	--------	---------	-------

جدول 3. آزمون t برای مقایسه میانگین‌های غلظت سرب و کادمیوم خاک آبراهه‌ها و خاک تا فاصله 50 متری با مقادیر زمینه

موقعیت نمونه‌ها	تعداد مشاهدات	میانگین، mg/kg	انحراف معیار، mg/kg	درجات آزادی	tcal	tcrit
سرب						
زمینه	40	28/91	10/87			
خاک آبراهه‌ها	19	220/86	112/52	57	18/73	2/00
خاک تا 50 متری	40	126/82	82/77	78	6/28	1/66
کادمیوم						
زمینه	40	2/02	0/55			
خاک آبراهه‌ها	19	2/94	0/31	57	2/20	2/00
خاک تا 50 متری	40	2/41	0/37	78	2/20	1/66

جدول 4. داده‌های ترافیکی مورد استفاده برای هر سایت

شماره سایت	نام سایت	حجم ترافیک کل (veh) تا سال 1381	متوسط ترافیک روزانه در سال در 1381 سال (veh/d)	حجم ترافیک کل بر ظرفیت کل تا سال 1381	عرض جبهی خیابان (veh/m)	سرعت در سال 1384 (km/h)	نسبت دیدگاهی
1	چهارباغ پایین	323277305	31583	0/473	8710723/98	30/2	0/129
2	فروغی	48657845	5470	0/121	11701274/02	30/3	0/3
3	بزرگمهر	388003251	39686	0/318	7561348	54/3	0/144
4	احمد آباد	152576141	12325	0/429	20601961/39	33/8	0/198
5	کاشانی	520619999	32303	0/390	24067541/65	45/4	0/24
6	مشتاق اول	119352995	18304	0/328	7976695/902	52/2	0/514
7	کمال اسماعیل	285227027	20759	0/638	28787951/13	43	0/106
8	چهارباغ بالا	247895679	23970	0/311	31040260/08	43/3	0/214
9	سجاد	222501183	25358	0/243	34029190	53	0/067
10	رزمندگان	68052132	10600	0/184	18649612/12	54	0
11	امام خمینی (خانه اصفهان)	295864488	34230	0/192	21133177/71	54	0
12	امام خمینی (قلمستان)	255499686	29560	0/187	43881081/08	75/8	0

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

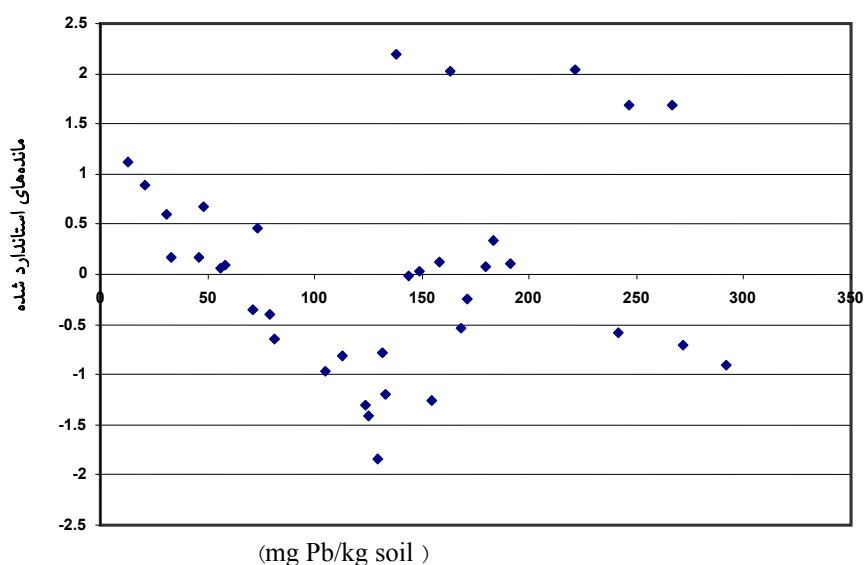
0	54	32538749/94	0/50	26205	72299009	محتشم کاشانی	13
---	----	-------------	------	-------	----------	--------------	----

