

بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین (نیکل، کادمیوم، سرب و روی) در محدوده خاک‌های اطراف کارخانه سرب و روی استان زنجان و پهنه بندی آن با استفاده از GIS

محمدجعفر سلطانی^{۱*}، مجید حسینی^۲، علی عباسی^۳

*نویسنده مسئول: مربی پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (soheilsoltani@yahoo.com)

۲- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

۳- دانش آموخته ارشد محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی علوم و تحقیقات

چکیده

فلزات سنگین اجزای طبیعی تشکیل دهنده پوسته زمین هستند ولی فعالیت‌های انسان، سیکل ژئوشیمی و بیوشیمیایی تعادل این فلزات را به هم‌زده و باعث انتشار آنها در محیط زیست می‌شود. وجود منابع آلاینده طبیعی و مصنوعی و عوامل موثر بر انتشار آلودگی، مبنای تمام آلودگی‌های زیست محیطی به این نوع فلزات می‌باشد. در این تحقیق تلاش شده است تا با نمونه برداری از خاکهای اطراف شهرک تخصصی سرب و روی زنجان غلظت فلزات سنگین نیکل، سرب، کادمیوم و روی را بدست آورد. لذا پس از نمونه برداری و تعیین میزان غلظت آلاینده‌های مذکور، به تحلیل اطلاعات حاصله پرداخته شد. به منظور برآورد میزان آلودگی خاک، غلظت کل و قابل جذب فلزات سنگین در ۱۴۴ نمونه تهیه شده از عمق ۳۰-۰ سانتی متری خاکهای اطراف شهرک تخصصی سرب و روی شهرستان زنجان اندازه‌گیری شد. سپس شاخص‌های ارزیابی میزان آلودگی (زمین انباشتگی، فاکتور غنی سازی و نسبت قابل جذب) محاسبه و نقشه‌های پراکنش فلزات سنگین با استفاده از نرم افزار GIS تهیه شد. مقادیر میانه غلظت کل فلزات (با عصاره گیر تیزاب سلطانی) برای کادمیم، نیکل، سرب و روی به ترتیب برابر ۰/۵، ۰/۴، ۱۴/۳ و ۸۳/۵ و مقادیر میانه قابل جذب (استخراج شده با (DTPA) آنها به ترتیب برابر ۰/۱، ۰/۱۰۵، ۱/۶ و ۳/۲ میلی گرم بر کیلوگرم خاک اندازه‌گیری شد. صدک نودم شاخص زمین انباشتگی نشان داد که حداقل ۱۰ درصد نمونه‌ها آلوده به فلزات روی، سرب و کادمیم هستند. از نظر شاخص فاکتور غنی سازی، آلودگی با منشأ دراز مدت مشاهده نشد. بالا بودن نسبت قابل جذب فلزات سرب و روی نشان داد که منشأ آلودگی آنها یکسان بوده و از منابع جدید آلاینده به خاکها وارد شده اند. تمام شاخص‌های ارزیابی آلودگی با ماده آلی خاکها همبستگی مثبت (به جز نسبت قابل جذب کادمیم) داشتند. بنابراین ماده آلی عامل اصلی کنترل کننده این شاخص‌ها شناخته شد. شاخصهای زمین انباشتگی روی، کادمیم و سرب و نسبتهای قابل جذب روی و سرب نیز با اسیدیته خاکها منفی نشان دادند. در نتیجه در فصولی از سال قابلیت جذب عناصر سنگین در خاک افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، شاخص آلودگی، استان زنجان، فاکتور غنی سازی، نسبت قابل جذب.

مقدمه

یکی از عوارض صنعتی شدن جوامع، مصرف مواد شیمیایی مختلف می باشد که عمدتاً بسیار خطرناک و کشنده هستند. فلزات سنگین نیز جزو این دسته از عوامل محسوب می شوند. فلزات سنگین سرب و کادمیوم جزو آن دسته از عناصری هستند که وجودشان در مواد غذایی و محیط به عنوان عوامل مخاطره انگیز مورد توجه زیاد پژوهشگران قرار گرفته است. به علت فعالیت های بشر و بی توجهی به محیط زیست همواره مکانهای آلوده به مواد آلی یا فلزات سنگین وجود دارند. فعالیت های صنعتی نظیر آبرکاری و معدنکاری و ... مقادیری از فلزات سنگین را وارد محیط بالاخص خاک می نماید، هر چند ممکن است این مقادیر ناچیز باشند اما چون در خاکمانده و سرنوشتی مشابه مواد آلی (تخریب بیولوژیکی و جذب به ذرات خاک و ...) نخواهند داشت به تدریج در خاک و محیط زیست انباشته شده و از مقادیر حداقل مجاز بیشتر می شوند.

استان زنجان با داشتن حدود ۱۷۰۰ کارخانه و کارگاه صنعتی یکی از قطب های مهم صنعتی کشور محسوب میگردد و از طرفی خاصیت گوناگون زمین شناسی استان نظیر پدیده های ماگماتیسیم، متامورفیسیم و شرایط ویژه حوضه های رسوبی سبب گردیده تا در استان مجموعه ای غنی از ذخائر معدنی فلزی و غیرفلزی وجود داشته باشد. با عنایت به موارد مطرح شده لزوم بررسی و شناسایی منابع آلوده کننده فلزات سنگین جهت مدیریت و اجرای برنامه های پایش و پاکسازی در استان نمود بیشتری پیدا می کند.

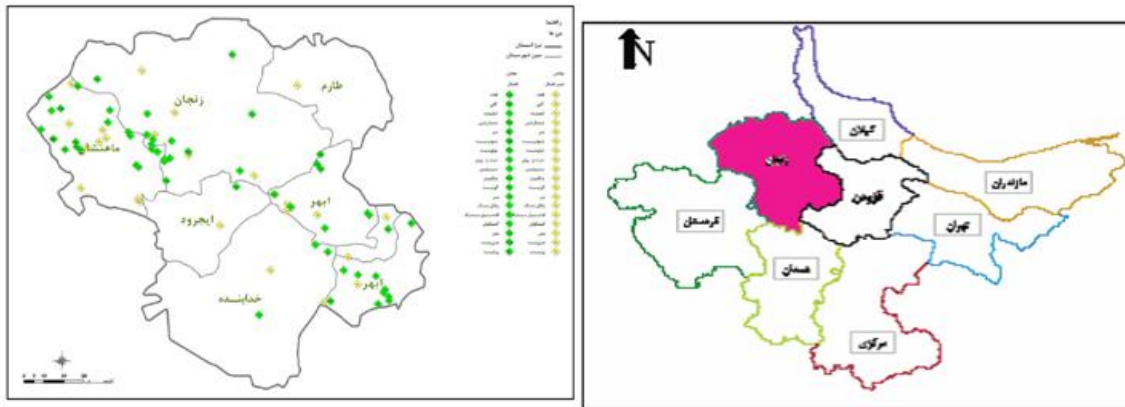
اهمیت و ضرورت تحقیق

دفع فلزات سنگین طی فعالیت های انسانی، آلودگی بسیاری از خاکها را در سطح جهان به همراه داشته است؛ بطوریکه شدت آلودگی در این خاکها یا بیش از حد استاندارد بوده و یا به زودی به آن حد خواهد رسید. ورود روز افزون مواد مختلف به خاک و نیز اهمیت منطقه غیر اشباع خاک به عنوان یکی از اجزای اصلی چرخه هیدرولوژی و نقش مؤثر آن در اکثر فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی از قبیل نفوذ، ذخیره رطوبت، جذب آب و املاح توسط گیاهان، رسوب و تبادل فلزات با خاک، تغذیه سفره های آب زیرزمینی و فرسایش از دیرباز سبب جلب توجه و نگرانی محققین زیادی شده است. به طوری که امروزه مباحث جذب و انتقال املاح، بویژه فلزات سنگین در خاک از اهمیت ویژه ای برخوردار است. ردیابی یک فلز سنگین در خاک عملاً کار بسیار مشکل، وقت گیر و پرهزینه است (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۱). زیرا مقداری از آن به شکل های بسیار کم محلول درآمده و رسوب می کنند، مقداری جذب کانی ها و مواد آلی خاک می شوند، بخشی در خاک تحت تأثیر فرآیندهای شیمیایی یا بیولوژیکی تجزیه شده، بخشی در خاک تولید شده و یا از فرمی به فرم دیگر در می آیند و بخشی نیز به صورت محلول در خاک موجود بوده و می توانند همراه آب در خاک انتقال یابند. هدف کلی تحقیق، تعیین غلظت فلزات سنگین (نیکل، کادمیوم، سرب و روی) در خاک های سطحی محدوده کارخانه سرب روی زنجان و ارائه راهکارهای مدیریتی است.

