پژوهش در علوم باغبانی
Journal of Reserch in Horticultural Science
جلد۲، شماره۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۲ (ص۲۶۴-۲۵۳)
Vol. 2, No.2 Autumn and Winter 2023-2024 (253-264)
تارنمای مجله: https://rhsj.areeo.ac.ir
مقاله علمی پژوهشی
10.22092/rhsj.2024.360542.1033

بررسی اثرات کاربرد خاکی گوگرد معدن زرکوه بر کاهش شوری و ویژگی‌های رویشی و عملکرد درختان پسته

مژده حیدری[1*]، علی اسماعیل پور[2]، سید جواد حسینی فرد[3]، مریم افروشه[4] و محسن اسلامی[5]

۱و۳و۵- به ترتیب کارشناس ارشد، دانشیار و مربی، پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران

۲و۴- استادیار، پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۹

چکیده

هدف این بررسی، ارزیابی تأثیر گوگرد معدنی بر رشد و عملکرد درختان پسته بود. برای انجام این پژوهش، گوگرد معدنی در دو نوبت به باغ‌های پسته منطقه نوق شهرستان رفسنجان اضافه شد. نوبت اول، در زمستان در تیمارهای ۰، ۱۵۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار با و بدون کود حیوانی به باغ مورد نظر داده شد. نوبت دوم اردیبهشت سال بعد بود که این گوگرد در تیمارهای ۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با آب آبیاری به باغ اضافه گردید. به تمامی تیمارهای نوبت دوم، در زمستان کود حیوانی داده شده بود. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۱ تیمار و سه تکرار در سال ۹۹- ۹۸ اجرا شد. شاخص‌های مورد بررسی شامل خصوصیات شیمیایی خاک، غلظت عناصر غذایی برگ و عملکرد درختان پسته بود. نتایج نشان داد، بین فاکتورهای اندازه گیری شده خاک، شوری، نسبت جذب سدیم، فسفر و پتاسیم در عمق‌های ۴۰-۰، ۸۰-۴۰ و ۱۲۰-۸۰ سانتی متر اختلاف معنی‌دار وجود داشت. تاثیر گوگرد تأثیر بر عملکرد محصول، مثبت بود و بیشترین عملکرد محصول روی سرشاخه به ترتیب ۷۶۱، ۷۰۲ و ۶۱۰ گرم بر شاخه در تیمارهای ۱۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در نوبت اردیبهشت ماه مشاهده شد که در مقایسه با شاهد معنی دار بود. به طور کلی می توان نتیجه گیری کرد که کاربرد گوگرد معدنی به همراه کود حیوانی در بهبود خصوصیات مورد بررسی، تأثیر مثبت داشت و بهترین تیمار مربوط به کاربرد ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در اردیبهشت ماه بود که همراه با آب آبیاری به خاک اضافه شد.

واژگان کلیدی: پسته، شوری، عملکرد، گوگرد معدنی

Investigating the effects of soil application of the mineral sulfur on salinity reduction and vegetative characteristics and yield of pistachio trees

M. Heidari[1*], A. Esmaeilpoor[2], S. J. Hosseinifard[3], M. Afrousheh[4], M. Eslami[5]

1,3and5. MSC, Associate Professor and Instructor, Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran

2and4. Assistant Professor, Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran

Received :November 2022 Accepted:February 2023

Abstract

The aim of this project was to evaluate the effect of mine sulfur on soil properties and improve the yield characteristics of pistachio trees. For this research, mine sulfur was added to pistachio orchards in Nogh city, Rafsanjan, Iran. The first time, mine sulfur was applied to the orchard in winter in treatments of 0, 1500, 3000, and 4500 kg/ha with and without animal manure. The second time was in May of the following year when this sulfur was added to the orchard in 0, 500, 1000, and 1500 kg/ha treatments along with irrigation water. All second treatments were fertilized in winter. This experiment was performed in a randomized complete block design with 11 treatments and three replications. The studied indices included soil chemical properties, leaf nutrient concentrations and yield traits of pistachio trees. The results showed that there was a significant difference between the measured soil factors, EC, SAR, P and K at depths of 0-40, 40-40, and 80-120 cm. The addition of mine sulfur from 3000 and 4500 kg/ha in February along with animal manure and 500 and 1000 kg/ha in May caused a significant reduction in soil electrical conductivity at different depths.The effect of mine sulfur on yield was positive and the highest yield was observed on the top branch is 761, 702 and 610 grams per branch respectively in 1500, 1000, and 500 kg/ha in May, which was significant in comparison with the control. In general, it can be concluded that the application of mine sulfur (sample used in this study) along with animal manure had a positive effect on improving the studied properties and the best treatment related to the application of 1500 kg/ha of mine sulfur in May that was added to the soil along with irrigation water.

Keywords: Pistachio, Salinity, Yield, mine sulfur.

*نویسنده مسئول: mojdehheidari@gmail.com

۱- مقدمه

اثرات مضر شوری بر رشد گیاه از دو جنبه افزایش فشار اسمزی در نتیجه کاهش آب قابل دسترس و مسمومیت عناصر موجود اهمیت دارد (قدیر و اوستر، ۲۰۰۴). این در حالی‌است که خاک‌های سدیمی با تخریب ساختمان خاک از طریق فرایندهایی از جمله انبساط و پراکنده شدن رس‌ها مواجه می‌باشند (کوئیرک، ۲۰۰۱). انبساط، مسدود شدن منافذ درشت و کاهش شدید و غیرقابل بازگشت هدایت آبی از تبعات سدیمی شدن خاک است (هالیول و همکاران، ۲۰۰۱; وان درزی و همکاران، ۲۰۱۴). در چنین شرایطی نفوذ آب و هوا به داخل خاک، ظرفیت نگهداری آب قابل دسترس گیاه، نفوذ ریشه، جوانه زنی بذر، شخم، عملیات کشت و کار، رواناب و فرسایش تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به علاوه عدم تعادل مواد غذایی قابل دسترس گیاه در خاک‌های تحت تأثیر نمک، رشد و عملکرد گیاهان را محدود می‌نماید (قدیر و شابرت، ۲۰۰۲). بنابراین در چنین شرایطی، بهبود شرایط خاک و ایجاد تعادل در مواد غذایی مورد نیاز گیاهان، برای حاصلخیزی خاک و تولیدات زراعی و باغی حائز اهمیت می‌باشد.

