

## تأثیر جهت و فاصله از کارخانه پرهام روی زنجان بر غلظت و فاکتور انتقال روی در ورک و سلمه تره

\* محمد بابا اکبری ساری<sup>۱</sup>، رضا عسگری<sup>۲</sup>، مهدی تفویضی<sup>۳</sup> و تورج خوش زمان<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، دانشجوی دکتری

گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، <sup>۲</sup> محقق بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۵/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۲۱

### چکیده

**سابقه و هدف:** آلودگی خاک و گیاه به عناصر سنگین مانند روی در اثر فعالیت‌های صنعتی بر سلامت انسان‌ها آثار سوء داشته است. کارخانجات صنعتی و معادن، کودها، سموم، فاضلاب‌ها از مهم‌ترین منابع آلاینده آب، خاک و گیاهان به فلزات سنگین به‌شمار می‌آیند. استان زنجان دارای کارخانه‌های تولید روی و فعالیت‌های معدن‌کاوی زیادی بوده که باعث آلودگی خاک، آب و گیاهان شده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر جهت و فاصله از کارخانه پرهام روی زنجان بر غلظت روی در خاک، ریشه و بخش‌های هوایی و فاکتور انتقال روی در گیاهان مرتعی غالب منطقه (سلمه تره و ورک) اندازه‌گیری شد.

**مواد و روش‌ها:** این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گردید. فاکتورها شامل ۳ جهت (شمال شرق، شرق و غرب کارخانه)، ۶ فاصله (۰-۲۵۰، ۲۵۰-۵۰۰، ۵۰۰-۷۵۰، ۷۵۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۰-۱۲۵۰ و ۱۲۵۰-۱۵۰۰ متری از کارخانه) و دو گیاه سلمه تره (*Chenopodium album*) و ورک (*Hulthemia persica*) بود. نمونه‌های گیاه و خاک از مناطق مورد نظر جمع‌آوری شد. نمونه‌های ریشه و بخش‌های هوایی گیاه با استفاده از اسید نیتریک غلیظ هضم و روی قابل دسترس خاک با DTPA استخراج گردید. غلظت روی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که اثر جهت و فاصله از کارخانه بر غلظت عنصر روی در بخش‌های هوایی و ریشه و فاکتور انتقال معنی‌دار بود ( $P < 0/01$ ). بیش‌ترین غلظت روی در بخش‌های هوایی و ریشه گیاه ورک به ترتیب ۱۱۲۵ و ۱۳۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک در جهت شمال شرق و در محدوده ۰-۲۵۰ متری از کارخانه بود. کم‌ترین غلظت روی در بخش‌های هوایی و ریشه گیاه ورک به ترتیب ۷ و ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک در جهت غرب و در محدوده ۱۲۵۰-۱۵۰۰ متری از کارخانه بود. بیش‌ترین مقدار فاکتور انتقال ( $1/46$ ) در گیاه سلمه تره و در محدوده ۱۲۵۰-۱۵۰۰ متری در جهت شمال شرق و کم‌ترین مقدار فاکتور انتقال ( $0/22$ ) در گیاه ورک و در محدوده ۱۲۵۰-۱۵۰۰ متری در جهت غرب کارخانه مشاهده گردید. اثر متقابل جهت، فاصله و گیاه بر غلظت عنصر روی در بخش‌های هوایی و ریشه و فاکتور انتقال معنی‌دار بود ( $P < 0/01$ ).

\* مسئول مکاتبه: [babaakbari@znu.ac.ir](mailto:babaakbari@znu.ac.ir)

**نتیجه‌گیری:** در جهت شمال‌شرق (باد غالب) آلودگی گیاه بیش‌تر تحت‌تأثیر باد قرار داشت اما در فواصل نزدیک به کارخانه در جهت شرق، فاضلاب خروجی و در جهت غرب، پسماند عامل اصلی آلودگی خاک و گیاه بود. گیاه ورک به‌خاطر ریشه‌های ضخیم و گسترده‌تر خود نسبت به گیاه سلمه‌تره روی بیش‌تری را توسط ریشه جذب و به بخش هوایی انتقال داده بود اما در جهت شمال‌شرق عامل ته‌نشست‌های اتمسفری ناشی از کارخانه نقش مهمی در آلودگی خاک و گیاهان داشت. گیاه سلمه‌تره به‌خاطر زیست‌توده گیاهی بالا روی را بیش‌تری در بخش هوایی خود نسبت به گیاه ورک با ساقه زبر و تیغ‌دار از هوا جذب نموده بود، به همین دلیل فاکتور انتقال نیز در گیاه سلمه‌تره در فواصل دورتر در جهت باد غالب بیش‌تر از گیاه ورک بود. ورک در مناطق دپوی پسماندها، روی بیش‌تری به بخش هوایی انتقال داده بود.

**واژه‌های کلیدی:** آلودگی، ته‌نشست اتمسفری، فعالیت صنعتی، فاضلاب، دپوی پسماندها

### مقدمه

شهری و صنعتی و مصرف لجن آن‌ها به‌عنوان کود، کاربرد کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها در کشاورزی از جمله مهم‌ترین منابع انسانی آلودگی فلزات سنگین در خاک می‌باشند (۳۲).

روی (Zn) یکی از عناصر ضروری کم‌مصرف بوده اما غلظت‌های بالای آن ایجاد مسمومیت می‌کند. کاباتا- پندیاس و پندیاس (۱۹۸۴) غلظت کل بحرانی برای آلودگی روی را در خاک‌های مختلف بسته به ظرفیت تبادل کاتیونی آن‌ها ۷۰ تا ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیان کرده‌اند (۲۲). غلظت مجاز فلزات بسته به هدف گروه‌بندی، نوع خاک، سطح بهداشت و غیره در مناطق مختلف جهان متفاوت است (۱۱). مقدار غلظت روی به‌خصوص در خاک‌های اطراف کارخانه‌های صنعتی تولید فلز روی معمولاً در دامنه بحرانی گزارش شده است (۱۶، ۲۸، ۳۱، ۳۶). غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی و گیاهان اطراف مناطق صنعتی به فاصله از کارخانه، مدت زمان قرار گرفتن خاک و گیاه در معرض فلزات سنگین و همچنین به غلظت، میزان، نحوه توزیع و طول مدت انتشار گازها از دودکش، ارتفاع دودکش، تغییرات اتمسفری، سرعت و جهت باد، توپوگرافی زمین، ویژگی خاکی که گیاه در آن رشد کرده و همچنین

آلودگی خاک<sup>۱</sup> و گیاه به فلزات سنگین یکی از مشکلات عمده زیست‌محیطی در جوامع بشری است که علاوه بر کاهش عملکرد و کیفیت محصول، پایداری تولیدات کشاورزی و سلامتی افراد جامعه را به خطر می‌اندازد (۴۲). تجمع فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی با توجه به اثرات مضر آن بر اکوسیستم خاک و به‌دلیل مسائل ایمنی، آلودگی مواد غذایی و خطرات بالقوه بهداشتی، باعث افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی شده است (۱۵). فلزات سنگین تجزیه‌ناپذیر بوده و به‌دلیل پایداری‌شان، در محیط زیست تجمع می‌یابند. این فلزات توسط موجودات زنده خاک قابل‌تجزیه نبوده و زمانی که ظرفیت خاک‌ها برای نگهداشت آن‌ها به‌دلیل افزایش غلظت در خاک کاهش می‌یابد به‌راحتی جذب گیاه شده و یا به آب‌های سطحی و زیرزمینی انتقال یافته و موجب آلودگی آن‌ها می‌شود (۳۸). فلزات سنگین از طریق فرایندهای خاک‌سازی<sup>۲</sup> یا فعالیت‌های انسانی<sup>۳</sup> وارد خاک می‌شوند (۱۴). استخراج و ذوب فلزات و دود خروجی از کارخانجات صنعتی تخلیه فاضلاب‌های

- 1- Soil pollution
- 2- Soil-building processes
- 3- Anthropogenic activities

داد که بالاترین زیست توده گیاهی و کمترین غلظت فلزات کادمیوم، مس، سرب و روی در تیمار شاهد (سبزی آبیاری شده با آب سالم) مشاهده شد (۵). شارما و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که ته‌نشست‌های اتمسفری باعث افزایش غلظت عناصر سنگین در خاک و برگ و میوه گیاهان شد (۳۷). ووستا و همکاران (۱۹۹۶) گزارش کردند که جذب و تجمع فلزات سنگین در گیاهان، تحت تأثیر شرایط اقلیمی، ته‌نشست‌های اتمسفری و غلظت عناصر در خاک می‌باشد (۴۳).

میرشکالی و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که سلمه‌تره و سورگوم می‌تواند عنصر روی خاک آلوده را جذب کنند و جزء گیاهانی می‌باشد که توانایی متوسط تا زیادی در جذب روی خاک دارند. سلمه‌تره در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی در خاک، بالاترین عملکرد را داشته است در حالی که سورگوم سطوح بالای آلودگی (بیشتر از ۹۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) را جذب و تحمل نموده است (۲۵). کازینا و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که ارزیابی وحشی به غلظت‌های بالای روی مقاوم بوده و توانایی تجمع روی در ریشه‌ها و ساقه‌های خود را دارد و می‌توان از آن به‌عنوان یک گیاه مناسب برای پالایش سبز در مناطق آلوده به روی استفاده کرد (۲۳). آمر و همکاران (۲۰۱۳) غلظت روی در بخش‌های آتریپلکس را تا بیش از ۴۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند (۴).

بهمنی و همکاران (۲۰۱۳) مطالعه‌ای را بر روی میزان آلودگی گونه‌های گیاهی ورک، افسانی، فریون شاخه ضخیم، ازموک، خارشتر و جارو در اطراف شهرک صنعتی روی به عناصر سنگین انجام دادند و نشان دادند که بیشترین مقدار روی در ریشه و بخش هوایی گونه گیاهی ازموک و بیشترین مقدار سرب

میزان رشد و توسعه گیاهان بستگی دارد (۲۷). آگروال (۲۰۰۳) نشان داد که ته‌نشست‌های اتمسفری باعث افزایش غلظت عناصر سنگین در سبزیجات و محصولات مختلف کشاورزی شده است (۲). سانچز و همکاران (۱۹۹۴) رابطه مثبت بین ته‌نشست‌های اتمسفری و غلظت عناصر سنگین در خاک سطحی و گیاهان مشاهده نمودند (۳۵). سینک و کومار (۲۰۰۶) ثابت کردند که خطر آلودگی خاک و گیاه توسط ته‌نشست‌های اتمسفری در حد آلودگی با فاضلاب می‌باشد و اثر ته‌نشست‌های اتمسفری به ریخت‌شناسی و فیزیولوژی گیاهی مربوط می‌شود (۳۹). جسیر و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که غلظت عناصر سنگین در برگ‌های سبزیجات شسته نشده نسبت به برگ‌های شسته شده در اطراف مناطق صنعتی بیشتر بود (۳).

شارما و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که ته‌نشست‌های اتمسفری باعث افزایش غلظت روی، سرب، مس و کادمیوم در گونه‌های گیاهی و سبزیجات مختلف شدند و غلظت عناصر سنگین با توجه به جهت و موقعیت نقاط مورد مطالعه نسبت به منبع آلودگی متفاوت بود، مقدار ته‌نشست‌های اتمسفری بین ۴۴ تا ۲۲۷ میکروگرم در مترمربع در روز متفاوت بود به طوری که غلظت روی در لوبیا بین ۳۰ تا ۱۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود و رابطه مثبت و معنی‌داری بین ته‌نشست‌های اتمسفری و غلظت روی در بخش هوایی لوبیا مشاهده شد. همچنین ایشان نشان دادند که غلظت عناصر سنگین در گیاهان کشت‌شده با فاضلاب افزایش یافت و تجمع مواد حاوی این عناصر باعث افزایش آلودگی گیاهان گردید (۳۷). انوار و همکاران (۲۰۱۶) نیز مطالعه‌ای را با هدف بررسی و مقایسه فیزیولوژیکی، رشد و پاسخ سبزیجات برگی به فاضلاب انجام دادند، نتایج نشان

صنعتی وابسته بوده و بیش‌تر در مناطق اطراف کارخانجات تجمع‌یافته است به‌طوری‌که سالانه به‌طور متوسط ۲۰ گرم در هکتار سرب و روی وارد خاک مناطق اطراف کارخانه شده است در حالی‌که جنگ و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که برخی از عناصر سنگین مانند سرب و روی ممکن است سالانه تا ۲۴۰ گرم در هکتار از طریق ته‌نشست‌های اتمسفری ناشی از فعالیت‌های صنعتی وارد خاک مناطق اطراف مراکز صنعتی شود و آلودگی قابل‌توجهی ایجاد کند (۶، ۱۷).

سلمه‌تره یا سلمک با نام علمی *Chenopodium album* گیاهی از خانواده *Chenopodiaceae* که گیاهی یک‌ساله، ایستا و به ارتفاع ۳۰ تا ۱۸۰ سانتی‌متر می‌باشد. سلمه‌تره یکی از علف‌های هرز مشکل‌ساز در اراضی کشاورزی بوده و به‌عنوان یکی از علف‌های هرز عمده در ۴۰ محصول زراعی از جمله مزارع پنبه، چغندرقد، توتون، ذرت، باغ‌های سبزی و صیفی در سطح دنیا شناخته شده است. ورک یا علف خرس یا رز ایرانی با نام علمی *Hulthemia persica* یکی از گونه‌های رز است که جزء گیاهان درختچه‌ای و چندساله که توسط بذر تکثیر می‌یابد. انشعابات جوان تولید برگ‌های تیغ‌دار و زیر می‌نماید. زمان گلدهی ورک فروردین تا تیرماه می‌باشد. این علف هرز به‌طور عمده در اراضی بایر و حاشیه باغ‌ها و جاده‌ها یافت می‌شود و برای تثبیت خاک و کاهش فرسایش در مناطق مشکل‌دار مناسب است (۳۳).

هدف از این پژوهش، بررسی اثر کارخانه پرهام‌روی زنجان بر غلظت روی خاک سطحی و غلظت و فاکتور انتقال روی در گیاهان مرتعی غالب اطراف کارخانه (سلمه‌تره و ورک) در جهات و فواصل مختلف از کارخانه بود.

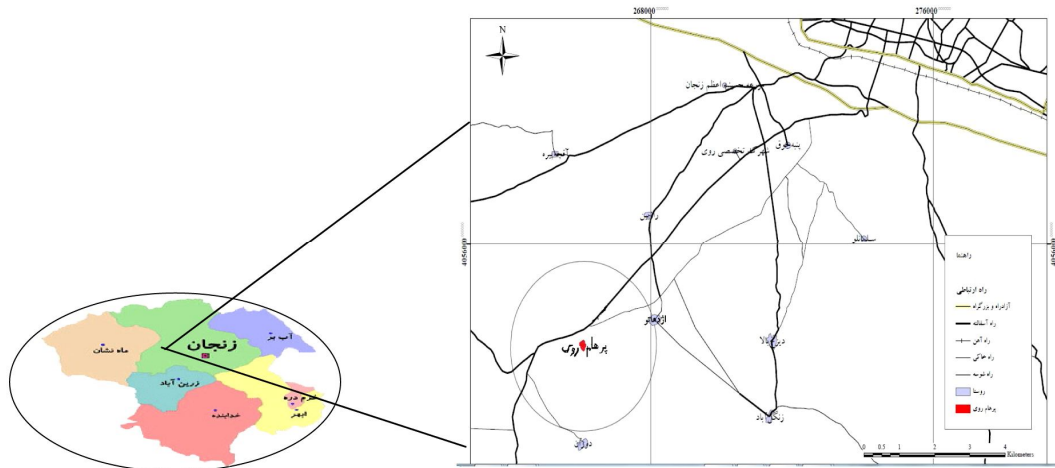
ریشه در گیاه ورک و بیش‌ترین مقدار سرب تجمع‌یافته در اندام هوایی گیاه از مک مشاهده شد. میانگین مقدار عناصر سنگین تجمع‌یافته در تمامی نمونه‌های گیاهی بسیار بالاتر از حد مجاز جهانی و بیش‌ترین تجمع عناصر در نمونه‌هایی مشاهده گردید که فاصله کمی با منبع آلودگی داشتند (۷). پری‌زنگنه و همکاران (۲۰۱۰)، غلظت بالای سرب، روی و کادمیوم را در خاک‌های سطحی و گیاهان اطراف شهرک صنعتی روی گزارش کردند، به‌طوری‌که میزان این عناصر بالاتر از محدوده استاندارد ایران بود. منبع اصلی آلودگی خاک و گیاهان مورد مطالعه، مربوط به دود و گاز خروجی از دودکش کارخانجات بود و میانگین غلظت روی معادل کل خاک ۵۶۸/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بیان شد (۳۱). مطالعه‌ای توسط زنگ و همکاران (۲۰۰۷)، بر روی خطر عناصر سنگین جیوه، سرب، روی و مس بر سلامتی ساکنان اطراف کارخانه روی شهر هولوداو<sup>۱</sup>، واقع در استان لیائونینگ<sup>۲</sup> چین (به‌عنوان بزرگ‌ترین کارخانه تولید روی در آسیا با تولید سالانه ۳۳۰ هزار تن روی)، صورت گرفت. در این آزمایش ۲۰ نمونه انواع سبزی و نمونه‌های خاک از هشت منطقه اطراف کارخانه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که فعالیت‌های ذوب روی به‌طور جدی گیاه، خاک، آب و هوای اتمسفر منطقه مجاور را آلوده نموده است. ایشان دامنه غلظت روی کل خاک را در فاصله ۰-۵۰۰ متری برابر ۴۱۷۲-۸۴۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و در فاصله ۵۰۰-۱۰۰۰ متری، ۷۵۹-۲۳۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و در فاصله بیش‌تر از ۱۰۰۰ متری ۱۳۳۴-۸۹۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش کردند (۴۵). عظیمی و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاه عمدتاً به فعالیت‌های

1- Huludao  
2- Liaodong

## مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** استان زنجان با مساحت ۲۲۱۶۴ کیلومترمربع دارای معادن غنی و کارخانه‌های فرآوری عناصر معدنی و یکی از قطب‌های اصلی تولید سرب و روی کشور به‌شمار می‌رود. کارخانه پرهام روی زنجان با مساحت یک هکتار در سال ۱۳۷۹ تأسیس شده است، این کارخانه در جنوب غربی زنجان در مسیر جاده زنجان به بیجار در ۱۲ کیلومتری از شهر واقع شده است و دارای عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و

۳۵ دقیقه جنوبی و طول ۴۸ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی می‌باشد (شکل ۱) باد غالب منطقه در فصول تابستان و پاییز از جهت جنوب غرب به سمت شمال شرق و در فصول زمستان و بهار از جهت غرب به سمت شرق می‌باشد (۱۹). در غرب کارخانه دیپوی پسماندها قرار دارد و فاضلاب خروجی از سمت شرق کارخانه عبور می‌کند. از جهت جنوب کارخانه به کوه‌ها محدود می‌شود.



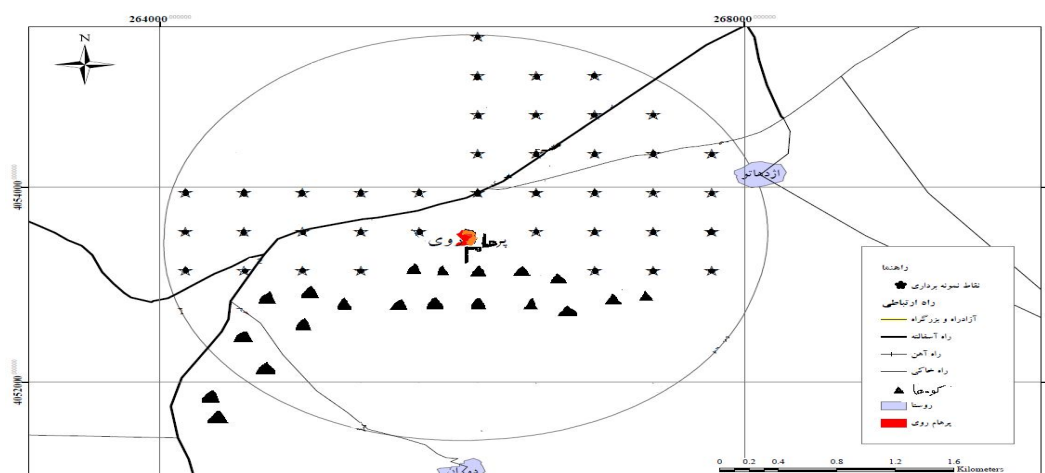
شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه اطراف کارخانه پرهام روی زنجان.

Figure 1. Map of the study area surroundings of the Parham – zinc factory of Zanjan.

مشاهده گردید. در هر قطعه، در اواخر شهریورماه ۱۳۹۵ و در مراحل انتهایی رشد، هم‌زمان نمونه‌های گیاه و خاک از دو عمق (۱۰-۱۰ cm و ۱۰-۳۰ cm) در سه تکرار و به‌صورت تصادفی تهیه شد (۱ و ۲۹). نمونه پسماندهای انباشته‌شده در غرب، لجن فاضلاب و فاضلاب خروجی از شرق کارخانه نیز در سه تکرار تهیه شد (شکل ۲).

**نمونه‌برداری:** ابتدا موقعیت کارخانه پرهام روی زنجان، مزارع، باغات و مراتع اطراف بررسی شد و نمونه‌برداری با توجه به توزیع گونه‌های گیاهی غالب منطقه و با ثبت مختصات جغرافیایی نقاط به‌وسیله GPS<sup>۱</sup> در سه جهت شمال شرق، شرق و غرب کارخانه و به فواصل (۱۰۰۰-۱۲۵۰، ۱۲۵۰-۱۵۰۰، ۱۵۰۰-۲۵۰۰، ۲۵۰۰-۵۰۰، ۵۰۰-۷۵۰، ۷۵۰-۱۰۰۰ متری از کارخانه) انجام شد. ورک و سلمه‌تره ۲ گیاه غالب منطقه بود به‌طوری‌که در فواصل نزدیک کارخانه نیز

1- Global Positioning System



شکل ۲- نقشه نقاط نمونه برداری شده.  
Figure 2. Map of sampling points.

و غلظت کل روی فاضلاب خروجی از کارخانه اندازه گیری شد (۴۰). بافت خاک به روش هیدرومتری (۹)، کربن آلی خاک به روش اکسایش تر (۴۴)، قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع با EC متر، pH عصاره اشباع با pH متر (۱۰) و کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (۳۴) اندازه گیری شدند.

### نتایج و بحث

**ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های اطراف کارخانه:** جدول ۱ برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد مطالعه را نشان می دهد. با توجه به مقادیر pH و کربنات کلسیم معادل، خاک های مورد مطالعه یک خاک قلیایی و آهکی به شمار می رود. درصد ماده آلی کم تر از یک درصد و هدایت الکتریکی خاک پایین و خاک ها غیر شور بود (جدول ۱). میانگین درصد آهک، درصد ماده آلی و هدایت الکتریکی خاک آهکی منطقه مورد مطالعه نزدیک به هم بودند.

### نحوه انجام آزمایش

**نمونه های گیاهی:** نمونه های گیاهی پس از انتقال به آزمایشگاه با آب مقطر شستشو داده شدند. هر یک از نمونه های گیاهی به دو بخش ریشه و بخش هوایی جدا شده و در آن و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. برای تهیه عصاره به منظور اندازه گیری عنصر روی در اندام گیاهی، از روش هضم تر (اسید نیتریک غلیظ و آب اکسیژنه ۳۰ درصد) استفاده شد (۲۱). غلظت روی با دستگاه جذب اتمی (Varian) اندازه گیری شد. پس از تعیین غلظت روی در بخش هوایی و ریشه، فاکتور انتقال با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (۱۸).

غلظت عنصر در ریشه / غلظت عنصر در بخش هوایی  
= فاکتور انتقال (TF)

**نمونه های خاک:** نمونه های خاک پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی متری عبور داده شد و غلظت روی قابل دسترس به روش DTPA استخراج (۲۴) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد. همچنین غلظت معادل کل و قابل جذب (استخراج شده با DTPA) روی در لجن فاضلاب و پسماند کارخانه

جدول ۱- میانگین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه.

Table 1. The mean of Some physical and chemical properties of soil in the study area.

رس Clay %	شن Sand %	سیلت Silt %	ماده آلی OM %	ظرفیت تبادل CEC cmol <sub>(+)</sub> /Kg	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی EC ds m <sup>-1</sup>	آهک CCE %	جهت Direct
22.2	39.1	38.7	0.51	16.3	7.83	0.62	19.3	شمال شرق Northeast
16.3	42	41.7	0.36	14.5	7.78	0.68	22.5	شرق East
13.2	41.8	45	0.21	10.26	7.91	0.43	26.7	غرب West

غلظت روی استخراج شده با DTPA به ترتیب ۵۹۱ و ۶۵۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. غلظت روی پساب خروجی ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر بود (جدول ۲).

ویژگی‌های پسماند، لجن فاضلاب و پساب تولیدی کارخانه: غلظت روی معادل کل در پسماندهای دپوشده و لجن فاضلاب به ترتیب ۳۶۰۰ و ۳۲۵۰ و

جدول ۲- میانگین غلظت روی در پسماند، لجن فاضلاب و فاضلاب کارخانه.

Table 2. The mean of zinc concentration in the factory waste, sewage sludge and sewage water.

فاضلاب خروجی sewage water mg L <sup>-1</sup>	لجن فاضلاب sewage sludge mg kg <sup>-1</sup>	پسماند Waste mg kg <sup>-1</sup>	
0.3	3250	3600	غلظت معادل کل pseudo Total concentration
-	659	591	غلظت قابل جذب available Concentration

تحت تأثیر ته‌نشست‌های اتمسفری بود، در جهت شرق، فاضلاب و لجن خروجی و همچنین ته‌نشست‌های اتمسفری و در جهت غرب غلظت روی بیش‌تر تحت تأثیر دپوی پسماندها بود. در بیش‌تر نقاط نمونه‌برداری غلظت روی خاک سطحی بیش‌تر از خاک زیرسطحی بود، که به فعالیت‌های صنعتی کارخانه مربوط می‌شود (جدول ۳).

غلظت روی قابل دسترس خاک در ۳ جهت: اثر فاصله از کارخانه در هر سه جهت بر غلظت روی استخراج شده با DTPA خاک سطحی و زیرسطحی در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). روی قابل دسترس خاک تا فاصله ۵۰۰ متری بیش‌تر از سایر محدوده‌ها بود و اختلاف معنی‌داری با مناطق دورتر نشان داد. با توجه به جهت باد غالب (شمال شرق)، روی قابل دسترس خاک در جهت شمال شرق کارخانه

جدول ۳- غلظت روی قابل دسترس (میلی گرم در کیلوگرم) خاک سطحی و زیرسطحی با توجه به فاصله از کارخانه در سه جهت.

**Table 3. Zn concentration available (mg kg<sup>-1</sup>) in surface and subsurface soil according to the distance from factory in three directions.**

غرب West		شرق East		شمال شرق Northeast		فاصله (متر) / جهت Direct \ Distance (m)
زیرسطحی Subsurface (10-30 cm)	سطحی Surface (0-10 cm)	زیرسطحی Subsurface (10-30 cm)	سطحی Surface (0-10 cm)	زیرسطحی Subsurface (10-30 cm)	سطحی Surface (0-10 cm)	
385.41 <sup>a</sup>	412.66 <sup>b</sup>	360.66 <sup>b</sup>	414.75 <sup>b</sup>	398.31 <sup>a</sup>	503.66 <sup>a</sup>	0-250
499.33 <sup>a</sup>	591.35 <sup>a</sup>	577.66 <sup>a</sup>	659.66 <sup>a</sup>	434.16 <sup>a</sup>	368.33 <sup>a</sup>	250-500
190.27 <sup>b</sup>	227.74 <sup>c</sup>	48.33 <sup>c</sup>	59.33 <sup>c</sup>	94.54 <sup>b</sup>	153.33 <sup>b</sup>	500-750
22.43 <sup>c</sup>	29.32 <sup>d</sup>	35.52 <sup>c</sup>	40.25 <sup>c</sup>	86.12 <sup>b</sup>	67.12 <sup>b</sup>	750-1000
16.47 <sup>c</sup>	19.23 <sup>d</sup>	15.33 <sup>c</sup>	21.66 <sup>c</sup>	21.29 <sup>b</sup>	32.21 <sup>b</sup>	1000-1250
6.33 <sup>c</sup>	8.27 <sup>d</sup>	10.24 <sup>c</sup>	14.24 <sup>c</sup>	29.13 <sup>b</sup>	43.66 <sup>b</sup>	1250-1500
186.70	214.76	174.62	202.48	177.25	194.71	میانگین Mean

در هر ستون، اعدادی که دارای حروف مشترک می باشند، از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی دار نیستند.

و ریشه و فاکتور انتقال در دو گیاه ورک و سلمه تره معنی دار بود ( $P < 0.01$ )، اما اثر اصلی گیاه بر غلظت روی بخش هوایی و ریشه و فاکتور انتقال معنی دار نبود (جدول ۴).

**اثر عوامل آزمایشی بر غلظت و فاکتور انتقال روی در دو گیاه:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی جهت و فاصله از کارخانه بر غلظت روی در بخش هوایی

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثرات عوامل آزمایش بر فاکتور انتقال، غلظت روی بخش هوایی و ریشه در گیاه ورک و سلمه تره.

**Table 4. The results of analysis of variance for the effects of experimental treatments on Translocation Factor, Zn concentration in shoot and root of *Hulthemia persica* and *Chenopodium albumin*.**

فاکتور انتقال Translocation Factor	میانگین مربعات mean of squares		درجه آزادی Df	منابع تغییرات Source of variation
	ریشه Root	بخش هوایی Shoot		
0.0062 <sup>ns</sup>	57.79 <sup>ns</sup>	645.33 <sup>ns</sup>	1	گیاه Plant
1.2376 <sup>**</sup>	407511.95 <sup>**</sup>	341263.51 <sup>**</sup>	2	جهت Direction
0.1290 <sup>**</sup>	3767222.16 <sup>**</sup>	2874930.08 <sup>**</sup>	5	فاصله Distance
0.0831 <sup>**</sup>	2133.51 <sup>ns</sup>	6735.08 <sup>ns</sup>	2	گیاه * جهت Plant * Direction
0.01543 <sup>*</sup>	1289.85 <sup>ns</sup>	2243.29 <sup>ns</sup>	5	گیاه * فاصله Plant * Distance
0.4155 <sup>**</sup>	230573.58 <sup>**</sup>	238926.93 <sup>**</sup>	10	فاصله * جهت Direction * Distance
0.0247 <sup>**</sup>	13159.84 <sup>**</sup>	9702.04 <sup>**</sup>	10	گیاه * جهت * فاصله Plant * Direction * Distance
0.0055	2360.76	2554.67	72	خطا Error
9.26	10.62	12.73	-	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation

<sup>ns</sup> غیر معنی دار، \* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

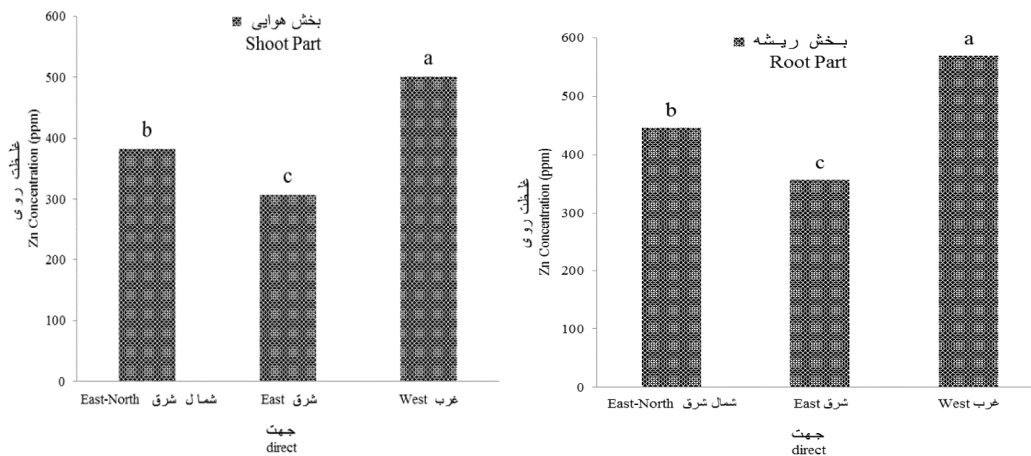
<sup>ns</sup> no-significant difference, \* and \*\* significant difference at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ , respectively.



روی بخش هوایی، ریشه در سطح ( $P < 0.01$ ) معنی دار بود (جدول ۴). میانگین غلظت روی بخش هوایی و ریشه در جهت غرب به ترتیب با ۵۶۹ و ۵۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک بیشترین و در جهت شرق میانگین غلظت روی بخش هوایی و ریشه به ترتیب با ۳۵۷ و ۳۰۷ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک کمترین بود، غلظت بالای روی در جهت غرب به علت تجمع و دپوی پسماندهای کارخانه بود (شکل ۳).

اثر متقابل (گیاه × جهت) و اثر متقابل (گیاه × فاصله) بر فاکتور انتقال به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد در گیاهان ورک و سلمه تره معنی دار بود، اما بر غلظت روی در بخش هوایی و ریشه معنی دار نبود. همچنین اثر متقابل گیاه × جهت × فاصله بر غلظت روی در بخش هوایی، ریشه و فاکتور انتقال روی معنی دار بود ( $P < 0.01$ ).

اثر اصلی جهت بر غلظت روی و TF در دو گیاه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر جهت بر غلظت

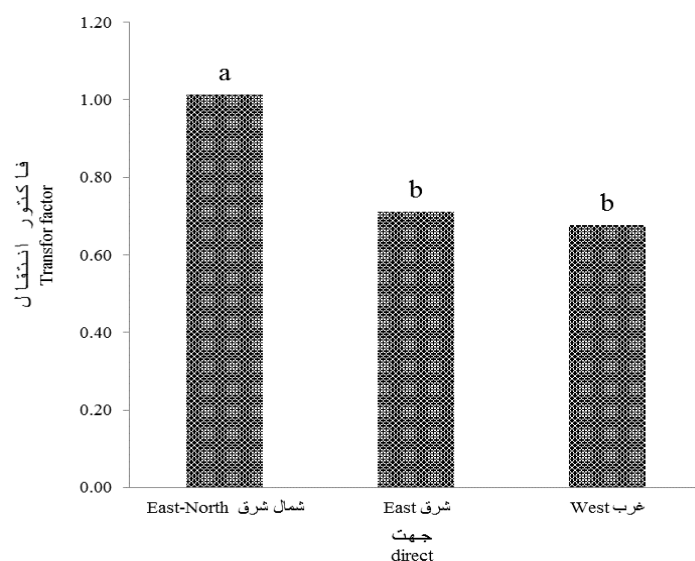


شکل ۳- اثر جهت نسبت به کارخانه بر غلظت روی در گیاهان ورک و سلمه تره.

Figure 3. Effects of direction relative to factory on Zinc concentration of *Hulthemia persica* and *Chenopodium albumin*.

روی توسط بخش هوایی گیاه در طول دوره رشد جذب شده اند و به نوعی باعث افزایش فاکتور انتقال شده اند که با نتایج آمر و همکاران (۲۰۱۳) و عظیمی و همکاران (۲۰۰۴) همخوانی داشت (۴ و ۶). شارما و همکاران (۲۰۰۷)، ته نشست های اتمسفری، جهت و موقعیت نقاط مورد مطالعه نسبت به منبع آلودگی را عامل اصلی افزایش غلظت روی بخش هوایی و فاکتور انتقال در گونه های گیاهی دانستند (۳۷).

جهت گیاه نسبت به کارخانه به طور غیرمستقیم و به علت تأثیر بر غلظت روی خاک و گیاه بر مقدار TF اثر داشت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر جهت بر فاکتور انتقال در سطح ۱٪ معنی دار بود (جدول ۴) به طوری که میانگین فاکتور انتقال در جهت شمال شرق با مقدار ۱/۰۱ بیشترین و در جهت غرب با مقدار ۰/۶۷ کمترین بود (شکل ۴). در جهت شمال شرق (باد غالب منطقه) ته نشست های اتمسفری

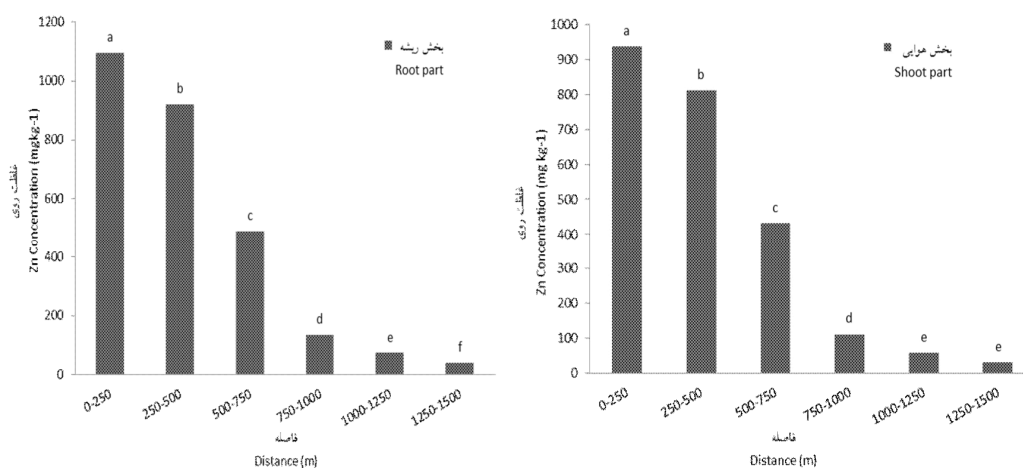


شکل ۴- اثر جهت نسبت به کارخانه بر میانگین فاکتور انتقال روی.

Figure 4. Effects of direction relative to factory on mean of zinc Translocation Factor.

غلظت روی بخش هوایی و ریشه به ترتیب با ۲۹ و ۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک کم‌ترین بود، غلظت بالای روی در محدوده ۰-۲۵۰ متری در بخش ریشه به دلیل تأثیر فاضلاب و دپوی پسماندهای کارخانه و در بخش هوایی علاوه بر تأثیر فاضلاب و دپوی پسماندها به دلیل غلظت بالای روی در ته‌نشست‌های اتمسفری بود (شکل ۵).

اثر اصلی فاصله بر غلظت روی و TF در دو گیاه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی فاصله بر غلظت روی بخش هوایی و ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۴). میانگین غلظت روی بخش هوایی و ریشه در محدوده ۰-۲۵۰ متری به ترتیب با ۹۳۷ و ۱۰۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک بیش‌ترین و در محدوده ۱۵۰۰-۱۲۵۰ متری میانگین

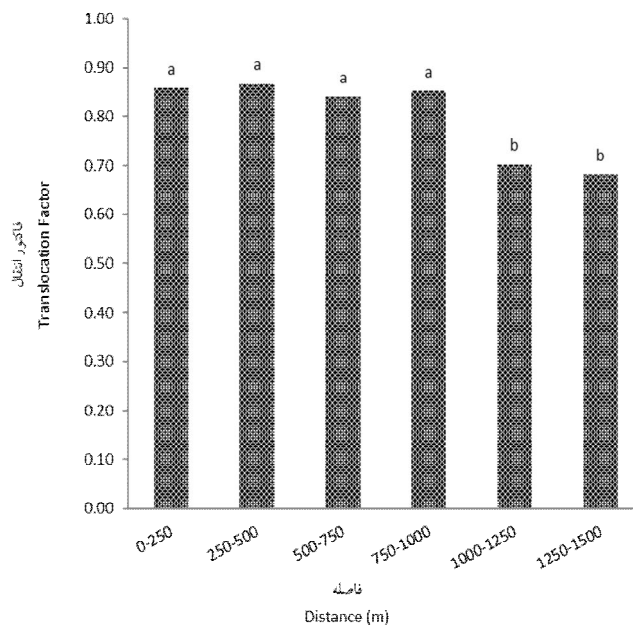


شکل ۵- اثر فاصله از کارخانه بر میانگین غلظت روی در بخش هوایی و ریشه وک و سلمه‌تره.

Figure 5. Effect of distance from factory on Zinc concentration in shoot and root of *Hulthemia persica* and *Chenopodium albumin*.

به عبارتی تا فاصله ۱۰۰۰ متری غلظت روی بخش هوایی هم تحت تأثیر روی جذب شده از خاک و هم روی ناشی از ته‌نشست‌های اتمسفری و انتقال از طریق هوا بوده است اما احتمالاً در فواصل دورتر فاکتور انتقال کمتر تحت تأثیر این عوامل بوده است و فعالیت کارخانه باعث افزایش یا بیش‌برآورد TF به‌ویژه در جهت شمال‌شرق شده است (شکل ۶).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی فاصله بر فاکتور انتقال در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۴) به طوری که میانگین فاکتور انتقال در محدوده ۰-۲۵۰ متری با مقدار ۰/۸۶ بیش‌ترین بود اما تا فاصله ۱۰۰۰ متری اختلاف معنی‌داری بین فاکتور انتقال وجود نداشت ولی فاکتور انتقال در فواصل ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ متری کاهش معنی‌داری در سطح ۱٪ نشان داد.

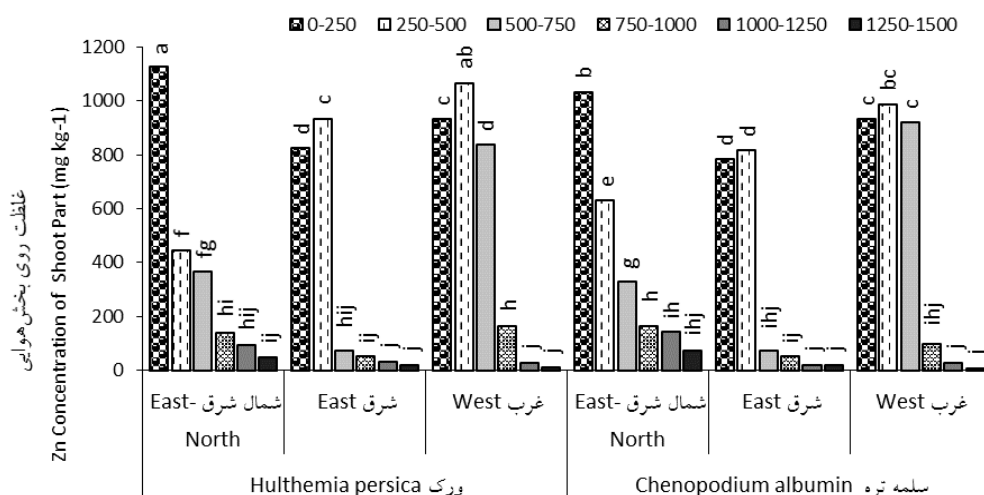


شکل ۶- اثر فاصله از کارخانه بر فاکتور انتقال روی.

Figure 6. Effect of distance from factory on zinc Translocation Factor.

غلظت روی در هر سه جهت با افزایش فاصله از کارخانه در بخش هوایی و ریشه گیاهان ورک و سلمه‌تره کاهش یافت (جدول ۴ و شکل ۷). افزایش غلظت روی در گیاه در فواصل ۰-۵۰۰ متری کارخانه هم تحت تأثیر ته‌نشست‌های اتمسفری و هم غلظت روی قابل‌دسترس در خاک اطراف کارخانه می‌باشد (جدول ۲).

اثرات متقابل فاصله، جهت و گیاه بر غلظت روی در بخش هوایی، ریشه و TF: اثر متقابل (گیاه × جهت × فاصله) در سطح احتمال ۱٪ بر غلظت روی در بخش هوایی، ریشه و فاکتور انتقال معنی‌دار بود. همان‌طور که بیان گردید اثر متقابل (گیاه × جهت) و اثر متقابل (گیاه × فاصله) در سطح احتمال ۱٪ بر فاکتور انتقال معنی‌دار بود اما بر غلظت روی در بخش هوایی و ریشه گیاهان ورک و سلمه‌تره معنی‌دار نبود.



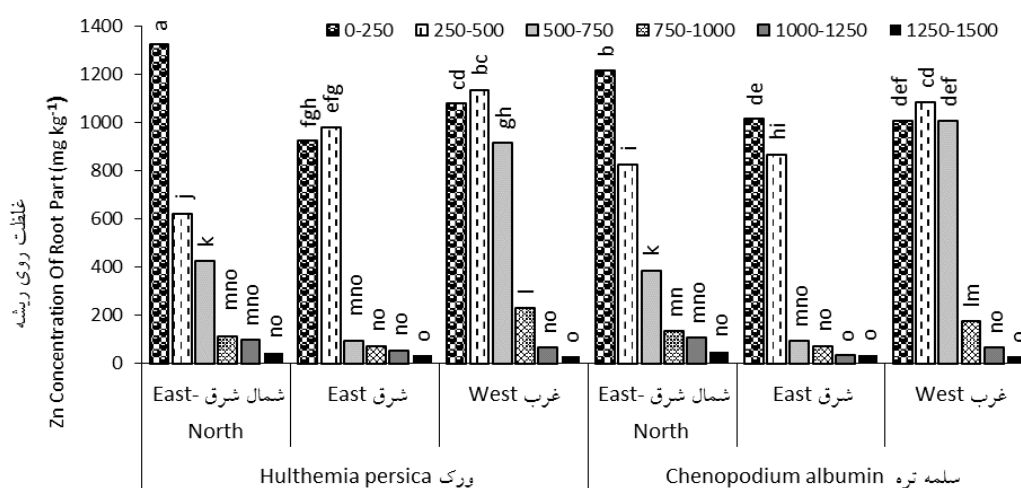
شکل ۷- غلظت روی در بخش هوایی گیاهان ورک و سلمه تره در فواصل مختلف.

Figure 7. Zinc concentration in shoot of *Hulthemia persica* and *Chenopodium albumin* in different distance.

مطابقت داشت به طوری که با افزایش فاصله از کارخانه در جهت باد غالب غلظت عناصر در بخش هوایی گیاهان منطقه مورد مطالعه کاهش نشان داد و همچنین عناصر سنگین در گیاهان با زیست توده بیشتر در مقایسه با گیاهان دیگر به نسبت بیشتری از طریق اتمسفر جذب شده بودند (۱۳). زنگ و همکاران (۲۰۰۷) در کارخانه روی شهر هولادو چین نشان دادند که انتقال سرب به گیاه از طریق هوا بیشتر از انتقال روی بوده است (۴۵). بیشترین غلظت روی (۱۳۲۲/۷ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) در بخش ریشه گیاه ورک در جهت شمال شرق در محدوده ۰-۲۵۰ متری از کارخانه بود. کمترین غلظت روی (۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) در بخش ریشه گیاه سلمه تره در جهت غرب در محدوده ۱۵۰۰-۱۲۵۰ متری از کارخانه بود (شکل ۸).

بیشترین غلظت روی در بخش هوایی در گیاه ورک (۱۱۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم) در جهت شمال شرق و کمترین غلظت روی در گیاه سلمه تره (۷ میلی گرم بر کیلوگرم) در جهت غرب کارخانه مشاهده شد (شکل ۷). غلظت روی در بخش هوایی گیاهان ورک و سلمه تره بر اساس نتایج و استانداردهای کابتا و پندیاس (۱۹۸۴) در جهت شمال شرق تا فاصله ۱۲۵۰ متری، در جهت غرب تا ۱۰۰۰ متری و در جهت شرق تا ۵۰۰ متری کارخانه بیشتر از حد مجاز (۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) بود (شکل ۷) اما اگر استاندارد ارایه شده توسط اوندر و همکاران (۲۰۰۷) در نظر گرفته شود (۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) تا فواصل بیشتر غلظت روی گیاه بیشتر از حد بحرانی خواهد بود (۳۰).

نتایج پژوهش‌های چن و همکاران (۲۰۱۵) در اطراف کارخانه‌ای در چین با نتایج این پژوهش



شکل ۸- غلظت روی در بخش ریشه گیاهان ورک و سلمه تره با افزایش فاصله از کارخانه.

Figure 8. Zinc concentration in root of *Hulthemia persica* and *Chenopodium album* in different distance.

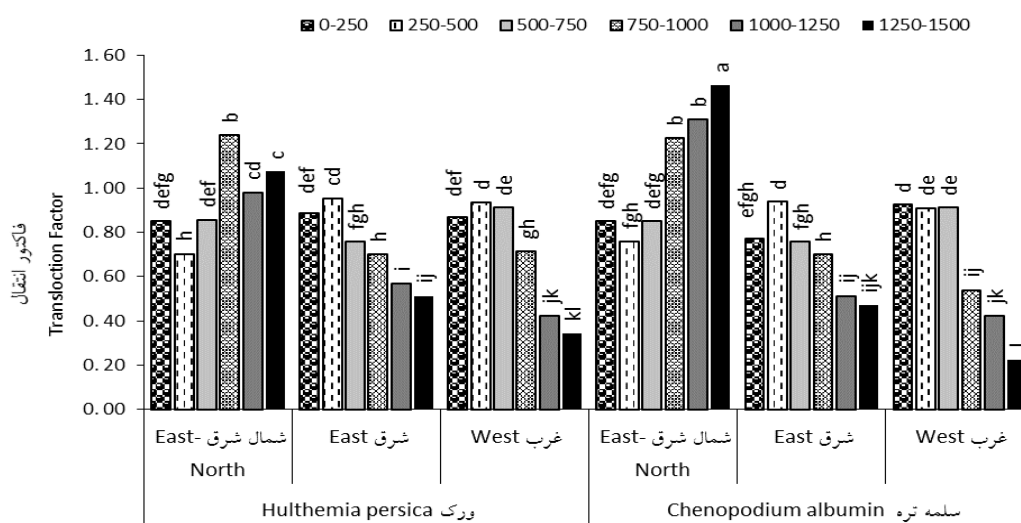
۲۵۰-۵۰۰ متری از کارخانه نسبت به فاصله ۲۵۰-۰ متری افزایش نشان داد (شکل‌های ۷ و ۸). نتایج پژوهش‌های ناظمی و همکاران (۲۰۱۰)، بیگدلی و سیلیس پور (۲۰۰۸) و چاری و همکاران (۲۰۰۸) با نتایج این پژوهش در جهت شرق کارخانه هم‌خوانی داشت، به طوری که ایشان لجن فاضلاب یا پساب‌های شهری و صنعتی را عامل آلودگی گیاهان در مناطق مورد مطالعه به فلزات سنگین بیان نمودند و تفاوت در جذب فلزات سنگین را به نوع و مقاومت گونه گیاهی نسبت دادند (۸، ۱۲ و ۲۶). همچنین نتایج پژوهش‌های جو و نوابو (۲۰۱۲) و بهمنی و همکاران (۲۰۱۳) با نتایج این پژوهش در جهت غرب کارخانه هم‌خوانی داشت به طوری که در مناطقی که ضایعات و دپوی کارخانه تجمع یافته بود، خاک و نمونه‌های گیاهی به شدت به عناصر روی، سرب و کادمیوم آلوده شده بودند (۷ و ۲۰). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر جهت و فاصله بر فاکتور انتقال در دو گیاه ورک و سلمه تره در سطح ۱٪ معنی‌دار بود، اما اثر گیاه معنی‌دار نبود. فاکتور انتقال در گیاهان ورک و سلمه تره در جهت

غلظت روی در بخش ریشه گیاهان بیش‌تر از بخش هوایی بود چون روی تحرک کمی در گیاه دارد و بیش‌تر در ریشه گیاهان تجمع می‌یابد و بر اساس نتایج و استانداردهای کابتا و پندیاس (۱۹۸۴) گیاه ورک در جهت غرب، شمال‌شرقی و شرق به ترتیب تا فاصله ۱۰۰۰، ۷۵۰ و ۵۰۰ متری غلظت بالای حد مسمومیت (۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) داشت (شکل ۸).

جهت باد غالب در فصول پاییز و زمستان به سمت شرق بوده و به مرور زمان باعث آلودگی خاک اطراف شده است، از طرفی خروج فاضلاب، این جهت را بیش‌تر تحت تأثیر قرار داده و خاک و گیاهان منطقه را تحت تأثیر قرار داده است. غلظت روی بخش هوایی و ریشه گیاه ورک و بخش هوایی سلمه تره در جهت شرق و غرب در محدوده ۲۵۰-۵۰۰ متری از کارخانه نسبت به فاصله ۲۵۰ متری افزایش نشان داد که علت این امر به خاطر تحت تأثیر قرار گرفتن گیاهان ورک و سلمه تره از فاضلاب (شرق) و در جهت غربی دپوی بلندمدت و تجمع پسماندهای کارخانه بود. غلظت روی ریشه سلمه تره هم در جهت غرب در محدوده

هوایی گیاه منتقل شده است. کمترین فاکتور انتقال (۰/۲۲) در گیاه سلمه‌تره در جهت غرب در محدوده ۱۵۰۰-۱۲۵۰ متری از کارخانه بود و به عبارت دیگر غلظت روی گیاه در جهت غرب کم‌تر تحت تأثیر ته‌نشست‌های اتمسفری بود (شکل ۹).

شمال‌شرق (باد غالب) با افزایش فاصله از کارخانه روند افزایشی و در جهت‌های شرق و غرب روند کاهشی نشان داد. بیش‌ترین فاکتور انتقال (۱/۴۶) در گیاه سلمه‌تره در جهت شمال‌شرق در محدوده ۱۵۰۰-۱۲۵۰ متری از کارخانه بود به عبارتی بخشی از عنصر روی از طریق ته‌نشست‌های اتمسفری به بخش



شکل ۹- تأثیر فاصله از کارخانه بر فاکتور انتقال روی در ورک و سلمه‌تره.

Figure 9. Effect of distance from factory on zinc translocation factor in *Hulthemia persica* and *Chenopodium albumin*.

نشان داد. به عبارتی غلظت روی بخش هوایی در فواصل دورتر بیش‌تر تحت تأثیر ته‌نشست‌های اتمسفری قرار داشت. در نهایت می‌توان بیان نمود که هم خاک و هم گیاه منطقه (در سال رشد) تحت تأثیر فعالیت کارخانه بود و آلودگی از طریق اتمسفر و دود ناشی از کارخانه عامل اصلی افزایش روی بخش هوایی گیاهان نزدیک تا فاصله ۷۵۰ در جهت باد غالب کارخانه بوده است. غلظت روی قابل دسترس خاک و روی در ریشه گیاهان در جهت غرب کارخانه به دلیل دپوی پسماندها در فواصل نزدیک‌تر کارخانه بیش‌تر بوده و فاکتور انتقال در این فواصل پایین بود (شکل ۹).

با توجه به این‌که جهت وزش باد در فصول زمستان و بهار به سمت شرق بوده و نمونه‌برداری در اواخر شهریور صورت گرفت بنابراین احتمالاً خاک این جهت قبل از رشد گیاه به عنصر روی آلوده شده بود (جدول ۲). غلظت روی قابل دسترس در هر سه جهت تا فاصله ۷۵۰ متری بیش‌تر از سایر محدوده‌ها بود. غلظت روی ریشه و بخش هوایی در جهت باد غالب تا فاصله ۷۵۰ متری تحت تأثیر روی قابل دسترس خاک و ته‌نشست‌های اتمسفری اطراف کارخانه بوده اما با توجه به تحرک پایین و تجمع روی در ریشه گیاهان، فاکتور انتقال کم‌تری نسبت به فواصل دورتر

بررسی همبستگی بین غلظت روی در خاک، گیاه و TF: نتایج آزمون همبستگی نشان داد که همبستگی بین غلظت روی خاک سطحی و خاک زیرسطحی با غلظت روی بخش هوایی و ریشه در سطح یک درصد و با فاکتور انتقال روی در گیاه و برگ در سطح ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۵). همبستگی بین غلظت روی خاک سطحی و زیرسطحی با غلظت روی بخش هوایی و ریشه در گیاه سلمه تره معنی دار اما با فاکتور انتقال معنی دار نبود (جدول ۶). به عبارتی گیاه سلمه تره به خاطر زیست توده بالا، توانایی بیشتری در جذب روی از اتمسفر توسط بخش هوایی نسبت به برگ داشت. این نتایج با نتایج سینک و کومار (۲۰۰۶) مطابقت داشت (۳۹).

فاکتور انتقال روی در جهت باد غالب در فواصل دورتر (بیشتر از ۷۵۰ متر) در اثر کاهش غلظت روی قابل دسترس خاک و همچنین افزایش جذب روی از طریق هوا، روند افزایشی نشان داد اما در جهت شرق و غرب به خاطر کاهش انتقال آلودگی از طریق جریان هوا جذب در بخش هوایی کاهش یافته و در نتیجه فاکتور انتقال روند کاهشی داشت (شکل ۹).

نتایج این پژوهش نشان داد که ته نشین‌های اتمسفری در جهت باد غالب باعث افزایش غلظت روی در گیاهان و برگ و سلمه تره شده است که با نتایج شارما و همکاران (۲۰۰۷)، ووستا و همکاران (۱۹۹۶)، آگراوال (۲۰۰۳)، سینک و کومار (۲۰۰۶) و سانچز و همکاران (۱۹۹۴) همخوانی داشت (۲، ۳۵، ۳۷، ۴۳).

جدول ۵- همبستگی غلظت روی خاک سطحی و زیرسطحی با غلظت روی بخش هوایی و ریشه و فاکتور انتقال در گیاه و برگ.

**Table 5. Correlation between zinc concentrations in Surface and Subsurface soil with translocation factor, zinc concentration in shoot and root of *Hulthemia persica*.**

	سطحی Surface (0-10 cm)	زیرسطحی Subsurface (10-30 cm)	بخش هوایی Shoot	ریشه Root	فاکتور انتقال Translocation factor
سطحی Surface (0-10 cm)	1	-	-	-	-
زیرسطحی Subsurface (10-30 cm)	0.984**	1	-	-	-
بخش هوایی Shoot	0.893**	0.863**	1	-	-
ریشه Root	0.885**	0.863**	0.993**	1	-
فاکتور انتقال Translocation factor	0.341*	0.328*	0.394*	0.344*	1

جدول ۶- همبستگی غلظت روی خاک سطحی و زیرسطحی با غلظت روی بخش هوایی و ریشه و فاکتور انتقال در گیاه سلمه تره.

Table 6. Correlation between zinc concentrations in Surface and Subsurface soil with translocation factor, zinc concentration in shoot and root of *Hulthemia persica*.

	سطحی Surface (0-10 cm)	زیرسطحی Subsurface (10-30 cm)	بخش هوایی Shoot	ریشه Root	فاکتور انتقال Translocation factor
سطحی Surface (0-10 cm)	1	-	-	-	-
زیرسطحی Subsurface (10-30 cm)	0.984**	.1	-	-	-
بخش هوایی Shoot	0.871**	0.857**	1	-	-
ریشه Root	0.863**	0.855**	0.991**	1	-
فاکتور انتقال Translocation factor	0.191 <sup>ns</sup>	0.185 <sup>ns</sup>	0.244 <sup>ns</sup>	0.176 <sup>ns</sup>	1

زیست توده بالا، بیشتر از سایر سبزیجات بود (۲۵، ۳۱، ۴۱ و ۴۵).

### نتیجه گیری کلی

نتایج نشان داد که غلظت روی قابل دسترس (استخراج شده با DTPA) در خاک و همچنین غلظت روی در گیاه در فواصل نزدیک کارخانه، به علت فعالیت های کارخانه بسیار بیش تر از حدود مجاز و استانداردهای داخلی و خارجی بود به طوری که فاضلاب خروجی در جهت شرق، تجمع بلندمدت پسماندها در جهت غرب و ته نشینت های اتمسفری در جهت شمال شرق کارخانه (باد غالب) از مهم ترین منابع آلودگی خاک و گیاهان بودند.

گیاه سلمه تره نسبت به گیاه ورک در فواصل دورتر از کارخانه در جهت باد غالب، روی بیش تری از طریق جریان هوا جذب نموده بود اما در خاک های آلوده شده در اثر فاضلاب یا دپوی پسماند کارخانه در

نتایج آزمون همبستگی (جدول های ۵ و ۶) نشان داد که بخش هوایی گیاه سلمه تره به خاطر زیست توده بالا نسبت به ورک توانایی بیش تری در جذب روی از اتمسفر دارد اما در مواردی که روی بیش تر از طریق خاک به گیاه منتقل می شود گیاهان با ریشه ضخیم و گسترده تر (ورک) توانایی بیش تری در جذب روی توسط ریشه و انتقال به بخش هوایی دارد. فاکتور انتقال روی در گیاهان در جهت شرق و غرب در مناطق تحت تأثیر فاضلاب و محل تجمع پسماندها بالاتر بود. مطابق با این نتایج، تابنده و طاهری (۲۰۱۵)، پری زنگنه و همکاران (۲۰۱۰)، میرشکالی و همکاران (۲۰۱۳) و زنگ و همکاران (۲۰۰۷) بالاترین غلظت روی در خاک و سبزیجات را در نمونه های تحت تأثیر فاضلاب و بیش ترین فاکتور انتقال را در گیاه مرزه (با ریشه گسترده تر) گزارش نمودند. همچنین بسیاری از پژوهشگران نشان دادند که روی جذب شده از طریق هوا در سبزیجات برگی با



### پیشنهادات

پیشنهاد می‌شود که در فواصل نزدیک کارخانه، غلظت سایر عناصر سنگین در محصولات کشاورزی و باغی و شاخص‌های سلامت بررسی شود و در صورتی که فلزات سنگین در این محصولات بیش‌تر از حدود استاندارد باشد، کشت در این فواصل و در مجاورت پسماندها و خروجی فاضلاب کارخانه به‌ویژه در جهت باد غالب حتی در فواصل دورتر انجام نشود و بررسی‌های بیش‌تری در مورد غلظت عناصر سنگین در خاک و سایر گیاهان در این مناطق انجام گیرد.

فواصل نزدیک‌تر به کارخانه، انتقال روی در گیاه ورک نسبت به گیاه سلمه‌تره بیش‌تر بود. سلمه‌تره با زیست‌توده گیاهی بالاتر نسبت به ورک توانایی بیش‌تری در جذب روی از هوا داشت. در خاک‌های آلوده شده توسط فاضلاب یا پسماند کارخانه و با غلظت روی قابل‌دسترس بالاتر ورک به‌خاطر ریشه ضخیم و گسترده خود نسبت به گیاه سلمه‌تره، توانایی بالاتری در جذب روی از خاک داشته و می‌توان برای پالایش خاک‌های آلوده به عنصر روی از گیاه ورک و برای مناطق در معرض ته‌نشست‌های اتمسفری از سلمه‌تره استفاده کرد.

### منابع

1. Afshari, A., Khademi, H., and Delavar, M.A. 2015. Evaluation of Heavy Metal Contamination Using Pollution Factor in Soil Land with Different Uses in the Central District of Zanjan Province. *J. Water Soil Cons.* 25: 4. 41-52. (In Persian)
2. Agrawal, M. 2003. Enhancing Food Chain Integrity: Quality Assurance Mechanism for Air Pollution Impacts on Food and Vegetable System. Final Technical Report (R7530) Submitted to Department for International Development, United Kingdom.
3. Al-Jassir, M.S., Shaker, A., and Khaliq, M.A. 2005. Deposition of heavy metals on green leafy vegetables sold on roadsides of Riyadh city, Saudi Arabia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.* 75: 1020-1027.
4. Amer, N., Chami, Z.A., Bitar, L.A., Mondelli, D., and Dumontet, S. 2013. Evaluation of *Atriplex halimus*, *Medicago lupulina* and *Portulaca oleracea* for phytoremediation of Ni, Pb and Zn. *Inter. J. Phytoremed.* 15: 498-512.
5. Anwar, S., Nawaz, M.F., Gul, S., Rizwan, M., Ali, S., and Kareem, A. 2016. Uptake and distribution of minerals and heavy metals in commonly grown leafy vegetable species irrigated with sewage water. *Environmental monitoring and assessment.* 188: 541.
6. Azimi, S., Cambier, P., Lecuyer, I., and Thevenot, D. 2004. Heavy metal determination in atmospheric deposition and other fluxes in Northern France agrosystems. *Water, Air and Soil Pollution.* 157: 295-313.
7. Bahmani, B., Delavar, M.A., and Safari, Y. 2013. Geostatistical analysis and risk assessment of soil and plant contaminated by lead and zinc in Zanjan zinc industrial area. M.Sc. Thesis on Dept of Soil Science, University of Zanjan. (In Persian)
8. Bigdeli, M., and Seilsepour, M. 2008. Investigation of metals accumulation in some vegetables irrigated waste water in Shahre Rey-Iran and toxicological implications. *American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 4: 1. 86-92.
9. Bouyoucos, C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agron. J.* 54: 464-465.
10. Burt, R. 2004. Soil survey laboratory methods manual: soil survey investigations report No. 42 Version 4.0. Nebraska: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
11. Cariny, T. 1995. *The Reuse of Contaminated Land.* John Wiley and Sons Ltd. Pub., USA, 219p.

12. Chary, N.S., Kamala, C.T., and Raj, D.S.S. 2008. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecotoxicology and environmental safety*. 69: 3. 513-524.
13. Chen, M., Qin, X., Zeng, G., and Li, J. 2016. Impacts of human activity modes and climate on heavy metal "spread" in groundwater are biased. *Chemosphere*. 152: 439-445.
14. Chukwuji, M.A.I., Nwajei, G.E., and Osakwe, S.A. 2005. Recycling waste in agriculture: Efficacy of composting in ameliorating trace metal availability and soil borne pathogens. *Europ. J. Sci. Res.* 11: 572-577.
15. Cui, Y.J., Zhu, Y.G., Zhai, R.H., Chen, D.Y., Huang, Y.Z., Qiu, Y., and Liang, J.Z. 2004. Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China. *Environment International*. 30: 6. 785-791.
16. Diani, M., Mohammadi, J., and Naderi, M. 2009. Geostatistical Analysis of Pb, Zn and Cd concentration in soil of Sepahanshahr suburb (south of Esfahan). *J. Water Soil*. 23: 4. 67-76. (In Persian)
17. Geng, J., Wang, Y., and Luo, H. 2015. Distribution, sources and fluxes of heavy metals in the Pearl River Delta, South China. *Marine pollution bulletin*. 101: 914-921.
18. Gilmour, J.T., and Kittrick, J.A. 1979. Solubility and equilibria of zinc in a flooded soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 43: 5. 890-892.
19. Heydari, H. 2003. Research project of Zanjan wind Atlas. Department of meteorology of Zanjan Province. (In Persian)
20. Jo, O.W., and Nwabue, F.I. 2012. Heavy Metals effect due to Contamination of Vegetables from Enyigba Lead Mine in Ebonyi State, Nigeria, *Environment and Pollution*. 2: 1. 19-26.
21. Jones, Jr. J.B., and Case, V.W. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. *Sampling handling and analyzing plant tissue samples*. 3: 389-427.
22. Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. Third Ed. CRC press. Boca Raton, London, 432p.
23. Kaznina, N.M., Titov, A.F., Laidinen, G.F., and Talanov, A.V. 2009. *Setaria Viridis* tolerance of high zinc concentrations. 36: 6. 575-581.
24. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America, Proceedings*. 42: 421-428.
25. Mirshekalli, H., Hadi, H., Khodaverdiloo, H., and Amirnia, R. 2014. Assessing the Efficiency of Sorghum (*Sorghum Bicolor*) and Common Lambsquarter (*Chenopodium Album*) in Phytoremediation of Zn from Soil. *JWSS*. 18: 67. 1-9.
26. Nazemi, S., Asgari, A.R., and Raei, M. 2010. Survey the amount of heavy metals in cultural vegetables in suburbs of Shahroud. *Iran. J. Health Environ*. 3: 2. 195-202. (In Persian)
27. Nikolić, D., Milošević, N., Živković, Ž., Mihajlović, I., Kovačević, R., and Petrović, N. 2011. Multi-criteria analysis of soil pollution by heavy metals in the vicinity of the Copper Smelting Plant in Bor (Serbia). *J. Serbian Chem. Soc.* 76: 4. 625-641.
28. Nimrozi, A., and Moaf Porian, G. 2011. Evaluation of heavy metals distribution in soil of Ab-Barik Industrial area in Shiraz province. The 31<sup>th</sup> meeting of Earth Sciences, Pp: 1-7. (In Persian)
29. Nourian, M., Delavar, M.A., Shekari, P., and Abdollahi, S. 2012. Study of distribution of soil pollution by heavy metals with geostatistics and fuzzy clusterin g in Dizajabad area, Zanjan Province, *J. Water Soil Cons.* 21:1. 125-143.
30. Onder, S., Dursun, S., Gezgin, S., and Demirbas, A. 2007. Determination of heavy metal pollution in grass and soil of city centre green areas (konya, Turkey). *Polish J. Environ. Stud.* 16: 1. 145-154.
31. Parizanganeh, A., Hajisoltani, P., and Zamani, A. 2010. Assessment of heavy metal pollution in surficial soils surrounding Zinc Industrial Complex in Zanjan-Iran. *Procedia Environmental Sciences*. 2: 162-166.

32. Raicevic, S., Perovic, V., and Zouboulis, A.I. 2009. Theoretical assessment of phosphate amendments for stabilization of (Pb + Zn) in polluted soil. *Waste Management*. 29: 5. 1779-1784.
33. Rastgar, M.A. 1998. Weeds and their control methods. University of Tehran Press, 414p. (In Persian)
34. Richards, L.A. 1969. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. US Salinity Laboratory Staff. Agricultural Handbook. No 60. USDA. US, 160p.
35. Sanchez-Camazano, M., Sanchez-Martin, M.J., and Lorenzo, L.F. 1994. Lead and cadmium in soils and vegetables from urban gardens of Salamanca (Spain). *Science of the Total Environment*. 146: 163-168.
36. Shakeri, A., Modaberi, S., Ghasemi, M., and Sayare, A. 2008. Pollution and Distribution of heavy metals in soils of Hashtgerd area, North West of Tehran. The 34<sup>th</sup> National and the 2<sup>nd</sup> International Geosciences Congress, Pp: 1-5. (In Persian)
37. Sharma, R.K., Agrawal, M., and Marshall, F.M. 2007. Heavy metals contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. *Ecotoxicology and environmental safety*. 66: 258-266.
38. Sharma, S., and Prasad, F.M. 2010. Accumulation of Lead and Cadmium in soil and vegetable crops along major highways in Agra (India). *J. Chem.* 7: 4. 1174-1183.
39. Singh, S., and Kumar, M. 2006. Heavy Metal Load of Soil, Water and Vegetables in Peri-Urban Delhi. *Environmental Monitoring and Assessment*. 120: 1. 79-91.
40. Sposito, G., Land, L.J., and Chang, A.C. 1982. Trace metal chemistry in air-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 46: 2. 260-264.
41. Tabande, L., and Taheri, M. 2016. Assessment of Pollution and Relationship between Heavy Metals Concentration in Soil and Leafy Vegetables in Zanjan Province. *Iran. J. Soil Res.* 30: 1. 49-60. (In Persian)
42. Türkdoğan, M.K., Kilicel, F., Kara, K., Tuncer, I., and Uygan, I. 2003. Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey. *Environmental toxicology and pharmacology*. 13: 3. 175-179.
43. Voutsas, D., Grimanis, A., and Samara, C. 1996. Trace elements in vegetables grown in an industrial area in relation to soil and air particulate matter. *Environmental pollution*. 94: 3. 325-335.
44. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. Examination of the degtjareff method determination soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 34: 29-38.
45. Zheng, N., Wang, Q., Zhang, X., Zheng, D., Zhang, Z., and Zhang, S. 2007. Population health risk due to dietary intake of heavy metals in the industrial area of Huludao city, China. *Science of the Total Environment*. 387: 1. 96-104.



## Effect of direction and distance from the Parham-Zinc factory of Zanjan on zinc concentration and translocation factor in *Hulthemia persica* and *Chenopodium album*

\*M. Babaakbari Sari<sup>1</sup>, R. Asgari<sup>2</sup>, M. Tafvizi<sup>3</sup> and T. Khoshzaman<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Zanjan, <sup>2</sup>M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, <sup>3</sup>Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, <sup>4</sup>Researcher of Soil and Water Research Department, Zanjan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran

Received: 07/23/2017; Accepted: 12/12/2017

### Abstract

**Background and Objectives:** Contamination of soil and plants with heavy elements including zinc, due to industrial activities, might have significant adverse effects on human health. Industrial factories and mines, fertilizers, pesticides and waste water are the most important sources of water, soil and plants contaminations. In Zanjan province, there is a wide range of zinc processing and production factories and mining activities that can contaminate soil, water and plants. The aim of this study was to investigate the zinc concentration of the soil, shoot and root and zinc translocation factor (TF) in dominant rangeland plants (*Hulthemia persica* and *Chenopodium album*) in different distances and directions from factory.

**Materials and Methods:** This study was conducted as factorial in a completely randomized design with three replication. The experimental treatments included three directions (northeast, east and west of the factory), six different distances from the factory (0-250, 250-500, 500-7500, 750-1000, 1000-1250, 12500-1500 meters) and two plants (*Hulthemia persica* and *Chenopodium album*). The soil and plant samples were collected from the selected sites. Shoot and root samples were digested by concentrated nitric acid and available zinc in soil was extracted by DTPA. The zinc concentrations were measured by atomic absorption spectroscopy.

**Results:** The results showed that the effect of direction and distance from the factory was significant on zinc concentration of shoot and root and also translocation factor, ( $P < 0.01$ ). The highest zinc concentration in shoot and root was 1125 and 1322 (mg/kg dry matter) in the northeast direction, in the range of 0 to 250 meters from the factory. The lowest zinc concentration in the shoot and roots was 7 and 30 (mg/kg dry matter) in the west, in the range of 1250 to 1500 meters from the factory. The highest amount of TF (1.46) was observed in *Chenopodium album* in the range of 1250-1500 meters in the northeast and the lowest TF (0.22) was in *Hulthemia persica*, in the range of 1250-1500 meters in the west direction. The directions×distances×plants interaction on zinc concentration of shoot, root and also TF were significantly ( $P < 0.01$ ).

**Conclusion:** In the northeast direction (dominant wind), plant and soil pollution was mostly influenced by wind. The main contamination factors of the soil and plant at distances close to the factory were waste water and waste in the east and west direct, respectively. *Hulthemia persica*, with a broad and thick root system, was able to absorb more zinc and transfer it to the shoot part. But in the northeast direction, the atmospheric deposition of the factory played an important role in soil and plant contamination. *Chenopodium album* with high vegetation biomass absorbed more zinc from the air in its shoot than *Hulthemia persica* with rough and blubber stems. For this reason, in the dominant wind direction, the TF was also found in the *Chenopodium album* at as far from distances higher than *Hulthemia persica*. Therefore, the absorption of atmospheric zinc was higher in *Chenopodium album*. In waste disposal areas, *Hulthemia Persica* had a more translocation factor.

**Keywords:** Atmospheric deposition, Contamination, Industrial activities, Waste disposal, Waste water

\* Corresponding Author; Email: babaakbari@znu.ac.ir