منطقه مورد مطالعه

وجود معدن انگوران بزرگترین معدن سرب و روی خاورمیانه در استان زنجان باعث شده است تا بیشتر کارخانه تولیدی کشور در این استان استقرار یابند. کارخانه سرب و روی زنجان به عنوان بزرگترین مرکز تجمع این صنایع در کشور محسوب می شود. فلزهای سنگین، موضوع این مطالعه، مهمترین آلودگی این کارخانه می باشد. مجتمع کارخانجات شرکت ملی سرب و روی ایران در ۱۵ کیلومتری جاده قدیم زنجان- تهران و در منطقه دیزج آباد قرار دارد. این شرکت با سرمایه اولیه بانک صنعت و معدن در سال ۱۳۶۰ و به منظور تولید شمش سرب و روی تأسیس شد و شامل کارخانه های فرآوری و استحصال سرب، روی و سولفات روی است. منطقه مورد مطالعه بین ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. براساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهرستان زنجان در یک دوره ۲۰ ساله (۱۳۶۸-۸۸) متوسط بارندگی در منطقه ۳۰۹ میلی متر و حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۳۰ - و ۴۰ درجه سانتی گراد است. میانگین ارتفاع استان زنجان بیش از ۱۵۰۰ متر از سطح دریا است. پست ترین نقطه در داخل استان با ارتفاع ۳۰۰ متر بالاتر از سطح دریا در منطقه طارم و بلندترین قله آن با ۲۹۰۰ متر در ارتفاعات شهرستان ماهنشان قرار دارد. مساحت استان ۲۲۱۶۴ کیلومتر مربع است که ۱/۳۴ درصد مساحت کل

کشور را تشکیل می دهد. از نظر توپوگرافی شهرستان زنجان منطقه کوهستانی است که به صورت فلات مرتفعی خودنمایی می کند و در اثر تجزیه رودخانه ها، جلگه های حاصلخیز مستقلی در این منطقه تشکیل شده است. شیب عمومی شهر از شمال به جنوب و در حدود ۲ درصد می باشد (افشاری و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه

شکل ۱: نقشه پراکندگی معادن استان زنجان

پیشینه تحقیق

شهبازی و همکاران (۱۳۹۱)، بررسی آلودگی فلزات سنگین خاک با استفاده از شاخص های فاکتور آلودگی، زمین انباشتگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی در شهرستان نهاوند انجام دادند و نتایج نشان داد که میانگین غلظت فلزات سنگین مس، نیکل و روی در منطقه مورد مطالعه کمتر از حداکثر غلظت قابل قبول در زمین های کشاورزی برای سایر کشورها بود. اما میانگین غلظت کروم در منطقه بیشتر از حداکثر غلظت قابل قبول برای کشورهای لهستان، کانادا و استرالیا بود، می توان گفت منطقه از نظر فلز کروم تا حدودی آلوده می باشد. مقادیر شاخص زمین انباشتگی در تمامی نمونه ها بین ۰ تا ۱ بود که نشا ندهنده غیر آلوده تا کم آلوده می باشد، در نتیجه غلظت فلزات سنگین در خاک به منشأ طبیعی آنها ارتباط داده شد. نتایج فاکتور آلودگی نشان داد اکثر نمونه ها در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار دارند.

طاهری و همکاران (۱۳۹۴) غلظت کل و قابل جذب فلزات سنگین و ارزیابی شاخص های آلودگی خاکهای شهرستان زنجان را بررسی کردند و نتایج نشان داد که فلزات سنگین بطور مشابه در اطراف شهرک تخصصی روی زنجان، کارخانه کالسیمین دندی و به خصوص اراضی زراعی آبی حاشیه زنجان رود که محل کشت و کار سبزیجات و باغ های میوه می باشد، قابل توجه است.

نوریان و همکاران (۱۳۹۳)، مطالعه ای درباره پراکنش آلودگی خاک به عناصر سنگین با استفاده از زمین آمار و خوشه بندی فازی در منطقه دیزج آباد، استان زنجان انجام دادند و نتایج آنها نشان داد که نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که پراکنش مکانی عناصر سرب، روی و کادمیم در منطقه روند تقریباً مشابهی داشته و توزیع غلظت عناصر سنگین در منطقه الگوی تصادفی نداشته و دارای همبستگی مکانی هستند. براساس نتایج به دست آمده مدل نمایی بهترین مدل برازش داده شده بر غلظت کل این عناصر است. دامنه تأثیر تغییرنماها از ۱۰۲۶ متر تا ۱۱۱۳ متر متغیر بود، که این فاصله به مراتب بیش تر از فاصله نمونه برداری در منطقه بوده و نشان می دهد فاصله نمونه برداری برایشان دادن تغییرات مکانی عناصر مورد بررسی مناسب بوده است. نتایج به دست آمده از خوشه بندی فازی در نقاط نمونه برداری شده ضمن ارایه ۷ کلاس پیوسته، نشان داد که شدت آلودگی به فلزات سنگین در خاک های منطقه بالا است. براساس نقشه های پراکنش مکانی عناصر سنگین یکی از عوامل اصلی انتشار و ورود فلزات سنگین در محل مورد مطالعه وجود کارخانه های سرب و روی در منطقه است. به طوری که میزان آلودگی در اطراف کارخانه بالا بوده و با افزایش فاصله کاهش می یابد.

عباسی انارکلی و همکاران (۱۳۹۴) مطالعه ای درباره بررسی تجمع فلزات سنگین نیکل، کادمیوم، سرب در خاک و گیاهان محدود هصنعتی پتروشیمی سازند انجام دادند و نتایج نشان داد که در نمونه برداری های انجام شده در خاک و گیاهان برای عناصر کادمیوم و سرب مبین عدم وجود اختلاف معنی دارد در ایستگاه های مختلف است و برای عنصر نیکل نشان دهنده وجود اختلاف معنی

دار در ایستگاه‌های مختلف می‌باشد. نتایج آنالیز واریانس دو طرفه نیزمبین وجود اختلاف معنی دار بین غلظت نیکل و کادمیوم در بین ماهها است.

علی افشاری و همکاران (۱۳۹۳)، در ارزیابی آلودگی فلزات سنگین با استفاده از فاکتور آلودگی در خاک اراضی با کاربریهای مختلف در بخش مرکزی استان زنجان مطالعاتی انجام شد که در این مطالعه آلودگی برخی از فلزات سنگین در منطقهای به وسعت ۲۰۰۰ کیلومترمربع که از اهمیت کشاورزی و صنعتی و سکونتی زیادی برخوردار است، مورد ارزیابی قرار گرفته است. به منظور ارزیابی تعداد ۲۴۱ نمونه خاک سطحی بر اساس روش مند آشیانه‌های از عمق صفر تا ۱۰ سانتیمتری کاربریهای کشاورزی، مرتع و شهری برداشت شد. غلظت کل فلزات سنگین با اسید نیتریک پنج نرمال، توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شد.

چن و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه بررسی منشا عناصر سنگین در اراضی مسکونی‌هانگ ژوا با استفاده از تلفیق آمار چندمتغیره و زمین آمار بین غلظت عناصر سنگینی که توسط فعالیت‌های صنعتی، فاکتورهای طبیعی و خصوصیات خاک کنترل می شوند، تفاوت قائل شدند.

فایز و همکاران (۲۰۰۹) میزان آلودگی خاک در اطراف یکی از بزرگراه‌های پر رفت و آمد را در اسلام آباد پاکستان براساس مطالعات زمین آماری مورد سنجش قرار دادند. آن‌ها با تعیین غلظت فلزات سنگین کادمیم، سرب، روی، نیکل و مس نتیجه گرفتند که آلودگی خاک‌ها در اطراف این بزرگراه برای عناصر بیان شده از حد متعادل بالاتر بوده و در فواصل نزدیک تر میزان آلودگی بیش تر از فواصل دورتر است.

لین و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه تغییرات زمین آماری عناصر آلوده در خاک‌های کشاورزی مناطق مختلف کشور تایوان نشان دادند که کاربرد کودهای شیمیایی و فعالیت‌های کارخانجات صنعتی استخراج کننده این مواد بیش ترین تأثیر را در افزودن این ترکیبات در اقل‌های سطحی خاک این مناطق دارند.

یالچین^۱ (۲۰۱۶) مطالعه‌ای درباره تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی غلظت کل نیکل و مس در خاک‌های سطحی انجام داد و نتایج نشان داد که برای عنصر منگنز بیشتر اراضی در محدوده کفایت قرار داشتند و برای عنصر مس مشخص شد که حدود ۹۲ درصد در کلاس زیاد قرار داشته و حدود ۸ درصد از محدوده مورد مطالعه دچار آلودگی بود. برای عناصر روی و آهن نه تنها آلودگی مشاهده نشد بلکه به ترتیب حدود ۹۶ و ۸۰ درصد دچار کمبود بود.

سنگوپتا^۲ (۲۰۱۷) جداسازی فلزات سنگین از محیط زیست انجام داد. بررسی نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد که جهت انجام اقدامات کنترلی، کاهش و پایش منابع آلاینده فلزات سنگین بهتر است رویکرد اولویتهای محوری زیر پیاده شود: در بخش منابع آلاینده مصنوعی، شروع اقدامات کنترلی باید از کارخانجات تولید مصالح ساختمانی و کشاورزی باشد. از نتایج سنجش نمونه‌های اخذ شده از منابع طبیعی نیز برمی آید که کلیه منابع آلاینده طبیعی در درجه خطرناک آلودگی قرار داشته و لذا باید در مرحله انتقال توسط آب و رودخانه (منبع) و در مرحله جدایش از مبدا (منشا)، کنترل‌های جامع و فراگیر پیشگیرانه صورت گیرد تا عناصر از مبدا خود حرکت نکرده و نقش آلاینده را نداشته باشند.

روش تحقیق:

ابتدا با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، اسناد و مدارک موجود اطلاعاتی درباره آلودگی خاک‌های منطقه زنجان به آلوده کننده‌های فلزات سنگین بدست آورده، همچنین میزان انتشار این فلزات سنگین به خاک‌های اطراف کارخانه سرب و روی زنجان و نحوه عملکرد زیست محیطی این شرکت را مورد بررسی قرار میدهم. سپس با روش میدانی میزان آلودگی خاک‌های اطراف کارخانه به فلزات سنگین را با انجام نمونه برداری و روش آزمایشگاهی تا شعاع ۵ کیلومتری کارخانه سرب و روی زنجان را می‌سنجیم.

باتوجه به مطالعات کلی انجام گرفته در اطراف کارخانه سرب روی زنجان و همچنین مشاهدات عموم گواهی بر آن است که آلودگی فلزات سنگین در منطقه جدی بوده و نیاز به بررسی دارد. این مطالعه از نوع کاربردی و روش مطالعه تجربی (آزمایشگاهی) می‌باشد.

¹ Yalchin
² Sengupta

برای انجام نمونه برداری محل هر نمونه با استفاده از دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS) براساس یک شبکه بندی منظم تعیین می گردد، باتوجه به هدف بررسی حاضر که براساس دستیابی به نقشه‌های کریجینگ تدوین شده است انجام گردید. سپس عملیات نمونه برداری انجام شد. نمونه خاک از زمین‌های اطراف صنایع سرب روی زنجان از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری به منظور انجام آنالیزهای آزمایشگاهی جمع آوری گردید. و در نهایت آنالیز نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی یا ICP در سه تکرار انجام شد (کسراییان و همکاران ۱۳۹۲).

برای نمونه برداری در هر نقطه، در منطقه ای به شعاع ۵ متر، چند نمونه تصادفی از عمق ۰-۳۰ سانتی متری خاک برداشته شد و پس از مخلوط کردن آنها نهایتاً یک نمونه ۱ کیلوگرمی تهیه و در آزمایشگاه در سایه هوا خشک گردیده و سپس از الک ۲ میلی متری عبور داده شد. مقدار ماده آلی و بافت خاک‌ها به ترتیب به روش والکلی و بلک و هیدرومتر بویوکاس، اسیدیتته توسط الکتروود شیشه‌ای/ کالومل در گل اشباع، هدایت الکتریکی توسط الکتروود دستگاه شوری سنج در عصاره اشباع، تعیین گردید. مقدار کل و قابل جذب فلزات نیکل و کادمیوم به روش هضم با اسید کلریدریک و اسید نیتریک تعیین شد. پس از صاف کردن نمونه‌ها غلظت فلزات در محلول صاف شده بوسیله دستگاه جذب اتمی تعیین گردید.

بعد از اندازه‌گیری این پارامترها داده‌ها توسط نرم افزار SPSS و Excel مورد تجزیه و تحلیل قرار داده، سپس داده‌ها را در محیط نرم افزار GIS وارد کرده و نحوه پراکنش فلزات سنگین در اطراف کارخانه را به دست می آید. در این پژوهش علاوه بر اینکه نوع و مقدار غلظت فلزات سنگین در این منطقه شناسایی می شود، نحوه پراکنش فلزات سنگین هم تشخیص داده می شود. همچنین پراکنش ناموزون فلزات سنگین در این منطقه مشخص می گردد.

پارامترهای (متغیرها) مورد اندازه گیری پژوهش شامل بافت خاک (رسی، لومی و شنی)، ماده آلی خاک، EC، Ph، نیکل، کادمیوم بوده و شاخص‌های آلودگی خاک، شاخص زمین انباشتگی (Igeo)، شاخص زمین انباشتگی توسط مولر پیشنهاد شد (جدول ۱) و در مطالعات بررسی آلودگی خاک توسط فلزات سنگین در سالهای اخیر، مورد استفاده قرار گرفته است (جدول ۲). برای محاسبه شاخص Igeo از فرمول (۱) استفاده می گردد (Massas et al., 2013):

$$\text{Igeo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5 B_n} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

پارامترهای این فرمول عبارتند از: C_n غلظت کل عنصر در نمونه خاک، B_n غلظت عنصر در پوسته زمین
فاکتور غنی سازی فلز (EF) براساس روش ماساس محاسبه و از فرمول (۲) برای محاسبه آن استفاده می شود (Loska et al., 2004):

$$\text{EF} = \frac{C_{it}}{A_{it}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این معادله، C_{it} غلظت کل فلز در نمونه آم، A_{it} نیز مقدار نشانه A فلز در سیستم راهنمای هلند (وزارت مسکن هلند، برنامه فیزیکی و محیط زیست) می باشد که برای آمین نمونه توسط مقدار استاندارد Atv سیستم براساس فرمول (۳) اصلاح شده است:

$$A_{it} = Atv \times \left(\frac{a + (b \times \%clay) + (c \times \%organic\ matter)}{a + (b \times 25) + (c \times 10)} \right)$$

Atv مقدار استاندارد A فلز در سیستم راهنمای هلند، $\%clay$ درصد رس (در نمونه‌های الک شده ۲ میلی متر) خاک، $\%organic\ matter$ درصد ماده آلی (وزنی) در خاک، a ، b و c ضرایب وابسته به فلز برای هر عنصر. مقدار شاخص EF بزرگتر از ۱، به عنوان غنی سازی مثبت احتمالی برای فلز تفسیر می شود.

نسبت قابل جذب (AR)، برای محاسبه شاخص نسبت قابل جذب استفاده شد (Lu et al., 2005):

$$AR = \left(\frac{C_{ia}}{C_{it}} \right) \times 10^2$$

در این معادله، C_{ia} غلظت قابل جذب فلز در نمونه آم، C_{it} غلظت کل فلز در نمونه آم

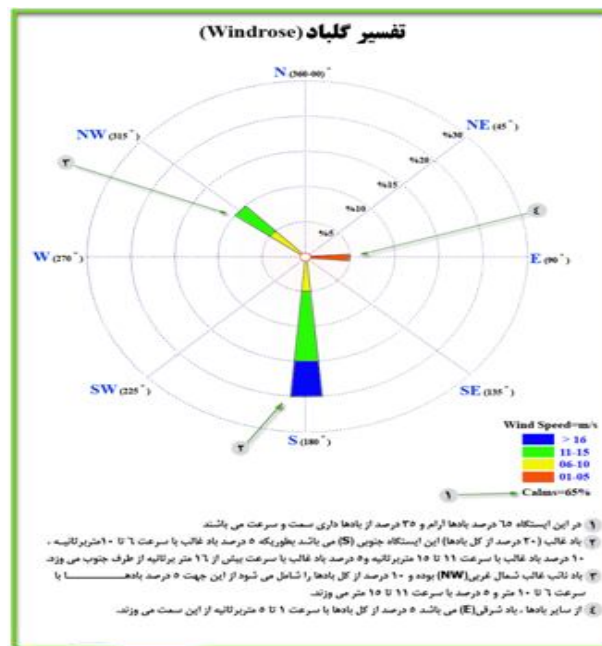
جدول ۱: طبقات شاخص زمین انباشتگی

شاخص زمین انباشتگی	درجه آلودگی
<۰	غیر آلوده
۱-۰	غیر آلوده تا کمی آلوده
۲-۱	کمی آلوده
۳-۲	کمی آلوده تا خیلی آلوده
۴-۳	خیلی آلوده
۵-۴	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده
>۵	شدیداً آلوده

جدول ۲: طبقه بندی مقادیر فاکتور آلودگی (Bhuiyana et al, 2010)

مقدار فاکتور	درجه آلودگی
۰	بدون آلودگی
۱	بدون آلودگی تا آلودگی متوسط
۲	آلودگی متوسط
۳	آلودگی متوسط تا قوی
۴	آلودگی قوی
۴۵	آلودگی قوی تا خیلی قوی
۶	آلودگی خیلی قوی

روش‌ها و ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها، توسط نرم افزار SPSS ، Excel و نرم افزار ArcGis انجام شد. جهت تهیه نقشه مربوط به جذب عناصر سنگین در خاک در ناحیه مورد مطالعه، ابتدا نقشه‌های تیپ خاک و گلباد منطقه مورد مطالعه تعیین گردید.

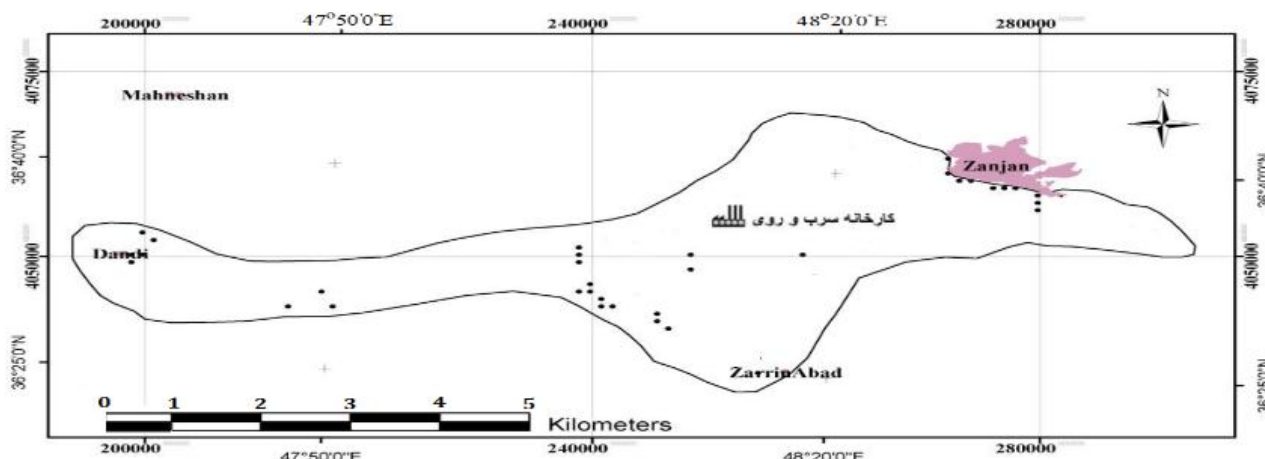


تفسیری از گلباد منطقه مورد مطالعه:

با توجه به شکل، مشخص می گردد که ۶۵ درصد بادها آرام و ۳۵ درصد دارای سرعت متوسط و بالا می باشد. ۲۰ درصد از بادها بصورت غالب بوده از سمت شمال غربی به سمت شرق می وزد. برخی از بادهای غالب از سمت جنوب می وزد. ترکیبی از ورزش این بادها باعث شده تا آلودگی های ناشی فعالیت کارخانه سرب و روی به داخل روستاهای اطراف کارخانه سرایت کرده و خاک و آب منطقه را به فلزات سنگین آلوده کند.

نتایج:

استان زنجان با دارا بودن معادن بزرگ نظیر سرب و روی به ویژه در منطقه انگوران اهمیت خاصی در این زمینه و در کشور دارد. در استان زنجان ۲۸ کارخانه تولید شمش سرب و روی در نزدیکی شهر زنجان فعالیت می کنند. و بخش عمده پسماندهای تولیدی که عمدتاً به صورت ترکیبات جامد هستند در نقاط خاصی در اطراف کارخانه ها دپو می شوند. نتایج مطالعات نشان می دهد تجمع فلزات سنگین در گیاهان زراعی و سبزیجات کاشته در اراضی آلوده به فلزات سنگین رخ می دهد. در این پژوهش نقاط نمونه برداری شده در اطراف کارخانه سرب و روی زنجان مشخص شده و سپس نمونه های برداشته شده آنالیز گردیده و غلظت نهایی آنها تحلیل شده و روی نقشه نمایان شد. (شکل ۳)



شکل ۳: موقعیت کارخانه سرب و روی، شهر زنجان و نقاط نمونه برداری در شعاع ۵ کیلومتری کارخانه

جدول ۳: خلاصه آماری خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاکها

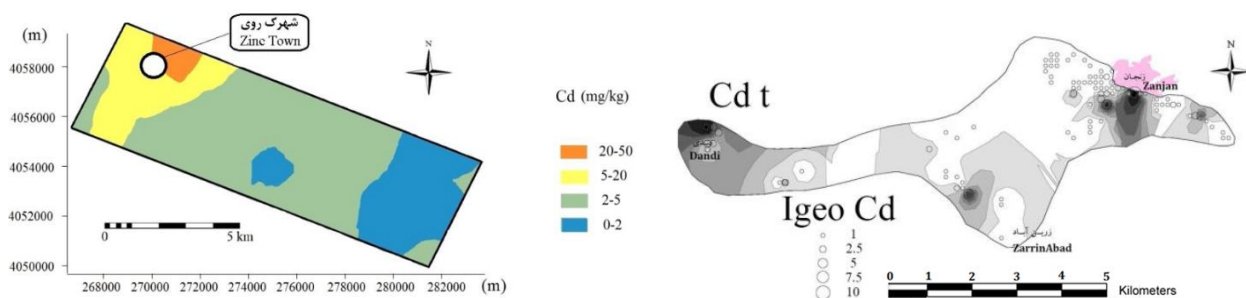
درصد ترکیبات خاک			PH	E.C (ds/m)	مشخصات نمونه
Sand	Silt	Clay %			
۲۷	۳۴	۳۹	۷/۳۷	۱/۳۴	نمونه شاهد
۵۷	۲۶	۱۷	۷/۶۳	۰/۸۸	نمونه ۱
۶۷	۱۶	۱۷	۷/۶۴	۱/۲۶	نمونه ۲
۵۵	۲۶	۱۹	۷/۴۸	۱/۳۶	نمونه ۳
۵۸	۲۱	۲۱	۵۶۷	۲/۳۴	نمونه ۴
۶۷	۲۱	۱۲	۷/۳۷	۲/۶۷	نمونه ۵
۶۳	۲۲	۱۵	۷/۵۰	۲/۸۰	نمونه ۶
۶۰	۲۶	۱۴	۷/۴۷	۲/۶۰	نمونه ۷
۵۷	۲۷	۱۶	۷/۵۲	۲/۱۷	نمونه ۸

جدول ۴: خلاصه آماری مقادیر غلظت کل و قابل جذب فلزات (میلی گرم بر کیلوگرم)

	Zn	Pb	Ni	Cd	Zn	Pb	Ni	Cd
	غلظت قابل جذب (Available)				غلظت کل (Total)			
متوسط Average	۱۰/۰	۴/۴	۰/۱	۰/۲	۱۶۳/۳	۳۹/۱	۰/۷	۱/۳
میانه Median	۳/۲	۱/۶	۰/۰۵	۰/۱	۸۲/۵	۱۴/۳	۰/۴	۰/۵
حداقل Min.	۰/۲	۰/۴	۰/۰	۰/۰	۳۷/۲	۵/۱	۰/۴	۰/۷
حداکثر Max.	۳۶۵	۸۲	۵/۷	۸/۸	۵۴۵۳۰	۹۵۲۱	۱۹/۱	۳۷/۴
صدک دهم 10 th percentile	۰/۷	۰/۵	۰/۰	۰/۰	۸۲/۸	۹	۰/۵	۰/۷
صدک نودم 90 th percentile	۱۶/۱	۷	۰/۱۴	۰/۲	۲۰۰/۱	۶۰/۲	۰/۶	۱
انحراف معیار SD	۳۲/۸	۱۰/۵	۰/۶	۱	۴۸۰/۳	۱۰۴/۴	۲/۳	۳/۷
ضریب تغییرات CV	۳۳۲/۳	۲۴۱/۹	۲۳۵/۲	۴۱۹/۶	۲۹۸/۱	۲۷۰/۲	۱۹۴/۸	۳۰۴/۶

جدول ۵: مقادیر استفاده شده در محاسبه شاخصها و ضرایب

پارامتر	Zn	Ni	Cd	Pb
Bn ⁺	۶۰	۰/۱۵	۰/۲	۱۴
At ⁺⁺	۱۴۰	۰/۵	۰/۸	۸۵
a ⁺⁺	۵۰	۰/۲	۰/۴	۵۰
b ⁺⁺	۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۱
c ⁺⁺	۱/۵	۰/۰۱۳	۰/۰۲۱	۱



شکل ۴: پراکنش غلظت کل و شاخص Igeo در خاکها

در بین شاخصهای آماری نسبت قابل جذب (AR) عناصر سنگین، عنصر سرب بیشترین نسبت قابل جذب را در بین سایر عناصر دارد. این رویکرد نشان می‌دهد که میزان گستردگی عنصر سرب خیلی زیاد بوده و درصد انتشار آن از کارخانه سرب و روی زنجان بالا

می باشد. شاخص زمین انباشتگی نشان داد که عنصر کادمیوم دارای آلودگی متوسطی می باشد و حداکثر آلودگی آن در خاک $10/3 = I_{geo}$ می باشد (جدول ۶). شاخص غلظت قابل جذب نشان می دهد که عنصر کادمیوم نیز دارای بیشترین غلظت قابل جذب می باشد ($EF = 583/7$). یعنی قابلیت جذب عنصر کادمیوم به خاک و نهایتاً به چرخه بیولوژیکی به دلیل ساختار مولکولی آن بیشتر از سایر عناصر می باشد (شکل ۴) (محمدیان و همکاران، ۱۳۸۷).

جدول ۶: خلاصه آماری شاخصهای آلودگی

	I_{geo}				EF				AR			
	Zn	Pb	Ni	Cd	Zn	Pb	Ni	Cd	Zn	Pb	Ni	Cd
متوسط Average	-۰/۱	-۰/۷	-۱/۴	-۲/۳	۵/۳	۱/۵	۲/۵	۵/۷	۴/۶	۱۱/۶	۷/۴	۱۱/۳
میان Median	-۰/۱	-۰/۶	۰/۴	۰/۷	۰/۸	۰/۳	۰/۶	۱	۳/۵	۱۱	۷/۱	۱۲/۶
حداقل Min.	-۱/۳	-۲/۱	-۴/۵	-۸/۲	۰/۴	۰/۲	۰	۰	۰/۵	۰/۳	۰	۰
حداکثر Max.	۹/۳	۸/۹	۶/۲	۱۰/۳	۵۷۰/۱	۱۳۹	۲۹۷/۶	۵۸۳/۷	۲۰/۳	۴۳	۲۴/۵	۴۱/۴
صدک دهم 10 th percentile	-۰/۹	-۱/۴	-۶/۵	-۸/۲	۰/۴	۰/۲	۰	۰	۰/۹	۷/۷	۰	۰
صدک نودم 90 th percentile	۱/۱	۱/۳	۰/۸	۱/۷	۱/۷	۱	۰/۸	۱/۹	۹/۸	۱۵/۳	۱۴	۲۴
انحراف معیار SD	۱/۳	۱/۶	۲/۸	۴/۸	۴۷/۴	۱۱/۹	۲۷/۳	۴۹	۳/۹	۴/۷	۶/۱	۱۰
ضریب تغییرات CV	-۹۰۶/۴	-۸۱۱/۸	-۱۰۱/۳	-۲۳۸/۲	۹۲۸	۸۲۰/۱	۵۱۲/۵	۹۰۸	۸۴/۴	۴۱/۵	۵۰/۲	۸۸/۶

بحث و نتیجه گیری:

فلزات سنگین بعنوان عوامل خطرناک و آلاینده محیط زیست مورد توجه و ارزیابی فراوان قرار گرفته اند. این فلزات از طریق آب، خاک و هوا به واسطه منابع مختلف طبیعی و مصنوعی به چرخه طبیعت وارد شده و اثرات کوتاه مدت و بلند مدت خطرناکی در آنها ایجاد می کنند. بنابراین، به عنوان یک مخاطره جدی در ادامه حیات موجودات زنده تلقی می شوند. فلزات سنگین از آلاینده های پایدار و بادوام محیط زیست بشمار می آیند، چون نمیتوانند مانند آلوده کننده های آلی از طریق شیمیایی یا فرآیندهای زیستی در طبیعت تجزیه شوند. یکی از نتایج مهم پایداری این فلزات، تجمع زیستی فلزات در زنجیره غذایی می باشد. در نتیجه این فرآیند میزان فلزات در اعضای بالاتر در زنجیره غذایی می تواند تا چندین برابر آنهایی که در آب یا هوا یافت می شوند، برسد و در نتیجه تهدیدی بر سلامتی گیاهان و جانورانی که از این مواد غذایی استفاده می کنند، محسوب می شود. (Kalhori & et al., 2012)

این فلزات با ایجاد مکانیسم های متعدد سبب به هم خوردن تعادل در موجودات زنده بویژه انسان می شوند و طیف گسترده ای از عوارض و اختلالات را بوجود می آورند. این عوارض و اختلالات در تمامی ارگان ها دیده می شوند و فاکتورهای مختلفی از جمله نوع فلز در آن ها دخالت دارند. از مهمترین اختلالات و عوارض آن ها می توان به سرطان زائی، اثر بر سیستم اعصاب مرکزی و محیطی، اثر بر روی پوست، اثر بر روی سیستم خون ساز، اثر بر سیستم قلبی و عروقی، آسیب به کلیه ها و تجمع در بافت ها اشاره کرد. در بین فلزات تاکنون سرب، جیوه و کادمیم حوادث ناگواری را بوجود آورده اند. یکی از تلاش های انسان همواره این بوده است که مقدار آن ها را در محیط به قدری کاهش دهد که دیگر زیان آور نباشند و ریسک ناشی از آنها به حداقل برسد. با توجه به گسترش روز افزون این آلاینده ها در محیط زیست و تاثیر نامطلوب آنها بر محیط اطراف، سازمان محیط زیست بین الملل از کشورها درخواست نموده تا در

اجرای برنامه فلزات سنگین مهم، در سطح ملی و منطقه‌ای مشارکت و همکاری نمایند تا از طریق همکاری‌های منطقه‌ای و بین‌المللی نقش بیشتری در جلوگیری و کنترل آلودگی‌های ناشی از این فلزات ایفا نمایند. چنانچه اشاره شد، بالا بودن جزء قابل دسترس فلزات سنگین در برخی نواحی منطقه مطالعاتی، پتانسیل ورود به بافتهای زنده میکروبی و گیاهی را دارد و از این طریق امکان ورود به چرخه غذایی انسانی نیز امکان پذیر می‌باشد. همچنین به دلیل تحرک پذیری جزء قابل دسترس در خاک، امکان نفوذ عمودی همراه با آبهای فرورو و آلوده شدن منابع آب زیرزمینی و یا انتقال با آبهای جاری و آلوده سازی مناطق دوردست نیز دور از انتظار نمی‌باشد (شهبازی و دیگران، ۱۳۹۱). پراکنش متفاوت در میزان غلظت کل و قابل جذب عناصر و همچنین شاخص‌های آلودگی و انباشت فلزات مورد بررسی در این مطالعه نشان که منشأ ورود آلودگی و انباشت فلزات به خاکها یکسان نبوده و سناریوهای متفاوتی در منطقه وجود دارد. شاخص زمین انباشتگی احتمال منشأ عوامل زمین شناختی در ورد فلزات کادمیم و سرب را تقویت نموده و نسبتهای بالای قابل جذب فلزات احتمال ورود از منابع جدید آلودگی را نشان می‌دهد. فاکتور غنی سازی از طرف دیگر اثرات آلودگی‌های درازمدت (قدیمی) را نشان می‌دهد ولی نتیجه این مطالعه نشان داد که منشأ آلاینده‌های درازمدت برای خاکهای منطقه مطالعاتی وجود ندارد.

نتیجه گیری:

یکی از نتایج توسعه شهرنشینی و صنعتی شدن، پیامدهای منفی آن بر منابع طبیعی است (Dimitrovska et al., 2012). امروزه فلزات سنگین از نگرانی‌های عمده‌ی تمامی جوامع می‌باشند (Kalhori & et al., 2012). آلودگی محیط زیست بوسیله‌ی فلزات سنگین بطور عمده به فعالیت‌های انسانی، تولیدات صنعتی، فعالیت‌های کشاورزی، سوزاندن سوخت‌های فسیلی، معدن کاری و فرآوری فلزات بستگی دارد. نواحی اطراف معادن با غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین غنی شده است، و می‌تواند اثرات سمی بر روی گیاهان، حیوانات و انسان‌ها بگذارد (Shikazono & et al., 2008). فلزات سنگین بدلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی مخرب بر روی موجودات و اکوسیستم‌ها حتی در غلظت‌های کم به عنوان عوامل خطرناک و مخرب برای محیط زیست به شمار آمده و اثرات کوتاه مدت و بلند مدتی را بر آن خواهند داشت. در این میان، کادمیم و جیوه در رده‌ی اول و مس، کروم، نیکل، سرب و روی در رده‌ی دوم خطرناکی برای اکوسیستم می‌باشند (چراغی و بلمکی، ۱۳۸۶). خاک‌های کشاورزی به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر سلامت عمومی تأثیرگذار می‌باشند. در این خاک‌ها آلودگی فلزات سنگین ممکن است سبب دخالت در رشد گیاه و نیز آسیب به سلامت انسان‌ها از طریق ورود به زنجیره غذایی شود (شهبازی و دیگران، ۱۳۹۱).

همچنین آلودگی فلزات سنگین می‌تواند اثرات مضر بر روی منابع آب شیرین مانند سدها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و آبخوان‌های زیرزمینی داشته باشد (Dong & et al., 2009). امروزه در اکثر نواحی از آب‌های زیر زمینی برای مصارف گوناگون و بخصوص کشاورزی استفاده می‌شود (Ashraf & et al., 2011). بنابراین در صورت آلودگی، این آب‌ها می‌توانند مشکلاتی را برای موجودات استفاده کننده از این آب‌ها به طور مستقیم یا غیرمستقیم ایجاد کنند. در سال ۱۳۹۴ مطالعه‌ای توسط افشاری و همکاران روی ارزیابی آلودگی فلزات سنگین با استفاده از فاکتور آلودگی در خاک اراضی با کاربری‌های مختلف در بخش مرکزی استان زنجان انجام شد. نتایج تحقیقات آنان در مقایسه با نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان داد که فاکتور آلودگی سرب و روی در ۱۰ درصد نمونه‌ها کلاس آلودگی زیاد و خیلی زیاد قرار داشت و این مقدار برای عنصر کادمیم ۴۰ درصد برآورد گردید. درحالیکه این مقدار برای نمونه‌های پژوهش ما به نسبت در بیشتر نمونه‌ها سرب و روی و کادمیم با درصد بالایی مشاهده شد. مطالعه دیگری توسط نوریان و همکارانش در سال ۱۳۹۳ انجام شد و مقایسه نتایج آنان با نتایج این پژوهش نشان داد که پراکنش مکانی عناصر سرب، روی و کادمیم بدست آمده از نمونه‌های این دو پژوهش، در منطقه روند تقریباً مشابهی داشته و توزیع غلظت عناصر سنگین در منطقه الگوی تصادفی نداشته و دارای همبستگی مکانی هستند. نتایج نشان داد که شدت آلودگی به فلزات سنگین در خاک‌های منطقه بالا است. براساس نقشه‌های پراکنش مکانی عناصر سنگین بدست آمده از پژوهش ما نشان داد که یکی از عوامل اصلی انتشار و ورود فلزات سنگین در محل مورد مطالعه وجود کارخانه‌های سرب و روی در منطقه است. به طوری که میزان آلودگی در اطراف کارخانه بالا بوده و با افزایش فاصله کاهش می‌یابد. مزیت اصلی نتایج این پژوهش نسبت به سایر پژوهش‌های انجام شده اینست که در این پژوهش غلظت عناصر سنگین اصلی و حساس در منطقه مورد مطالعه اندازه گیری شده با دقت بیشتری مطالعه شده است. ولی یکی از معایب پژوهش اینست

که شعاع در نظر گرفته محدود بوده و نمی توان گستردگی این عناصر سنگین نسبت به مناطق دوردست و حساس (مناطق روستایی و شهری) پیش بینی کرد. بنابراین در پژوهش‌های بعدی پیشنهاد می شود غلظت این عناصر با شعاع بیشتری اندازه گیری شود تا بتوان در برنامه‌های آبی استان نسبت به تعدیل این عناصر در منطقه راهکارهای درستی ارائه داد.

در این تحقیق سعی شد تا با نمونه برداری از خاکهای اطراف شهرک تخصصی سرب و روی زنجان غلظت فلزات سنگین نیکل، سرب، کادمیوم و روی را بدست آورده شود. بنابراین، پس از نمونه برداری و تعیین میزان غلظت آلاینده‌های مذکور، به تحلیل اطلاعات حاصله پرداخته شد. به منظور برآورد میزان آلودگی خاک، غلظت کل و قابل جذب فلزات سنگین در ۱۴۴ نمونه تهیه شده از عمق ۱۵-۰ سانتی متری خاکهای اطراف شهرک تخصصی سرب و روی شهرستان زنجان اندازه گیری شد. سپس شاخص‌های ارزیابی میزان آلودگی (زمین انباشتگی، فاکتور غنی سازی و نسبت قابل جذب) محاسبه و نقشه‌های پراکنش فلزات سنگین با استفاده از نرم افزار GIS تهیه شد. مقادیر میانه غلظت کل فلزات (با عصاره گیر تیزاب سلطانی) برای کادمیوم، نیکل، سرب و روی به ترتیب برابر ۰/۵، ۰/۴، ۱۴/۳ و ۸۳/۵ و مقادیر میانه قابل جذب (استخراج شده با (DTPA) آنها به ترتیب برابر ۰/۱، ۰/۰۵، ۱/۶ و ۳/۲ میلی گرم بر کیلوگرم خاک اندازه گیری شد. صدک نودم شاخص زمین انباشتگی نشان داد که حداقل ۱۰ درصد نمونه‌ها آلوده به فلزات روی، سرب و کادمیوم هستند. از نظر شاخص فاکتور غنی سازی، آلودگی با منشأ دراز مدت مشاهده نشد. بالا بودن نسبت قابل جذب فلزات سرب و روی نشان داد که منشأ آلودگی آنها یکسان بوده و از منابع جدید آلاینده به خاک‌ها وارد شده‌اند. تمام شاخص‌های ارزیابی آلودگی با ماده آلی خاکها همبستگی مثبت (به جز نسبت قابل جذب کادمیوم) داشتند. بنابراین ماده آلی عامل اصلی کنترل کننده این شاخص‌ها شناخته شد. شاخصهای زمین انباشتگی روی، کادمیوم و سرب و نسبتهای قابل جذب روی و سرب نیز با اسیدیته خاکها منفی نشان دادند. در نتیجه در فصولی از سال قابلیت جذب عناصر سنگین در خاک افزایش می یابد.

با توجه به نزدیکی کارخانه به شهر زنجان و وجود مناطق مسکونی فراوان در اطراف این مجتمع خطرات جدی برای ساکنین این مناطق وجود دارد. بنابراین انجام اقدامات پیش گیرانه مانند نوسازی فن آوری‌های استحصال و فرآوری، نصب صافی‌های مناسب و تصفیه فاضلاب کارخانجات در این منطقه امری کاملاً ضروری است. به دلیل انطباق مناسب نتایج به دست آمده با الگوی توزیع آلودگی در خاک‌ها انجام مطالعات تفصیلی تر و رسیدن به نتایج دقیق تر می تواند از دیدگاه کاربردی بسیار دارای اهمیت باشد.

نتایج یونان و همکارانش^۳ (۲۰۱۳) درباره ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های سطح منطقه‌ای که طی سه دهه صنعتی و شهرنشینی شدید شده نشان داد که عناصر Ni, Cr, Fe, Co, Mn در خاک‌های سطحی به طور عمده از منابع لیتوگرافی نشأت گرفته است، در حالیکه عناصر Hg و As در خاک‌های سطحی توسط منابع طبیعی و مصنوعی منتشر می شود. سطح آلودگی و خطر بالقوه زیست محیطی خاک‌های سطحی هر دو به ترتیب: مناطق شهری < محل دفع زباله / درمان < مناطق صنعتی < زمین‌های کشاورزی < مناطق حفاظت از منابع آب کاهش می یابد. این نتایج نشان می‌دهد نیازهای قابل توجهی برای توسعه راه‌های جلوگیری و کاهش آلودگی به منظور کاهش آلودگی فلزات سنگین برای مناطق صنعتی و شهری وجود دارد. مقایسه نتایج این محققان با نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که نتایج پژوهش ما راهکارهای جلوگیری از توسعه و گسترش آلودگی عناصر سنگین را در منطقه بررسی نمی کند ولی حسن آن اینسکه پراکنش عناصر سنگین را با دقت بیشتری بررسی کرده شاخص‌های جذب عناصر سنگین را در محدوده منطقه مورد مطالعه با دقت بیشتری بررسی می کند. در حالیکه این شاخص در پژوهش یونان و همکارانش انجام نشده است.

نتایج چاو و همکاران^۴ (۲۰۱۴) درباره تاثیر فلزات سنگین در خاکهای کشاورزی در هنگ کنگ کشور چین نشان داد که عنصر نیکل و کادمیوم بیشترین غلظت را در خاکهای کشاورزی دارند. همچنین عنصر روی به دلیل استفاده در کودهای شیمیایی استفاده شده در زمین‌های کشاورزی دارای غلظت بالایی بود. زمین‌های کشاورزی منطقه هنگ کنگ به دلیل وجود معادن و استفاده از کودهای شیمیایی آلوده به فلزات سنگین روی، نیکل و کادمیوم شده‌اند. آلودگی فلزات نیکل، کادمیوم و روی در زمین‌های کشاورزی به ترتیب ۲۱، ۴۷ و ۳۲ درصد بود. مقایسه نتایج این محققان با نتایج پژوهش انجام شده در این پایان نامه نشان می‌دهد که در نتایج پایان نامه علت انتشار فلزات سنگین کارخانه سرب و روی زنجان می باشد که این فلزات از طریق کانی‌های حمل شده از معادن به کارخانه نشأت

³ Yuanan et al

⁴ Chao et al

گرفته است. درحالیکه در پژوهش چاو و همکاران منشأ فلزات سنگین به علت کودهای شیمیایی و درصد اندکی انتشار فلزات از معادن اطراف زمین‌های کشاورزی می باشد. حسن نتایج پایان نامه در مقایسه با نتایج چاو و همکارانش اینست که غلظت جذب عناصر سنگین در این پایان نامه اندازه گیری شده و پراکنش آن روی نقشه نشان داده شده است ولی در پژوهش چاو و همکارانش انجام نشده است.

