نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۲، شماره ۲ ، تابستان ۱۳۹۳، ص. ۳۰۴-۲۹۶

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 12, No. 2, Summer. 2014, p. 296-304

تأثیر کاربرد زئولیت طبیعی بر تحمل به تنش کم آبیاری در ذرت دانه‌ای

علی ماهرخ[۱*] - فرهاد عزیزی[۲]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۲/۷
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۹/۲۰

چکیده

این مطالعه به منظور تعیین تأثیر مصرف زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت بر تحمل به تنش کم‌آبیاری در ذرت سینگل کراس ۷۰۴ اجرا شد. آزمایش در چهار سطح آبیاری، آبیاری پس از ۷۰ (آبیاری نرمال)، ۹۵ (تنش ملایم)، ۱۲۰ (تنش شدید) و ۱۴۵ (تنش بسیار شدید) میلی‌متر تبخیر تجمعی از سطح تشت تبخیر کلاش A و زئولیت در سه سطح شاهد (عدم مصرف) و مصرف شش و ۱۲ تن در هکتار، در سه تکرار به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال زراعی ۱۳۹۱ اجرا شد. تأثیر آبیاری بر تعداد روز تا ظهور ابریشم، فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم، ارتفاع بلال از سطح زمین، طول بلال و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و بر تعداد روز تا گرده‌افشانی، ارتفاع بوته، قطر بلال، تعداد بلال و وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین، مصرف زئولیت بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد و بر فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم، طول بلال و عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۷۳۵۲ و ۶۱۳۴/۱ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از آبیاری نرمال و مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت حاصل شد. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش در شرایط فراهمی آب آبیاری، برای حصول حداکثر عملکرد دانه در ذرت سینگل کراس ۷۰۴ آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر، تبخیر از سطح تشت تبخیر صورت گیرد، در این شرایط مصرف زئولیت طبیعی ضرورتی ندارد ولی در شرایط کمبود آب در منطقه، آبیاری پس از ۹۵ میلی‌متر تبخیر از سطح تشت تبخیر به همراه مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت درجهت حفظ رطوبت اطراف محیط ریشه و صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۱۲/۹۷ درصد توصیه می‌شود. اعمال کم‌آبیاری بیشتر از این مقدار باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، تنش کم آبیاری، زئولیت طبیعی، کلینوپتیلولیت، عملکرد و اجزای عملکرد

مقدمه

کشور ما در منطقه‌ی خشک و نیمه خشک دنیا واقع شده است که میانگین تبخیر و تعرق در آن نسبت به میانگین بارندگی بسیار بالا می‌باشد، از این رو تنش های محیطی بخصوص تنش خشکی به صورت عمده ترین عامل محدود کننده تولید ذرت (*Zea mays* L.) درآمده است. رشد ذرت در نواحی خشک و نیمه خشک اغلب با تغییر در مقدار و تعداد دفعات آبیاری یا بارندگی محدود می‌گردد. بهینه سازی مصرف آب، مستلزم اجرای تحقیقات در مزرعه و انطباق آن با عرف معمول و روش استفاده از آب در هر منطقه است. برای دستیابی به چنین هدفی وجود اطلاعات مزرعه‌ای مثل عملکرد محصول، سطوح مختلف آب آبیاری و مدیریت‌های آبیاری الزامی است. اصولاً افت عملکرد دقیقا با کاهش آب مصرفی متناظر نیست بلکه این روند عموماً غیر خطی است و نتایج تحقیقات نشانگر آن است که افت عملکرد بسیار کمتر از میزان کاهش آب مصرفی است (۵). هدف اساسی در بکارگیری روش‌های کم آبیاری، افزایش راندمان کاربرد آب، از طریق کاهش میزان آب آبیاری در هر نوبت یا حذف آبیاری‌هایی است که کمترین بازدهی را دارند یا در افزایش سود خالص نقشی ندارند (۵).

ادمیدز و همکاران (۲۱) گزارش نمودند تنش خشکی بطور متوسط ۱۷ درصد از عملکرد سالانه ذرت دانه‌ای جهان را کاهش می‌دهد و حتی در بعضی سالها در مناطق خشک کاهش محصول به بیش از ۷۰ درصد نیز می‌رسد. بارنز و وولی (۱۹) تحمل تنش را به توانایی گیاه در کاهش و یا ترمیم صدمه ناشی از تنش تعریف نموده‌اند. رحیمیان و بنایان (۶) سهم بزرگی از بهبود ژنتیکی عملکرد در هیبریدهای ذرت آمریکای شمالی را به افزایش تحمل به تنش خشکی نسبت می‌دهند. رانگ (۲۵) اثرات سوء خشکی و گرمای زیاد را بر تولید ذرت اثبات نمود. هررو و جوهانسن (۲۲) غیر هم زمانی گرده دهی و خروج

۱ و۲ – به ترتیب پژوهشگر و استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر
(* – نویسنده مسئول : Email: ali_mahrokh229@yahoo.com)

ابریشم‌ها را به علت کمبود رطوبت گیاه، یک مشکل مؤثر بر کمی تعداد دانه در بلال عنوان کردند.

کاهش سطح برگ گیاهان، تحت تأثیر تنش خشکی بسته به شدت و مدت تنش کاهش خواهد یافت اما به نظر می رسد تعداد نهایی برگ کمتر تحت تأثیر تنش قرار گیرد (۲۶) هررو و جانسون (۲۲) معتقدند که بیشترین حساسیت به تنش خشکی در چرخه زندگی گیاه ذرت در مرحله نمو گلچه ها و باروری گلچه می‌باشد به طوری که تنش خشکی در طول گلدهی باعث غیر همزمان شدن پیدایش اندام نر و ماده ذرت خواهد شد، تأثیر تنش خشکی در زمان ظهور گل تاجی مانع از توانایی گیاه برای گلدهی و پخش دانه گرده است، همچنین بر حیات دانه گرده به خصوص زمانی که همراه با دمای بالا باشد، مؤثر است (۱۲).

در سال‌های اخیر، زئولیت‌ها به عنوان گروهی از مواد معدنی که در فرایند حاصلخیزی خاک و زراعت کاربرد دارند، مورد توجه واقع شده است. خصوصیات ویژه زئولیت‌ها در تبادل یونی، هیدراسیون و دی هیدراسیون برگشت پذیر و همچنین خاصیت جذبی آنها، کاربردهای متعددی را در کشاورزی ایجاد نموده است (۲۳). زئولیت‌ها ترکیبات معدنی هستند که خانواده بزرگی از آلومینوسیلیکات‌ها را تشکیل می‌دهند. تاکنون بیش از ۸۰ گونه طبیعی زئولیت کشف شده و بیش از ۱۵۰ نوع مصنوعی آنها نیز در آزمایشگاه ساخته شده است. ساختمان متخلخل و مشبک زئولیت‌ها در برگیرنده کانال‌هایی می‌باشد که می‌تواند با محیط اطراف در تماس و تبادل باشد. سهولت تبادل کاتیون‌های غیر شبکه‌ای موجود در ساختمان زئولیت‌ها سبب ایجاد خصوصیت بسیار مهم تبادل یونی شده است. ویژگی تبادل یونی از بنیادی‌ترین خواص زئولیت‌ها می‌باشد، به طوری‌که ویژگی‌های دیگر زئولیت‌ها را نیز تحت تأثیر قرار داده است. همزمان با تغییر نوع و میزان کاتیون قابل تعویض در شبکه زئولیت، تغییرات قابل توجهی در ساختار کریستالی آنها بوجود نمی‌آید که نشانگر پایداری نسبی زئولیت‌ها می‌باشد (۱۰). با توجه به ظرفیت تبادل یونی و نگهداری آب بالای زئولیت‌ها، آنها می‌توانند به طور گسترده‌ای در اصلاح خاک و آزاد سازی عناصر غذایی مورد استفاده واقع شوند. زئولیت‌ها نگهداری رطوبت خاک را بهبود داده و به دلیل تخلخل مناسب، به تهویه خاک کمک می‌کنند (۲۷).

از لحاظ ساختاری زئولیت‌ها چارچوب‌های آلومینیوسیلیکاتی هستند که بر مبنای یک شبکه سه بعدی بی‌نهایت وسیع از چهار ضلعی‌های Alo_4 و Sio_4 که بوسیله اشتراک تمام اکسیژن‌هایشان بهم متصل هستند، ساخته شده‌اند (۳). مزایای استفاده از زئولیت‌های طبیعی به عنوان ماده‌ای در جهت جلوگیری از هدر رفت آب در طی آبیاری و یا باران، نگهداری و صرفه جویی در مصرف آب و جلوگیری از هدر رفتن عناصر مفید خاک به دلیل خاصیت تبادل کاتیونی بالا بیان شده است (۳).

بر خلاف کانی‌های رسی در زئولیت‌ها چارچوب ساختمانی به اندازه کافی باز است و می‌توانند مولکول آب را به اندازه کافی در خود جای دهند و در داخل شبکه حرکت کنند بدون اینکه دچار تغییر شوند، به طوری که واکنش تعویض یون و آبگیری آنها بصورت برگشت پذیر انجام می‌شود (۲۰). این مواد به دلیل داشتن خواصی بی‌نظیر در علوم مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند. زئولیت‌ها قادر به جذب ۳۰ درصدی گازهایی مانند نیتروژن و آمونیاک نسبت به وزن خشک خود بوده و همچنین تا ۷۰ درصد آب را نیز جذب می‌نمایند (۷).

با توجه به اینکه زئولیت جزو کانی‌های طبیعی کشور ما بوده و تا کنون در ۶ منطقه وجود معادن آن گزارش شده است و از طرفی به سهولت و با قیمتی ارزان در دسترس قرار دارند (۱۸)، لذا مصرف آن به عنوان مکمل کود شیمیایی، نگهدارنده مواد غذایی، جلوگیری از شستشوی مواد غذایی بخصوص اوره به محیط خارج از دسترس گیاه، افزایش حاصلخیزی خاک، جلوگیری از آلودگی زیست محیطی و همچنین عاملی در جهت حفظ رطوبت خاک برای مقابله با تنش خشکی می‌باشد.

زئولیت‌ها با توان زیاد جذب و نگهداری آب می توانند رطوبت هوا و خاک را جذب و در خود نگهداشته و در زمان خشکی آنرا به تدریج در اختیار ریشه گیاه که مانند یک پمپ مکنده قوی عمل می‌نماید قرار دهند (۴).

در آزمایشی مصرف سه سطح زئولیت (۰، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) و سه سطح تنش خشکی (۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌مترتبخیر از سطح تشت تبخیر) بر روی قدرت جوانه زنی بذور کلزا (*Brassica napus* L.) بررسی شد. در این آزمایش تفاوت سطوح مختلف زئولیت تأثیر معنی‌داری بر نسبت ریشه و اندام هوایی کلزا داشت. همچنین با مصرف زئولیت، کاهش تأثیرات نامطلوب تنش خشکی بر خصوصیات گیاهچه کلزا و افزایش وزن خشک گیاه مشاهده گردید (۱۸). در کشور رومانی با اضافه کردن ۲۵ تا ۱۰۰ تن زئولیت کلینوپتیلولیت در هکتار در زمین‌های زیر کشت سیب زمینی (*Solanum tubeorsum* L.) بین ۳۰ تا ۷۰ درصد افزایش تولید داشته‌اند (۲۴). در یک تحقیق اضافه کردن ۱۶–۸ تن زئولیت در هکتار به خاک در گندم (*Triticum aestivum* L.) ۱۵–۱۳ درصد، بادمجان (*Solanum melongena* L.) ۵۵–۱۹ درصد، سیب (*Malus domestica* L.) ۱۸–۱۳ درصد، هویج (*Daucus carota* L.) ۶۳ درصد و تربچه (*Raphanus sativus* L.) ۵۳–۲۹ درصد افزایش نشان داده شده است (۲۳). مدنی و همکاران (۱۵) بیان کردند که بالاترین عملکرد غده سیب زمینی، رقم اگریا با کاربرد ۲۷۶ کیلوگرم نیتروژن خالص و ۶ تن زئولیت به میزان ۶۱ تن در هکتار به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار مصرف ۱۸۴ کیلوگرم نیتروژن و ۶ تن زئولیت در هکتار نداشت. غلامحسینی و همکاران (۹) اعلام کردند که حداکثر عملکرد دانه آفتاب‌گردان (*Helianthus annus L.*) با مصرف ۱۰ و ۱۵ درصد

زئولیت به ترتیب با میانگین ۲۶۴۱/۶ و ۲۶۰۲/۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. خاشعی سیوکی و همکاران (۴) نشان دادند که مصرف زئولیت بر تمام صفات اندازه‌گیری شده ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ (ارتفاع بوته، درصد پروتئین کل برگ و ساقه و کارایی مصرف آب) اثر معنی‌داری داشته است، بر اساس نتایج این آزمایش مصرف ۸ گرم زئولیت در هر کیلوگرم خاک با ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی بالاترین کارایی مصرف آب را داشته است.

در این مطالعه تأثیر مصرف زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت بر تحمل به تنش کم آبیاری در ذرت، رقم سینگل کراس ۷۰۴ بررسی شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مؤسسه تحقیقات اصلاح وتهیه نهال و بذر کرج، در سال زراعی ۱۳۹۱ به اجرا درآمد. این مزرعه در کرج با ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا بین ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه طول شرقی واقع شده است. میزان متوسط بارندگی سالیانه ۲۷۵ میلی‌متر بوده که با زمستان‌های سرد جزو مناطق سرد کم باران به شمار می‌رود. بافت خاک مزرعه رسی- شنی، با جرم مخصوص ظاهری حدود ۱/۳۶ گرم بر سانتیمتر مکعب، pH حدود ۷/۵ و هدایت الکتریکی ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر و ظرفیت زراعی حدود ۲۶ درصد وزنی می‌باشد. عملیات تهیه بستر شامل شخم برگردان، رتیواتور، دیسک و تسطیح بهاره بود. بر اساس آزمون خاک، قبل از کاشت، به ترتیب حدود ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره و فسفات آمونیوم مصرف شد و در مرحله ۸-۶ برگی نیز معادل ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره بصورت سرک توزیع شد و آبیاری صورت گرفت. به دلیل کفایت میزان پتاسیم خاک این نوع کود استفاده نشد (جدول ۱).

بعد از آماده‌سازی بستر مناسب بذر از قبیل شخم، دیسک و لولر آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش ۴ سطح تیمار آبیاری (آبیاری پس از ۷۰، ۹۵، ۱۲۰ و ۱۴۵ میلی‌متر تبخیر تجمعی از سطح تشت تبخیر کلاس A) و ۳ سطح زئولیت (۰، ۶ و ۱۲ تن در هکتار) ارزیابی شدند. کاشت به صورت جوی و پشته، فاصله پشته‌ها از هم ۷۵ سانتیمتر و فاصله بوته‌ها پس از تنک کردن حدود ۱۸ سانتیمتر (تراکم کاشت حدود ۷/۵ بوته در متر مربع)، هر کرت آزمایشی شامل ۴ خط کاشت به طول ۶ متر بود. دو خط اول و آخر بعنوان حاشیه در نظر گرفته شدند و نمونه‌برداری از دو خط وسط صورت گرفت، همچنین جهت جلوگیری از نفوذ جانبی آب به کرت‌های مجاور بین هر کرت، سه خط نکاشت (معادل ۲/۲۵ متر) فاصله در نظر گرفته شد. معادل ۶ و ۱۲ تن در هکتار زئولیت بصورت نواری به کرت‌های مورد نظر داده شد. برای مبارزه با علف‌های هرز قبل ازکاشت از علف‌کش ارادیکان معادل ۶ لیتر در هکتار و پس از کاشت نیز، یکبار وجین دستی در مرحله ۶-۴ برگی صورت گرفت. برای مبارزه با آفات ذرت در همین مرحله از حشره‌کش سوین به میزان ۳ لیتر در هکتار استفاده شد.

تیمارهای مختلف آبیاری از مرحله ۶ تا ۸ برگی (مرحله استقرار گیاه) اعمال شد. برای تعیین زمان آبیاری، مقدار عددی طشت روزانه ساعت ۹ صبح ثبت می‌شد. برای تعیین حجم آب مصرفی در هر آبیاری، قبل از آبیاری نمونه برداری از خاک کرت مورد نظر تا عمق توسعه ریشه صورت گرفت و درصد رطوبت وزنی خاک تعیین شد. حجم آب آبیاری با استفاده از معادله‌های ۱ و ۲ در هر آبیاری تعیین گردید. مقدار آب مصرفی با استفاده از کنتور که در ابتدای فلکه اصلی قرار داده شده بود، کنترل گردید. آبیاری نیز بصورت جوی و پشته و با استفاده از لوله‌های هیدروفلوم و دریچه‌هایی که در ابتدای خطوط کاشت تعبیه شده بود صورت گرفت.

$$H = \rho_b(\theta_{F.C.} - \theta_m)D \quad (۱)$$

$$V = H \times A \quad (۲)$$

در معادله‌های ۱ و ۲، H نشان دهنده ارتفاع آب داخل کرت، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک، $\theta_{F.C.}$ رطوبت در حد ظرفیت مزرعه، θ_m رطوبت جرمی کرت مورد نظر در زمان آبیاری، D عمق توسعه ریشه، V حجم آب آبیاری در کرت و A مساحت کرت است.

برای ثبت تاریخ مراحل فنولوژیکی، تعداد روز از زمان کاشت تا ظهور گل نر، گرده‌افشانی و ظهور ابریشم (به میزان ۵۰ درصد کل هر کرت) یادداشت شد، فاصله زمانی بین گرده افشانی و ظهور ابریشم[1] (ASI) بر اساس تعداد روز محاسبه گردید. اندازه‌گیری ارتفاع بوته از سطح زمین تا اولین انشعاب گل تاجی و گره تشکیل شده در بالاترین بلال تا سطح زمین توسط خط‌کش بلند مدرج و قطر ساقه از ناحیه جوانه بلال توسط کولیس اندازه‌گیری شد. برداشت نهایی نیز از سطحی معادل ۹ متر مربع در زمان رسیدگی زراعی برای تخمین عملکرد (با رطوبت ۱۴ درصد) و اجزای عملکرد صورت گرفت، میزان رطوبت دانه نیز با استفاده از دستگاه رطوبت سنج دیجیتالی مدل DICKEY JOHN تخمین زده شد. برای محاسبه تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار SAS Ver. 9.0 استفاده گردید، و میانگین عوامل آزمایش با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

مراحل فنولوژیک

تأثیر رژیم آبیاری بر تعداد روز تا ظهور ابریشم و فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم در سطح احتمال ۱ درصد و بر تعداد روز

1-Anthesis – Silking Interval

تا گرده‌افشانی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود و بر تعداد روز تا ظهور گل نر معنی‌دار نبود (جدول ۲). گرده‌افشانی در شرایط آبیاری نرمال، تنش ملایم و تنش شدید تقریباً همزمان بود ولی در تنش بسیار شدید با میانگین ۷۰/۱۱ روز و ۱/۲۳ روز دیرتر نسبت به آبیاری نرمال صورت گرفت (جدول ۳). ابریشم‌ها در شرایط آبیاری نرمال و تنش ملایم زودتر ظاهر شدند. با افزایش خشکی در شرایط تنش شدید ظهور ابریشم نسبت به آبیاری نرمال و تنش شدید به تأخیر افتاد و به میانگین ۷۵/۳۳ روز پس از کاشت رسید. در تنش بسیار شدید نیز دوباره ظهور ابریشم به تأخیر افتاد و ۷۶/۶۶ روز پس از کاشت ظاهر شدند. تفاوت ظهور ابریشم در آبیاری نرمال و تنش بسیار شدید ۳/۵۵ روز بود. به نظر می‌رسد میزان رطوبت در دسترس گیاه در ظهور ابریشم نقش مستقیم و مؤثری داشته باشد و با کاهش میزان رطوبت خاک و گیاه ابریشم‌ها دیرتر ظاهر شوند، این امر باعث از بین رفتن دانه‌های گرده‌ی آزاد شده از گل نر می‌شود زیرا در این شرایط ابریشمی برای دریافت دانه گرده وجود ندارد (۲).

کمترین فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم به ترتیب با میانگین ۴/۲۲ و ۴/۱۱ روز در شرایط آبیاری نرمال و تنش ملایم رخ داد (جدول ۳). با افزایش بیشتر خشکی در شرایط تنش شدید این فاصله به ۵/۵۵ روز بطور معنی‌داری افزایش یافت، و دوباره با افزایش فاصله آبیاری این مقدار به بیشترین مقدار (۶/۵۵ روز) رسید (جدول ۳).

جدول ۱- میزان موجودی NPK بر اساس آزمون خاک

سال آزمایش	درصد نیتروژن کل	فسفر قابل استفاده (ppm)	پتاسیم قابل استفاده (ppm)
۱۳۹۱	۰/۱	۲۱/۳۸	۲۶۷/۶

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر مراحل فنولوژیک ذرت دانه‌ای

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		تعداد روز تا ظهور گل نر	تعداد روز تا گرده افشانی	تعداد روز تا ظهور ابریشم	فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم
بلوک	۲	۱/۴۴	۰/۱۹	۱/۵۸	۰/۸۶
آبیاری	۳	۲/۱۰ ns	۲/۹۱ *	۲۶/۷۶ **	۱۲/۲۲ **
زئولیت	۲	۰/۱۹ ns	۰/۱۹ ns	۳/۰۸ ns	۱/۷۷ *
آبیاری×زئولیت	۶	۲/۶۰ ns	۱/۶۳ ns	۱/۳۷ ns	۰/۳۳ ns
خطا	۲۲	۲/۴۴	۰/۸۹	۱/۱۲	۰/۵۲
ضریب تغییرات		۲/۳۱	۱/۳۵	۱/۴۲	۱۴/۲۱

*، ** و ns- به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵، ۱ درصد و معنی‌دار نبودن اثر عامل آزمایشی می‌باشند.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های مراحل فنولوژیک ذرت دانه‌ای تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و مصرف زئولیت

عوامل آزمایشی	تعداد روز تا ظهور گل نر	تعداد روز تا گرده افشانی	تعداد روز تا ظهور ابریشم	فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم
آبیاری				
نرمال	۶۷/۱۱ a	۶۸/۸۸ b	۷۳/۱۱ c	۴/۲۲ c
تنش ملایم	۶۷/۱۱ a	۶۹/۱۱ b	۷۳/۲۲ c	۴/۱۱ c
تنش شدید	۶۸/۰۰ a	۶۹/۷۷ ab	۷۵/۳۳ b	۵/۵۵ b
تنش بسیار شدید	۶۷/۸۸ a	۷۰/۱۱ a	۷۶/۶۶ a	۶/۵۵ a
زئولیت (تن در هکتار)				
شاهد	۶۷/۶۶ a	۶۹/۵۸ a	۷۴/۹۱ a	۵/۳۳ a
۶	۶۷/۴۱ a	۶۹/۵۰ a	۷۴/۸۳ a	۵/۳۳ a
۱۲	۶۷/۵۰a	۶۹/۳۳ a	۷۴/۰۰a	۴/۶۶ b

میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

هرچقدر فاصله بین گرده افشانی و ظهور ابریشم افزایش یابد به دلیل افزایش میزان مرگ و میر گرده‌ها، میزان کمتری گرده برای عمل تلقیح وجود خواهد داشت و درصد لقاح کاهش می‌یابد و احتمالاً تعداد دانه که یکی از مهمترین اجزای عملکرد دانه است کاهش خواهد یافت. دانه‌های گرده پس از رسیدن به ابریشم، لوله گرده را تشکیل داده و از طریق آن به تخمدان می‌رسند و لقاح صورت می‌گیرد (۲). دانه‌های گرده به دلیل فقدان پروتئین‌های شوک حرارتی[1] (HSP) به مدت چند روز بیشتر قادر به زنده ماندن نخواهند بود (۱۷). بنابراین هرچقدر این فاصله کمتر باشد میزان تلقیح و احتمالاً در نهایت تعداد دانه افزایش خواهد یافت. طی آزمایشی هرور و جانسون (۲۲) بیان کردند که ذرت در مرحله نمو گلچه‌ها بیشترین حساسیت را به تنش خشکی دارد. تأثیر تنش خشکی در زمان ظهور گل تاجی مانع از توانایی گیاه برای گل‌دهی و پخش دانه گرده می‌شود همچنین کوچکی و همکاران (۱۲) بیان کردند که تنش خشکی و تنش گرمایی در حیات دانه گرده تأثیر منفی دارند.

کاربرد زئولیت بر فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود و بر سایر مراحل فنولوژی معنی‌دار نبود (جدول ۲). کمترین فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم با مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت با میانگین ۴/۶۶ روز اتفاق افتاد (جدول ۳). از این رو، به نظر می‌رسد مصرف زئولیت به‌میزان ۱۲ تن در هکتار باعث افزایش درصد لقاح شود.

خصوصیات مورفولوژی

رژیم‌های مختلف آبیاری بر ارتفاع بلال از سطح زمین و طول بلال در سطح احتمال ۱ درصد و بر ارتفاع بوته و قطر بلال در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود و بر تعداد برگ و قطر ساقه معنی‌دار نبود (جدول ۴). عدم تأثیر آبیاری بر تعداد برگ و قطر ساقه احتمالاً به دلیل این است که این دو خصوصیت بیشتر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی می‌باشند. بنا به گفته ساوادا و همکاران (۲۶) تعداد برگ تحت تأثیر تنش خشکی قرار نمی‌گیرد. بیشترین ارتفاع بوته از آبیاری نرمال با میانگین ۱۸۴/۲۸ سانتی‌متر حاصل شد. با شروع خشکی در شرایط تنش ملایم ارتفاع بوته ۱۲/۳۳ درصد کاهش یافت که این مقدار معنی‌دار نبود با افزایش بیشتر خشکی در تنش شدید ارتفاع بوته ۳۷/۸۳ درصد نسبت به آبیاری نرمال کاهش معنی‌داری نشان داد. تفاوت ارتفاع بوته در هر سه شرایط تنش خشکی معنی‌دار نبود (جدول ۵). فراهمی رطوبت در گیاه باعث افزایش تقسیم سلولی و رشد طولی سلول‌ها و در نتیجه افزایش ارتفاع گیاه خواهد شد (۱۱). به نظر می‌رسد کاهش هورمون سیتوکینین در شرایط تنش خشکی باعث کاهش تقسیم سلولی و در نتیجه ارتفاع گیاه شود. کاهش هورمون سیتوکینین در نتیجه بر هم خوردن تعادل هورمونی بعلت افزایش هورمون آبسیزیک اسید در شرایط تنش خشکی می‌باشد (۱۳). ارتفاع بلال از سطح زمین نیز تقریباً با ارتفاع گیاه هماهنگ بود. بیشترین ارتفاع بلال در شرایط آبیاری نرمال با میانگین ۹۳/۰۱ سانتی‌متر ایجاد شد، تفاوت ارتفاع بلال در تیمار آبیاری نرمال و تنش ملایم معنی‌دار نبود. با افزایش خشکی در شرایط تنش شدید جوانه بلال ۹/۷۳ سانتی‌متر پایین‌تر تشکیل شد و تفاوت آن با ارتفاع بلال در شرایط تنش بسیار شدید معنی‌دار نبود (جدول ۵). ارتفاع بلال از سطح زمین در شرایط برداشت مکانیزه با کمباین بسیار حائز اهمیت است. اگر ارتفاع بلال از مقدار مشخصی پایین‌تر یا بالاتر باشد برداشت مکانیزه با مشکل روبه‌رو می‌شود. بیشترین طول بلال در شرایط آبیاری نرمال با میانگین ۱۸/۷۹ سانتی‌متر و کمترین آن در شرایط تنش شدید با میانگین ۱۷/۱۴ سانتی‌متر حاصل شد (جدول ۵). طول بلال در شرایط تنش شدید نسبت به آبیاری نرمال ۱/۶۵ سانتی‌متر کاهش یافت. مناسب بودن طول بلال به دلیل بهینه بودن رطوبت در مرحله ظهور ابریشم می‌باشد. کاهش رطوبت خاک و گیاه در شرایط تنش شدید و بسیار شدید منجر به کاهش طول چوب بلال و کاهش طول بلال شد. بیشترین قطر بلال در شرایط آبیاری نرمال و تنش ملایم حاصل شد با افزایش خشکی در تنش شدید و بسیار شدید قطر بلال کاهش یافت (جدول ۴). بیشتر بودن قطر بلال در شرایط آبیاری نرمال می‌تواند به دلیل بیشتر بودن هورمون سیتوکینین و افزایش تقسیم سلولی باشد.

کاربرد زئولیت بر طول بلال در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین طول بلال با مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت با میانگین ۱۸/۷۷ سانتی‌متر حاصل شد که این مقدار با مصرف ۶ تن در هکتار زئولیت تفاوت معنی‌داری نداشت. با مصرف زئولیت ۶/۳۴ درصد طول بلال نسبت به عدم مصرف زئولیت افزایش یافت (جدول ۵). به نظر می‌رسد مناسب بودن رطوبت درخاک و بدنبال آن در گیاه در شرایط مصرف زئولیت در مرحله گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم باعث افزایش طول بلال شده است.

عملکرد و اجزای عملکرد

آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و بر تعداد بلال در هر بوته و وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و بر تعداد ردیف دانه و تعداد دانه در ردیف معنی‌دار نبود (جدول ۶). بیشترین تعداد بلال در هر بوته با میانگین ۰/۸۶ بلال در هر بوته در شرایط آبیاری نرمال تولید شد (جدول ۷). در شرایط تنش ملایم تعداد بلال کاهش یافت که این مقدار معنی‌دار نبود. با افزایش بیشتر خشکی در شرایط تنش شدید تعداد بلال با ۱۲ درصد افت کاهش معنی‌داری نسبت به شرایط آبیاری نرمال نشان داد.

1-Heat Shock Proteins

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و زئولیت بر خصوصیات مورفولوژیک ذرت دانه‌ای

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		تعداد برگ	قطر ساقه	ارتفاع بوته	ارتفاع بلال	طول بلال	قطر بلال
بلوک	۲	۰/۱۶	۰/۰۷	۳۷۹/۰۴	۲۷/۹۵	۲/۲۹	۰/۱۱
آبیاری	۳	۰/۲۱ ns	۰/۰۰۵ ns	۲۳۷۳/۸۵ *	۳۳۷/۹۵ **	۷/۲۹ **	۰/۰۸ *
زئولیت	۲	۰/۲۱ ns	۰/۰۱۱ ns	۱۱۱۸/۱۴ ns	۷۰/۷۹ ns	۳/۹۲ *	۰/۰۲ ns
آبیاری×زئولیت	۶	۰/۲۶ ns	۰/۰۱۶ns	۶۸۵/۶۰ ns	۱۹/۲۱ ns	۱/۶۷ns	۰/۰۰۹ns
خطا	۲۲	۰/۲۷	۰/۰۲	۷۰۲/۷۵	۲۸/۸۷	۱/۴۳	۰/۰۲
ضریب تغییرات		۳/۴۸	۷/۲۵	۱۶	۶/۲۵	۶/۶۰	۳/۲۱

*، ** و ns – به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵، ۱ درصد و معنی‌دار نبودن اثر عامل آزمایشی می‌باشند.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های خصوصیات مورفولوژیک ذرت دانه‌ای، تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و مصرف زئولیت

عوامل آزمایشی	تعداد برگ	قطر ساقه (سانتی‌متر)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	ارتفاع بلال (سانتی‌متر)	طول بلال (سانتی‌متر)	قطر بلال (سانتی‌متر)
آبیاری						
نرمال	۱۵/۰۸ a	۱/۹۴ a	۱۸۴/۲۸ a	۹۳/۰۱ a	۱۸/۷۹ ab	۴/۶۳ ab
تنش ملایم	۱۵/۰۴ a	۱/۹۸ a	۱۷۱/۹۵ ab	۸۸/۲۴ ab	۱۹/۰۰a	۴/۶۷ a
تنش شدید	۱۴/۷۴ a	۱/۹۸ a	۱۴۶/۴۵ b	۸۳/۲۸ bc	۱۷/۱۴ c	۴/۵۱ bc
تنش بسیار شدید	۱۴/۹۵ a	۱/۹۳ a	۱۵۹/۶۴ ab	۷۸/۸۴ c	۱۷/۶۳ bc	۴/۴۷ c
زئولیت(تن در هکتار)						
شاهد	۱۴/۹۷ a	۱/۹۳ a	۱۵۴/۶۹ a	۸۷/۶۴ a	۱۸/۵۱ b	۴/۵۳ a
۶	۱۵/۰۸ a	۱/۹۹ a	۱۷۳/۰۹ a	۸۶/۸۱ a	۱۸/۴۷ ab	۴/۵۷ a
۱۲	۱۴/۸۱ a	۱/۹۴ b	۱۶۸/۹۶ a	۸۳/۰۸ a	۱۵/۹۶ a	۴/۶۱ a

میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

پتانسیل تولید تعداد بلال در مرحله رشد رویشی (حدود ۱۰ برگی) با تولید جوانه‌های بلال[1] تعیین می‌شود (۲)، و تنش خشکی در این مرحله پتانسیل تولید بلال را کاهش می‌دهد، همچنین کاهش تقسیم سلول‌های مریستمی در زمان تشکیل جوانه بلال، به دلیل کاهش احتمالی هورمون سیتوکینین در شرایط تنش خشکی شدید و بسیار شدید باعث کاهش تعداد بلال در این شرایط گردید. گرچه تعداد دانه در شرایط تنش خشکی کاهش یافت ولی این مقدار کاهش معنی‌دار نبود. کاهش تعداد دانه به دلیل وجود شرایط تنش قبل از گرده‌افشانی و در مرحله رشد رویشی می‌باشد (۱۷). عدم کاهش معنی‌دار تعداد دانه در شرایط تنش خشکی احتمالاً به دلیل تحمل نسبی ذرت نسبت به خشکی در مرحله رویشی و قبل از گرده‌افشانی و یا توانایی بازیابی این گیاه در این مراحل می‌باشد.

بیشترین وزن هزار دانه در شرایط آبیاری نرمال با میانگین ۳۱۹/۸۲ گرم تولید شد. با شروع خشکی در شرایط تنش ملایم وزن هزار دانه ۸/۸۲ درصد کاهش معنی‌داری یافت. با افزایش تنش خشکی در شرایط تنش بسیار شدید ۱۰/۹۹ درصد کاهش یافت (جدول ۷). تفاوت وزن دانه در هر سه شرایط تنش خشکی معنی‌دار نبود به نظر می‌رسد افزایش انتقال مجدد بدنبال کاهش فتوسنتز جاری در شرایط تنش خشکی باعث شده که، مواد پرورده ذخیره شده در ساقه بسمت دانه حرکت کند (منبع ثانویه) و تفاوت وزن دانه علیرغم افزایش خشکی در هر سه شرایط تنش معنی‌دار نشود. بنابر نظر بسیاری از محققین، افزایش انتقال مجدد در شرایط تنش خشکی در جهت تخفیف کاهش عملکرد ثابت شده است (۱ و ۱۶).

بالاترین میزان عملکرد دانه با میانگین ۷۳۵۲ کیلوگرم در هکتار متعلق به آبیاری نرمال بود. با شروع خشکی در شرایط تنش ملایم عملکرد دانه ۱۹/۰۱ درصد کاهش معنی‌داری یافت، با افزایش بیشتر خشکی عملکرد دانه نسبت به آبیاری نرمال ۲۶/۵۰ درصد کاهش معنی‌داری یافت. در شرایط تنش بسیار شدید خشکی عملکرد دانه ۳۹/۸۹ درصد نسبت به آبیاری نرمال کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۷). تفاوت عملکرد دانه در شرایط تنش ملایم و تنش شدید به دلیل

1-Ear shoot

غیر معنی‌دار بودن تعداد بلال و وزن دانه در این دو شرایط است ولی تفاوت عملکرد دانه در شرایط تنش ملایم و شدید معنی‌دار بود (جدول ۷). احتمالاً پس از درک اولین علائم کمبود آب در خاک توسط گیاه در شرایط تنش ملایم، هورمون آبسیزیک اسید از طریق ریشه‌ها وارد اندام‌های هوایی شده و بعنوان هشدار اولیه باعث بسته شدن روزنه‌ها و اختلال در تبادلات گازی شده و این امر باعث کاهش فتوسنتز و عملکرد شده است ولی در شرایط تنش شدید نسبت به تنش ملایم و همچنین در شرایط تنش شدید و بسیار شدید تغییرات هورمونی ثابت مانده و فتوسنتز و عملکرد تفاوت قابل توجهی نداشتند. در این آزمایش تنش خشکی با تأثیر بر وزن دانه باعث کاهش عملکرد شد و تعداد دانه تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت. به نظر می‌رسد تعداد بلال و وزن دانه، دو جزء عملکرد که در شرایط تنش خشکی کاهش یافتند، بیشترین تأثیر را بر عملکرد داشته‌اند. احتمالاً با توجه به اینکه تنش خشکی در ذرت قبل از مرحله گرده‌افشانی باعث کاهش تعداد دانه و پس از مرحله ظهور ابریشم باعث کاهش وزن دانه می‌شود (۲)، بنابراین در این شرایط، ذرت در مرحله قبل از گرده‌افشانی نسبت به خشکی تا حدودی متحمل بوده ولی پس از ابریشم‌دهی این تحمل از بین رفته و یا تا حدودی کاهش یافته است.

کاربرد زئولیت بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد و بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و بر تعداد بلال، تعداد ردیف دانه و تعداد دانه در ردیف معنی‌دار نبود (جدول ۶). مصرف ۶ تن در هکتار زئولیت در مقایسه با عدم مصرف زئولیت تفاوت معنی‌داری از لحاظ وزن دانه نداشت، ولی با مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت وزن دانه ۶/۶۹ درصد افزایش معنی‌داری داشت. احتمالاً مصرف زئولیت طبیعی به میزان ۱۲ تن در هکتار توانسته باعث حفظ رطوبت در اطراف محیط ریشه و ریزوسفر خاک شود و به دلیل کاهش اثرات تنش خشکی پس از ظهور ابریشم باعث افزایش وزن دانه شود. عملکرد دانه همانند وزن دانه با مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت ۱۰ درصد نسبت به عدم مصرف زئولیت افزایش داشت و به بیشترین مقدار خود (۶۱۳۴/۱ کیلوگرم در هکتار) رسید (جدول ۷). براساس آزمایش خاشعی سیوکی و همکاران (۴) زئولیت‌ها به دلیل جذب رطوبت هوا و خاک می‌توانند در زمان خشکی آب را بتدریج در اختیار ریشه گیاه قرار داده و اثرات منفی تنش خشکی را تخفیف دهند. در آزمایش آرمان پیشه و همکاران (۱۸) نیز، مصرف زئولیت باعث افزایش قدرت جوانه‌زنی کلزا در شرایط تنش خشکی شد.

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		تعداد بلال	تعداد ردیف دانه	تعداد دانه در ردیف	وزن هزار دانه	عملکرد
بلوک	۲	۰/۰۶	۰/۹۵	۲۴/۴۴	۵۱۳/۴۸	۶۹۲۳۳۶۸/۷۹
آبیاری	۳	۰/۰۳*	۰/۴۹^{ns}	۲۹/۲۱^{ns}	۲۲۸۶/۵۶*	۱۴۳۶۳۰۳۴/۶۵**
زئولیت	۲	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۲۹^{ns}	۴/۰۰^{ns}	۹۶۹۳/۷۶**	۵۲۲۱۶۹۵/۳۶*
آبیاری×زئولیت	۶	۰/۰۱^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۱۴/۷۱^{ns}	۷۷۵/۰۴^{ns}	۶۰۱۴۰۲/۹۵^{ns}
خطا	۲۲	۰/۰۱۱	۰/۴۸	۲۲/۲۴	۷۰۹/۱۱	۱۴۹۸۳۵۶/۱۰
ضریب تغییرات		۱۶/۱۲	۴/۶۳	۱۲/۶۷	۸/۶۳	۲۰/۴۳

*، ** و ns- به ترتیب تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ درصد و معنی‌دار نبودن اثر عامل آزمایشی می‌باشند

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای، تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و مصرف زئولیت

عوامل آزمایشی	تعداد بلال	تعداد ردیف دانه	تعداد دانه در ردیف	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)
آبیاری					
نرمال	۰/۸۶ a	۱۵/۲۶ a	۳۹/۷۷ a	۳۱۹/۸۲ a	۷۳۵۲/۰a
تنش ملایم	۰/۷۹ ab	۱۵/۱۳ a	۳۶/۵۱ a	۲۹۱/۶۰ b	۵۹۵۴/۳ b
تنش شدید	۰/۷۴ b	۱۴/۸۶ a	۳۵/۶۰ a	۲۹۴/۰۰ b	۵۴۰۳/۳ bc
تنش بسیار شدید	۰/۷۲ b	۱۴/۷۵ a	۳۶/۹۵ a	۲۸۴/۶۷ b	۴۴۱۸/۸ c
زئولیت (تن در هکتار)					
شاهد	۰/۷۵ a	۱۴/۹۵ a	۳۷/۱۰ a	۲۹۰/۲۳ b	۵۵۷۶/۶ b
۶	۰/۷۸ a	۱۵/۱۸ a	۳۷/۸۳ a	۲۹۲/۶۷ b	۵۶۳۵/۵ b
۱۲	۰/۸۰ a	۱۴/۸۸ a	۳۶/۶۹ a	۳۰۹/۶۷ a	۶۱۳۴/۱ a

میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

جدول۸- شاخص‌های مصرف آب در رژیم‌های مختلف آبیاری در ذرت دانه‌ای

رژیم آبیاری	مصرف آب (مترمکعب در هکتار)	کاهش عملکرد دانه نسبت به آبیاری نرمال (درصد)	صرفه جویی در مصرف آب نسبت به آبیاری نرمال (درصد)	تفاوت صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش عملکرد (درصد)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم دانه بر متر مکعب آب)
آبیاری نرمال	۷۱۲۴	–	–	–	۱/۰۳
تنش ملایم	۶۲۰۰	۱۹/۰۱	۱۲/۹۷	-۶/۰۴	۰/۹۶
تنش شدید	۶۱۴۴	۲۶/۵۰	۱۳/۷۵	-۱۲/۷۵	۰/۸۷
تنش بسیار شدید	۵۵۳۴	۳۹/۸۹	۲۲/۳۱	-۱۷/۵۸	۰/۷۹

جدول ۹- میزان صرفه‌جویی در مصرف آب و تفاوت عملکرد ذرت دانه‌ای در سیستم تنش خشکی ملایم و مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت

تیمار	تغییرات عملکرد نسبت به شاهد (درصد)	صرفه جویی در مصرف آب (درصد)	تفاوت صرفه‌جویی در مصرف آب و عملکرد (درصد)
تنش ملایم	-۱۹/۰۱	۱۲/۹۷	
مصرف زئولیت (۱۲ تن در هکتار)	+۱۰		
کل	-۹/۰۱	۱۲/۹۷	+۳/۹۶

همچنین خاشعی سیوکی و همکاران (۴) در یک آزمایش گلخانه‌ای در ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ نشان دادند که مصرف ۸ گرم زئولیت در هر کیلوگرم خاک با ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی، بالاترین کارایی مصرف آب را داشت. تفاوت عملکرد دانه در عدم مصرف زئولیت و مصرف ۶ تن در هکتار زئولیت معنی‌دار نبود. بنابراین مصرف ۶ تن در هکتار زئولیت نتوانسته به اندازه کافی رطوبت را در اطراف محیط ریشه حفظ کند تا آثار تنش خشکی را کاهش دهد.

نتیجه‌گیری

با اعمال تنش خشکی از آبیاری نرمال به تنش ملایم، ۱۲/۹۷ درصد در مصرف آب نسبت به آبیاری نرمال صرفه‌جویی شد ولی عملکرد ۱۹/۰۱ کاهش یافت. با افزایش فواصل آبیاری در تنش شدید ۱۳/۷۵ درصد نسبت به آبیاری نرمال در مصرف آب صرفه‌جویی شد ولی عملکرد ۲۶/۵۰ درصد کاهش یافت. همچنین در تنش خشکی بسیار شدید ۲۲/۳۱ درصد نسبت به آبیاری نرمال در مصرف آب صرفه‌جویی شد ولی عملکرد ۳۹/۸۹ درصد کاهش یافت (جدول ۸). در تمامی رژیم‌های کم آبیاری بدون مصرف زئولیت و مصرف زئولیت به غیر از سیستم تنش ملایم و مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت، میزان کاهش عملکرد بیشتر از میزان صرفه‌جویی در مصرف آب بود (تفاوت صرفه جویی در مصرف آب و کاهش عملکرد منفی بود). در سیستم تنش آبیاری ملایم و مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت (جدول ۹)، با افزایش تنش خشکی از آبیاری نرمال به تنش ملایم ۱۲/۹۷ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی شد ولی عملکرد ۱۹/۰۱ درصد کاهش یافت، بدنبال مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت عملکرد ۱۰ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف زئولیت) افزایش یافت. بنابراین در شرایط تنش ملایم و مصرف ۱۲ تن زئولیت عملکرد فقط ۹/۰۱ درصد در مقابل ۱۲/۹۷ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب کاهش یافت (جدول ۹).

بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش در شرایط فراهمی آب آبیاری برای حصول حداکثر عملکرد دانه در ذرت سینگل کراس ۷۰۴ آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشت تبخیر صورت گیرد و در این شرایط مصرف زئولیت طبیعی ضرورتی ندارد، ولی در شرایط کمبود آب در منطقه، آبیاری پس از ۹۵ میلی‌متر تبخیر از سطح تشت تبخیر به همراه مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت درجهت حفظ رطوبت اطراف محیط ریشه و صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۱۲/۹۷ درصد توصیه می‌شود. اعمال رژیم کم‌آبیاری بیشتر از این مقدار باعث کاهش عملکرد به میزان قابل توجهی خواهد شد. انجام آزمایش‌های بیشتر در جهت شناسایی زئولیت‌ها در مقابله با نظام‌های کم‌آبیاری در ذرت ضروری بنظر می‌رسد.

منابع

۱- الیاسی، ش.، د. ارادتمند اصلی و ا. روحی. ۱۳۸۹. تأثیر تنش خشکی قبل و بعد از گل‌دهی بر انتقال مجدد در ارقام مختلف گندم آبی. مجله زراعت و اصلاح نباتات. ۶ (۱): ۱۷-۲۸.

۲- چوکان، ر. ۱۳۹۱. ذرت و ویژگی‌های آن. نشر آموزش کشاورزی.

۳- حسینی ابری، س. ع.، م. ا. کاوه و م. ر. صالح پرهیزکار. ۱۳۸۶. بررسی ساختار شیمیایی زئولیت‌های طبیعی و مزایای استفاده از آنها به عنوان اصلاح کننده‌های خاک کشاورزی. مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی (۶۴): ۱۱-۱۸.

۴- خاشعی سیوکی، ع.، م. کوچک زاده و م. شهابی فر.۱۳۸۷. تأثیر کاربرد زئولیت طبیعی کلینوپتیلولایت و رطوبت خاک بر اجزای عملکرد ذرت. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) ۲۲ (۲): ۲۳۵-۲۴۱.

۵- خیرابی، ج، ع.ر. توکلی، م.ر. انتصاری و ع.ر. سلامت. ۱۳۷۵. دستورالعمل‌های کم آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.

۶- رحیمیان، ه. و م. بنایان. ۱۳۷۵. اصول فیزیولوژی اصلاح نباتات. جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۶۰ صفحه.

۷- رنجبر چوبه، م. ۱۳۸۲. تأثیر آبیاری و مصرف زئولیت طبیعی بر عملکرد کمی و کیفی توتون کوکر ۳۴۷، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته زراعت، دانشگاه گیلان.

۸- غلامحسینی، م. و م. آقاعلیخانی. ۱۳۸۵. کاربرد زئولیت‌ها در خاک، گامی در راستای توسعه کشاورزی پایدار. مجله کشاورزی و توسعه پایدار، شماره دوازدهم و سیزدهم، آذر و دی ماه ۱۳۸۵.

۹- غلامحسینی، م.، م. آقاعلیخانی و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۷. تأثیر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر عملکرد کمی و کیفی علوفه کلزای پاییزه. ۱۲ (۴۵) ب: ۵۳۷-۵۴۸.

۱۰- کاظمیان، ح. ۱۳۸۵. زئولیت‌ها، کانی‌های سحرآمیز. نشر بهشت، تهران.

۱۱- کافی، م، ا. برزویی، م. صالحی و ج. نباتی. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. جهاد دانشگاهی مشهد.

۱۲- کوچکی، ع.، م. حسینی و م. نصیری محلاتی. ۱۳۷۲. رابطه آب و خاک در گیاهان زراعی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۱۳- لاهوتی، م.، م. زارع حسن آبادی و ر.احمدیان. ۱۳۸۲. بیوشیمی و فیزیولوژی هورمون‌های گیاهی (ترجمه).انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۴- مجیدی، م. ۱۳۷۳. روش‌های تجزیه شیمیایی غذا. جهاد دانشگاهی تهران. ۱۸۰ صفحه.

۱۵- مدنی، ح.، ا. فرهادی و م. چنگیزی. ۱۳۸۸. تأثیر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر خصوصیات کمی و کیفی سیب زمینی رقم آگریا در منطقه اراک. یافته‌های نوین کشاورزی ۳ (۴)، ۱۲: ۳۷۹-۳۹۱.

۱۶- میر طاهری، س.م.، س.ع. سیادت، م.ص. نجفی، ق. فتحی و خ. عالمی سعید. ۱۳۸۹. اثر تنش خشکی برانتقال مجدد ماده خشک در پنج رقم گندم نان. پژوهش‌های زراعی ایران، ۸ (۲): ۳۰۸-۳۱۴.

۱۷- نبی پور، م. ، و. اطلسی پاک، م. عبدشاهیان، پ. حسیبی و س. سعیدی پور. ۱۳۹۰. واکنش گیاهان زراعی به تنش دما و سازگاری با آن (ترجمه). انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

18- Armandpisheh, O., H. Irannejad, I. Allahdadi, R. Amiri, A.GH. Ebadi and A. Koliaei. 2009. Application of Zeolite in Drought Stress on Vigority of canola seed (*Zarfam cultivar*).Journal of Agricultural Environment Science. 5(6): 832-837.

19- Barnes, D.L. and D. G. Woolley. 1969. Effect of moisture stress at different stages of growth. I. Comparison of a single- eared Corn hybrid, Agronomy Journal. 61: 788-790.

20- Bedelean. I. 1997. 5th International conference on the occurrence. Properties and utilization of Natural Zeolites, program and Abstract, Ischia, Naples, Italy .sep. 21, 60.

21- Edmeads, G. O., S. C. Chapman, J. Bolanos, M. Banzinger and H. R. Lafittle.1994. Recent evaluation of progress in selection for drought in tropical maize conference. Harare. Zimbabwe. 28 march-1 April, 1994. CIMMYT. Mexico.p324.

22- Herero, M.P. and R.R. Johnson. 1981. Drought stress and its effect on maize reproductive systems. Crop Science. 21: 105-110.

23- Mompton, F.1999. Larocamagica: Use of natural zeolites in agriculture and industry. Proceedings of the National Academy of Sciences. USA, 96:3463-3470.

24- Polat. E., Karaca. M., Demir. H. and Naci. Onus, Journal of Fruit and Ornamental Plant Research. Special ed., 12,183 (2004).

25- Runge, E. C. A. (1968). Effects of rainfall and temperature interaction during the growing season on corn yield. Agronomy Journal. 60: 503-507.

26- Sawada, O., Itoh, J., and Fojita, K. 1995. Characteristics of photosynthesis and translocation of clabeled photosynthate in husk leaves of sweet corn. Crop Science. 35:480-485.

27- Virta, Z. I. 2002, Zeolites, U.S. Geological Survey Mineral Yearbook, 84:1-5.