

مقایسه تأثیر اسید سولفور و اسید سولفوریک بر خصوصیات کیفی خاک و رشد گیاه سویا

محمد پسندیده¹، پرویز مهاجرمیلانی و علی‌اکبر عزیزی‌زهان

محقق بخش تحقیقات شیمی، حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، موسسه تحقیقات خاک و آب: mpassandideh@yahoo.com

استادیار بخش تحقیقات اصلاح خاک و مدیریت پایدار اراضی، موسسه تحقیقات خاک و آب: milani100@yahoo.com

محقق بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب: azizizohan@yahoo.com

دریافت: 92/4/4 و پذیرش: 92/11/28

چکیده

در فرایند پالایش منابع عظیم سوخت‌های فسیلی در ایران، سالانه مقادیر زیادی گوگرد تولید می‌شود که بخش عمده آن برای تولید اسید سولفوریک مورد استفاده قرار می‌گیرد. اسید سولفوریک بطور موفقیت آمیزی در اصلاح خاک‌های آهکی کاربرد دارد. برای مقایسه اثر بخشی اسید سولفور و (حاصل از دستگاه گوگردسوز تولیدی موسسه تحقیقات خاک و آب) با اسید سولفوریک در خصوصیات کیفی آب آبیاری، خاک و رشد گیاه، آزمایشی گلدانی در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تیمار و در سه تکرار در سال 1391 اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل شاهد (آب آبیاری با $pH = 7/6$)، آب اسیدی حاصل از اسیدسولفوریک (آب آبیاری با $pH = 6$) و آب اسیدی حاصل از اسیدسولفور و (آب آبیاری با $pH = 6$) بود. بررسی تأثیر تیمارها بر خصوصیات شیمیایی خاک و رشد گیاه در دو آزمایش جداگانه انجام شد. برای بررسی تأثیر تیمارها بر خصوصیات خاک، ابتدا خاک گلدان‌های 8 کیلوگرمی با اعمال تیمارهای مذکور در هفت نوبت به رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) رسیده و هوا خشک گردید. پس از هفت نوبت آبیاری، برخی خصوصیات شیمیایی خاک (از جمله $pH, EC, OC, P, K, Mn, Fe, Zn, Cu$) اندازه‌گیری شد. سپس برای بررسی تأثیر تیمارها بر رشد گیاه در خاک‌های مذکور سویا کشت گردید. برخی پارامترهای رشد از قبیل سبزیگی برگ، ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی و عناصر غذایی برگ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تأثیر تیمارهای آزمایشی قبل از کشت گیاه بر کربن آلی و pH خاک ناچیز بود اما مقادیر شوری، غلظت پتاسیم، فسفر و عناصر کم‌مصرف خاک نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد. تأثیر تیمارهای آزمایشی با کشت گیاه نشان داد که غلظت عناصر نیتروژن و پتاسیم برگ نسبت به تیمار شاهد اختلاف چندانی ندارد اما این اختلاف در مورد عناصر غذایی کم مصرف در سطح آماری 5% معنی‌دار بود. با توجه به نتایج این آزمایش، می‌توان گفت که تأثیر اسید سولفور و در آب آبیاری با $pH = 6$ بر روی خاک، مشابه تأثیر افزایش اسید سولفوریک در آب آبیاری است و مصرف آب اسیدی سبب افزایش غلظت آهن، روی، فسفر و منگنز در گیاه سویا شده است.

واژه‌های کلیدی: آب اسیدی، گوگردسوز، کیفیت آب، خاک آهکی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: کرج، میدان استاندارد، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب، کد پستی: 31779-93313.

مقدمه

در کشور ایران با توجه به منابع عظیم سوخت‌های فسیلی، سالانه مقادیر زیادی گوگرد از طریق بازیافت منابع نفت و گاز تولید می‌شود. در حال حاضر میزان تولید سالیانه گوگرد در کشور حدود 1360 هزار تن است، که بخش عمده آن در تولید اسید سولفوریک استفاده شده است. این میزان تولید بیش از سه برابر میزان مصرف داخلی است. گوگرد مازاد بر نیاز فعلی را باید صادر نمود و یا کاربردهای جدیدی برای آن پیدا کرد. با توجه به اشیاع بودن بازار جهانی گوگرد، کسب سهم بیشتری از بازار جهانی گوگرد را نمی‌توان متصور بود (بی نام، 1392).

اسید سولفوریک (H_2SO_4) بطور موفقیت آمیزی در اصلاح خاک‌های آهکی مورد استفاده قرار می‌گیرد و معمولاً نسبت به سایر اصلاح‌کننده‌ها برای خارج کردن سدیم موجود در خاک‌های آهکی بهتر عمل می‌کند. واکنش سریع اسید سولفوریک با خاک و تشکیل ذرات کلوئیدی گچ و افزایش حلالیت نمک‌های محلول تجمع یافته در خاک، از دلایل عملکرد مناسب اسید سولفوریک در خاک‌های آهکی می‌باشد. جریگوری (2001) در خصوص کاربرد اسید برای اصلاح pH خاک اظهار داشت که می‌توان از اسیدهای سولفوریک، فسفریک و مخلوط اوره با اسید سولفوریک برای این منظور استفاده کرد. وی اظهار داشت که در خاک‌های آهکی وجود کربنات کلسیم موجب خاصیت بافری خاک می‌شود.

لذا کاهش pH خاک با مصرف زیاد اسید امکان‌پذیر خواهد بود. ایشان همچنین بیان داشتند که مصرف اسید در خاک‌های آهکی فراهمی عناصر غذایی از جمله فسفر، آهن و دیگر عناصر غذایی را افزایش می‌دهد. نتایج حاصل از آزمایشی که به منظور تأثیر مواد اصلاح‌کننده بر روی خاک و رشد گیاه یونجه انجام شده بود نشان داد که با کاربرد مواد اصلاح‌کننده از جمله اسید سولفوریک در شوری‌های 4، 6 و 8 دسی زیمنس بر متر آب آبیاری، به ترتیب 6/8، 6/5 و 4/5 تن در هکتار عملکرد گیاه یونجه افزایش یافته است. در این تحقیق آب اسیدی به دلیل افزایش نفوذپذیری خاک و در نتیجه آبشویی بهتر املاح، شوری خاک را از 3 به 1 دسی زیمنس بر متر کاهش داد اما pH خاک تغییر قابل توجهی نداشت (به نقل از مهاجر میلانی و ملکوتی، 1382). ریان و استریلین (1979) در بررسی اثر اسید سولفوریک بر خصوصیات رشد گیاه گوجه فرنگی دریافتند که جذب فسفر توسط گیاه گوجه فرنگی از 0/5 میلی‌گرم در تیمار شاهد به 7/4 میلی‌گرم در هر بوته افزایش یافته است.

علاوه بر اثر بخشی اسید سولفوریک در خاک، این ماده برای اصلاح آب‌های بی‌کربنات‌دار نیز استفاده می‌شود. بی‌کربنات به عنوان یکی از یون‌های مضر در محیط ریشه به شمار رفته و جذب مواد غذایی را کاهش می‌دهد. آبیاری با آب بی‌کربناتی به عنوان عامل افزایش غلظت بی‌کربنات در محلول خاک یا محیط‌های آبی محسوب می‌شود. مهمترین عارضه فیزیولوژیکی ناشی از بالا بودن غلظت بی‌کربنات در محیط ریشه اختلال در جذب آهن می‌باشد و بدین ترتیب زردی برگ در گیاه به عنوان یک عارضه قابل مشاهده است که در اثر کمبود آهن ظاهر می‌شود (بوکسما، 1972). شهابی و ملکوتی (1380) بیان کردند که به دلیل استمرار خشکسالی، افت عمق آب‌های زیرزمینی و کاهش دبی آب چاه‌های مورد استفاده مشکلات ناشی از بی‌کربنات آب آبیاری تشدید خواهد شد. کریمی و همکاران (1381) در آزمایشی اثرات کاربرد اسید سولفوریک را بر رشد و جذب آهن توسط گیاه توت فرنگی در یک خاک آهکی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با کاربرد اسید سولفوریک، pH خاک کاهش و قابلیت هدایت الکتریکی آن افزایش می‌یابد. در این آزمایش کاربرد اسید سولفوریک باعث افزایش سطح برگ و کلروفیل آن گردید.

بیشترین میزان کلروفیل با کاربرد 20 گرم اسید سولفوریک در هر کیلوگرم خاک به دست آمد. در این تحقیق با کاربرد مقادیر زیاد اسید سولفوریک، کاهش در سطح برگ و سوختگی برگ ناشی از قابلیت هدایت الکتریکی زیاد خاک نیز مشاهده گردید. به طور کلی می‌توان کاربرد اسید سولفوریک را یکی از راه‌حل‌های پیشنهادی برای جلوگیری از زردبریگی در خاک‌های آهکی در نظر گرفت. در یک مطالعه بر روی 550 نمونه آب آبیاری مربوط به استان‌های مختلف کشور و استان یزد نشان داده شد که به ترتیب 84 و 95 درصد آب‌ها دارای غلظت 1/5 تا 8/5 میلی‌مول در لیتر بی‌کربنات هستند (مهاجر میلانی، 1388). نامبرده در یک آزمایش، به حجم معینی از آب آبیاری حاوی بی‌کربنات به غلظت 17 میلی‌اکی‌والان در لیتر، مقادیر مختلف اسید سولفوریک غلیظ تجارتي در مراحل مختلف اضافه کرده و پس از هر مرحله افزودن اسید، مقدار بی‌کربنات و pH آب آبیاری را اندازه‌گیری نمود. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که با افزایش اسید سولفوریک به آب آبیاری مقدار بی‌کربنات آن کاهش یافت و در pH حدود 4 مقدار بی‌کربنات آب به صفر رسید. اضافه نمودن اسید سولفوریک از این مرحله به بعد سبب افت شدید pH آب آبیاری گردید.

دستگاه گوگردسوز سوزانده و گاز بدست آمده (SO_2) توسط مکنده و نتوری با آب آبیاری ترکیب می‌شود. پایداری pH اسیدسولفورهای بدست آمده از دستگاه‌های گوگردسوز با طراحی سال‌های 1364، 1384 و 1391 مورد آزمایش قرار گرفته و اسیدسولفور با کمترین تغییرات pH (که از دستگاه گوگردسوز اخیر بدست آمد)، در تیمارهای خاکی به کار رفت. دبی انشعاب آب خروجی که به این دستگاه متصل شده بود، 4 لیتر در ثانیه بود که برای اصلاح آن در هر ساعت مقدار یک کیلوگرم گوگرد پودری مصرف می‌شد. در جدول 1 و شکل 2 نتایج تجزیه آب آبیاری قبل و بعد از ترکیب با SO_2 ارائه گردیده است.

