دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال دهم، شماره سی و چهارم، ۱۳۹۷

# مطالعه مقادیر برخی فلزات سنگین در خاک‌ها و گیاهان اطراف منطقه صنعتی شهرکرد

**مهراب یادگاری**[۱]

تاریخ دریافت: ۹۵/٤/۱ تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۲۰

**چکیده**

به منظور مطالعه مقادیر فلزات سنگین در اطراف منطقه صنعتی شهرکرد، تحقیقی در سال‌های زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ و ۱۳۹۳-۱۳۹٤ انجام شد. از آنجا که دراغلب موارد گیاهانی که در خاک‌های کشاورزی حاوی فلزات سنگین می‌رویند، مقادیر بیشتری از فلزات را در بافت‌های خود ذخیره می‌نمایند، هدف اصلی از اجرای این تحقیق بررسی میزان جذب فلزات سنگین نیکل، سرب، کروم و کادمیوم در محصولات کشاورزی (گندم و کلزا) و گیاهان مرتعی (گون و جاز) در اطراف منطقه صنعتی شهرکرد بود. بدین منظور بعد از انجام مطالعات لازم اقلیمی و خاکشناسی، ایستگاه‌های نمونه‌برداری به طور تصادفی در فواصل ۱۰۰، ۳۰۰، ٦۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ متری مناطق شمال، جنوب، شرق و غرب منطقه تحقیقاتی انتخاب شدند. در نتایج برآمده از تحقیق حاضر، روابط معنی داری بین مقادیر فلزات سنگین در بین گیاهان دیده شد که بیشترین تفاوت‌های معنی دار بین گیاهان مرتعی و گیاهان زراعی بود. تجزیه شیمیایی خاک ایستگاه‌های نمونه برداری نشان داد بیشترین غلظت موجود در بین فلزات مورد بررسی به ترتیب متعلق به نیکل (۱۹۲٦میکروگرم در کیلوگرم)، کادمیم (۵۰٤میکروگرم در کیلوگرم)، سرب (۱۲۲میکروگرم در کیلوگرم) و کروم (۷۸میکروگرم در کیلوگرم) بود. بطورکلی در تحقیق حاضر با توجه به استانداردهای موجود، میزان فلزات سنگین به خصوص کادمیم و نیکل، هرچند پایین تر از استانداردهای جهانی بود، اما دارای تراکم بالایی بوده که باید ضمن کاهش آلودگی حاصل از کارخانجات این منطقه، تدابیری برای کاشت گیاهان مرتعی از جمله گون و جاز که تجمع دهنده مطلوب در این خصوص هستند، اندیشید.

**واژه های کلیدی**: آلودگی، خاک، گیاهان زراعی، گیاهان مرتعی

**یادگاری، م. ۱۳۹۷. مطالعه مقادیر برخی فلزات سنگین در خاک‌ها و گیاهان اطراف منطقه صنعتی شهرکرد. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳٤: ۱۹۱-۱۸۱.**

۱- گروه زراعت و گیاهان دارویی، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران. پست الکترونیک: mehrabyadegari@gmail.com

**مقدمه**

با توجه به فعالیت‌های مختلف صنعتی و رهاسازی میزان زیادی از آلاینده‌های مختلف به خصوص فلزات سنگین به محیط و جذب و تجمع آن‌ها در خاک‌ها و گیاهان و از طرفی با توجه به سمی بودن و خطرآفرینی فلزات سنگین و اثرگذاری آن‌ها از طریق هوا و غذا بر سلامت جامعه، ضروری است دامنه پراکنش آن‌ها و نیز میزان فلزات نیکل، کروم، سرب و کادمیوم در خاک‌ها و گیاهان مشخص شود و با اعمال مدیریت بهینه از ورود آن‌ها به محیط و به زنجیره غذایی جلوگیری کنیم (کریمی و همکاران، ۲۰۱۲). فلزات سنگین ممکن است منجر به تغییرات در فرآیندهای فیزیولوژیکی در سطح سلولی و مولکولی شوند که در نتیجه غیر فعال کردن آنزیم و یا مسدود کردن مولکول‌های مهم مسئول سوخت و ساز باشد (موسوی و ثقه الاسلامی، ۲۰۱۳؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۲). جلوگیری از ساخت کلروفیل و درهم ریختن ساختار کلروفیل، قابلیت هدایت هیدرولیکی ریشه گیاهان (ساموروا و همکاران، ۲۰۱۰)، نکروز و ریزش برگ‌ها (داوری و همکاران، ۲۰۱۰) از دیگر اثرات فلزات سنگین می‌باشد. با توجه به خطرات محیطی فلزات سنگین و احتمال جذب و ورود این عناصر به زنجیره‌ی غذایی و تهدید سلامت انسان‌ها، بهره‌گیری از گیاهان برای استخراج فلزات سنگین از خاک، روشی نو و امیدبخش برای بهسازی خاک های آلوده می‌باشد و اصطلاحاً گیاه پالایی نامیده می شود (عبدل سلام و همکاران، ۲۰۱۵). در بین فلزات سنگین، فلز کادمیوم به دلیل تحرک و پویایی زیاد در خاک و جذب توسط گیاه، دارای اهمیت خاصی می‌باشد (جان و همکاران، ۲۰۰۹). کادمیوم و روی از نظر شیمیایی بسیار مشابه هستند، بنابراین کادمیوم می تواند جایگزین روی در انجام وظایف متابولیسمی شود. علت اصلی سمیت کادمیوم احتمالاً میل ترکیبی شدید آن با گروه‌های تیول در آنزیم‌های پروتئین‌ساز است که به صورت طبیعی همراه با عنصر روی یافت می‌شود (شی و همکاران، ۲۰۰۹). غلظت این فلز سنگین در گیاه بیشتر از غلظت سرب است، زیرا جذب کادمیوم به وسیله گیاه بیشتر از جذب سرب انجام می شود. کادمیوم از قابلیت انتقال بیشتری نسبت به سرب در زنجیره غذایی برخوردار است (هانگ و همکاران، ۲۰۰۷). کادمیم در حد بالا (تا حد ۵۰۰ میکرومول) روی رشد و نمو گیاهان اثر سوء می گذارد که به نوع رقم، اندام گیاهی، فلزات ضروری مورد نیاز گیاه، زمان کشت و زمان بروز سمیت بستگی دارد (گانکالوز و همکاران، ۲۰۰۹). تجمع کادمیم بیش از ۱۰-۵۰ میکروگرم در گرم گیاه سمی بوده و منجر به کاهش فتوسنتز و تعرق می‌شود. حداکثر فلزات کادمیم، کروم، نیکل، سرب در اندام‌های گیاهی به ترتیب ۰/٤٥، ٥١، ٢٦، ٢٨ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است. کادمیم و سرب در گیاهانی مانند برنج جذب می‌شوند و برای انسان ایجاد مشکل می‌کنند (پندیاس و پندیاس، ۲۰۰۰).

