Archive of SID

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸
۴۱۵-۴۲۷
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2018.1376.1293

تأثیر زئولیت بر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک ارزن پروسو (*Panicum miliaceum* L.) تحت مدیریت کم‌آبیاری

محمودرضا تدین[1*]، هدایت‌الله کریم‌زاده سورشجانی[2]
۱. عضو هیئت‌علمی دانشگاه شهرکرد
۲. فارغ‌التحصیل مقطع دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۱/۱۲

چکیده

به‌منظور بررسی سطوح مختلف کم‌آبیاری و زئولیت بر ارزن پروسو (*Panicum miliaceum* L.)، آزمایشی به‌صورت بلوک‌های خردشده در تابستان ۱۳۹۴، در دانشگاه شهرکرد اجرا شد. عامل اول شامل: زئولیت (۰، ۰/۵ و ۱ کیلوگرم در مترمربع) و عامل دوم رژیم آبیاری (تأمین ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) بودند. نتایج نشان داد شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد گیاه (CGR)، سرعت جذب و تحلیل خالص (NAR) و سرعت رشد نسبی (RGR) تحت تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری کاهش یافتند، اما کاربرد زئولیت باعث بهبود شاخص‌های مذکور در شرایط کم‌آبیاری شد. کم‌آبیاری سبب کاهش پایداری غشاء سلول، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، زیست‌توده، عملکرد دانه و شاخص برداشت گردید درحالی‌که کاربرد زئولیت منجر به بهبود صفات مذکور در شرایط کم‌آبیاری گردید. بیشترین درصد کاهش عملکرد دانه (۷۷ درصد) نسبت به تیمار شاهد در تیمار آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از زئولیت مشاهده شد. بیشترین میزان عملکرد دانه نیز از تیمار بدون کم‌آبیاری و کاربرد نیم و یک کیلوگرم بر مترمربع زئولیت به دست آمد (به ترتیب ۱۵۹ و ۱۵۶ گرم بر مترمربع). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاربرد یک کیلوگرم زئولیت بر مترمربع برای دستیابی به عملکرد بهتر قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: **تنش خشکی، سرعت رشد نسبی، محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای**

مقدمه

تولید گیاهان زراعی و به‌ویژه غلات در ایران، به دلیل وجود اقلیم خشک و نیمه‌خشک با چالش همراه است. یکی از روش‌های کاهش اثرات تنش رطوبتی، استفاده از مواد جاذب رطوبت در خاک مانند زئولیت است. زئولیت به‌عنوان ماده جاذب رطوبت، افزایش‌دهنده تبادلات کاتیونی و بهبوددهنده حاصلخیزی خاک، در زراعت کاربرد دارد. زئولیت با خاصیت جذب زیاد آب قادر است آب موجود در خاک را تا حد اشباع جذب کرده و آن را برای مدت طولانی درون شبکه خود نگهداری کند. آب موجود در شبکه به‌تدریج جذب گیاه می‌شود (Pulite et al., 2004; Tadayon and Karimzadeh Soureshjani, 2016, Bahador and Tadayon, 2017).

ارزن پروسو از گیاهان خانواده غلات است که دارای سازوکار فتوسنتزی C4 بوده و استفاده از گونه‌های مختلف ارزن جهت تغذیه دام و طیور به‌ویژه پرندگان زینتی مرسوم است. گونه‌های مختلف ارزن به دلیل کوتاه بودن فصل رشد و داشتن برخی ویژگی‌ها، در مقایسه با گیاهان دیگر به آب کمتری نیاز دارند و می‌توانند در شرایط کمبود آب نسبت به سایر گیاهان زراعی محصول قابل قبولی تولید کنند (Mehrpooyan and Faramarzi, 2011).

تجزیه‌وتحلیل کمّی رشد، روشی مناسب برای توجیه و تفسیر واکنش‌های گیاه نسبت به شرایط محیطی مختلف است که گیاه در طول دوره حیات خود با آن‌ها مواجه

* نگارنده پاسخگو: محمودرضا تدین. پست الکترونیک: mrtadayon@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

می‌گردد. به کمک این روش، شناخت بهتری از چگونگی انتقال مواد ساخته‌شده فتوسنتزی به اندام مختلف و انباشت آن‌ها از طریق اندازه‌گیری ماده خشک تولیدشده در طول فصل رشد گیاه به دست می‌آید (Ghassemi-golozani et al., 2009).

در بررسی سازوکارهای تحمل به خشکی در ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum*)، مشخص شد که خشکی از طریق کاهش سطح برگ و تعداد برگ‌های فعال، سطح جذب دی‌اکسید کربن را کاهش داد (Golombek and Al-Ramamneh, 2002). از طرفی برخی پژوهشگران گزارش کردند تنش رطوبتی (دور آبیاری ۷ و ۱۴ روز) تأثیری بر عملکرد دانه، وزن پانیکول، وزن دانه، تعداد پنجه، تعداد پنجه بارور، شاخص برداشت خوشه، سطح برگ و درصد نیتروژن برگ ارزن پروسو (*Panicum miliaceum*)، ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum*) و ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica*) نداشت (Khazaie et al., 2005). در مطالعه تأثیر زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم کلزا (*Brassica napus*) در شرایط تنش خشکی اختلاف معنی‌داری بین کاربرد و عدم کاربرد زئولیت بر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک وجود داشت (Zahedi et al., 2009). بررسی اثر سطوح مختلف زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن پروسو در شرایط کم‌آبیاری نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه، زیست‌توده و شاخص برداشت شد و کاربرد زئولیت کاهش این صفات را تقلیل داد (Tadayon and Karimzadeh Soureshjani, 2017). با توجه به مشکل کمبود منابع آب و لزوم مدیریت تولیدات زراعی در شرایط محدودیت آب و امکان استفاده از ارزن به‌عنوان گیاهی زودرس و سازگار با بیشتر مناطق ایران، آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر کاربرد زئولیت بر گیاه ارزن پروسو در شرایط کم‌آبیاری طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر زئولیت بر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک ارزن پروسو (*Panicum miliaceum*) در شرایط کم‌آبیاری آزمایشی به‌صورت بلوک‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در تابستان ۱۳۹۴، در دانشگاه شهرکرد در موقعیت عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰۵۰ متر از سطح دریا اجرا شد. عامل اول شامل: زئولیت (۰، ۰/۵ و ۱ کیلوگرم در مترمربع معادل ۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و عامل دوم رژیم آبیاری (تأمین ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) بودند.

پیش از اجرای آزمایش نمونه مرکبی از خاک مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه و جهت آزمون خاک و تعیین ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی و توصیه کودی به آزمایشگاه خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد ارسال گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در ارائه شده است.

