

## تأثیر گوگرد عنصری و بنتونایتی بر فراهمی گوگرد و فسفر در خاک آهکی و خصوصیات رشدی ذرت

حسین میرسید حسینی<sup>1</sup>، ارژنگ فتحی گردلیدانی و مریم جبل عاملی

دانشیار دانشگاه تهران؛ [mirseyed@ut.ac.ir](mailto:mirseyed@ut.ac.ir)

دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه تهران؛ [arzhangfathi@ut.ac.ir](mailto:arzhangfathi@ut.ac.ir)

دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه تهران؛ [mjabalameli73@gmail.com](mailto:mjabalameli73@gmail.com)

دریافت: 94/7/6 و پذیرش: 94/10/7

### چکیده

به منظور بررسی اثر منابع مختلف گوگرد و کود دامی به همراه تلقیح باکتری تیوباسیلوس بر فراهمی گوگرد و فسفر خاک و رشد ذرت در خاک آهکی، آزمایش گلخانه‌ای بر مبنای طرح کاملاً تصادفی با 3 تکرار انجام شد. تیمارها شامل، S (گوگرد عنصری)، SIB (گوگرد بنتونایتی ایرانی)، SDB (گوگرد بنتونایتی خارجی)، S+M (گوگرد عنصری با کود دامی) و IN (شاهد) در 3 سطح کودی S0، S1 و S2 (صفر، 25 و 50 میلی گرم گوگرد بر کیلوگرم خاک) بودند. پس از اعمال تیمارها، بذور ذرت کشت و بعد از 8 هفته برداشت شد. نتایج نشان داد که تیمار S+M و S فراهمی فسفر و سولفات خاک را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش دادند. اثر اصلی همه تیمارها سبب افزایش جذب گوگرد و فسفر، عملکرد، مقدار کلروفیل، ارتفاع و شاخص سطح برگ ذرت در مقایسه با شاهد شدند. نتایج نشان می‌دهد که کاربرد گوگرد همراه با ماده آلی در نمونه خاک آهکی مورد استفاده به طور معنی‌دار ( $P < 0.01$ ) سبب افزایش فراهمی فسفر و گوگرد و بهبود خصوصیات رشد ذرت شده است.

واژه‌های کلیدی: کود دامی، عملکرد ذرت، ماده آلی، کلروفیل

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران دانشکده فناوری و مهندسی کشاورزی، گروه علوم و

## مقدمه

مطالعات متعددی اثرات مفید کاربرد گوگرد در خاک‌های زیرکشت، مانند افزایش عملکرد محصول، کاهش pH خاک‌های آهکی و نیز افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی از جمله فسفر را گزارش کرده‌اند (کلباسی و همکاران، 1988). مودایش و همکاران (1989) با بررسی اثر گوگرد بر خصوصیات شیمیایی و قابلیت دسترسی عناصر غذایی در چند خاک آهکی مشاهده نمودند که pH خاک در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری کاهش و مقدار فسفر قابل دسترس افزایش یافت. اردال و تاراکشوگلو (2000) نشان دادند، در حالیکه pH خاک 0/11-0/37 واحد کاهش یافت، وزن خشک گیاه و غلظت فسفر و جذب با کاربرد گوگرد افزایش یافته بودند. حسن و اولسن (1996) با بررسی اثر مصرف گوگرد بر ذرت پی بردند که عملکرد ذرت 75 روز پس از مصرف گوگرد افزایش یافت و این افزایش عملکرد به علت افزایش جذب آهن، روی، فسفر، مس و منگنز در مقایسه با شاهد بوده است. همچنین کاربرد گوگرد عنصری فراهمی فسفر و عناصر کم مصرف را به منظور اصلاح کمبودهای آنها در خاک‌های قلیایی و آهکی افزایش داد (هیلال و عبدالفتاح، 1987).

بتونایت یک ماده معدنی از گروه رس‌ها است که امروزه نقش مهمی را با توجه به ویژگی‌های متنوع فیزیکی و شیمیایی خود در صنایع ایفا می‌کند. بتونایت گونه‌های فراوان دارد که خوشبختانه بیشتر آنها در کشور ما موجود است. افزودن گوگرد به خاک همراه با یک میزان از خاک رس (بتونایت) بسیار با اهمیت می‌باشد. گوگرد بتونایتی برای اولین بار در ایالات متحده به بازار عرضه شد که حاوی 90 درصد گوگرد عنصری و 10 درصد بتونایت بوده است. این فرآورده غبار تولید نمی‌کند، خاصیت انبارداری و حمل و نقل آن خوب است و با داشتن اندازه مناسب، برای مخلوط شدن با مواد جامد حامل P و N بسیار مطلوب می‌باشد (امیر مگری و ملکوتی، 1384). جهت تولید، بتونایت به گوگرد مذاب اضافه می‌گردد، توده مذاب سرد شده و ماده جامد سپس آسیاب و آماده سازی می‌شود. بعد از کاربرد در خاک، بتونایت با جذب آب متلاشی و گوگرد آن توسط فعالیت باکترهای تیوباسیلوس روی ذرات کوچک به اسید سولفوریک تبدیل می‌شود (پایگاه اطلاع رسانی شرکت ملی گاز ایران). یکی از تولیدات گوگرد بتونایتی داخلی در آزمایش مورد استفاده قرار گرفت که حاوی 85 درصد گوگرد و 15 درصد خاک رس (بتونایت) است.

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر کاربرد گوگرد عنصری به تنهایی و همراه با کود دامی و همچنین گوگرد

نظر به اینکه کودهای شیمیایی با محتوای گوگرد پایین به طور گسترده‌تری در کشاورزی استفاده می‌شوند، مشکلات کمبود گوگرد بیشتر از قبل پدیدار شده است (هیتسودا و همکاران، 2005). افزون بر این، بیشتر اراضی کشاورزی ایران دارای خاک آهکی هستند و کمبود گوگرد و فسفر یک پدیده رایج در ایران می‌باشد. در خاک‌های آهکی ایران، به دلیل بالا بودن pH و فراوانی کلسیم، به رغم فراوانی برخی از عناصر غذایی مانند فسفر، شکل‌های محلول و قابل جذب این عناصر کمتر از مقدار لازم برای فراهم کردن نیاز محصولات است و بنابراین رشد محصول عموماً با کمبود عناصر غذایی محدود می‌شود (هولین و همکاران، 2005؛ ملکوتی و همایی، 1383) و تحت این شرایط نامناسب خاک، تنها با کاربرد کودهای شیمیایی این عناصر غذایی کمبودهای ناشی از آنها رفع نمی‌شود. کاهش pH خاک توسط مواد اسیدزا مثل گوگرد یک راهکار موثر در جهت افزایش فراهمی و پایداری عناصر غذایی در این خاک‌ها می‌باشد. کاربرد گوگرد در ایران نیز رایج و یک ماده مؤثر اسیدزای ارزان قیمت است که بعد از اکسیداسیون به ازای هر مول دو مول یون هیدروژن در خاک تولید می‌کند و pH خاک را کاهش می‌دهد که منجر به انحلال عناصر غذایی در محیط ریشه می‌شود (بشارتی، 1377) و اثر قابل توجهی بر جذب عناصر غذایی مانند فسفر، نیتروژن و پتاسیم و عناصر کم مصرف توسط گیاهان دارد (ملکوتی و همایی، 1383).

منابع گوگرد قبل از آنکه توسط گیاهان مورد استفاده قرار گیرند، ابتدا باید به سولفات اکسیده شوند. مهمترین و رایج‌ترین انواع اکسیدکننده‌های گوگرد در اکثر خاک‌های زراعی، باکتری‌های جنس تیوباسیلوس می‌باشند (تیزدل و همکاران، 1993). در بیشتر خاک‌ها جمعیت این باکتری‌ها کمتر از حد مطلوب می‌باشد. بنابراین، استفاده از باکترهای تیوباسیلوس به همراه گوگرد برای بهبود عناصر غذایی و فراهم کردن سولفات در خاک‌های آهکی نیز ضروری می‌باشد. اکسیداسیون به پارامترهای مختلف از جمله؛ دما، رطوبت، اندازه منافذ و ذرات گوگرد (صیامی و همکاران، 1386) و ماده آلی بستگی دارد. اکسیداسیون گوگرد در برخی از خاک‌ها به دلیل شرایط نامساعد کمتر از حد بهینه است (سولبرگ و همکاران، 1982). بنابراین، فراهم کردن شرایط بهتر به افزایش بازدهی اکسیداسیون کمک می‌کند. از جمله این شرایط فراهم کردن مواد آلی مورد نیاز برای رشد باکتری‌های اکسیدکننده می‌باشد (طباطبایی، 1994).

بنتونایتی در حضور و یا عدم حضور باکتری تیوباسیلوس بر جذب گوگرد و فسفر توسط ذرت در یک خاک لوم شنی در شرایط گلخانه‌ای و همچنین بررسی تغییرات شکل قابل جذب این عناصر در خاک می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، واقع در شهرستان کرج انجام شد. بر اساس اطلاعات موجود و همچنین اطلاعات موسسه تحقیقات خاک و آب، منطقه بهشت سکنیه (با 1170 متر ارتفاع از سطح دریا، طول جغرافیایی (50° 52'E) و عرض جغرافیایی (35° 52' N))، واقع در استان البرز به عنوان منطقه نمونه برداری انتخاب شد. در انتخاب خاک مسئله کمبود گوگرد و یا شرایط بروز آن لحاظ شد، به این منظور خاک از منطقه‌ای غیرگیجی، با بافت سبک و مواد آلی کم تهیه شد. پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، در معرض هوا خشک گردیدند و از الک 2 میلی‌متر عبور داده شدند. سپس برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مانند بافت خاک به روش هیدرومتر بایکاس (شلدریک و وانگ، 1993)، درصد رطوبت اشباع (SP) و ظرفیت مزرعه (FC)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (اولسن و سامرز، 1982)، سولفات قابل جذب خاک با روش کدورت سنجی (عصاره‌گیر منو کلسیم فسفات) (طباطبائی، 1982)، کربن آلی، گچ، نیتروژن کل، پتاسیم قابل جذب، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم محلول در عصاره اشباع، کربنات و بی‌کربنات به روش‌های رایج (احیایی و بهبهانی زاده، 1370)، قابلیت هدایت الکتریکی و pH در عصاره اشباع خاک به ترتیب با هدایت سنج الکتریکی و pH متر (رودز، 1982) و کربنات کلسیم معادل به روش کلسیمتری (نلسون، 1982) و آهن، روی، مس و منگنز با استفاده از DTPA عصاره‌گیری و سپس با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (جدول 1).

این پژوهش با 5 تیمار در 3 سطح گوگرد به صورت آزمایش فاکتوریل بر مبنای طرح کاملاً تصادفی با 3 تکرار به انجام رسید. تیمارها شامل، S (گوگرد عنصری)، SIB (گوگرد بنتونایتی تولید داخل)، SDB (گوگرد بنتونایتی خارجی)، S+M (گوگرد عنصری به همراه کود دامی) و IN (خاک شاهد) در 3 سطح کودی S0، S1 و S2 به ترتیب صفر، 25 و 50 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بودند. کلیه تیمارهای گوگرد 2 هفته قبل از کشت به خاک اضافه و خوب مخلوط شد. میزان کود دامی استفاده شده 2 درصد وزنی در نظر گرفته شد. کود دامی (گوسفندی) از واحد دامپرووری پردیس تهیه شد. بعد از خشک کردن، از

الک 4 میلی‌متر گذرانده و سپس به خاک افزوده شد. عناصر موجود در این کود به شرح جدول 2 می‌باشد. در کشت گلخانه‌ای از گلدان‌های پلاستیکی با ارتفاع 22cm و قطر دهانه 20cm استفاده شد. به هر گلدان 3/5 کیلوگرم خاک الک شده اضافه گردید. برای این منظور ابتدا در ته همه گلدان‌ها ماسه شسته شده اضافه گشت و سپس کاغذ صافی بر روی آنها قرار گرفت و بعد از آن با خاک پر شد. کودهای عناصر اصلی نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد نیاز بر اساس آزمون خاک اضافه شدند. پس از تهیه بذر ذرت (رقم دیررس 704) از موسسه نهال و بذر کرج، به منظور جوانه‌دار شدن در داخل انکوباتور قرار گرفتند. برای هر گلدان 10 گرم مایه تلقیح تیوباسیلوس در نظر گرفته شد. مایه تلقیح نیز به صورت پودری و با تراکم باکتری  $1 \times 10^8$  CFU در آزمایشگاه بیولوژی گروه خاکشناسی دانشگاه تهران تهیه شد و پس از توزین با خاک مخلوط شد. قبل از کشت گیاه، گلدان‌ها در حد 70FC آبیاری شده بودند و وقتی رطوبت مناسب جهت کشت فراهم گردید. در هر گلدان 4 بذر جوانه‌دار قرار داده شده و آبیاری گلدان‌ها به روش وزنی و در حد 70FC در طول دوره رشد صورت می‌گرفت. بعد از استقرار گیاهان تعداد بوته‌ها به 2 عدد در هر گلدان کاهش یافت. در طول دوره‌ی رشد دمای گلخانه در محدوده 25 درجه سلسیوس تنظیم و ساعات روشنایی 12 ساعت در روز بود. قبل از برداشت گیاه، میزان کلروفیل برگ‌ها به وسیله کلروفیل متر مدل SPAD-502 و ارتفاع گیاه با استفاده از متر پارچه‌ای اندازه‌گیری شد. و بعد از برداشت گیاه نیز برخی پارامترها از قبیل؛ وزن تر و وزن خشک گیاه با استفاده از ترازوی دیجیتال، شاخص سطح برگ با استفاده از دستگاه پلانی متر (اقبال، 2002)، فسفر و گوگرد کل در گیاه (کوتنی و همکاران، 1982) و فسفر و گوگرد قابل جذب در خاک به روش‌های مذکور اندازه‌گیری شدند. تجزیه واریانس کلیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون دانکن انجام گرفت. نمودارها نیز به کمک نرم افزار Excel ترسیم گردیدند.

### نتایج و بحث

#### اثر تیمارها بر pH خاک

بطور معمول ثبت تغییرات pH در خاک به دلیل وجود خاصیت بافری تابع زمان است و اندازه‌گیری‌هایی که با فاصله زمانی پس از برداشت گیاه انجام می‌شود به درستی گویای تأثیر تیمارها در خاک نیست. در این مطالعه نیز اثر تیمارها بر pH خاک که در پایان آزمایش اندازه‌گیری شده از نظر آماری در سطح 5 درصد معنی‌دار

تیوباسیلوس و گوگرد، pH خاک‌های مورد آزمایش را به طور معنی‌داری کاهش داد (روپلا و تائورا، 1973). در مطالعه حاضر گرچه بین تیمارها در مقایسه با شاهد از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ولی کاهش اندک pH در کل خاک بیانگر کاهش بیشتر pH خاک در جایگاه‌های میکروسکوپی محل فعالیت ریزجانداران است و کاهش pH در حجم کمی از کل خاک نیز می‌تواند برای حل مشکلات تغذیه‌ای گیاهان کافی باشد (جانزن و بتانی، 1987).

نمود. مطابق نتایج پژوهش حاضر، در مطالعه‌ای با کاربرد گوگرد و ماده آلی در سطوح مختلف کاهش جزئی در pH خاک گزارش شد (عبود و همکاران، 2010). اما در تحقیقی دیگر با کاربرد گوگرد عنصری و ماده آلی نشان دادند که افزودن گوگرد عنصری بدون ماده آلی در مدت 80 روز، باعث کاهش pH برخی خاک‌های مورد آزمایش تا 0/2 واحد شده است و افزودن گوگرد عنصری توأم با ماده آلی در تعدادی از خاک‌ها باعث کاهش معنی‌دار pH گردید (کریمی نیا و شعبانپور، 1382). در مطالعه‌ای دیگر نیز پژوهشگران نشان دادند که استفاده از باکتری‌های

جدول 1- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

مقدار	ویژگی (واحد)	مقدار	ویژگی (واحد)
3/44	فسفر قابل جذب ( $\text{mg.Kg}^{-1}$ )	1/3	EC ( $\text{dS.m}^{-1}$ )
0/084	نیتروژن کل (%)	8	pH
99/9	پتاسیم قابل جذب ( $\text{mg.Kg}^{-1}$ )	26	رطوبت اشباع (%)
26	سولفات قابل جذب ( $\text{mg.Kg}^{-1}$ )	ناچیز	گچ (%)
3	آهن ( $\text{mg.Kg}^{-1}$ )	16	رطوبت ظرفیت مزرعه (% w)
1/64	روی ( $\text{mg.Kg}^{-1}$ )	0/44	کربن آلی (%)
2	مس ( $\text{mg.Kg}^{-1}$ )	8/47	کربنات کلسیم معادل (%)
11/28	منگنز ( $\text{mg.Kg}^{-1}$ )	لوم شنی	کلاس بافت خاک

جدول 2- نتایج تجزیه شیمیایی کود دامی

روی ( $\text{mg. kg}^{-1}$ )	آهن ( $\text{mg. kg}^{-1}$ )	فسفر (%)	نیتروژن (%)	گوگرد (%)	منیزیم (%)	کلسیم (%)	پتاسیم (%)	سدیم (%)	EC ( $\text{dS.m}^{-1}$ )	pH
30	4750	0/25	2	0/49	0/47	1/81	2/97	0/21	25/33	8

(2003). حضور ماده آلی در خاک باعث افزایش ریزجانداران هتروتروف اکسید کننده گوگرد شده که از آن به عنوان منبع کربن و انرژی استفاده می‌کنند و در نتیجه سبب افزایش سرعت اکسایش گوگرد در خاک می‌شود که خود باعث تغییرات بیشتر در pH می‌گردد. از طرف دیگر ماده آلی با بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک موجب افزایش فعالیت ریزجانداران و افزایش اکسیداسیون گوگرد می‌شوند (سیفونتر و لیندمان، 1993). محققان در بررسی‌های خود دریافتند افزودن ماده آلی باعث افزایش فعالیت هتروتروف‌های اکسیدکننده گوگرد شده و افزایش تعداد آنها را به دنبال داشته است (سیفونتر و لیندمان، 1993). مقدار سولفات قابل جذب دو کود بتونایتی در مقایسه با تیمار شاهد کمتر بود (شکل A-1) ولی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند. احتمالاً در تیمار شاهد به دلیل عدم فراهمی سایر کودها، گیاه از رشد مناسبی

#### اثر تیمارها بر سولفات قابل جذب خاک

نتایج تجزیه واریانس (جدول 3) نشان داد که اثر اصلی سطح و نوع کود و اثر متقابل سطح در نوع کود بر سولفات قابل جذب خاک معنی‌دار ( $P < 0.01$ ) است. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن نشان می‌دهد (شکل 1- A) که تیمارهای S+M و S سولفات قابل جذب خاک را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری ( $P < 0.01$ ) افزایش دادند. میزان سولفات قابل جذب در تیمار S+M، در بالاترین غلظت قرار گرفته که با توجه به حضور ماده آلی و افزایش جمعیت میکروبی اکسید کننده گوگرد قابل پیش‌بینی است. اکسایش گوگرد در خاک عمدتاً به صورت بیولوژیک صورت می‌گیرد، بنابراین هر عامل محیطی که بتواند جمعیت و فعالیت ریزجانداران اکسید کننده از جمله تیوباسیلوس‌ها را تحت تأثیر قرار دهد، بر اکسیداسیون گوگرد نیز مؤثر خواهد بود (اگریفکتز،

اثر متقابل نوع کود در سطح کود بر سولفات قابل جذب (شکل C-1) نشان می‌دهد که در هر دو سطح کاربرد گوگرد (S1 و S2) تیمارهای S+M و S سولفات قابل جذب خاک را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری ( $P < 0.01$ ) افزایش دادند. همچنین، در هر دو سطح کودی S1 و S2 سولفات قابل جذب خاک در تیمار S+M به طور قابل توجهی بیشتر از تیمار S می‌باشد. استفاده از سطوح بالاتر گوگرد به همراه کود دامی در افزایش سولفات قابل جذب خاک مؤثرتر ظاهر شد. اختلاط بهتر و یکنواخت گوگرد عنصری با خاک، کوچک بودن ذرات و حلالیت بیشتر آن نسبت به تیمارهای کودی بنتونایتی نیز موجب دسترسی راحت‌تر ریزجانداران و بهبود شرایط برای تولید سولفات قابل جذب در خاک شده است.

برخوردار نبوده در حالی که در دو کود بنتونایتی گیاه از رشد خوبی برخوردار بوده و به همان میزان برداشت سولفات در این تیمارها نیز بیشتر بوده و خود عاملی در جهت کاهش میزان سولفات خاک بوده است.

شکل B-1 نشان می‌دهد که با افزایش سطوح گوگرد مصرفی، غلظت سولفات قابل جذب در خاک به طور معنی‌دار افزایش یافته است. در جهت تأیید این نتایج، سمر و شهاییان (2003) دریافتند که مصرف گوگرد باعث افزایش میزان سولفات قابل استفاده در خاک شده است. همچنین در مطالعه‌ای دیگر، با در نظر گرفتن سه سطح کودی 0، 12 و 24 کیلوگرم گوگرد مشاهده نمودند که غلظت سولفات در خاک به صورت خطی افزایش نشان داد (ایسوان و همکاران، 2007).

جدول 3- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر فسفر و سولفات قابل جذب خاک بعد از دوره کشت

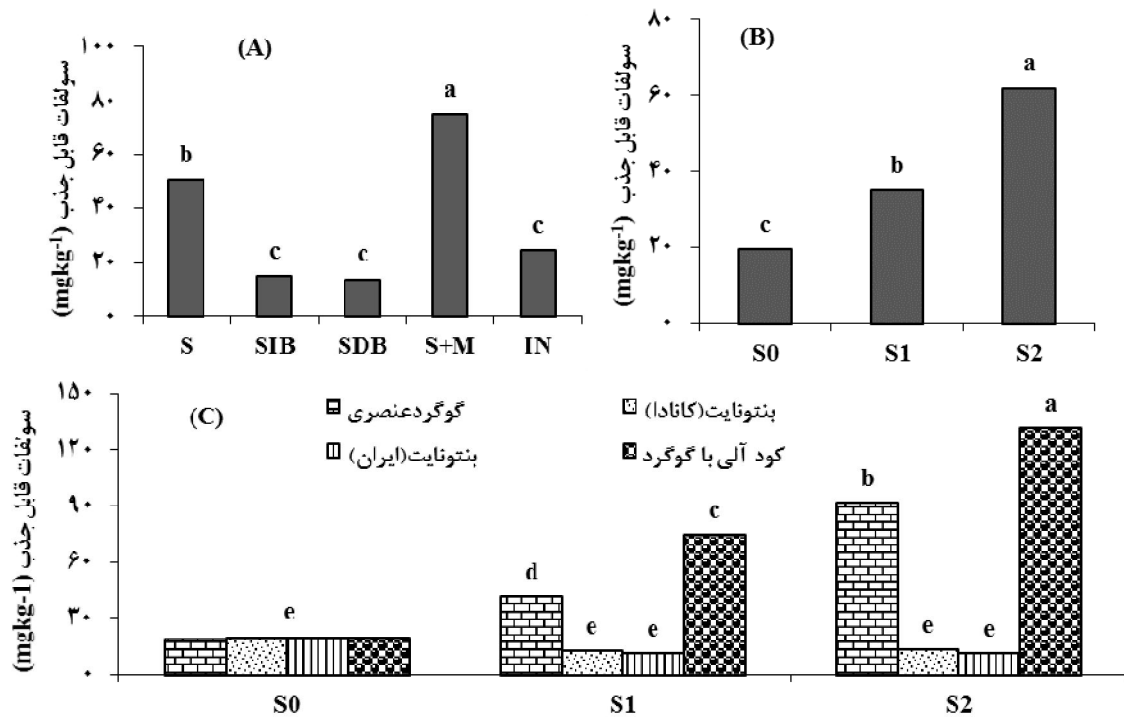
میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
سولفات قابل جذب	فسفر قابل جذب		
2106**	83/15**	4	نوع کود
5535**	24/58 <sup>ns</sup>	2	سطح کود
2700**	98/68**	8	کود در سطح
34	30/35	30	اشتباه

ns، \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد

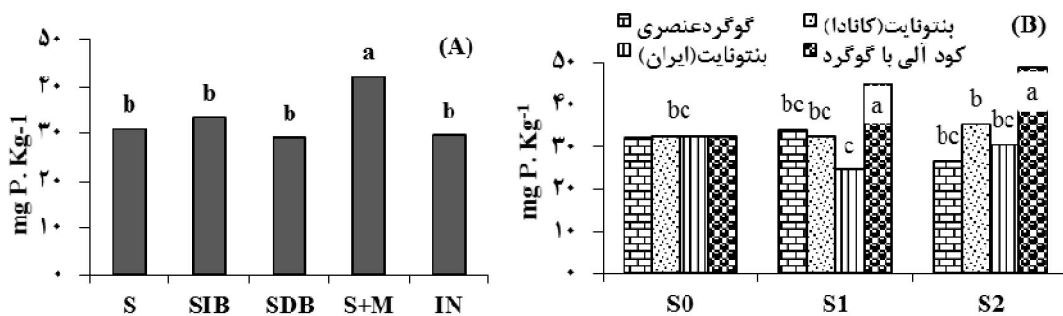
تیمارها (شکل B-2)، تنها تیمار S+M فسفر قابل جذب خاک را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری ( $P < 0.01$ ) افزایش داد. این نشان دهنده اثر مثبت کاربرد ماده آلی به همراه گوگرد عنصری در بهبود فراهمی عناصر غذایی به ویژه فسفر می‌باشد. کاربرد ترکیبات آلی منجر به کلات شدن کلسیم و افزایش فراهمی فسفر می‌شود (اودونگو و همکاران، 2007). اریا و همکاران (2010) با کاربرد گوگرد به همراه ورمی کمپوست و تلقیح باکتری تیوباسیلوس گزارش کردند فراهمی فسفر در خاک افزایش یافت. در مطالعه‌ای دیگر با کاربرد گوگرد عنصری و کمپوست فراهمی فسفر بهبود یافت (هاشمی مجد و همکاران، 2014). همچنین کاربرد گوگرد و کود گاوی به همراه تلقیح باکتری تیوباسیلوس باعث افزایش فسفر قابل جذب گردید (کریمی و همکاران، 2012). علاوه بر این، چند مطالعه دیگر نیز با کاربرد گوگرد عنصری و باکتری‌های اکسیدکننده در خاک‌های آهکی افزایش در فراهمی فسفر را گزارش کردند (بشارتی و همکاران، 2007؛ حیدرنژاد و همکاران، 2012).

#### اثر تیمارها بر فسفر قابل جذب خاک

نتایج تجزیه واریانس (جدول 3) نشان می‌دهد که اثر اصلی نوع کود گوگرد و اثر متقابل سطح کود در نوع کود بر فسفر قابل جذب خاک معنی‌دار ( $P < 0.01$ ) و اثر اصلی سطح کود غیر معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) است. همانطور که در شکل A-2 نشان داده شده، تیمار S+M در مقایسه با سایر تیمارها مقدار فسفر قابل جذب خاک را به طور قابل توجهی ( $P < 0.01$ ) افزایش داده است. حضور ماده آلی بر فراهمی فسفر در خاک افزوده است. از دلایل این امر می‌توان به تولید اسیدهای آلی، رقابت آنیون‌های آلی با فسفر برای مکان‌های جذب و کمپلکس کردن کاتیون‌های مسئول رسوب فسفر و در نتیجه کاهش ظرفیت تثبیت فسفر اشاره کرد (ایاموری و دیک، 1996). علاوه بر این، در هر سه تیمار S، SIB و SDB مقدار فسفر ورودی به خاک یکسان بوده است، اما در S+M ماده آلی نیز به عنوان منبعی از فسفر می‌باشد که پس از افزودن به خاک در اثر فعالیت میکروارگانیسم‌ها فسفر آن آزاد شده و در نتیجه موجب افزایش فراهمی فسفر در خاک شده است. در هر دو سطح کاربرد گوگرد (S1 و S2) در بین



شکل 1- مقایسه میانگین اثر اصلی نوع کود (A)، سطح کود (B) و اثر متقابل نوع کود در سطح کود (C) بر مقدار سولفات قابل جذب خاک بعد از دوره کشت. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی دار آماری ( $P < 0.01$ ) می باشد. S: گوگرد عنصری، SBI: گوگرد بنتونایتی تولید داخل، SDB: گوگرد بنتونایتی تولید خارج، S+M: گوگرد عنصری به همراه کود دامی و IN: شاهد و S0: سطح صفر گوگرد، S1: 25 میلی گرم در کیلوگرم گوگرد و S2: 50 میلی گرم در کیلوگرم گوگرد



شکل 2- مقایسه میانگین اثر اصلی نوع کود (A) و اثر متقابل نوع کود در سطح کود (B) بر مقدار فسفر قابل جذب خاک بعد از دوره کشت. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی دار آماری ( $P < 0.01$ ) می باشد. S: گوگرد عنصری، SBI: گوگرد بنتونایتی تولید داخل، SDB: گوگرد بنتونایتی تولید خارج، S+M: گوگرد عنصری به همراه کود دامی و IN: شاهد و S0: سطح صفر گوگرد، S1: 25 میلی گرم در کیلوگرم گوگرد و S2: 50 میلی گرم در کیلوگرم گوگرد

اثر تیمارها بر جذب گوگرد اندام هوایی ذرت

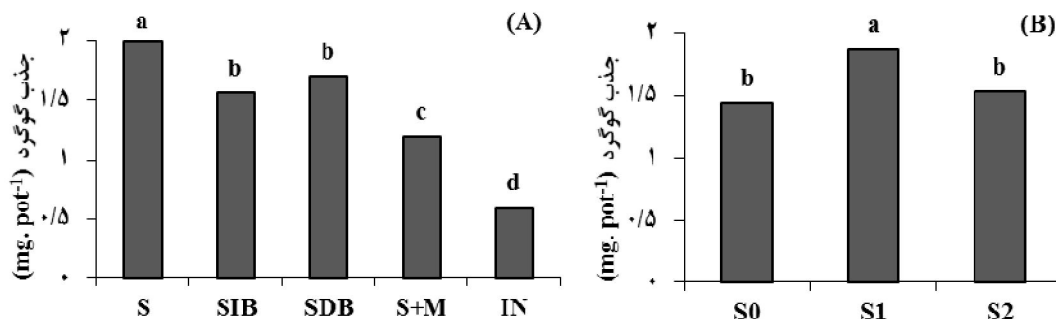
هر دو اثر اصلی سطح و نوع کود و اثر متقابل سطح در نوع کود (جدول 4) بر جذب گوگرد اندام هوایی ذرت معنی‌دار ( $P < 0.01$ ) است. همانطور که در شکل A-3 نشان داده شده است، همه تیمارها سبب افزایش معنی‌دار ( $P < 0.01$ ) جذب گوگرد توسط ذرت شدند. بیشترین مقدار جذب گوگرد توسط ذرت (1/99 میلی‌گرم در گلدان) در تیمار گوگرد عنصری و کمترین مقدار جذب گوگرد در ذرت (0/59 میلی‌گرم در گلدان) در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد (شکل A-3). به عبارت دیگر کاربرد این نوع کود گوگردی جذب گوگرد توسط اندام هوایی را به میزان 237/3 درصد نسبت به شاهد افزایش داده است. بین دو تیمار بتونایتی SIB و SDB تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در تیمار S+M نسبت به سایر تیمارهای کودی کمترین مقدار تأثیر در افزایش جذب گوگرد مشاهده شد (نسبت به شاهد 101/69 درصد افزایش در جذب گوگرد نشان داد). احتمالاً علت این مشاهده با میزان دسترسی و جمعیت میکروارگانسیم‌های خاک ارتباط دارد. به عبارتی اگرچه بیشترین مقدار سولفات قابل جذب در تیمار S+M مشاهده شد ولی ممکن است در نتیجه افزودن کود دامی و به دنبال آن افزایش جمعیت میکروارگانسیم‌ها بین ریشه گیاه و میکروارگانسیم‌ها برای

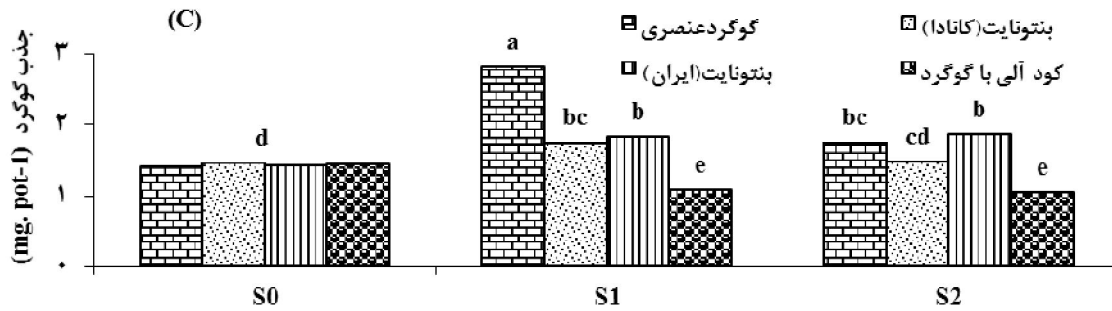
جذب گوگرد رقابت ایجاد شده و باعث کاهش جذب گوگرد شده است (وئو و همکاران، 1993). در مورد تثبیت میکروبی گوگرد قابل جذب در کوتاه مدت گزارشات دیگری نیز وجود دارد که وقوع این فرایند را پس از افزودن مواد آلی به خاک تأیید نموده اند (نیک نهاد و همکاران، 2012، وئو و همکاران، 1993). در بین سه سطح کاربرد گوگرد، سطح S1 بهترین اثر را در جذب گوگرد توسط ذرت داشت، در حالیکه سطح S2 با S0 تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل B-3). مؤثرترین تیمار در جذب گوگرد توسط ذرت تیمار گوگرد عنصری در سطح دوم کاربرد گوگرد بود (شکل C-3). در هر دو تیمار بتونایتی کم‌تر بودن حلالیت در مقایسه با گوگرد عنصری در کم‌تر بودن میزان گوگرد جذب شده در اندام هوایی ذرت پدیدار شده است. در تیمار S+M در دو سطح S1 و S2 در مقایسه با شاهد جذب گوگرد ذرت کمتر بود. این در حالی است که مطالعات متعدد با کاربرد گوگرد همراه با کود آلی افزایش در جذب گوگرد را گزارش کردند (کاپلان و اورمان، 1998؛ مایترا و همکاران، 2014). همانطور که قبلاً ذکر شد غیرمتحرک شدن میکروبی گوگرد به دنبال افزایش جمعیت میکروارگانسیم‌ها به علت حضور کود دامی احتمالاً دلیل کاهش جذب گوگرد در این تیمار در دو سطح S1 و S2 می‌باشد.

جدول 4- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر فسفر، گوگرد، شاخص سطح برگ، کلروفیل، ارتفاع، وزن خشک و وزن تر گیاه ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		فسفر	گوگرد	شاخص سطح برگ	کلروفیل	وزن خشک
نوع کود	4	0/0001**	0/866**	2847566**	80/51**	52/08**
سطح کود	2	0/000044 <sup>ns</sup>	0/61**	128533 <sup>ns</sup>	0/29 <sup>ns</sup>	0/69 <sup>ns</sup>
کود در سطح	8	0/000022 <sup>ns</sup>	0/46**	120563 <sup>ns</sup>	7/55 <sup>ns</sup>	0/79 <sup>ns</sup>
اشتباه	30	0/000027	0/024	118735	4/2	1/52

<sup>ns</sup> و \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد



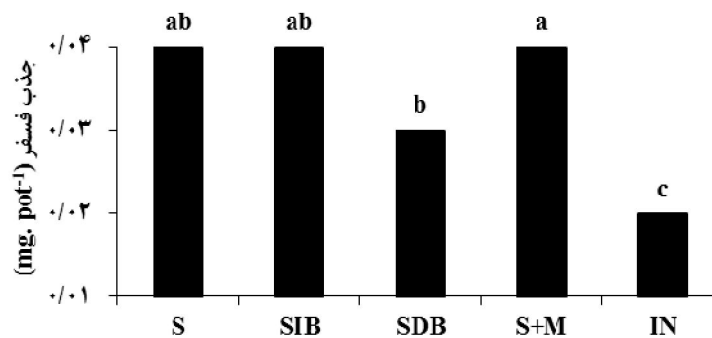


شکل 3- مقایسه میانگین اثر اصلی نوع کود (A)، سطح کود (B) و اثر متقابل نوع کود در سطح کود (C) بر مقدار جذب گوگرد اندام هوایی ذرت. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی دار آماری ( $P < 0.01$ ) می باشد. S: گوگرد عنصری، SBI: گوگرد بنتونایتی تولید داخل، SDB: گوگرد بنتونایتی تولید خارج، S+M: گوگرد عنصری به همراه کود دامی و IN: شاهد و S0: سطح صفر گوگرد، S1: 25 میلی گرم در کیلوگرم گوگرد و S2: 50 میلی گرم در کیلوگرم گوگرد

و همکاران (2012) با کاربرد گوگرد به تنهایی و همراه با ماده آلی افزایش معنی دار در جذب فسفر توسط درخت سیب در مقایسه با شاهد را گزارش کردند. به علاوه، این پژوهشگران بیان داشتند که کاربرد گوگرد به همراه ماده آلی در افزایش جذب فسفر مؤثرتر از کاربرد گوگرد به تنهایی بود. همچنین کریمی و همکاران (2012) با کاربرد گوگرد و کود گاوی در سطوح مختلف همراه با تلقیح باکتری تیوباسیلوس مشاهده کردند که کاربرد 3 تن گوگرد به همراه 50 تن در هکتار کود گاوی و تلقیح تیوباسیلوس بهترین اثر را در افزایش درصد فسفر برگ گیاه کلزا داشت. از طرف دیگر، توگی و همکاران (2008) با کاربرد گوگرد در سه سطح صفر، 50 و 100 کیلوگرم در هکتار در دو سال متوالی تفاوت معنی داری در جذب فسفر اندام هوایی خلر مشاهده نکردند.

#### اثر تیمارها بر جذب فسفر اندام هوایی ذرت

نتایج تجزیه واریانس نشان می دهد (جدول 4) که اثر اصلی نوع کود بر جذب فسفر اندام هوایی ذرت معنی دار ( $P < 0.01$ ) و اثر اصلی سطح کود و اثر متقابل سطح در نوع کود غیر معنی دار است. شکل 4 مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارها بر جذب فسفر توسط ذرت را نشان می دهد. با توجه به این شکل همه تیمارها جذب فسفر توسط ذرت را در مقایسه با شاهد به طور معنی داری ( $P < 0.01$ ) افزایش دادند. تیمار S+M نسبت به شاهد 79/16 درصد و نسبت به سایر تیمارها 30/3-7/5 درصد جذب فسفر ذرت را افزایش داده است. همچنانکه قبلاً اشاره شد، در تیمار S+M بیشترین فراهمی فسفر در خاک مشاهده شد (شکل B-2) که می تواند دلیل افزایش جذب فسفر در این تیمار باشد. در تایید این نتایج همتی



شکل 4- مقایسه میانگین اثر اصلی نوع کود بر مقدار جذب فسفر اندام هوایی ذرت. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی دار آماری ( $P < 0.01$ ) می باشد. S: گوگرد عنصری، SBI: گوگرد بنتونایتی تولید داخل، SDB: گوگرد بنتونایتی تولید خارج، S+M: گوگرد عنصری به همراه کود دامی و IN: شاهد



همچنین پژوهشگران گزارش کردند که عملکرد یونجه به بیش از دو برابر در تیمار گوگردی افزایش یافت (سورنسن و همکاران، 1968). بیشترین ارتفاع گیاه ذرت (76/27cm) در تیمار SID مشاهده شد که به طور قابل توجهی بالاتر از شاهد (58/17cm) بود (جدول 5). به طور مشابه، توگی و همکاران (2008) با کاربرد گوگرد در سه سطح صفر، 50 و 100 کیلوگرم در هکتار در دو سال متوالی مشاهده کردند که ارتفاع گیاه خلر در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت. شاخص سطح برگ ذرت نیز از 1530 در تیمار شاهد به 3516/8، 3750/3، 3732 و 3784/2 به ترتیب در تیمارهای S+M، SBD، SID و S+M به طور معنی‌دار ( $P<0.01$ ) افزایش پیدا کرد (جدول 5). در تایید این نتایج، اصفهانی و همکاران (1388) بیان داشتند که کاربرد گوگرد به طور قابل توجه باعث افزایش برخی صفات مهم فیزیولوژیکی مثل شاخص سطح برگ در گیاه بادام زمینی شد. تیمار SBD بطور چشمگیری مقدار کلروفیل در گیاه ذرت را از 21/23 در شاهد به 34/13 افزایش داد (جدول 5). گوگرد جزئی از آمینواسیدهای سیستئین و متیونین و بخشی از پروتئین‌ها است که نقش مهمی در سنتز کلروفیل بازی می‌کند (کاسار و کانتکات، 2007). مطالعات متعدد با کاربرد گوگرد افزایش در مقدار کلروفیل را گزارش کردند (کاپلان و اورمان، 1998؛ اردال و همکاران، 2006؛ همتی و همکاران، 2012).

### اثر تیمارها بر وزن ماده خشک، ارتفاع، شاخص سطح برگ و مقدار کلروفیل ذرت

اثر اصلی نوع کود بر وزن ماده خشک، ارتفاع، شاخص سطح برگ و مقدار کلروفیل ذرت معنی‌دار ( $P<0.01$ ) و اثر اصلی سطح کود و اثر متقابل سطح در نوع کود غیر معنی‌دار است (جدول 4). جدول 5 مقایسه میانگین اثر اصلی نوع کود گوگردی بر صفات ذکر شده را نشان می‌دهد. همه تیمارهای کودی در مقایسه با شاهد وزن ماده خشک، ارتفاع، شاخص سطح برگ و مقدار کلروفیل ذرت را به طور معنی‌داری ( $P<0.01$ ) افزایش دادند (جدول 5). در بین تیمارهایی که گوگرد استفاده شد، در افزایش وزن ماده خشک، ارتفاع، شاخص سطح برگ و مقدار کلروفیل از نظر مقداری اندکی تفاوت مشاهده شد ولی اختلاف معنی‌دار ( $P<0.05$ ) نبود. احتمالاً فراهمی مناسب سایر عناصر غذای در تیمارهای کودی موجب شده که در صفات ذکر شده تفاوت معنی‌داری ظاهر نشود. به طور مثال وزن ماده خشک ذرت از 7/23 گرم بر گلدان در تیمار شاهد به 16/37، 17/07، 16/53 و 16/1 گرم بر گلدان به ترتیب در تیمارهای S+M، SBD، SID و S+M افزایش معنی‌دار ( $P<0.01$ ) نشان داد (جدول 5). چقازردی و همکاران (1392) گزارش کردند که کاربرد 750 کیلوگرم گوگرد به همراه 8 یا 12 تن کود دامی در هکتار باعث بیشترین میانگین برای عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت شد. در مطالعه ادهیکاری و پانندی (2007) نیز حداکثر میزان تولید ذرت علوفه‌ای با مصرف مقادیر متوسط گوگرد و کم کود دامی بدست آمد.

جدول 5- مقایسه میانگین اثر اصلی نوع کود گوگردی بر برخی صفات ذرت

صفت	میانگین تیمار				
	S	SBD	SID	S+M	IN
وزن ماده خشک (g)	16/37 <sup>a</sup>	17/07 <sup>a</sup>	16/53 <sup>a</sup>	16/1 <sup>a</sup>	7/23 <sup>b</sup>
ارتفاع گیاه	74/13 <sup>a</sup>	74/17 <sup>a</sup>	76/27 <sup>a</sup>	69/77 <sup>a</sup>	58/17 <sup>b</sup>
شاخص سطح برگ	3516/8 <sup>a</sup>	3750/3 <sup>a</sup>	3732 <sup>a</sup>	3784/2 <sup>a</sup>	1530 <sup>b</sup>
کلروفیل	32/4 <sup>a</sup>	34/13 <sup>a</sup>	32/3 <sup>a</sup>	31/73 <sup>a</sup>	21/23 <sup>b</sup>

در هر ردیف حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار آماری ( $P<0.05$ ) می‌باشد. S: گوگرد عنصری، SBI: گوگرد بنتونایتی تولید داخل، SDB: گوگرد بنتونایتی تولید خارج، S+M: گوگرد عنصری به همراه کود دامی و IN: شاهد

اندازه‌گیری نشده است اما با توجه به اطلاعات بدست آمده استفاده از گوگرد عنصری به تنهایی و یا همراه با کود دامی بیشترین تأثیر را در افزایش گوگرد قابل جذب در خاک داشته و البته کاربرد توأم گوگرد عنصری و کود دامی در این آزمایش در افزایش فسفر قابل جذب مؤثرتر

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان دهنده تأثیر کاربرد گوگرد کشاورزی در خاک‌های آهکی بود. اگر چه شاخص‌های بیولوژیکی مورد نیاز برای تأیید روند اکسیداسیون گوگرد

واقع شد. این امر می‌تواند به دلیل تسریع در فرایندهای بیولوژیکی در خاک بوده باشد. نسبت کربن به گوگرد در ماده آلی و زمان، تعیین کننده میزان آزاد سازی گوگرد از ترکیبات آلی است که در این پژوهش امکان بررسی این موضوع وجود نداشت اما در سایر منابع، معدنی شدن و به دنبال آن تثبیت گوگرد را در محدوده زمانی مشابه با زمان این آزمایش گزارش نموده‌اند.

منابع گوگرد بتونایتی مورد استفاده چه از منبع داخلی و یا خارجی احتمالاً به دلیل وجود پوشش مقاوم و سرعت کند رهاسازی گوگرد تأثیر معنی دار بر گوگرد قابل جذب نشان ندادند. نتایج تجزیه گیاه نیز نشان داد که افزایش غلظت گوگرد در تیمار گوگرد عنصری نسبت به سایر تیمارها بیشتر بوده و دو کود گوگرد بتونایتی داخلی و خارجی با هم اختلاف معنی دار نداشته‌اند. منابع مختلف گوگرد به تنهایی و در ترکیب با ماده آلی به همراه تلقیح باکتری تیوباسیلوس کاهش معنی دار در pH خاک‌ها در پایان دوره کشت گیاه ذرت ایجاد نکرد. یکی از دلایل آن وجود آهک در خاک است که سبب بافر کردن خاک در

برابر تغییر pH شده است. کاربرد گوگرد همراه با کود دامی در خاک در مقایسه با گوگرد عنصری و گوگرد بتونایتی در افزایش میزان فسفر قابل دسترس در خاک و همچنین افزایش جذب فسفر در ذرت مؤثرتر بود. همه‌ی منابع گوگردی مورد استفاده در مقایسه با شاهد سبب افزایش عملکرد اندام هوایی و خصوصیات رشدی ذرت از جمله، ارتفاع، شاخص سطح برگ، و مقدار کلروفیل شدند.

از آنجایی که بخش قابل توجهی از خاک‌های ایران آهکی بوده و سالانه در حدود چند میلیون تن گوگرد در صنایع نفت و گاز کشور تولید می‌شود و بخش اعظمی از آن بدون استفاده می‌ماند، لذا استفاده از گوگرد عنصری به همراه ماده آلی می‌تواند راهکار مناسبی در بهبود حاصلخیزی خاک‌ها و افزایش کمی و کیفی عملکرد محصولات باشد. در رابطه با کودهای گوگردی پوشش‌دار نیز لازم است تحقیقات جامع تری با هدف ارزیابی عملکرد آنها در خاک‌های آهکی انجام شود.

### فهرست منابع:

1. امیر مکرری، ه و ملکوتی، م. ج. 1384. نگاهی به صنعت تولید و مصرف گوگرد در کشور. نشریه فنی شماره 450. موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
2. احیایی، م و بهبهانی‌زاده، ع. ا. 1370. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. نشریه فنی شماره 983. موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
3. اصفهانی، م.، حسین زاده گشتی، ع.، اصغری، ج.، صفرزاده ویشکایی، م و ربیعی، ب. 1388. تأثیر مصرف کودهای گوگرددار بر شاخص‌های رشد و عملکرد بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L) مجله علوم آب و خاک، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 13(48): 27-41.
4. بشارتی، ح. 1377. بررسی اثرات کاربرد گوگرد همراه با گونه‌های تیوباسیلوس در افزایش قابلیت جذب برخی از عناصر غذایی خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
5. چقازردی، ح. ر.، محمدی، غ. ر.، و بهشتی آل آقا، ع. 1392. ارزیابی اثر گوگرد و کود دامی بر خصوصیات رشد گیاه ذرت سینگل کراس (704) و اسیدپته خاک. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. 11(1): 162-170.
6. سمر، س. م و شهابیان، م. 1382. اثر غنی سازی کود آلی با گوگرد و سولفات آهن بر افزایش قابلیت جذب آهن در یک خاک آهکی. سمینار ملی تولید و مصرف گوگرد، شرکت ملی گاز ایران. مشهد، ایران.
7. صیامی، آ.، بشارتی، ح و گلچین، ا. (1386). بررسی روند اکسیداسیون گوگرد و ارتباط آن با آزاد شدن آهن و روی در خاک‌های آهکی. دهمین کنگره علوم خاک، کرج.

8. کریمی نیا، آ و شعبانپور شهرستانی، م. 1382. ارزیابی توان اکسایش گوگرد توسط میکروارگانیزم‌های هتروتروف در خاک‌های مختلف. مجله علوم خاک و آب. 17(1): 68-79.

9. ملکوتی، م. ج و همایی، م. 1383. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک مشکلات و راه حل‌ها. چاپ دوم با بازنگری کامل. دانشگاه تربیت مدرس.

10. Abdo, A., Moussa, K. F., Sheha, A. A., & El Bary, S. A. 2010. Effect of sulfur and organic manure application on wheat plant cultivated in sandy soil. *Zagazig J. Agric. Res.* 37(5): 1145-1159.
11. Adhikary, B. H., & Pandey, B. R. J. 2007. Response of sulphur on maize (*Zea mays L.*) production in acid soils of Rampur, Chitwan. *J. Inst. Agric. Animal. Sci.* 28: 49-55.
12. Agrifacts. 2003. Sulfate- VS. Elemental sulfur Part II: Characteristics of S oxidation  $SO_4$ . *J. Food. Engin.* 68: 463-469.
13. Aria, M. M., Lakzian, A., Haghnia, G. H., Berenji, A. R., Besharati, H., & Fotovat, A. 2010. Effect of Thiobacillus, sulfur, and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. *Biores. Technol.* 101(2): 551-554.
14. Besharati, H., Atashnama, K., & Hatami, S. 2007. Biosuper as a phosphate fertilizer in a calcareous soil with low available phosphorus. *Afr. J. Biotechnol.* 6(11): 13-25-1329.
15. Cifuentes, F. R., & Lindemann, W. C. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57(3): 727-731.
16. Cottenie A.M., Verloo L., Kiekens G.V & Camerlynch R. 1982. *Laboratory Annual Agrochemical*, State University Ghent, Belgium, 63.
17. Eghball, B. 2002. Soil properties as influenced by phosphorus-and nitrogen-based manure and compost applications. *Agron J.* 94(1): 128-135.
18. Erdal, I., & Tarakcioglu, C. 2000. Effect of different organic materials on growth and mineral composition of maize (*Zea mays L.*). *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(2): 80-85.
19. Erdal, I., Kepenek, K., & Kizilgöz, I. 2006. Effect of elemental sulphur and sulphur containing waste on the iron nutrition of strawberry plants grown in a calcareous soil. *Biol. Agric. Hort.* 23(3): 263-272.
20. Hashemimajid, K., Farani, T. M., & Jamaati-e-Somarin, S. 2014. Effect of elemental sulphur and compost on pH, electrical conductivity and phosphorus availability of one clay soil. *Afr. J. Biotechnol.* 11(6): 1425-1432.
21. Hassan, N., & Olson, R. A. 1966. Influence of applied sulfur on availability of soil nutrients for corn (*Zea mays L.*) nutrition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 30(2): 284-286.
22. Havlin, J.L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J.D. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management*. Prentice Hall; 7 ed., 499.
23. Hemmaty, S., Dilmaghani, M. R., & Naseri, L. 2012. Effects of Sulfur Application on Soil pH and Uptake of Phosphorus, Iron and Zinc in Apple Trees. *J. Plant Physiol. Breeding.* 2(1): 1-10.