از بین فلزات مورد اندازه گیری، کروم در خاک بسیار فعال و متحرک بوده و معمولاً مقدار آن در خاک بین ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم تا چند درصد متغیر است (ویدآ و همکاران، ۲۰۰۲، ۲۰۰۹). کروم منجر به اختلال در فرآیندهای جوانه‌زنی، رشد اندام‌های گیاهی و تغییرات در فتوسنتز، جذب و مصرف آب و مواد غذایی گیاه می‌شود. مقادیر تجمع این فلز در گیاهان مختلف متفاوت است در اسفناج تا ٣/١٤ میکروگرم در گرم بوده ضمن آن‌که در بسیاری از گیاهان، تجمع کروم در ریشه بسیار بیشتر از اندام هوایی است (شانکر و همکاران، ۲۰۰۵). در نباتاتی که علائم سمیت ظاهر می شود، معمولاً مقدار کروم در برگ گیاه از ۱میلی‌گرم در کیلوگرم بیشتر است. در ریشه این نباتات مقدار کروم بسیار بیشتر است (گوربان و همکاران، ۱۹۹۹؛ وینیسیوس و فردریک، ۲۰۰۹). کروم معمولاً با فلزات مورد نیاز گیاه مانند آهن و گوگرد، جذب گیاه می‌شود. کروم در میان گیاهان خوراکی بسیار کم به اندام‌های هوایی منتقل می‌شود (سو و همکاران، ۲۰۰٤).

از دیگر فلزات سنگین سرب است که بالا رفتن غلظت آن سمیت شدیدی ایجاد می کند. سرب در نتیجه بهره برداری از معادن، سوخت‌های فسیلی، رنگ‌سازی و صنایع شیشه وارد محیط زیست شده و در اتمسفر رسوب کرده و در نهایت به طرق مختلف از جمله غذا وارد بدن انسان می گردد. بیشترین میزان فلز سرب در خاک‌های آلوده سطح جهان مربوط به کشور یونان (۱۸۵۰۰میلی‌گرم در کیلوگرم)، بیشترین میزان آن در بخش‌های خوراکی گیاهان در سیب زمینی (۳ میلی‌گرم در کیلوگرم)، در بین دانه های غلات در چاودار و گندم (۰/٦٤میلی‌گرم در کیلوگرم)، بالاترین متوسط جهانی این فلز در سطح گیاهان گرامینه و لگوم در بقولات (۸میلی‌گرم در کیلوگرم ) گزارش شده است. سرب در حد ۵۰-۱۰۰ میکروگرم در گرم سمی است و منجر به اثرات مخرب آنزیمی شده و منجر به تأخیر در رشد می‌شود (پندیاس و پندیاس، ۲۰۰۰).

نیکل مانند سایر فلزات سنگین منجر به اختلال در تغذیه گیاهی، نیاز آبی، فتوسنتز و ریخت‌زایی نوری می‌گردد (سرژین و کوژونیکووآ، ۲۰۰٦). در ایران، مقدار فلزات سنگین در گیاه که برای سلامتی انسان زیان آور است، برای سرب و کادمیم به ترتیب کمتر

از ۵ و کمتر از ۰/۱میکروگرم در کیلوگرم گزارش شده و در مورد کروم و نیکل اطلاع دقیقی در دست نیست (تقی‌پور و همکاران، ۲۰۱۳؛ فاضلی و ریاحی، ۱۳۸۲) . بیشترین میزان متوسط نیکل در خاک‌های سطحی، مربوط به چین(۹۲ میلی‌گرم در کیلوگرم)، بالاترین متوسط غلظت آن در بین گیاهان گرامینه و لگوم مربوط به لگوم‌های چندساله (۲/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم)، حداکثر آن در خاک کشورهای اروپایی و آمریکایی به میزان ۳۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم به ثبت رسیده است (گوربان و همکاران، ۱۹۹۹). متوسط میزان این فلز در اندام‌های گیاهی در شبدر سفید (۰/٤٦ میلی‌گرم در کیلوگرم) و در گیاهان علوفه‌ای و غذایی مربوط به اندام‌های فوقانی لگوم‌ها (٤/۲میلی‌گرم در کیلوگرم) می باشد (آبالینو و همکاران، ۲۰۰۵). مسمومیت ناشی از فلزات سنگین با کاهش رشد ریشه و جذب فلزات غذایی همراه است که سبب کاهش عملکرد می‌شود (عبدل سلام و همکاران، ۲۰۱۵). اسیدی بودن خاک‌ها و حلالیت بالای فلزات در خاک‌ها منجر به بالارفتن غلظت فلزات سنگین در گیاهان می‌شود (عیاری و همکاران، ۲۰۱۰). میزان سمیت فلزات سنگین در گیاهان یکساله ای مانند گندم به شرح زیر است: کادمیوم > مس> نیکل> روی> سرب > کروم (عطار و احمد، ۲۰۰۲).

هدف اصلی از اجرای این تحقیق بررسی میزان جذب فلزات سنگین نیکل، سرب، کروم و کادمیوم در محصولات کشاورزی (گندم و کلزا) و گیاهان مرتعی (گون و جاز) در خاک اطراف منطقه صنعتی شهرکرد بود.

## مواد و روش‌ها

ایستگاه‌های نمونه برداری بر اساس مطالعات اقلیمی و خاکشناسی در فواصل ۱۰۰، ۳۰۰، ٦۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ متری مناطق شمال، جنوب، شرق و غرب منطقه قطب صنعتی شهرکرد (شکل ۱)، انتخاب شدند. بیشترین میزان کادمیم موجود در خاک در قسمت شمالی و کمترین آن در جنوب منطقه برآورد شد. بیشترین میزان سرب و کروم موجود در خاک اطراف محل آلودگی در شمال منطقه و کمترین آن در شرق منطقه و بیشترین غلظت نیکل در غرب و کمترین آن در شرق منطقه آلودگی بود (جدول ۱). این منطقه در ۳۲ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی قرار دارد. از نظر اقلیمی جزء مناطق نیمه‌خشک است. طبق آمار هواشناسی میانگین دمای ۳۰ ساله ۱۱/۲،حداکثر و حداقل دمای مطلق به ترتیب ۳۸/۸ و ۳۲/٤– درجه سانتیگراد گزارش شده است. تعداد ۱۰ نمونه از هر منطقه برداشت شد. گیاهانی انتخاب شدند که شاخص های مناسب، جهت تشخیص آلودگی خاک و محیط بوده، عموماً در غذای روزمره انسان‌ها و دام‌ها وجود داشته و می‌توانند نقش مؤثری را بطور مستقیم و یا غیر مستقیم بر سلامت انسان‌ها داشته باشند.

**شکل ۱- شهرک صنعتی شهرکرد**

**جدول ۱- میانگین فلزات سنگین برآورد شده ( میکروگرم در کیلوگرم) در نمونه های خاک در شعاع ۵ کیلومتری مرکز آلودگی**

| مکان | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل |
|---|---|---|---|---|

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شمال | ۵۲۰/۳±۵۰/٤ | a | ۱۲۲±۱۹/۳ | a | ۷۸±٦/۹۷ | a | ۱٦۹۵±۳۲۳/۳ |
| جنوب | ۳۹/۷ ±٦/۱ | b | ۳۷/۵±۰/٤۲ | b | ۳۳±۳/۳ | a | ۱۵۹۳±۳٦۹ |
| شرق | ۵۷/۷ ±۱۷ | b | ۳۲/۳±٦/۵ | b | ۳۰/۵±۵/۹٦ | b | ٤۱۵±۱٤/۱۳ |
| غرب | ٦۰/۷ ±۱۷ | b | ۳٦/۳±٦/۵ | b | ۳۵/۵±۵/۹۷ | a | ۱۹۲٦±۱۵۹/۵ |

(اعداد جدول: میانگین فلزات سنگین± انحراف معیار–دسته بندی‌ها: آزمون L.S.D در سطح ۱ ٪ )

گیاهان مورد مطالعه در این تحقیق شامل گون[1] از تیره لگومیناسه، گندم[2] از تیره گندمیان، جاز[3] از تیره کاسنی و کلزا[4] از تیره شب بو بودند. برای اندازه‌گیری فلزات کادمیم و نیکل از روش عصاره گیری با دی اتیلن تری آمین پنتااستیک اسید استفاده شد و پس از شیکر، قرائت صورت پذیرفت و اعداد بر اساس میکروگرم در کیلوگرم (میکروگرم در کیلوگرم) گزارش گردید. برای برآورد فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی از روش هضم مرطوب استفاده شد. در این روش اندام‌های گیاهی در مجاورت یک مخلوط اسیدی (اسید نیتریک، اسید کلریدریک و اسید پرکلریک) هضم شده و اندازه‌گیری در عصاره حاصله توسط دستگاه جذب اتمی با روش کوره گرافیت (AAS-400) انجام شد (دیاکونو و همکاران، ۲۰۱۲؛ داوری و همکاران، ۲۰۱۰). گیاهانی انتخاب شدند که شاخص های مناسبی برای تشخیص آلودگی خاک و محیط بوده، عموماً در غذای روزمره انسان‌ها و دام‌ها وجود داشته و می‌توانند نقش مؤثری را بطور مستقیم و یا غیر مستقیم بر سلامت انسان‌ها داشته باشند. این گیاهان عبارت بودند از گندم (*Triticum aestivum*)، کلزا (*Brassica napus*)، جاز (*Scariola orientalis*) و گون (*Astragalus* sp). ضریب انتقال فلز از تقسیم غلظت فلز سنگین در اندام هوایی بر غلظت همان فلز سنگین در اندام ریشه بدست آمد. محاسبه داده های حاصل از آزمایش توسط نرم افزار SAS ver.8 و $Excel_{2013}$ و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی دار (L.S.D) در سطح ۵٪ انجام شد.

**نتایج و بحث**

در دسته بندی مقادیر فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی گون، بیشترین مقادیر در شمال و کمترین آن در جنوب منطقه آلودگی بود. نتایج بدست آمده نشان داد که غلظت فلزات در شمال > غرب> شرق> جنوب بود (جداول۱–۳). غالباً این تفاوت‌ها که در دستجات مختلفی قرار گرفتند نسبت به مناطق دیگر، در یک گروه آماری قرار گرفتند و این امر در ریشه و اندام‌های گیاهی به خصوص در مناطق شرق و غرب نمود بیشتری داشت (جداول ٤ و ۵).

در اثرگذاری فلزات سنگین به خصوص کادمیوم بر وزن خشک گیاه ( ریشه و اندام هوایی) اثرات معنی‌دار مشاهده گردید که می تواند به این دلیل باشد که کادمیوم، به راحتی در گیاهان حرکت می کند (عبدل سلام و همکاران، ۲۰۱۵)، پس بیشتر به سمت اندام هوایی می رود و نسبت به سایر فلزات سنگین اثر بیشتری بر وزن اندام هوایی دارد (جداول ۲–۵).

بیشترین میزان ضریب انتقال به طور نسبی در گون دیده شد. در این گیاه علی رغم تجمع بیشتر فلزات در ریشه، مقادیر بیشتری نیز نسبت به سایر گیاهان به اندام‌های هوایی انتقال یافت. گندم و کلزا به عنوان گیاهانی بودند که کمترین ضریب انتقال به اندام‌های هوایی را داشتند (جدول ٦). در نتایج بدست آمده غالباً دیده شد که در اندام‌های هوایی گیاهان مورد آزمایش، بین گون با گیاهان یکساله و نیز بین جاز و گیاهان یکساله در مورد غالب فلزات سنگین تفاوت معنی داری وجود داشت و در قسمت شمال از تمام مناطق بیشتر بود (جداول ۷–۱٤). گیاهانی که دارای ساختار زیرزمینی بودند با کاهش تعرق، در برابر شوری و فلزات سنگینی نظیر کادمیم و سرب نیز متحمل هستند (مارچیلو و همکاران، ۲۰۰٤). در مطالعه غلظت‌های مختلف کادمیم مشخص شد که با افزایش کادمیم، میزان وزن تر، وزن خشک و اندازه اندام هوایی کاهش می یابد (موریفاه، ۲۰۰۸). که این مورد در گیاهان جاز و کلزا صادق است، اما نکته قابل توجه آن بود که غلظت کادمیم در

1-*Astragalus* sp
2- *Triticum aestivum*
3- *Scariola orientalis*
4- *Brassica napus*

گیاهان مرتعی بیشتر از غلظت نیکل اندازه‌گیری شد و این در حالی بود که غلظت نیکل در گیاهان زراعی چه در بخش فوقانی و چه در بخش تحتانی بیشتر از غلظت کادمیم بود. غلظت کروم در تمامی موارد پایین تر از سایر فلزات مشاهده گردید (جداول ۱۱-۱٤).

**جدول۲- آزمون T میانگین های مقادیر فلزات سنگین در نمونه های خاک در شعاع ۵ کیلومتری مرکز آلودگی**

| | | شمال | | | | جنوب | | | | شرق | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل |
| جنوب | کادمیوم | ۲/۳٦** | | | | | | | | | | | |
| | سرب | | ۱۱/۵۵** | | | | | | | | | | |
| | کروم | | | ۱۵/٤٦** | | | | | | | | | |
| | نیکل | | | | ۰/۵٤ | | | | | | | | |
| شرق | کادمیوم | ۲/۲۷** | | | | ۲/٦۳* | | | | | | | |
| | سرب | | ۱۱/٦۲** | | | | ۲/۱* | | | | | | |
| | کروم | | | ۱۳/٦۹** | | | | ۰/۹۷ | | | | | |
| | نیکل | | | | ۱۰/۱۸** | | | | ۸/٤٤** | | | | |
| غرب | کادمیوم | ۲/۲۵* | | | | ۳/۷** | | | | ۰/۳۳ | | | |
| | سرب | | ۱۱/۱* | | | | ۰/٤۸ | | | | ۱/۱۵ | | |
| | کروم | | | ۱۲/۲۵** | | | | ۰/۹۷ | | | | ۱/۵۷ | |
| | نیکل | | | | ۱/٦٦ | | | | ۲/۲* | | | | ۲٤/۹۸** |

**جدول ۳- آزمون T میانگین های مقادیر فلزات سنگین در نمونه های گیاهی در شعاع ۵ کیلومتری مرکز آلودگی**

| | | شمال | | | | جنوب | | | | شرق | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل |
| جنوب | کادمیوم | ۳/۸** | | | | | | | | | | | |
| | سرب | | ۹/۷۷** | | | | | | | | | | |
| | کروم | | | ۱۱/۱** | | | | | | | | | |
| | نیکل | | | | ۱۱** | | | | | | | | |
| شرق | کادمیوم | ۳/۲** | | | | ۰/۷ | | | | | | | |
| | سرب | | ۸/٦۸** | | | | ۱/۱٤ | | | | | | |
| | کروم | | | ۹/۷۳** | | | | ۱/۲ | | | | | |
| | نیکل | | | | ۱۰/۱** | | | | ۱/۲ | | | | |
| غرب | کادمیوم | ۱/۷ | | | | ۲/۲* | | | | ۱/۵ | | | |
| | سرب | | ٦/۱** | | | | ۳/۳۸** | | | | ۲/۳۲* | | |
| | کروم | | | ٦/۵** | | | | ۳/۵۵** | | | | ۲/٤٤* | |
| | نیکل | | | | ۸** | | | | ۳/٦** | | | | ۲/۵* |

**جدول٤- آزمون T میانگین‌های مقادیر فلزات سنگین در اندام‌های هوایی گیاهان در شعاع ۵ کیلومتری مرکز آلودگی**

| | | شمال | | | | جنوب | | | | شرق | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل |
| جنوب | کادمیوم | ٤/٧** | | | | | | | | | | | |
| | سرب | | ٧/٣** | | | | | | | | | | |
| | کروم | | | ٧/٧** | | | | | | | | | |
| | نیکل | | | | ٦/٨٩** | | | | | | | | |
| شرق | کادمیوم | ٣/٨** | | | | ٠/٨٦ | | | | | | | |
| | سرب | | ٦/٢** | | | | ٠/٨٩ | | | | | | |
| | کروم | | | ٦/٥** | | | | ٠/٩ | | | | | |
| | نیکل | | | | ٦/٦** | | | | ٠/٧٥ | | | | |
| غرب | کادمیوم | ١/٨٤ | | | | ٢/٥* | | | | ١/٧٢ | | | |
| | سرب | | ٣/٧** | | | | ٢/٦٥** | | | | ١/٨ | | |
| | کروم | | | ٤** | | | | ٢/٦٦* | | | | ١/٨٣ | |
| | نیکل | | | | ٥/٩٣** | | | | ٢/٦** | | | | ١/٨ |

**جدول ٥- آزمون T میانگین های مقادیر فلزات سنگین در ریشه های گیاهان در شعاع ٥ کیلومتری مرکز آلودگی**

| | | شمال | | | | جنوب | | | | شرق | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل |
| جنوب | کادمیوم | ٤/٥** | | | | | | | | | | | |
| | سرب | | ٨** | | | | | | | | | | |
| | کروم | | | ٨/٩** | | | | | | | | | |
| | نیکل | | | | ١٤/٥** | | | | | | | | |
| شرق | کادمیوم | ٣/٧** | | | | ٠/٧٧ | | | | | | | |
| | سرب | | ٧/٢** | | | | ٠/٧٥ | | | | | | |
| | کروم | | | ٧/٨** | | | | ٠/٨ | | | | | |
| | نیکل | | | | ١٢** | | | | ١/٢ | | | | |
| غرب | کادمیوم | ٢/٠٨* | | | | ٢/٣* | | | | ١/٦ | | | |
| | سرب | | ٥/٣** | | | | ٢/٢١* | | | | ١/٥ | | |
| | کروم | | | ٥/٥** | | | | ٢/٤* | | | | ١/٦٤ | |
| | نیکل | | | | ٧/١** | | | | ٣/٦٢** | | | | ٢/٥* |

*و ** به ترتیب معنی دار در سطوح ٥ ٪ و ١٪

بیشترین میزان ضریب انتقال به طور نسبی در گون دیده شد. در این گیاه علی رغم تجمع بیشتر فلزات در ریشه، مقادیر بیشتری نیز نسبت به سایر گیاهان به اندام‌های هوایی انتقال یافت. گندم و کلزا به عنوان گیاهانی بودند که کمترین ضریب انتقال به اندام‌های هوایی را داشتند (جدول ٦). در نتایج بدست آمده غالباً دیده شد که در اندام‌های هوایی گیاهان مورد آزمایش، بین گون با گیاهان یکساله و نیز بین جاز و گیاهان یکساله در مورد غالب فلزات سنگین تفاوت معنی داری وجود داشت و در قسمت شمال از تمام مناطق بیشتر بود (جداول ٧-١٤). گیاهانی که دارای ساختار زیرزمینی بودند با کاهش تعرق، در برابر شوری و فلزات سنگینی نظیر کادمیم و سرب نیز متحمل هستند (مارچیلو و همکاران، ٢٠٠٤). در مطالعه غلظت‌های مختلف کادمیم مشخص شد که با افزایش کادمیم، میزان وزن تر، وزن خشک و اندازه اندام هوایی کاهش می یابد (موریفاه، ٢٠٠٨). که این مورد در گیاهان جاز و

کلزا صادق است، اما نکته قابل توجه آن بود که غلظت کادمیم در گیاهان مرتعی بیشتر از غلظت نیکل اندازه‌گیری شد و این در حالی بود که غلظت نیکل در گیاهان زراعی چه در بخش فوقانی و چه در بخش تحتانی بیشتر از غلظت کادمیم بود. غلظت کروم در تمامی موارد پایین تر از سایر فلزات مشاهده گردید (جداول ۱۱-۱٤). قابلیت تجمع بیشتر کادمیوم در اندام‌های ذخیره ای در نتایج سایر محققین نیز وجود دارد (ویدآ و همکاران، ۲۰۰٤؛ شانکر و همکاران، ۲۰۰۵؛ هانگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ مارکی و همکاران، ۲۰۰۸؛ پریس و همکاران، ۲۰۰۸). غلظت فلزات سنگین در نمونه های خاک در شرق و غرب با همدیگر تفاوت معنی داری داشت و این مورد در خصوص فلز نیکل بیشتر معنی دار بود. به نظر می‌رسد با توجه به نتایج حاصل از کل نمونه‌های گیاهی، گیاهان دارای انباشت بیشتر فلزات بوده و این امر در مورد گیاهان مرتعی تظاهر بیشتری داشت (جداول ۳-۵). در اندام‌های هوایی گیاهان مورد آزمایش، تفاوت معنی داری وجود داشت (جداول ۷-۱۰)، این امر در مورد تفاوت بین فلزات سنگین موجود در اندام‌های تحتانی گیاهان مورد تحقیق نیز دیده شد. بیشترین تجمع فلز سنگین مربوط به فلز نیکل است که به ترتیب به میزان ٤۳۷، ۳۳۳ و ۳۰۸ میلی‌گرم در کیلوگرم در اسیدیته‌های ۷/۱، ۵/۸ و ٤/۵ در اندام‌های هوایی گیاه گزارش گردیده است (ویدآ و همکاران، ۲۰۰٤، تقی‌پور و همکاران، ۲۰۱۳). در سیستم‌های کشاورزی، میزان تجمع فلزات سنگین در سبزی‌های خوراکی منجر به محدودیت استفاده از آنها شده و در این محصولات غلظت روی > سرب > مس> نیکل > کادمیم است (پندی و پندی، ۲۰۰۸). در نتایج برآمده از تحقیق حاضر، روابط معنی داری بین مقادیر فلزات سنگین در بین گیاهان دیده شد که بیشترین تفاوت‌های معنی دار بین گیاهان مرتعی و گیاهان زراعی بود (جداول ۷-۱۰). به نظر می رسد این امر ناشی از ساختارهای حجیم زیرزمینی تجمع دهنده این گیاهان نسبت به گیاهان یکساله است. در نتایج ژلجازکو و همکاران (۲۰۰۸) و یاداو (۲۰۱۰) نیز به این امر اشاره شده است هر چند که موقعیت و سن خاک، عوامل مهمی در تعیین اندازه آلودگی فلزات سنگین به خصوص سرب و مس هستند (چن و همکاران، ۲۰۰۵؛ شی و کای، ۲۰۰۹). انتقال فلزات سنگین از اندام هوایی به دانه کمتر از میزان انتقال این فلزات از ریشه به اندام‌های هوایی است (باس و باتاچاریا، ۲۰۰۸)، ضمن آن‌که میزان کادمیوم موجود در برگ‌ها با غلظت کادمیوم موجود در ریزوسفر همبستگی دارد (برتزل و کالدریسی، ۲۰۰٦). غالباً دامنه پراکنش فلزات سنگین در جهت بادهای غالب و دور از منبع آلاینده است (خاتمی‌پور و همکاران، ۲۰۱۱؛ لی و همکاران، ۲۰۰۹). دسته‌بندی میانگین‌ها (جداول ۱۱-۱٤) نشاندهنده تفاوت ساختارهای چندساله نسبت به ساختارهای یکساله است (عطار و احمد، ۲۰۰۲). با توجه به نتایج برآمده از این تحقیق می توان بیان نمود با توجه به مسیر غالب بادهای منطقه و حرکت فلزات سنگین در این جهت، غالب فلزات سنگین در شمال بیشتر از سایر مناطق بود از سوی دیگر باتوجه به تحرک شدید کادمیوم در گیاه، بیشترین غلظت فلزات سنگین در گیاه هم در ریشه و هم در بخش هوایی گیاه، مربوط به این فلز سنگین بود و در این خصوص گروه بندی‌های متفاوتی دیده شد. در بین گیاهان مورد تحقیق نیز تجمع فلزات سنگین در بخش‌های مختلف گیاهی (ریشه و اندام هوایی) در گیاهان مرتعی (گون و جاز) بیشتر از گیاهان زراعی (گندم و کلزا) بود (جداول ۱۱-۱٤) که نشاندهنده قابلیت بالای گیاهان مرتعی نسبت به گیاهان زراعی در پاکسازی محیط زیست (چوتو و همکاران، ۲۰۰۹) می باشد. ضمن آن‌که میزان انباشت سرب در گیاه، مانند کادمیوم متأثر از غلظت آن در خاک می‌باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱٤)، اما غالباً میزان انباشت سرب در ریشه بالاتر از ساقه و برگ هاست (ژائو و همکاران، ۲۰۱۲).

