



دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز
فصلنامه آلودگی‌های محیطی و توسعه پایدار شهری

دوره ۱، شماره ۴، پیاپی ۴
زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۳۳-۴۶

"مقاله پژوهشی"

مقایسه اثر منابع آلودگی خاک بر پذیرفتاری مغناطیسی خاک در کلان‌شهرها (مطالعه موردی: منطقه ۶ تهران)

فرناز قبادی^۱، شهرزاد خرم‌نژادیان^{۲*}، صدرالدین علیپور^۳

^۱دانش‌آموخته دکتری محیط زیست، گروه محیط زیست، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران

^۲دانشیار گروه محیط زیست، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران

^۳سازمان مدیریت پسماند، شهرداری تهران، تهران، ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: shkhoramnejad@yahoo.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۱/۱۱، پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۲/۲۹)

چکیده

آلاینده‌ها از منابع مختلف به خاک وارد می‌شوند و بر خواص فیزیکوشیمیایی خاک اثر می‌گذارند. وجود فلزات سنگین در خاک احتمال ورود آن‌ها به زنجیره غذایی را بالا برده است. منابع صنعتی و حمل و نقل نقش عمده‌ای در ورود این فلزات به خاک دارند. هدف این پژوهش که در سال ۱۴۰۰ در منطقه ۶ شهرداری تهران صورت پذیرفت تعیین ارتباط مابین تجمع فلزات سنگین ناشی از منابع مختلف بر پذیرفتاری مغناطیسی خاک بود. به این منظور ۱۸ نقطه بصورت تصادفی در نقاط مختلف منطقه برای نمونه‌برداری انتخاب شد. با استفاده از دستگاه جذب اتمی مقادیر عناصر سنگین کروم، کادمیم، سرب و آرسنیک اندازه‌گیری گردید. پذیرفتاری مغناطیسی در این نقاط نیز بررسی گردید. بیش‌ترین میزان آلودگی خاک مربوط به عنصر سرب (38 mg/kg) و کم‌ترین مقدار مربوط به کادمیم (0.04 mg/kg) بود. نتایج نشان داد که بین پذیرفتاری مغناطیسی و چگالی ذرات مواد آلی همبستگی وجود ندارد. پذیرفتاری مغناطیسی با کروم همبستگی نداشت اما با کادمیم و آرسنیک رابطه مستقیم داشت و با سرب رابطه معکوس داشت.

واژه‌های کلیدی: ذرات خاک، فلزات سنگین، آلودگی، محیط شهری، ترافیک

مقدمه

آلودگی خاک یکی از چالش‌های مهم دنیای امروز است. لایه رویی خاک با محیط در ارتباط مستقیم می‌باشد و از روان آب‌ها، آلودگی هوا، نشست‌های اتمسفری و ... تاثیرپذیر است.

آلودگی فلزات سنگین در محیط زیست مشکلات گسترده‌ای ایجاد می‌کند. فلزات سنگین موجود در خاک که توسط گیاهان جذب می‌شوند امکان دارد که وارد زنجیره غذایی شوند و سلامت افراد جامعه را به خطر بیندازند (۱). فلزات سنگین در محیط پراکنده‌اند. عناصر سنگین از طریق معدن، فرآوری سنگ معدن، سدهای باطله، سوخت‌های فسیلی و فعالیت‌های صنعتی وارد محیط می‌شوند (۲). فراهمی زیستی فلزات سنگین سبب جذب آن‌ها توسط گیاهان می‌گردد (۳). برخی از آن‌ها بصورت میکرونوترینت برای بدن ضروری هستند و تعدادی از آن‌ها برای موجودات زنده سمی می‌باشند (۴). با توجه به سمیت فلزات سنگین برای موجودات زنده، به این ترتیب طبقه‌بندی شده‌اند: $Hg > Cu > Zn > Ni > Pb > Cd > Cr > Sn > Fe > Mn > Al$ (۵).

دینامیک فلزات سنگین در خاک و جذب آن‌ها توسط گیاهان تحت تاثیر خواص خاک می‌باشد که در فراهمی زیستی عناصر نقش کلیدی دارد. تحرک و جذب فلزات سنگین تحت تاثیر مواد آلی و معدنی خاک قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد که سن خاک نقش مهمی در فراهمی زیستی فلز برای گیاهان دارد (۴).

قرار گیری در معرض ترکیبات کادمیوم، سرب و جیوه به‌ویژه در دوران رشد و دوران نوزادی خطرات غیر قابل جبران دارد، زیرا باعث تغییرات سوء در سیستم اعصاب مرکزی می‌گردد. سرب سبب

بیماری‌های قلبی عروقی می‌شود، بیوستنز هموگلوبین و متابولیسم ویتامین D را مختل می‌کند و در عملکرد کلیه، کبد و سیستم ایمنی و تولید مثل اختلال ایجاد می‌کند. آرسنیک دارای اثرات سرطان‌زایی، پوستی و عصبی است و باعث بیماری‌های قلبی عروقی، اختلالات عروق محیطی، کم خونی و اختلال در عملکرد دستگاه تناسلی می‌شود (۶). پذیرفتاری مغناطیسی میزان مغناطیسی شدن یک جسم در میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد. پذیرفتاری مغناطیسی که از آن به عنوان قابلیت مغناطیسی شدن نیز یاد می‌شود به درجه‌ای گفته می‌شود که یک ماده به واسطه نوع کانی‌های مغناطیسی و غلظت آن‌ها که در نمونه وجود دارد، میدان مغناطیسی معینی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در خاک‌هایی نظیر خاک‌های پایدار هر چه از اعماق خاک به طرف سطح نزدیک می‌شویم میزان پذیرفتاری مغناطیسی افزایش می‌یابد (۷). فرایندهایی نظیر تغییر شکل ژئوشیمیایی آهن، زمین ساختی اقلیمی و خاک ساختی از جمله فرایندهای موثر در پذیرفتاری مغناطیسی می‌باشند. بررسی پذیرفتاری مغناطیسی از جمله روش‌های سریع و مفید جهت بررسی تغییرات ویژگی‌های رسوبی از جمله کانی‌شناسی و ... می‌باشد. از این رو در فرایند پایش تغییرات رسوب در پژوهش‌های محیطی، بررسی پذیرفتاری مغناطیسی امری ضروری می‌باشد (۸). پذیرفتاری مغناطیسی به ترکیب، شکل و اندازه بلورهای کانی‌های مغناطیسی وابسته است (۹). اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی روشی برای شناختن آلاینده‌های موجود در خاک می‌باشد (۱۰).

