

بررسی کاهش اثرات تنش کم آبی بر رشد و عملکرد گندم با کاربرد ژئولیت و

قارچ *Piriformospora indica*

آیدین خدایی جوقان^{۱*}، علی مشتقی، سید هاشم موسوی، بابک پاکدامن سردرود و

محبوبه عبداللهی نوروزی

استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

a.khodaei@asnrukh.ac.ir

استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

a.moshatati@asnrukh.ac.ir

کارشناس سابق گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

s_mussavi@yahoo.com

استادیار گروه گیاهپزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

bpakdaman@asnrukh.ac.ir

دانش آموخته کارشناسی ارشد اگرواکولوژی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

mahboobe.abdolahi@yahoo.com

چکیده

به منظور مطالعه اثر کاربرد ژئولیت و قارچ *Piriformospora indica* بر عملکرد گندم در شرایط قطع آبیاری آخر فصل، پژوهشی به صورت اسپلیت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه زمان قطع آبیاری (آبیاری کامل، قطع آبیاری از ابتدای مرحله شیری-خمیری تا رسیدگی فیزیولوژیک و قطع آبیاری از ابتدای مرحله گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک) در کرت‌های اصلی، چهار مقدار ژئولیت (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار) و دو سطح کاربرد قارچ *Piriformospora indica* (تلقیح و عدم تلقیح) به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی بودند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و کاربرد ۱۲ تن ژئولیت در هکتار و به مقدار ۳۸۴۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن از تیمار قطع آبیاری از مرحله گلدهی و عدم کاربرد ژئولیت به مقدار ۱۹۴۷ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. بین سطوح مختلف ژئولیت در شرایط آبیاری کامل اختلاف معنی‌داری ملاحظه نشد، در حالی که در شرایط تنش ملایم و شدید خشکی، کاربرد ۸ و ۱۲ تن ژئولیت در هکتار دارای برتری بود. در شرایط قطع آبیاری از مرحله شیری-خمیری با تلقیح قارچ عملکرد دانه از ۳۱۲۹ کیلوگرم در هکتار به ۳۶۴۷ کیلوگرم در هکتار رسید. کاربرد قارچ در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی بیشتر موثر واقع شد به طوری که عملکرد دانه از ۲۱۶۱ کیلوگرم در هکتار در شرایط عدم تلقیح به ۲۹۱۷ کیلوگرم در هکتار رسید. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که با کاربرد ژئولیت در ترکیب با خاک و نیز تلقیح بذر گندم با قارچ می‌توان خسارت عملکرد دانه گندم در شرایط کمبود آب و قطع آبیاری در مرحله گلدهی و شیری خمیری را تا حدودی جبران کرد.

واژه‌های کلیدی: قطع آبیاری، مواد اصلاح کننده خاک، قارچ اندوفیت

^۱- آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

*- دریافت: خرداد ۱۳۹۸ و پذیرش: بهمن ۱۳۹۸

مقدمه

کمبود آب به عنوان یکی از عوامل محدودکننده تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌شود و حدود یک سوم اراضی قابل کشت در جهان با کمبود آب برای کشاورزی روبه‌رو هستند. متوسط کاهش عملکرد محصولات کشاورزی در جهان به دلیل کم آبی ۱۷ درصد است که می‌تواند به بیش از ۷۰ درصد افزایش یابد (کامرانی و همکاران، ۲۰۱۵). بر اساس ارزیابی‌ها در حدود ۳۳ میلیون هکتار از اراضی زیر کشت گندم دنیا با تنش کم آبی مواجه باشند و خسارت ناشی از آن در سطح جهان قابل توجه است (افیونی و همکاران، ۱۳۹۴). ایران با متوسط بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر در سال جزو این مناطق به حساب آمده و ۹۰ درصد از مساحت کشور در نواحی خشک و نیمه خشک قرار دارد. در این مناطق، به علت کمبود منابع آب و در نتیجه بروز تنش برای گیاه، عملکرد گندم به شدت کاهش می‌یابد (مهربان، ۱۳۹۷).

در ایران محدودیت بارندگی عموماً در اواخر فصل رشد گندم اتفاق می‌افتد که این محدودیت بسته به زمان آن می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد گندم داشته باشد. مراحل گرده افشانی و پر شدن دانه جزء بحرانی‌ترین مراحل نمو گندم و حساس‌ترین زمان نسبت به تنش رطوبتی می‌باشد (پیری و همکاران، ۲۰۰۸) کمبود آب پس از گل دهی از طریق آسیب رساندن به فرآیند پر شدن دانه می‌تواند بر میانگین وزن هزار دانه تأثیر منفی بگذارد. تنش خشکی در مرحله سنبله‌دهی تا پر شدن دانه به دلیل کاهش تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه موجب کاهش عملکرد گندم می‌گردد (حلیم و همکاران، ۱۳۹۶). کم آبی از مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی، از طریق تسریع پیری برگ‌ها، کاهش طول دوره رشد و کاهش سرعت پر شدن دانه سبب کاهش میانگین وزن دانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود (موری و همکاران ۱۳۹۱). فیشر

و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که اگر تنش در مرحله گرده افشانی یا کمی قبل از آن اتفاق افتد، تعداد دانه در سنبله و در نهایت عملکرد کاهش می‌یابد. اکبری مقدم و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که قطع آبیاری در مرحله ظهور سنبله، عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده را به ترتیب ۳۶٪ و ۲۰٪ کاهش داد.

امروزه استفاده از راهکارهای جدیدی که سبب جلوگیری از هدروری رطوبت می‌شود بسیار مد نظر قرار گرفته‌است. افزودن مواد اصلاحی به خاک برای افزایش کارایی مصرف آب و بهبود خواص فیزیکی خاک یکی از مهم‌ترین راه‌های مقابله با کمبود آب به شمار می‌رود (غیاثوند غیائی و همکاران، ۱۳۹۳). ژنویت از جمله موادی است که به دلیل نگهداری آب در خاک، فراهمی مواد غذایی می‌تواند از آن در کشت محصولات زراعی استفاده کرد. ژنویت می‌تواند به عنوان تنظیم کننده آب عمل کند، چرا که یکی از خصوصیات مهم آن توانایی آبیگری و پسابیدگی می‌باشد که می‌تواند از آن برای بهبود تعادل آب در خاک در شرایط کمبود رطوبت، به ویژه در مراحل رشدی حساس به کاهش رطوبت استفاده کرد (هارب و همکاران، ۲۰۰۹). محققان بسیاری کاربرد ژنویت به منظور کاهش اثرات کمبود آب بر تولید گیاهان زراعی را مطالعه کرده‌اند (لطفی فر و همکاران، ۱۳۹۶؛ ماهرخ و عزیزی، ۱۳۹۳؛ خاشعی سیوکی و همکاران، ۲۰۱۵). در پژوهشی کاربرد نه تن در هکتار ژنویت در خاک باعث جبران صدمات ناشی از تنش کم آبی در گندم شد (میرزاخانی، ۱۳۹۵). کاربرد ژنویت به میزان ده تن در هکتار موجب کاهش اثرات تنش خشکی و بهبود عملکرد کلزا گردید. (غیاثوند غیائی و همکاران ۱۳۹۳)

یکی دیگر از راهکارهای نوین مقابله با خشکی و بهبود عملکرد گیاهان زراعی استفاده از قارچ‌های اندوفیت است. بدین منظور استفاده از قارچ *piriformospora indica* برای بهبود عملکرد گیاهان در شرایط نامناسب محیطی مطرح شده است. (خالوندی و همکاران ۱۳۹۶). این

گندم با کاربرد زئولیت و تلقیح قارچ *piriformospora indica* بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان واقع در ملاتانی در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی اهواز با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی، ارتفاع ۳۴ متر از سطح دریا، با آب و هوای گرم و خشک و متوسط بارندگی سالانه ۲۱۳ میلی‌متر اجرا شد (جدول ۱).

قارچ باعث افزایش جذب آب و سبب بهبود رشد گیاه می‌گردد (ذوالفقاری و همکاران، ۲۰۱۳) پژوهشگران علت افزایش مقاومت گیاهان تلقیح شده در برابر تنش‌ها را ناشی از بیان ژن‌های مربوط به تولید و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های گیاهی دانستند که باعث جمع‌آوری بهتر گونه‌های اکسیژن فعال و جلوگیری از تنش اکسیداتیو می‌شوند (شاه حسینی و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج پژوهشی نشان داد که در شرایط تنش رطوبتی، همزیستی قارچی اثر مثبت بر عملکرد گندم دیم داشت (یعقوبیان و همکاران، ۱۳۹۱).

با توجه به بحران کمبود و کاهش بارندگی‌های آخر فصل و با توجه به اینکه برخی عملیات زراعی می‌تواند بر تحمل گیاه به تنش خشکی تأثیرگذار باشد، هدف از انجام این پژوهش تعدیل اثرات کم‌آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد

جدول ۱- میانگین دمای حداقل و حداکثر و بارندگی ماهانه در طول دوره رشد گندم در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵

پارامتر	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت
دمای حداقل (سلسیوس)	۷/۳	۸/۲	۸/۱	۱۲/۸	۱۶/۱	۲۱/۱
دمای حداکثر (سلسیوس)	۲۲/۱	۲۲/۹	۲۲/۷	۲۷/۱	۳۲/۵	۳۶/۰
بارندگی (میلی‌متر)	۱۸/۹	۲/۷	۷/۲	۲۷/۹	۱۰	۴/۹

آمار ایستگاه هواشناسی اهواز

صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی بودند. زئولیت مورد استفاده (اندازه ذرات یک تا دو میلی‌متر) از معادن استان سمنان تهیه شد (جدول ۳). قارچ اندوفیت از آزمایشگاه گیاهپزشکی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان تهیه شد. قبل از انجام آزمایش نمونه‌ای مرکب از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه تهیه و برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۲).

آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عوامل آزمایشی شامل سه زمان قطع آبیاری (آبیاری کامل (شاهد)، قطع آبیاری از ابتدای مرحله شیری-خمیری تا رسیدگی فیزیولوژیک و قطع آبیاری از ابتدای مرحله گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک) در کرت‌های اصلی و چهار مقدار زئولیت (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار) و دو سطح کاربرد قارچ *Piriformospora indica* (تلقیح و عدم تلقیح) به

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه (عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر)

بافت	وزن مخصوص ظاهری (g.cm ⁻³)	پتاسیم (mg.kg ⁻¹)	فسفر (mg.kg ⁻¹)	نیترژن (%)	کربن آلی (%)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)
رسی سیلتی	۱/۲۶	۲۸۷	۹/۲	۰/۰۶	۰/۷۱	۷/۲	۴/۱

جدول ۳- مشخصات و ترکیبات شیمیایی ژنولیت مورد استفاده

رنگ	ظرفیت جذب آب (%)	خلوص (%)	وزن مخصوص ظاهری (gr.cm ⁻³)	دانه بندی (mm)	ظرفیت تبادل کاتیونی (meq.gr ⁻¹)
سفید	۶۰	۸۷	۱/۱	۱-۲	۲/۴
Cd (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (%)	Ca ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
۰/۰۳	۱/۴	۰/۰۲	۲/۷	۱/۶	۲/۷
					Al ₂ O ₃ (%)
					۱۱/۳
					۶۷
					SiO ₂ (%)

عملیات خاک‌ورزی شامل شخم و دو دیسک عمود بر هم جهت تسطیح و خرد کردن کلوخه‌ها انجام شد. پس از این مرحله بر اساس نقشه آزمایش، محل قرار گرفتن بلوک‌ها و نه‌های آبیاری روی زمین مشخص شد. سپس کرت‌های مورد نظر توسط کارگر و به صورت دستی احداث شد و نه‌ها با استفاده از نه‌رکن ایجاد گردید. قبل از کاشت، مقدار ژنولیت هر کرت بر اساس تیمار توزین شد و توسط دستگاه کولتیواتور دستی با خاک مخلوط گردید. قارچ اندوفیت در آزمایشگاه گیاهپزشکی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان بر روی جو (به عنوان حامل) تلقیح گردید و در زمان کاشت در زیر بذر گندم قرار گرفت. به ازای هر گیاه حداقل ۱۰^۸ اسپور مورد استفاده قرار گرفت. کشت به صورت فلت انجام شده و ابعاد هر کرت دو در دو متر در نظر گرفته شد. هر کرت فرعی شامل ۱۰ خط کشت دو متری به فاصله ۲۰ سانتی متر از هم بود. مقدار بذر بر مبنای ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (۴۰۰ بوته در متر مربع) و با توجه به ابعاد کرت و درصد جوانه زنی بذر محاسبه و در هر خط به صورت دستی کشت شد. در این آزمایش از گندم رقم چمران دو استفاده شد. تاریخ کشت ۱۶ آذرماه بود. آبیاری تا قبل از مرحله گلدهی بر اساس عرف منطقه و شرایط آب و هوایی برای تمام کرت‌ها به صورت یکسان (سه آبیاری) انجام شد ولی در مرحله بعد از گلدهی، آبیاری کرت‌های دارای تیمار قطع آبیاری، از مرحله گلدهی و یا مرحله شیری خمیری قطع شد. تعداد آبیاری‌ها برای تیمار آبیاری کامل، قطع آبیاری از ابتدای مرحله گلدهی و قطع آبیاری از ابتدای مرحله شیری-خمیری

به ترتیب پنج، سه و چهار آبیاری بود. آبیاری به صورت سطحی انجام شد و برای جلوگیری از اثر بارندگی بر کرت‌های با تیمار قطع آبیاری، در مواقع بارندگی روی کرت‌های مذکور محافظ کشیده شد. در مورد کوددهی، ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (به صورت ۵۰ درصد در زمان کاشت و ۵۰ درصد در ابتدای مرحله ساقه رفتن) از منبع اوره و ۷۵ کیلوگرم در هکتار فسفر در زمان قبل از کاشت از منبع سوپر فسفات تریپل استفاده شد (سیادت و همکاران، ۱۳۹۲). علف‌های هرز داخل و بین کرت‌ها به صورت دستی وجین شدند. در زمان برداشت دو خط اول و آخر و همچنین نیم متر از هر دو طرف کرت به عنوان حاشیه حذف و ۱/۶ متر مربع باقی مانده در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در اواسط اردیبهشت ماه ۱۳۹۶ برداشت شد. عملکرد دانه (با رطوبت ۱۴ درصد)، ماده خشک، شاخص برداشت و تعداد سنبله در متر مربع بر مبنای سطح برداشتی، تعداد دانه در سنبله بر اساس متوسط ۲۰ سنبله و وزن هزار دانه با شمارش و توزین دو نمونه ۵۰۰ دانه‌ای تعیین شد. نرمال بودن داده‌ها توسط نرم‌افزار Minitab مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) اثر قطع آبیاری بر کلیه صفات به جز ارتفاع، شاخص سطح برگ و شاخص برداشت معنی‌دار بود که این معنی‌داری برای تعداد

خطای یک درصد تحت تاثیر این تیمار قرار گرفتند. عملکرد دانه، تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله تحت تاثیر برهم‌کنش قطع آبیاری و قارچ قرار گرفت و اثر برهم‌کنش قطع آبیاری و زئولیت بر عملکرد زیست توده، عملکرد دانه و وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد. اثر برهم‌کنش قارچ و زئولیت و اثر برهم‌کنش سه جانبه عوامل آزمایشی بر هیچیک از صفات معنی دار نشد.

سنبله در متر مربع و عملکرد زیست توده در سطح احتمال یک درصد و برای سایر صفات در سطح احتمال پنج درصد بود. اثر قارچ اندوفیت بر ارتفاع و تعداد سنبله در متر مربع غیر معنی دار و برای سایر صفات معنی دار بود که این معنی داری برای طول سنبله و شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد و برای بقیه صفات در سطح احتمال یک درصد بود. اثر زئولیت بر طول سنبله، تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله معنی دار نبود ولی بقیه صفات در سطح احتمال

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده تحت تاثیر قطع آبیاری، کاربرد قارچ و زئولیت

میانگین مربعات										
منبع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع	طول سنبله	شاخص سطح برگ	تعداد سنبله بارور در متر مربع	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه	عملکرد زیست توده	عملکرد دانه	شاخص برداشت
تکرار	۲	۴۰۹/۷۱*	۱/۱۰ ^{ns}	۱/۵۹*	۴۷۷۶/۲۴ ^{ns}	۱۵/۳۸ ^{ns}	۲/۰۶ ^{ns}	۱۱۱۱۹۹۶ ^{ns}	۳۴۳۵۸ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}
قطع آبیاری	۲	۱۵۱/۷۵ ^{ns}	۹/۶۹**	۰/۰۶ ^{ns}	۹۴۴۹۲/۷۵*	۱۵۲/۵۳**	۴۶/۹۲**	۳۸۸۳۰۰۸۳*	۹۳۸۴۱۵۹**	۰/۰۰۴ ^{ns}
خطای اصلی	۴	۲۷/۶۳	۰/۴۱	۰/۳۲	۲۶۵۷/۱۸	۶/۵۸	۱/۹۹	۲۵۷۸۳۲۶	۱۱۶۴۲۸	۰/۰۰۵
قارچ	۱	۳۲/۱۶ ^{ns}	۲/۶۸*	۱/۲۹**	۱۶۳/۲۰ ^{ns}	۱۲۵/۳۴**	۱۹/۶۳**	۱۱۸۷۴۱۵۳**	۴۳۳۲۲۵۸**	۰/۰۰۶*
قطع آبیاری* قارچ	۲	۰/۶۴ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}	۱۱۲۶۶/۴۲*	۵/۵۵*	۰/۵۱ ^{ns}	۳۰۳۵۸۶ ^{ns}	۴۷۰۸۰۳**	۰/۰۰۵ ^{ns}
زئولیت	۳	۱۱۳/۰۸*	۰/۶۲ ^{ns}	۰/۷۰**	۵۴۹۵/۳۸ ^{ns}	۳۵/۶۱ ^{ns}	۲۲/۰۰**	۲۹۱۴۵۵۶**	۱۶۰۰۶۳۴**	۰/۰۰۱*
قطع آبیاری* زئولیت	۶	۵/۶۵ ^{ns}	۰/۵۷ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۵۰/۹۱ ^{ns}	۱/۰۴ ^{ns}	۴/۹۴*	۱۰۱۹۶۱۷*	۲۰۳۸۹۷*	۰/۰۰۶ ^{ns}
قارچ* زئولیت	۳	۲/۶۰ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۵۶/۴۷ ^{ns}	۰/۴۰ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۴۹۵۶۷ ^{ns}	۶۷۴۹۶ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}
قطع آبیاری* قارچ* زئولیت	۶	۰/۷۲ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۲۳۳/۵۲ ^{ns}	۱/۷۴ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۹۹۸۶۹ ^{ns}	۴۵۲۱۲ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}
خطای فرعی	۴۲	۴۰/۹۰	۰/۴۰	۰/۰۹	۲۶۲۸/۹۵	۱۱/۹۶	۲/۲۰	۴۸۶۴۷۶	۶۸۹۵۳	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (درصد)	-	۸/۳۴	۹/۰۰	۷/۷۲	۱۲/۵۵	۱۳/۰۰	۴/۰۷	۸/۴	۸/۱	۸/۳

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

شاخص سطح برگ در زمان گلدهی: داشتن شاخص سطح برگ بیشتر سبب بهبود جذب نور و سرعت تجمع ماده خشک می‌گردد و محققان همبستگی بین سطح برگ و عملکرد را تایید کرده‌اند (سید شریفی و همکاران، ۲۰۰۷). در این پژوهش همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص سطح برگ و عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین شاخص سطح برگ در شرایط کاربرد قارچ (۴/۱) نسبت به عدم کاربرد قارچ (۳/۸) افزایش معنی‌داری معادل ۷/۴ درصد نشان داد (جدول ۵). نتایج یافته‌های پژوهشگران نشان می‌دهد که تلقیح با قارچ در فراهمی و متابولیسم عناصر مورد نیاز گیاه تأثیر مهمی داشته و سبب افزایش میزان این عناصر در گیاهان تلقیح شده و افزایش فتوسنتز و در نتیجه فراهمی بیشتر شیره پرورده می‌گردد. (کاظمی و همکاران ۱۳۹۶)

بر اساس یافته‌ها بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ به ترتیب از تیمار کاربرد ۱۲ تن زئولیت در هکتار و عدم کاربرد زئولیت به ترتیب به مقدار ۴/۲ و ۳/۷ بدست آمد که با سطوح دیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. از نظر شاخص سطح برگ بین سطوح چهار و هشت تن زئولیت در هکتار اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۵). به نظر می‌رسد که به دلیل توانایی بالای که زئولیت در جذب و نگهداری رطوبت اضافی موجود در خاک دارد، می‌تواند مقدار قابل توجهی آب را پس از هر بار آبیاری مزرعه در داخل خلل و فرج خود جذب و نگهداری نماید و به مرور در روزهای بعد از آبیاری که رطوبت خاک مزرعه کاهش می‌یابد، آب جذب شده را به در اختیار ریشه گیاه قرار دهد. (میرزاخانی و همکاران، ۱۳۹۴)

ویژگی‌های مورفولوژیک: با افزایش مقدار زئولیت ارتفاع بوته افزایش یافت و از ۷۳/۹ سانتی‌متر در تیمار عدم کاربرد زئولیت به ۷۹/۱ سانتی‌متر در تیمار کاربرد ۱۲ تن زئولیت در هکتار رسید. تفاوت معنی‌داری بین کاربرد و عدم کاربرد زئولیت مشاهده شد، هر چند اختلاف بین سطوح ۴، ۸ و ۱۲

زئولیت در هکتار از نظر آماری معنی‌دار نبود. کاربرد ۱۲ تن زئولیت در هکتار سبب افزایش معنی‌دار ۶/۵ درصدی ارتفاع نسبت به عدم کاربرد آن شد (جدول ۵). اثر مثبت زئولیت بر ارتفاع گیاهان توسط آذرپور و همکاران (۲۰۱۱)، هارب و محمود (۲۰۰۹) و پولات و همکاران (۲۰۰۴) نیز گزارش شده است.

بین سطوح مختلف قطع آبیاری اختلاف معنی‌داری در طول سنبله مشاهده شد، به طوری که قطع آبیاری از مرحله گلدهی سبب کاهش ۱۵ درصدی طول سنبله نسبت به آبیاری کامل گردید (جدول ۵) که با نتایج یعقوبیان و همکاران (۱۳۹۱) همخوانی دارد. تلقیح قارچ بر طول سنبله اثر مثبت داشت به طوری که طول سنبله از ۷/۳ سانتی‌متر در شرایط عدم تلقیح به ۷/۷ سانتی‌متر در شرایط کاربرد قارچ اندوفیت رسید. اثرات مثبت قارچ اندوفیت در رشد و افزایش عملکرد گیاه می‌تواند به علت بهبود جذب فسفر و همچنین افزایش جذب آب به وسیله هیف‌های قارچی و ریشه گیاه باشد (ابوقلیا و خلفلاح، ۲۰۰۸).

اجزای عملکرد: نتایج نشان داد که با کاربرد قارچ اندوفیت در شرایط قطع آبیاری از مرحله شیری-خمیری، تعداد سنبله بارور در واحد سطح را می‌توان تا حد آبیاری کامل افزایش داد (شکل ۱-الف). همان‌طور که در شکل ۱-الف مشاهده می‌شود تعداد سنبله در واحد سطح با کاربرد قارچ در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله شیری-خمیری نسبت به عدم کاربرد آن دارای مزیت بوده ولی در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی سبب افزایش تعداد سنبله در واحد سطح نشده است. قارچ *piriformospora indica* برای فعالیت مناسب احتیاج به فراهمی آب دارد و به نظر می‌رسد که در شرایط تنش شدید خشکی فعالیت آن مختل شده است. بیشترین تعداد سنبله در واحد سطح از تیمارهای تلقیح و عدم تلقیح در شرایط آبیاری کامل و تلقیح در شرایط قطع آبیاری از مرحله شیری-خمیری به ترتیب به تعداد ۴۷۵، ۴۴۶ و ۴۳۲ به دست آمد که هر سه تیمار از نظر آماری در یک گروه قرار

صفت تعداد دانه در سنبله شد. بیشترین تعداد دانه در سنبله (۲۹/۵) از تیمار تلقیح قارچ در شرایط قطع آبیاری در مرحله شیری-خمیری و کمترین آن (۲۲/۳) از قطع آبیاری از مرحله گلدهی و عدم تلقیح قارچ بدست آمد که دارای اختلاف معنی- دار بودند (شکل ۱-ب). حسن پور و زند (۱۳۹۳) گزارش دادند که کاربرد کودهای زیستی مایکوریزا و ازتوباکتر باعث بهبود خسارت تنش خشکی بر اجزای عملکرد گندم به ویژه تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه گردید که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

گرفتند (شکل ۱-الف). فنگ و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که قارچ‌های اندوفیت به طور مستقیم با بهبود تغذیه گیاهان از طریق جذب عناصر غذایی و همچنین افزایش جذب آب توسط گیاه و تولید هورمون‌ها افزایش رشد گیاه میزبان را سبب می‌شوند.

تلقیح قارچ در شرایط آبیاری کامل سبب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله نگردید در حالی که در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله شیری خمیری سبب افزایش معنی‌دار به ترتیب ۱۱/۶ و ۱۲ درصدی گردیده و سبب جبران خسارت ناشی از کمبود رطوبت بر

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی تحت تاثیر قطع آبیاری، کاربرد قارچ و ژنولیت

عامل آزمایشی	ارتفاع (سانتی‌متر)	طول سنبله (سانتی‌متر)	شاخص سطح برگ	تعداد سنبله در متر مربع	تعداد دانه در سنبله	شاخص برداشت (درصد)
ژنولیت						
۰ تن در هکتار	۷۳/۹b	۷/۲a	۳/۷c	۳۸۵/۹b	۲۴/۸b	۳۶/۶b
۴ تن در هکتار	۷۵/۱ab	۷/۶a	۳/۹b	۴۰۳/۲ab	۲۶/۳ab	۳۹/۲ab
۸ تن در هکتار	۷۸/۳a	۷/۵a	۳/۹b	۴۱۹/۴ab	۲۷/۵a	۴۰/۰a
۱۲ تن در هکتار	۷۹/۱a	۷/۶a	۴/۲a	۴۲۴/۵a	۲۸/۰a	۴۰/۹a
قارچ						
تلقیح	۷۷/۳a	۷/۷a	۴/۱a	-	-	۴۰/۲a
عدم تلقیح	۷۵/۹a	۷/۳b	۳/۸b	-	-	۳۸/۱b
قطع آبیاری						
آبیاری کامل	۷۹/۱a	۸/۰a	۳/۹a	-	-	۴۰/۵a
قطع آبیاری از مرحله گلدهی	۷۴/۱b	۶/۸b	۴/۰a	-	-	۳۶/۹b
قطع آبیاری از مرحله شیری-خمیری	۷۶/۶ab	۷/۷a	۳/۹a	-	-	۴۰/۱a

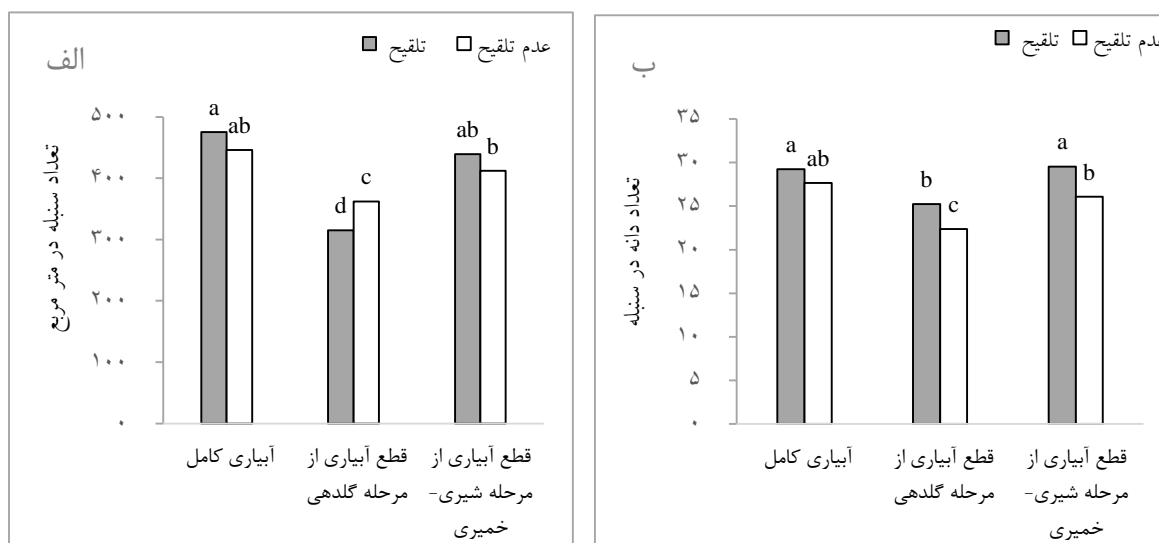
در هر ستون، میانگین‌هایی که حرف مشترک دارند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

(شکل ۳-الف). در شرایط قطع آبیاری از مرحله شیری خمیری این روند مشابه ولی میزان افزایش وزن هزار دانه در حدود نه درصد بود. در شرایط عدم کاربرد ژنولیت اختلاف وزن هزار دانه بین آبیاری کامل و تنش ملایم و شدید خشکی به ترتیب برابر ۱۳ و ۸ درصد بود در حالی که این اختلاف در شرایط کاربرد ۱۲ تن ژنولیت در هکتار ۴ و ۲ درصد رسید (شکل ۳-الف). این امر نشانگر توانایی ژنولیت در کاهش

در شرایط آبیاری کامل اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف ژنولیت از نظر وزن دانه مشاهده نشد در حالی که در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی (تنش کم آبی شدید) با افزایش مصرف ژنولیت وزن هزار دانه روند افزایشی داشت به طوری که از ۳۲/۹ گرم در شرایط عدم کاربرد ژنولیت به ۳۶/۷ گرم در شرایط کاربرد ۱۲ تن ژنولیت در هکتار رسید که افزایش تقریباً ۱۲ درصدی را نشان می‌دهد

حق شناس گرگابی و همکاران (۲۰۱۰) نتایج پژوهش حاضر را تایید می‌کند. به طور کلی، عملکرد دانه با تمامی اجزای عملکرد دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری که نشانگر تأثیر تعیین‌کننده هر یک از اجزا در تغییرات عملکرد دانه می‌باشد، نشان داد. در میان اجزای عملکرد وزن هزار دانه بیشترین تغییرات عملکرد دانه ($R^2 = 0/51$) را توصیف کرد (شکل ۳-ب)

خسارت کم آبی بر وزن هزار دانه در شرایط کمبود رطوبت انتهای فصل رشد گندم می‌باشد. زئولیت‌ها با شکل ساختمانی متخلخل و ظرفیت تبادل بالایی نقش مهمی در ذخیره رطوبت و افزایش حاصلخیزی خاک دارند و در شرایط قطع آبیاری آخر فصل زئولیت سبب حفظ و افزایش رطوبت خاک گردیده و با در اختیار قراردادن عناصر غذایی و آب در زمان پر شدن دانه سبب افزایش فتوسنتز و بهبود انتقال مواد به دانه و افزایش وزن هزار دانه گردیده است. تحقیقات غلامحسینی (۲۰۱۳) و



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح آبیاری و تلقیح بر تعداد سنبله در متر مربع (الف)، تعداد دانه در سنبله (ب) (حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد آزمون LSD می‌باشد)

زئولیت به ترتیب ۴۶ و ۱۷ درصد بود تفاوت این تیمارها در شرایط کاربرد ۱۲ تن زئولیت در هکتار به ترتیب به ۲۳ و ۵ درصد رسید. این امر نشان دهنده نقش مثبت زئولیت در کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی به ویژه در شرایط قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه است. در شرایط قطع آبیاری در مرحله زایشی طول دوره رشد گیاه و زمان برای پر شدن دانه کاهش می‌یابد. زئولیت به دلیل ساختمان خاص خود با حفظ رطوبت و عناصر غذایی سبب افزایش طول دوره رشد گردیده و از طریق افزایش مقدار فتوسنتز و حفظ سطح فتوسنتز کننده سبب افزایش عملکرد دانه می‌گردد. میرزاخانی و ملکی

عملکرد دانه و زیست توده: بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و کاربرد ۱۲ تن زئولیت در هکتار و به مقدار ۳۸۴۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن از تیمار قطع آبیاری از مرحله گلدهی و عدم کاربرد زئولیت به مقدار ۱۹۴۷ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. بین سطوح مختلف زئولیت در شرایط آبیاری کامل اختلاف معنی‌داری ملاحظه‌نشده، در حالی که در شرایط تنش ملایم و شدید خشکی کاربرد ۸ و ۱۲ تن زئولیت در هکتار دارای برتری بود (شکل ۲-ب). در شرایطی که اختلاف عملکرد بین تیمار آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی و مرحله شیری خمیری در حالت عدم کاربرد

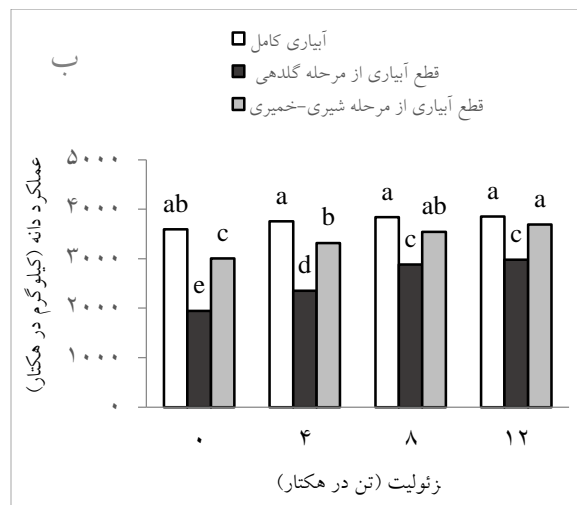
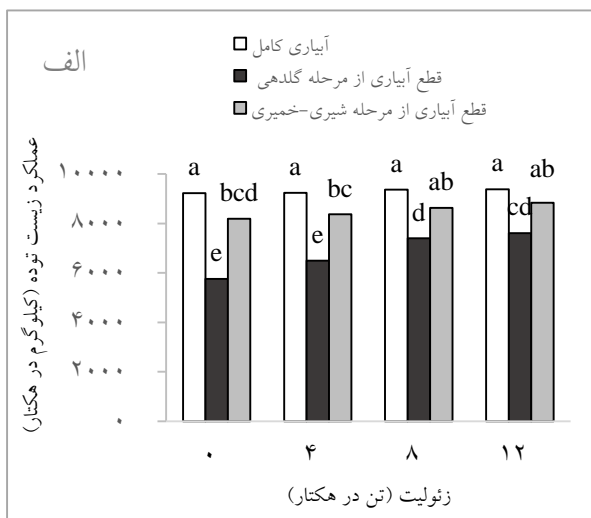
(۱۳۹۴) نیز نشان دادند که با کاربرد ژئولیت در شرایط تنش کم آبی می‌توان عملکرد دانه گندم را افزایش داد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. اختلاف بین عدم مصرف ژئولیت و کاربرد ۱۲ تن ژئولیت در شرایط آبیاری کامل ۲۵۹ کیلوگرم در هکتار ببه دست آمد، در حالی که این تفاوت در شرایط اعمال تنش کم آبی از مرحله شیری-خمیری ۶۸۷ کیلوگرم در هکتار و در شرایط اعمال تنش کم آبی در مرحله گلدهی ۱۰۳۰ کیلوگرم در هکتار بود.

همانطور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود در شرایط آبیاری کامل، عملکرد دانه در حالت عدم تلقیح قارچ به میزان ۳۶۶۰ کیلوگرم در هکتار بود و تلقیح بذر با قارچ سبب افزایش عملکرد دانه تا ۳۸۵۸ کیلوگرم در هکتار گردید که از نظر آماری معنی‌دار نبوده و کمترین افزایش عملکرد را در بین سطوح مختلف آبیاری به خود اختصاص داد. در شرایط قطع آبیاری از مرحله شیری-خمیری با تلقیح قارچ عملکرد دانه از ۳۱۲۹ کیلوگرم در هکتار به ۳۶۴۷ کیلوگرم در هکتار رسید. تلقیح قارچ در شرایط قطع آبیاری بسیار موثر واقع شد به طوری که تفاوت عملکرد بین تیمار تلقیح و عدم تلقیح ۲۶ درصد بود و از حدود ۲۱۶۱ کیلوگرم در هکتار به ۲۹۱۷ کیلوگرم در هکتار رسید. قارچ *Piriformospora indica* با افزایش مقدار و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسدانی باعث بهبود رشد گیاه در شرایط تنش رطوبتی می‌شود (بعقوبیان و همکاران، ۲۰۱۴). گاهی اوقات قارچ‌های اندوفیت از طریق اجتناب از خشکی، گیاهان را در مقابل تنش حفظ می‌کند و این کار از طریق افزایش جذب عناصر فسفر و سایر عناصر ضروری برای رشد و توسعه گیاه انجام می‌شود (اسماعیل پور و همکاران ۱۳۹۲). تلقیح گیاهان با قارچ اثرات نامطلوب کمبود آب را تعدیل می‌کند به طوری که قارچ از طریق انتشار میسلیوم خارجی خود در منافذ ریز خاک که امکان ورودهای ریشه موئین برای جذب آب وجود ندارد، آب و عناصر غذایی

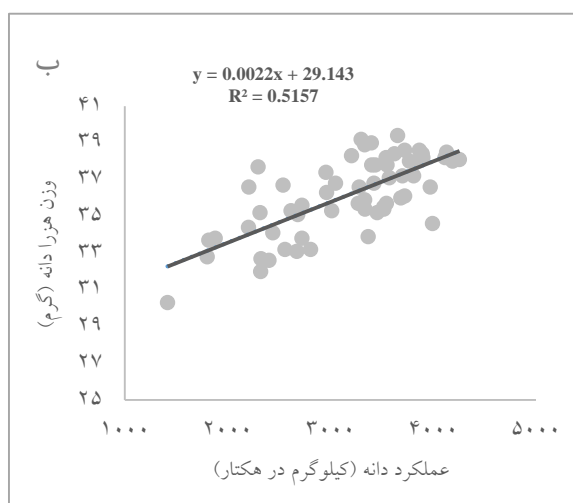
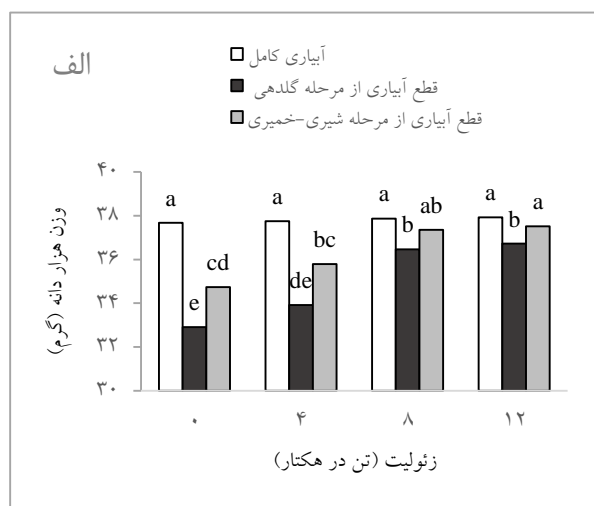
را جذب و به گیاه منتقل می‌کند و در نتیجه باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (ساجدی و رجالی ۱۳۹۰). گزارش‌های زیادی وجود دارند که تلقیح گیاهان با قارچ‌های اندوفیت رشد و مقدار جذب مواد غذایی را در گیاه افزایش داده و به دنبال آن مقاومت به تنش‌های محیطی و بیماری‌ها و همچنین عملکرد آنها افزایش می‌دهد (پوراس سوریانو و همکاران، ۲۰۰۹).

در شرایط آبیاری کامل با افزایش مقدار ژئولیت مصرفی عملکرد زیست توده افزایش چندانی نیافت در حالی که روند افزایش عملکرد زیست توده در با افزایش مقدار ژئولیت در شرایط قطع آبیاری از مرحله شیری-خمیری و از مرحله گلدهی افزایشی بود به طوری که در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی عملکرد زیست توده از ۱۹۴۷ کیلوگرم در هکتار در حالت بدون کاربرد ژئولیت به ۲۹۷۷ کیلوگرم در هکتار در حالت کاربرد ۱۲ تن ژئولیت در هکتار رسید که بهبود ۳۵ درصدی نشان می‌دهد. در صورت عدم کاربرد ژئولیت تفاوت بین عملکرد زیست توده در شرایط آبیاری کامل و قطع آن در مرحله گلدهی ۱۶۴۳ کیلوگرم در هکتار بدست آمد در حالی که این اختلاف در تیمار کاربرد ۱۲ تن ژئولیت در هکتار ۸۷۹ کیلوگرم بود (شکل ۲-الف) که با نتایج میرزاخانی (۱۳۹۵) مطابقت دارد.

تلقیح قارچ نسبت به عدم تلقیح آن سبب افزایش شاخص برداشت گردید به طوری و مقدار آن را از ۳۸/۱ درصد در شرایط عدم تلقیح به ۴۰/۲ در شرایط تلقیح رسید (جدول ۵). به طور کلی به نظر می‌رسد که احتمالاً تلقیح قارچ با افزایش دسترسی به آب و تامین فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز رشد و نمو گندم، باعث افزایش عملکرد دانه و در نتیجه شاخص برداشت شده است. در آزمایش قریشی اصل و همکاران (۲۰۱۷) نیز، مصرف ژئولیت نسبت به عدم کاربرد آن، باعث افزایش شاخص برداشت کلزا شد.



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد زیست توده (الف)، عملکرد دانه (ب) تحت تاثیر قطع آبیاری و کاربرد زئولیت (حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی داری در سطح احتمال خطای پنج درصد آزمون LSD می باشد).



شکل ۳- رابطه بین عملکرد دانه و وزن هزار دانه (الف) و مقایسه میانگین وزن هزار دانه (ب) تحت تاثیر قطع آبیاری و کاربرد زئولیت (حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی داری در سطح احتمال خطای پنج درصد آزمون LSD می باشد)



شکل ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تاثیر قطع آبیاری و کاربرد قارچ (حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی داری در سطح احتمال خطای پنج درصد آزمون LSD می باشد)

نتیجه گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان می دهد که با به کارگیری هشت و دوازده تن ژنولیت در ترکیب با خاک می توان خسارت عملکرد دانه گندم در شرایط کمبود آب و قطع آبیاری در مرحله گلدهی و شیری خمیری را جبران کرد. با افزایش مقدار ژنولیت از صفر به ۱۲ تن در هکتار افزایش عملکرد در شرایط قطع آبیاری بیشتر از آبیاری کامل بود که نشان دهنده کارایی ژنولیت در جبران خسارت تنش کمبود آب است. در شرایط تنش ملایم (قطع آب در مرحله شیری خمیری) تلقیح قارچ *Piriformospora indica* سبب جبران خسارت کاهش عملکرد دانه شده ولی کاربرد قارچ در شرایط تنش شدید (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) اثر بخشی کمتری

داشت. در نهایت می توان اظهار داشت که در سامانه های پایدار کشت و کار گندم با کاربرد ژنولیت به عنوان اصلاح کننده خاک و تلقیح قارچ *Piriformospora indica* به عنوان کود زیستی ضمن افزایش عملکرد در شرایط کم آبی، پایداری بوم نظام را نیز می توان حفظ کرد.

قدردانی

بدین وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان که هزینه های این آزمایش را تامین کرده اند (طرح پژوهشی شماره ۹۵۱/۳۰)، تشکر و قدردانی می شود.

فهرست منابع

۱. اسماعیل پور، ب.، جلیوند، پ. و هادیان، ج. ۱۳۹۲. تأثیر تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد مرزه (*saturej ahortensis L.*). نشریه بوم شناسی کشاورزی، ۵(۲): ۱۷۷-۱۶۹.
۲. افیونی، د.، اله دادی، ا.، غلام عباس اکبری، غ. ع. و نجفیان، گ. ۱۳۹۴. بررسی واکنش برخی صفات زراعی تعدادی از ژنوتیپهای گندم به قطع آبیاری آخر فصل در شرایط مصرف روی نشریه تولید گیاهان زراعی، ۸(۱): ۱۷۹-۲۰۳.
۳. حسنیور، ج. و زند، ب. ۱۳۹۳. نقش تلقیح بذر گندم (*Triticum aestivum L.*) با کودهای زیستی در کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی. علوم تحقیقات بذر ایران، ۱(۲): ۱-۱۲.
۴. حلیم، ق.، امام، ی. و شاگری، ا. ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش در ارقام گندم نان در شرایط قطع آبیاری پس از گل‌دهی. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۷(۴): ۱۱۳-۱۳۴.
۵. خاشعی سیوکی، ع.، احمدی، م.، هاشمی، س. ر. و چالاک، ا. ۱۳۹۵. اثر مقدار ژنولیت و مدیریت آبیاری بر برخی خصوصیات بنه زعفران. نشریه زراعت و فن آوری زعفران، ۴(۷): ۲۱۳-۲۰۱.
۶. خالوندی، م.، عامریان، م. ر.، پیردشتی، ه.، برادران فیروزآبادی، م. و غلامی، ا. ۱۳۹۶. اثر همزیستی قارچ (*Piriformospora indica*) بر کمیت اسانس و برخی صفات فیزیولوژیک گیاه دارویی نعنای فلفلی در تنش شوری. زیست شناسی گیاهی، ۹(۳۲): ۱۹-۲.
۷. ساجدی، ن. و رجالی، ف. ۱۳۹۰. تأثیر تنش خشکی، کاربرد روی و تلقیح میکوریزا بر جذب عناصر کم مصرف در ذرت. مجله پژوهش‌های علوم خاک و آب، ۲(۲): ۸۳-۹۲.
۸. سیادت، س. ع.، مدحج، ع. و اصفهانی، م. ۱۳۹۲. غلات. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.
۹. کاظمی، ش.، فرهمندفر، ا.، پیردشتی، ه.، محمودی، م. و بابابیزاد، و. ۱۳۹۶. تأثیر همزیستی گونه‌های قارچ میکوریزا و شبه میکوریزا بر بهره‌وری آب ذرت تحت سطوح مختلف آبیاری و سفر در شرایط مختلف اقلیمی در استان مازندران. به زراعی کشاورزی، ۱۹(۲): ۳۸۶-۳۷۱.
۱۰. لطفی فر، ا.، متقی، ل.، شیرانی راد، ا. ح. و متقی، س. ۱۳۹۶. اثر تنش خشکی و کاربرد ژنولیت بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد کمی و کیفی ژنوتیپ‌های کلزا (*Brassica napus*). نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۴۵(۱): ۶۷-۵۱.
۱۱. ماهرخ، ع. و عزیزی، ف. ۱۳۹۳. تأثیر کاربرد ژنولیت طبیعی بر تحمل به تنش کم آبیاری در ذرت دانه‌ای. پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۲(۲): ۳۰۴-۲۹۶.
۱۲. مهربان، ا. ۱۳۹۷. بررسی واکنش ارقام گندم به شرایط کم آبی در منطقه مغان (مدل و آزمایش مسزرعه‌ای). رساله دکتری زراعت. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه محقق اردبیلی.
۱۳. میرزاخانی، م. ۱۳۹۵. اثر مصرف ژنولیت بر عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیک گندم (رقم بک‌کراس روشن) در شرایط تنش کم آبی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۹(۱): ۵۰-۳۷.

۱۴. میرزاخانی، م. و ملکی، غ. ۱۳۹۴. ارزیابی برخی ویژگی های فیزیولوژیک گندم تحت شرایط تنش آبی و مصرف ژئولیت. نشریه زراعت، ۷(۱).
۱۵. میرزاخانی، م.، همتی، ز. و ساجدی، ن. ۱۳۹۴. پاسخ صفات زراعی و فیزیولوژیکی گندم پاییزه به تنش محدودیت رطوبتی و مصرف ژئولیت. نشریه پژوهش های زراعی ایران، ۳(۱): ۱۸۳-۱۷۳.
۱۶. یعقوبیان، ی.، پیردشتی، ه.، محمدی گلنپه، ا.، فیضی اصلی، و. و اسفندیاری ع. ۱۳۹۱. ارزیابی واکنش گندم دیم رقم آذر ۲ به همزیستی با قارچ های میکوریزایاربوسکولار و شبه میکوریزا در سطوح مختلف تنش خشکی. بوم شناسی کشاورزی، ۴(۱): ۷۳-۶۳.
17. Abo-Ghalia, H. H. and Khalafallah, A. A. 2008. Responses of wheat plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi to short-term water stress followed by recovery at three growth stages. *Journal of Applied Sciences Research*, 4: 570-580.
18. Akbari Moghaddam, H., Etesam, Gh. Koochkan, R., Rostami Sh. A. and Keikha, Gh. A. 2002. Effect of moisture stress in different growth stages on grain yield in wheat cultivars. *Proceedings of the 7th Iranian Crop Science Congress*, Karaj, Iran.
19. Azarpour, E., Karim Motamed, M., Moraditochae, M. and Bozorgi, H. R. 2011. Effects of Zeolite Application and Nitrogen Fertilization on Yield Components of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *World Applied Sciences Journal*, 14 (5): 687-692.
20. Feng, G., Zhang, F.S., Li, X.L., Tian, C. Y. and Tang Regel, C. Z. 2002. Improved tolerance of mays plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza*. 12: 185-190.
21. Fischer, R. A. 2007. Understanding the physiological basis for yield potential in wheat. *Journal of Agricultural Science*, 145: 99-113.
22. Ghiasvand Ghiasi, A., Akbari, G.A., Shirani Rad, A.H., Alahdadi, I. and Naeemi, M. 2014. Effect of Zeolite and Nitrogen Fertilizer Application under Water Deficit Stress Conditions on Agronomical and Physiological Traits of Rapeseed. *JCPP*, 4 (12) :73-86
23. Gholamhoseini, M., ghalavand, A., Khodaei, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H. and Farmanbar, E. 2013. Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil and Tillage Research*, (126): 193-202.
24. Haghshenas Gorgabi, M. and Beigi Harchegani, H. 2010. The effect of Mianeh zeolite on water retention and water retention models in tow soil textures. *Iranian water research journal*, (6): 35-42.
25. Harb, E. M. Z. and Mahmoud, M. A. 2009. (61) Enhancing of growth, essential oil yield and yield components of faba bean (*Achillea millefolium*) grown under safe agriculture conditions using two levels of plant stand density. *Annals Agric. Sci.*, zeolite and compost. 4rd conference on recent. technologies in agriculture, pp: 586-592
26. Harb, E. M. Z. and Mahmoud, M. A. 2009. (61) Enhancing of growth, essential oil yield and components of yarrow plant (*Achillea millefolium*) grown under safe agriculture conditions using zeolite and compost. 4rd conference on recent
27. Kamrani, M., Farzi, A. and Ebadi, A. 2015. Evaluation of grain yield performance and tolerance to drought stress in wheat genotypes using drought tolerance indices. *Jornal of Cereal Research*, 5(3): 231- 246. (In Farsi).
28. Khasheii Sikooi, E., Koochakzadeh, M. and Shahabifar, M. 2008. The effect of Clinoptilolite Zeolite and moisture of soil on the (*Zea mays* L.). *Journal of Soil Research*, 22(2): 235-241.
29. Moori, S., Emam, Y. and Karimzadeh Sureshjani, H. 2012. Effect of Cutting off Irrigation at Flowering Stage on Physiological Characters, Yield and Yield Components of Wheat Genotypes in Shiraz. *JCPP*, 2 (4):105-119.

30. Polat, E., Karaca, M., Demir, H. and. Naci Onus, A. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit Ornam Plant Research*, 12: 183-189.
31. Porras-Soriano, A., Soriano-Martín, M.L., PorrasPiedra, A. and Azcon, R. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi increased growth, nutrient uptake and tolerance to salinity in olive trees under nursery conditions. *Journal of Plant Physiology*, 166: 59- 1350.
32. Shahhosseini, Z., Gholami, A. and Asghari, H. 2012. Study the correlation among some growth characteristics of maize and yield under symbiosis with mycorrhizae fungi. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4: 696-698.
33. Zolfaghari, M., Nazeri, v., Sefidkon, F. and Rejali, F. 2013. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and essential oil content and composition of (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Plant Physiology*, 3(2): 643-650.

Investigating the Alleviation of Water Deficit Stress on Wheat Growth and Yield Using Zeolite and Fungus *Piriformospora indica*

A. Khodaeijoghan¹*, A. Moshatati, S.H. Mousavi, B. Pakdamansardrood, and M. Abdolahinoroozi

Assistant Professor, Plant Production and Genetics Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

a.khodaei@asnrukh.ac.ir

Assistant Professor, Plant Production and Genetics Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

a.moshatati@asnrukh.ac.ir.com

Former expert, Plant Production and Genetics Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

s_mussavi@yahoo.com

Assistant Professor, Plant protection Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

bpakdaman@asnrukh.ac.ir

MSc Graduate of Agroecology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

mahboobe.abdolahi@yahoo.com

Abstract

In order to evaluate the effect of zeolite and *Piriformospora indica* fungi inoculation on wheat growth and yield under irrigation cut off condition, a field experiment was conducted in a split-factorial experiment based on randomized complete block design with three replications in the research farm of Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, during 2016-2017 growing season. Experimental factors were three levels of irrigation cutoff (without irrigation cut off, irrigation cutoff from milky-dough stage and irrigation cutoff from flowering stage) as the main plot and four rates of zeolite (0, 4, 8 and 12 ton.ha⁻¹) and two levels of *Piriformospora indica* fungi inoculation (inoculation and non-inoculation) as sub plots. The results showed that the highest grain yield was obtained under full irrigation condition and application of 12 tons of zeolite per hectare (3849 kg. ha⁻¹), and the lowest was obtained from irrigation cut off at flowering stage and no application of zeolite (1947 kg.ha⁻¹). No significant difference was observed between different levels of zeolite under full irrigation conditions, while in the mild and severe drought conditions application of 8 and 12 tons of zeolite per hectare was advantageous. In irrigation cutoff at milky-dough stage condition, by fungi inoculation, seed yield increased from 3129 to 3647 kg.ha⁻¹. Application of the fungus was effective in irrigation cutoff at flowering stage, such that the grain yield was raised from 2161 to 2917 kg.ha⁻¹. The results of this study indicate that the use of zeolite in combination with soil and inoculation with *Piriformospora indica* fungi can somewhat compensate wheat grain yield damage in water deficit stress conditions.

Keywords: Irrigation cut off, Soil amendments, Endophytic fungus

¹ - Corresponding author: Plant Production and Genetics Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

* - Received: June 2019 ,and Accepted: January 2020

