

تأثیر شرایط مختلف رطوبتی و حرارتی بر اکسایش گوگرد و غلظت عناصر غذایی در خاک

نصرت اله منتجبی^۱، محمد فیضیان^{۲*}، محمدحسین داودی^۳، اکبر سهرابی^۴، مهدی شریعت^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۱)

چکیده

با وجود مقدار کافی بعضی عناصر غذایی در خاک‌ها، به دلیل pH بالا، این عناصر قابلیت جذب کمی دارند و گیاه دچار کمبود می‌شود. هدف این پژوهش، مطالعه اثر رطوبت، دما و مدت خواباندن بر اکسایش گوگرد، تغییر pH و غلظت عناصر غذایی خاک بود. تحقیق به صورت فاکتوریل شامل دو سطح رطوبتی (۶۰٪ درصد (M₁) و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی (M₂)) و چهار سطح گوگرد (S₀=۰، S₁=۵۰۰، S₂=۱۰۰۰ و S₃=۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) در سه تکرار بود. خاک‌ها درون ویال‌های پلاستیکی ریخته شدند. در آزمایش اول خاک‌ها در دمای ۲۵°C خوابانده شدند و در ۶ نوبت (T₁=۳۰، T₂=۶۰، T₃=۹۰، T₄=۱۲۰، T₅=۱۸۰ و T₆=۲۷۰ روز) از خاک‌ها نمونه‌گیری شد. ولی در آزمایش دوم، دمای خواباندن ۳۶°C بود و در ۳ نوبت (T₇=۱۴، T₈=۲۸ و T₉=۴۲ روز) نمونه‌برداری شد. مقادیر pH و EC محلول خاک و P، Fe، Mn و Zn قابل جذب خاک اندازه‌گیری شد. به استثنای اثر اصلی گوگرد و اثر متقابل رطوبت و گوگرد بر فسفر و نیز اثر متقابل رطوبت و مدت خواباندن بر منگنز، اثرات اصلی و متقابل متغیرهای رطوبت، گوگرد و مدت خواباندن بر دیگر پارامترها تفاوت معنی‌دار داشتند. افزایش رطوبت موجب افزایش EC، P، Fe، Zn و کاهش pH و Mn شد. مصرف گوگرد pH را کاهش و EC، Fe، Zn و Mn را افزایش داد. بیشترین میزان آهن، منگنز و روی قابل جذب با مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد حاصل شد. اثر مدت خواباندن بر تمام پارامترها معنی‌دار بود. دوره خواباندن ۹۰ روز بالاترین فسفر و روی را داشت و بیشترین غلظت آهن و منگنز پس از ۶۰ روز حاصل شد. اثر متقابل رطوبت و گوگرد به غیر از فسفر بر بقیه پارامترها معنی‌دار بود. اثر متقابل رطوبت و مدت خواباندن به غیر از منگنز بر بقیه پارامترها معنی‌دار بود. اثرات متقابل گوگرد و مدت خواباندن بر تمام پارامترها معنی‌دار بود.

واژه‌های کلیدی: آهن، اکسایش گوگرد، pH، روی، فسفر

منتجبی ن، فیضیان م، داودی م.ح، سهرابی ا، شریعت م. ۱۳۹۷. تأثیر شرایط مختلف رطوبتی و حرارتی بر اکسایش گوگرد و غلظت عناصر غذایی در خاک. تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۶ شماره ۴، ص: ۱۳۳-۱۴۵.

۱- عضو هیئت علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

۲- استادیار گروه علوم خاک دانشگاه لرستان (مکاتبه کننده)

۳- استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب

۴- استادیار گروه شیمی دانشگاه پیام نور

*پست الکترونیک: Feizian.m@lu.ac.ir

مقدمه

واکنش خاک، هدایت الکتریکی و عناصر غذایی از ویژگی‌های مهم خاک هستند که بر رشد گیاه و کیفیت محصول موثرند. بشارتی (Besharati, 1998) گزارش کرد، اکسایش گوگرد باعث کاهش pH محیط ریشه شده و قابلیت جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهد. این تحقیق با هدف مطالعه اثر رطوبت، دما و مدت‌زمان خواباندن خاک بر اکسایش گوگرد و بررسی تغییرات pH و غلظت عناصر غذایی خاک انجام شد. جانزن و بتانی (Janzen & Bettany, 1987b) اعلام کردند، درجه حرارت و رطوبت دو عامل مهم موثر بر اکسیداسیون گوگرد هستند و اثر درجه حرارت بیشتر از رطوبت است. بر اساس گزارش آتو و السن (Attoe & Olsen, 1966)، افزودن ترکیبات گوگردی تاثیر زیادی بر تعداد و نوع باکتریهای تیوباسیلوس خاکها دارد. شرر (Scherer, 2001)، ادمیدز و همکاران (Edmeades *et al.*, 2005) و شونف و همکاران (Schonhof *et al.*, 2007) گزارش کردند که گوگرد را نمی‌توان به طور کامل توسط هر عنصر غذایی دیگر جایگزین نمود. چون جزئی از تعدادی از اسیدهای آمینه مانند سیستین (Cystine) و سرین (Serine) و واحد ساختمانی مولکول‌های پروتئین است. بلوم و همکاران (Bloem *et al.*, 2005) و شونف و همکاران (Schonhof *et al.*, 2007) اظهار داشتند که کمبود گوگرد در بسیاری از خاک‌های دنیا در حال افزایش است. استفاده از کودهای نیتروژن و فسفات فاقد گوگرد، معرفی ارقام با عملکرد بالا، کشت ارقامی که نیاز زیادی به گوگرد دارند، کاهش ذخیره اتمسفری گوگرد و کاهش استفاده از قارچ‌کش‌های حاوی گوگرد، منجر به تشدید کمبود آن شده است. کمبود گوگرد در خاک‌ها باعث کاهش عملکرد و کیفیت محصول شده و حساسیت گیاه را به برخی از بیماری‌ها افزایش می‌دهد. حیدرزاده و همکاران (Heidarzadeh *et al.*, 2012) گزارش کردند در خاک قلیایی و آهکی به سبب pH بالا و غلظت بالای یون Ca، قابلیت جذب بعضی عناصر غذایی از قبیل فسفر، آهن و روی که قابلیت دسترسی آنها به وابسته است، برای گیاهان کم شده است. بر اساس گزارش سوارس و همکاران (Soares *et al.*, 2008) و بلنی و همکاران (Blaney *et al.*, 2007) استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی باعث آلودگی منابع آب و خاک می‌شود و اغلب منجر به پدیده