در تحقیقی که توسط Lecoanet در سال ۲۰۰۳ انجام شد با استفاده از پتانسیل مغناطیسی آلودگی و

روش کار

- منطقه مورد مطالعه

شهر تهران به لحاظ موقعیت جغرافیایی در $۸^{\circ} ۵۱'$ تا $۳۷^{\circ} ۵۱'$ طول شرقی و $۳۴^{\circ} ۳۵'$ تا $۳۵^{\circ} ۵۰'$ عرض شمالی قرار گرفته است. ارتفاع این شهر از سطح دریا از ۱۱۰۰ متر در جنوب تا ۱۷۰۰ متر در شمال در نوسان می‌باشد (سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۸۹). منطقه ۶ شهرداری تهران، یکی از مناطق پرتردد می‌باشد که دارای کاربری‌های آموزشی، اداری، مسکونی و تجاری می‌باشد. جدول (۱) مشخصات نقاط نمونه‌برداری از خاک در منطقه ۶ شهری تهران در سال ۱۴۰۰ را نشان می‌دهد.

منابع انتشار آن در خاک‌های رویی و زیرین ارزیابی گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که در پروفیل خاک با افزایش عمق پذیرفتاری مغناطیسی افزایش می‌یابد که بدلیل وجود کانی‌های مغناطیسی است (۱۱).

در پژوهشی که در اقلیم خشک انجام شد رابطه میان فلزات سنگین در لایه‌روی خاک شهری با پذیرفتاری مغناطیسی بررسی شد. نتایج نشان داد که از نتایج مگنتومتريک می‌توان برای تعیین آلودگی فلزات سنگین در خاک استفاده نمود (۱۲). در تحقیقی که در شهر هانگژو چین انجام گرفت مشخص گردید که بین تجمع روی، مس، کادمیم و سرب با خواص مغناطیسی همبستگی مثبت وجود دارد (۱۳).

در این پژوهش ارتباط میان میزان پذیرفتاری مغناطیسی خاک و حضور عناصر سنگین ناشی از منابع آلاینده در منطقه ۶ شهر تهران بررسی شده است.

جدول (۱): مشخصات نقاط نمونه‌برداری از خاک در منطقه ۶ شهری تهران در سال ۱۴۰۰

نقاط	آدرس	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	پمپ بنزین وصال	536256.260	3950909.480
۲	بیمارستان امام خمینی	534353.100	3951459.860
۳	پمپ بنزین مسجد امیر	535251.880	3952677.250
۴	پل گیشا	534574.520	3953528.120
۵	پمپ بنزین میرزای شیرازی	537596.520	3953037.372
۶	پمپ بنزین یوسف آباد	536625.363	3955432.458
۷	کارواش و معاینه فنی بیهقی	538034.818	3955043.430
۸	پارک سوار بیهقی	537811.893	3955027.726
۹	پمپ بنزین پارک ساعی	537152.047	3954388.052
۱۰	پمپ بنزین ولی عصر	536927.913	3952717.134
۱۱	میدان ولی عصر	536847.986	3952034.138
۱۲	پمپ بنزین حکیم	535439.590	3955459.361
۱۳	بازيافت پسماند شهری	537853.562	3954822.345
۱۴	پمپ بنزین میدان فردوسی (قرنی)	537894.987	3951002.206
۱۵	نظامی گنجوی	536864.162	3955716.718
۱۶	ساعی	537084.907	3954887.568
۱۷	لاله	535624.368	3951878.193
۱۸	افریقا - رسالت	537767.303	3955327.333

– اندازه‌گیری فلزات سنگین

بعد از برداشت نمونه‌ها، در ظرف پلاستیکی مخلوط و در نهایت در کیسه پلاستیکی دردار ریخته شده و به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های خاک در هوای آزاد و همچنین پس از ۲۴ ساعت در آون در دمای ۴۰ سانتی‌گراد خشک شده از الک ۶۳ میکرون گذرانده شدند. نمونه‌های خاک در دمای محیط خشک شدند و پس از الک کردن برای هضم به آن‌ها اسید فلوئوریدریک اضافه شد. پس از این مرحله هضم، به نمونه‌ها تیزاب سلطانی اضافه گردید و مجدداً عملیات هضم شیمیایی ادامه یافت. در نهایت حجم نمونه را بوسیله آب مقطر به ۲۰ میلی‌لیتر رسید و از کاغذ صافی عبور داده شد و سپس به دستگاه تزریق گردید. غلظت فلزات سنگین با دستگاه جذب اتمی مدل پرلین تعیین گردید. پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌ها با استفاده از

دستگاه Bartington MS2 Dual Frequency Sensor

Bartington MS Dual-Frequency Sensor و حسگر Ms2B در دو فرکانس ۰/۴۶ و ۴/۶ کیلوهرتز قرائت شد. به منظور کاهش مقدار خطای آزمایش، برای هر نمونه سه قرائت انجام و در نهایت میانگین قرائت‌ها به عنوان نتیجه نهایی پذیرفتاری مغناطیسی هر نمونه گزارش شد.

تحلیل آماری با کمک نرم‌افزار spss انجام شد. از نرم‌افزار arc-gis برای تهیه نقشه پهنه‌بندی استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول (۲) پارامترهای تشکیل دهنده خاک در منطقه ۶ را نشان می‌دهد. چگالی ذرات، درصد مواد تشکیل دهنده خاک، میزان مواد آلی خاک اندازه‌گیری شدند.

