

# بررسی اثر پدیده گرد و غبار بر میزان جذب فلزات سنگین در سه گونه منتخب گیاهی و خاک آنها در شهر اهواز

علیرضا زراسوندی، فاطمه راست منش، هوشنگ پورکاسب، زهرا آزرمی

دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۵

Zahra\_azarmi@yahoo.com

## چکیده

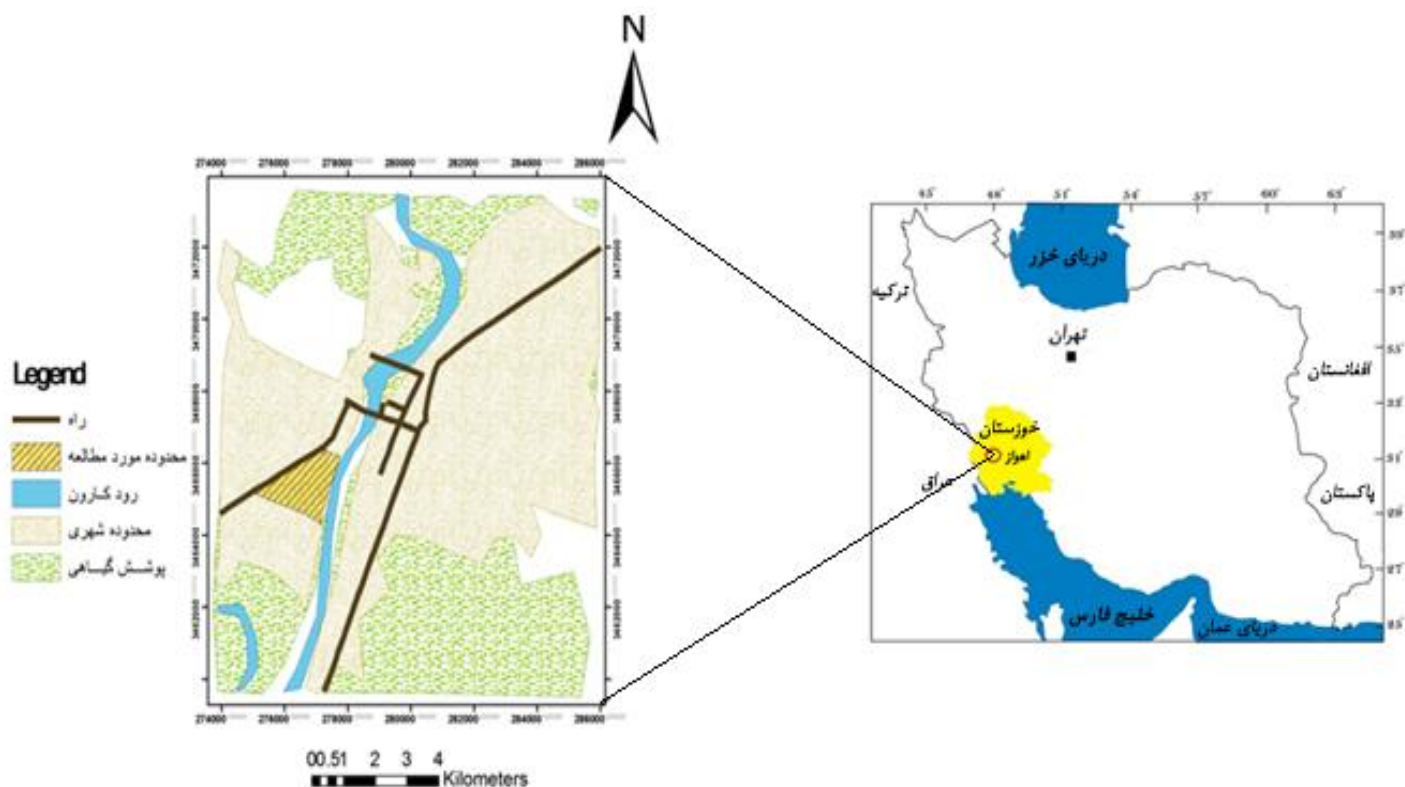
گرد و غبار یکی از مهم‌ترین منابع آلاینده هوا در شهر اهواز می‌باشد. نتایج آنالیز ICP – MS بسیاری از نمونه‌های گرد و غبار موجود در شهر اهواز نشان می‌دهد که میزان فلزات سنگینی مانند آرسنیک، سرب، روی، نیکل در این نمونه‌ها بیشتر از میزان طبیعی آن‌هاست. به منظور بررسی پتانسیل گونه‌های گیاهی شهر اهواز در جذب فلزات سنگین موجود در گرد و غبار، سه گونه با فراوانی بیشتر به نام‌های اوکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis dehh*)، انجیرمعابد (*Ficus religiosa L.*) و کونوکارپوس (*Conocarpus erectus L.*) در نظر گرفته شدند. این نمونه‌ها جهت تعیین غلظت فلزات سنگین توسط فلورسانس اشعه ایکس (XRF) مورد تجزیه قرار گرفتند. به منظور بررسی آلودگی نمونه‌های خاک به فلزات سنگین، فاکتور غنی‌شدگی و جهت بررسی ارتباط بین جذب فلزات از خاک به وسیله برگ‌ها فاکتور غلظت محاسبه شد. با توجه به حضور همه‌ی فلزات سنگین مورد مطالعه در گرد و غبارهای وارده به شهر اهواز و وجود رابطه مستقیم بین غلظت فلزات در نمونه‌های خاک و برگ درختان با غلظت آن‌ها در نمونه‌های گرد و غبار، می‌توان احتمال داد که گرد و غبار یکی از عواملی است که در تغلیظ فلزات سنگین در گونه‌های مورد مطالعه نقش داشته است. از سوی دیگر مقایسه غلظت فلزات سنگین در برگ درختان، نشان می‌دهد که پتانسیل جذب این فلزات متفاوت است. در نهایت می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که پتانسیل جذب فلزات سنگین در گونه‌های گیاهی مورد مطالعه به قرار ذیل است: فیکوس > کونوکارپوس > اوکالیپتوس.

## کلمات کلیدی: گرد و غبار، فلزات سنگین، اهواز، گونه‌های گیاهی

### مقدمه

این مطلب است که میزان فلزات سنگینی مانند آرسنیک، سرب، روی، نیکل و کبالت در این نمونه‌ها بیشتر از میزان طبیعی آن است (زراسوندی، ۱۳۸۸). فلزات سنگین به عنوان یکی از انواع آلاینده‌های اصلی در محیط مورد توجه هستند، زیرا تأثیر قابل توجهی بر کیفیت اکولوژیکی دارند (Saster et al., 2002). آلودگی فلزات سنگین بر تولید و کیفیت محصولات غذایی و کیفیت جو و آب‌ها تأثیر گذاشته و سلامتی و زندگی حیوانات و انسان‌ها را تهدید می‌کند (Kumar, 2008). انتقال فلزات سنگین از اتمسفر به خاک و گیاهان به وسیله گرد و غبار، ریزش کلی و فرآیندهای گازی یا جذب سطحی هواویزها اتفاق می‌افتد (Anderson et al., 1978). گیاهان می‌توانند فلزات سنگین را از خاک و هوا جذب کرده و بدین طریق باعث پالایش محیط شوند (Knezevic et al., 2009). بر این اساس درختان به عنوان یک گونه گیاهی اصلی برای پایش زیستی به کار می‌روند (پورخبا، ۱۳۸۷). هدف از این مقاله، بررسی پراکندگی، میزان جذب و پتانسیل سه گونه‌ی گیاهی کونوکارپوس، فیکوس (انجیر معابد) و اوکالیپتوس در جذب فلزات سنگین موجود در گرد و غبار می‌باشد.

آلودگی هوا یک مشکل جدی در نواحی مسکونی و صنعتی دنیا است (Kambezidis and Melas., 2003). صنایع، وسایل نقلیه موتوری و سیستم گرمایش مرکزی ساختمان‌ها، مهم‌ترین منابع آلاینده هوا به شمار می‌روند (Mudd and Koslowski., 1975). شهر اهواز به عنوان مرکز استان خوزستان، دومین شهر بزرگ ایران از لحاظ وسعت پس از تهران و پنجمین شهر بزرگ ایران از نظر جمعیت می‌باشد. این شهر به دلیل منابع غنی نفت و گاز، صنایع پتروشیمی، صنایع بزرگ فلزی و غیر فلزی، سلولزی و برق و نیز شرایط آب و هوای گرم و مرطوب در اکثر فصول سال دارای آلودگی هواست. در این میان گرد و غبار، از دیگر آلاینده‌های هوا در شهر اهواز است که می‌توان علت اصلی وقوع آن را، همجواری این شهر با بیابان‌های غرب و وجود منابع و کانون‌های گرد و غبار در کشورهای همجوار مانند عراق و عربستان، دخالت بشر در طبیعت و مدیریت نامناسب دانست. نتایج بررسی‌ها بر روی نمونه‌های زیادی از گرد و غبار موجود در شهر اهواز و خاک‌های نزدیک مرز ایران و عراق مؤید



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و محدوده نمونه برداری (دانشگاه شهید چمران اهواز)

## مواد و روش‌ها

### نمونه برداری و روش تجزیه

پس از کنار زدن آلودگی‌های سطحی، از خاک سطحی (عمق ۵-۱ cm) و عمقی (عمق ۳۰-۲۵ cm) به مقدار کافی نمونه‌برداری شد. لازم به ذکر است، ترکیب زمین‌شیمی گرد و غبارهای وارده به استان خوزستان از طریق آنالیز (ICP - MS) نمونه‌های گرد و غبار طی ۱۴ روز وقوع پدیده‌ی گرد و غبار از تاریخ ۸۸/۲/۳ تا ۸۸/۵/۲۲ توسط زراسوندی (۱۳۸۸) تعیین شده که مبنای مطالعه‌ی حاضر قرار گرفته است. به منظور آماده‌سازی نمونه‌های برگ، ابتدا این نمونه‌ها در دمای اتاق خشک شدند، سپس به مدت ۳ روز در اون در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد گذارده شدند. در نهایت جهت تهیه خاکستر از آن‌ها، نمونه‌های برگ به قطعات کوچکتری تقسیم شدند و پس از انتقال به بوتله‌های چینی، هر نمونه به مدت ۵ ساعت در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره قرار داده شد. نمونه‌های خاک نیز پس از خشک شدن در دمای اتاق به منظور یکدست شدن از الک ۶۰ Mesh عبور داده شدند. در نهایت این نمونه‌ها جهت تعیین غلظت فلزات سنگین با استفاده از فلورسانس اشعه ایکس (XRF) مورد تجزیه قرار گرفتند که نتایج آن‌ها در جدول (۱) و (۲) آورده شده است.

از آنجاییکه گیاهان قادرند فلزات سنگین را از طریق روزنه‌ی برگ‌ها و ریشه‌ها جذب کنند (Wang and Schaap., 1988; Malecka et al., 2008)، جهت بررسی پتانسیل گونه‌های گیاهی مورد مطالعه در جذب فلزات سنگین ناشی از پدیده گرد و غبار، پس از وقوع گرد و غبار در تاریخ ۶ مهرماه ۱۳۸۹ و ته‌نشست آن، اقدام به جمع‌آوری نمونه‌های مورد نظر یعنی برگ و خاک از هر سه گونه‌ی مورد مطالعه شد. مکان نمونه‌برداری به دو علت دانشگاه شهید چمران (اهواز) در نظر گرفته شد: الف- تنوع پوشش گیاهی موجود در دانشگاه شهید چمران ب- فاصله داشتن این مکان با مراکز پرتراфик و صنعتی شهر. نمونه‌برداری از برگ هر درخت از ارتفاع ۱ تا ۱/۵ متری سطح زمین انجام گرفت و سپس این نمونه‌ها در پاکت‌های کاغذی نگهداری شدند تا فساد آن‌ها به حداقل برسد. نمونه‌برداری از خاک هر گونه نیز بدین ترتیب انجام گرفت که

جدول ۱. غلظت فلزات سنگین در برگ گونه‌های مورد مطالعه بر حسب ppm

شماره نمونه	کد نمونه	توضیحات	Ni	Cr	V	Zr	Co	As	Sr	Cu	Zn	Pb
۷	LE	برگ اوکالیپتوس	۱۳۱	۶	۱۸	۱۸۹	۲	۱	۱۶۴۶	۶۲	۳۴۵	۱۳
۸	LF	برگ فیکوس	۲۹	۳	۵	۴۰۹	۳	۲	۴۱۸۴	۱۵	۳۳	۸
۹	LC	برگ کونوکارپوس	۶۳	۷	۱۳	۲۷۵	۵	۱	۲۶۹۰	۲۹	۲۲۱	۵

جدول ۲. غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک بر حسب ppm

شماره نمونه	کد نمونه	توضیحات	Ni	Cr	V	Zr	Co	As	Sr	Cu	Zn	Pb
۱	Ets	خاک سطحی اوکالیپتوس	۱۰۱	۱۳۶	۶۸	۱۱۵	۳	۱	۴۱۷	۲۸	۶۶	۱۶
۲	Ess	خاک عمقی اوکالیپتوس	۹۰	۱۵۵	۶۵	۱۱۱	۱	۲	۴۱۶	۲۳	۱۱۹	۱۹
۳	Fts	خاک سطحی فیکوس	۵۴	۱۰۷	۳۳	۷۵	۴	۳۴	۳۸۹	۱۵	۲۸	۱۴
۴	Fss	خاک عمقی فیکوس	۱۱۱	۱۲۰	۶۲	۱۱۳	۱	۲	۴۲۹	۳۴	۶۱	۸
۵	Cts	خاک سطحی کونوکارپوس	۵۳	۱۵۸	۳۵	۸۸	۲	۱	۴۰۹	۱۳	۳۴	۸
۶	Css	خاک عمقی کونوکارپوس	۴۹	۲۱۰	۳۶	۷۹	۱	۲	۴۰۰	۱۶	۳۷	۱۵

## تعیین pH و بافت خاک

عنصر در نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس استاندارد کردن عنصر مورد نظر در مقابل یک عنصر مرجع می‌باشد. عناصر مرجع مورد استفاده معمولاً Fe, Al, K, Sr, Si, Ti, و غیره هستند (Yongming et al., 2006; Hao et al., 2007). فاکتور غنی‌شدگی مطابق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود (Kartal et al., 2006):

$$EF = (C_X / C_{Ref})_{sample} / (C_X / C_{Ref})_{Crust}$$

$C_X$ : غلظت عنصر مورد اندازه‌گیری

$C_{Ref}$ : غلظت عنصر مرجع

غلظت عنصر مرجع بر اساس داده‌های کراسکف و کی‌برد در پوسته قاره‌ای محاسبه شده است (کراسکف و کی‌برد، ۱۳۷۷). به منظور تعیین منشای طبیعی یا انسان‌زاد فلزات سنگین در خاک، فاکتور غنی‌شدگی عناصر در نمونه‌های خاک محاسبه شد (Garcia et al., 2006; Mingorance et al., 2007). که نتایج آن در جدول (۳) مشاهده می‌شود.

به منظور بررسی تحرک عناصر در ستون خاک، دو پارامتر مهم یعنی pH و بافت خاک (Selim and Spark, 2001) به ترتیب به روش تهیه گل اشباع و روش هیدرومتری اندازه‌گیری شدند.

## بررسی آلودگی خاک

جهت تعیین میزان آلودگی خاک به عناصر سنگین در یک منطقه، بایستی میزان غلظت عناصر در آن منطقه با یک استاندارد شناخته شده مقایسه شود. بهترین نوع مقایسه، مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه می‌باشد، زیرا شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا، غلظت‌های متفاوتی را ایجاد می‌کند. در کشور ما به دلیل عدم وجود استاندارد خاص برای درجه آلودگی خاک، از استانداردهای موجود در دیگر کشورها و یا استانداردهای جهانی استفاده می‌شود (دلیجانی و همکاران، ۱۳۸۸). در این مطالعه از استاندارد USEPA و میانگین جهانی استفاده شد. علاوه بر استاندارد های ذکر شده، یکی از مهم‌ترین روش‌های محاسباتی جهت تعیین درجه غنی‌شدگی فلزی یا درجه آلودگی خاک‌ها، رسوبات و گرد و غبارها، محاسبه‌ی فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor, EF) می‌باشد. فاکتور غنی‌شدگی یک

جدول ۳. مقادیر فاکتور غنی‌شدگی (EF) نمونه‌های خاک

شماره نمونه	Ni	Cr	V	Zr	Co	As	Sr	Cu	Zn	Pb
نمونه ۱	۳/۸۲	۳/۹۴	۱/۴۳	۲	۰/۱۲	۱/۵	۳/۶۲	۱/۳۴	۲/۵۵	۳/۶۶
نمونه ۲	۳/۸۰	۵/۰۳	۱/۵۶	۲/۱۵	۰/۳۳	۳/۵	۳/۵	۱/۱۹	۵/۳۴	۴/۸۶
نمونه ۳	۴/۶۷	۷/۱۶	۱/۶۲	۳	۱/۰۶	۱۲۲/۷۲	۶/۸	۱/۷۹	۲/۵۵	۷/۳۳
نمونه ۴	۴/۰۲	۴	۱/۳۱	۱/۹۲	۰/۱۱	۳/۰۹	۳/۶۲	۱/۴۹	۲/۳۲	۱/۸
نمونه ۵	۴/۶۷	۱۰/۶۶	۱/۷۵	۳/۵۷	۰/۵۳	۳/۶	۷/۲۱	۱/۴۹	۳/۱۳	۴/۳۳
نمونه ۶	۴/۷۸	۱۵/۷۵	۱/۹۳	۳/۵۵	۰/۳	۸/۱۸	۷/۸۳	۲/۰۸	۳/۸۳	۸/۶۶

جدول ۴. فاکتورهای غلظت (CF) محاسبه شده برای گونه‌های مورد مطالعه

توضیحات	Ni	Cr	V	Zr	Co	As	Sr	Cu	Zn	Pb
خاک سطحی - برگ اوکالیپتوس	۱/۲۹	۰/۰۴	۰/۲۶	۱/۶۴	۰/۶۶	۱	۳/۹۴	۲/۲۱	۵/۲۲	۰/۸۱
خاک عمقی - برگ اوکالیپتوس	۱/۴۵	۰/۰۳	۰/۲۷	۱/۷۰	۲	۰/۵	۳/۹۵	۲/۶۹	۲/۸۹	۰/۶۸
خاک سطحی - برگ فیکوس	۰/۵۳	۰/۰۲	۰/۱۵	۵/۴۵	۰/۷۵	۰/۰۵	۱۰/۷۵	۱	۱/۱۷	۰/۵۷
خاک عمقی - برگ فیکوس	۰/۲۶	۰/۰۳	۰/۰۸	۳/۶۱	۳	۱	۹/۷۵	۰/۴۴	۰/۵۴	۱
خاک سطحی - برگ کونوکارپوس	۱/۱۸	۰/۰۴	۰/۳۷	۳/۱۲	۲/۵	۱	۶/۵۷	۲/۲۳	۶/۵۰	۰/۶۲
خاک عمقی - برگ کونوکارپوس	۱/۲۸	۰/۰۳	۰/۳۷	۳/۴۸	۵	۰/۵	۶/۷۲	۱/۸۱	۵/۹۷	۰/۳۳

## فاکتور غلظت

نظر به اینکه گیاهان قادر به جذب فلزات سنگین از خاک و هوا می‌باشند، به منظور بررسی ارتباط بین جذب فلزات از خاک به وسیله برگ‌ها، فاکتور غلظت (Concentration Factor, CF) محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۴) آورده شده است. CF شاخصی است که توانایی یک گیاه را در جذب و انتقال فلزات از خاک به گیاه تعیین می‌کند و طبق رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود (Olowoyo et al., 2010):

$$CF = \frac{\{M\}_{plant}}{\{M\}_{soil}}$$

{M}plant: غلظت فلز در گیاه

{M}soil: غلظت کلی فلز در خاک

## بحث

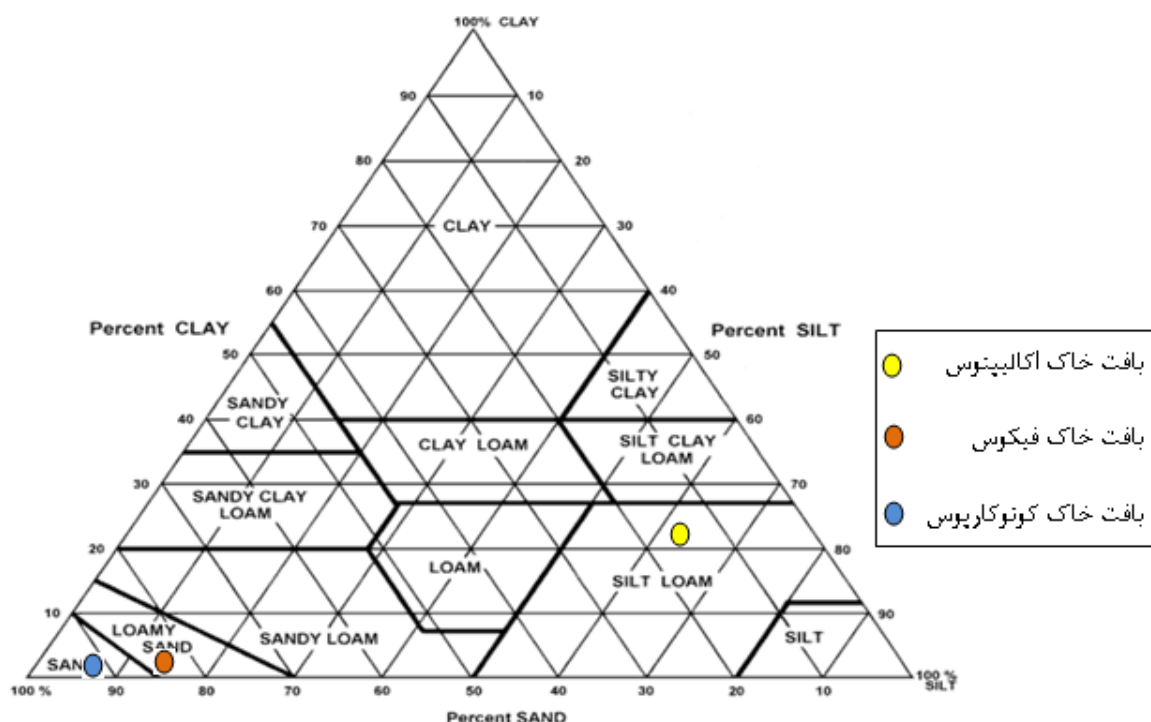
همانطور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی و عمقی هر گونه با گونه‌ی دیگر متفاوت است که می‌توان علت این تفاوت را با استفاده از ۲ پارامتر اندازه‌گیری شده، یعنی pH و بافت خاک، تفسیر کرد. بالاتر بودن غلظت اکثر فلزات در خاک سطحی اوکالیپتوس، احتمالاً در ارتباط با pH خاک است؛ زیرا تحرک فلزات سنگین در pH های قلیایی

