

## تأثیر گوگرد و تیوباسیلوس بر رشد و جذب برخی عناصر غذایی گیاه سویا در چند چهار خاک آهکی با ظرفیت بافری متفاوت

حسین بشارتی<sup>1</sup> و طیبه ملک‌زاده

دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب؛ Besharati1350@yahoo.com

کارشناس ارشد بیولوژی خاک؛ Malekzadeh@yahoo.com

دریافت: 93/2/7 و پذیرش: 94/3/26

### چکیده

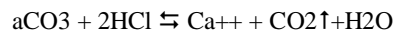
علیرغم وجود مقادیر فراوان برخی از عناصر غذایی در خاک‌های آهکی، فرم محلول و قابل جذب این عناصر کمتر از مقدار لازم برای رشد و نمو مناسب گیاه بوده و کمبود عناصر غذایی یکی از عوامل محدود کننده تولید محصول در این خاک‌ها محسوب می‌شود. گوگرد مهم‌ترین ماده اسیدزا است که به دلیل صرفه اقتصادی در بسیاری از مناطق دنیا کاربرد آن در کشاورزی برای بهبود تغذیه گیاهان متداول بوده و سابقه دیرینه دارد. از آنجا که کارایی مصرف گوگرد به عوامل متعددی از جمله میزان توانایی خاک آهکی در خنثی نمودن اسید حاصل از اکسایش گوگرد بستگی دارد، لذا تعیین مناسب‌ترین مقدار مصرف گوگرد در خاک‌های آهکی با ظرفیت بافری متفاوت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در خصوص مصرف گوگرد به منظور افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی در خاک‌های آهکی و قلیایی تحقیقات اندکی در مورد مقدار مصرف و ارتباط آن با محتوای آهک خاک صورت گرفته است. لذا در تحقیق حاضر تأثیر مصرف گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر جذب برخی عناصر غذایی، رشد و عملکرد سویا در 4 خاک آهکی با ظرفیت بافری مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش از طرح کاملاً تصادفی بصورت فاکتوریل برای کشت سویا در گلخانه استفاده شد. فاکتورها شامل گوگرد در هفت سطح (مقداری از گوگرد که بتواند با 0، 3/1، 6/25، 12/5، 25، 50 و 100 درصد مواد خنثی شونده خاک واکنش دهد)، خاک آهکی در چهار سطح (خاک‌هایی با 8، 14، 22 و 38 درصد کربنات کلسیم معادل) بودند. نتایج نشان داد با افزایش مقدار گوگرد تا سطحی که با 50 درصد مواد خنثی شونده واکنش دهد جذب عناصر در گیاه و شاخص‌های رویشی روند صعودی نشان داد. ولی این پارامتر با افزایش مقدار بعدی گوگرد کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: کربنات کلسیم معادل، مایه تلقیح، کارایی مصرف گوگرد، درصد مواد خنثی شونده

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: کرج، مشکین دشت، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب کدپستی: 3177993545

## مقدمه

بنابه تعریف، خاک آهکی خاکی است که در نیمرخ خود دارای کربنات کلسیم آزاد ( $\text{CaCO}_3$ ) باشد. چنین خاکی به دنبال افزودن اسید هیدروکلریک، می‌جوشد و حباب‌های دی‌اکسید کربن از آن متصاعد می‌شود (لوپرت و سارز، 1996).



خاک‌های آهکی بیش از 30 درصد از سطح زمین را پوشانده‌اند که میزان آهک آنها از مقادیر کم تا بیش از 95 درصد متغیر است (مارشنر، 1995). خاک‌های آهکی با داشتن مقادیر زیاد کربنات کلسیم، در زمینه کشاورزی با مشکلات زیادی مواجهند. خاک‌های آهکی، در ترکیب مواد مادری خود دارای مقادیر زیادی کربنات کلسیم بوده و در ساختار خود یک افق کلسیک دارند. تجمع کربنات کلسیم ثانویه در این افق به گونه‌ای است که مقدار کربنات کلسیم معادل آن بیش از 15 درصد بوده و نسبت به افق‌های زیرین خود بیش از 5 درصد کربنات دارد (فائو، 1973).

یکی از عمده‌ترین مسائل کشاورزی ایران، کاهش آثار سوء ناشی از زیادی کلسیم در خاک است. بیشتر خاک‌های ایران در گروه خاک‌های شدیداً آهکی بشمار می‌روند. برای مثال میزان کربنات کلسیم خاک‌های خوزستان تا 58 درصد اندازه‌گیری شده است (بنایی و همکاران، 1383). بالا بودن pH در این خاک‌ها مسائل متعددی را از نقطه نظر تغذیه گیاه، و به ویژه دشواری-هایی در جذب عناصر غذایی، از جمله فسفر، روی، آهن و منگنز ایجاد می‌کند (ملکوئی و همایی، 1383). مهم‌ترین آثار سوء زیادی آهک در خاک‌های زراعی، واکنش آن با بعضی از عناصر کودی و تبدیل آنها به ترکیبات تقریباً نامحلول و غیر قابل استفاده توسط گیاه می‌باشد. یکی از دلایل بروز مشکلات تغذیه‌ای در خاک‌های آهکی، وجود غلظت بالای بیکربنات در محلول خاک و محیط ریشه است که بنیان آن به وجود آهک فراوان در خاک بر می‌گردد. برخی از محققین در توجیه تأثیر آهک بر زرد برگی گیاهان، نقش بیکربنات را مهم‌تر از بقیه عوامل می‌دانند. وجود شرایط نامناسب خاک نظیر بافت سنگین و فشردگی خاک، رطوبت بالا، زهکشی ضعیف، فعالیت بالای میکروارگانیسم‌ها و تنفس ریشه گیاهان با افزایش فشار جزئی  $\text{CO}_2$  در خاک، باعث افزایش غلظت بی‌کربنات در محلول خاک می‌شود.

در خاک‌های آهکی و قلیایی به رغم وجود مقادیر فراوان برخی از عناصر غذایی (مانند فسفر، آهن و روی) در این خاک‌ها، فرم محلول و قابل جذب این عناصر کمتر از مقدار لازم برای رشد و نمو مناسب گیاه

بوده و کمبود عناصر غذایی یکی از عوامل محدود کننده تولید محصول در این خاک‌ها محسوب می‌شود. گوگرد مهم‌ترین ماده اسیدزا است که استفاده از آن به منظور افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی تثبیت شده، اصلاح خاک‌های سدیمی، تأمین سولفات مورد نیاز گیاه و مبارزه با برخی از عوامل بیماری‌زای گیاهی در بسیاری از مناطق دنیا متداول بوده و سابقه دیرینه دارد. (بشارتی، 1382). در کشوری مثل ایران که منابع عظیمی از گوگرد، محصول فعالیت پالایشگاه‌های نفت و گاز بوده و حدود 2 میلیون تن در سال تولید می‌شود، می‌توان با مصرف گوگرد در خاک‌های آهکی کشور تا حدی شرایط تغذیه‌ای گیاهان را بهبود بخشید. اکسایش گوگرد عنصری که عمدتاً به صورت بیولوژیک انجام می‌شود، با فراهم شدن شرایط محیطی مناسب در خاک تسریع می‌گردد.

گزارشات متعددی از افزایش عملکرد محصولات مختلف به ویژه بقولات، دانه‌های روغنی و غلات در نتیجه مصرف گوگرد وجود دارد (بشارتی، 1382، قربانی نصرآبادی، 1380، کاپلان و ارمان، 1998، سینگ و چاوداری، 1997). بنابر نظر زائو و همکاران (2001) کاهش عملکرد ناشی از کمبود گوگرد در گیاهان دانه روغنی به 70 و در غلات به 50 درصد می‌رسد. از آنجا که کارایی مصرف گوگرد به عوامل متعددی از جمله میزان توانایی خاک آهکی در خنثی نمودن اسید حاصل از اکسایش گوگرد بستگی دارد، لذا تعیین مناسب‌ترین مقدار مصرف گوگرد در خاک‌های آهکی با ظرفیت بافری متفاوت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و ضمن حصول نتیجه مورد انتظار صرفه‌جویی در هزینه را نیز بدنبال خواهد داشت. لذا در این تحقیق اثر نوع خاک، مقدار گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر رشد و جذب برخی عناصر غذایی توسط گیاه سویا در چند خاک آهکی با مقادیر متفاوت آهک بررسی شد.

## مواد و روش‌ها

### نمونه‌برداری خاک

پس از بررسی‌های اولیه و اندازه‌گیری برخی خصوصیات (درصد مواد خنثی شونده و مقادیر فسفر، آهن و روی قابل جذب خاک) از خاک‌های زراعی چهار منطقه کرج، شور قلعه، چینگر و فشنند که مقدار آهن، روی و فسفر قابل جذب آنها کمتر از حد بحرانی برای سویا بود و مقادیر متفاوتی درصد مواد خنثی شونده داشتند، مقادیر کافی نمونه خاک از عمق 0-30 سانتی متری تهیه و پس از هوا خشک شدن و گذراندن از الک 4 میلی‌متری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها به روش‌های معمول و استاندارد آزمایشی تعیین گردید. (بیج و همکاران، 1982 و رادز، 1982).

## ترسیم منحنی تیتراسیون خاک‌ها

از آنجا که یکی از فاکتورهای منظور شده در کشت گلخانه‌ای سویا مقدار اسید لازم (بر حسب گوگرد) برای تنزل pH خاک تا 6/8 بود، لذا می‌بایستی ابتدا منحنی تیتراسیون خاک‌ها رسم گردد. برای این منظور تعداد 12 ظرف 30 میلی‌لیتری برای هر خاک تهیه و در هر یک از آنها 10 گرم خاک ریخته شد. سپس 20 میلی‌لیتر محلول اسید کلریدریک که حاوی مقادیر متفاوتی اسید بود، به ظرف‌ها اضافه شد. ظرف‌ها به مدت چهار روز نگهداری شده و در فواصل زمانی مشخص pH آنها اندازه‌گیری شد (جدول 2-4 تا 4-5). آنگاه نمودار pH در مقابل حجم اسید مصرفی ترسیم و منحنی قدرت بافری خاک برای زمان‌های مختلف به دست آمد (نمودار 4-1 تا 4-4). لازم به ذکر است که برای خاک نمونه 4 (فشند) و خاک نمونه 3 (چیتگر) از محلول 0/5 مولار و برای خاک نمونه 2 (شورقلعه) محلول 0/25 مولار و برای خاک نمونه 1 (کرج) از محلول 0/125 مولار اسید کلریدریک استفاده گردید.

سپس از روی منحنی تیتراسیون مقدار اسیدی که لازم است تا pH اولیه خاک را به 6/8 تنزل دهد محاسبه گردید. آنگاه از لحاظ توازن شیمیایی (استیوکیومتری) گوگرد معادل اسید محاسبه شده تعیین شد (جدول 6).

## اعمال تیمارهای مورد نظر

کشت گلخانه‌ای سویا به صورت طرح کاملاً تصادفی در قالب آزمایشات فاکتوریل با احتساب 3 تکرار به اجرا در آمد. فاکتورهای منظور شده عبارت بودند از:

1- نوع خاک: 4 نوع خاک با درصد مواد خشتی شونده متفاوت، شامل:

- خاک نمونه 1 (کرج) با 8 درصد مواد خشتی شونده -
- خاک نمونه 2 (شورقلعه) با 14 درصد مواد خشتی شونده -
- خاک نمونه 3 (چیتگر) با 22 درصد مواد خشتی شونده -
- خاک نمونه 4 (فشند) با 37 درصد مواد خشتی شونده

2- مقدار گوگرد: با توجه به منحنی تیتراسیون، مقدار اسیدی که لازم است تا pH اولیه خاک را به 6/8 تنزل دهد، محاسبه شده و سپس برای هر یک از 4 نوع خاک مقدار گوگرد معادل اسید محاسبه شده تعیین گردید. سپس مقادیر 0، 3/1، 6/25، 12/5، 25، 50 و 100 درصد گوگرد محاسبه شده در هر خاک، گوگرد به خاک اضافه شد. جدول 2-4 تا 4-5 مقادیر گوگرد مصرف شده در هر خاک را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که تمامی سطوح گوگرد با مایه تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس همراه بوده‌اند. بطوری که معادل 104 سلول در هر گرم خاک مایه تلقیح به خاک گلدان‌ها تلقیح گردید. مایه تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس بصورت پودری حاوی بیش از ده

میلیون سلول باکتری در هر گرم بود که در موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شده بود.

## کشت گیاه

مقدار کافی از بذور سویا رقم ویلیامز ابتدا توسط محلول هیپوکلریت سدیم 2/5 درصد به مدت 15 دقیقه ضدعفونی سطحی شد. بذور ضدعفونی شده پس از چندین بار شستشو با آب مقطر استریل به پلیت‌های حاوی کاغذ صافی استریل شده منتقل شده و در دمای 30 درجه سانتی‌گراد انکوباسیون شدند. پس از 72 ساعت بذور جوانه‌دار شدند. شش عدد بذر جوانه‌دار شده در هر گلدان که رطوبت آن در حد FC بود پس از تلقیح با باکتری برادی ریزوبیوم، کشت گردید. یک هفته بعد از کشت سویا، تعداد بوته‌ها در هر گلدان به 4 بوته تقلیل یافت. در طول دوره رشد گیاه، عملیات داشت در همه گلدان‌ها بطور یکنواخت انجام شد. گلدان‌ها با آب مقطر آبیاری شدند و رطوبت خاک به روش وزنی در حد ظرفیت زراعی ثابت نگه داشته شد. عناصر غذایی مورد نیاز گیاه (به جز فسفر و عناصر کم مصرف) مطابق توصیه کودی برای سویا، به صورت محلول در آب آبیاری به گلدان‌ها اضافه شدند. متوسط درجه حرارت روزانه 28 و شبانه 25 درجه سانتی‌گراد بوده و جهت ایجاد شرایط یکسان برای گلدان‌ها، هر چهار روز یکبار تمام گلدان‌ها بطور تصادفی در گلخانه جابجا شدند.

## اندازه‌گیری شاخص‌های مورد نظر در گیاه

پس از پایان دوره رشد رویشی گیاه که 90 روز به طول انجامید، گیاهان برداشت شدند و اندام‌های هوایی و ریشه آنها با مقادیر کافی آب معمولی و سپس آب مقطر شستشو داده شد. سپس به مدت 48 ساعت در آون تهویه‌دار در دمای 70 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از خشک شدن، جداگانه توزین شدند. اندام‌های هوایی گیاهان در تیمارهای مختلف با دقت بوسیله آسیاب پودر شدند. به منظور اندازه‌گیری برخی عناصر غذایی در اندام هوایی گیاهان از روش سوزاندن خشک<sup>1</sup> و ترکیب با اسید کلریدریک استفاده گردید. برای اندازه‌گیری فسفر از روش زرد استفاده شد. غلظت عناصر آهن، روی، مس و منگنز مستقیماً در عصاره توسط دستگاه جذب اتمی قرائت و از روی منحنی استاندارد هر یک از عناصر، غلظت آنها محاسبه گردید (پیچ و همکاران، 1982).

## تحلیل آماری نتایج

پس از اندازه‌گیری شاخص‌های مورد نظر در گیاه، نتایج بدست آمده به وسیله نرم افزار آماری MSTATC و SAS تجزیه و تحلیل شده و محاسبات آماری مورد نظر (تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها)

<sup>1</sup> Dry ashing

انجام شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن و رسم نمودارها به کمک نرم افزار Excel صورت گرفت. چیتگر و فشند نمونه‌برداری شده و در کشت گلخانه‌ای سویا مورد استفاده قرار گرفتند را نشان می‌دهد.

### نتایج و بحث

جدول 1 برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک‌های 1، 2، 3 و 4 که از مناطق کرج، شورقلعه،

جدول 1- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای سویا

خاصیت خاک	واحد	خاک نمونه 1 (کرج)	خاک نمونه 2 (شورقلعه)	خاک نمونه 3 (چیتگر)	خاک نمونه 4 (فشند)
pH گل اشباع خاک	---	7/5	7/91	8/02	8/18
هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک	dS m <sup>-1</sup>	1/09	3/51	1/08	0/38
رطوبت اشباع (SP)	درصد	58/78	43/56	55/71	55/71
رطوبت ظرفیت زراعی (FC)	درصد	28/89	21/78	27/85	27/85
کربن آلی (O.C)	درصد	0/495	0/3	1/37	0/3
ازت کل (Nt)	درصد	0/038	0/032	0/078	0/024
فسفر قابل جذب (P)	mg kg <sup>-1</sup>	16/9	16/5	12/03	2/056
پتاسیم قابل جذب (K)	mg kg <sup>-1</sup>	225/6	253/8	226/9	70/2
روی قابل جذب (Zn)	mg kg <sup>-1</sup>	2/29	2/6	4/348	2/292
آهن قابل جذب (Fe)	mg kg <sup>-1</sup>	2/18	3/45	3/73	1/8
منگنز قابل جذب (Mn)	mg kg <sup>-1</sup>	4/12	3/15	6/46	2/92
مس قابل جذب (Cu)	mg kg <sup>-1</sup>	2/38	1/56	1/4	1/43
بافت (هیدرومتر)	---	لوم رسی	لوم	لوم رسی شنی	لوم رسی شنی
ظرفیت تبادل کاتیونی	meq 100g <sup>-1</sup>	30/1	22/7	13	9/5
درصد مواد خنثی شونده	درصد	8	14	22	38

جدول 2- مقادیر pH سوسپانسیون (نسبت 2به1 آب به خاک) خاک نمونه 1 (کرج) به ازای مقادیر مختلف اسید مصرف شده

قرائت pH				سانتی متر مکعب
روز اول	روز دوم	روز سوم	روز چهارم	اسید مصرفی
7/5	7/65	7/47	7/62	0
7/12	7/12	7/13	7/12	5
6/95	7/07	7/1	7/1	6
6/65	6/8	6/98	7	7
6/58	6/76	7	7/04	8
6/18	6/65	6/89	6/9	9
6/15	6/5	6/67	6/67	10
5/53	5/56	6/58	6/6	11
5/32	5/31	6/32	6/35	12
4/45	5/2	6/04	6/08	13
4/07	5/15	5/81	5/87	14
3/28	4/5	5/04	5/5	15

و بتدریج با گذشت زمان اندکی افزایش pH و سپس ثبات همراه بود بطوری که در روزهای سوم و چهارم تقریباً ثابت ماند (اشکال 1-4)، لذا اعداد مربوط به روز سوم مبنای محاسبه مقدار گوگرد مصرفی (جدول 6) قرار گرفت.

جداول 2 تا 5 تغییرات pH سوسپانسیون چهار خاک مورد آزمایش را در طی مدت 4 روز متوالی را نشان می‌دهند. همانطوری که از اعداد مندرج در جداول پیداست، با افزایش مقدار اسید مصرفی سوسپانسیون خاک‌ها کاهش pH بیشتری را نشان دادند. این کاهش pH بویژه در مقادیر بالای اسید مصرفی در روز اول بیشتر بوده

جدول 3- مقادیر pH سوسپانسیون (نسبت 2 به 1 آب به خاک) خاک نمونه 2 (شور قلعه) به ازای مقادیر مختلف اسید مصرف شده

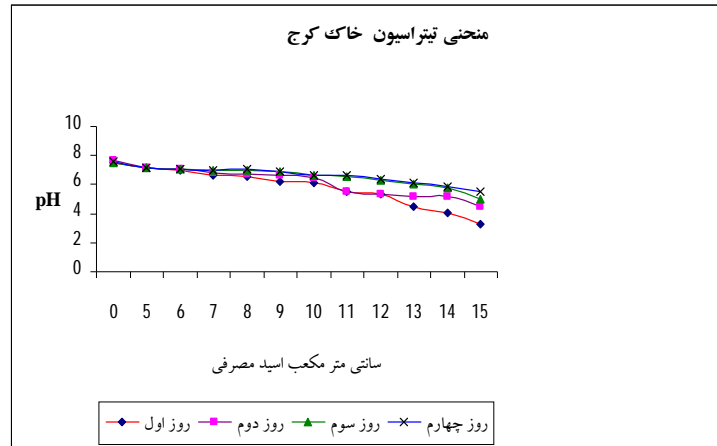
قرائت pH				سانتی متر مکعب اسید مصرفی
روز اول	روز دوم	روز سوم	روز چهارم	
7/6	7/53	7/36	7/25	0
7/1	7/13	7/11	7/1	4
6/78	6/96	7/02	7/05	5
6/54	6/85	6/94	6/99	6
6/51	6/83	6/9	6/94	7
6/42	6/77	6/85	6/88	8
6/13	6/47	6/58	6/76	9
5/66	6/2	6/17	6/18	10
4/66	4/96	5/81	5/82	11
4/12	4/35	5/31	5/65	12
3/41	4/2	4/71	5/17	13
3	3/35	3/59	4/12	14

جدول 4- مقادیر pH سوسپانسیون (نسبت 2 به 1 آب به خاک) خاک نمونه 3 (چیتگر) به ازای مقادیر مختلف اسید مصرف شده

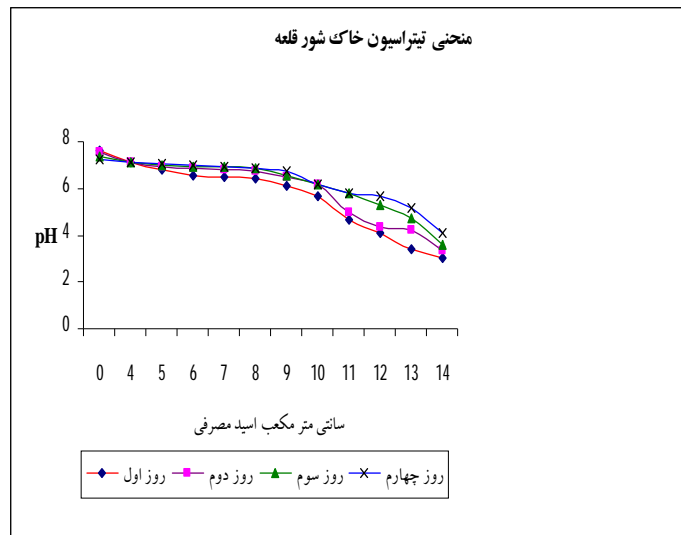
قرائت pH				سانتی متر مکعب اسید مصرفی
روز اول	روز دوم	روز سوم	روز چهارم	
7/5	7/17	7/21	7/3	0
7/01	7/01	6/92	6/92	4/5
6/56	6/73	6/76	6/79	5
6/45	6/65	6/73	6/78	5/5
6/35	6/62	6/67	6/72	6
6/3	6/49	6/59	6/69	6/5
6	6/37	6/56	6/7	7
5/83	6/25	6/42	6/62	8
5/75	6/07	6/38	6/57	8/5
5/6	5/93	6/33	6/4	9

جدول 5- مقادیر pH سوسپانسیون (نسبت 2 به 1 آب به خاک) خاک نمونه 4 (فشند) به ازای مقادیر مختلف اسید مصرف شده

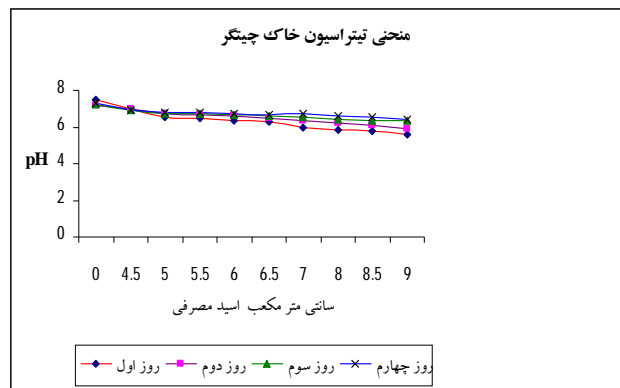
قرائت pH				سانتی متر مکعب اسید مصرفی
روز اول	روز دوم	روز سوم	روز چهارم	
7/9	7/58	7/63	7/33	0
7/36	7/34	7/31	7/3	9
7/16	7/17	7/23	7/26	9/5
6/71	7/01	7/12	7/18	10
6/36	6/99	7/1	7/16	10/5
6/04	6/89	7/03	7/09	11
6/23	6/88	7	7/06	11/5
6/17	6/72	6/92	7/02	12
5/89	6/64	6/86	6/97	12/5
5/69	6/48	6/79	6/89	13
5/68	6/49	6/76	6/85	13/5
5/56	6/44	6/75	6/84	14



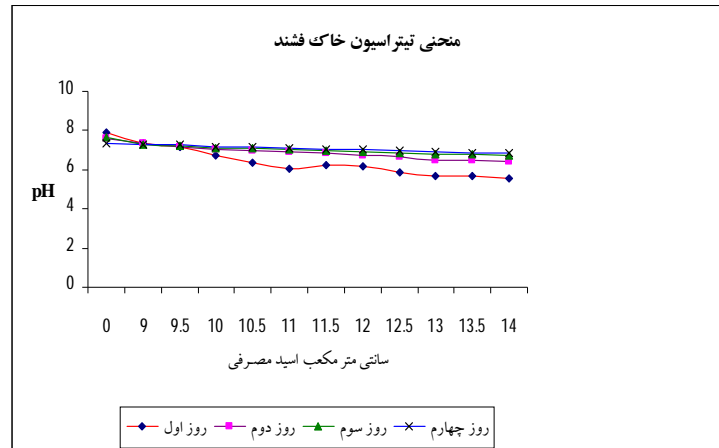
شکل 1- منحنی تیتراسیون خاک نمونه 1 (کرج)



شکل 2- منحنی تیتراسیون خاک نمونه 2 (شور قلعه)



شکل 3- منحنی تیتراسیون خاک نمونه 3 (چیتگر)



شکل 4- منحنی تیتراسیون خاک نمونه 4 (فشند)

جدول 6- سطوح مختلف گوگرد مصرف شده در خاک‌های مختلف (گرم در گلدان)

مقدار گوگرد بر حسب گرم برای 2/8 کیلوگرم خاک	S1 (3/1)	S2 (6/25)	S3 (12/5)	S4 (25)	S5 (50)	S6 (100)
سطوح مختلف گوگرد						
خاک نمونه 1 (کرج)	1/65	3/3	6/6	13/2	26/4	52/8
خاک نمونه 2 (شورقلعه)	2/8	5/6	11/2	22/4	44/8	89/6
خاک نمونه 3 (چیتگر)	3/5	7	14	28	56	112
خاک نمونه 4 (فشند)	9/6	18/4	36/8	72/78	145/6	288

S1, S2, S3, S4, S5 و S6 به ترتیب 3/1, 6/25, 12/5, 25, 50 و 100 درصد از گوگردی هستند که در خاک‌های مختلف باید مصرف شوند تا pH اولیه خاک به 6/8 تنزل یابد.

#### اثر تیمارهای آزمایشی بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده

##### در گیاه سویا

##### الف - جذب عناصر توسط اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر هر یک از منابع تغییر بر غلظت و مقدار جذب شده عناصر غذایی فسفر، آهن، روی، مس و منگنز توسط اندام هوایی گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. و تنها اثر اصلی نوع خاک بر غلظت فسفر و نیز اثر متقابل نوع خاک و گوگرد بر غلظت آهن معنی‌دار نگردید (جدول 7).

نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح گوگرد بر میزان جذب عناصر غذایی فسفر، آهن، روی، مس و منگنز در اندام هوایی گیاه سویا نشان داد که

سطوح مختلف گوگرد تلقیح شده با باکتری تیوباسیلوس در مقایسه با تیمار شاهد منجر به افزایش میزان جذب عناصر غذایی در اندام‌های هوایی گیاه شدند. همچنین با افزایش سطوح گوگرد مصرف جذب شده عناصر فوق در اندام هوایی سویا افزایش نشان دادند و بیشترین مقدار جذب عناصر در سطح پنجم گوگرد مصرفی (نصف مقدار گوگردی که باید در خاک‌های مختلف مصرف شود تا pH اولیه خاک به 6/8 تنزل یابد) در مورد تمام عناصر مشاهده شد و نکته شایان توجه اینکه با افزایش گوگرد مصرفی از سطح پنجم به سطح ششم (کل مقدار گوگردی که باید در خاک‌های مختلف مصرف شود تا pH اولیه خاک به 6/8 تنزل یابد)، میزان جذب تمام عناصر یادشده (بجز منگنز) کاهش نشان داد (جدول 8).

جدول 7- نتایج تجزیه واریانس اثرات تیمارهای مختلف بر غلظت و جذب عناصر غذایی در گیاه سویا

میانگین مربعات										منابع	درجه
										تغییر	آزادی
منگنز		مس		روی		آهن		فسفر			
جذب	غلظت	جذب	غلظت	جذب	غلظت	جذب	غلظت	جذب	غلظت		
0/0028**	490/30**	0/056**	58575/87**	0/054**	12963/03**	0/477**	16095/05**	25/76**	0/0004ns	3	نوع خاک آهکی
0/0003**	37/91**	0/038**	6953/19**	0/0119**	2365/05**	0/053**	7606/63**	2/5**	0/0035**	7	سطوح گوگرد تلقیح شده
0/00011*	28/79**	0/01**	4378/76**	0/0049**	832/16**	0/018**	1400/29 ns	1/28**	0/0025**	21	سطوح گوگرد x
0/00005	6/98	0/0032	638/24	0/0009	165/31	0/0024	1232/43	0/203	0/0005	64	نوع خاک خطا

ns، \*، \*\* به ترتیب معنی دار در سطح 1 و 5 درصد و بدون اختلاف معنی دار

جدول 8- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح گوگرد بر میزان غلظت و جذب عناصر در اندام های هوایی گیاه سویا

مس		منگنز		روی		آهن		فسفر		سطوح	گوگرد تلقیح
جذب	غلظت	جذب	غلظت	جذب	غلظت	جذب	غلظت	جذب	غلظت	شده با	تیوباسیلوس
mg pot-1	mg kg-1	mg pot-1	mg kg-1	mg pot-1	mg kg-1	mg pot-1	mg kg-1	mg pot-1	(%)		
0/024 d	16/25 c	0/132 c	86/69 d	0/075 d	48/57 d	0/148 c	93/84 d	1/51 c	0/098 d		S0T0
0/03 dc	18/59 abc	0/209 b	152/7 ab	0/135 bc	88/024 a	0/232 b	117/3 cd	2/56 b	0/156 a		S0T1
0/033 bc	16/71 bc	0/25 b	149/92 ab	0/159 ab	86/98 a	0/32 a	158/13 a	2/61 b	0/131 bc		S1T1
0/032 bc	20/46 a	0/215 b	125/68 c	0/147 bc	89/48 a	0/309 a	165/8 a	2/47 b	0/136 b		S2T1
0/036 abc	20/29 a	0/234 b	146/39 abc	0/147 bc	82/22 ab	0/31 a	149/68 ab	2/5 b	0/127 bc		S3T1
0/038 ab	20/98 a	0/228 b	126/85 c	0/147 bc	83/86 ab	0/3 a	149 ab	2/45 b	0/116 bcd		S4T1
0/042 a	18/71 ab	0/137 a	137/5 bc	0/184 a	74/86 bc	0/33 a	127/02 cb	3/17 a	0/113 cd		S5T1
0/032 bc	17/56 bc	0/298 a	165/2 a	0/125 c	66/15 c	0/203 b	113/2 cd	2/36 b	0/121 bc		S6T1

در هر ستون میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح 5 درصد به روش دانکن می باشند.

S0، S1، S2، S3، S4، S5 و S6 به ترتیب مقدار گوگردی که بتواند با 0، 1/3، 2/5، 5/12، 25 و 100 درصد از مواد خشتی شونده خاک واکنش دهد.

T0 و T1 به ترتیب بدون تلقیح تیوباسیلوس و تلقیح شده با باکتری های تیوباسیلوس می باشند.

توسط گیاه، در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول 7).  
نتایج مقایسه میانگین ها نشان داد که به جز خاک C4

برهمکنش سطوح گوگرد تلقیح شده با باکتری  
تیوباسیلوس و نوع خاک آهکی بر میزان فسفر جذب شده



تیمار شاهد کاسته شد (جدول 9). کمترین میزان جذب، در خاک C4 (خاک نمونه 4 از منطقه فشنند با 38 درصد مواد خنثی شونده) در تیمار S4T1 و بیشترین میزان جذب فسفر نیز در خاک C1 (خاک نمونه 1 از منطقه کرج با 8 درصد مواد خنثی شونده) در تیمار S5T1 مشاهده شد. به طور کلی در تمامی خاک‌ها به جز خاک C4 (خاک نمونه 4 از منطقه فشنند با 38 درصد مواد خنثی شونده) بیشترین میزان جذب در تیمارهای S4T1 و S5T1 مشاهده گردید (جدول 9).

خاک نمونه 4 از منطقه فشنند با 38 درصد مواد خنثی شونده) در تمامی خاک‌ها با افزایش میزان گوگرد مصرف شده، میزان جذب فسفر در اندام‌های هوایی گیاه افزایش یافت. این افزایش در دو خاک C1 خاک نمونه 1 از منطقه کرج با 8 درصد مواد خنثی شونده) و C2 (خاک نمونه 2 از منطقه شورقلعه با 14 درصد مواد خنثی شونده)، در تمامی سطوح گوگرد، نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار بود. در خاک C4 (خاک نمونه 4 از منطقه فشنند با 38 درصد مواد خنثی شونده) با افزایش سطح گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس، از میزان جذب فسفر در مقایسه با

جدول 9- نتایج بر همکنش سطوح مختلف گوگرد تلقیح شده و نوع خاک آهکی بر میزان جذب فسفر در گیاه سویا

		سطوح مختلف گوگرد به همراه تیوباسیلوس								
نوع خاک	درصد مواد خنثی شونده	S0T0	S0T1	S1T1	S2T1	S3T1	S4T1	S5T1	S6T1	
		جذب فسفر در گیاه (میلی گرم در گلدان)								
8	C1	1/88 i-l	3/83 b	2/96 c-g	3/49 bcd	3/53 bcd	3/37 b-e	5/41 a	2/93 c-g	
14	C2	1 mno	2/35 g-k	3/54 bcd	2/67 d-i	3/73 bc	3/33 b-e	3/27 b-f	2/91 c-g	
22	C3	1/75 j-m	2/41 f-k	3/19 b-g	2/84 d-h	2/04 h-l	2/51 e-j	3/01 b-g	2/61 e-i	
38	C4	1/4 l-o	1/64 k-n	0/75 o	0/89 no	0/71 o	0/6 o	1 mno	1/01 mno	

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد (به روش دانکن) می‌باشند. S0, S1, S2, S3, S4, S5 و S6 به ترتیب مقدار گوگردی که بتواند با 0.3، 0.6، 1.2، 2.5، 5 و 10 درصد از موادخنثی‌شونده خاک واکنش دهد. T0 و T1 به ترتیب بدون تلقیح تیوباسیلوس و تلقیح شده با باکتری های تیوباسیلوس می‌باشند. C1, C2, C3, C4 به ترتیب خاک نمونه 1 از منطقه کرج با 8 درصد مواد خنثی شونده، خاک نمونه 2 از منطقه شورقلعه با 14 درصد مواد خنثی شونده، خاک نمونه 3 از منطقه چیتگر با 22 درصد مواد خنثی شونده و خاک نمونه 4 از منطقه فشنند با 38 درصد مواد خنثی شونده می‌باشند.

38 درصد مواد خنثی شونده و ز منطقه فشنند) کمترین میزان آهن جذب شده را دارا بودند. مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح گوگرد و نوع خاک نشان داد که خاک حاوی 8 درصد مواد خنثی شونده (C1) و مصرف مقداری از گوگرد که 50 درصد از مواد خنثی شونده خاک را خنثی نماید بیشترین میزان آهن جذب شده (0/65 میلی‌گرم در گلدان) را به خود اختصاص داد در حالی که خاک دارای 38 درصد مواد خنثی شونده که هیچ گونه گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس دریافت نکرده بود (تیمار شاهد) کمترین میزان آهن جذب شده را دارا بود. در هر 4 خاک آهکی مورد آزمایش افزایش گوگرد مصرفی افزایش مقدار آهن جذب شده را به دنبال داشت در حالی که افزایش درصد مواد خنثی شونده با کاهش آهن جذب شده همراه بود (جدول 10).

تمام سطوح گوگرد مصرفی نسبت به تیمار شاهد (S0T0) آهن جذب شده توسط سویا را به طور معنی‌داری افزایش دادند. تیمار S5T1 با 0/32 میلی‌گرم در گلدان بیشترین و تیمار شاهد با 0/148 میلی‌گرم در گلدان کمترین آهن جذب شده توسط بخش هوایی را به خود اختصاص دادند و تفاوت آنها به لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول 10). همانطوری که در جدول 10 پیداست بین مقدار آهن جذب شده توسط گیاهان رشد یافته در خاک‌های آهکی مختلف تفاوت‌های معنی‌داری وجود دارد. همگام با افزایش درصد مواد خنثی شونده خاک مقدار آهن جذب شده توسط بخش هوایی سویا به طور معنی‌داری کاهش یافت به طوری که گیاهان رشد یافته در خاک C1 (دارای 8 درصد مواد خنثی شونده و از منطقه کرج) بیشترین و گیاهان رشد یافته در خاک C4 (دارای

جدول 10- اثرات متقابل سطوح مختلف گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و نوع خاک آهکی بر میزان جذب آهن در گیاه

نوع خاک	درصد مواد خنثی شونده	سطوح مختلف گوگرد به همراه تیوباسیلوس							
		S0T0	S0T1	S1T1	S2T1	S3T1	S4T1	S5T1	S6T1
جذب آهن در گیاه (میلی گرم بر گلدان)									
8	C1	0/25 hij	0/32 fgh	0/45 cde	0/47 bc	0/54 b	0/46 bcd	0/66 a	0/27 hij
14	C2	0/1 lm	0/29 g-z	0/38 d-g	0/27 hij	0/3 f-i	0/37 efg	0/39 c-f	0/22 ijk
22	C3	0/14 kl	0/25 hij	0/2 jk	0/24 hij	0/26 hij	0/37 efg	0/38 def	0/2 jk
38	C4	0/09 lm	0/05 m	0/07 lm	0/09 lm	0/09 lm	0/09 lm	0/1 lm	0/1 lm

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد (به روش دانکن) می‌باشند. S0, S1, S2, S3, S4, S5 و S6 به ترتیب مقدار گوگردی که بتواند با 3/1, 6/25, 12/5, 25, 50 و 100 درصد از مواد خنثی شونده خاک واکنش دهد. T0 و T1 به ترتیب بدون تلقیح تیوباسیلوس و تلقیح شده با باکتری های تیوباسیلوس می‌باشند. C1, C2, C3, C4 به ترتیب خاک نمونه 1 از منطقه کرج با 8 درصد مواد خنثی شونده، خاک نمونه 2 از منطقه شورقلعه با 14 درصد مواد خنثی شونده، خاک نمونه 3 از منطقه چیتگر با 22 درصد مواد خنثی شونده و خاک نمونه 4 از منطقه فشند با 38 درصد مواد خنثی شونده می‌باشند.

تیمار شاهد افزایش یافت. در بین تیمارها بیشترین میزان جذب در خاک C1 در تیمار S5T1 و کمترین میزان جذب نیز در تیمار شاهد خاک C2 (خاک نمونه 2 از منطقه شورقلعه با 14 درصد مواد خنثی شونده) ثبت شد. در هر چهار خاک میزان جذب روی در اندام‌های هوایی در تیمار S6T1 نسبت به تیمار قبل (S5T1) کاهش نشان داد. (جدول 11).

تحلیل آماری نتایج نشان داد که اثرات متقابل سطوح گوگرد و نوع خاک آهکی بر میزان جذب روی توسط اندام هوایی گیاه سویا در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول 7). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که به استثنای خاک حاوی 38 درصد مواد خنثی شونده (C4) در تمامی خاک‌ها با افزایش سطوح گوگرد، میزان جذب روی در بخش هوایی گیاه به طور معنی‌داری نسبت به

جدول 11- اثرات متقابل سطوح مختلف گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و نوع خاک آهکی بر میزان جذب روی در سویا

نوع خاک	درصد مواد خنثی شونده	سطوح مختلف گوگرد به همراه تیوباسیلوس (درصد واکنش با مواد خنثی شونده)							
		S0T0	S0T1	S1T1	S2T1	S3T1	S4T1	S5T1	S6T1
جذب روی در گیاه (میلی گرم بر گلدان)									
8	C1	0/069 kl	0/096 h-k	0/140 e-i	0/139 e-z	0/144 e-h	0/157 efg	0/286 a	0/150 e-h
14	C2	0/035 i	0/116 g-k	0/148 e-h	0/124 f-k	0/166 d-g	0/164 d-g	0/178 def	0/149 e-h
22	C3	0/125 f-k	2190 bcd	0/268 ab	0/250 abc	0/195 de	0/198 cde	0/195 de	0/125 f-k
38	C4	0/071 kl	0/109 g-k	0/08 jkl	0/077 kl	0/083 i-l	0/07 kl	0/077 kl	0/075 kl

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد به روش دانکن می‌باشند. S0, S1, S2, S3, S4, S5 و S6 به ترتیب مقدار گوگردی که بتواند با 3/1, 6/25, 12/5, 25, 50 و 100 درصد از مواد خنثی شونده خاک واکنش دهد. T0 و T1 به ترتیب بدون تلقیح تیوباسیلوس و تلقیح شده با باکتری های تیوباسیلوس می‌باشند. C1, C2, C3, C4 به ترتیب خاک نمونه 1 از منطقه کرج با 8 درصد مواد خنثی شونده، خاک نمونه 2 از منطقه شورقلعه با 14 درصد مواد خنثی شونده، خاک نمونه 3 از منطقه چیتگر با 22 درصد مواد خنثی شونده و خاک نمونه 4 از منطقه فشند با 38 درصد مواد خنثی شونده می‌باشند.

افزایش یافت. این افزایش به استثنای خاک C4 (خاک نمونه 4 از منطقه فشند با 38 درصد مواد خنثی شونده) در سه خاک دیگر در تیمارهای S6T1, S5T1 و S1T1 نسبت به شاهد معنی‌دار بود. در حالی که در خاک C4 (خاک نمونه 4 از منطقه فشند با 38 درصد مواد خنثی شونده) هیچ یک از سطوح گوگرد منجر به افزایش معنی‌دار میزان

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر برهمکنش سطوح گوگرد و نوع خاک بر میزان جذب منگنز در اندام هوایی، در سطح 5 درصد معنی‌دار بود (7). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تمام خاک‌ها با افزایش سطح گوگرد افزوده شده به خاک، میزان جذب منگنز در بخش‌های هوایی گیاه در مقایسه با تیمار شاهد (S0T0)

(C2) و مصرف مقداری از گوگرد که بتواند 25 درصد از مواد خشتی شونده خاک را خشتی نماید، بیشترین میزان مس جذب شده (0/052 میلی‌گرم در گلدان) را به خود اختصاص داد. به جز خاک C4 (خاک نمونه 4 از منطقه فشنند با 38 درصد مواد خشتی شونده) در تمامی خاک‌ها با افزایش میزان گوگرد خاک، جذب مس در اندام هوایی گیاه، افزایش یافت. در خاک C2 (خاک نمونه 2 از منطقه شورقلعه با 14 درصد مواد خشتی شونده) به استثنای تیمار صفر گوگرد (S0T1)، در تمام سطوح گوگرد افزایش جذب مس در اندام هوایی سویا، نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار بود. در حالی که در خاک C3 (خاک نمونه 3 از منطقه چیتگر با 22 درصد مواد خشتی شونده) تنها تیمار S5T1 منجر به افزایش معنی‌دار جذب مس در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول 13).

جذب منگنز نسبت به شاهد نشدند. به علاوه در این خاک، میزان جذب در تیمار S3T1 نسبت به شاهد کاهش یافت. به طور کلی در تمام خاک‌ها بیشترین میزان جذب در تیمارهای S1T1، S5T1 و S6T1 مشاهده شد. به طوری که بیشترین میزان جذب در بین تیمارها در خاک C1 (خاک نمونه 1 از منطقه کرج با 8 درصد مواد خشتی شونده) تیمار S5T1 و خاک C3 (خاک نمونه 3 از منطقه چیتگر با 22 درصد مواد خشتی شونده) تیمار S6T1 ثبت شد (جدول 12).

تحلیل آماری نتایج نشان داد که اثر متقابل سطوح گوگرد و نوع خاک آهکی بر جذب مس اندام هوایی گیاه، در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول 7). مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح گوگرد و نوع خاک نشان داد که خاک حاوی 14 درصد مواد خشتی شونده

جدول 12- اثرات متقابل سطوح مختلف گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و نوع خاک آهکی بر میزان جذب منگنز در سویا

		سطوح مختلف گوگرد به همراه تیوباسیلوس (درصد واکنش با مواد خشتی شونده)															
نوع خاک		S0T0	S0T1	S1T1	S2T1	S3T1	S4T1	S5T1	S6T1								
درصد مواد خشتی شونده		جذب منگنز در گیاه (میلی گرم بر گلدان)															
8	C1	0/12	ijkl	0/14	i-l	0/25	c-i	0/23	d-j	0/19	f-l	0/21	d-k	0/42	a	0/32	a-d
14	C2	0/08	l	0/18	g-l	0/27	c-g	0/19	f-l	0/32	a-d	0/30	b-f	0/31	a-d	0/25	c-i
22	C3	0/18	g-l	0/27	c-h	0/30	b-f	0/31	b-e	0/20	e-k	0/25	c-h	0/35	abc	0/39	ab
38	C4	0/12	ijkl	0/23	d-j	0/16	h-l	0/11	kl	0/20	e-k	0/12	ijkl	0/17	g-l	0/21	d-k

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد به روش دانکن می‌باشند. S0, S1, S2, S3, S4, S5 و S6 به ترتیب مقدار گوگردی که بتواند با 3/1, 6/25, 12/5, 25, 50 و 100 درصد از مواد خشتی شونده خاک واکنش دهد. T0 و T1 به ترتیب بدون تلقیح تیوباسیلوس و تلقیح شده با باکتری های تیوباسیلوس می‌باشند. C1, C2, C3, C4 به ترتیب خاک نمونه 1 از منطقه کرج با 8 درصد مواد خشتی شونده، خاک نمونه 2 از منطقه شورقلعه با 14 درصد مواد خشتی شونده، خاک نمونه 3 از منطقه چیتگر با 22 درصد مواد خشتی شونده و خاک نمونه 4 از منطقه فشنند با 38 درصد مواد خشتی شونده می‌باشند.

جدول 13- اثرات متقابل سطوح مختلف گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و نوع خاک آهکی بر میزان جذب مس در سویا

		سطوح مختلف گوگرد به همراه تیوباسیلوس															
نوع خاک		S0T0	S0T1	S1T1	S2T1	S3T1	S4T1	S5T1	S6T1								
درصد مواد خشتی شونده		جذب مس در گیاه (میلی گرم بر گلدان)															
8	C1	0/02	hij	0/028	e-j	0/028	e-j	0/03	d-i	0/035	c-g	0/034	d-h	0/049	abc	0/032	d-i
14	C2	0/021	g-j	0/033	d-h	0/038	a-e	0/038	a-f	0/05	ab	0/052	a	0/045	a-d	0/042	a-e
22	C3	0/037	b-f	0/046	a-d	0/037	b-f	0/440	a-d	0/041	a-e	0/051	ab	0/052	a	0/036	c-f
38	C4	0/021	g-j	0/024	f-j	0/015	j	0/014	j	0/018	ij	0/016	j	0/021	g-j	0/02	hij

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد به روش دانکن می‌باشند. S0, S1, S2, S3, S4, S5 و S6 به ترتیب مقدار گوگردی که بتواند با 3/1, 6/25, 12/5, 25, 50 و 100 درصد از مواد خشتی شونده خاک واکنش دهد. T0 و T1 به ترتیب بدون تلقیح تیوباسیلوس و تلقیح شده با باکتری های تیوباسیلوس می‌باشند. C1, C2, C3, C4 به ترتیب خاک نمونه 1 از منطقه کرج با 8 درصد مواد خشتی شونده، خاک نمونه 2 از منطقه شورقلعه با 14 درصد مواد خشتی شونده، خاک نمونه 3 از منطقه چیتگر با 22 درصد مواد خشتی شونده و خاک نمونه 4 از منطقه فشنند با 38 درصد مواد خشتی شونده می‌باشند.

**ب- شاخص های رشدی گیاه سویا**

تعداد غلاف، وزن خشک بذر، طول ساقه و وزن خشک گره ریشه سویا در سطح یک درصد معنی دار می باشد و تنها اثرات متقابل گوگرد و نوع خاک بر وزن خشک بذر و گره معنی دار نبود (جدول 14).

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که نوع خاک آهکی، سطوح گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و نیز اثرات متقابل آنها بر وزن ماده خشک اندام هوایی،

**جدول 14- نتایج تجزیه واریانس اثرات تیمارهای مختلف بر برخی شاخص های اندازه گیری شده در گیاه سویا**

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	تعداد غلاف	وزن خشک بذر	طول ساقه	وزن خشک گره
نوع خاک آهکی	3	6/38**	37/7**	37/99**	3264/9**	0/25**
سطوح گوگرد تلقیح شده	7	0/88**	3/7**	3/25**	324/2**	0/098**
سطوح گوگرد تلقیح شده × نوع خاک	21	0/44**	1/518*	1/19 ns	82/17*	0/014 ns
خطا	64	0/08	0/72	0/6	38/95	0/009

ns، \* و \*\*، به ترتیب معنی دار در سطح 1 و 5 درصد و بدون اختلاف معنی دار

معنی دار بود. بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی، در خاک C1 (خاک نمونه 1 از منطقه کرج با 8 درصد مواد خشتی شونده) در تیمار S5T1 (مقداری از گوگرد که قادر است با 50 درصد از مواد خشتی شونده خاک واکنش دهد به همراه تلقیح با باکتری های تیوباسیلوس) مشاهده شد. کمترین میزان وزن خشک نیز در خاک C4 (خاک نمونه 4 از منطقه فشنند با 38 درصد مواد خشتی شونده) در سطح صفر گوگرد، ثبت شد (جدول 15).

مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع خاک آهکی و سطح گوگرد نشان داد که با افزایش سطح گوگرد خاک، وزن ماده خشک اندام هوایی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. البته این افزایش فقط در مورد خاک C4 (خاک نمونه 4 از منطقه فشنند با 38 درصد مواد خشتی شونده) معنی دار نبود. این افزایش در خاک های C1 (خاک نمونه 1 از منطقه کرج با 8 درصد مواد خشتی شونده) و C2 (خاک نمونه 2 از منطقه شورقلعه با 14 درصد مواد خشتی شونده) در تمامی تیمارها، نسبت به تیمار شاهد

**جدول 15- اثرات متقابل سطوح مختلف گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و نوع خاک آهکی بر میزان وزن خشک بخش هوایی سویا**

سطوح مختلف گوگرد به همراه تیوباسیلوس																	
نوع خاک	درصد مواد خشتی شونده	S0T0	S0T1	S1T1	S2T1	S3T1	S4T1	S5T1	S6T1								
		وزن ماده خشک (گرم)															
8	C1	1/93	ef	2/36	b-e	2/69	bc	2/31	b-e	2/36	b-e	2/86	b	4/58	a	2/06	def
14	C2	1/08	hij	1/21	ghi	2/13	c-f	1/98	def	2/67	bc	2/68	bc	2/51	bcd	2/53	bcd
22	C3	1/7	fg	2/33	b-e	2/2	c-f	2/13	c-f	1/36	gh	1/68	fg	2/17	c-f	2/38	b-e
38	C4	0/94	h-k	0/43	k	0/62	jk	0/82	h-k	0/83	hijk	0/78	ijk	1/06	hij	0/96	h-k

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح 5 درصد به روش دانکن می باشند. S0، S1، S2، S3، S4، S5 و S6 به ترتیب مقدار گوگردی که بتواند با 3/1، 6/25، 12/5، 25، 50 و 100 درصد از مواد خشتی شونده خاک واکنش دهد. T0 و T1 به ترتیب بدون تلقیح تیوباسیلوس و تلقیح شده با باکتری های تیوباسیلوس می باشند. C1، C2، C3، C4 به ترتیب خاک نمونه 1 از منطقه کرج با 8 درصد مواد خشتی شونده، خاک نمونه 2 از منطقه شورقلعه با 14 درصد مواد خشتی شونده، خاک نمونه 3 از منطقه چیتگر با 22 درصد مواد خشتی شونده و خاک نمونه 4 از منطقه فشنند با 38 درصد مواد خشتی شونده می باشند.

گیاه (سینگ و همکاران، 1991؛ سینگ و چیبیا، 1991؛ سینگ و چائوداری، 1997)، اصلاح خاک های سدیمی و شور و سدیمی (روپلا و تور، 1973؛ ونکاتاکریشنان و آبرول،

**بحث**

استفاده از گوگرد در اراضی زیر کشت محصولات کشاورزی با هدف تأمین سولفات مورد نیاز

1994؛ بردیا و همکاران، 1982) اکسید شده‌اند. همچنین ممکن است که باکتری‌های تیوباسیلوس با مکانیسم‌های دیگری غیر از اکسایش گوگرد (ترشح متابولیت‌های اسیدی، ترشح بعضی از آنزیم‌ها، مواد محرک رشد و مواد کلات کننده و ...) توانسته‌اند تغییراتی را در پارامترهای اندازه‌گیری شده ایجاد کنند. نتایج تلقیح خاک با باکتری‌های تیوباسیلوس وقتی مؤثرتر خواهد بود که به خاک‌های آهکی، گوگرد و باکتری توأمأ اضافه شوند (وین رایت، 1984). در تیمارهایی که گوگرد و باکتری توأمأ ولی با مقادیر کم گوگرد به خاک اضافه شده‌اند نیز تغییرات کمتری قابل مشاهده است، زیرا مقدار گوگرد اکسید شده جهت کاهش pH و آزاد شدن عناصر غذایی، به دلیل ظرفیت بافیری زیاد خاک کافی نبوده است (کلباسی و همکاران، 1986؛ کاپور و همکاران، 1991؛ مدیهش و همکاران، 1989). این در حالی است که کاربرد مقادیر زیادتر گوگرد با مایه تلقیح تیوباسیلوس سبب ایجاد تغییرات معنی‌دار در برخی از شاخص‌های اندازه‌گیری شده گردید (بشارتی، 1382).

به نظر می‌رسد که کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس توانسته است از طریق کاهش pH خاک اطراف ریشه به حلالیت عناصر غذایی در خاک آهکی افزوده و به افزایش رشد و نمو گیاه کمک نماید. مصطفویان (1386) افزایش تعداد غلاف در هر بوته سویا را به دنبال کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس گزارش نمود. همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد گوگرد تأثیر معنی‌داری بر وزن دانه‌ها دارد. نتایج مشابهی مبنی بر تأثیر مصرف گوگرد و تیوباسیلوس بر افزایش وزن دانه‌ها توسط قربانی نصرآبادی و همکاران (1381) گزارش شده است. یافته‌های بوم و همکاران (2007) نشان داد که کمبود گوگرد عملکرد دانه سویا را از طریق تأثیر بر رشد گیاه در دوره پر شدن دانه کاهش می‌دهد. آنها چنین نتیجه گرفتند که کمبود گوگرد در اواخر دوره رشد ممکن است نتیجه تحرک بالای سولفات در خاک و پویایی مجدد آن در گیاه باشد.

تأثیر گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد را علاوه بر نقش مستقیم گوگرد در تغذیه گیاه می‌توان به تأثیر گوگرد و تیوباسیلوس در کاهش موضعی pH خاک در اطراف ریشه‌های گیاه نسبت داد که به حلالیت عناصر تثبیت شده در خاک‌های آهکی و قلیایی و در نهایت افزایش جذب عناصر توسط گیاه کمک می‌کند (رزا و همکاران 1989). نورقلی پور و همکاران (1385) و بهمنیار و همکاران (1384) نتایج مشابهی را مبنی بر تأثیر گوگرد بر افزایش عملکرد سویا گزارش نمودند. با افزودن گوگرد به خاک‌های آهکی واکنش این خاک‌ها در نقاط ریز اطراف ریشه کاهش یافته و به دنبال آن قابلیت جذب

(1981)، کاهش pH و افزایش حلالیت برخی از عناصر غذایی و در نهایت بهبود وضعیت تغذیه گیاهان در خاک‌های آهکی صورت می‌گیرد (کاپلان و ارمان، 1998؛ رازتو، 1982؛ کلباسی و همکاران، 1998). گوگرد عنصری، به خودی خود یک ماده بی‌اثر بوده و بروز اثرات مفید آن منوط به اکسایش و تبدیل آن به سولفات می‌باشد (طباطبایی، 1986). از آنجا که اکسایش گوگرد در خاک عمدتاً به طریق بیولوژیک انجام می‌گیرد، لذا این فرآیند علاوه بر خصوصیات کمی و کیفی گوگرد عنصری نظیر درصد خلوص، اندازه ذرات، مقدار مصرف، زمان و روش مصرف، همانند سایر فرآیندهای بیولوژیک دیگر متأثر از شرایط محیطی بوده و پارامترهایی از قبیل pH، رطوبت، تهویه، دما، سطح حاصلخیزی و جمعیت میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد دارند (آتو و السن، 1966؛ استونسون و کول، 1999؛ تیسدل و همکاران، 1993؛ چاپمن، 1989؛ نور و طباطبایی، 1977). در اثر اکسایش گوگرد توسط باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد و کاهش موضعی pH خاک در اطراف ریشه‌های گیاه، حلالیت عناصر تثبیت شده در خاک‌های آهکی افزایش می‌یابد (سیفونتنز و لیندمن، 1993) و در نهایت جذب عناصر توسط گیاه نیز افزایش می‌یابد (بشارتی، 1377؛ رزا و همکاران، 1989).

طبق نتایج حاصله افزودن گوگرد به خاک تا سطحی که در آن گوگرد با بیش از 25 تا 50 درصد از مواد خثی شونده خاک واکنش می‌دهد، در تمامی خاک‌ها منجر به افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشدی گیاه نظیر وزن خشک اندام هوایی، تعداد غلاف، وزن خشک دانه، وزن خشک گره‌ها در ریشه و طول ساقه نسبت به سطح صفر گوگرد و تیمار شاهد شد.

معنی‌دار بودن اثر تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس و گوگرد به تنهایی، در مقایسه با شاهد مؤید این مطلب است که وقتی تیمار تلقیح در خاک استفاده نشده، جمعیت اندک اکسیدکنندگان بومی خاک عمل اکسایش گوگرد را انجام می‌دهند و در نتیجه باعث تغییر برخی از پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک نسبت به شاهد شده‌اند و گوگرد مصرف شده به تنهایی نتوانسته است به اندازه اکسایش گوگرد همراه با تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس در خاک تغییرات ایجاد نمایند زیرا جمعیت اکسیدکنندگان گوگرد در اغلب خاک‌ها پایین است (طباطبایی، 1986) و زمانی که باکتری‌های تیوباسیلوس بدون مصرف گوگرد به خاک تلقیح شده‌اند، باعث ایجاد تغییراتی در پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک گردیده است. وقتی باکتری‌ها بدون مصرف گوگرد به خاک تلقیح شده‌اند، فقط مقادیر جزئی ترکیبات گوگردی احیاء شده‌ای که نتیجه چرخه طبیعی گوگرد در خاک هستند (طباطبایی، 1986؛ کیلهام،

از ترکیبات شیمیایی دیگر برمی‌گردد. هرگاه مقدار اسید تولید شده در اثر اکسیداسیون گوگرد، توان خشتی کردن عوامل بافر را دارا باشد، pH خاک کاهش می‌یابد. کاهش pH در تمام سطوح گوگرد مصرفی نسبت به شاهد بیانگر کافی بودن اسید تولید شده در اثر اکسایش گوگرد می‌باشد. از طرفی این احتمال که آهک موجود در خاک از نوع غیرفعال بوده (آهک درشتی که توسط عوامل پوشش دهنده مانند رس، مواد آلی و ... پوشیده شده است) که در واکنش خشتی کردن شرکت نکرده است نیز وجود دارد (بشارتی، 1377). در اکثر موارد مقادیر ثبت شده در سطح آخر گوگرد نسبت به سطح ماقبل از آن (خشتی شدن 50 درصد از مواد خشتی شونده خاک) با کاهش نسبی مواجه می‌شود. افزایش غلظت یون‌های سولفات به همراه یون‌های کلسیم و منیزیم موجود در خاک، منجر به افزایش مقدار هدایت الکتریکی عصاره خاک می‌شود. به طوری که در سطح آخر گوگرد میزان EC خاک به طور معنی‌داری نسبت به دیگر سطوح افزایش نشان می‌داد (نتایج ارایه نشده). این افزایش EC خاک، می‌تواند علت احتمالی کاهش عملکرد و به دنبال آن کاهش میزان جذب عناصر در سطوح آخر گوگرد باشد.

آهن از جمله عناصری است که قابلیت جذب آن در خاک شدیداً به pH وابسته است به طوری که با یک واحد افزایش pH خاک، فعالیت  $Fe^{2+}$  و  $Fe^{3+}$  به ترتیب 1000 و 100 مرتبه کاهش می‌یابد (لیندسی 1979). به همین دلیل کمبود آهن در خاک‌های آهکی و با pH بالا بروز می‌کند. گوگرد در اثر اکسیداسیون و تولید اسید سولفوریک شرایط لازم را برای کاهش pH خاک در مقیاس کوچک و در اطراف ذرات خود ایجاد می‌کند بنابراین می‌تواند به ویژه در منطقه ریزوسفر در انحلال ترکیبات نامحلول و آزاد شدن عناصر غذایی مؤثر واقع شود (خادم 1386). اثرات مفید کاربرد گوگرد در افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی کم مصرف از جمله آهن توسط بشارتی (1377)، سیفونتنس (1993) و مدیهش و همکاران (1989) به اثبات رسیده است.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اثر نوع خاک آهکی، مقدار گوگرد مصرفی و نیز اثرات متقابل آنها بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در گیاه نظیر وزن خشک بخش هوایی، تعداد غلاف، طول ساقه و جذب عناصر غذایی فسفر، آهن، روی، مس و منگنز معنی‌دار بود. بطورکلی با افزایش مقدار گوگرد مصرفی تا سطحی که بتواند با 50 درصد مواد خشتی شونده خاک واکنش دهد، جذب عناصر غذایی در گیاه سویا افزایش ولی مصرف بیشتر گوگرد (تا حدی که معادل خشتی سازی کل مواد خشتی شونده خاک باشد) باعث کاهش جذب عناصر در

فسفر افزایش می‌یابد و شرایط برای رشد گیاه نیز بهبود می‌یابد. گودرزی (1383) گزارش کرد که مصرف گوگرد در خاک‌های آهکی سبب افزایش غلظت فسفر در بافت گیاه گندم شد. گودرزی (1383) گزارش کرد که مصرف گوگرد در خاک‌های شدیداً آهکی موجب افزایش 39 درصدی غلظت آهن در بافت گیاه شد. بشارتی و صالح راستین (1379) نیز با مصرف گوگرد و تیوباسیلوس افزایش جذب آهن را در گیاه ذرت گزارش کردند.

به طور کلی عواملی که حلالیت منگنز و شرایط اکسید و احیایی خاک را متأثر می‌سازند قابلیت جذب منگنز را برای گیاهان تعیین می‌کنند. از جمله مهم ترین این عوامل pH خاک می‌باشد. کاهش pH خاک باعث افزایش حلالیت منگنز در خاک شده که افزایش قابلیت جذب آن را به دنبال دارد. به طور کلی کاهش pH و در نتیجه آزاد شدن عناصر غذایی تثبیت شده می‌تواند باعث افزایش قابلیت جذب آنها شده و در نهایت صفات مورد ارزیابی در رشد گیاه و اجزاء عملکرد را بهبود دهد (مدیهش و همکاران، 1989).

افزایش اکسایش گوگرد و کاهش موضعی pH خاک موجب افزایش روی قابل جذب در خاک و به دنبال آن جذب بیشتر روی توسط گیاه می‌شود (ملکوئی و رضایی 1380). کاپلان و ارمان (1998) نیز در آزمایشی به افزایش مقدار آهن و روی جذب شده توسط سورگوم به دنبال کاربرد گوگرد در خاک‌های آهکی اشاره نمودند. در صورت مخلوط شدن گوگرد با خاک و اکسایش آن، نقاطی با واکنش اسیدی در خاک پدید می‌آید که شرایط مساعدی را برای انحلال و جذب بیشتر و سریعتر آهن، روی، مس و منگنز فراهم می‌آورد (خادم، 1386).

در این تحقیق با افزایش سطح آهک خاک، به علت افزایش میزان pH خاک و نیز افزایش میزان مواد تثبیت کننده، غلظت عناصری مانند فسفر و آهن در بافت‌های گیاهی کاسته شد. مشابه چنین روندی در مورد جذب این عناصر نیز مشاهده می‌شود که با توجه به کاهش میزان ماده خشک تولیدی گیاه، متناسب با افزایش میزان آهک خاک، قابل توجیه می‌باشد. اما در مورد عناصری نظیر روی، مس و منگنز مشاهده شد که با افزایش سطح آهک خاک بر غلظت این عناصر درون بافت‌های گیاهی افزوده می‌شود. علت این روند را می‌توان با اثر رقت توضیح داد.

ضمن اکسایش گوگرد مقداری اسید سولفوریک در محیط‌زیست باکتری‌ها تولید می‌شود (ویشنیاک و سنترز، 1975) که در صورت قابل توجه نبودن خاصیت تامپونی محیط، کاهش قابل ملاحظه‌ای در pH عارض می‌گردد (ویشنیاک و سنترز، 1975) خاصیت بافوری خاک به وجود رس، مواد آلی، آهک، ترکیبات فسفره و بسیاری

گوگرد در خاک‌های با آهک کمتر، بیشتر بود.

گیاه سویا گردید. مضافاً افزایش شاخص‌های اندازه‌گیری شده از جمله جذب عناصر در گیاه در نتیجه مصرف

### فهرست منابع:

1. بشارتی، ح. 1377. بررسی اثرات کاربرد گوگرد همراه با گونه‌های تیوباسیلوس در افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی در خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
2. بشارتی، ح. و ن. صالح راستین. 1378. بررسی تأثیر کاربرد مایه تلقیح تیوباسیلوس همراه با گوگرد در افزایش جذب فسفر. مجله علوم خاک و آب. شماره 13.
3. بشارتی، ح. 1382. تهیه ماده نگهدارنده مناسب برای باکتری‌های جنس تیوباسیلوس و مطالعه اثرات متقابل آنها با فارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در گندم. پایان‌نامه دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس. 179 صفحه.
4. بشارتی، ح.، خوازی، ک. و خلفی، ه. 1382. بررسی قابلیت چند نوع ماده برای تولید مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس و مطالعه اثر مایه تولید شده همراه با گوگرد در افزایش رشد و افزایش جذب بعضی عناصر غذایی به وسیله ذرت. دومین همایش ملی توسعه کاربرد کود بیولوژیک و استفاده بهینه از کود و سم در کشاورزی. نشر آموزش کشاورزی، کرج، تهران، ص. 54-56.
5. بشارتی، ح. و ن. صالح راستین. 1379. تأثیر مصرف گوگرد و مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر مقدار آهن و روی جذب شده توسط ذرت در شرایط گلخانه‌ای. مجله علوم خاک و آب. شماره 7، ص 63-72.
6. بنایی، م.، مومنی، ع.، بای بردی، م. و م. ج. ملکوتی. 1383. خاک‌های ایران تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره‌برداری. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، انتشارات سنا. تهران، ایران.
7. قربانی نصرآبادی، ر. 1380. بررسی تأثیر کود میکروبی گوگرد بر توان تثبیت بیولوژیک نیتروژن در سیستم همزیستی سویا- بردی ریزوبیوم ژاپنیکوم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
8. ملکوتی، م. ج. و ح. رضایی. 1380. نقش گوگرد، کلسیم و منیزیم در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی. چاپ اول. نشر آموزش کشاورزی. ص 1-32.
9. ملکوتی، م. ج. و م. همایی. 1383. حاصلخیزی خاک‌های خشک و نیمه خشک (مشکلات و راه‌حلهای). چاپ دوم با بازنگری کامل، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. تهران، ایران.
10. نورقلی پور، ف.، لطف‌اللهی، م. و م. ج. ملکوتی. 1384. روش‌های بهبود جذب عناصر غذایی در خاک‌های آهکی قسمت دوم. نشریه فنی 465. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. انتشارات سنا. تهران، ایران.
11. نورقلی پور، ف.، م. ج. ملکوتی. 1384. روش‌های بهبود جذب عناصر غذایی در خاک‌های آهکی قسمت اول. نشریه فنی 464. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، انتشارات سنا. تهران، ایران.
12. Attoe, O. J. and R. A. Olson. 1966. Factors affecting the rate of oxidation of elemental sulfur and that added in rock- phosphate- sulfur fusion. Soil Sci. Soc. Am. J. 101: 317- 324.
13. Basak, R. K., Halder, R.R., and N.C. Debnham. 1987. Efficiency of biosuper as fertilizer in sesame-rice cropping sequence in non acid soil. Environ. Ecol., 5(3): 537-539.
14. Bromfield, A. R., Hancock, I. R. and D. F. Debenhm. 1981. Effect of ground rock phosphate and elemental S on yield and P uptake of maize in western Kenya. Expel. Agric., 17: 383-387

15. Chapman, S. J. 1989. Oxidation of micronized elemental sulfur in soil. *Plant and Soil*, 116:69- 76.
16. Cifuentes, F. R. and Lindemann, W. C. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in calcareous soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57: 727-731.
17. Fuehring, H.D. 1973. Response of crops grown on calcareous soils to fertilization. In: *FAO Soils Bulletin 21 - Calcareous Soils*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
18. Kalbasi, M., Manuchehri, N. and F. Filsoof. 1986. Local acidification of soil as a means of alleviates iron chlorosis on quince orchards. *J. Plant Nutr.* 9 : 1001- 1007.
19. -Kaplan, M. and S. Orman. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in Turkey. *J. Plant Nutr.* 21: 1655- 1665.
20. Killham, K. 1994. *Soil Ecology*. Cambridge University Press. London. UK.
21. Kittams, H. H. and O. J. Attoe. 1965. Availability of P in rock phosphate sulfur fusion. *Agron. J.*, 57: 331-334.
22. Lindsay, W.L. 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. John Wiley & Sons, New York. USA.
23. Loeppert, R.H. and D.L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum, In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnson and M.E. Sumner (eds.). *Methods of Soil Analysis Part 3 Chemical Methods*. SSSA Special Publication No. 5. Madison, WI. pp. 437-474.
24. Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd Edition. Academic Press, London. UK.
25. Modaihsh, S., W. A. Al-mustafa, and A. E. Metwally. 1989. Effect of elemental sulfur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. *Plant and Soil*. 116:95-101.
26. Nor, Y. M. and M. A., Tabatabai. 1977. Oxidation of elemental sulfur in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41: 736- 741.
27. Page, A.L. Miller R.H. and D.R. Keeny. 1982. *Methods of soil analysis part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Second edition. Madison Wisconsin U.S.A.
28. Razeto, B. 1982. Treatment of iron chlorosis in peach trees. *J. Plant Nutr.* 5: 917-922.
29. Rosa, M. C., Muchovej, J. and V. H. Alvarez. 1989. Temporal relation of phosphorus fraction in an oxisol amended rock phosphate and *Thiobacillus thiooxidans*. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 53: 1096-1100.
30. Rupela, O.P., and P. Taura. 1973. Isolation and characterization of *Thiobacillus* from alkali soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 45: 338-341.
31. Singh, A. L., and V. Chaudhari. 1997. Sulfur and micronutrient of groundnut in a calcareous soil. *J. Agron. Crop Sci.*, 179: 107- 114.
32. Singh, D. and I. M. Chhibba. 1991. Evaluation of some sources of sulfur using maize and wheat as test crops. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 39: 514-516.
33. Singh, V., Parashar, A.K. and V.S. Mehta. 1991. Soil sulfur status and response of lentil to sulfur in relation to calcium. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 39: 727-729.
34. Stevenson, F. J. and M.A. Cole. 1999. *Cycles of Soil*. Second Edition. PP.427. John Wiley and Sons. Inc., New York.
35. Tabatabai, M. A. 1986. *Sulfur in Agriculture*. Am. Soc. Agron. Madison, WI., U. S. A.
36. Tisdale, S.L., Nelson W.L. and J. D. Beaton and J.L. Havlin. 1993. *Soil Fertility and Fertilizers*. 5th ed. McMillan Publishing Co., New York.
37. Venkatakrisnanan, S. and I. P. Abrol. 1981. Amelioration of a sodic soil through *Thiobacilli* inoculation and pyrite application. *J. Indian Soc. Soil. Sci.*, 29: 526-529.
38. Wainwright, M. 1984. Sulfur oxidation in soils. *Advances in Agronomy*, 37: 349-396.