

## Assessing Heavy Metal Concentration in the Soil and Plants of Surroundings Khuzestan Steel Factory

AGHIL EKHLASPOUR<sup>1</sup>, BIJAN KHALILIMOGHADAM<sup>2\*</sup>, MOHSEN SOLEIMANI<sup>3</sup>

1. Graduated MSc. student, Department of Soil Science, Agricultural Sciences and Natural Resources university of Khuzestan, Ahvaz, Iran
2. Associate Prof., Department of Soil Science, Agricultural Sciences and Natural Resources university of Khuzestan, Ahvaz, Iran
3. Assistant Prof. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran  
(Received: May. 5, 2018- Revised: Oct. 23, 2018- Accepted: Oct. 28, 2018)

### ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the concentration of heavy metals, dispersed from Khuzestan Steel factory, in the soil and various plants of surrounding area. For this purpose, the Leaves samples from trees, shrubs, grass and soil samples from their rhizospheres were collected in dominated and opposite wind direction from the factory. Plant samples were divided into two groups; of which one group was washed with distilled water and HCl and another was not washed. Heavy metal concentrations (Fe, Cu, Cd, Pb, Zn) were measured in plant and soil samples by flame atomic absorption spectroscopy. Results showed that the heavy metals concentration in plants in wind direction is almost 1.5 times more than the opposite direction. Airborne metal deposition has occurred in this region because the heavy metal concentrations in unwashed samples were more than the ones in washed samples. Based on the results obtained from this study, it can be concluded that Khuzestan steel factory activity is one of the pollution sources in the proposed region which threatened the environment of Ahvaz.

**Key words:** Airborne, Pollution, Urban Environment, Steel Industries

---

\* Correspondent Author's Email: [khalilimoghadam@asnruk.ac.ir](mailto:khalilimoghadam@asnruk.ac.ir)

## بررسی غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاهان اطراف مجتمع فولاد خوزستان

عقیل اخلاصپور<sup>۱</sup>، بیژن خلیلی مقدم<sup>۲\*</sup>، محسن سلیمانی<sup>۳</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

۲. دانشیار، گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

۳. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۱۵ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۸/۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۸/۶)

### چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی غلظت فلزات سنگین منتشر شده از مجتمع فولاد خوزستان، در خاک و گیاهان اطراف این منطقه می‌باشد. بدین منظور نمونه‌برداری از برگ درختان، درختچه‌ها و گیاه علفی و خاک محیط ریشه (ریزوسفر) آن‌ها در جهت وزش باد غالب منطقه و عمود بر آن در اطراف مجتمع فولاد انجام شد. نمونه‌های گیاه به دو دسته تقسیم و نیمی با آب مقطر و اسید هیدروکلریک شسته و نیمی دیگر بدون شستشو در نظر گرفته شدند. غلظت عناصر سنگین: آهن، مس، کادمیم، سرب و روی در خاک و نمونه‌های گیاهی با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در جهت وزش باد غالب، میزان غلظت عناصر سنگین در برگ گیاهان حدود ۱/۵ برابر غلظت عناصر در برگ گیاهان عمود بر جهت وزش باد بود. همچنین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی شسته شده کمتر از نمونه‌های بدون شستشو بود که بیانگر نشست فلزات سنگین بر روی گیاهان از طریق ذرات معلق هوا است. با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که مجتمع فولاد خوزستان به عنوان یکی از منابع انتشار فلزات سنگین در منطقه است که انتشار آلاینده‌های مذکور از طریق باد محیط‌زیست شهر اهواز را تهدید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، محیط زیست شهری، صنایع فولاد

### مقدمه

آلودگی محیط‌زیست شهری به عناصر سنگینی مانند آهن، مس، روی، کادمیم و سرب باعث ایجاد تغییرات نامطلوب ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی منابع اصلی زندگی یعنی آب، هوا و خاک می‌گردد؛ به طوری که بقا و سلامت انسان و دیگر موجودات را به خطر انداخته و فعالیت آن‌ها را محدود می‌سازد (Liu et al., 2012). اگرچه عناصر سنگین منشأهای مختلفی دارند، ولی این عناصر بیشتر از طریق اتمسفر وارد محیط زیست شهری می‌گردند (Kubin & Lippo, 1996). با توجه به خطر آلاینده‌ها برای زندگی موجودات زنده، اطلاع کافی از نوع و میزان هر یک از آن‌ها در محیط زیست شهری از اهمیت شایانی برخوردار است.

تاکنون از اجزای مختلف گونه‌های گیاهی به شکل‌های درخت، درختچه و علفی در مطالعات زیست محیطی با هدف بررسی آلودگی هوا استفاده شده است. میزان جذب آلودگی به عواملی مانند تراکم درختان، اقلیم، شکل برگ، سن برگ، زبری برگ، مشخصات روزنه‌ها، کلفتی کوتیکول و خزان‌کننده یا

همیشه سبز بودن گیاه بستگی دارد (Liu et al., 2012) که می‌توان به کاج، نخل، سنجد، انجیر، افاقیا، سپیدار، گل قاصد، پیچک صحرائی اشاره کرد. پژوهش‌های صورت گرفته نشان داده است که همبستگی معنی‌داری بین مقدار ذرات معلق ترسیب شده هوا و غلظت آن‌ها در برگ گونه‌های مختلف درختان، علف‌ها و گیاهان زینتی وجود دارد (Tangahu et al., 2011). در میان گیاهان مورد استفاده در زیست‌سنجی آلاینده‌ها، درختان به سبب دارا بودن عمر طولانی قادرند آلودگی خاک را نشان دهند و همچنین گیاهان همیشه‌سبز در مقایسه با گیاهان خزان‌دار تغییرات آلودگی هوا را بهتر نمایان می‌نمایند (Ugolini et al., 2013). پژوهش‌های انجام شده با استفاده از درخت سپیدار نشان داده است که همبستگی معنی‌داری بین غلظت کادمیم و روی در خاک و برگ این گیاه وجود دارد (Brady, 1990). امکان‌سنجی استفاده از برگ چنار در پایش زیست-محیطی آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار اتمسفری نیز مطالعه‌ای است که توسط Noruzi & Khademi (2013) انجام شد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که تجزیه عنصری برگ درختان می‌تواند شاخصی برای تعیین میزان آلودگی ناشی از غبار اتمسفری باشد. آنالیز عناصر سنگین برگ درختان و گرد و

\* نویسنده مسئول: khalilimoghadam@asnrukh.ac.ir

آلودگی آهن و سرب به ترتیب در کاج به مقدار ۱۵۲۱/۸ میلی-گرم بر کیلوگرم و یونجه به مقدار ۱۷۱ میلی-گرم بر کیلوگرم می-باشد. پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با تجمع زیستی کادمیم، مس و کروم در پیچک صحرایی نشان داد که این گیاه قادر است تا ۳۸۰، ۱۵۰۰ و ۵۶۰ میلی-گرم بر کیلوگرم کادمیم، مس و کروم را در خود ذخیره کند (Markert, 1993). نتایج حاکی از این واقعیت است که این گیاه می‌تواند جهت پالایش اراضی آلوده به این عناصر مورد استفاده قرار گرفته و به عنوان بیش-انباشتگر کروم معرفی شود. (Ataabadi et al., 2011). با بررسی میزان غلظت برخی از فلزات سنگین اطراف فولاد مبارکه به این نتیجه رسیدند که منشأ بعضی از فلزات سنگین هوازاد می‌باشد و برگ گیاه بلوط فلزات آهن و نیکل را در خود تجمع نموده است که این مورد می‌تواند در مورد سایر مناطق مجاور صنایع آهن و فولاد از جمله شهر اهواز نیز مطرح باشد.