آب تباهی (Eutrophication) می‌گردد. مصرف بی‌رویه کودهای فسفوری نه تنها تأثیری در افزایش عملکرد ندارد، بلکه به علت ایجاد اختلال در تغذیه گیاهی و کاهش جذب عناصر ریزمغذی، موجب کاهش عملکرد شده و در دراز مدت تأثیر منفی خواهد داشت. لی و کالدول (Li & Caldwell, 1966) و نور و طباطبایی (Nor & Tabatabai, 1977) گزارش کردند که میزان اکسیداسیون گوگرد عنصری در دمای زیر ۵ درجه سانتی‌گراد ناچیز یا خیلی کم است، اما با افزایش درجه حرارت به سرعت افزایش می‌یابد. محدوده درجه حرارت مطلوب برای باکتری‌های تیوباسیلوس بین ۲۸ الی ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود. آنها گزارش کردند که بعد از ۵۶ روز خواباندن، متوسط اکسیداسیون گوگرد عنصری مصرفی در ۵ خاک در دمای ۵، ۱۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۸، ۲۲ و ۴۷ درصد بود. جاجی و همکاران (Jaggi *et al.*, 1999) و اولاک و همکاران (Aulakh *et al.*, 2002)، درجه حرارت ۳۶ درجه سانتی‌گراد و رطوبت خاک ۶۰ درصد (۶۰ درصد منافذ پر از آب شود) را برای اکسیداسیون گوگرد عنصری در خاک‌های اسیدی، خنثی و قلیائی شمال غرب هند پیشنهاد کردند. جارا و همکاران (Jara *et al.*, 2006) اعلام کردند جذب سطحی سولفات روی ذرات خاک فرآیندی است که باعث کاهش آبشویی و مقدار سولفات قابل جذب برای گیاهان می‌شود. بر اساس گزارش جرمیدا و جانزن (Germida & Janzen, 1993) اکسیداسیون گوگرد به دو صورت شیمیایی و بیولوژیکی در خاک اتفاق می‌افتد. سرعت اکسیداسیون شیمیایی گوگرد عنصری نسبت به اکسیداسیون بیولوژیکی بسیار کم بوده و از اهمیت کمتری برخوردار است. از جمله فاکتورهایی که روی مقدار اکسیداسیون گوگرد عنصری در خاک‌ها تاثیر می‌گذارند، می‌توان به فاکتورهای بیولوژیکی خاک (باکتری‌های هتروتروف و اتوتروف و...)، خصوصیات کود (اندازه ذره کود و...)، خصوصیات خاک (درجه حرارت و رطوبت) و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (pH، بافت، مواد آلی و...) اشاره کرد. در نتیجه کارایی گوگرد عنصری بستگی به مقدار اکسیداسیون آن به فرم سولفات قابل دسترس برای گیاه دارد. بشارتی (Besharati, 1998) گزارش کرد که گوگرد عنصری پس از اکسایش، علاوه بر نقش تغذیه‌ای مستقیم، باعث کاهش pH خاک و افزایش قابلیت جذب فسفر و عناصر غذایی کم

دمای ۱۲، ۲۴ و ۳۶°C، در خاک‌های اسیدی، خنثی و قلیایی در پرپوده‌های زمانی ۰، ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز خوابانیدن مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که مصرف گوگرد عنصری در تمام رژیم‌های رطوبتی تغییری در pH خاک‌های اسیدی و خنثی نداد، اما در خاک‌های قلیایی در شرایط هوازی (شرایط رطوبتی ۴۰ و ۶۰ درصد فضای منافذ پر از آب)، pH خاک کاهش یافت. همچنین مقدار رطوبت و درجه حرارت خاک اثر زیادی بر غلظت و انباشت فسفر قابل استفاده در تمام خاک‌ها داشته و در شرایط غرقابی (۱۲۰ درصد فضای منافذ پر از آب) و دمای ۳۶°C مقدار فسفر قابل جذب حداکثر بود. صباغ تازه و همکاران (Sabagh Tazeh *et al.*, 2012) نتیجه گرفتند که با مصرف گوگرد، غلظت فسفر، آهن و منگنز در ساقه و برگ گیاه گندم افزایش داشت ولی غلظت روی و مس افزایش معنی‌دار نداشت.

مواد و روشها

ابتدا تعدادی خاک از افق A اراضی برنجکاری استان گیلان تهیه و برخی خصوصیات شیمیایی آنها اندازه‌گیری شد. از بین آنها یک خاک انتخاب شد. ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست به آن اضافه شد و مجدداً برخی خصوصیات مهم فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی آن اندازه‌گیری شد (جداول ۱ و ۲). گوگرد آسیاب شده از الک ۰/۱cm و باقیمانده آن از الک ۰/۰۵cm عبور داده شد

مصرف می‌شود. مدیپش و همکاران (Modaihsh *et al.*, 1989) نتیجه گرفتند که مصرف ۵ درصد گوگرد در خاک، pH را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش داد و میزان سولفات محلول، EC، آهن و فسفر قابل دسترس نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافتند ولی بر میزان روی قابل دسترس خاک تأثیری نداشت. سیفوننتز و لیندرمن (Cifuentes & Lindermann, 1993) گزارش کردند مصرف گوگرد pH را کاهش و EC و سولفات خاک را افزایش داد. کاپلان و امران (Kaplan & Omran, 1998) نتیجه گرفتند که مصرف گوگرد تأثیر معنی‌داری بر کاهش pH خاک و افزایش قابلیت جذب فسفر دارد، ولی آهن و روی قابل جذب خاک افزایش معنی‌داری نداشتند. حیدر زاده و همکاران (Heidarzadeh *et al.*, 2012) گزارش کردند که خاک بیشتر اراضی کشاورزی ایران آهکی است و کمبود گوگرد یک پدیده بسیار معمول است. قابلیت استفاده ضعیف عناصر غذایی، بیشتر از کمبود مقدار کمی عنصر غذایی، یکی از عوامل عمده رویداد گسترده کمبود ماده غذایی در خاک‌های آهکی است و کاهش pH خاک یک راه حل موثر برای رسیدن به ثبات عناصر غذایی در خاک آهکی و قلیایی است. در خاک قلیا و آهکی به سبب pH بالا و غلظت زیاد یون Ca، قابلیت جذب بعضی عناصر غذایی از قبیل فسفر، آهن و روی که قابلیت دسترسی آنها به pH وابسته است، برای گیاهان کم است. جاجی و همکاران (Jaggi *et al.*, 2005) اثر گوگرد را در سه رژیم رطوبتی ۴۰، ۶۰ و ۱۲۰ درصد فضای منافذ خاک و سه

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از آزمایش

Table 1. Some physical and chemical properties of soil before test

Texture	Zn	Mn	Fe	P	Clay	Silt	Sand	OC	T.N.V	PWP	FC	EC	pH
	mg kg ⁻¹							%				dSm ⁻¹	
Si-C	1.0	15.2	47.5	22.8	43	50	7	1.9	1.0	24.98	36.5	1.28	7.27

جدول ۲- برخی خصوصیات بیولوژیکی خاک قبل از آزمایش

Table 2. Some Biological properties of soil before test

Microbial organic Carbon	Autotroph bacteria population	Heterotroph bacteria population
میکروگرم در کیلوگرم خاک	تعداد در گرم خاک	
196	0	1.6×10 ⁴

درصد (M₁) و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی (M₂) و چهار سطح گوگرد (S₀=۰، S₁=۵۰، S₂=۱۰۰۰ و S₃=۲۰۰۰ کیلوگرم

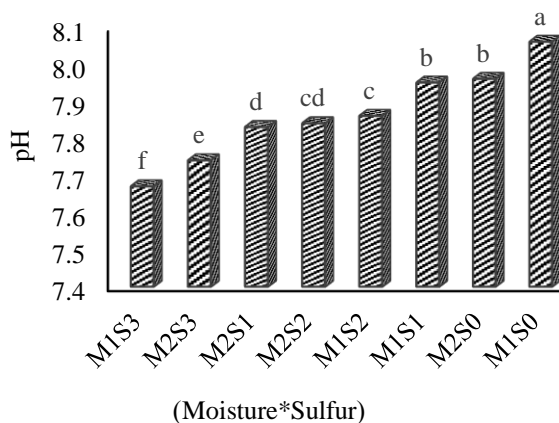
این پژوهش شامل دو آزمایش بود که به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو سطح رطوبتی ۶۰

از خاک‌ها نمونه‌گیری شد. هر دو تا سه روز، رطوبت خاک‌ها به روش وزنی کنترل و کمبود رطوبت آنها تامین شد. در هر نمونه‌گیری، ۱۱۰ گرم خاک نمونه‌گیری شد. از هر نمونه، ۱۰ گرم خاک مرطوب داخل یک لوله پلاستیکی ریخته شد و ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. با دستگاه شیکر، تکان داده شده و سانتی‌فریوژ می‌شد. pH و EC در محلول رویی اندازه‌گیری شد. مقداری از خاک را خشک کرده و غلظت عناصر فسفر، آهن، منگنز و روی آن اندازه‌گیری شد. فسفر با استفاده از روش اولسن و غلظت آهن، منگنز و روی با استفاده از عصاره‌گیر DTPA اندازه‌گیری شد. تعداد باکتری‌های تیوباسیلوس نمونه خاک‌های دارای ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و سطح گوگرد ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

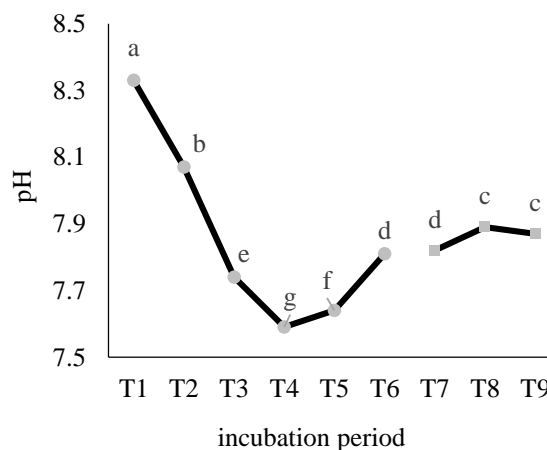
اثر تیمارها بر pH محلول خاک

جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثرات اصلی و متقابل رطوبت، گوگرد و مدت خواباندن بر pH در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). میانگین pH محلول خاک در رطوبت M_1 و M_2 تفاوت معنی‌دار داشتند. با افزایش مصرف گوگرد، pH محلول خاک کم شد (جدول ۴). در هر دو دمای خواباندن، مدت خواباندن بر مقدار pH محلول خاک اثر معنی‌دار داشت (شکل ۱).



شکل ۲- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با pH
Figure 2. Interaction of moisture and sulfur with pH

در هکتار) در سه تکرار اجرا شد. در یک آزمایش، دو رژیم رطوبتی (۶۰ و ۹۰ درصد حد ظرفیت زراعی) و چهار سطح گوگرد (صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)، در سه تکرار انجام شد. خاک از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و معادل ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به آن اضافه و مخلوط گردید. این خاک به چهار قسمت تقسیم شد و به هر قسمت یکی از سطوح گوگرد و ۳ درصد وزن گوگرد، باکتری تیوباسیلوس اضافه و مخلوط شد. تعداد ۶ ویال ۷۰۰ گرمی از خاک دارای هر سطح گوگرد تهیه شد. رطوبت ۳ ویال به اندازه ۶۰ درصد و سه ویال دیگر به اندازه ۹۰ درصد FC تنظیم شد. چند ساعت بعد، خاک درون هر ظرف مخلوط شد تا رطوبت آن یکنواخت شود. سپس خاک داخل ظرف‌ها فشرده شد تا وزن مخصوص ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب ایجاد گردد. خاک‌ها داخل آون در دمای ۲۵°C خوابانده شدند و در ۶ نوبت ($T_1=30$ ، $T_2=60$ ، $T_3=90$ ، $T_4=120$ ، $T_5=180$ و $T_6=270$) از خاک داخل هر ظرف نمونه‌برداری شد و پارامترهای pH و EC در نمونه‌های هر شش نوبت اندازه‌گیری شدند ولی غلظت عناصر فسفر، آهن، منگنز و روی فقط در نمونه‌های چهار نوبت اول اندازه‌گیری شدند. در آزمایش دوم، تمام عملیات آزمایش اول تکرار شد، ولی خاک‌ها در دمای ۳۶°C خوابانده شدند و در ۳ زمان ($T_7=14$ ، $T_8=28$ و $T_9=42$ روز)



شکل ۱- رابطه مدت خواباندن با pH
Figure 1. Relationship of incubation period with pH

بیشترین مقدار مربوط به تیمار M₂T₉ بود (جدول ۵). اثرات متقابل سطوح گوگرد و مدت خواباندن بر مقدار pH تفاوت معنی‌دار داشتند. در دمای خواباندن ۲۵°C، تیمار S₀T₁ بالاترین pH را داشت و تیمار S₃T₄ کمترین را داشت. در دمای خواباندن ۳۶°C، pH تیمارهای S₀T₉ و S₃T₉ به ترتیب بیشترین و کمترین بود (جدول ۶).

اثر متقابل رطوبت و گوگرد بر مقدار pH اختلاف معنی‌دار نشان داد (شکل ۲). تیمارهای ترکیبی رطوبت و مدت خواباندن بر مقدار pH اثر معنی‌دار داشت. در دمای خواباندن ۲۵°C، تیمار M₁T₁ بیشترین pH را داشت و تیمار M₁T₄ کمترین مقدار را به خود اختصاص داده بود. در درجه حرارت ۳۶°C، دو تیمار M₁T₉ و M₂T₇ کمترین pH را داشتند و

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر متغیرهای آزمایش بر ویژگیهای اندازه‌گیری شده خاک

Table 3. Variance analysis of measured characteristics of soil as affected by experimental variable

Source of variation	(DF)	(Mean of Square)					
		(pH)	(EC)	(P)	(Fe)	(Zn)	(Mn)
Moisture	1	0.10**	88128**	17.03**	5084**	5.03**	23.28**
Sulfur	3	0.84**	451304**	0.3949 ^{ns}	340**	13.60**	48.99**
Incubation period	(6) -8	1.21**	662238**	1666.53**	6693**	81.70**	85.42**
M*S	3	0.10**	7261**	0.5434 ^{ns}	1286**	8.70**	23.24**
M*T	(6) -8	0.07**	34863**	4.9799**	1973**	2.08**	6.78 ^{ns}
S*T	(18) -24	0.05**	58546**	3.1279**	356**	10.08**	18.98**
M*S*T	(18) -24	0.02**	2510*	0.9857 ^{ns}	697**	6.10**	17.27**
Error	(112) -144	0.0040	1591	1.1298	24.07	0.77	3.63
CV		0.8084	6.6081	4.3670	8.1696	23.02	9.93

ns, ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

ns, **, *: Non significant, significant at 1% and 5% probability level respectively.

توجه: اعداد داخل پرانتز در ستون درجه آزادی، نشان دهنده درجه آزادی منابع تغییر برای صفات P, Fe, Zn و Mn هستند.

