

## پراکنش کادمیوم در منطقه شهری اصفهان

اصغر شفیعی<sup>۱\*</sup>، نورالله میرغفاری<sup>۲</sup>

۱ کارشناس ارشد محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست و انرژی دانشگاه علوم تحقیقات تهران  
۲ استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۸/۲۵؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۲/۱۹)

### چکیده

در تحقیقاتی انجام گرفته بر روی تجمع کادمیوم نشان داده شده است که آلوده شدن محیط‌زیست به عنصر کادمیوم در نواحی نزدیک به شهرهای صنعتی و کوره‌های ذوب فلزات امری جدی به شمار می‌آید و در حال حاضر شواهدی دال بر اینکه کادمیوم به عنوان یک ماده سرطان‌زا و عامل ایجاد جنین‌های ناقص‌الخلقه و یک ماده جهش‌زای احتمالی به حساب می‌آید. هدف این پروژه بررسی پراکنندگی فلز کادمیوم در مناطق شهری استان اصفهان و بررسی میزان آلودگی این خاک‌ها و همچنین اثر عوامل مختلف بر میزان این آلودگی‌ها می‌باشد. پس از بررسی مناطق ترافیکی شهر نقاط قابل دسترسی نمونه‌برداری مدنظر قرار گرفت و ۱۴ نمونه خاک سطحی شهر با حداقل فاصله ۷۵۰ متر در مساحت ۱۰۱۷۷ هکتار به آزمایشگاه منتقل شد و به روش استاندارد آنالیز خاک پارامترهای EC, pH, Cd و CEC اندازه‌گیری شد. بیشترین مقدار کادمیوم (mg/kg) ۱۰/۵ در خیابان خرم و کمترین مقدار (mg/kg) ۱ در سهراب حکیم نظامی و میانگین غلظت کل کادمیوم اندازه‌گیری شده در کل منطقه (mg/kg) ۳/۷ می‌باشد. نواحی کم جمعیت و مسکونی حدفاصل در دو طرف مسیر رودخانه حدفاصل پل بزرگمهر و پل ناژوان و فلکه پرواز آلودگی بسیار کم قرار دارند.

**کلید واژه‌ها:** فلزات سنگین، کادمیوم، مناطق شهری اصفهان

## سرآغاز

این روزها بحث آلودگی‌های گوناگون از معضلاتی است که بشر با آن دست‌برگیران بوده و مشکلاتی را در روند زندگی انسان‌ها ایجاد نموده است، که ناشی از پیشرفت صنعت و فن‌آوری است و پیشرفت‌های یک‌جانبه بشر در صنعت و تکنولوژی مانع از توجه آن به بحث آلودگی‌ها، طبیعت و سلامت شده است. یکی از اصلی‌ترین منابع آلوده‌کننده محیط صنایع می‌باشند.