( $pH > 7$ ) کاهش می‌یابد (Dunn, 2007). از طرفی مطابق شکل (۲)، بافت خاک این گونه لومی سیلتی است که جزء خاک‌های میان‌بافت محسوب می‌شود و دارای مقدار مناسبی رس (۲۳/۳۳ درصد) می‌باشد؛ بنابراین عناصر مورد نظر احتمالاً توسط رس‌ها، جذب سطحی شده و عمدتاً در افق‌های سطحی تجمع می‌یابند (Kabata-Pendias and Pendias., 2001). از سوی دیگر با وجود pH قلیایی خاک، علت بالاتر بودن غلظت اکثر فلزات در خاک عمقی گونه‌های فیکوس و کونوکارپوس احتمالاً در رابطه با بافت خاک می‌باشد؛ زیرا بافت خاک این گونه‌ها بر اساس شکل (۲) به ترتیب شنی لومی و شنی (بافت سبک) است که درصد ذرات ماسه در آن‌ها به ترتیب ۸۵/۴۱ و ۹۴/۷۹ درصد می‌باشد. بنابراین چون قسمت اعظم این خاک‌ها از ذرات ماسه که قابلیت کمی در جذب عناصر دارند، تشکیل یافته (Guo and Zhou., 2006) و به علت کم بودن مقدار کانی‌های رسی (McLaren and Crawford., 1973; Ladonin, 1996)، در اثر عوامل مختلفی مانند آبشویی (بارش، آبیاری) و یا حتی رطوبت موجود در خاک این فلزات به راحتی متحرک شده و در افق‌های پایین‌تر تجمع می‌یابند (زیگل، ۱۳۸۷). در بسیاری از موارد نیز افزایش تحرک فلزات سنگین در خاک‌های با pH قلیایی را به علت پیوند آن‌ها با مواد آلی محلول گزارش کرده‌اند (Kaschel et al., 2002). به طور کلی هر کدام از فلزات سنگین در خاک دارای گونه‌های مختلفی است که در شرایط مختلف، قابلیت تحرک متفاوتی دارد (Huang, 1975). بالاتر بودن غلظت فلزات سنگین در افق‌های سطحی معمولاً

در ارتباط با جذب شدید این عناصر به وسیله رس‌ها، هیدروکسیدهای آهن و منگنز و مواد آلی است که در نتیجه‌ی آن تحرک عناصر در خاک محدود می‌شود (Kabata-Pendias and Pendias., 2001). چون خاک محل ته نشست اصلی فلزات هوابرد می‌باشد (Nadal et al., 2004)، به منظور بررسی آلودگی نمونه‌های خاک به فلزات سنگین، نتایج مربوط به آنالیزهای انجام شده بر روی نمونه‌های خاک (جدول ۲) با استانداردهای ارائه شده در (جدول ۶) مقایسه شد.

جدول ۵. میزان pH نمونه‌های خاک

میزان pH	نمونه های خاک
۸/۵۲	خاک اوکالیپتوس
۸/۲۵	خاک فیکوس
۸/۲۸	خاک کونوکاریپوس



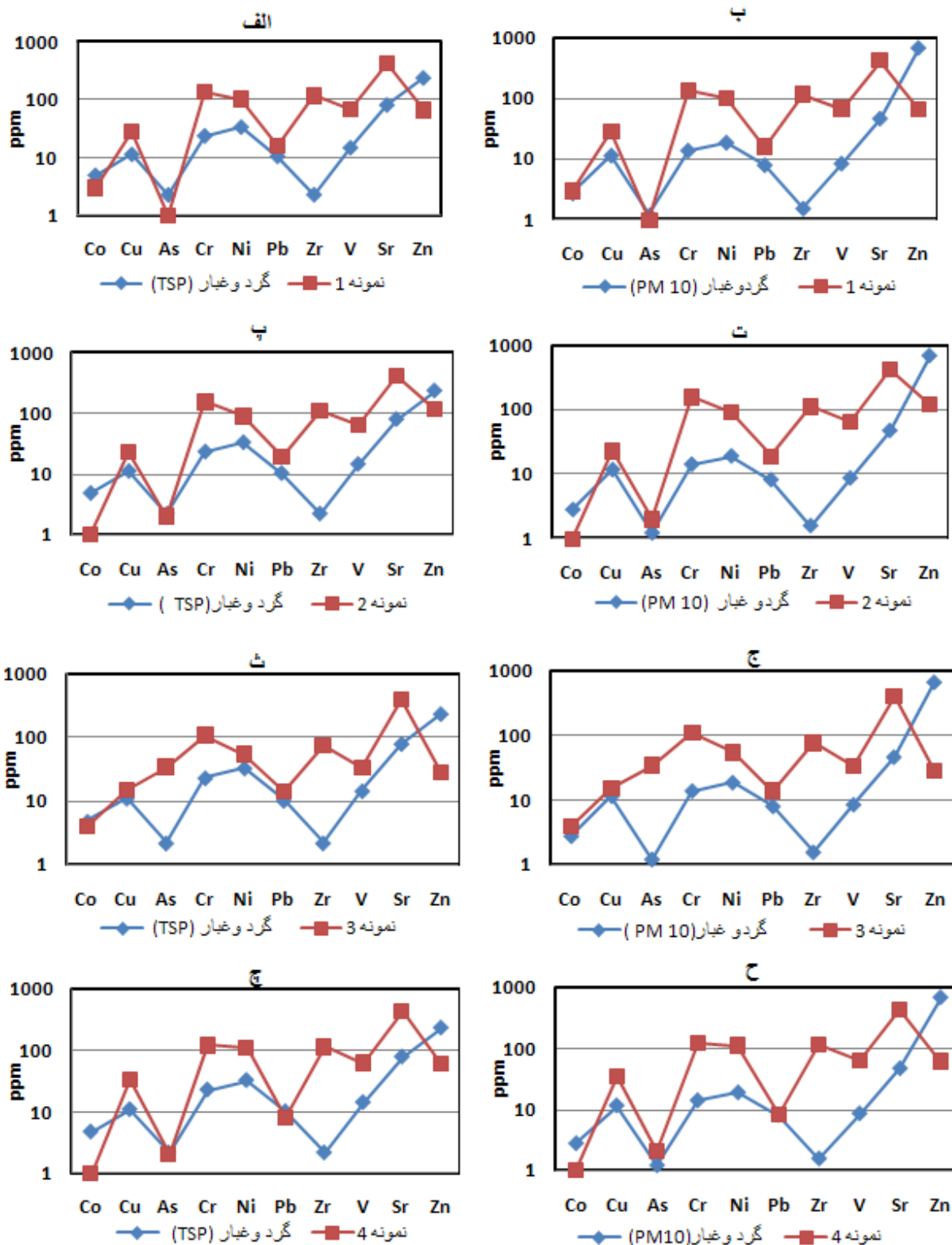
شکل ۲. موقعیت نمونه های خاک به لحاظ بافت

جدول ۶. مقادیر غلظت فلزات سنگین (ppm) از دیدگاه استاندارد (USEPA, 1983) و میانگین جهانی (Pope et al., 2005)