جدول ۴- مقایسه ویژگیهای صفات اندازه‌گیری شده تحت تاثیر سطوح رطوبت و گوگرد

Table 4. Mean measured characteristics of soil as affected by moisture and Sulfur levels

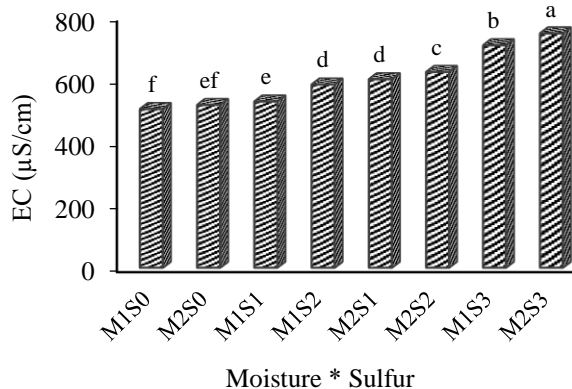
(Mn)	(Zn)	(Fe)	(P)	(EC)	(pH)	متغیر
mg/kg			µS/cm			
19.56 ^a	3.63 ^b	54.47 ^b	23.97 ^b	583 ^b	7.89 ^a	M ₁
18.82 ^b	4.01 ^a	65.72 ^a	24.72 ^a	624 ^a	7.84 ^b	M ₂
17.78 ^c	3.46 ^b	59.06 ^b	24.25 ^a	514 ^d	8.01 ^a	S ₀
19.55 ^{ab}	4.18 ^a	62.25 ^a	24.20 ^a	567 ^c	7.89 ^b	S ₁
20.36 ^a	4.40 ^a	62.33 ^a	24.27 ^a	605 ^b	7.85 ^c	S ₂
19.07 ^b	3.23 ^b	56.52 ^c	24.64 ^a	729 ^a	7.71 ^d	S ₃

- در هر ستون حروف مشابه نشان دهنده تفاوت غیر معنی‌دار است. - In each column, similar letters show non-significant difference.

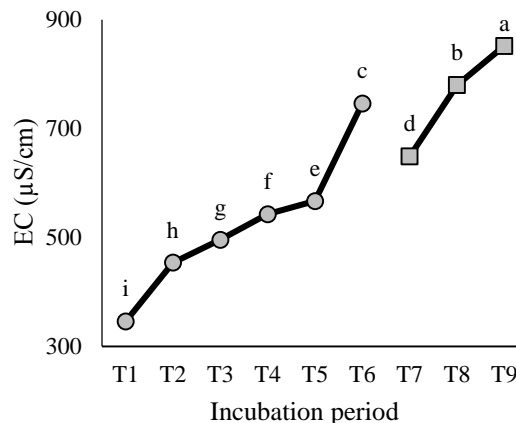
تیمار M₂T₆ بیشترین EC را داشت و تیمار M₂T₁ کمترین مقدار را به خود اختصاص داده بود. در درجه حرارت ۳۶°C، دو تیمار M₁T₉ و M₁T₇ بیشترین و کمترین EC را داشتند (جدول ۵). اثر متقابل سطوح گوگرد و مدت خواباندن بر مقدار EC تفاوت معنی‌دار نشان داد. در دمای خواباندن ۲۵°C، تیمار S₀T₆ بالاترین EC را داشت و تیمار S₀T₁ کمترین مقدار را داشت. در دمای خواباندن ۳۶°C، EC تیمارهای S₃T₉ و S₁T₇ بیشترین و کمترین مقدار بود (جدول ۶).

اثر تیمارها بر EC محلول خاک

اثرات اصلی و متقابل متغیرهای آزمایش بر EC در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). سطوح رطوبت و گوگرد مصرفی بر EC اثر معنی‌دار داشت. با افزایش مصرف گوگرد EC افزایش نشان داد (جدول ۴). افزایش مدت خواباندن موجب بیشتر شدن EC شد (شکل ۳). اثر متقابل رطوبت و گوگرد بر مقدار EC اختلاف معنی‌دار نشان داد. تیمارهای M₁S₃ و M₂S₃ بیشترین هدایت الکتریکی را دارا بودند (شکل ۴).



شکل ۴- اثر متقابل رطوبت و گوگرد بر هدایت الکتریکی
Figure 4. Interaction of moisture and Sulfur with EC



شکل ۳- رابطه مدت خواباندن خاک با هدایت الکتریکی
Figure 3. Relationship of incubation period with EC

جدول ۵- مقایسه میانگین ویژگیهای اندازه گیری شده تحت اثر متقابل رطوبت و مدت خواباندن خاک

Table 5. Mean measured characteristics of soil as affected by interaction of moisture and incubation period

Treatments	pH	EC (µS cm ⁻¹)	P	Fe	Zn (mgkg ⁻¹)	Mn
M ₁ T ₁	8.37 ^a	356 ^j	29.52 ^d	62.70 ^d	1.20 ^f	21.86 ^a
M ₁ T ₂	8.15 ^c	465 ^h	29.66 ^d	66.71 ^c	2.62 ^f	20.65 ^a
M ₁ T ₃	7.81 ^{gh}	498 ^g	33.21 ^a	52.82 ^e	6.14 ^a	17.56 ^a
M ₁ T ₄	7.56 ^k	533 ^f	30.01 ^{cd}	60.41 ^d	3.90 ^{de}	20.16 ^a
M ₁ T ₅	7.68 ⁱ	512 ^g	-	-	-	-
M ₁ T ₆	7.85 ^{fg}	706 ^d	-	-	-	-
M ₁ T ₇	7.85 ^{fg}	569 ^f	15.37 ^e	43.84 ^{ij}	1.82 ^g	17.57 ^a
M ₁ T ₈	7.91 ^e	726 ^d	14.01 ^f	44.39 ^{hij}	5.48 ^{ab}	20.43 ^a
M ₁ T ₉	7.79 ^h	885 ^a	16.00 ^e	50.43 ^{ef}	3.96 ^{de}	18.67 ^a
M ₂ T ₁	8.30 ^b	336 ^j	30.82 ^c	87.79 ^b	1.53 ^g	21.67 ^a
M ₂ T ₂	7.99 ^d	443 ⁱ	30.07 ^{cd}	113.36 ^a	3.34 ^{ef}	21.45 ^a
M ₂ T ₃	7.68 ⁱ	494 ^{gh}	32.62 ^a	52.63 ^e	5.81 ^a	16.72 ^a
M ₂ T ₄	7.63 ^j	553 ^f	31.74 ^b	59.77 ^d	5.08 ^{bc}	17.62 ^a
M ₂ T ₅	7.61 ^j	621 ^e	-	-	-	-
M ₂ T ₆	7.77 ^h	786 ^c	-	-	-	-
M ₂ T ₇	7.79 ^h	729 ^d	15.33 ^e	47.95 ^{fgh}	1.70 ^g	16.60 ^a
M ₂ T ₈	7.86 ^f	834 ^b	15.64 ^e	46.97 ^{fghi}	6.05 ^a	20.30 ^a
M ₂ T ₉	7.96 ^d	819 ^b	16.05 ^e	50.08 ^{efg}	4.38 ^{cd}	17.27 ^a
LSD	0.05	32.08	0.86	3.97	0.71	

*Non similar letters demonstrate non-significant difference

*در هر ستون حروف غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی دار مقادیر است.

جدول ۶- اثر متقابل گوگرد و مدت خواباندن خاک بر میانگین ویژگیهای اندازه گیری شده

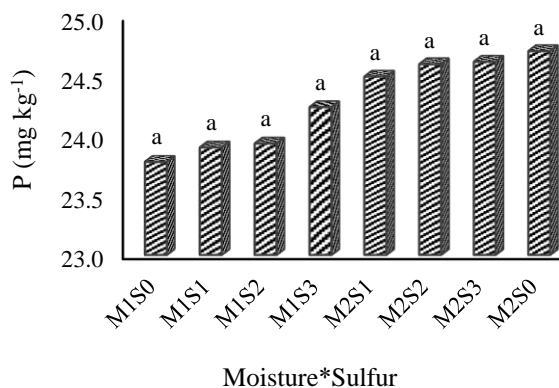
Table 6. Mean of soil measured characteristics as affected by interaction of Sulfur and incubation period

		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₇	T ₈	T ₉	T ₅	T ₆	LSD
pH	S ₀	8.56 ^a	8.38 ^b	7.87 ^{hi}	7.82 ⁱ	7.89 ^{gh}	7.95 ^{fg}	8.07 ^e	7.76 ^{kl}	7.78 ^{jk}	0.07
	S ₁	8.36 ^b	8.20 ^d	7.66 ^{op}	7.56 ^{qr}	7.87 ^{hi}	7.95 ^{fg}	7.89 ^{gh}	7.68 ^{no}	7.85 ^{hi}	
	S ₂	8.27 ^c	8.00 ^f	7.71 ^{lmno}	7.54 ^r	7.82 ⁱ	7.90 ^{gh}	7.87 ^{hi}	7.61 ^{pq}	7.93 ^{gh}	
	S ₃	8.14 ^d	7.71 ^{lmno}	7.74 ^{klmn}	7.45 ^t	7.69 ^{mno}	7.75 ^{klm}	7.66 ^{op}	7.52 ^{rs}	7.69 ^{mno}	
EC μS cm ⁻¹	S ₀	231 ^w	316 ^{uv}	348 st	361 ^{rst}	584 ^{lmn}	732 ^{fgh}	729 ^{fgh}	392 ^{rs}	932 ^b	45.37
	S ₁	308 ^{uv}	399 ^r	464 ^q	493 ^{pq}	582 ^{lmn}	710 ^{ghi}	824 ^{cd}	529 ^{op}	794 ^{de}	
	S ₂	341 ^{t u}	476 ^q	491 ^{pq}	568 ^{mno}	661 ^{jk}	741 ^{fgh}	863 ^c	607 ^{lm}	701 ^{hij}	
	S ₃	504 ^{pq}	624 ^{kl}	682 ^{ij}	749 ^{fg}	771 ^{ef}	939 ^b	992 ^a	740 ^{fgh}	557 ^{no}	
P mg kg ⁻¹	S ₀	30.67 ^{def}	30.59 ^{def}	33.52 ^a	30.78 ^{de}	14.61 ^{kl}	13.46 ^l	16.11 ^{hi}	-	-	1.21
	S ₁	29.63 ^{efg}	29.14 ^g	32.16 ^{bc}	31.25 ^{cd}	15.20 ^{ijk}	15.53 ^{hijk}	16.50 ^h	-	-	
	S ₂	341 ^{t u}	29.50 ^{fg}	33.09 ^{ab}	30.33 ^{defg}	16.39 ^{hi}	14.34 ^{kl}	15.69 ^{hijk}	-	-	
	S ₃	29.80 ^{efg}	30.23 ^{defg}	32.89 ^{ab}	31.14 ^{cd}	15.20 ^{ijk}	15.96 ^{hi}	15.80 ^{hij}	-	-	
Fe mg kg ⁻¹	S ₀	76.28 ^c	82.57 ^b	55.55 ^{hij}	59.76 ^{fgh}	45.19 ^{mn}	44.17 ⁿ	49.92 ^{klm}	-	-	5.61
	S ₁	80.97 ^{bc}	107.24 ^a	50.22 ^{ijklm}	56.23 ^{ghi}	45.02 ^{mn}	46.01 ^{lmn}	50.09 ^{ijklm}	-	-	
	S ₂	76.21 ^c	103.75 ^a	53.61 ^{fijk}	63.16 ^{def}	45.01 ^{mn}	43.97 ⁿ	50.57 ^{ijklm}	-	-	
	S ₃	67.51 ^c	66.60 ^{cd}	51.52 ^{ijkl}	61.20 ^{efg}	48.38 ^{klmn}	48.55 ^{klmn}	50.45 ^{ijklm}	-	-	
Zn mg kg ⁻¹	S ₀	1.38 ^l	2.53 ^{jk}	4.99 ^{cde}	3.82 ^{fghi}	1.79 ^{kl}	5.90 ^{bc}	3.78 ^{fghi}	-	-	1.00
	S ₁	1.32 ^l	2.88 ^{ijk}	8.64 ^a	4.01 ^{efg}	1.79 ^{kl}	6.42 ^b	4.19 ^{efg}	-	-	
	S ₂	1.42 ^l	3.38 ^{ghij}	9.00 ^a	4.88 ^{de}	1.76 ^{kl}	5.88 ^{bc}	4.45 ^{def}	-	-	
	S ₃	1.33 ^l	3.12 ^{hij}	1.88 ^{kl}	5.24 ^{cd}	1.69 ^{kl}	4.85 ^{de}	4.25 ^{defg}	-	-	
Mn mg kg ⁻¹	S ₀	19.58 ^{ghijk}	17.89 ^{ijklmno}	15.83 ^{opq}	19.02 ^{ghijk}	15.53 ^{pq}	20.20 ^{cdefghi}	16.42 ^{nop}	-	-	2.18
	S ₁	20.97 ^{bcdefg}	21.93 ^{abcd}	16.72 ^{mno}	20.80 ^{bcdefg}	16.80 ^{lmnop}	21.73 ^{abcdef}	17.89 ^{ijklmno}	-	-	
	S ₂	22.70 ^{ab}	22.31 ^{abc}	21.89 ^{abcde}	19.73 ^{efghij}	17.31 ^{klmnop}	19.59 ^{fghij}	18.97 ^{ghijkl}	-	-	
	S ₃	23.83 ^a	22.07 ^{abcd}	14.12 ^q	16 ^{opq}	18.71 ^{hijklm}	19.95 ^{defghij}	18.59 ^{ijklmn}	-	-	

- For each characteristic, similar letters demonstrate non-significant difference

- حروف مشابه برای هر صفت نشان دهنده تفاوت غیر معنی دار است.

مدت خواباندن به ۱۲۰ روز (T₄)، میزان فسفر کاهش یافت. در دمای ۳۶°C، مقدار فسفر قابل جذب در مدت خواباندن ۴۲ روز (T₉)، حداکثر و در مدت ۲۸ روز (T₈) حداقل بود (شکل ۵). اثرات متقابل رطوبت و گوگرد بر مقدار فسفر قابل جذب خاک تفاوت معنی دار نداشت (شکل ۶).

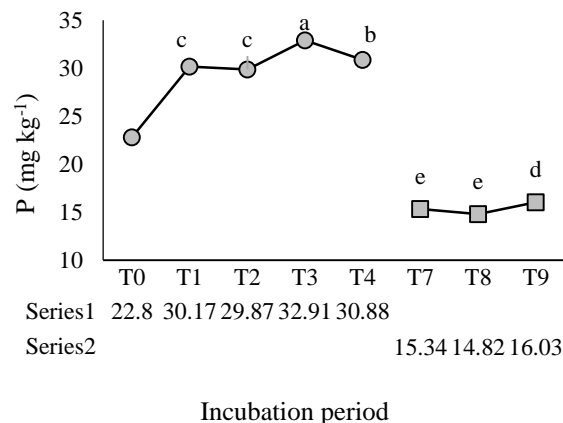


شکل ۶- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با فسفر

Figure 6. Interaction of moisture and Sulfur with P

بالاترین آهن قابل جذب خاک را داشت و با سطح ۱ kg ha⁻¹ ۵۰۰ (S₁) تفاوت معنی دار نداشت (جدول ۴). مدت خواباندن بر مقدار آهن قابل جذب اثر معنی دار نشان داد. در دمای ۲۵°C، خواباندن ۶۰ روز (T₂) بیشترین مقدار آهن را داشت و با افزایش خواباندن به ۹۰ روز (T₃)، میزان آهن کاهش یافت. در دمای ۳۶°C، مقدار آهن قابل جذب در مدت ۴۲ روز (T₉)، ۵۰ و در مدت خواباندن ۱۴ روز (T₈) ۴۵/۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم بود (شکل ۷). اثر متقابل رطوبت و گوگرد بر مقدار آهن قابل جذب تفاوت معنی دار نداشت (شکل ۸). اثر متقابل رطوبت و مدت خواباندن خاک بر مقدار آهن قابل جذب تفاوت معنی دار نشان داد. در دمای خواباندن ۲۵°C، تیمارهای M₂T₂ و M₂T₃، به ترتیب بیشترین و کمترین آهن قابل جذب را داشتند. در دمای خواباندن ۳۶°C، کمترین مقدار آهن قابل جذب به تیمار M₁T₇ و بیشترین آن به تیمار M₁T₉ تعلق داشت (جدول ۵). در دمای خواباندن ۲۵°C، تیمار S₁T₂ بیشترین آهن قابل جذب و تیمار S₁T₃ کمترین مقدار را داشت. در دمای خواباندن ۳۶°C، به ترتیب آهن قابل جذب تیمارهای S₂T₉ و S₂T₈ بیشترین و کمترین مقدار بود (جدول ۶).

اثر تیمارهای آزمایش بر غلظت فسفر قابل جذب خاک مقدار فسفر قابل جذب خاک در سطح رطوبت M₁ از M₂ کمتر بود. مصرف گوگرد بر مقدار فسفر اثر معنی دار نداشت (جدول ۴). در دمای ۲۵°C، با افزایش مدت خواباندن تا ۹۰ روز (T₃)، فسفر قابل جذب خاک بیشتر شد، ولی با افزایش



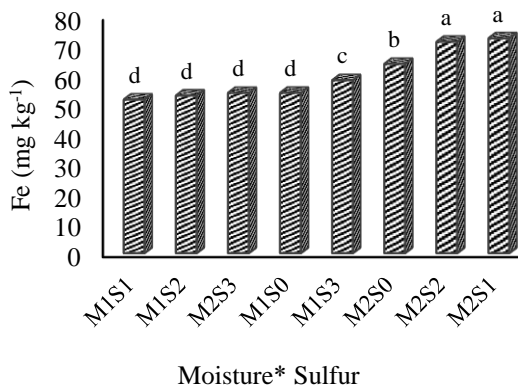
شکل ۵- رابطه مدت خواباندن خاک با فسفر

Figure 5. Relationship of incubation period with P

تأثیر تیمارهای ترکیبی رطوبت و مدت خواباندن خاک بر مقدار فسفر قابل جذب خاک تفاوت معنی دار نشان داد (جدول ۵). در دمای ۲۵°C، تیمار M₁T₃ بیشترین مقدار فسفر قابل جذب را داشت و تیمار M₁T₁ کمترین مقدار را داشت. در دمای خواباندن ۳۶°C، کمترین مقدار فسفر قابل جذب را تیمار M₁T₈ داشت و با بقیه تیمارها تفاوت معنی دار نداشت. بیشترین مقدار به تیمار M₂T₉ تعلق داشت. اثرات متقابل سطوح گوگرد و مدت خواباندن بر مقدار فسفر قابل جذب خاک تفاوت معنی دار نشان داد. در دمای ۲۵°C، تیمار S₀T₃ بالاترین فسفر قابل جذب و تیمار S₁T₂ کمترین مقدار را داشت. در دمای ۳۶°C، فسفر قابل جذب تیمارهای S₁T₉ و S₀T₈ به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار بود (جدول ۶).

اثر تیمارهای آزمایش بر غلظت آهن قابل جذب خاک

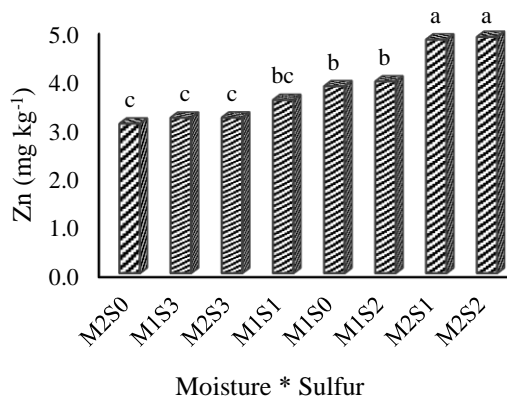
اثرات اصلی و متقابل میزان رطوبت، سطوح گوگرد و مدت زمان خواباندن بر مقدار آهن تفاوت معنی دار نشان داد (جدول ۳). مقدار آهن قابل جذب خاک در رطوبت M₁ کمتر از رطوبت M₂ بود. مصرف گوگرد بر آهن قابل جذب خاک اثر معنی دار نداشت. مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار (S₂)



شکل ۸- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با آهن

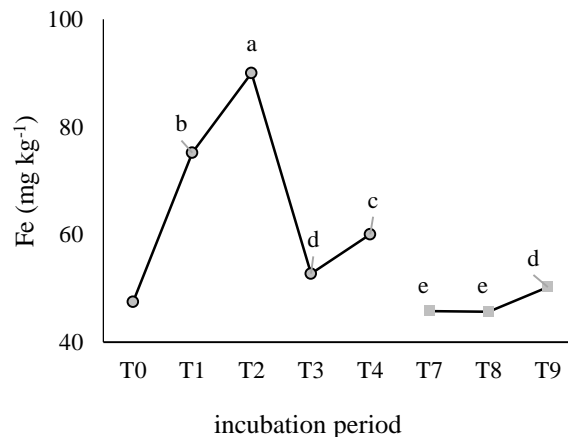
Figure 8. Interaction of moisture and Sulfur with Fe

اثر تیمارهای آزمایش بر غلظت روی قابل جذب خاک اثرات اصلی و متقابل میزان رطوبت، سطوح گوگرد و مدت خواباندن بر مقدار روی قابل جذب تفاوت معنی دار نشان داد (جدول ۳). مقدار روی قابل جذب خاک در رطوبت M₁ کمتر از رطوبت M₂ بود. سطح گوگرد S₂ بالاترین مقدار روی قابل جذب را داشت و با سطح S₁ تفاوت معنی دار نداشت. مصرف ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد (S₃)، غلظت روی قابل جذب را کاهش داد (جدول ۴). در دمای ۲۵°C، مدت خواباندن T₁ M₂S₀ کمترین مقدار روی را داشت (شکل ۱۰). اثر تیمارهای ترکیبی رطوبت و مدت خواباندن خاک بر مقدار روی قابل جذب تفاوت معنی دار نشان داد (جدول ۵). تیمار M₁T₃ بیشترین روی قابل جذب را داشت و با تیمارهای



شکل ۱۰- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با روی قابل جذب خاک

Figure 10. Interaction of moisture and Sulfur with Zn

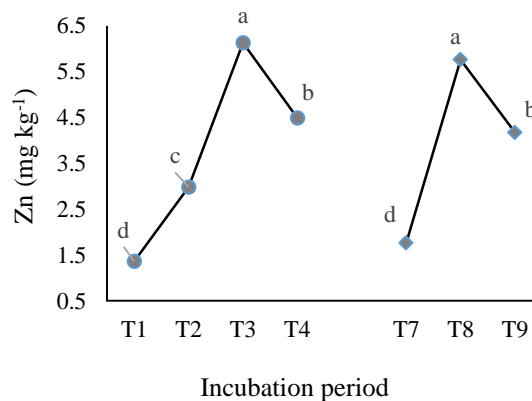


شکل ۷- رابطه مدت خواباندن خاک با آهن

Figure 7. Relationship of incubation period with Fe

اثر تیمارهای آزمایش بر غلظت روی قابل جذب خاک

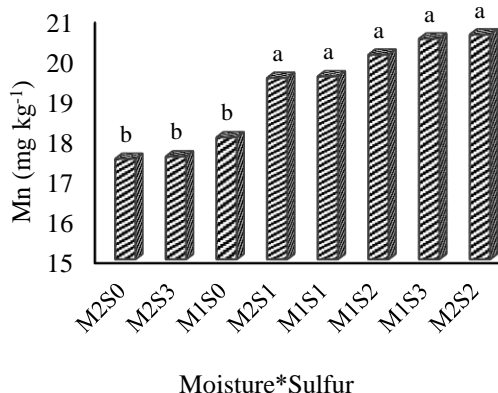
اثر تیمارهای آزمایش بر غلظت روی قابل جذب خاک اثرات اصلی و متقابل میزان رطوبت، سطوح گوگرد و مدت خواباندن بر مقدار روی قابل جذب تفاوت معنی دار نشان داد (جدول ۳). مقدار روی قابل جذب خاک در رطوبت M₁ کمتر از رطوبت M₂ بود. سطح گوگرد S₂ بالاترین مقدار روی قابل جذب را داشت و با سطح S₁ تفاوت معنی دار نداشت. مصرف ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد (S₃)، غلظت روی قابل جذب را کاهش داد (جدول ۴). در دمای ۲۵°C، مدت خواباندن T₁ M₂S₀ کمترین مقدار روی را داشت (شکل ۱۰). اثر تیمارهای ترکیبی رطوبت و مدت خواباندن خاک بر مقدار روی قابل جذب تفاوت معنی دار نشان داد (جدول ۵). تیمار M₁T₃ بیشترین روی قابل جذب را داشت و با تیمارهای



شکل ۹- رابطه مدت خواباندن خاک با روی قابل جذب خاک

Figure 9. Relationship of incubation period with Zn

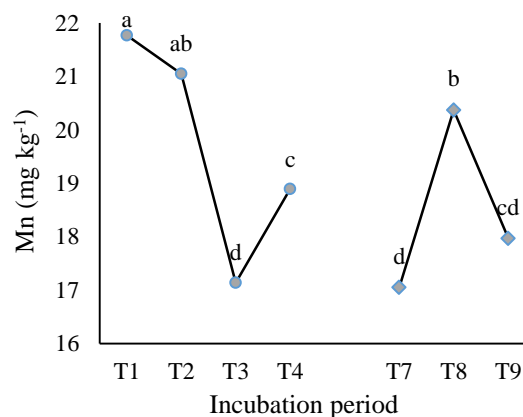
۳۰ روز (T₁) بیشترین مقدار منگنز را داشت و با افزایش مدت خواباندن به ۹۰ روز (T₃)، میزان منگنز قابل جذب کاهش یافت. در دمای ۳۶°C، کمترین مقدار منگنز قابل جذب خاک در مدت خواباندن ۱۴ روز (T₇) رخ داد و حداکثر آن مربوط به مدت خواباندن ۲۸ روز (T₈) بود (شکل ۱۱). تیمار ترکیبی M₂S₂ بیشترین و تیمار M₂S₀ کمترین مقدار منگنز را داشت (شکل ۱۲). تیمارهای ترکیبی رطوبت و مدت خواباندن خاک بر مقدار منگنز قابل جذب، اثر معنی‌دار نداشتند (جدول ۵).



شکل ۱۲- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با منگنز قابل جذب
Figure 12. Interaction of moisture and Sulfur with Mn

با افزایش رطوبت از ۶۰٪ به ۹۰٪ ظرفیت زراعی خاک، pH و غلظت منگنز قابل جذب خاک کاهش یافت. زیرا با بیشتر شدن رطوبت خاک، گوگرد بیشتری اکسایش یافته و موجب کاهش pH شده است و در مورد منگنز چون در رطوبت بیشتر، غلظت فسفر قابل جذب خاک زیادتر شده، فسفر با منگنز ترکیب شده و باعث کاهش غلظت منگنز قابل جذب در رطوبت بالاتر شده است. همچنین با افزایش رطوبت خاک، EC، فسفر، آهن و روی قابل جذب خاک افزایش داشت. زیرا شرایط خاک مقداری احیایی شده و آهن و روی محلول و فسفر قابل جذب بیشتر شده است. مصرف گوگرد باعث کاهش pH و افزایش EC و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی شده با افزایش مصرف گوگرد، کاهش pH بیشتر بود، ولی با افزایش مصرف گوگرد از ۱ تن به ۲ تن در هکتار، مقدار عناصر Fe، Mn و Zn قابل جذب کاهش یافت. با مصرف گوگرد، یون سولفات محلول بیشتر شده و موجب افزایش EC خاک شده

اثر تیمارهای آزمایش بر غلظت منگنز قابل جذب خاک به استثنای اثر متقابل رطوبت و مدت خواباندن، اثرات اصلی و متقابل متغیرهای آزمایش بر غلظت منگنز تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۳). مقدار منگنز قابل جذب در رطوبت M₁ کمتر از M₂ بود. مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد (S₂) بیشترین و سطح شاهد کمترین مقدار منگنز قابل جذب را داشت (جدول ۴). مدت خواباندن بر مقدار منگنز قابل جذب خاک اثر معنی‌دار نشان داد. در دمای ۲۵°C، مدت خواباندن



شکل ۱۱- رابطه مدت خواباندن خاک با منگنز قابل جذب
Figure 11. Relationship of incubation period with Mn

اثر متقابل سطوح گوگرد و مدت زمان خواباندن بر مقدار غلظت منگنز قابل جذب خاک تفاوت معنی‌دار نشان داد. در دمای خواباندن ۲۵°C، تیمار S₃T₁ حداکثر و تیمار S₃T₃ حداقل مقدار منگنز را داشتند. در دمای خواباندن ۳۶°C، منگنز قابل جذب تیمارهای S₁T₈ و S₀T₇ به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار بود (جدول ۶).

تعداد باکتری تیوباسیلوس

تعداد باکتری‌های تیوباسیلوس نمونه خاک‌های تیمار M₂S₃ (۹۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی و سطح گوگرد ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) در هر نوبت نمونه‌گیری اندازه‌گیری شد. تعداد باکتری تیوباسیلوس همه نمونه خاک‌ها کمتر از ۱۰^۲ عدد در هر گرم خاک بود و با هم تفاوت نداشتند.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی اثر متقابل گوگرد مصرفی و مدت خواباندن نشان داد که در مجموع تیمار S_2T_3 بیشترین مقدار عناصر قابل جذب خاک را دارد. در دمای خواباندن $25^{\circ}C$ ، کمترین مقدار pH پس از ۱۲۰ روز و در دمای $36^{\circ}C$ بعد از ۱۴ روز خواباندن بدست آمد. در هر دو دما با افزایش مدت خواباندن، مقدار هدایت الکتریکی محلول خاک زیادتر شد. اثرات ترکیبی سه گانه غیر از فسفر قابل جذب بر روی دیگر پارامترهای اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود. تیمار $M_2S_1T_8$ مناسب‌ترین تیمار قابل توصیه از نظر افزایش عناصر قابل جذب در خاک‌های با این ویژگی‌ها می‌باشد.

و از طرفی پروتون‌های بیشتری تولید شده که باعث کاهش pH محلول خاک شده است. بیشترین مقدار P و Zn، Fe، Mn قابل جذب به ترتیب پس از مدت زمان خواباندن ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۹۰ روز حاصل شد. کمترین میزان pH مربوط به مدت خواباندن ۱۲۰ روز بود زیرا بعد از این مدت مقدار گوگرد عنصری کم شده و ظرفیت بافری خاک باعث افزایش مجدد pH شده است. تیمارهای ترکیبی M_2S_1 و M_2S_2 حداکثر فسفر، آهن، روی و منگنز قابل جذب را داشتند و با هم تفاوت نداشتند. بنابراین تیمار M_2S_2 (۱ تن در هکتار گوگرد و رطوبت ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) بهترین تیمار قابل توصیه است.

References

- Aulakh M.S., Jaggi R.C. and Sharma R. 2002. Mineralization-immobilization of soil organic sulfur and oxidation of elemental sulfur in subtropical soils under flooded and no flooded conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 35:197–203.
- Attoe O.J. and Olsen R.A. 1966. Factors affecting rate of oxidation in soils of elemental sulfur and that added in rock phosphate-sulfur fusions. *Soil Science*, 101: 317-324.
- Besharati H. 1988. Investigation of effect of sulfur and *Thiobacillus* application on uptake increasing of some nutrient elementals uptake. M.S thesis of Soil Science. Agriculture College, Tehran University, Tehran. 176p.
- Blaney L.M. and Cinar S. 2007. Hybrid anion exchanger for trace phosphate removal from water and wastewater. *Water Research*, 41(7): 1603-1613.
- Bloem E., Haneklaus S. and Schnug E. 2005b. Significance of sulfur compounds in the protection of plants against pests and diseases. *Journal of Plant Nutrition*, 28: 763-784.
- Cifuentes F.R. and Linderman W.C. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in Calcareous soils. *Soil Science Society of American Journal*, 57: 727-731.
- Edmeades D.C., Thorrold B.S. and Roberts A.H.C. 2005. The diagnosis and correction of sulfur efficiency and the management of sulfur requirements in New Zealand pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 45: 1205-1223.
- Germida J.J.I. and Janzen H.H. 1993. Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils. *Fertilizer Research*, 35: 101-114.
- Heydarnezhad F., Shahinrokhsar P., Shokri Vahed H. and Besharati H. 2012. Influence of elemental sulfur and sulfur oxidizing bacteria on Some nutrient deficiency in calcareous soils. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4-12: 735-739.
- Jaggi R.C., Aulakh M.S. and Sharma.R. 1999. Temperature effects on soil organic Sulphur mineralization and elemental Sulphur oxidation in subtropical soils of varying pH. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 54: 175-182.
- Jaggi R.C. Aulakh M.S. and Sharma R. 2005. Impacts of elemental S applied under various temperature and moisture regimes on pH and available P in acidic, neutral and alkaline soils. *Biology and Fertility of Soils*, 41: 52-58.
- Jara A.A., Violante A., Pigna M. and Mora M.D.L. 2006. Mutual interactions of sulfate, oxalate, citrate, and phosphate on synthetic and natural allophanes. *Soil Science Society of American Journal*, 70: 337-346.
- Janzen H.H. and Bettany J.R. 1987b. The effect of temperature and water potential on sulfur oxidation in soils. *Soil Science*, 144: 81-89.

- Kalbasi M., Manuchehri N. and Filsoof F. 1986. Local acidification of soil as a means to alleviate iron chlorosis on quince orchards. *Journal of Plant Nutrition*, 9(3-7): 1001-1007.
- Kaplan M. and Orman S. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in turkey. *Journal of Plant Nutrition*, 21(8): 1655-1665.
- Li p. and Caldwell A.C. 1966. The oxidation of elemental Sulphur in soil. *Soil Science Society of American Proceeding*, 30: 370-372.
- Modaihsh, S., Al-mustafa W.A. and Metwally A. E. 1989. Effect of elemental sulfur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. *Plant and Soil*, 116: 95-101.
- Nor, Y.M. and Tabatabai, M.A. 1977. Oxidation of elemental sulfur in soils. *Soil Science Society of American Journal*, 41: 736-741.
- Sabbagh Tazeh E., Aliasgharzadeh N., Rameshknia Y., Naji Rad S. and Tahmaseb B. 2012. Microbial Sulfur oxidation effect on micronutrients availability of municipal compost for wheat plant. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, 2: 551-559.
- Scherer H.W. 2001. Sulphur in crop production. *European Journal of Agronomy*, 14: 81-111.

Effect of Various Temperature and Moisture Conditions on Sulfur Oxidation and Nutrient Elements Concentration in Soil

Nosratolah Montajabi¹, Mohammad Feizian^{2*}, Mohammad Hosein Davoodi³, Akbar Sohrabi², Mahdi Shariat⁴

(Received: October 2016

Accepted: December 2017)

Abstract

Although there are sufficient nutrients in most Soils, due to Soil high pH value, they are not available for plants. The purpose of this research was to investigate the effects of moisture, temperature and incubation periods on Sulfur oxidation, pH change and nutrient elements availability. This research was conducted with two experiments in randomized complete blocks design with 3 replications. In the first experiment, treatments were the factorial combination of 2 moisture levels [%60FC(M₁) and %90FC(M₂)], 4 Sulfur levels (S₀=0, S₁=500, S₂=1000 and S₃=2000kg/ha) and 6 incubation periods (T₁=30, T₂=60, T₃=90, T₄=120, T₅=180 and T₆=270 days) and Soils were incubated at 25°C. In the second experiment, Soils were incubated for 3 periods (T₇=14, T₈=28, T₉=42 days) at 36°C. pH and EC in Soil solution and available P, Fe, Zn and Mn were measured. Variance Analysis indicated that Sulfur and its interaction with moisture effects was not significant on available P. Also moisture and incubation period interaction was not significant on available Mn. Main effects and interactions of variables were significant on all measured characteristics with except for mentioned characteristics. Moisture increasing caused increasing of EC, P, Fe, Zn and decreasing of pH and Mn. Sulfur application decreased pH and increased EC, Fe, Zn and Mn. The most concentration of Fe, Mn and Zn accrued with 1000kg/ha sulfur application. Effect of incubation periods was significant on all attributes. Incubation period of 90 days (T₃) had the most P and Zn. The most concentration of Fe and Mn gained after 60 days incubation. Moisture and sulfur interaction was significant on all measured characteristics with except for Phosphorus. Moisture and incubation period interaction had significant difference on all measured attributes with the exception of Manganese. Interaction of Sulfur and incubation period was significant on all measured attributes. The tri- combined treatments had significant difference on the measured characteristics with the exception of available P. The best recommendable treatment is M₂S₂T₃.

Keywords: Fe, P, pH, Sulfur oxidation, Zn

Montajabi N., Feizian M., Davoodi M.H., Sohrabi S. and Shariat M. 2019. Effect of various temperature and moisture conditions on sulfur oxidation and nutrient elements concentration in soil. *Applied Soil Research*, 6(4): 133-145.

1- Staff member of Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran.

2- Assistant Professor Department of Soil Science, Lorestan University

3- Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran

4- Assistant Professor, Golpayegan Payame Nour University

* Corresponding Author Email: Feizian_m@yahoo.com