24. Heydarnezhad, F., Shahinroksar, P., & Shokri, V. H. 2012. Influence of elemental sulfur and sulfur oxidizing bacteria on some nutrient deficiency in calcareous soils. *Intl J Agri Crop Sci.* 4(12): 735-739.
25. Hilal, M. H., & Abd-Elfattah, A. 1987. Effect of CaCO<sub>3</sub> and clay content of alkaline soils on their response to added sulphur. *Sulphur in agriculture (USA)*.11:15-17.
26. Hitsuda, K., Yamada, M., & Klepker, D. 2005. Sulfur requirement of eight crops at early stages of growth. *Agron J.* 97(1): 155-159.
27. Isuwan, A., Saelim, J., & Poathong, S. 2007. Effects of levels of sulfur fertilizer on growth of *Digitaria eriantha* grass. *Silpakorn University Sci. Technol. J.* 1(2): 13-19.
28. Iyamuremye, F., & Dick, R. P. 1996. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. *Adv. Agron.* 56: 139-185.
29. Janzen, H. H., & Bettany, J. R. 1987. The effect of temperature and water potential on sulfur oxidation in soils. *Soil sci.* 144(2): 81-89.
30. Kacar, B., and Katkat, A.V. 2007. *Plant Nutrition*. 3th Edn. Nobel Press; Ankara, Turkey.
31. Kalbas, M., Filsoof, F., & Rezai-Nejad, Y. 1988. Effect of sulfur treatments on yield and uptake of Fe, Zn, and Mn by corn, sorghum, and soybeans. *J Plant. Nutr.* 11(6-11): 1353-1360.
32. Kaplan, M., & Orman, Ş. 1998. Effect of elemental sulphur and sulphur containing waste in a calcareous soil in Turkey. *J Plant. Nutr.* 21(8): 1655-1665.
33. Karimi, F., Bahmanyar, M. A., & Shahabi, M. 2012. Investigation the effects of sulfur and cattle manure application on macronutrient availability in calcareous soil and accumulation in leaf and seed of canola. *Eur. J. Exp. Biol.* 2(3): 836-842.
34. Maitra, D. N., Majumdar, B., Saha, A. R., Sarkar, S., & Maji, B. 2014. Effect of organic manure, sulfur and zinc on fiber yield, nutrient uptake by flax and residual fertility status in gangetic alluvial soils of West Bengal. *Environ. Ecol.* 32(4B): 1753-1758.
35. Modaihsh, A. S., Al-Mustafa, W. A., & Metwally, A. I. 1989. Effect of elemental sulphur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. *Plant. Soil.* 116(1): 95-101.
36. Nelson R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In: Page A.L., Miller R.H., Keeney D.R. (eds): *Methods of Soil Analysis*. Am. Soc. Agron. Madison. pp. 181-197.
37. Niknahad-Gharmakher, H., Piutti, S., Mchet, J. 2012. Mineralization-immobilization of sulfur in a soil during decomposition of plant residues of varied chemical composition and S content. *Plant Soil* 360(1): 391-404.
38. Odongo, N. E., Hyoungho, K., Choi, H. C., Van Straaten, P., McBride, B. W., & Romney, D. L. 2007. Improving rock phosphate availability through feeding, mixing and processing with composting manure. *Biores. Technol.* 98(15): 2911-2918.
39. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. In Klute, A. (ed.), *Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and microbiological Methods*. Am. Soc. Agron. Madison, WI, USA, pp. 403-430.
40. Rhoades, J. D. 1982. Soluble salts. In: Page AL, Miller RH, KeeneyDR (eds) *Methods of soil analysis. Part 2, 2nd eds. Chemical and Microbiological properties, agronomy*

- monograph 9. America Society of Agronomy, Inc. Soil Sci. Soc. Am, Inc. Publisher Madison, Wisconsin USA, pp. 167-179.
41. Rupela, O. P., & Tauro, P. 1973. Isolation and characterization of Thiobacillus from alkali soils. *Soil Biol. Biochem.* 5(6): 891-897.
  42. Sheldrick, B. H. & C. wang. 1993. Soil Sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis publishers. Particle size distribution. P.499-511. In: Carter, M. R. (Ed.). 1993. Soil sampling and methods of analysis. CRC Press.
  43. Solberg, E. D., Nyborg, M., Laverty, D. H., & Malhi, S. S. 1982. Oxidation of elemental sulphur used as a fertilizer. In Proc. 19th Ann. Alberta Soil Sci. Workshop Edmonton, pp. 241-252.
  44. Sorensen, R. C., Penas, E. J., & Alexander, U. U. 1968. Sulfur content and yield of alfalfa in relation to plant nitrogen and sulfur fertilization. *Agron J.* 60(1): 20-23.
  45. Tabatabai, M. A. "Sulfur." *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties Methods of Soil An.2* (1982): 501-538.
  46. Tabatabai, M.A. 1994. Sulfur oxidation and reduction in soils. In: Weaver, et al. (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties.* America Society of Agronomy, Inc. Soil Sci. Soc. Am, Inc. Publisher Madison, Wisconsin USA, pp. 1068-1076.
  47. Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Beaton, J. D., & Havlin, J. L. 1993. Soil and fertilizer nitrogen. *Soil fertility and fertilizers*, 4: 112-183.
  48. Togay, N., Togay, Y., Cimrin, K. M., & Turan, M. 2008. Effects of rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus applications on yield, yield components and nutrient uptakes in chickpea (*Cicer arietinum L.*). *Afr J. Biotechnol.* 7(6): 776-782.
  49. Wu, J., O'Donnell, A. G., & Syers, J. K. 1993. Microbial growth and sulphur immobilization following the incorporation of plant residues into soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 25(11), 1567-1573.

## Effects of Elemental and Bentonite Sulfur on Sulfur and Phosphorus Availability in Calcareous Soil and Corn Growth Characteristics

H. Mirseyed Hosseini<sup>1</sup>, A. Fathi Gerdelidani, M. Jabalameli

Associate Professor, Tehran University; E-mail: [mirseyed@ut.ac.ir](mailto:mirseyed@ut.ac.ir)

M.Sc Graduate, Tehran University; E-mail: [arzhangfathi@ut.ac.ir](mailto:arzhangfathi@ut.ac.ir)

M.Sc Graduate, Tehran University; E-mail: [mjabalameli73@gmail.com](mailto:mjabalameli73@gmail.com)

Received: September, 2015 & Accepted: December, 2015

### Abstract

To evaluate the effect of different sources of sulfur and manure inoculated with *Thiobacillus* on sulfur and phosphorus availability in the soil and corn grown in a calcareous soil, a greenhouse experiment was conducted based on randomized complete block design with 3 replications. The treatments included S (elemental sulfur), SIB (domestic bentonite sulfur), SDB (foreign bentonite sulfur), S+M (elemental sulfur+manure) and IN (control) at 3 levels of fertilizer, i.e. S0, S1 and S2 (0, 25 and 50 mg S .kg<sup>-1</sup> soil), respectively. After imposing the treatments, corn seeds were planted and harvested after 8 weeks. The results showed that S+M and S treatments significantly increased soil sulfate and phosphorus availability compared to the control. The main effect of all treatments increased corn plant yield and sulfur uptake as well as phosphorus, chlorophyll content, and leaf area index compared to the control. The results showed that the use of sulfur along with an organic matter source in the calcareous soil sample used in the experiment significantly ( $P<0.01$ ) increased the availability of soil phosphorus and sulfur, and improved growth of corn.

**Keywords:** Manure, Corn yield, Organic matter, Chlorophyll

---

<sup>1</sup> Corresponding author: Soil Science Department , Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University, Karaj.