تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3862.1929

مقاله پژوهشی

ارزیابی کاربرد زئولیت بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت (*Zea mays* L.) تحت شرایط کم‌آبیاری

معصومه علی‌زاده فروتن[1]، سهیل پارسا[2،3*]، مجید جامی الاحمدی[2،3]، سهراب محمودی[2،3]

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۲. عضو هیئت‌علمی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۳. گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
زئولیت
شاخص برداشت
عملکرد دانه
کارایی مصرف آب
کم‌آبیاری

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۸/۱۵

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۰۹/۲۹

تاریخ انتشار:
پائیز ۱۴۰۱

۱۵(۳): ۶۸۱-۶۹۴

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کم‌آبیاری و زئولیت بر گیاه ذرت (*Zea mays* L.) در دو تاریخ کاشت اردیبهشت و تیرماه در سال ۱۳۹۶، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه‌ی طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند اجرا شد. فاکتورها شامل زئولیت در دو سطح (صفر و ۱۰ تن در هکتار) و کم‌آبیاری در هشت سطح شامل: تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی در کل دوره رشد به روش رایج، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی طی رشد رویشی به روش رایج، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی در دوره‌ی رویشی به روش جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت، خشکی موضعی ریشه با ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی طی رشد رویشی به‌صورت جابه‌جایی جویچه‌های مرطوب در هر آبیاری، ۷۵ درصد نیاز آبی در کل دوره رشد به روش جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت بود. تیمار شاهد آبیاری دارای بیشترین عملکرد ماده‌ی خشک، تعداد دانه در بلال، عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب بود و آبیاری رایج با ۵۰ درصد نیاز آبی در دوره‌ی رویشی به ترتیب حدود ۱۸، ۲۹، ۳۸، ۲۶ و ۱۹ درصد صفات فوق را کاهش داد. بیشترین کارایی مصرف آب با ۷/۶ درصد افزایش نسبت به شاهد، در تاریخ کاشت دوم و تیمار آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت بر اساس ۷۵ درصد نیاز آبی در کل رشد، حاصل شد. به‌طورکلی نتایج نشان داد که تاریخ کاشت ۱۲ تیرماه و کاربرد زئولیت اثر مطلوبی بر تمام صفات اندازه‌گیری شده داشت. عملکرد در کم‌آبیاری کاهش یافت اما با افزایش شاخص برداشت و کارایی مصرف آب، آب مازاد ناشی از کم‌آبیاری می‌تواند صرف آبیاری اراضی بیشتر و افزایش تولید شود لذا استفاده از زئولیت به همراه تیمارهای جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت با ۷۵ درصد نیاز آبی در دوره‌ی رویشی و کل رشد برای تاریخ کاشت دوم ذرت در منطقه بیرجند توصیه می‌شود.

مقدمه

ذرت (*Zae mays* L.) ازنظر تولید سومین محصول مهم کشاورزی در جهان است که طبق آخرین آمار فائو در سال ۲۰۱۸ سطح زیر کشت آن در ایران و جهان به ترتیب بیش از ۱۹۲ هزار و ۱۹۳ میلیون هکتار بود و پیش‌بینی می‌شود تأثیر منفی تنش‌های غیرزیستی در بسیاری از مناطق کشت این گیاه بر تولید آن در آینده‌ی نزدیک تشدید شود (Wijewardana et al., 2015). ازآنجایی‌که ذرت حساس به تنش آب است به همین دلیل، آب قابل‌دسترس گیاه در خاک، عامل مهمی در تولید ذرت در مناطق با آب محدود بوده و لازم است با روش‌های جدید آبیاری و کاربرد مواد جاذب رطوبت اثر کمبود آب را برای کشت و کار این گیاه به حداقل رساند (Hai-dong et al., 2017). در سال‌های اخیر، روش‌های نوین آبیاری در راستای افزایش شاخص بهره‌وری آب شکل‌گرفته که می‌توان به کم‌آبیاری تنظیم‌شده (RDI)[1]

[1] Regulated Deficit Irrigation

* نگارنده پاسخگو: سهیل پارسا. پست الکترونیک: sparsa@birjand.ac.ir

و خشکی موضعی ریشه (PRD)[1] اشاره نمود (Sadranasab et al., 2015). کم‌آبیاری، استراتژی صرفه‌جویی آب است که معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک اعمال‌شده و منجر به افزایش بهره‌وری آب می‌شود (Shahrokhnia and Sepaskhah, 2016). کم‌آبیاری می‌تواند سبب ذخیره آب آبیاری، حفظ و یا افزایش تولید گیاهان زراعی و بهبود کیفیت آن شود (Ünlü et al., 2011). در پژوهشی تأثیر کم‌آبیاری و خشکی موضعی ریشه بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت بررسی شد، بیشترین عملکرد علوفه‌تر متعلق به تیمار خشکی موضعی ریشه با جابه‌جایی جویچه‌های مرطوب بعد از یک آبیاری در مرحله‌ی رشد زایشی گیاه و کم‌ترین آن مربوط به تیمار خشکی موضعی ریشه با جابه‌جایی جویچه‌های مرطوب بعد از سه آبیاری در تمام دوره‌ی رشد گیاه بود (Rezaei Estakhrouie et al., 2012).

در بررسی اثر تاریخ کاشت روی شش هیبرید ذرت علوفه‌ای (سینگل‌کراس ۳۰۱، دابل کراس ۳۷۰ و سینگل‌کراس‌های ۴۰۰، ۶۴۷، ۷۰۰ و ۷۰۴) در استان گیلان که در سه تاریخ کاشت ۱۰ و ۲۳ خرداد و ۵ تیرماه در استان گیلان انجام شد، تفاوت عملکرد علوفه در بین تاریخ‌های کاشت در منطقه‌ی فومن و رشت معنی‌دار بود به‌طوری‌که تاریخ کاشت ۲۳ خردادماه در شهر فومن و پنجم تیرماه در شهر رشت برترین تاریخ‌های کاشت بودند (Majidian and Esfahani, 2013). در پژوهشی دیگر که در منطقه‌ی خوزستان انجام شد مناسب‌ترین تاریخ کاشت ذرت تابستانه برای ارقام دیررس، نیمه‌ی اول مردادماه و برای ارقام میان‌رس و زودرس هفته‌ی سوم مردادماه توصیه شد (Siadat, 2001). همچنین بیان‌شده تأخیر کاشت ذرت در منطقه‌ی خوزستان تا پنج مردادماه به دلیل تجمع و انتقال مواد غذایی به سمت دانه‌ها سریع‌تر و بهتر صورت می‌گیرد (Karamzadeh and Kashani, 1993).

روش دیگر بهینه‌سازی مصرف آب در کشاورزی افزودن مواد جاذب رطوبت مانند زئولیت است که با در اختیار گذاشتن تدریجی آب جذب‌شده و املاح به خاک، نقش مهمی در حاصلخیزی خاک و جلوگیری از هدر رفتن آب دارد (Khasheiseyoki and Ahamadi, 2015). استفاده از زئولیت به‌ویژه در خاک‌های شنی در معرض خشکی، می‌تواند از طریق جذب و آزادسازی تدریجی آب و افزایش ظرفیت رطوبت خاک سبب بهبود رشد و عملکرد نهایی شود (Hazrati et al., 2017). کاربرد زئولیت در شرایط تنش شوری و خشکی در گیاه ذرت دانه‌ای کاهش کمتر عملکرد و اجزای عملکرد را در مقایسه با تیمارهای بدون زئولیت داشت (Mohamadi et al., 2013). در پژوهشی روی سورگوم علوفه‌ای[2] طی تنش خشکی، شاخص SPAD کاهش یافت و کاربرد ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب سبب افزایش عدد SPAD و ماده‌ی خشک گیاه شد (Fazeli Rostampoor et al., 2011). مصرف زئولیت در گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، بر ارتفاع بوته، درصد پروتئین برگ و ساقه و کارایی مصرف آب اثر معنی‌داری داشت همچنین با مصرف ۸ گرم زئولیت در هر کیلوگرم خاک با ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی، بالاترین کارایی مصرف به دست آمد (Khasheiseyoki et al., 2008). در پژوهشی که در کشور رومانی انجام شد با اضافه کردن ۲۵ تا ۱۰۰ تن زئولیت کلینوپتیلولیت در هکتار در مزرعه سیب‌زمینی[3] بین ۳۰ تا ۷۰ درصد افزایش تولید مشاهده شد (Polat et al., 2004).

به دلیل بارش کم و همچنین محدودیت منابع آبی در منطقه‌ی بیرجند با میانگین بارش سالیانه ۱۷۰ میلی‌متر و میانگین تبخیر سالیانه ۲۵۶۵ میلی‌متر (اداره کل هواشناسی خراسان جنوبی)، استفاده‌ی کارآمد از آب در بخش کشاورزی به‌ویژه در تولید غله‌ی مهمی مانند ذرت، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است لذا در پژوهش حاضر امکان تعدیل و کاهش اثرات ناشی از تنش کم‌آبی بر عملکرد و کارایی مصرف آب با استفاده از کاربرد زئولیت و توصیه‌ی تاریخ کاشت مناسب‌تر برای گیاه ذرت در منطقه‌ی بیرجند موردبررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۴۹۱ متر از سطح دریا و طی دو آزمایش جداگانه با تاریخ‌های کاشت متفاوت (۱۲ اردیبهشت و ۱۲ تیرماه سال ۹۶) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل دو سطح زئولیت (صفر و ۱۰ تن در هکتار) و هشت سطح کم‌آبیاری شامل تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به روش رایج (FI[4]100)، آبیاری

[1] Partial Root zone Drying
[2] *Sorghum bicolor* L.
[3] *Solanum tuberosum* L.
[4] Full Irrigation

به روش رایج با ۷۵ درصد نیاز آبی طی رشد رویشی (CI[1]75 V[2])، آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت با ۷۵ درصد نیاز آبی در دوره‌ی رویشی (FPRD[3]75 V)، خشکی موضعی ریشه به‌صورت جابه‌جایی جویچه‌های مرطوب در هر آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی طی رشد رویشی (PRD[4]75 V)، جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت با ۷۵ درصد نیاز آبی در کل دوره رشد (FPRD75 T[5])، آبیاری به روش رایج با ۵۰ درصد نیاز آبی در دوره رویشی (CI50 V)، جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت با ۵۰ درصد نیاز آبی در دوره رویشی (FPRD50 V)، خشکی موضعی ریشه به‌صورت جابه‌جایی جویچه‌های مرطوب در هر آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی در دوره رویشی (PRD50 V) بود. هر بلوک شامل ۱۶ کرت با شش ردیف کاشت به طول پنج‌متر و فاصله‌ی ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود. قبل از کاشت بذر ذرت (*Zea mays* L.) هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴، مقدار ۲/۴ کیلوگرم زئولیت (نوع پتاسیک، تهیه‌شده از شرکت افرازند) برای هر شیار، در عمق ۱۵ سانتی‌متری زیر بذرها (حداکثر تراکم ریشه) قرار گرفت و از کود شیمیایی دیگری در طول فصل رشد استفاده نشد.

کاشت به‌صورت دستی و با فاصله‌ی هشت سانتی‌متری بذور انجام شد. پس از استقرار کامل بوته‌ها، تنک‌سازی در مراحل اولیه‌ی رشد (پایان چهار برگی) صورت گرفت و تراکم نهایی ۱۰۴۰۰۰ بوته در هکتار به دست آمد. وجین علف‌های هرز به‌طور دستی انجام شد. تا مرحله‌ی چهار برگی آبیاری به‌صورت سیفونی در تمام کرت‌ها اعمال گردید و یک ماه پس از سبز شدن، اعمال تیمارهای کم‌آبیاری با توجه به میزان آب محاسبه‌شده برای هر کرت و با استفاده از کنتور حجمی صورت گرفت (جدول ۱). نیاز آبی گیاه ذرت با استفاده از روش پنمن- مانتیث فائو (Allen et al., 1998) به میزان ۱۰۸۲/۶ و ۸۱۸/۶ میلی‌متر به ترتیب برای دو تاریخ کاشت محاسبه شد. میانگین دمای کمینه و بیشینه در ماه‌های مورد آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. میزان آب مصرفی در تیمارهای آبیاری (مترمکعب در هکتار)

Table 1. Water consumption in irrigation treatments (m^3 ha^{-1})

تاریخ کاشت اول (۱۲ اردیبهشت) First planting date (May 12)															
PRD50 V[†]		FPRD50 V		CI50 V		FPRD75 T		PRD75 V		FPRD75 V		CI75 V		FI100	
R[††]	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V
3575	7250	2681.25	7250	2681.25	7250	2681.25	7250	2681.25	5437.5	1787.5	7250	1787.5	7250	1787.5	7250
9037.5		9037.5		9037.5		8118.75		9931.25		9931.25		9931.25		10826.0	

تاریخ کاشت دوم (۱۲ تیر) Second planting date (July 12)															
PRD50 V		FPRD50 V		CI50 V		FPRD75 T		PRD75 V		FPRD75 V		CI75 V		FI100	
R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V
3968	4219	2976	4219	2976	4219	2976	4219	2976	3164.25	1984	4219	1984	4219	1984	4219
6203		6203		6203		6140.25		7195		7195		7195		8187	

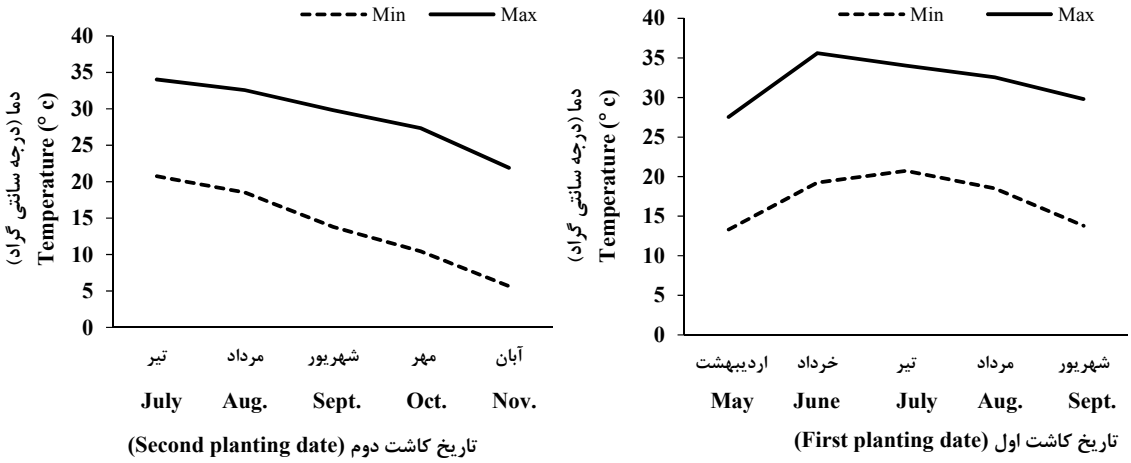
[†] FI100: تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به روش رایج؛ CI75 V: آبیاری به روش رایج با ۷۵ درصد نیاز آبی طی رشد رویشی؛ FPRD75 V: آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت با ۷۵ درصد نیاز آبی در دوره‌ی رویشی؛ PRD75 V: خشکی موضعی ریشه به‌صورت جابه‌جایی جویچه‌های مرطوب در هر آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی طی رشد رویشی؛ FPRD75 T: جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت با ۷۵ درصد نیاز آبی در کل دوره‌ی رشد؛ CI50 V: آبیاری به روش رایج با ۵۰ درصد نیاز آبی در دوره‌ی رویشی؛ FPRD50 V: جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت با ۵۰ درصد نیاز آبی در دوره‌ی رویشی؛ PRD50 V: خشکی موضعی ریشه به‌صورت جابه‌جایی جویچه‌های مرطوب در هر آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی در دوره‌ی رویشی.

[††] V: مرحله رویشی؛ R: مرحله زایشی

[†] FI100: convectional irrigation with 100% water requirement; CI75 V: conventional irrigation with 75% water requirement in vegetative stage; FPRD75 V: fixed alternate partial root-zone irrigation with 75% water requirement in vegetative stage; PRD75 V: nonfixed alternate partial root-zone irrigation with 75% water requirement in vegetative stage; FPRD75 T: fixed alternate partial root-zone irrigation with 75% water requirement in total growth; CI50 V: conventional irrigation with 50% water requirement in vegetative stage; FPRD50 V: fixed alternate partial root-zone irrigation with 50% water requirement in vegetative stage; PRD50 V: nonfixed alternate partial root-zone irrigation with 50% water requirement in vegetative stage).

[††] V: Vegetative stage; R: Reproductive stage

[1] Conventional irrigation
[2] Vegetative
[3] Fixed partial root drying
[4] partial root drying
[5] Total



شکل ۱. میانگین دماهای حداقل و حداکثر در دو تاریخ کاشت

Fig. 1. Average of minimum and maximum degree in two planting date

اعمال رژیم‌های مختلف آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک (SMD[1]) و با معیار قرار دادن تیمار بدون تنش آبی، انجام شد (Alizadeh, 2007).

$$SMD= (W2- W1) \times d \times \gamma s \quad [۱]$$

در معادله‌ی بالا SMD کمبود رطوبت خاک بر اساس میلی‌متر، W2 رطوبت وزنی خاک (درصد) ۲۴ ساعت بعد از آبیاری، W1 رطوبت وزنی خاک (درصد) قبل از آبیاری، d عمق توسعه‌ی ریشه‌ی گیاه (cm) و γs وزن مخصوص ظاهری خاک (gr/cm^3) می‌باشند. میزان بارندگی در دو تاریخ کاشت صفر میلی‌متر بود. برای تعیین بافت خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نمونه تهیه و بافت خاک لوم شنی تعیین گردید.

شاخص سطح برگ در هر دو تاریخ کاشت، قبل از ورود به فاز زایشی (بر اساس مقیاس BBCH[2] پایان مرحله‌ی ۳۹ و قبل از ورود به مرحله‌ی ۵۱) (Lancachire et al., 1991)، از متوسط چهار بوته‌ی ذرت، از تقسیم سطح برگ هر بوته به سطح زمین اشغال‌شده (هر دو بر اساس مترمربع) محاسبه شد (Rasheed et al., 2003).

$$LAI= (LA)/(GA) \quad [۲]$$

در پایان فصل رشد در هر دو مزرعه (مرحله‌ی ۸۹ بر اساس مقیاس BBCH)، یک مترمربع از هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای برداشت و سپس عملکرد و عملکرد ماده‌ی خشک ذرت تعیین شد. جهت تعیین وزن خشک دانه، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۵-۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت (۱۴ درصد رطوبت) قرار داده شد و سپس با ترازوی دیجیتال وزن شدند. شاخص برداشت ذرت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد ماده‌ی خشک به‌صورت درصد محاسبه شد. کارایی مصرف آب (WUE[3]) (عملکرد اقتصادی به ازای آب مصرف‌شده در واحد سطح) محاسبه شد (Farre et al., 2006).

$$WUE=\frac{\text{دانه تولید شده (کیلوگرم)}}{\text{آب استفاده شده (مترمکعب)}} \quad [۳]$$

به‌منظور تجزیه مرکب دو آزمایش انجام‌شده، آزمون بارتلت برای ارزیابی همگنی واریانس‌ها داده‌ها، تجزیه‌ی داده‌ها و رسم نمودار با استفاده از نرم‌افزار ماکرو در محیط اکسل انجام شد. مقایسات میانگین نیز با استفاده از آزمون LSD محافظت‌شده ($P\leq0.05$) انجام گردید.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

اثر تاریخ کاشت و کاربرد زئولیت بر شاخص سطح برگ معنی‌دار ($P\leq0.01$) بود (جدول ۲). شاخص سطح برگ در پایان دوره‌ی رویشی در تاریخ دوم ۱۹/۲۵ درصد بیشتر از تاریخ اول بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد شرایط دمایی مطلوب‌تر در

[1] Soil Moisture Deficit
[2] Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and CHemical industry
[3] Water Use Efficiency

تاریخ دوم کاشت نسبت به تاریخ اول موجب شد محدودیت آب برای گیاه کمتر و رشد برگ‌ها بیشتر شود. شاخص سطح برگ در تیمارهای دارای زئولیت ۱۰ درصد بیشتر از تیمارهای بدون زئولیت بود (جدول ۳). زئولیت جاذب رطوبت است و با تبادلات کاتیونی، حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهد. این ماده جذب آب را تا حد اشباع انجام می‌دهد و به‌تدریج در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Polat et al., 2004). به‌نظرمی‌رسد این ویژگی زئولیت شرایط مطلوبی برای ریشه‌ی گیاه فراهم کرده و جذب آب و مواد غذایی بهتر صورت گرفت که نتیجه‌ی آن رشد بهتر برگ‌ها در تیمارهای دارای زئولیت بود.

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب میانگین مربعات عملکرد و اجزای عملکرد ذرت

Table 2. Mean squares from the analysis of variance for yield and yield components of maize

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	شاخص سطح برگ Leaf area index	عملکرد ماده‌ی خشک Dry matter yield	تعداد دانه در بلال Number of seeds per ear
Planting Date (PD)	تاریخ کاشت	1	14.11 **	693.76 **	820105.51 **
Error	خطا	4	0.63	31.36	3544.7
Zeolite (Z)	زئولیت	1	4.23 **	76.62 **	131498.01 **
Deficit Irrigation (D)	کم‌آبیاری	7	0.14 ns	14.06 **	19694.01 **
PD*Z	تاریخ×زئولیت	1	2.71 **	50.47 ns	21663.18 *
PD*D	تاریخ×کم‌آبیاری	7	0.02 ns	14.40 ns	200.61 ns
Z*D	زئولیت×کم‌آبیاری	7	0.04 ns	1.08 ns	401.49 ns
PD*Z*D	تاریخ×زئولیت×کم‌آبیاری	7	0.006 ns	0.47 ns	697.49 ns
Error	خطا	60	0.27	8.47	3651.5
CV%	ضریب تغییرات	-	*11.45*	*10.96*	*16.77*

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	وزن هزار دانه Thousand seed weight	عملکرد دانه Grain yield	کارایی مصرف آب Water Use Efficiency	شاخص برداشت Harvest Index
Planting Date (PD)	تاریخ کاشت	1	40950.19 **	1082.86 **	38.91 **	7495.42 **
Error	خطا	4	1422.55	4.52	0.06	77.88
Zeolite (Z)	زئولیت	1	11007.1 **	208.31 **	3.97 **	1529.62 **
Deficit Irrigation (D)	کم‌آبیاری	7	2646.74 **	31.88 **	0.18 *	165.36 **
PD*Z	تاریخ×زئولیت	1	695.90 ns	41.04 **	1.30 **	142.06 ns
PD*D	تاریخ×کم‌آبیاری	7	118.95 ns	0.56 ns	0.03 ns	24.07 ns
Z*D	زئولیت×کم‌آبیاری	7	212.26 ns	0.52 ns	0.02 ns	3.797 ns
PD*Z*D	تاریخ×زئولیت×کم‌آبیاری	7	153.32 ns	0.69 ns	0.02 ns	5.17 ns
Error	خطا	60	574.01	3.83	0.07	37.58
CV%	ضریب تغییرات	-	9.01	19.09	19.09	16.36

*و ** و ns به ترتیب عبارت‌اند از معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و غیر معنی‌دار.

*,** and ns means significant at 0.05 and 0.01 probability levels, and non-significant, respectively

کم‌آبیاری بر شاخص سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار آن در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۳). چون تیمار شاهد محدودیت آب نداشت گیاه بیشترین سطح برگ را از خود نشان داد. در سایر تیمارهای کم‌آبیاری کاهش سطح برگ مشهود بود و کمترین سطح برگ در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی به شیوه‌ی رایج در دوره‌ی رویشی با ۵۱/۴۱ درصد کاهش نسبت به شاهد مشاهده شد که با توجه به میزان آب آبیاری و حساسیت سطح

برگ به کم‌آبی، قابل‌قبول است. دو دلیل برای کاهش شاخص سطح برگ بیان شده است: یکی به دلیل سایه‌اندازی برگ‌ها روی‌هم در مرحله‌ی بعد از ابریشم‌دهی و ریزش برگ¬های پایینی و دلیل دیگر کوچک شدن برگ‌ها که گزارش شده در مرحله‌ی ده برگی، رشد گیاه ذرت شدت می‌یابد و تا ورود به مرحله‌ی زایشی ادامه دارد به همین دلیل هرگونه تنشی در این مرحله کاهش رشد و کوچک شدن برگ‌ها را در پی دارد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (Ritchie et al., 1992). به‌طورکلی کاهش تولید، رشد و افزایش پیری برگ‌ها در شرایط کم‌آبی، شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد (Caker, 2004).

عملکرد ماده‌ی خشک

تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر اثر معنی‌دار تاریخ کاشت و کاربرد زئولیت بر عملکرد ماده‌ی خشک بود (جدول ۲). بررسی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد ماده خشک نشان‌دهنده‌ی بیشتر بودن عملکرد ماده‌ی خشک در تاریخ دوم کاشت نسبت به تاریخ اول (۲۲/۵ درصد) بود که با اختلاف شاخص سطح برگ طی دو تاریخ کاشت نیز همخوانی دارد (جدول ۳). به نظر می‌رسد کمتر بودن دمای محیط طی تاریخ کاشت دوم ضمن کاهش میزان تبخیر از سطح خاک، محدودیت کمتری را در تعرق گیاه ایجاد نموده و منجر به تولید ماده‌ی خشک بیشتر گردید. کاربرد زئولیت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد ماده-ی خشک داشت، به‌طوری‌که کاربرد زئولیت، این شاخص را ۷ درصد افزایش داد (جدول ۳). ازجمله مزایای استفاده از زئولیت طبیعی، جلوگیری از هدر رفت آب در طی آبیاری به‌صورت نگهداری و صرفه‌جویی در مصرف آب و جلوگیری از آبشویی عناصر به‌ویژه نیتروژن به دلیل خاصیت تبادل کاتیونی زیاد آن است (Mahrokh and Azizi, 2014). بدیهی است این ویژگی‌ها در به وجود آوردن شرایط مطلوب در محیط ریشه نقش مثبتی دارند که منجر به رشد بهتر گیاه می‌شود. در مطالعه‌ای بین کاربرد زئولیت و عدم کاربرد آن در گیاه کلزا اختلاف معنی‌داری در زیست‌توده وجود داشت (Zahedi et al., 2009)؛ همچنین با کاربرد زئولیت در ارزن پروسو در شرایط کم‌آبیاری نیز عملکرد ماده‌ی خشک افزایش یافت که با نتیجه‌ی پژوهش حاضر مطابقت دارد (Tadayon and Karimzadeh Soureshjani, 2019).

تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد ماده‌ی خشک گیاه در سطح یک درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین وزن خشک مشاهده‌شده در تیمار شاهد حاصل شد و با اعمال کم‌آبیاری عملکرد ماده‌ی خشک گیاه کاهش یافت (جدول ۳). در بین تیمارهای ۷۵ درصد نیاز آبی که به‌صورت رایج و خشکی موضعی ریشه در دوره‌ی رویشی اعمال شدند، آبیاری رایج با ۸/۲۸ درصد کاهش، کمترین عملکرد ماده‌ی خشک حتی کمتر از تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی در کل فصل رشد (۵/۴۱ درصد کاهش نسبت به شاهد) داشت. بین تیمارهای ۵۰ درصد نیاز آبی که در دوره‌ی رویشی به‌صورت رایج و جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت و متغیر اعمال شدند، کمترین عملکرد ماده‌ی خشک متعلق به آبیاری رایج با ۱۸/۵ درصد کاهش نسبت به شاهد بود (جدول ۳). محدودیت آب از طریق کاهش سطح برگ و تسریع فرآیند پیری برگ‌ها و به دنبال آن کاهش تولید کربوهیدرات، منجر به کاهش وزن زیست‌توده می‌شود. همبستگی مثبت و معنی‌دار ($r=۰/۶۳۵^{**}$) بین عملکرد ماده‌ی خشک و شاخص سطح برگ نیز مشاهده شد (جدول ۵). در بررسی تنش رطوبتی در گیاه ذرت کاهش ۲۸ تا ۳۲ درصدی ماده‌ی خشک در اثر کمبود کوتاه‌مدت آب در طی دوره‌ی رشد سریع رویشی گزارش شد (Caker, 2004).

تعداد دانه در بلال

اثرات ساده‌ی تاریخ کاشت و کاربرد زئولیت در سطح یک درصد و برهمکنش تاریخ کاشت و زئولیت در سطح پنج درصد بر تعداد دانه در بلال معنی‌دار بود (جدول ۲). در هر دو تاریخ کاشت کاربرد زئولیت سبب افزایش ۱۶/۴ و ۲۵/۶ درصدی تعداد دانه در بلال نسبت به عدم کاربرد آن گردید (جدول ۴). به نظر می‌رسد در مرحله‌ی تشکیل دانه به دلیل مصرف زئولیت و مناسب بودن رطوبت در خاک و محیط ریشه همچنین کمتر بودن میانگین دمای حداقل و حداکثر در تاریخ دوم کاشت (شکل ۱) سبب کاهش اثرات تنش خشکی طریق بهبود ظرفیت فتوسنتزی و ماده‌سازی گیاه، کاهش سقط‌جنین و درنتیجه افزایش دانه‌های بارورشده است (Mohamadi et al., 2013).

کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در بلال داشت (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در تیمار شاهد مشاهده شد و تحت تأثیر کم‌آبیاری، کاهش یافت (جدول ۳). در بین تیمارهای ۷۵ درصد نیاز آبی که در دوره‌ی رویشی اعمال شدند، کم‌آبیاری رایج کم‌ترین تعداد دانه در بلال (با ۱۴/۶ درصد کاهش نسبت به شاهد) را داشت. در بین تیمارهای ۵۰

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت، کاربرد زئولیت و کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت

Table 3. Comparison of the mean effect of planting date, application of zeolite and deficit irrigation on yield and yield components of maize

Treatments	تیمارهای آزمایش	شاخص سطح برگ Leaf area index ††	عملکرد ماده‌ی خشک Dry matter yield	تعداد دانه در بلال Number of seeds per ear
		$m^2 m^{-2}$	$t ha^{-1}$	
First planting date	تاریخ اول	4.00 b	23.87 b	267.81 b
Second planting date	تاریخ دوم	4.77 a	29.24 a	452.67 a
Non zeolite	بدون زئولیت	4.18 b	25.66 b	323.23 b
With zeolite	با زئولیت	4.60 a	27.45 a	397.25 a
FI100 †		5.12 a	29.23 a	420.17 a
CI75 V		4.29 cd	26.81 bc	360 bc
FPRD75 V		4.76 ab	28.1 ab	392.75 ab
PRD75 V		4.52 bc	27.99 ab	375.17 ab
FPRD75 T		4.71 abc	27.65 ab	391.92 ab
CI50 V		3.68 e	23.81 d	298.92 d
FPRD50 V		4.03 de	24.46 cd	321.92 cd
PRD50 V		4.00 de	24.39 d	321.08 cd

Table 3. Continued

جدول ۳. ادامه

Treatments	تیمارهای آزمایش	وزن هزار دانه Thousand seed weight ††	عملکرد دانه Grain yield	کارایی مصرف آب Water Use Efficiency	شاخص برداشت Harvest Index
		g	$t ha^{-1}$	$Kg m^{-3}$	%
First planting date	تاریخ اول	245.17 b	6.90 b	0.72 b	28.63 b
Second planting date	تاریخ دوم	286.48 a	13.61 a	2 a	46.30 a
Non zeolite	بدون زئولیت	255.12 b	8.78 b	1.16 b	33.47 b
With zeolite	با زئولیت	276.54 a	11.73 a	1.56 a	41.45 a
FI100 †		291.81 a	13.04 a	1.45 ab	44.17 a
CI75 V		267.17 bc	10.19 bc	1.29 bc	36.81 bcd
FPRD75 V		276.45 ab	11.61 ab	1.46 ab	40.93 ab
PRD75 V		275.95 ab	10.98 b	1.38 abc	38.51 bc
FPRD75 T		247.18 d	10.38 bc	1.56 a	36.89 bcd
CI50 V		252.79 cd	8.1 d	1.18 c	32.45 d
FPRD50 V		257.80 bcd	8.93 cd	1.29 bc	35.09 cd
PRD50 V		257.48 bcd	8.89 cd	1.28 bc	34.85 cd

† FI100: تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به روش رایج؛ CI75 V: آبیاری به روش رایج با ۷۵ درصد نیاز آبی طی رشد رویشی؛ FPRD75 V: آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت با ۷۵ درصد نیاز آبی در دوره‌ی رویشی؛ PRD75 V: خشکی موضعی ریشه به‌صورت جابه‌جایی جویچه‌های مرطوب در هر آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی طی رشد رویشی؛ FPRD75 T: جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت با ۷۵ درصد نیاز آبی در کل دوره‌ی رشد؛ CI50 V: آبیاری به روش رایج با ۵۰ درصد نیاز آبی در دوره‌ی رویشی؛ FPRD50 V: جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت با ۵۰ درصد نیاز آبی در دوره‌ی رویشی؛ PRD50 V: خشکی موضعی ریشه به‌صورت جابه‌جایی جویچه‌های مرطوب در هر آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی در دوره‌ی رویشی.

†† میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در هر بخش، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون FLSD ندارد ($p\leq ۰/۰۵$).

† FI100: convectional irrigation with 100% water requirement; CI75 V: conventional irrigation with 75% water requirement in vegetative stage; FPRD75 V: fixed alternate partial root-zone irrigation with 75% water requirement in vegetative stage; PRD75 V: nonfixed alternate partial root-zone irrigation with 75% water requirement in vegetative stage; FPRD75 T: fixed alternate partial root-zone irrigation with 75% water requirement in total growth; CI50 V: conventional irrigation with 50% water requirement in vegetative stage; FPRD50 V: fixed alternate partial root-zone irrigation with 50% water requirement in vegetative stage; PRD50 V: nonfixed alternate partial root-zone irrigation with 50% water requirement in vegetative stage).

†† Means within each column in each section, followed by the same letters are not significantly different based on FLSD test ($p \leq 0.05$)

درصد نیاز آبی که در دوره‌ی رویشی اعمال شدند نیز آبیاری رایج کم‌ترین تعداد دانه را تولید نمود (جدول ۳). دو تیمار FPRD75 V و FPRD75 T ازلحاظ آماری مشابه هم و مشابه تیمار شاهد بودند. برخی از پژوهشگران علت کاهش تعداد دانه در بلال را به ناکافی بودن مواد پرورده‌ی فراهم در زمان گلدهی و یا پیش از آن نسبت داده‌اند (Nesmith and Ritchie, 1992; Payero et al., 2009). ازآنجایی‌که کم-آبی سبب کاهش رشد رویشی، شاخص سطح برگ و عملکرد ماده‌ی خشک در گیاه گردید انتظار می‌رود به دنبال آن کاهش مواد پرورده‌ی کافی برای تشکیل دانه و درنهایت کاهش تعداد دانه را داشته باشیم. همبستگی مثبت و بالای($r=۰/۶۶۸^{**}$) تعداد دانه در بلال با شاخص سطح برگ و عملکرد ماده‌ی خشک ($r=۰/۸۱۸^{**}$) این موضوع را تأیید کرد (جدول ۵). از طرفی تعداد دانه در بلال تابع تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در هر ردیف است که بر اساس نتایج همبستگی، وابستگی زیاد این صفت با تعداد ردیف در بلال ($r=۰/۷۳۸^{**}$) و تعداد دانه در هر ردیف ($r=۰/۹۶۳^{**}$) به دست آمد و مشخص شد که بیشترین تأثیرپذیری تعداد دانه در بلال از تعداد دانه در ردیف بوده است (جدول ۵).

وزن هزار دانه

بر اساس تجزیه واریانس انجام‌شده، تاریخ کاشت و کاربرد زئولیت بر وزن هزار دانه اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند (جدول ۲). در تاریخ کاشت دوم، وزن هزار دانه ۱۷ درصد افزایش نسبت به تاریخ کاشت اول نشان داد (جدول ۳). با توجه به شرایط دمایی مطلوب‌تر در تاریخ دوم و تبخیر و تعرق کمتر از سطح خاک و گیاه، گیاه با محدودیت آب کمتری مواجه بود و درنتیجه رشد رویشی و به دنبال آن مواد ذخیره‌ی بیشتر و درنهایت وزن دانه‌ی بیشتری تولید نمود. اثر مثبت کاربرد زئولیت در وزن هزار دانه با ۸/۴ درصد افزایش، مشهود بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد زئولیت از طریق حفظ رطوبت در اطراف ریشه، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و بهبود پتانسیل آب سلول‌ها، سبب کاهش اثرات کم‌آبی پس از ظهور ابریشم شد که این امر منجر به افزایش وزن دانه‌ها گردید.

اثر ساده‌ی کم‌آبیاری بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). وزن هزار دانه نیز مانند سایر صفات تحت تأثیر کم‌آبیاری کاهش یافت (۱۵/۳ درصد) و کمترین وزن هزار دانه در تیمار FPRD75 T مشاهده شد (جدول ۳). پاسخ گیاه به کم‌آبی بسته به زمان و مدت بروز کمبود آب، متفاوت است. تیمار FPRD75 T به دلیل دریافت آب کمتر در طول دوره‌ی رشد و همچنین مدت‌زمان بیشتر اعمال آن بر گیاه، کمترین وزن هزار دانه را داشت. دلیل این امر می‌تواند پدید آمدن دانه‌های چروکیده با وزن کمتر به دلیل کمبود آب در مرحله‌ی پر شدن دانه و کاهش فتوسنتز جاری، کاهش میزان مواد پرورده و درنتیجه چروکیدگی دانه‌های ذرت باشد. کمبود آب با کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه‌ی کالوین، کاهش تولید مواد پرورده و به دنبال آن کاهش وزن هزار دانه (ظرفیت مقصد فیزیولوژیک) را در پی دارد (Rabbani and Emam, 2011). همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص سطح برگ با وزن هزار دانه ($r=۰/۵۴۰^{**}$) بیانگر نقش برگ‌ها به‌عنوان منبع فتوسنتزی است که در شرایط کم‌آبی با کاهش شاخص سطح برگ کاهش وزن هزار دانه اتفاق افتاد (جدول ۵).

عملکرد دانه

اثرات ساده‌ی تاریخ کاشت، کاربرد زئولیت و کم‌آبیاری در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). تأثیر تاریخ کاشت و زئولیت بیانگر عملکرد بیشتر در تاریخ دوم نسبت به تاریخ کاشت اول بود. شرایط رطوبتی مطلوب‌تر ریشه و رشد رویشی بیشتر گیاه به دلیل محدودیت کمتر فتوسنتزی و هدایت روزنه‌ای، منجر به افزایش عملکرد گردید. از طرفی، در هر دو تاریخ کاشت، تیمارهای دارای زئولیت به ترتیب ۲۷ و ۳۷ درصد عملکرد بیشتری تولید نمودند (جدول ۴). زئولیت با افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک منجر به عدم کاهش سطح برگ و جلوگیری از پیری زودرس آن‌ها می‌شود. دوام بیشتر برگ‌ها دریافت انرژی نورانی و ساخت مواد غذایی بیشتری را در پی داشته و سبب افزایش عملکرد دانه شد. اثر کاربرد زئولیت در گیاه ذرت دانه‌ای تحت تنش شوری و خشکی موردمطالعه قرار گرفت و مشخص شد کاربرد زئولیت سبب کاهش کمتر عملکرد و اجزای عملکرد در مقایسه با تیمارهای عدم کاربرد زئولیت شد (Mohamadi et al., 2013).

درحالی‌که تعداد دانه در بلال حدود ۲۶ درصد کاهش را تحت تأثیر سطوح کم‌آبیاری تجربه کرد، عملکرد دانه با حدود ۳۸ درصد کاهش، بیشترین تأثیر را از سطوح کم‌آبیاری دریافت نمود (جدول ۳). در بین تیمارهای ۷۵ درصد نیاز آبی که در دوره‌ی رویشی اعمال شدند، تیمار FPRD75 V

بیشترین عملکرد را داشت و ازنظر آماری تفاوتی با شاهد نداشت. کمترین عملکردها متعلق به تیمارهای CI50 V، FPRD50 V و PRD50 V بود و در بین آن‌ها تیمار CI50 V با ۳۸ درصد کاهش کمترین عملکرد را به خود اختصاص داد (جدول ۳). در شرایط خشکی، پتانسیل آب سلول کاهش می‌یابد و موجب کاهش توانایی گیاه در تأمین شیره‌ی پرورده‌ی موردنیاز جهت ادامه‌ی رشد تخمدان می‌شود؛ همچنین فرآیند تخلیه‌ی مواد از آوند آبکش در محور گل با مشکل مواجه می‌گردد و از طرفی کاهش توسعه و تقسیم سلولی در سلول‌های دانه (مقصد فیزیولوژیکی)، موجب اختلال در تخلیه‌ی شیره‌ی پرورده می‌شود (Schussler and Westgate, 1991). کم‌آبی اثر مستقیمی روی دانه‌بندی نیز دارد که از طریق کاهش تسهیم و تخصیص ماده‌ی خشک به سمت بلال و تعداد دانه‌هایی است که در طول دوره‌ی بحرانی رشد مشخص می‌شوند (Andrade et al., 2002). ازآنجایی‌که کاهش اندام‌های رویشی منجر به کاهش ماده‌سازی در زمان نمو بلال می‌شود، کم‌آبی سبب تسریع پیری برگ‌ها، کاهش سطح فتوسنتز کننده و تولید زیست‌توده‌ی کل در زمان توسعه‌ی بلال و درنهایت کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Khasheiseyoki et al., 2008؛ Mahrokh et al., 2019). نتایج همبستگی پیرسون بین عملکرد و اجزای آن نشان‌دهنده‌ی همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد با تعداد دانه در بلال (r=۰/۹۷۰**)، تعداد دانه در ردیف (r=۰/۹۲۲**)، تعداد ردیف در بلال (r=۰/۷۲۹**) و وزن هزار دانه (r=۰/۸۰۴**) بود (جدول ۵). همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه و عملکرد ماده‌ی خشک (r=۰/۷۸۵**) یادآور انتقال مجدد مواد در شرایط خشکی است. دانه‌های در حال رشد بیشترین تقاضا را برای دریافت مواد فتوسنتزی دارند و ذخایر بافت‌های رویشی می‌تواند منبع مهمی از کربوهیدرات در طول پر شدن دانه محسوب شود (Lopez pereia, 2008).

شاخص برداشت

اثر تاریخ کاشت بر شاخص برداشت معنی‌دار (جدول ۲) و در تاریخ دوم ۶۲ درصد بیشتر از تاریخ اول بود (جدول ۳). با توجه به نتایج مربوط به عملکرد و عملکرد ماده‌ی خشک در تاریخ دوم شاخص برداشت بیشتر در این تاریخ دور از انتظار نبود.

کاربرد زئولیت نیز در سطح یک درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۲) و سبب افزایش ۲۴ درصدی شاخص برداشت شد (جدول ۳). کمبود آب در فرآیندهای تولید گیاه ایجاد اختلال نموده و کاربرد زئولیت تا حدودی این شرایط را تعدیل می‌کند. این توانایی مربوط به ویژگی جذب آب و عناصر غذایی توسط زئولیت است که طی دوره‌ی رشد در اختیار ریشه قرار می‌دهد و شرایط رطوبتی و تغذیه‌ای مناسبی فراهم می‌کند. این شرایط باعث رشد بهتر گیاه، نداشتن محدودیت فتوسنتزی و هدایت روزنه‌ای شده و منجر به افزایش عملکرد و شاخص برداشت می‌گردد. پژوهش‌هایی در ارتباط با اثر مثبت زئولیت بر شاخص برداشت سورگوم (Tadayon and Karimzadeh Soureshjani, 2019) و گندم (Mirzakhani, 2016) انجام شده است. کم‌آبیاری اختلاف معنی‌داری (سطح احتمال یک درصد) را در شاخص برداشت ایجاد نمود (جدول ۲). بیشترین شاخص برداشت در تیمارهای شاهد و FPRD75 V مشاهده شد که تنها ۴/۹۲ درصد کاهش داشت (جدول ۳). کمترین شاخص برداشت هم با ۲۷ درصد کاهش متعلق به تیمار CI50 V بود. همبستگی بسیار بالای شاخص برداشت و عملکرد (r=۰/۹۵۸**) تأییدکننده‌ی نتیجه‌ی به‌دست‌آمده است (جدول ۵). در شرایط کم‌آبیاری در گیاهان ذرت (Farre and Faci, 2006) و گندم (Ilbey et al., 2006) ابتدا با کاهش تولید زیست‌توده، شاخص برداشت ثابت ماند اما در محدوده‌ی تولید ۶۰ درصد از حداکثر زیست‌توده، کاهش شاخص برداشت آغاز شد. این کاهش، در گزارش‌های گوناگون متفاوت بود و بسته به‌سرعت توسعه‌ی کم‌آبی و نیاز تبخیری می‌تواند کمتر یا بیشتر باشد. به عبارتی کم‌آبیاری باید به‌گونه‌ای طرح‌ریزی شود که شاخص برداشت در حداکثر مقدار خود حفظ شود (Koocheki and Khajeh Hosseini, 2016). آزمایش‌های بسیاری برای تأیید این مطلب در گیاهان گندم (Li et al., 2005؛ Musick et al., 1994)، ذرت (Li et al., 2005؛ Zhang et al., 2005) و حبوبات (Oweis et al., 2004) انجام شد.

کارایی مصرف آب

اثرات ساده‌ی کم‌آبیاری، تاریخ کاشت و کاربرد زئولیت و برهمکنش این دو عامل بر کارایی مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که کاربرد زئولیت می‌تواند اثرات منفی تنش کم‌آبی را کاهش دهد که

می‌تواند به دلیل خواص این ماده در نگهداری آب و مواد مغذی باشد (Gholamhoseini et al., 2013). کاربرد زئولیت نسبت به تیمار بدون زئولیت، در تاریخ کاشت اول ۲۷/۲ درصد و در تاریخ کاشت دوم ۳۸/۱ درصد کارایی مصرف آب را افزایش داد (جدول ۴) که عمدتاً به عملکرد دانه‌ی بیشتر و استفاده‌ی مطلوب از آب با کاربرد زئولیت نسبت داده شد (Zheng et al., 2019). از طرفی با توجه به عملکرد تولیدی در تاریخ دوم کاشت و مقدار آب مصرفی کمتر نسبت به تاریخ اول، بیشتر بودن کارایی مصرف آب در این تاریخ کاشت منطقی به نظر می‌رسد (جدول ۳ و ۱). افزایش کارایی مصرف آب با استفاده از زئولیت در گزارش‌های متعددی آمده است (Ozbahce et al., 2015; Hazrati et al., 2017).

جدول ۴. اثر تاریخ کاشت و زئولیت بر عملکرد و کارایی مصرف آب

Table 4. Effect of planting date and Zeolite on yield and water use efficiency

زئولیت Zeolite	تاریخ کاشت planting date	تعداد دانه در بلال Number of seeds per ear	عملکرد دانه Grain yield	کارایی مصرف آب Water Use Efficiency
			t ha^{-1}	kg m^{-3}
بدون زئولیت Non zeolite	تاریخ اول First date	252.12 d	6.08 d	0.64 d
	تاریخ دوم Second date	401.33 b	11.49 b	1.68 b
با زئولیت With Zeolite	تاریخ اول First date	293.62 c	7.72 c	0.81 c
	تاریخ دوم Second date	504 a	15.74 a	2.32 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون FLSD ندارد (p≤ ۰/۰۵).

Means within each column followed by the same letters are not significantly different based on FLSD test ($p \leq 0.05$)

جدول ۵. ضرایب همبستگی پیرسون بین عملکرد و اجزای عملکرد ذرت

Table 5. The pearson correlation coefficient between yield and yield components in Maize

	صفات اندازه‌گیری شده Measured traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	شاخص سطح برگ Leaf area index	1								
2	عملکرد ماده‌ی خشک Dry matter yield	0.635**	1							
3	تعداد دانه در بلال Number of seeds per ear	0.668**	0.818**	1						
4	تعداد ردیف در بلال Number of rows per ear	0.556**	0.695**	0.738**	1					
5	تعداد دانه در هر ردیف Number of seeds per row	0.635**	0.772**	0.963**	0.540**	1				
6	وزن هزار دانه Thousand seed weight	0.540**	0.556**	0.651**	0.554**	0.600**	1			
7	عملکرد دانه Grain yield	0.674**	0.785**	0.970**	0.739**	0.922**	0.804**	1		
8	کارایی مصرف آب Water Use Efficiency	0.596**	0.742**	0.943**	0.649**	0.922**	0.728**	0.952**	1	
9	شاخص برداشت Harvest Index	0.623**	0.593**	0.909**	0.660**	0.875**	0.817**	0.958**	0.914**	1

** و * به ترتیب معنی‌داری همبستگی در سطح یک و پنج درصد

**, * Correlation is significant at the 0.01 and 0.05 levels (2-tailed).

زئولیت موجب اصلاح خاک و بهبود خصوصیات هیدرولیکی خاک می‌شود که می‌تواند منجر به استفاده‌ی کارآمد از آب و افزایش کارایی آب در کشاورزی و افزایش تولید شود (Gholizadeh-sarabi and Sepaskhah, 2013). درواقع اصلاح خاک قادر به نگهداری آب و جلوگیری از نفوذ عمیق آن است که می‌تواند کارایی مصرف آب را در فعالیت‌های کشاورزی بهبود بخشد (Nakhli et al. 2020). تیمار شاهد با ۹۵۰۶/۵ مترمکعب آب مصرفی، ۱۳۰۴۰ کیلوگرم در هکتار دانه و تیمار FPRD75 T با ۷۱۲۹/۵ مترمکعب آب، ۱۰۳۸۰ کیلوگرم در هکتار دانه تولید کرده‌اند. به عبارتی دلیل کارایی مصرف آب بالا در تیمار شاهد عملکرد بیشتر است، درحالی‌که در تیمار FPRD75 T اگرچه عملکرد دانه ۲۰ درصد کاهش یافت، لیکن به دلیل کاهش ۲۵ درصدی آب مصرفی منجر به کارایی مصرف آب بیشتر گردید (جدول ۳ و ۱). کم‌ترین کارایی در تیمار آبیاری رایج با ۵۰ درصد نیاز آبی در دوره‌ی رویشی با ۱۸/۶ درصد کاهش بود (جدول ۳). بین تیمارهای شاهد، FPRD75 V، PRD75 V و FPRD75 T تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. با توجه به معادله‌ی کارایی مصرف آب، عملکرد نقش زیادی در تغییرات این صفت داشته و همبستگی بالا و مثبت این صفت با عملکرد (r=۰/۹۵۲**) مؤید این مطلب است (جدول ۵). همچنین کارایی مصرف آب همبستگی بالایی با عملکرد ماده‌ی خشک داشت (r=۰/۷۴۲**) و بیانگر آنست که وزن خشک گیاه در واقع ذخیره‌ی کربوهیدراتی موردنیاز گیاه است که به‌ویژه در زمان تنش از اهمیت زیادی برخوردار بوده و برای پر شدن دانه‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. افزایش کارایی مصرف آب هنگام کاهش آب مصرفی در گیاه آفتابگردان (Rezaei Estakhrouie et al., 2014) نیز گزارش شده است. در بررسی اثر کم‌آبیاری معمولی و خشکی موضعی ریشه بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در ذرت دانه‌ای، نتایج نشان داد که کارایی مصرف آب برای تیمار شاهد، برابر با ۱/۱۶ و برای تیمار خشکی موضعی ریشه با جابه‌جایی جویچه‌ای مرطوب در هر آبیاری برابر با ۲/۱۳ کیلوگرم دانه به ازای مصرف یک مترمکعب آب بود (Rezaei Estakhrouie et al., 2013).

نتیجه‌گیری نهایی

تغییرات صفات شاخص سطح برگ، عملکرد ماده‌ی خشک، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، کارایی مصرف آب و شاخص برداشت در تاریخ دوم کاشت (۱۲ تیرماه) به ترتیب ۱۴/۳۷، ۲۲/۵۰، ۶۵/۸۹، ۱۶/۸۵، ۲۵/۹۷، ۶۴ و ۶۱/۷۲ درصد بیشتر از تاریخ کاشت اول (۱۲ اردیبهشت‌ماه) بود. همچنین این صفات با کاربرد زئولیت، به ترتیب ۱۰/۷۳، ۶/۹۸، ۲۲/۰۶، ۸/۴۰، ۳۳/۶۰، ۳۴/۴۸ و ۲۳/۸۴ درصد نسبت به عدم کاربرد این ماده افزایش نشان دادند.

باوجود کاهش عملکرد در تیمارهای کم‌آبیاری، لیکن چون نرخ کاهش عملکرد در برخی تیمارها کمتر از میزان کاهش آب مصرفی است، کم‌آبیاری ضمن افزایش کارایی مصرف آب، امکان توسعه سطح زیر کشت با همان میزان آب موجود را امکان‌پذیر می‌نماید. طبق نتایج حاصله عملکرد دانه در تیمار FPRD75 T با مصرف ۷۱۲۹/۵ مترمکعب در هکتار آب، ۱۰۳۸۰ کیلوگرم در هکتار بود که نشان می‌دهد باوجود ۲۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب، عملکرد دانه صرفاً ۲۰/۴۰ درصد کاهش داشت. نظر به اینکه افزایش میزان بهره‌وری آب یکی از اهداف مهم تولید در مناطق دارای محدودیت آب است، با توجه به کارایی مصرف آب بالا در تیمار FPRD75 T (59/7 درصد بیشتر از تیمار شاهد)، این تیمار برای کشت در منطقه‌ی بیرجند قابل توصیه است.

منابع

Alizadeh, A., 2007. Design of Irrigation Systems. 1. Design of Surface Irrigation Systems. Imam Reza University Press. 452P. [In Persian].

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

Andrade, F.H., Echarte, L., Rizzalli, R., Della, A., Casanovas, M., 2002. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. Crop Science. 42, 1173-1179.

Caker, R., 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research. 89, 1-16.

FAO. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC

Farre, I., Faci, J.M., 2006. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (Sorghum

bicolor L. Moench) to deficit irrigation in mediteranean environment. Agricultural Water Management. 83, 135-143.

Fazeli-Rostampoor, M., Seghatoleslami, M.J., Moosavi, S.Gh.R., 2011. Effect of water stress and polymer (superabsorbent A200) on yield and water use efficiency of corn (*Zea mays* L.) in Birjand region. Environmental Stresses in Crop Sciences. 4, 11-19. [In Persian with English summary].

Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H., Farmanbar, E. 2013. Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. Soil and Tillage Research. 126, 193–202.

Gholizadeh-Sarabi, S., Sepaskhah, A.R., 2013. Effect of zeolite and saline water application on saturated hydraulic conductivity and infiltration in different soil textures. Archives of Agronomy and Soil Science. 59, 753–764.

Hai-dong, L., Ji-quan, X., Dong-wei, G., 2017. Efficacy of planting date adjustment as a cultivation strategy to cope with drought stress and increase rainfed maize yield and water-use efficiency. Agricultural Water Management. 179, 227–235.

Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Mokhtassi-Bidgoli, A., Modarres-Sanavy, A.M., Mohammadi, H., Nicola, S., 2017. Effects of zeolite and water stress on growth, yield and chemical compositions of Aloe vera L. Agricultural Water Management. 181, 66–72.

Ilbey, A., Ustun, H., Oweis, M., Pala, Benli, B., 2006. Wheat water productivity and yield in a cool highland environment: effect of early sowing with supplemental irrigation. Agricultural Water Management. 82, 399-410.

Karamzadeh, S., Kashani, A., 1993. Effect of sowing date and hybrid interaction on yield and growth of maize. Pajouhesh and Sazandegi. 18, 72-80. [In Persian with English summary].

Khasheiseyoki, A., Ahmadi, M., 2015. Zeolites: Introduction, Properties and Application. Birjand University Press. 238P. [In Persian].

Khasheiseyoki, A., Koochakzade, M., Shahabifar, M., 2008. The effect of natural clinoptilolite zeolite application on soil moisture and corn yield components. Iranian Journal of Soil Research (formerly Soil and Water Sciences). 22, 235-241. [In Persian with English summary].

Koocheki, A., Khajeh Hosseini, M., 2016. Water Deficit Crop Production in Iran: Strategies and Applications. University of Mashhad press. 616 P. [In Persian].

Lancashire, P.D., Bleiholder, H., Langeluddecke, P., Stauss, R., van den Boom, T., Weber, E., Witzen-Berger A. 1991. An uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. Annals of Applied Biology. 119, 561–601

Li, Q.S., Willardson, L.S., Deng, W., Li, X.J., Liu, C.J., 2005. Crop water deficit estimation and Irrigation scheduling in western Jilin province, Northeast China. Agricultural Water Management. 27, 47-60.

Lopez pereia, M., Bereny, A., Hall, A. J., Trapani, N., 2008. Contribution of pre-anthesis photo assimilates to grain yield: its relationship with yield in Argentine sunflower cultivars released between 1930 and 1995. Field Crops Research. 105, 88-96.

Mahrokh, A., Azizi, F., 2014. The effect of natural zeolite usage on deficit irrigation stress tolerance in maize (*Zea mays* L.). Iranian Journal of Field Crops Research. 12, 296-304. [In Persian].

Mahrokh, A., Nabipour, M., Roshanfekr, H, Choukan, R., 2019. Response of some grain maize physiological parameters to drought stress and application of auxin and cytokinin hormones. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 1-15. [In Persian with English summary].

Majidian, M, Esfahani, M., 2013. Effect of sowing date on yield and some agronomic traits of six forage maize hybrids under guilan agro-climatic conditions. Journal of Crop Production and Processing. 3, 57-70. [In Persian with English summary].

Mirzakhani, M., 2016. Effect of zeolite application on yield and physiological characteristics of wheat (cv. Roshan BC) in drought stress condition. Environmental Stresses in Crop Sciences. 9, 37-50. [In Persian with English summary].

Mohamadi, M., Molavi, H., Liaghat, A., Parsinejad, M., 2013. Effect of zeolite application on yield and water use efficiency of corn. Water Research in Agriculture. 27, 57-67. [In Persian with English summary].

Musick, J.T., Jones, O.R., Stewart, B.A., Dusek. D.A., 1994. Water-yield relationships for irrigated and dryland wheat in the U.S. Southern Plains. Agronomy Journal. 86, 980-996.

Nakhli, S.A.A., Delkash, M., Bakhshayesh, B.E., Kazemian, H., 2017. Application of zeolites for sustainable agriculture: a review on water and nutrient retention. Water, Air and Soil Pollution. 228, 464.

Nesmith, D.S., Ritchie, J.T., 1992. Short-and long-term responses of corn to a pre-anthesis soil water deficit. Agronomy Journal. 84, 107-113.

Oweis, T., Hachum, A., Pala. M., 2004. Lentil production under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management. 68, 251-265.

Ozbahce, A., Tari, A.F., Gönülal, E., Simsekli, N., Padem, H., 2015. The effect of zeolite applications on yield components and nutrient uptake of common bean under water stress. Agronomy and Soil Science. 61, 615–626.

Payero, J.O., Tarkalson, D.D., Irmak, S., Davison, D., Petersen, J.L., 2009. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. Agricultural Water Management. 96, 1387-1397.

Polat, E., Karaca, M., Demir, H. Naci Onus, A., 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. Fruit and Ornamental Plant Research. 12, 183-189.

Rabbani, J., Emam, Y., 2011. Yield response of maize hybrids to drought stress at different growth stages. Journal of Crop Production and Processing. 1, 65-78. [In Persian with English Summary].

Rasheed, M., Hussain, A., Mahnood. T., 2003. Growth analysis of hybrid maize as influenced by planting techniques and nutrient management. International Journal Agriculture Biology. 4, 721-722.

Rezaei Estakhrouie, A., Boroumandnasab, S., Houshmand, A., Khanjani, M.J., 2012. Effect of deficit irrigation and partial root zone drying on morphological and physiological characteristics of corn. Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering. 2, 67-76. [In Persian with English summary].

Rezaei Estakhrouie, A., Hooshmand, A., Bromand Nasab, S., Khanjani, M.J., 2013. Effect of deficit irrigation and partial rootzone drying on yield, yield components and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) SC 704. Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology). 26, 1514-1521. [In Persian with English summary].

Rezaei Estakhrouie, A., Khoshghadam, S., Ebrahimi Serizi, M., Badiehneshin, A., 2014. Evaluation yield of sunflower (Farrokh cultivar) under effects of conventional deficit irrigation and partial root zone drying. Journal of Water and Soil. 28, 867-875. [In Persian with English summary].

Ritchie, S.W., Hanway, J.J., Benson, G.O., 1992. How a corn plant develops. Special report No. 48. Iowa State University. p. 21.

Sadranasab, Z., Shahnazari, A., Ziatabarahmadi, K.H., Karandish, F., 2015. Investigating maize root growth pattern under partial root zone drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI). Iranian Journal of Water Research in Agriculture (formerly Soil and Water Sciences). 28, 409-418. [In Persian with English summary].

Schussler, J.R., Westgate., M.E., 1991. Maize kernel set at low water potential: ii. sensitivity to reducedassimilates at pollination. Crop Science. 31, 1196-1203.

Shahrokhnia, M.H., Sepaskhah, A.R., 2016. Effects of irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization on yield, water and nitrogen efficiencies of safflower. Agricultural Water Management. 172, 18-30.

Siadat, A., 2001. The influence of density and hybrid on yield of maize summer and spring in Khuzestan province Iranian Journal of Agriculture Science. 14, 32-56. [In Persian with English summary].

Tadayon, M.R., Karimzadeh Soureshjani., H., 2019. Effect of zeolite on growth and physiological parameters of proso millet (*Panicum miliaceum* L.) under deficit irrigation management. Iranian Journal of Field Crop Science. 12, 415-427. [In Persian with English summary].

Ünlü, M., Kanber, R., Levent Koç, D., Tekin, S., Kapur, B., 2011. Effects of deficit irrigation on the yield and yield components of drip irrigated cotton in a mediterranean environment. Agricultural Water Management. 98, 597–605.

Wijewardana, C., Hock, M., Henry, W.B., Reddy, K.R., 2015. Screening corn hybrids for

cold tolerance using morphological traits for early season seeding. Crop Science. 19, 75–78.

Zahedi, H., Noor-Mohamadi, G., Shirani Rad, A.H., Habibi, D., Boojar, A., 2009. The effects of zeolite and foliar applications of selenium on growth, yield and yield components of three canola cultivars under drought stress. World Applied Sciences Journal. 7, 255-262.

Zhang, X., Chen, S., Liu, M., Pei, D., Sun. H., 2005. Improved water use efficiency associated with cultivars and agronomic management in the North China Plain. Agronomy Journal. 97, 783-790.

Zheng, J., Chen, T., Chi, D., Xia, G., Wu, Q., Liu, G., Siddique, K.H., 2019. Influence of zeolite and phosphorus applications on water use, p uptake and yield in rice under different irrigation managements. Agronomy. 9, 537.