بعد از آماده کردن زمین، مقادیر زئولیت موردنظر در سطح خاک به‌صورت دستی و یکنواخت پخش شد و به‌وسیله شن‌کش با خاک مخلوط گردید. بذرهای ارزن با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع (فاصله ردیف کاشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۵ سانتی‌متر بود) در چهارم تیرماه کشت شدند. بذرها پیش از کاشت با قارچ‌کش بنومیل (دو در هزار)

جدول ۱. ویژگی‌های خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Soil properties of experimental site

هدایت الکتریکی EC	pH	کربن آلی Organic carbon	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	روی Zn	منگنز Mn	آهن Fe	مس Cu
(dSm^{-1})		----------%----------		----------mg.kg^{-1}----------					
0.512	7.71	1.12	0.152	34.2	316	0.57	8.31	3.50	0.89

رطوبت خاک Soil moisture (%)		جرم مخصوص ظاهری Bulk density	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay
ظرفیت زراعی FC	پژمردگی دائم PWP	g.cm^{-3}	%		
0.24	0.13	1.5	30.0	35.5	34.5

www.SID.ir

Archive of SID

ضدعفونی شدند. هر کرت در چهار ردیف کشت به طول سه متر و مساحت ۶ مترمربع بود. با توجه به نتایج آزمون خاک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره در دو نوبت (رویش بذرها و ساقه رفتن) در اختیار گیاه قرار گرفت. با توجه به وجود کافی مقادیر فسفر و پتاسیم در خاک (جدول ۱) نیازی به مصرف این دو عنصر نبود.

جهت محاسبه میزان تبخیر و تعرق روزانه گیاه از رابطه پنمن-مانتیث (Allenet al., 1998) اصلاح شده توسط فائو (جهت محاسبه میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع) استفاده و با ضرب کردن ضریب گیاهی (Kc) در مراحل مختلف رشد، میزان تبخیر و تعرق روزانه محاسبه شد. داده‌های هواشناسی و اقلیمی موردنیاز، از ایستگاه هواشناسی فرودگاه شهرکرد به دست آمد. برای محاسبه زمان آبیاری ابتدا وزن مخصوص ظاهری خاک اندازه‌گیری شد و پس‌ازآن با استفاده از دستگاه صفحات فشاری میزان رطوبتِ خاک در نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم به دست آمد و از این طریق میزان رطوبتِ قابل‌دسترس خاک محاسبه شد در مرحله بعد برداشت روزانه رطوبت با استفاده از روش پنمن-مانتیث محاسبه شد، زمانی که میزان رطوبت خاک در تیمار شاهد به میزان ۴۰ درصد رطوبتِ خاک در حد ظرفیت زراعی رسید آبیاری صورت گرفت، به این نحو که میزان آب موردنیاز تا رسیدن به رطوبت در ظرفیت زراعی در واحد سطح برای تیمار آبی شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی) محاسبه و به کرت‌های شاهد داده شد. همچنین مقادیر ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد مقدار آب محاسبه‌شده و با استفاده از کنتور حجمی به تیمارهای آبیاری اختصاص داده شد. اعمال تیمارهای آبیاری، پس از استقرار کامل بوته‌ها صورت گرفت و تا آخر فصل رشد ادامه داشت.

جهت اندازه‌گیری شاخص‌های رشدی، دو هفته پس از رویش گیاهان طی پنج مرحله با فواصل ۱۴ روز نمونه‌برداری انجام شد. در هر مرحله تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی برداشت گردید. ابتدا سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf area meter AM200, ADC BioScientific Ltd, UK) اندازه‌گیری شد. پس از قرار دادن نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، وزن خشک اندازه‌گیری شد. با استفاده از روابط زیر شاخص‌های سرعت جذب خالص (NAR) و شاخص سطح برگ (LAI) محاسبه گردید :

$$LAI=LA/GA \quad [۱]$$

$$NAR=CGR/LAI \quad [۲]$$

که در آن LAI شاخص سطح برگ، LA سطح برگ، GA سطح زمینی که سطح برگ بوته‌های آن اندازه‌گیری شده است و CGR سرعت رشد گیاه است. برای محاسبه سرعت رشد گیاه (CGR) از روش مشتق‌گیری از معادله روند تجمع ماده خشک و برای محاسبه سرعت رشد نسبی (RGR) نیز از مشتق معادله سرعت رشد استفاده شد (Gardner et al., 2003).

برای اندازه‌گیری پایداری غشاء در زمان گل‌دهی از هر کرت، پنج قطعه برگ به مساحت یک سانتی‌متر مربع، از جوان‌ترین برگ توسعه‌یافته برداشت شد (Sairam, 2002) و پایداری غشا اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) در زمان گل‌دهی از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته استفاده شد. بدین ترتیب که برگ قطع‌شده و از این برگ قطعاتی به مساحت یک سانتی‌متر مربع توزین شدند و با استفاده از روش رزالس و همکاران (Rosales et al., 2012) محتوای نسبی آب برگ اندازه‌گیری شد.

در زمان ظهور پانیکول جهت اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته استفاده شد. در هر کرت سه برگ انتخاب و هدایت روزنه در پشت برگ‌ها با پرومتر[1] اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری در روز قبل و بعد از آبیاری در بین ساعات ۱۰ تا ۱۴ انجام گرفت (Karimzadeh Soureshjani et al., 2016).

جهت اندازه‌گیری زیست‌توده و عملکرد دانه پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، بوته‌ها از سطح یک مترمربع از مرکز هر کرت برداشت شدند. سپس جهت خنثی کردن اثر رطوبت در تیمارهای مختلف، نمونه‌های برداشت‌شده از هر کرت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفت تا رطوبت دانه برای همه تیمارها به‌صورت یکسان باشد و درنهایت وزن کل زیست‌توده و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. برای محاسبه شاخص برداشت نیز از نسبت وزن عملکرد دانه به زیست‌توده استفاده شد. در پایان داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار SAS تجزیه‌وتحلیل و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام شد.

[1] SC-1 LEAF POROMETER, Decagon Devices, Pullman, Washington, USA

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

نتایج نشان داد روند تغییرات شاخص سطح برگ در تمامی تیمارهای آبیاری و زئولیت دارای مدل سیگموئیدی بود (شکل ۱). بیشترین میزان شاخص سطح برگ ارزن (۳/۳) در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد یک کیلوگرم زئولیت بر مترمربع و کمترین شاخص سطح برگ (۱/۱) در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد زئولیت مشاهده شد. علاوه بر این کاهش آب مصرفی باعث کاهش بیشینه سطح برگ گردید درحالی‌که کاربرد زئولیت از شدت کاهش بیشینه سطح برگ کاست به‌نحوی‌که در همه رژیم‌های کم‌آبیاری، تیمار یک کیلوگرم زئولیت بر مترمربع بیشترین و تیمار عدم کاربرد زئولیت کمترین سطح برگ را به خود اختصاص دادند (شکل ۱). همچنین مشخص شد شاخص سطح برگ در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و یک و نیم کیلوگرم زئولیت بر مترمربع نسبت به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون کاربرد زئولیت) افزایش داشت درحالی‌که شاخص سطح برگ در سایر تیمارها در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت. در مقایسه با تیمار شاهد، بیشترین افت شاخص سطح برگ در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد زئولیت (۶۴ درصد) و کمترین افت شاخص سطح برگ در تیمار ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و یک کیلوگرم زئولیت بر مترمربع (۶ درصد) به ثبت رسید.

