

اثر سطوح مختلف شوری، روی و گوگرد تلقیح شده با تیوباسیلوس بر رشد و جذب برخی عناصر غذایی توسط گیاه کلزا (*Brassica napus* L.)

حسین صفری زرگانی، حبیب‌اله نادیان قمشه، نفیسه رنگ‌زن¹ و محمدرضا مرادی تلاوت

فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان؛ hosseinsafarizergani@gmail.com

استاد، عضو هیأت علمی گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان؛ nadian_habib@yahoo.com

استادیار، عضو هیأت علمی گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان؛ nafas023@yahoo.com

دانشیار، عضو هیأت علمی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان؛ moraditelavat@yahoo.com

دریافت: 99/7/1 و پذیرش: 99/12/23

چکیده:

به منظور ارزیابی اثر روی و گوگرد تلقیح شده با تیوباسیلوس و شوری ناشی از کلرید سدیم بر رشد و جذب عناصر فسفر، پتاسیم و روی توسط گیاه کلزا، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل شوری خاک در چهار سطح (1، 4 و 7 و 10 دسی‌زیمنس بر متر)، گوگرد تلقیح شده با تیوباسیلوس در دو سطح (صفر و 500 کیلوگرم در هکتار) و روی در سه سطح (صفر، 25 و 50 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی) و در مجموع 72 تیمار بودند. نتایج نشان داد که تنش شوری تمام صفات مورد بررسی را تحت تأثیر خود قرار داده و باعث کاهش معنی‌دار مؤلفه‌های رشد مانند ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه و نیز کاهش جذب عناصر غذایی مورد بررسی گردید؛ ولی، شوری باعث افزایش معنی‌دار غلظت سدیم در ریشه و اندام‌هوایی گیاه شد. مصرف گوگرد و کاربرد 25 میلی‌گرم در کیلوگرم روی در شرایط تنش شوری، موجب بهبود صفات رشد و افزایش غلظت فسفر، پتاسیم و روی به ترتیب به میزان 15/26%، 110/5% و 376/6% و نیز کاهش غلظت سدیم در اندام‌هوایی گیاه به میزان 34/77% نسبت به تیمار شاهد گردید. به طور کلی نتایج نشان داد مصرف گوگرد تلقیح شده با تیوباسیلوس و نیز مصرف سطح بهینه کود سولفات روی (25 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، می‌تواند با تأثیرگذاری بر خصوصیات خاک و همچنین تأمین مستقیم عناصر، میزان جذب عناصر غذایی را در شرایط تنش شوری بالا برده و با کاهش میزان جذب سدیم، اثرات زیان‌بار شوری بر گیاه را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: شوری ناشی از کلرید سدیم، کود سولفات روی، تنش شوری، عناصر غذایی پرمصرف

¹ نویسنده مسئول، آدرس: ملائانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی خاک

مقدمه

امروزه برای دستیابی به حداکثر بهره‌وری از منابع، توجه ویژه‌ای به مدیریت خاک‌های شور گردیده است. بر اساس گزارشات فائو، شوری باعث از دست رفتن حدود 1/5 میلیون هکتار از اراضی شده و سالانه منجر به کاهش عملکرد در حدود 46 میلیون هکتار از اراضی کشاورزی می‌گردد (فائو، 2020). از اثرات اولیه تنش شوری می‌توان به کاهش مقدار آب بافت‌های گیاهی اشاره نمود که طی آن میزان انرژی لازم برای حفظ حالت طبیعی سلول افزایش می‌یابد و در نتیجه انرژی کمتری برای نیازهای رشدی باقی می‌ماند؛ بنابراین گیاهان رشد یافته در مناطق متأثر از تنش شوری به دلیل اثرات منفی این تنش به حداکثر رشد و عملکرد خود نمی‌رسند (مانوس، 2005). در شرایط شور، گیاهان معمولاً با غلظت بالای یون‌های بالقوه سمی، مانند سدیم، کلر و بور مواجه می‌باشند که سبب کاهش پتانسیل اسمزی و عدم تعادل تغذیه‌ای عناصر می‌گردند. کاوازاکی و همکاران (1983) معتقدند که صدمات ناشی از شوری بر گیاهان بیش از آنکه به علت تغییرات فشار اسمزی باشد، به دلیل رقابت بین عناصر غذایی و سمیت یون‌ها است. در گیاهان زراعی، تحت تنش شوری، وجود مقادیر زیاد سدیم علاوه بر تأثیر منفی بر عملکرد و اجزاء عملکرد، در بسیاری از فرآیندهای دخیل در رشد و نمو گیاهان نیز تأثیرگذار است و باعث اختلال در جذب، انتقال و توزیع عناصر غذایی ضروری در بخش‌های مختلف گیاه می‌گردد (بایوردی و همکاران، 1389).

کلزا به عنوان یکی از اعضای خانواده Brassicaceae، از جمله مهم‌ترین منابع روغن گیاهی می‌باشد که با داشتن بیش از 40 درصد روغن و حدود 40 درصد پروتئین در کنگاله، از دانه‌های روغنی عمده جهان در دهه‌های اخیر محسوب می‌شود. کلزا از نظر مقاومت به شوری در گروه گیاهان زراعی نسبتاً مقاوم قرار دارد که این مقاومت به شوری، مرتبط با توانایی گیاه در تجمع کلر و سدیم در واکنش یاخته‌های اندام هوایی می‌باشد (مس و هافمن، 1977). اشرف و مک‌نیل (2004) نیز در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که واریته‌های متحمل به شوری در هنگام مواجه با شوری دارای غلظت سدیم و کلر کمتر و بالعکس غلظت پتاسیم، منیزیم و کلسیم بیشتر در بخش هوایی خود بودند. مصرف عناصر غذایی می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر در جهت کاهش آثار سمیت یونی و ناهنجاری‌های تغذیه‌ای گیاهان در خاک‌های شور مورد توجه قرار گیرد. بسته به پاسخ گیاه به شرایط شوری از سطوح غیر محدودکننده تا شدید، اثر متقابل شوری و

عناصر غذایی متفاوت است. به عبارت دیگر، مصرف کود برای محصولاتی که در اراضی شور کشت شده‌اند، می‌تواند به دلیل بهبود شرایط تغذیه‌ای و کاهش اثر شوری (البته در شرایط شوری کم یا متوسط)، مفید واقع شود (مظلومی و رونقی، 1391).

روی از جمله عناصر ضروری کم مصرف برای رشد و نمو گیاهان بوده که به صورت کاتیون دو ظرفیتی جذب می‌شود و در بسیاری از فرآیندهای متابولیسم گیاهان نقش دارد. این عنصر علاوه بر نقش اساسی در فعال‌سازی برخی آنزیم‌های حیاتی گیاه نظیر الکل دهیدروژناز، کربونیک آنهیدراز، آلکالین فسفاتاز، فسفولپاز و RNA پلیمراز، در سنتز پروتئین‌ها، قندها، اسیدهای نوکلئیک و چربی‌ها، فتوسنتز گیاه و بیوسنتز اکسین به عنوان یک هورمون محرک رشد ایفای نقش می‌کند (کرملاچعب و قرینه، 1392). تحقیقات بنسال و همکاران (1990) نشان داد که کمبود روی در گیاهان گسترش جهانی دارد. از جمله عوامل کمبود روی قابل جذب در خاک‌های آهکی ایران می‌توان به وجود پ-هاش بازی، مصرف بیش از نیاز کودهای فسفات، کمبود مواد آلی و مهمتر از همه عدم رواج مصرف کودهای محتوی روی اشاره نمود. تحقیقات زیادی در رابطه با نقش مؤثر روی در افزایش عملکرد دانه، درصد روغن و ارتفاع بوته کلزا انجام شده است (بایوردی و ملکوتی، 2007). خوشگفتارمنش و همکاران (2002) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که روی نقش مهمی در بهبود عملکرد و کیفیت گندم در شرایط شور دارد. افزایش غلظت روی احتمالاً می‌تواند اثر منفی شوری را با محدود نمودن جذب سدیم و کلر و یا انتقال آن در گیاه کاهش دهد (آپاسلان و همکاران، 1999).

گوگرد، چهارمین عنصر عمده مورد نیاز کلزا و نیز عنصری حیاتی برای تغذیه گیاهان به خصوص گیاهان روغنی می‌باشد که به همراه عناصری مانند نیتروژن، فسفر و کلسیم به مقدار زیاد جذب می‌شود و نقش مهمی در تشکیل پروتئین‌ها، ویتامین‌ها، گلیکوزیدها و فعال کردن آنزیم‌ها دارد (فرح‌بخش و همکاران، 1386). تحقیقات نشان می‌دهد که مصرف گوگرد تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای مهم کلزا از جمله عملکرد دانه و درصد روغن دارد (شارما و سنوال، 1992). خاک‌های شور در ایران و بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان عمومیت داشته، و با توجه به اهمیت کشت این گیاه زراعی، تحقیق حاضر با هدف مطالعه اثر روی و گوگرد به صورت همزمان بر رشد و جذب برخی از عناصر غذایی کم-مصرف و پر مصرف در گیاه کلزا در سطوح مختلف

شوری و پیشنهاد سطح مناسب کاربرد هر یک از منابع مغذی و همچنین اثر مواد اصلاحی بر برخی از خصوصیات خاک، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی تیمارها و کشت گیاه

این پژوهش در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان واقع در شهر ملائانی (36 کیلومتری شهر اهواز)، به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه‌ی بلوک کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. نمونه خاک از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تهیه و در دمای 25-20 درجه سانتی‌گراد هوا خشک شده و پس از جداسازی سنگ و دیگر ضایعات همراه، از الک 2 میلی‌متر عبور داده شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (بویوکاس، 1962)، پ-هاش خاک در گل اشباع و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع (آزمایشگاه شوری آمریکا، 1954)، درصد مواد آلی به روش اکسیداسیون تر (والکلی و بلک، 1934)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات سدیم یک نرمال و کربنات کلسیم (CaCO_3) (جکسون، 1973) با استفاده از روش‌های استاندارد صورت گرفت. فسفر قابل جذب به روش اولسن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر، نیتروژن کل به روش کج‌دال و پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم صورت گرفت. جهت تعیین مقدار عناصر کم‌مصرف محلول در خاک (با قابلیت دسترسی زیستی زیاد)، عصاره‌گیری با استفاده از عصاره‌گیر DTPA (لیندسی و نورول، 1978) صورت گرفت و عصاره با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل ContrAA-300) مورد آزمایش قرار گرفتند. به میزان 10 درصد وزنی ماسه شسته شده قبل از اعمال تیمارها به نمونه خاک اولیه اضافه شد.

ابعاد آماری طرح که در مجموع 72 تیمار را شامل می‌شدند، عبارت بودند از چهار سطح شوری خاک E_1 ، E_2 ، E_3 و E_4 به ترتیب سطوح شوری 1 (شاهد)، 4، 7 و 10 دسی‌زیمنس بر متر (با توجه به سطح شاهد، قبل از شروع آزمایش نمونه‌های مورد نظر برای این سطح، آبتیوی شدند. با ملاک قرار دادن شوری عصاره اشباع و محاسبه اختلاف شوری اولیه و شوری مدنظر و تبدیل به مقدار نمک مورد نیاز در واحد وزنی خاک با استفاده از کلرید سدیم سطوح 4، 7 و 10 دسی‌زیمنس بر متر، آماده‌سازی شدند)، سه سطح روی شامل Zn_1 ، Zn_2 و Zn_3 به‌ترتیب سطوح روی صفر (شاهد)، 25 و 50 میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) و دو سطح گوگرد عنصری شامل S_1 و

S_2 به ترتیب سطح صفر (شاهد) و 500 کیلوگرم در هکتار گوگرد عنصری که در سطح S_2 از مایه تلقیح باکتری تیوباسیلوس استفاده گردید. باکتری تیوباسیلوس از گروه خشتی‌دوست (*Thiobacillus sp.*) است. مایه تلقیح استفاده شده از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی دزفول تهیه گردید و به مقدار 1 گرم در کیلوگرم خاک، با جمعیت 2×10^7 سلول در هر گرم استفاده شد. کود سولفات روی (به صورت محلول) پس از محاسبه مقادیر با توجه به وزن خاک گلدان‌ها و کود گوگردی و باکتری تیوباسیلوس قبل از کشت به خاک گلدان‌ها اضافه گردیده و به خوبی با خاک مخلوط شدند. بذور کلزا (رقم Hyola 401) که توسط هیپوکلرید سدیم 0/5 درصد ضدعفونی شده بودند، در گلدان‌ها (از نوع کیسه‌های پلاستیکی با قطر دهانه 17 سانتی‌متر با 2 کیلوگرم خاک) کشت شدند. در هر گلدان 10 عدد بذر در عمق 2 تا 3 سانتی‌متری سطح خاک کاشته شد. جهت حذف اثر کمبود سایر عناصر غذایی با توجه به نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی خاک، مقدار مشخصی از محلول غذایی فاقد عناصر روی و گوگرد تهیه و در فواصل مناسب از طریق آب آبیاری به گلدان‌ها منتقل شد. با توجه به وضعیت خاک و گیاه، آبیاری تا پایان هفته دوازدهم بر حسب نیاز گیاه صورت گرفت. جهت حفظ سطوح شوری در طول آزمایش، از آب مقطر برای آبیاری استفاده شد و با جمع‌آوری زه‌آب و برگرداندن آن به خاک گلدان، سیستم بسته برای به حداقل رساندن تغییرات شوری اعمال گردید که با انجام آزمایش شوری در انتهای دوره‌ی آزمایش و تجزیه آماری، تغییرات شوری معنی‌دار نبود.

برداشت گیاه و اندازه‌گیری مؤلفه‌های رشدی و غلظت

برخی از عناصر غذایی

در انتهای هفته دوازدهم (قبل از مرحله گلدهی)، قسمت هوایی گیاه از سطح خاک قطع گردید و ارتفاع گیاه از محل طوقه تا بالاترین نقطه گیاه با خطکش اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری طول ریشه‌ها از میکروسکوپ و روش تقاطع شبکه استفاده شد (تنانت، 1975). این روش بر پایه تعداد برخوردهای ریشه با خطوط افقی و عمودی شبکه استوار است. کل شمارش برای تعیین مجموع طول ریشه مورد استفاده قرار گرفت. پس از اندازه‌گیری وزن تر اندام هوایی، نمونه‌های گیاهی با آب مقطر کاملاً شسته شدند و بخش هوایی و ریشه گیاهان به صورت جداگانه در پاکت‌های کاغذی قرار داده شدند و در دمای 70 درجه سانتی‌گراد به مدت 48 تا 72 ساعت در آون تهویه‌دار خشک گردیدند. در ادامه، نمونه-

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد مطالعه در جدول (1) ارائه شده است. همانگونه که در جدول مشاهده می‌شود خاک دارای بافت لومی سیلتی بوده و ظرفیت تبادل کاتیونی آن 14/9 سانتی مول (بار) بر کیلوگرم می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر پ-هاش و شوری خاک (به عنوان دو فاکتور مهم و مؤثر بر تعادل و قابلیت جذب عناصر در خاک) نشان داد که اثرات مستقل تیمار گوگرد، شوری و روی و همچنین اثر متقابل شوری* روی بر تغییرات پ-هاش خاک معنی‌دار است. در بین تیمارها، صرفاً اثر مستقل تیمار شوری، بر تغییرات شوری خاک نسبت به سطح شاهد، معنی‌دار شد؛ به عبارت دیگر افزودن سایر ترکیبات به خاک تأثیر معنی‌داری بر افزایش شوری خاک نداشت. تیمار گوگرد، شوری و روی به ترتیب باعث کاهش 3/45، 1/60 و 1/15 درصدی در پ-هاش خاک در مقایسه با تیمار شاهد گردید. با توجه به نتایج ارائه شده، با افزایش میزان روی و گوگرد میزان پ-هاش خاک روند کاهشی دارد که با نتایج دلوکا و همکاران (1989) و بشارتی و همکاران (2007) هماهنگی دارد.

های خشک گیاه ابتدا آسیاب شده و از هر نمونه‌ی خشک شده یک گرم توزین گردید و در کوره با دمای 550 درجه سانتی‌گراد به مدت 2 ساعت خاکستر شد. خاکستر مورد نظر بعد از اضافه کردن 5 میلی‌لیتر اسید کلریدریک 2 نرمال تا رسیدن به دمای جوش، حرارت داده شد. با شروع جوشیدن، محلول حاصل را از کاغذ صافی عبور داده و نمونه‌ها جهت تهیه عصاره نهایی گیاه، توسط آب دوبار تقطیر به حجم 100 میلی‌لیتر رسانده شد. مقادیر سدیم و پتاسیم توسط دستگاه فلم‌فتومتر در عصاره قرائت گردید و علاوه بر غلظت گیاهی این عناصر، نسبت سدیم به پتاسیم نیز محاسبه شد. فسفر نیز با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج 660 نانومتر و عنصر روی نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین مربوط به اثر سطوح تیمارها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5 درصد مقایسه شدند. جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

جدول 1- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

| شخصیات | شن (%) | لای (%) | رس (%) | بافت خاک | pH | شوری EC (dS m ⁻¹) | مواد آلی OM (%) | آهک CaCO ₃ (%) |
|--|--------------|--|--|----------|------|--|-----------------|---------------------------|
| | 11 | 75 | 14 | SiL | 7/64 | 1/21 | 0/75 | 41/2 |
| ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) (Cmol (+) kg ⁻¹) | نیترژن N (%) | فسفر قابل جذب P (mg kg ⁻¹) | پتاسیم قابل جذب K (mg kg ⁻¹) | | | مقادیر قابل استخراج عناصر کم‌مصرف با DTPA (mg kg ⁻¹) | | |
| | | | | | | آهن Fe | روی Zn | مس Cu |
| | 0/098 | 9/44 | 112 | | | 4/56 | 0/58 | 0/86 |

سولفات روی به مقدار 7/33 گزارش گردید. رویاندن گیاه و تولید محصول در خاک‌های آهکی و خاک‌هایی که دارای پ-هاش بالایی هستند همواره با مشکلاتی مواجه بوده است. بخش مهمی از این مشکلات از آنجا ناشی می‌شود که در این خاک‌ها به علت وجود پ-هاش بالا و غلظت زیاد یون کلسیم، عناصر غذایی که قابلیت جذب آن‌ها به پ-هاش وابسته است به صورت نامحلول در می‌آیند (گوپتا و آبرول، 1990). در این راستا، کاربرد مواد اسیدزا مانند گوگرد و مشتقات آن برای اصلاح خواص خاک، حدوداً از اوایل قرن بیستم آغاز و روز به روز بر

علت کاهش پ-هاش خاک در اثر کاربرد گوگرد می‌تواند تولید اسیدسولفوریک باشد که در نتیجه‌ی اکسایش گوگرد در خاک ایجاد می‌گردد. به نظر می‌رسد بالا بودن میزان آهک خاک (بیش از 40 درصد) و زیاد بودن ظرفیت بافری خاک از تغییر قابل توجه پ-هاش خاک جلوگیری می‌نماید. کاهش پ-هاش خاک در شرایط شور احتمالاً به دلیل کاهش قطر لایه دوگانه پخشیده و افزایش ورود یون هیدروژن به فاز محلول خاک می‌باشد (اسپوزیتو، 2008). کمترین میزان پ-هاش در تیمار شوری 10 دسی‌زیمنس بر متر به همراه 50 میلی‌گرم در کیلوگرم

طی آزمایشی گوگرد عنصری را در سه نوع خاک اسیدی با پ-هاش 4/9 و خاک طبیعی با پ-هاش 7/1 و خاک قلیایی با پ-هاش 10/2 استفاده کردند. در این آزمایش مشاهده شد که کاربرد گوگرد عنصری تأثیری بر پ-هاش خاک اسیدی و خاک طبیعی نداشت ولی پ-هاش خاک قلیایی را کاهش داد. استفاده از گوگرد برای کاهش پ-هاش خاک‌های قلیایی و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی وابسته به پ-هاش خاک همواره مورد توجه قرار گرفته است؛ با این وجود مشکل عمده‌ای که بعد از مصرف گوگرد در خاک‌های زراعی مطرح است، اکسیداسیون آن می‌باشد. این عمل، با کمک باکتری‌های تیوباسیلوس که در شرایط هوازی در خاک زندگی می‌کنند، امکان‌پذیر است. این باکتری‌ها در شرایط مطلوب مخصوصاً مواد آلی بالا و رطوبت مناسب قادر به رشد و تکثیر بوده و در نتیجه باعث افزایش اکسیداسیون بیولوژیکی گوگرد می‌شوند.