جدول (۲): خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک محل نمونه‌برداری در منطقه ۶ شهر تهران

نقاط	pH	Clay%	Silt%	Sand%	چگالی ذرات Gs (g/cm ³)	مواد آلی OM %	جرم مخصوص حقیقی	پتاسیم	سدیم	منیزیم	کلسیم
۱	۷/۸۶	۱۰	۲۵	۶۵	۲/۳۶	۸/۲۱	۲/۳۶	۳۹/۱	۱۸۵	۱۹۸	۷۹۲
۲	۷/۸۵	۱۰	۲۲	۶۸	۲/۴۴	۷/۲۱	۲/۴۴	۱۷/۸	۱۱۰	۱۳۸	۵۵۰
۳	۷/۴۳	۸	۲۲	۷۰	۲/۱۴	۱۲/۹۴	۲/۱۴	۶۲	۵۶۰	۳۷	۹۸۸
۴	۷/۳۶	۱۵	۲۳	۶۲	۲/۳۲	۹/۵۱	۲/۳۲	۱۰/۳	۱۰۰	۷۹	۲۱۸
۵	۷/۶۶	۰	۲۶	۷۴	۲/۷۱	۵/۵۶	۲/۷۱	۴/۲	۶۲	۱۲۸	۲۴۸
۶	۷/۶۴	۱۵	۲۴	۶۱	۲/۵۷	۷/۱۲	۲/۵۷	۶/۸	۸۰	۹۹	۴۴۶
۷	۷/۴	۰	۰	۱۰۰	۲/۶۲	۴/۸۴	۲/۶۲	۲۴/۹	۸۱/۸	۲۲۵	۹۰۰
۸	۷/۵۳	۲۳	۰	۷۷	۲/۴	۱۳/۴۲	۲/۴	۸/۳	۱۲۰	۶۲	۳۶۳
۹	۷/۵۴	۹	۲۰	۷۲	۲/۵۱	۸/۱۲	۲/۵۱	۲۸/۴	۹۲	۱۶۹	۷۵۲
۱۰	۷/۶۳	۱۲	۲۲	۶۶	۲/۴۵	۶/۳۷	۲/۴۵	۱۲/۵	۲۱۰	۱۷۵	۴۵۰
۱۱	۷/۸	۰	۰	۱۰۰	۲/۵۳	۹/۰۳	۲/۵۳	۱۹/۳	۱۲۰	۷۵	۴۲۵
۱۲	۷/۳۴	۲۳	۰	۷۷	۲/۴۳	۷/۲۸	۲/۴۳	۱۴/۵	۱۸۷/۵	۳۸	۲۲۵
۱۳	۷/۴۷	۳۰	۰	۷۰	۵۵/۲	۶/۸۵	۲/۵۵	۴/۵	۷۱/۴	۶۳	۳۲۵
۱۴	۷/۶۶	۸	۲۲	۷۰	۲/۱۴	۷/۲۱	۲/۱۴	۱۰/۳	۱۰۰	۳۷	۲۱۸
۱۵	۷/۶۴	۱۵	۲۳	۶۲	۲/۳۲	۱۲/۹۴	۲/۵۱	۴/۲	۶۲	۷۹	۲۴۸

ادامه جدول (۲):

۱۶	۷/۴	۰	۲۶	۷۴	۲/۷۱	۹/۵۱	۲/۴۵	۶٫۸	۸۰	۱۲۸	۴۴۶
۱۷	۷/۵	۱۵	۲۴	۶۱	۲/۵۷	۵/۵۶	۲/۵۳	۱۲/۵	۸۱٫۸	۹۹	۲۱۰
۱۸	۷/۳۴	۰	۰	۹۰	۲/۶۲	۴/۸۴	۲/۴۳	۱۹/۳	۶۹/۸	۷۸	۲۵۱

بیش‌ترین میزان کلسیم اندازه‌گیری شده مربوط به پل گیشا می‌باشد. اسیدیته این منطقه نزدیک به خنثی و متمایل به قلیایی می‌باشد. خاک بطور مستقیم یا غیرمستقیم رشد گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. مهم‌ترین نقش pH خاک کنترل حلالیت عناصر غذایی در خاک می‌باشد. به عبارت دیگر قابلیت جذب عناصر غذایی وابستگی زیادی به pH خاک دارد. عناصر غذایی در pH‌های مختلف، حلالیت‌های متفاوتی دارند. هر گیاهی یک محدوده pH خاص و مناسبی را تحمل می‌کند که اگر pH خاک کم یا زیاد باشد رشد و نمو گیاه را دچار مشکل می‌کند. بسیاری از خاک‌های ایران قلیایی هستند که این سبب عدم دسترسی گیاهان به عناصر بسیار ضروری مانند آهن، فسفر و روی می‌گردد. در نتیجه با کاهش عملکرد گیاهان به ویژه غلات بر اثر تنش غیرزنده (کمبود عناصر غذایی ضروری) همراه خواهیم بود. در خاک‌های ایران کمبود عناصر ضروری مطرح نیست زیرا این عناصر در خاک هستند و حتی به مقدار زیاد ولی به علت pH بالای خاک باعث غیر قابل جذب بودن آن‌ها می‌شود. به لحاظ فراوانی، کلسیم موجود در پوسته زمین بین کلیه عناصر دارای مقام پنجم و در میان فلزات دارای مقام سوم است. ترکیبات کلسیم ۳/۶۴ درصد از پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. کریستال‌های سفید کلسیم، در دمای ۸۱۰°C ذوب می‌شوند و فلز کلسیم در آب و اسید محلول بوده و هیدروکسید و نمک تولید می‌نماید. کلسیم جزء ساختمانی و ثابت کلیه گیاهان بوده و

بصورت‌های جزء ساختمانی و یون فیزیولوژیکی همزمان یافت می‌شود. همچنین یون کلسیم قادر است اثرات سمی یون‌های پتاسیم، سدیم و منیزیم را بلااثر نماید. کلسیم به دلیل وجود در خاک قادر است بر قلیائی کردن آن اثر و متعاقب آن در رویش گیاهان تأثیر داشته باشد. این عنصر در ساختمان بدن حیوانات (در بافت‌های نرم)، مایعات میان بافتی و اسکلت‌بندی یافت می‌شود. استخوان‌های مهره داران حاوی کلسیم، به صورت فلوئورید کلسیم، کربنات کلسیم و فسفات کلسیم می‌باشد، همچنین کلسیم ذاتاً در بسیاری از وظایف بیولوژیکی مهره‌داران، سهمیم است. برای غلظت کلسیم، استاندارد خاصی تعریف نشده و این فلز به طور طبیعی در بدن جانداران و گیاهان وجود دارد. جدول (۳) غلظت فلزات سنگین در سطح منطقه ۶ را نشان می‌دهد. کروم بیش‌ترین غلظت را در میان فلزات سنگین داشته و کم‌ترین مقدار غلظت فلزات سنگین مربوط به کادمیم می‌باشد.

جدول (۳): غلظت فلزات سنگین در سطح منطقه ۶

نقاط	As	Cd	Pb	Cr
۱	۱۴/۴۰	۰/۰۴>	۲۵/۰	۱۱
۲	۹/۱۳	۰/۰۴>	۳۵	۱۰
۳	۱۰/۲۰	۰/۰۴>	۳۰	۱۰
۴	۱۶/۴۰	۰/۰۴>	۴۷	۱۷
۵	۵/۱۰	۰/۰۴>	۳۲/۰	۱۶
۶	۱۰/۶۰	۰/۰۴>	۲۷/۰	۸
۷	۱۴/۶۰	۰/۰۴>	۲۸/۰	۱۶
۸	۱۱/۵۰	۰/۰۴>	۳۲/۰	۱۹
۹	۱۰/۹۰	۰/۰۴>	۲۲/۰	۹

ادامه جدول (۳):

۱۰	۲۷/۰	۰/۰۴>	۱۲/۰۰	۱۰
۱۴	۲۸/۰	۰/۰۴>	۱۶/۷۰	۱۱
۱۱	۳۲/۰	۰/۰۴>	۱۳/۴۰	۱۲
۱۶	۲۵/۰	۰/۰۴>	۱۱/۳۰	۱۳
۲۰	۴۹/۰	۰/۰۴>	۱۳/۹۰	۱۴
۱۷	۱۸	۰/۰۴>	۱۲/۹۰	۱۵
۱۴	۳۴	۰/۰۴>	۱۱/۷۰	۱۶
۱۰	۲۷	۰/۰۴>	۱۰/۱۰	۱۷
۱۱	۳۱	۰/۰۴>	۹/۲۰	۱۸

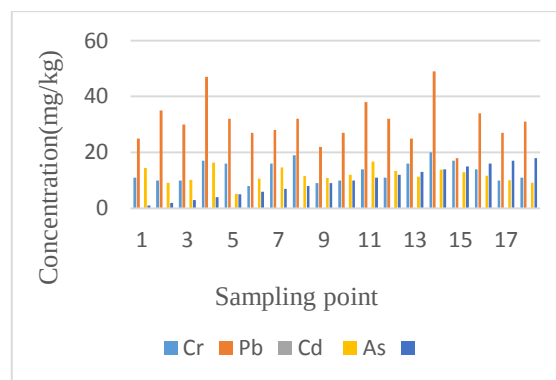
در استاندارد کیفیت منابع خاک سازمان محیط زیست ایران حد مجاز فلز سرب ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم تعیین شده است. غلظت فلز سرب در ایستگاه ۴ و ۱۴ بیش تر از بقیه نقاط می باشد. ایستگاه ۴ یا پل گیشا در کنار چند اتوبان پرتردد قرار دارد و ایستگاه ۱۴ یا میدان فردوسی از نقاط پرتردد شهری می باشد. سرب در محیط های شهری از طریق بنزین به محیط وارد می گردد، بنابراین در منطقه ۶ شهرداری تهران در مناطقی که در مجاورت بزرگراه ها و میادین پرتردد قرار دارند میزان آرسنیک از حد مجاز بیش تر است. می توان گفت منشا سرب در منطقه ۶ تهران وسایط نقلیه می باشند.

کروم بطور طبیعی در محیط زیست وجود دارد و هوازدگی سنگ کرومیت سبب ورود آن به محیط می گردد. احتراق گاز طبیعی و نفت، خوردگی قطعات اتومبیل ها سبب ورود این ماده بطور مصنوعی به محیط می گردد. اکبری و عظیم زاده (۱۳۹۲) استاندارد کروم را ۱۰۰ mg/kg اعلام نموده اند و این انتخاب به دلیل نبود استاندارد مشخص در ایران است. با توجه به نتایج بدست آمده و مقایسه آن با استاندارد مشخص می گردد میزان کروم در منطقه ۶ در حد استاندارد قرار دارد. کم ترین میزان کروم در مجاورت پمپ بنزین میرزای شیرازی و بیش ترین در مجاورت بیمارستان امام خمینی می باشد.

مقادیر آرسنیک و کادمیم در منطقه نشان می دهد که میزان آن ها در خاک های منطقه بسیار پایین است. روی برای گیاهان در اکثر خاک های کشور کم تر از یک میلی گرم بر کیلوگرم تخمین زده می شود بنابراین گیاهان یا نمی توانند ریزمغذی ها را جذب کنند یا در صورت جذب به دلیل رسوب در آوندها، امکان

آرسنیک یکی از خطرناک ترین عناصر سنگین می باشد و حساسیت ویژه ای در مورد میزان آن در آب و خاک وجود دارد. بیش ترین میزان آرسنیک مربوط به پمپ بنزین حکیم و کم ترین میزان مربوط به پمپ بنزین یوسف آباد است. آرسنیک در خاک پمپ بنزین ها بیش تر از مناطق مجاور است. با مطالعه ترمودینامیکی انواع آرسنیک به این نتیجه رسیدند که جابجایی آرسنیک در خاک به اسیدیته مرتبط است (۱۴).

شکل (۱) غلظت فلزات سنگین در سطح منطقه ۶ را نشان می دهد. سرب در پل گیشا و میدان فردوسی بیش ترین میزان را نشان می دهد. آرسنیک در محدوده پمپ بنزین وصال کم ترین میزان را نشان داده است.



شکل (۱): غلظت فلزات سنگین در سطح منطقه ۶

استفاده از آن وجود ندارد. تشابه الکترونی یون کادمیوم با یون روی موجب می‌شود که کادمیوم به جای روی جذب گیاه شود، لذا در خاک‌هایی که قابلیت استفاده از روی پایین است، جذب کادمیوم توسط ریشه گیاه افزایش می‌یابد.

هرچه بیش‌تر به مراکز پرتردد نزدیک می‌شویم میزان سرب در خاک منطقه افزایش می‌یابد در این مناطق وجود تعمیرگاه‌ها و مراکز صنعتی نیز مزید علت شده است. میزان سرب در منطقه منشاء سوختی دارد. در استاندارد کیفیت منابع خاک سازمان محیط زیست حد مجاز فلز سرب ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلو گرم تعیین شده است. غلظت فلز سرب در همه نمونه خاک‌های

برداشت شده از سطح منطقه چهار شهرداری تهران، دارای غلظتی پایین‌تر از حد مجاز می‌باشد. مقدار کروم در تمامی ایستگاه‌ها پایین‌تر از استاندارد حفاظت محیط زیست می‌باشد. اما به نظر می‌رسد با نزدیک شدن به حریم صنعتی منطقه میزان کروم افزایش می‌یابد.

جدول (۴) پذیرفتاری مغناطیسی خاک در نقاط مختلف منطقه ۶ را نشان می‌دهد. پمپ بنزین وصال و مرکز بازیافت منطقه بیش‌ترین میزان پذیرفتاری را نشان داده‌اند.

جدول (۴): پذیرفتاری مغناطیسی خاک در نقاط مختلف منطقه ۶

نقاط	نام ایستگاه	χ^H ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)	χ^{fd} ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)
۱	پمپ بنزین وصال	۳۴/۱	۰/۹
۲	بیمارستان امام خمینی	۱۴/۱	۰/۷
۳	پمپ بنزین مسجد امیر	۱۷/۹	۱/۱
۴	پل گیشا	۱۷/۷	۱/۳
۵	پمپ بنزین میرزای شیرازی	۱۷/۹	۱/۱
۶	پمپ بنزین یوسف آباد	۱۸/۲	۱/۵
۷	کارواش و معاینه فنی بیهقی	۱۸/۲	۱/۵
۸	پارک سوار بیهقی	۱۴/۳	۱/۶
۹	پمپ بنزین پارک ساعی	۱۹/۱	۱/۹
۱۰	پمپ بنزین ولی عصر	۳۰/۲	۱
۱۱	میدان ولی عصر	۸/۳	۰/۵
۱۲	پمپ بنزین حکیم	۲۸/۲	۱/۷
۱۳	بازیافت پسماند شهری	۲۹/۴	۲/۱
۱۴	پمپ بنزین میدان فردوسی (قرنی)	۲۰/۱	۲/۲
۱۵	نظامی گنجوی	۷/۲	۰/۵
۱۶	ساعی	۵	۰/۶
۱۷	لاله	۶/۳	۰/۷
۱۸	افریقا - رسالت	۱۱/۱۳	۰/۸۸

فرکانس پایین (f^H)، فرکانس بالا (f^d)

مکانیسم‌های مختلف برای همبستگی فلزات سنگین با آهن اکسیدهای موجود در خاک (جذب و درصد) شناسایی شده‌اند. ذرات اکسید آهن خروجی از صنایع فلزات سنگین را جذب کرده و با آنها ترکیب می‌شوند.

Scholger در سال ۲۰۰۰ دریافت که وجود روی، سرب، نیکل، مس و کروم در رسوبات رودخانه در مقیاس ماکروسکوپی با اندازه‌گیری‌های مغناطیسی مشخص می‌گردد (۱۵). روی، مس، کادمیوم و کروم

تمایل به رسوب با اکسیدهای آهن آبدار را دارند، اگر آلاینده‌های هوا دارای ذرات اکسید آهن باشند فلزات سنگین را به همراه خود رسوب می‌دهند و در پذیرفتاری مغناطیسی مشخص می‌گردند (۱۶).

جدول (۵) رابطه میان پذیرفتاری مغناطیسی با فلزات سنگین خاک را نشان می‌دهد. پذیرفتاری مغناطیسی با کروم همبستگی ندارد اما با کادمیوم و آرسنیک رابطه مستقیم و با سرب رابطه معکوس دارد.

جدول (۵): رابطه میان پذیرفتاری مغناطیسی با فلزات سنگین خاک

Correlations					
		پذیرفتاری مغناطیسی	کروم	سرب	کادمیوم
پذیرفتاری مغناطیسی	Pearson Correlation	1	0.170	-0.315*	0.587**
	Sig. (2-tailed)		0.214	0.019	0.000
	N	55	55	55	55
کروم	Pearson Correlation	0.170	1	0.224	0.470**
	Sig. (2-tailed)	0.214		0.101	0.000
	N	55	55	55	55
سرب	Pearson Correlation	-0.315*	0.224	1	-0.172
	Sig. (2-tailed)	0.019	0.101		0.210
	N	55	55	55	55
کادمیوم	Pearson Correlation	0.587**	0.470**	-0.172	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.210	
	N	55	55	55	55
آرسنیک	Pearson Correlation	0.369**	0.255	-0.387**	0.444**
	Sig. (2-tailed)	0.006	0.060	0.004	0.001
	N	55	55	55	55

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ترتیب نسبی همبستگی بین فلزات سنگین و پارامترهای مغناطیسی نشان دهنده میل نسبی این فلزات به کانی‌های فرو مغناطیسی می‌باشد (۱۶). زمان ماند فلزات در خاک به شدت بستگی به خصوصیات ذاتی خاک دارد که توسط فرایندهای تشکیل خاک کنترل می‌شود (۱۷). جذب سطحی خاک نیز نقش مهمی در جذب فلزات سنگین خاک و تاثیر بر خاصیت مغناطیسی خاک دارد.

مقدار "سطح معنی‌داری" بین پذیرفتاری مغناطیسی و سرب کمتر از ۰/۰۵ است پس بین پذیرفتاری

مغناطیسی و سرب همبستگی وجود دارد. چون مقدار "ضریب همبستگی" بین ۰/۲ و ۰/۴ است پس رابطه ضعیفی برقرار است و از طرفی مقدار "ضریب همبستگی" منفی است پس رابطه بطور معکوس وجود دارد. "سطح معنی‌داری" بین پذیرفتاری مغناطیسی و کروم بیشتر از ۰/۰۵ است پس بین پذیرفتاری مغناطیسی و کروم همبستگی وجود ندارد.