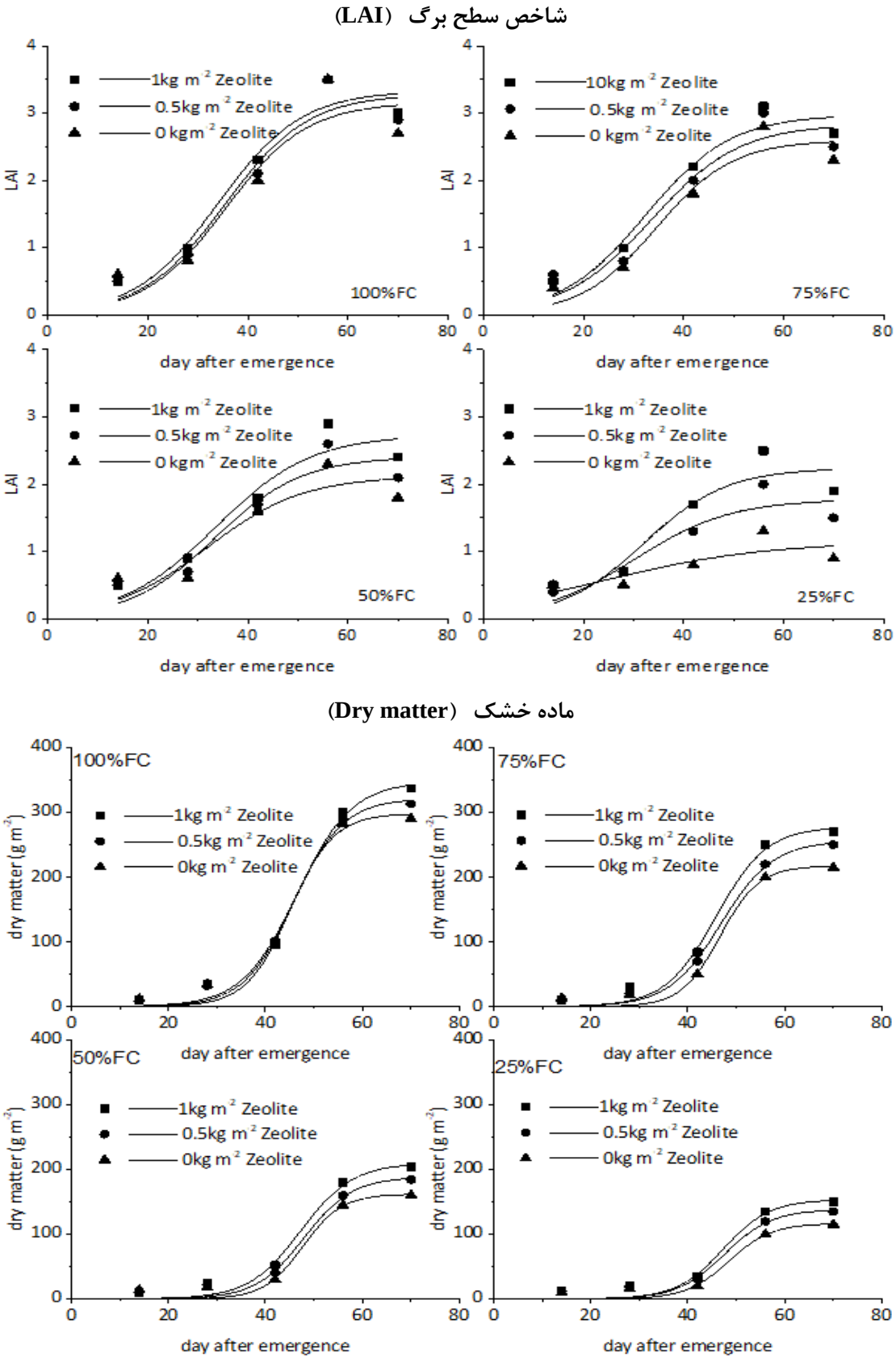
گزارش شده است که خشکی باعث کاهش سطح برگ می‌شود و این وضعیت به دلیل پژمردگی و جمع شدن پهنک در شرایط تنش شدید و درنهایت پیری زودرس برگ‌های گیاه است (Earl et al., 2003). البته کاربرد زئولیت اثرات منفی تنش خشکی بر شاخص سطح برگ را کاهش داد و این امر احتمالاً به دلیل جذب رطوبت خاک و رهاسازی تدریجی آن توسط زئولیت است. نتایج پژوهش حاضر با نتایج بهادر و تدین (Bahador and Tadayon, 2017) که گزارش کردند کاربرد زئولیت باعث تقلیل کاهش شاخص سطح برگ در اثر تنش خشکی شد مطابقت دارد.

روند تجمع ماده خشک ارزن در بین تمامی تیمارهای آبیاری و زئولیت دارای الگوی سیگموئیدی بود (شکل ۱). نتایج نشان داد کاهش مقدار آب مصرفی، باعث کاهش ماده خشک می‌گردد در هر سطح از کم‌آبیاری، افزایش مقدار زئولیت باعث تخفیف اثر کم‌آبیاری شد. بیشترین ماده خشک از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد یک کیلوگرم زئولیت بر مترمربع به دست آمد درحالی‌که کمترین ماده خشک در تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی و عدم کاربرد زئولیت به ثبت رسید (شکل ۱). کاهش تجمع ماده خشک در شرایط تنش به دلیل کمبود آب و بسته شدن روزنه‌ها و درنتیجه کاهش فتوسنتز و نیز افزایش دمای برگ است (Iramki et al., 2000). اورکات و نیلسون (Ourcut and Nilsen, 2009) نیز دلیل کاهش وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش خشکی را کاهش سطح برگ دانستند که باعث کاهش دریافت نور و میزان فتوسنتز می‌شود. درحالی‌که زئولیت به دلیل اینکه آب را در خاک جذب کرده و آن را به‌صورت تدریجی در اختیار گیاه قرار می‌دهد باعث تخفیف اثر کمبود آب در گیاه می‌گردد (Bahador and Tadayon, 2017).

سرعت رشد گیاه در تمامی تیمارهای موردبررسی تا اواسط دوره رشد روند افزایشی و ازآن‌پس روند کاهشی داشته است و در اواخر دوره رشد به سمت صفر میل کرد (شکل ۲). در نیمه اول دوره رشد گیاه، با کامل شدن پوشش گیاهی و استفاده بهینه از نور خورشید در اثر افزایش شاخص سطح برگ، مقدار سرعت رشد گیاه روند افزایشی داشته است اما در نیمه دوم رشد گیاه، در اثر ثابت شدن شاخص سطح برگ، افزایش رقابت درون بوته‌ای و بین بوته‌ای و کاهش راندمان فتوسنتزی برگ‌های مسن، سرعت رشد بوته‌های ارزن روند نزولی پیدا کرده است. بررسی نتایج نشان داد که کم‌آبیاری، باعث کاهش سرعت رشد گیاه شد و کاربرد زئولیت از شدت کاهش سرعت رشد گیاه در اثر کم‌آبیاری کاست (شکل ۲). همان‌طور که در شکل ۲ نیز مشخص است سرعت رشد گیاه در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد یک کیلوگرم زئولیت بر مترمربع با تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد زئولیت برابر است. همین برابری درباره برهمکنش تیمارهای ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد یک کیلوگرم بر مترمربع با برهمکنش تیمار ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد زئولیت به‌طور تقریبی برقرار است و این موضوع نشان می‌دهد که کاربرد یک کیلوگرم زئولیت بر مترمربع قادر است کاهش مصرف آب به میزان ۲۵ درصد را در شرایط کم‌آبیاری جبران نماید. در بررسی اثر زئولیت در شرایط تنش خشکی در گیاه شاهدانه مشاهده شده است که تنش خشکی باعث افت سرعت رشد گیاه شده و کاربرد زئولیت تا حدودی اثرات تنش خشکی را کاهش داده است (Bahador and Tadayon, 2017).

www.SID.ir

Archive of SID



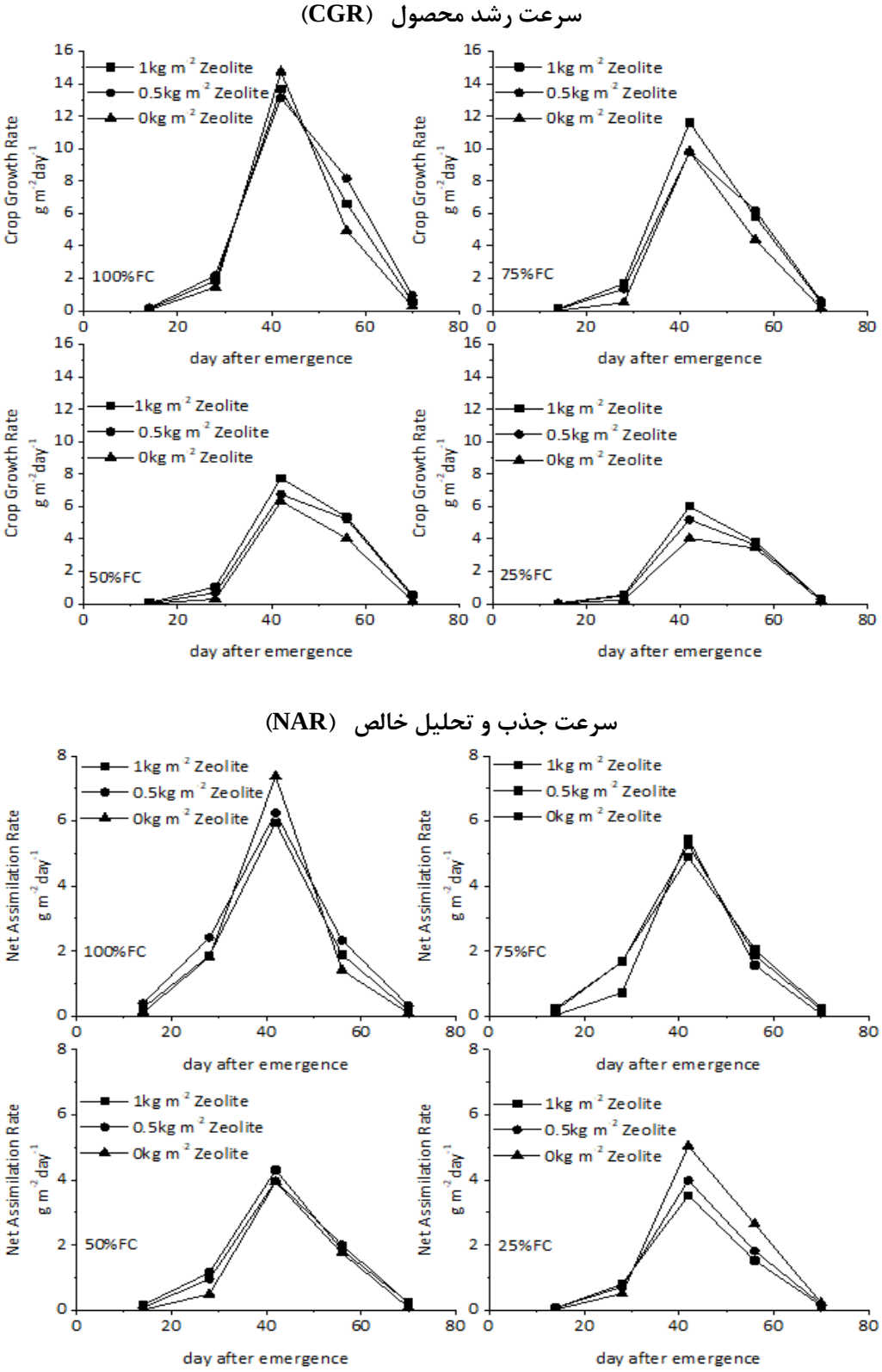
شکل ۱. روند شاخص سطح برگ و ماده خشک ارزن پروسو در رژیم‌های آبیاری و کاربرد مقادیر مختلف زئولیت

Fig. 1. Leaf area index (LAI) and Dry matter accumulation of Proso millet in irrigation and zeolite treatments

www.SID.ir

Archive of SID

سرعت جذب و تحلیل خالص در کلیه تیمارهای موردبررسی روندی شبیه به تغییرات روند سرعت رشد گیاه داشت به‌نحوی‌که تا اواسط دوره رشد روند افزایشی و پس‌ازآن روند کاهشی نشان داد (شکل ۲)



شکل ۱. روند سرعت رشد گیاه و سرعت جذب و تحلیل خالص ارزن پروسو در رژیم‌های آبیاری و کاربرد مقادیر مختلف زئولیت

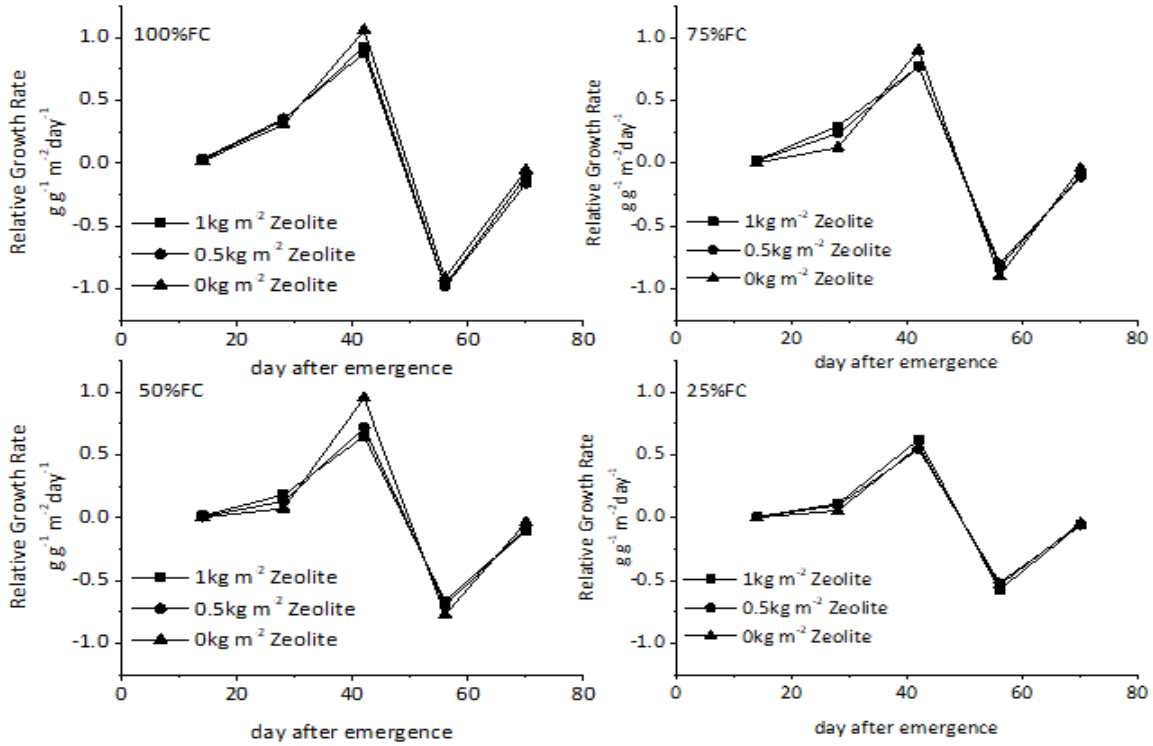
Fig. 2. Crop growth rate (CGR) and Net assimilation rate (NAR) of Proso millet in irrigation and zeolite treatments

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج نشان داد کم‌آبیاری باعث کاهش سرعت جذب و تحلیل خالص می‌گردد اما اثر زئولیت بر سرعت جذب و تحلیل خالص به میزان آب آبیاری وابسته بود به‌نحوی‌که در تیمارهای آبیاری ۱۰۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، بیشترین سرعت جذب و تحلیل خالص از عدم کاربرد زئولیت به دست آمد درحالی‌که بیشترین سرعت جذب و تحلیل خالص در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی از کاربرد یک کیلوگرم بر مترمربع زئولیت حاصل شد (شکل ۲).

نتایج نشان داد روند تغییرات سرعت نسبی در اوایل و اواخر فصل رشد، افزایشی و در اواسط فصل رشد کاهشی بود (شکل ۳). ازنظر سرعت رشد نسبی تفاوت چندانی بین تیمارهای زئولیت مشاهده نشد و تفاوت بین تیمارهای آبیاری نیز اندک بود و در انتهای فصل رشد به صفر رسید. این نتیجه ازآنجا به دست آمد که بخش‌هایی که به گیاه افزوده می‌شوند بافت‌های ساختمانی هستند که ازلحاظ متابولیکی فعال نبوده و در فتوسنتز نقشی ندارند (Gardner et al., 2003). در ابتدای فصل رشد، میزانRGR به علت نفوذ نور بیشتر، سایه‌اندازی کمتر برگ‌ها و فتوسنتز خالص، بالاتر است (Amiri deh-Ahmadi et al., 2010). سرعت رشد نسبی در پایان دوره رشد به دلیل رسیدگی فیزیولوژیک دانه و افزایش تنفس دانه‌ها همچنین افزایش سن و کاهش فتوسنتز جاری جامعه گیاهی، منفی شد (Gardner et al., 2003).



شکل ۲. روند سرعت رشد نسبی ارزن پروسو در رژیم‌های آبیاری و کاربرد مقادیر مختلف زئولیت

Fig. 3. Relative growth rate (RGR) of Proso millet in irrigation and zeolite treatments

نتایج تجزیه واریانس نشان داد آبیاری و زئولیت تأثیر معنی‌داری بر پایداری غشا سلولی داشتند (جدول ۲). کاهش مقدار آب مصرفی باعث کاهش پایداری غشا شد (شکل ۴) به‌نحوی‌که در تیمارهای آبیاری ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، پایداری غشا نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲۳، ۴۶ و ۵۷ درصد کاهش یافت. تحت شرایط تنش خشکی، غشاء سلول از نخستین بخش‌های سلول است که آسیب می‌بیند، با آسیب به غشای سلولی، تراوایی آن افزایش‌یافته و نشت الکترولیت از سلول، باعث مرگ آن می‌شود (Sairam et al., 2002). برخی پژوهشگران بیان کردند پایداری غشا سلولی که تحت تنش خشکی یکی از صفات مهم در تحمل خشکی و تقریباً خصوصیت عمده تمام مکانیسم‌های تحمل تنش

www.SID.ir

Archive of SID

اسمزی است، می‌تواند به‌عنوان معیاری از تحمل به تنش‌های خشکی در نظر گرفته شود (Nazari-nasi et al., 2012). همچنین نتایج نشان داد مصرف زئولیت باعث افزایش پایداری غشا سلول می‌گردد (شکل ۴) به‌نحوی‌که مصرف ۰/۵ و یک کیلوگرم زئولیت بر مترمربع، پایداری غشاء را به ترتیب ۵ و ۱۵ درصد افزایش داد. کاربرد زئولیت باعث کاهش اثر مخرب تنش خشکی بر غشاء سلولی می‌شود و این موضوع به دلیل جذب رطوبت توسط زئولیت و آزادسازی رطوبت به‌طور تدریجی است و ازاین‌رو گیاه در شرایط تنش خشکی، مقداری رطوبت در دسترس خواهد داشت و شدت آسیب به ساختار غشاء در این شرایط کاهش می‌یابد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمار آبیاری بر محتوای نسبی آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲) و کاهش مقدار آب مصرفی باعث کاهش معنی‌دار آن شد (شکل ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد محتوای نسبی آب در تیمارهای آبیاری ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۱۳، ۲۶ و ۴۱ درصد نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش یافت. تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Moori et al., 2012). پژوهشگران گزارش کردند کاربرد تنش خشکی در مراحل مختلف رشد، سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ ارزن معمولی شد (Seghatoleslami et al., 2005). یکی از مهم‌ترین تغییرات ناشی از تنش خشکی کاهش محتوای نسبی آب برگ است. این صفت می‌تواند توانمندی گیاه را در مواجهه با تنش خشکی نشان دهد. به‌طورکلی، تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Moori et al., 2012). محتوای نسبی آب برگ در اثر تنش خشکی کاهش‌یافته و کاهش پتانسیل آب برگ باعث بسته شدن روزنه و درنتیجه کاهش هدایت روزنه‌ای می‌گردد که این موضوع به‌نوبه خود باعث کاهش میزان دی‌اکسید کربن و درنتیجه کاهش سرعت فتوسنتز می‌شود (Bota et al., 2004).

جدول ۲. تجزیه واریانس پایداری غشا، محتوای نسبی آب ، هدایت روزنه‌ای، زیست‌توده، عملکرد دانه و شاخص برداشت ارزن پروسو در رژیم‌های آبیاری و کاربرد مقادیر مختلُف زئولیت

Table 2. Analysis of variance of membrane stability, relative water content (RWC), stomatal conductance, biological yield, grain yield and harvest index of Proso millet in irrigation and zeolite treatments

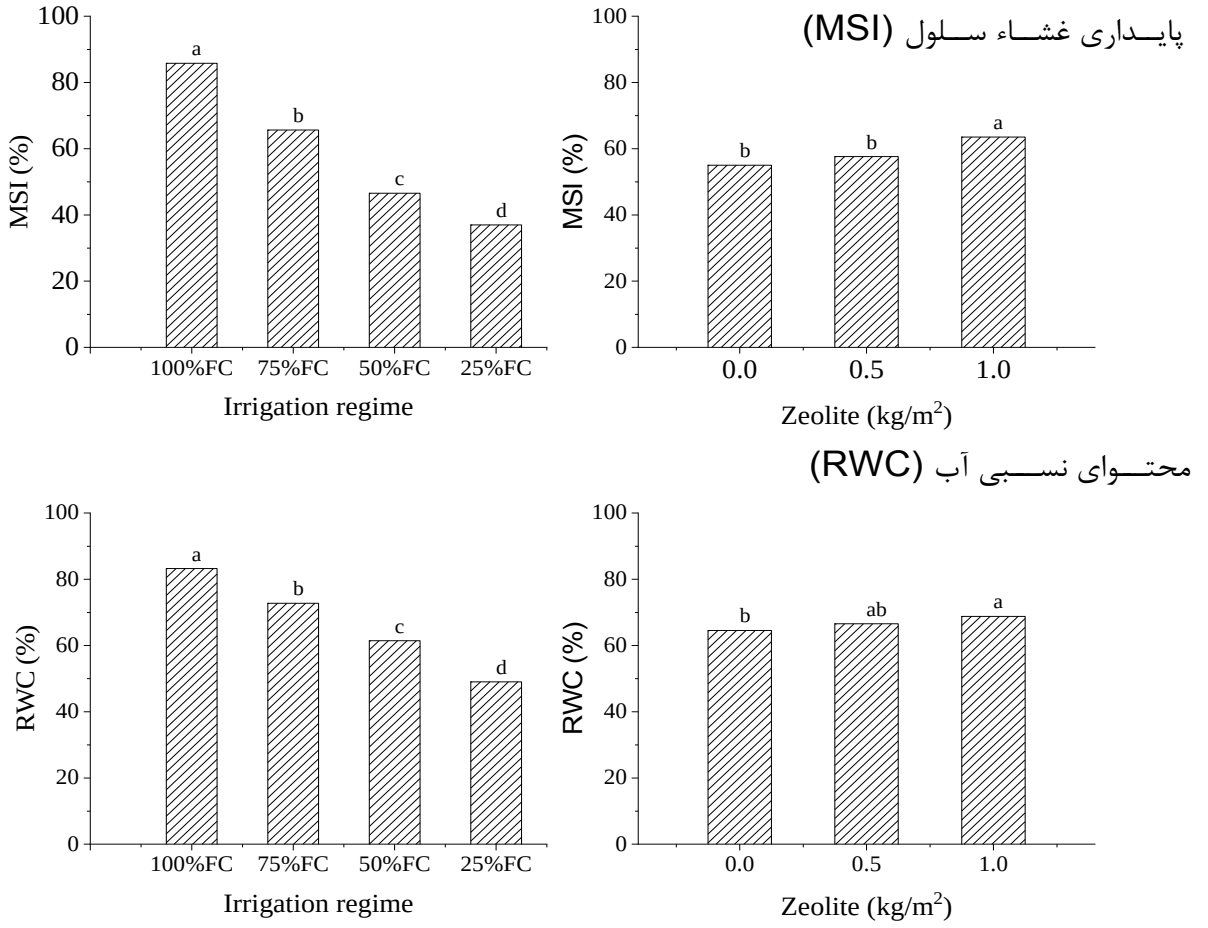
منابع تغییر SoV	درجه آزادی DF	پایداری غشاء Membrane stability	محتوای نسبی آب relative water content	هدایت روزنه‌ای stomatal conductance	زیست‌توده Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	2	3.3ns	16ns	5.4ns	59.19ns	18.39ns	0.0004ns
آبیاری Irrigation (I)	3	4198.9**	1947.5**	5344.6**	8778.88**	18552**	0.132**
بلوک×آبیاری Error (a)	6	36.1	8.9	2.2	44.57	23.65	0.0003
زئولیت Zeolite (Z)	2	228.5*	55.5ns	303.4**	583.12*	1060**	0.009**
زئولیت×بلوک Error (b)	4	18.3	23.0	1.3	91.14	16.02	0.0002
آبیاری×زئولیت I*Z	6	23.6ns	35.1ns	35.3**	380.32*	113.3*	0.0031*
خطا Error	12	18.2	15.8	4.3	71.83245	29.82	0.000689
ضریب تغییرات CV (%)		*7.3*	*6.0*	*5.9*	*10.3*	*11*	*7.8*

*و**: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیر معنی‌دار

* and **: significant at 5% and 1% probability level, respectively, ns: not significant

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. پایداری غشاء سلول و محتوای نسبی آب ارزن پروسو در رژیم‌های آبیاری و کاربرد مقادیر مختلف زئولیت (در هر نمودار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند)

Fig. 4. Cell membrane stability and relative water content (RWC) of Proso millet in irrigation and zeolite treatments (in each graph means with same letter have no significant difference (LSD, 0.05))

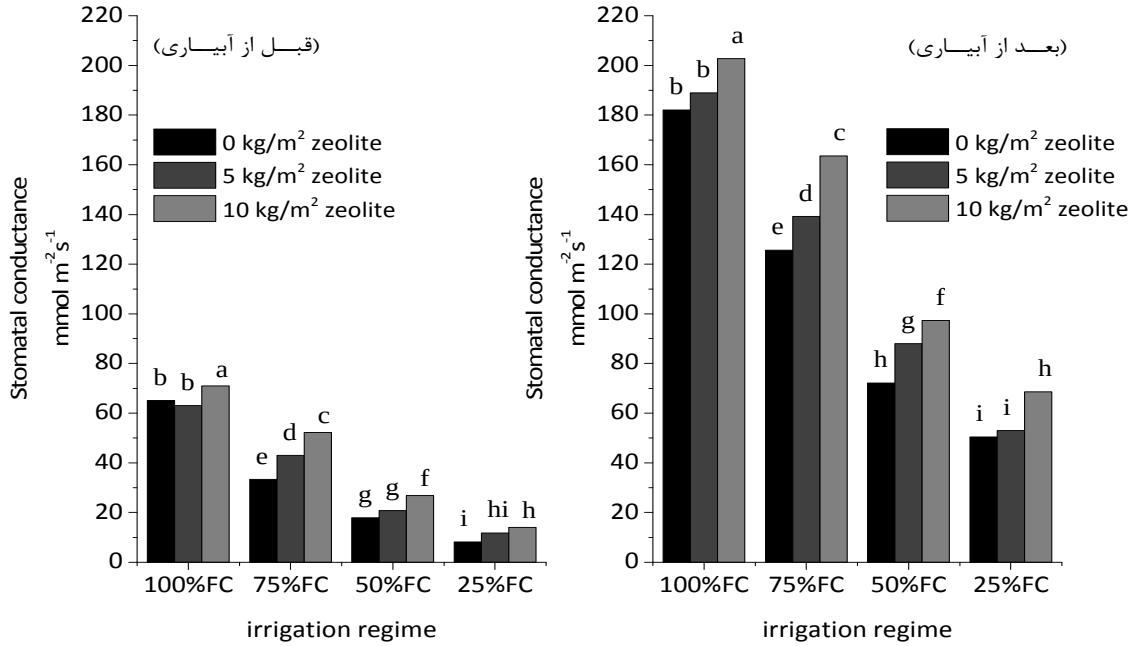
بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار آبیاری، زئولیت و برهمکنش آن‌ها بر هدایت روزنه‌ای در هر دو نوبت اندازه‌گیری قبل و بعد از آبیاری معنی‌دار بود (جدول ۲). در هر سطحِ آبیاری، بیشترین هدایت روزنه‌ای در تیمار کاربرد یک کیلوگرم زئولیت بر مترمربع به دست آمد (شکل ۵). در همه سطوح تیمارهای آبیاری و زئولیت، هدایت روزنه‌ای در مرحله پس از آبیاری، بیشتر از مرحله قبل از آبیاری بود که چندان دور از انتظار نیست زیرا که قبل از آبیاری، رطوبت در پایین‌ترین حد ممکن قرار دارد و گیاه یا رطوبتی برای تعرق در اختیار ندارد و یا با بستن روزنه‌ها سعی دارد اندک رطوبت باقیمانده را حفظ کند اما پس از آبیاری، رطوبت به‌اندازه کافی در اختیار گیاه بوده و گیاه روزنه‌های خود را باز نگه‌داشته تا عمل تعرق انجام پذیرد. کاهش هدایت روزنه‌ای در اثر تنش خشکی در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (Karimzadeh Soureshjani et al., 2016). در شرایط تنش خشکی، گیاه با بستن روزنه‌ها از هدر رفتن آب جلوگیری کرده و ازاین‌رو هدایت روزنه‌ای کاهش می‌یابد. دراین‌بین، زئولیت آب موجود در خاک را جذب کرده و به‌تدریج آن را آزاد می‌کند به همین دلیل در شرایط کاربرد زئولیت، گیاه وضعیت رطوبتی بهتری دارد (Bahador and Tadayon, 2017) و هدایت روزنه‌ای نیز در این شرایط نسبت به شرایط عدم کاربرد زئولیت بالاتر است.

نتایج نشان داد اثر آبیاری، زئولیت و برهمکنش آبیاری و زئولیت بر زیست‌توده ارزن معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار زیست‌توده از تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد یک کیلوگرم بر مترمربع زئولیت به مقدار ۳۳۷/۵ گرم بر مترمربع به دست آمد درحالی‌که کمترین زیست‌توده از تیمار آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد نیم کیلوگرم بر مترمربع زئولیت به میزان ۲۳۵/۳ گرم بر مترمربع به دست آمد. همچنین مشخص شد در هر سطح آبیاری بیشترین و کمترین زیست‌توده به ترتیب در تیمارهای یک و صفر کیلوگرم زئولیت بر مترمربع به دست آمد (جدول ۳). درواقع کاربرد زئولیت تا حدودی اثرات منفی کمبود آب بر زیست‌توده را تخفیف داده است. غلامحسینی و همکاران (Gholamhoseini et al., 2008) در بررسی اثر زئولیت بر آفتابگردان در شرایط تنش خشکی مشاهده کردند که اثر زئولیت و تنش خشکی بر وزن خشک نهایی معنی‌دار بود.



شکل ۴. هدایت روزنه‌ای ارزن پروسو در رژیم‌های آبیاری و کاربرد مقادیر مختلف زئولیت (در هر نمودار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند)

Fig. 5. Stomatal conductance (after and befor of irrigation) of Proso millet in irrigation and zeolite treatments (in each graph means with same letterhave no significant difference (LSD, 0.05))

همچنین نتایج پژوهش زاهدی و همکاران (Zahedi et al., 2009) نشان داد بین کاربرد زئولیت و عدم کاربرد آن در گیاه کلزا اختلاف معنی‌داری در زیست‌توده وجود داشت. در شرایط محدودیت آب در اثر کاهش سطح برگ و درنتیجه آن کاهش دریافت انرژی نورانی از یک‌سو و بسته شدن روزنه‌ها و عدم دسترسی به دی‌اکسید کربن از سوی دیگر، تولید مواد پرورده در گیاه کاهش می‌یابد و نتیجه این امر کاهش زیست‌توده خواهد بود. دراین‌بین زئولیت با جذب رطوبت و آزادسازی تدریجی آن در کاهش اثرات زیان‌بار تنش خشکی مؤثر خواهد بود.

اثر تیمار آبیاری، زئولیت و برهمکنش آبیاری و زئولیت بر عملکرد دانه ارزن معنی‌دار بود (جدول ۲). در هر سه سطح کم‌آبیاری، عملکرد دانه در شرایط کاربرد یک کیلوگرم زئولیت بر مترمربع بیشتر بود. بیشترین درصد کاهش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و عدم کاربرد زئولیت)، در تیمار آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و عدم استفاده از زئولیت (۷۷ درصد) مشاهده شد. همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است عملکرد دانه در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و یک کیلوگرم زئولیت بر مترمربع (با میانگین ۹۵/۸ گرم در مترمربع) با شرایط تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی و عدم استفاده زئولیت (با میانگین ۹۵/۵ گرم در مترمربع) برابر

www.SID.ir

Archive of SID

است، بدان معنا که با مصرف میزان کمتر آب و کاربرد زئولیت، می‌توان به همان میزان عملکرد دانه دست‌یافت.

بروز اثرات تنش خشکی بر عملکرد دانه به عوامل متعددی ازجمله بسته شدن روزنه‌ها و به دنبال آن اختلال در جذب دی‌اکسید کربن وابسته است. همان‌طور که در بالا اشاره شد کمبود میزان آب در خاک باعث کاهش هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب و پایداری غشاء شد که این عوامل به‌نوبه خود باعث کاهش جذب دی‌اکسید کربن و همچنین کاهش کارایی فتوسنتز و خسارت ساختاری به غشاها می‌گردد.

جدول ۱. میانگین زیست‌توده، عملکرد دانه و شاخص برداشت ارزن پروسو در رژیم‌های آبیاری و کاربرد مقادیر مختلف زئولیت

Table 3. Means of biological yield, grain yield and harvest index ofProso millet in irrigation and zeolite treatments

آبیاری Irrigation	زئولیت Zeolite ($kg.m^{-2}$)	زیست‌توده Biomass ($g.m^{-2}$)	عملکرد دانه Grain yield ($g.m^{-2}$)	شاخص برداشت Harvest index
100%FC	0	313.0 b	149.0 b	0.48 a
	0.5	320.0 b	159.6 a	0.50 a
	1	337.5 a	156.3 ab	0.46 a
75%FC	0	290.3 c	95.5 d	0.33 cde
	0.5	274.0 de	96.9 d	0.35 bc
	1	289.3 c	115.4 c	0.4 0b
50%FC	0	259.2 ef	77.8 e	0.30 de
	0.5	270.5 de	75.9 e	0.28 ef
	1	280.4 cd	95.8 d	0.34 cd
25%FC	0	264.9 e	34.0 g	0.13 h
	0.5	235.3 g	42.7 g	0.18 g
	1	248.4 fg	61.3 f	0.25 f

برای هر صفت میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند

For each traits means with same letter have no significant difference (LSD, 0.05)

کاهش عملکرد دانه در اثر محدودیت آب در ارزن توسط سایر پژوهشگران نیز بیان شده است (Bruck et al., 2000). همچنین پژوهشگران بیان کردند که کاربرد زئولیت باعث تعدیل اثرات تنش خشکی شده است. به‌عنوان‌مثال مصرف زئولیت در شلغم روغنی (*Brassica rapa*) باعث شد عملکرد دانه در اثر تنش خشکی کمتر کاهش یابد (Shojaee et al., 2012). در گیاه کلزا (*Brasica napus*) و ماش (*Vigna radiate*) نیز کاربرد زئولیت باعث کاهش افت عملکرد دانه در اثر تنش خشکی شد (Safaee et al., 2008; Bahador et al., 2015) و دلیل این امر قابلیت نگه‌داری بیشتر آب در خاک در شرایط کاربرد زئولیت بیان شد (Bahador et al., 2015).