ادامه این تحقیق در دو مرحله انجام گرفت. در مرحله اول با آبیاری بدون کشت گیاه اثر آب اسیدی بر خصوصیات شیمیایی خاک مورد بررسی قرار گرفته و در مرحله دوم آزمایش، با کشت سویا تأثیر تیمارها بر گیاه نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی اثر تیمارها بر خصوصیات شیمیایی خاک، ابتدا خاک گلدان‌های 8 کیلوگرمی با تیمارهای مذکور به رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) رسیده و 5 روز در درجه حرارت معمول، هوا خشک گردید. پس از این مدت 1400 گرم از رطوبت هرگلدان تخلیه می‌شد. با افزودن این مقدار آب از هر تیمار به گلدان‌های مربوط، رطوبت خاک گلدان به رطوبت ظرفیت مزرعه می‌رسید. چرخه خشک و مرطوب شدن گلدان‌ها، هفت بار تکرار شد¹. سپس از خاک گلدان‌ها، نمونه تهیه شده و برخی ویژگی‌های آن از قبیل pH، EC، OC، P، K، Mn، Fe، Zn، Cu اندازه‌گیری شد. در نمونه‌های مذکور pH در عصاره گل اشباع با استفاده از دستگاه pH متر، کربن آلی به روش والکی بلاک، پتاسیم به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم، مواد خنثی شونده بر حسب کربنات کلسیم اندازه‌گیری شد (احیایی و بهبهانی زاده، 1372).

در ادامه برای بررسی اثر تیمارها بر رشد گیاه آزمایش به این شرح ادامه یافت. ابتدا با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول 2) مقادیر 6 گرم اوره (در سه تقسیط مساوی) و 4 گرم سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم در یک نوبت و قبل از کشت به هر گلدان اضافه شده و کشت سویا با تراکم 6 بذر در هر گلدان انجام گردید. دارا بودن برگ‌های پهن و تشخیص بهتر علائم

علاوه بر اسیدسولفوریک، می‌توان از اسیدسولفور نیز برای اهداف مذکور استفاده نمود. اگر دی اکسید گوگرد با آب ترکیب شود تولید اسیدسولفور (H_2SO_3) می‌کند که این کار توسط دستگاه گوگردسوز صورت می‌گیرد. تاکنون سه نوع دستگاه گوگردسوز (ساخته شده در سال‌های 1364، 1384 و تزریق کننده SO_2 به آب آبیاری) طراحی و ساخته شده است (مهاجر میلانی و ملکوتی، 1382 و پسندیده و همکاران، 1384). مهاجر میلانی و ملکوتی (1382) بیان نمودند که می‌توان از اسیدسولفور برای اصلاح خاک‌های شور سدیمی، بهبود کیفیت آب‌های آبیاری، بهبود تغذیه گیاهان، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی و غیره استفاده کرد. با توجه به اینکه از گذشته مزایای کاربرد اسیدسولفوریک در کشاورزی برای محققین و کشاورزان مشخص می‌باشد، هدف از اجرای این تحقیق این است که امکان استفاده از اسیدسولفور (حاصل از دستگاه گوگردسوز) در مقایسه با اسید سولفوریک مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به منظور مقایسه تأثیر اسید سولفور و اسید سولفوریک در خصوصیات خاک و رشد گیاه این آزمایش در سال 1391 و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و سه تیمار در گلخانه موسسه تحقیقات خاک و آب واقع در کرج اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی عبارتند از: شاهد (بدون استفاده از آب اسیدی، pH=7/6)، آب اسیدی حاصل از افزودن اسید سولفوریک (pH=6) و آب اسیدی حاصل از کاربرد اسید سولفور (pH=6) بودند.

برای تولید اسیدسولفور از دستگاه‌های گوگردسوز استفاده شد. گوگردسوز دستگاهی است که گوگرد را می‌سوزاند و SO_2 تولید شده را با آب آبیاری ترکیب می‌کند. ترکیب بدست آمده اسید سولفور (H_2SO_3) می‌باشد که جزء اسیدهای ضعیف به شمار می‌رود. اولین دستگاه گوگردسوز در ایران در سال 1364 طراحی و ساخته شد، اما به دلایل فنی و تکنولوژی حاکم بر آن دوره نتوانست مورد استفاده عموم قرار بگیرد اما pH حجم محدودی از آب را از 7/3 تا حدود 3/5 کاهش داد (مهاجر میلانی و ملکوتی، 1382). پسندیده و همکاران (1384) با رفع برخی از عیوب دستگاه (از جمله ارتقاء سیستم ترکیب دهنده گاز و آب و امکان تماس بیشتر)، تولید اسید سولفور با دبی کم و pH=2/5 را عملی ساختند. اخیراً استفاده از سیستم جدید تزریق SO_2 به آب آبیاری امکان استفاده از این دستگاه را به صورت گسترده متصور کرده است. در این روش گوگرد در محفظه

¹ با توجه به اینکه در آزمایشات قبلی مهاجر میلانی (اطلاعات منتشر نشده) چرخه خشک و مرطوب شدن 3 و 5 بار انجام شده بود، در این آزمایش 7 بار مد نظر قرار گرفته است.