شهر اهواز به لحاظ استقرار واحدهای صنعتی آلاینده، وضعیت ترافیک سنگین و موقعیت جغرافیایی در معرض خطر آلودگی با فلزات سنگین هوا قرار دارد. از جمله صنایع آلوده‌کننده می‌توان به مجتمع صنایع فولاد خوزستان اشاره نمود. آگاهی از نوع و میزان آلاینده‌های این واحد صنعتی در مدیریت شهری و شهرسازی از اهمیت زیادی برخوردار است. بدین منظور این پژوهش با اهداف زیر انجام گردید:

بررسی میزان آلودگی خاک و گیاهان به عناصر سنگین از قبیل آهن، مس، کادمیم، سرب و روی  
بررسی اثر وزش باد، نوع گیاه و فاصله بر میزان آلودگی خاک و گیاهان به عناصر سنگین آهن، مس، کادمیم، سرب و روی

## مواد و روش‌ها

### الف) منطقه نمونه برداری

منطقه مورد بررسی در این مطالعه اراضی اطراف مجتمع فولاد خوزستان به مختصات جغرافیایی ۳۳° ۱۵' ۳۲" عرض شمالی و ۲۱° ۲۵' ۵۱" طول شرقی در شهر اهواز می‌باشد. منطقه به طور متوسط در ارتفاع ۲۰ متری از سطح دریا قرار دارد و پوشش گیاهی طبیعی غالب آن شامل درختان: اوکالیپتوس (*Eucalyptus sp.*) و کونوکارپوس (*Conocarpus erectus*).

درختچه‌های: مورت (*Myrtus communis*) و ختمی چینی (*Hibiscus rosa-sinensis*) و گیاه علفی: حلفه (*Imperata cyrtindrica*) است.

اکالیپتوس از خانواده *Myrtaceae* درختی به ارتفاع عموماً تا ۳۰ متر، گاه‌تا ۵۰ متر، تاج پوش گسترده، تنه به قطر

غبار موجود روی آن‌ها یک روش جایگزین و مناسب برای تخمین میزان و توزیع مکانی و زمانی آلاینده‌های غبار اتمسفری است. بنابراین استفاده از تکنیک پایش‌زیستی با استفاده از گیاه چنار به‌عنوان روشی راحت‌تر، سریع‌تر و قابل دسترس‌تر نسبت به سایر روش‌های تخمین آلودگی غبار اتمسفری، توصیه می‌گردد.

(Alirzayeva et al., 2017) با بررسی اکوتیپ‌های *Artemisia fragrans* به این نتیجه رسیدند که این گیاه توانایی تجمع و مقاومت به عناصر سنگین به‌ویژه کادمیم را دارا می-باشد. در تحقیقی که توسط (Dalvand et al., 2016) در اراضی طبیعی اطراف معدن مس دره زرشک انجام شد، نتایج نشان داد که به طور کلی با افزایش فاصله از معدن، کاهش در غلظت فلزات مشاهده شد. نتایج همبستگی پیرسون نشان دهنده وجود همبستگی معنی‌داری بین غلظت مس و سرب در خاک و ریشه گیاه دامنه بود. پس از مقایسه غلظت‌ها با مقادیر طبیعی و بحرانی مشخص شد که غلظت‌های موجود در محدوده طبیعی برای گیاهان قرار دارند. اما فعالیت‌هایی همچون حمل و نقل باعث افزایش میزان غلظت سرب در مناطق اطراف جاده محور یزد-شیراز گردیده است (Dalvand et al., 2015). در همین راستا، (Dalvand et al., 2014) نشان دادند که گونه گیاهی *A. aucheri* مناسب‌ترین گونه به عنوان بیش انباشتگر عناصر سنگین در اطراف معدن مس دره زرشک برای اهداف گیاه‌پالایی در مقایسه با سایر گونه‌ها همچون *A. gummier* می‌باشد. (Chitsaz et al., 2016) نیز نشان دادند که بیشترین غلظت مس، سرب و روی به ترتیب ۶۰/۳، ۱۶۴/۳ و ۱۲۳/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک در ریشه گندم‌های روستای دره زرشک و بیشترین غلظت منگنز ۲۲۴/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک در ریشه گندم‌های روستای حسن‌آباد مشاهده شد که نزدیک‌ترین روستاها به کانسار مس منطقه هستند. کمترین غلظت عناصر نیز در ریشه گندم‌های روستای دره گاز مشاهده شد که تحت تأثیر کانسار نبوده است. بررسی غلظت سرب و نیکل در خاک و گیاه مرتعی *Halimocnemis pilifera* در اطراف مرکز دفن زباله حلقه دره کرج، پژوهشی است که توسط (Panahi et al., 2016) انجام گرفت، نتایج آن‌ها نشان داد که گیاه *Halimocnemis pilifera* برای پالایش فلز سرب از خاک-های آلوده مناسب است.

پژوهش‌های صورت گرفته نشان داده است که گیاهان در ارتباط با نوع آلاینده‌ها می‌توانند واکنش‌های متفاوتی از خود نشان دهند (Ugolini et al., 2013). (Sadrarhami, 2006) در بررسی آلودگی فلزات سنگین حاصل از کارخانه ذوب آهن بر منابع خاک و محصولات کشاورزی نشان داد که بیشترین

جهت شمال غربی-جنوب شرقی می‌باشد. لذا در جهت وزش باد منطقه‌ای به طول ۳۰ کیلومتر از مجتمع فولاد خوزستان انتخاب گردید که فاصله نقاط نمونه‌برداری به ترتیب ۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۸، ۱۰، ۲۰، ۳۰ کیلومتر از مجتمع فولاد بود. همچنین در جهت خلاف وزش باد نیز ۵ نقطه به فواصل ۱، ۲، ۴، ۸ و ۲۰ کیلومتر از مجتمع فولاد انتخاب شد.

**ب) نمونه‌برداری، آماده‌سازی و تجزیه نمونه‌های خاک و گیاه**  
نمونه‌برداری از خاک اطراف ریشه‌های (ریزوسفر) سه گیاه به صورت درخت، درختچه و گیاه علفی در هر نقطه (۴۵ نمونه) صورت گرفت. ریزوسفر لایه‌ای نه‌چندان عمیق از خاک است که مستقیماً تحت تأثیر ریشه گیاهان و میکروارگانیسم‌های مرتبط قرار می‌گیرد. برای این کار ابتدا ریشه‌های گونه‌های گیاهی مورد نظر انتخاب شده و در هر نقطه نمونه‌برداری گردید و پس از کدگذاری به آزمایشگاه منتقل شد. برای تعیین میزان کل عناصر سنگین خاک از روش هضم با اسید نیتریک غلیظ استفاده شد (Pyatt, 1999). به این منظور، ۷/۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۴ مولار به یک گرم از هر نمونه خاک اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب قرار گرفتند و بعد با استفاده از کاغذ صافی عصاره‌گیری و در پایان غلظت کل عناصر سنگین (آهن، مس، کادمیوم، سرب و روی) نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی مدل ContrAA 300 تعیین شدند. همچنین غلظت قابل جذب برخی از فلزات سنگین (کادمیوم، روی، سرب و مس) به روش عصاره‌گیری با DTPA (Lindsay and Norvell, 1978) با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل ContrAA 300 اندازه‌گیری گردید.