**جدول ٦- فاکتور انتقال(میکروگرم در کیلوگرم ) در نمونه های گیاهی در شعاع ۵ کیلومتری مرکز آلودگی**

| | شمال | | | | جنوب | | | | شرق | | | | غرب | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل | کادمیوم | سرب | کروم | نیکل |
| **گون** | ۰/۲۳ | ۰/۹ | ۰/۹ | ۰/۴۸ | ۰/۲۳ | ۰/۹ | ۰/۹ | ۰/۴۷ | ۰/۲۴ | ۰/۹ | ۰/۹۱ | ۰/۴۹ | ۰/۲۴ | ۰/۹ | ۰/۹۲ | ۰/۴۸ |
| **گندم** | ۰/۲۳ | ۰/۴۹ | ۰/۶ | ۱/۴ | ۰/۲۳ | ۰/۹ | ۰/۹ | ۰/۴۸ | ۰/۲۳ | ۰/۸۹ | ۰/۹۱ | ۰/۴۷ | ۰/۲۲ | ۰/۹ | ۰/۹ | ۰/۴۹ |
| **کلزا** | ۰/۲۲ | ۰/۴۹ | ۰/۶ | ۱/۲ | ۰/۲۲ | ۰/۸۹ | ۰/۸۷ | ۰/۴۷ | ۰/۲۲ | ۰/۸۹ | ۰/۹ | ۰/۴۶ | ۰/۲۱ | ۰/۸۹ | ۰/۸۹ | ۰/۴۸ |
| **جاز** | ۰/۲۱ | ۰/۴۸ | ۰/۶ | ۰/۴۸ | ۰/۲۲ | ۰/۸۷ | ۰/۸۸ | ۰/۴۹ | ۰/۲۲ | ۰/۸۷ | ۰/۸۹ | ۰/۴۵ | ۰/۲۱ | ۰/۸۹ | ۰/۸۹ | ۰/۴۸ |

**جدول ۷- آزمون T مقادیر فلز کادمیوم در اندام‌های هوایی گیاهان در شعاع ۵ کیلومتری مرکز آلودگی**

| | | شمال | | | جنوب | | | شرق | | | غرب | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | گون | گندم | جاز | گون | گندم | جاز | گون | گندم | جاز | گون | گندم | جاز |
| شمال | گندم | ۲/۲۹ | | | | | | | | | | | |
| | جاز | ۱/۴۱ | ۰/۴۸ | | | | | | | | | | |
| | کلزا | ۲/۶۵* | ۰/۸۸ | ۰/۸۸ | | | | | | | | | |
| جنوب | گندم | | | | ۲/۹۷* | | | | | | | | |
| | جاز | | | | ۰/۴۴ | ۲/۶۴* | | | | | | | |
| | کلزا | | | | ۳/۴** | ۰/۶۷ | ۳/۴** | | | | | | |
| شرق | گندم | | | | | | | ۲/۹۷* | | | | | |
| | جاز | | | | | | | ۰/۴۴ | ۲/۶۴* | | | | |
| | کلزا | | | | | | | ۳/۴** | ۰/۶۷ | ۳/۱۲** | | | |
| غرب | گندم | | | | | | | | | | ۲/۹۷* | | |
| | جاز | | | | | | | | | | ۰/۴۴ | ۲/۶۴* | |
| | کلزا | | | | | | | | | | ۳/۴** | ۰/۶۷ | ۳/۱۲** |

**جدول ۸- آزمون T مقادیر فلز سرب در اندام‌های هوایی گیاهان در شعاع ۵ کیلومتری مرکز آلودگی**

| | | شمال | | | جنوب | | | شرق | | | غرب | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | گون | گندم | جاز | گون | گندم | جاز | گون | گندم | جاز | گون | گندم | جاز |
| شمال | گندم | ۱/۳۷ | | | | | | | | | | | |
| | جاز | ۰/۴۷ | ۰/۸۲ | | | | | | | | | | |
| | کلزا | ۱/۸۷* | ۳/۱۵** | ۱/۳۷ | | | | | | | | | |
| جنوب | گندم | | | | ۳/۲** | | | | | | | | |
| | جاز | | | | ۰/۴۷ | ۲/۸۶* | | | | | | | |
| | کلزا | | | | ۳/۶۸** | ۰/۷۱ | ۳/۳۷** | | | | | | |
| شرق | گندم | | | | | | | ۳/۲* | | | | | |
| | جاز | | | | | | | ۰/۴۷ | ۲/۸۶* | | | | |
| | کلزا | | | | | | | ۳/۶۸** | ۰/۶۲ | ۳/۳۷** | | | |
| غرب | گندم | | | | | | | | | | ۳/۲۳** | | |
| | جاز | | | | | | | | | | ۰/۴۳ | ۲/۸۷* | |
| | کلزا | | | | | | | | | | ۳/۷۱** | ۰/۷۲ | ۳/۳۷** |

**جدول ۹- آزمون T مقادیر فلز کروم در اندام‌های هوایی گیاهان در شعاع ۵ کیلومتری مرکز آلودگی**

| | | شمال | | | جنوب | | | شرق | | | غرب | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | گون | گندم | جاز | گون | گندم | جاز | گون | گندم | جاز | گون | گندم | جاز |
| شمال | گندم | ۱/۱۶ | | | | | | | | | | | |
| | جاز | ۰/۴۷ | ۰/۵۷ | | | | | | | | | | |
| | کلزا | ۱/۶۸ | ۳/۸۱ | ۱/۱۶ | | | | | | | | | |
| جنوب | گندم | | | | ۳/۲۴** | | | | | | | | |
| | جاز | | | | ۰/۴۲ | ۲/۸۹* | | | | | | | |
| | کلزا | | | | ۳/۷۲** | ۰/۷۴ | ۳/۴** | | | | | | |
| شرق | گندم | | | | | | | ۳/۲۲** | | | | | |
| | جاز | | | | | | | ۰/۴۸ | ۲/۸۸* | | | | |
| | کلزا | | | | | | | ۳/۷** | ۰/۷۲ | ۰/۴۷ | | | |
| غرب | گندم | | | | | | | | | | ۳/۲۲** | | |
| | جاز | | | | | | | | | | ۰/۴۳ | ۲/۸۹* | |
| | کلزا | | | | | | | | | | ۳/۷۱** | ۰/۷۱ | ۳/۴** |

**جدول ۱۰- آزمون T مقادیر فلز نیکل در اندام‌های هوایی گیاهان در شعاع ۵ کیلومتری مرکز آلودگی**

| | | شمال | | | جنوب | | | شرق | | | غرب | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | گون | گندم | جاز | گون | گندم | جاز | گون | گندم | جاز | گون | گندم | جاز |
| شمال | گندم | ۵/۳۳** | | | | | | | | | | | |
| | جاز | ۰/۴۷ | ۵/۶۹** | | | | | | | | | | |
| | کلزا | ۴/۹۴** | ۰/۶۵ | ۵/۳۳** | | | | | | | | | |
| جنوب | گندم | | | | ۳/۱۸** | | | | | | | | |
| | جاز | | | | ۰/۴ | ۲/۸۴* | | | | | | | |
| | کلزا | | | | ۳/۶۵** | ۰/۷۱ | ۳/۳۵* | | | | | | |
| شرق | گندم | | | | | | | ۳/۱۸** | | | | | |
| | جاز | | | | | | | ۰/۴۷ | ۲/۸۴* | | | | |
| | کلزا | | | | | | | ۳/۶۵** | ۰/۷۱ | ۰/۴۸ | | | |
| غرب | گندم | | | | | | | | | | ۳/۱۸** | | |
| | جاز | | | | | | | | | | ۰/۴۵ | ۲/۸۴* | |
| | کلزا | | | | | | | | | | ۳/۶۵** | ۰/۷ | ۳/۳۴** |

**جدول ۱۱- میانگین فلزات سنگین برآورد شده (میکروگرم در کیلوگرم) در ریشه و اندامهای هوایی گون در شعاع ۵ کیلومتری مرکز آلودگی**

| مکان | نیکل | | | | کروم | | | | سرب | | | | کادمیوم | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ریشه | | اندام هوایی | | ریشه | | اندام هوایی | | ریشه | | اندام هوایی | | ریشه | | اندام هوایی | |
| شمال | ٤٨٦٠±٦١٧/١ | a | ٢٣٧٥±٩٩٠/٢ | a | ٧٢٧/١±٣٦٢/٨ | a | ٦٧٠/٦±٢٧٦ | a | ٩٧٨/٦±٥٤٨ | a | ٨٨١/٤±٣٦٥/٢ | a | ١٩٩٥٣±١٠٥٥١ | a | ٤٦٩٥±٢١٠١ | a |
| جنوب | ٢٥٣٧±٣٢٢/١ | b | ١٢٤٠±٥١٦/٩ | a | ٣٧٩/٦±١٨٩/٤ | a | ٣٥٠±١٤٤/١ | a | ٥١٠/٨±٢٨٦ | a | ٤٦٠/١±١٩٠/٧ | a | ١٠٤١٥±٥٥٠٧/٩ | a | ٢٤٥١±١٠٩٦/٧ | a |
| شرق | ٢٩١٦±٣٧٠/٣ | b | ١٤٢٥±٥٩٤/١ | a | ٤٣٦/٣±٢١٧/٧ | a | ٤٠٢/٣±١٦٥/٥ | a | ٥٨٧/١±٣٢٩ | a | ٥٢٨/٩±٢١٩ | a | ١١٩٧٢±٦٣٣٠/٩ | a | ٢٨١٧±١٢٦٠/٦ | a |
| غرب | ٣٨٨٨±٤٩٣/٧ | a | ١٩٠٠±٧٩٢/٢ | a | ٥٨١/٧±٢٩٠/٣ | a | ٥٣٦/٥±٢٢٠/٨ | a | ٧٨٢/٩±٤٣٨ | a | ٧٠٥/١±٢٩٢/٣ | a | ١٥٩٦٢±٨٤٤١/٣ | a | ٣٧٥٦±١٦٨٠/٨ | a |

(اعداد جدول میانگین فلزات سنگین± انحراف معیار می باشند-دسته بندی‌ها با استفاده از آزمون L.S.D در سطح ۱ ٪ انجام شده است)

**جدول ۱۲- میانگین فلزات سنگین برآورد شده (میکروگرم در کیلوگرم) در ریشه و اندام‌های هوایی گندم در شعاع ۵ کیلومتری مرکز آلودگی**

| مکان | نیکل | | | | کروم | | | | سرب | | | | کادمیوم | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ریشه | | اندام هوایی | | ریشه | | اندام هوایی | | ریشه | | اندام هوایی | | ریشه | | اندام هوایی | |
| شمال | ٤٣٧٤±٥٥٥/٣ | a | ٧٢١٠±٢١٨٤/٥ | a | ٩٠٤/٩±٩٩/٣ | a | ٥٤٩/٣±٢٨/٣ | a | ١٣٩٣±٣١٤/٦ | a | ٦٩١±٤٣/٢ | a | ١٢١٩١±٤٨٩٩ | a | ٢٨٦٦±٢٠٥/٢ | a |
| جنوب | ١١٤٢±١٤٤/٩ | b | ٥٥٧/٩±٢٣٢/٦ | b | ١٧٠/٨±٨٥/٢ | b | ١٥٧/٥±٦٤/٨ | b | ٢٢٩/٩±١٢٩ | b | ٢٠٧±٨٥/٩ | b | ٤٦٨٧±٢٤٧٨ | b | ١١٠٣±٤٩٣ | b |
| شرق | ١٣١٢±١٦٦/٦ | b | ٦٤١/٣±٢٦٧/٣ | b | ١٩٦/٣±٩٧/٩ | b | ١٨١/١±٧٤/٥ | b | ٢٦٤/٢±١٤٨ | b | ٢٣٨±٩٨/٥ | b | ٥٣٨٧±٢٨٤٨ | ab | ١٢٦٨±٥٦٧/٣ | b |
| غرب | ١٧٥٠±٢٢٢/١ | b | ٨٥٥/١±٣٥٦/٤ | b | ٢٦١/٨±١٣١ | b | ٢٤١/٤±٩٩/٣ | b | ٣٥٢/٣±١٩٧ | b | ٣١٧±١٣١ | b | ٧١٨٣±٣٧٩٨ | ab | ١٦٩٠±٧٥٦/٤ | b |

(اعداد جدول میانگین فلزات سنگین± انحراف معیار می باشند-دسته بندی‌ها با استفاده از آزمون L.S.D در سطح ۱ ٪ انجام شده است)

**جدول ۱۳- میانگین فلزات سنگین برآورد شده (میکروگرم در کیلوگرم) در ریشه و اندام‌های هوایی جاز در شعاع ۵ کیلومتری مرکز آلودگی**

| مکان | نیکل | | | | کروم | | | | سرب | | | | کادمیوم | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ریشه | | اندام هوایی | | ریشه | | اندام هوایی | | ریشه | | اندام هوایی | | ریشه | | اندام هوایی | |
| شمال | ٤٣٧٤±٥٥٥/٣ | a | ٢١٣٨±٨٩١/٢ | a | ٦٥٤/٤±٣٢٦/٥ | a | ٦٠٣/٥±٢٤٨ | a | ٨٨٠/٧±٤٩٤ | a | ٧٩٣/٣±٣٢٩ | a | ١٧٩٥٨±٩٤٩٧ | a | ٤٢٢٦±١٨٩١ | a |
| جنوب | ٢٢٨٣±٢٨٩/٩ | b | ١١١٦±٤٦٥/٢ | a | ٣٤١/٦±١٧٠/٤ | a | ٣١٥±١٢٩/٦ | a | ٤٥٩/٧±٢٥٨ | a | ٤١٤/١±١٧٢ | a | ٩٣٧٤±٤٩٥٧ | a | ٢٢٠٦±٩٨٧/١ | a |
| شرق | ٢٦٢٤±٣٣٣/٣ | b | ١٢٨٣±٥٣٤/٧ | a | ٣٩٢/٧±١٩٥/٩ | a | ٣٦٢/١±١٤٩ | a | ٥٢٨/٤±٢٩٦ | a | ٤٧٥±١٩٧ | a | ١٠٧٧٥±٥٦٩٨ | a | ٢٥٣٥±١١٣٥ | a |
| غرب | ٣٤٩٩±٤٤٤/٣ | a | ١٧١٠±٧١٢/٩ | a | ٥٢٣/٥±٢٦١/٢ | a | ٤٨٢/٨±١٩٩ | a | ٧٠٤/٦±٣٩٥ | a | ٦٣٤/٦±٢٦٣ | a | ١٤٣٦٦±٧٥٩٧ | a | ٣٣٨١±١٥١٣ | a |