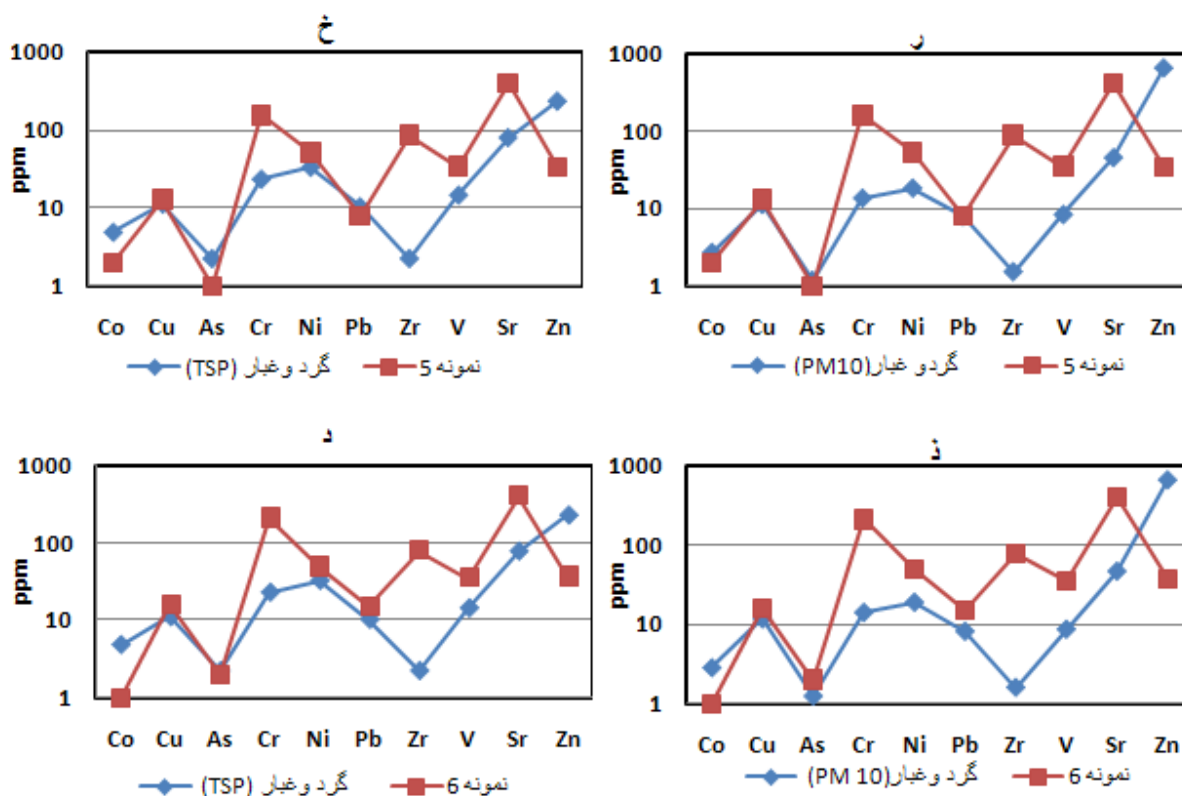
Pb	Zn	Cu	Sr	As	Co	Zr	V	Cr	Ni	استاندارد
۱۰	۵۰	۳۰	۲۰۰	۵	۸	۳۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۴۰	USEPA
۲۹/۲	۵۹/۸	۲۵/۸	۲۷۸	۱۱/۳	۸	-	۱۰۸	۸۴	۳۳/۷	میانگین جهانی

غلظت Ni، Cr و Sr در همه‌ی نمونه‌های خاک بیش از استاندارد USEPA و میانگین جهانی و غلظت V، Zr، Co در تمامی نمونه‌های خاک کمتر از استانداردهای نامبرده می‌باشد. غلظت As تنها در نمونه‌ی ۳ بسیار بالاتر از استاندارد USEPA و میانگین جهانی است. غلظت Cu در نمونه‌ی شماره ۱ و ۴ بیشتر از میانگین جهانی و تنها در نمونه‌ی ۴ غلظت آن بیشتر از استاندارد USEPA می‌باشد. میزان Zn در نمونه‌های خاک شماره ۱، ۲ و ۴ بیش از میانگین جهانی و استاندارد USEPA است و سایر نمونه‌های خاک دارای مقدار Zn کمتر از این ۲ استاندارد هستند. غلظت Pb در همه‌ی نمونه‌های خاک کمتر از میانگین جهانی و در نمونه‌های ۱، ۲، ۳ و ۶ بیش از استاندارد USEPA می‌باشد. جدول (۳) نشان می‌دهد که در میان همه‌ی فلزات، تنها ضریب غنی‌شدگی Co در تمام نمونه‌های خاک کمتر و یا مساوی ۱ است؛ بنابراین منشا این عنصر در ۶ نمونه خاک کاملاً طبیعی یا پوسته‌ای می‌باشد. در بین همه نمونه‌های خاک، تنها As در نمونه ۳ و Cr در نمونه ۵ و ۶ دارای ضریب غنی‌شدگی بیشتر از ۱۰ می‌باشند که نشان دهنده منشا انسان‌زاد آنهاست. سایر عناصر در تمام نمونه‌های خاک، دارای ضریب غنی‌شدگی کمتر از ۱۰ می‌باشند که مبین منشا طبیعی آنهاست (Liu et al., 2008; Suzuki et al., 2003)، اما چون ضریب غنی‌شدگی آنها بالاتر از ۱ (EF کاملاً طبیعی) است، عوامل دیگری بر روی غلظت آنها تأثیر گذاشته‌اند. با توجه به اینکه حضور همه فلزات سنگین مورد مطالعه در گرد و غبارهای وارده به شهر اهواز به اثبات رسیده است، بنابراین گرد و غبار به عنوان یکی از منشاهای احتمالی است که می‌تواند در غنی‌شدگی عناصر مختلف در خاک نقش داشته باشد. در مورد عناصر As (در نمونه ۳) و Cr (در نمونه ۵ و ۶) که دارای منشا انسان‌زاد هستند، می‌توان احتمال داد که کاربرد سم‌ها یا آفت‌کش‌ها، کودهایی که دارای مقادیر بالایی از این عناصر هستند و هم‌چنین آب مورد استفاده برای آبیاری باعث غنی‌شدگی این عناصر در نمونه‌های خاک شده‌اند (Peryea, 1998; Kitagishi and Yamane., 1981). به منظور بررسی تأثیر گرد و غبار در تغلیظ فلزات سنگین در خاک گونه‌های مورد مطالعه، میانگین غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار در اندازه‌های PM<sub>10</sub> و TSP با غلظت آنها در نمونه‌های خاک مقایسه شد (شکل ۲). این شکل نشان می‌دهد که بین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار و غلظت آنها در نمونه‌های خاک رابطه مستقیمی وجود دارد، به گونه‌ای که عناصر Ni، Sr، Zn، Cu، V که دارای بیشترین غلظت در گرد و غبار هستند، در نمونه‌های خاک نیز غلظت بیشتری دارند و فلزات As و Co که غلظت کمتری در گرد و غبار دارند در

نمونه‌های خاک نیز غلظت کمتری نشان می‌دهند. در مواردی که غلظت فلزات در گرد و غبار بیشتر از غلظت آنها در نمونه‌های خاک باشد، احتمالاً گرد و غبار در تغلیظ این فلزات در خاک‌ها به ویژه خاک‌های سطحی که تحت تأثیر گرد و غبارهای اخیر بوده‌اند، در مقایسه با سایر فلزات نقش مؤثرتری داشته‌اند؛ بنابراین ذرات TSP در افزایش غلظت Zn، As و Co در نمونه ۱ و ۲ (شکل ۲ الف و پ)؛ Zn و Co در نمونه ۳ (شکل ۲ ث)؛ As، Zn، Pb و Co در نمونه ۴ و ۵ (شکل ۲ چ و خ)؛ و Co، As و Zn در نمونه ۶ (شکل ۲ د) نقش مؤثرتری داشته‌اند، در حالی که ذرات PM<sub>10</sub> در تغلیظ As و Zn در نمونه ۱ (شکل ۲ ب)؛ Zn و Co در نمونه ۲ و ۶ (شکل ۲ ت و ذ)؛ Zn در نمونه ۳ (شکل ۲ ج)؛ Zn، Pb و Co در نمونه ۴ (شکل ۲ ح)؛ As، Co، Zn و Pb در نمونه ۵ (شکل ۲ ر) نقش مؤثرتری داشته‌اند. غلظت As، Co و Pb (شکل ۲ الف و ب)؛ Co، Cu و Pb (شکل ۲ ج و ح)؛ Co، Cu، As، Pb (شکل ۲ ر) و Co، Cu، As، Ni و Pb (شکل ۲ خ) در گرد و غبار تقریباً مشابه با غلظت آنها در نمونه‌های خاک سطحی می‌باشد. با توجه به این نکته که محل نمونه‌برداری دور از مراکز صنعتی و معدنی و مراکز پرتراфик می‌باشد می‌توان احتمال داد که گرد و غبارهای اخیر در مقایسه با عوامل دیگر در تغلیظ این عناصر در خاک سطحی نسبت به سایر عناصر نقش مؤثرتری داشته‌اند. غلظت As در گرد و غبار در نمونه‌های TSP ۲/۲۱ ppm و در ذرات PM<sub>10</sub> ۱/۲ ppm می‌باشد؛ در حالی که در نمونه خاک شماره ۳ (شکل ۲ ث و ج)، غلظت آن ۳۴ ppm است که در مقایسه با سایر نمونه‌های خاک، غلظت بسیار بیشتری نشان می‌دهد. با توجه به پایین بودن غلظت As در نمونه ۴ (شکل ۲ چ و ح) که خاک عمقی همین گونه (فیکوس) می‌باشد، بعید به نظر می‌رسد که غنی‌شدگی این عنصر در خاک سطحی ناشی از سنگ مادر یا زمینه خاک باشد بلکه احتمالاً به علت استفاده اخیر از آفت‌کش‌ها یا کودهای شیمیایی است که غلظت بالایی از As داشته‌اند (Peryea, 1998)، به گونه‌ای که این عنصر فرصت کافی برای تحرک یافتن و مهاجرت به افق‌های پایین‌تر را نداشته است؛ در نتیجه غنی‌شدگی آرسنیک در خاک سطحی، ارتباط کمی با گرد و غبار دارد. در میان همه فلزات، میانگین غلظت Zr در گرد و غبار، تفاوت قابل ملاحظه‌ای با نمونه‌های خاک نشان می‌دهد که احتمالاً نشان دهنده این موضوع است که نقش گرد و غبار در تغلیظ این عنصر در مقایسه با سایر عناصر در نمونه‌های خاک بسیار کم است و مقدار بالای این عنصر در خاک احتمالاً ناشی از سنگ مادر می‌باشد (Kabata-Pendias and Pendias., 2001).



شکل ۲. ارتباط غلظت فلزات سنگین در نمونه های گرد و غبار (PM<sub>10</sub> و TSP) با نمونه های خاک

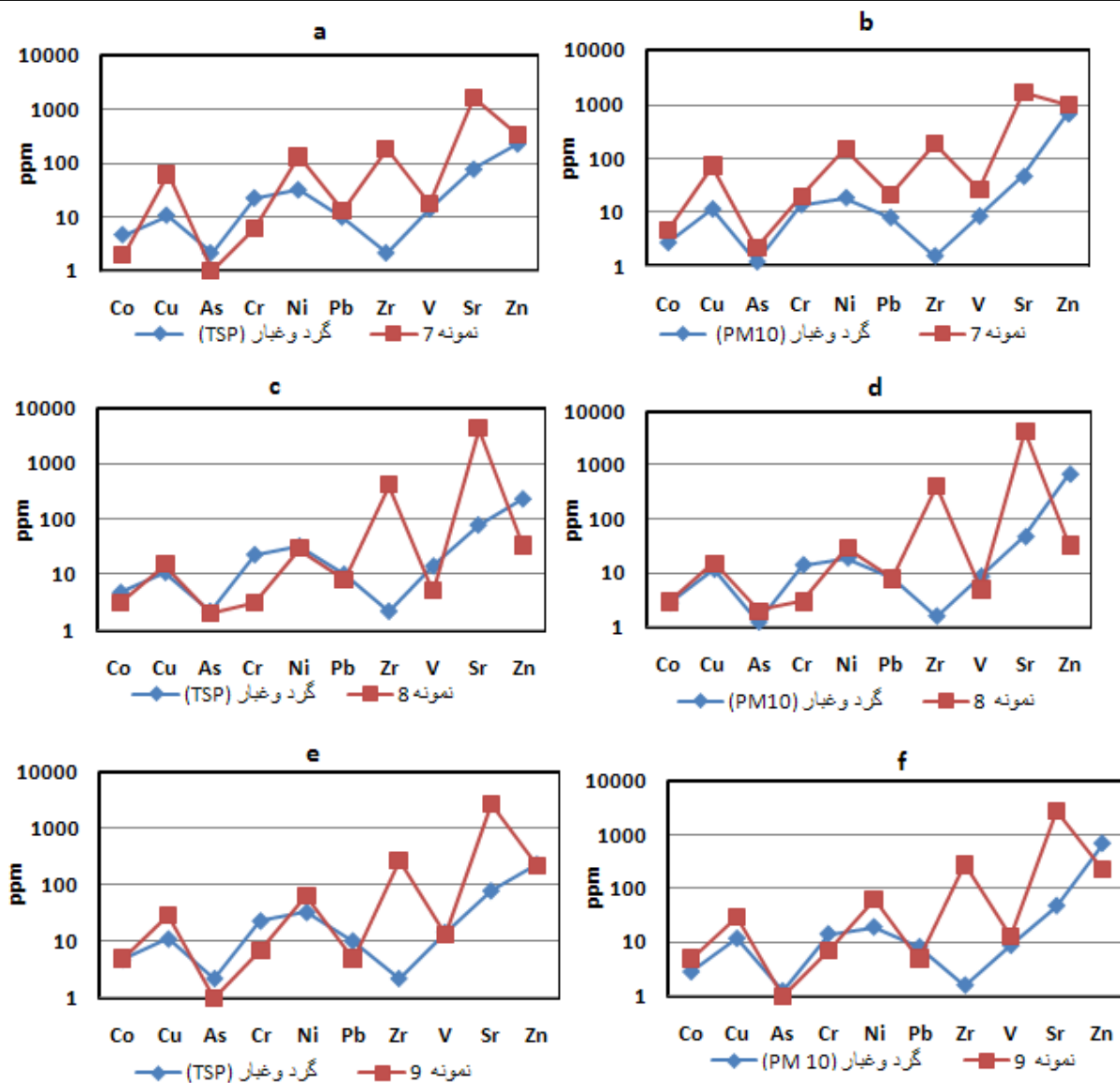


شکل ۲. ارتباط غلظت فلزات سنگین در نمونه های گرد و غبار (PM<sub>10</sub> و TSP) با نمونه های خاک

Cr در نمونه های TSP ۲۲/۲ ppm و در ذرات PM<sub>10</sub> ۱۳/۸۷ می باشد، درحالیکه در برگ هر سه گونه گیاهی و به ویژه برگ فیکوس غلظت کمی نشان می دهد. این موضوع مبین این است که احتمالاً یا گونه های گیاهی مورد مطالعه از جذب این عنصر خودداری کرده اند (Gzik et al., 2003) و یا اینکه این عناصر در خاک به شکلی که برای گیاهان قابل جذب و زیست دسترس پذیر باشند، نبوده اند (James and Barlett, 1983). در مواردی که غلظت فلزات در گرد و غبار بیشتر از غلظت آن ها در برگ هاست، احتمالاً گرد و غبار در تغلیظ این فلزات در برگ ها در مقایسه با سایر فلزات نقش بیشتری داشته است؛ بنابراین ذرات TSP در تغلیظ Cr, Co, As در اوکالیپتوس (شکل ۳a)؛ Ni, Cr, V, Co, As, Zn و در فیکوس (شکل ۳c)؛ و Cr, V, As, Zn, Pb در کونوکارپوس (شکل ۳e) در مقایسه با سایر فلزات نقش بیشتری داشته اند، درحالیکه ذرات PM<sub>10</sub> نیز در تغلیظ Cr, Co, As, Zn در اوکالیپتوس (شکل ۳b)؛ و Cr, V, As, Zn, Pb در فیکوس (شکل ۳d)؛ و Cr, As, Zn, Pb در کونوکارپوس (شکل ۳f) نقش موثرتری داشته اند.

شکل (۳) میانگین غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار (PM<sub>10</sub> و TSP) با غلظت این عناصر در نمونه های برگ را مقایسه می کند. این شکل نشان می دهد که بین غلظت عناصر در گرد و غبار و غلظت آن ها در برگ هر سه گونه مورد مطالعه رابطه مستقیمی وجود دارد، به گونه ای که عناصری مانند Ni, Sr, Cu و Zn که در برگ هر سه گونه گیاهی در مقایسه با سایر عناصر غلظت بالاتری دارند، در نمونه های گرد و غبار نیز غلظت های قابل توجهی دارند و عناصری مانند Co و As که در برگ این گونه ها غلظت کمتری دارند، در نمونه های گرد و غبار نیز دارای غلظت کمتری می باشند. عنصر Zr در برگ هر سه گونه گیاهی دارای غلظت بالایی است درحالی که غلظت آن در گرد و غبار حداکثر ۲/۲۲ ppm می باشد؛ بنابراین می توان نتیجه گرفت که نقش گرد و غبار در افزایش غلظت Zr در برگ در مقایسه با سایر فلزات کمتر بوده و احتمالاً غلظت بالای Zr در برگ ها ناشی از غلظت بالای آن در زمینه ی خاک می باشد که نتایج آنالیز خاک گونه های مورد مطالعه نیز این موضوع را تصدیق می کند. بعضی از عناصر با وجود اینکه غلظت نسبتاً بالایی در ذرات گرد و غبار دارند، در برگ گونه های مورد مطالعه غلظت کمی نشان می دهند. به عنوان مثال غلظت





شکل ۳. بررسی غلظت فلزات سنگین در نمونه های گرد و غبار (PM<sub>10</sub> و TSP) با برگ گونه های مورد مطالعه

Zn و Cu, Sr, As, Co, Zr, Ni, و کونوکارپوس در Pb و Zn, Cu, Sr, As غنی شده اند و در نتیجه این گونه ها به عنوان گونه های فرآیناباشگر برای عناصر نامبرده محسوب می شوند. از سوی دیگر، اوکالیپتوس و کونوکارپوس از جذب Cr, V و Pb و فیکوس از جذب Ni, Cr و V پرهیز کرده اند و بنابراین این گونه ها دفع کننده یا غیرجاذب برای عناصر مذکور می باشند. به منظور تعیین غلظت های سمی فلزات سنگین در برگ گونه های مورد مطالعه، غلظت فلزات سنگین در برگ بالغ گونه های مختلف گیاهی (جدول ۷) با غلظت آن ها در برگ گونه های مورد مطالعه (جدول ۱) مقایسه گردید. غلظت ۴ عنصر Ni, V, Zr و Sr در برگ هر سه گونه ی گیاهی در محدوده ی سمی قرار دارد؛ غلظت Cr و Zn در اوکالیپتوس و کونوکارپوس در محدوده ی سمی و در فیکوس در محدوده ی طبیعی است؛ غلظت Cu و Pb در فیکوس و کونوکارپوس در محدوده طبیعی و در اوکالیپتوس در محدوده ی سمی قرار می گیرد. غلظت Co در هر سه گونه ی مورد مطالعه در محدوده سمی قرار نمی گیرد اما از حد طبیعی که برای گونه های مختلف در نظر گرفته شده نیز بیشتر است. در این میان غلظت As در هر سه گونه کمتر از محدوده سمی و در اوکالیپتوس و

جدول (۴) و (۲) نشان می دهد که در هر سه گونه ی گیاهی، عناصری که در خاک سطحی غلظت بالاتری دارند، دارای فاکتور غلظت کمتری از خاک سطحی به برگ می باشند و بالعکس؛ بنابراین عناصر Ni, V, Zr, Co, Sr و Cu در اوکالیپتوس؛ Co, As و Pb در فیکوس؛ و Ni, Zr, Co و Sr در کونوکارپوس که در خاک سطحی نسبت به خاک عمقی غلظت بالاتری دارند (جدول ۱)، دارای فاکتور غلظت کمتری از خاک سطحی به برگ می باشند (جدول ۴). سایر عناصر که در خاک عمقی غلظت بالاتری دارند، فاکتور غلظت کمتری از خاک عمقی به برگ دارند. این موضوع نشان می دهد که فاکتور غلظت فلزات با افزایش غلظت خاک، کاهش می یابد و جذب و انتقال فلزات به برگ ها با غلظت خاک متناسب نیست. اگر فاکتور غلظت عناصر (خواه از خاک سطحی به برگ و خواه از خاک عمقی به برگ) بیشتر یا مساوی ۱ باشد، نشان می دهد که گیاه در عناصر غنی شده است (گیاه فرآیناباشگر)؛ و در صورتی که کمتر از ۱ باشد، نشان دهنده ی این است که گیاه از مکش عنصر پرهیز کرده است (گیاه غیرجاذب یا دفع کننده) (Olowoyo et al., 2010). بنابراین، اوکالیپتوس در عناصر Ni, Zr, Sr, Cu, Zn, Co و As؛ فیکوس در Co, Zr, Ni

۳ - pH و بافت خاک دو پارامتر مهم در بررسی تحرک عناصر در ستون خاک می‌باشند؛ به گونه‌ای که بالاتر بودن غلظت فلزات سنگین در افق‌های سطحی معمولاً در ارتباط با pH قلیایی خاک و جذب شدید عناصر به وسیله رس‌ها می‌باشد.

۴ - محاسبه فاکتور غلظت از خاک سطحی و عمقی به برگ گونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که اوکالیپتوس در عناصر Ni, Zr, Cu, Sr, Zn, Co و As؛ فیکوس در Zr, Co, As, Sr, Cu, Zn و Pb؛ و کونوکارپوس در Ni, Zr, Co, As, Sr, Cu و Zn غنی شده‌اند و در نتیجه این گونه‌ها به عنوان گونه‌های فرآینبشتگر برای عناصر نامبرده محسوب می‌شوند.

۵ - غلظت Ni, V, Cu, Zn و Pb در اوکالیپتوس؛ Zr, As و Sr در فیکوس؛ و Co و Cr در کونوکارپوس در مقایسه با گونه‌های دیگر بیشتر است و این موضوع مبین آن است که هر یک از گونه‌های مورد مطالعه در جذب فلزات سنگین خاصی، پتانسیل بیشتری نشان می‌دهند اما در یک مقایسه کلی با در نظر گرفتن غلظت همه فلزات سنگین در برگ گونه‌های مورد مطالعه می‌توان اظهار داشت که پتانسیل گونه‌های گیاهی مورد بررسی در جذب فلزات سنگین مختلف به این ترتیب است: فیکوس > کونوکارپوس > اوکالیپتوس.

کونوکارپوس در محدوده طبیعی و در فیکوس نیز کمی از محدوده طبیعی بیشتر می‌باشد. از سوی دیگر جدول (۱) نشان می‌دهد که در اوکالیپتوس، عناصر Ni, V, Cu, Zn و Pb دارای بیشترین غلظت؛ Cr دارای غلظت حدواسط و Zr, Co و Sr دارای کمترین غلظت در مقایسه با دو گونه دیگر می‌باشند. در فیکوس، عناصر Zr, As و Sr دارای بیشترین غلظت؛ Co و Pb دارای غلظت حدواسط و Ni, Cr, V, Zn و Cu دارای کمترین غلظت در مقایسه با دو گونه دیگر می‌باشند. در کونوکارپوس، Cr و Co دارای بیشترین غلظت؛ Ni, V, Zr, Sr, Cu, Zn دارای غلظت حدواسط و Pb دارای کمترین غلظت در مقایسه با دو گونه دیگر هستند. بنابراین با توجه به حضور همه‌ی این عناصر در گرد و غبار و تکرار این پدیده در سال‌های اخیر می‌توان احتمال داد که گرد و غبار در تغلیظ فلزات سنگین در برگ گونه‌های مورد مطالعه و ایجاد غلظت-های سمی در آن‌ها نقش داشته است.

جدول ۷. غلظت تقریبی عناصر کمیاب در برگ‌های بالغ گونه‌های مختلف برحسب (Kabata-Pendias and Pendias., 2001) ppm

عناصر	طبیعی یا مناسب	بیش از اندازه یا سمی
Ni	۵-۱۰	۱۰۰-۱۰
Cr	۵-۱۰	۳۰-۵
V	۵-۱۰	۱۰-۵
Zr	-	۱۵
Co	۱-۰.۲	۵۰-۱۵
As	۷-۱	۲۰-۵
Sr	-	۳۰
Cu	۳۰-۵	۱۰۰-۲۰
Zn	۱۵۰-۲۷	۴۰۰-۱۰۰
Pb	۱۰-۵	۳۰۰-۳۰

## نتیجه‌گیری

۱ - بین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار و غلظت آن‌ها در نمونه‌های خاک و برگ هر سه گونه‌ی مورد مطالعه رابطه مستقیمی وجود دارد؛ بنابراین با توجه به تکرار گرد و غبار در سال‌های اخیر، این پدیده یکی از منشاهاى احتمالی است که در غنی‌شدگی فلزات سنگین در خاک و برگ درختان نقش دارد.

۲ - بعضی از عناصر مانند Cr با وجود اینکه غلظت نسبتاً بالایی در ذرات گرد و غبار دارند، در برگ هر سه گونه گیاهی و به ویژه فیکوس غلظت کمی نشان می‌دهند؛ این موضوع مبین این است که احتمالاً یا گونه‌های گیاهی مورد مطالعه از جذب این عنصر خودداری کرده‌اند و یا اینکه این عناصر در خاک به شکلی که برای گیاهان قابل جذب و زیست دسترس پذیر باشند، نبوده‌اند.

## منابع

- پورخباز، ح.، پورخباز، ع.، ۱۳۸۷. مطالعه آلودگی هوای شهر مشهد با تعیین غلظت فلزات سنگین در برگ درختان، مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۲۰، قسمت ب.
- دلیجانی، ف.، کاظمی، غ.، پروین نیا، م.، خاکشور، م.، ۱۳۸۸. غنی شدگی و توزیع فلزات سنگین در خاک های منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی (عسلویه)، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز.
- زراسوندی، ع.، ۱۳۸۸. ارزیابی زیست محیطی پدیده ی گرد و غبار در استان خوزستان (فاز اول)، سازمان محیط زیست استان خوزستان، ۳۷۰ صفحه.
- زیگل، فردریک، ۱۳۸۷. زمین شیمی زیست محیطی فلزات بالقوه سمی، ترجمه ی فرید مر و فاطمه راست منش، چاپ اول، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست، ۲۴۴ صفحه.
- کراسکف، پی کنراد، کی برد، دنیس، ۱۳۷۷. مبانی زمین شیمی، ترجمه ی فرید مر و سروش مدبری، مرکز نشر دانشگاهی تهران، ۷۸۰ صفحه.
- Anderson, A., Hovmand, M.F., Johnsen, I., 1978. Atmospheric heavy metal deposition in the Copenhagen area. *Environ. Pollut.* 17(2), 113-132.
- DUNN, C. E. 2007. *Biogeochemistry in Mineral Exploration*. Elsevier's Science and Technology Rights Department in Oxford. 9, 462.
- Garcia, R., Maiz, I., Millan, E., 1996. Heavy metal contamination analysis of road side and grass from Gipozkoa (spain). *Environ. Technol.* 17, 763-770.
- Garcia, R., Ma, C.D.T., Padilla, H., Belmont, R., Azpra, E., Arcegacabrera, F., 2006. Measurement of chemical elements in rain from Rancho Viejo, a rural wooded area in the state of mexico. *Atmospheric Environment*. 40, 6088-6100.
- Guo, G.L., Zhou, Q.X., 2006. Evaluation of heavy metal contamination in phaeozem of northeast china. *Environmental Geochemistry and Health*, 28, 331-340.
- Gzike, A., Kuehling, M., Schneider, I., Tschochner, B., 2003. Heavy metal contamination of soils in a mining area in south Africa and its impact on some biotic systems. *J Soils & sediments*. 3(1), 29-34.
- Hao, Y., Guo, Z., Yang, Z., Fang, M., Feng, J., 2007. Seasonal variations and sources of various elements in the atmospheric aerosols in Qingdao, China. *Atmos, Res.* 85, 27-37.
- Huang, P.M., 1975. Retention of arsenic by hydroxy-aluminum on surface of micaceous mineral colloids. *Soil Sci, Soc, Am, Proc.* 39, 271.
- James, BR., Barlett, RJ., 1983. Behavior of chromium in soils VII. Adsorption and reduction of hexavalent forms. *J Environ Qual.* 12, 177-181.
- Kabata-pendias, A., Pendias, H., 2001. Trace elements in soils and plants. CRC press, Taylor and francis group.
- Kambezidis, H.D., Melas, D., 2003. Regional transport of air pollutants in Greece. *Air pollution in Reg Sca.* 161-168.
- Kartal, S., Aydin, Z., Tokalioglu, S., 2006. Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data. *J. Hazard, Mater.* 132, 80-89.
- Kaschel, A., Romheld, V., Chen, Y., 2002. The influence of soluble organic matter from municipal / solid waste compost on trace metal leaching in calcareous soils. *The science of the total environ.* 291, 45-57.
- Kitagishi, K., Yamane, I., Eds., 1981. Heavy metal pollution in soils of Japan. Japan Science Society Press, Tokyo. 302.
- Knezevic, M., Stankovic, D., krstic, B., Nikolic, MS., Vilotic, D., 2009. Concentration of heavy metals in soil and leaves of plant species paulownia elongate S.Y.Hu and paulownia fortune Hemsl. *Biotechnology*. 8(20), 5422-5429.
- Kumar, G.P., 2008. Growth of *Jatropha curcas* on heavy metal contaminated soil amended with industrial wastes and *Azotobacter* a greenhouse study. *Bioresource technology*. 99, 2078-2082.
- Ladonin, D.V., 1996. Study of copper and zinc sorption on to soil in model experiment. *Agrocimiya*. 1, 94-99.
- Liu, Q.T., Diamond, M.E., Gingrich, S.E., Ondov, J.M., Maciejczyk, P., Gary, A.S., 2003. Accumulation of metals, trace elements and semivolatile organic compounds on exterior windows surfaces in Baltimore. *Environment pollution*. 122, 51-61.
- Lou, L., Shen, Z., Li, X., 2004. The copper tolerance mechanisms of *Elsholtzia haichowensis*, a plant from copper-enriched soil. *Environ. exp. Bot.* 51, 111-120.

- Malecka, A., Piechalak, A., Morkunas, I., Tomaszewska, B., 2008. Accumulation of lead in root cells of *pisum sativum*. *Acta physiol. Plant.* (inpress).
- McLaren, R.G., Crawford, D.W., 1973. Studies on soil copper. *J soil Sci.* 24, 443-452.
- Mingorance, M.D., Valdes, B., Rossini Oliva, S., 2007. Strategies of heavy metal uptake by plants growing under industrial emissions. *Environment International.* 33, 514-520.
- Mudd and Koslowski, 1975. Responses of plants to air pollution. *Physiol Ecol Ser.* Academic Press, N.Y.
- Nadal, M., Schuhmacher, M., Doming, J.L., 2004. Metal pollution of soils and vegetation in an area with petrochemical industry. *Science of the Total Environment.* 321, 59-69.
- Olowoyo, J.O., Heerden, E.Van., Fischer, J.L., Baker, C., 2010. Trace metals in soil and leaves of *jacaranda mimosifolia* in Tshwane area, south Africa. *Atmospheric Environment.* 44, 1826-1830.
- Peryea, F.J., 1998. Phosphate starter fertilizer temporarily enhances soil arsenic uptake by apple trees grown under field conditions, *Hort. Sci.* 33, 826.
- Pope, J.M., Farago, M.E., Thornton, I., Cordos, E., 2005. Metal enrichment in zlatna, a Romanian copper smelting town. *Water, Air and soil pollution.* 162, 1-18.
- Saster, J., Sahuquillo, A., Vidal, M., Rauret, G., 2002. *Anal. Chim Acta.* 462, 59-72.
- Selim, H.M., Sparks, D.L., 2001. Heavy metals release in soils. CRC press, Boca raton, FL.
- Suzuki, K., Yabuki, T., Ono, Y., 2008. Road side *Rhododendron pulchrum* leaves as bioindicators of heavy metal pollution in traffic areas of okayama, Japan. *Environ monit assess.* 149, 133-141.
- USEPA office of solid waste and emergency response, hazardous waste land treatment, sw-874, april 1983, page 273.
- Wang, D., Schaap, W., 1988. Air pollution impacts on plants : current research challenges. *ISI Atlas Sci, Anim plant Sci.* 1, 33-39.
- Yongming, H., Peixuan, D., Junji, C., Posmentier, E.S., 2006. Multivariate analysis of heavy metal concentration in urban dusts of xi'an, central china. *Sci. Total Environ.* 355, 176-186.