آلاینده معدنی<sup>(۱)</sup>، فلزات سنگین یا عناصر کمیاب<sup>(۲)</sup> نظیر نیکل (Ni)، کادمیوم (Cd)، جیوه (Hg)، مس (Cu) و سرب (Pb) را نیز در بر می‌گیرد. عبارات فلزات سنگین و عناصر کمیاب به‌طور گسترده‌ای شناخته شده و کاربرد دارد و برای نام گروهی از فلزات و شبه فلزات که با آلودگی و سمیت در ارتباطند به‌طور اعم پذیرفته شده است. عناصر سمی<sup>(۳)</sup> اصطلاحی است که متناوباً به جای برخی از عناصر کمیاب به کار می‌رود ولی این عبارت برای عناصری نظیر Cu, Ti, As, Hg, Pb کاربرد دارد و برای عناصر ضروری بیولوژیکی نظیر Se, Mn, Cu, Co, Zn اختصاص ندارد. گرچه برخی از این عناصر در حقیقت از فلزات سنگین نیستند اما برای سهولت، اغلب از این واژه برای اشاره به آنها استفاده می‌شود. (Merina, 1991). ولی به‌طور کلی فلز سنگین به عناصر شیمیایی گفته می‌شود که دارای دانسیته بیشتر از ۵/۵ (g/mol) هستند. این عناصر شامل عناصر مرکزی جدول تناوبی و نیز فلزات انتقالی می‌باشند و ممکن است به‌صورت آزاد، اکسید و سولفید باشند. بسیاری از این عناصر از نظر تأثیر در رشد بیولوژیکی حائز اهمیت می‌باشند و بسیاری از آنها حتی در غلظت‌های کم نیز ممکن است برای گیاهان یا حیوانات و حتی انسان سمی باشند. فلز سنگین کادمیوم از مواد مضر است که در پس آب کارخانجات یافت می‌شود. این فلز با تجمع در بدن موجودات زنده موجب بروز مسمومیت و صدمات جبران‌ناپذیری می‌گردد. کادمیوم نامی است قدیمی برای کالامین‌زینک کربنات که در سال ۱۸۱۷ توسط فردریک استرومیر<sup>(۴)</sup> شیمیدان آلمانی از یک ناخالصی در کربنات‌روی کشف شد. کادمیوم سفید نقرای و شبیه به روی اما نرم‌تر است. کادمیوم از کلمه لاتین کلامین<sup>(۵)</sup> از کربنات روی منشأ گرفته است. کلمه یونانی کادمیا<sup>(۶)</sup> همین معنی را می‌دهد کادمیوم به‌عنوان کربنات‌روی خالص یافت می‌شود. کربنات‌روی خالص در اثر حرارت تغییر رنگ می‌دهد و به کادمیوم ناخالص تبدیل می‌شود. (Nordberg et al., 1995). محل کادمیوم در جدول تناوبی B II، دارای عدد اتمی

۴۸ و جرم اتمی ۱۱۲/۴۱۱ نقطه ذوب و جوش آن به ترتیب ۳۲۰ و ۷۶۵ درجه سانتیگراد می‌باشد. کادمیوم از فلزات نسبتاً نادر در طبیعت بوده و از لحاظ فراوانی شصت و هفتمین عنصر می‌باشد. کادمیوم فلزی سفید رنگ، نرم و لوله شونده می‌باشد. میانگین غلظت آن در پوسته زمین ۰/۲، فراوانی در خاک ۰/۷ - ۰/۰۱ و به‌طور متوسط ۰/۰۶ میلی‌گرم در کیلوگرم تخمین زده شده است. (Alloway, 1990) کادمیوم دو ظرفیتی ممکن است روی سطوح تبادل‌پذیری جذب شده و در غلظت‌های کم جذب اختصاصی شود وی با یون‌های هیدروکسیل کلراید کمپلکس‌های متحرکی ایجاد کند. (بولت، ۱۳۷۱) این عنصر که در محلول خاک وجود دارند به ترتیب فراوانی در خاک اسیدی شامل  $Cd^{2+}$ ،  $CdSO_4$ ،  $CdCl^+$  و در خاک‌های قلیایی شامل  $Cd^{2+}$ ،  $CdSO_4$ ،  $CdCl^+$ ،  $CdHCO_3^+$  می‌باشند. (سبزیبایی، ۱۳۷۵) کادمیوم معمولاً در خاک و رسوبات به فرم کربناته حضور دارد (Mahan et al., 1987; Singh and Steinnes, 1994).

در شرایط اکسیدی کادمیوم کریستالی نمی‌تواند موجود باشد و لذا تنها فرم موجود کادمیوم دو ظرفیتی می‌باشد (Lindsay, 1979).

در غلظت‌های بالای کادمیوم رسوب  $CdCO_3$ ،  $Cd(PO_4)_2$  حلالیت آن را کنترل می‌کند. در غلظت‌های کم، محلول تعادل نسبت به فسفات و کربنات کادمیوم زیر اشباع است (Satillan et al., 1975).

به‌طور کلی معدن اختصاصی که تنها از آن کادمیوم استخراج شود وجود ندارد و مهمترین ماده معدنی معمولی این فلز گرینوکتیا است که سولفور کادمیوم می‌باشد و دارای ۷۷/۸ درصد کادمیوم است و به‌صورت پوششی روی سنگ‌های سولفور روی اسفالریت یافت می‌شود و به این ترتیب منشأ کادمیوم از این سنگ سولفور با سنگ‌های مشابه آن است. منشأ کادمیوم در خاک‌ها شامل مواد مادری خاک، کودهای شیمیایی به خصوص کودهای فسفاته، کودهای حیوانی، کادمیوم معلق در جو، کاربرد لجن فاضلاب در اراضی، احتراق سوخت‌های فسیلی و استخراج معادن و ذوب فلزات می‌باشد (نادر، ۱۳۸۲).

در تحقیقاتی که بر روی تجمع کادمیوم انجام گرفته نشان داده شده است که آلوده شدن محیط‌زیست به عنصر کادمیوم در نواحی نزدیک به شهرهای صنعتی و کوره‌های ذوب فلزات امری جدی به‌شمار می‌آید و در حال حاضر شواهدی دال بر اینکه کادمیوم به‌عنوان یک ماده سرطان‌زا و عامل ایجاد جنین‌های

موش‌های صحرائی به نام Wistar را در معرض کلرید کادمیوم قرار دادند تا اثر آن را بر روی آنها مشاهده نمایند. این آزمایش به مدت ۱۸ ماه به طول انجامید و نتیجه حاصله نشان‌دهنده افزایش میزان تومورها یا غدد سرطانی ریه بود. آلوده شدن مواد غذایی پستانداران و پرندگان به کادمیوم سبب کم شدن تعداد اسپرم، خطرات کلیوی، افزایش مرگ و میر در جمعیت جوان و نیز بالارفتن قند خون و کم خونی می‌گردد. جهت مطالعه بیشتر موش‌ها و باکتری‌ها به‌عنوان مدل نیز استفاده شده است که نتیجه آن، اثرات جهش‌زایی کادمیوم می‌باشد (Berkeley, 1997).

کادمیوم در آب و در رسوبات بسیار سریع‌تر از آرگانیسم‌های زنده تجمع می‌یابد. ۲۰ درصد از کادمیوم موجود در آب به صورت ذرات معلق یافت شده است. تحقیقات نشان می‌دهند که تجمع کادمیوم در آب‌های زیرزمینی عمدتاً ناشی از فعالیت کارگاه‌های آبکاری می‌باشد که در اثر این فعالیت‌ها غلظت فلزات به بیش از ۳/۲ g/lit رسیده است. مطالعات نشان می‌دهد که میزان کلی تراکم کادمیوم در رودخانه‌ها، جویبارها و دریاچه‌ها مقداری کمتر از ۰/۱۰ تا ۰/۰۷ μg/l است (Roy, 1997).

به علت تشابه کادمیوم با روی، گیاهان از آبی که برای آبیاری به کار می‌رود کادمیوم را جذب می‌کنند و پخش کودهای شیمیایی فسفات که به‌عنوان یک آلاینده طبیعی کادمیوم یونی دارند و لجن فاضلاب که با کادمیوم از ضایعات صنعتی آلوده است، سطح کادمیوم در خاک و در نتیجه در گیاهانی که در آن رشد می‌کنند افزایش می‌یابد (برد، ۱۳۷۸).

### مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از مراحل اولیه و بسیار مهم در مطالعات محیط‌زیستی است. هرگونه بحث درباره نتایج آماری حاصل از مطالعات محیط‌زیستی بایستی همراه با توضیحی درباره شیوه نمونه‌برداری باشد. روشی که در جمع‌آوری نمونه‌ها به کار می‌رود پایه و اساس رد یا قبول نتایج آماری نمونه‌های برداشت شده از یک منطقه باید به خوبی نمایانگر وضعیت منطقه باشد. موقعیت، تعداد و اندازه نمونه ویژگی‌هایی است که در هنگام نمونه‌برداری بایستی در نظر قرار گیرند. روش‌های نمونه‌برداری به دو گروه اصلی تصادفی و نظام‌دار تقسیم‌بندی می‌شوند. در مطالعه حاضر نمونه‌برداری تصادفی صورت گرفته است (Cressie, 1991). پس از بررسی تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های

ناقص‌الخلقه و یک ماده جهش‌زای احتمالی به حساب می‌آید، وجود دارد ضمن اینکه تأثیرات زیان‌آوری بر روی زندگی پرندگان و آبزیان می‌گذارد. این فلز به دو صورت انسان‌ساز و طبیعی وارد محیط می‌شود که در گذشته میزان انسان‌ساز وارد به محیط بسیار بالاتر از نوع طبیعی آن بود ولی امروزه در برابر کاهش چشمگیر پراکنندگی ترکیبات انسان‌ساز نوع طبیعی رو به رشد است. کادمیوم از سه طریق شامل پالایش و مصرف کادمیوم، ذوب مس و نیکل، احتراق سوخت‌ها وارد محیط‌زیست می‌گردد (Cincinnati, 1997).

کادمیوم در صنعت به‌عنوان ماده ضداسطکاک، ضد زنگ و در آلیاژها به‌کار می‌رود. در نیمه هادی‌ها، محافظ میله در رآکتورهای هسته‌ای، آبکاری فلزات، سرامیک‌سازی، کارخانجات P.V.C، صنایع پلاستیک، تولید باتری‌های Ni/Cd، رنگدانه‌های رنگ و ترکیبات قارچ‌کش، روغن موتور، لاستیک اتومبیل و عکاسی کاربرد دارد. (حسینیان، ۱۳۷۰) برای بیشتر انسان‌ها بیشترین بخش تماس آنها با کادمیوم از راه منابع غذایی است. غذای دریایی و اندام‌های گوشتی، به‌ویژه کلیه‌ها، در مقایسه با اکثر غذاهای دیگر سطوح بالاتری از کادمیوم دارند (برد، ۱۳۷۸) به‌طور قطع کادمیوم یک آلاینده خطرناک منابع آب می‌باشد و پاکسازی آبی که کادمیوم‌آلوده است بسیار دشوار است کادمیوم همراه با عناصر مشابه خود یعنی روی در بندرهای صنعتی یک آلاینده آب و ته‌نشست‌ها می‌باشد (Charles et al, 1974). حداکثر میزان مجاز کادمیوم در خاک طبیعی ۰/۰۰۸ میلی‌گرم در مترمربع می‌باشد و بیش از این در گیاهان منطقه ایجاد مسمومیت کرده و باعث تخریب نسوج گیاهی می‌شود. (نادر، ۱۳۸۲) سیگاری‌ها در معرض کادمیومی که از خاک و آب آبیاری که توسط برگ‌های توتون جذب می‌شود قرار می‌گیرند (برد، ۱۳۷۸). از کل کادمیوم رسیده به دستگاه گوارش فقط ۵٪ آن توسط خون جذب می‌شود. ذرات کادمیوم در اندازه‌های ۲ μm بیشترین جذب توسط خون (۳۵ درصد) را دارا خواهند بود (Nordberg et al., 1995).

۲ تا ۴ میکروگرم کادمیوم در اثر کشیدن ۲۰ عدد سیگار وارد بدن می‌شود که ۵۰ درصد آن در ریه باقی می‌ماند ریه و جهاز هاضمه از مهمترین مراکز جذب کادمیوم هستند (حسینیان، ۱۳۷۰).

دانشمندان و محققین تحقیقات بسیاری را در زمینه اثرات کادمیوم بر روی حیوانات انجام داده‌اند. از مهمترین این نتایج اثرات سرطان‌زایی آن در حیوانات می‌باشد. محققین گونه‌ای از

و نمونه‌های خاک، ۵ گرم از هر نمونه توزین و سپس در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شده آنگاه ۱۵ میلیمتر اسیدکلریدریک غلیظ و ۵ میلی لیتر اسیدنیتریک غلیظ به هر نمونه توزین شده اضافه و پس از تکان دادن به مدت یک ساعت و نیم در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد حرارت دیده تا اکسیداسیون مواد آلی خاک به‌طور کامل انجام گیرد. پس از سرد شدن، سوسپانسیون از کاغذ واتمن ۴۲ عبور داده و حجم عصاره با آب مقطر به ۴۰ میلی متر رسانده شد. غلظت کل عنصر Cd موجود در عصاره نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی پراکین المر مدل ۷۰۰ قرائت شد.

### نتایج

اطلاعات حاصل از نقاط نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی و پارامترهای اندازه‌گیری شده در جدول (۱) آورده شده است. در ادامه اطلاعات جدول (۱) برای مقایسه داده‌ها در محیط اکسل وارد گردید و نمودارهای پارامترهای مدنظر رسم گردید.

بیشترین مقدار کادمیوم (mg/kg) ۱۰/۵ در خیابان خرم و کمترین مقدار (mg/kg) ۱ در سه راه حکیم نظامی و میانگین غلظت کل کادمیوم اندازه‌گیری شده در کل منطقه (mg/kg) ۳/۷ می‌باشد.

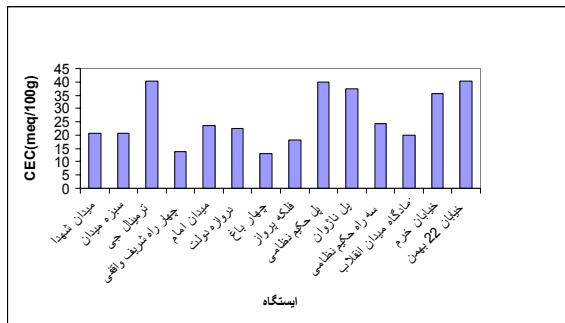
۱:۵۰۰۰۰ مربوط به آن تهیه گردید و روش نمونه‌برداری براساس روش تصادفی بود. موقعیت منطقه شهری به مختصات عرض شمالی ۳۶۰۷۸۰۵،۵۵۸۶۷۰ متر و جنوبی ۳۶۱۸۱۸۳،۵۶۸۴۷۱ متر و طول غربی ۵۵۵۰۰۰۰ متر و شرقی ۵۶۸۰۳۰۰ متر می‌باشد از هر نقطه‌ای قابل دسترس با استفاده از دستگاه نقطه‌یابی و نمونه‌برداری شد. در نمونه‌برداری پس از نقطه‌یابی نقطه اصلی، چهار نقطه به فاصله ۱۵ متر از نقطه اصلی (مرکزی) در جهت اصلی جغرافیایی (غرب، شرق، شمال، جنوب) نمونه خاک به اندازه کافی برداشته و روی نقطه اصلی ریخته و پس از مخلوط نمودن خاک و عبور از الک ۲ میلیمتری، یک نمونه مرکب به‌دست آمد که آن را در پاکت ریخته و کدگذاری شد. کاربری محل نمونه‌برداری شناسایی و ثبت گردید. نمونه‌ها با کد مربوط به آزمایشگاه منتقل گردید. بدین ترتیب تعداد ۱۴ نمونه خاک سطحی شهر با حداقل فاصله ۷۵۰ متر در مساحت ۱۰۱۷۷ هکتار در اختیار قرار گرفت.

نمونه‌های خاک الک شده برای آنالیز آماده گردیدند و پس از هوا خشک شدن نمونه‌ها از آنها گل اشباع تهیه گردید. سپس گل اشباع در ظروف در بسته به مدت ۲۴ ساعت نگهداری گردید. در این مرحله توسط دستگاه پمپ خلاء از آن‌ها عصاره‌گیری شد. اسیدیتته، هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری غلظت کل عنصر سنگین Cd

جدول (۱): نقاط نمونه برداری

ایستگاه	Cd (mg/kg)	pH	EC(dS/m)	CEC(meq/100g)
میدان شهدا	۲	۸/۶۷	۱/۹۰۱	۲۰/۷۴
سبزه میدان	۱/۲	۸/۳۵	۲/۵۲	۲۰/۵۳
ترمینال جی	۲/۴	۸/۰۲	۱۱/۰۶	۴۰/۲۴
چهارراه شریف واقفی	۲	۸/۳۴	۲/۳۴	۱۳/۶۹
میدان امام	۱/۶	۸/۰۹	۵/۱۸	۲۳/۴۹
دروازه دولت	۱/۶	۸/۴۳	۰/۹۸۱	۲۲/۴
چهار باغ	۲/۴	۸/۳۹	۱/۵۵۸	۱۳/۰۷
فلکه پرواز	۲/۸	۸/۵	۵/۶	۱۸/۱
پل حکیم نظامی	۱/۶	۸/۰۹	۹/۳	۳۹/۸۲
پل نازوان	۲/۸	۸/۰۶	۸/۳	۳۷/۳۳
سه راه حکیم نظامی	۱	۷/۷	۲/۲۲	۲۴/۴۲
آمادگاه میدان انقلاب	۱۰	۸/۱	۰/۹۷	۱۹/۸
خیابان خرم	۱۰	۷/۶۵	۳/۱	۳۵/۷
خیابان ۲۲ بهمن	۹/۵	۷/۸۲	۱/۶۵	۴۰/۳۵

مقدار  $0.97/dS/m$  در خیابان آمادگاه میدان انقلاب و میانگین آن  $4.04/dS/m$  می‌باشد. بالا بودن میزان EC در خاک‌ها استفاده از کودهای آلی در این خاک‌ها می‌باشد.

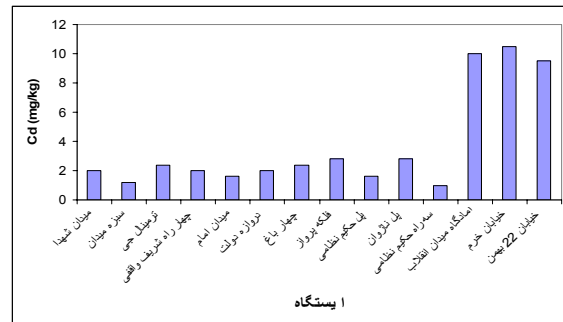


نمودار (۴): CEC در مناطق مورد مطالعه

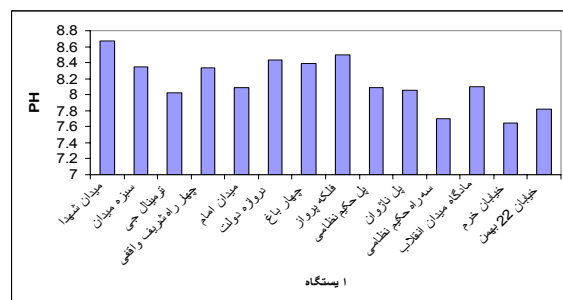
CEC از پارامترهای مهم در خاک می‌باشد زیرا با تغییرات CEC میزان حلالیت فلزات سنگین نیز تغییر می‌کند، بالا بودن CEC باعث افزایش حلالیت فلزات سنگین می‌گردد و کاهش آن باعث کاهش حلالیت فلزات سنگین می‌شود. بیشترین مقدار CEC،  $40/35$  (meq/100g) در خیابان ۲۲ بهمن و کمترین مقدار آن  $13/07$  (meq/100g) مربوط به چهارباغ می‌باشد و میانگین آن  $26/40$  (meq/100g) می‌باشد. دلیل بالا بودن CEC استفاده از کودهای آلی و آب‌شویی مواد به خاک می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

اغلب خاک‌های منطقه مطالعاتی به دلیل وجود منابع آلوده کننده غیرنقطه‌ای در اثر حمل و نقل وسایل نقلیه سنگین و سبک و فعالیت‌های صنعتی کوچک نظیر کارگاه‌های مکانیکی و آبکاری دارای غلظت کادمیوم بالایی می‌باشند. بخش‌های بسیار آلوده در مقایسه با کل سطح منطقه شهری مورد مطالعه نسبتاً قابل توجه است که بیشتر در ناحیه مسیرهای پر تردد تجاری و صنعتی خیابان حکیم نظامی (مسیر اصلی پر تردد بین شهری در قدیم) دارای کارگاه‌ها و مجموعه‌های مکانیکی است. در امتداد مسیر این خیابان به سمت میدان جمهوری در بخش‌های از خیابان کاشانی (شاهپور قدیم) به علت فعالیت کارگاه‌های لنت‌کوبی و آپاراتی‌ها آبکاری بخش‌های بسیار آلوده را به خود اختصاص داده‌اند. در انتهای خیابان و حاشیه هوانیروز محل ضایعات بال‌گردها کلاس بسیار آلوده از نظر توزیع کادمیوم را به خود اختصاص داده است. در مسیر سی‌وسه پل تا میدان امام حسین نیز در ناحیه تقاطع چهارباغ با خیابان آمادگاه (دارای قدمت



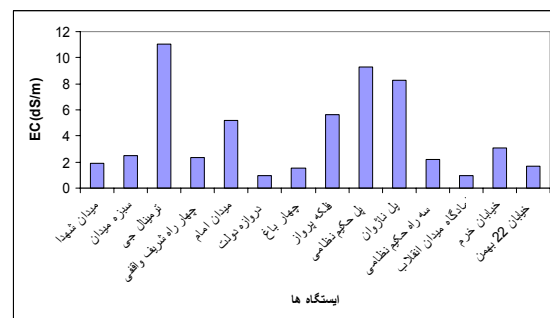
نمودار (۱): کادمیوم در مناطق مورد مطالعه



نمودار (۲): pH در مناطق مورد مطالعه

اسیدیته خاک اساساً یک ویژگی شیمیایی مهم خاک تلقی می‌گردد؛ زیرا بر فعالیت میکروبی خاک، ظرفیت تبادل خاک، ساختار فیزیکی خاک و بر میزان در دسترس بودن مواد مغذی و رشد گیاه تاثیر گذار است. بیشترین مقدار pH  $8/67$  در میدان شهدا و کمترین مقدار آن  $7/65$  در خیابان خرم و میانگین pH  $8/15$  می‌باشد. مطالعات نشان می‌دهد که همه خاک‌ها دارای حالت قلیایی می‌باشند.

pH قلیایی این خاک‌ها باعث کاهش حلالیت فلزات سنگین و کاهش در دسترس بودن این فلزات می‌شود. تفاوت مقدار pH در این خاک‌ها به دلیل فاصله از رودخانه و نوع خاک می‌باشد.



نمودار (۳): EC در مناطق مورد مطالعه

بیشترین مقدار EC،  $11/6$  (dS/m) در ترمینال جی و کمترین

غلظت‌های بالا، همبستگی خوبی با حجم ترافیک داشته است. از دیگر منابع شهری آلاینده محیط‌زیست می‌توان به دفن زباله‌های شهری، کوره‌های سوزاندن زباله و ژنراتورهای تولید انرژی اشاره کرد (Xiong, 1998) نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مدیریت شهری در راستای پیشگیری از افزایش کادمیوم در مناطق با آلودگی بالا و همچنین استفاده از روش‌های کاهش آلودگی در این مناطق استفاده نمود.