(اعداد جدول میانگین فلزات سنگین± انحراف معیار می باشند-دسته بندی‌ها با استفاده از آزمون L.S.D در سطح ۱ ٪ انجام شده است)

**جدول ١٤- میانگین فلزات سنگین برآورد شده (میکروگرم در کیلوگرم) در ریشه و اندام‌های هوایی کلزا در شعاع ۵ کیلومتری مرکز آلودگی**

| مکان | نیکل | | | | کروم | | | | سرب | | | | کادمیوم | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ریشه | | اندام هوایی | | ریشه | | اندام هوایی | | ریشه | | اندام هوایی | | ریشه | | اندام هوایی | |
| شمال | ٣٩٣٧±٤٩٩/٨ | a | ٦٤٨٩±١٩٦٦ | a | ٨١٤/٤±٨٩ | a | ٢٩٤/٤±٢٦ | a | ١٢٥٤±٢٨٣ | a | ٦٢١/٩±٣٩ | a | ١٠٩٧٢±٤٤١٠ | a | ٢٥٧٩±١٨٤/٧ | a |
| جنوب | ٩٧٢/٧±١٢٣/٥ | c | ٤٧٥/٣±١٩٨/٢ | b | ١٤٥/٥±٧٣ | b | ١٣٤/٢±٥٥ | b | ١٩٥/٨±١١٠ | b | ١٧٦/٤±٧٤ | b | ٣٩٩٣±٢١١٢ | b | ٩٣٧/٩±٤٢١ | b |
| شرق | ١١١٨±١٤١/٩ | c | ٥٤٦/٤±٢٢٧/٧ | b | ١٦٧/٣±٨٤ | b | ١٥٤/٣±٦٣ | b | ٢٢٥/١±١٢٦ | b | ٢٠٢/٨±٨٤ | b | ٤٥٩٠±٢٤٢٧ | ab | ١٠٨٠±٤٨٣/٣ | b |
| غرب | ١٤٩١±١٨٩/٣ | b | ٧٢٨/٥±٣٠٣/٧ | b | ٢٢٣±١١١ | b | ٢٠٥/٧±٨٥ | ab | ٣٠٠/١±١٦٨ | b | ٢٧٠±١١٢ | b | ٦١٢٠±٣٢٣٦ | ab | ١٤٤٠±٦٤٤/٤ | b |

(اعداد جدول میانگین فلزات سنگین± انحراف معیار می باشند-دسته بندی‌ها با استفاده از آزمون L.S.D در سطح ۱ ٪ انجام شده است)

**نتیجه گیری**

با توجه به مسیر غالب بادهای منطقه شهرکرد که از سمت جنوب غربی است، دیده شد که بیشترین تجمع فلزات سنگین در شمال و کمترین آن در جنوب منطقه مذکور بود. غلظت فلز کادمیم بیشتر از فلزات اندازه‌گیری شده در شمال، بیشتر از غرب، بیشتر از شرق، بیشتر از جنوب بود. در اکثر موارد میزان غلظت فلزات سنگین در قسمت ریشه بیشتر از قسمت هوایی بود که در این بین گیاهان مرتعی (گون و جاز) نسبت به گیاهان زراعی (گندم و کلزا) نمود بیشتری داشتند. در بین گیاهان مختلف، غلظت تجمعی فلزات در گون> جاز> گندم > کلزا بود. در دسته‌بندی مقادیر فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی گندم، بیشترین مقادیر در شمال و کمترین آنها در جنوب منطقه آلودگی برآورد شد. بطورکلی در تحقیق حاضر با توجه به استانداردهای موجود، باید اشاره کرد که میزان فلزات سنگین به خصوص کادمیم و نیکل منطقه مورد ارزیابی، هر چند پایین تر از استانداردهای جهانی است، اما دارای تراکم بالایی بوده که باید ضمن کاهش آلودگی حاصل از کارخانجات این منطقه، تدابیری برای کاشت گیاهان مرتعی از جمله گون و جاز که تجمع دهنده مطلوب در این خصوص هستند، اندیشید.

**منابع**


فاضلی م.ش و ا. ریاحی. ۱۳۸۲. جذب و تجمع فلزات سنگین در خاک‌ها و گیاهان حاشیه بزرگراه پر تردد شمال ایران. دومین کنفرانس بین المللی گیاهان و آلودگی محیط زیست، بوپال، هندوستان.

Abdel-Salam, A.A., H.M. Salem, and M.F. Seleiman. 2015. Phytochemical removal of heavy metal-contaminated soils. Heavy metal contamination of soils. Springer International Publishing.

Abollino, O., A. Giacomino and R. Barberis. 2005. Assessment of metal availability in a contaminated soil by sequential extraction. Water. Air. Soil Poll. 137: 315-338.

Athar, R and M. Ahmad. 2002. Heavy metal toxicity: effect on plant growth and metal uptake by wheat and on free living Azotobacter. Water Air Soil Poll. 138: 165–180.

Ayari, F., H. Hamdi., H. Jedidi and R. Kossai. 2010. Heavy metal distribution in soil and plant in municipal solid waste compost amended plots. Int. J. Environ. Sci. Tech. 7(3): 465-472.

Bose, S and A.K. Bhattacharyya. 2008. Heavy metal accumulation in wheat plant grown in soil amended with industrial sludge. Chemosphere. 70:1264–1272.

Bretzel, F and M. Calderisi. 2006. Metal contamination in urban soils of coastal Tuscany (Italy). Environ. Mon. Assess. 118: 319–335.

Chen, T.B., Y.M. Zheng and Q.Z. Tian. 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface of urban parks in Bejing, China. Sci. Tot. Environ. 60: 542-551.

Chhotu, D., D. Jadia, and M.H. Fulekar. 2009. Phytoremediation of heavy metals: Recent techniques. Afr. J. Biotech. 8(6): 921-928.

Davari, M., M. Homaee, and H. Khodaverdiloo. 2010. Modeling phytorememediation of Ni and Cd and from contaminated soils using macroscopic transpiration reduction functions. Water Soil Science. 14: 75-8.

Diaconu, D., R. Diaconu, and T. Navrotescu. 2012. Estimation of heavy metals in medicinal plants and their infusions. Anal. Univ. Ovidius Const. Chimie. 23(1):115-120.

Gonçalves, J.F., F. Goldschmidt and J. Maldaner. 2009. Cadmium and mineral nutrient accumulation in potato plantlets grown under cadmium stress in two different experimental culture conditions. Plant Physiol. Biochemist. 47: 814–821.

Gobran, G.R., W.W. Wenzel and E. Lombi. 1999. Trace elements in the Rhizosphere. Vienna, Austria. Boca Raton London New York Washington, D.C.CRC Press.

Huang, S.S., Q.L. Liao and M. Hua. 2007. Survey of heavy metal pollution and assessment of agricultural soil in Yangzhong district, Jiangsu Province, China. Sci. Total Environ. 67: 2148-2155.

John, R., P. Ahmad, K. Gadgi and S. Sharma. 2009. Heavy metal toxicity: Effect on plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by *Brassica juncea* L. Inter. J. Plant Prod. 3 (3): 65-76.

Karimi, R., M. Chorom, and A. Safe. 2012. Potential of *Vicia faba* and *Brassica arvensis* for phytoextraction of soil contaminated with cadmium, lead and nickel. Afr. J.Agri. Res. 7(22): 3293-3301.

Khatamipour, M., E. Piri., Y. Esmaeilian and A. Tavassoli. 2011. Toxic effect of cadmium on germination, seedling growth and proline content of Milk thistle (*Silybum marianum*). Annals Biol. Res. 2 (5): 527-532.

Li, P., X. Wanga., G. Allinsonb and X. Xiong. 2009. Risk assessment of heavy metals in soil previously irrigated with industrial wastewater in Shenyang, China. J. Hazardous Materials. 161: 516–521.

Marchiol, L., S. Assolari and G. Zerbi. 2004. Phyto extraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multi contaminated soil. Environ. Poll. 132: 21-27.

Mbarki, S., N. Labidi and C. Abdelly. 2008. Contrasting effects of municipal compost on alfalfa growth in clay and in sandy soils: N, P, K, content and heavy metal toxicity. Biores. Tech. 99: 6745–6750.

Moosavi, S.G, and M.J. Seghatoleslami. 2013. Phytoremediation: a review. Advance of Agrcuture Biology. 1: 5-11.

Murifah, S.S.A. 2008. Growth Parameters and Elemental Status of Cucumber (*Cucumus sativus*) Seedlings in Response to Cadmium Accumulation. Inter. J. Agri. Biol. 10(3): 261-266.

Pandey, J and U. Pandey. 2008. Accumulation of heavy metals in dietary vegetables and cultivated soil horizon in organic farming system in relation to atmospheric deposition in a seasonally dry tropical region of India. Environ. Monitoring Assess. 148: 61–74.

Pendias, A.K and H. Pendias. 2000. Trace elements in soils and plants. Boca Raton London New York Washington, D.C.CRC Press.

Peris, M., L. Recatalá., C. Micó and R. Sánchez. 2008. Increasing the Knowledge of Heavy Metal Contents and Sources in Agricultural Soils of the European Mediterranean Region. Water. Air Soil Pollution. 192: 25–37.

Seregin, I.V and A.D. Kozhevnikova. 2006. Physiological Role of Nickel and Its Toxic Effects on Higher Plants. Russian J. Plant Physiol. 53(2): 257–277.

Sahmurova, A., M. Celik, and S. Allahverdiyev. 2010. Determination of the accumulator plants in Kucukcekmece Lake (Istanbul). Afr. J. Biotech. 6545-6551.

Shanker, A.K., C. Cervantes, H.L. Tavera, and S.A. Vudainayagam. 2005. Chromium toxicity in plants. Environ. Inter. 31: 739-753.

Shi, G and Q. Cai. 2009. Cadmium tolerance and accumulation in eight potential energy crops. Biotech. Adv. 27: 555–561.

Su, D.C., J.W.C. Wong and H. Jagadeesan. 2004. Implications of rhizosphere heavy metals and nutrients for the growth of alfalfa in sludge amended soil. Chemosphere. 56:957-965.

Taghipour, H., M. Mosaferi., F. Armanfar and S.J. Gaemmagami. 2013. Heavy metals pollution in the soils of suburban areas in big cities: a case study. Int. J. Environ. Sci. Tech. 10: 243–250.

Videa, J.R.P., J.L.G. Torresdey and G. Carrillo, G. 2002. Effect of mixed cadmium, copper, nickel and zinc at different pHs upon alfalfa growth and heavy metal uptake. Environ. Poll. 119: 291–301.

Videa, J.R.P., G.D.L. Rosa, J.H. Gonzalez and J.L.G. Torresdey. 2004. Effects of the growth stage on the heavy metal tolerance of alfalfa plants. Advance Environ. Res. 8: 679–685.

Videa, J.R.P., M.L. Lopez and J.G. Torresdey. 2009. The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain. Inter. J. Biochemist. Cell Biol. 41: 1665–1677.

Vinı´cius Alves Gurgel, L and L. Fre´de´ric Gil. 2009. Adsorption of Cu (II), Cd(II) and Pb(II) from aqueous single metal solutions by succinylated twice-mercerized sugarcane bagasse functionalized with triethylenetetramine. Water Res. 43: 4479-4488.

Yadav, S.K. 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. South Afr. J. Bot. 76: 167–179.

Yang, Z.H.A.O., P.A.N. Yuan-Zhi, and C.A.I. Lei. 2012. Pilea cadierei Gagnep. Guill's Growth and Accumulation under Single and Combined Pollution of Cd and Pb. Journal of Agro-Environment Science. 1: 10-11.

Zhao, Y.D., Y.Z. Pan, B.Y. Liu, and L. Cai. 2012. Pilea cadierei Gagnep. et Guill's growth and accumulation under single and combined pollution of Cd and Pb. J. Agro.Environ. Sci. 31(1): 48-53.

Zhang, H., Q. Guo, J. Yang, and J. Ma. 2014. Cadmium accumulation and tolerance of two castor cultivars in relation to antioxidant systems. J. Environ. Sci. 26(10): 2048-2055.

Zheljazkov, V.D., E.A. Jeliazkova, N. Kovacheva and A. Dzhurmanski. 2008. Metal uptake by medicinal plant species grown in soils contaminated by a smelter. Environ. Exp. Bot. 64:207–216.

# Study of the heavy metals amounts in the soils and crops around the region of Shahr-e-Kord

M. Yadegari[1]

Received: 2016-6-21 Accepted: 2018-11-11

**Abstract**

To study of the amounts of heavy metals in Shahr-e-Kord industrial town, the experiment was conducted during 2014 and 2015. Although in most cases plants which grow in agricultural soils including heavy metals, they keep more metals in their tissues. However, the main objective of implementing and investigating this research was to clarify the amount of absorption of heavy metals such as Nickel (Ni), Plumb (Pb), Chromium (Cr) and Cadmium (Cd) in agronomy crops inclusive: Wheat (*Triticum aestivum*), Canola (*Brassica* napus), Sojak (*Scariola orientalis*), Tragacanth (*Astragalus* sp) surroundings of Shahr-e-Kord industrial industrial-town. Therefore after the accomplishment of the required studies (climatic and edaphic), sample stations have been accidentally chosen at the distance of 100, 300, 600, 1000, 2000, 3000 and 5000 meters from the North, South, East and West of research area. Sampling of aerial, land construction and soils existed in this region has been done. There was a significant difference between amount of heavy metals in Range plants and Agronomy plants. Analyzing the soils from sample stations indicated that the maximum concentration existed among metals regularly related to Ni (1926 µg/Kg), Cd (504 µg/Kg), Pb (122 µg/Kg) & Cr (78 µg/Kg). However the concentration of heavy metals especially Cd and Ni was leaser than global standard but had high density in this region, therefore to decrease of pollution must contemplate for planting of Tragacanth and Sojak plants as range plants that accumulate of heavy metals.

**Key words**: Agronomy plants, pollution, range plant, soil

1- Department of Agronomy and Medicinal Plants, Faculty of Agriculture, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran