بررسی و شناسایی نوع و میزان فلزات سنگین در خاک مناطق صنعتی در ارتباط با پهنه‌بندی پوشش گیاهی آسیب‌دیده

هومن بهمن‌پور

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شاهرود، دانشکده علوم پایه، گروه محیط زیست، شاهرود، ایران

Hooman.bahmanpour@yahoo.com

چکیده

این تحقیق، به منظور بررسی و شناسایی نوع و میزان فلزات سنگین در خاک منطقه صنعتی شرکت پخش و پالایش فراورده‌های نفتی شاهرود انجام گرفته است و تلاش می‌گردد تا رابطه میان پراکنش و تجمع عناصر سنگین و پهنه‌بندی پوشش گیاهی آسیب‌دیده شناسایی شود. بدین منظور، از ۲ نوع خاک موجود نمونه‌برداری گردید. خاک مناطق فاقد گیاهان بیمار و خاک مناطقی که دارای گیاهان آسیب‌دیده بودند. جهت نمونه‌برداری از روش شبکه‌بندی و انتخابی استفاده گردید. تعداد ۵ نمونه فرعی از هر شبکه تهیه و مخلوط گردیدند. عصاره‌گیری برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین با استفاده از HCl و HNO_3 صورت گرفت. غلظت عناصر کروم، کبالت و نیکل با استفاده از دستگاه ICP-MS و دیگر عناصر نیز از طریق دستگاه XRf اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که میزان چهار عنصر نیکل، سرب، روی و استرانسیوم در نمونه‌های خاک حاوی گیاهان بیمار بیش از حد استاندارد بوده و در مورد عناصر دیگر، مقادیر سنجش شده از استاندارد پایین‌تر است. در مورد نمونه خاک حاوی گیاهان سالم نیز میزان چهار عنصر استرانسیوم، سرب، کبالت و کادمیوم بیش از حد استاندارد است. همچنین، میزان دو عنصر سرب و استرانسیوم در هر دو نمونه سالم و بیمار از حد استاندارد بالاتر است و بخش اعظم تخریب پوشش گیاهی در خاک مناطق بیمار ناشی از تجمع فلزات سنگین است. به ویژه عناصر نیکل، سرب، روی، استرانسیوم.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، شاهرود، آلایندگی، شرکت پخش و پالایش

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

۱- مقدمه

آلودگی محیط زیست از جمله آلودگی خاک یکی از عوامل مهم به هم خوردن تعادل و توازن طبیعت می‌باشد. خاک به همراه آب و هوا اجزای مهم محیط زیست تلقی می‌شوند. خاک علاوه بر آنکه پایگاه تجمع موجودات خشکزی به ویژه تجمع انسانی است، محیط بسیار منحصر بفردی برای زندگی انواع موجودات، به خصوص گیاهان به شمار می‌آید (نجفی و همکاران، ۲۰۱۵: ۴). فعالیت‌های روزافزون انسان بر روی کره زمین سبب شده است که کارکرد بخش خاک که خود جزیی از پوسته زمین است در مواردی دچار اختلال شود (بروگنورت، ۱۳۷۱: ۲۲). به طور کلی آلاینده‌های خاک را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. گروه اول شامل سموم متفاوت است که بیشتر جهت مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دومین و مهمترین گروه آلاینده‌های صنعتی هستند که شامل فلزات سنگین همانند سرب، نیکل، روی و کادمیوم می‌باشند. در شرایط خاص، چند میلی‌گرم بر کیلوگرم از این عناصر، سلامت خاک و نهایتاً انسان و موجودات را به مخاطره می‌اندازد (واث و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۱). فلزات سنگین، به فلزاتی گفته می‌شود که دارای چگالی نسبتاً بالا بوده و در غلظت‌های کم سمی باشند (عرفان‌منش و افیونی، ۱۳۷۹: ۱۱). آلودگی فلزات سنگین نه تنها به صورت مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی و کاهش دستیابی زیستی مواد غذایی در خاک تاثیر می‌گذارد، بلکه خطر جدی برای انسان با ورود به زنجیره غذایی و همچنین امنیت زیست محیطی از طریق نفوذ در آبهای زیرزمینی محسوب می‌شود (فاچیلینی و همکاران، ۲۰۰۱: ۵۵). خاک غیر آلوده به

خاکی گفته می‌شود که غلظت عناصر مختلف، به ویژه عناصر سنگین، در آن کمتر و یا حداکثر برابر با غلظت این عناصر در استانداردهای جهانی معرفی شده برای خاک باشد، که به این غلظت‌ها معمولاً غلظت زمینه[1] گفته می‌شود (کاریداد کانسلار و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۷). محققان خاکهای مختلف را برحسب آلودگی به فلزات سنگین در سه گروه تقسیم‌بندی می‌کنند (زین، ۲۰۱۵: ۴۳). گروه اول خاکهای با آلودگی کم را در بر می‌گیرد که معمولاً خاکهای غیر آلوده کشاورزی و مناطق دور از شهرها را شامل می‌شود. گروه دوم خاکهای دارای آلودگی کم تا متوسط هستند که نباید از این نوع خاکها برای کشاورزی استفاده شود. با توجه به میزان آلودگی کم تا متوسط، مناسب‌ترین روش پاکسازی این نوع خاکها، استفاده از گیاهان است. گروه سوم، خاک‌هایی هستند که در اطراف مناطق صنعتی، محل‌های تخلیه و دفع لجن فاضلاب‌های صنعتی و جاده‌های پر ترافیک وجود دارند. سرنوشت فلزات سنگین و کمپلکس‌های فلزی تخلیه شده به خاکها و آبها با توجه به شرایط محیطی بسیار متفاوت می‌باشند. عوامل تاثیرگذاری زیادی بر جذب فلزات موثر می‌باشند به طوری که به جزء نوع و مقدار کلوئیدهای خاک، عوامل کنترل کننده‌ای نظیر: pH، غلظت یونی محلول، غلظت کاتیونی فلز، حضور کاتیون‌های فلزی رقابت کننده و وجود لیگاندهای آلی و معدنی در آن نقش دارند (آلووی، ۲۰۰۱: ۳۰). فلزات سنگین می‌توانند غدد بدخیم سرطانی را ایجاد نمایند؛ برخی از این عناصر دارای آستانه آلودگی نبوده و در هر غلظتی، هر چند بسیار کم، زیان‌آور می‌باشند که در درازمدت اثرات نامطلوبی را به دنبال خواهند داشت. سرب (Pb)، کادمیوم (Cd) و جیوه (Hg)، از جمله فلزات سنگینی هستند که دارای آستانه آلودگی نیستند (میکو و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۸-۲۱).

مکانیزم اثر سمی فلزات سنگین از نظر زیست شیمیایی ناشی از تمایل شدید کاتیون‌های این فلزات به واکنش با گوگرد است. کاتیون‌های فلزات سنگین با مولکول‌هایی که این فلزات را در بر دارند از طریق بلع وارد بدن می‌شوند و به آسانی به گروههای سولفهیدریل (SH-) که در بدن انسان به وفور یافت می‌شوند، متصل می‌گردند. پیوند فلز گوگرد حاصل، معمولاً در آنزیم‌هایی که سرعت واکنش‌های سوخت و سازی مهم در بدن انسان را کنترل می‌کنند اثر می‌گذارد، لذا این آنزیم‌ها نمی‌توانند وظیفه عادی خود را انجام دهند و سلامتی انسان به خطر افتاده و گاهی منتهی به مرگ می‌شود (کیوهانگ و همکاران، ۲۰۱۵: ۷).

کادمیوم، توزیع نسبی روی را در بدن دچار اختلال می‌کند (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۱۳). در مسمومیت حاد با این فلز، علائمی چون حالت تهوع، اسهال، سر درد شدید، دردهای عضلانی و شکمی، افزایش ترشحات بزاق، شوک، آسیب‌های کبدی و از کار افتادن کلیه دیده می‌شود (سانگ و لی، ۲۰۱۴: ۲۶). از نظر FAO، مقدار مجاز ورودی کادمیوم به بدن به طور هفتگی ۰/۶-۰/۴ میلی‌گرم برای هر فرد است (اسدی و همکاران، ۱۳۷۲: ۶۶).

سرب نیز از جمله فلزات سنگین خطرناکی است که توسط انسان و از طرق مختلف به محیط وارد می‌شود. نیمه عمر سرب در خون، بافت‌های نرم و استخوان به ترتیب ۴-۲ هفته، ۴ هفته و ۲۷/۵ سال می‌باشد (مایکل و سوگامار، ۲۰۱۳: ۲). این ماده از دیرباز، به عنوان یک سم متابولیک شناخته شده است. برخی از علایم مسمومیت با سرب خستگی شدید، رخوت، ناراحتی‌های خفیف شکمی و کم خونی می‌باشد. کمیته متخصصین FAO و WHO جذب موقتی هفتگی سرب را برای هر فرد، ۴ میلی‌گرم بیان کرده است. علایم مسمومیت با نیکل در انسان زمانی بروز می‌کند که ۲۵۰ میلی‌گرم نیکل محلول، در روز وارد بدن شود (امینی و همکاران، ۲۰۰۵: ۶۹). نیکل در گروه مواد سرطان‌زا قرار داشته و حداکثر غلظت مجاز نیکل در آب ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. حداکثر جذب مجاز روزانه این ماده، از طریق مواد غذایی نیز، ۵ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز بیان شده است (دیویس، ۱۹۹۵: ۲۱۹).

در نتیجه واکنش‌های شیمیایی، ترکیباتی از استرانسیوم که در آب نامحلول هستند، محلول می‌شوند. ترکیبات محلول در آب، نسبت به ترکیبات نامحلول برای سلامتی انسان مضرتر هستند. بنابراین ترکیبات محلول استرانسیوم، آب آشامیدنی را آلوده می‌کنند. خوشبختانه غلظت استرانسیوم در آب آشامیدنی بسیار کم است. تنفس هوا یا گرد و غبار، خوردن غذا، آب آشامیدنی یا تماس با خاک آلوده به استرانسیوم، باعث می‌شود که مقدار کمی استرانسیوم وارد بدن انسان شود. احتمال ورود استرانسیوم به بدن از راه خوردن و آشامیدن بیشتر است. استرانسیوم موجود در غذا به استرانسیوم موجود در بدن افزوده می‌شود. دانه‌ها، سبزی‌های برگدار و لبنیات، استرانسیوم بالایی دارند. میزان استرانسیوم موجود در بدن اکثر افراد متوسط است. از بین ترکیبات استرانسیوم، تنها کرومات استرانسیوم است که حتی مقادیر بسیار اندک آن هم برای سلامتی بدن مضر است. در بچه‌ها جذب استرانسیوم زیادی، باعث اختلالات رشد می‌شود. نمکهای استرانسیوم باعث خارش پوست یا دیگر مشکلات پوستی نمی‌شوند.

[1] - Background concentration

وقتی جذب استرانسیوم بسیار زیاد باشد، رشد استخوانها دچار مشکل می‌شود. اما این مشکل تنها زمانی پیش می‌آید که جذب استرانسیوم بیش از هزار ppm باشد (دلیجانی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۳۶؛ بقایی و همکاران، ۱۳۸۶: ۹؛ کائو و همکاران، ۱۹۸۴: ۶۳۳؛ دریس‌باخ، ۱۹۹۵: ۵۰).

با وجود اهمیت فلزات سنگین، مطالعات وسیع و دامنه‌داری در مورد میزان و توزیع این عناصر در خاک مناطق مختلف کشور صورت نگرفته است. ولیکن، می‌توان به تحقیقات پراکنده‌ای که صورت گرفته اشاره داشت. از جمله امینی و همکاران (۲۰۰۵) نقشه آلودگی کادمیوم و سرب را در خاکهای منطقه اصفهان تهیه کردند. همچنین، خسروی و همکاران (۱۳۸۷) توزیع فلزات سنگین را در خاک منطقه شهری، صنعتی و کشاورزی شهر اصفهان بررسی کردند و دلیجانی و همکاران (۱۳۸۸) غنی‌شدگی و توزیع فلزات سنگین را در خاک‌های منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی تحلیل نمودند. همچنین می‌توان به مطالعات بقایی و همکاران (۱۳۸۶) که آلودگی حاصل از پراکنش سرب و نیکل را در اطراف دو کارخانه ذوب فلز در منطقه اصفهان بررسی کردند، اشاره داشت.

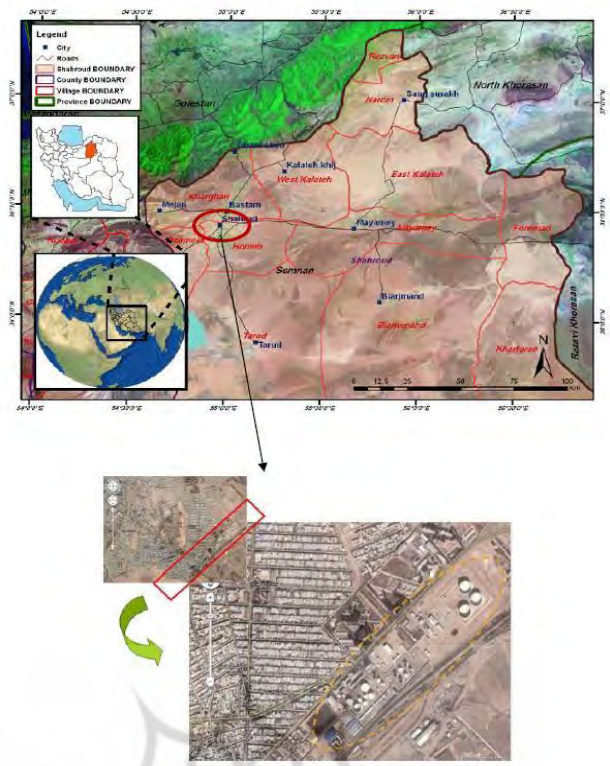
این مطالعه، با هدف بررسی و شناسایی نوع و میزان فلزات سنگین در خاک منطقه صنعتی شرکت پخش و پالایش فراورده‌های نفتی شاهرود انجام گرفته است. برخی از گیاهان کاشته شده در سایت مطالعاتی دچار عارضه و مشکلاتی در برگ و ساختار هوایی شده‌اند که احتمالاً ناشی از حضور بیش از حد برخی عناصر سمی است. بنابراین، در این تحقیق، تلاش گردید تا رابطه میان حضور عناصر سنگین و پهنه‌بندی پوشش گیاهی آسیب‌دیده شناسایی شود. از سوی دیگر، نظر به قدرت زهکشی خاک منطقه و با توجه به مجاورت به سفره آب زیرزمینی منطقه شاهرود، انجام این مطالعه به شناخت دقیق‌تر کانون‌های احتمالی آلودگی منابع آب شرب این شهر کمک شایانی نمود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

سایت مورد مطالعه، شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی منطقـه شاهرود می‌باشد. تأسیسات ذخیره‌سازی و توزیع فرآورده‌های نفتی (انبار نفت) شاهرود که یکی از قدیمی‌ترین‌انبارهای نفت ایران بوده در زمینی به وسعت ۵۵۰۰۰ مترمربع واقع گردیده است. انبار نفت شاهرود دارای تعداد ۱۵ دستگاه مخزن ذخیره سوخت به ظرفیت کل ۵۷۷۰۰۰۰۰ لیتر شامل: ۶ دستگاه مخزن بنزین به ظرفیت ۲۱ ملیون لیتر، ۶ دستگاه مخزن نفت گاز به ظرفیت ۲۵ میلیون لیتر، ۳ دستگاه مخزن نفت سفید به ظرفیت ۶/۲ میلیون لیتر و یک دستگاه مخزن نفت کوره با ظرفیت ۵/۵ میلیون لیتر می‌باشد. در پانزدهمین همایش ملی واحدهای صنعتی و خدماتی سبز کشور، این شرکت به عنوان یکی از ۴ واحد خدماتی سبز در سطح کشور شناخته شد. شکل (۱) موقعیت منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱- موقعیت سایت مطالعاتی در ایران و منطقه شاهرود (ترسیم توسط نگارنده)