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر مؤلفه‌های رشدی گیاه شامل ارتفاع و وزن خشک اندام هوایی، و طول ریشه و وزن خشک آن در جدول (2) نشان داده شده است.

میزان مصرف آن افزوده شد. به طوری که امروزه استفاده از گوگرد در کشاورزی، رقم قابل توجهی از کل مصرف جهانی را شامل می‌شود. مودیش و همکاران (1989) اثر گوگرد عنصری را بر خصوصیات شیمیایی و قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی بررسی کردند و دریافتند مصرف 0/5 درصد گوگرد در خاک‌های مورد آزمایش، پ-هاش خاک را بطور معنی‌داری کاهش داد. بشارتی و صالح راستین (1378) گزارش کردند که افزودن گوگرد به خاک در یک فصل زراعی، باعث افزایش باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد می‌شود که احتمالاً می‌تواند باعث کاهش پ-هاش خاک‌های قلیایی در طول فصول زراعی بعدی شود. علاوه بر آن، کاهش پ-هاش در خاکی با 12 درصد آهک گویای این واقعیت است که تلقیح باکتری تیوباسیلوس (به همراه گوگرد) در کاهش پ-هاش خاک‌های آهکی که فاقد میکروارگانیزم‌های اکسیدکننده گوگرد هستند، بسیار مفید است. محققین دانشگاه فلوریدا استفاده از گوگرد را به منظور کاهش پ-هاش خاک تا حدود 6/6 و بهبود قابلیت دسترسی عناصر پرمصرف برای رشد نیشکر، پیشنهاد کردند (گابریل و همکاران، 2007). رامش و همکاران (2004)

جدول 2- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر برخی ویژگی‌های رشدی گیاه کلزا

| میانگین مربعات | | | | | |
|---------------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| منابع تغییر | درجه آزادی | ارتفاع اندام هوایی | وزن خشک اندام هوایی | طول ریشه | وزن خشک ریشه |
| گوگرد | 1 | 34/72** | 16/15** | 0/166** | 0/125** |
| شوری | 3 | 591/5** | 35/18** | 0/277** | 0/939** |
| روی | 2 | 51/19** | 12/04** | 189/7** | 0/337** |
| گوگرد*شوری | 3 | 0/282 ^{ns} | 1/722** | 1/288 ^{ns} | 0/001 ^{ns} |
| گوگرد*روی | 2 | 0/398 ^{ns} | 0/206 ^{ns} | 3/951* | 0/007 ^{ns} |
| شوری*روی | 6 | 1/596** | 0/370** | 4/425** | 0/009 ^{ns} |
| شوری*روی*گوگرد | 6 | 0/108 ^{ns} | 0/063 ^{ns} | 1/563 ^{ns} | 0/001 ^{ns} |
| بلوک | 2 | 9/406** | 0/171 ^{ns} | 1/929 ^{ns} | 0/012 ^{ns} |
| خطای آزمایشی | 71 | 0/336 | 0/069 | 0/752 | 0/004 |
| ضریب تغییرات CV (%) | | 1/35 | 1/03 | 2/05 | 0/18 |

*, ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح 1 درصد، معنی‌داری در سطح 5 درصد، عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول 3)، استفاده از گوگرد تلقیح شده با تیوباسیلوس در سطح 500 کیلوگرم در هکتار، باعث افزایش 5/24، 18/3، 14/5 و 9/19 درصد در ارتفاع گیاه، وزن خشک اندام هوایی، طول ریشه و وزن خشک ریشه گیاه گردید. تقاضای زیاد برای گوگرد از ویژگی‌های گیاهان سرشار از پروتئین

اثرات مستقل هر سه تیمار آزمایشی بر همه مؤلفه‌های رشد گیاه معنی‌دار شد. اثر متقابل گوگرد*شوری بر وزن خشک اندام هوایی، اثر متقابل گوگرد*روی بر طول ریشه و اثر متقابل شوری*روی بر ارتفاع اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی و طول ریشه معنی‌دار شد. اثر سه‌گانه تیمارها بر هیچیک از مؤلفه‌های مدنظر معنی‌دار نشد.

روغنی، 12 کیلوگرم در هکتار گوگرد نیاز است که این مقدار برای غلات و بقولات به ترتیب 4 و 8 کیلوگرم در هکتار می باشد (گوانگ و همکاران، 2003).

(کلزا، آفتابگردان و غیره) است. به این ترتیب نیاز کلزا به گوگرد سه برابر بیشتر از غلات است. بنابراین دانه های روغنی در مقایسه با دیگر گیاهان (غلات و بقولات) نیاز بالاتری به گوگرد دارند و برای برداشت هر تن دانه

جدول 3- مقایسه میانگین اثر مستقل تیمارهای مورد مطالعه بر برخی ویژگی های رشدی گیاه کلزا

| میانگین | | | | |
|--------------------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------|---|
| وزن خشک | طول ریشه | وزن خشک اندام | ارتفاع اندام | تیمار |
| ریشه (g pot ⁻¹) | (m pot ⁻¹) | هوایی (g pot ⁻¹) | هوایی (cm) | |
| 0/87 ^b | 21/3 ^b | 5/18 ^b | 26/7 ^b | فاقد گوگرد (S ₁) |
| 0/95 ^a | 24/4 ^a | 6/13 ^a | 28/1 ^a | گوگرد تلقیح شده (S ₂) |
| 1/19 ^a | 33/9 ^a | 7/40 ^a | 34/2 ^a | شوری 1 دسی زیمنس بر متر (E ₁) |
| 0/98 ^b | 29/7 ^b | 6/02 ^b | 26/1 ^b | شوری 4 دسی زیمنس بر متر (E ₂) |
| 0/82 ^c | 25/7 ^c | 5/12 ^c | 18/9 ^c | شوری 7 دسی زیمنس بر متر (E ₃) |
| 0/66 ^d | 20/4 ^d | 4/10 ^d | 12/2 ^d | شوری 10 دسی زیمنس بر متر (E ₄) |
| 0/81 ^c | 20/0 ^c | 4/95 ^c | 26/0 ^c | فاقد روی (Zn ₁) |
| 0/89 ^a | 22/9 ^b | 6/37 ^a | 28/9 ^a | روی (25 میلی گرم در کیلوگرم) (Zn ₂) |
| 1/04 ^b | 25/6 ^a | 5/65 ^b | 27/4 ^b | روی (50 میلی گرم در کیلوگرم) (Zn ₃) |

* میانگین هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می باشند فاقد تفاوت معنی دار در سطح آماری 5 درصد می باشد.

گوگرد سرک، عملکرد دانه و روغن را افزایش می دهد. بیشترین تعداد دانه در غلاف، غلاف در بوته، وزن هزار دانه و زیست توده زمان برداشت با مقادیر بیشتر گوگرد به دست آمد. بهمنیار و همکاران (1384) گزارش نمودند که تأثیر گوگرد بر درصد روغن، میزان پروتئین و وزن هزار دانه مثبت بود اما ارتفاع بوته تحت تأثیر مصرف گوگرد قرار نگرفت. افزودن گوگرد به خاک به منظور تأمین نیاز گیاه به این عنصر، یا اصلاح و بهبود وضعیت تغذیه گیاه (از طریق اکسیداسیون گوگرد و آزاد شدن عناصر غذایی مثل فسفر، آهن، مس و روی) زمانی مؤثر خواهد بود که میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک قابل توجه باشد. از آنجا که اکسیداسیون شیمیایی گوگرد بسیار کند بوده و قسمت اعظم گوگرد موجود در خاک توسط میکروارگانیسم ها اکسید می شود، از این رو هر عاملی بتواند رشد و نمو و فعالیت ریزموجودات اکسیدکننده گوگرد را تحت تأثیر قرار دهد، بر میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک نیز اثر خواهد گذاشت (لیندمن و همکاران، 1991). تلقیح خاک با این باکتری ها، باعث افزایش سرعت اکسیداسیون گوگرد خواهد شد. در صورتی که جمعیت این باکتری ها در خاک پایین باشد، مصرف گوگرد همراه با این باکتری ها در خاک های قلیایی و آهکی، اثرات سودمندی را به دنبال خواهد داشت

کاربرد مقدار مناسبی از گوگرد در مناطقی که با فقر گوگرد مواجه هستند می تواند عملکرد کلزا را 4 برابر افزایش دهد (مک گرت و ژائو، 1996). باو (1998) گزارش کرد عملکرد محصولات روغنی با افزایش مقدار گوگرد تا حدی به طور خطی افزایش یافت و در سطوح بیشتر گوگرد، میزان افزایش عملکرد سویا کاهش می یابد. به علت غیرمتحرک بودن گوگرد در گیاه، کمبود آن در هر مرحله رشد گیاه می تواند به طور مؤثری باعث کاهش عملکرد کلزا شود. متأسفانه اغلب تولیدکنندگان دانه های روغنی 10 تا 40 درصد از پتانسیل و بازده تولید محصولشان را به علت عدم آگاهی از اهمیت گوگرد در تولید دانه های روغنی و عدم توانایی در تشخیص علائم خفیف تا متوسط کمبود گوگرد از دست می دهند (سپهر و همکاران، 1383). وانگ و همکاران (2002) با مقایسه توان جذب گوگرد توسط ریشه های کلزا و جو گزارش کردند که ریزوسفر ریشه کلزا در مقایسه با جو قادر به متحرک سازی مقدار بیشتری از عصاره آلی گوگرد است. آنها چنین نتیجه گرفتند که ریزوسفر کلزا حاوی زیست توده میکروبی ویژه ای است که می تواند جذب گوگرد را تنظیم کند. بنابراین گیاه دارای مصرف بالای گوگرد مانند کلزا نیازمند افزودن گوگرد جهت ادامه رشد طبیعی خود است. آبراهام (2001) گزارش کرد که مصرف

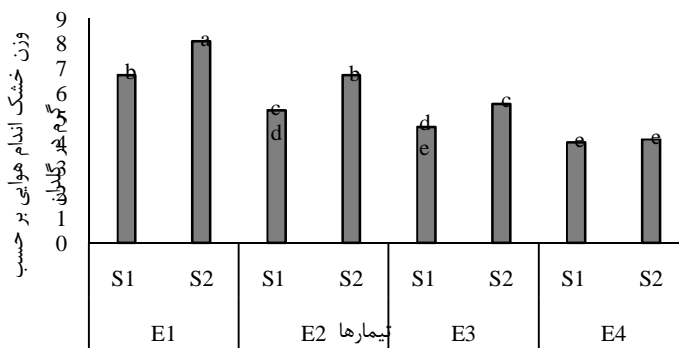
نقش روی و منگنز در تولید هورمون اکسین، انتقال الکترون و تولید کلروفیل، کودهای ریز مغذی باعث رشد رویشی، ساخت قند و هیدروکربن و فتوسنتز بیشتر می‌گردد. وجود روی در مناطق مرستمی، به علت کارایی آن در تولید هورمون اکسین در کلزا، باعث رشد رویشی (افزایش ارتفاع)، افزایش ساقه‌بندی و فتوسنتز می‌شود. با مصرف سولفات روی، عملکرد کلزا افزایش یافته به نحوی که بالاترین عملکرد در کاربرد توامان محلول‌پاشی و مصرف خاکی روی مشاهده گردید (فانی و دانشیان، 1395).

با توجه به معنی‌دار شدن اثرات متقابل سطوح شوری و گوگرد بر وزن خشک اندام هوایی گیاه، همانگونه که در شکل (1) مشاهده می‌شود، در بالاترین سطح شوری (10 دسی‌زیمنس بر متر) استفاده از گوگرد منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاه نشد؛ اما در مقایسه میانگین وزن خشک گیاه در سطوح شوری 4 و 7 دسی‌زیمنس بر متر، در شرایط عدم مصرف گوگرد، در شوری کمتر نتایج اختلاف معنی‌داری را با تیمار مصرف گوگرد در شوری بیشتر نشان نمی‌دهد که نشان دهنده کاهش اثرات منفی افزایش شوری به علت مصرف گوگرد می‌باشد. بیشترین وزن خشک گیاه در تیمار فاقد تنش شوری و کاربرد گوگرد به میزان 8/07 گرم در گلدان ثبت گردید و کمترین وزن خشک به میزان 4/03 گرم در تیمار شوری 10 دسی‌زیمنس بر متر و عدم مصرف گوگرد مشاهده شد. با توجه به نتایج به دست آمده، استفاده از روی می‌تواند اثرات منفی افزایش شوری بر گیاه را تا حدی خنثی نماید. با توجه به شکل (2)، وزن خشک اندام هوایی در شوری 4 دسی‌زیمنس بر متر بدون کاربرد روی تفاوت معنی‌داری با وزن خشک در تیمار شوری 10 دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد 25 میلی‌گرم در کیلوگرم روی، ندارد؛ که نشان می‌دهد با اضافه شدن روی به محیط ریشه و تقویت رشد گیاه، اثرات شوری کاهش یافته است. بیشترین وزن خشک اندام هوایی در همه سطوح شوری مربوط به تیمار روی برابر با 25 میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. با توجه به عدم معنی‌داری اختلاف میانگین‌های سطح 25 با 50 میلی‌گرم در کیلوگرم، از نظر اقتصادی، تیمار 25 میلی‌گرم در کیلوگرم، به عنوان تیمار مناسب پیشنهاد می‌گردد.

(واتکینسون و بلیر، 1993). گوگرد با اکسیدشدن و تولید اسیدسولفوریک می‌تواند شرایط لازم را برای کاهش پ-هاش منطقه ریزوسفر و در نتیجه افزایش فراهمی عناصر غذایی و در نهایت افزایش عملکرد محصولات مختلف فراهم نماید و باکتری تیوباسیلوس باعث تسریع این فرآیند می‌شود (ارشاد و همکاران، 2011). در مقابل، رضوی‌پور (1382) گزارش کرد که استفاده از کود گوگرد چه به شکل پودری خالص و چه به شکل پودری تلقیح-شده با باکتری تیوباسیلوس در افزایش ارتفاع ساقه، عملکرد دانه و درصد روغن کلزا نقش مؤثری ندارد.

افزایش سطح شوری از 1 به 10 دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش ارتفاع اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، طول ریشه و وزن خشک ریشه به ترتیب به میزان 64/3، 44/5، 39/8 و 44/3 درصد گردید. بیشترین اثر شوری بر ارتفاع اندام هوایی گیاه مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده شکل‌گیری ضعیف گیاه تحت تنش شوری خاک است. در تنش شوری، رشد ریشه معمولاً کمتر از رشد ساقه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. نوبل و روگرز (1993) گزارش کردند که ریشه مقاومت بیشتری به شوری نسبت به اندام‌های هوایی گیاه دارد. تنش شوری از راه تأثیر بر چند مکانیسم مهم گیاه مانند فتوسنتز، تنظیم فشار اسمزی و فعالیت آنزیم‌ها رشد گیاه را کاهش می‌دهد (کشاورز و ملکوتی، 1384).

با توجه به نتایج جدول مقایسه میانگین بیشترین ارتفاع و وزن خشک اندام هوایی در تیمار استفاده از روی به میزان 25 میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده گردید که باعث افزایش 11/1 و 28/6 درصدی در مؤلفه‌های مورد نظر در مقایسه با تیمار شاهد گردید. در مورد طول ریشه و وزن خشک ریشه سطح 50 میلی‌گرم در کیلوگرم مؤثرتر عمل کرده و باعث افزایش 28 درصد طول ریشه و 28/3 درصد وزن خشک ریشه گیاه گردید. در این تحقیق با توجه به ماده خشک تولیدی اندام هوایی، سطح 25 میلی‌گرم در کیلوگرم، سطح بهینه مصرف روی گزارش می‌شود. میزان جذب روی توسط گیاه کلزا پس از آهن و در رتبه سوم عناصر ریزمغذی قرار دارد که جذبی حدود 60 گرم در هکتار برای عملکرد 3/5 تن کلزا در هکتار دارد. همانگونه که اشاره شد، روی به صورت دو ظرفیتی جذب گیاه می‌شود و انتقال آن به همراه اسیدهای آمینه صورت می‌گیرد. غلظت آن در آوندهای آبکشی کم است بنابراین عنصری غیرپویا تلقی می‌شود (غیبی، 1383). با توجه به

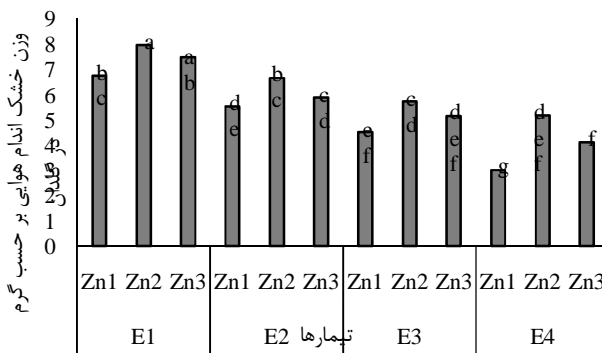


شکل 1- میانگین اثرات متقابل سطوح شوری (1، 4، 7 و 10 دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب E1، E2، E3 و E4) و گوگرد (صفر و 500 کیلوگرم در هکتار به ترتیب S1 و S2) بر وزن خشک اندام هوایی گیاه کلزا

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری 5 درصد می‌باشد.

است. آلپسلان و همکاران (1999) نشان دادند که شوری موجب کاهش وزن خشک و تر در گیاه می‌شود، ولی با افزایش مصرف روی از اثر شوری به طور معنی‌داری کاسته می‌گردد. حجازی‌مه‌ریزی و سعادت‌فر (1398) گزارش کردند کاربرد روی می‌تواند از طریق افزایش رطوبت نسبی برگ، حفظ پایداری غشاء سلولی و کاهش پراکسیداسیون لیپید، سبب افزایش تحمل گیاه به تنش شوری گردد.

به طور کلی بیشترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار سطح شوری 1 دسی‌زیمنس بر متر به میزان 7/96 گرم می‌باشد که افزایش سطح شوری به حداکثر و عدم مصرف روی باعث کاهش 62/3 درصدی این مقدار گردید. بر اساس نتایج تحقیق کرمل‌چعب و قرینه (1392) در شرایط تنش شوری شدید، روی باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی گیاه شد. مصرف 20 میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک در شرایط تنش شوری شدید باعث افزایش 9/4 درصدی وزن خشک اندام هوایی شده



شکل 2- میانگین اثرات متقابل سطوح شوری (1، 4، 7 و 10 دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب E1، E2، E3 و E4) و روی (صفر، 25 و 50 میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب Zn1، Zn2، Zn3) بر وزن خشک اندام هوایی گیاه کلزا

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری 5 درصد می‌باشد.

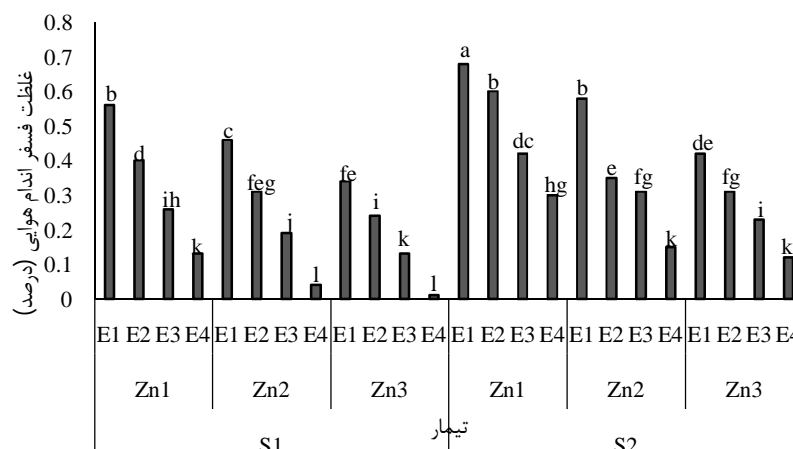
موارد معنی‌دار گزارش می‌شود. بر اساس نتایج جدول (4)، اثرات سه گانه تیمارها بر فسفر، روی، سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم گیاه معنی‌دار است. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثر تیمارها بر غلظت عناصر در ریشه گیاه نیز معنی‌دار شد که از توضیح آن صرف‌نظر می‌شود.

تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر غلظت فسفر، پتاسیم، روی، سدیم و همچنین نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی گیاه نشان داد اثرات مستقل تیمارها بر همه موارد مذکور معنی‌دار است. اثرات متقابل گوگرد* شوری به غیر از عنصر فسفر در مورد سایر عناصر معنی‌دار شد. اثرات متقابل گوگرد* روی و همچنین شوری* روی به غیر از عنصر سدیم، در سایر

جدول 4- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر غلظت برخی از عناصر غذایی، سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی گیاه کلزا

| میانگین مربعات | | | | | | |
|----------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|------------|---------------------|
| Na/K | سدیم | روی | پتاسیم | فسفر | درجه آزادی | منابع تغییر |
| 5/9808** | 389158501** | 31113/06** | 48972005** | 2438/6** | 1 | گوگرد |
| 5/2404** | 591264046** | 51396/3** | 245814464** | 4783/5** | 3 | شوری |
| 2/8408** | 90065304** | 364257/89** | 173046738** | 2293/2** | 2 | روی |
| 0/4381** | 48123338** | 1160/04** | 11953872** | 7/769 ^{ns} | 3 | گوگرد* شوری |
| 0/2494** | 1221276 ^{ns} | 7054/28** | 1989205* | 88/64** | 2 | گوگرد* روی |
| 0/3397** | 871971 ^{ns} | 10491/09** | 2350687* | 52/17** | 6 | شوری* روی |
| 0/1087** | 2041691* | 359/06** | 667850 ^{ns} | 17/42** | 6 | شوری* روی* گوگرد |
| 0/0001 ^{ns} | 1353217 ^{ns} | 90/71 ^{ns} | 318705/6 ^{ns} | 1/47474 ^{ns} | 2 | بلوک |
| 0/0092 | 460295 | 25/14 | 577395 | 2/96304 | 71 | خطای آزمایشی |
| 8/87 | 5/61 | 1/23 | 9/41 | 5/32 | | ضریب تغییرات CV (%) |

**، * و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح 1 درصد، معنی‌داری در سطح 5 درصد، عدم وجود اختلاف معنی‌دار.



شکل 3- میانگین اثرات متقابل سطوح گوگرد (صفر و 500 کیلوگرم در هکتار به ترتیب S1 و S2)، شوری (1، 4، 7 و 10 دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب E1، E2، E3، E4) و روی (صفر، 25 و 50 میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب Zn1، Zn2، Zn3) بر غلظت فسفر اندام هوایی گیاه کلزا

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری 5 درصد می‌باشد.

حاکی از آن است که تیمار روی، اثر معنی‌داری بر غلظت فسفر اندام هوایی گیاه کلزا دارد. به طوری که با کاربرد 50 میلی‌گرم در کیلوگرم، جذب فسفر توسط بخش هوایی به طور معنی‌دار و به مقدار 76/23 درصد نسبت به شاهد کاهش داشت. این نتایج، گزارش عسگری‌لجایی و همکاران (1393) مبنی بر وجود رابطه ناسازگاری بین فسفر و روی را تأیید می‌نماید. لذا در بین تیمارها بیشترین مقدار فسفر در تیمارهای فاقد روی مشاهده می‌شود. اضافه شدن گوگرد به همراه تیوباسیلوس باعث کاهش اثرات منفی روی در جذب فسفر می‌گردد که این

محققین زیادی گزارش کردند که با افزایش شوری خاک، غلظت عناصر پرمصرف مانند فسفر در اندام هوایی گیاهان کاهش می‌یابد و این موضوع می‌تواند مرتبط با تولید اتیلن تنشی در ریشه گیاهان باشد که باعث کاهش رشد ریشه و در نهایت ناکارآمدی ریشه در جذب عناصر و بهره‌گیری از خاک می‌گردد (سقفی و همکاران، 1392). از آنجا که فسفر تحرک کمی در محیط ریزوسفر دارد، گستردگی ریشه می‌تواند بر جذب این عنصر از محیط خاک، مؤثر باشد. شوری با اعمال محدودیت در رشد طولی ریشه می‌تواند جذب فسفر را نیز کاهش دهد. نتایج

بالاترین سطح شوری و بدون کاربرد روی، مقدار پتاسیم 0/93 درصد بود که استفاده از 25 میلی‌گرم در کیلوگرم روی، باعث افزایش 44 درصد و استفاده از 50 میلی‌گرم در کیلوگرم باعث افزایش 23/1 درصد پتاسیم گیاه شد. همانگونه که مشاهده می‌شود مقدار پتاسیم در سطح 50 میلی‌گرم در کیلوگرم روی و سطح شوری حداکثر اختلاف معنی‌داری با سطح عدم مصرف روی و فاقد تنش شوری نداشت. به طور کلی افزایش شوری خاک باعث کاهش 51/8 درصدی غلظت پتاسیم گیاه گردید که استفاده از روی در سطوح مختلف، این مقدار را به 38/8 و 30/9 درصد تغییر داد که نشان‌دهنده اثر تیمار روی بر کاهش اثرات منفی شوری بر جذب پتاسیم توسط گیاه است. کمترین میزان پتاسیم گیاه در سطح شوری حاد و عدم مصرف کود روی گزارش می‌شود. یکی از وظایف مهم عنصر روی که گیاهان مختلف در خاک‌های با کمبود این عنصر با اختلال آن مواجه می‌شوند، کنترل گزینش‌پذیری غشاء سلولی است (کاکماک، 2000). گنک و همکاران (2005) اثر شوری و کمبود روی را بر رشد گیاه گندم بررسی کردند و گزارش کردند اثرات منفی کمبود روی بر رشد گیاه گندم به مراتب بیشتر و شدیدتر از افزایش تنش شوری است. مکانیزم فیزیولوژیکی که طی آن عنصر روی باعث کاهش اثرات شوری می‌شود هنوز به طور دقیق شناسایی نشده و نیازمند تحقیقات بیشتر است.

اثر در سطح کاربرد روی به میزان 25 میلی‌گرم در کیلوگرم قابل مشاهده است. بیشترین مقدار روی در اندام هوایی گیاه به میزان 0/68 درصد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها دارد، در تیمار مربوط به عدم تنش شوری، عدم استفاده از روی و همچنین کاربرد گوگرد مربوط می‌شود. با توجه به نتایج، کاربرد غیر خاکی عنصر روی می‌تواند اثرات و تقابلات منفی را بین عنصر روی و فسفر در ریزوسفر کاهش دهد. در سطوح مشابه شوری، تیمارهایی که گوگرد دریافت کرده‌اند، میزان فسفر بیشتری دارند. به نظر می‌رسد مصرف گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس از طریق کاهش پ-هاش خاک در اطراف ریشه باعث افزایش حلالیت و جذب فسفر در گیاه می‌شود. محققین متعددی افزایش جذب فسفر را در اثر کاربرد گوگرد گزارش کرده‌اند (اخوان و فلاح‌نصرت‌آباد، 1392).

نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دوگانه تیمارها بر غلظت پتاسیم اندام هوایی گیاه کلزا، در جدول (5) نشان داده شده است. در سطوح بدون تنش شوری، اضافه کردن 25 میلی‌گرم در کیلوگرم روی، باعث افزایش 13 درصدی مقدار پتاسیم اندام هوایی گیاه گردید که این مقدار اختلاف معنی‌دار با سطح کاربرد 50 میلی‌گرم در کیلوگرم روی، نداشت. در سطح شوری ملایم (4 دسی‌زیمنس بر متر) افزایش سطح روی به ترتیب باعث افزایش 15/1 و 12/6 درصدی پتاسیم گیاه گردید. در

جدول 5- میانگین اثرات متقابل تیمارهای مورد مطالعه بر غلظت پتاسیم در اندام هوایی گیاه کلزا

| میانگین | | | | | |
|---------------------|-------------|---------------------|-------------|--------------------|-------------|
| پتاسیم (درصد) | منابع تغییر | پتاسیم (درصد) | منابع تغییر | پتاسیم (درصد) | منابع تغییر |
| 1/36 ^c | S1Zn1 | 2/12 ^{ab} | S1E1 | 1/93 ^{dc} | E1Zn1 |
| 1/72 ^{abc} | S1Zn2 | 1/86 ^{bcd} | S1E2 | 1/65 ^e | E2Zn1 |
| 1/92 ^{ab} | S1Zn3 | 1/57 ^{de} | S1E3 | 1/39 ^f | E3Zn1 |
| 1/58 ^{bc} | S2Zn1 | 1/10 ^f | S1E4 | 0/93 ^g | E4Zn1 |
| 1/83 ^{ab} | S2Zn2 | 2/20 ^a | S2E1 | 2/19 ^{ab} | E1Zn2 |
| 2/10 ^a | S2Zn3 | 1/93 ^{abc} | S2E2 | 1/90 ^d | E2Zn2 |
| | | 1/71 ^{cde} | S2E3 | 1/67 ^e | E3Zn2 |
| | | 1/50 ^e | S2E4 | 1/34 ^f | E4Zn2 |
| | | | | 2/39 ^a | E1Zn3 |
| | | | | 2/14 ^{bc} | E2Zn3 |
| | | | | 1/86 ^{de} | E3Zn3 |
| | | | | 1/65 ^e | E4Zn3 |

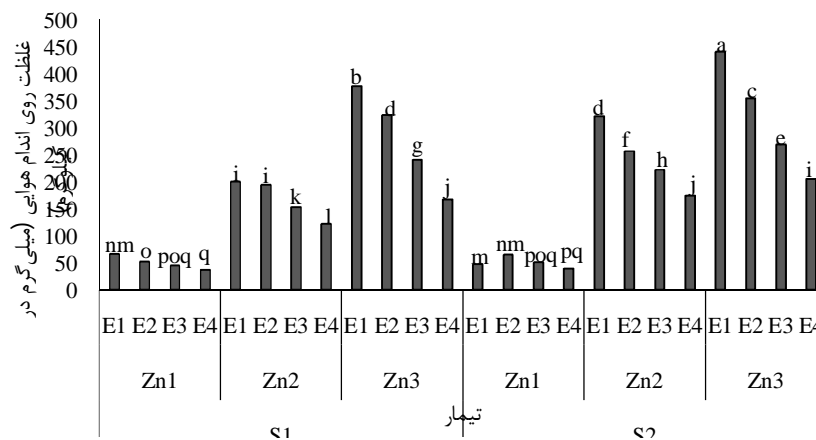
**سطوح گوگرد (صفر و 500 کیلوگرم در هکتار به ترتیب S1 و S2)، شوری (1، 4، 7 و 10 دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب E1، E2، E3 و E4) و روی (صفر، 25 و 50 میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب Zn1، Zn2، Zn3)

*میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری 5 درصد می‌باشد.

(ATPase) در ریشه گیاه است که به دنبال آن جذب پتاسیم افزایش یافته و غلظت آن در درون سلول گیاهی بیشتر می‌شود.

میانگین اثرات متقابل تیمارها بر غلظت روی در اندام هوایی گیاه در شکل (4) نشان داده شده است. بر این اساس بیشترین مقدار روی در اندام هوایی گیاه در تیمار عدم تنش شوری و مصرف همزمان گوگرد و 50 میلی‌گرم در کیلوگرم روی، و کمترین مقدار آن در تیمار عدم کاربرد روی و گوگرد و حداکثر تنش شوری، گزارش می‌شود. بر اساس گزارشات مختلف با افزایش سطح کاربرد روی در خاک و افزایش غلظت آن در محیط ریشه، مقدار محتوای گیاهی نیز افزایش می‌یابد. به طور کلی با افزودن گوگرد به همراه تیوباسیلوس مقدار روی در اندام هوایی گیاه کلزا، 1/2 برابر افزایش یافت. حلالیت اغلب عناصر کم‌مصرف در خاک‌ها به شدت تحت تأثیر پ-هاش خاک است. از آنجا که استفاده از گوگرد پ-هاش خاک را به شکل معنی‌داری کاهش داده است، لذا حلالیت و دسترسی به عنصر روی نیز افزایش یافته که این موضوع در شرایط کاربرد سولفات روی با اختلاف بیشتری نسبت به سطح عدم کاربرد روی، دیده می‌شود. بر اساس گزارشات جانکوسکی و همکاران (2014) اثر گوگرد بر محتوای روی و منگنز گیاه به شدت تحت تأثیر نوع گیاه و حتی اندام هدف می‌باشد. به عنوان مثال استفاده از کود سولفور به باعث افزایش محتوای روی و منگنز در ریشه و کاهش محتوای منگنز در کاه و کلش کلزا گردید.

به طور کلی استفاده از گوگرد عنصری به همراه تیوباسیلوس باعث افزایش 10/2 درصدی مقدار پتاسیم گیاه گردید. در شرایط فاقد تنش شوری، پتاسیم گیاه با افزودن تیمار گوگرد 3/77 درصد افزایش یافت که این مقدار در تنش شوری حداکثر، 36/3 درصد می‌باشد. لذا بر اساس نتایج به دست آمده اثر مثبت گوگرد بر جذب پتاسیم تحت شرایط تنش افزایش می‌یابد. در تحقیقات متعدد اثر استفاده از گوگرد بر تغییر ترکیب شیمیایی محصولات از نظر کمیت عناصر غذایی، به اثبات رسیده است. برخی محققین گزارش کرده اند محتوای فسفر و پتاسیم در گیاه کلزایی که گوگرد دریافت کرده است در مرحله گلدهی کاهش می‌یابد؛ و تغییرات در مرحله رسیدگی دانه و برداشت محصول معنی‌دار نیست. پودلنسا (2004) گزارش کرد نیتروژن، گوگرد، پتاسیم، کلسیم و منیزیم بیشتری در اثر استفاده از گوگرد، در گیاه تجمع می‌یابد. این تفاوت گزارشات می‌تواند به تفاوت فرم گوگرد، شرایط خاک، شرایط منطقه و غیره مرتبط باشد. استفاده همزمان از تیمار روی و گوگرد باعث افزایش جذب پتاسیم گردید که بیشترین مقدار آن (2/10 درصد) در تیمار حاوی گوگرد و 50 میلی‌گرم در کیلوگرم روی مشاهده گردید. با توجه به عدم معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها بین سطوح مصرف روی، سطح 25 میلی‌گرم در کیلوگرم به عنوان سطح بهینه مصرف معرفی می‌گردد. عادل‌اقلو و عادل‌اقلو (2006) گزارش کردند افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم در اندام هوایی ذرت، به واسطه اثر عنصر روی بر فعال‌سازی پمپ جذب کننده پتاسیم

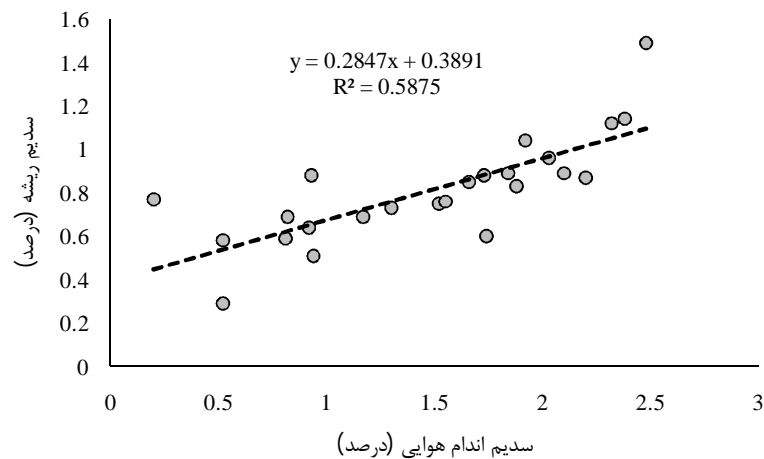


شکل 4- میانگین اثرات متقابل سطوح گوگرد (صفر و 500 کیلوگرم در هکتار به ترتیب S1 و S2)، شوری (1، 4، 7 و 10 دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب E1، E2، E3، E4) و روی (صفر، 25 و 50 میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب Zn1، Zn2، Zn3) بر غلظت روی اندام هوایی گیاه کلزا

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح آماری 5 درصد می‌باشد.

افزایش سطح تنش شوری باعث افزایش معنی‌دار غلظت سدیم در گیاه گردید. غلظت سدیم تحت تأثیر تیمار شوری در سطح تنش حاد (10 دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به تیمار شاهد 2/74 برابر افزایش یافت. با توجه به اینکه در اغلب خاک‌های شور، وجود سدیم و کلر در غلظت‌های بالا موجب برهم خوردن تعادل تغذیه‌ای گیاه می‌شوند، عنصر سدیم در رقابت ویژه با پتاسیم عمل نموده و لذا با افزایش جذب سدیم و کاهش جذب پتاسیم گیاهان دچار آسیب جدی خواهند شد. در گیاهان مقاوم به شوری عدم جذب سدیم و یا تجمع آن در ریشه و جذب مقادیر مناسبی از عنصر پتاسیم منجر به شکل‌گیری شرایط مقاومتی به تنش شوری می‌گردد. هر عاملی که به عنوان اصلاح‌کننده به سیستم خاک-گیاه افزوده شود که بر مکانیزم جذب سدیم-پتاسیم تأثیرگذار باشد مسلماً گیاه را به سمت مقاومت یا حساسیت بیشتر نسبت به تنش شوری سوق خواهد داد. با توجه به نتایج به دست آمده استفاده از روی و گوگرد به صورت مستقل باعث کاهش معنی‌دار غلظت سدیم اندام هوایی گیاه گردید. کاربرد

سطوح روی به ترتیب باعث کاهش 8 و 21/9 درصدی میزان سدیم اندام هوایی گردید که این مقدار برای گوگرد 26/2 درصد گزارش می‌شود. در مورد غلظت سدیم ریشه گیاه سطوح روی به ترتیب 16/4 و 30/9 درصد و کاربرد گوگرد 20 درصد میزان غلظت را کاهش داد. لذا افزودن روی و گوگرد به خاک می‌تواند در کاهش میزان سدیم در ریشه و اندام هوایی گیاه کلزا مؤثر واقع شود. نقش روی در کاهش غلظت سدیم ریشه را می‌توان به نقش این عنصر در حفظ پایداری غشاء سلولی و تنظیم ورود و خروج یون سدیم از ریشه گیاه نسبت داد (اکتاس و همکاران، 2006). حجازی‌مه‌ریزی و سعادت‌فر (1398) گزارش کردند با افزایش سطح شوری از کارایی عنصر روی در کاهش غلظت سدیم ریشه کاسته می‌شود. بر اساس نتایج نشان داده شده در شکل (5) با افزایش سدیم در ریشه گیاه، مقدار سدیم در اندام هوایی گیاه نیز افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده همبستگی مثبت و انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی گیاه است.



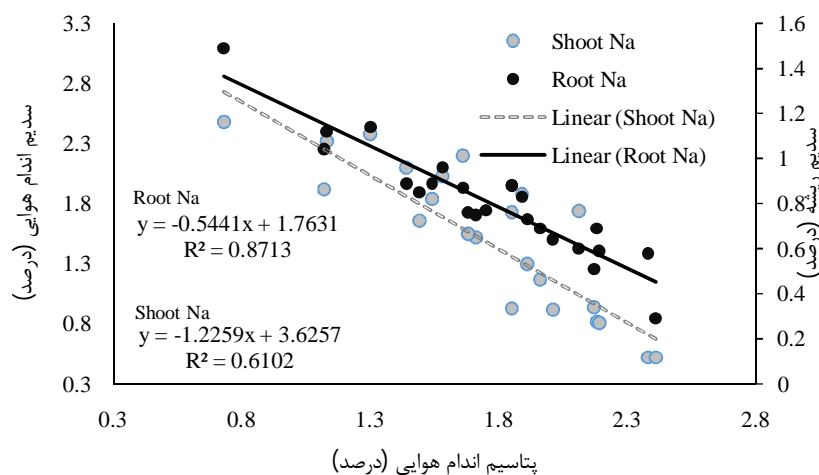
شکل 5- همبستگی تغییرات غلظت سدیم در اندام هوایی گیاه و غلظت سدیم در ریشه

همانگونه که در شکل (6) مشاهده می‌شود روند تغییرات پتاسیم در اندام هوایی گیاه ارتباط معکوس با مقدار سدیم در ریشه و اندام هوایی دارد که مؤید اثرات کاهش سدیم بر محتوای پتاسیم گیاه است. برآورد نسبت سدیم به پتاسیم گیاه در بررسی اثرات تنش شوری بسیار کارآمد بوده و عدم تغییر این نسبت در شرایط تنش در مقایسه با تیمار شاهد به عنوان مقاومت گیاه در شرایط تنش شوری خاک، تفسیر می‌گردد. نسبت سدیم به پتاسیم به عنوان پارامتر فیتوفیزیولوژیک برای نشان دادن میزان

اثرات سه‌گانه تیمارها بر غلظت سدیم اندام هوایی معنی‌دار شد. به عبارت دیگر در تنش شوری افزودن همزمان گوگرد و روی باعث تغییرات معنی‌دار در میزان سدیم گیاه می‌گردد. کمترین میزان سدیم اندام هوایی در بین تیمارهای تنش شوری (4، 7 و 10 دسی‌زیمنس بر متر) در تیمار شوری 4 دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد روی در سطح 50 میلی‌گرم در کیلوگرم به همراه گوگرد می‌باشد و عدم کاربرد روی و گوگرد در بالاترین سطح تنش شوری باعث بروز بیشترین غلظت سدیم در اندام هوایی گیاه گردید.

(مانوس، 2005).

حساسیت گیاهان به تنش کلرید سدیم استفاده می‌گردد



شکل 6- همبستگی تغییرات غلظت پتاسیم اندام هوایی با غلظت سدیم در اندام هوایی و ریشه گیاه کلزا

نتیجه‌گیری کلی

کاربرد سولفات روی و گوگرد به همراه تیوباسیلوس باعث کاهش پایدار و معنی‌دار پ- هاش خاک گردید که علاوه بر اثرات مستقیم این ترکیبات در بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه، از این طریق شرایط خاک برای به اشتراک گذاشتن عناصر غذایی با گیاه، بهبود یافت. تحت تنش شوری، مصرف جداگانه و همزمان روی و گوگرد (با مایه تلقیح تیوباسیلوس) توانست با کاهش صدمات ناشی از شوری سبب افزایش برخی ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه کلزا گردد. روی در سطح 25 میلی‌گرم در کیلوگرم باعث جذب بهینه عناصر در گیاه گردید و با توجه به عدم معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها در اکثر ویژگی‌ها با سطح 50 میلی‌گرم در کیلوگرم و همچنین با توجه به برهمکنش بین عناصر در سطح بالاتر، کاربرد مقادیر بیشتر از 25 میلی‌گرم در کیلوگرم از این ترکیب به شیوه‌ی افزودن به خاک توصیه نمی‌گردد. با توجه به اینکه مطالعات گلخانه-ای به دلیل شرایط کنترل شده در گلخانه کاملاً قابل انطباق با شرایط متغیر مزرعه‌ای نیست، لذا توصیه می‌شود که این مطالعه در شرایط مزرعه نیز انجام گیرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به علت حمایت مالی از این تحقیق در قالب پایان‌نامه دانشجویی، کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم.

افزایش سطح تنش شوری از حداقل به حداکثر باعث افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی از 0/52 به 1/79 گردید. تحت تنش شوری حداکثر، اضافه شدن روی به طور متوسط باعث کاهش این نسبت از 2/54 به 1/41 و افزودن گوگرد باعث کاهش این نسبت از 2/37 به 1/27 گردید. افزایش نسبت سدیم به پتاسیم نشان‌دهنده‌ی افزایش جذب سدیم و کاهش جذب پتاسیم می‌باشد. در صورت کاهش این نسبت پتانسیل آب برگ به شکل معنی‌داری افزایش می‌یابد (دویت و همکاران، 1981). با توجه به نتایج تحقیق آپسلان و همکاران (1999) مقادیر مناسب روی باعث افزایش مقاومت به سمیت کلرید سدیم می‌گردد. نورول و ولج (1993) گزارش کردند عنصر روی در کنترل جذب ریشه‌ای و تجمع سدیم در اندام هوایی بسیار مؤثر است. کم شدن غلظت پتاسیم در شرایط کمبود روی می‌تواند نتیجه‌ی نشت پتاسیم از سلول‌های ریشه‌ای به خارج از محیط ریشه باشد. از آنجا که ارتباط پتاسیم و گوگرد به صورت هم‌افزایی است لذا افزایش سطح گوگرد به بیشتر شدن جذب پتاسیم و در نتیجه کاهش نسبت سدیم به پتاسیم می‌انجامد که این مسئله در شرایط تنش شوری با توجه به نقش پتاسیم در نگهداری محتوای رطوبتی بافت‌های گیاهی، بسیار با اهمیت می‌نماید.

فهرست منابع:

1. اخوان، ز. و فلاح نصرت آباد، ع. 1392. تأثیر گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر پ-هاش خاک، وزن خشک و قابلیت جذب فسفر در کلزا. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار 3 (1): 1-13.
2. بایبوردی، ا.، سیدطباطبایی، ج. و احمداف، علی. 1389. تأثیر تنش شوری ناشی از کلورسدیم بر خصوصیات فیزیولوژیکی، کمیت و کیفیت ارقام پاییزه کلزا. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) 24 (2): 334-346.
3. بشارتی، ح. و صالح راستین، ن. 1378. بررسی تأثیر کاربرد مایه تلقیح های تیوباسیلوس همراه با گوگرد در افزایش قابلیت جذب فسفر. علوم خاک و آب 13 (23): 31-39.
4. بهمنیار، م. ع.، محمودی، م.، صدرزاده، م. و فتحی، م. 1384. نقش گوگرد در میزان عملکرد پروتئین و روغن ارقام کلزا. چکیده مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران. تهران. ص 34.
5. حجازی مهریزی، م. و سعادت فر، ا. (1398). تأثیر متقابل شوری، روی و مس بر خصوصیات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه رزماری در یک خاک آهکی. مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) 42 (3): 49-61.
6. رضوی پور، ت. 1382. بررسی تأثیر گوگرد پودری با و بدون باکتری تیوباسیلوس بر روی عملکرد کلزا. هشتمین کنگره علوم خاک ایران. رشت. 58-60.
7. سپهر، ا.، رسولی، ح. و ملکوتی، م. ج. 1383. نقش گوگرد در تغذیه دانه های روغنی. مجموعه مقالات تغذیه بهینه دانه های روغنی گامی مؤثر در نیل به خودکفایی روغن در کشور، انتشارات خانیان. تهران. صص 29-36.
8. سقفی، د.، علیخانی، ح. و متشعزاده، ب. 1392. اثر باکتری های ریزوبیومی محرک رشد گیاه بر بهبود شرایط تغذیه ای کلزا. تحت تنش شوری. نشریه دانش آب و خاک 23 (4): 159-176.
9. عسگری لجایر، ح.، متشعزاده، ب.، ثوابی فیروزآبادی، غ. و هادیان، ج. 1393. تأثیر کاربرد مس و روی بر غلظت و جذب عناصر غذایی کم مصرف (مس، روی، آهن و منگنز) و پرمصرف (فسفر) در گیاه دارویی مرزه در شرایط گلخانه ای. علوم و فنون کشت های گلخانه ای 5 (19): 95-111.
10. غیبی، م. 1383. ضرورت مصرف بهینه عناصر غذایی برای افزایش عملکرد و بهبود کیفیت کلزا. مجموعه مقالات تغذیه بهینه دانه های روغنی گامی مؤثر در نیل به خودکفایی روغن در کشور، انتشارات خانیان. تهران. صص 193-207.
11. فانی اخلاق، ا.، دانشیان، ج. 1395. تأثیر کاربرد روی و منگنز بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام کلزای پائیزه درگیلان. یافته های نوین کشاورزی. 10 (3): 179-191.
12. فرح بخش، ح.، منصوری، م. و شمس الدین سعید، م. 1386. اثرات گوگرد، آهن و روی بر برخی خصوصیات رشدی، عملکرد کمی و کیفی آفتاب گردان رقم رکورد. پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی 7 (4): 161-171.
13. کرملاجعب، ع. و قرینه، م. ح. 1392. تأثیر عنصر روی بر رشد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی ذرت دانه ای در شرایط تنش شوری ناشی از کلرید سدیم. نشریه پژوهش های زراعی ایران 11 (2): 446-453.
14. کشاورز، پ. و ملکوتی، م. ج. 1384. اثر روی و شوری بر رشد، ترکیب شیمیایی و بافت آوندی گندم. مجله علوم خاک و آب 19 (1): 121-130.
15. مظلومی، ف.، و رونقی، ع. م. 1391. اثر شوری و فسفر بر رشد و ترکیب شیمیایی دو رقم اسفناج. علوم و فنون کشت های گلخانه ای. 3 (9): 85-94.
16. Abraham, G. 2001. Increasing productivity of *B.juncea* through split application of sulfur. *Inciian Journal of Agricultural Science*, 71(10): 674-675.

17. Adiloglu, A, and S. Adiloglu. 2006. The Effect of Boron (B) Application on the growth and nutrient contents of maize in zinc (Zn) deficient soils. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 2:1-4.
18. Aktas, H., Abak, K., Ozturk, L., and Cakmak, I. 2006. The effect of zinc on growth, and shoot concentration of sodium and potassium in pepper plants under salinity stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30: 407-412.
19. Alpaslan, M. Inal, A. Gunes, A. Cikili, Y. and Oscan, H. 1999. Effect of zinc treatment on the alleviation of sodium and chloride injury in tomato Mill. Cv. Late grown under salinity. *Turkish Journal of Botany*, 23: 1-6.
20. Ashraf, M. and McNeilly, T. 2004. Salinity tolerance in Brassica oilseeds. *Plant Science*. 23: 157-174.
21. Bansal, R. L., Taklear, P. N., Bhandari, A. I. and Rana, D. S. 1990. Critical levels of DTPA extractable Zn for wheat in alkaline soils of semiarid region of Punjab, India. *Fertilizer Research*, 21:163-166.
22. Bao, L. 1998. *The changes of fertilizer structure and effectiveness in China*, Jaingxi Scientific and Technology publisher, China.
23. Besharaty, H. Atashnama, K. and Hatami, S. 2007. Bio super as a phosphate fertilizer in a calcareous soil with low available phosphorus. *African Journal of Biotechnology*, 6(11): 1325-1329.
24. Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agronomy Journal*, 54: 464-465.
25. Bybordi, A., and Malakouti. M. J. 2007. Effects of zinc fertilizer on the yield quality of two winter varieties of canola. Zinc crops: Improving crop production and human health. 24- 26 May, Istanbul, Turkey.p.1-2.
26. Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytologist*, 146:185–205.
27. Deluca, T. H. Skogley, E. O. and Engle, R. E. 1989. Band-application elemental sulfur to enhance the phytoavailability of phosphorus in alkaline calcareous soils. *Biology and Fertility of Soils*, 7(4): 346-350.
28. Devitt, D., Jarrell, W.M. and Stevens, K.L. 1981. Sodium potassium ratios in soil solution and plant responses under saline conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 45: 80 -86.
29. FAO. 2020. Global Soil Partnership. Soil Salinity. <http://www.fao.org/global-soil-partnership/areas-of-work/soil-salinity/en/>.
30. Gabriel, M. Redfield, G. and Rumbold, D. 2007. Appendix 3B-2: sulfur as a regional water quality concern in south Florida. South Florida Environmental Report, P: 21.
31. Genc, Y., McDonald, G.K and Graham, R.D. 2005. The interactive effects of zinc and salt on growth of wheat. In: Plant Nutrition for Food Security, *Human Health and Environmental Protection*, 548-549.
32. Guang, W. Schoenau, J. J. Mooleki, S. P. Inanaga, S. Tahei, Y. and Kunio, H. 2003. Effectiveness of an elemental sulfur Fertilizer in an oilseed-cereal-legume rotation on the Canadian prairies. *Plant Nutrition and Soil Science*, 166(1): 54-60.
33. Gupta, R. R. and Abrol, I. P. 1990. Salt affected soils: their reclamation and management for crop production. *Advances in Soil Science*, 11: 223-288.
34. Irshad, A. H. Fayaz-Ahmad, S. and Sultan, P. 2011. Effect of sulphur dioxide on the biochemical parameters of spinach (*Spinacea oleracia*). *Journal of Science*. 9: 1-12.
35. Jakson, M. L. 1973. *Soil Chemical Analysis*. Iowa State University Department of Agronomy.

36. Jankowski k.J., budzyński w.S., kiJewski l., klaSa a. 2014. Concentrations of copper, zinc and manganese in the roots, straw and oil cake of white mustard and Indian mustard depending on sulphur fertilization. *Plant Soil and Environment*, 60(8):364-371.
37. Kawasaki, T. Akiba, T. and Moritsuga, M. 1983. Effects of high sodium chloride and polyethylene glycol on the growth and ion absorption in plants. Water culture experiments in a greenhouse. *Plant Soil*. 75: 75-85.
38. Khoshgoftarmansh, A., Jaaferi, H.B., and Shriatmadari, H. 2002. Effect of salinity on Cd and Zn availability. 17th World Congress of Soil Science, Thailand.
39. Lindeman, W. C. Aburt, J. Haffner, J. and Bono, A. A. 1991. Effects of sulfur source on sulfur oxidation. *Soil Science*, 55: 85-90.
40. Lindsay W.L., and W.A. Norvell. 1978. Development of DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421-428.
41. Mass E. V. and Hoffman G. J. 1977. Crop salt tolerance-Current assessment. U.S salinity laboratory. Agricultural Research Service. U.S Department of Agriculture. Riverside. California. 103(2): 115-134.
42. McGrath, S. P. and Zhao, F. J. 1996. Sulphur uptake, yield response and the interaction between N and S in winter oilseed rape. *Journal of Agricultural Science*, 126: 53-62.
43. Modaihsh, A. S. Al-mustaf, W. A. and Metwally, A. I. 1989. Effect of elemental sulfur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soil. *Plant and Soil*, 116: 95-101.
44. Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist*, 167:645-663.
45. Noble, C. L. and Rogers, M. J. E. 1993. Response of temperature forage legumes to water logging and salinity. Pp. 469-473. In: M. Pessarakli (ed) Handbook of plant and Crop Stress. Marcel Dekker, Inc., New York.
46. Norvell, W. A. and Welch, R.M. 1993. Growth and nutrient uptake by barley (*Hordeum vulgare* L. cv. Herta): Studies using an N-(2- hydroxyethyl) ethylenedinitrioltriactic acid-buffered nutrient solution technique. I. Zinc ion requirements. *Plant Physiology*, 101: 619-625.
47. Podleśna a. 2004. The effect of sulfur fertilization on concentration and uptake of nutrients by winter oilseed rape. *Rośl. Oleiste - Oilseed Crops*, 25: 628-636.
48. Ramesh, C. J., Milkha, S. A., and Sharma, R. 2004. 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(1): 52-58.
49. Sharma, C. P. and Sanwal, G. G. 1992. Effect of Fe deficiency on the photosynthetic system of maize. *Plant Physiology*. 140: 527-530
50. Sposito, G. 2008. *The Chemistry of Soils*. Oxford University press, Second Edition, P: 162.
51. United State Department of Agriculture (1954) Methods for soil characterization, Saline and Alkali soils. Agriculture, Chapter 6, Hand book 60.
52. Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology*, 63: 995-1001.
53. Vang, P. C. Lasserra-jaulin, F. and Guckert, A. 2002. Uptake of organic labeled sulfur by oilseed rape and partly in the rhizosphere and in corresponding non-rhizosphere soil. *Filed Crop Abstract*, 55(3): 368.
54. Walkley, A., and Black, I. A. (1934). An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
55. Watkinson, J. H. and Blair, G. J. 1993. Modelling the oxidation of elemental sulfur in soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 35(2): 115-126.

Effect of Different Levels of Salinity, Zinc, and Sulfur Inoculated with *Thiobacillus* on Rapeseed Growth Parameters and Some Nutrient Uptake (*Brassica napus* L.)

H. Safari Zargani, H. Nadian Qomsheh, N. Rang Zan¹, and M. Moradi Talavat

Former MSc student, Department of Soil Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan; E-mail: hosseinsafarizergani@gmail.com

Professor, Department of Soil Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan; E-mail: nadian_habib@yahoo.com

Assistant Professor, Department of Soil Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan; E-mail: nafas023@yahoo.com

Associated Professor, Department of Plant Production Engineering and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan; E-mail: moraditelavat@yahoo.com

Received: September, 2020 and Accepted: March, 2021

Abstract

In order to evaluate the effect of zinc, sulfur inoculated with *Thiobacillus*, and salinity caused by sodium chloride on some growth parameters and uptake of phosphorus, potassium, and zinc by rapeseed, a greenhouse experiment was conducted in factorial randomized complete block design with three replications. Treatments consisted of soil salinity at four levels (1, 4, 7, and 10 dS m⁻¹), sulfur inoculated with *Thiobacillus* at two levels (0 and 500 kg ha⁻¹) and zinc sulfate at three levels (0, 25, and 50 mg kg⁻¹). The results showed that salinity stress affected all studied traits and caused a significant reduction in growth parameters such as plant height, root length, shoot and root dry weight, and reduced nutrient uptake; however, salinity caused a significant increase in the roots and shoots sodium concentration. Application of sulfur along with 25 mg kg⁻¹ zinc under salinity stress improved growth traits and increased the concentration of phosphorus, potassium, and zinc by 15.26%, 110.5%, and 376.6%, respectively, and reduced the concentration of sodium in the aerial part of the plant by 34.77% as compared to the control treatment. In general, the results showed that the use of sulfur inoculated with *Thiobacillus* and the optimal level of zinc sulfate fertilizer (25 mg kg⁻¹ soil) affected soil properties as well as the direct supply of macro elements; consequently, the amount of nutrient uptake increased under salinity stress and harmful effects of salinity on plants was mitigated by reducing sodium uptake.

Keywords: Sodium chloride salinity, Zinc sulfate fertilizer, Salinity stress, Macronutrients

¹ Corresponding author: Department of Soil Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan