مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال سیزدهم، شماره چهل و ششم، ۱۴۰۰

دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

ارزیابی اثر کاربرد زئولیت طبیعی و سولفات روی بر عملکرد و صفات زراعی گندم (*Triticum aestivum*) رقم مهدوی

امید نافعی[۱] حمید مظفری[۲] فائزه رجب زاده[۳]

دریافت: ۱۴۰۰/۸/۱۲ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۲

چکیده

به منظور ارزیابی اثر کاربرد زئولیت طبیعی و سولفات‌روی بر عملکرد گندم، آزمایشی به‌صورت کرت های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در چهار تکرار به‌صورت مزرعه‌ای در روستای جلیل‌آباد پیشوا در منطقه ورامین در سال زراعی ۹۹- ۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتور اصلی شامل تیمار زئولیت طبیعی (کلینوپتیلولیت) در سه سطح صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار و فاکتور فرعی شامل تیمار سولفات‌روی (۳۶ درصد روی) در سه سطح صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج نشان داد تأثیر عامل زئولیت طبیعی و سولفات‌روی به‌تنهایی و برهمکنش آن‌ها در سطح یک درصد بر اکثر صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. در مقایسه میانگین اثر برهمکنش زئولیت طبیعی و سولفات‌روی، بیشترین ارتفاع بوته، طول سنبله، طول پدانکل، طول برگ پرچم، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله بارور در مترمربع، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و درصد پروتئین در تیمار ۲۰ تن در هکتار زئولیت طبیعی همراه با ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی بدست آمد. بیشترین میزان شاخص برداشت در تیمار ۳۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی حاصل شد. هیچ یک از تیمارهای مذکور بر میزان وزن هزار دانه تأثیر معنی‌داری نداشت. استفاده تلفیقی زئولیت طبیعی و سولفات‌روی باعث افزایش ۶۷/۱ درصدی عملکرد گندم در مقایسه با شاهد گردید.

واژه های کلیدی: سوپر جاذب، شاخص برداشت، عملکرد زیستی، گندم.

نافعی، ا.، ح. مظفری و ف. رجب زاده. ۱۴۰۰. ارزیابی اثر کاربرد زئولیت طبیعی و سولفات روی بر عملکرد و صفات زراعی گندم (*Triticum aestivum*) رقم مهدوی. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۴۶: ۲۷-۱۵.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. – مسئول مکاتبات. Mozafarihamid@Yahoo.com
۳- استادیار گروه زراعت، ، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

مقدمه

غلات دانه‌ای نقش ویژه و مهمی در الگوی مصرف هر کشور دارند و یکی از مهم‌ترین تولیدات غذایی برای انسان به حساب می آیند. گندم (Triticum aestivum L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که با تولید سالانه بیش از ۶۰۰ میلیون تن به عنوان منبع ارزشمند کربوهیدرات، بعد از ذرت و برنج بیشترین تولید را در دنیا به خود اختصاص داده است. استفاده از راهکارهای متعدد برای افزایش عملکرد گندم و یا جلوگیری از کاهش آن می‌تواند نقش بسیار مؤثری در کاهش واردات این محصول و خودکفایی آن داشته باشد (امیدواری و همکاران، ۲۰۲۰).

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و تقاضا برای مواد غذایی، ایجاد تعادل مواد غذایی در خاک به‌منظور افزایش کمی و کیفی تولیدات کشاورزی بسیار حائز اهمیت است. یکی از موارد مهم در برنامه‌ریزی تولید گیاهان زراعی و حصول عملکرد بالا با کیفیت مطلوب و مدیریت تغذیه گیاه است. با استفاده از روش‌های صحیح تغذیه گیاه از جمله مصرف مقدار مناسب کودها و حفظ حاصلخیزی خاک، می‌توان ضمن افزایش عملکرد و کارآیی مصرف کودها، آلودگی محیط زیست را کاهش داده و اثر منفی تنش را تا حدی تعدیل کرد (خیر و همکاران، ۲۰۱۸). عناصر غذایی کم مصرف پس از متعادل‌سازی مصرف کودهای ازته، فسفاته و پتاسیمی نقش خود را در افزایش تولید نشان می‌دهند، کمبود عناصر غذایی به‌ویژه منگنز، روی و بر در اغلب مزارع و باغ‌ها عمومیت دارد. به‌دلیل وجود این کمبودها، عملکرد متوسط محصولات کشاورزی عموماً کم بوده و لطمات اقتصادی زیادی از این کمبودها متوجه کشور شده است (آژند و همکاران، ۱۳۹۹).

عنصر روی (Zn) به‌عنوان یکی از عناصر ضروری کم‌مصرف، نقش حیاتی و مهم در بهبود رشد رویشی و زایشی گیاهان بخصوص تحت شرایط تنش‌های زیستی و محیطی دارد (عبدلی و همکاران، ۲۰۱۶). این عنصر به‌عنوان بخشی ازساختمان آنزیم‌ها و یا به صورت کوفاکتور در تعداد زیادی از آنزیم‌ها عمل می‌کند. همچنین، در بسیاری از مسیرهای مهم بیوشیمیایی مرتبط با متابولیسم کربوهیدراتها (شامل فتوسنتز و تبدیل قندها به نشاسته)، متابولیسم پروتئین، متابولیسم اکسین، تشکیل دانه گرده، حفظ یک پارچگی غشاهای سلولی و همچنین مقاومت به عوامل بیماری‌زا مؤثراست (سان و همکاران، ۲۰۱۸). کاربرد روی در خاک موجب افزایش رشد برگ و ساقه و در نهایت رشد گیاه و وزن خشک بوته می‌شود. افزایش توان رشدی گیاه در اثر کفایت روی در گیاه سبب افزایش پنجه‌زنی و تبدیل پنجه به سنبله شده و تعداد پنجه و سنبله نابارور کاهش می‌یابد. همراه با افزایش اجزاء عملکرد در اثر مصرف کود روی، عملکرد دانه در واحد سطح افزایش می‌یابد. از آنجایی که روی در تولید پروتئین نقش دارد مصرف روی می‌تواند به افزایش پروتئین دانه منجر شود (تانگ و همکاران، ۲۰۲۰). بالا بودن روی و پروتئین دانه از نظر تغذیه انسان مهم می‌باشد. کمبود عنصر روی در خاک نه‌تنها باعث کاهش عملکرد گیاه می‌گردد بلکه از طریق کاهش غلظت آن در رژیم‌های غذایی وابسته به غلات ازجمله گندم، موجب کاهش جذب آن توسط انسان و دام می‌شود که این امر بروز بیماری‌های مختلف و در نتیجه پایین آمدن سطح بهداشت و سلامتی جامعه را در پی دارد (سدری و ملکوتی، ۱۳۷۷). در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، غلظت کل عنصر روی در خاک‌های زیرکشت غلات بسیار زیاد بوده، درحالیکه به دلیل ویژگی‌های خاک ازجمله اسیدی و بازی بودن خاک، زیاد بودن کربنات‌کلسیم، استفاده بیش از حد از کودهای فسفاتی وکمبود ماده آلی خاک، غلظت روی قابل جذب برای گیاهان بسیار کم می باشد. در نتیجه در این مناطق کاربرد روش‌های غنی‌سازی زراعی از جمله کوددهی برای افزایش قابلیت جذب روی لازم به‌نظر می‌رسد (بوربوری و طهرانی، ۱۳۸۹).

امروزه یکی از راه‌کارهای جدیدی که به‌منظور اصلاح بستر و جلوگیری از هدر رفت رطوبت و کودهای شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته، به‌کارگیری ترکیبات طبیعی مانند کانی‌های زئولیت در مزارع کشاورزی است. زئولیت‌ها گروهی از آلومینوسیلیکات‌های آبدار با ساختمان بلوری ویژه‌ای هستند که قابلیت فراوان آن‌ها در جذب و ذخیره‌سازی آب سبب می‌شود که آب مصرفی گیاه ذخیره شود تا در هنگام لزوم از آب ذخیره شده در زئولیت مورد استفاده قرار گیرد (خیر و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین، استفاده از این ترکیبات در اراضی کشاورزی به‌دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و تمایل زیاد آن‌ها برای جذب و نگهداری آمونیوم در شبکه خود، علاوه بر نقش اصلاح‌کنندگی در خاک، می‌توانند نقش تغذیه‌ای داشته و با کاهش شستشوی عناصر غذایی خاک به ویژه نیتروژن، باعث بهبود رشد گیاه شوند. جذب انتخابی و آزادسازی کنترل شده عناصر غذایی از زئولیت باعث می‌شود در صورت انتخاب نوع صحیح زئولیت مصرفی، هنگامی که این مواد به‌عنوان اصلاح‌کننده به‌خاک اضافه می‌شوند از طریق افزایش فراهمی طولانی مدت آب و عناصر غذایی به بهبود رشد گیاه کمک کنند (زیژون و همکاران، ۲۰۲۱). با توجه به وفور قابل توجه زئولیت‌های طبیعی در کشور،

استخراج آسان و قیمت اقتصادی مناسب، به‌کارگیری این ترکیبات همراه با کودهای شیمیایی می‌تواند تأثیر کودهای شیمیایی را بیشتر کرده و باعث مصرف بهینه این دسته از نهاده‌ها شوند (سیف و همکاران، ۱۳۹۹).

به دلیل شیوع سوء تغذیه ناشی از کمبود روی در جامعه به همراه نقش‌های فیزیولوژیک متعدد عنصر روی در گیاه و با توجه به اهمیت بهبود همزمان عملکرد کمی و کیفی گندم، تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات کاربرد سولفات روی و زئولیت طبیعی (کلینوپتیلولیت) بر برخی صفات کمی و کیفی گندم مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت کرت های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه‌ای در روستای جلیل‌آباد پیشوا واقع در منطقه ورامین با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ٤٦ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه ۲۲ دقیقه با ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا، روی گیاه زراعی گندم، رقم مهدوی اجرا شد. میانگین دمای هوا و بارندگی منطقه مورد مطالعه در طول فصل زراعی در جدول ۱ ارائه شده است.

فاکتور اصلی شامل تیمار زئولیت طبیعی (کلینوپتیلولیت) در سه سطح صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار و فاکتور فرعی شامل تیمار سولفات روی (۳٦ درصد روی) در سه سطح صفر، ۳۰ و۶۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. هر کرت فرعی شامل ٤ ردیف کاشت به‌فواصل ٦۰ سانتی‌متر و طول ٦ متر و عرض ۳ متر و فاصله بین تکرارها ۲ متر در نظر گرفته شد. به‌منظور آماده‌سازی زمین در پاییز، قبل از اجرای آزمایش، زمین مورد نظر آبیاری گردید و پس از گاورو شدن، به وسیله گاو آهن برگردان‌دار شخم زده شد. سپس جهت خردشدن کلوخ‌ها و یکنواخت شدن وضعیت خاک مزرعه، دیسک و ماله زده شد و اقدام به نمونه‌گیری از خاک در دو عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر گردید (جدول ۲). کودهای شیمیایی مطابق نتایج آزمون خاک و توصیه آزمایشگاه خاکشناسی، به خاک اضافه گردید. همچنین، کود اوره در مرحله داشت به‌صورت سرک در قسمت‌های مساوی در تمامی کرت‌ها پاشیده شد. ضمن اینکه قبل از کاشت سطوح مختلف کود سولفات‌روی و زئولیت در کرت‌های مربوطه پاشیده شد و با خاک مخلوط گردید. ترکیبات شیمیایی موجود در زئولیت طبیعی مورد استفاده در جدول ۳ نشان داده شده است. در این آزمایش هر ۷ روز یک‌بار اقدام به آبیاری گردید.

دی استفاده شد. زمین مورد کشت پس از شخم و دیسک و بر اساس توصیه کودی آزمون خاک، کود پاشی شد.

جدول۱- میانگین دمای هوا و بارندگی در طول فصل زراعی

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
دما (^oC)	۲۰	۱۳	٦	۵	٦	١٤	۲۰	۲٦	۳۲
بارندگی (mm)	۰	٤٧	۵	۲٦	۲۲	۳۸	۱۷	١٤	۰

جدول۲- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک	بافت	هدایت الکتریکی (ds/m)	اسیدیته (pH)	آهک	آب قابل جذب (C.E.W)	آب قابل دسترس (A.W)	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	مس	بر
				(٪)										
۳۰-۰	لومی	۱/۳۷	۷/۲۰	۲۰/٤	۹	۱۲	۱/۱۱	۰/۱۱	٤۰	٤/۳٤۳	۷/۱۱	۱/۲۱	۱/۳۵	۰/۷۲

جدول ۳- درصد ترکیبات شیمیایی موجود در زئولیت مورد استفاده (کلینوپتیلولیت)

SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	MgO	CaO	Fe_2O_3	MnO_2	TiO_2	P_2O_5
٦۵	۱۲	۳	۱/۱	۰/۱	۲/۳	۱/۵	۰/۰٤	۰/۳	۰/۰۱

در مرحله رسیدگی، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، طول برگ پرچم، طول پدانکل، اجزای عملکرد شامل تعداد سنبله بارور در مترمربع، تعداد دانه در سنبله بارور، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و درصد پروتئین دانه اندازه‌گیری شدند. به‌منظور عملیات برداشت، پس از حذف دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر ردیف به‌عنوان حاشیه، بوته‌های موجود در مساحت باقیمانده هر کرت به‌طور جداگانه کف‌بر شده و به مدت یک هفته در هوای آزاد خشکانده و توزین شدند و عملکرد زیستی هر کرت آزمایشی بر اساس رطوبت ۱۲ درصد محاسبه شد. پس از جداسازی دانه، عملکرد دانه بر مبنای تن در هکتار محاسبه گردید و برای تعیین درصد پروتئین دانه، درصد نیتروژن کل به روش میکروکلدال تعیین و درصد نیتروژن کل به درصد پروتئین دانه تبدیل شد. برای تعیین وزن هزار دانه، هشت نمونه ۱۰۰۰ تایی از هر کرت با استفاده از دستگاه بذر شمار به‌طور تصادفی انتخاب و با استفاده از ترازوی دقیق آزمایشگاهی توزین و میانگین وزن آنها به عنوان وزن هزار دانه ثبت شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن، در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. جهت رسم نمودار از نرم افزار Excel 2010 استفاده گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر تیمار زئولیت طبیعی، سولفات‌روی و برهمکنش زئولیت طبیعی و سولفات‌روی در سطح یک درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ٤). مطابق مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین ارتفاع بوته (۱۱۲/۵ سانتی‌متر) در تیمار ۲۰ تن در هکتار زئولیت طبیعی به‌همراه ٦۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی مشاهده شد، به‌طوری که میزان آن نسبت به تیمار شاهد ۸۵/۳ درصد افزایش داشت و کمترین ارتفاع بوته (٦۰/۷ سانتی‌متر) در تیمار شاهد بدست آمد (جدول ۵).