مقدار "سطح معنی‌داری" بین پذیرفتاری مغناطیسی و کادمیوم کمتر از ۰/۰۵ است پس بین پذیرفتاری مغناطیسی و کادمیوم همبستگی وجود دارد. چون

مقدار "ضریب همبستگی" بین ۰/۴ و ۰/۶ است پس رابطه قابل قبولی برقرار است و از طرفی مقدار "ضریب همبستگی" مثبت است پس رابطه بطور مستقیم وجود دارد.

مقدار "سطح معنی‌داری" بین پذیرفتاری مغناطیسی و آرسنیک کم‌تر از ۰/۰۵ است پس بین پذیرفتاری مغناطیسی و آرسنیک همبستگی وجود دارد. چون

مقدار "ضریب همبستگی" بین ۰/۲ و ۰/۴ است پس رابطه ضعیفی برقرار است و از طرفی مقدار "ضریب همبستگی" مثبت است پس رابطه بطور مستقیم وجود دارد.

در تحقیقی که در چین صورت پذیرفت نتایجی مشابه بدست آمده است (۱۳). جدول (۶) رابطه میان پذیرفتاری خاک و نوع خاک را بیان می‌کند.

جدول (۶): رابطه میان پذیرفتاری مغناطیسی خاک و نوع خاک

Correlations					
		پذیرفتاری مغناطیسی	رس	سیلت	شن
پذیرفتاری مغناطیسی	Pearson Correlation	1	0.052	-0.038	0.003
	Sig. (2-tailed)		0.708	0.781	0.982
	N	55	55	55	55
رس	Pearson Correlation	0.052	1	-0.184	-0.497**
	Sig. (2-tailed)	0.708		0.178	0.000
	N	55	55	55	55
سیلت	Pearson Correlation	-0.038	-0.184	1	-0.755**
	Sig. (2-tailed)	0.781	0.178		0.000
	N	55	55	55	55
شن	Pearson Correlation	0.003	-0.497**	-0.755**	1
	Sig. (2-tailed)	0.982	0.000	0.000	
	N	55	55	55	55

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

رس حاوی عناصر سنگین بیش‌تری می‌باشند و از طریق فرسایش و شیب طبیعی به نواحی کم ارتفاع‌تر انتقال می‌یابند.

جدول (۷): رابطه اسیدیته و پذیرفتاری مغناطیسی

Correlations			
		پذیرفتاری مغناطیسی	pH
پذیرفتاری مغناطیسی	Pearson Correlation	1	0.131
	Sig. (2-tailed)		0.341
	N	55	55
pH	Pearson Correlation	0.131	1
	Sig. (2-tailed)	0.341	

مقدار "سطح معنی‌داری" بین پذیرفتاری مغناطیسی و pH بیش‌تر از ۰/۰۵ است پس بین پذیرفتاری مغناطیسی و pH همبستگی وجود ندارد.

شن با پذیرفتاری مغناطیسی همبستگی دارد. از نظر وجود آهن در ذرات خاک تقسیماتی وجود دارد. خواص مغناطیسی ضعیف (رس، آهن-هیدروکسیدها، همتایت، گوتیت و...) که منشاء طبیعی دارند و خواص قوی مغناطیسی (دانه‌های ریز مگنتیت بیش‌تر یا کم‌تر جایگزین شده) که از منابع انسانی مشتق شده‌اند (۱۸).

خاک رویی در مناطق شهری حاوی مقادیر زیادی اکسید آهن می‌باشد که جاذب فلزات سنگین هستند بنابراین با استفاده از مگنومتری می‌توان با هزینه پایین‌تری تراکم فلزات سنگین را برآورد نمود (۱۲). فلزات سنگین از طرق مختلفی مثل سوخت فسیلی، صنایع، پسماند و ترافیک به محیط شهری وارد می‌شوند. ذرات

جدول (۷) رابطه پذیرفتاری مغناطیسی با پارامترهای خاک را نشان می‌دهد. پارامترهایی مانند مواد آلی موجود در خاک، چگالی ذرات مواد آلی و جرم مخصوص حقیقی چگالی ذرات مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

جدول (۸): رابطه پذیرفتاری مغناطیسی با پارامترهای خاک

پذیرفتاری مغناطیسی		
چگالی ذرات مواد	ضریب همبستگی	۰/۱۷۰
آلی	سطح معنی‌داری	۰/۲۱۴
جرم مخصوص	ضریب همبستگی	-۰/۳۱۵
حقیقی چگالی ذرات	سطح معنی‌داری	۰/۰۱۹
مواد آلی	ضریب همبستگی	۰/۵۸۷
	سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰

با توجه به جدول (۸) مشاهده می‌شود که مقدار "سطح معنی‌داری" بین پذیرفتاری مغناطیسی و چگالی ذرات مواد آلی بیش‌تر از ۰/۰۵ است پس بین پذیرفتاری مغناطیسی و چگالی ذرات مواد آلی همبستگی وجود ندارد.

مقدار "سطح معنی‌داری" بین پذیرفتاری مغناطیسی و جرم مخصوص حقیقی چگالی ذرات بیش‌تر از ۰/۰۵ است پس بین پذیرفتاری مغناطیسی و جرم مخصوص حقیقی چگالی ذرات همبستگی وجود ندارد.

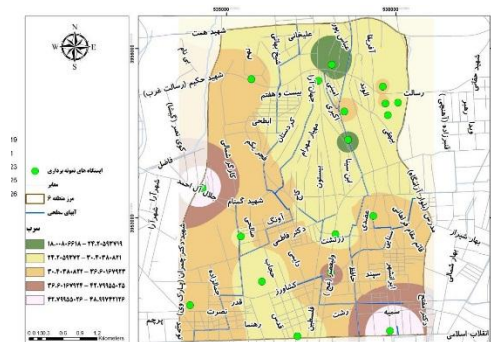
مقدار "سطح معنی‌داری" بین پذیرفتاری مغناطیسی و مواد آلی بیش‌تر از ۰/۰۵ است پس بین پذیرفتاری مغناطیسی و مواد آلی همبستگی وجود ندارد. همبستگی معنی‌دار نشان دهنده همبستگی قوی و میل فلزات سنگین به مواد مغناطیسی است (۱۶).

جدول (۹): رابطه پذیرفتاری مغناطیسی با عناصر خاک

پذیرفتاری مغناطیسی		
پتاسیم	ضریب همبستگی	-۰/۰۰۱
	سطح معنی‌داری	۰/۹۹۳
سدیم	ضریب همبستگی	-۰/۰۳۰
	سطح معنی‌داری	۰/۸۲۹
منیزیم	ضریب همبستگی	۰/۰۱۷
	سطح معنی‌داری	۰/۹۰۲
کلسیم	ضریب همبستگی	۰/۰۱۵
	سطح معنی‌داری	۰/۹۱۵

پذیرفتاری مغناطیسی خاک می‌تواند به طور تقریبی نشان دهنده محتوای کانی‌های آهن‌دار که در خاصیت مغناطیسی خاک دخیلند، باشد (۱۹).

با توجه به جدول (۹) مشاهده می‌شود که مقدار "سطح معنی‌داری" بین پذیرفتاری مغناطیسی و پتاسیم بیش‌تر از ۰/۰۵ است پس بین پذیرفتاری مغناطیسی و پتاسیم همبستگی وجود ندارد. برای سدیم، منیزیم و کلسیم نیز همبستگی دیده نشد. مقادیر کربنات کلسیم با پذیرفتاری مغناطیسی نسبت عکس دارد (۲۰).



شکل (۱): پهنه‌بندی تجمع سرب در خاک‌های منطقه ۶ شهرداری تهران

شکل (۱) پهنه‌بندی تجمع سرب در منطقه ۶ را نشان می‌دهد. چنانچه در نقشه مشهود است محدوده

بزرگراه چمران و جلال آل احمد از سایر نقاط بالاتر می‌باشد که نشانگر منشا حمل و نقلی است.



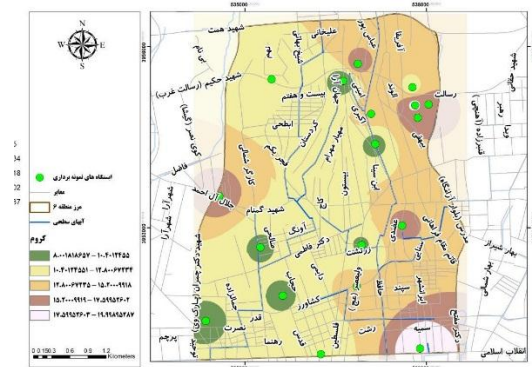
شکل (۴): پهنه‌بندی تجمع کادمیم در خاک‌های منطقه ۶ شهرداری تهران

شکل (۴) پهنه‌بندی کادمیم در سطح منطقه ۶ می‌باشد. به نظر می‌رسد که کادمیم دارای پراکندگی یکسانی در سطح منطقه می‌باشد و منابع آن می‌توانند اتومبیل‌ها و کود شیمیایی باشند.

نتیجه‌گیری

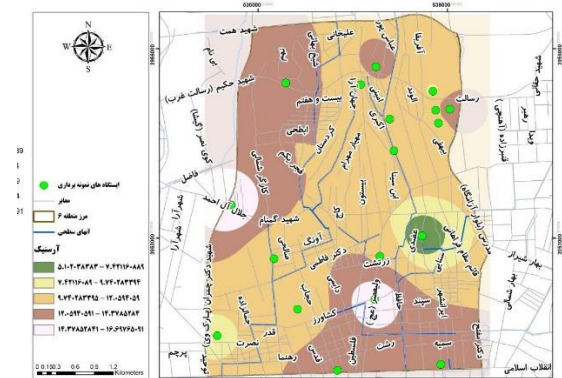
وجود آلودگی خاک در مناطق شهری امری اجتناب‌ناپذیر است. در این پژوهش رابطه پذیرفتاری مغناطیسی با تجمع برخی فلزات سنگین در منطقه ۶ شهرداری تهران بررسی شد. عناصر سنگین مورد بررسی As ، Cr و Pb بودند. شرایط مغناطیسی در شناسایی حالات ماده معدنی استفاده می‌گردند. استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی راهی کم هزینه‌تر برای برآورد میزان فلزات سنگین در خاک می‌باشد. آلاینده‌های فلزی شهر تهران ناشی از منابع انسانی می‌باشند. نتایج نشان داد که پذیرفتاری مغناطیسی خاک در منطقه مورد بررسی با کروم همبستگی ندارد اما با کادمیم، آرسنیک همبستگی و رابطه مستقیم و با سرب رابطه معکوس دارد.

خیابان سمیه و تقاطع چمران و جلال آل احمد بیش‌ترین تجمع سرب در خاک را دارند. با توجه به حجم ترافیکی بالا در این مناطق، این آلودگی ناشی از حمل و نقل می‌باشد.



شکل (۲): پهنه‌بندی تجمع کروم در خاک‌های منطقه ۶ شهرداری تهران

شکل (۲) پهنه بندی تجمع کروم در منطقه ۶ را نشان می‌دهد. میزان کروم در اطراف بزرگراه رسالت و تونل رسالت (تقاطع با کردستان) بیش‌ترین مقدار را دارد.