جدول 5. نتایج آزمون t جفت شده برای مقایسه میانگین غلظت سرب و کادمیوم در سایت‌های مختلف

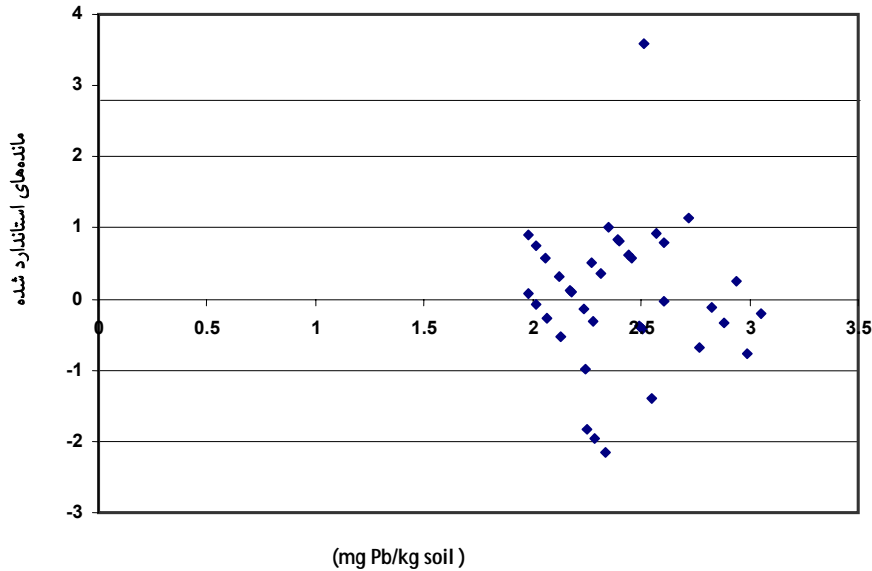
شماره سایت‌ها											
پارامتر	10 در مقابل 11	10 در مقابل 12	10 در مقابل 13	11 در مقابل 12	11 در مقابل 13	12 در مقابل 13					

سرب												
میانگین	181/89	74/79	184/1	65/92	181/89	184/1	74/79	184/1	74/79	181/89	74/79	
مشاهدات	10	10	10	9	10	10	9	10	10	10	10	
df	9	9	8	9	8	8	9	8	9	9	9	
t _{cal}	6/032	4/550	0/559	0/170	5/858	4/908	0/559	0/559	4/550	6/032	6/032	
t _{cri}	2/262	2/262	2/306	2/262	2/306	2/306	2/306	2/306	2/262	2/262	2/262	
سطح	0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	
معنی داری												
احتمال	<0/001	<0/001	0/591	0/869	<0/001	<0/001	0/591	0/591	<0/001	<0/001	<0/001	

کادمیوم												
میانگین	2/36	2/7	2/44	2/7	2/44	2/7	2/36	2/44	2/36	2/7	2/36	
مشاهدات	10	10	10	9	10	10	9	10	10	10	10	
df	9	9	8	9	8	8	9	8	9	9	9	
t _{cal}	6/530	0/497	8	1/816	10	1/664	8	0/497	6/530	6/530	6/530	
t _{cri}	2/262	2/262	2/306	2/262	2/306	2/306	2/306	2/262	2/262	2/262	2/262	
سطح	0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	0/05	
معنی داری												
احتمال	<0/001	0/631	<0/001	0/103	<0/001	0/135	<0/001	0/631	0/631	<0/001	<0/001	



شکل 1. پراکنش مانده‌ها در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده مدل (رابطه 1) برای سرب کل



شکل 2. پراکنش مانده‌ها در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده مدل (رابطه 2) برای کادمیوم کل

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 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 4، 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 0/73) و برای کادمیوم (با ضریب رگرسیون 0/69) به صورت مدل نمایی است. اگرچه در مرجع [8] 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 [13 و 22] 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 کمیته است

کوتاه مدت، منطقی

از رسم داده‌های غلظت سرب و کادمیوم خاک تا فاصله 50 متری در مقابل فاصله برای سایت‌های 10 تا 13 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 5 نتایج آزمون جفت شده برای مقایسه میانگین غلظت سرب و کادمیوم خاک در سایت‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول 5 دیده می‌شود نتایج مقایسه میانگین غلظت سرب در سطح معنی داری 5 درصد نشان می‌دهد که سایت 10 در مقابل 11 و 12 با توجه به بیشتر بودن t محاسبه شده از t بحرانی در احتمال دو طرفه دارای اختلاف معنی دار است. همچنین سایت 13 در مقابل 11 و 12 دارای t محاسبه شده بیشتری از t بحرانی است. نتایج مقایسه میانگین غلظت کادمیوم نیز نشان می‌دهد که سایت 10 در مقابل سایت‌های 11 و 13 دارای t محاسبه شده بیشتر از t بحرانی و نیز سایت 11 در مقابل 13 نیز دارای t محاسبه شده بیشتر از t بحرانی است. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که اختلاف بین سایت‌ها معنی دار است و واضح است که این اختلاف مربوط به تفاوت در عوامل ترافیکی

2 تقریباً معادل مثبت و منفی 1/96 انحراف معیار قرار می‌گیرند. پراکنش داده‌ها نیز شکل خاصی ندارند، بنابراین نتیجه بیانگر مدل‌های رگرسیون ارایه شده دارای اعتبار مناسبی هستند.

4. نتیجه‌گیری

از این تحقیق می‌توان موارد زیر را نتیجه‌گیری کرد:

- میانگین‌های غلظت سرب و کادمیوم در خاک آبراهه‌ها و خاک تا 50 متری، بیش از مقدار زمینه و نیز بیش از حد استاندارد غالب کشورها برای خاک کشاورزی است.
- 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 ارایه شده در این تحقیق (روابط 1 و 2) قادرند با تقریب مناسبی، غلظت سرب و کادمیوم خاک را تا فاصله 50 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.

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 سنگین‌تر هستند و به سرعت فرونشست جوی 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 0/8) و نیز سادگی، نتیجه‌گیری شدند:

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

(1)

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

(2)

که در آن‌ها:

غلظت کادمیوم کل بر حسب CCd غلظت سرب کل و CPb حجم ترافیک کل بر V میلی گرم بر کیلوگرم خاک خشک، فاصله بر حسب متر است. مقادیر D حسب تعداد خودرو و مانده‌های استاندارد شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده مدل‌های 1 و 2 به ترتیب در شکل‌های 1 و 2 برای سرب و کادمیوم ارایه 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 2 و 2- قرار گیرند بیانگر انتخاب مدل مناسب برای رگرسیون است. با بررسی مانده‌های استاندارد شده در برابر مقادیر پیش‌بینی شده شکل‌های 1 و 2 دیده می‌شود که برای سرب و کادمیوم تقریباً تمامی مانده‌ها در بازه 2 و

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.

12. رحمانی، ح. ر. (1374) "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 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 (1380) "مطالعات جامع حمل و نقل اصفهان"، تهران: دانشگاه صنعتی شریف.

19. پیمان پاک، ع. (1382) "محدود شدن مصرف MTBE در کشور"، شبکه تحلیل‌گران 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.

5. 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.

5. امینی، م. (1383) "مدل‌سازی روند تجمع عناصر سنگین در اکوسیستم‌های زراعی و ارزیابی عدم قطعیت آن در منطقه اصفهان"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان نامه دکتری.

6. افیونی، م. (1381) "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.

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.
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.