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر زئولیت و سولفات روی بر عملکرد و صفات زراعی گندم

		میانگین مربعات										
منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی (df)	ارتفاع بوته	طول سنبله	طول پدانکل	طول برگ پرچم	تعداد دانه در سنبله بارور	تعداد سنبله بارور در مترمربع	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت	درصد پروتئین دانه
تکرار	۳	۲۰۰/٦۹**	۱۷/۰۲**	۱۵۳/۲**	٤۹/۲**	۹۵/۸**	٤۳۰۹/٤۱**	۱۳/۱۳**	۸۰۱۹۲٦/۹٤**	٦۳۷۳۲۹۱/٤٦**	۲/۳ ^{ns}	۹/۷۲ **
زئولیت	۲	۳۷٦۳/٦۸**	۲۱/۹۳**	۳۲۷۷/۱۸**	۱۵۷/۳٤**	۳۵۲/۰۲**	۸۷٦٤**	۲/۹۱^{ns}	٤۲۸۹٤۲۰/۷٦**	۲٦۰٤۸٤۸۳**	۲/٤^{ns}	۱٤/۷۵**
خطای اصلی	٦	۲۱/۰۳	۰/۲۲	۲۸/۱۳	۰/۹۵	۵/۰۷	۳٦/۰۷	۲/۰۵	۱۱۷۱۰/۷	۲۵۵٦٦۱/٦۹	۱/۹۷	۱/۱۸
سولفات روی	۲	۵۱۹/۹٤**	۱۱/٦**	٤۲٤**	۱۵/۵**	۵۱*	۱۲٦۸۱/۳۳*	۱/۲۸^{ns}	٦۳۹۵۰٤۱/۵۲**	۳۱٦۷۱۲۳۸/۳**	۲/٦٦^{ns}	۱٦/۷٤**
زئولیت×سولفات روی	٤	۳۷٦/۷٦**	۲**	۳۵۰/۸۳**	۱٤/۷ **	٦۰/۱۲**	٦٤۹/۳۳**	۰/٤۲^{ns}	٤۷۸۲٦۲/۷۵**	۸۸٦۵۹۷/۸٤**	۱۰/۷۲**	۱/۹٤*
خطای فرعی	۱۸	۱٦/۹	۰/٤۷	۱۷/۲۷	۲/۸	۱۰/٦	۵۲/۹٦	۱/٤۹	۲۳۹۷۸/۵۳	۲۱۳٦٤۵	۱/۱	۰/۸۷
درصد ضریب تغییرات (cv)		۷	٦/۳	۸/٤	۱۲/٤	۱۰/۵	۹	۵/۸	۷/۹	۱۳	۸/٦	۸/٤

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد

ارتفاع گیاه می‌تواند از طریق جذب عنصر روی در مراحل رشد، تحت تأثیر قرار گرفته و افزایش یابد. ارتفاع بوته گندم حاصل افزایش تعداد گره و یا طول میانگره‌ها در بوته است. روی در فرآیندهایی مانند فتوسنتز و تولید اکسین دخالت داشته و باعث افزایش ارتفاع بوته می‌شود. اثر کاربرد روی در افزایش ارتفاع گیاه می‌تواند به‌طور عمده مربوط به اثر این عامل بر سنتز تریپتوفان به عنوان ماده متشکله ایندول استیک اسید (IAA) یا همان هورمون افزایش رشد گیاه باشد (افصحی و همکاران، ۲۰۲۰). از آن‌جا که نوسانات ارتفاع گیاه معمولاً بارزترین مشخصه ژنتیکی و تغییرات شرایط محیطی در اغلب گیاهان می‌باشد، برخی اوقات افزایش

ارتفاع بوته، یک مزیت برای رقابت با سایر بوته‌ها محسوب می‌شود که یکی از نتایج آن، تشکیل برگ‌های جدید در سایه‌انداز می‌باشد. این خصوصیت، کارآمدترین برگ‌ها را در بهترین موقعیت از نظر فتوسنتز قرار می‌دهد (ازنی دج و همکاران، ۲۰۰۸). مشابه نتایج این تحقیق، عبدلی و همکاران (۲۰۱۶) مصرف روی سبب افزایش ارتفاع گیاه گردید. از طرفی زئولیت از طریق بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی خاک باعث دسترسی آسان‌تر و بهتر گیاه به آب و مواد غذایی به‌ویژه نیتروژن شده و در نتیجه سبب افزایش رشد رویشی و ارتفاع بوته می‌شود (سیف و همکاران، ۱۳۹۹). آکیل حسین و عبداله رادی (۲۰۲۰) نشان دادند، اضافه کردن زئولیت طبیعی (٤٪) موجب افزایش ٤٠/٦١ درصدی ارتفاع گندم شد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت و سولفات روی بر عملکرد و صفات زراعی گندم

زئولیت (تن در هکتار) × سولفات‌روی (کیلوگرم در هکتار)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول سنبله (سانتی‌متر)	طول پدانکل (سانتی‌متر)	طول برگ پرچم (میلی‌متر)	تعداد دانه در سنبله بارور	تعداد سنبله بارور در مترمربع
۰ تن × ۰ کیلوگرم	٦٠/٧^{e*}	٩/٨^{de}	٥٠/٢^{e}	١٧/٦^{d}	٣١^{d}	٣٢٥^{f}
۰ تن × ۳۰ کیلوگرم	٧٠^{d}	١٠/٤^{cd}	٥٩/١^{d}	١٩/٦^{bcd}	٣٦/٣^{bcd}	٣٦٧^{d}
۰ تن × ٦٠ کیلوگرم	٦٨^{d}	١٠/٤^{cd}	٥٧/٩^{d}	١٨/٤^{cd}	٣٢/٩ ^{cd}	٣٦٣^{d}
۱۰ تن × ۰کیلوگرم	٧٠/٩^{d}	٩^{e}	٦٢^{cd}	١٨/٦^{cd}	٣١/٤^{d}	٣٤٢^{e}
۱۰ تن × ۳۰ کیلوگرم	٦٨/٣^{d}	٩/٣^{de}	٥٩^{d}	١٩^{cd}	٢٤ ^{e}	٣٨٠^{c}
۱۰ تن × ٦٠ کیلوگرم	٧٨/٤^{c}	١١/٢^{bc}	٦٦/٩^{bc}	٢٠/٦^{bc}	٣٣ ^{cd}	٤٠٨^{b}
۲۰ تن × ۰ کیلوگرم	١٠٥^{b}	١١/٣^{bc}	٩٣/٧^{a}	٢٥/٦^{a}	٣٧/٧^{bc}	٣٥٨^{d}
۲۰ تن × ۳۰ کیلوگرم	٨١/٣^{c}	١١/٦^{b}	٦٩/٤^{b}	٢٢^{b}	٣٨/٦^{b}	٤١٧^{b}
۲۰ تن × ٦٠ کیلوگرم	١١٢/٥^{a}	١٤/١^{a}	٩٨/٤^{a}	٢٨^{a}	٤٤/٣^{a}	٤٤٢^{a}

*** در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می باشند.**

طول سنبله

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، تأثیر عامل زئولیت طبیعی و سولفات‌روی به تنهایی و برهمکنش زئولیت طبیعی و سولفات روی در سطح یک درصد بر طول سنبله معنی‌دار بود (جدول ٤). بیشترین میزان طول سنبله (١٤/١ سانتی‌متر) مربوط به تیمار ۲۰ تن در هکتار زئولیت طبیعی به همراه ٦٠ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود، به طوری که طول سنبله در تیمار مذکور نسبت به تیمار شاهد ٤٣/٩ درصد افزایش داشت. همچنین، کمترین میزان طول سنبله (۹ سانتی‌متر) مربوط به تیمار ۱۰ تن در هکتار زئولیت طبیعی بود (جدول ۵). هر قدر شرایط مساعدتر باشد فاصله میان گره‌ها بر روی خوشه بیشتر می‌گردد و تراکم کم می‌شود و برعکس شرایط نامساعد محیط به ویژه خشکی موجب می‌گردد که محور خوشه رشد کافی ننماید و فاصله میان گره‌ها در خوشه تقلیل یابد و تراکم زیاد گردد (قدسی و همکاران، ۲۰۲۰). بر اساس نتایج فلاح (۱۳۹۸) محلول‌پاشی ۰/۵ و ۱ درصد سولفات‌روی نسبت به عدم محلول‌پاشی به‌ترتیب ۱۳/۱ و ۳۳/۱ درصد افزایش طول سنبله را نسبت به شاهد نشان دادند. به نظر می‌رسد با مصرف سولفات‌روی رشد گیاه افزایش می‌یابد و منجر به افزایش ارتفاع گیاه می‌شود و از آن جایی که طول سنبله جزیی از سنجش ارتفاع گیاه می‌باشد پس باعث افزایش طول سنبله شده است (قدسی و همکاران، ۲۰۲۰). از طرفی، زئولیت از جمله موادی است که به دلیل نگهداری آب در خاک و فراهمی مواد غذایی از جمله نیتروژن موجب افزایش رشد رویشی و نهایتا افزایش فاصله میان گره‌ها شود (آکیل حسین و عبداله رادی، ۲۰۲۰).

طول برگ پرچم

با توجه به نتایج، تأثیر تیمار زئولیت طبیعی، سولفات‌روی و برهمکنش آن‌ها در سطح یک درصد بر طول برگ پرچم معنی‌دار بود (جدول ٤). مطابق نتایج مقایسه میانگین، بیشترین میزان طول برگ پرچم (۲۸ سانتی‌متر) مربوط به تیمار ۲۰ تن در هکتار زئولیت طبیعی به همراه ٦۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی و کمترین میزان طول برگ پرچم (۱۷/٦ سانتی‌متر) مربوط به تیمار شاهد یود (جدول ۵). از آنجا که برگ پرچم در گندم جزء آخرین اندام‌هایی از گیاه است که تشکیل می‌شود و تا آخر عمر گیاه سبز بوده و قادر به انجام فتوسنتز است، بنابراین سطح ویژه برگ پرچم در افزایش توان فتوسنتزی گیاه و پر نمودن دانه‌ها در سنبله و تولید کربوهیدرات‌ها نقش مؤثری دارد. سولفات‌روی در نگهداری فعالیت فتوسنتزی، حفظ یکپارچگی غشاء و تداوم فعالیت آنزیمی نقش کلیدی بازی می‌کند. در اثر کمبود سولفات‌روی تشکیل پرچم و دانه گرده آسیب دیده و عملکرد به شدت پایین می‌آید که ممکن است علت این امر کاهش ایندول استیک اسید و پروتئین باشد (مندال و همکاران، ۲۰۱٦). از طرفی، در حضور زئولیت هدرروی نیتروژن کمتر شده و جذب نیتروژن توسط گیاه افزایش می‌یابد. افزایش کارایی نیتروژن می‌تواند منجر به افزایش فتوسنتز و در نهایت تشکیل پرچم و دانه گرده شود (آکیل حسین و عبداله رادی، ۲۰۲۰). میرزاخانی (۱۳۹٦) نشان داد که در بین مقادیر مختلف مصرف زئولیت، مصرف ۹ تن در هکتار آن بیشترین وسعت سطح برگ پرچم (۲۵/٤۵ سانتی‌متر) را به خود اختصاص داد.

طول پدانکل

تیمار زئولیت طبیعی، سولفات‌روی و برهمکنش آن‌ها، تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد از نظر طول پدانکل نشان داد (جدول ٤). به‌طوری‌که تیمارهای ۲۰ تن در هکتار زئولیت طبیعی به همراه ٦۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی (۹۸/٤ میلی‌متر) و تیمار ۲۰ تن در هکتار زئولیت طبیعی (۹۳/۷ میلی‌متر) بیشترین میزان طول پدانکل را به خود اختصاص دادند و کمترین طول پدانکل در تیمار شاهد (۵۰/۲ میلی‌متر) دیده شد (جدول ۵). با افزایش رشد رویشی گیاه، مقدار تولید مواد فتوسنتزی گیاه، تقسیم سلولی و رشد طولی سلول‌های ساقه و میانگره‌ها نیز افزایش خواهد یافت و در نتیجه گیاه طول پدانکل بیشتری تولید می‌نماید. مشابه نتایج حاضر، تحقیقات ما و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که مصرف روی باعث افزایش طول پدانکل شد. مخالف نتایج فوق، در تحقیقات میرزاخانی (۱۳۹٦)، مصرف زئولیت بر طول پدانکل تأثیر معنی‌داری نشان نداد.

تعداد سنبله بارور در مترمربع

نتایج تحقیق در مورد تعداد سنبله بارور در مترمربع بیان‌گر آن بود که برهمکنش زئولیت طبیعی × سولفات‌روی و اثر ساده زئولیت طبیعی و سولفات‌روی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ٤). مطابق نتایج، تعداد سنبله بارور در تیمار ۲۰ تن در هکتار زئولیت طبیعی به همراه ٦۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی (٤٤۲) بیشترین میزان بود که نسبت به تیمار شاهد ۳٦ درصد افزایش داشت و کمترین تعداد سنبله بارور در تیمار شاهد (۳۲۵) بدست آمد (جدول ۵). تعداد سنبله در مترمربع یکی از اجزای اصلی برآورد عملکرد دانه در واحد سطح محسوب می‌شود. داشتن تعداد بیشتری از سنبله بارور در مترمربع می‌تواند در نیل به عملکرد دانه مطلوب، حایز اهمیت باشد. مشابه نتایج حاضر، مشتطی و موسوی (۱۳۹۸) نشان داد، مصرف ۳۰ کیلوگرم درهکتار سولفات روی با فراهمی عنصر روی باعث افزایش تعداد، بقاء و باروری پنجه‌ها و در نهایت تعداد سنبله در مترمربع شد. بر اساس نتایج ژنگ و همکاران (۲۰۱۸)، کاربرد زئولیت تأثیر معنی‌داری بر تعداد سنبله در مترمربع داشت. همچنین، میرزاخانی (۱۳۹٦) گزارش نمود که بیشترین تعداد سنبله در مترمربع با میانگین ۵۸۷/۳ عدد در تیمار آبیاری شاهد + مصرف ۹ تن در هکتار زئولیت بدست آمد.

تعداد دانه در سنبله

نتایج بدست آمده از آزمایش نشان داد که اثر ساده زئولیت طبیعی و برهمکنش زئولیت طبیعی × سولفات‌روی در سطح یک درصد و تأثیر سولفات‌روی در سطح پنج درصد بر تعداد دانه در سنبله بارور معنی‌دار می‌باشد (جدول ٤). بیشترین تعداد دانه در سنبله (٤٤/۳) در تیمار ۲۰ تن در هکتار زئولیت طبیعی به‌همراه ٦۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی مشاهده شد، به‌طوری که میزان آن نسبت به تیمار شاهد ٤۲/۹ درصد افزایش داشت (جدول ۵).

تعداد دانه در سنبله یکی از اجزای بسیار مهم عملکرد است و اثر مستقیمی در تعداد نهایی دانه دارد. نتایج نشان داد که برگ‌پاشی سولفات‌روی، سبب بهبود باروری دانه‌ها و در نتیجه تعداد دانه در هر سنبله شد. تعداد دانه در سنبله ازجمله فاکتورهای تعیین‌کننده ظرفیت مخزن به‌شمار می‌آید که تابع عوامل ژنتیکی و تغذیه‌ای

است .عنصر روی از عوامل تغذیه‌ای اثرگذار بر مراحل رشد گندم مانند سبز شدن، استقرار و در نهایت بهبود تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه است. در مراحل اولیه رشد گیاهچه، در اختیار گذاشتن مقدار مناسب روی، با بهبود ویگور گیاهچه و به‌دنبال آن افزایش توان تولید محصولات فتوسنتزی منجر به تشکیل تعداد بیشتر سنبلچه در سنبله می‌گردد. هر چه تعداد سنبلچه بارور در سنبله و تولید فتوآسیمیلات‌ها در گیاه بیشتر باشد، به دلیل تخصیص بیشتر آن‌ها به سنبله در حال تکامل و پس از گرده افشانی، از عدم تکامل سنبلچه‌ها و سقط جنین بیشتری پیشگیری و تعداد سنبلچه بارور در سنبله افزایش می‌یابد که از وضعیت تغذیه‌ای گیاه از جمله دریافت روی متأثر می‌گردد (عبدلی و همکاران، ۲۰۱٦). همچنین افزایش تعداد دانه در سنبله با کاربرد روی می‌تواند به‌دلیل افزایش در سنتز آمینو اسید تریپتوفان و به‌دنبال آن افزایش هورمون اکسین باشد (نوروزی و همکاران، ۱۳۹۹). مشتطی و موسوی (۱۳۹۸)، با بررسی عنصر ریزمغذی روی بر رشد و عملکرد گندم گزارش کردند که بیشترین تعداد دانه در سنبله با مصرف ۳۰ کیلوگرم در هکتار روی بدست آمد. همچنین، مطابق تحقیقات اسفندیاری و عبدلی (۱۳۹٦)، کاربرد سولفات روی سبب افزایش ۲۲/۷ درصدی تعداد دانه در سنبله ژنوتیپ‌های مورد بررسی گندم شد. از طرفی، زئولیت با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد خود توانایی خاک را برای جذب، نگهداری و در نهایت آزادسازی تدریجی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن افزایش می‌دهد. در حضور زئولیت هدرروی نیتروژن کمتر شده و جذب نیتروژن توسط گیاه افزایش می‌یابد. افزایش جذب و کارایی نیتروژن مهمترین دلیل افزایش فتوسنتز و در نهایت تعداد دانه در سنبله در حضور زئولیت است (آکیل حسین و عبداله رادی، ۲۰۲۰).

وزن هزار دانه

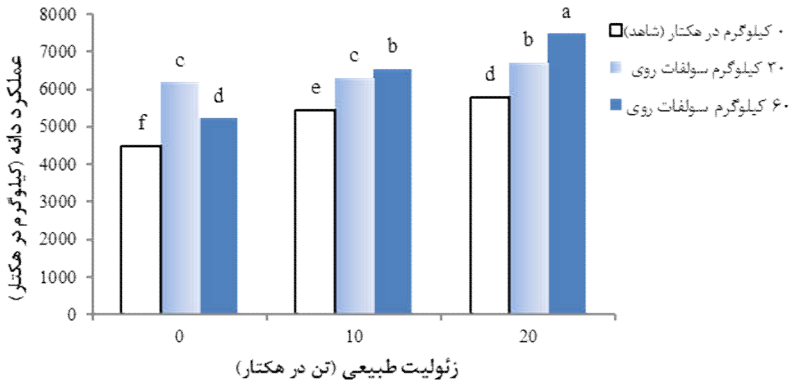
نتایج تجزیه واریانس نشان داد، هیچ یک از دو عامل زئولیت طبیعی و سولفات‌روی به تنهایی و برهمکنش آن‌ها بر میزان وزن هزار دانه اثر معنی‌داری نداشتند. سولفات روی از طریق تقویت انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی سبب افزایش وزن هزار دانه می‌گردد. احتمالاً افزایش وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه می‌تواند به دلیل اثر مثبت عناصر ریزمغذی مثل روی در به تأخیر انداختن پیری برگ به خصوص برگ پرچم باشد .چون میزان فتوسنتز و بارگیری مواد فتوسنتزی از مبدأ به مقصد در دوران رشد دانه افزایش یافته، در نتیجه وزن دانه‌های تشکیل شده در سنبله بیشتر می‌شود (رحمتی و همکاران، ۱۳۹۹). بر خلاف انتظار، در مطالعه حاضر سولفات‌روی تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشت. این موضوع با نتایج تحقیقات بوربوری و تهرانی (۱۳۸۹) روی جو مطابقت داشت.

عملکرد دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، عامل زئولیت طبیعی و سولفات‌روی به تنهایی و برهمکنش زئولیت طبیعی × سولفات‌روی در سطح یک درصد بر میزان عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول٤). مقایسه میانگین اثر برهمکنش زئولیت طبیعی و سولفات‌روی نشان داد، میزان عملکرد دانه در تیمار ۲۰ تن در هکتار زئولیت طبیعی به همراه ٦۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی (۷۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) بیشترین میزان بود که میزان آن نسبت به تیمار شاهد ٦۷/۱ درصد افزایش داشت و کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار شاهد (٤٤۸۷/۸ کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۱). از آنجایی که عملکرد دانه گندم، برآیند ساده و متقابل اجزای عملکرد یعنی تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه، شرایط محیطی رشد گیاه، چگونگی سازگاری گیاه با محیط و کارآیی استفاده از عوامل محیطی مؤثر بر تولید و رقابت درون و بین گیاهی است، بنابراین افزایش در اجزای عملکرد منجر به افزایش عملکرد گندم می‌گردد (پودلا و همکاران، ۲۰۲۱). مصرف عنصر روی با اثرگذاری بر فرایندهای فیزیولوژیک گیاه باعث افزایش رشد و عملکرد دانه گندم می‌شود (زوز و همکاران، ۲۰۱۲). علت افزایش عملکرد و اجزای آن در اثر کاربرد روی، تأثیر این عنصر بر کلروفیل برگ و غلظت آن می‌باشد. افزایش میزان کلروفیل از طریق افزایش ایندول استیک اسید باعث افزایش فتوسنتز شده و عملکرد ماده خشک گیاه را افزایش می‌دهد (سان و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین، تأمین عنصر روی مورد نیاز گیاه، ضمن بهبود فرآیندهای متابولیسمی مانند بیوسنتز پروتئین و کربوهیدرات، منجر به افزایش عملکرد و میزان عنصر روی انباشته شده در دانه می‌گردد. کاربرد روی سبب کاهش میزان اسید فیتیک موجود در دانه می‌گردد. برآیند این تغییرات کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی در دانه، امکان افزایش جذب این عنصر در بدن می‌شود. نسبت مولی اسید فیتیک به روی، معیاری برای ارزیابی کیفیت گندم تولید شده محسوب می‌گردد (سینگ و سینگ، ۲۰۱۵). در اثر کمبود روی در گیاه، به‌تدریج رشد متوقف شده و در نتیجه اندام‌های رویشی به‌ویژه برگ به‌عنوان دستگاه فتوسنتزی دچار مشکل می‌شود. در نتیجه این امر ساخت

مواد فتوسنتزی هم مختل شده و تشکیل اندام زایشی آسیب می‌بیند و لذا تعداد و وزن دانه کاهش می‌یابد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۸). مطابق تحقیق اسفندیاری و عبدلی (۱۳۹۶) مصرف سولفات روی باعث افزایش ٤ برابری عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین، موسویان و همکاران (۱۳۹۹)، افزایش معنی‌دار عملکرد دانه را در اثر مصرف روی گزارش کردند.

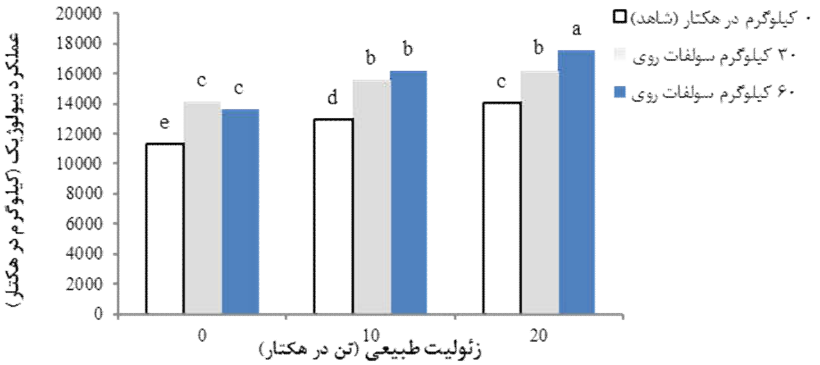
زئولیت‌ها می‌توانند با محبوس کردن عناصر غذایی کم مصرف، اقدام به آماده‌سازی آن‌ها برای جذب تدریجی توسط چرخه غذایی عناصر نمایند. کاربرد زئولیت با جذب یون آمونیوم، مانع تبدیل سریع آن به نیترات و در نتیجه باعث کاهش هدر رفتن نیتروژن می شود، این امر منجر به افزایش عملکرد گندم می‌گردد (زیژون و همکاران، ۲۰۲۱). میرزاخانی (۱۳۹٦)، بیشترین عملکرد دانه با میانگین ٦۱۱۷ کیلوگرم در هکتار را در تیمار آبیاری شاهد + مصرف ۹ تن در هکتار زئولیت گزارش کرد. افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد زئولیت توسط محققین متعددی گزارش شده است (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۸، قدسی و همکاران، ۲۰۲۰ و آکیل حسین و عبداله رادی، ۲۰۲۰).



شکل ۱- نمودار برهمکنش زئولیت طبیعی و سولفات‌روی بر عملکرد دانه

عملکرد زیستی

نتایج بدست آمده از آزمایش نشان داد که عامل زئولیت طبیعی و سولفات‌روی به تنهایی و برهمکنش زئولیت طبیعی و سولفات روی در سطح یک درصد بر میزان عملکرد زیستی معنی‌دار شد (جدول ٤). بیشترین و کمترین میزان عملکرد زیستی به‌ترتیب مربوط به تیمار ۲۰ تن در هکتار زئولیت طبیعی به همراه ٦۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی (۱۷۵۱۹/۸ کیلوگرم در هکتار) و تیمار شاهد (۱۱۲۸٦ کیلوگرم در هکتار) بود، به‌طوری که میزان افزایش عملکرد زیستی نسبت به تیمار شاهد ۵۵/۲ درصد بدست آمد (شکل ۲). مصرف زئولیت در خاک توانسته است با تأمین بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه باعث افزایش رشد و عملکرد زیستی گردد .افزایش عملکرد زیستی توسط زئولیت را می توان به اثرهای مثبت زئولیت روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، توانایی بالای آن در جذب و نگهداری آب قابل دسترس و بهبود بازدهی مصرف مواد غذایی توسط افزایش دسترسی و جذب مواد معدنی ماکرو و میکرو گیاه، افزایش رشد رویشی، سطح سبز گیاه و به دنبال آن افزایش کربوهیدرات‌های تولیدی توسط اندام های سبز گیاه نسبت داد (زیژون و همکاران، ۲۰۲۱). چنین استنباط می‌شود که اضافه کردن زئولیت مانع هدر رفتن نیتروژن و سایر عناصر غذایی موجود در خاک شده و با جلوگیری از شست و شوی نیتروژن باعث افزایش وزن خشک کل گیاه می‌شود که در تحقیق آذوق و همکاران (۲۰۱۸) گزارش شده است. افزایش عملکرد زیستی با مصرف ریزمغذی روی علل مختلفی می‌تواند داشته باشد که از آن جمله می‌توان به افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عنصر ریزمغذی روی و راه‌اندازی برخی از آنزیم‌های مسیر بیوسنتز کلروفیل و افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش بیوماس در گیاه اشاره نمود. مطابق تحقیقات اسفندیاری و عبدلی (۱۳۹٦) عملکرد بیولوژیک گندم در اثر کاربرد عنصر روی در حدود ۱٤۳ درصد افزایش داشت.

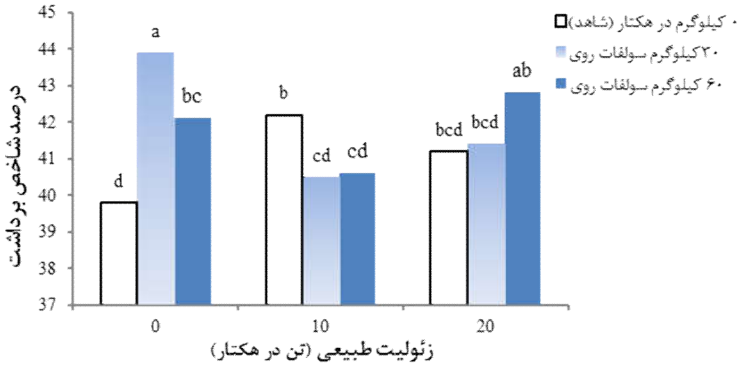


شکل ۲- نمودار برهمکنش زئولیت طبیعی و سولفات‌روی بر عملکرد زیستی

شاخص برداشت

نتایج نشان داد، هیچ یک از دو عامل زئولیت طبیعی و سولفات روی به تنهایی بر میزان شاخص برداشت اثر معنی‌داری نداشتند اما برهمکنش زئولیت طبیعی × سولفات روی در سطح یک درصد بر میزان شاخص برداشت معنی‌دار شد (جدول٤). به‌طوری‌که تیمار صفر تن در هکتار زئولیت طبیعی به همراه ۳۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی (٤۳/۹ درصد) بیشترین میزان شاخص برداشت را به خود اختصاص داد که با تیمار ۲۰ تن در هکتار زئولیت طبیعی به همراه ٦۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی (٤۲/۸ درصد) اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین شاخص برداشت در تیمار شاهد (۳۹/۸ درصد) دیده شد (شکل ۳).

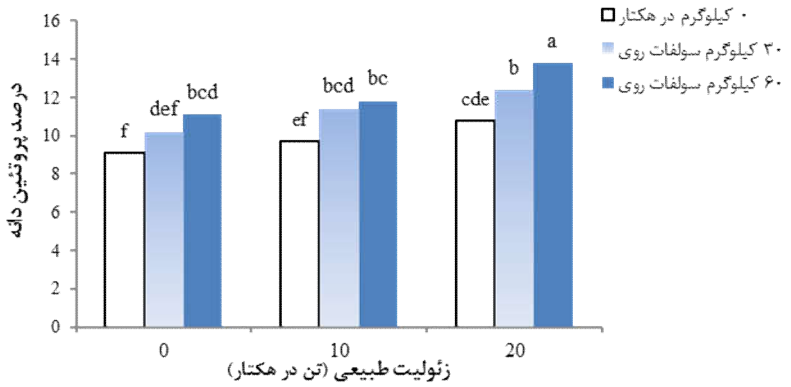
در تفسیر نتایج ابتدا باید به این موضوع اشاره کرد که در مطالعات صرفاً شاخص برداشت بالا ملاک نمی باشد. زیرا ممکن است شاخص برداشت بالا در نتیجه کاهش صورت و مخرج کسر حاصل شود (شیرانی راد، ۱۳۸٤). شاخص برداشت بالا زمانی قابل قبول می‌باشد که حاصل از افزایش کل ماده خشک تولید شده در مزرعه یا افزایش سهم عملکرد اقتصادی و یا هر دو آن‌ها باشد. لذا باید شاخص برداشت را همراه با عملکرد زیستی و عملکرد دانه (عملکرد اقتصادی) مورد بررسی قرار داد. با توجه به مسائل مطرح شده استفاده از سولفات‌روی و زئولیت باعث افزایش شاخص برداشت در گیاه گندم گردید. در واقع اغلب به دلیل زیاد شدن توان رشدی گیاه، راندمان اندام‌های رویشی در تولید اندام‌های زایشی افزایش یافته و شاخص برداشت زیاد می‌شود (قدسی و همکاران، ۲۰۲۰). افزایش شاخص برداشت در تیمارهای کودی را می‌توان به دلیل دسترسی بهتر مواد غذایی ضروری در گیاه گندم ذکر کرد که منجر به رشد بهتر و در نتیجه تولید بیشتر می‌شود و این باعث بزرگ شدن عملکرد اقتصادی گیاه شده است. مطابق نتایج اسفندیاری و عبدلی (۱۳۹٦)، کاربرد سولفات روی سبب افزایش چشمگیر و معنی‌دار شاخص برداشت از ۲۷/۲ درصد در شرایط شاهد به ٤۷/٦ درصد شد. همچنین، افزایش شاخص برداشت گندم در اثر کاربرد زئولیت توسط خیر و همکاران (۲۰۱۸) گزارش شده است.



شکل ۳- نمودار برهمکنش زئولیت طبیعی و سولفات‌روی بر درصد شاخص برداشت

درصد پروتئین دانه

اثر ساده زئولیت طبیعی و سولفات روی در سطح یک درصد و برهمکنش زئولیت طبیعی × سولفات روی در سطح پنج درصد بر درصد پروتئین دانه معنی‌دار شد (جدول ٤). بیشترین درصد پروتئین دانه (۱۳/۸ درصد) در تیمار ۲۰ تن در هکتار زئولیت طبیعی به‌همراه ٦۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی مشاهده شد، که ٥۱/٦ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد. همچنین، کمترین میزان در تیمار شاهد (۹/۱ درصد) بدست آمد (شکل ٤). یکی از عوامل تعیین‌کننده کیفیت گندم تولید شده میزان پروتئین آن می‌باشد. امروزه نقش عنصر روی در بیوسنتز پروتئین اثبات شده است. روی به عنوان یک کوفاکتور در ساختار آنزیم RNAپلیمراز عمل می‌کند. به‌علاوه عنصر روی از اجزای ساختاری ریبوزوم به شمار می‌آید و در نبود آن عملکرد ریبوزوم‌ها و بیوسنتز پروتئین کاهش می‌یابد (تانگ و همکاران، ۲۰۲۰). سدری و ملکوتی (۱۳۷۷) معتقد است مصرف روی علاوه بر افزایش عملکرد، با بالابردن پروتئین و غلظت روی دانه می‌تواند در رفع کمبود روی در انسان مؤثر باشد.



شکل ٤- نمودار برهمکنش زئولیت طبیعی و سولفات‌روی بر درصد پروتئین دانه

نتیجه‌گیری

هدف اصلی از کاشت گیاه زراعی گندم تولید عملکرد اقتصادی است که بتواند علاوه بر پوشش هزینه‌های تولید، سود قابل توجهی را نیز برای کشاورز به دنبال داشته باشد. بنابراین، بایستی روش‌های مناسبی برای بهبود همزمان عملکرد کمی و کیفی گندم در نظر گرفته شود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد، تأثیر عامل زئولیت طبیعی و سولفات‌روی به‌تنهایی و برهمکنش آن‌ها بر اکثر صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. بیشترین ارتفاع بوته، طول سنبله، طول پدانکل، طول برگ پرچم، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله بارور در مترمربع، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و درصد پروتئین در تیمار ۲۰ تن در هکتار زئولیت طبیعی همراه با ٦۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی بدست آمد. بیشترین میزان شاخص برداشت در تیمار ۳۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی حاصل شد. هیچ یک از تیمارهای مذکور بر میزان وزن هزار دانه تأثیر معنی‌داری نداشت. به نظر می‌رسد، استفاده تلفیقی زئولیت طبیعی و سولفات‌روی به‌دلیل تأثیرات قابل ملاحظه بر صفات کمی و کیفی گندم، پتانسیل به کارگیری در سطوح مختلف تولیدات کشاورزی را دارند.

منابع

اسفندیاری. ع. و م. عبدلی. ۱۳۹٦. بهبود خصوصیات زراعی و کیفی ژنوتیپ‌های گندم دوروم (*Triticum turgidum L.*) با کاربرد سولفات‌روی در شرایط تنش کمبود روی. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۱(۳): ٦۱۹-٦۳٦.

آژند. م.، م. سعیدی.، ع. بهشتی آل‌آقا و د. کهریزی. ۱۳۹۹. اثر محلول‌پاشی سولفات آهن و روی بر عملکرد و برخی ویژگیهای فیزیولوژیک کاملینا (*Camelina sativa L. Crantz*) در شرایط دیم. نشریه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۲(٤۸): ۱٥٥-۱۷۲.

بوربوری. م.ر.، و م.م. طهرانی. ۱۳۸۹. اثر برهمکنش مقادیر و روش مصرف مس و روی بر خصوصیات گیاهی و پروتئین گندم. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۲(۸): ۲۹-٤٤.

سدری. م.ح. و م.ج. ملکوتی. ۱۳۷۷. بررسی تأثیر مصرف آهن، روی و مس بر خصوصیات کمی وکیفی گندم. مجله علوم خاک و آب، ۱۲(۵): ۱۹-۳۱.

سیف. ف.، ف. عزیزی.، ف. پاک‌نژاد.، ع. کاشانی و م. شهابی‌فر. ۱۳۹۸. ارزیابی اثر تنش خشکی و کلینوپتیلولیت بر عملکرد و کیفیت هیبریدهای ذرت سیلویی. نشریه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۱(٤۲): ۱۲۷-۱٤٦.

رحمتی. ف.، س. سیف‌زاده.، ح. جباری.، ع. ولدآبادی و ا. حدیدی ماسوله. ۱۳۹۹. اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی روی بر برخی صفات فیزیولوژیک و زراعی ارقام گلرنگ. نشریه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۲(٤۷): ۲۷-٤۳.

عباسی. ن.ا.، ج. چراغی و س. حاجی‌نیا. ۱۳۹۸. تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن و روی به‌صورت نانو و شیمیایی بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه دو رقم گندم نان. نشریه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۱(٤۳): ۸۵-۱۰٤.

مشتطی. ع. و س.ه. موسوی. ۱۳۹۸. اثر مصرف سولفات‌روی بر عملکرد دانه گندم نان (*Triticum aestivum. L*) رقم چمران در شرایط تنش گرمای انتهای فصل در اهواز. مجله علوم زراعی ایران. ۲۱(۳): ۲٥٤-۲٦۷.

موسویان. س.ن.، ن. اکبری.، ح.ر. عیسوند.، ا. اسماعیلی و ع. مشتطی. ۱۳۹۹. اثر سطوح مختلف نیتروژن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم رقم چمران (*Triticum aestivum L.*) در شرایط تنش گرمای آخر فصل در اهواز. نشریه فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۲(٤٦): ٤٤-۲٥.

میرزاخانی. م. ۱۳۹٦. ارزیابی هدایت الکتریکی، کلروفیل و عملکرد گندم تحت تنش کم آبی با کاربرد زئولیت. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۱(٤۱): ۱۲٦-۱۱۱.

نوروزی. ح.، م. نبی‌پور.، ا. راهنما قهفرخی و ح. روشنفکر. ۱۳۹۹. تأثیر برگ‌پاشی ترکیبات سولفات‌روی و سلنیوم بر کاهش اثرات منفی تنش گرما در دو رقم گندم. مجله به‌زراعی کشاورزی. ۲۲(۱): ۱-۱۲.

Abdoli, M., E. Esfandiari, B. Sadeghzadeh and S. B. Mousavi. 2016. Zinc application methods affect agronomy traits and grain micronutrients in bread and durum wheat under zinc deficient calcareous soil. J. Agric. Sci. 26(2): 202-214.

Afsahi, K., M. Nazari, H. Omidi, F. Shekari and A. A. Bostani. 2020. The effects of different methods of zinc application on canola seed yield and oil content. P. Nutri. 43(8): 1070-1079 .

Aqeel Hussain, N. and A. M. Abdullah Radi. 2020. Effect of ground and natural zeolite on growth and yield of wheat. P. Archi. 20 (1): 609-615.

Azogh, A., S. K. Marashi and T. Babaeinejad. 2018. Effect of zeolite on root dry matter and yield parameters of wheat in polluted soil by chemical weapons. J. P. Pro. 40(4): 21-30.

Ghodsi, M. H., M. Esfahani, M.M. Tehrani and A. Aalami. 2020. Effect of fertilizer management and the application of zeolite on agronomic traits and grain yield of maize (Zea mays L.) hybrids under deficit irrigation conditions. Iran Agric. Res.. 39(1): 87-98.

Kavoosi, M. 2007. Effects of zeolite application on rice yield, nitrogen, recovery and nitrogen use efficiency. Soil and Water Department, Rice Research Institute of Iran, Rasht, Iran Commun. S. Plant Anal.. 38: 69-76.

Kheir, A.M.S., M.M.A. Shabana and M.F. Seleiman. 2018. Effect of Gypsum, Sulfuric Acid, Nano-Zeolite Application on Saline-Sodic Soil Properties and Wheat Productivity under Different Tillage Types. J. Soil Sci. and Agric. Eng., 9(12): 829 – 838.

Ma, D., D. Sun, C. Wang, H. Ding, H. Qin, J. Hou, X. Huang, Y. Xie and T. Guo. 2017. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. Front. Plant Sci. 8: 1-12.

Mondal, S., R.P. Singh, E.R. Mason, J. Huerta-Espino, E. Autrique and A.K. Joshi. 2016. Grain yield: adaptation and progress in breeding for early-maturing and heat-tolerant wheat lines in South Asia. Field Crops Res. 192: 78–85.

Ozoni Doje, A., M. Esfahani, H. Sameazaded Lahifi, and M. Rabei. 2008. Effect of planting arrangement and plant density on Yield and Seed Yield Components of Two Petals with and without Petals of Rapeseed. Iran. J. Crop Sci.. 1(9): 60-76.

Poudela, P.B., M.R. Poudela and R.R. Pur. 2021. Evaluation of heat stress tolerance in spring wheat (Triticum aestivum L.) genotypes using stress tolerance indices in western region of Nepal. J. Agric. Food Res. 5: 100179.

Omidvari, Sh., N. salamati and S. Abdi. 2020. Study on the Effects of Irrigation Regime and Biofertilizers on Yield and Yield Components of Irrigated Wheat. J. Crops Improv. 22(2): 193-204.

Singh, A. and Y. Singh-Shivay. 2015. Zinc application and green manuring enhances growth and yield in basmati rice (Oryza sativa L.). Ind. J. Plant Phys. 20(3): 289-296.

Sun, Y., W. Mi and L. Wu. 2018. Effects of foliar Fe and Zn fertilizers on storage root Fe, Zn, and beta-carotene content of sweet potato (Ipomoea batatas L.). J. Plant Nut. 42(1): 16-26.

Tang, L., Y. Hamid, D. Liu, M.J.I Shohag, A. Zehra, Z. Hee, Y. Fenga and X. Yang. 2020. Foliar application of zinc and selenium alleviates cadmium and lead toxicity of water spinach-Bioavailability/cytotoxicity study with human cell lines. Envir. I. l, 145: 106122.

Zheng, J., T. Chen, G. Xia, W. Chen, G. Liu and D. Chi. 2018. Effects of zeolite application on grain yield, water use and nitrogen uptake of rice under alternate wetting and drying irrigation. Int. J. Agric. Biol. Eng. 11(1): 157–164.

Zijun, Z., G. Effeney, G. J. Millar and M. Stephen. 2021. Synthesis and cation exchange capacity of zeolite W from ultra-fine natural zeolite waste. Envir. Tech. & Innovation. 23, 101595.

Zoz, T., F. Steiner, R. Fey, D.D. Castagnara, and E. P. Seide. 2012. Response of wheat to foliar application of zinc. Ciencia Rural. 42: 784-787..

Investigation of the effect of application of natural zeolite and zinc sulfate on agronomic traits and wheat yield (*Triticum aestivum*) of mahdavi cultivar

O. Nafeie[1], H. Mozafari[2], F. Rajabzadeh[3]

Received: 2021-11-3 Accepted: 2022-11-23

Abstract

In order to evaluate the effect of application of natural zeolite and zinc sulfate on wheat yield, an experiment was conducted as a split plot in a randomized complete block design with four replications as a field in Jalilabad village of Pishva in Varamin region during 2019-2020 experimental year. Main factor included the treatment of natural zeolite (clinoptilolite) at three levels of zero, 10 and 20 t/ha and the second factor included the treatment of zinc sulfate (36% zinc) at three levels of zero, 30 and 60 kg/ha. The results showed that the effect of natural zeolite and zinc sulfate alone and their interaction at the level of one percent on most of the studied traits were significant. In comparing the mean interaction of natural zeolite and zinc sulfate, maximum plant height, spike length, peduncle length, flag leaf length, number of seeds per spike, number of fertile spikes per square meter, grain yield, biological yield and protein percentage were obtained in the treatment of 20 ton/ha of natural zeolite with 60 kg/ha of zinc sulfate. The highest harvest index was obtained in the treatment of 30 kg/ha of zinc sulfate. None of the mentioned treatments had a significant effect on 1000/grain weight. Combined use of natural zeolite and zinc sulfate increased the yield of wheat by 67.1% compared to control.

Keywords: biological yield, harvest index, Super absorbent, wheat.

1- Msc Student of Agronomy, Department of Agronomy, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Department of Agriculture, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3- Assistant Professor, Department of Agriculture, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran