علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره سیزدهم، شماره یک، بهار ۹۰

بررسی زیست محیطی تغییرات غلظت فلز سمی آلومینیوم در مناطق صنعتی

(مطالعه موردی: برخی مناطق صنعتی استان کرمان)

حسن سالاری[1*]
h_salari57@yahoo.com
حسین مظفری[1]
خسرو منوچهری کلانتری[2]
مسعود ترکزاده[3]
فرزین ناصری[4]

تاریخ دریافت:۸۵/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش:۸۶/۳/۲۱

چکیده

شناخت و بررسی عوامل اصلی ایجاد سمیت آلومینیوم در هر منطقه (به ویژه مناطق صنعتی) حائز اهمیت می باشد. در تحقیق حاضر، جهت بررسی تاثیر فعالیت مناطق صنعتی بر تغییرات میزان یون آلومینیوم محیط، در شش ناحیه صنعتی استان کرمان کارخانه لاستیک بارز، کارخانه سیمان کرمان، مجتمع مس سرچشمه، صنایع مس باهنر، منطقه صنعتی شماره۱ و منطقه صنعتی خضرا) و یک منطقه غیرصنعتی (شاهد) نمونه برداری از خاک، گیاه و پساب صنعتی انجام گرفت. نمونه های خاک، از عمق ۳۰ سانتی متری خاک جمع آوری شد و نمونه های گیاهی نیز در هر منطقه با ۱۰ عدد تکرارجمع آوری شدند. پس از نمونه برداری و آماده سازی نمونه ها، پارامترهای: میزان اسیدیته، آلومینیوم قابل تبادل و آلومینیوم کل خاک، میزان آلومینیوم گیاه، میزان اسیدیته و غلظت آلومینیوم پساب صنعتی درآزمایشگاه تعیین گردید. غلظت آلومینیوم قابل تبادل خاک با روش استخراج با محلول کلرید پتاسیم و میزان آلومینیوم کل با روش هضم اسیدی و با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین شد. اسیدیته نمونه های خاک و پساب صنعتی با دستگاه pH متر سنجش شد. تجزیه آماری داده ها با روش one-way ANOVA (نرم افزار SPSS 10.0) انجام یافت. نتایج نشان داد که میزان پارامترهای آلومینیوم قابل تبادل در خاک، آلومینیوم پساب صنعتی و آلومینیوم تجمع یافته درگیاهان دو ناحیه صنعتی مجتمع مس سرچشمه و

۱- گروه اکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی [*](مسئول مکاتبات)
۲- استاد بخش زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۳- کارشناس ارشد بیوشیمی، پژوهشکده علوم محیطی، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی
۴- گروه اکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی

Archive of SID
www.SID.ir

صنایع مس باهنر، در مقایسه با سایر نواحی، شاهد و استانداردهای جهانی EPA افزایش معنی داری دارد. میزان اسیدیته خاک و پساب صنعتی نیز در این دو منطقه نسبت به سایر نواحی کاهش معنی داری داشت (اسیدیته نمونه های خاک به حد بحرانی pH=۵ نزدیک بود). میزان آلومینیوم کل خاک نواحی مجتمع مس سرچشمه و صنایع مس باهنر نسبت به مناطق دیگر افزایش چشمگیری نداشت. بنابراین افزایش آلومینیوم قابل تبادل در این نواحی، نشان دهنده وجود شرایط لازم جهت آزاد شدن کاتیون های آلومینیوم از ذرات خاک می باشد. بدین ترتیب می توان گفت، وجود پساب صنعتی و دود متصاعد شده(ترکیبات سولفوری) از نواحی صنعتی مذکور (مجتمع مس سرچشمه و صنایع مس باهنر) موجب افزایش تدریجی یون آلومینیوم خاک و تجمع آن در گیاهان می شود. در نتیجه این امر احتمال سمیت آلومینیوم در نواحی کشاورزی و شهری افزایش یافته که می بایست کنترل، ارزیابی و مدیریت بیشتری در این زمینه مهم صورت پذیرد.

واژه های کلیدی: *: آلومینیوم، آلومینیوم قابل تبادل، سمیت زیست محیطی ، اسیدی شدن خاک، مناطق صنعتی.*

مقدمه

آلومینیوم از جمله فراوان ترین عناصر فلزی موجود در کره زمین بوده و سومین عنصر فراوان بعد از اکسیژن و سیلیس در پوسته زمین می باشد. این عنصر ۸ درصد از لایه سطحی زمین را می سازد. عنصر مذکور در طبیعت با عناصر سیلیکون، اکسیژن و فلور واکنش می دهد. ترکیبات تشکیل شده در رس، خاک، سنگ و معادن یافت می شوند. مقادیرکم آلومینیوم به حالت های یونیزه و نامحلول همیشه در آب یافت می شود. فرم یونی آن به صورت اتم ها، مجموعه ای از اتم ها یا مولکول های دارای شارژ الکتریکی مثبت یا منفی می باشد. فرم اصلی یونیزاسیون آلومینیوم به صورت کمپلکس با بنیان های هیدروکسی می باشد (۱ و ۲).

آلومینیوم به طور طبیعی در خاک، آب و هوا وجود داشته و همچنین توسط طبیعت و فعالیت انسانی نیز به محیط زیست وارد می شود. اتم های آلومینیوم از گیاهان و سوخت های حاصل از گیاهان و سایر فرایندهای سوختی آزاد شده و می تواند به ذرات بسیار ریز موجود در خاک و هوا باند شود (۳ و ۴).

اثر سمی آلومینیوم در موجودات زنده به خوبی اثبات شده است. سمیت آلومینیوم وابسته به عوامل مختلف بوده و این عوامل موجب نفوذ این عنصر سمی به محیط (خاک، آب، محصولات زراعی و بدن انسان) می گردند. ازجمله عوامل مهم بروز سمیت آلومینیوم در محیط زیست، می توان به افزایش نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق خاک، اکسید شدن پیریت و سولفیدهای خاک، اسیدی شدن خاک، فعالیت های صنعتی، کاربرد کودهای نیتراتی وآمونیاکی در کشاورزی و واکنش ذرات رس خاک با یون هیدروژن اشاره کرد. عوامل مذکور موجب آزاد سازی یون آلومینیوم از ذرات خاک شده و غلظت آن را در محیط افزایش می دهند (۵، ۶ و۷) .

انسان ممکن است از طریق خوردن غذا، آشامیدن آب و هضم داروها (مانند داروهای ضد اسید) و تنفس هوا در معرض جذب آلومینیوم اضافی محیط قرار گیرد. تماس پوستی با مواد حاوی آلومینیوم نیز می تواند عوارض سمیت آلومینیوم را در انسان ایجاد کند (۴ و ۸). گزارش ها نشان می‌دهد که بیشتر مواد آلوده کننده از طریق مواد مختلفی همچون گازهای متصاعد شده مانند دی‌اکسیدگوگرد و سایر گازهای سمی، فاضلاب های صنعتی، کودهای شیمیایی و ... به محیط های شهری و صنعتی حوزه های شهری استان کرمان وارد می شوند (۹). همچنین مطالعات نشان داده است که بیشتر عناصر دارای خواص سمی (مانند آلومینیوم) در حاشیه شهر کرمان و برخی مناطق صنعتی دارای غلظتی بیش از حد استاندارد بوده که باید مورد مطالعه دقیق تری قرار گیرند. میزان این نوع عناصر در محیط های صنعتی دارای تغییراتی در زمان های مختلف بوده که قابل پژوهش است (۱۰ و ۱۱).

Archive of SID

www.SID.ir

اگرچه ترکیبات آلومینیوم مانند سولفات آلومینیوم در تصفیه آب (به عنوان رسوب دهنده) استفاده می شوند، اما غذا منبع اصلی سمیت آلومینیوم بدن انسان است. سمیت زیست محیطی آلومینیوم موجب بروز بیماری های مختلف عصبی (مانند آلزایمر[1])، ریوی و کلیوی در بدن انسان می گردد. در سال های اخیر سازمان EPA[2] تحقیقاتی را جهت شناخت اثرات آلومینیوم بر انسان آغاز کرده است و دریافته اند که افراد دارای نارسائی های قلبی و کلیوی، دارای حساسیت بیشتری نسبت به آلومینیوم می باشند (۱ و ۸).

یکی از عوامل سمیت آلومینیوم در محیط زیست، باران های اسیدی بوده که موجب آزاد سازی آن در خاک شده و سمیت زیادی برای گیاهان این مناطق ایجاد می کند. تجمع آلومینیوم در گیاه موجب سمیت درون سلولی شده و باعث بروز تنش های ثانویه (مانند تنش اکسیداتیو) می شود که در نهایت منجر به مرگ سلول و ناهنجاری های رشد گیاه می گردد (۱۲، ۱۳ و ۱۴). به طور کلی آلودگی های صنعتی استان کرمان از دو مسیر به وجود می آید که شامل کاربرد سوخت های صنعتی و فرایند تولیدات صنعتی می باشد و منجر به ایجاد آلودگی های صنعتی و عناصر سمی در مناطق مورد نظر می گردد(۱۵ و ۱۶).

بیشترین میزان آلومینیوم در خاک هایی با اسیدیته کمترتر از ۵ آزاد می گردد و موجب سمیت در گیاه می شود. این سمیت به صورت کاهش رشد ریشه و کاهش جذب کلسیم بروز می کند. در خاک های اسیدی یون هیدروژن با هیدروکسید آلومینیوم موجود در ذرات خاک واکنش داده و موجب آزاد سازی آلومینیوم می شود. برخی عناصر سمی دیگر مانند سرب، جیوه، روی و کادمیوم نیز با این روش آزاد می گردند (۱۵ و ۱۶). گیاهان همچنین می توانند فلزات سنگین و سمی را از طریق آب و هوا نیز علاوه بر خاک جذب نمایند که خطر تجمع عناصر مذکور بیشتر می‌شود (۷، ۱۷ و۱۸).

1- Alzheimer

۲- سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا

مناطق صنعتی از چندین جنبه می توانند بر سمیت محیطی آلومینیوم تاثیر بگذارند. از این جنبه ها می تـوان به ورود پساب های صنعتی اسیدی و حاوی میزان بالاتر از مجاز فلزات سنگین و سمی (از جمله آلومینیوم) اشاره نمود. همچنین ورود گاز های آلاینده، حاوی ترکیبات سولفوری که موجب باران های اسیدی گردیده و اسیدیته خاک های مناطق صنعتی را کاهش می دهد. اکسیداسیون ترکیبات سولفوری وارد شده در خاک نیز می تواند موجب آزاد شدن آلومینیوم از ذرات خاک شود و میزان آلومینیوم قابل تبادل خاک را افزایش دهد (۵ و۱۴).

با توجه به توسعه بی برنامه شهرها و همپوشانی برخی مناطق شهری با مناطق صنعتی و کشاورزی و دفع فاضلاب ها به صورت نامناسب، غیر اصولی و غیر علمی موجب شده است که نزدیکی برخی محیط های صنعتی به مناطق مسکونی احتمال خطرات زیست محیطی را بالا ببرد. بنابراین بررسی میزان آلودگی ها به ویژه آلومینیوم در مناطق صنعتی شناسایی شده در استان کرمان با اهمیت به نظر می رسد(۱۵ و ۱۹).

تحقیق حاضر با هدف بررسی تاثیر فعالیت مناطق صنعتی بر تغییرات میزان یون آلومینیوم قابل تبادل[3] محیط و اسیدیته خاک در شش ناحیه صنعتی مهم استان کرمان شامل: کارخانه لاستیک بارز، کارخانه سیمان کرمان، مجتمع مس سرچشمه، صنایع مس باهنر، منطقه صنعتی شماره۱ و منطقه صنعتی خضرا و یک منطقه غیر صنعتی جنوب شهر کرمان (شاهد) انجام گرفته است. نمونه برداری از خاک، گیاه و پساب صنعتی انجام گرفته است. نمونه ها پس از آماده سازی در آزمایشگاه، مورد تجزیه و آنالیز دستگاهی قرار گرفتند. داده های حاصل با نرم افزار SPSS 10.0 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

روش بررسی

شناسایی مناطق صنعتی: با توجه به اهمیت بررسی میزان سمیت آلومینیوم در مناطق صنعتی، تعیین مناطق صنعتی

3- Exchangeable Aluminum

Archive of SID

www.SID.ir

مناسب جهت نمونه برداری از اهمیت خاصی برخوردار است. مناسب بودن یک منطقه صنعتی جهت این امر از جهات مختلف قابل ارزیابی است که می توان به میزان فعالیت و سن واحد صنعتی، نوع محصول تولیدی واحد صنعتی و نوع پساب و دود متصاعد شده از واحد صنعتی اشاره نمود (۱۱).

طبق گزارش رسمی سازمان صنایع استان کرمان (مورخ ۱۳۸۳/۹/۲۵)، ۹۶۳ واحد صنعتی فعال در سطح استان وجود دارد. اکثر واحدهای مذکور به صورت واحدهای صنعتی کوچک و کارگاه های صنعتی بوده که با توجه بررسی های انجام یافته بیشتر این واحد های کوچک و کم توسعه دارای شرایط لازم جهت نمونه برداری نمی باشند (۱۹). با توجه به موارد فوق، واحدهای صنعتی ذیل جهت نمونه برداری و مطالعات زیست محیطی انتخاب گردیدند:

مجتمع مس شهید باهنر کرمان، کارخانه سیمان کرمان، منطقه صنعتی خضرا کرمان (منطقه صنعتی شماره ۲ سابق)، منطقه صنعتی شماره ۱، کارخانه لاستیک بارز کرمان، مجتمع مس سرچشمه رفسنجان و منطقه شاهد (۱۰ کیلومتری جنوب شهر کرمان؛ منطقه هفت باغ).

نمونه برداری از مناطق صنعتی: جهت این امر، از عمق ۳۰ سانتی متری خاک هر منطقه (که کم تر در معرض تغییرات ناگهانی محیط بوده و ویژگی های خاک را بهتر نشان می دهد) استفاده شد. به عبارت دیگر در هر منطقه صنعتی، به تعداد ۱۰ بار تکرار از عمق ۳۰ سانتی متری خاک به طور تصادفی نمونه برداری انجام گرفت. نمونه‌برداری از سطح خاک مناطق مورد مطالعه نتوانست روند طولانی مدت تغییرات زیست محیطی عناصر مورد مطالعه را نشان دهد و با توجه به ماسه ای بودن مناطق مورد مطالعه و تغییرات سریع این قسمت از خاک (به دلیل وزش باد و حمل ماسه‌ها) نمونه برداری از آن انجام نگردید. نمونه های گیاهی نیز از قسمت های مختلف گیاهان (شامل تاغ و درمنه) به دست آمد. این گیاهان در تمام مناطق مورد مطالعه وجود داشتند و انتخاب این دو گیاه و نمونه برداری از آنها در تمام مناطق به این علت بود که عامل تاثیر نوع گونه گیاهان بر پارامترهای مورد مطالعه حذف شود. پساب صنعتی هر منطقه نیز با هماهنگی هر واحد صنعتی تهیه گردید. داده های منطقه شاهد با استانداردهای جهانی EPA مقایسه گردید.

سنجش میزان اسیدیته (pH) خاک و پساب صنعتی: نمونه های خاک پس از جمع آوری، در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. سپس۲۰ گرم خاک توزین گردیده و به یک ارلن منتقل گردید و ۲۰ میلی لیتر آب فاقد یون به آن اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۱۵ دقیقه با دستگاه شیکر (با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه) هم زده شد. نمونه ها سپس با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف گردیده و در دمای ۲ درجه سانتی گراد نگه داری شدند. در نهایت با استفاده از دستگاه pH متر ساخت شرکت Metrohm سوئیس، اسیدیته نمونه ها تعیین شد (۲۰).

اسیدیته نمونه های پساب صنعتی نیز بلافاصله پس از تهیه، تعیین گردید.

سنجش میزان آلومینیوم قابل تبادل خاک: نمونه های خاک پس از جمع آوری، در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. سپس با استفاده از غربال با منافذ به قطر ۲ میلی متر عبور داده شدند. ۵±۰/۰۵ گرم از نمونه های خاک با ترازوی Sartorius مدل BP211D با دقت 0.0001g توزین گردیده و به ظرف استخراج عصاره خاک منتقل شد. جهت استخراج آلومینیوم قابل تبادل نمونه های خاک، ۲۵ میلی لیتر محلول ۱ نرمال کلرید پتاسیم به آن ها اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه با دستگاه همزن (با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه) هم زده شد. سپس نمونه ها با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف و از محلول حاصل جهت تزریق در دستگاه جذب اتمی Varian مدل Spectra aa 220 ساخت کشور استرالیا استفاده گردید(۲۰).

جهت سنجش میزان آلومینیوم عصاره خاک، از روش جذب اتمی استفاده شد. برای این امر در ابتدا محلول های استانداردی با غلظت های مشخص تهیه گردید. محلول های استاندارد مذکور جهت رسم منحنی کالیبراسیون، به دستگاه تزریق شده و منحنی کالیبراسیون آلومینیوم حاصل شد. پس از

Archive of SID

www.SID.ir

کالیبراسیون دستگاه، نمونه های عصاره با سرعت ۶ میلی لیتر در دقیقه به دستگاه تزریق و غلظت Al^{3+} در آن ها تعیین گردید. پس از تعیین غلظت آلومینیوم در عصاره های خاک، از معادله زیر جهت تعیین میزان آلومینیوم قابل تبادل در خاک (بر حسب میلی گرم آلومینیوم در هر کیلوگرم خاک) استفاده شد (۷):

$$[Al]\ mg\ Kg^{-1}\ in\ soil = [Al]\ mg\ L^{-1} \times 5$$

سنجش میزان کل آلومینیوم پیوند یافته به خاک و آلومینیوم تجمع یافته در گیاهان مناطق:

۱ گرم نمونه خاک خشک را در ارلن ریخته و ۵ میلی لیتر مخلوط ۳ به ۱ از اسید نیتریک ۶۵٪ و اسید پر کلریک ۷۵٪ به آن اضافه گردید. اسید پرکلریک (قوی ترین اسید معدنی) دارای قدرت اسیدی بسیاری زیادی بوده و به سرعت آلومینیوم پیوند یافته به سایر مولکول ها را در محیط آزاد می‌کند و به شکل کاتیون آزاد مناسب جهت سنجش در می آورد. مخلوط حاصل به مدت ۲۴ ساعت بر روی هیتر برقی با حرارت ملایم ۵۰-۴۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت تا حجم نمونه ها به ۱ میلی لیتر کاهش یابد و گازهای تولید شده در محلول از آن خارج شود. با استفاده از آب فاقد یون، حجم کل به ۵ میلی لیتر رسانده شد. از محلول حاصل پس از عبور دادن از کاغذ صافی واتمن شماره۱، جهت تزریق در دستگاه جذب اتمی ذکر شده استفاده گردید. جهت تعیین میزان آلومینیوم تجمع یافته در گیاهان هر منطقه، گیاه تاغ[1] به عنوان گیاه غالب و پایای کلیه مناطق مورد مطالعه انتخاب گردید. جهت تهیه نمونه گیاهی، مشابه روش سنجش نمونه های خاک خشک از ۰/۵ گرم بافت خشک شده اندام هوایی گیاه مذکور (در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد و به مدت زمان ۲۴ ساعت) استفاده شد. روش تعیین نهایی غلظت آلومینیوم موجود در محلول های حاصل از هضم اسیدی خاک و نمونه های گیاهی نیز مشابه روش سنجش میزان آلومینیوم قابل تبادل در خاک با استفاده از دستگاه جذب اتمی بود (۲۰ و ۲۱).

تعیین میزان آلومینیوم پساب صنعتی: پساب صنعتی پس از نمونه برداری و تعیین اسیدیته، اسیدیته آن با استفاده از اسید نیتریک ۶۵٪ به کم تر از ۲ رسانده شد (هضم اسیدی و آزاد شدن کاتیون ها در محلول). نمونه ها پس از صاف شدن با کاغذ صافی، به دستگاه جذب اتمی تزریق شده و غلظت عناصر مورد نظر موجود در این پساب ها نیز مشابه روش قبل تعیین گردید (۹ و ۱۶).

تجزیه آماری و مقایسه داده ها: تجزیه آماری داده ها با استفاده از نرم افزارSPSS 10.0 صورت پذیرفت. روش آماری مورد استفاده، آنالیز واریانس یک طرفه[2] در سطح ۵ ٪ بوده (جدول ۱) و بررسی میزان همبستگی خطی بین برخی پارامتر های مرتبط نیز انجام یافت. پس از تجزیه آماری داده ها و مقایسه میانگین ها، نمودار های مربوط به هر پارامتر با استفاده از نرم افزار Excel 2003 رسم گردید. کلیه داده های به دست آمده از مناطق صنعتی مورد مطالعه با منطقه شاهد و استاندارد های EPA مقایسه گردید. داده های منطقه شاهد با استاندارد های EPA نیز مقایسه شد و مشخص گردید که منطقه شاهد دارای شرایط لازم بوده است.

نتایج

تغییرات غلظت آلومینیوم قابل تبادل خاک: نتایج نشان داد که میزان آلومینیوم قابل تبادل خاک در مناطق صنعتی مورد مطالعه تفاوت معنی داری با یکدیگر دارد و در مناطق صنعتی مس شهید باهنر و مس سرچشمه میزان عناصر مذکور نسبت به سایر مناطق صنعتی و منطقه شاهد افزایش معنی دار در سطح ۵ ٪ نشان داد. بالاترین میزان آلومینیوم قابل تبادل مشاهده شده مربوط به منطقه مس سرچشمه (۶/۵ ppm) و کم ترین آن متعلق به کارخانه لاستیک بود که تقریبا معادل منطقه شاهد و استاندارد EPA (۱/۴ ppm) می باشد (نمودار ۱). بنابراین نتایج حاصل در این دو منطقه صنعتی قابل توجه می باشد. میزان آلومینیوم قابل تبادل در منطقه کارخانه سیمان نیز افزایش چشمگیری نسبت به شاهد داشت و غلظت آن تا حد ۳/۹۸ ppm رسید که این غلظت در حد بالایی

1- Haloxylon spp

2- One way-ANOVA

Archive of SID

www.SID.ir

محسوب می شود. با توجه به مقایسه میانگین های مذکور می توان گفت از نظر آماری اختلاف زیادی در بین مناطق یاد شده از نظر غلظت آلومینیوم قابل تبادل وجود دارد که می تواند با پارامتر های مختلف زیست محیطی مرتبط باشد.

تغییرات اسیدیته (pH) خاک: اسیدیته خاک بر بسیاری از پارامترهای زیست محیطی تاثیر می گذارد. با توجه به نتایج حاصل از سنجش اسیدیته خاک مناطق مورد مطالعه (نمودار ۲)، می توان دریافت که اسیدیته خاک سه منطقه مس باهنر، مس سرچشمه و کارخانه سیمان نسبت به سایر مناطق و شاهد کاهش معنی دار داشته است. این کاهش اسیدیته خاک در مناطق مذکور نسبت به شاهد تا حد میانگین pH=۵/۳ در مورد منطقه مس سرچشمه مشاهده گردید که بسیار چشمگیر است و از نظر زیست محیطی قابل توجه می باشد. اسیدیته خاک در سه منطقه صنعتی دیگر (کارخانه لاستیک بارز، منطقه خضرا و منطقه صنعتی ۱) تفاوت چشمگیری نسبت به شاهد نداشت. میزان اسیدیته شاهد (pH= ۶/۶۳) مبنای مقایسه اسیدیته مناطق قرار گرفت.

تغییرات غلظت کل آلومینیوم پیوندیافته خاک: با توجه به نمودار ۳ می توان بیان کرد که درمناطق مس سرچشمه و کارخانه سیمان میزان آلومینیوم کل باند شده به ذرات خاک نسبت به شاهد و استانداردهای EPA افزایش چشمگیری نشان داد و در سایر مناطق، این پارامتر تغییر چندانی نسبت به شاهد نداشت. بررسی نمودار همبستگی خطی بین میزان آلومینیوم کل باند شده به ذرات خاک و اسیدیته خاک (نمودار ۹) و همچنین بررسی نمودار همبستگی این پارامتر با میزان آلومینیوم قابل تبادل خاک (نمودار ۱۳) نشان از همبستگی ضعیف دارد. همبستگی ضعیف بین آلومینیوم قابل تبادل و آلومینیوم کل باند شده به خاک، وجود یک عامل دیگر را اثبات می کند.

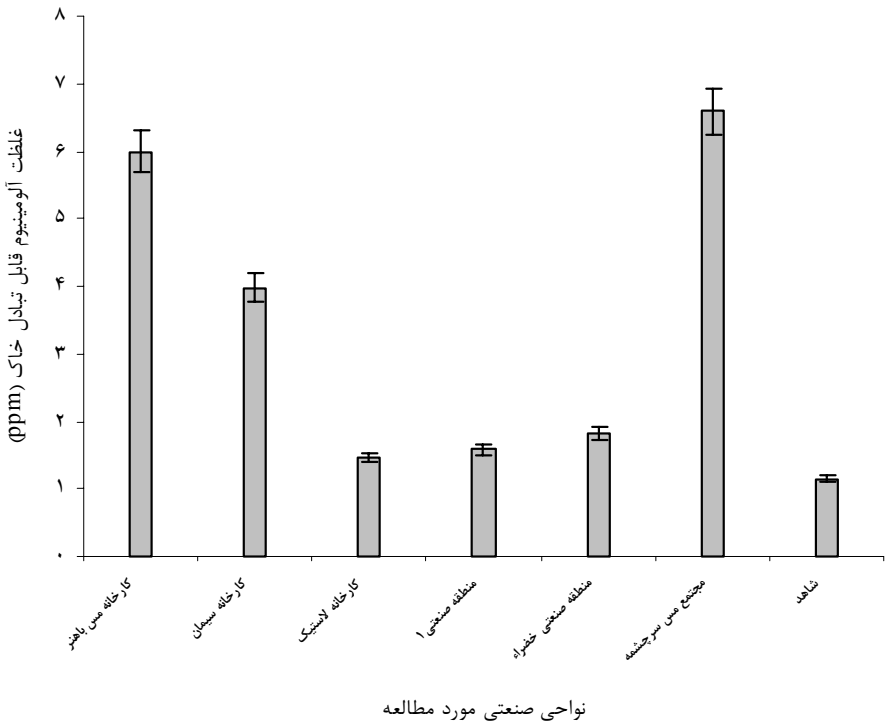
تغییرات آلومینیوم گیاهان: با بررسی نمودار ۴ می توان دریافت که به طور کلی غلظت آلومینیوم تجمع یافته در گیاهان مناطق مورد مطالعه در مقایسه با شاهد (منطقه غیر صنعتی) استاندارد های EPA افزایش چشمگیری دارد. با این حال تفاوتهای زیادی بین مناطق مختلف صنعتی مشاهده می شود. به طوری که بیشترین غلظت سنجش شده مربوط به مجتمع مس باهنر (۱۶۱/۶۲ ppm) و کم ترین مربوط به منطقه صنعتی خضرا (۳۱/۶۲ppm) می باشد. در هر دو، میزان آلومینیوم سنجش شده بیشتر از شاهد (۱۶/۵۸ppm) بوده است.

تغییرات اسیدیته پساب صنعتی: نمودار ۵ مقایسه میانگین های اسیدیته پساب صنعتی (در سطح معنی داری ۵ ٪) حاصل از فعالیت مناطق صنعتی را نشان می دهد. داده های آزمایش نشان می دهد که اسیدیته پساب مناطق مس سرچشمه (pH=۶/۲) و مس باهنر (pH=۶/۰۲)کم تر از مناطق دیگر می باشد. همچنین با بررسی نمودار ۱۱ می توان دریافت که بین اسیدیته خاک و اسیدیته پساب صنعتی مناطق مذکور همبستگی خطی مثبت در حدود ۸۵ ٪ (R^2=0.8474) وجود داردکه قابل توجه می باشد. این همبستگی مثبت می تواند نشان دهنده ارتباط منطقی بین این دو شاخص زیست محیطی باشد.

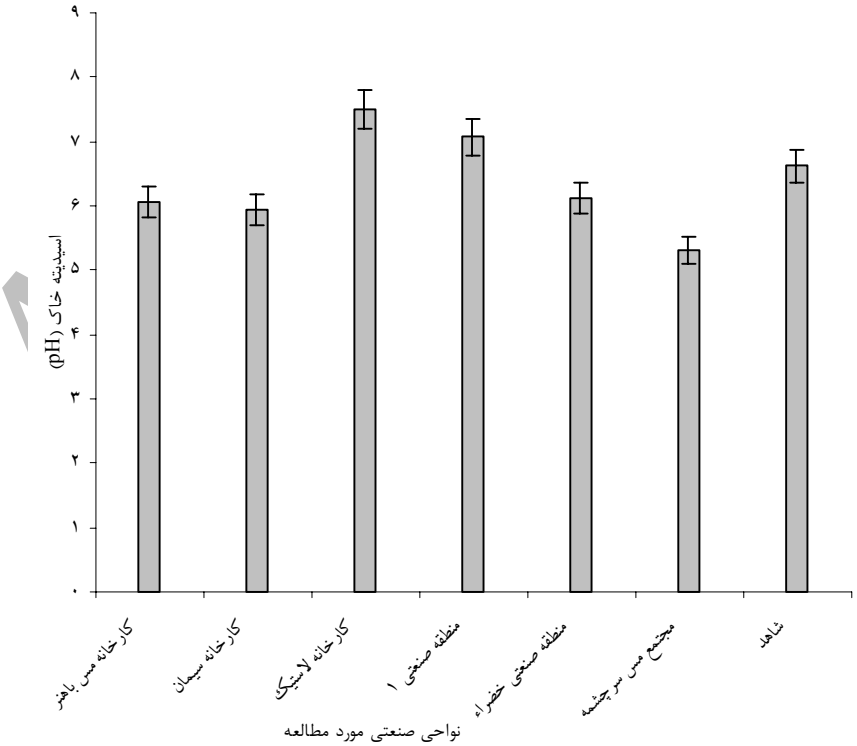
تغییرات غلظت آلومینیوم پساب صنعتی: آلومینیوم موجود در پساب صنعتی می تواند موجب افزایش آلومینیوم موجود در خاک شود. آلومینیوم موجود در خاک می تواند به سیستم های حیاتی از جمله گیاهان نفوذ کند. با بررسی نمودار ۶ می توان دریافت که در برخی مناطق (مجتمع مس سرچشمه و کارخانه سیمان کرمان) غلظت آلومینیوم پساب نسبت به سایر مناطق و شاهد، افزایش چشمگیری دارد. بررسی نمودار ۱۲ نشان می دهد که همبستگی ضعیفی بین دو پارامتر میزان آلومینیوم پساب صنعتی و میزان آلومینیوم قابل تبادل خاک وجود دارد. این موضوع نشان دهنده عدم تاثیر غلظت آلومینیوم موجود در پساب های صنعتی بر میزان آلومینیوم قابل تبادل در خاک است.

Archive of SID

www.SID.ir

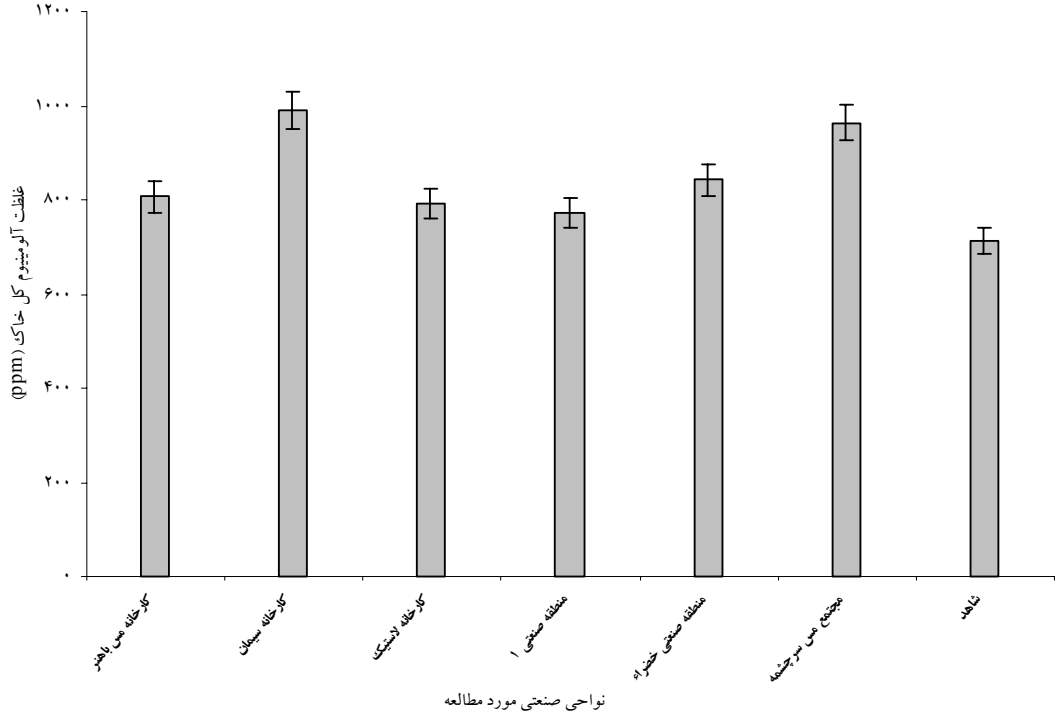


نمودار ۱- مقایسه میانگین میزان الومینیوم قابل تبادل خاک در برخی نواحی صنعتی مهم استان کرمان

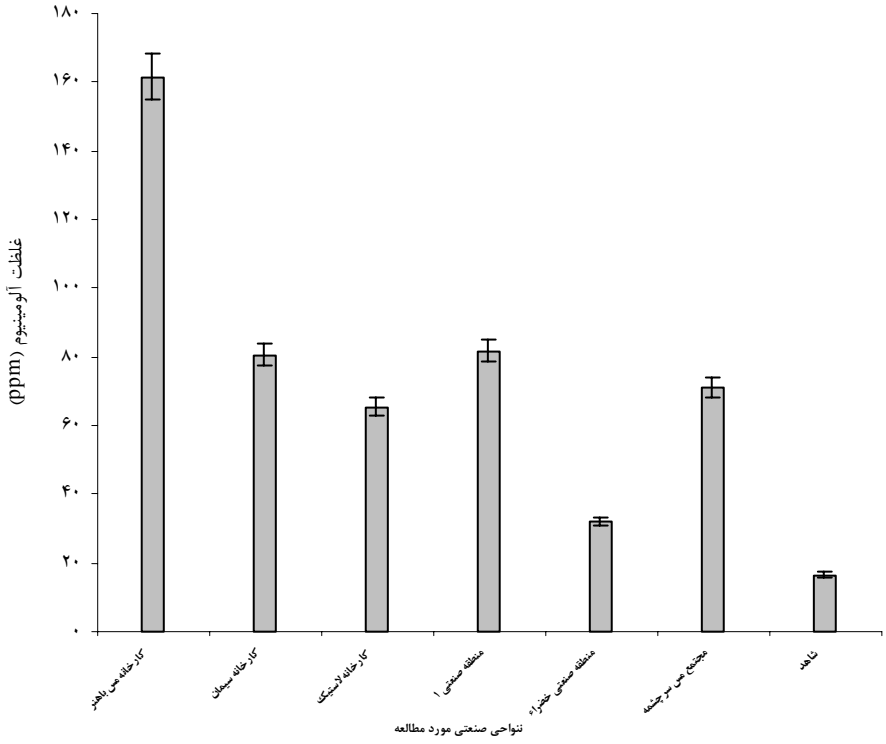


نمودار ۲- مقایسه میانگین اسیدیته خاک (pH) در برخی نواحی صنعتی مهم استان کرمان

www.SID.ir

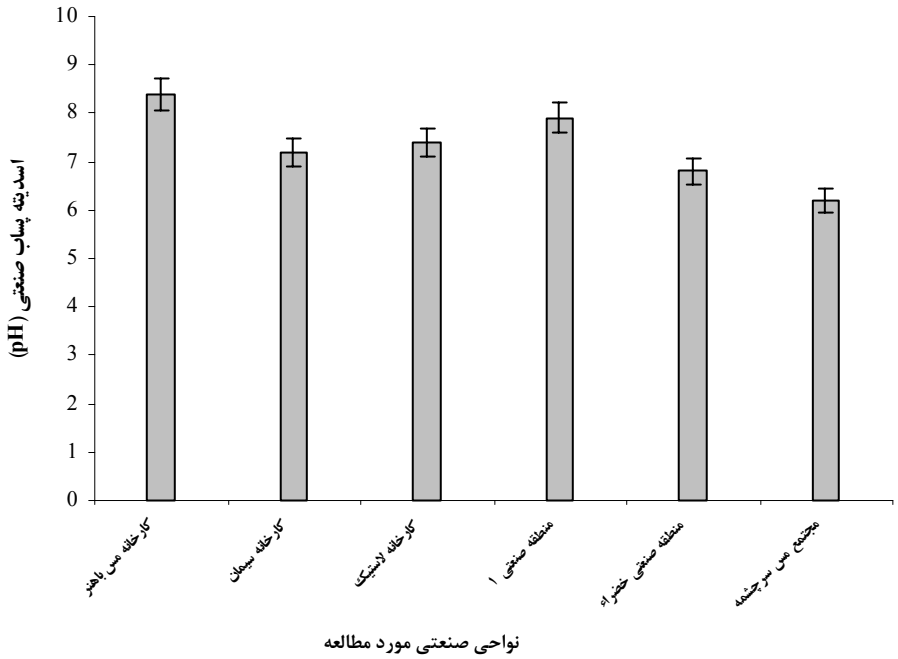


نمودار ۳- مقایسه میانگین میزان کل آلومینیوم خاک با استفاده از روش هضم اسیدی در برخی نواحی صنعتی مهم استان کرمان

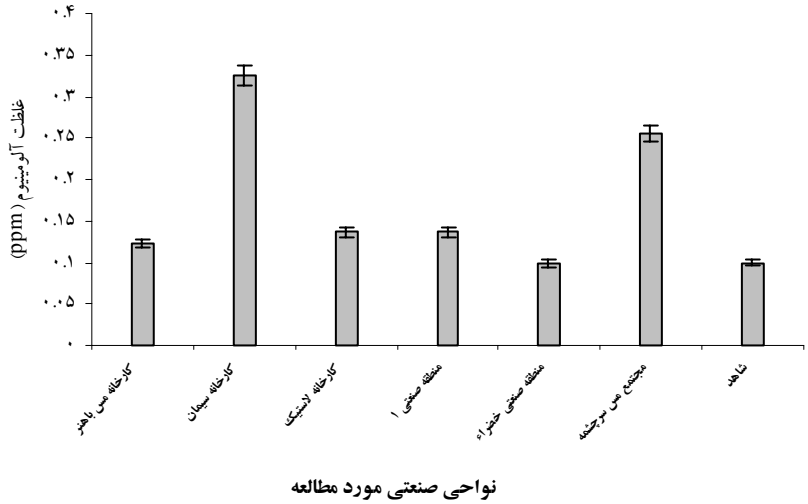


نمودار ۴- مقایسه میانگین میزان کل آلومینیوم تجمع یافته گیاهان در برخی نواحی صنعتی مهم استان کرمان

www.SID.ir

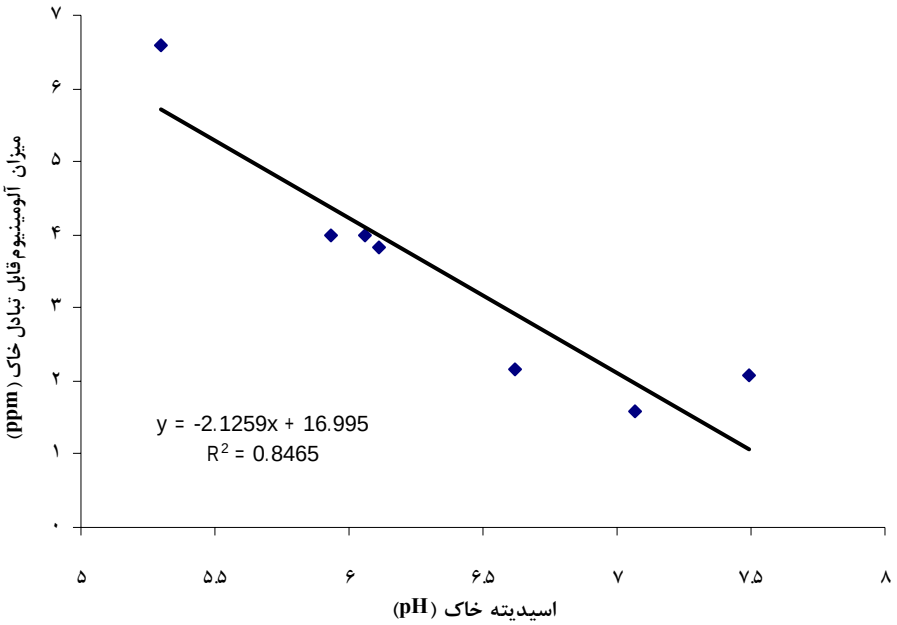


نمودار ۵- مقایسه میزان اسیدیته (pH) پساب صنعتی جمع آوری شده در برخی نواحی صنعتی مهم استان کرمان

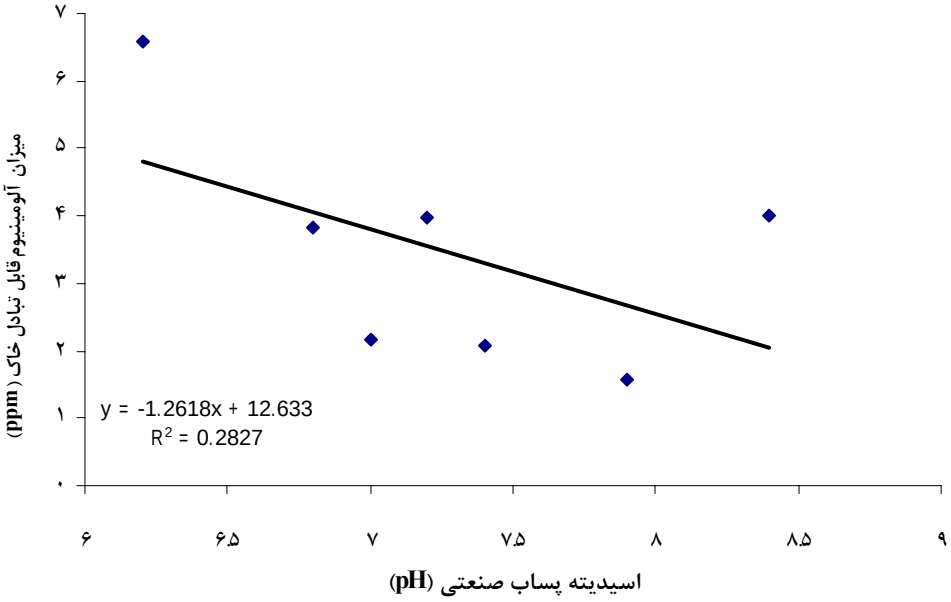


نمودار ۶- مقایسه میانگین میزان آلومینیوم پساب صنعتی جمع آوری شده در برخی نواحی صنعتی مهم استان کرمان

www.SID.ir

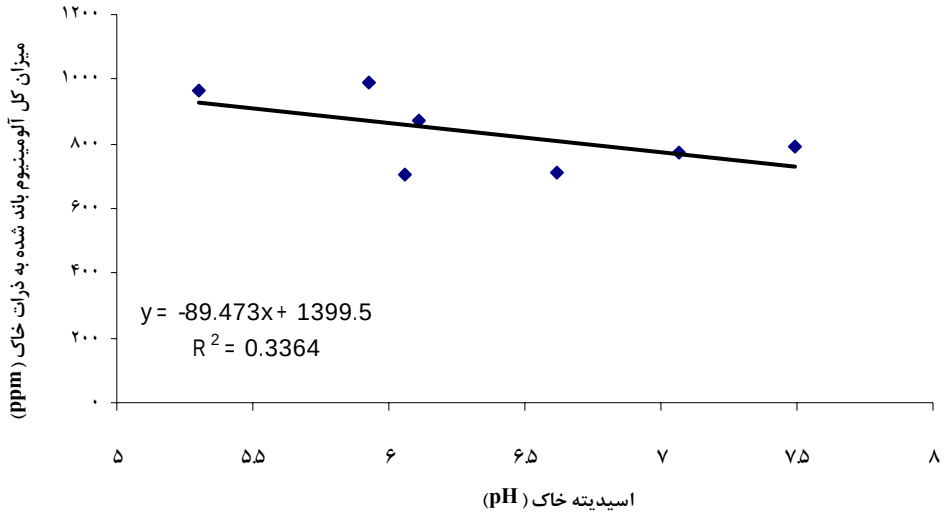


نمودار ۷- میزان همبستگی بین پارامترهای اسیدیته خاک (pH) و میزان آلومینیوم قابل تبادل در برخی مناطق صنعتی استان کرمان

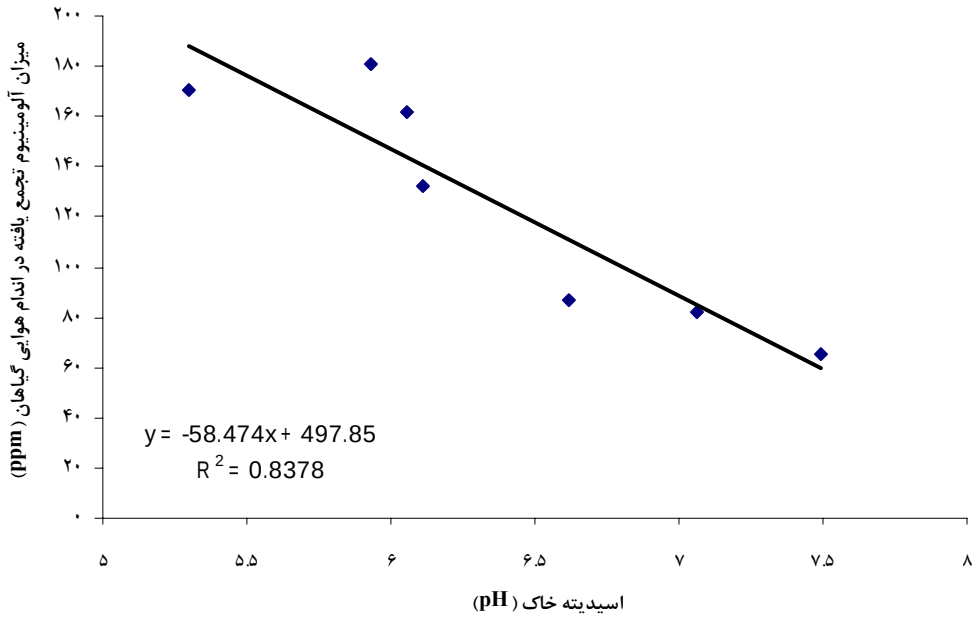


نمودار ۸- میزان همبستگی بین پارامترهای اسیدیته پساب صنعتی (pH) و میزان آلومینیوم قابل تبادل در برخی مناطق صنعتی استان کرمان

www.SID.ir

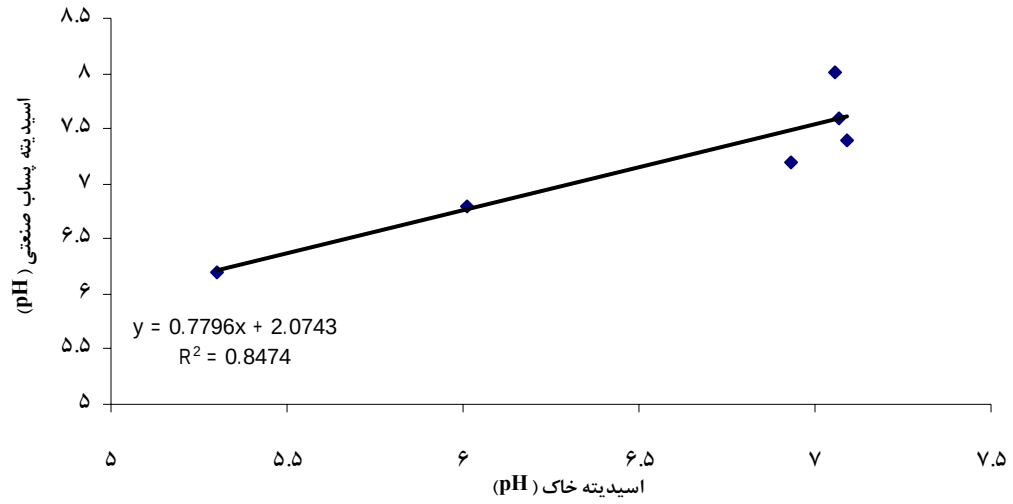


نمودار ۹- میزان همبستگی بین پارامترهای اسیدیته خاک (pH) و میزان کل آلومینیوم باند شده به ذرات خاک در برخی مناطق صنعتی استان کرمان

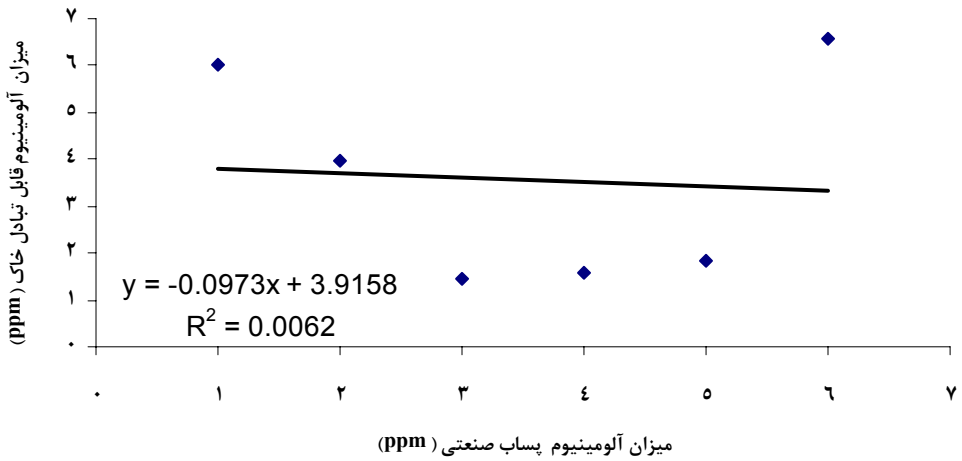


نمودار ۱۰- میزان همبستگی بین پارامترهای اسیدیته خاک (pH) و میزان آلومینیوم تجمع یافته در اندام هوایی گیاهان در برخی مناطق صنعتی استان کرمان

www.SID.ir

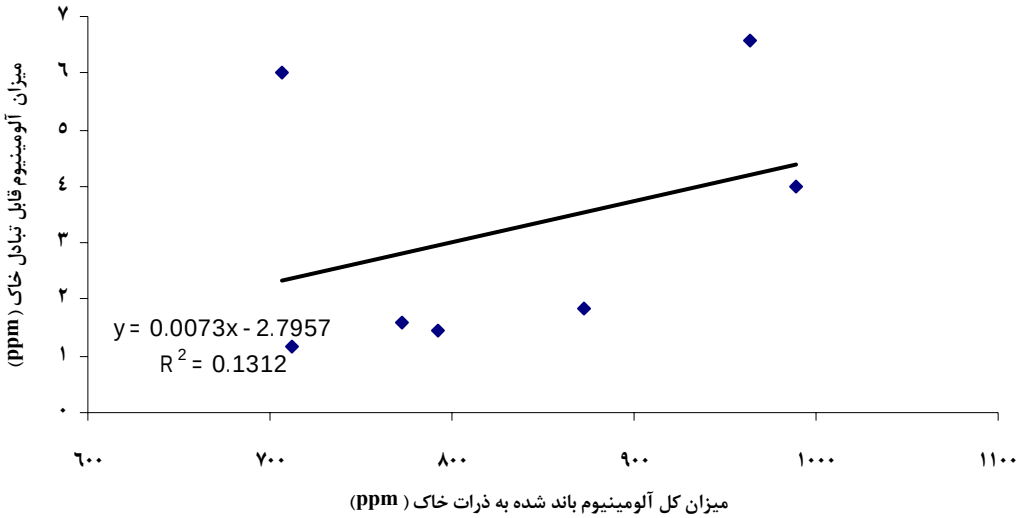


نمودار ۱۱- میزان همبستگی بین پارامترهای اسیدیته خاک (pH) و اسیدیته پساب صنعتی(pH) در برخی مناطق صنعتی استان کرمان



نمودار ۱۲- میزان همبستگی بین پارامترهای میزان الومینیوم پساب صنعتی و میزان آلومینیوم قابل تبادل در برخی مناطق صنعتی استان کرمان

www.SID.ir



نمودار ۱۳- میزان همبستگی بین پارامترهای میزان کل آلومینیوم باند شده به ذرات خاک و میزان آلومینیوم قابل تبادل در برخی مناطق صنعتی استان کرمان

جدول ۱- تجزیه واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA) داده های حاصل از سنجش پارامتر های مختلف مرتبط با آلومینوم مناطق صنعتی مورد مطالعه در سطح معنی داری ۵ ٪

پارامتر مورد سنجش	SS	df	MS	F	$F_{5\%}$
آلومینیوم قابل تبادل خاک	۲۱۴/۰۳۲	۶	۳۵/۶۷۲	۱۷/۹۹۲	۰/۰۰۴۲
آلومینیوم کل خاک	۲۶۰۷۳۰/۷	۶	۴۳۴۵۵/۱۱۲	۶/۲۵۱	۰/۰۰۱
آلومینیوم گیاهان	۵۶۲۱۴/۰۳۸	۶	۹۳۶۹/۰۰۶	۱۷/۳	۰/۰۲
آلومینیوم پساب صنعتی	۰/۰۴۵۷۸	۵	۰/۰۷۶۳	۶/۲۵۱	۰/۰۰۲۳
اسیدیته خاک	۲۵۰/۱۰۸	۶	۴/۱۸۵	۸/۸۷۲	۰/۰۰۳۲
اسیدیته پساب صنعتی	۳/۰۴۸	۵	۰/۶۱	۴/۲۱۵	۰/۰۰۳

تفسیر نتایج

میزان آلومینیوم قابل تبادل خاک در مناطق صنعتی مورد مطالعه تفاوت معنی داری با یکدیگر داشته و به ویژه در مناطق صنعتی مس شهید باهنر و مس سرچشمه میزان عنصر مذکور نسبت به سایر مناطق صنعتی و منطقه شاهد افزایش معنی دار در سطح ۵ ٪ نشان داد (نمودار۱). آلومینیوم قابل تبادل یکی از مهم ترین شاخص های سنجش میزان آلودگی آلومینیوم خاک ها می باشد. میزان آلومینیوم قابل تبادل خاک به معنی میزان آلومینیومی از خاک می باشد که می تواند از ذرات خاک جدا شده و جذب ریشه گیاهان شود و یا این که در محیط آبی خاک نفوذ کند. هرچه میزان این شاخص مهم در

Archive of SID

www.SID.ir

خاک بیشتر باشد، خطر سمیت محیطی آلومینیوم نیز بالاتر خواهد رفت (۲ و۱۳). به عبارت دیگر در این شرایط، آزاد سازی آلومینیوم از ذرات خاک بیشتر شده و آلومینیوم بیشتری به محیط ریشه گیاه نفوذ خواهد کرد. اگر اسیدیته خاک کم تر از ۴/۵ باشد، گیاهان منطقه به شدت در معرض سمیت آلومینیوم قرار خواهد گرفت و میزان تجمع آلومینیوم در بافت های گیاه افزایش خواهد یافت. افزایش آلومینیوم در گیاه موجب خواهد شد که پس از تجزیه بافت های گیاهی، ورود یون های آزاد آلومینیوم به اکوسیستم افزایش یابد و در نهایت امر این یون ها به انسان خواهند رسید (۶، ۲۴ و ۲۵).

با توجه به مقایسه داده های به دست آمده با پژوهش های قبلی انجام یافته در حوزه شهری کرمان و مناطق صنعتی و شهری مجاور، احتمال خطرپذیری زیست محیطی آلومینیوم بیشتر درک می شود که باید مورد بحث و تفسیر علمی قرار گیرد. داده های ژئوشیمیایی نیز چنین مطلبی را نشان داده است (۱۵، ۱۶ ، ۱۷، ۲۲ و۲۳).

گازهای دی‌اکسیدگوگرد و تری‌اکسیدگوگرد در هوا به مرور زمان با رطوبت و آب باران ترکیب شده و موجب تولید یون های هیدروژن می گردند. یون های هیدروژن پس از نفوذ به خاک موجب آزاد سازی آلومینیوم می شوند (این مسئله در مورد کارخانجات مس سرچشمه، مس باهنر و سیمان صادق می باشد). عامل دیگر کاهش اسیدیته خاک، اسیدیته پساب صنعتی است که موجب پائین آمدن اسیدیته خاک می شود و این مطلب در مورد کارخانجات لاستیک، سیمان و منطقه صنعتی خضرا قابل توجه است (نمودارهای ۲، ۵ و ۷). گزارش سازمان حفاظت محیط زیست و سایر پژوهش های محلی نیز بالا بودن غلظت گازهای ذکر شده را در مناطق گفته شده نشان می دهد(۱۸ و۲۲). یون های هیدروژن قادر خواهند بود که با ذرات خاک واکنش داده و یون های آلومینیوم باند شده با این ذرات را آزاد نمایند. به طور معمول در خاک های معمولی تا حدود ۷۰۰ppm آلومینیوم باند شده به ذرات خاک وجود دارد (۲۶ و ۲۷).

داده ها نشان دادکه میانگین آلومینیوم قابل تبادل خاک و آلومینیوم تجمع یافته درگیاهان منطقه افزایش چشمگیری نسبت به شاهد دارد (نمودارهای ۱و ۴). اسیدیته خاک نیز تا حد زیادی نسبت به شاهد کاهش نشان داد اما هنوز، حد بحرانی اسیدیته فاصله نسبتا زیادی دارد. اما داده ها نشان می دهند که روند کاهش اسیدیته خاک شروع شده و در صورتی که کنترل آلودگی های مناطق صنعتی صورت نگیرد، میزان آلودگی آلومینیوم محیط های مذکور بالاتر خواهد رفت. با توجه به نتایج می توان دریافت که عامل pH خاک نسبت به سایر عوامل مانند pH پساب صنعتی و میزان آلومینیوم پساب صنعتی مهم تر می باشد و موجب افزایش آلومینیوم آزاد خاک خواهد شد. بنابراین توجه به آن، از اهمیت زیست محیطی خاصی برخوردار است (نمودارهای ۴ ،۲۴ و ۲۸).

تنظیم اسیدیته خاک و افزایش آن، موجب عدم آزاد سازی یون های آلومینیوم از ذرات خاک شده و میزان آلومینیوم قابل تبادل خاک را کاهش می دهد. در این صورت سمیت زیست محیطی آلومینیوم نیز تاحد زیادی کاهش می یابد. وجود اسید های آلی در خاک می تواند تا حد زیادی موجب کاهش آلومینیوم فعال خاک گردد. یکی از سازوکارهای های مقاومت گیاهان به آلومینیوم محیط خاک نیز ترشح همین اسید های آلی (مانند: مالات، سیترات و اگزالات) می باشد. در صورتی که این اسیدهای آلی در خاک به حد کافی وجود داشته باشند، با آلومینیوم آزاد شده موجود در خاک باند شده و در نتیجه آلومینیوم جذب ریشه گیاه نخواهد شد. عوامل مختلف نیز می توانند موجب تجزیه اسیدهای آلی مذکور شده و سمیت آلومینیوم را افزایش دهند. تاثیر این عوامل (مانند میکروب های خاک) چندان قابل توجه نیست و تاثیر اسیدیته بسیار مهم تر از این عوامل می باشد (۷، ۲۸و۲۹).

آلومینیوم موجب تغییرات تغذیه ای در یک اکوسیستم می شود. بدین صورت که تولید اولیه یک اکوسیستم توسط ویژگی های شیمیایی و فیزیکی محدود می شود. از مهم ترین عناصر تغذیه ای مهم محدود کننده یک اکوسیستم می توان به فسفر، نیترات یا آمونیوم (به عنوان منبع نیتروژن) و پتاسیم

Archive of SID

www.SID.ir

اشاره نمود. در این میان فسفر از اهمیت خاصی بر خوردار است، به طوری که میزان آن توسط آزاد شدن آلومینیوم در محیط های اسیدی کاهش می یابد و موجب اختلالات تغذیه ای در یک اکوسیستم (به ویژه در گیاهان) می گردد. فسفر می تواند توسط رسوبات هیدروکسید آلومینیوم آب جذب شود. تشکیل رسوبات هیدروکسید آلومینیوم در سطح آب های جاری زمانی صورت می گیرد که اسیدی شدن خاک ها رخ داده و میزان بیشتری از آلومینیوم وارد آب می شود. هیدروکسید آلومینیوم تشکیل شده در آب موجب جذب فسفر خاک می گردد و باعث فقر فسفری خاک می شود (۱۷، ۲۷ و ۳۰).

بنابراین می توان گفت که نگرانی در مورد سمیت آلومینیوم (در مناطق صنعتی مورد مطالعه و مناطق مشابه) جدی بوده و باید کنترل هایی در این زمینه صورت پذیرد. بررسی عوامل افزایش میزان آلومینیوم قابل تبادل در اکوسیستم و شناخت مسیرهای خاص نفوذ آلومینیوم آزاد به مناطق صنعتی، شهری و کشاورزی از اهمیت خاصی برخوردار بوده و پژوهش جهت این موضوع می تواند از لحاظ اقتصادی (تولید محصول در کشاورزی) و بهداشتی (تاثیر آلومینیوم بر سلامت انسان) در مناطق کوچک تر در تحقیقات آینده گنجانده شود. بدین صورت که در نواحی نزدیک به مناطق صنعتی که احتمال زیادی برای سمیت آلومینیوم وجود دارد، مطالعات بیشتری جهت بررسی سمیت آلومینیوم و به ویژه اثرات آن بر افرادی که در این نواحی زندگی می کنند، صورت پذیرد. پیشنهاد می گردد جهت کاهش اثرات سمی آلومینیوم در خاک های مختلف (به ویژه خاک های صنعتی و کشاورزی) از روش تنظیم اسیدیته خاک (موادی همچون آهک) و یا اضافه کردن ترکیبات حاوی اسیدهای آلی استفاده گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از یک طرح پژوهشی است که قرارداد همکاری آن در مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی کرمان تحت شماره ۱/۲۹۳۴ مورخ ۱۳۸۴/۸/۱۸ به ثبت رسیده و منابع مالی آن توسط مرکز تامین شده است، بدین وسیله از همکاری ریاست محترم آن مرکز و همکارانشان تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Altmann, P., Cunningham, J., Dhanasha, U., Ballard, M. & Thompson, J. (1999). Disturbance of cerebral function in people exposed to drinking water contaminated with aluminium sulphate: retrospective study of the Camelford water incidence. *British Medical Journal* 319: 807-811.
2. Yamaguchi, N., Hiradate S., Mizoguchi, M. & Miyazaki T. 2004. Aluminum toxicity in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J*. 68:1838-1843.
3. Bray, R. H. 1934. A chemical study of soil development in the Peorian loess region of Illinois. *Am. Soil Survey. Assoc. Bull*. 15:58-60.
4. Donald, J.M., Golub, M.S., Gershwin, M.E. &Keen, C. L. (1989). Neurobehavioral effects in offspring of mcie given excess aluminum in diet during gestation and lactation. *Neurotoxicol. Teratol*. 11(4): 345-351.
5. Egli, M., Fitze P. and Oswald M. 1999. Changes in heavy metal contents in an acidic forest soil affected by depletion of soil organic matter within the time span 1969–93. *Environment Pollution.* 105:367–379.
6. Kiss, T., Orvig, C. &Zatta, P. F. (1996). Speciation of aluminum in biological systems. *J. Toxicol. Environ. Health* 48: 543-568.
7. Athar, M. and Vahora S. B. 1995. Heavy Metals and environment. Dep of Medical elementary and toxicology. Hamard University India. *New Agriculture national Publishers.* 68p.

Archive of SID

www.SID.ir

8. Driscoll, W. R., Cummings, J. J. & Zorn, W. (1997). Aluminum toxicity in preterm infants. *N. Eng. J. Med.* 337(15): 1090-1091.

۹. علمدار، م. ۱۳۶۴.گزارش مطالعات منابع آب دشت کرمان- باغین در سال ۱۳۶۳. *وزارت نیرو. شرکت آب منطقه ای کرمان*، ۲۰۰ص.

۱۰. پوراحمد، ا.۱۳۷۰. جغرافیا و ساخت شهر کرمان. *انتشارات جهاد دانشگاهی*. ۲۶۰ص.

۱۱. کهرم، ا. ۱۳۷۶. کاربرد علم اکولوژی در کاهش سوء توسعه، پیش‌بینی اثرات توسعه و تاسیسات بر محیط زیست. *انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست*. ۳۱۶ص.

12. Andersen, M.K., Raulund-Rasmussen K., Strobel B.W. and H.C.B. Hansen. 2002. Heavy metal distribution and fractionation in pairs SAS Institute. *Journal of Soil Sciences*. 53(3):491–502.

13. Goh, C. & Lee, Y. 1999. Aluminum uptake and aluminum-induced rapid roor growth inhibition of rice seedlings. *Journal of Plant Biology*. 42(2): 151-158.

14. Yamamoto, Y., Kobayashi, Y., Devi, S., Rikiishi, S. & Matsumoto H. 2003. Oxidative stress triggered by aluminum in plant roots. *Springer Science+Business Media B.V.,* 255: 239 – 243.

۱۵. حمزه، م. ع. ۱۳۸۵. نشانگرهای ژئوشیمیایی و زیست محیطی در محدوده شهری کرمان. *پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید باهنر کرمان*. ۳۷۱ ص.

16. Bechett, R. H. 1958. The soil of Kerman, south Persia. Dep of Agricultural University of Oxford. *Journal of soil science.* Vol 9: No 1.

۱۷. سازمان آب منطقه ای کرمان، ۱۳۸۴. گزارشات ادامه مطالعات آب دشت کرمان- باغین در سال آبی ۸۴-۱۳۸۳. *آب منطقه ای کرمان. دفتر امور مطالعات آب*. ۹۸ص.

۱۸. دبیری، م.۱۳۸۲. آلودگی محیط زیست، هوا، آب، خاک و صوت. *گروه شیمی دانشکده علوم دانشگاه شهید بهشتی تهران. نشر اتحاد*. ۳۹۹ ص.

۱۹. هرمزی، ا. ۱۳۸۰. زمین شناسی زیست محیطی، زمین شناسی و محیط زیست انسان. *انتشارات مرکز نشر دانشگاهی*. ۳۸۵ص.

20. Bertsch, P.M. & Bloom, P.R. 1996. Methods of soil analysis: Part3 Chemical methods. *ASA and SSSA, Madison, WI. Book series*. 5: 517-550.

21. Tangen, G., Wickstr, T.m., Lierhagen, S., Vogt, R., & Lund W. 2002. Fractionation and Determination of Aluminum and Iron in Soil Water Samples Using SPE Cartridges and ICP-AES. *Environ. Sci. Technol*. 36 (24): 5421-5425.

۲۲. آفتابی، ع و انوری، م. ۱۳۷۱. منابع و ذخائر معدنی استان کرمان، *فصلنامه علمی، فنی، اقتصادی و خبری معادن و فلزات*. تابستان ۱۳۷۱؛ شماره ۴۷؛ ۱۴۱-۱۳۱.

۲۳. علیزاده، ا. کمالی، غ.، موسوی، ف.، موسوی بایگی، م. ۱۳۸۱. هوا و اقلیم شناسی. *انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد*. ۳۸۲ ص.

24. Dobermann, A. & Fairhurst, T. 2000. Aluminum Toxicity. Nutrient disorders & nutrient management. Handbook series. *Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute (IRRI)*. p:191.

25. Kochian, L.V., Jones, D.L. (1997) Aluminum toxicity and resistance in

Archive of SID

www.SID.ir

plants. *Research Issues in Al Toxicity. Taylor & Francis Ltd., Washington, DC*, 69-89.

26. Luo, M., Bi, S. 2003. Solid phase extraction-spectrophotometric determination of dissolved aluminum in soil extracts and ground waters. *J Inorg Biochem*. 15;97(1):173-8.
27. Timothy, E. & Lewis, A. 1990. Environmental chemistry and toxicology of Aluminum. *LEWIS PUB*. 2:1-20.
28. Guo, T. , Zhang G., Zhou, M., Wu, F. & Chen J. 2004. Effects of aluminum and cadmium toxicity on growth and antioxidant enzyme activities of two barley genotypes with different Al resistance. *Springer Science+Business Media B.V. 258.* 1: 241 – 248.
29. Watanabe, T. & Osaki M. 2002. Mechanisms of adaptation to high aluminum condition in native plant species growing in acid soils: a review. *Taylor & Francis PUB*. 33, 7-8: 1247–1260.
30. Keeney, D.R. & Nelson D.W. 1982. Nitrogen - inorganic forms. Methods of soil analysis. *Agron.Monogr.Madison PUB*. (2) part2: 643-6.

Archive of SID

www.SID.ir