گوگرد عنصری است که به فراوانی در طبیعت وجود دارد. گوگرد علاوه بر منبع کود، به عنوان اصلاح کننده pH خاک نیز مطرح است (میرسیدحسینی و همکاران، ۱۳۹۶; اسکویرسکا و همکاران، ۲۰۱۲; لوپز ماسکارا و همکاران، ۲۰۱۵). در خاک‌های محتوی کربنات کلسیم و خاک‌های قلیایی، برای تعدیل واکنش خاک(pH)، از گوگرد یا اسیدسولفوریک استفاده می‌شود. امروزه به دلیل قیمت بالا و اثرات مخرب مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی بر محیط زیست و کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی، استفاده از گوگرد به عنوان یک عنصر غذایی ضروری با خاصیت اصلاح‌کنندگی خاک برای تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد توجه زیادی قرار گرفته است. به‌طور کلی می‌توان گفت که افزودن گوگرد به خاک به‌منظور تأمین نیاز گیاه به این عنصر یا اصلاح و بهبود وضعیت تغذیه گیاه، وقتی مؤثر خواهد بود که میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک در شرایط ایده‌ال باشد. از آن جا که اکسیداسیون شیمیایی گوگرد بسیار کند بوده و قسمت اعظم گوگرد موجود در خاک توسط میکروارگانیسم‌ها اکسید می‌شود، از این رو هر عاملی که بتواند رشد و نمو و فعالیت میکروارگانیسم‌های اکسید کنندهٔ گوگرد را تحت تأثیر قرار دهد، بر میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک نیز تاثیر خواهد گذاشت.

هدف از این پروژه بررسی اثرات گوگرد معدنی بر کاهش شوری خاک و افزایش عملکرد و بهبود خواص رویشی و زایشی گیاه پسته می باشد.

۲- مواد و روش ها

این تحقیق در یک باغ پسته در شهرستان رفسنجان و دهستان نوق با دور آبیاری ۲۰ روزه و شوری آب ۷/۳ dS/m، درختان ۱۶ساله و رقم احمدآقایی و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۸ تیمار و ۳ تکرار اجرا شد (شکل ۱). هر تیمار شامل سه ردیف و هر ردیف از ۱۴ درخت تشکیل شده بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در باغ محل اجرای پروژه در جدول ۱ آورده شده است. در این بررسی گوگرد معدنی (با نام تجاری زرکوه) در دو نوبت به خاک داده شد (جدول ۲). کود حیوانی داده شده شامل کود گاوی، مرغی و گوسفندی به نسبت مساوی و اعمال تیمارها با کود حیوانی به‌صورت چالکود بود.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در باغ محل اجرای پروژه قبل از اعمال تیمارها

عمق (cm)	هدایت الکتریکی (dSm^{-1})	واکنش گل اشباع pH	نسبت جذب سدیم SAR	پتاسیم قابل جذب (mg/Kg)	فسفر قابل جذب (mg/Kg)	کلسیم (meq/L)	منیزیم (meq/L)	سدیم (meq/L)	رس %	سیلت %	شن %	آهک %	گچ %
۰-۴۰	۱۲/۳	۷/۵	۱۱/۸	۲۸۰	۴/۱۸	۴۱/۰	۱۸/۰	۳۴/۰	۱۱	۳۴	۵۵	۲۰/۵	۲/۷۵
۴۰-۸۰	۱۷/۷	۷/۶	۱۴/۳	۲۲۷	۳/۹۴	۴۹/۴	۳۴/۴	۹۲/۹	۷	۲۴	۶۹	۲۱/۵	۲/۹۲
۸۰-۱۲۰	۱۸/۹	۷/۶	۱۴/۲	۱۹۷	۷/۲۱	۷۱/۴	۲۱/۴	۹۶/۵	۱۳	۱۶	۷۱	۲۲/۰	۲/۸۹

جدول ۲-نتیجه آزمایش گوگرد معدنی در آزمایشگاه یوبان واقع در پژوهشکده پسته

مشخصات نمونه	هدایت الکتریکی ۱-dSm EC (۱/۱۰)	واکنش گل اشباع pH (۱/۱۰)	درصد ماده آلی (%)	درصد گچ (%)	درصد مواد خنثی شونده (%)	نیتروژن (%)	پتاسیم قابل جذب (mg/Kg)	فسفر قابل جذب (mg/Kg)	سولفات محلول (۱/۱۰) (meq/L)	کلسیم محلول (۱/۱۰) (meq/L)	منیزیم محلول (۱/۱۰) (meq/L)	سدیم محلول (۱/۱۰) (meq/L)	حلالیت (۱/۱۰) (%)
گوگرد معدنی (نام تجاری زرکوه) ۸۰-۱۲۰	۲/۳۷	۷/۳۶	۳/۳	۳۴/۴	۴۷/۰	۰/۴	۱۳۴	۲/۱	۲/۶	۰/۷	۰/۲	۴/۵	۰/۸۹

نوبت اول زمستان (اوایل بهمن ماه) بود که گوگرد در سطح خاک اطراف درختان پاشیده شد و بعد از آن آبیاری گردید (شکل ۲).

تیمارهای اعمال شده در زمستان به‌صورت زیر می‌باشد:

T1: شاهد (بدون کود حیوانی و بدون گوگرد معدنی)

T2: گوگرد معدنی ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بدون کود حیوانی

T3: گوگرد معدنی ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بدون کود حیوانی

T4: گوگرد معدنی ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بدون کود حیوانی

T5: شاهد (کود حیوانی ۲۰ تن در هکتار بدون گوگرد معدنی)

T6: کود حیوانی ۲۰ تن در هکتار + گوگرد معدنی ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار

T7: کود حیوانی ۲۰ تن در هکتار + گوگرد معدنی ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار

T8: کود حیوانی ۲۰ تن در هکتار + گوگرد معدنی ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار

نوع کود حیوانی مورد استفاده گاوی و روش استفاده چالکود بود.

نوبت دوم اردیبهشت ماه بود که در تانکر حل و همراه با آب آبیاری به باغ داده شد و شامل تیمارهای زیر است:

T9: کود حیوانی ۲۰ تن در هکتار (در زمستان) + گوگرد معدنی ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار

T10: کود حیوانی ۲۰ تن در هکتار (در زمستان) + گوگرد معدنی ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار

T11: کود حیوانی ۲۰ تن در هکتار (در زمستان) + گوگرد معدنی ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار

قبل از اعمال تیمارها نمونه برداری از خاک باغ انتخابی از عمق های مختلف ۴۰-۰، ۸۰-۴۰ و ۱۲۰-۸۰ گرفته شد (جدول ۱). همچنین بعد از اعمال تیمارها در اواخر آبان سال بعد، جهت بررسی اثرات تیمارها از سایه‌انداز درختان و بیرون چالکود و از عمق‌های ۴۰-۰، ۸۰-۴۰ و ۱۲۰-۸۰ و تیمارهای مختلف نمونه خاک گرفته شد و برای اندازه گیری pH، EC، فسفر،

پتاسیم، آنیون‌ها و کاتیون‌ها، درصد آهک، درصد گچ و بافت به آزمایشگاه ارسال گردید. به منظور بررسی غلظت عناصر برگ، در زمان نمونه برداری برگ (اواخر تیرماه تا اواسط مردادماه) نمونه برگ سالم از شاخه های بدون بار گرفته شد و به آزمایشگاه برای اندازه گیری غلظت عناصر ازت، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، گوگرد، سدیم، آهن، روی، منگنز، مس و بُر فرستاده شد.

جهت بررسی خصوصیات رویشی و زایشی درختان در تیمارهای مختلف از هر تیمار پنج درخت انتخاب شد و روی هر درخت در چهار جهت اصلی جغرافیایی چهار شاخه اتیکت‌گذاری گردید.

عملکرد میوه تازه و خشک در سرشاخه پس از برداشت و پس از فرآوری مخصوص با کمک ترازوی حساس توزین شد. برای تعیین تعداد دانه در یک انس، میوه های خشک و خندان به‌طورتصادفی انتخاب و سپس یک نمونه ۲۸/۳۵ گرمی (یک انس) انتخاب و تعداد میوه ها در هر نمونه شمارش می‌گردد. درصد پسته های خندان، دهان بست و پوک از طریق شمارش محاسبه شد.

جهت بررسی خصوصیات رویشی و زایشی درختان در تیمارهای مختلف از هر تیمار پنج درخت انتخاب شد و روی هر درخت در چهار جهت اصلی جغرافیایی چهار شاخه اتیکت‌گذاری گردید. میزان رشد طولی شاخه به‌وسیله خط‌کش، میزان قطر وسط شاخه به‌وسیله کولیس مورد ارزیابی قرار گرفت. تعداد جوانه‌های زایشی، تعداد خوشه روی هر شاخه شمارش شدند.

در نهایت تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS-22 و مقایسه میانگین داده ها براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵% انجام گرفت.

نتایج

اثر تیمارهای مختلف بر خصوصیات شیمیایی و عناصر غذایی قابل جذب خاک

نتایج تجزیه واریانس صفات مربوط به خصوصیات خاک تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده در جدول ۳ آورده شده است. در بین فاکتورهای اندازه گیری شده خاک، شوری، نسبت جذب سدیم، فسفر، پتاسیم، درصد گچ و آهک در عمق های ۴۰-۰، ۸۰-۴۰ و ۱۲۰-۸۰ اختلاف معنی‌دار داشتند.

مقایسه میانگین خصوصیات اندازه گیری شده در

شکل ۱- شوری خاک در باغ‌های انتخاب شده در منطقه مورد مطالعه

شکل ۲- پاشیدن گوگرد روی سطح خاک اطراف درختان قبل از آبیاری در زمستان

جدول ۳- تجزیه واریانس خصوصیات خاک تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده با گوگرد معدنی.