گیاه با آب مقطر شستشو و در دمای 70 درجه سانتی گراد به خاکستر تبدیل و غلظت عناصر غذایی ماکرو و میکرو (N, P, K, Mn, Fe, Zn, Cu) مطابق روش معمول آزمایشگاه موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد (امامی، 1375). به طور کلی این آزمایش در مدت 85 روز (40 روز مرحله اول و 45 روز مرحله دوم) انجام گرفت. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح 5% انجام گرفت. رسم نمودارها توسط نرم افزار EXCEL انجام شد.

کیمود عناصر غذایی در سویا و امکان رشد آن در شرایط گلخانه‌ای موجود از جمله عوامل مؤثر در انتخاب این گیاه برای آزمایش بود. 10 روز پس از سبز شدن گیاه، تعداد بوته در هر گلدان به 3 بوته کاهش داده شد. در طول آزمایش هر 4 روز یک بار گلدان‌ها توزین و با آب تیمارها، رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه رسانده شد. به هر گلدان به طور متوسط در هر روز 4 میلی‌متر آب داده شد. پس از اتمام مرحله رشد رویشی، سبزیگی برگ توسط دستگاه کلروفیل‌متر قرائت گردید. قبل از برداشت، ارتفاع بوته و تعداد غلاف و پس از برداشت، وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. پس از برداشت اندام هوایی

جدول 1- نتایج تجزیه آب آبیاری قبل از اجرای آزمایش*

Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	pH	EC (dS.m ⁻¹)
(meq.l ⁻¹)								
0/6	2/1	2/0	1/9	0/6	2/1	0/0	7/6	0/4

* نتایج تغییرات کیفیت آب آبیاری پس از اعمال تیمارها در شکل 2 ارائه شده است.

جدول 2- نتایج حاصل از تجزیه آزمایشگاهی نمونه خاک قبل از اجرای آزمایش

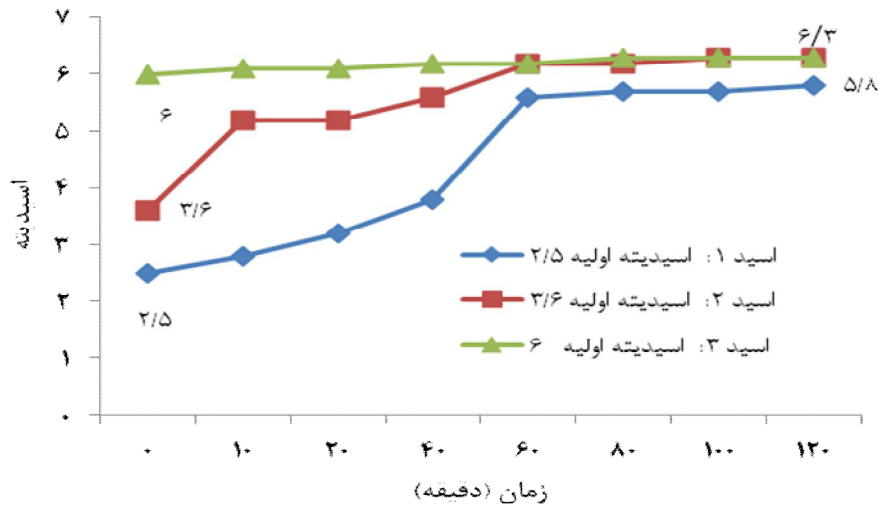
بافت	clay	silt	sa nd	Cu	Zn	Mn	Fe	Ca	Mg	K	P	O.C	TNV	pH	EC (dS.m ⁻¹)
	(mg. kg ⁻¹)			(%)				(%)							
لوم رسی	34	40	26	0/58	0/39	4/2	6/8	316	196	258	8/3	0/43	29	7/8	3/8

ناچیزی برخوردار است. به همین دلیل در ادامه این آزمایش از اسید 3 استفاده شده است. با توجه به شکل 2 مشاهده می‌شود در مکانیسم تزریق SO₂ به آب آبیاری (اسید 3)، pH آب آبیاری 1/3 واحد کاهش یافته و بی-کربنات آب آبیاری از 4/5 به 2/3 میلی‌اکی‌والانت در لیتر تنزل پیدا کرده است. سایر فاکتورهای اندازه‌گیری شده شامل شوری، سدیم، کلر و مجموع کلسیم و منیزیم با تزریق گاز SO₂ تغییر چندانی نکرده است. خلخلالی (1370) بیان کرد اگر فشار گاز SO₂ از نیروی الکترواستاتیک بین مولکول‌های آب و گاز بیشتر باشد، اسید سولفور بدست آمده در سیستم باز می‌تواند مجدداً به گاز SO₂ و آب تغییر وضعیت داده و اسید سولفور را ناپایدار سازد. از سوی دیگر، چنانچه مولکول‌های دو قطبی در کنار هم قرار بگیرند، نیروی الکترواستاتیک مابین بارهای غیر همنام، دو مولکول را به حالت پایدار در کنار هم نگاه می‌دارد.

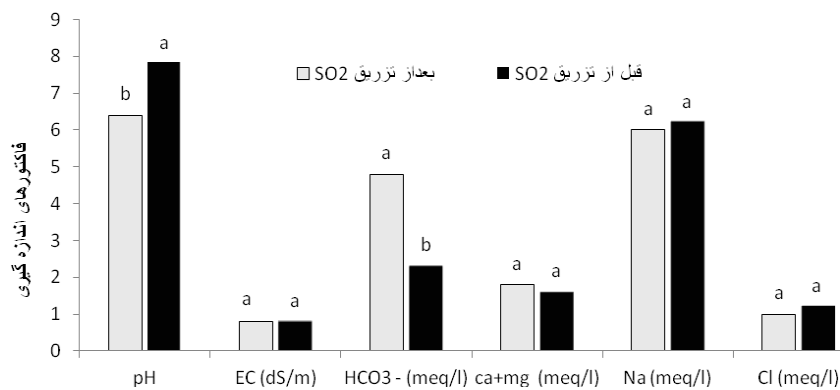
نتایج و بحث

خصوصیات اسید سولفور مورد آزمایش

بسته به نوع دستگاه‌های گوگردسوز، سه نوع آب اسیدی بدست آمد. با توجه به فرمول شیمیایی ترکیب SO₂ با آب، آب‌های اسیدی حاصل از هر سه دستگاه، اسید سولفور می‌باشند. pH اسید سولفور بدست آمده از دستگاه‌های گوگردسوز ساخته شده در سال‌های 1364، 1384 و تزریق کننده SO₂ به ترتیب 3، 2 و 5/8 بودند. شکل 1 نتایج وضعیت ماندگاری (تغییرات pH اسید با گذشت زمان) اسید سولفورها را نشان می‌دهد. همانطوریکه مشاهده می‌شود اسید سولفوری حاصل از دستگاه‌های ساخته شده در سال‌های 1364 (اسید 2) و 1384 (اسید 1) ناپایدار بوده و به دلیل فشار گاز SO₂ و متصاعد شدن آن، pH اسید سولفور افزایش یافته است. اما اسید بدست آمده از دستگاه گوگردسوز با مکانیسم تزریق SO₂ به آب آبیاری (اسید 3) از تغییرات pH



شکل 1- تغییرات pH اسید سولفورو (های) تولیدی از مدل‌های مختلف دستگاه گوگردسوز



شکل 2- تأثیر تزریق SO₂ بر خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

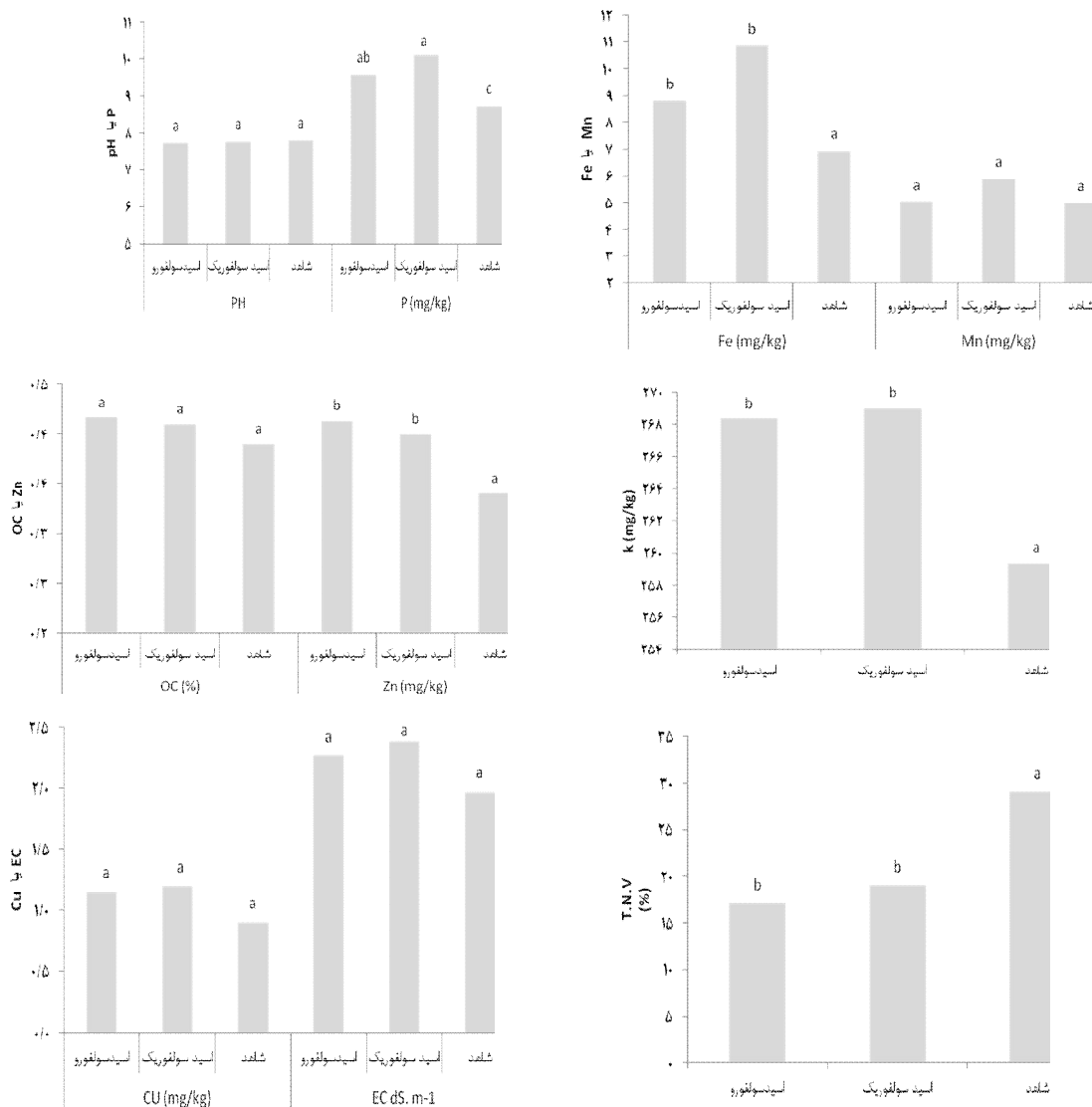
افزایش شوری در تیمار اسید سولفوریک اندکی بیشتر از اسید سولفورو است اما این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. در این خصوص مهاجر میلانی و همکاران (1382) بیان کرده‌اند که در آزمایشات مزرعه‌ای به دلیل تأثیر اسیدسولفوریک در افزایش نفوذپذیری خاک و در نتیجه تسهیل در آشنویی کاتیون‌ها و آنیون‌ها، علی‌رغم افزایش عناصر محلول می‌توان شاهد کاهش هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک بود. مقدار کربن آلی خاک با اعمال تیمارهای آب اسیدی تغییر چندانی نکرده است. محمدی گهساره و صمدی (2011) نشان‌دادند که آبیاری خاک با آب اسیدی موجب کاهش کربن آلی می‌شود. ایشان دلیل کاهش کربن آلی را در تیمارهای اسیدی، فراهمی شرایط مناسب برای میکروارگانیسم‌های خاک (از قبیل مواد غذایی و محیطی) و افزایش فعالیت آن‌ها و در

خصوصیات شیمیایی خاک

در شکل 3، تأثیر آب‌های اسیدی بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک، پس از هفت نوبت آبیاری با آب‌های اسیدی و معمولی بدون کشت گیاه نشان‌داده شده است. هیچ کدام از تیمارهای آب اسیدی (اسیدسولفورو و سولفوریک) pH نهایی خاک را کاهش نداده است. در خاک‌های آهکی کاهش pH زمانی اتفاق می‌افتد که کل کربنات کلسیم خاک خنثی شده باشد. وجود کربنات کلسیم خنثی نشده در این آزمایش موجب ایجاد خاصیت بافری شده است. مقدار حل شدن کربنات کلسیم در هر دو تیمار اسیدسولفورو و اسیدسولفوریک تقریباً به یک میزان است. حل شدن کربنات کلسیم و احتمالاً سایر کانی‌های خاک موجب افزایش شوری خاک در تیمارهای اسیدی نسبت به تیمار شاهد گردیده است.

در فسفر محلول خاک مشاهده نمی‌شود. اما این امکان وجود دارد که فسفر تبدیلی خاک افزایش یافته باشد لذا در اندازه‌گیری‌ها و ارزیابی‌ها می‌بایست فسفر محلول و تبدیلی را اندازه‌گیری کرد. نورقلی‌پور و همکاران (2000) نیز نشان دادند که تیمار خاک با آب اسیدی، غلظت فسفر و عناصر غذایی کم مصرف را در محلول خاک افزایش می‌دهد.

نتیجه معدنی شدن مواد آلی معرفی کرده‌اند. غلظت عناصر غذایی فسفر، آهن، منگنز و پتاسیم خاک در تیمارهای آب اسیدی نسبت به تیمار شاهد افزایش قابل توجهی داشته است. درخصوص فسفر خاک، اثر اسید سولفوریک نسبت به اسید سولفورو بیشتر بوده و در سایر عناصر غذایی (آهن، منگنز و پتاسیم) اختلاف چندانی بین تیمارهای اسید سولفوریک و اسید سولفورو مشاهده نشد. محمدی گهساره و صمدی (2011) گزارش کردند که آب اسیدی موجب کاهش قابل توجه فسفر خاک شده است. ایشان دلیل این امر را ترکیب آهن با فسفر و تشکیل رسوب اعلام نمودند. ریان و استرلین (1979) گزارش کردند که در برخی موارد با اضافه کردن اسید سولفوریک، افزایشی

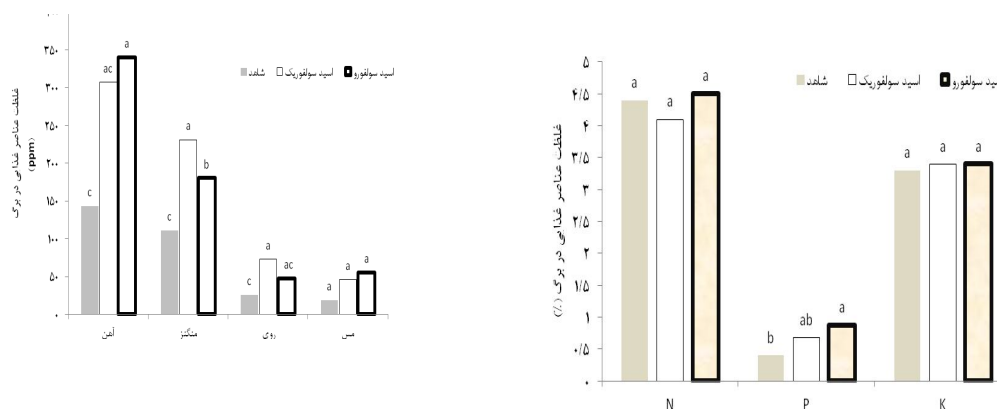


شکل 3- تأثیر آبیاری با آب اسیدی (اسید سولفورو و اسید سولفوریک) بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک غلظت عناصر غذایی در برگ

غلظت عناصر غذایی در برگ

شکل 4 غلظت عناصر غذایی در برگ گیاه سویا را پس از برداشت نشان می‌دهد. اختلاف غلظت نیتروژن برگ در تیمارهای آب اسیدی نسبت به تیمار آب معمولی در سطح آماری 5% معنی‌دار نشده است. محمندی گهساره و صمدی (2011) اثر آب اسیدی را موجب کاهش غلظت نیتروژن در برگ گزارش کردند. ایشان (به نقل از کینسولا، 2000) تأثیر منفی pH اسیدی را در پروسه نیتریفیکاسیون دلیل این نتیجه دانستند. علی‌رغم غلظت زیاد پتاسیم خاک در تیمارهای آب اسیدی، غلظت این عنصر در برگ برای تیمارهای آب اسیدی و معمولی تفاوت چندانی نداشت. احتمالاً وجود یون هیدروژن در محیط ریشه (در تیمارهای آب اسیدی) و رقابت یونی با پتاسیم خاک موجب کاهش مقدار جذب گردیده است. غلظت فسفر

برگ در تیمارهای آب اسیدی نسبت به تیمار آب معمولی تفاوت آماری معنی‌داری در سطح آماری 5% نشان داد. بر اساس نتایج برخی محققان (لیندزی، 1991 و نورقلی‌پور 2000) در pHهای کمتر از 5/8 و بیشتر از 6/5 به دلیل رسوب فسفر با کلسیم و یا آهن و آلومینیوم عملکرد گیاه کاهش می‌یابد. غلظت کلیه عناصر غذایی کم مصرف در تیمار شاهد کمتر از تیمارهای آب اسیدی است. عناصر غذایی آهن و مس در تیمار اسید سولفور بیشتر از اسید سولفوریک می‌باشد. افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی در pH های اسیدی در گزارشات علمی متعددی مشاهده می‌شود. در این زمینه لیندزی (1991) گزارش داد که کاهش یک واحد pH، می‌تواند قابلیت جذب آهن را 300 برابر افزایش دهد.



شکل 4- غلظت عناصر غذایی در برگ سویا برای تیمارهای مختلف آزمایش

فاکتورهای رشد

در جدول 3 تأثیر تیمارها بر برخی فاکتورهای رشد ارائه شده است. نتایج نشان داد که تأثیر تیمارها بر عدد کلروفیل متر معنی‌دار می‌باشد. مقدار سبزیگی برگ با غلظت عناصر غذایی (از جمله آهن و نیتروژن) رابطه مستقیم دارد. در تحقیقات مختلف این همبستگی به گونه‌ای است که حتی برای توصیه کود سرک نیتروژن در محصولات مختلف از روابط همبستگی نیتروژن با

کلروفیل متر استفاده می‌شود. در این تحقیق به نظر می‌رسد فراهمی عنصر غذایی آهن در سبزیگی برگ و عدد کلروفیل متر تأثیر داشته‌است. اما در خصوص ارتفاع بوته، تعداد غلاف و وزن خشک، هر چند تیمارهای آب اسیدی مقدار عددی بیشتری را نشان می‌دهد اما از نظر آماری معنی‌دار نشده است. با توجه به مشاهدات ظاهری در آزمایش، به نظر می‌رسد وجود رشد رویشی در اواخر دوره رشد گیاه در نتایج این قسمت تأثیرگذار بوده است.

جدول 3- تأثیر تیمارها بر برخی فاکتورهای رشد گیاه سویا

تیمار	عدد کلروفیل متر	ارتفاع بوته (cm)	تعداد غلاف	وزن خشک اندام هوایی (gr)
شاهد	39 b	15 a	4 a	8/7 a
اسید سولفورو	48 a	18 a	4 a	9/4 a
اسید سولفوریک	45 ab	17 a	5 a	9 a

نتیجه گیری کلی

گوگردسوز 90 کیلوگرم گوگرد بودری لازم است. برای رسیدن به این هدف با استفاده از اسیدسولفوریک تجاری باید حجمی برابر 45 لیتر از آن را استفاده کرد. کاربرد این حجم اسید توسط کشاورزان در عمل می‌تواند مشکلات و خطراتی در حمل و نقل، نگهداری و مصرف داشته‌باشد. در حالیکه این خطرات در حالت سوزاندن گوگرد با استفاده از دستگاه گوگرد سوز کمتر می‌باشد.

• در صورت کسب نتایج تکمیلی از اثر بخشی کاربرد اسیدسولفور در موارد مطرح شده (خصوصیات کیفی آب آبیاری، خاک و گیاه)، می‌توان اثر بخشی این اسید را در زمینه‌های دیگر از جمله اصلاح پساب‌های شهری نیز مورد بررسی قرار داد.

• در این تحقیق مقایسه اثر آب اسیدی در $pH = 6$ با آب آبیاری معمولی ($pH = 7/6$) مورد بررسی قرار گرفته است، احتمال کسب نتایج متفاوت در pH های دیگر دور از انتظار نمی‌باشد.

• استفاده از آب اسیدی قابلیت جذب عناصر غذایی موجود در خاک را افزایش داده و لذا استفاده از آب حاوی اسید سولفور در آب آبیاری می‌تواند به عنوان ماده اصلاح کننده خاک مورد توجه محققان قرارگیرد. هرچند ترویج استفاده از آن منوط به آزمایش‌های تکمیلی می‌باشد.

• برخلاف این نظریه که pH های پایین اسیدسولفور با گذشت زمان تغییر می‌کند، با تولید اسید سولفور با pH بالاتر از 5/5، می‌توان شرایطی مهیا کرد که تغییرات pH اسید سولفور با گذشت زمان کم شود (شکل 1).

• استفاده از گوگرد در کشاورزی به صورت تزریق گاز SO_2 در آب آبیاری، می‌تواند پس از بررسی و مطالعات تکمیلی علاوه بر سودمندی برای کشاورزی، در جهت درآمدزایی و بازار مصرف گوگرد مازاد کشور مؤثر باشد.

• برای کاهش pH هزار متر مکعب آب آبیاری از 7/6 به 6 به روش تزریق گاز SO_2 در آب توسط دستگاه

فهرست منابع:

1. احیایی، م. و ع. ا. بهبهانی زاده. 1372. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک (چاپ اول). نشریه فنی شماره 893. موسسه تحقیقات خاک و آب، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
2. امامی، ع. 1375. روش‌های تجزیه گیاه. نشریه فنی شماره 982، موسسه تحقیقات خاک و آب، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
3. بی‌نام. 1392. شرکت ملی گاز ایران. <http://sulfur.nigc.ir/fa/sulfurfacts/introduction>
4. پسندیده، م.، پ. کشاورز و م. ج. ملکوتی. 1384. کاربرد دستگاه گوگردسوز در کشاورزی (مشخصات فنی و مکانیسم). نشریه فنی 413. موسسه تحقیقات خاک و آب. نشر آموزش کشاورزی، معاونت تحقیقات و آموزش. وزارت جهاد کشاورزی، کرج، ایران.
5. خلخالی، م. 1370. آموزش کلاسیک و برنامه‌ای شیمی مدرن - واکنش‌های شیمیایی، نشر کلمه، تهران، ایران.
6. شهابی، ع. ا. و م. ج. ملکوتی. 1382. نقش بیکربنات در بروز ناهنجاری‌های تغذیه‌ای در درختان میوه. انتشارات معاونت باغبانی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران.
7. کریمی، ح.، تفضلی بندری، ع. و ن. ع. کریمیان. 1381. اثرات کاربرد آهن و اسید سولفوریک بر برخی ویژگی‌های رشدی و عملکرد توت فرنگی در خاک آهکی. مجله علوم و فنون باغبانی ایران. 3(1-2): 29-38.
8. مهاجر میلانی، پ. 1388. اصلاح کیفیت آب‌های بی کربناتی در کشت‌های هیدروپونیک. اولین کنگره ملی هیدروپونیک و تولیدات گلخانه‌ای.
9. مهاجر میلانی، پ.، م. ج. ملکوتی. 1382. ضرورت همگانی کردن استفاده از دستگاه گوگردسوز در راستای اصلاح کیفی آب آبیاری. نشریه فنی شماره 314. موسسه تحقیقات خاک و آب، نشر آموزش کشاورزی، معاونت تحقیقات و آموزش. وزارت جهاد کشاورزی، کرج، ایران.

10. Boxma, R. 1972. Bicarbonate as the Most Important Soil Factor in Lime Induced Chlorosis in the Netherlands. *Plant and Soil*, 37: 233-243.
11. Gregory, R. 2001. Uses of Sulfuric Acid as A Water Amendment In Agriculture. Presented at the International Irrigation Show San Antonio, Texas, November 4, 2001.
12. Kinsolla, P. 2000. Soil reaction. Chapter 9. Soil acidity. Southern Illinois University Carbondale.
13. Lindsay WL. 1991. Inorganic Equilibria Affecting Micronutrients in Soils. Soil Science Society. Am. Book ser. No. 4, 2nd ED., Soil Science Society. Am., Madison, WI, pp. 89-112.
14. Mohammadi Ghehsareh, A. and N. Samadi. 2011. Effect of Acidification on Growth Indices and Microelements Uptake by Greenhouse Cucumber. *African Journal of Agricultural Research* Vol. 7(11), pp 1659-1665.
15. Nourgholipoor, F., M. J. Malakoti, K. Khavarzi. 2000. The Effect of Availability From Phosphate Soil Source and Its Replacement Possibility with Phosphate Fertilizers for Corn Plant. *Proceeding of Second National Congress on Best Usage of Fertilizer and Pesticide in Agriculture*. Karaj, Iran, pp. 220-221.
16. Ryan, J. and J. L. Striehlein. 1979. Sulfuric Acid Treatment. Inorganic Phosphorus Forms and Plant Growth. *American Journal of Soil Science*. 43:731-735.

