اثر رژیم‌های مختلف رطوبتی و سوپر جاذب زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه بزرک

مریم محمدناصری[۱] و محمود رضا تدین[۲*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۸)

چکیده

به‌منظور مطالعه اثر سوپر جاذب طبیعی زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه بزرک تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۶ انجام شد. عامل اصلی در چهار رژیم رطوبتی شامل آبیاری پس از ۵۰ (شاهد)، ۸۰، ۱۳۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و عامل فرعی، در سه سطح ، عدم کاربرد زئولیت (شاهد)، ۵ تن در هکتار و ۱۰ تن در هکتار زئولیت بودند. نتایج نشان داد که کاربرد زئولیت بر صفات شاخص سبزینگی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی بر وزن هکتولیتر معنی‌دار نشد. رژیم‌های مختلف رطوبتی بر کلیه صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. اثر برهم‌کنش عامل‌ها بر تعداد کپسول در بوته در سطح احتمال یک درصد و بر شاخص سبزینگی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد با افزایش مقادیر سوپرجاذب زئولیت، تحت تیمارهای رژیم رطوبتی، همه صفات افزایش داشتند به‌طوری که کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار، بیشترین تأثیر را بر رشد و عملکرد گیاه بزرک در تمامی شرایط آبیاری (آبیاری معمول و یا تحت شرایط تنش خشکی) از خود نشان داد. بیشترین عملکرد دانه بزرک (۱۵۸۱کیلو گرم در هکتار) مربوط به کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار و کمترین عملکرد دانه (۱۳۳۱ کیلو گرم در هکتار) مربوط به عدم کاربرد زئولیت بود.

واژه‌های کلیدی: شاخص سبزینگی، تعداد کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد، شاخص برداشت، وزن هکتولیتر

۱ و ۲.به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mrtadayon@yahoo.com

مقدمه

بزرک با نام علمی *Linum usitatissimum* گیاهی یک‌ساله از تیره کتان (*Linaceae*) است (۴). دانه بزرک منبع خوبی از اسید چرب ضروری امگا ۳، اسیدهای آمینه ضروری آرژنین، هیستیدین، گلوتامین سیستئین و متیونین (لیگنان) بوده و از پوکی استخوان در انسان جلوگیری می‌کند، همچنین دارای خاصیت ضدسرطانی است. در گذشته روغن دانه بزرک در مصارف صنعتی از جمله رنگ آمیزی ساختمان‌ها، صنایع رنگرزی، تهیه روغن جلا، محافظ بتن، جوهر چاپ و لوازم آرایشی استفاده می‌شده است اما امروزه به‌دلیل میزان بالای اسید چرب ضروری امگا ۳ مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (۱۷). خشکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی کاهش‌دهنده محصولات کشاورزی است (۲۰). تنش خشکی باعث کاهش آماس سلولی، خسارات به غشا سلولی و سیستم فتوسنتزی گیاهان می‌شود. کاهش رشد گیاهان در اثر تنش خشکی بیشتر از سایر تنش‌های محیطی بوده و تنش خشکی به‌تنهایی ۴۵ درصد از کاهش عملکرد گیاهان زراعی را سبب می‌شود (۲۱). گوسوی و همکاران (۱۴) کاهش عملکرد دانه در گیاه آفتابگردان در اثر تنش خشکی را گزارش کردند که می‌تواند به‌علت کاهش تعداد دانه و کاهش وزن دانه اتفاق افتاده باشد (۱۴). یکی از راه‌های افزایش عملکرد در شرایط تنش کم‌آبی، جلوگیری از هدر رفت آب با به‌کارگیری مواد اصلاح کننده خاک است. یکی از این مواد، زئولیت طبیعی است این ماده معدنی، به‌دلیل خاصیت جذب شدید آب، قادر است آب موجود در خاک را تا حد اشباع جذب و برای مدت طولانی حفظ کند و آن را به‌تدریج در اختیار گیاه قرار دهد (۱۹).

زئولیت می‌تواند به‌عنوان تنظیم‌کننده آب عمل کند، زیرا از ویژگی مهم آن توانایی آبگیری و پسابیدگی است که می‌توان از آن برای بهبود تعادل آب در خاک در شرایط کمبود رطوبت، به‌ویژه در مراحل حساس رشد گیاهان به کاهش رطوبت استفاده کرد (۱۶). فراوانی زئولیت‌های طبیعی در کشور، استخراج آسان و قیمت اقتصادی مناسب، به‌کارگیری این ترکیبات را در تولید گیاهان زراعی و باغی تحت تنش مقرون به صرفه کرده و تحت شرایط تنش خشکی، مصرف بهینه این نهاده توجیه اقتصادی دارد. زئولیت در بهبود بخشیدن بافت خاک نیز تأثیر دارد که می‌تواند از دلایل مثبت کاربرد زئولیت در افزایش عملکرد دانه باشد (۸). کاربرد زئولیت در شرایط تنش خشکی، موجب افزایش تعداد خورجین در گیاه، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، در کلزا شده است (۳۱). عملکرد دانه تابعی از سرعت و طول دوره پر شدن آن است، وجود تنش‌های محیطی به‌ویژه کمبود آب در مرحله تشکیل و پر شدن دانه موجب کاهش میزان فتوسنتز، سرعت و طول دوره پر شدن دانه شده و در نهایت وزن دانه کاهش می‌یابد (۲۲). صفایی و همکاران (۲۷) طی آزمایشی بیان کردند کاربرد زئولیت در هر دو شرایط آبیاری معمولی و تنش کم‌آبی سبب افزایش معنی دار عملکرد دانه کلزا شد (۲۷). تنش خشکی موجب کاهش عملکرد اقتصادی، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت در گیاه گلرنگ شده است (۱). جین و همکاران (۱۸) در بررسی اثر تنش خشکی در گیاه کنجد نشان دادند که تنش خشکی موجب کاهش اندازه کپسول، تعداد دانه در کپسول و وزن دانه در بوته شد (۱۸). تنش خشکی سبب کاهش وزن هزار دانه و در نتیجه کاهش عملکرد در دانه آفتابگردان شده است (۳۰). صفات عملکرد و اجزای عملکرد در گلرنگ بهاره نیز تحت تأثیر تیمار تنش آبی قرار گرفته‌اند و با افزایش شدت تنش آبی، عملکرد و اجزاء عملکرد نیز کاهش یافته و تیمارهای مصرف زئولیت (چهار و هشت تن در هکتار) برتری معنی‌داری را نسبت به تیمار عدم مصرف زئولیت نشان دادند و موجب افزایش صفاتی از قبیل تعداد غوزه در بوته، تعداد دانه در غوزه، عملکرد دانه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت غوزه‌های اصلی شده‌اند (۲۸). با توجه به اینکه گیاه بزرک از اهمیت بالایی در تولید روغن‌های گیاهی و با کیفیت بالا برخوردار است و به‌دلیل اینکه کشور ایران با کمبود آب مواجه است، راهبردهای تحمل تنش خشکی از اصلی‌ترین برنامه‌ها در کشاورزی در برابر این گونه تنش‌ها بوده و دارای اهمیت اقتصادی است. کاربرد زئولیت به

دلیل نقش مثبت و مؤثر آن در جذب و نگهداری آب و افزایش تبادلات یونی خاک و فراوانی زئولیت‌های طبیعی در کشور، قابلیت استخراج راحت، حمل آسان و قیمت عمده فروشی بسیار مناسب، دارای توجیه اقتصادی در تولید بزرک است. این پژوهش با هدف بررسی بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گیاه بزرک با کاربرد زئولیت تحت تیمارهای رطوبتی بود تا مناسب‌ترین تیمار برای امکان افزایش و یا حفظ تولید پایدار این گیاه در شرایط خشکی فراهم شود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهرکرد روی گیاه بزرک در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. عامل اصلی شامل چهار سطح آبیاری نرمال (۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، تنش ملایم (۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، تنش شدید (۱۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، تنش خیلی شدید (۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و عامل فرعی شامل سه تیمار شاهد (بدون زئولیت)، ۵ تن زئولیت در هکتار و ۱۰ تن زئولیت در هکتار بود. علت انتخاب چهار تیمار آبیاری آن بود تا بتوان تحت شرایط استفاده از زئولیت، مناسب‌ترین تیمار کم‌آبیاری که حداقل میزان تنش خشکی را به گیاه یزرک وارد کند و عملکرد مورد انتظاری را در شرایط خشکی داشته باشد مشخص ساخت.

قبل از آماده‌سازی زمین، نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری مزرعه تهیه شد، سپس نمونه مرکب خاک، برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاک و آب ارسال شد. بر اساس توصیه آزمایش خاک و آب، کودهای شیمیایی مورد نیاز شامل اوره، سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و روی به‌ترتیب به مقدار ۲۷۰، ۱۵۰، ۱۳۰ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار در اختیار گیاه قرار گرفت. کود سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و روی در زمان کاشت به‌طور کامل به زمین داده شد و یک‌سوم کود اوره به‌صورت پایه و مابقی به‌صورت سرک در دو مرحله ساقه رفتن و قبل از گل‌دهی اعمال شد. ابعاد کرت‌ها در این آزمایش ۳ ×۲ متر، فاصله بین ردیف‌های کشت ۱۰ سانتی‌متر، فاصله بذرها روی ردیف ۵ سانتی‌متر و عمق کاشت ۳ سانتی‌متر و تعداد ۱۲ ردیف در هر کرت در نظر گرفته شد. به‌منظور جلوگیری از هر نوع خطا، فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. تا مرحله رویشی ۶ تا ۸ برگی بوته‌ها آبیاری مطابق دور مرسوم منطقه و پس از آن مطابق تیمارهای آزمایش و محاسبه مقدار تبخیر از تشتک و نیاز آبی گیاه، انجام گرفت. آمار میزان تبخیر از تشت تبخیر کلاس A، به‌صورت روزانه از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به مزرعه پژوهشی (ایستگاه هواشناسی سینوپتیک) واقع در فرودگاه شهرکرد دریافت شد. در زمان رسیدگی بوته‌ها برای تعیین تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول گیاه بزرک، از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و اندازه‌گیری شد. وزن هزار دانه، وزن هکتولیتر، شاخص برداشت، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نیز پس از برداشت و بوجاری بذور اندازه‌گیری شدند.

برای اندازه گیری شاخص برداشت از رابطه زیر استفاده شد.

$$HI = \frac{Y_E}{Y_R} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

در این رابطه عملکرد اقتصادی: Y_E و عملکرد بیولوژیک: Y_R است.

برای اندازه‌گیری شاخص سبزینگی از دستگاه SPAD استفاده شد.

داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شده و رسم شکل‌ها توسط نرم‌افزار EXCEL انجام گرفت. برای مقایسه میانگین اثرات متقابل معنی‌دار شده از نرم‌افزار MSTAT-C و آزمون LSD در سطح پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سبزینگی

نتایج حاصل از قرائت دستگاه کلروفیل‌متر نشان داد اثر اصلی تیمارهای آبیاری و زئولیت در سطح احتمال یک درصد و اثر

برهم‌کنش آنها بر شاخص سبزینگی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). با افزایش تنش کم‌آبی از میزان سبزینگی گیاه کاسته شد. بیشترین شاخص سبزینگی مربوط به تیمار آبیاری معمولی و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار بود که نسبت به تیمار تنش خیلی شدید و عدم کاربرد زئولیت، ۵۷/۹ درصد افزایش نشان داد. آبیاری معمولی و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار نسبت به آبیاری معمولی و کاربرد ۵ تن زئولیت در هکتار و عدم کاربرد زئولیت به‌ترتیب ۲۰ و ۲۸/۷ درصد افزایش در شاخص سبزینگی نشان داد. تنش خیلی شدید و کاربرد پنج تن زئولیت در هکتار، نسبت به تنش خیلی شدید و عدم کاربرد زئولیت نیز، شاخص سبزینگی را هفت درصد افزایش داد. کاستریلو و ترجیلو کاهش شاخص سبزینگی در اثر تنش را گزارش دادند (۶). کمبود آب سبب آسیب به رنگدانه‌ها و پلاستیدها می‌شود. کاهش غلظت کلروفیل در اثر فعالیت کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی است که موجب کاهش میزان سبزینگی نیز می‌شود (۳). بهادر و تدین (۲) اثر مثبت زئولیت بر شاخص سبزینگی را در شرایط تنش خشکی در گیاه شاهدانه گزارش دادند (۲). زئولیت با جذب رطوبت و افزایش دسترسی به آب موجب حفظ آب گیاه شده و از خسارات تنش خشکی به کلروپلاست و کاهش سبزینگی و کلروفیل جلوگیری می‌کند.

تعداد کپسول در بوته

نتایج نشان داد که اثر عوامل آبیاری و زئولیت در سطح احتمال یک درصد بر صفت تعداد کپسول در بوته معنی‌دار شدند. اثر برهم‌کنش زئولیت و رژیم‌های مختلف رطوبتی بر گیاه بزرک معنی‌دار نشد (جدول ۱). بیشترین تعداد کپسول در بوته مربوط به تیمار آبیاری معمولی است که نسبت به تنش خیلی شدید ۴۰/۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲) که با یافته‌های نبی‌پور و همکاران (۲۳) مطابقت داشت. سینکی و همکاران دریافتند که تنش خشکی موجب کاهش تعداد خورجین در بوته در گیاه کلزا شد (۲۹). در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد که تنش رطوبتی تعداد خورجین در بوته را در گیاه کلزا تحت تأثیر قرار داده است (۱۳). همچنین تیمار ۱۰ تن زئولیت در هکتار با ۹ درصد افزایش نسبت به عدم کاربرد زئولیت برتری نشان داد. افزایش میزان کاربرد زئولیت از صفر به پنج تن در هکتار نیز تعداد کپسول در بوته را چهار درصد افزایش داد (جدول ۲). تنش آبی موجب بسته شدن روزنه‌ها شده و فتوسنتز را کاهش داده و میزان مواد غذایی کمتری در اختیار اندام‌های زایشی قرار گرفته و در نتیجه گیاه برای تنظیم روابط مبدأ – مقصد مواد فتوسنتزی باعث ریزش گل‌ها شده ، بنابراین تعداد کپسول در بوته کاهش یافته است. از طرفی مصرف زئولیت موجب بهبود پویایی مواد غذایی و افزایش دسترسی گیاه به آب شده و موجب افزایش تعداد کپسول در بوته شده است.

تعداد دانه در کپسول

نتایج نشان داد اثر اصلی تیمارهای آبیاری و زئولیت و اثر برهم‌کنش تیمارها بر تعداد دانه در کپسول گیاه بزرک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). بیشترین تعداد دانه در کپسول مربوط به تیمار آبیاری معمولی و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار بود که نسبت به تیمار تنش خیلی شدید و عدم کاربرد زئولیت، ۳۲/۹ درصد افزایش نشان داد و از ۹/۸۳ به ۶/۶ دانه در کپسول کاهش یافت. آبیاری معمولی و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار نسبت به آبیاری معمولی و کاربرد پنج تن زئولیت در هکتار و عدم کاربرد زئولیت به‌ترتیب شش و هشت درصد افزایش در تعداد دانه در کپسول را نشان داد. تیمار تنش خیلی شدید و کاربرد پنج تن زئولیت در هکتار، نسبت به تیمار تنش خیلی شدید و عدم کاربرد زئولیت نیز، تعداد کپسول در بوته را ۱۸ درصد افزایش داد (جدول ۳). در تأیید نتایج این پژوهش، سیبی و همکاران نیز در گیاه دانه روغنی گلرنگ گزارش کردند که بیشترین تعداد دانه در غوزه مربوط به مصرف هشت تن زئولیت در هکتار و کمترین تعداد دانه مربوط به تیمار عدم مصرف زئولیت بود (۲۸). تنش آبی به‌طور معنی‌داری تعداد کپسول در بوته را در گیاه کنجد را کاهش داده است (۱۱). با افزایش سطوح تنش تعداد دانه در کپسول در گیاه

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات عملکرد و اجزای عملکرد بزرک تحت تیمارهای آزمایشی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		شاخص سبزینگی	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه درکپسول	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	وزن هکتولیتری
بلوک	۲	۰/۰۰۲^{ns}	۲/۶۸^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۱۸۱۶۱/۲۶^{ns}	۱۵۷۷۷/۶۱^{ns}	۳/۵۳^{ns}	۱/۴۷^{ns}
خشکی	۳	۲/۳۰**	۲۰۲۶/۸۸**	۴/۸۹**	۷/۱۷**	۶۷۳۷۲۸۷/۷۵**	۱۳۵۲۵۹۰/۰۸**	۳۹/۷۱**	۱۵/۸۹**
خطای عامل اصلی (Ea)	۶	۰/۰۳	۱۴/۸۶	۰/۰۹	۰/۰۲	۲۴۵۱۹/۵۰	۱۶۱۶۹/۶۲	۴/۵۱	۳۲/۰۲
زئولیت	۲	۰/۳۶**	۱۳۴/۸۱**	۱/۴۸**	۰/۹۶**	۵۰۱۵۳۷/۶۸**	۱۹۴۹۹۶/۴۷**	۱۹۰/۲۱**	۶/۰۹^{ns}
آبیاری × زئولیت	۶	۰/۱۱*	۱۰/۶۵^{ns}	۰/۵۱**	۰/۰۶^{ns}	۴۹۱۱۹/۵۷^{ns}	۱۶۳۳۱/۱۳^{ns}	۲/۸۹^{ns}	۱/۷۵^{ns}
خطای عامل فرعی (Eb)	۱۶	۰/۰۳	۱۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۱۴	۳۰۳۱۶/۵۵	۶۸۹۵/۳۹	۲/۷۷	۲/۲۲
ضریب تغییرات (٪)	–	۹/۳۱	۴/۴۸	۳/۶۰	۶/۲۲	۴/۰۸	۵/۶۴	۴/۸۷	۲/۲۴

ns، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

جدول ۲. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی آبیاری و زئولیت بر برخی صفات بزرک

تیمارها	تعداد کپسول در بوته	وزن هزار دانه (g)	وزن هکتولیتری (g/۱۰۰ml)	عملکرد دانه ($kg\ ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک ($kg\ ha^{-1}$)	شاخص برداشت (٪)
آبیاری						
آبیاری معمولی	۸۶/۹^{a}	۷/۱۴^{a}	۶۸/۱۷^{a}	۱۹۷۰^{a}	۵۳۶۹^{a}	۳۶/۶^{a}
تنش ملایم	۷۷/۳^{b}	۶/۲۸^{b}	۶۶/۶۴^{b}	۱۵۴۵^{b}	۴۴۵۷^{b}	۳۴/۶۲^{b}
تنش شدید	۶۸/۴^{c}	۵/۷۱^{c}	۶۶^{b}	۱۳۱۰^{c}	۳۸۶۴^{c}	۳۴/۸^{b}
تنش خیلی شدید	۵۱/۶^{d}	۵/۰۳^{d}	۶۵^{b}	۱۰۵۸^{d}	۳۳۵۴^{d}	۳۱/۵^{c}
زئولیت						
صفر تن در هکتار	۶۷/۸^{c}	۵/۷۵^{b}	۶۵/۷۴^{b}	۱۳۳۱^{c}	۴۰۳۳^{b}	۳۲/۸^{b}
۵ تن در هکتار	۷۰/۸^{b}	۶/۰۶^{a}	۶۶/۴۵^{a}	۱۵۰۰^{b}	۴۳۲۳^{a}	۳۴/۴^{a}
۱۰ تن در هکتار	۷۴/۵^{a}	۶/۳۲^{a}	۶۷/۱۷^{a}	۱۵۸۱^{a}	۴۴۲۸^{a}	۳۵/۳^{a}

در هر صفت و در داخل هر عامل آزمایشی، میانگین‌هایی که با حروف یکسانی دنبال شده‌اند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد فاقد تفاوت معنی‌دار هستند.

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و زئولیت بر صفات شاخص سبزینگی و تعداد تعداد دانه در کپسول

آبیاری	زئولیت	شاخص سبزینگی SPAD	تعداد کپسول در بوته
آبیاری معمولی	صفر تن در هکتار	۹/۱^{b}	۲/۲۴^{bc}
	۵ تن در هکتار	۹/۲^{b}	۲/۵^{b}
	۱۰ تن در هکتار	۹/۸۳^{a}	۳/۱۴^{a}
تنش ملایم	صفر تن در هکتار	۸/۹^{bcd}	۲/۰۵^{cd}
	۵ تن در هکتار	۸/۹۳^{bcd}	۲/۱۴^{cd}
	۱۰ تن در هکتار	۹^{bc}	۲/۲۲^{bc}
تنش شدید	صفر تن در هکتار	۸/۴۴^{def}	۱/۷۲^{efg}
	۵ تن در هکتار	۸/۵۶^{cdef}	۱/۸۴^{def}
	۱۰ تن در هکتار	۸/۷۳^{bcdf}	۱/۹۳^{cde}
تنش خیلی شدید	صفر تن در هکتار	۶/۶^{g}	۱/۳۲^{h}
	۵ تن در هکتار	۸/۰۶^{f}	۱/۴۴^{gh}
	۱۰ تن در هکتار	۸/۲۶^{ef}	۱/۵۳^{fgh}

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

کنجد کاهش یافت (۲۶). اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه در گیاه کلزا عمدتاً از طریق کاهش تعداد دانه در خورجین آشکار می‌شود (۹). با افزایش شدت تنش آبی، مقدار مواد فتوسنتزی گیاه کاهش یافته، در نتیجه رشد زایشی گیاه محدود شده و همچنین گل‌ها موفق به دریافت کربوهیدرات کافی برای پر کردن دانه‌ها نخواهند بود، بنابراین تعداد دانه در کپسول کاهش می‌یابد. از سوی دیگر زئولیت با تأمین رطوبت گیاه، توانایی گیاه را در رشد بیشتر و افزایش فتوسنتز بالا برده در نتیجه سبب افزایش در اجزای عملکرد گیاه خصوصاً تعداد دانه در کپسول می‌شود.

وزن هزار دانه

اثر عوامل آبیاری و زئولیت بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار شدند ولی اثر برهم‌کنش تیمارهای زئولیت و رژیم‌های مختلف رطوبتی بر وزن هزار دانه در گیاه بزرک معنی‌دار نشد (جدول ۱). بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار آبیاری معمولی بود که نسبت به تیمار تنش خیلی شدید ۲۹/۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲) که با نتایج گومز و همکاران مطابقت داشت (۱۳). تنش خشکی در گیاه گلرنگ وزن هزاردانه را کاهش داده است (۲۱). همچنین با افزایش مصرف زئولیت از صفر به ۱۰ تن در هکتار وزن هزار دانه ۹ درصد افزایش یافت. افزایش کاربرد زئولیت از صفر به پنج تن در هکتار نیز وزن هزار دانه را پنج درصد افزایش داد (جدول ۲). تنش خشکی موجب کاهش معنی‌داری وزن هزار دانه، در گیاه گلرنگ شده است (۲۴). مصرف زئولیت به‌دلیل در اختیار گذاشتن رطوبت مناسب برای گیاه، موجب افزایش وزن هزار دانه نسبت به شرایط عدم مصرف زئولیت شده است (۲۸). وزن هزار دانه بستگی به دوره پر شدن و میزان فتوسنتز در این مرحله دارد. کاهش رطوبت، موجب کوتاه شدن دوره پر شدن و کاهش سرعت فتوسنتز شده، در نتیجه وزن هزار دانه کاهش می‌یابد. مصرف زئولیت با فراهمی شرایط مناسب‌تری در خاک برای رشد ریشه گیاه بزرک، باعث کاهش شدت تنش شده و اثرات منفی آن را کاهش می‌دهد.

وزن هکتولیتر

نتایج نشان داد که با کاهش آبیاری، وزن هکتولیتر بزرک کاهش یافت ولی کاربرد زئولیت بر وزن هکتولیتر معنی‌دار بود ولی اثر برهم‌کنش تیمارهای زئولیت و رژیم‌های مختلف رطوبتی بر گیاه بزرک نیز معنی‌دار نشد (جدول ۱). بیشترین وزن هکتولیتر با میانگین ۶۸/۲ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر مربوط به تیمار آبیاری معمولی بود و کمترین وزن هکتولیتر با میانگین ۶۵ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر، مربوط به تیمار تنش خیلی شدید به‌دست آمد که نسبت به آبیاری معمولی پنج درصد کاهش نشان داد (جدول ۲). کاربرد زئولیت بر وزن هکتولیتر معنی‌دار نشد و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار نسبت به عدم کاربرد آن، وزن هکتولیتر را فقط دو درصد افزایش داد. وزن هکتولیتر شاخصی از کیفیت دانه است و بستگی به میزان رطوبت دارد. در این صفت اندازه دانه تأثیر کمتری دارد و یکنواختی و شکل دانه در آن مؤثر است. تنش خشکی موجب کاهش وزن هکتولیتر شده و دانه‌هایی که از تنش خسارت دیده‌اند وزن حجمی کمتری دارند، بنابراین وزن هکتولیتری نیز کاهش پیدا کرده است.

عملکرد دانه

نتایج نشان داد اثر اصلی عوامل آبیاری و زئولیت بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند، ولی اثر برهم‌کنش آنها معنی‌دار نشد (جدول ۱). تیمار آبیاری معمولی با میانگین ۱۹۷۰ کیلوگرم در هکتار نسبت تیمار تنش خیلی شدید با میانگین ۱۰۵۸ کیلوگرم در هکتار، افزایش ۴۰/۳ درصدی عملکرد نشان داد (جدول ۲). کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار نسبت به پنج تن زئولیت در هکتار و عدم کاربرد زئولیت به‌ترتیب ۵ و ۱۷ درصد عملکرد دانه را افزایش داد (جدول ۲). در مطالعه‌ای که توسط گومز و همکاران (۱۳) انجام شد نتایجی مشابه به‌دست آمد آنها دریافتند که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد در آفتابگردان شد و مصرف زئولیت موجب افزایش عملکرد دانه شد به‌طوری که بیشترین عملکرد دانه مربوط به مصرف هشت تن زئولیت در هکتار بوده است که نتایج این آزمایش را تأیید می‌کند

(۱۵). اعمال تنش خشکی در مراحل رشدی، عملکرد دانه در آفتابگردان را کاهش می‌دهد (۱۴).

گزارش شده که کاهش دسترسی به آب در مرحله گرده‌افشانی موجب کاهش عملکرد دانه شده است (۷). تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه در گیاه گلرنگ شده است (۲۳). از طرفی کاربرد زئولیت موجب افزایش عملکرد دانه شده است (۸) همچنین گزارش شده است در بین سطوح مختلف مصرف زئولیت، بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۸۲۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار مصرف هشت تن در هکتار زئولیت و کمترین عملکرد دانه با میانگین ۵۸۹ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار عدم مصرف زئولیت بوده است. عملکرد دانه در تیمار بدون تنش آبی با میانگین ۹۵۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین و تیمار تنش آبی براساس ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه با میانگین ۴۵۵ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه را در گیاه گلرنگ به خود اختصاص دادند (۲۸). تنش خشکی باعث بسته شدن روزنه‌ها شده، فتوسنتز کاهش یافته، فرایندهای سوخت‌وساز، جذب و تجمع مواد مغذی ضروری دچار اختلال می‌شوند در نتیجه رشد گیاه را کاهش داده و عملکرد کاهش می‌یابد. با مصرف زئولیت، رطوبت مورد نیاز گیاه تأمین شده در نتیجه تا حدودی از کاهش عملکرد جلوگیری کرده و موجب افزایش عملکرد گیاه نسبت به عدم کاربرد زئولیت خواهد شد.

عملکرد بیولوژیک

اثر ساده تیمارهای آبیاری و زئولیت بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند، ولی اثر برهم‌کنش این عوامل بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۱). عملکرد بیولوژیک تحت تیمار آبیاری معمولی نسبت به تنش خیلی شدید ۳۷/۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). همچنین کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار نسبت به پنج تن زئولیت در هکتار و عدم کاربرد زئولیت به‌ترتیب ۲/۴ و ۹ درصد عملکرد بیولوژیک را افزایش داد (جدول ۲). سینکی و همکاران، دریافتند که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد بیولوژیک در گیاه کلزا می‌شود (۲۹). در شرایط کم آبیاری عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری نسبت به آبیاری نرمال کاهش یافته است (۵). هر نوع کاهش دسترسی به آب در مرحله گرده‌افشانی موجب کاهش شدید عملکرد می‌شود (۷). تنش آبی موجب کاهش جذب آب توسط گیاه شده، بنابراین سطح سبزینگی گیاه کاهش یافته که منجر به کاهش جذب تابش دریافتی شده و فتوسنتز کاهش می‌یابد در نتیجه ماده خشک در گیاه کم شده و عملکرد بیولوژیکی کاهش می‌یابد. در این آزمایش مصرف ۱۰ تن زئولیت در هکتار توانست با جذب و نگهداری رطوبت اضافی خاک و آزاد سازی به موقع آن شرایط مناسب‌تری را برای گیاه فراهم کرده و از شدت خسارت به گیاه بکاهد.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی عوامل آبیاری و زئولیت بر شاخص برداشت در سطح یک درصد معنی‌دار شد ولی اثر برهم‌کنش تیمارها بر شاخص برداشت معنی‌دار نشد (جدول ۱). میزان شاخص برداشت از ۳۶/۶ درصد در آبیاری مطلوب به ۳۱/۵ درصد در تیمار تنش خیلی شدید کاهش یافت (جدول ۲). تأثیر سطوح مختلف زئولیت نیز بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. با افزایش مصرف زئولیت شاخص برداشت در تیمار ۱۰ تن زئولیت در هکتار به ۳۵/۳ درصد رسید، درحالی‌که شاخص برداشت در تیمار عدم مصرف زئولیت از ۳۲/۸ درصد فراتر نرفت (جدول ۲). تنش خشکی از طریق کاهش شاخص برداشت، عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (۱۰). نادری و همکاران در آزمایشی که روی گیاه گلرنگ انجام دادند، دریافتند که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار شاخص برداشت شده است (۲۴). کاربرد زئولیت در تنش خشکی باعث افزایش شاخص برداشت در گیاه کنجد شده است (۷). کاهش شاخص برداشت در اثر تنش آبی می‌تواند ناشی از کاهش وزن دانه در کپسول و کاهش تعداد دانه در کپسول، باشد. زیرا عملکرد دانه بیشترین همبستگی را با این اجزا دارد. کاهش شاخص برداشت در گیاه بزرک تحت تیمارهای کم

آبیاری نشان‌دهنده آن است که اثرات زیان‌آور تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه‌ها بیشتر بوده است و از این‌رو با کاهش اجزا عملکرد دانه و در نهایت شاخص برداشت کاهش یافته است. کاربرد زئولیت به‌عنوان اصلاح کننده خاک، به‌دلیل جذب آب اضافی و آزادسازی تدریجی و کنترل شده عناصر غذایی از زئولیت، عناصر غذایی به‌مدت طولانی برای گیاه فراهم و موجب بهبود رشد گیاه می‌شوند.

نتیجه‌گیری

تنش کم‌آبی موجب کاهش همه صفات مورد اندازه‌گیری در این آزمایش شد. کمبود آب در خاک می‌تواند موجب تنش‌های درونی در گیاه شود و رشد آن را تحت تأثیر قرار دهد. با توجه به اهمیت بزرک در صنایع مختلف، به‌خصوص روغن و دانه آن به عنوان دارو این گیاه به‌عنوان یکی از محصولات تجاری مورد توجه قرار گرفته است. اما همانند دیگر محصولات کشاورزی تحت تأثیر عوامل محیطی از جمله تنش خشکی قرار می‌گیرد. استفاده از زئولیت باعث نگهداری آب و مواد غذایی در خود شده و در زمان کمبود و نیاز گیاه آنها را به آرامی در اختیار گیاه قرار می‌دهد. زئولیت به‌عنوان یک ماده تأمین‌کننده رطوبت و بهبود دهنده رشد باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه بزرک تحت شرایط تنش آبی شد. در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد با کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار می‌توان خسارات ناشی از تنش خشکی، بر عملکرد و اجزا عملکرد دانه را تا حدودی جبران کرد. با توجه به وجود فراوانی زئولیت در نقاط مختلف کشور و قیمت اقتصادی مناسب آن و اینکه زئولیت می‌تواند به‌طور متوسط تا ۱۰ سال کارکرد خود را در خاک حفظ کند و نیازی به مصرف هرساله آن نیست، همچنین نقش آن در حفظ و بهبود محتوای آب خاک کاربرد آن می‌تواند موجب رشد و عملکرد و اصلاح خاک در مناطق در معرض تنش خشکی شود.

منابع مورد استفاده

1. Amiri, A., A. Cyrus Mehr and S. Esmail Zadeh Behbadi. 2016. Effect of salicylic acid and chitosan soluble application on plant Safflower yield under drought stress conditions. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology*) 28(4): 712- 725. (In Farsi).
2. Bahador, M. and M .R. Tadayon. 2017. Study the effect of zeolite application on reducing irrigation stress and improving the functions of Cannabis. *Journal Plant of Process and Function* 21(6): 127-141. (In Farsi).
3. Battes, L., P. R. Waldren and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.
4. Bhateria, S., S. P. Sood and A. Pathania. 2006. Genetic analysis of quantitative traits across environment in Linseed (*Linumu usitatissimum* L.). *International Journal of Plant Breeding* 150 :185-194.
5. Boyer, J. S. 1996. Advances in drought tolerance in plant. *Advanced in Agronomy Journal* 56: 187- 217.
6. Castrillo, M. and I. Trujillo. 1994. Ribulose-1-5, biphosphate carboxylase activity and chlorophyll and protein content in two cultivars of French bean plants under water stress and rewatering. *Photosynthesis Research* 30: 175-181.
7. Chowdhury, S., A. K. Datte, A. Saha and S. Maity. 2009. Radiation induced two oil rich mutants in Sesame (*Sesamum indicum* L.). *Indian Journal of Science and Technology* 2: 51-51.
8. Costa, G. and J. L. Morel. 1994. Water relation gas exchange and amino acid content in Cd-treated Lettuce. *Plant Physiology and Biochemistry (France)* 32: 561-570.
9. Daneshmand, A. R., A. H. Shirani Rad and M. R. Ardakani. 2006. Evaluation of water deficit stress on tolerance of spring Rapeseed *(Brassica napus* L.) genotypes. Iranian *Journal of Crop Sciences* 1(1): 48-60. (In Farsi).
10. De Costa, W. A., K. N. Shanmigathasan and K. D. Joseph. 1999. Physiology of yield determination of Mung bean (*Vigna radiate* L.) under various irrigation regimes in the dry and intermediate zones of Sri Lanka. *Field Crops Research* 61: 1-12.
11. Dilip, K., M. Ajumdar and S. Roy. 1991. Response of summer Sesame (*Sesamum indicum*) to irrigation, row spacing and plant population. *Indian Journal of Agronomy* 37: 758-762.
12. Erdem, T., Y. Erdem, A. H. Orta and H. Okursoy. 2006. Use of a crop water stress index for scheduling the

irrigation of Sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 30: 11-20.
13. Fanaei, H. R. M. Galavi, M. Kafi, A. Ghanbari Bonjar and A. H. Shirani-Rad. 2009. Effects of potassium fertilizer and irrigation on yield and water use efficiency of Canola and Indian mustard species. *Iranian Journal of Crop Sciences* 11: 273-291. (In Farsi).
14. Goksoy, A. T., A. O. Demir, Z. M. Turan and N. Dagustu. 2004. Responses of Sunflower to full and limited irrigation at different growth stages. *Filed Crops Research* 42: 1180-11.
15. Gomez, D., O. Martinez, M. Arona and A. Castro. 1991. Generating a selection index for drought tolerance in Sunflower *I*. Water use and consumption. *Helia* 14(15): 65-70.
16. Harb, E. M. Z. and M. A. Mahmoud. 2009. Enhancing of growth, essential oil yield and components of Yarrow plant (*Achillea millefolium* L.) growth under safe agriculture conditions using zeolite and compost. *In*: Proceeding of the 4rd Conference on Recent Technologies in Agriculture. Giza, Egypt.
17. Hassan-Zadeh, A., A. M. Sahari and M. Barzegar. 2008. Optimization of the ω-3 extraction as a functional food from Flaxseed. *International Journal of Food Science and Nutrition* 59(6): 526 – 34.
18. Jain, S., R. Yue-Lioang, L. E. Mei-wang, Y. Ting-Xian, Y. Xiao-Wen and Z. HongVing. 2010. Effect of drought stress on Sesame growth and yield characteristics and comprehensive evaluation of drought tolerance. *Chinese Journal of Oil Crops Sciences* 4: 42-48.
19. Kamkar, B., A. R. Daneshmand, F. Ghooshchi, A. H. Shiranirad and A. R. Safahani Langeroudi. 2011. The effects of irrigation regimes and nitrogen rates on some agronomic traits of Canola under a semiarid environment. *Agricultural Water Management* 8: 1005-1012.
20. Lum, M. S., M. M. Hanafi, Y. M. Rafii and A. S. N. Akmar. 2014. Effect of drought stress on growth, proline and antioxidant enzyme activities of upland Rice. *Journal of Animal and Plant Sciences* 24(5): 1487 1493.
21. Mantri, N. L., R. Ford, T. E. Coram and E. C. K. Pang. 2007. Transcriptional Profiling of Chickpea genes differentially regulated in response to high-salinity, cold and drought. *BioMedical Central Genomics Journal* 8: 303.
22. Mohammadi, G. H., K. Ghasemi Golezani, A. Javanshir and M. Moghaddam. 2006. The influence of water limitation on the yield of three Chickpea cultivars. *Journal of Crop Production and Processing* 10(2): 109-120. (In Farsi).
23. Nabipour, M. M., F. Meskarbashee and H. Yousefpour. 2007. The effect of water deficit on yield and yield components of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10(3): 421- 426.
24. Naderi, M. R., A. R. Bani Taba, M. R Shahsavari and H. R. Javanmard. 2007. Effect of drought stress on early maturity of Safflower in Isfahan. Iranian *Journal of Crop Science*s 3(2): 138-150. (In Farsi).
25. Ntanos, D. A. and S. D. Koutroubas. 2002. Dry matter and N accumulation and translocation for Indica and Japonica Rice under Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 74: 93-101.
26. Rezvani Moghaddam, P., G. H. Norozpoor, J. Nabati, A. A. Mohammadabadi. 2005. Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yields of Sesame. *Iranian Journal of Agriculture Researches* 3(1): 57-68. (In Farsi).
27. Safaei, R., A. H. Shiranirad, M. J. Mirhadi and B. Delkhosh. 2008. Effects of Zeolite on agronomic traits of two Rape seed cultivars on drought stress. *Journal of Plant and Environment* 15: 63-79. (In Farsi).
28. Sibi, M., M. Mirzakhani and M. Gamariyan. 2011. Response of physiological characteristics to water stress, application of salicylic acid and zeolite in Safflower. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4(4): 151-156. (In Farsi).
29. Sinaki, J. M., E. Madjidi Heravan, A. H. Shirani Rad, G. Noormohammadi and G. Zarei. 2007. The effects of water deficit during growth stages of Canola (*Brassica napus* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science* 2(4): 417-422.
30. Yegappan, T. M., D. M. Paton, C. T. Gates and W. J. Muller. 1982. Water stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) effects on leaf cells and leaf area. *Annals of Botany* 49: 63-68.
31. Zahedi, H., G. H. Noormohammadi, A. H. Shirani Rad, D. Habibi and M. Mashhadi Akbar Boojar. 2009. Effects of zeolite and foliar applications of Selenium on growth yield and yield components of three canola cultivars under drought stress. *Notulae Scientia Biologicae* 1(1): 73-80.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 9, No. 1, Spring 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Effect of Different Moisture Regimes and Super-Adsorbent Zeolite on Yield and Yield Components of linseed

M. Mohammad Naseri[1] and M. R. Tadayon[2*]

(Received: May 14-2018; Accepted: July 30-2018)

Abstract

In order to study the effect of natural zeolite superabsorbent on yield and yield components of linseed under different moisture regimes, a split plot experiment was conducted in a randomized complete block design with 3 replications at Research Farm of Shahrekord University, Shahrekord, Iran in 2017. The main factor in four moisture regimes included irrigation after 50 (control), 80, 130 and 180 mm evaporation from class A evaporation pan and sub factor, at three levels encompassed no application of zeolite (control), 5 tons zeolite per hectare and 10 tons zeolite per hectare. The results showed that the effect of application of zeolite on vegetation index, number of capsules per plant, number of seeds per capsule, 1000 seed weight, grain yield, biological yield and harvest index was significant at 1% probability level, but this factor had no significant effect on hectoliter weight. Effect of moisture regimes on all studied traits were significant at 1% probability level. The effect of interaction of factors was significant on the number of capsules per plant at the probability level of 1% and on the vegetation index at 5% probability level. With increasing of zeolite superabsorbent under moisture treatments, all studied traits were increased, while application of 10 tons of zeolite per hectare showed the most effect on the growth and yield of linseed in all irrigation conditions (normal irrigation and under drought stress conditions). The highest seed yield (1581 kg ha^{-1}) of linseed was related to the application of 10 tons of zeolite per hectare and the lowest yield (1331 kg ha^{-1}) was obtained at the zeolite – free conditions.

Keywords: Vegetation index, Number of capsules, 1000 seed weight, yield, harvest index, hectoliter weight

1, 2. MSc. Student and Associate Professor, Respectively, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
*: Corresponding Author, Email: mrtadyon@yahoo.com