شکل (۳): پهنه‌بندی تجمع آرسنیک در خاک‌های منطقه ۶ شهرداری تهران

شکل (۳) پهنه‌بندی تجمع آرسنیک در منطقه ۶ را نشان می‌دهد. میزان آرسنیک در میدان ولیعصر و تقاطع

منابع

- Ambrosini, A., Cismasu, A.C., Brown Jr., G.E., 2010, Ordered ferrimagnetic form of ferrihydrite reveals links among structure, composition, and magnetism, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(7), 2787.
- [10] Canbay, M., Aydin, A., Kurtulus, C. 2010, Magnetic susceptibility and heavy-metal contamination in topsoils along the Izmit Gulf coastal area and IZAYTAS (Turkey), *Journal of Applied Geophysics*, 70, 46.
- [11] Lecoanet, H., Leveque, F., Ambrosi, J.P., 2003, Combination of magnetic parameters: An efficient way to discriminate soil-contamination sources (south France), *Environmental Pollution*, 122, 229.
- [12] Karimi, R., Ayoubi, S., Jalalian, A., Sheikh-Hosseini, A.R., Afyuni, M., 2011, Relationships between magnetic susceptibility and heavy metals in urban topsoils in the arid region of Isfahan, central Iran, *Journal of Applied Geophysics*, 74, 1.
- [13] Lu, S.G., Bai, S.Q., 2006, Study on the correlation of magnetic properties and heavy metals content in urban soils of Hangzhou City, China, *Journal of Applied Geophysics*, 60, 1.
- [14] Sadiq, M., Zaidi, T.H., Mian, A.A., 1983, Environmental behavior of arsenic in soils: Theoretical, Water, Air, & Soil Pollution, 20, 369.
- [15] Scholger, R., Mauritsch, H.J., Brandner, R., 2000, Permian–Triassic boundary magnetostratigraphy from the Southern Alps (Italy), *Earth and Planetary Science Letters*, 176, 495.
- [16] Lu, S.G., Bai, S.Q., Xue, Q.F., 2007, Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban topsoils: A case study from the city of Luoyang, China, *Geophysical Journal International*, 171, 568.
- [17] Cornell, R.M., Schwertmann, U, 2003, The iron oxides: Structure, properties, reactions, occurrences, and uses, 2nd Edition, Wiley-VCH.
- [18] Georgeaud, V.M., Rochette, P., Ambrosi, J.P., Vandamme, D., Williamson, D., 1997, Relationship between heavy metals and magnetic properties in a large polluted catchment: the Etang de Berre (south of France), *Physics and Chemistry of the Earth*, 22, 211.
- [19] Chaparro, M.A.E., Gogorza, C.S.G., Chaparro, M.A.E., Irurzun, M.A., Sinito, A.M., [1] Intawongse, M., Dean, J.R., 2006, Uptake of heavy metals by vegetable plants grown on contaminated soil and their bioavailability in the human gastrointestinal tract, *Food Additives & Contaminants*, 23, 36.
- [2] Khoramnejadian, S., Azadeh Ranjbar, A., Asemi Zavareh, S., Pendashteh, A., 2021, Determining the accumulation of heavy metals in soil and plants around mines and their bioavailability (Case study: Nakhlak lead mine), *Journal of Environmental Sciences Studies*, 5, 3052. (in Persian)
- [3] Fazeli, G., Karbassi, A., Khoramnejadian, S., Nasrabadi, T., 2019, Evaluation of urban soil pollution: a combined approach of toxic metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), *International Journal of Environmental Research*, 13, 801.
- [4] Zwolak, A., Sarzyńska, M., Szpyrka, E., Stawarczyk, K., 2019, Sources of soil pollution by heavy metals and their accumulation in vegetables: A review, *Water, Air, & Soil Pollution*, 230, 164.
- [5] Filipiak-Szok, A., Kurzawa, M., Szlyk, E., Twarużek, M., Błajet-Kosicka, A., Grajewski, J., 2017, Determination of mycotoxins, alkaloids, phytochemicals, antioxidants and cytotoxicity in Asiatic ginseng (*Ashwagandha*, *Dong quai*, *Panax ginseng*), *Chemical Papers*, 71, 1073.
- [6] Shaheen, N., Irfan, N.M., Khan, I.N., Islam, S., Islam, M.S., Ahmed, M.K., 2016, Presence of heavy metals in fruits and vegetables: Health risk implications in Bangladesh, *Chemosphere*, 152, 431.
- [7] Bazshushtarizadeh, N., Ayoubi, Sh., 2018, Variability of Cesium-137 content in Fereydan reference site and its relationship with some physicochemical and magnetic properties of soil, *Agricultural Engineering*, 41, 1. (in Persian)
- [8] Bagheri, S., Rasouli-Sadaghiani, M.H., Barin, M., Rezaei, E., 2020, Evaluation of some soil quality indices as influenced by the intercropping patterns of bean and moldavian balms, and microbial inoculation, *Journal of Soil and Plant Interactions*, 11(3), 57. (in Persian)
- [9] Michel, F.M., Barron, V., Torrent, J., Morales, M.P., Serna, C.J., Boily, J.F., Liu Q.,

2006, Review of magnetism and heavy metal pollution studies of various environments in Argentina, Earth, Planets and Space, 58, 1411.
[20] Moradpour, S., Entezari, M., Ayoubi, S., Naimi, S., 2022, Impacts of land use and geomorphology on some heavy metal concentrations in a part of Zayandehroud dam watershed, Agricultural Engineering, 45, 317. (in Persian)

“Research article”

Comparison of the effect of soil pollution sources on soil magnetic susceptibility in metropolitan cities (Case study: District 6, Tehran)

Farnaz Ghobadi¹, Shahrzad Khoramnejadian^{*1}, Sadraldin Alipour²

¹Department of Environment, Dam.C., Islamic Azad University, Damavand, Iran

²Waste Management Organization, Tehran Municipality

^{*}Corresponding author: shkhoramnejad@yahoo.com

(Received: 31 March 2025, Accepted: 19 May 2025)

Abstract

Pollutants enter the soil from various sources and affect its physicochemical properties. The presence of heavy metals in the soil increases the likelihood of their entry into the food chain. Industrial and transportation sources play a major role in the introduction of these metals into the soil. The aim of this study, conducted in 2021 in District 6 of Tehran Municipality, was to determine the relationship between the accumulation of heavy metals from various sources and the magnetic susceptibility of the soil. For this purpose, 18 points were randomly selected across different parts of the region for sampling. The amounts of heavy elements (chromium, cadmium, lead and arsenic) were measured using an atomic absorption spectrometer, and magnetic susceptibility was also assessed at these locations. The highest level of soil contamination was related to lead (38 mg/kg), while the lowest was related to cadmium (<0/04 mg/kg). The results showed no correlation between magnetic susceptibility and the density of organic matter particles. Magnetic susceptibility was not correlated with chromium, but showed a direct relationship with cadmium and arsenic, and an inverse relationship with lead.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Soil particles, Heavy metals, Pollution, Urban environment, Traffic