	درجه آزادی	EC (0-40) (cm) (dS/m)	EC (40-80) (cm) (dS/m)	EC (80-120) (cm) (dS/m)	SAR (0-40) (cm)	SAR (40-80) (cm)	SAR (80-120) (cm)	P (0-40) (cm) (mg/Kg)	P (40-80) (cm) (mg/Kg)	P (80-120) (cm) (mg/Kg)
تکرار	۲	۰/۷۹۱^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۳۱۳^{ns}	۰/۰۷۶^{ns}	۰/۱۵۱^{ns}	۰/۰۷۶^{ns}	۰/۶۲۵^{ns}	۰/۰۳۸^{ns}	۰/۸۴۶^{ns}
تیمار	۱۰	۴۲/۱۷۹**	۱۹/۹۷۱**	۲۸/۱۹۲**	۱۳/۷۲۲**	۱۱/۱۱۱**	۱۷/۲۹۳**	۶۳/۷۵۸**	۷۲/۷۳۱**	۱۲۸/۲۵۶**
خطا	۲۰	۰/۲۲۶	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۱۱۹	۰/۴۹	۰/۱۱۳	۰/۳۰۱	۰/۰۴۵	۰/۲۵۳
%CV	–	۲۶/۵	۱۵/۸	۱۶/۷	۱۵/۸	۱۳/۲	۱۵/۴	۲۲/۱	۲۹/۷	۳۶/۳

**، * و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ ٪، ۵ ٪ و عدم معنی‌داری می‌باشند.

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس خصوصیات خاک تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده با گوگرد معدنی

	درجه آزادی	K (0-40) (cm) (mg/Kg)	K (40-80) (cm) (mg/Kg)	K (80-120) (cm) (mg/Kg)	GYP (0-40) (%)	GYP (40-80) (%)	GYP (80-120) (%)	T.N.V (0-40) (cm) (%)	T.N.V (40-80) (cm) (%)	T.N.V (80-120) (cm) (%)
تکرار	۲	۱/۰۹۹^{ns}	۴/۴۸۵^{ns}	۰/۳۹۴^{ns}	۰/۱۰۴^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۰۴۰^{ns}	۰/۸۷۴^{ns}	۰/۸۴۲^{ns}	۰/۳۸۶^{ns}
تیمار	۱۰	۱۴/۷۱۷**	۱۱۷۹/۸**	۶۵۸۷/۴**	۱۸۳/۷۰۰**	۱/۰۹۲**	۰/۹۵۸**	۲۳/۵۱۶**	۴۷/۸۷۶**	۵۸/۷۹۳**
خطا	۲۰	۲/۷۲۶	۶/۲۵۲	۸/۰۶۱	۰/۱۲۵	۰/۱۴	۰/۱۵	۱/۱۲۳	۰/۶۹۵	۰/۶۳۶
%CV	–	۳۰/۲	۸/۱	۱۸/۴	۲۸/۸	۱۸/۷	۱۸/۴	۱۳/۷	۱۸/۴	۱۹/۵

**، * و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ ٪، ۵ ٪ و عدم معنی‌داری می‌باشند.

خاک تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد، شاخص هدایت الکتریکی در هر سه عمق در تیمارهای ۳۰۰۰ و ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با کود حیوانی در بهمن ماه و در تیمار ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در اردیبهشت کاهش یافته است و در تیمار ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد معدنی همراه با کود حیوانی در بهمن ماه کمترین شوری را داشت.

نسبت جذب سدیم (SAR)، در هر سه عمق در تیمارهای ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار همراه با کود حیوانی در بهمن ماه و در تیمار ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در اردیبهشت کاهش یافته است و کمترین مقدار بود.

در ارتباط با غلظت فسفر در عمق ۴۰-۰ سانتی‌متر، بیشترین میزان مربوط به تیمار ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بهمن ماه و بدون کود حیوانی و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد بدون کود حیوانی بود. بیشترین میزان فسفر در عمق ۸۰-۴۰ و ۱۲۰-۸۰ سانتی‌متر، مربوط به تیمار ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بهمن ماه و با کود حیوانی بود.

غلظت پتاسیم در عمق ۴۰-۰ سانتی‌متر، در تیمار شاهد بدون کود حیوانی بیشترین مقدار و کمترین آن مربوط به تیمار ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در بهمن ماه و بدون کود حیوانی بود. نتایج عمق ۸۰-۴۰ سانتیمتر مربوط به پتاسیم نشان داد، بیشترین میزان پتاسیم در تیمار ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در بهمن ماه و با کود حیوانی و کمترین آن مربوط به تیمار ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در بهمن ماه و بدون کود حیوانی می‌باشد. در عمق ۱۲۰-۸۰، بیشترین میزان پتاسیم در

تیمار ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در بهمن ماه و با کود حیوانی و کمترین آن در شاهد همراه با کود حیوانی بود (جدول ۴).

به‌طور کلی، درصد گچ در هر سه عمق در تیمارهای ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی که در اردیبهشت به باغ اضافه شده است، بیشترین مقدار می باشد.

تأثیر تیمارهای مختلف گوگرد معدنی بر درصد آهک خاک در هر سه عمق مختلف نشان داد که درصد آهک در تیمار ۱۰۰۰ و سپس ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی که در اردیبهشت به باغ داده شده است، کمترین مقدار می‌باشد و میزان آن در شاهد بدون کود حیوانی بیشترین مقدار بود.

جدول ٤- مقایسه میانگین خصوصیات اندازه گیری شده در خاک تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده با گوگرد معدنی.

تیمار / عنصر	EC (0-40) (cm) (dS/m)	EC (40-80) (cm) (dS/m)	EC (80-120) (cm) (dS/m)	SAR (0-40) (cm)	SAR (40-80) (cm)	SAR (80-120) (cm)	P (0-40) (cm) (mg/Kg)	P (40-80) (cm) (mg/Kg)	P (80-120) (cm) (mg/Kg)
شاهد بدون کود حیوانی	۱۵/۵a	۱٤/۳d	۱٤/٤d	۱۱/۰e	۱۳/۵f	۱۲/۸g	٤/۲f	۳/۹j	۷/۲f
شاهد با کود حیوانی	۱۲/۷bc	۱٦/٦c	۱٦/٦c	۱۱/۷d	۱۵/۵de	۱٤/۳e	۱۳/۰d	۱۰/۸f	۱۸/۹b
۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) بدون کود حیوانی	۱۴/۵ab	۱۶/۷c	۱۶/۷c	۱۴/۰b	۱۵/۳c	۱۵/۷d	۲۲/۳a	۱۸/۹b	۸/۱f
۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) بدون کود حیوانی	۱۶/۵a	۱۹/۸b	۱۹/۸a	۱۳/۲c	۱۴/۴de	۹/۷h	۱۲/۶d	۱۱/۵e	۲/۶h
۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) بدون کود حیوانی	۱۶/۶a	۲۰/۶a	۲۰/۶a	۱۴/۵b	۱۷/۳a	۱۸/۰a	۱۲/۶d	۸/۵h	۷/۶f
۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) با کود حیوانی	۱۵/۵a	۱۶/۲c	۱۶/۲c	۱۵/۳a	۱۴/۰ef	۱۶/۶c	۱۷/۰c	۷/۴i	۱۱/۰e
۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) با کود حیوانی	۷/۲e	۱۲/۳f	۱۲/۳f	۸/۶f	۱۰/۸g	۱۳/۷f	۱۸/۸b	۲۰/۶a	۲۵/۰a
۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) با کود حیوانی	۱۰/۲d	۱۳/۳e	۱۳/۳e	۱۱/۷d	۱۱/۴g	۱۵/۷d	۱۱/۴e	۹/۳g	۱۲/۶d
۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(اردیبهشت) با کود حیوانی	۱۲/۰bc	۱۴/۳d	۱۴/۳d	۱۵/۶a	۱۴/۶de	۱۶/۵b	۱۵/۵d	۱۶/۳c	۸/۰f
۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار(اردیبهشت) با کود حیوانی	۱۱/۴c	۱۴/۳d	۱۴/۳d	۱۴/۴b	۱۴/۹cd	۱۶/۴c	۱۳/۳d	۱۲/۶d	۱۶/۶c
۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(اردیبهشت) با کود حیوانی	۱۴/۶ab	۱۶/۶c	۱۶/۶c	۱۴/۶b	۱۶/۶b	۱۶/۵c	۱۳/۰d	۱۲/۷d	۶/۳g

*در هر ستون میانگین هایی که در یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵% آزمون دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

ادامه جدول ٤- مقایسه میانگین خصوصیات اندازه گیری شده در خاک تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده با گوگرد معدنی.

تیمار / عنصر	K (0-40) (cm) (mg/Kg)	K (40-80) (cm) (mg/Kg)	K (80-120) (cm) (mg/Kg)	GYP (0-40) (cm) (%)	GYP (40-80) (cm) (%)	GYP (80-120) (cm) (%)	T.N.V (0-40) (cm) (%)	T.N.V (40-80) (cm) (%)	T.N.V (80-120) (cm) (%)
شاهد بدون کود حیوانی	۲۸۰a	۲۲۵d	۱۹٦e	۲/۹cd	۲/۹cd	۱/۳b	۲۳/۱ab	۲۵/٦a	۲۸/۱a
شاهد با کود حیوانی	۲۲۹d	۲۳۸c	۱۷٦g	۲/۸cd	۳c	۲/۹c	۱۹/۷de	۲۲/۲c	۲۷cd
۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) بدون کود حیوانی	۲۰۸g	۱۹۷f	۱۸۶f	۲/۵d	۲/۳e	۲/۴d	۱۸/۵e	۲۲/۳c	۲۲/۰cd
۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) بدون کود حیوانی	۲۲۸ef	۲۱۵e	۱۹۷e	۲/۲d	۲/۳e	۲/۴d	۲۲/۰bc	۲۰/۶d	۲۱/۶d
۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) بدون کود حیوانی	۲۶۸b	۲۵۱b	۲۸۰b	۲/۷cd	۲/۸cd	۲/۸c	۲۳/۸ab	۲۴/۱b	۲۴/۴b
۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) با کود حیوانی	۲۲۵f	۲۶۷a	۲۹۰a	۳/۴abc	۳/۷a	۳/۲b	۱۸/۴e	۱۹/۵de	۲۲/۰cd
۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) با کود حیوانی	۲۳۹b	۲۵۲b	۲۷۲c	۳/۲bc	۳/۳b	۳/۸a	۲۲/۰bc	۲۲/۵c	۲۳/۴bc
۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) با کود حیوانی	۲۲۹d	۲۲۷d	۲۵۵d	۳/۷ab	۳/۷a	۳/۴a	۲۱/۱cd	۲۲/۰c	۲۲/۶cd
۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(اردیبهشت) با کود حیوانی	۲۳۸bc	۲۵۰b	۲۹۰a	۳/۸ab	۳/۹a	۳/۶a	۲۴/۶a	۲۵/۰ab	۲۷/۰a
۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار(اردیبهشت) با کود حیوانی	۲۳۶c	۲۴۹b	۲۸۰b	۳/۹a	۳/۹a	۳/۹a	۱۵/۰e	۱۱/۰f	۱۱/۰f
۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(اردیبهشت) با کود حیوانی	۲۶۸b	۲۳۷c	۲۸۷a	۲/۸cd	۲/۸d	۲/۲d	۱۹/۴de	۱۹/۰e	۲۰/۰e

*در هر ستون میانگین هایی که در یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵% آزمون دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

اثر تیمارهای مختلف بر غلظت عناصر غذایی برگ

جدول ۵ تجزیه واریانس عناصر غذایی اندازه گیری شده برگ تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، غلظت عناصر ازت، پتاسیم، کلسیم، آهن، روی، منگنز و مس در تیمارها در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی دار می باشد. همچنین غلظت عناصر منیزیم و سدیم برگ در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی دار شده است و غلظت فسفر برگ در همه تیمارها غیر معنی‌دار شد.

جدول ۶ مقایسه میانگین عناصر اندازه گیری شده در برگ تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده را نشان می دهد. بر اساس نتایج، غلظت پتاسیم، کلسیم، آهن، روی و منگنز در دو تیمار ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در بهمن ماه همراه با کود حیوانی و ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی همراه با کود حیوانی در اردیبهشت ماه در مقایسه با شاهد بیشتر بود که با نتایج بدست آمده از عملکرد، هم خوانی دارد.

اثر تیمارهای مختلف بر صفات کمی و کیفی محصول درختان پسته

نتایج شاخص‌های رشد رویشی و عملکرد نشان داد که رشد طولی شاخه، تعداد جوانه های زایشی، عملکرد، درصد پوکی و خندانی و همچنین اونس در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار شده است (جدول ۷).

جدول۵- تجزیه واریانس خصوصیات برگ اندازه گیری شده تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده با گوگرد معدنی.

درجه آزادی		N %	K %	P %	Ca %	Mg %	Na %	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	Cu ppm	B ppm
تکرار	۲	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۹ ns	۰/۰۱۰ ns	۰/۰۰٤ ns	۰/۳٤٦ ns	۰/۱۳ ns	۰/۱۸۹ ns	۰/۲۷۵ ns	۷۲/۷۵۸ ns
تیمار	۱۰	۰/۰۱٦**	۰/۰۳۱**	۰/۰۰۰٤ ns	۰/۲٤٦**	۰/۲٦۰*	۰/۰۰٦*	۵۹۰/۰٤۱**	۱۲/۸۷۰**	۱۵۲/۹۳٤**	۸/۸٤۱**	٤٤۳۳/٦*
خطا	۲۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰٤	۰/۰۰۰	۰/۰۲۱	۰/۰۷۳	۰/۰۰۲	۰/۸۸۲	۰/۳٤۳	۱/۳۲۸	۰/۰۹۰	۸۰/۳۵۸
CV%	–	۳/٤	۷/۱	۲٤/۹	۹/۱	۲۹/۱	۳۱/٤	۱۸/۱	۱٤/٤	۲۷/۱	۲۹/۱	۹/۹

*،** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و عدم معنی‌داری می‌باشند.

جدول ٦- مقایسه میانگین عناصر اندازه گیری شده در برگ تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده با گوگرد معدنی.

عنصر / تیمار	N %	K %	Ca %	Mg %	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	Cu ppm	B ppm
شاهد بدون کود حیوانی	۲/۰c	۱/۴d	۲/۹d	۰/۰۱۰ns	۶۰/۴d	۱۲/۱d	۱۹/۹e	۴/۲ef	۳۹۰c
شاهد با کود حیوانی	۲/۱b	۱/۷b	۳/۱cd	۰/۰۱۰ns	۶۲/۲d	۱۲/۲d	۲۰/۰e	۵/۱d	۳۷۲d
۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) بدون کود حیوانی	۲/۱b	۱/۷b	۳/۵ab	۰/۰۱۰ns	۸۸/۲b	۱۷/۲a	۲۱/۴de	۴/۹d	۳۸۱cd
۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) بدون کود حیوانی	۲/۲a	۱/۸a	۳/۴ab	۰/۰۱۰ns	۸۹/۳b	۱۵/۵b	۴۵/۲a	۷/۷a	۳۲۴e
۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) بدون کود حیوانی	۲/۰c	۱/۷b	۳/۸a	۰/۰۱۰ns	۶۰/۳d	۱۲/۱d	۲۳/۰d	۵/۰d	۳۹۲c
۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) با کود حیوانی	۲/۱b	۱/۶c	۳/۲cd	۰/۰۱۰ns	۸۹/۳b	۱۴/۱c	۲۲/۸d	۶/۹b	۴۰۷b
۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) با کود حیوانی	۲/۱b	۱/۷b	۳/۲cd	۰/۰۱۰ns	۶۲/۵d	۱۳/۰d	۲۶/۰c	۵/۸c	۴۲۲ab
۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) با کود حیوانی	۲/۲a	۱/۶c	۳/۴bc	۰/۰۱۰ns	۹۳/۵a	۱۵/۵b	۲۹/۶b	۳/۷f	۳۹۰c
۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(اردیبهشت) با کود حیوانی	۲/۲a	۱/۸a	۳/۵ab	۰/۰۱۰ns	۶۲/۴d	۱۲/۲d	۲۶/۴c	۴/۳e	۴۲۸a
۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار(اردیبهشت) با کود حیوانی	۲/۲a	۱/۷b	۳/۷ab	۰/۰۱۰ns	۷۵/۰c	۱۷/۷a	۲۲/۰de	۶/۰c	۳۰۰f
۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(اردیبهشت) با کود حیوانی	۲/۲a	۱/۶c	۳/۸a	۰/۰۱۰ns	۸۶/۶b	۱۴/۶bc	۲۶/۹c	۷/۰b	۳۷۳d

*در هر ستون میانگین هایی که در یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵% آزمون دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

جدول۷- تجزیه واریانس خصوصیات رویشی و زایشی تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده با گوگرد معدنی.

صفات	درجه آزادی	رشد طولی شاخه (cm)	تعداد جوانه های زایشی	عملکرد (گرم بر سرشاخه)	پوکی (%)	خندانی (%)	اونس
تیمار	۲	۱۶/ ۷۲۸**	۰/ ۷۸۸ **	۴۸۲۷۱/ ۹**	۳۰/ ۳۵۲**	۱۰۶/ ۸۸۵**	۱۴/ ۰۸۵**
تکرار	۱۰	۰/ ۲۳۸ ns	۰/ ۰۰۸ ns	۳۹۹/ ۵ ns	۱/ ۰۹۱ ns	۱۱/ ۴۸۵ ns	۲/ ۲۱۲ ns
خطا	۲۰	۰/ ۸۲۳	۰/ ۱۵۰	۳۴/ ۴۱۸	۰/ ۷۲۴	۱/ ۶۸۵	۰/ ۶۱۲
%CV	–	۳۳/۳	۱۲/ ۹	۱۹/ ۱	۱۱/ ۲	۸/ ۳	۶/ ۹

**، * و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و عدم معنی‌داری می‌باشند.

جدول ۸- مقایسه میانگین صفات رویشی و زایشی تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده با گوگرد معدنی

تیمار / عنصر	عملکرد (گرم بر سرشاخه)	رشد طولی شاخه (cm)	پوکی (%)	خندانی (%)	اونس
شاهد بدون کود حیوانی	۴۱۰f	۷/۱bc	۸/۰de	۶۴/۰c	۳۳/۳b
شاهد با کود حیوانی	۵۱۲e	۸/۴b	۹/۳d	۶۶/۶bc	۳۲/۰bc
۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) بدون کود حیوانی	۵۷۶cd	۷/۰bc	۶/۷e	۶۰/۰d	۳۱/۶c
۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) بدون کود حیوانی	۵۱۶e	۶/۲cd	۹/۰d	۶۰/۰d	۳۳/۳b
۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) بدون کود حیوانی	۵۲۱e	۴/۴d	۱۱/۰c	۶۴/۰bc	۳۲/۳bc
۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) با کود حیوانی	۵۶۸cd	۴/۸d	۱۱/۰c	۷۲/۶a	۳۲/۳bc
۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) با کود حیوانی	۵۶۰d	۴/۵d	۷/۰e	۷۲/۷a	۲۹/۶d
۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(بهمن) با کود حیوانی	۶۰۲c	۶/۵c	۹/۰d	۷۲/۷a	۲۹/۶d
۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(اردیبهشت) با کود حیوانی	۶۱۰c	۷/۹bc	۱۲/۳c	۷۱/۰ab	۲۸/۳d
۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار(اردیبهشت) با کود حیوانی	۷۰۲b	۱۱/۴a	۱۵/۰b	۶۸/۶bc	۳۱/۶c
۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار(اردیبهشت) با کود حیوانی	۷۶۱a	۱۱/۰a	۱۶/۷a	۶۹/۶b	۳۶/۳a

*در هر ستون میانگین هایی که در یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵% آزمون دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

جدول ۸ مقایسه میانگین صفات رویشی و زایشی تیمارهای اعمال شده با گوگرد معدنی را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، تاثیر گوگرد معدنی بر عملکرد مثبت بود و در تیمارهای ۱۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار گوگرد معدنی که در اردیبهشت به باغ اضافه شده است به ترتیب بیشترین عملکرد سرشاخه را داشت و در مقایسه با شاهد معنی دار بود. بر طبق نتایج بدست آمده، رشد طولی شاخه در تیمار ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی که در اردیبهشت ماه به باغ اضافه شده بود، بیشترین مقدار بود.

درصد خندانی در تیمارهای ۱۵۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در زمستان همراه با کود حیوانی و ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی که در اردیبهشت به باغ داده شد، بیشترین مقدار بود. کمترین درصد خندانی مربوط به تیمارهای ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی و بدون کود حیوانی می باشد.

بیشترین میزان اونس مربوط به تیمار شاهد بدون کود حیوانی و کمترین آن مربوط به تیمارهای ۵۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار گوگرد معدنی در اردیبهشت ماه و تیمارهای ۳۰۰۰ و ۴۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار گوگرد معدنی در بهمن ماه و همراه با کود حیوانی می باشد.

بحث و نتیجه گیری

نتایج این تحقیق در رابطه با کاربرد گوگرد معدنی بصورت خاکی در خاک شور در دو بازه زمانی بهمن ماه و اردیبهشت ماه نشان داد که بهترین عملکرد به ترتیب مربوط به تیمار ۱۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در اردیبهشت ماه بود.

شاخص‌های عملکرد از جمله اونس، در همه تیمارها بطور معنی‌دار نسبت به شاهد کاهش یافت و کمترین آن مربوط به تیمارهای ۳۰۰۰ و ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در بهمن‌ماه و ۵۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در اردیبهشت‌ماه بود.

نتایج استنفورد و همکاران (۲۰۰۲) در رابطه با تأثیرات گوگرد و شوری نشان داد که گوگرد در فرم تلقیح شده با تیوباسیلوس باعث کاهش سدیم تبادی خاک شده و در نتیجه EC عصاره اشباع خاک را کاهش می‌دهد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. بر اساس نتایج، شوری خاک در سه عمق مورد بررسی با اضافه کردن گوگرد معدنی همراه با کود حیوانی بطور معنی دار کاهش یافت.

بیشترین میزان درصد گچ در عمق ۴۰ تا ۸۰ سانتی متر مربوط به تیمار ۱۵۰۰ و ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در بهمن ماه همراه با کود حیوانی و ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در اردیبهشت‌ماه در مقایسه با شاهد می‌باشد. با توجه به نتایج تجزیه گوگرد معدنی (جدول ۲) و بالا بودن درصد گچ موجود در این ماده، افزایش درصد گچ در باغ مورد مطالعه دور از انتظار نیست.

نتایج بررسی تیمارهای مختلف گوگرد معدنی بر درصد آهک نشان داد که کمترین میزان آن مربوط به تیمار ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در اردیبهشت ماه است که با توجه به نتایج افزایش غلظت کلسیم در برگ در این تیمارها، گوگرد معدنی باعث آزادسازی بیشتر کلسیم خاک و در نتیجه جذب بهتر توسط گیاه شده است. بر اساس بررسی منابع شرایط اسیدی حاصل از کاربرد گوگرد می‌تواند باعث افزایش یون کلسیم در خاک گردد (داوید و دیمیترویس، ۲۰۰۲).

جذب برخی عناصر غذایی در برگ از جمله پتاسیم، کلسیم، آهن، روی و منگنز در دو تیمار ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در بهمن ماه همراه

با کود حیوانی و ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در اردیبهشت ماه در مقایسه با شاهد بیشتر بود. نتایج بدست آمده در ارتباط با افزایش عملکرد، جذب عناصر غذایی و اصلاح کنندگی خاک با نتایج ملکوتی و بشارتی (۱۳۷۹) مطابقت دارد.

تأثیرات گوگرد بر جذب عناصر غذایی توسط ملکوتی و رضایی (۱۳۸۰) تایید شده است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. براساس نتایج بشارتی (۲۰۱۷)، استفاده از گوگرد برای اصلاح خاکهای آهکی و قلیایی مؤثر می باشد.

در مطالعات متعدد، کاربرد گوگرد به همراه ماده آلی در افزایش جذب برخی عناصر تأثیر مثبت داشته است (مایترا، ۲۰۱۴)، که با نتایج تأثیر مثبت کاربرد گوگرد معدنی به همراه کود حیوانی همخوانی داشته است.

به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاربرد گوگرد معدنی به همراه کود حیوانی در بهبود خصوصیات مورد بررسی، تأثیر مثبت داشت و بهترین تیمار مربوط به کاربرد ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی در اردیبهشت ماه بود که همراه با آب آبیاری به خاک اضافه شد.

تضاد و تعارض منافع- نویسندگان هر گونه تعارض و تضاد منافع اعم از تجاری و غیر تجاری و شخصی را که در ارتباط مستقیم یا غیرمستقیم با اثر منتشرشده است رد می‌نمایند.

منابع

حیدری، م. افروشه، م، مرادی قهدریجانی، م. درگاهی، ر. عرب، ح و ح رضایی. ۱۳۹۹. بررسی اثر استفاده از گوگرد معدن زرکوه برای بهینه سازی فرایند کمپوست نمودن کود حیوانی (گاوی، مرغی) و ضایعات پسته. گزارش نهایی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج نهایی، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده پسته. شماره فروست ۵۸۷۱۷.

ملکوتی، م. ج و ح. بشارتی. (۱۳۷۹). ضرورت مصرف کود گشاورزی گرانوله برای اصلاح خاک و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی در خاک‌های آهکی. موسسه تحقیقات آب و خاک، نشریه فنی ۱۴۰.

ملکوتی، م.ج. و ح. رضایی. (۱۳۸۰). نقش گوگرد، کلسیم و منیزیم در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی. چاپ اول، نشر آموزش کشاورزی، ص ۱-۳

میرسید حسینی، ح.، فتحی گردلیدانی، ا. و م. جبل عاملی. (۱۳۹۶). تأثیر گوگرد عنصری و بنتونایتی بر فراهمی گوگرد و فسفر در خاک آهکی و خصوصیات رشدی ذرت. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، الف، جلد ۳۱ شماره ۱.

Besharati, H., (2017). Effects of sulfur application and Thiobacillus inoculation on soil nutrient availability, wheat yield and plant nutrient concentration in calcareous soils with different calcium carbonate content. Journal of Plant Nutrition. 40:447–56. doi:10.1080/01904167.2016.1245326.

David, R. & Dimitrios, P. (2002). Diffusion and cation exchange during the reclamation of saline structured soils. Geoderma. 107: 271-279.

Halliwell, D. J., Barlow, K. M., & Nash, D. M. (2001). A review of the effects of wastewater sodium on soil physical properties and their implications for irrigation systems. Australian Journal of Soil Research. 39, 1259-1267.

López-Mosquera, M.E., López-Fabal A., Illera Vives M., & Seoane Labandeira S. (2015). Use of elemental sulphur as an acidifying soil amendment for Brassica napus cultivation. Spanish journal of soil science.144-153.

Qadir, M., & Oster, J. D. (2004). Review, Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. The Science of Total Environment. 323: 1-19.

Quirk, J. P. (2001). The significance of the threshold and turbidity concentrations in relation to sodicity and microstructure. Australian Journal of Soil Research. 39, 1185-1217.

Skwierawska, M., Zawartka, L., Skwierawski, A., & Nogalska A. (2012). The effect of different-sulfur doses and forms on changes of soil heavy metals Plant, Soil and Environment, 58 (3): 135–140.

Stamford, N.P., Silva, A.J.N., Freitas, A.D.S., & Araujo Fillo, J.T. (2002). Effect of sulphur inoculated with Thiobacillus on soil and growth of tropical tree legumes, Bioresource Technology. 81: 53-59.

Van der Zee, S. E. A. T. M., Shah, S. H. H., & Vervoort, R. W. (2014). Root zone salinity and sodicity under seasonal rainfall due to feedback of decreasing hydraulic conductivity.Water Resources Research. 50:9432–9446.