### یادداشت‌ها

1. Inorganic pollutant
2. Trace element
3. Toxic elements
4. Friedrich strommeyer
5. Calamine
6. Kadmia

تاریخی- نظامی) نیز به علت وجود تسلیحات و اداوات نظامی در زمان‌های قدیم و استفاده امروزی از کمپوست در فضای سبز در بسیار آلوده به نظر می‌رسند. سایر نواحی سطح منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر مصرف کود کمپوست در فضای سبز سطح شهر باعث افزایش غلظت کادمیوم در سطح شهر گردیده است و آلودگی آنها در حد آلودگی متوسط را به خود اختصاص داده‌اند. نواحی کم جمعیت و مسکونی حفاصل در دو طرف مسیر رودخانه حد فاصل پل بزرگمهر و پل نازوان و فلکه پرواز آلودگی بسیار کم قرار دارند. تحقیقات نشان داه است غلظت کادمیوم کنار خیابان‌ها و جاده‌ها با افزایش فاصله از جاده رابطه معکوس و با حجم رابطه مثبت دارند (رحمانی و همکاران، ۱۳۷۹) در مطالعه‌ای بر روی شهر ووهان در چین غلظت‌های بالای کادمیوم در خاک مناطق شهری مشاهده شده است این

### فهرست منابع

- برد، ک. ۱۳۷۸. شیمی محیط‌زیست. ترجمه عابدینی م. مرکز نشر دانشگاهی.
- بولت، ب. ۱۳۷۱. شیمی خاک. ترجمه کریمیان. ن. مرکز نشر دانشگاهی تهران.
- حسینیان، م. ۱۳۷۰. فلزات سنگین و آلودگی محیط‌زیست. مجله آب. شماره دهم.
- رحمانی، ج. ر.؛ کلباسی، م. و حاج رسولیها، ش. ۱۳۷۹. «آلودگی خاک به وسیله سرب حاصل از وسائل نقلیه در محدوده بعضی از بزرگراه‌های ایران». مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴(۴):۳۱-۴۰
- سزقبایی، ن. ۱۳۷۵. آلودگی رسوبات زاینده‌رود توسط فلزات سنگین و شناسایی منابع معین آلاینده پایان نامه کارشناسی‌ارشد خاکشناسی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- نادر. ش. ۱۳۸۲. حفاظت محیط‌زیست در معادن. انتشارات سازمان محیط‌زیست.
- Alloway, B. J. 1990. Heavy metls in soils. Blackie and son Ltd Glasgow and London. p: 339
- Berkeley, C. A. 1997. California Environmental Protection Agency (Ca/EPA). Technical Support Dpocument for the Determination of Noncancer Chronic Reference Exposure Levels. Draft for Public Comment. Office of Environmental Health Hazard Assessment.
- Charles, W.; Holmes, E.; Slade, A. & McLerran, C .J. 1974. Migration and Redistribution of Zinc and Cadmium in Marine estuarine System Environmental Science and technology, 8: 255-9.
- Cincinnati, O. H. 1997. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health ,Centers for Disease and Prevention.
- Cressie, N. A. C. 1991. Statistics for spatial data. New york, p 900
- Lindsay, W. L. 1979. Chemical equilibria insoils. p: 389
- Mahan, K. J.; Foderars, T. A.; Garza, T. L.; Martinez, R. M.; Maroney, G. C. and TRIVISONO, M. 1987. Microwave digestion TECHNIQUE IN THE Sequential extraction of Cu, Fe, Cr, Mn, Pb and Zn in sediments. Anal. Chem, 59: 938- 945.
- Merina, E. 1991. Metal and their compounds in the environment occurrence analysis and biological relevance, VCH. weinheim, germany.
- Nordberg, G.; Slorach, S.; Skerfving, T. & Mattsson, S. 1995. Int Arch Occup Environ Health 67:405- 411.
- Roy, J. 1997. Environmental Contaminants Encyclopedia Cadmium Entry, National park service.
- Satillan- medrano & Jurinak, J .J. 1975. The Chemistry of Lead and Cadmium in Soil Solid Phase formation. Soil Sci. Soc. Amer. Proc.39:851- 856.
- Singh, B. R. & Steinnes, E. 1994. Advances in soil science. Soil processes and water quality. Soil and Water Contamination by heavy metals.CRC oress, Inc. p233- 265.
- Xiong, z. 1998. Heavy metal contamination of urban soils and plants in relation to traffic in Wuhan city, Chin. Toxiol. Environ. Chen., Vol. 16, pp. 1361- 1368.