Archive of SID

شیمی بارش‌های اسیدی در منطقه سرچشمه، استان کرمان

سید محمد میرحسینی*[۱]، جمشید شهاب‌پور[۲] و مینو بهروز[۳]

پست الکترونیکی: Mirhosseini21@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۸۵/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۸۶/۹/۷

چکیده

در منطقهٔ سرچشمه، واقع در جنوب‌غربی رفسنجان، عملیات معدن‌کاری و ذوب مس موجب ورود مقدار قابل‌توجهی دی‌اکسید گوگرد (۷۸۹ تن در هر شبانه‌روز) و ذرات معلق به اتمسفر منطقه می‌شود. به منظور بررسی تأثیر این مواد خروجی بر شیمی بارندگی‌های منطقه، نمونه‌برداری، اندازه‌گیری pH و تجزیهٔ شیمیایی برخی بارندگی‌های منطقه در سال‌های ۸٤ و ۸۵ در جهات مختلف جغرافیایی نسبت به مجتمع مس سرچشمه صورت گرفت. نتایج حاصل وقوع بارش‌های اسیدی در مناطق اطراف مجتمع مس را نشان داد. ضمن این که توالی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی بارش‌ها به‌صورت $Ca^{2+}>Na^{+}>NH_4^{+}>K^{+}>Mg^{2+}$ و $SO_4^{2-}>HCO_3^{-}>Cl^{-}>NO_3^{-}$ بوده و مقدار اغلب آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی به‌ویژه یون سولفات بیش از مقادیر معمول در جهان می‌باشد. همچنین حضور مقادیر زیادی از فلزات مس، سرب، روی و کادمیوم در بارندگی‌های منطقه به‌ویژه در مناطق شمالی و شمال شرقی مجتمع مشاهده گردید. ترتیب فراوانی فلزات مذکور به‌صورت $Cd<Pb<Zn<Cu$ است. مقدار ضریب غنی‌شدگی (E.f.) در مقایسه با میانگین جهانی به صورت $Zn<Cd<Pb<Cu$ می‌باشد. رابطهٔ بین فراوانی نسبی فلزات بررسی شده در نمونه‌های برف و باران با فراوانی آن‌ها در ذرات معلق دودکش‌های کارخانه، همچنین آلودگی و اسیدیته بیش‌تر نمونه‌های مناطق پایین دست جهات غالب باد تأیید کنندهٔ این مطلب است که منشاء اصلی این آلاینده‌ها مواد خروجی از بخش‌های مختلف مجتمع مس به‌ویژه کارخانه ذوب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: *مجتمع مس سرچشمه، باران اسیدی، شیمی باران، فلزات سنگین*

---

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد و استاد گروه زمین‌شناسی- دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- *پژوهشگر واحد تحقیقات آب و محیط زیست- مجتمع مس سرچشمه

www.SID.ir

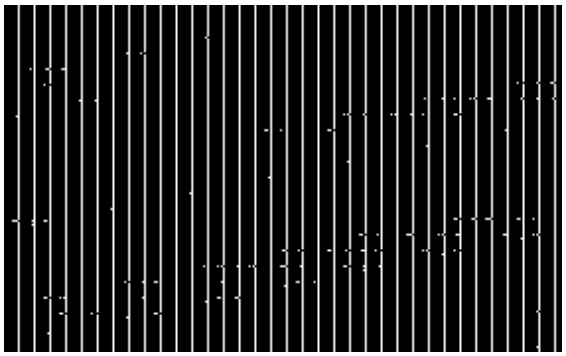
Archive of SID

مقدمه

به طور کلی به هر گونه رطوبت متراکمی که به سطح زمین فرو می‌ریزد بارش گفته می‌شود [۱]. ترکیب شیمیایی فرم‌های مختلف بارندگی از سال‌ها پیش توسط محققین متعدد در مناطق مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۲-٦]. ترکیب شیمیایی آب باران یا برف عمدتاً توسط منبع اولیهٔ بخار آب و یون‌هایی که در طول مسیر قطرات به آن اضافه می‌شوند، تعیین می‌شود [۷].

بر اساس مطالعات مختلف [۸ و ۲] ورود ترکیبات آلاینده و غیر آلاینده متفاوت به فرم‌های مختلف بارندگی طی ۲ مرحله صورت می‌گیرد. مرحله اول شامل متراکم شدن بخار آب بر روی هسته‌های تراکم موجود در ابر است که برخی از این هسته‌ها دارای ذراتی از نوع سولفات هستند و توسط واکنش‌های گازی و اغلب از دی‌اکسید گوگرد حاصل شده‌اند. در این مرحله قطرات به‌تدریج رشد کرده و ترکیبات قابل انحلال تغییرات شیمیایی خاصی را متحمل می‌شوند. این فرآیند تحت عنوان خروج توسط باران یا زدایش‌بارانی[1] شناخته می‌شود. مرحلهٔ دوم ورود برخی ترکیبات به قطرات باران، شامل شستشوی برخی گازها و غبارها توسط باران یا سایر اشکال بارندگی در زیر ابرها می‌باشد که تحت عنوان حذف به طریقهٔ شستشو یا زدایش‌فروشستی[2] شناخته می‌شود. این فرآیند به عنوان ابزار حذف ذرات معلق از اتمسفر اهمیت بیش‌تری دارد.

ورود ترکیبات اسیدساز از قبیل ترکیبات گوگرددار، نیتروژن‌دار و کلردار و یا محصولات واکنش‌های آن‌ها در اتمسفر به باران یا هر فرم دیگر بارندگی موجب افزایش اسیدیته بارندگی‌ها و تشکیل بارش‌های اسیدی می‌شود که در این بین اهمیت ترکیبات گوگرددار و نیتروژن‌دار بیش‌تر می‌باشد [۹ و ۱۰]. به‌طور کلی به هر شکل از بارندگی که pH آن کم‌تر از ٥/٦ باشد بارش اسیدی گفته می‌شود [۸، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ١٤]. این بارش‌ها به سبب اثرات عمده بر پوشش گیاهی و جنگل‌ها، آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی، خاک، و همچنین محیط‌های انسانی یکی از مشکلات زیست‌محیطی مهم به‌ویژه در مناطق صنعتی به شمار می‌روند.



شکل ۱- توزیع بارندگی سالانه در منطقهٔ سرچشمه (میانگین سال‌های ۱۹۷۰تا ۲۰۰۰ میلادی)

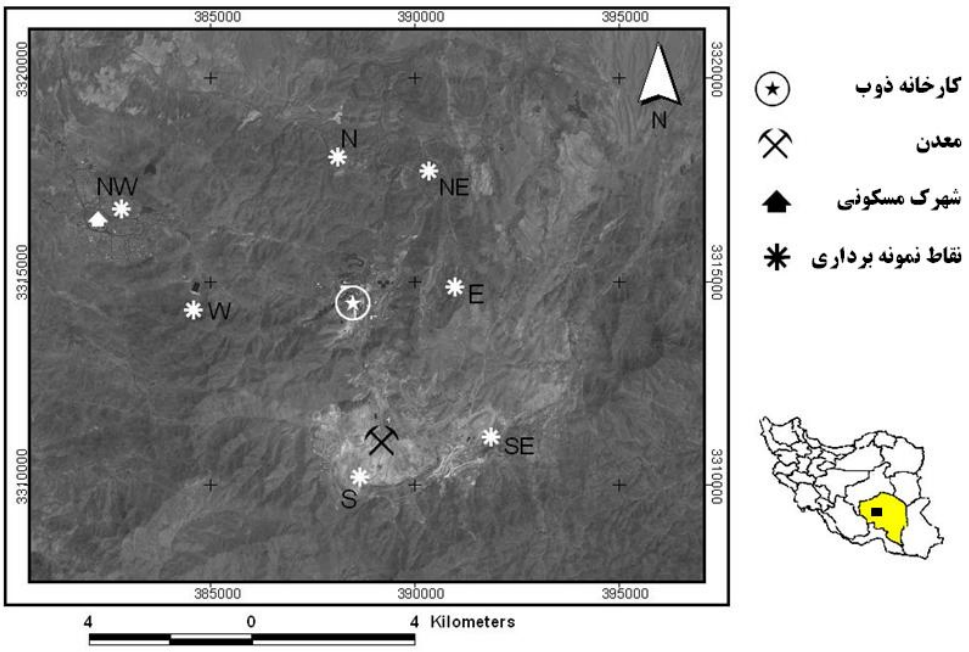
مجتمع مس سرچشمه واقع در ۱۵۵ کیلومتری جنوب غرب کرمان متشکل از معادن مس، کارخانه سنگ‌شکن، کارخانهٔ ذوب، کارخانه تغلیظ، پالایشگاه و سایت شستشو[3]، مهم‌ترین مرکز تولید فلز مس در ایران و یکی از مراکز مهم تولید مس در جهان می‌باشد که با ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ متر از سطح دریا جزء مناطق پر باران استان کرمان و جنوب‌شرق ایران محسوب می‌شود. در این ناحیه اغلب بارش‌ها در فصول سرد و به شکل برف ریزش می‌نمایند (شکل ۱). عملیات معدن‌کاری و تولید مس در این منطقه موجب ورود مقدار قابل‌توجهی از آلاینده‌ها به اتمسفر منطقه می‌شود. محاسبات انجام شده نشان می‌دهد که در هر شبانه روز حدود ۷۸۹ تن

1- Rain out
2- Wash out
3- Leaching Site

www.SID.ir

Archive of SID

دی‌اکسید گوگرد (بسته به حجم خوراک کارخانه و درصد کانی‌های سولفیدی در سنگ معدن) به همراه مقدار قابل‌توجهی ذرات معلق از دو دودکش مرتفع کارخانه ذوب این مجتمع وارد اتمسفر می‌گردد [۱۵]. این حجم عظیم از آلاینده‌های گازی و معلق تأثیر قابل‌توجهی بر ویژگی‌های شیمیایی بارش‌های این منطقه خواهد گذاشت که در این مقاله به بررسی آن خواهیم پرداخت.



شکل ۲- موقعیت محل جمع‌آوری نمونه‌های بارندگی نسبت به کارخانه ذوب مس سرچشمه

روش کار

به منظور بررسی اثر آلاینده‌های ناشی از مجتمع مس سرچشمه بر ویژگی‌های شیمیایی بارندگی‌های منطقه، طی زمستان ۱۳۸٤ و بهار، پاییز و زمستان ۱۳۸۵ نمونه‌برداری از چندین مورد از بارندگی‌های مناطق مجاور مجتمع مس سرچشمه (به طور عمده مخلوط برف و باران) و در هشت جهت جغرافیایی اصلی و فرعی نسبت به مجتمع صورت گرفت. جمع‌آوری نمونه‌ها در ظروف پلاستیکی و در محیط‌های باز (دور از موانع و ساختمان‌ها) انجام شد و حداکثر دقت لازم جهت جلوگیری از ورود مواد خارجی توسط باد به ظروف نمونه‌برداری صورت گرفت. اسیدیته بارش‌ها بلافاصله پس از جمع‌آوری، توسط pH مترهای دیجیتالی (مدل HNNA با دقت‌های ۰/۱ و ۰/۰۱ واحد) مورد سنجش قرار گرفت. فاصلهٔ نقاط نمونه‌برداری از کارخانه ذوب بین ٤ تا ۱۲ کیلومتر (بسته به صعب‌العبور بودن و یا وجود فضای مناسب جهت نمونه‌برداری) متغیر بود. لازم به ذکر است که بر اساس سنجش‌های انجام شده در رابطه با غلظت دی‌اکسیدگوگرد در هوای اطراف مجتمع، غلظت این آلاینده در فواصل بیش‌تر از ۱۲-۱۰ کیلومتر به مقدار مجاز (۳۰ ppb) و کم‌تر از آن کاهش می‌یابد [۱۵]. هر کدام از نمونه‌های برداشت شده در آذر ماه ۸۵ (که موقعیت محل جمع‌آوری آن‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است)، به دو قسمت تقسیم شد که یک قسمت برای اندازه‌گیری آنیون‌های

www.SID.ir

Archive of SID

اصلی و بخش دیگر پس از افزودن اسید نیتریک به آن (به منظور جلوگیری از رسوب نمودن کاتیون‌ها در فاصله زمانی نمونه‌برداری تا تجزیهٔ شیمیایی) برای اندازه‌گیری کاتیون‌های اصلی و چهار فلز سنگین مس، کادمیوم، روی و سرب مورد استفاده قرار گرفت. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دستگاه‌های جذب اتمی (سنجش کاتیون‌ها به‌جز NH_4^+)، فتومتر شعله‌ای و روش تیتراسیون (سنجش آنیون‌ها و NH_4^+) در آزمایشگاه‌های مجتمع مس سرچشمه و شرکت پژوهشگران علوم زمین کرمان انجام شد.

جدول ۱- مقادیر pH برخی بارندگی‌های سال ۱۳۸٤ و ۱۳۸۵ در جهات مختلف مجتمع مس سرچشمه (موقعیت محل جمع‌آوری نمونه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است)

	۱۳۸٤				۱۳۸۵					
جهت	۲۲ دی	۲٦ دی	۲۳ بهمن	۲۸ بهمن	۵ اسفند	٤ فروردین	۲٤ فروردین	۱۳ آذر	۱۵ آذر	۳ بهمن
N	۵/۵۰	---	۵/۱	۵/۳۵	٤/۲۰	٤/۷	---	۵/۳	٤/۲	۵
NW	۵/۸۰	۵/۸۰	۵/۷۵	٦/٤	۵/۳۳	٦/۵۵	۵/۹	۷	٦/۱	٦/۵
W	٦/۸۰	٦/۱۰	٦/۳	---	---	٦/۹٤	---	٦/۱	۵/۲	---
SW	٦/۸۵	٦/۹۰	---	٦/۸۲	---	٦/۵	---	---	---	---
S	۵/۷۹	٦/۹۰	٦/۱۰	۵/۸۰	۵/٤۲	٦/۱	---	---	٦/۸	---
SE	۵/٤۰	---	۵/۵۱	٦/۱۱	٦/۱۵	٦/۲۰	---	---	۵/۳	---
E	٤/۹۰	---	۵/۱۵	---	٦/۳	۵/۹	---	۵/۹	۵/۸	۵/۵
NE	٤/۵۰	---	۵/۱	٤/۸	٤/٦	٤/۱	---	---	۳/۹	---

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از سنجش اسیدیته بارش‌ها در جهات مختلف جغرافیایی مجتمع در جدول ۱ آمده است. تغییرات pH های ثبت شده بین ۳/۹ تا ۷ می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که در برخی مناطق اطراف مجتمع به‌ویژه در بخش‌های شمالی، شمال‌شرقی و شرقی بارش‌ها دارای pH کمتر از ۵/٦ یعنی اسیدی هستند. نتایج مقدار اسیدیته در جهات مختلف با جهات غالب وزش باد در منطقهٔ مورد مطالعه یعنی جنوب به شمال (۲۷/۸ درصد کل جهات وزش) و جنوب‌غرب به شمال‌شرق (۱٦/۸ درصد کل جهات وزش) مطابقت داشته و تأیید کنندهٔ این مطلب است که عامل اصلی افزایش اسیدیته بارش‌ها، دی‌اکسید گوگرد خروجی از کارخانه ذوب می‌باشد، به‌ویژه این که جهت باد در ماه‌های پرباران و سرد سال کاملاً مطابق جهت‌های مذکور می‌باشد. با انتقال آلاینده‌ها به مناطق پایین‌دست باد، امکان ورود آن‌ها به قطرات باران چه به‌صورت زدایش بارانی (درصورت وقوع بارندگی‌های کوهستانی یا اوروگرافیک) و چه به‌صورت زدایش فروشستی فراهم می‌گردد. نوسانات اسیدیته در زمان‌های مختلف می‌تواند مرتبط با عوامل متفاوتی از جمله سرعت باد، وضعیت باد در زمان‌های قبل از بارندگی، تغییر حجم خوراک کارخانه ذوب و یا تغییر درصد برخی کانی‌های سولفیدی در خوراک کارخانه و درنتیجه تغییر حجم دی‌اکسید گوگرد تولیدی کارخانه باشد. قابل ذکر است که شدت اسیدیته بارندگی‌ها با گذشت زمان از شروع بارش، کاهش محسوسی را نشان

www.SID.ir

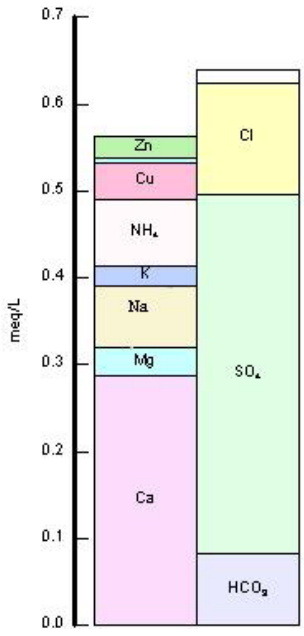
Archive of SID

می‌دهد و در مطالعه حاضر اسیدیته نمونه‌های جمع‌آوری شده در فاصله زمانی حتی‌الامکان کوتاه (کم‌تر از ۲ ساعت) بعد از شروع بارش مورد سنجش قرار گرفت.

مقدار آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی نمونه‌های مربوط به آذرماه ۸۵ که مخلوطی از برف و باران بودند، نشان می‌دهد که کلسیم و SO_4^{2-} فراوان‌ترین کاتیون و آنیون اصلی موجود در بارش‌های منطقه می‌باشند (جدول ۲).

جدول ۲- مقادیرآنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در نمونه‌های جمع‌آوری شده در آذرماه ۸۵ (برحسب ppm)

جهت	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	NH_4^{+}	SO_4^{2-}	NO_3^{-}	HCO_3^{-}	Cl^{-}
N	۷/۶۷	۰/۴۶	۱/۵۰	۰/۷۵	۱/۳۶	۲۸/۸۰	۰/۴۴	۲/۴۰	۲/۶۰
NE	۶/۱۵	۰/۳۱	۱/۲۵	۰/۹۰	۱/۳۱	۲۹/۸۰	۰/۵۶	۲/۴۰	۳/۵۰
E	۶/۸۸	۰/۳۳	۵/۰۰	۲/۹۰	۱/۲۳	۱۸/۳۰	۰/۶۰	۷/۳۰	۵/۳۰
SE	۳/۹۹	۰/۳۳	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۵۹	۱۳/۸۰	۳/۵۰	۰/۱۰	۷/۰۰
S	۳/۲۲	۰/۴۵	۰/۶۰	۰/۰۱	۱/۱۲	۱۶/۸۱	۰/۷۰	۴/۹۰	۵/۳۰
W	۳/۲۸	۰/۳۶	۰/۶۰	۰/۰۱	۰/۹۶	۱۸/۲۰	۰/۲۳	۶/۱۰	۳/۵۰
NW	۹/۱۵	۰/۴۷	۱/۵۰	۱/۰۰	۱/۹۵	۱۳/۴۰	۰/۳۶	۲/۲۰	۴/۴۰
میانگین	۵/۷۶	۰/۳۸	۱/۶۳	۹/۳۸	۱/۳۶	۱۹/۸۷	۰/۹۱	۵/۰۵	۴/۵۱



شکل ۳- نمودار تعادل بار یونی نمونه‌های بارندگی آذرماه ۸۵

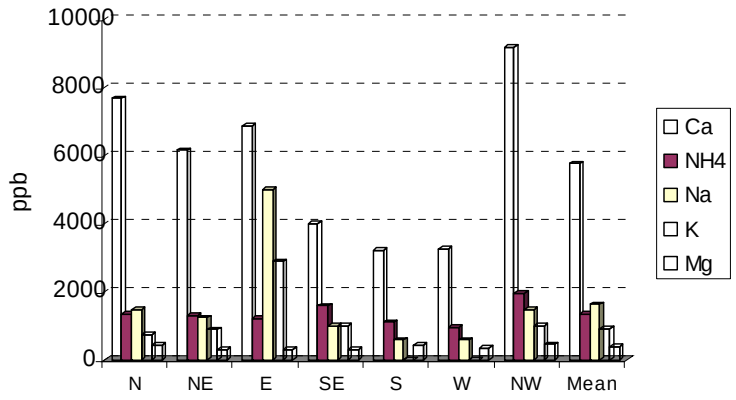
نمودار تعادل بار یونی (شکل ۳) و نیز وارد کردن داده‌های حاصل در نرم‌افزار AqQA صحت داده‌های حاصل از تجزیهٔ شیمیایی را بر اساس اختلاف قابل قبول مقدار کل کاتیون‌ها و آنیون‌ها، تأیید می‌کند. فراوانی کلی کاتیون‌های اصلی به‌صورت $Mg^{2+}<K^{+}<NH^{+}<Na^{+}<Ca^{2+}$ و فراوانی آنیون‌های اصلی به‌صورت $NO_3^{-}<Cl^{-}<HCO_3^{-}<SO_4^{2-}$ می‌باشد (شکل‌های ٤ و ٥).

به نظر می‌رسد خشکی نسبی اقلیم منطقه مورد مطالعه و به‌ویژه مناطق مجاور آن و انتقال غبارهای فراوان ناشی از خاک توسط باد به اتمسفر در اینگونه اقلیم‌ها دلیل عمدهٔ بالا بودن مقدار کلسیم و سدیم موجود در بارندگی باشد. بیش‌تر بودن مقدار SO_4^{2-} در این نمونه‌ها را می‌توان در ارتباط با آزادسازی حجم قابل توجه دی‌اکسید گوگرد از دودکش‌های کارخانه ذوب دانست که به‌ویژه در نمونه‌های جمع‌آوری شده از مناطق پایین‌دست باد (نمونه‌های N و NE) مشهود می‌باشد. ضمن این که بخشی از افزایش یون سولفات، مرتبط با غبار حاصل از

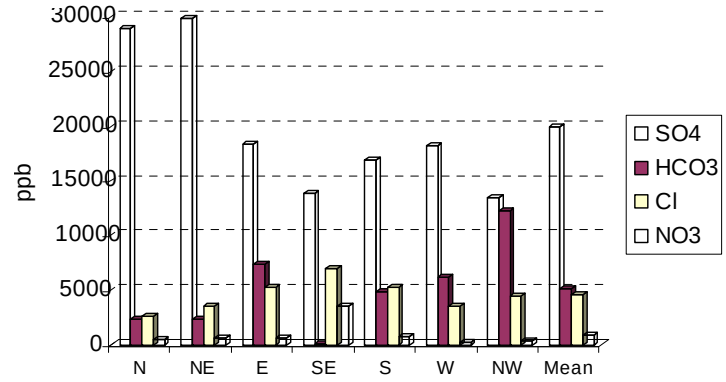
www.SID.ir

Archive of SID

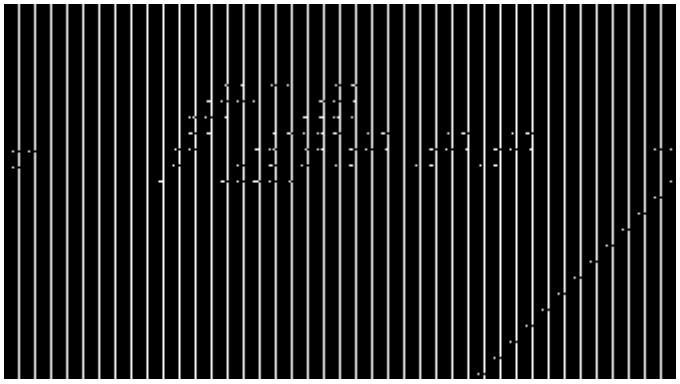
خاک‌های ژیپسی موجود در منطقه سرچشمه و یـا منـاطق اطراف آن است. همچنین بالا بودن مقدار برخی از یون‌هـا (از قبیـل کلـسیم) در نمونـه شـمال‌غربـی (NW) کـه در محدودهٔ شهرک مسکونی سرچشمه جمع‌آوری شده است، احتمالاً ناشی از گرد و غبار حاصل از فعالیت‌های انـسانی (مثل حمل و نقل و ساخت و ساز) می‌باشد.



شکل ٤- مقادیر کاتیون‌های اصلی در بارندگی‌های جهات مختلف مجتمع مس سرچشمه



شکل ٥- مقادیر آنیون‌های اصلی در بارندگی‌های جهات مختلف مجتمع مس سرچشمه



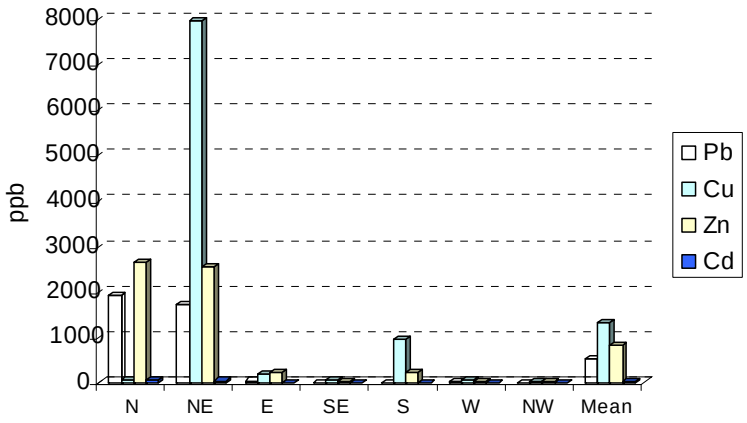
شکل ٦- مقایسه مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در بارندگی‌های جهات مختلف مجتمع مس سرچشمه با برخی نقاط جهان

www.SID.ir

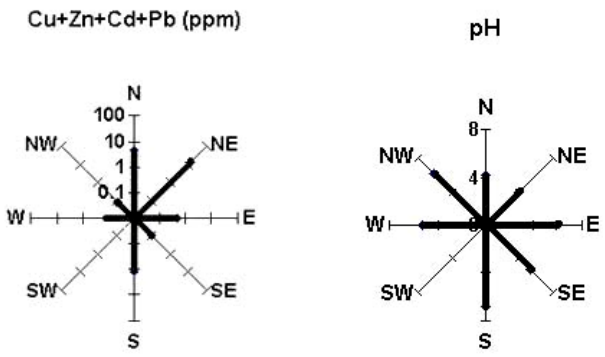
Archive of SID

مقایسهٔ مقدار کلی آنیون و کاتیون‌های اصلی موجود در نمونه‌های بارندگی منطقهٔ سرچشمه با مقدار این آنیون و کاتیون‌ها در بارندگی‌های برخی نقاط جهان از قبیل سوئد [۱۶]، هندوستان [۱۷]، هلند[۱۸]، اردن [۱۹] و ترکیه [۲۰] حاکی از مقدار زیاد آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی (به‌ویژه سولفات) در بارندگی‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ٦) که مجموعه عوامل اقلیم منطقه، فعالیت‌های انفجار، خردایش و ذوب در مجتمع مس سرچشمه و احتمالاً خطای حاصل از ورود غبارها توسط باد به ظروف نمونه‌برداری می‌توانند در این افزایش نقش داشته باشند.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار ٤ فلز سنگین مس، کادمیوم، روی و سرب در نمونه‌های آذرماه ۸۵ نشان می‌دهد که فراوانی این فلزات روند Cd<Pb<Zn<Cu دارد (شکل ۷). فراوانی بیش‌تر مس و روی در مقایسه با سرب و کادمیوم، مشابه با فراوانی این فلزات در نمونه‌های ذرات معلق خروجی از دودکش‌های کارخانه ذوب [۲۱] می‌باشد. ضمن این که میانگین مقدار این فلزات در نمونه‌های مناطق شمالی و شمال‌شرقی مجتمع یعنی مناطق با باران‌های اسیدی‌تر بیش از نمونه‌های جمع‌آوری شده از سایر جهات می‌باشد (شکل ۸) که مجموعهٔ این نتایج و نیز ضریب همبستگی خوب فلزات مذکور با یون سولفات (به عنوان مثال روی و کادمیوم در شکل ۹) تأییدکنندهٔ تأثیر فعالیت کارخانه بر شیمی بارش‌های مورد مطالعه می‌باشد.



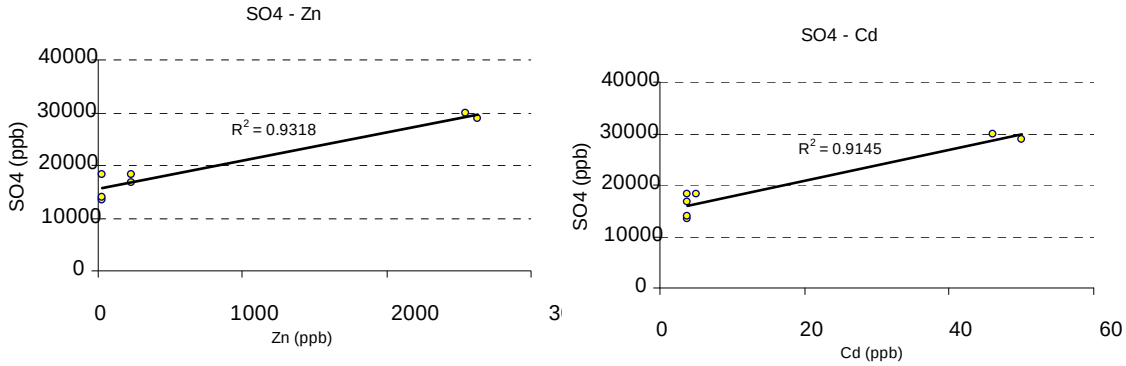
شکل ۷- مقادیر کاتیون‌های سرب، مس، روی و کادمیوم در بارندگی‌های جهات مختلف مجتمع مس سرچشمه



شکل ۸- رابطه بین فراوانی فلزات سنگین و شدت اسیدیته در بارندگی‌های جهات مختلف مجتمع مس سرچشمه

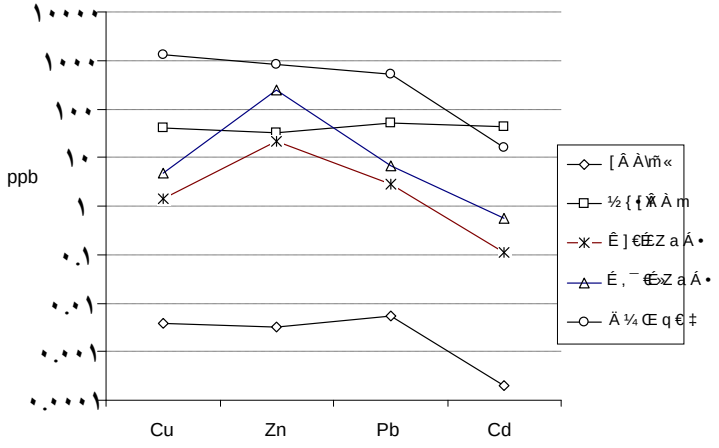
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹- نمودار و ضرایب همبستگی فلزات کادمیوم و روی با یون سولفات در نمونه‌های بارندگی منطقهٔ سرچشمه

در نهایت مقایسه مقدار فلزات سنگین مذکور در نمونه‌های مطالعه شده با مقدار این فلزات در بارندگی‌های مناطقی از قبیل قطب جنوب [۲۲-۲۵]، اروپای مرکزی [۲۶]، اروپای غربی [۲۷] و جنوب اردن [۱۹] نشان داد که بارندگی‌های منطقه مورد مطالعه از نظر مقدار چهار فلز سنگین سرب، مس، روی و کادمیوم آلوده محسوب می‌شوند (شکل ۱۰). تعیین ضرایب غنی‌شدگی (غلظت عنصر در نمونه مورد بررسی تقسیم بر غلظت آن در نمونهٔ مرجع) نسبت به میانگین جهانی [۹] برای فلزات مذکور نشان داد که بیش‌ترین غنی‌شدگی مربوط به فلز مس و کم‌ترین آن مربوط به روی می‌باشد (شکل ۱۰).



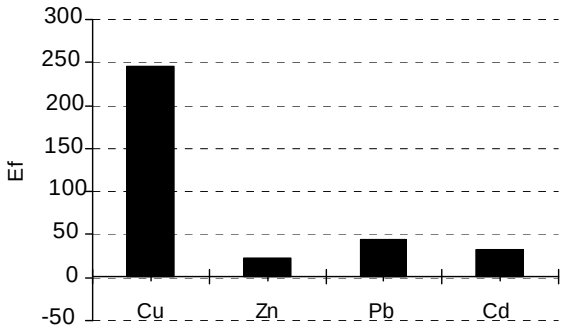
شکل ۱۰- مقایسهٔ مقادیر متوسط فلزات سنگین سرب، مس، روی و کادمیوم در بارندگی‌های منطقه سرچشمه با برخی نقاط جهان

تشکر و قدردانی

نویسندگان از مسئولین و کارکنان واحد تحقیقات و مطالعات آب و محیط زیست شرکت ملی مس ایران، مجتمع مس سرچشمه، به خاطر همکاری صمیمانه و حمایت‌های مالی و از پروفسور رودهه در گروه هواشناسی دانشگاه استکهلم به خاطر راهنمایی‌ها و در اختیار قرار دادن برخی منابع تشکر می‌نمایند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۱- نمودار افزودگی- کاهیدگی (غنی‌شدگی) فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های بارندگی منطقه سرچشمه نسبت به مقدار متوسط جهانی

مراجع

[۱] علیزاده، ا، کمالی، غ، موسوی، ف و موسوی‌بایگی، م، هوا و اقلیم‌شناسی، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۳، صفحهٔ ۳۸۱.

[2] Junge, C.E. and Werby, R.T., The concentration of chloride, sodium, potassium, calcium and sulfate in rain water over the United States, J. Meteorol. 15 (1958) 417-425.

[3] Busenberg, E. and Langway, J.C., Levels of ammonium, sulfate, chloride, calcium and sodium in snow and ice from southern Greenland. J.Geophys Res. 84 (1979) 1705-1709.

[4] Hidy, G.M., Snowpeack precipitation chemistry at high altitudes, Atmospheric Environment, 37 (2003) 1231-1242.

[5] Douglas, T.A. and Matthew, S., Arctic haze, mercury and the chemical compositin of snow across northwestern Alaska, Atmospheric Environment, 38 (2004) 805-1820.

[6] Watanabe, K., Takebe, Y., Sode, N., Igrashi, Y., Takahashi, H., Dokiya, Y., Fog and rain water chemistry at Mt. Fuji: A case study during the September 2002 campaign, Atmospheric Research, 82 (2006) 652-662.

[7] Appelo, C.A.J. and Postma, D., Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2nd edition, Balkema Publisher, Leiden, Netherlands (2005) 649.

[8] Welburn, A., Air pollution and acid rain: the biological impact, Longman Publication, (1990) 274.

[9] Galloway, J.N., Thornton, J.D., Norton, S.A., Volchok, H.L., McLean, R.A., Trace metals in atmospheric deposition: a review and assessment, Atmospheric Environment, 16 (1982) 1677–1700.

[10]Manahan, S.E., Environmental Chemistry, CRC Press, (2005) 763.

[11]Neill, P.O., Environmental Chemistry, Chapman and Hall, Second Edition, (1993) 268.

[12]Purohit, S.S. and Kakrani, B., Air Environment and Pollution. Agrobios (India) Publisher, (2002) 261.

[13]Botkin, D.B. and Keller, A., Environmental Science, 4th Ed. John Wiley and Sons, (2003) 485-519.

[14]Smith, W.H., Air Pollution and Forests, Interaction Between Contaminants and Forest Ecosystems, Springer Verlag, (1981) 379.

www.SID.ir

Archive of SID

[۱۵]میرحسینی، س‌م، هیدروژئوشیمی و پتانسیل بارانهای اسیدی در تحرک برخی از عناصر در خاک‌های مناطق مجاور مجتمع مس سرچشمه، پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشگاه کرمان، ۱۳۸٦، صفحهٔ ۲۰٤.

[16]Granat, L., On the relation between pH and the chemical composition in atmospheric precipitation, Tellus, 24 (1972) 550-560.

[17]Jain, M., Kulshrestha, U.C., Sarker, A.K. and Parsher, D.C., Influence of crustal aerosols on wet deposition at urban and rural sites in India. Atmospheric Environment, 34 (2000) 5129-5137.

[18]KNMI/RIVM, Chemical composition of precipitation over the Netherlands. Ann. Rep. KNMI, De Bilt, the Netherlands, (1983) 170.

[19]Al-Khashman, O.A., Study of chemical composition in wet atmospheric Precipitation in Eshidiya area, Jordan, Atmospheric Environment, 39 (2005) 6175–6183.

[20]Topcu, S., Incecik, S. and Atimtay, A., Chemical composition of rain water at EMEP station in Ankara, Turkey. Atmospheric Research, 65 (2002) 77-92.

[۲۱] شرکت کنترل کیفیت هوا, سنجش گازها و ذرات معلق در مجتمع مس سرچشمه، گزارش داخلی مجتمع مس سرچشمه، ۱۳۸۲, ٦٥ صفحه.

[22]Planchon, F.A.M., Boutron, C.F., Barbante, C., Cozzi, G., Gaspari, V., Wolff, E.W., Ferrari, C.P. and Cescon, P., Changes in heavy metals in Antarctic snow from Coast Land since the mide-19th to the late-20 th century. Earth and Planetary Science Letters, 200 (2002) 207-222.

[23]Wolff, E.D. and Suttie, E.D., Antarctic snow record of Southern Hemisphere lead pollution, Geophys. Res. Lett. 21 (1994) 781-784.

[24]Wolff, E.D., Suttie, E.D., Peel, D.A., Antarctic snow record of cadmium, copper and zinc content during the twentieth century, Atmos. Environ. 33 (1999) 1535-1541.

[25]Gorlach, U., Boutron, C.F., Change in heavy metals concentration in Antarctic snow from the 1940 to 1980, J. Atmos. Chem. 14 (1992) 205-222.

[26]Nguyen, H.L., Leermakers, M., Osan, .J., Torok, S. and Baeyens, W., Heavy metals in lake Balaton: water column suspended matter, sediment and biota, Science of the Total Environment, 340 (2005) 213-230.

[27]Deboudt, K., Flament, P.and Laure Bertho, M., Cd, Cu, Pb and Zn concentrations in atmospheric wet deposition at a coastal station in Western Europe, Water, Air, and Soil Pollution 151 (2004) 335–359.

www.SID.ir