

رفتار ژئوشیمیایی روی، پتاسیم و سدیم موجود در خاک، در برابر باران‌های اسیدی مرتب با کارخانه ذوب مس سرچشمه، رفسنجان

نوشته: سید محمد میرحسینی*، جمشید شهاب‌پور* و محمدهادی فرپور*

*دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۵/۲۳

چکیده

چندین دوره اندازه‌گیری pH باران در مناطق مجاور کارخانه ذوب مس سرچشمه کرمان در پاییز ۸۴ تا بهار ۸۶، وقوع بارش اسیدی در این مناطق را نشان داد که به نظری رسد علت آن خروج حجم زیاد گاز SO_2 از دودکش‌های کارخانه باشد. این مقاله به اثر این بارش‌ها بر وضعیت سه عنصر سدیم، پتاسیم و روی موجود در خاک‌های منطقه (خاک‌های نابالغ)، می‌پردازد. به این منظور، عملیات آزمایشگاهی شبیه‌سازی باران اسیدی بر روی ستون‌های دست نخورده خاک (۵۰ سانتی‌متر طول و ۶ سانتی‌متر قطر) با محلول‌های اسیدی با $pH=5/6$ و $4/1$ و $3/1$ صورت گرفت. میانگین بارندگی سالانه منطقه (۳۷۰mm) به مدت ۳۱ روز بر روی ۱۲ ستون خاک برداشت شده از ۴ نقطه در اطراف کارخانه ریخته شد. زهاب خارج شده، از انتهای ستون‌های خاک جمع‌آوری و پس از تجزیه شیمیایی مقدار عناصر مورد نظر در آن تعیین شد. ضمن اینکه پس از عصاره‌گیری‌های خاص از خاک‌های مورد آزمایش، مقدار سدیم و پتاسیم تبادل‌پذیر و محلول، مقدار قابل جذب و محلول عنصر روی، همچنین میزان اسیدیته، ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار آهک خاک در ۳ عمق ۱۵-۰، ۳۰-۱۵ و ۵۰-۳۰ سانتی‌متر مورد سنجش قرار گرفت و با مقدار این پارامترها قبل از عملیات شبیه‌سازی مقایسه گردید. نتایج حاصل نشان داد که مقدار به نسبت زیاد آهک موجود در خاک‌های منطقه اثر بارش‌های اسیدی را کاهش می‌دهد. با این وجود، باران‌های اسیدی علاوه بر شستن بخشی از این عناصر، مقادیر سدیم و پتاسیم تبدیلی را کاهش می‌دهند؛ درحالی‌که موجب افزایش شکل انحلال‌پذیر این فلزها می‌شوند. همچنین مشخص شد که مقدار حل شده و قابل جذب عنصر روی در خاک‌های مورد آزمایش در نتیجه تأثیر باران‌های اسیدی افزایش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: سرچشمه، باران اسیدی، سدیم و پتاسیم تبادل‌پذیر، روی حل شده و قابل جذب.

۱. مقدمه

یکی از مشکلات مهم زیست محیطی که بشر بویژه در مناطق صنعتی با آن روبه‌روست، باران‌های اسیدی می‌باشد. به طور کلی، منظور از باران اسیدی، بارانی است که pH آن از $5/6$ یعنی pH باران طبیعی کمتر باشد (Welburn, 1990; Botkin and Keller, 2003; Purohit and Kakrani, 2002; Neill, 1993). باران‌های اسیدی اثرات زیست محیطی متعددی دارد که اغلب اثراتی منفی بوده و از آن جمله می‌توان به تخریب بناها و برخی ابزارهای انسان ساخت (Yokom and Kanazu et al., 2001; Bear, 1983)، تخریب و از بین رفتن جنگل‌ها (Ulrich, 1980; Drohan, 1999; Sharpe & Drohan, 2001; Driscoll et al., 2002) اسیدی شدن محیط‌های آبی (Botkin & Keller, 2003)، تأثیر بر گیاهان زراعی (Irving, 1987; Pell et al., 1987; Ferenbaugh, 1976) و ... اشاره کرد. یکی از اثرات مهم باران اسیدی، اثر آن بر خاک است که به شکل‌های متفاوت از قبیل شستشوی کاتیون‌های مغذی، آزاد سازی عناصر سمی و اسیدی شدن خاک رخ می‌دهد.

مجتمع مس سرچشمه در ۵۵ کیلومتری جنوب‌باختری رفسنجان، بزرگ‌ترین مرکز ذوب و تولید فلز مس در ایران است. این منطقه با ارتفاع حدود ۲۵۰۰ متر از سطح دریا، یکی از مناطق پر باران استان کرمان و جنوب خاور ایران است که در برخی سال‌ها، بارندگی آن به بیش از ۶۰۰ میلی‌متر می‌رسد.

فناوری اصلی موجود در مجتمع مس سرچشمه، شامل عملیات ذوب و تولید مس در کوره‌های ریورب (شعله‌ای) و کنورتور پیرس - اسمیت است که طی آن، حدود ۹۵ درصد گوگرد ورودی که ناشی از کانسنگ‌های سولفیدی است، پس از تبدیل به SO_2 وارد جو می‌شود (شریف و قرنفلی، ۱۳۷۶).

طبق محاسبه انجام شده بر اساس میزان خوراک کارخانه و مدت زمان فعالیت آن،

در هر شبانه‌روز حدود ۷۸۹ تن گاز SO_2 (تقریباً معادل ۴۰۰ تن گوگرد) از طریق دودکش‌های کارخانه ذوب مس سرچشمه وارد جو محیط می‌شود. این حجم عظیم گاز در فصل‌های بارندگی با تأثیر بر اسیدیته بارش‌ها، اثرات زیست محیطی خاصی بر منطقه خواهد گذاشت (میرحسینی، ۱۳۸۶).

در رابطه با تحرک و شسته شدن عناصر یا تغییر مقدار شکل‌های شیمیایی متفاوت آنها در نتیجه تأثیر باران‌های اسیدی، مطالعات بسیاری انجام شده است که از جمله آنها می‌توان به (Mcfee (1980); Tomlinson (2003); King et al. (2006); Zhang et al. (2007) اشاره کرد. از آنجا که چنین بررسی‌هایی در طبیعت بسیار دشوار است، اغلب این مطالعات در آزمایشگاه و عمدتاً بر روی نمونه‌های ستونی خاک انجام گرفته است. این گونه آزمایش‌ها با عنوان آزمایش‌های شبیه‌سازی باران اسیدی (Simulated Acid Rain) یا SAR شناخته می‌شوند. در این مقاله، اثر بارش اسیدی بر تحرک و تغییر مقدار شکل‌های شیمیایی سدیم، پتاسیم و روی موجود در خاک‌های منطقه سرچشمه با استفاده از آزمایش شبیه‌سازی باران اسیدی بررسی شده است. عناصر مذکور، جزو عناصر غذایی گیاهان هستند و کمبود یا افزایش هر یک می‌تواند اثرات خاصی بر محیط زیست منطقه داشته باشد.

۲. روش مطالعه

اندازه‌گیری اسیدیته بارش‌ها در چندین مورد از بارندگی‌های منطقه مورد مطالعه (برف، باران و تگرگ) در سال‌های ۸۴ تا ۸۶ و در جهت‌های جغرافیایی مختلف نسبت به کارخانه ذوب مس سرچشمه صورت گرفت که نتایج حاصل، رخداد باران‌های اسیدی در این مناطق بویژه در بخش‌های شمالی، شمال‌خاوری و خاور آن را نشان داد که در مواردی pH این بارش‌ها به کمتر از ۴ نیز می‌رسد (میرحسینی، ۱۳۸۶). بررسی‌های صحرائی و حفر چندین چاله در خاک‌های منطقه، توسعه یافتگی

عبارتند از: وجود یا نبود کربنات در نیمرخ خاک، ظرفیت کلی بافری یا ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک که عمدتاً توسط محتوی رس و مواد آلی خاک تعیین می‌شود و سیستم مدیریتی‌ای که بر خاک اعمال می‌شود، خواه در آن زراعت صورت گیرد و کوددهی انجام شود و خواه به وسیله سیلاب تجدید شود (Wiklander, 1973; Wiklander, 1975; Wiklander, 1980; McFee, 1980; Smith, 1981; Manahan, 2005).

مشخصات کلی خاک‌های مورد آزمایش در چهار ایستگاه نمونه‌برداری (R, M, J و T) در جدول ۲ آمده است. براساس تقسیم‌بندی بافت خاک، خاک‌های ایستگاه‌های R و T به ترتیب در گروه‌های لوم ماسه‌ای و لوم رسی ماسه‌ای قرار می‌گیرند و بافت خاک در ایستگاه‌های M و J، لومی است. (شکل ۳). تعیین درصد ذرات خاک (به روش هیدرومتری) نشان داد که در ژرفای ۱۵-۳۰ سانتی‌متری، مقدار سیلت و رس در مقایسه با بخش‌های ژرف‌تر و سطحی‌تر بیشتر است که احتمالاً ناشی از شسته شدن ذرات ریز از سطح و تجمع آنها در بخش ژرف‌تر می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی آب زهکش شده از کف ۱۲ ستون خاک مورد آزمایش نشان داد که به ازای بارندگی ۳۷۰ میلی‌متر در منطقه، میزان شستشوی عنصر سدیم بسیار بیشتر از پتاسیم و روی است و شدت شستشو با شدت اسیدیته محلول‌های مورد استفاده نسبت مستقیم دارد (شکل ۴). بالاتر بودن ذاتی سدیم در خاک‌های منطقه نسبت به پتاسیم و روی (مقدار سدیم در خاک‌های مورد مطالعه به طور میانگین بین ۳ تا ۶ برابر و پتاسیم و بین ۳۰۰ تا ۲۰۰۰ برابر روی است) و احتمالاً حضور سدیم به شکل کلرید (با انحلال‌پذیری بالا) دلیل اصلی این امر است.

تغییرات pH خاک پس از تأثیر محلول‌های اسیدی نسبتاً کم است که مقدار نسبتاً بالایی آهک (درصد مواد خنثی شونده بر حسب کربنات کلسیم) در این خاک‌ها (بین ۱۰ تا ۲۴ درصد)، به خوبی این مسئله را توجیه می‌کند. تغییرات مقدار سدیم تبادل‌پذیر و محلول نشان می‌دهد که در هر چهار ایستگاه مورد مطالعه، مقدار تبادل‌پذیر این عنصر کاهش ضعیفی را با افزایش شدت اسیدیته باران‌های شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد (شکل ۵)؛ در حالی که مقدار محلول این عنصر پس از تأثیر باران اسیدی افزایش یافته است (شکل ۶).

روند تغییرات مقدار پتاسیم تبادل‌پذیر و محلول نیز همانند حالتی است که برای عنصر سدیم شرح داده شد و مقادیر تبادل‌پذیر و محلول پتاسیم در خاک، با افزایش شدت اسیدیته بارش‌ها، به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابند (شکل‌های ۷ و ۸). البته در برخی موارد (مثلاً در ژرفای ۱۵-۳۰ سانتی‌متری ایستگاه M برای سدیم تبادل‌پذیر) ناهماهنگی‌هایی وجود دارد و چنین نتایجی، در مواردی که تعداد نمونه‌ها کم است، چندان دور از انتظار نیست. ضمن اینکه داده‌های مربوط به این نمودارها هر کدام میانگین ۳ بار اندازه‌گیری می‌باشند که به دست آوردن تنها یک مقدار غیرعادی در ۳ بار تکرار بر مقدار میانگین تأثیر قابل توجهی خواهد داشت. با وجود این اندک ناهماهنگی، روند کلی کاهش مقدار کاتیون‌های تبدلی و افزایش شکل حل شده آنها در همه نمونه‌ها دیده می‌شود.

به نظر می‌رسد بخشی از افزایش شکل حل شده عناصر مذکور و کاهش شکل تبادل‌پذیر آنها، ناشی از تبدیل سدیم و پتاسیم تبدلی به سدیم و پتاسیم محلول و بخشی دیگر حاصل از هوازدگی برخی کانی‌ها در نتیجه تأثیر باران‌های اسیدی است که در بخش نتیجه‌گیری به آن خواهیم پرداخت.

نتایج حاصل برای فلز روی نشان داد که بارش اسیدی موجب افزایش مقدار قابل جذب این عنصر می‌شود (شکل ۹). در مورد شکل حل شده فلز روی نیز این افزایش تا حدودی قابل مشاهده است. تقریباً در همه نمونه خاک‌های تجزیه شده پیش از عملیات شبیه‌سازی، مقدار حل شده فلز روی، ناچیز و کمتر از حد تشخیص دستگاه‌ها بود در حالی که پس از تأثیر محلول‌های اسیدی (بویژه در بخش بالایی ستون‌های

ضعیف افق‌ها را در این خاک‌ها نشان داد؛ به طوری که می‌توان این خاک‌ها را در گروه خاک‌های نابالغ (انتی سول تا اینسپتی سول) قرار داد. به منظور بررسی تأثیر بارش‌های اسیدی بر تغییر مقدار شکل‌های تبادل‌پذیر و محلول سدیم و پتاسیم و همچنین بر تغییر مقدار شکل قابل جذب و محلول فلز روی در خاک‌های منطقه، با استفاده از یک نمونه‌گیر دست‌ساز فولادی از ۴ نقطه در بخش‌های شمالی منطقه، ۱۲ نمونه دست‌نخورده به طول ۵۰ سانتی‌متر و قطر ۶ سانتی‌متر (هر نقطه ۳ نمونه) تهیه شد. نمونه‌های خاک در ستون‌های پلی‌اتیلن که آب زهکشی از قاعده منفذدار آنها خارج می‌شد، قرار داده شده و برای آزمایش شبیه‌سازی باران اسیدی آماده شدند. موقعیت نمونه‌های برداشت شده و سیستم شبیه‌سازی مورد استفاده در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. با اضافه کردن اسید سولفوریک خالص به آب مقطر، ۳ محلول با pHهای ۵/۶

(محلول A)، ۴/۱ (محلول B) و ۳/۱ (محلول C) تهیه شد که این محلول‌ها به ترتیب به عنوان باران طبیعی، باران اسیدی منطقه مورد مطالعه و باران اسیدی در شرایط حاد پیش‌بینی شده منطقه، در آزمایش به کار گرفته شدند. پس از محاسبه میانگین ۳۰ ساله بارندگی منطقه با استفاده از داده‌های بارندگی ایستگاه هواشناسی معدن مس سرچشمه، این مقدار بارندگی (۳۷۰ میلی‌متر) طی یک دوره ۳۱ روزه به وسیله سرنگ‌های پلاستیکی استریل بر روی ستون‌های خاک پاشیده شد. بدین صورت که هر کدام از ۳ ستون خاک برداشت شده در هر نقطه، تحت تأثیر یکی از محلول‌ها (باران‌های مصنوعی) قرار گرفت. برای نزدیک‌تر شدن عملیات شبیه‌سازی به حالت طبیعی، مقدار محلول مورد استفاده در هر روز متناسب با توزیع شدت بارندگی در ماه‌های مختلف سال انتخاب شد و نیز به منظور انجام عمل تبخیر و مهاجرت احتمالی یون‌های خاک به بخش‌های بالایی نمونه در حین تبخیر محلول، در برخی روزها محلول پاشی انجام نشد (جدول ۱). پس از گذشت حدود ۲۴ روز از شروع آزمایش، نشد محلول از کف ستون‌ها آغاز گردید.

محلول خروجی پس از جمع‌آوری و برای جدا سازی کلوییدهای معلق از صافی ۴۵ میکرون عبور داده شد و پس از ثبت pH آن، مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. همچنین پس از عصاره‌گیری‌های خاص از خاک ستون‌های مورد آزمایش، مقدار فلزهای یاد شده در شکل‌های تبادل‌پذیر، حل شده و قابل جذب در ۳ عمق ۱۵-۳۰-۵۰ سانتی‌متری مورد سنجش قرار گرفت و با مقدار این پارامترها پیش از شبیه‌سازی مقایسه شد. اندازه‌گیری پارامترهای مورد استفاده در این مطالعه به روش‌های زیر و همچنین با استفاده از دستگاه‌های جذب اتمی و نورسنج شعله‌ای صورت گرفت؛

pH و رطوبت اشباع: روش تهیه عصاره اشباع (احیایی و بهبهانی زاده، ۱۳۷۲).

مقدار کل مواد خنثی شونده بر حسب کربنات کلسیم (TNV) یا محتوای آهک: روش اسید کلریدریک (احیایی و بهبهانی زاده، ۱۳۷۲؛ منطقی، ۱۳۵۶).

مواد آلی: روش والکی - بلاک (منطقی، ۱۳۵۶؛ ISRIC, 1986)

وزن مخصوص: استفاده از پیکنومتر

بافت خاک: روش هیدرومتری (منطقی، ۱۳۵۶؛ ISRIC, 1986)

ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار کاتیون‌های تبادل‌پذیر: روش استات سدیم و استات آمونیوم (منطقی، ۱۳۵۶؛ Page et al., 1982).

اندازه‌گیری کاتیون‌های محلول: عصاره‌گیری از خاک توسط آب مقطر (منطقی، ۱۳۵۶) مقدار روی قابل جذب: عصاره‌گیری از خاک توسط محلول DTPA (Lindsay and Norvell, 1978; Page et al., 1982).

۳. بحث

میزان تأثیر باران اسیدی بر خاک به نوع و خواص آن خاک بستگی دارد. حساسیت خاک‌ها نسبت به باران اسیدی توسط چند عامل تعیین می‌شود که مهم‌ترین آنها

جدول ۱- مقدار باران اسیدی استفاده شده طی ۳۱ آزمایش (بر حسب میلی متر)

روز	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
مقدار باران	۲۰	۲۰	۲۰	۱۵	۲۰	۱۵	--	۲۵	۲۵	۲۵	۱۰	۱۰	۱۵	۵	۵	۵
روز	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	
مقدار باران	--	--	۵	--	--	--	۱۰	۵	۱۰	۱۰	۱۵	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	

خاک که تحت تأثیر محلول بیشتری بوده اند؛ در برخی از نمونه‌ها، مقداری فلز روی در شکل حل شده اندازه گیری شد (به عنوان نمونه در خاک ایستگاه M، شکل ۱۰). این افزایش‌ها می‌تواند از طرفی ناشی از آزاد شدن این عناصر از جایگاه‌های جذب شده توسط کانی‌ها و مواد آلی خاک و از طرفی ناشی از تسریع آهنک هوازدگی و تجزیه کانی‌های اولیه موجود در خاک منطقه و یا تجزیه برخی کانی‌های ثانویه آن باشد که به نظر می‌رسد عامل دوم اهمیت بیشتری داشته باشد. تغییرات مقدار شکل‌های متفاوت عناصر بررسی شده در بخش‌های سطحی خاک (۱۵ - ۰ سانتی‌متر) بسیار آشکارتر از بخش‌های ژرف‌تر است. علت اصلی این امر، تأثیر بیشتر محلول‌ها بر خاک‌های سطحی است یعنی خاک‌های سطحی از همان روز شروع محلول پاشی، تحت تأثیر اسیدیته قرار گرفته‌اند و به تدریج با گذشت زمان از شروع محلول پاشی، خاک‌های بخش‌های ژرف‌تر تحت تأثیر قرار گرفته‌اند.

جدول ۲- خصوصیات کلی خاک در ایستگاه‌های نمونه برداری

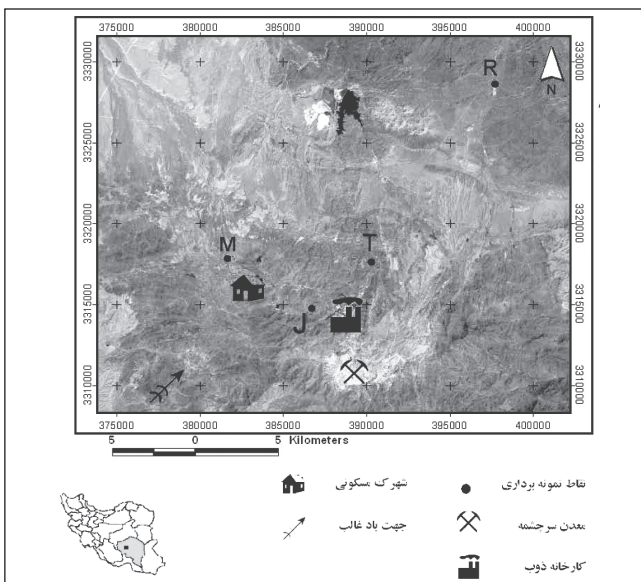
ایستگاه	عمق	pH	مقدار رس	مقدار سیلت	مقدار ماسه	مواد آلی	CEC	وزن مخصوص	رطوبت اشباع
	cm		%	%	%	%	meq/100gr	gr/cm ³	%
R	۰-۱۵	۷/۷۶	۶	۳۰	۶۴	۰/۱۴	۱۹/۷	۲/۴۲	۲۰/۱
	۱۵-۳۰	۸/۴۴	۱۶	۴۴	۴۰	۰/۲۱	۳۲/۴	۲/۳۱	۳۹/۲
	۳۰-۵۰	۸/۳۳	۶	۲۶	۶۸	۰/۱۲	۲۱	۲/۲۶	۴۸/۴
M	۰-۱۵	۸/۰۲	۱۴	۳۸	۴۸	۰/۲۵	۲۲/۸	۲/۳۷	۱۹/۹
	۱۵-۳۰	۷/۹۴	۲۳	۳۵	۴۲	۰/۲۳	۲۲/۹	۲/۲۲	۲۴/۷
	۳۰-۵۰	۸	۲۴	۳۷	۳۹	۰/۱۹	۲۵/۷	۲/۱۶	۳۱/۹
T	۰-۱۵	۶/۳۲	۱۸	۳۳	۴۹	۰/۲۱	۲۰	۲/۵۵	۲۳/۹
	۱۵-۳۰	۷/۲۶	۳۴	۲۲	۴۴	۰/۱	۲۳/۹	۲/۴	۲۵/۳
	۳۰-۵۰	۷/۵۲	۲۴	۲۵	۵۱	۰/۱۲	۲۳	۲/۳	۴۱
J	۰-۱۵	۶/۵۶	۱۹	۳۵	۴۶	۰/۲۵	۲۰/۵	۲/۳۳	۱۷/۱
	۱۵-۳۰	۷/۱۲	۲۲	۲۸	۵۰	۰/۲۵	۲۳	۲/۳۳	۲۳/۸
	۳۰-۵۰	۷/۲۸	۲۸	۲۸	۴۱	۰/۲۹	۲۱/۸	۲/۳۳	۲۵/۴

۴. نتیجه گیری

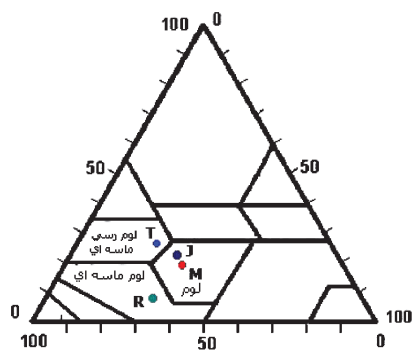
به طور کلی خاک‌های منطقه سرچشمه از نظر اسیدیته، به طور عمده در گروه خاک‌های کمی خنثی تا خنثی قرار می‌گیرند. اندازه گیری مقدار مواد خنثی کننده بر حسب کربنات کلسیم و درصد ذرات رس در ژرفای مختلف این خاک‌ها نشان دهنده رابطه مستقیم مقدار pH با این ۲ عامل است. تأثیر آهک (کربنات کلسیم) به دلیل خاصیت بافری بالای آن است و ذرات رس به علت تأثیری که در مقدار CEC و اسیدیته تبادل پذیر دارند (اسیدیته تبدالی بخشی از CEC کل می‌باشد که به وسیله H⁺ و بویژه Al³⁺ اشغال می‌شود (Sparks, 1995))، بر مقدار pH خاک اثر می‌گذارند. با وجود مقاومت خوب خاک‌های منطقه در برابر بارش‌های اسیدی، آزمایش SAR نشان داد که بارش‌های اسیدی، مقدار سدیم و پتاسیم تبادل پذیر را کاهش داده و موجب افزایش شکل حل شده این عناصر می‌شوند. علت اصلی این امر، افزایش غلظت H⁺ در محلول خاک به علت تأثیر محلول‌های اسیدی است؛ یعنی با افزایش غلظت H⁺ در محلول خاک، مقداری از آن جذب سطح کلویدها شده و به جای آن، کاتیون‌های دیگر وارد فاز محلول می‌شوند. این فرایند که تبادل کاتیونی نامیده می‌شود، سبب مقاومت خاک در برابر تغییرات شدید pH خواهد شد. هر خاکی که توانایی بیشتری در تبادل کاتیون‌ها داشته باشد و یا به عبارت دیگر ظرفیت تبادل کاتیونی یا CEC آن بالاتر باشد، خاصیت بافری شدیدتری خواهد داشت.

بارش اسیدی همچنین با آزاد کردن عناصری همچون روی از جایگاه‌های جذب شده توسط کانی‌ها و مواد آلی خاک و تسریع آهنک هوازدگی و تجزیه کانی‌های موجود در خاک موجب افزایش مقدار قابل جذب و حل شده این عناصر می‌شود. افزایش این گونه عناصر فلزی که به مقدار کم مورد نیاز گیاه می‌باشند، گاه موجب بروز مشکلاتی در محیط خواهد شد. برای مثال افزایش مقدار محلول این فلزها باعث انتقال بیشتر آنها به آب‌های زیرزمینی و سطحی و آلودگی منابع آب شده و یا افزایش مقدار قابل جذب آنها سبب اختلالاتی در گیاهان (از جمله زردی و کاهش رشد ریشه) خواهد شد.

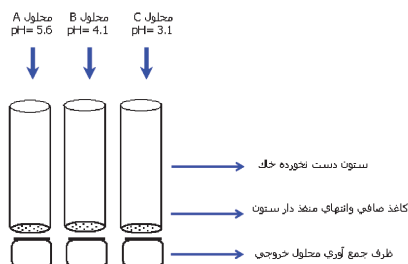
در پایان لازم به ذکر است که محیط فیزیکی و زیست‌شناختی خاک در منطقه سرچشمه تا حد بسیار زیادی موجب کم‌رنگ شدن اثر بارش اسیدی بر تحرک و شستشوی عناصر در خاک می‌شود. عواملی همچون اقلیم منطقه (رخداد سیلاب‌های بهاری، تبخیر در فصل‌های گرم و انتقال برخی یون‌ها به بخش‌های سطحی خاک)، گرد و غبار و بارش‌های خشک و پوشش گیاهی می‌توانند در انتقال عناصر از بخش‌های سطحی به ژرفای بیشتر (و بالعکس) و مقدار شکل‌های متفاوت شیمیایی عناصر در خاک تأثیر گذار باشند.



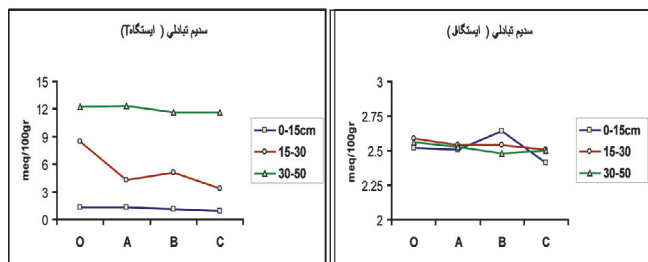
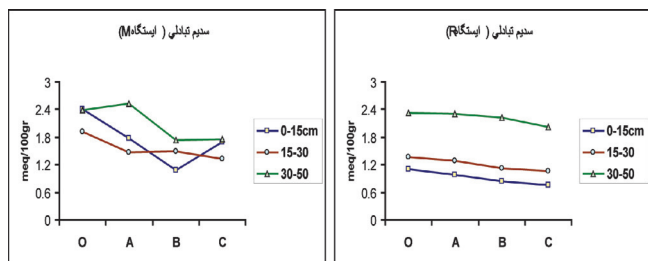
شکل ۱- موقعیت نمونه‌های ستونی برداشت شده نسبت به کارخانه ذوب مس سرچشمه



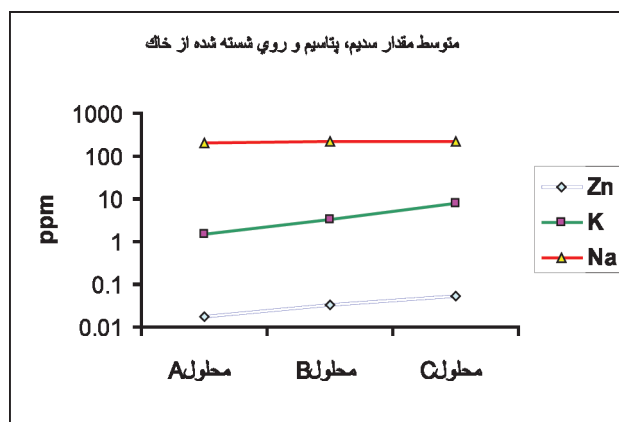
شکل ۳- موقعیت خاک‌های مورد مطالعه در نمودار بافت خاک



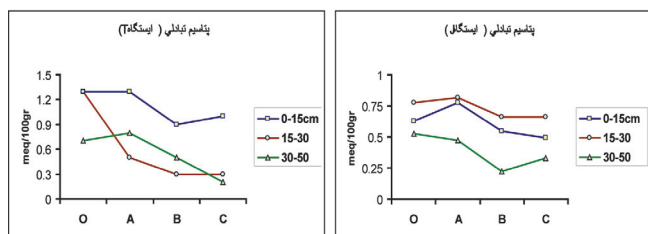
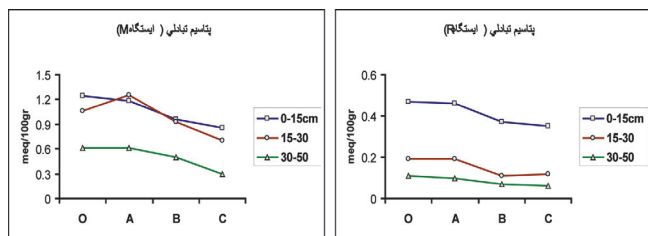
شکل ۲- نمایی از دستگاه شبیه سازی باران اسیدی



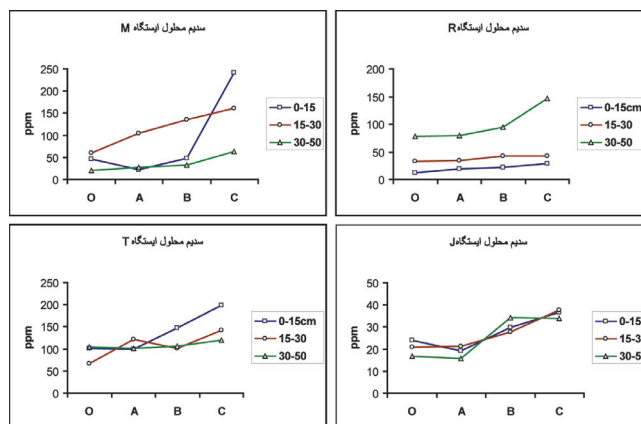
شکل ۵- تغییرات مقدار سدیم تبادل پذیر در خاک اولیه (O) ایستگاه‌های J، M، R و T پس از تأثیر محلول‌های A, B, C



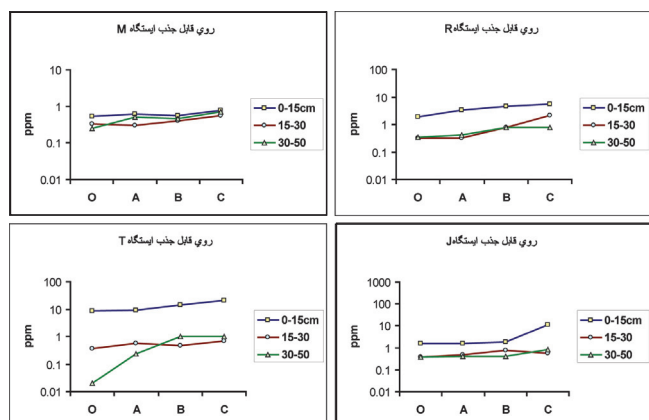
شکل ۴- میانگین مقدار سدیم، پتاسیم و روی شسته شده از خاک‌های مورد مطالعه پس از تأثیر محلول‌های A (pH=5.6)، B (pH=4.1) و C (pH=3.1)



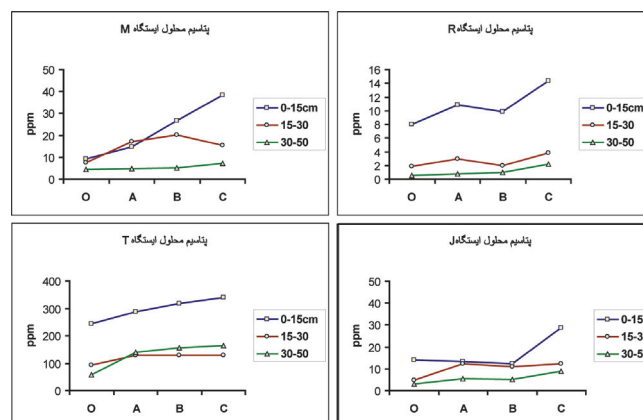
شکل ۷- تغییرات مقدار پتاسیم تبدیلی در خاک اولیه (O) ایستگاه‌های J، M، R و T پس از تأثیر محلول‌های A, B, C



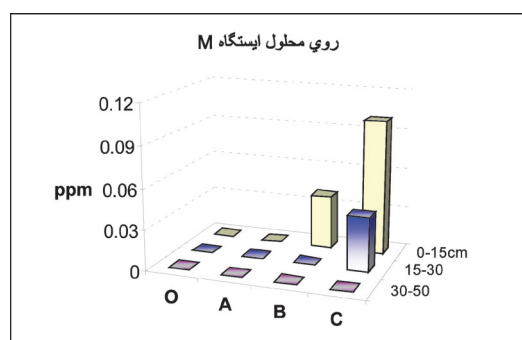
شکل ۶- تغییرات مقدار سدیم حل شده در خاک اولیه (O) ایستگاه‌های J، M، R و T پس از تأثیر محلول‌های A, B, C



شکل ۹- تغییرات مقدار روی قابل جذب در خاک اولیه (O) ایستگاه‌های J، M، R و T پس از تأثیر محلول‌های A, B, C



شکل ۸- تغییرات مقدار پتانسیم محلول در خاک اولیه (O) ایستگاه‌های J، M، R و T پس از تأثیر محلول‌های A, B, C



شکل ۱۰- افزایش مقدار روی محلول در خاک اولیه (O) ایستگاه M پس از تأثیر محلول‌های A, B, C

کتابنگاری

- احیایی، م. و بهبهانی‌زاده، ع.، ۱۳۷۲- شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک، نشریه سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی، چاپ اول، شماره ۸۹۳، صفحه ۱۲۸.
- شریف، ح. و قرنفلی، ه.، ۱۳۷۶- فرآوری حرارتی مس، انتشارات دانشگاه امام حسین، ۴۸۷ صفحه.
- قبادیان، ع.، ۱۳۵۳- روش‌های آزمایشی در پدولوژی، آزمایشات شیمیایی، جلد اول، انتشارات دانشگاه جندی شاپور، اهواز، ۵۶۷ صفحه.
- منطقی، ن.، ۱۳۵۶- تشریح روش‌ها و بررسی‌های آزمایشگاهی روی نمونه‌های خاک و آب. موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۱۶۸، ۱۹۴ صفحه.
- میرحسینی، س. م.، ۱۳۸۶- هیدروژن‌شیمی و پتانسیل باران‌های اسیدی در تحرک برخی از عناصر در خاک‌های مناطق مجاور مجتمع مس سرچشمه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشگاه کرمان، ۲۰۴ صفحه.

References

- Bear, F., 1964-. Chemistry of the Soil, Reinhold Publisher, second edition, 515 p.
- Botkin, D.B. and Keller, A., 2003- Environmental Science, 4th Ed. John Wiley and Sons, pp.485-519.
- Driscoll C. T., Lawrence, C.B., Bulger, A.J., Butler, T.J., Cronan, C.S., Eager, C., Lambert, K.F., Likens, G.E., Stoddard, J.L. and Weathers K.C., 2001- Acidic deposition in the northeastern US :sources and inputs, ecosystems effects and management strategies. Bioscience.Vol.51, pp.180-198.
- Ferenbaugh, R.W., 1976- Effect of simulated acid rain on Phaseolus vulgaris L. American Journal of Botany. V.63, pp.283-288.
- Howells, G., 1990- Acid Rain and Acid Water, Ellis Harwod Publication, 215 p.
- International Soil Reference and Information Center(ISRIC),1986- Procedure for Soil Analysis. Wageningen Agriculture University.
- Irving, P.M., 1987- Gaseous pollutant and acidic rain impact on crop in the United States: A comparison. Environ. Technol. V.8, pp.451-458.
- Kanazu, T., Matsumura, T., Nishiuchi, T. & Yamamoto, T., 2001- Effect of simulated acid rain on deterioration of concrete, Water, Air and Soil Pollution, V.130, pp.1481-1486.
- King, H. B., Wang, M. K., Zhuang, S. Y., Hwong, J. L., Liu, C. P., Kang, M. J., 2006- Sorption of sulfate and retention of cations in forest soils of Lien-Hua-Chi watershed in central Taiwan. Geoderma. v.131, pp.143-153.
- Lindsay, W. L. and Norvell, W. A., 1978- Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J., v.42, pp.421-428.
- Manahan, S.E., 2005- Environmental Chemistry, CRC Press, 763p.
- McFee, W.W., 1980- Sensitivity of soil regions to long-term acid precipitation. In: Shriner, D.S., C.R. Richmond & S.E. Lindberg (eds.) Atmospheric sulfur deposition. Ann Arbor Science: Michigan. pp.495-506
- McFee, W.W., 1983- Sensitivity ratings of soils to acid deposition :A review. Env. and Exp. Botany. V.23(2), pp.203-210.
- Neill, P.O., 1993- Environmental Chemistry, Chapman and Hall, 2nd edition, 268p.
- Page, A. L., Miller, R. H., Keeney, D. R., 1982- Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA., 1159p.

- Pell, E.J., Arny C.I. & Pearson, N.S., 1987- Impact of simulated acid precipitation on quantity and quality of a field grown potato crop. *Environ. Exp. Bot.* V.27, pp.6-14.
- Purohit, S.S. & Kakrani, B., 2002- Air Environment and Pollution. Agrobios (India) Publisher. 261p.
- Sharpe, W.E. & Drohan, J.R., 1999- The effect of acidic deposition on Pennsylvania's forests. Environmental Resources Research Institute Publisher, University Park, PA 16802, USA.
- Smith, W.H., 1981- Air Pollution and Forests, Interaction Between Contaminants and Forest Ecosystems. Springer Verlag, 379 p.
- Sparks, D. L., 1995- Environmental Soil Chemistry. Academic Press. 267p.
- Tomlinson, G.H., 2003- Acidic deposition, nutrient leaching and forest growth. *Biogeochemistry*, V.65, pp.51-81.
- Ulrich, B., 1980- Production and consumption of hydrogen ions in the ecosphere. in: Hutchinson, T.C. & Havas, M. (eds.) Effect of acid precipitation on terrestrial ecosystems. Plenum Press, New York, 222p.
- Welburn, A., 1990- Air pollution and acid rain: the biological impact. Longman Publications, pp.100-127.-
- Wiklander, L., 1973- The acidification of soil by acid precipitation. *Grundforbattring*, V.25, pp.155-164.
- Wiklander, L., 1975- The role of neutral salts in ion exchange between precipitation and soil. *Geoderma*, V.14, pp.93-105.
- Wiklander, L., 1980- Interaction between cations and anions influencing adsorption and leaching. In: Hutchinson, T.C. & Havas, M. (eds.) Effect of acid precipitation on terrestrial ecosystems. Plenum Press, New York, pp.239-254
- Yokom, J.E. & Bear, N.S., 1983- U.S. Environmental Protection Agency, EPA 600/8-83-016B, Washington, D.C., pp.6-1-6-72.
- Zhang, J. E., Ouyang, Y., Ling, D. J., 2007- Impact of simulated acid rain on cation leaching from the Latosol in south China. doi: 10.1016/j.Chemospher.2006.12.095.