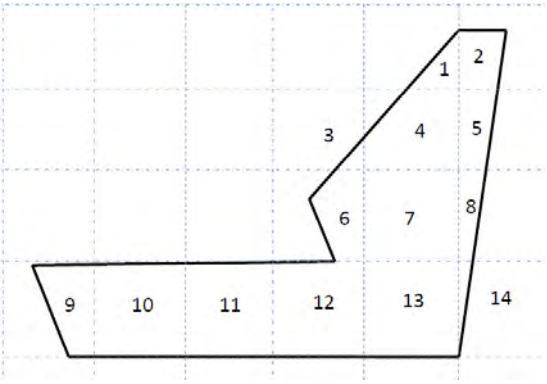
۲-۲- روش‌شناسی تحقیق

این تحقیق به لحاظ خروجی‌ها از نوع کاربردی و به لحاظ روش گردآوری اطلاعات از نوع کتابخانه‌ای و میدانی و آزمایشگاهی بوده و روش تجزیه و تحلیل داده‌ها از نوع قیاسی و تطبیقی با استاندارد بوده است (جدول ۱ و ۲). به منظور بررسی دقیق‌تر آلاینده‌ها، دو نوع نمونه تهیه گردید. نمونه اول از مناطقی جمع‌آوری گردید که فاقد گونه‌های گیاهی بیمار بوده‌اند و نمونه دوم؛ شامل مناطقی بوده است که پوشش گیاهی بیمار و آسیب دیده مشاهده شده بود.

آزمایش خاک شامل سه مرحله اصلی می‌باشد:

- جمع‌آوری نمونه
- تجزیه نمونه
- تفسیر نتایج

وسایل مورد استفاده برای نمونه‌برداری در این تحقیق، عبارت بودند از: سطل، بیل یا اوگر، کیسه پلاستیکی، متر، قلم، پارچه یا گونی برای مخلوط نمودن خاک. در این مطالعه، جهت نمونه‌برداری از روش شبکه‌بندی و انتخابی استفاده گردید. تعداد و نحوه نمونه‌برداری در هر دو مورد (خاک‌هایی که دارای گیاهان بیمار و سالم بوده‌اند) مشابه بوده است. تعداد ۵ نمونه فرعی از هر شبکه تهیه گردید (شکل ۲). در نهایت پس از مخلوط کردن تمامی نمونه‌های فرعی، نمونه‌های نهایی با وزن ۴۰۰ گرم (نمونه‌های خاک مناطق با گیاهان بیمار و سالم هر یک جداگانه) برای ارسال به آزمایشگاه به دست آمد. نمونه‌ها از عمق ۳۰ ° ۲۵ سانتیمتری خاک تهیه شد. در ابتدا قشر ۵ سانتیمتری از خاک سطحی کنار زده شد. در مورد نمونه‌برداری از خاک پای درختان نیز، مطابق با اصول استاندارد نمونه‌برداری از زیر تاج درختان صورت گرفت. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه معتمد (آزمایشگاه مصالح ساختمانی و مواد معدنی جهاد دانشگاهی استان سمنان) جهت انجام ادامه مطالعات، منتقل گردیدند. نمونه‌های خاک هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند و برای آنالیز آماده شدند. عصاره‌گیری برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین در خاک با استفاده از HCl و HNO_3 صورت گرفت (کائو و همکاران، ۱۹۸۴: ۶۳۴؛ دریس باخ، ۱۹۹۵: ۸۲). غلظت کل عناصر سنگین کروم، کبالت و نیکل با استفاده از دستگاه ICP-MS و دیگر عناصر نیز از طریق دستگاه XRf اندازه‌گیری گردید.



شکل ۲- شبکه‌بندی منطقه به منظور نمونه‌برداری

جدول ۱- غلظت عناصر سنگین خاک از دیدگاه استانداردهای مختلف و میانگین جهانی (۹، ۱۵ و ۲۲)

عنصر	استاندارد						
	USEPA (ppm)	GLC (ppm)	Boemgen & Shackette, 1981 (mg/kg)	Holmgeren et al, 1993 (mg/kg)	میانگین جهانی (ppm)	USEPA (mg/kg)	
						حد مناسب خاک	حد مجاز برای سلامتی انسان و محیط	حدی که بهبود وضعیت خاک ضروری می‌نماید
Mn	۶۰۰	۶۰۰	-	-	۸۵۰	-	-	-
Cd	۰,۰۶	-	N/A	۰,۲۹۴	۰,۳	۱	۵	۲۰
Fe	NR	NR			۳۲۰۰۰	-	-	-
Ni	۴۰	۲۰	۱۶	۲۷,۴	۳۳,۷	۵۰	۱۰۰	۵۰۰
Cr	۱۰۰	۱۰	-	-	۸۰	۱۰۰	۲۵۰	۸۰۰
Co	۸	NR	-	-	۱۹	۲۰	۵۰	۳۰۰
Pb	۱۰	۱۰	۱۶	۸,۶	۲۰	۵۰	۱۵۰	۶۰۰
Cu	۳۰	NR		-	۴۵	۵۰	۱۰۰	۵۰۰
As	۵	-	۶,۴	N/A	-	۲۰	۳۰	۵۰
Zr	۳۰۰	-	-	-	-	-	-	-
V	۱۰۰	-	-	-	۱۰۸	-	-	-
Sr	۲۰۰	-	-	-	۲۰۸	-	-	-
Zn	۵۰	-	-	-	۵۹,۸	۲۰۰	۵۰۰	۳۰۰۰
Ba	۴۳۰	-	-	-	۵۶۸	۲۰۰	۴۰۰	۲۰۰۰
La	۳۰	-	-	-	۴۱,۲	-	-	-
Mo	۲	-	-	-	۴۰۷۸۷	۱۰	۴۰	۲۰۰
Hg	-	-	۰,۱۱	N/A	-	۰,۵	۲	۱۰
Sn	-	-	-	-	-	۲۰	۵۰	۳۰۰

جدول ۲- ارزیابی مقادیر پارامترها در خاک (۲۲ و ۲۴)

پارامتر	سطوح مجاز اکولوژیکی (mg/Kg)	سطوح مجاز سلامت (Mg/Kg)		
		کاربری شهری و باغی	پارکها، مناطق باز، زمینهای بازی	کاربری صنعتی و تجاری
Metals/Metalloids				
Antimony, Sb	۲۰	۳۰	–	۸۲۰
Arsenic, As	۲۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰
Barium, Ba	۴۰۰	۵۳۷۰	–	۱۰۰۰۰۰
Beryllium, Be	–	۲۰	۴۰	۱۰۰
Cadmium, Cd	۳	۲۰	۴۰	۱۰۰
Chromium (III)	–	% ۱۲	% ۲۴	% ۶۰
Chromium (VI)	–	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰
Chromium (Total), Cr	۵۰	۲۱۰	–	–
Cobalt, Co	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰
Copper, Cu	۶۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰۰
Lead, Pb	۳۰۰	۳۰۰	۶۰۰	۱۵۰۰
Manganese, Mn	۵۰۰	۱۵۰۰	۳۰۰۰	۷۵۰۰
Methyl mercury	–	۱۰	۲۰	۵۰
Mercury, Hg	۱	۱۵	۳۰	۷۵
Molybdenum, Mo	۴۰	۳۹۰	–	۱۰۲۲۰
Nickel, Ni	۶۰	۶۰۰	۶۰۰	۳۰۰۰
Tin, Sn	۵۰	۴۶۹۰۰	–	۱۰۰۰۰۰
Zinc, Zn	۲۰۰	۷۰۰۰	۱۴۰۰۰	۳۵۰۰۰

۳- نتایج و بحث

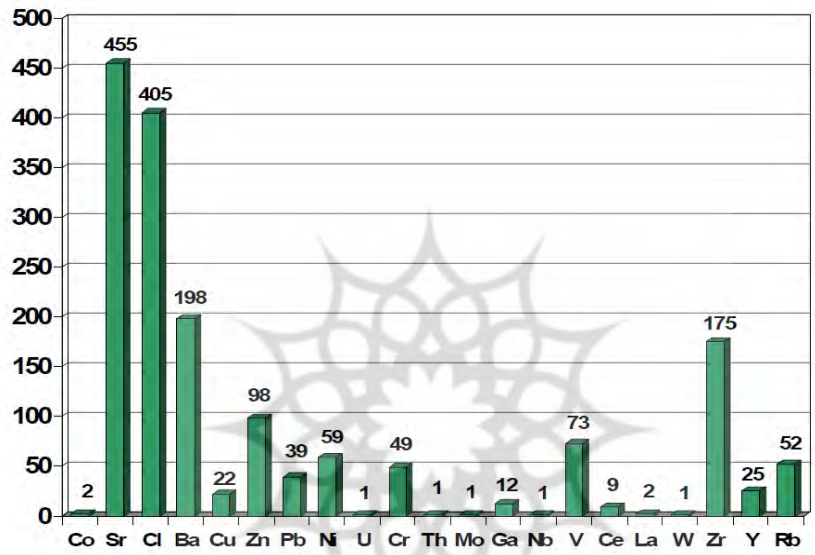
نتایج حاصل از سنجش فلزات سنگین در خاک مناطقی که دارای نمونه‌های گیاهی بیمار بودند (نمونه خاک بیمار)، و نیز مناطقی که فاقد پوشش گیاهی آسیب‌دیده بوده‌اند (نمونه خاک سالم) در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۳- گزارش نتایج آنالیز خاک نمونه شماره ۱ (نمونه بیمار) و نمونه شماره ۲ (نمونه سالم) (منبع: یافته‌های تحقیق)

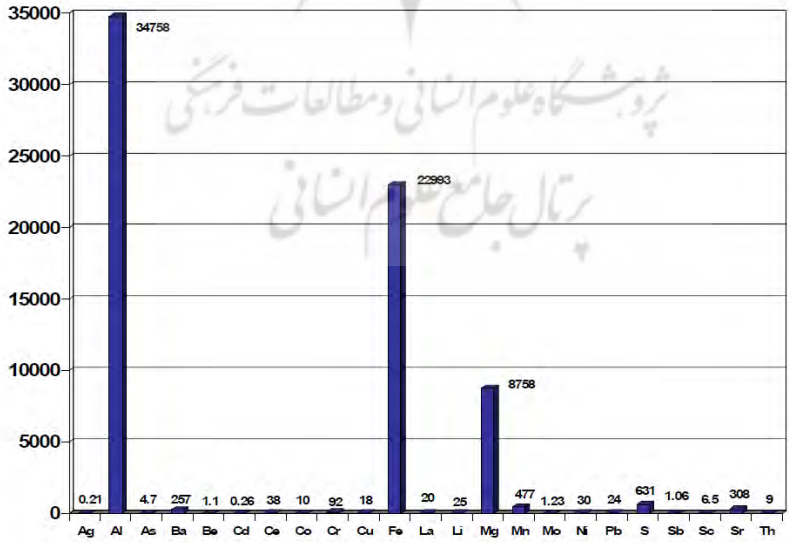
عنصر	غلظت در نمونه خاک بیمار (ppm)	غلظت در نمونه خاک سالم (ppm)	عنصر	غلظت در نمونه خاک بیمار (ppm)	غلظت در نمونه خاک سالم (ppm)
Co	2	10	Pb	39	24
As	1	4.7	Ni	59	30
Cl	405	88	U	1	-
Ba	198	257	Cr	49	92
Sr	455	308	Th	1	9
Cu	22	18	Mo	1	1.23
Zn	98	67	Ga	12	-
Nb	1	-	V	73	-
Ce	9	38	La	2	20
W	1	-	Zr	175	-
Y	25	-	Rb	52	-

1.1	-	Be	0.21	-	Ag
0.26	-	Cd	114114	-	Ca
22993	-	Fe	0.21	-	Al
25	-	Li	10944	-	K
477	-	Mn	8758	-	Mg
129	-	Na	1.23	1	Mo
631	-	S	614	-	P
6.5	-	Sc	1.06	-	Sb

شکل ۳ و ۴ نمودار عناصر سنگین سنجش شده را در نمونه‌های خاک حاوی گیاهان بیمار و سالم نشان می‌دهند.



شکل ۳- نمودار عناصر سنگین بدست آمده برای نمونه خاک حاوی گیاهان بیمار (برحسب ppm)



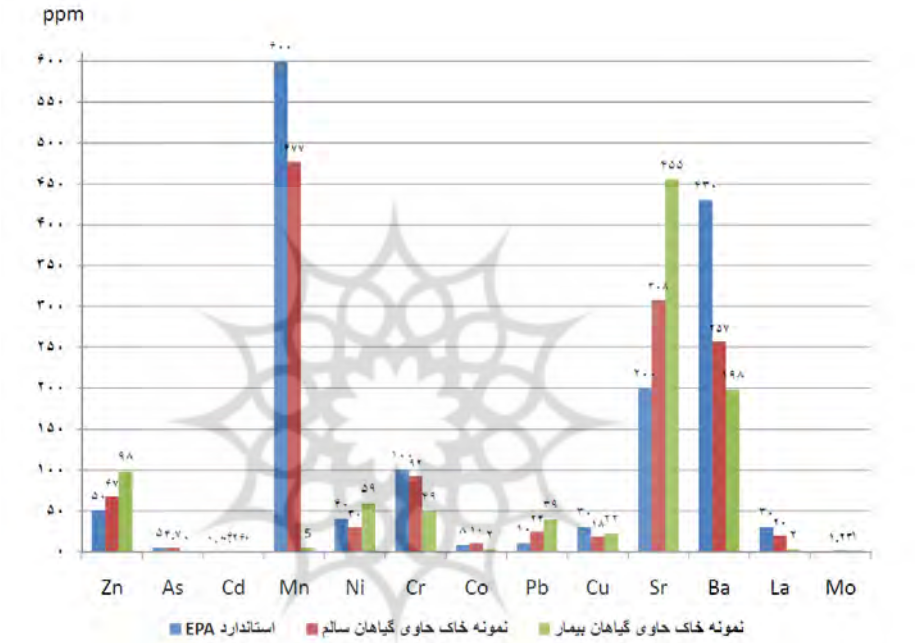
شکل ۴- نمودار عناصر سنگین بدست آمده برای نمونه خاک حاوی گیاهان سالم (برحسب ppm)

از آنجا که در ایران، استانداردی در خصوص خاک و حد مجاز عناصر آلوده کننده در آن وجود ندارد، بنابراین، در این قسمت برخی از حدود مجاز استاندارد فلزات سنگین و سموم در خاک (برگرفته از منابع معتبر جهانی) ارائه و سپس اقدام به مقایسه با وضعیت موجود (سنجش شده) گردیده است.

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، میزان چهار عنصر نیکل (Ni)، سرب (Pb)، روی (Zn) و استرانسیوم (Sr) در نمونه‌های خاک حاوی گیاهان بیمار بیش از حد استاندارد تعیین شده می‌باشد و در مورد دیگر عناصر، مقادیر سنجش شده از استاندارد پایین‌تر است.

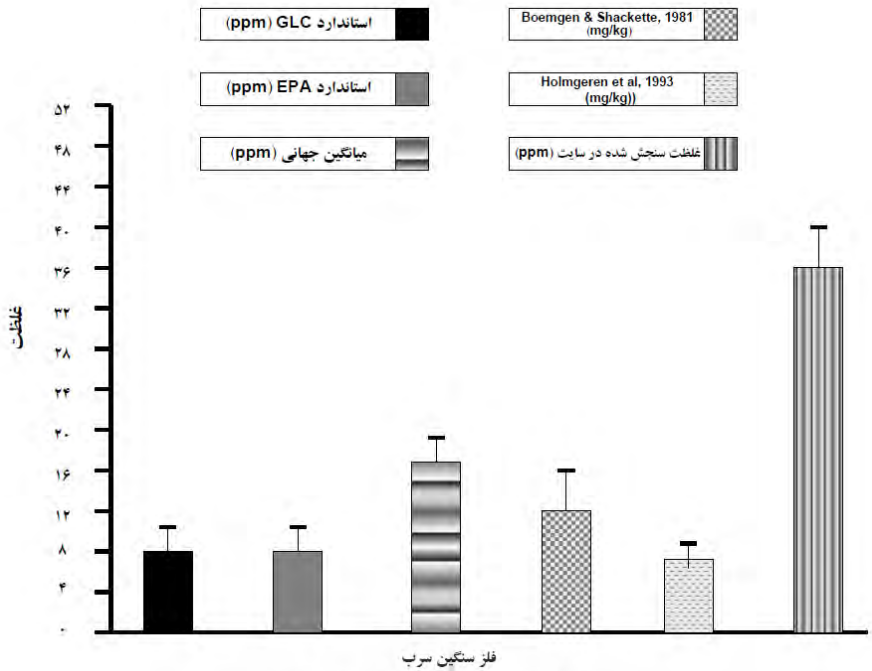
در مورد نمونه خاک حاوی گیاهان سالم نیز می‌توان چنین عنوان نمود که میزان چهار عنصر استرانسیوم (Sr)، سرب (Pb)، کبالت (Co) و کادمیوم (Cd) بیش از حد استاندارد است.

از سوی دیگر، مشاهده می‌شود که میزان دو عنصر سرب (Pb) و استرانسیوم (Sr) در هر دو نمونه (خاک حاوی گیاهان بیمار و خاک حاوی گیاهان سالم) از حد استاندارد بالاتر است.



شکل ۵- نمودار مقایسه‌ای عناصر اندازه‌گیری شده در نمونه خاک حاوی گیاهان بیمار و نمونه خاک حاوی گیاهان سالم با استاندارد (برحسب ppm)

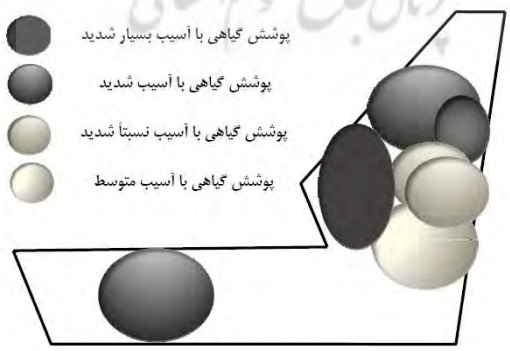
شکل شماره ۶، میزان سرب سنجش شده در خاک منطقه مطالعاتی را با استانداردهای جهانی و برخی از مطالعات معتبر صورت گرفته در گذشته، به شکل مقایسه‌ای ° تطبیقی نشان می‌دهد و بیانگر میزان بالای عنصر سرب در خاک منطقه مطالعاتی است.



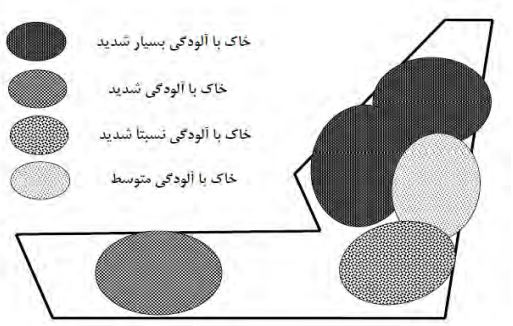
شکل ۷- نمودار مقایسه‌ای میزان سرب سنجش شده در سایت مطالعاتی با مطالعات سایر محقان و استانداردهای بین‌المللی

با بررسی پهنه‌بندی پوشش گیاهی آسیب دیده در سایت مطالعاتی (شکل ۸) و نیز بررسی پراکنش فلزات سنگین در خاک سایت (شکل ۹) و همپوشانی پهنه‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که آسیب وارده بر پوشش گیاهی سایت (درختان و درختچه‌ها) در ارتباط مستقیم با نوع و میزان فلزات سنگین در خاک منطقه است. بدین ترتیب که بخشی از سایت که دارای بالاترین میزان فلزات سنگین بوده است، اتفاقاً از پوشش گیاهی بسیار آسیب‌دیده نیز برخوردار است و برعکس؛ مناطقی از سایت که کمترین میزان فلزات سنگین را دارا هستند، از پوشش گیاهی سالم‌تری نیز برخوردار می‌باشند.

نکته حایز اهمیت آن است که با مشاهده نتایج درج شده در جدول شماره (۳) می‌توان این فرضیه را مطرح نمود که حضور بیش از حد برخی عناصر از قبیل: Na, Ba, Sr, Zn, Pb, Zr سبب خروج برخی عناصر مفید و مورد نیاز برای گیاهان از قشر سطحی و حاصلخیز خاک (۳۰ سانتیمتری سطح خاک) و نفوذ به لایه‌های عمقی خاک می‌شوند. از جمله این عناصر می‌توان به موارد زیر اشاره داشت: Fe, Al, K, Mg, Mn, Mo, P, S, Na که برای رشد گیاهان ضروری هستند.



شکل ۸- پهنه‌بندی پوشش گیاهی آسیب دیده در سایت مطالعاتی



شکل ۹- پراکنش فلزات سنگین در سایت مطالعاتی

شکل ۱۰- علایم مسمومیت برگ درخت با نیکل

شکل ۱۱- خشکیدگی سوزنی‌برگ در سایت مطالعاتی

شکل ۱۲- خشکیدگی چمن در منطقه با آلودگی بالا به فلزات سنگین

شکل ۱۳- بیماری زنگ ناشی از کمبود عناصر مغذی و ضعف گیاه

نتیجه‌گیری

نتایج بیانگر آن است که میان تجمع فلزات سنگین و آسیب‌پذیری پوشش گیاهی در سایت مطالعاتی ارتباط وجود دارد. به طوریکه، بخش اعظم تخریب پوشش گیاهی در خاک مناطقی که دارای گیاهان بیمار بوده‌اند، ناشی از تجمع فلزات سنگین در آن مناطق است. به ویژه عناصر نیکل، سرب، روی، استرانسیوم. به علاوه، وجود بیش از حد کادمیوم در خاک مناطقی که نمونه گیاهی بیمار در آنها مشاهده نشده است، الزاماً به معنی آن نیست که در این مناطق مشکلات خاص محیط زیستی و بهداشتی رخ نخواهد داد. مطابق با آنالیزهای صورت گرفته در گذشته (۱۵ سال قبل)، تمامی خاک‌های منطقه مطالعاتی از کیفیت مناسبی برخوردار بوده‌اند و آلودگی خاک به فلزات سنگین نیز گزارش نشده بود. در مورد پوشش گیاهی نیز، هیچ نوع نشانه و علایمی از آسیب گزارش نشده بوده است. ولیکن در طی چند سال گذشته و با شدت گرفتن فعالیت‌های عملیاتی و اجرایی در سایت، میزان آلودگی و نشر آلاینده به خاک و هوای اطراف افزایش یافته و در مناطقی که در مجاورت واحدهای خدماتی آلاینده می‌باشند، میزان تخریب بالاتر است. به نظر می‌رسد تا بکارگیری HSE امکان بازگرداندن منطقه به شرایط استاندارد را میسر می‌سازد.

منابع

۱. اسدی محمود. فائزی رازی، دادمهر. نبی‌زاده، رامین. وجدانی، مهناز. (۱۳۷۲). «مدیریت مواد زائد خطرناک، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست»، تهران.

۲. بروگنورت، ج. (۱۳۷۱). «شیمی خاک»، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

۳. بقایی، ا.، ح. خادمی، و ج. محمدی. (۱۳۸۶). «تجزیه و تحلیل زمین آماری تغییرات مکانی سرب و نیکل قابل جذب در اطراف دو قطب صنعتی منطقه اصفهان». مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره: ۱۴ (۲).

۴. خسروی دهکردی، ا.، ع. سفیانیان، و م. افیونی. (۱۳۸۷). «مدلسازی توزیع مکانی کل سرب و کل کادمیوم در خاک سطحی شهر اصفهان به روش کریجینگ ناپیوسته»، همایش ژئوماتیک. دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵. دلیجانی، ف.، غ. ع. کاظمی، م. پروین‌نیا، و م. خاکشور. (۱۳۸۸). «غنی‌شدگی و توزیع فلزات سنگین در خاکهای منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی (عسلویه). هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران». دانشگاه شیراز.

۶. عرفان‌منش، م.، و م. افیونی. (۱۳۷۹). «آلودگی محیط زیست: آب، خاک و هوا»، نشر ارکان اصفهان، چاپ اول.

7. Alloway, B. J.(2001). *Heavy metal in soil*. New York: John Wiley and sons. Inc; 2001. P.20-28.
8. Amini, M., M. Afyuni, H. Khademi, K.C. Abbaspour, & R. Schulin. (2005). *Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran* Science of the Total Environment. Vol. 347: 64˚ 77.
9. Boerngen, J. and J. Shackette. (1981). *Chemical analyses of soils and other surfical materials of the conterminous United States*. United States Geological Survey Report 81-197.
10. Cao, H. F., A. C. Chang and A. L. Page. (1984). *Heavy metal contents of sludge-treated soils as determined by three extraction procedures*. J. Environ. Qual. 13:632˚634.
11. Caridad Cancelar, R. Paz-Gozalez, A. Abreu, C. A. (2002). *Heavy metal reference values for natural soils from Galicia*, Spain.
12. Davies, B. E. (1995). *Lead In, Heavy Metals in Soils*, Second Edition (B.J. Alloway, Ed.). Blackie, New York. 206-223.
13. Dreisbach, Robert H. (1995), *Standard Method for water and Wastewater examination*. Handbook of polsoning, lange Medical publication Los Altos Californla.
14. Facchinelli, A., E. Sacchi, and l. mallen. (2001). *Multivariate statistical and gis-based approach to identify heavy metal sources in soils*. Environ Pollut. 114 (3):313-324.
15. Holmgren, G., M. Meyer, R. Chaney, and R. Daniels. (1993). *Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America*. J. Environ. Qual. 22: 335-0348.
16. Huang, J., Nkrumah, P., Anim, D., Mensah, E., (2014*), E-waste disposal effects on the aquatic environment: A, Ghana*. Rev Environ Contam Toxicol. 229:19-34 pp. (WEEE) management
17. Michael, C., Sugumar, R. W., (2013), *Studies on Leaching of Heavy Metals from E–waste*. Oriental Journal of Chemistry, 29(03):1149-1154 pp.
18. Mico, C., Recatala, L., Peris, M. & Sa´nchez, J. (2006), "*Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis*", Chemosphere,Vol. 65 (5):863-72.
19. Najafi, A., (2011), *Management of electronic waste and its role in protecting the environment*, The 5th Environmental Engineering Conference, Tehran, University of Tehran, Faculty of Environment.
20. Qihang, W., Leung, j., Xinhua, G., Shejun, Ch., Xuexia, H., Haiyan, L., Zhuying, H., Libin, Z., Jiahao Ch., Yayin, L., (2015), *Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of an abandoned e-waste recycling site: Implications for dissemination of heavy metals*. Science of the Total Environment, Volumes 506˚507, 217-225 pp.
21. Song Q., Li J., (2014), *Environmental effects of heavy metals derived from the e-waste recycling activities in China: a systematic review*. Waste Manag. 34(12):2587-94 pp.
22. United States Environmental Protection Agency. (2005). *Office of Water Regulations and Standards*. EPA 440/5-86-001.
23. Wath, S. B., Dutt, P. S., Chakrabarti, T., (2011), *E-Waste scenario in India, its management and implications*, Environmental Monitoring and Assessment, pp. 172, 249˚262 pp.
24. Zeine, W., (2015), *Environmental impact assessment of waste electronic and electric equipment*. Environmental Science and Technology Full Length Research Paper, Vol. 9(8), 671-681 pp.