نمونه‌برداری از برگ‌های سه نوع گیاه به صورت درخت، درختچه و گیاه علفی در هر نقطه صورت گرفت (۴۵ نمونه)، برای نمونه‌برداری از گیاه تا حد امکان گیاهان با سن و ارتفاع یکسان انتخاب شدند. نمونه‌های گیاه در دو حالت مطالعه شدند؛ یکی بدون شستشو و دیگری نمونه‌های شسته شده. پس از شستشوی نیمی از نمونه‌های گیاهی با اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال و آب مقطر اندام هوایی جدا شدند. سپس همه نمونه‌ها در آون در ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و بعد از خشک شدن، نمونه‌ها آسیاب شده و جهت اندازه‌گیری مهیا شدند. هضم نمونه‌های گیاه بدین صورت انجام شد که ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ (۶۵٪) به ۰/۲ گرم گیاه پودر شده کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر، اضافه گردید. پس از حرارت دهی در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت، نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه خنک گردید. سپس ۱ میلی‌لیتر آب اکسیژنه

۱ تا ۲ متر؛ پوست صاف، مایل به سفید یا خاکستری و برگ‌ها داسی شکل، به طول ۲۲-۸ سانتی‌متر و عرض ۲-۱ سانتی‌متر، در هر دو سطح فوقانی و تحتانی خاکستری-آبی، متناوب می‌باشد. این گیاه در جنوب غرب تا جنوب ایران پراکنش دارد. ولی پراکنش جغرافیایی آن استرالیا، جنوب غرب آسیا، شمال آفریقا، آمریکای شمالی و لاتین است. کونوکارپوس از خانواده *Combretaceae* به صورت درخت یا درختچه‌ای، از نظر اندازه متنوع، پرشاخه، گاهی درختچه‌ای گسترده روی زمین اما معمولاً راست، درخت شونده، به ارتفاع تا ۲۰ متر، تنه به قطر تا ۸۰ سانتی‌متر، پوست قهوه‌ای تیره، ترک بردارنده با پره‌های نامنظم و فلس‌های نازک، برگ‌ها متناوب، سرریزه‌ای یا بیضی یا مستطیلی، به طول ۱۰-۲ سانتی‌متر و عرض ۳-۱ سانتی‌متر، در هر دو انتها نوک کند یا تیز، غیر منقسم، حاشیه صاف، چرمی، بی‌کرک یا پوشیده با کرک‌های ابریشمی؛ دمبرگ کوتاه، حاوی ۲ غده می‌باشد. پراکنش این گیاه در ایران، جنوب غرب تا جنوب کشور می‌باشد ولی پراکنش جغرافیایی آن سواحل مکزیک، کالیفرنیا، فلوریدا، برزیل، سواحل گرم و مرطوب آفریقا، ایران و کویت است. این گیاه می‌تواند در دمای بالا رشد کرده و آب شور را جذب کند و ارتفاع رویشی آن ۷۴۵-۰ متر از سطح دریا است. ختمی چینی یا رز چینی از خانواده *Malvaceae* خشبی و درختچه‌ای، ساقه به ارتفاع تا ۳ متر، منشعب، بدون کرک، بدون خار است که برگ‌های آن تخم‌مرغی، نوک‌دار، حاشیه دندانه‌ای نامنظم تا نوک، نزدیک قاعده کامل و بدون بریدگی، در دو طرف بدون کرک یا با کرک‌های ستاره‌ای ریز در اطراف رگبرگ‌ها؛ پهنک از دمبرگ تا حداقل ۳ بار بلندتر، گوشواره‌ها خطی یا سرریزه‌ای باریک، راست، بدون کرک می‌باشد. پراکنش این گیاه در ایران، جنوب غرب تا جنوب کشور می‌باشد ولی پراکنش جغرافیایی آن جنوب شرقی آسیا است. مورد با نام علمی *Myrtus communis*، درختچه کوچکی است که ارتفاع ساقه آن در شرایط عادی بین ۱ تا ۳ متر است. برگ‌هایی همیشه سبز، پایا، متقابل، ساده، نوک‌تیز، عاری از تار و دندانه، چرمی، به رنگ سبز تیره و معطر دارد. بر روی ساقه درخت مورد برجستگی‌هایی به وجود می‌آید که گال نامیده می‌شود. این برجستگی‌ها دارای مقدار زیادی تانن بوده و بسیار قابض است. حلقه از تیره *Gramine*، گیاهی تهاجمی، دائمی با ریزوم‌های چند ساله و بومی مناطق گرمسیر و نیمه گرمسیر است. ریزوم‌های گیاه حلقه نرم، تک شاخه استوانه‌ای، دارای ۱ تا ۴ گره (به ندرت ۸) و ۰/۱۵ تا ۱/۲ متر و به ندرت ۳ متر طول دارند. با توجه به نقشه گلباد منطقه، اکثر بادهای خوزستان در

نمونه‌های گیاهی برداشت شده در جهت وزش باد نسبت به جهت مخالف بیشتر بود. میانگین غلظت آهن، مس، سرب و روی برگ گیاهان در جهت وزش باد به ترتیب ۱/۶۷، ۱/۷۸، ۱/۳۳ و ۱/۴۳ برابر بیشتر از غلظت فلزات در خلاف جهت وزش باد بود.

بررسی غلظت عناصر سنگین در خاک و برگ گیاهان در فواصل مختلف از مجتمع فولاد خوزستان نشان می‌دهد آلاینده‌ها در جهت جریان وزش باد حرکت می‌کنند و در هوا معلق می‌شود و به مرور زمان بر روی گیاهان و خاک منطقه نشست می‌کنند. بنابراین طبیعی است که میزان آلودگی عناصر سنگین در جهت وزش باد به ویژه باد غالب بیشتر از خلاف جهت باد باشد. به همین دلیل در جهت وزش باد، سوختگی برگ و کاهش رشد و نمو گیاهان کاملاً مشهود است. البته باید توجه داشت که چگالی این ذرات که بیشتر از جنس آهن می‌باشند زیاد است، بنابراین ترسیب این ذرات عمدتاً در فواصل نزدیک به این منبع می‌باشد. نتایج برخی مطالعات نیز نشان داد که سرعت و جهت باد بر پراکنش آلودگی عناصر سنگین در خاک و گیاه به طور معنی‌داری مؤثر می‌باشد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (Ugolini *et al.*, 2013; Beckett *et al.*, 2000; Callender and Rice, 2000).

(۳۰٪) به نمونه اضافه و در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. پس از صاف کردن نمونه غلظت عناصر سنگین نمونه‌های گیاهی توسط دستگاه جذب اتمی قرائت شد (AOAC, Soleimani et al., 2010; 1990). سپس میانگین غلظت هر عنصر برای درخت، درختچه و گیاه علفی در هر مکان تعیین گردید.

### ج) تجزیه و تحلیل آماری

طرح به صورت آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح آشیانه‌ای در سه تکرار اجرا شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون LSD انجام شد. محاسبات آماری نتایج به وسیله نرم‌افزارهای SAS 9.1 صورت گرفت. همچنین برای رسم شکل‌ها از برنامه Excel نسخه ۲۰۰۷ استفاده شد.

### نتایج و بحث

تجزیه واریانس میزان غلظت عناصر سنگین (آهن، مس، کادمیوم، سرب و روی) در گیاهان نشان داد که تأثیر جهت وزش باد، شستشو و نوع گیاه و اثرات متقابل آن‌ها از نظر آماری معنی‌دار بوده است (جدول ۱). در بخش‌های بعد تأثیر هر کدام از عوامل مذکور به صورت جداگانه ارائه و مورد بحث قرار می‌گیرد.

الف) تأثیر جهت وزش باد بر مقدار غلظت عناصر سنگین برگ گیاهان  
میانگین غلظت فلزات سنگین آهن، مس، کادمیم، سرب و روی

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عامل‌های مورد آزمایش در گیاهان

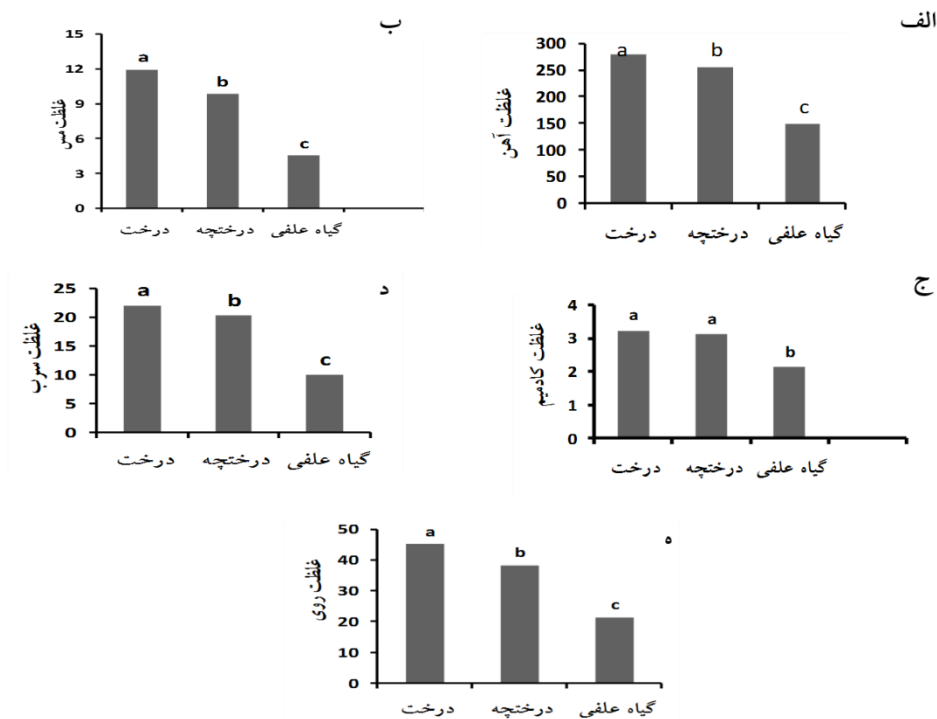
میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییرات
روی	سرب	کادمیم	مس	آهن		
۳۵۲/۳**	۳۳۲/۳**	۰/۰۱۳ns	۱۲۷/۴**	۲۳۷۸/۴**	۱	جهت وزش باد
۰/۸	۰/۱۸	۱/۵	۰/۶۰	۲۹/۲	۴	خطای جهت وزش باد
۶۶۴۷/۴**	۱۰۸/۳**	۱۸/۹*	۷۱۷/۴۱**	۸۵۳۵۱/۶*	۲	نوع گیاه
۳/۳۱**	۴۷/۳**	۲۱/۴**	۱۸/۴۴**	۳۴۷۵/۲**	۲	جهت وزش باد × نوع گیاه
۰/۰۸	۰/۱۰۶	۱/۸	۰/۰۰۷	۵/۹	۸	خطای نوع گیاه
۲۵۷۹/۳**	۷۹۴/۷۳**	۱۳/۲**	۳۰۲/۳**	۱۴۰۶۲۷/۰۱**	۱۳	جهت وزش باد (فاصله)
۱۲۰/۰۷**	۲۱/۶۷**	۱۴/۱**	۴۷/۴**	۴۳۴۳/۶**	۲۶	جهت وزش باد × نوع گیاه (فاصله)
۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۸	۰/۰۲	۸/۵	۷۸	خطای جهت وزش باد (فاصله)
۱۹۸۲/۷۳**	۲۱۷/۴**	۱/Ans	۱۶۸/۵**	۲۹۷۷۹/۵**	۱	شستشو
۵۵/۹۷**	۲۰/۹**	۲/۷ns	۰/۸۵**	۹۳۴/۳**	۱	جهت وزش باد × شستشو
۱۷۰/۹۶**	۶/۰۶**	۲۲/۲**	۲۶/۳**	۳۹۳/۳**	۲	نوع گیاه × شستشو
۱۰۶/۳۳**	۲۳/۹**	۱/۳**	۱۴/۹**	۳۰۳/۶**	۲	جهت وزش باد × نوع گیاه × شستشو
۳۵/۲۳**	۹/۸**	۵/۴**	۷/۸**	۴۳۰۲/۲**	۳۹	جهت وزش باد × نوع گیاه × شستشو (فاصله)
۰/۷۷	۰/۲۳	۰/۶۳	۰/۰۵۷	۱۳۴۷/۵	۹۰	خطا
۲/۵	۲/۳	۲۶/۵	۳/۲	۱/۶		ضریب تغییرات (%cv)

ns و \* و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ و تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ می‌باشد.

و ۲/۱۴ برابر است. که حد بحرانی آلودگی روی در گیاهان ۱۰۰-۱۰ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی گزارش شده است (Kabata-Pendias & Pendias, 1992). توانایی گونه‌های گیاهی درختی نسبت به گونه‌های درختچه‌ای و علفی در جذب و تجمع فلزات سنگین آهن، مس، سرب و روی بیشتر است (شکل ۱). همچنین به نظر می‌رسد غلظت فلزات مذکور در برگ گیاهان مذکور در محدوده مجاز قرار دارد. با این وجود، باید غلظت‌های کم فلزاتی مانند سرب و کادمیم، که برخلاف روی، مس و آهن که از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌باشند، بر موجوداتی که از برگ گیاهان در منطقه استفاده می‌کنند مورد توجه جدی قرار گیرد. درخت به دلیل طول عمر بیشتر و همچنین ارتفاع بوته، جذب آهن آن نسبت به درختچه بیشتر است. ارتفاع بوته گیاه علفی کم است و همچنین سطح برگ آن نسبت به درختچه و درخت کمتر می‌باشد و به تبع آن جذب کمتری خواهد داشت (Celik, 2004; Markert, 1993). مطالعات (Jalalian and Hudji (2009, 2004 b, 2004 a) در مجاورت مناطق صنعتی فولاد مبارکه نشان داد که درختان بهتر از درختچه و گیاهان همیشه سبز بهتر از گیاهان خزان شونده آلودگی فلزی آهن، نیکل و سرب را نشان دادند. برخی از بررسی‌ها نشان می‌دهد که گونه‌های مختلف گیاهی نیز توانایی متفاوتی در جذب ذرات معلق هوا دارند به طوری که گیاهان پوششی بیشتری نسبت به درختان معلق را داشته و پس از آن به ترتیب در گونه درختچه‌های خزان‌کننده، درختان خزان‌کننده، درختچه همیشه سبز و درخت همیشه سبز، میزان جذب ذرات معلق کاهش می‌یابد (Liu et al., 2012; Zhang et al., 2014). برخی مطالعات نیز نشان داده است که توانایی گیاهان در نگهداشت ذرات هوا با افزایش تراکم و ساختارهای مرفولوژیکی سطح برگ، افزایش می‌یابد (Zhang et al., 2014). مطالعات (Chen et al., 2017) نشان داده است که با بررسی گونه‌های مختلف پهن برگ و سوزنی برگ در بدام انداختن ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرومتر (PM<sub>2.5</sub>) به این نتیجه رسیده است که سوزنی‌برگان کارایی بیشتری در بدام انداختن این ذرات داشته‌اند که دلیل آن وجود ساختار برگ این گونه‌ها می‌باشد. در همین ارتباط، (Sæbø et al., 2012) نشان دادند که رابطه مثبتی بین ترسیب ذرات معلق هوا و برگ‌های کرک‌دار و مقدار موم برگ‌ها وجود دارد.

ب) اثر نوع گیاه (درخت، درختچه و گیاه علفی) بر غلظت عناصر سنگین

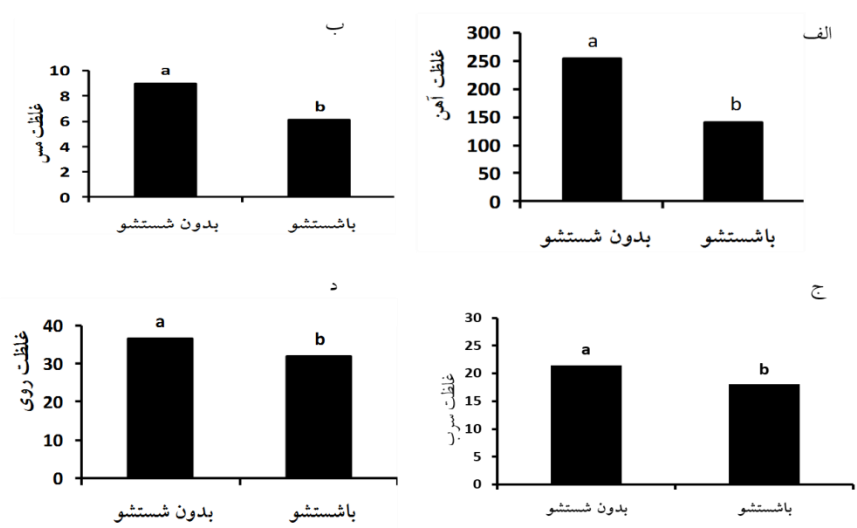
میانگین میزان غلظت آهن در برگ درخت، درختچه و گیاه علفی به ترتیب ۲۷۹/۱۷، ۲۵۵/۶۴ و ۱۴۸/۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. در صورتی که حد بحرانی آلودگی آهن در گیاهان ۷۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی گزارش شده است (Pais & Jones, 1997). همان طوری که در شکل (الف) مشاهده می‌شود میانگین میزان غلظت آهن برگ در درخت نسبت به درختچه و گیاه علفی به ترتیب ۱/۰۹ و ۱/۸۸ برابر است. این نتایج با نتایج به دست آمده توسط (Sadrarhami, 2006) که در بررسی آلودگی فلزات سنگین حاصل از کارخانه ذوب آهن بر منابع خاک و محصولات کشاورزی انجام گرفت مطابقت دارد. با این وجود غلظت آهن در گیاه در محدوده مجاز قرار دارد. نتایج (شکل ۱. ب) نشان می‌دهد که میانگین میزان غلظت مس برگ در درخت، درختچه و گیاه علفی به ترتیب ۱۱/۹۰، ۸/۸۳ و ۴/۵۲ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد که با توجه به حد بحرانی آلودگی مس در گیاهان که ۱۴-۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی گزارش شده است (Bowen, 1979)، در محدوده مجاز می‌باشد. میانگین میزان غلظت مس برگ در درخت نسبت به درختچه و گیاه علفی به ترتیب ۱/۳۴ و ۲/۶۳ برابر است. بر اساس نتایج به دست آمده (شکل ۱. ج)، میانگین میزان غلظت کادمیم برگ در درخت، درختچه و گیاه علفی به ترتیب ۳/۲۳، ۳/۱۲ و ۲/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد که نشان می‌دهد میانگین میزان غلظت کادمیم در برگ درخت نسبت به گیاه علفی ۱/۵۱ برابر است. با توجه به این که حد بحرانی آلودگی کادمیم در گیاهان ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی گزارش شده است (Kabata-Pendias & Pendias, 1992)، غلظت آن در گیاهان مذکور در محدوده مجاز قرار دارد. میانگین غلظت سرب در برگ درخت، درختچه و گیاه علفی به ترتیب ۲۱/۹۹، ۲۰/۲۵ و ۹/۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (شکل ۱. د). میانگین میزان غلظت سرب برگ در درخت نسبت به درختچه و گیاه علفی به ترتیب ۱/۰۸ و ۲/۲۰ برابر است. حد بحرانی آلودگی سرب در گیاهان ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاهی گزارش شده است (Allaway, 1968). میانگین غلظت روی در برگ درخت، درختچه و گیاه علفی به ترتیب ۴۵/۴۰، ۳۸/۲۱ و ۲۱/۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد، و میانگین غلظت روی برگ در درخت نسبت به درختچه و گیاه علفی به ترتیب ۱/۱۸



شکل ۱. مقایسه میانگین مقدار غلظت عناصر سنگین (برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم) در برگ درخت، درختچه و گیاه علفی با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد (الف). آهن، (ب). مس، (ج). کادمیم، (د). سرب و (ه). روی. حرف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ آزمون LSD است.

شستشوی برگ، باعث کاهش ۳۰-۱۰ درصد مقدار عناصر سنگین می‌گردد. (Ugolini *et al.* (2013) گزارش کردند که شستشوی برگ‌ها با آب مقطر تأثیر معنی‌داری بر کاهش غلظت آلاینده‌هایی مانند باریم، کروم، منگنز، آهن، سرب، روی و مس دارد، ولی اثری بر میزان کادمیم نداشته است. Tomasevic *et al.* (2011) در پژوهشی در منطقه شهری بلغراد به این نتیجه رسیدند که شستشوی برگ‌های درختان نمونه‌برداری شده باعث کاهش معنی‌دار عناصری همچون آهن، آلومینیم، سرب نسبت به نمونه‌های شسته نشده گردید.

ج) اثر شستشو بر غلظت عناصر سنگین برگ گیاهان میانگین غلظت آهن، مس، سرب و روی در نمونه‌های برگ شسته شده کمتر از میانگین غلظت عناصر در نمونه‌های شسته نشده بود که بیانگر نشست این فلزات از طریق هوا بر روی گیاهان است (شکل ۲). (Rodrigueza *et al.* (2011). کوروا آرژانتین به این نتیجه رسیدند که خطر زیست‌محیطی عناصری همچون سرب، روی، مس، نیکل، کبالت، آهن، منگنز و وانادیم در مزارع این منطقه وجود دارد. از طرفی شستشوی نمونه‌ها باعث کاهش ۴۴٪ آهن، ۱۹٪ مس، ۲۵٪ سرب و ۱۳٪ روی شده است. (Ward *et al.* (1977) به این نتیجه رسیدند که



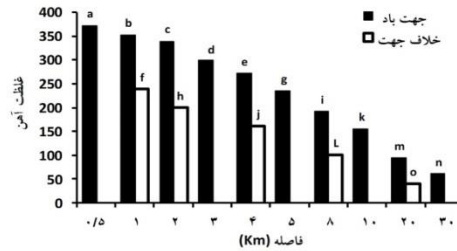
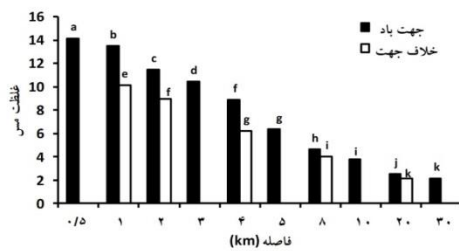
شکل ۲. مقایسه میانگین غلظت عناصر سنگین (برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم) برگ‌های شسته شده و شسته نشده با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۱٪ (الف). آهن، (ب). مس، (ج). سرب و (د). روی. حرف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ آزمون LSD است.

کارایی گونه گیاهی *Quercus ilex* را در بدام انداختن ذرات معلق هوا در کاربری‌های صنعتی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان ذرات بدام افتاده با فاصله از منبع آلودگی رابطه مستقیم و معنی‌داری داشته است. همچنین ذرات ریز معلق هوا (0.2-2.5 $\mu$ m) بیشتر از ذرات درشت در موم این گونه درختی ترسیب شده‌اند.

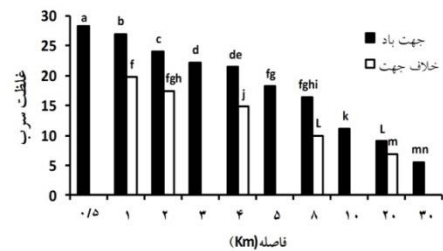
#### د) تأثیر فاصله از مجتمع فولاد خوزستان بر غلظت عناصر سنگین برگ گیاهان

به طور کلی در جهت وزش باد بیشترین و کمترین میزان غلظت عناصر سنگین برگ گیاهان به ترتیب در فاصله ۰/۵ و ۳۰ کیلومتری و در خلاف جهت وزش باد بیشترین و کمترین میزان غلظت این عناصر به ترتیب در فاصله ۱-۰/۵ و ۲۰ کیلومتری حاصل گردید (شکل ۳). (Sgrigna et al. (2015) در مطالعه‌ای،

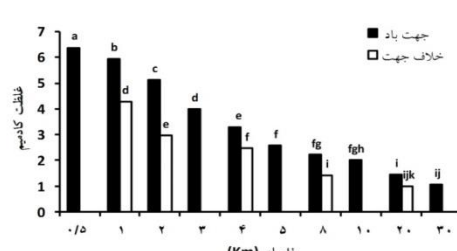
ب



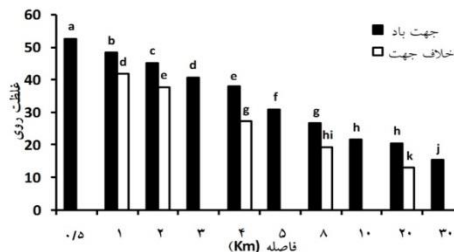
د



ج



ه



شکل ۳. مقایسه میانگین‌های تأثیر فاصله بر مقدار غلظت عناصر سنگین (برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم) برگ گیاهان با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد. (الف). آهن، (ب). مس، (ج). کادمیم، (د). سرب و (ه). روی. حرف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ آزمون LSD است.

در کیلوگرم بود. همین روند برای سایر عناصر نیز به دست آمد. این موضوع می‌تواند دلیلی بر تأثیر مجتمع صنعتی مذکور در پراکنش فلزات سنگین در محیط زیست اطراف آن باشد.

نتایج تجزیه واریانس میزان غلظت عناصر سنگین قابل جذب در خاک ریزوسفر درخت و درختچه و گیاه علفی در جدول (۲) آمده است. تأثیر جهت وزش باد و نوع گیاهان در سطح ۱ درصد بر میزان قابل جذب عناصر آهن، مس، کادمیم، سرب و روی در خاک ریزوسفر معنی‌دار بوده است. با توجه به کاهش غلظت کل عناصر با فاصله گرفتن از مجتمع فولاد خوزستان، مقدار قابل جذب آن‌ها و نیز مقدار جذب شده به وسیله‌ی گیاه نیز کاهش یافت.

#### ه) غلظت عناصر سنگین قابل جذب و کل ریزوسفر گیاه در جهت و خلاف جهت باد غالب

در منطقه مورد مطالعه بافت خاک غالب، پ-هاس و شوری خاک به ترتیب لوم، ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بوده است. میانگین میزان غلظت کل عناصر مورد مطالعه در خاک ریزوسفر گیاهان در جهت و خلاف جهت وزش باد با فاصله گرفتن از مجتمع فولاد خوزستان روند کاهشی نشان داد. بیشترین میزان غلظت کادمیم و سرب کل در خاک ریزوسفر گیاهان در جهت وزش باد در فاصله ۰/۵ کیلومتری و به ترتیب برابر با ۱۲/۱۷ و ۸۸/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمترین میزان آن‌ها در خاک در نمونه‌های خلاف جهت وزش باد در فاصله ۲۰ کیلومتری برابر با ۱/۰۱ و ۷/۳۷ میلی‌گرم



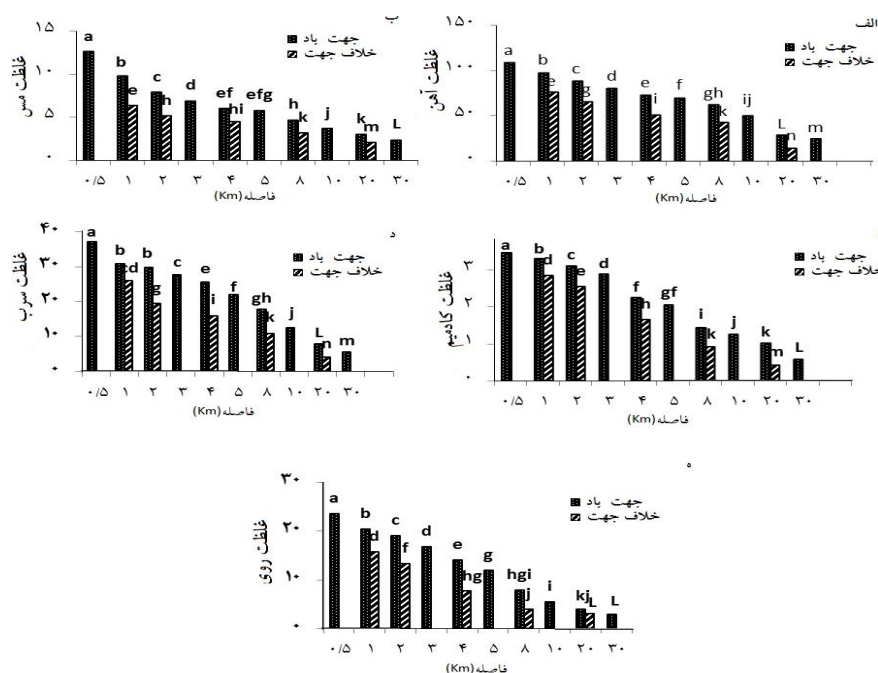
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عامل‌های مورد آزمایش در خاک ریزوسفر

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		آهن	مس	کادمیم	سرب
جهت وزش باد	۱	۷۵۲/۳**	۲/۵**	۰/۸**	۳۷/۰۴**
خطای جهت وزش باد	۴	۶۶/۸۴	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۱
نوع گیاه	۲	۵۴۸۷/۹۷**	۴۹/۳**	۷/۴**	۹۳/۴۵**
جهت وزش باد × نوع گیاه	۲	۴۶/۲۵**	۱/۷**	۰/۹**	۸/۸**
خطای وزش باد × نوع گیاه	۸	۷۷/۹	۰/۰۵۸	۰/۰۶	۰/۵
جهت وزش باد (فاصله)	۱۳	۶۹۶۳/۰۳**	۸۱/۴**	۱/۸**	۸۶۸/۹**
جهت وزش باد × نوع گیاه (فاصله)	۲۶	۱۲۰/۰۳**	۵/۰۰۱**	۲/۵**	۳۰/۰۷**
خطا	۷۸	۱۱/۴	۰/۰۴۱	۰/۰۲	۰/۱۴۷
ضریب تغییرات		۴/۸	۳/۲	۴/۲	۲/۳

ns و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار، تفاوت در سطح ۵٪ و تفاوت در سطح ۱٪ است.

افتاده بیشتر گردد، به تبع آن میزان عناصر کل خاک و مقدار قابل جذب آن بیشتر می‌گردد. توانایی جذب ذرات معلق هوا به‌وسیله گیاهان با توجه به کاربری مختلف شهری متفاوت می‌باشد. به طوری که در مناطق مسکونی، میزان جذب ذرات معلق توسط گیاهان کمتر از مناطق تجاری و صنعتی است (Xi-dong et al., 2014). نتایج بررسی Baker (1989) نیز نشان داد که میزان جذب ذرات معلق توسط درختان، چندین برابر بیشتر از گیاهان علفی است. از طرفی دیگر Weber et al. (2018) نشان دادند که گونه‌های علفی کنار جاده باعث افزایش به دام انداختن ذرات ۳ تا ۱۸۰ میکرومتر می‌گردد. Lu et al. (2014) نیز گزارش کردند که میزان جذب ذرات معلق هوا به‌وسیله گونه‌های گیاهی مختلف، بسیار متفاوت است و این اختلاف به ۵ برابر می‌رسد.

با توجه به شکل (۴-الف) بیش‌ترین میانگین میزان غلظت آهن قابل جذب در خاک ریزوسفر در جهت وزش باد در فاصله ۰/۵ کیلومتری با مقدار ۱۰۸/۸۷ و کمترین میانگین میزان غلظت آهن قابل جذب در خاک ریزوسفر در نمونه‌های خلاف جهت وزش باد در فاصله ۲۰ کیلومتری برابر با ۱۹/۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. این نشان می‌دهد که در جهت وزش باد، نشست آهن روی خاک در فواصل نزدیک به کارخانه نسبت به فاصله‌های دورتر بیشتر است. همچنین در خلاف جهت وزش باد از مقدار غلظت آهن جذب شده در خاک ریزوسفر کاسته شد. نتایج مشابهی برای سایر فلزات به دست آمد (شکل ۴) و غلظت عناصر سنگین خاک ریزوسفر گیاهان با افزایش فاصله از مجتمع فولاد خوزستان کاهش نشان داد (Pais & Jones, 1997; Bowen, 1979; Kabata-Pendias & Pendias, 1992; Allaway, 1968). هر چه میزان ذرات معلق هوا به دام



شکل ۴. مقایسه میانگین‌های تأثیر فاصله بر مقدار غلظت عناصر سنگین قابل جذب (برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم) خاک ریزوسفر گیاهان با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۱ در صد. (الف). آهن، (ب). مس، (ج). کادمیم، (د). سرب و (ه). روی. حرف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ آزمون LSD است.

## نتیجه‌گیری

صورت گیاهان فضای سبز کاشته شده‌اند و یا به طور خودرو رشد کرده‌اند، درختان توانایی بیشتری در جذب این عناصر نسبت به درختچه و گیاهان علفی از خود نشان دادند. گیاهان می‌توانند عناصر موجود در هوا را به طور مؤثر حذف کرده و در نتیجه کیفیت هوا و سلامت انسان را بهبود بخشند. که به طور عمده بستگی به نوع گونه‌ی گیاهی و سطح برگ‌های آن‌ها دارد. توصیه می‌شود خطر انتقال آلاینده‌های مذکور به زنجیره غذایی یا ریسک سلامت در منطقه مورد مطالعه بررسی گردد.

بررسی غلظت عناصر سنگین در خاک و برگ گیاهان در فواصل مختلف از مجتمع فولاد خوزستان نشان می‌دهد این مجتمع می‌تواند در آلودگی عناصر سنگین در اطراف شهر اهواز نقش داشته باشد. میزان غلظت عناصر سنگین در گیاه و خاک با افزایش فاصله در جهت و خلاف جهت باد غالب کاهش معنی‌داری پیدا کرد که به پراکنش آلاینده‌های مذکور در اثر باد به محیط زیست اطراف مجتمع صنعتی فولاد خوزستان اشاره دارد. از بین گیاهان موجود در محدوده مجتمع فولاد خوزستان که به

## REFERENCES

- Alirzayeva, E., Neumann, G., Horst, W., Allahverdiyeva, Y., Specht, A. and Alizade, V. (2017). Multiple mechanisms of heavy metal tolerance are differentially expressed in ecotypes of *Artemisia fragrans*. *Environmental Pollution* 220: 1024-1035.
- Allaway, W.H. (1968). Agronomic controls over the environmental cycling of trace elements. In: Norman, A.G. (Ed.). *Advances in Agronomy* 20: 235-274.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1990). Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists, 15th. Arlington.
- Ataabadi, M., Hoodaji, M. and Najafi, P. (2011). Biomonitoring of some heavy metal contaminations from a steel plant by above ground plants tissue. *African Journal of Biotechnology* 10: 4127-4132. (In Farsi)
- Baker WL. (1989). A review of models of landscape change. *Journal of Landscape Ecology* 2(2):111-133.
- Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H. and Taylor, G. (2000). Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. *Global Change Biology* 6: 995-1003.
- Bowen, H. J. M. (1979). *Environmental Chemistry of the Elements*. Academic Press, London, 333 pp.
- Brady, N. C. (1990). *The nature and properties of soil* (10th ed). Macmillan Publishing Company New York. 621 p.
- Callender, E. and Rice, K.C. (2000). The urban environmental gradient: anthropogenic influences on the spatial and temporal distributions of lead and zinc in sediments. *Environmental Science & Technology* 34: 232-238.
- Celik, A. (2004). Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using *Robinia pseudo acacia L.* *Environment International* 31: 105-112.
- Chen, Y.Y., Ebenstein, A., Greenstone, M., Li, H.B. (2017). Experimental examination of effectiveness of vegetation as bio-filter of particulate matters in the urban environment. *Journal of Environment and Pollution*, 208, 198-208.
- Chitsaz, M., Hamidian, A. H., Moteshare Zadeh, B., Mirjalili, S. A. A., Ashrafi, S. and Esmail Zade, E. (2016). Measured concentrations of lead, copper, zinc, manganese in roots of wheat (*Triticum aestivum*) near copper mine Darreh Zereshk Region, Yazd Province. *Journal of Natural Environment* 69:347-359. (In Farsi)
- Dalvand, M., Hamidian, A. H., Zare Chahooki, M. A., Mirjalili, S. A. A. Moteshare Zadeh, B. and Esmail Zade, E. (2016). Determination of the concentration of heavy metals (Cu, Pb & Zn) in roots of *Artemisia sp.* in natural lands of Darreh Zereshk copper mine, Taft, Yazd. *Journal of Natural Environment* 69:35-46. (In Farsi)
- Dalvand, M., Hamidian, A. H., Zare Chahooki, M. A., Moteshare Zadeh, B., Mirjalili, S. A. A. and Esmail Zade, E. (2014). Comparing heavy metal accumulation abilities in *Artemisia aucheri* and *Astragalus gummifer* in Darreh Zereshk region, Taft. *Desert* 19: 137-140. (In Farsi)
- Dalvand, M., Hamidian, A. H., Zare Chahouki, M. A., Motesharrezadeh, B., Mirjalili, A. A. and Esmailzadeh, E. (2015). Determination of the concentration of heavy metals (Cu, Pb, Zn and Mn) in shoots of *Artemisia sp.* in natural lands of Darreh Zereshk copper mine, Taft, Yazd. *Journal of Range and Watershed Management* 8: 219-229. (In Farsi)
- Hudji, M. and Jalalian, A. (2004a). Proceedings of the Conference on soil, environment and sustainable development. *Journal of Environmental Studies* 15: 26-36. (In Farsi)
- Hudji, M. and Jalalian, A. (2004b). Ni, Mn and Cd in Soil and Crops in the Mobarakeh Steel Complex settlement. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 3: 55-67. (In Farsi)
- Hudji, M. and Jalalian, A. (2009). Biomonitoring of heavy metals by plants growing in the industrial area of Mobarakeh Steel. *Journal of Environmental Studies* 52: 83-92. (In Farsi)
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (1992). *Trace Elements in Soils and Plants* (2nd ed). CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, 315 p.

- Kubin, E. and Lippo, H. (1996). Atmospheric heavy metal deposition in Finland from 1985 to 1990. *Applied Geochemistry* 11: 155–161.
- Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42:421-428.
- Liu, L., Guan, D.S. and Peart, M.R. (2012). The morphological structure of leaves and the dust-retaining capability of afforested plants in urban Guangzhou, South China. *Environmental Science and Pollution Research* 19: 3440–3449.
- Xi-dong, L., Ping-jiao, L., Qing-mei, H., Guang-fu, M., Sheng, S. (2014). Comparison of the leaf surface features and dust retention effect of five common lane trees in Yizhou City. *Journal of Hechi University*, (5):37–43.
- Markert, B. (1993). Plant as biomonitors/Indicators for heavy metals in the terrestrial environment. Weinheim VCH. Press: 670.
- Noruzi, S. and Khademi, H. (2013). Feasibility study of leaf application in environmental monitoring of heavy metals pollution in atmospheric dust. 13 th Iranian soil science congress.
- Pais, I.J. and Jones, J. B. (1997). The hand book of trace elements. Publishing by : St. Luice press Boca Raton Florida.
- Panahi, N., Hamidian, A. and Tavili, A. (2016). Heavy Metals (Pb and Ni) in Soil and Plant *Halimocnemis pilifera* in Halgheh Darreh Waste Disposal Site in Karaj. *Journal of Range and Watershed Management* 69:13-26. (In Farsi)
- Pyatt, F.B. (1999). Comparison of foliar and stem bioaccumulation of heavy metals by Corsican pines in the Mount Olympus area of Cyprus. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 42: 57-61.
- Rodrigueza, J. H., Weller, S. B., Wannaz, E.D., Klumpp, A. and Pignata, M. L. (2011). Air quality biomonitoring in agricultural areas nearby to urban and industrial emission sources in Crdoba province, Argentina, employing the bioindicator *Tillandsia capillaries*. *Ecological indicators* 11: 1673–1680.
- Sæbø, A., R. Popek B. Nawrot. Hanslin, H.M. Gawronska., H. Gawronski, S.W. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment* 427–428 (2012) 347–354.
- Sadrarhami, A. (2006). Heavy metal contamination of soil and crops Esfahan Steel Complex on resources. Proceedings of the Conference on soil, *environment and sustainable development*. Karaj, PP: 87-89. (In Farsi)
- Sgrigna, G., Sæbø, A., Gawronski, S., Popek, R., & Calfapietra, C. (2015). Particulate Matter deposition on *Quercus ilex* leaves in an industrial city of central Italy. *Environmental pollution*, 197, 187-194.
- Soleimani M., Hajabbasi, M.A., Afyuni, M., Mirlohi, A.F., Borggaard, Ole K., and Peter, E. (2010). Effect of endophytic fungi on Cd tolerance and bioaccumulation by *Festuca arundinacea* and *Festuca Peratensis*. *International Journal of Phytoremediation* 12: 535-549.
- Tangahu, B.V., Abdullah, S. R. S., Basri, H., Idris, M., Anuar, N. and Mukhlisin, M. (2011). A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering* 2011, <http://dx.doi.org/10.1155/2011/93916>, Article ID: 939161, 31 p.
- Tomasevic, M., Anicica, M., Jovanovic, L. G., Peric-Grujic, A. and Ristic, M. (2011). Deciduous tree leaves in trace elements biomonitoring: A contribution to methodology. *Ecological Indicators* 11: 1689–1695.
- Ugolini, F., Tognetti, R., Raschi, A. and Bacci, L. (2013). *Quercus ilex L.* as bioaccumulator for heavy metals in urban areas: Effectiveness of leaf washing with distilled water and considerations on the trees distance from traffic. *Urban Forestry and Urban Greening* 12:576-584.
- Ward, N.I., Brooks, R. R. and Roberts, E. (1977). Heavy metal pollution from automotive emission and its effect on roadside soils and pasture species in New Zealand. *Environmental Science & Technology* 11: 917–920.
- Weber, F., Kowarik, I., Säumel, I. (2018). Herbaceous plants as filters: immobilization of particulates along urban street corridors. *Journal of Environment and Pollution*, 186, 234–240.
- Zhang ZD, Xi BY, Cao ZG, Jia LM . (2014). Exploration of a quantitative methodology to characterize the retention of PM2.5 and other atmospheric particulate matter by plant leaves: taking *Populus tomentosa* as an example. *Journal of Applied Ecology*, (8): 2238–2242.