نتایج محمدیان و همکاران (۱۳۸۷) درباره غلظت فلزات سنگین در چاه‌های آب مجاور کارخانه سرب و روی زنجان نشان داد که غلظت سرب در هیچ نمونه‌ای بالاتر از استاندارد ملی نیست اما سرب و کادمیوم به ترتیب در ۵۹ و ۵۳ درصد نمونه‌ها فراتر از حد رهنمود سازمان جهانی بهداشت بودند. غلظت روی در کلیه نمونه‌ها پایین تر از حد معیارها بود. آنان عنوان کردند که به دلیل اهمیت بهداشتی فلزات سنگین ضروری است مطالعات جامع تری از جمله تعیین غلظت فلزات در محیط‌های فیزیکی و بیولوژیکی انجام و بر راه‌های جذب فلزات توسط انسان تاکید شود. همچنین مطالعه ای برای تعیین میزان بروز و شیوع بیماری‌های مرتبط با فلزات سنگین در منطقه مهم به نظر می رسد. مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج بدست آمده از پایان نامه نشان داد که غلظت نمونه‌های عناصر سنگین در پژوهش محمدیان و همکارانش در نقطه مشخصی در درون چاه‌های آب اندازه گیری شدند ولی در پایان نامه ما در سطح گسترده درون خاکها اندازه گیری شد. حسن نتایج ما اینست که گستردگی پراکنش عناصر سنگین منتشر از کارخانه سرب و روی بر روی خاکها به لحاظ میزان غلظت اندازه گیری شده دقیقتر بوده و می توان میزان انتشار عناصر خروجی از کارخانه را اندازه گیری کرد و میزان ورود آن به چرخه بیولوژیک را اندازه گرفت (حاجی سلطانی، ۱۳۸۹)، ولی در نتایج محمدیان و همکارانش این امر امکان پذیر نیست. و حسن نتایج محمدیان و همکارانش نسبت به پایان نامه ما اینست که غلظت عناصر سنگینی که وارد آبهای زیر زمینی شده است را می توان اندازه گرفت و میزان پراکنش آن را در سطح آبهای زیر زمینی نشان داد و راهکارهای پیشگیری اتخاذ کرد.

پیشنهادات

باتوجه به اینکه این پژوهش شاخص‌های جاذب فلزات سنگین را در خاکهای اطراف کارخانه سرب و روی زنجان مورد بررسی قرار داده است ولی جهت تکمیل ادامه روند آن و تعدیل میزان انتشار فلزات سنگین به محیط بیرون بایستی الزاماتی اتخاذ گردد. این الزامات در قالب پیشنهادات ذکر میگردد تا ارزیابی فلزات سنگین در منطقه با دقت بیشتری انجام شده و انتشار این فلزات از شهرک روی کاهش پیدا کند. این پیشنهادات شامل موارد زیر می باشد:

- ۱) انجام پژوهش و تحقیق از جمله تعیین فهرست سایر فلزات سنگین ناشی از کارخانه سرب و روی و اولویت بندی آنها و همچنین نمونه گیری از ایستگاهها در دفعات بیشتر و با تعداد نمونه‌های بیشتر به منظور بالا بردن ضریب اطمینان و پایش دقیق
- ۲) بازیافت فلزات سنگین با غلظت‌های بالا از کاتالیست‌های مستعمل و سپس دفن بهداشتی بقایای آنها
- ۳) کنترل و معاینه فنی دستگاهها، تاسیسات و تجهیزات و داشتن یک برنامه منظم در خصوص چک کردن نشتیها و انجام تعمیرات به موقع در واحدهای مختلف کارخانه بصورت دائمی و دوره ای
- ۳) جمع آوری قسمت عظیم پسماندهای زائد و جامد در محوطه مورد قبول سازمان حفاظت از محیط زیست و اجرای مقررات خنثی سازی عناصر سنگین و نهایتاً دفع مناسب و بهداشتی آن
- ۴) تشویق سازمانها و شرکتهای ذیربط و مرتبط با شرکت سرب و روی زنجان در جهت ایجاد یک رویکرد عمومی در زمینه استقرار سیستم مدیریت زیست محیطی و دریافت گواهینامه‌های زیست محیطی از مراجع مربوطه
- ۵) آموزش کارگران و بهره برداران در خصوص اهمیت تشخیص و شناسایی بموقع نقاط تولیدکننده مواد زائد و رعایت استانداردهای فنی در جهت کمینه سازی ضایعات تولیدی واحدها و حفاظت از محیط زیست
- ۶) انجام تحقیقات لازم جهت افزایش راندمان شرکت و کاهش مصرف مواد سوختی
- ۷) اندازه گیری پارامترهای PH, TSS, BOD, COD, Oil در خروجی فاضلاب تصفیه شده کارخانه سرب و روی به صورت دو هفته یکبار
- ۸) استفاده بجا و منطقی از درصد اختصاص یافته بودجه شهرک سرب و روی به امر پاکسازی آلاینده‌های زیست محیطی در سایتها

۹) اهتمام جدی و دائمی به رعایت تمهیدات (Health, Safety, Environment) H.S.E در کلیه بخش‌های شهرک سرب و روی
۱۰) انجام بازرسی‌های زیست محیطی در ارتباط با نظافت صنعتی، وضعیت ضایعات و پسماندهای تولید شده و سایر موارد به صورت
هفتگی در سطح کارخانه

منابع:

- افشاری، علی، خادمی، حسین، محمدمیر دلور، ۱۳۹۴، ارزیابی آلودگی فلزات سنگین با استفاده از فاکتور آلودگی در خاک اراضی با کاربریهای مختلف در بخش مرکزی استان زنجان، نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۵ شماره ۲.
- جهانبخش شجاعی، مهران (۱۳۸۹). بررسی توزیع فلزات سنگین منابع آب و خاک با استفاده از GIS در استان آذربایجان شرقی (مطالعه موردی: جیوه، آرسنیک، کادمیوم، سرب، کروم). پایان نامه ارشد فراوری مواد معدنی.
- شهبازی، ع. سفینیان، ع. میرغفاری، ن. عین قلایی، م. (۱۳۹۱). بررسی آلودگی فلزات سنگین خاک با استفاده از شاخص‌های فاکتور آلودگی، زمین انباشتگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی (مطالعه موردی: شهرستان نهاوند). مجله محیط زیست و توسعه، شماره ۵، ۳۱-۳۸.
- علی افشاری، خادمی، حجتی (۱۳۹۴). ارزیابی پتانسیل خطرپذیری آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مرکزی استان زنجان بر اساس انواع شاخص‌های آلودگی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد بیست و دوم، شماره ششم، ۱۳.
- علی شهبازی، سفینیان، میرغفاری، عین قلایی، (۱۳۹۱). بررسی آلودگی فلزات سنگین خاک با استفاده از شاخص‌های فاکتور آلودگی، زمین انباشتگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی (مطالعه موردی: شهرستان نهاوند). محیط زیست و توسعه، سال ۳، شماره ۵، بهار و تابستان ۱۳۹۱، از صفحه ۳۱ تا ۳۸.
- مهسا نوریان، دلاو، شکاری، عبداللهی، (۱۳۹۳). مطالعه پراکنش آلودگی خاک به عناصر سنگین با استفاده از زمین آمار و خوشه بندی فازی در منطقه دیزج آباد، استان زنجان. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد بیست و یکم، شماره اول، ۱۳۹۳.
- محمد رضا توکلی محمدی، خدادادی، پرتانی، مرزبان (۱۳۹۰). بررسی منابع آلاینده فلزات سنگین در استان زنجان با استفاده از GIS. مجموعه مقالات گردهمایی علوم زمین ۱ تا ۳۰ اسفند.

- Alloway, B. J., (2013). Heavy metals in soils, Dordrecht, Springer Science+ Business media. 613 p.
- Afyuni M., Rezaee Nejad Y., and Khayyambashi B. 1998. Effect of sewage sludge on yield and heavy metal uptake of lettuce and spinach. Journal of crop production and processing, 2 (1): 19 – 30.
- Adeola Alex Adesuyi Kelechi Longinus Njoku Modupe Olatunde Akinola (2015) . Assessment of Heavy Metals Pollution in Soils and Vegetation around Selected Industries in Lagos State, Nigeria.
- Chen M., and Ma L. Q. 2001. Comparison of Three Aqua Regia Digestion Methods for Twenty Florida Soils. Soil Science Society of America Journal, 65: 491 – 499.
- Etem Osma Memduh Serin Zeliha Leblebici Ahmet Aksoy (2013) . Assessment of Heavy Metal Accumulations (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn) in Vegetables and Soils.
- Li Z., Ma Z., Jan van der Kuijp T., Yuan Z., and Huang L. 2014. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment. Science of the Total Environment, 468-469: 843 - 853.
- n index, Land accumulation index, Enrichment factor, absorbed ratio.