پاسخ مورفو ـ فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام مختلف ذرت به کاربرد زئولیت تحت شرایط تنش خشکی

مهری صالحی[۱]، مهدی زارع[۲]، فرود بذرافشان[۳*]، احمد آیین[۴] و بهرام امیری[۵]

۱، ۲، ۳ و ۵) گروه زراعت، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران.
۴) بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی جنوب کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، کرمان، ایران.

نویسنده مسئول[*]: Bazrafshan2005@yahoo.com

این مقاله برگرفته از رساله دکتری می باشد.

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۱۰/۰۳ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۱**

چکیده

به‌منظور بررسی اثر زئولیت بر ویژگی‌های رویشی و اجزای عملکرد برخی ارقام ذرت تحت شرایط تنش خشکی ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. فاکتورهای موردمطالعه در این آزمایش، شامل چهار سطح زئولیت (صفر، پنج، ده و ۱۵ تن به ازای هر هکتار) و چهاررقم ذرت (سیمون، هیبرید BC678، KSC703 و KSC704) بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع بوته و وزن تر و خشک بوته ذرت شد. کاربرد زئولیت سبب تعدیل اثر تنش خشکی گردید و در شرایط تنش خشکی، کاربرد مقادیر ۱۰ و ۱۵ تن بر هکتار زئولیت، سبب بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک (ارتفاع بوته و وزن تر و خشک بوته)، فیزیولوژیک (کارایی مصرف آب و میزان کلروفیل)، عملکرد و صفات مرتبط با عملکرد (تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه و عملکرد دانه) و صفات بیوشیمیایی (کربوهیدرات محلول، پرولین، پروتئین، فنل کل و فعالیت آنزیم پراکسیداز) گردید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، کاربرد زئولیت تحت شرایط تنش خشکی، سبب تشدید افزایش میزان کربوهیدرات محلول، پرولین، پروتئین، فنل کل و فعالیت آنزیم پراکسیداز در بافت گیاه و در نتیجه تعدیل اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک و عملکرد گردید. به‌طور کلی، مقادیر ۱۰ و ۱۵ تن بر هکتار زئولیت مناسب‌ترین مقدار برای تعدیل اثر تنش خشکی در ارقام مورد مطالعه ذرت بود. هم‌چنین در بین ارقام موردمطالعه ذرت، رقم سیمون نسبت به سایر ارقام، پاسخ بهتری به کاربرد زئولیت در شرایط تنش خشکی نشان داد، به‌طوری‌که رقم سیمون از نظر تمامی صفات مورد بررسی نسبت به سایر ارقام برتری داشت.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، تنش خشکی، ذرت، زئولیت و کارایی مصرف آب.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

مقدمه

تنش خشکی یکی از عوامل اصلی محدود کننده تولید و عملکرد محصولات کشاورزی در سراسر جهان است. تنش‌های غیرزنده به‌ویژه تنش خشکی، حتی گاهی تا ۷۰ درصد میزان تولید محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهند (Kapoor *et al*., 2020). گزارش شده است که تنش خشکی به تنهایی میزان تولید محصولات کشاورزی جهان را طی سال‌های ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۷، بیش از ۱۰ درصد کاهش داده است (Lesk *et al*., 2016). تنش خشکی یکی از چالش‌های اساسی کشور است. هرچند گیاهان ساز و کارهایی برای کاهش اثرهای منفی تنش خشکی دارند (Lovell *et al*., 2018). راهکارهای متعددی برای تعدیل اثر تنش خشکی بر محصولات کشاورزی ارائه شده است. مطالعه‌های پیشین نشان داده است که می‌توان تحمل گیاهان به تنش خشکی را از طریق توسعه ارقام متحمل، اصلاح ژنتیکی، تغذیه معدنی مناسب، تیمار بذور، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی بهبود بخشید (Hussain *et al*., 2018). علاوه بر بهبود ساز و کار تحمل به تنش خشکی در گیاهان، راهکارهایی که منجربه حفظ طولانی‌تر رطوبت خاک شود، می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد و کیفیت محصول تحت شرایط تنش خشکی ایفا نماید. از جمله این راهکارها، می‌توان به کاربرد مواد معدنی نگهدارنده آب اشاره نمود. این ترکیبات که در رأس آن‌ها زئولیت می‌باشد، نه‌تنها در فرایند حاصلخیزی خاک نقش دارند، بلکه به‌دلیل ظرفیت تبادل یونی و نگهداری آب بالا می‌توانند به‌طور گسترده در حفظ رطوبت خاک و تعدیل تنش خشکی نقش داشته باشند (Zaghloul *et al*., 2016). نقش مفید و کارآمد زئولیت‌ها در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک از طریق تغییر ساختمان خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش میزان دسترسی گیاه به آب و کاهش چسبندگی ذرات خاک و بهبود شرایط تهویه خاک ثابت شده است (Mishra and Jain, 2011). زئولیت بر کارایی مصرف آب اثر معنی‌داری دارد و موجب بهبود صفات رشدی در گیاهان مختلف می‌شود. ماهرخ و عزیزی (۱۳۹۳) در بررسی اثر زئولیت بر تحمل به تنش کم‌آبیاری در ذرت دانه‌ای گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی کاربرد ۱۲ تن در هکتار زئولیت طبیعی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد و صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۱۲/۹۷ درصد شد. محمدی و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کردند که کاربرد ۱۰ تن در هکتار زئولیت نه‌تنها عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال و ویژگی‌های رشدی ذرت دانه‌ای رقم ۳۷۰ را بهبود بخشید، بلکه منجربه حصول بیش‌ترین میزان کارایی مصرف آب (۱/۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب) نیز شد. نتایج مشابهی در کاربرد زئولیت در بهبود عملکرد سایر محصولات کشاورزی ازجمله برنج و سیب‌زمینی تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Ozbahce *et al*., 2018; Zheng *et al*., 2018). ذرت، پس از گندم و برنج سومین غله مهم ایران و جهان به‌شمار می‌رود که نقش بسیار مهمی در تامین علوفه موردنیاز کشور ایفا می‌کند. بررسی آمارهای سازمان خواربار و کشاورزی جهان (FAO) نشان دهنده افزایش ۴۰ درصدی میزان تولید ذرت در جهان

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

طی ۱۰ سال گذشته می‌باشد، به‌طوری‌که میزان تولید ذرت دانه‌ای در جهان بالغ بر ۳۴/۸ درصد افزایش و به بیش از ۱/۱۴ میلیارد تن در سال ۲۰۱۹ رسیده است (FAO, 2021). با این وجود کم‌آبی و تنش خشکی یکی از عوامل مهم محدود کننده تولید ذرت به شمار می‌رود. گزارش شده است تنش خشکی به‌طور متوسط ۱۷ درصد از عملکرد ذرت در جهان را کاهش می‌دهد وحتی در برخی سال‌ها در مناطق خشک،کاهش محصول به بیش از ۷۰ درصد نیز می‌رسد (ماهرخ و عزیزی، ۱۳۹۳). با توجه به اینکه زئولیت یکی از کانی‌های طبیعی فراوان در کشور است که به‌دلیل وجود معادن آن، با قیمت مناسب و به فراوانی در دسترس می‌باشد، می‌توان به دلیل اثرهای بسیار مثبت آن در حفظ رطوبت و افزایش حاصلخیزی خاک، از آن جهت بهبود عملکرد ذرت به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور که با تنش کم‌آبی روبرو هستند، استفاده کرد. از این‌رو، این مطالعه با هدف بررسی اثر زئولیت بر ویژگی‌های مورفو ـ فیزیولوژیک و اجزای عملکرد ارقام مختلف ذرت تحت شرایط تنش خشکی در شهرستان جیرفت انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر زئولیت بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و اجزای عملکرد ارقام مختلف ذرت تحت شرایط تنش خشکی، این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ (برای دو فصل زراعی متوالی) در مرکز تحقیقات کشاورزی جیرفت، استان کرمان (در موقعیت جغرافیایی "۱۳ ´۴۰ ˚۲۸ شمالی و '' ۱۳ '۴۴ ˚۵۷ شرقی با ۶۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا) پیاده شد. فاکتورهای موردمطالعه در این آزمایش، شامل چهار رقم تجاری ذرت (سیمون، هیبرید BC678، KSC703 و KSC704) و چهار سطح زئولیت (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن به ازای هر هکتار) بود. تمام تیمارها در شرایط تنش خشکی به‌صورت آبیاری در سطح ۶۰ درصد از ظرفیت زراعی خاک، اعمال شدند. بدین منظور نیاز آبی گیاه با استفاده از داده‌های هواشناسی در جدول ۱ و بر اساس روش پنمن ـ مانتیث سازمان خواربار و کشاورزی جهان (FAO) محاسبه و با در نظر گرفتن بازده آبیاری ۹۰ درصد برای آبیاری قطره‌ای و میزان آبشویی ۱۰ درصد تبخیر و تعرق واقعی گیاه برای یک روز محاسبه شد و بر این اساس اعمال تنش خشکی انجام گرفت. نوع زئولیت مورداستفاده زئوارگانیک گرانوله (شرکت گلبن بهار) بود. بافت خاک مورد استفاده در این آزمایش لومی ـ رسی بوده و آبیاری هر کرت به‌صورت قطره‌ای و با استفاده از نوار تیپ استاندارد انجام گرفت(جدول ۲).

صفات مورد مطالعه در این پژوهش شامل صفات رشدی (شامل ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بوته)، عملکرد و اجزای عملکرد (شامل عملکرد، تعداد ردیف و دانه در بلال، وزن هزار دانه، وزن بلال)، صفات فیزیولوژیک (شامل کارایی مصرف آب، میزان کلروفیل، پرولین و فعالیت آنزیم پراکسیداز) بود. ارتفاع بوته با استفاده از متر پارچه‌ای و بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید. وزن تر و خشک بوته از میانگین‌گیری وزن تر و خشک پنج بوته در هر واحد آزمایشی که با استفاده از

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

ترازوی دیجیتال و برحسب گرم اندازه‌گیری شده بود، به دست آمد. به‌منظور خشک‌کردن بوته‌ها، از آون با ۷۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۷۲-۴۸ ساعت استفاده شد. به‌منظور شمارش تعداد ردیف و دانه در بلال، پس از حذف اثر حاشیه-ای، از هر کرت تعداد پنج بلال به‌طور تصادفی انتخاب و مورد شمارش قرار گرفت. وزن هزار دانه و وزن بلال با استفاده از ترازوی دیجیتال و برحسب گرم اندازه‌گیری شد. پس از حذف اثر حاشیه‌ای، عملکرد محصول با استفاده از پرتاب دو بار کوادرات ۰/۵ متری در هر واحد آزمایشی تعیین گردید.

جدول ۱: میانگین سی ساله داده‌های هواشناسی محل انجام آزمایش در طول دوره رشد گیاه

	دهه سوم مرداد	دهه اول شهریور	دهه دوم شهریور	دهه سوم شهریور	دهه اول مهر	دهه دوم مهر	دهه سوم مهر	دهه اول آبان
				دما (سانتی‌گراد)				
ماکزیمم	۳۵/۵۴	۲۴/۷۴	۲۳/۸۸	۲۳/۸۸	۲۱/۸	۲۰/۰۲	۱۸/۴۶	۱۲/۸۶
مینیمم	۳۶/۹۲	۴۲/۶۴	۴۱/۳۳	۴۱/۳۲	۳۹	۳۸	۳۴/۷۴	۲۷/۲۸
				رطوبت (درصد)				
ماکزیمم	۱۴/۸	۱۶/۸	۱۶/۸	۱۶/۸	۱۸/۲	۱۴/۴	۱۸/۴	۲۱
مینیمم	۴۸	۴۸/۸	۴۷/۲	۴۷/۲	۵۸/۲	۴۵/۴	۴۴/۸	۶۱/۴
سرعت باد	۳/۹	۳/۶۵	۴/۰۵	۴/۸۵	۳/۶۵	۳/۲۵	۳	۲/۴
ساعات آفتابی	۹/۹۲	۹/۶۸	۹/۴۸	۹/۴۸	۹/۴۲	۹/۱۶	۹/۲۴	۸/۲
تبخیر و تعرق مرجع	۱۴/۱۶	۱۲/۲۶	۱۲/۴	۱۲/۴	۹/۷۴	۹/۱۸	۷/۹۴	۵/۷۸

جدول ۲: آنالیز خاک محل انجام آزمایش

عمق	هدایت الکتریکی $\times 10^3$	اسیدیته	کربن آلی	ازت کل	فسفر قابل‌جذب	پتاسیم قابل‌جذب	بافت
			درصد	درصد	میلی‌گرم بر کیلوگرم		
۰-۳۰	۰/۶۸۲	۸	۰/۱۵۶	۰/۰۱۲	۱۱/۴	۲۴۰	لومی ـ رسی

کارایی مصرف آب بر اساس نسبت وزن خشک گیاه (کیلوگرم) به میزان آب مصرف شده (متر مکعب) به دست آمد. میزان آب مصرفی با استفاده از نصب کنتور اندازه‌گیری شد. میزان کلروفیل برگ (a و b) با قرائت عصاره برگ توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر بر حسب میکروگرم بر میلی‌لیتر بر گرم وزن تر به دست

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

آمد. به‌منظور اندازه‌گیری پرولین ابتدا عصاره الکلی تهیه گردید. یک میلی‌لیتر از عصاره الکلی تهیه شده با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق و ۵ میلی‌لیتر معرف ناین ـ هیدرین به آن اضافه شد. سپس ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده شده و مخلوط حاصل پس از هم زدن، به مدت ۴۵ دقیقه در حمام آب بخار قرار داده شد. پس از بیرون آوردن از حمام آب بخار و خنک شدن نمونه‌ها، ۱۰ میلی‌لیتر بنزن به هرکدام از نمونه‌ها افزوده شده و به‌شدت تکان داده شد تا پرولین وارد فاز بنزن شود. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه به حال سکون رها شدند. استانداردهایی از پرولین (صفر تا ۰/۱ میکرومول بر میلی-لیتر) تهیه گردید و نهایتاً میزان جذب محلول‌های استاندارد و نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Altuntaş *et al*., 2020). میزان پروتئین کل موجود در برگ و خوشه با استفاده از اندازه‌گیری مقدار نیتروژن نمونه‌ها با دستگاه کجلدال به دست آمد (Liu *et al*., 2020). به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD)، پس از استخراج عصاره پروتئینی، مقدار ۲ میلی‌لیتر بافر تریس ۱۰۰ میلی‌مولار با اسیدیته برابر ۷، ۳۰۰ میکرولیتر آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار و ۰/۲ میلی‌لیتر پیروگالل ۱۰میلی‌مولار را در حمام یخ با ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی مخلوط و پس از ۲ دقیقه منحنی تغییرات جذب را بااستفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۵نانومتر قرائت و بر حسب $\mu mol\ (H_2O_2)\ mg^{-1}\ (Protein)\ min^{-1}$ گزارش گردید (Ghalati *et al*., 2020).

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا نرمال بودن‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS بررسی گردید و داده‌های نرمال با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ تجزیه و توسط همین نرم‌افزار و با آزمون چند دامنه‌ای دانکن، مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات رشدی

تجزیه واریانس اثر زئولیت بر ویژگی‌های رشدی ارقام مختلف ذرت تحت شرایط تنش خشکی نشان داد که اثر سال بر هیچ‌یک از صفات رشدی (ارتفاع بوته، وزن تر بوته و وزن خشک بوته) ارقام مختلف ذرت معنی‌دار نبود. این در حالی است که اثر رقم و زئولیت هر یک به‌تنهایی بر صفات رشدی مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در مقابل برهم‌کنش دوگانه و سه‌گانه فاکتورهای سال، رقم و زئولیت بر ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بوته معنی‌دار نبود (جدول ۳). بررسی نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که تحت شرایط تنش خشکی، سه رقم Simon، KSC703 و BC678 از نظر ارتفاع بوته به ترتیب ۱۹۳/۸۶، ۱۸۹/۱ و ۱۸۸ سانتیمتر اختلاف معنی‌داری با رقم SC704 (۱۷۷/۳۳ سانتیمتر) داشتند. هم‌چنین دو رقم Simon و BC678 نسبت به سایر ارقام وزن تر و خشک بوته بیشتری داشتند. هم‌چنین مشخص شد که کاربرد ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار زئولیت سبب تعدیل اثر تنش خشکی و افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته و وزن تر و خشک بوته

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

گردید (جدول ۴). تنش خشکی از طریق کاهش سرعت رشد گیاه باعث کاهش ارتفاع گیاه می‌شود و هر چه زمان اعمال تنش به مراحل انتهایی فصل رشد نزدیک‌تر باشد تنش اثر کمتری بر ارتفاع گیاه دارد. زئولیت دارای عناصری نظیر پتاسیم، کلسیم، سدیم، سیلیسیم، آلومینیوم، منیزیم، آهن و فسفر می‌باشد که می‌تواند به‌عنوان بهترین مکمل غذایی و کود کشاورزی محسوب شده و در بهره‌برداری و تولید بیشتر محصولات کشاورزی نقش مهمی ایفا نماید (شیرانی‌راد و همکاران، ۱۳۹۰). جذب انتخابی و آزادسازی کنترل شده عناصر غذایی از زئولیت باعث می‌شود در صورت انتخاب صحیح نوع زئولیت مصرفی، هنگامی‌که این مواد به‌عنوان اصلاح کننده به خاک اضافه می‌شوند، از طریق افزایش فراهمی طولانی مدت عناصر غذایی، به بهبود رشد گیاه کمک کنند. Eshghi و همکاران (۲۰۱۰) افزایش معنی‌دار وزن خشک ساقه گیاه سویا با کاربرد زئولیت را گزارش کردند. زئولیت با ویژگی جذب شدید آب می‌تواند آب موجود در خاک را تا حد اشباع جذب کرده و آن را برای مدت طولانی درون شبکه خود نگهداری کند و آب موجود در شبکه، به‌تدریج جذب گیاه می‌شود (Baghbani-Arani *et al*., 2020).

عملکرد و اجزای عملکرد

بررسی تجزیه واریانس اثر زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف ذرت تحت شرایط تنش خشکی نشان داد که اثر سال بر صفات مرتبط با عملکرد به استثنای تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در بلال معنی‌دار نبود. در مقابل، اثر رقم و زئولیت هر یک به‌تنهایی بر تمام صفات مرتبط با عملکرد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. البته اختلاف معنی‌داری بین ارقام مورد مطالعه از نظر وزن هزار دانه مشاهده نشد. هم‌چنین در بین برهم‌کنش‌ها، اثر رقم × زئولیت بر عملکرد کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج به‌دست‌آمده از آزمایشات این پژوهش نشان داد که تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه نیز به‌طور معنی‌داری تحت اثر میزان کاربرد زئولیت قرار گرفتند. به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه (به ترتیب ۲۲/۲۵ عدد، ۲۷۲/۶۲ عدد و ۲۱۰/۳۸ گرم) در کاربرد ۱۰ تن در هکتار زئولیت مشاهده شد. درحالی‌که عدم کاربرد زئولیت سبب کاهش معنی‌دار میزان این صفات (به‌ترتیب ۱۷/۹ عدد، ۲۰۴/۳۴ عدد و ۱۸۰/۸۴ گرم) تحت شرایط تنش خشکی گردید (جدول ۴). کاربرد زئولیت اثر معنی‌داری بر میزان عملکرد دانه در ارقام مختلف ذرت تحت شرایط تنش خشکی داشت (جدول ۳). به‌طوری‌که ارقام سیمون و KSC703 بهترین پاسخ را به کاربرد زئولیت در شرایط تنش خشکی نشان دادند. در حالی‌که عدم کاربرد زئولیت یا کاربرد مقادیر پایین آن (۵ تن در هکتار) به‌طور معنی‌داری سبب کاهش میزان عملکرد ارقام سیمون، KSC703 و SC704 در شرایط تنش خشکی گردیدند. در رقم BC678 نتایج متفاوت‌تری از سایر ارقام به دست آمد، به‌طوری‌که در این رقم، میزان عملکرد در عدم کاربرد زئولیت با میزان عملکرد در کاربرد مقادیر مختلف زئولیت اختلاف معنی داری نشان

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

نداد (شکل ۱). به‌طور کلی نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد که در شرایط تنش خشکی، بین ارقام مورد مطالعه از نظر وزن هزار دانه و تعداد دانه در بلال و تعداد ردیف در بلال اختلاف معنی‌داری وجود داشت و کاربرد سطوح مختلف زئولیت به‌ویژه مقادیر ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار در شرایط تنش خشکی سبب تعدیل معنی‌دار اثر تنش خشکی و بهبود صفات مرتبط با عملکرد شد (جدول ۴ و شکل ۱). این نتایج با گزارشات سایر محققین در این زمینه مطابقت دارد. گزارش شده است که تنش آبی باعث افزایش دمای برگ و در نتیجه پژمردگی، پیچیدگی و پیری زودرس برگ‌ها می‌شود که این نیز کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی را در پی داشته و منجربه کاهش عملکرد می‌شود (Kapoor *et al.*, 2020). تنش خشکی افزون بر تولید دانه، بر کیفیت دانه و عملکرد روغن دانه و کارایی آب مصرفی نیزاثر منفی داشته است. این در حالی است که کاربرد زئولیت می‌تواند سبب تعدیل اثر تنش خشکی و بهبود عملکرد شود. استفاده از زئولیتیکی از راه‌های جلوگیری از کاهش رطوبت خاک است. زئولیت آلومینوسیلیکاتی با ساختار داربستی است که یون‌های بزرگ و مولکول‌های آب حفرات آن را اشغال کرده و در ساختار آن متحرک می‌باشند، به‌طوری‌که واکنش‌های تعویض یون و آبگیری آن‌ها، به‌صورت برگشت‌پذیر انجام می‌شود (طلایی و همکاران، ۱۳۹۶). محمدی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی اثر کاربرد زئولیت بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت دانه‌ای نتیجه گرفتند که تنش شوری و خشکی باعث کاهش عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای و کاربرد زئولیت سبب بهبود آن‌ها شد. Ippolito و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی اثر افزودن زئولیت به خاک بر عملکرد ذرت در گلخانه پرداختند و بیان کردند که مصرف زئولیت نسبت به عدم مصرف آن سبب افزایش در عملکرد ذرت شد. Nozari و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی اثر کاربرد زئولیت در شرایط تنش رطوبتی نشان دادند که اعمال تنش رطوبتی سبب کاهش عملکرد سویا گردید و کاربرد زئولیت سبب افزایش عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری طبیعی شد و کاربرد زئولیبت در خاک در شرایط اعمال تنش رطوبتی اثرگذاری بیشتری نسبت به شرایط آبیاری طبیعی داشت. نتایج پژوهش Zahedi (۲۰۰۹) نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین کاربرد زئولیت و عدم کاربرد آن بر عملکرد بیولوژیک وجود داشت.

کارآیی مصرف آب و میزان کلروفیل برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر زئولیت بر ویژگی‌های فیزیولوژیک ارقام مختلف ذرت تحت شرایط تنش خشکی نشان داد که اثر سال بر محتوای آب نسبی برگ و میزان کلروفیل a، b و کل برگ معنی‌دار نبود. در مقابل، اثر رقم به‌تنهایی و برهم‌کنش رقم × زئولیت بر میزان این صفات معنی‌دار بود. اثر زئولیت نیز به تنهایی بر محتوای نسبی آب برگ و میزان کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین‌ها، در بین ارقام مورد موردمطالعه تحت شرایط تنش خشکی، کاربرد مقدار ۱۵ تن در هکتار زئولیت در رقم سیمون سبب حصول حداکثر محتوای نسبی آب برگ (۱/۴۶ درصد) نسبت به سایر ارقام گردید. هم‌چنین در بین ارقام موردمطالعه، رقم

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

SC704 در شرایط تنش خشکی و عدم کاربرد زئولیت حداقل محتوای نسبی آب برگ را نسبت به سایر ارقام دارا بود (۰/۷۱ درصد).

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر زئولیت بر برخی ویژگی‌های رشدی و اجزای عملکرد ارقام مختلف ذرت تحت شرایط تنش خشکی طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۷

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	وزن تر بوته	وزن خشک بوته	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در بلال	وزن هزار دانه	عملکرد کل
بلوک	۲	۵۳/۲۷ ns	۷۵۸/۴۸ ns	۶۰/۱۴ ns	۴۷/۶۴ns	۱۱۸۸۲/۲۲ns	۲۷۰/۲۰ ns	۰/۰۱ns
سال	۱	۵۲۶/۶۴ ns	۷۶۹/۸۲ ns	۶/۴۷ ns	۲۰۸/۸۶*	۳۱۰۱۸/۵۶ *	۹۵۰/۰۰ ns	۰/۰۰ns
سال × بلوک	۲	۹۲/۴۱	۶۲۲/۰۸	۴/۸۳	۳۲/۵۴	۵۰۰۹/۹۵	۱۶۰۰/۳	۰/۰۱
رقم	۳	۱۱۶۷/۴۱ **	۶۲۶۹/۵۰ **	۱۲۴۲/۷۸**	۳۷/۰۴**	۷۶۱۴/۹۲**	۹۷۰/۱۰ ns	۰/۹۴**
سال × رقم	۳	۷۳/۱۳ ns	۱۱۵۳/۳۶ ns	۷۸/۴۸ns	۲/۸۵ns	۳۵۵/۳۲ns	۱۵۳/۲۰ns	۰/۰۰ns
زئولیت	۳	۱۴۴۸/۹۱ **	۵۸۳۵/۰۰ **	۹۰۸/۸۴ **	۱۰۶/۷۹**	۲۴۲۱۱/۹۶ **	۳۳۴۹/۰۰**	۰/۵۸**
سال × زئولیت	۳	۲۱۸/۳۴ ns	۱۵۵۴/۳۲ ns	۵/۲۳ ns	۱۷/۳۶ns	۲۸۸۸/۸۲ns	۱۱۲۴/۵۰ns	۰/۰۰ns
رقم × زئولیت	۹	۲۱۳/۰۹ ns	۶۱۱/۵۳ ns	۲۳۸/۵۵ ns	۱۱/۶۰ns	۱۸۷۵/۵۵ns	۷۸۶/۷۰ns	۰/۰۸**
سال × رقم × زئولیت	۹	۵۳/۷۴ ns	۷۴۵/۵۸ ns	۷۹/۶۸ ns	۶/۶۷ns	۱۵۵۸/۶۶ns	۴۷۵/۵۰ns	ns۰/۰۰
خطای آزمایش	۶۰	۱۵۹/۶۵	۴۰۵/۱۳	۱۱۴/۳۴	۹/۵	۱۹۱۷/۳۶	۴۵۳/۴	۲۸۵/۰۹
ضریب تغییرات	-	۷/۵	۲۱/۷	۱۹/۴	۲۰/۷	۷/۴	۱۲/۶	۲۴/۶

*، **و ns به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

جدول ۴: مقایسه میانگین برخی صفات رشدی و عملکردی ارقام مورد مطالعه ذرت تیمار شده با زئولیت در شرایط تنش خشکی

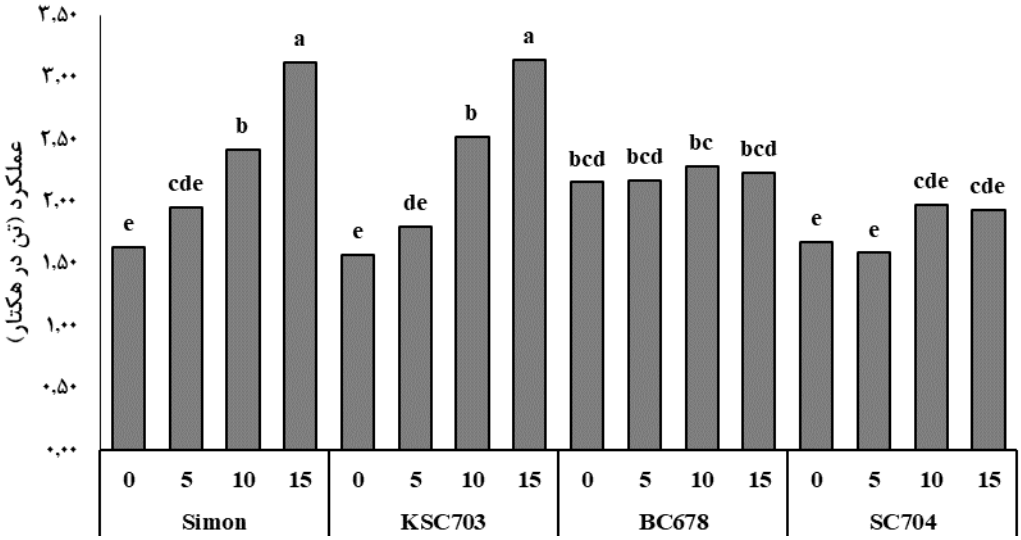
تیمار موردمطالعه	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	وزن تر بوته (گرم)	وزن خشک بوته (گرم)	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در بلال	وزن هزار دانه (گرم)
رقم						
Simon	۱۹۳/۸۶ a	۱۵۱/۸۰ a	۸۰/۳۶ a	۲۱/۳۶ a	۲۵۷/۹۳ a	۲۰۰/۶۱ a
KSC703	۱۸۹/۱۰ a	۱۳۳/۴۹ b	۷۱/۳۶ b	۱۸/۷۶ b	۲۱۸/۳۷ b	۱۹۰/۳۵ a
BC678	۱۸۸/۰۰ a	۱۴۶/۲۵ a	۷۵/۳۶ ab	۱۸/۶۹ b	۲۲۰/۲۴ b	۱۹۰/۷۰ a
SC704	۱۷۷/۳۳ b	۱۱۵/۳۹ c	۶۳/۳۶ c	۱۹/۶۸ ab	۲۳۳/۸۷ ab	۱۹۰/۱۸ a
زئولیت (تن در هکتار)						
۰	۱۷۸/۶۲ b	۱۱۷/۹۵ b	۶۵/۷۹ b	۱۷/۹۳ c	۲۱۰/۷۰ c	۱۸۰/۸۴ b
۵	۱۸۳/۰۸ b	۱۳۰/۰۱ b	۶۹/۷۴ b	۱۷/۹۰ c	۲۰۴/۳۵ c	۱۸۰/۹۰ b
۱۰	۱۹۶/۰۸ a	۱۵۱/۲۲ a	۷۸/۲۴ a	۲۲/۲۵ a	۲۷۲/۶۲ a	۲۱۰/۳۸ a
۱۵	۱۹۰/۵۷ a	۱۴۷/۷۵ a	۷۷/۸۵ a	۲۰/۴۰ b	۲۴۴/۷۵ b	۱۹۰/۷۳ b

در هر ستون، تیمارهایی که دارای حروف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

از نظر محتوای کلروفیل، به‌طور کلی میزان کلروفیل a در رقم KSC703 میزان کلروفیل b و کلروفیل کل در رقم سیمون، BC678 و SC704 به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. حداقل میزان کلروفیل a در رقم SC704 و حداقل میزان کلروفیل b و کلروفیل کل نیز در رقمKSC703 در عدم کاربرد زئولیت یا کاربرد ناکافی آن (۵ تن در هکتار) مشاهده شد (جدول ۶). کارایی استفاده از آب و نور در ذرت که یک گیاه چهار کربنه است بسیار بیشتر از غلات سه‌کربنه مثل گندم، برنج، جو، یولاف و چاودار است (یگانه‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، تنش خشکی شدیدتر سبب کاهش کارایی مصرف آب گردید. زئولیت بر کارایی مصرف آب اثر معنی‌داری دارد و از این طریق نیز موجب

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

بهبود صفات رشدی در گیاهان مختلف می‌شود (میرزاخانی و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش به‌خوبی نشان داد که کاربرد زئولیت (۱۰ و ۱۵ تن بر هکتار) سبب بهبود کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی گردید و در بین ارقام مورد مطالعه، بهترین پاسخ به تعدیل اثر تنش خشکی با کاربرد زئولیت، در رقم سیمون مشاهده شد. بر اساس گزارشات، تنش کم‌آبیاری موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود، درحالی‌که زئولیت سبب بهبود محتوای آب نسبی برگ در شرایط تنش خشکی شد (ترابی و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۱: اثر سطوح مختلف زئولیت (تن در هکتار) بر عملکرد دانه ارقام مختلف ذرت تحت شرایط تنش خشکی

در پژوهشی دیگر، کاربرد زئولیت به میزان ۱۰ تن در هکتار در شرایط تنش کم‌آبی، موجب کاهش اثر زیان‌بار تنش و بهبود صفات کمبود اشباع آب و عملکرد روغن ذرت شد (نعیمی و همکاران، ۱۳۹۴). مصرف زئولیت باعث افزایش سطح تولید، افزایش بازده مصرف آب، افزایش سطح برگ و تأخیر تنش خشکی در چغندر و افزایش جذب نیتروژن و پتاسیم، بالا بردن بازده مصرف نیتروژن و افزایش وزن هزاردانه در برنج شد (اکبری، ۱۳۸۷؛ فرمهینی فراهانی و همکاران، ۱۳۹۱). تنش خشکی و زمان نامناسب آبیاری بر روی بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه مانند فتوسنتز، انتقال مواد ذخیره‌ای و فتوسنتزی به دانه، تقسیم سلولی، تجمع و انتقال مواد غذایی در گیاه اثر دارد (حبیب‌پور کاشفی و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج به‌دست‌آمده از آزمایشات این پژوهش نشان داد که عدم کاربرد زئولیت در شرایط تنش خشکی سبب کاهش میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل در ارقام موردمطالعه و کاربرد ۱۵ تن بر هکتار زئولیت سبب تعدیل اثر تنش خشکی و افزایش میزان کلروفیل در ارقام مورد مطالعه گردید. به‌طوری‌که جز در رقم سیمون، عدم کاربرد زئولیت سبب کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل کل و کلروفیل b گردید. گزارش‌شده است که مصرف زئولیت اثر معنی‌داری بر میزان کلروفیل دارد. غلامحسینی و همکاران (۱۳۸۸) گزارش کردند که زئولیت موجب افزایش وزن تر و خشک علوفه کلزا و میزان کلروفیل

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

برگ آن شد. در اثر تنش خشکی تراکم ریشه کم و درنتیجه محتوی آب جذب‌شده محدود می‌شود که بیانگر جذب ناقص آب و پیامد آن کاهش در روند رشد گیاه است. برگ‌ها به‌عنوان اندام فتوسنتز کننده و خود چرخه فتوسنتز در اثر تنش خشکی صدمه می‌بینند، به‌طوری‌که در شرایط کمبود آب میزان کلروفیل برگ کم شده و با افزایش مقدار تنش روند تخریب رنگیزه‌های کلروفیل با سرعت بیشتری صورت می‌پذیرد (آفرینش و همکاران، ۱۳۹۴). با افزایش تنش کمبود آب، اسمولیت‌ها با صرف انرژی زیاد در گیاه تجمع یافته و در نتیجه انرژی که می‌توانست برای رشد و توسعه برگ‌ها استفاده گردد صرف کاهش پتانسیل اسمزی شده و در نتیجه شاخص تنش خشکی با اثر مستقیم، باعث کاهش شاخص کلروفیل سطح برگ می‌شود. هم‌چنین در شرایط تنش آب، انتقال الکترون در فتوسیستم II مختل شده و الکترون اضافی خارج شده از آب، باعث تولید اکسیژن فعال و در نتیجه خسارت به غشا سلولی به دلیل پراکسید شدن چربی‌ها، پروتئین‌ها و کاهش میزان کلروفیل گیاه می‌گردد (Kapoor *et al*., 2020).

جدول ۵: تجزیه واریانس اثر زئولیت بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام مختلف ذرت تحت شرایط تنش خشکی طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۷

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای آب نسبی برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کروفیل کل	کربوهیدرات محلول	پرولین برگ	پروتئین کل	فعالیت آنزیم پراکسیداز
بلوک	۲	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۶۹^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}
سال	۱	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۱۳^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۵*
سال × بلوک	۲	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۴۵^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}
رقم	۳	۰/۹۳۱**	۰/۰۱**	۰/۰۳۳**	۰/۰۱۲**	۰/۰۷۷^{ns}	۰/۰۰۴**	۰/۱۳۳**	۰/۰۰۰^{ns}
سال × رقم	۳	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۱۷۳^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}
زئولیت	۳	۰/۵۸۲**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۲۳^{ns}	۰/۰۱۴*	۰/۱۵۹**	۰/۴۵۹**
سال × زئولیت	۳	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۴۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}
رقم × زئولیت	۹	۰/۰۷۷**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۳**	۰/۱۱۵^{ns}	۰/۰۰۱**	۰/۰۵۳**	۰/۰۰۱^{ns}
سال × رقم × زئولیت	۹	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۲۹^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}
خطای آزمایش	۶۰	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۷۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات	-	۲۳/۳	۵/۶	۱۷/۳	۵/۱	۱/۲	۱۱/۱	۱/۶	۶/۲

*، **و ns به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

صفات بیوشیمیایی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر زئولیت بر ویژگی‌های بیوشیمیایی ارقام مختلف ذرت تحت شرایط تنش خشکی نشان داد که اثر سال تنها بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر رقم به‌تنهایی و برهم‌کنش رقم × زئولیت بر میزان پرولین و پروتئین کل برگ ($P<0.01$) و اثر زئولیت به‌تنهایی بر میزان پرولین

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

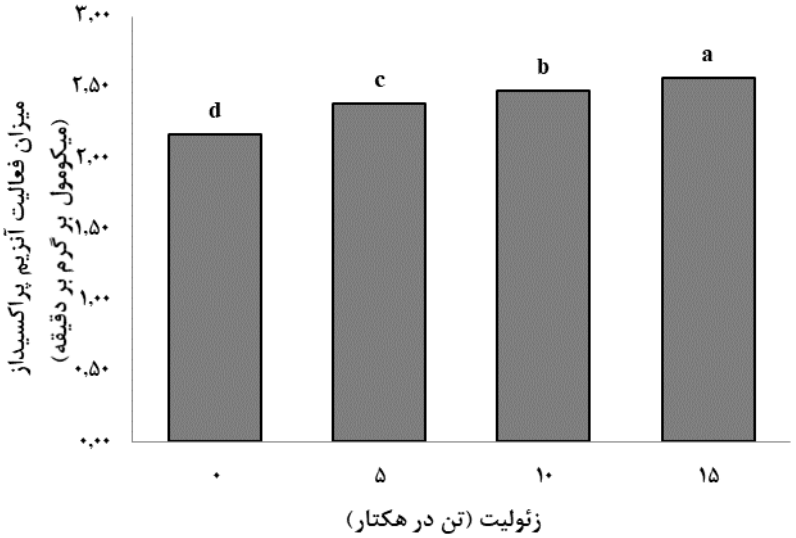
(P<0.05)، پروتئین کل و فعالیت آنزیم پراکسیداز (P<0.01) معنی‌دار بود (جدول ۵). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده بیش‌ترین میزان پرولین و پروتئین برگ مربوط به رقم سیمون و کاربرد ۱۵ تن در هکتار زئولیت بود (جدول ۶). میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز به‌طور معنی‌داری تحت اثر میزان مصرف زئولیت قرار گرفت. به‌طوری‌کهحداکثر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در کاربرد ۱۵ تن در هکتار و حداقل میزان فعالیت این آنزیم در عدم کاربرد زئولیت مشاهده شد (شکل ۲).

جدول ۶: مقایسه میانگین برهم‌کنش زئولیت و رقم بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام مختلف ذرت تحت شرایط تنش خشکی

رقم	زئولیت (تن در هکتار)	محتوای آب نسبی برگ (درصد)	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل کل(میلی گرم بر گرم وزن تر)	پرولین برگ (میکرومول بر گرم وزن تر)	پروتئین کل (درصد)
Simon	۰	۰/۸۷ ef	۰/۴۶ cd	۰/۳۱ ab	۰/۷۶ a	۰/۲۸ fghi	۹/۳۱ ef
	۵	۱/۲۵ c	۰/۴۴ cdef	۰/۲۹ ab	۰/۷۳ abc	۰/۳۰ de	۹/۳۰ f
	۱۰	۱/۴۳ ab	۰/۴۵ cde	۰/۳۰ ab	۰/۷۴ abc	۰/۳۱ cd	۹/۴۰ bcd
	۱۵	۱/۴۶ a	۰/۴۷ bc	۰/۲۸ ab	۰/۷۴ abc	۰/۳۹ a	۹/۶۱ a
KSC703	۰	۰/۸۴ ef	۰/۴۹ a	۰/۲۰ e	۰/۶۸ de	۰/۲۶ i	۹/۱۲ h
	۵	۱/۱۲ d	۰/۴۸ ab	۰/۱۸ e	۰/۶۶ e	۰/۲۸ fghi	۹/۲۲ g
	۱۰	۱/۲۴ c	۰/۴۸ ab	۰/۲۱ de	۰/۶۸ cde	۰/۲۹ defg	۹/۱۳ h
	۱۵	۱/۳۵ bc	۰/۴۹ a	۰/۲۲ cde	۰/۷۰ abcde	۰/۳۶ b	۹/۳۸ cd
BC678	۰	۰/۸۹ e	۰/۴۶ cd	۰/۲۶ bcd	۰/۷۱ abde	۰/۲۷ hi	۹/۳۳ def
	۵	۱/۰۶ d	۰/۴۴ cdef	۰/۲۹ ab	۰/۷۲ abcd	۰/۲۸ ghi	۹/۳۷ cdef
	۱۰	۱/۱۱ d	۰/۴۵ cde	۰/۳۰ ab	۰/۷۵ ab	۰/۲۸ efgh	۹/۴۶ b
	۱۵	۱/۰۲ d	۰/۴۳ fgh	۰/۳۲ a	۰/۷۴ abc	۰/۳۲ c	۹/۴۰ bcd
SC704	۰	۰/۷۱ g	۰/۴۵ cd	۰/۳۱ ab	۰/۷۶ a	۰/۲۷ hi	۹/۴۴ bc
	۵	۰/۸۲ ef	۰/۴۲ gh	۰/۳۱ ab	۰/۷۲ zbcd	۰/۲۸ efgh	۹/۰۳ i
	۱۰	۰/۸۷ ef	۰/۴۱ h	۰/۲۷ abc	۰/۶۷ de	۰/۲۹ efgh	۹/۲۲ g
	۱۵	۰/۷۷ fg	۰/۴۳ efg	۰/۲۶ abcd	۰/۶۹ bcde	۰/۳۰ de	۹/۴۶ b

در هر ستون، تیمارهایی که حداقل در یک حرف مشترک‌اند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]



شکل ۲: اثر سطوح مختلف زئولیت (تن در هکتار) بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت شرایط تنش خشکی

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد زئولیت در شرایط تنش خشکی در ارقام موردمطالعه سبب بهبود صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته و وزن تر و خشک بوته)، فیزیولوژیک (کارایی مصرف آب و میزان کلروفیل) و عملکرد (تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه و عملکرد دانه) و افزایش صفات بیوشیمیایی (کربوهیدرات محلول، پرولین، پروتئین، فنل کل و فعالیت آنزیم پراکسیداز) گردید که به‌عنوان راهکاری برای فرار گیاه از شرایط تنش خشکی به شمارمی‌روند. به‌طوری که کاربرد مقادیر ۱۰ و ۱۵ تن بر هکتار زئولیت با تشدید افزایش صفات بیوشیمیایی از جمله میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز، پرولین، پروتئین کل سبب تعدیل اثر تنش خشکی و بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکردی و نیز افزایش کارایی مصرف آب در ارقام موردمطالعه ذرت گردید. هم‌چنین در بین ارقام مورد مطالعه ذرت، رقم سیمون نسبت به سایر ارقام، پاسخ بهتری به کاربرد زئولیت در شرایط تنش خشکی نشان داد، به‌طوری‌که‌رقم سیمون از نظر تمامی صفات مورد بررسی نسبت به سایر ارقام برتر بود.

منابع

آفرینش، ع.، فتحی، ق.، چوگان، ر.، سیادت، س.ع.، عالمی سعید، خ. و اشرفی زاده، س.ر. ۱۳۹۴. بررسی اثر تنش خشکی بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک هیبریدهای متحمل به خشکی ذرت (*Zea mays* L.). نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۵ (۱۸): ۲۰۴-۱۹۵.

ترابی، ع.، فرح بخش، ح. و خواجویی‌نژاد، غ. ۱۳۹۲. بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری و سوپرجاذب زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor* L.). نشریه به‌زراعی کشاورزی. ۱۵ (۳): ۱۴-۱.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

حبیب‌پورکاشفی، ا.، قرینه، م.ح.، شافعی‌نیا، ع.،و روزرخ، م. ۱۳۹۴. اثر سطوح زئولیت بر فلورسانس کلروفیل لوبیا قرمز (*Phasaeolus vulgaris* L.) تحت شرایط تنش خشکی. نشریه فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۷ (۲۸) :۱۹-۳۲.

شیرانی راد، ا. مرادی اقدم، ا. طاهرخانی، ت. اسکندری، ک. و نظری گلشن، ا. ۱۳۹۰. ارزیابی واکنش گیاه کلزا به مقادیر نیتروژن و رژیم های رطوبتی در شرایط کاربرد و عدم کاربرد زئولیت. نشریه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۳ (۴): ۲۹۶-۳۰۶.

طلایی، ق.ع.، شرقی، ی.، زاهدی، ح.، مدرس ثانویی، س.ع.م. و علوی اصل، س.ع. ۱۳۹۶. برهم‌کنش کیتوزان و زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ تحت تنش کم‌آبی. نشریه به‌زراعی کشاورزی. ۱۹ (۲): ۵۴۲-۵۳۱.

غلامحسینی، م.، آقاعلیخانی، م. و ملکوتی، م.ج. ۱۳۸۸. تأثیر زئولیت در کاهش آبشویی نیتروژن در یک خاک شنی تحت کشت کلزای علوفه ای. مجله پژوهش های خاک (علوم خاک و آب). ۲۳: ۶۰-۴۹.

فرمهینی فراهانی، م.، میرزاخانی، م. و ساجدی، ن.ع. ۱۳۹۱. پاسخ صفات فیزیولوژیکی گندم به تنش کمبود آب و کاربرد مواد جاذب رطوبت. نشریه پژوهش های به زراعی (تنش های محیطی در علوم گیاهی). ۴ (۲): ۱۵۹-۱۴۷.

ماهرخ، ع. و عزیزی، ف. ۱۳۹۳. تأثیر کاربرد زئولیت طبیعی بر تحمل به تنش کم‌آبیاری در ذرت دانه‌ای. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۲ (۲): ۲۹۶-۳۰۴.

محمدی، م.، مولوی، ح.، لیاقت، ع.م. و پارسی‌نژاد، م. ۱۳۹۲. اثر کاربرد زئولیت بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت دانه ای. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۷ (۱): ۵۷-۶۷.

میرزاخانی، م.، همتی، ز. و ملکی، غ.ر. ۱۳۹۴. بررسی اثر مقادیر زئولیت در شرایط تنش آبی بر صفات فیزیولوژیک گلرنگ. نشریه فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۷ (۲۷) :۵۵-۶۷.

نعیمی، م.، اکبری، غ.ع.، شیرانی‌راد، ا.ح.، حسنلو، ط.، اکبری، غ.ع.، امیری‌نژاد، م. ۱۳۹۴. تأثیر کاربرد زئولیت و محلول پاشی سلنیم در رژیم های مختلف رطوبتی بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه کدوی پوست کاغذی. نشریه به‌زراعی کشاورزی. ۱۷ (۳): ۶۴۷-۶۳۵.

یگانه‌پور، ف.، زهتاب سلماسی، س. و ولی‌زاده، م. ۱۳۹۱. اثر زمان‌های مختلف کاشت گیاهان پوششی و دارویی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت و بیوماس علف‌های هرز. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۲ (۱): ۱۲۵-۱۱۷.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

Altuntaş, C., Demiralay, M., Muslu, A. S. and Terzi, R. 2020. Proline-stimulated signaling primarily targets the chlorophyll degradation pathway and photosynthesis associated processes to cope with short-term water deficit in maize. Photosynthesis Research. 144(1): 35-48.

Baghbani-Arani, A., Modarres-Sanavy, S. A. M. and Poureisa, M. 2021. Improvement the soil physicochemical properties and fenugreek growth using zeolite and vermicompost under water deficit conditions. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 1-16.

Eshghi, S., Mahmoodabadi, M. R., Abdi, G. R. and Jamali, B. 2010. Zeolite ameliorates the adverse effect ofcadmium contamination on growth and nodulation of soybean plant (*Glycine max* L.). Journal of Biology and Environmental Science. 4: 43-50.

Ghalati, R. E., Shamili, M. and Homaei, A. 2020. Effect of putrescine on biochemical and physiological characteristics of guava (*Psidium guajava* L.) seedlings under salt stress. Scientia Horticulturae. 261: 108961.

Hussain, H. A., Hussain, S., Khaliq, A., Ashraf, U., Anjum, S. A., Men, S. and Wang, L. 2018. Chilling and drought stresses in crop plants: implications, cross talk, and potential management opportunities. Frontiers in plant science. 9: 393.

Ippolito, J.A., Tarkelson, D.D. and Lehrsch, G. 2011. Zeolite soil applicationmethod affects inorganic nitrogen, moisture and corn growth. Soil Science. 176: 136-142.

Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M. and Sharma, A. 2020. The Impact of Drought in Plant Metabolism: How to Exploit Tolerance Mechanisms to Increase Crop Production. Applied Science. 10: 5692.

Lesk, C., Rowhani, P. and Ramankutty, N. 2016. Influence of extreme weather disasters on global crop production. Nature. 529(7584): 84-87.

Lovell, J. T., Jenkins, J., Lowry, D. B., Mamidi, S., Sreedasyam, A., Weng, X., Barry, K., Bonnette, J., Campitelli, B., Daum, C. and Gordon, S. P. 2018. The genomic landscape of molecular responses to natural drought stress in Panicum hallii. Nature Communications. 9 (1): 1-10.

Liu, S., Cui, S., Zhang, X., Wang, Y., Mi, G. and Gao, Q. 2020. Synergistic regulation of nitrogen and sulfur on redox balance of maize leaves and amino acids balance of grains. Frontiers in Plant Science. 11: 1777.

Mishra, M. and Jain, S. 2011. Properties and applications of zeolites: A Review. Proceedings of the National Academy of Sciences India. 81: 111.

Naseri, M., Khalatbari, M. and Paknejad, F. 2012. Evaluation the effect of different ranges Zeolite consuming on yield and yield component and physiological characteristics of grain Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) var. Kimiya under water deficit stress. Annals of Biological Research. 3: 3547-3550.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

Nozari, R., Tohidi, H.R. and Mashhadi, M. 2012. Effects of zeolite and cattlemanure on growth, yield and yield components of soybean grown under waterdeficit stress. Research Crops. 13(3): 920-927.

Ozbahce, A., Tari, A. F., Gonulal, E. and Simsekli, N. 2018. Zeolite for enhancing yield and quality of potatoes cultivated under water-deficit conditions. Potato Research. 61(3): 247-259.

Wu, M., Liu, R., Gao, Y., Xiong, R., Shi, Y. and Xiang, Y., 2020. PheASR2, a novel stress-responsive transcription factor from moso bamboo (*Phyllostachys edulis*), enhances drought tolerance in transgenic rice via increased sensitivity to abscisic acid. Plant Physiology and Biochemistry. 154: 184-194.

Zaghloul, R. A., Y. F. Y. Mohamed, M. Rasha and E. Meihy. 2016. Influential cooperation between zeolite and PGPR on yield and antimicrobial activity of thyme essential oil. International Journal of Plant and Soil Science. 13(1): 1–18.

Zheng, J., Chen, T., Wu, Q., Yu, J., Chen, W., Chen, Y., Siddique, K.H., Meng, W., Chi, D. and Xia, G. 2018. Effect of zeolite application on phenology, grain yield and grain quality in rice under water stress. Agricultural Water Management. 206,: 241-251.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

Morpho-physiological and biochemical response of different maize cultivars to zeolite application under drought stress conditions

M. Salehi[1], M. Zare[2], F. Bazrafshan[3*], A. Aien[4] and B. Amiri[5]

1, 2, 3 & 5) Department of Agronomy, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Iran.
4) Seed and Plant Improvement Division, South Kerman Agricultural Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Jiroft, Kerman, Iran.

[*]Corresponding author:Bazrafshan2005@yahoo.com

This article is taken from a doctoral dissertation.

Received date: 2020.12.23 **Accepted date: 2021.04.10**

Abstract

For investigation the effect of zeolite on vegetative characteristics and yield components of some maize cultivars under drought stress conditions (60% of field capacity), this experiment was performed in factorialbased on randomized complete block design during 2017-2019.Factors studied in this experiment included 4 levels of zeolite (zero, 5, 10 and 15 tons per hectare) and four maize cultivars (Simon, hybrid BC678, KSC703 and KSC704). Based on the results, in drought stress condition, height and fresh and dry weight of plants was reduced. Application of zeolite moderated the effect of drought stress, so that application of 10 and 15 tons per hectare of zeolite improved morphological (plant height and fresh and dry weight of plant), physiological (water use efficiency and chlorophyll content), yield and yield components (Number of seed rows per ear, number of seeds per ear, 1000-seed weight and grain yield) and biochemical traits (soluble carbohydrates, proline, protein, total phenol and peroxidase activity characteristics). Based on the results, application of zeolite under drought stress conditions intensified the increase of soluble carbohydrates, proline, protein, total phenol and peroxidase activity in plant tissues and thus modulated the effect of drought stress on morphological and yield traits. In general, use of 10 and 15 tons per hectare of zeolite were the most suitable values to moderate the effect of drought stress in the studied maize cultivars. Also, among the studied cultivars of maize, Simon cultivar showed a better response to the application of zeolite under drought stress than other cultivars and was superior to other cultivars in terms of all studied traits.

Key words: Yield components, Drought stress, Corn, Zeolite and Water use efficiency.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]