نتایج نشان داد اثر آبیاری، زئولیت و برهمکنش آبیاری و زئولیت بر شاخص برداشت ارزن معنی‌دار بود (جدول ۲). کاهش آب مصرفی باعث کاهش شاخص برداشت شد اما در همه سطوح کم‌آبیاری، بیشترین شاخص برداشت از تیمار کاربرد یک کیلوگرم زئولیت بر مترمربع به دست آمد (جدول ۳). کاهش شدیدتر عملکرد دانه نسبت به زیست‌توده در اثر محدودیت آب، منجر به کاهش شاخص برداشت شده است. بیشترین درصد کاهش شاخص برداشت (۷۳ درصد) نسبت به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد زئولیت) در برهمکنش تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد زئولیت به ثبت رسید. کمبود آب به فرآیندهای تولیدی گیاه آسیب وارد می‌کند و کاربرد زئولیت تا حدودی این آسیب‌ها را کاهش می‌دهد. با توجه به کاهش شاخص برداشت در اثر تنش خشکی چنین استنباط می‌گردد که محدودیت آب بر تولید عملکرد دانه (رشد زایشی) اثر بیشتری نسبت به رشد رویشی داشته و آن را با شدت بیشتری کاهش داده است.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش نشان داد کم‌آبیاری بسیاری از شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک ارزن را کاهش و باعث کاهش راندمان تولید در گیاه می‌گردد. کاربرد زئولیت موجب می‌شود رطوبت موجود در خاک جذب و حفظ شود و به‌صورت تدریجی در اختیار گیاه قرار گیرد و بدین‌صورت تا حدودی اثرات منفی تنش خشکی تعدیل می‌یابد. درنهایت کاربرد یک کیلوگرم زئولیت بر مترمربع در تخفیف اثر تنش خشکی در تولید گیاه ارزن تحت شرایط کم‌آبیاری را می‌توان مدنظر قرار داد.

منابع

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome

Bahador, M., Abdali Mashhadi, A., Siadat, S.A., Fathi, GH, Lotfi Jalalabadi, A., 2015. Effect of Zeolite and seed priming on grain nitrogen content, leaf chlorophyll and traits dependent to grain yield of Mung bean (*Vigna radiata* L.) cultivars. Journal of Crop Production and Processing 4(11), 137-147. [In Persian with English Summary].

Bahador, M., Tadayon, M.R., 2017. Study the effect of zeolite on mitigation of deficit irrigation stress and improve functions of hemp plant. Journal of Plant Process and Function 6(21), 127-142. [In Persian with English Summary].

Bahador, M., Tadayon, M.R., Rafie-alhoseini, M., Salehi M. H. 2017. Changes of canopy temperature and some physiological traits of hemp (*Cannabis sativa*) under deficit water stress and zeolite rates. Environmental Stresses in Crop Sciences. 10(2), 269-279. [In Persian with English Summary].

Bruck, H., Payne, W.A., Sattelmacher, B., 2000. Effects of phosphorus and water supply on yield, transpiration, water –use efficiency and carbon isotope discrimination of pearl millet. Crop Science. 40, 120-125

Earl, H.J., Davis, R.F., 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. Agronomy Journal. 95, 688-696

Gardner, F.P., Pearce, R.B., Mitchell R.L., 2003. Physiology of Crop Plants. Iowa: Iowa State University Press.Iowa

Ghassemi-Golozani, K., Ghanehpoor, S., DabbaghMohammadi-Nasab, A., 2009. Effect of water limitation on growth and grain filling of faba bean cultivars. Journal of Food, Agriculture & Environment. 7, 442-447

Gholamhoseini, M., Agha Alikhani, M., Malakouti, M.J., 2008. Effect of zeolite in decreasing nitrogen leaching on a sandy soil under forage rapeseed cultivation. Journal of Soil Research (Water and Soil Sciences). 23(1), 49-60. [In Persian with English Summary].

Golombek, S., Al-Ramamneh, E.A.D., 2002. Drought tolerance mechanisms of pearl millet. University of Kassel, Institute of Crop Science, Germany. October 9-11

Iramki, S.D., Haman, D.Z., Bastug, R., 2000. Determination of crop water stress index for irrigation timing and yield estimation of corn. Agronomy Journal. 92, 1221-1234.

Karimzadeh Soureshjani, H., Nezami, A., Kafi, M., Tadayon, M.R., 2016. Investigation of changes in stomatal conductivity, canopy temperature and relative leaf water content of pinto bean genotypes. Crop Physiology Jounal 8(30), 105-120. [In Persian with English Summary].

Khazaie, H.R., Mohammadabadi, A.A., Borzooei, A., 2005. The effect of drought stress on morphological and physiological characteristics of millets. Iranian Journal of Field Crops Research. 3(1), 35-44. [In Persian with English Summary].

Mehrpooyan, M., Faramarzi, A., 2011. Effect of different level of deficit irrigation on quantitative yield and water use efficiency of millet and sorghum. Journal of Plants and Ecosystems. 7, 60-71. [In Persian with English Summary].

Moori, S., Emam, Y., Karimzadeh Soureshjani, H., 2012. Effect of cutting of irrigation on physiologic traits and yield of wheat genotypes in Shiraz. Journal f Crop Production and Processing. 4, 105-118. [In Persian with English Summary].

www.SID.ir

Archive of SID

Nazari Nasi, H., Jabari, F., Azimi, M.R., Norouzian, M., 2012. Effect of drought stress on cell membrane stability, photosynthesis rate, relative water content and grain yield of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. Iranian Journal of Field Crop Science 41(3), 491-499. [In Persian with English Summary].

Ourcut, D., Nilsen, E.T., 2009. Salinity and drought stress. In: Physiology of Plants under Stress. pp, 177-235

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

Ramirez-Vallejo, P., Kelly, J.D., 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica. 99, 127–136

Rigoberto, R.S., Joseu, K.S., Jorge Alberto, A.G., Carlos, T.L., Joaquin, O.C., Kelly, J.D., 2004. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. Field Crops Research. 85(6), 203-211

Rosales, M.A., Ocampo, E., Rodríguez-Valentín, R., Olvera-Carrillo, Y., Acosta-Gallegos, J., Covarrubias, A.A., 2012. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. Plant Physiology and Biochemistry. 56, 24-34

Safaee, R., Shirani Rad, A.H., Mirhadi, M.J., Delkhosh, B., 2008. Effect of zeolite on rape seed cultivar in drought stress condition. Journal of Plant Ecology. 15, 63-79. [In Persian with English Summary].

Sairam, R.K., Srivastava, G.C., 2002. Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. Plant Science. 162, 897-904

Seghatoleslami, M.J., Majidi, E., Kafi, M., Noormohammadi, G., Darvish, F., Mousavi, S. G., 2005. Phenological and morphological response of three millets species to deficit irrigation. Journal of Agricultural Science. 11(3), 89- 99. [In Persian with English Summary].

Shojaee, A., Delkhosh, B., Shirani Rad, A.H., Noormohamadi, G., 2012. Evaluation of K and zeolite on turnip in late season drought stress condition. Crop Production in Environmental Stress. 4, 51-64. [In Persian with English Summary].

Tadayon, M.R., Karimzadeh Soureshjani, H., 2017. Effect of zeolite on physiological and biochemical attributes of Proso millet (*Panicum miliaceum*) in deficit irrigation conditions. Iranian Journal of Field Crop Science. 48(2), 443-452. [In Persian with English Summary].

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

www.SID.ir