

## اثر باران اسیدی بر تحرک ژئوشیمیایی عناصر کلسیم، منیزیم و مس در خاک‌های منطقه سرچشمه، استان کرمان

سید محمد میرحسینی\*، جمشید شهاب‌پور\*\* و محمد هادی فرپور\*\*\*

\* دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شهید باهنر

\*\* گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر

\*\*\* گروه خاکشناسی دانشگاه شهید باهنر

### چکیده

سنجش اسیدیته چندین مورد ازیبارندگی‌های سال ۸۴ و ۸۵ در مناطق مجاور کارخانه ذوب مس سرچشمه کرمان، وقوع بارشهای اسیدی در این مناطق را نشان داد که به نظر می‌رسد علت آن خروج حجم زیاد گاز SO<sub>2</sub> از دودکشهای کارخانه ذوب مس باشد. جهت بررسی اثر این بارش‌ها بر تحرک سه عنصر مغذی کلسیم، منیزیم و مس در خاک‌های منطقه که اغلب آنها از نوع خاک‌های نابالغ می‌باشند، عملیات آزمایشگاهی شبیه‌سازی باران اسیدی (SAR) بر روی ستونهای دست نخورده خاک (۵۰ سانتیمتر طول و ۶/۱ سانتی‌متر قطر) با محلول‌های اسیدی با pH= ۵/۶، ۴/۱ و ۳/۱ صورت گرفت. میانگین بارندگی منطقه (۳۷۰ mm) به مدت ۳۱ روز بر روی ۱۲ ستون خاک برداشت شده از ۴ ایستگاه اطراف کارخانه ریخته شد. محلول زهکش شده از انتهای ستون‌های خاک جمع‌آوری و مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت و مقدار عناصر مورد نظر در آن تعیین گردید. همچنین مقدار فلزات مذکور در فرم تبدلی، محلول و قابل جذب و نیز اسیدیته، ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار آهک خاک در ۳ عمق ۰-۱۵، ۱۵-۳۰ و ۳۰-۵۰ سانتیمتر مورد سنجش قرار گرفت و با مقدار این پارامترها قبل از عملیات شبیه‌سازی مقایسه گردید. نتایج حاصل نشان داد که مقدار نسبتاً 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 کلسیم و منیزیم تبدلی را کاهش می‌دهند؛ درحالیکه موجب افزایش فرم محلول این فلزات می‌گردند. همچنین مشخص گردید که قابل جذب عنصر مس در خاکهای مورد آزمایش در نتیجه تأثیر بارانهای اسیدی افزایش می‌یابد. میزان افزایش یا کاهش فلزات بررسی شده با شدت اسیدیته بارشها نسبت مستقیم دارد.

واژه‌های کلیدی: تحرک ژئوشیمیایی، باران اسیدی، شبیه سازی باران اسیدی

## Effects of Acid Rain on Geochemical Mobility of Ca, Mg and Cu in the Soils of Sar Cheshmeh Region, Kerman Province

S. M. Mirhosseini\*, J. Shahabpour\*\* and M. H. Farpour\*\*\*

\*MSc student of Environmental Geology, Shahid Bahonar University

\*\* Geology Department, Shahid Bahonar University

\*\*\* Soil Science Department, Shahid Bahonar University

### Abstract

Measurement of the acidity of precipitations in the years 2005 and 2006 indicates occurrence of acid rain in the region adjacent to the Sar Cheshmeh Copper Smelter at 155 km southwest of Kerman. This paper deals with the mobility, leaching and chemical change of three nutrient elements namely, Ca, Mg and Cu, by acid rains, from entisols and inceptisols of the Sar Cheshmeh region. Laboratory experiments were performed on 12 undisturbed soil core samples (50 cm tall, 6.1 cm in diameter) with acid solutions of pH=3.1 (as prediction of acute condition), pH=4.1 (acid rain of studied area) and pH=5.6 (as natural rain). The sprinkling lasted 31 days, simulating a rainfall of 370mm, and the drainages were analyzed. Soil properties and forms of Ca, Mg and Cu in 0-15cm, 15-50cm and 30-50cm depths were determined before and after simulation. The investigations show that acid rain could mobilize and leach out some elements from soils of the studied area. Acid rain causes a decrease in the exchangeable form of calcium and magnesium, while soluble form of these nutrient elements increases. Furthermore, acid rain causes an increase in the available form of Cu. These changes could have negative and/or positive environmental effects on the Sar Cheshmeh area.

**Keywords:** Geochemical Mobility, Acid Rain, Simulated Acid Rain (SAR).

### مقدمه

محیط‌های آبی (Botkin and Keller, 2003). تأثیر بر گیاهان زراعی (Ferenbaugh, 1976; Pell et al., 1987) و... اشاره نمود. یکی از تأثیرات مهم باران اسیدی اثر آن بر خاک می‌باشد که از آن طریق می‌تواند بر محیط‌های دیگری مثل آب‌های سطحی و زیرزمینی، گیاهان و جانوران تأثیر بگذارد. باران اسیدی بسته به نوع و خواص خاک اثرات متفاوتی بر آن خواهند گذاشت که مهمترین آنها افزایش تحرک، شستشو و یا تغییر فرم ژئوشیمیایی عناصر می‌باشد. حساسیت خاک‌ها نسبت به باران اسیدی توسط چند عامل تعیین می‌شود که مهمترین آنها عبارتند از: حضور یا عدم حضور کربنات در پروفیل خاک، ظرفیت کلی بافری یا ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)

روبرت آنگوس اسمیت در سال ۱۸۷۲ برای نخستین بار اصطلاح باران اسیدی را برای تشریح و توصیف طبیعت اسیدی باران‌های باریده شده در شهر منچستر به کار برد. به طور کلی منظور از باران اسیدی، بارانی است که pH آن از ۵/۶ یعنی pH باران طبیعی کمتر باشد (Cowgil, 1990; Neill, 1993; Howells, ) از (1990; Welburn, 1990; Manahan, 2005). جمله اثرات زیست محیطی بارش‌های اسیدی می‌تواند به تخریب بناها و برخی ابزارهای انسان (Yokom and Bear, 1983; Kanazu et al. , ) (2001), تخریب و کاهش جنگل‌ها (Driscoll et al. , ) (2001; Tomlinson, 2003), اسیدی شدن

طبق محاسبه انجام شده در هر شبانه‌روز حدود ۷۸۹ تن گاز SO<sub>2</sub> از طریق دودکش‌های کارخانه ذوب سرچشمه وارد اتمسفر محیط می‌شود. این حجم عظیم گاز در فصل‌های بارندگی با تأثیر بر اسیدیته بارش‌ها و در مواردی ایجاد بارش‌های اسیدی (میرحسینی و شهاب پور، ۱۳۸۶)، اثرات زیست محیطی خاصی بر محیط خواهد گذاشت.

در این تحقیق، اثر باران‌های اسیدی بر تغییر مقدار فرم‌های تبادلی و محلول کلسیم و منیزیم و همچنین بر تغییر مقدار فرم قابل جذب مس و به عبارتی تحرک ژئوشیمیایی این عناصر مورد بررسی قرار گرفته است. از بین عناصر مذکور کلسیم و منیزیم جزو عناصر غذایی پر مصرف و مس جزو عناصر غذایی کم مصرف گیاهان می‌باشند و کمبود یا افزایش هر یک می‌تواند اثرات خاصی بر پوشش گیاهی و بطور کلی محیط زیست منطقه داشته باشد؛ ضمن اینکه آزادسازی و شستشوی این عناصر امکان رسیدن آنها به سفره‌های آب زیر زمینی و تغییر کیفیت آبهای زیرزمینی را موجب می‌شود.

#### روش و مواد بررسی

اندازه‌گیری اسیدیته بارش‌ها در چندین مورد از بارندگی‌های منطقه مورد مطالعه (برف، باران و تگرگ) در سالهای ۸۴ و ۸۵ و در جهات جغرافیایی مختلف نسبت به کارخانه ذوب مس سرچشمه وقوع باران‌های اسیدی در این مناطق به‌ویژه در بخش‌های شمالی و شرقی آن را نشان داد که در مواردی pH این بارش‌ها به کمتر از ۴ نیز می‌رسد.

بررسی‌های صحرایی و حفر چندین چاله در خاک‌های منطقه، توسعه یافتگی ضعیف افقها در این خاک‌ها را نشان داد؛ بطوری‌که می‌توان این خاک‌ها را در گروه

خاک که عمدتاً توسط محتوای رس و مواد آلی خاک تعیین می‌شود و سیستم مدیریتی‌ای که بر خاک اعمال می‌شود، خواه در آن زراعت صورت گیرد و کودهی انجام شود و خواه بوسیله سیلاب تجدید شود (Wiklander, 1975; Wiklander, 1980; ) McFee, 1980; Smith, 1981; Manahan, 2005).

در رابطه با تحرک و شسته شدن عناصر یا تغییر مقدار فرم‌های شیمیایی متفاوت آنها در نتیجه تأثیر باران‌های اسیدی بررسی‌های بسیاری انجام شده است که از جمله مهمترین آنها می‌توان به مطالعات et. Al. , 2007; King et. al. , 2006; Zhang et. al. , 2003; Walna et. al. , 2001; Mc Fee, 1980 Zhang اشاره نمود. از آنجا که چنین بررسی‌هایی در طبیعت بسیار مشکل بوده است و به زمان زیادی نیاز دارد، اغلب این مطالعات در محیط آزمایشگاه و عمدتاً بر روی نمونه‌های ستونی خاک انجام گرفته است. اینگونه آزمایش‌ها تحت عنوان آزمایش‌های شبیه‌سازی باران اسیدی یا SAR (Simulated Acid Rain) شناخته می‌شوند

مجتمع مس سرچشمه در ۶۵ کیلومتری جنوب غربی رفسنجان، بزرگترین مرکز ذوب و تولید فلز مس در ایران می‌باشد. این منطقه با ارتفاع حدود ۲۵۰۰ متر از سطح دریا یکی از مناطق پر باران استان کرمان می‌باشد که در برخی از سالها بارندگی آن به بیش از ۶۰۰ میلی‌متر می‌رسد. تکنولوژی عمده موجود در مجتمع مس سرچشمه شامل عملیات ذوب و تولید مس در کوره‌های ریورب (شعله‌ای) و کنورتور پیرس - اسمیت می‌باشد که طی آن حدود ۹۵ درصد گوگرد ورودی که ناشی از کانسنگ‌های سولفیدی می‌باشد، پس از تبدیل به SO<sub>2</sub> وارد اتمسفر می‌شود (شریف و قرنغلی، ۱۳۷۶).

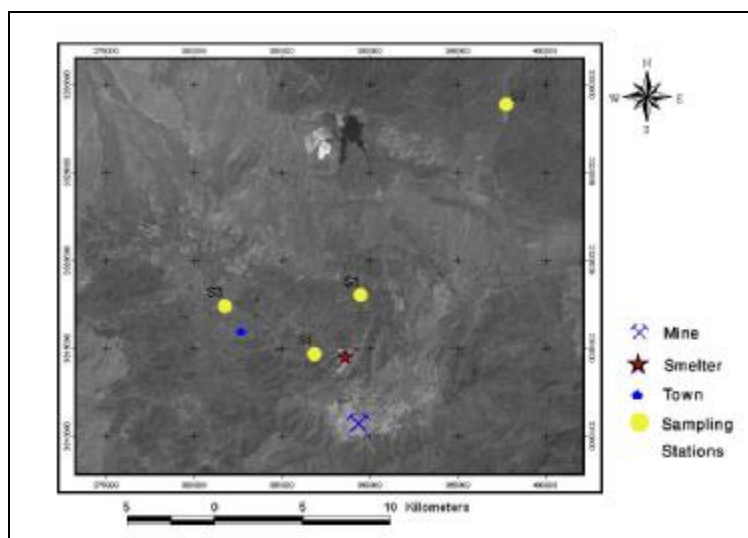
مطالعه و باران اسیدی در شرایط حاد پیش‌بینی شده منطقه، در آزمایش به کار گرفته شدند.

پس از محاسبه میانگین ۳۰ ساله بارندگی منطقه با استفاده از داده‌های بارندگی ایستگاه هواشناسی معدن مس سرچشمه، این مقدار بارندگی طی یک دوره ۳۱ روزه بوسیله سرنگ‌های پلاستیکی استریل بر روی ستون‌های خاک پاشیده شد. بدین صورت که هرکدام از ۳ ستون خاک برداشت شده در هر نقطه تحت تأثیر یکی از محلول‌ها (باران‌های مصنوعی) قرار گرفت.

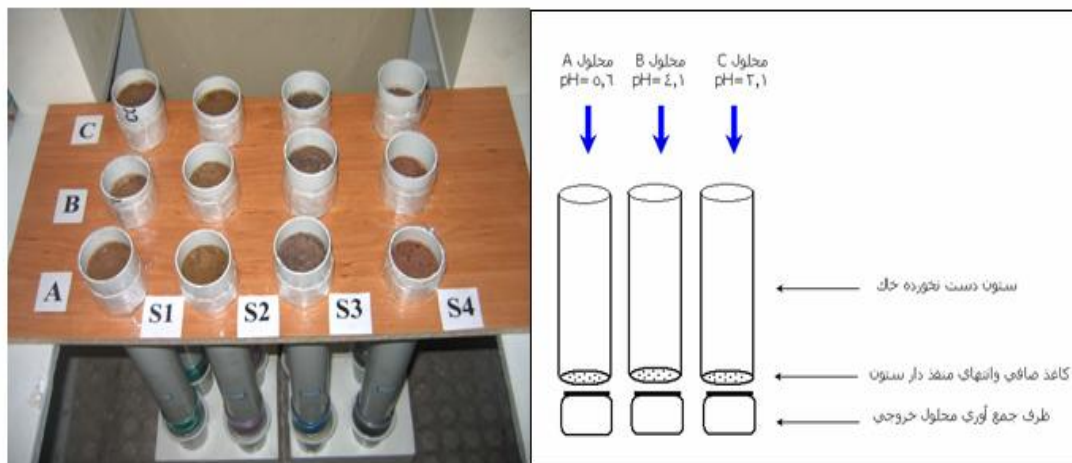
جهت نزدیک‌تر شدن عملیات شبیه‌سازی به حالت طبیعی، مقدار محلول مورد استفاده در هر روز متناسب با توزیع شدت بارندگی در ماه‌های مختلف سال انتخاب گردید و نیز به منظور انجام عمل تبخیر و مهاجرت احتمالی یون‌های خاک به بخش‌های بالایی نمونه در حین تبخیر محلول، در برخی روزها محلول‌پاشی انجام نشد (جدول ۱). پس از گذشت حدود ۲۴ روز از شروع آزمایش، نشت محلول از کف ستون‌ها آغاز گردید.

خاک‌های نابالغ (انتی سول تا اینسپتی سول) قرار داد. جهت بررسی تأثیر بارش‌ها بر تغییر مقدار فرم‌های تبدلی و محلول کلسیم و منیزیم و همچنین بر تغییر مقدار فرم قابل جذب و محلول فلز مس در خاک‌های منطقه، با استفاده از یک نمونه‌گیر دست‌ساز فولادی از ۴ نقطه در بخش‌های شمالی منطقه (شکل ۱)، تعداد ۱۲ نمونه دست نخورده به طول ۵۰ سانتی‌متر و قطر ۶ سانتی‌متر (هر نقطه ۳ نمونه) تهیه گردید. نمونه‌های خاک در ستون‌های پلی‌اتیلن که آب زهکشی از قاعده منفذدار آنها خارج می‌شد، استقرار یافته و جهت آزمایش شبیه‌سازی باران اسیدی آماده گردیدند. نمای این سیستم در شکل ۱ نشان داده شده است.

با اضافه نمودن اسید سولفوریک خالص به آب مقطر، ۳ محلول با pH های ۵/۶ (محلول A)، ۴/۱ (محلول B) و ۳/۱ (محلول C) تهیه گردید که این محلول‌ها به ترتیب به عنوان باران طبیعی، باران اسیدی منطقه مورد



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری نسبت به معدن و کارخانه ذوب مس سرچشمه.



شکل ۲. نمای ساده سیستم شبیه‌سازی باران اسیدی و شستشوی عناصر خاک

جدول ۱. مقدار باران شبیه‌سازی شده که در هر روز از آزمایش بر روی ۹ ستون خاک ریخته شد (بر حسب میلی‌متر)

روز	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
مقدار باران (mm)	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	مجموع
مقدار باران (mm)	-	-	۵	-	-	-	۱۰	۵	۱۰	۱۰	۱۵	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۳۷۰

مقدار کل مواد خنثی شونده برحسب 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 تبادلی: روش استات سدیم و استات آمونیوم I (منطقی، ۱۳۵۶؛ Page et. al. , 1982)

اندازه‌گیری کاتیونهای محلول: عصاره‌گیری از خاک توسط آب مقطر (منطقی، ۱۳۵۶)

محلول خروجی پس از جمع‌آوری، برای جدا سازی کلویدهای 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 فلزات مذکور در فرم تبادلی، محلول و قابل جذب در ۳ عمق ۰-۱۵، ۱۵-۳۰ و ۳۰-۵۰ سانتیمتر مورد سنجش قرار گرفت و با مقدار این پارامترها قبل از عملیات شبیه‌سازی مقایسه گردید.

اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر به روش‌های زیر و همچنین با استفاده از دستگاههای جذب اتمی و فتومتر شعله‌ای صورت گرفت:

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

جدول ۲ آمده و موقعیت خاک این ایستگاهها در نمودار بافت خاک در شکل ۳ نشان داده شده است. آزمایش بافت خاک نشان داد که در عمق ۱۵-۳۰ سانتیمتر، مقدار سیلت و رس در مقایسه با بخشهای عمیقتر و سطحیتر بیشتر می باشد که احتمالاً ناشی از شسته شدن ذرات ریز از سطح و تجمع آنها در بخش عمیقتر می باشد.

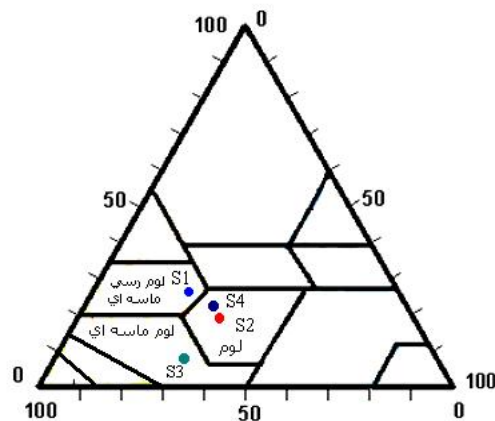
مقدار مس قابل جذب: عصاره گیری از خاک توسط محلول DTPA. Lindsay and Norvell, 1978; (Page et. al. , 1982)

### بحث و نتیجه گیری

مشخصات کلی خاکهای مورد آزمایش در ایستگاههای نمونه برداری (S1 ، S2 ، S3 و S4) در

جدول ۲. مشخصات کلی خاکهای موجود در ایستگاههای نمونه برداری.

ایستگاه	عمق	pH	CEC	مقدار رس	مقدار سیلت	مقدار ماسه	مواد آلی	وزن مخصوص	رطوبت اشباع
	cm		meq/100gr	%	%	%	%	gr/cm3	%
	۰-۱۵	۶/۳۲	۲۰	۱۸	۳۳	۴۹	۰/۲۱	۲/۵۵	۲۳/۹
S1	۱۵-۳۰	۷/۲۶	۲۳/۹	۳۴	۲۲	۴۴	۰/۱	۲/۴	۲۵/۳
	۳۰-۵۰	۷/۵۲	۲۳	۲۴	۲۵	۵۱	۰/۱۲	۲/۳	۴۱
	۰-۱۵	۷/۷۶	۱۹/۷	۶	۳۰	۶۴	۰/۱۴	۲/۴۲	۲۰/۱
S2	۱۵-۳۰	۸/۴۴	۳۲/۴	۱۶	۴۴	۴۰	۰/۲۱	۲/۳۱	۳۹/۲
	۳۰-۵۰	۸/۳۳	۲۱	۶	۲۶	۶۸	۰/۱۲	۲/۲۶	۴۸/۴
	۰-۱۵	۸/۰۲	۲۲/۸	۱۴	۳۸	۴۸	۰/۲۵	۲/۳۷	۱۹/۹
S3	۱۵-۳۰	۷/۹۴	۲۲/۹	۲۳	۳۵	۴۲	۰/۲۳	۲/۲۲	۲۴/۷
	۳۰-۵۰	۸	۲۵/۷	۲۴	۳۷	۳۹	۰/۱۹	۲/۱۶	۳۱/۹
	۰-۱۵	۶/۵۶	۲۰/۵	۱۹	۳۵	۴۶	۰/۲۵	۲/۳۳	۱۷/۱
S4	۱۵-۳۰	۷/۱۲	۲۳	۲۲	۲۸	۵۰	۰/۲۵	۲/۳۳	۲۳/۸
	۳۰-۵۰	۷/۲۸	۲۱/۸	۲۸	۲۸	۴۱	۰/۲۹	۲/۳۳	۲۵/۴



شکل ۳. موقعیت خاکهای مورد مطالعه در نمودار بافت خاک

می‌دهد که در هر چهار ایستگاه مورد مطالعه، مقدار تبدلی این عنصر کاهش ضعیفی را با افزایش شدت اسیدیته باران‌های شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد (شکل‌های ۵ و ۶).

البته در برخی موارد (مثلاً در عمق ۵۰ - ۳۰ سانتیمتر ایستگاه شماره یک و عمق ۳۰ - ۱۵ سانتیمتر، ایستگاه شماره ۴ برای کلسیم) ناهماهنگی‌هایی وجود دارد که 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 بدست آوردن تنها یک مقدار غیرعادی در ۳ بار تکرار بر مقدار میانگین تأثیر قابل توجهی خواهد داشت. با وجود این اندک ناهماهنگی‌ها، روند کلی کاهش مقدار کاتیونهای تبدلی کلسیم و منیزیم در همه نمونه‌ها دیده می‌شود.

به نظر می‌رسد که علت اصلی این امر، افزایش غلظت  $H^+$  در محلول خاک به علت تأثیر محلولهای اسیدی باشد؛ یعنی به علت افزایش غلظت  $H^+$  در محلول خاک، مقداری از آن جذب سطح کلونیدها شده و به جای آن کاتیونهای دیگر وارد فاز محلول می‌گردند. این فرآیند 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.

در بررسی حساسیت خاک‌ها نسبت به اسیدیته، خاک‌های با مشخصات زیر خاک‌های غیرحساس در نظر گرفته می‌شوند (McFee, 1983; Neill, 1993; Manahan, 2005):

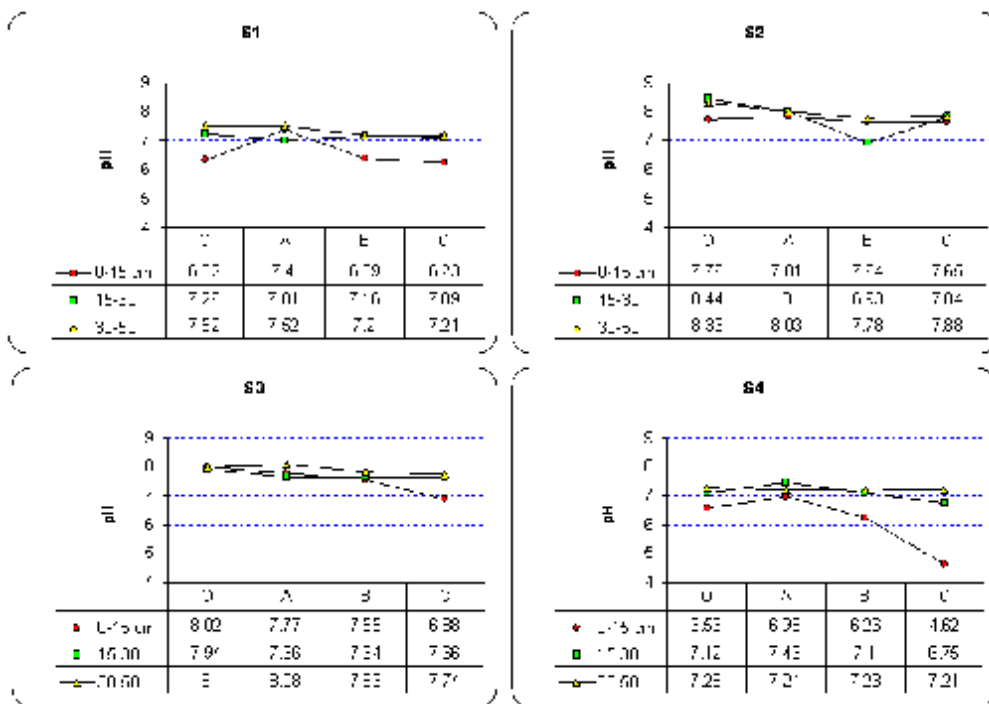
- خاک‌هایی که در ۲۵ سانتیمتر اول (فوقانی) خود دارای کربنات آزاد باشند.

- خاکهایی که در معرض سیلاب‌های مکرر باشند.

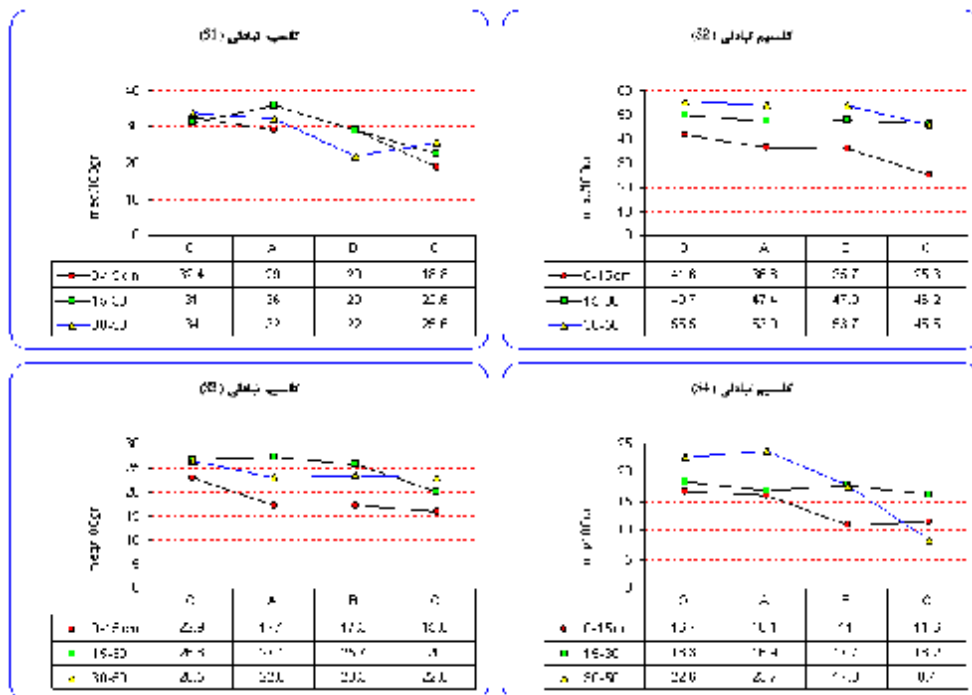
- خاک‌هایی که در ۲۵ سانتیمتر فوقانی خود دارای متوسط ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) بیش از ۱۵/۴ میلی‌اکی والان درصد گرم باشند.

تجزیه شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که کربنات کلسیم آزاد در اغلب آنها وجود دارد. با توجه به پوشش گیاهی نسبتاً متراکم بوته‌ها و درختچه‌ها در اکثر بخش‌های منطقه مورد مطالعه، به نظر نمی‌رسد که این منطقه چندان سیلاب خیز باشد و در آخر اینکه با توجه به اندازه‌گیری CEC خاک‌های مورد مطالعه، اغلب آنها CEC بالاتر از ۱۵/۴ دارند. بنابراین می‌توان گفت که عمده خاک‌های منطقه در برابر بارش‌های اسیدی از حساسیت نسبتاً کمی برخوردارند.

تغییرات pH خاک پس از تأثیر محلول‌های اسیدی نسبتاً کم می‌باشد (شکل ۴) که حضور مواد خثی شونده (مثل آهک) و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا در خاکهای مورد مطالعه بخوبی این مساله را توجیه می‌کند. با وجود قابلیت نسبتاً خوب خاکها در ایستگاههای چهارگانه، تغییرات مقادیر کلسیم تبدلی و محلول نشان

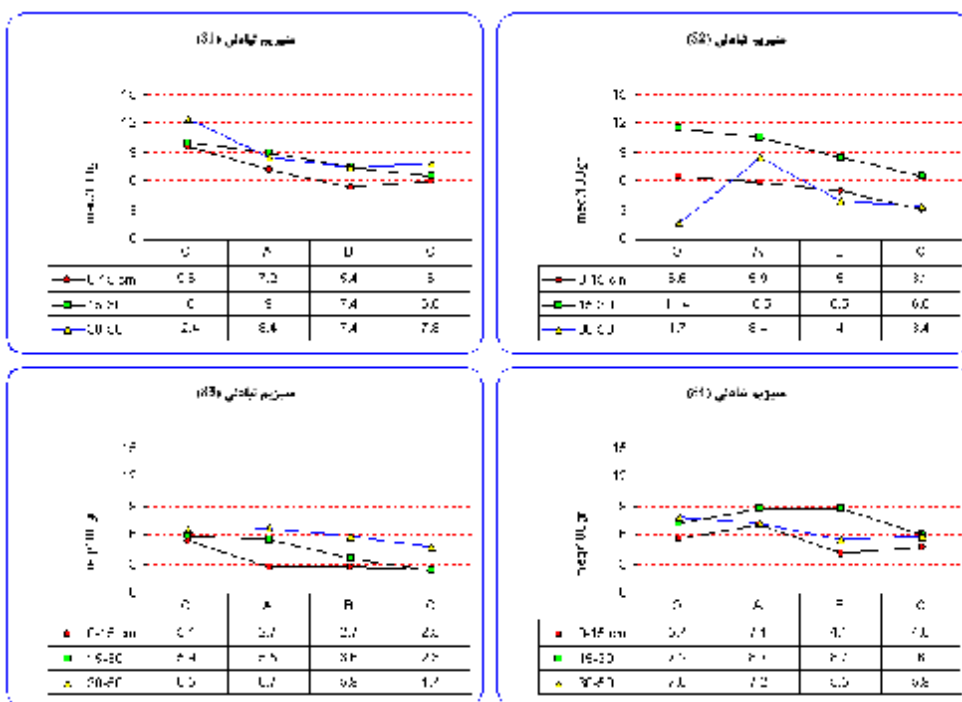


شکل ۴. تغییرات اسیدیته خاک اولیه (O) ایستگاههای مورد مطالعه پس از تاثیر محلولهای A (pH=5.6)، B (pH=4.1) و C (pH=3.1)



شکل ۵. تغییرات مقدار کلسیم تبادلی در خاک اولیه (O) ایستگاههای مورد مطالعه پس از تاثیر محلولهای A, B, C

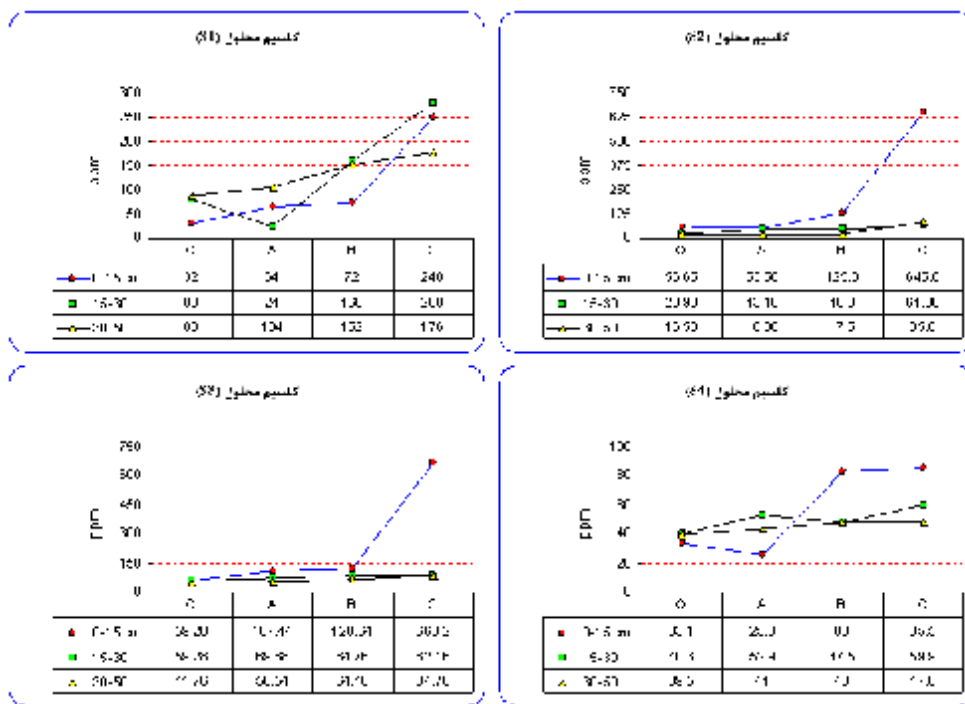




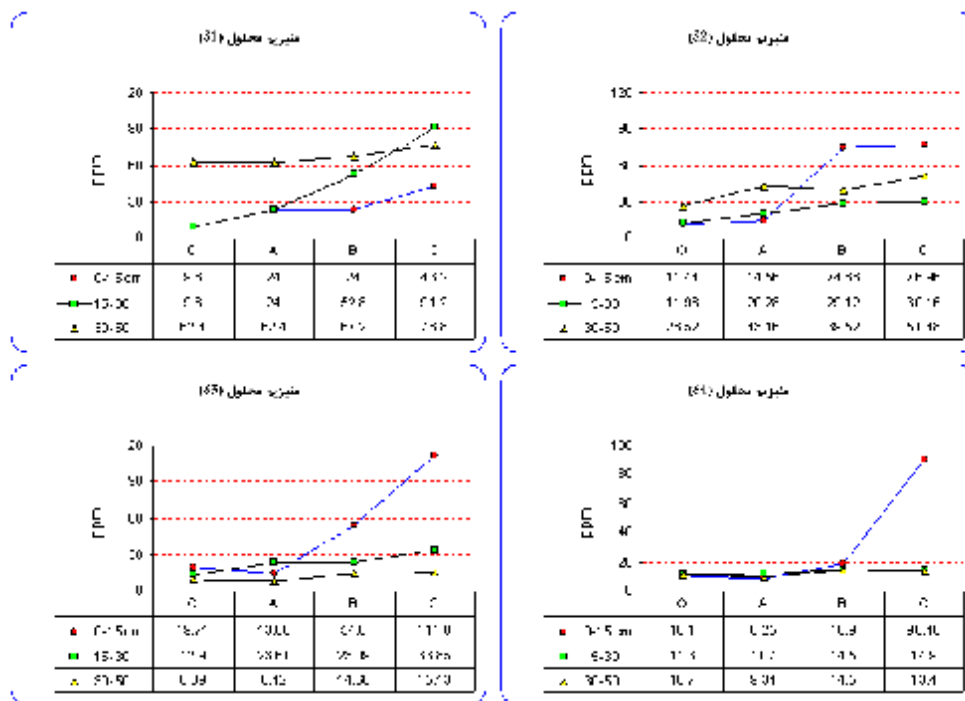
شکل ۶. تغییرات مقدار منیزیم تبادلی در خاک اولیه (O) ایستگاههای مورد مطالعه پس از تاثیر محلولهای A,B,C

بیشتر خواهد بود و بخشی از عناصر از ترکیب کانیهای در حال هوازدهی وارد بخش محلول خاک می‌شوند. ضمن اینکه مداوم بودن تأثیر آب (همانند حالتیکه در آزمایش ما وجود داشته است) نیز به شدت هوازدهی خواهد افزود. نکته دیگری که باید به آن توجه داشت این است که مسلماً بخش اعظم آهک (کربنات کلسیم) موجود در خاک بصورت سیمان کربناتی حضور دارد و انحلال این سیمان توسط محلولهای اسیدی مورد استفاده در آزمایش نیز سهم قابل توجهی در افزایش فرم محلول کلسیم و تا حدی منیزیم خواهد داشت. همچنین بخشی از افزایش فرم محلول سدیم نیز می‌تواند به انحلال کانی هالیت که به مقدار کم در خاکها حضور دارد، ارتباط داشته باشد (البته می‌توان این انحلالها را نیز جزو فرایندهای هوازدهی شیمیایی محسوب نمود با این تفاوت که انحلال در مورد کانیهای ثانویه رخ می‌دهد، نه کانیهای اولیه خاک یا سنگ مادر آن).

بررسی تغییرات مقدار محلول کاتیونهای کلسیم و منیزیم در نتیجه تأثیر بارانهای اسیدی بر خاکهای مورد مطالعه نشان می‌دهد که این بارشها مقدار محلول کاتیونهای مذکور را افزایش می‌دهند و شدت افزایش با شدت اسیدیته بارشها نسبت مستقیم دارد (شکلهای ۷ و ۸). ضمن اینکه بیشترین شدت افزایش در مورد کلسیم و کمترین آن در مورد پتاسیم دیده می‌شود. همانطور که گفته شد در نتیجه تأثیر بارانهای اسیدی بخشی از کاتیونهای تبادلی وارد فاز محلول می‌شوند؛ بنابراین مقدار محلول کاتیونهای مذکور افزایش خواهد یافت؛ اما با توجه به اینکه مقادیر کاهش فرم تبادلی این کاتیونها بسیار کمتر از مقدار افزایش یافته فرم محلول این کاتیونها می‌باشد، باید عامل دیگری نیز در افزایش مقدار محلول این کاتیونها مؤثر باشد. آب یکی از عوامل مهم در هوازدهی سنگها و کانیها می‌باشد و مسلماً وقتی که pH آب موجود از آبهای معمولی کمتر باشد، شدت هوازدهی



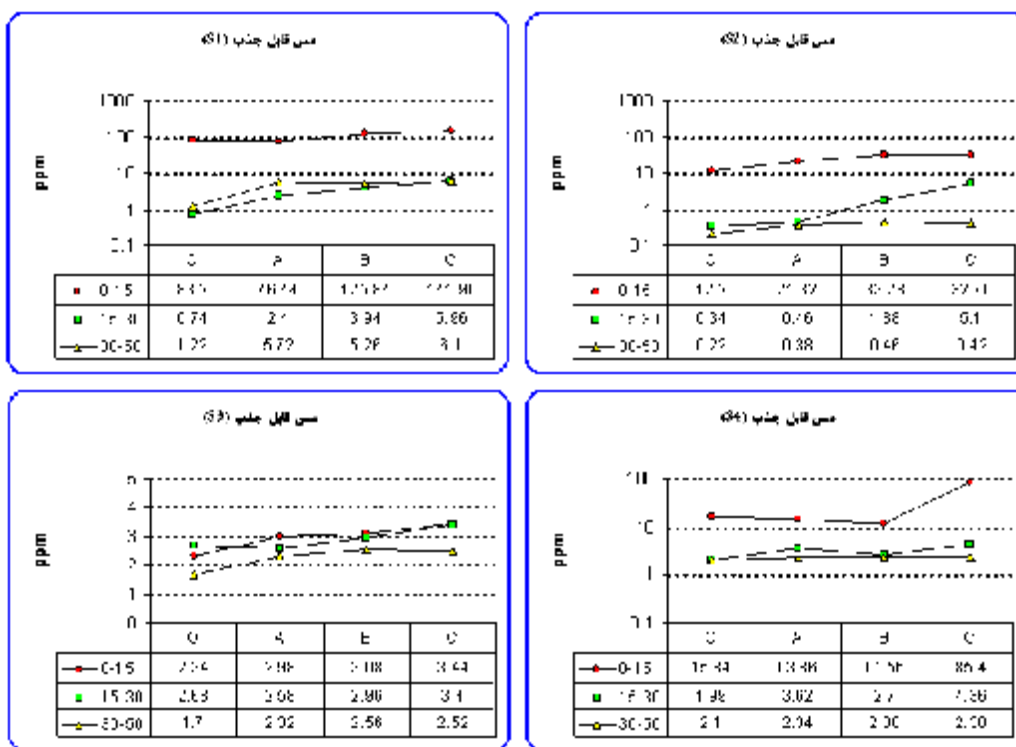
شکل 7. تغییرات مقدار کلسیم محلول در خاک اولیه (O) ایستگاههای مورد مطالعه پس از تاثیر محلولهای A,B,C.



شکل 8. تغییرات مقدار منیزیم محلول در خاک اولیه (O) ایستگاههای مورد مطالعه پس از تاثیر محلولهای A,B,C.

آزاد شدن این عناصر از جایگاههای جذب شده توسط کانیها و مواد آلی خاک (افزایش فرم محلول) و از طرفی ناشی از تسریع نرخ هوازدگی و تجزیه کانیهای اولیه موجود در خاک منطقه و یا انحلال برخی کانی های ثانویه آن باشد که به نظر می رسد عامل دوم از اهمیت بیشتری برخوردار باشد.

مقایسه مقدار قابل جذب عنصر مس قبل و بعد از تأثیر محلولهای اسیدی (بارانهای اسیدی مصنوعی) در ۳ عمق متفاوت ستونهای خاک (تهیه عصاره خاک با استفاده از محلول DTPA) نشان می دهد که مقدار قابل جذب این فلز در نتیجه تأثیر بارانهای اسیدی افزایش پیدا می نماید (شکل ۹). این افزایش می تواند از طرفی ناشی از



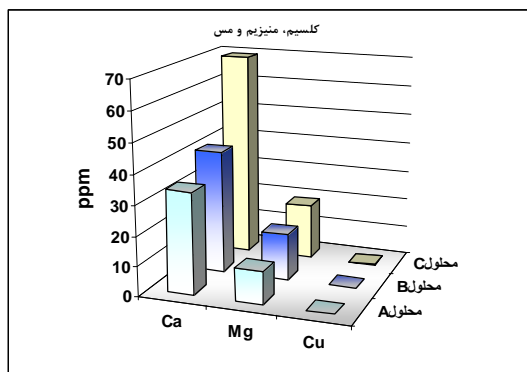
شکل ۹. تغییرات مقدار مس قابل جذب در خاک اولیه (O) ایستگاههای مورد مطالعه پس از تأثیر محلولهای A,B,C

خاکهای سطحی می باشد یعنی خاکهای سطحی از همان روز شروع محلول پاشی تحت تأثیر اسیدیته قرار گرفته اند و بتدریج با گذشت زمان از شروع محلول پاشی خاکهای بخشهای عمیق تر تحت تأثیر قرار گرفته اند. به عنوان مثال همانطور که پیش از این ذکر شد نشت

نکته جالب اینکه این تغییرات در بخشهای سطحی خاک (۱۵ - ۰ سانتیمتر) بسیار مشهودتر از بخشهای عمیق تر می باشد که این حالت در مورد سایر تغییراتی که پیش از این ذکر گردید نیز در برخی موارد دیده می شود. به نظر می رسد علت اصلی این امر تأثیر بیشتر محلولها بر

در پایان لازم به ذکر است که افزایش قابلیت عنصر مس به سبب سمی بودن آن در غلظت‌های زیاد برای گیاهان می‌تواند اثرات زیست محیطی خاصی بر پوشش گیاهی و بطور غیر مستقیم بر جانوران منطقه داشته باشد. به عنوان مثال این افزایش ممکن است باعث اختلال در جذب برخی عناصر دیگر و در مواردی موجب توقف رشد ریشه و زردی گیاه گردد. ضمن اینکه مس شسته شده از بخش‌های سطحی خاک در صورت انتقال به منابع آب زیر زمینی، در دراز مدت موجب آلودگی منابع مذکور خواهد گردید.

محلول از کف ستونها پس از گذشت حدود ۲۴ روز از شروع آزمایش آغاز گردید؛ یعنی خاکهای بخش انتهایی ستون احتمالاً حدود ۶ تا ۸ روز تحت تأثیر محلولها بوده‌اند و خاکهای سطحی حدود یک ماه. تجزیه شیمیایی محلولهای زهکش شده از انتهای ستونهای خاک نشان می‌دهد که (به ازای بارندگی ۳۷۰ میلی‌متر در منطقه) شدت شستشوی کلسیم در خاکهای مورد مطالعه بیش از منیزیم می‌باشد که احتمالاً دلیل عمده آن وجود سیمان کربناتی در خاک است که قبلاً به آن اشاره شد. ضمن اینکه مقدار مس شسته شده از خاک در مقایسه با کلسیم و منیزیم بسیار کم می‌باشد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. متوسط مقدار کلسیم، منیزیم و مس موجود در محلول زهکش شده از ستونهای خاک پس از تأثیر محلولهای (pH=3.1) C و (pH=4.1) B، (pH=5.6) A

ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی، چاپ اول، شماره ۸۹۳

۱۲۸ صفحه، ۱۳۷۲.

منابع

۱- احيایی، مریم و بهبهانی‌زاده، علی اصغر. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک، نشریه سازمان تحقیقات، آموزش و

- 9- E. J. Pell, C. I. Army and N. S. Pearson, Impact of simulated acid precipitation on quantity and quality of a field grown potato crop. *Environ. Exp. Bot.* v. 27, pp. 6-14, (1987).
- 10- G. Howells, *Acid Rain and Acid Water*, Ellis Harwod Publication, 215 p. (1990).
- 11- G. H. Tomlinson, Acidic deposition, nutrient leaching and forest growth. *Biogeochemistry*, v. 65, pp. 51-81, (2003).
- 12- H. B. King, M. K. Wang, S. Y. Zhuang, J. L. Hwong, C. P. Liu, M. J. Kang, Sorption of sulfate and retention of cations in forest soils of Lien-Hua-Chi watershed in central Taiwan. *Geoderma*. v. 131, pp. 143-153, (2006).
- 13- International Soil Reference and Information Center (ISRIC), *Procedure for Soil Analysis*. Wageningen Agriculture University. (1986).
- 14- J. E. Yokom, and N. S. Bear, U. S. Environmental Protection Agency, EPA 600/8-83-016B, Washington, D. C. , pp. 6-1-6-72, (1983).
- 15- J. E. Zhang, Y. Ouyang, D. J. Ling, Impact of simulated acid rain on cation leaching from the Latosol in south China. doi: 10. 1016/j. Chemospher. 2006. 12. 095. (2007).
- 16- L. Wiklander, The role of neutral salts in ion exchange between precipitation and soil. *Geoderma*, v. 14, pp. 93-105, (1975).
- 17- L. Wiklander, Interaction between cations and anions influencing adsorption and leaching. In: *Effect of acid precipitation on terrestrial ecosystems*. Hutchinson, T. C. and M. Havas (eds. ). Plenum Press, New York. pp. 239-254, (1980).
- 18- P. O. Neill, *Environmental Chemistry*, Chapman and Hall, Second Edition, 268p. , (1993).
- ۲- میرحسینی، س. م. ، شهاب پور، ج. هیدروژئوشیمی و پتانسیل بارانهای اسیدی در تحرک برخی از عناصر در خاکهای مناطق مجاور مجتمع مس سرچشمه، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه کرمان، ۲۰۶ صفحه. ۱۳۸۶.
- ۳- منطقی، ن. تشریح روش ها و بررسی های آزمایشگاهی روی نمونه های خاک و آب. موسسه تحقیقات خاک و آب ایران، نشریه شماره ۱۶۸، ۱۳۵۶.
- 4- A. L. Page, R. H. Miller, D. R. Keeney, *Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. , 1159 p. , (1982).
- 5- A. Welburn, *Air pollution and acid rain: the biological impact*. Longman Publication, 274p. , (1990).
- 6- B. Walna, J. Siepak, S. Drzymala, Soil degradation in the Wielkopolski National Park (Poland) Az an effect of acid rain simulation. *Water,Air,Soil Pollut.* v. 130, pp. 1727-1732, (2001).
- 7- C. T. Driscoll, C. B. Lawrence, A. J. Bulger, T. J. Butler, C. S. Cronan, C. Eager, K. F. Lambert, G. E. Likens, J. L. Stoddard, and K. C. Weathers, *Acidic deposition in the northeastern US: sources and inputs,ecosystems effects and management strategies*. *Bioscience*. v. 51, pp. 180-198, (2001).
- 8- D. B. Botkin, and A. Keller, *Environmental Science*, 4th Ed. John Wiley and Sons, pp. 485-519, (2003).

manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* , v. 42, pp. 421-428, (1978).

25- W. W. McFee, Sensitivity of soil regions to long-term acid precipitation. In: *Atmospheric sulfur deposition*. Shriner, D. S. , Richmond, C. R. and Lindberg, S. E. (eds. ). Ann Arbor Science: Michigan. pp. 495-506, (1980).

26- W. W. McFee, Sensitivity ratings of soils to acid deposition: A review. *Env. and Exp. Botany*. v. 23(2), pp. 203-210, (1983).

27- Y. Zhang, L. Dia, X. Wang, B. Du, Changes in form of rare earth elements after acid rain leaching trough soil column. *Environmental Contamination and Toxicology*. v. 70, pp. 46-53, (2003).

19- R. W. Ferenbaugh, Effect of simulated acid rain on *Phaseolus vulgaris* L. *American. Journal of Botany*. v. 63, pp. 283-288, (1976).

20- S. E. Manahan, *Environmental Chemistry*, CRC Press, 763 p, (2005).

21- T. Kanazu, T. Matsumura, T. Nishiuchi, and T. Yamamoto, Effect of simulated acid rain on deterioration of concrete, *Water, Air and Soil Pollution*, v. 130, pp. 1481-1486, (2001).

22- U. M. , Cowgil, *Acid Precipitation: a review*. In: *Environmental Problems and Solutions*, Veziroglu, T. N. (eds. ), Hemisphere Publication Corporation. pp. 111-137, (1990).

23- W. H. Smith, *Air Pollution and Forests, Interaction Between Contaminants and Forest Ecosystems*. Springer Verlag, 379 p. , (1981).

24- W. L. Lindsay, and W. A. Norvell, Development of a DTPA soil test for zinc, iron,