نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۷، مهر - آبان ۱۴۰۲، ص. ۶۱۰-۵۹۷

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 17, Oct.-Nov. 2023, p. 597-610

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی تأثیر بیوچار و شوری آب آبیاری بر شاخص‌های عملکرد و درصد پروتئین کینوا در شرایط کم‌آبیاری

ام البنین توراج‌زاده[۱]، حلیمه پیری[۲*]، امیر ناصرین[۳]، محمد مهدی چاری[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷

چکیده

این تحقیق باهدف بررسی اثرات شوری آب آبیاری و بیوچار در شرایط کم‌آبیاری بر گیاه کینوا انجام شد. آزمایش در شرایط گلخانه به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تیمارها شامل سه تیمار آب آبیاری (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب، I_1، I_2 و I_3)، سه تیمار بیوچار (صفر، ۲ و ۴ درصد وزنی خاک گلدان به ترتیب B1، B2 و B3) و سه تیمار کیفیت آب (۱، ۴ و ۷ دسی زیمنس بر متر به ترتیب S1، S2 و S3) بود. از زمان کاشت تا زمان استقرار گیاهچه، تمام گلدان‌ها به‌صورت کامل و با آب شیرین و تا حد ظرفیت زراعی آبیاری شد. سپس گلدان‌ها به‌صورت یک روز در میان توزین شده و در هر سطح بیوچار و شوری، کمبود آب تا حد رطوبت بر اساس تغییرات وزن گلدان محاسبه شد. پارامترهای شاخص سطح برگ، وزن سنبله، عملکرد دانه، بهره‌وری مصرف آب و درصد پروتئین دانه در هر گلدان به‌دقت اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد با کاهش آب آبیاری مقدار پارامترهای کمی و عملکرد گیاه کاهش یافت. بیشترین مقدار پارامترها از تیمار ۱۰۰ درصد مقدار آب آبیاری حاصل شد که با تیمار ۸۰ درصد آب آبیاری معنی‌دار نبود. استفاده از بیوچار تا سطح ۲ درصد وزنی خاک باعث افزایش پارامترها شد. کاربرد بیوچار در سطح ۲ و ۴ درصد وزنی به ترتیب ۲۳/۵ و ۱۲/۰۸ پروتئین دانه را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. استفاده از مقدار مناسب بیوچار سبب کاهش اثرات منفی تنش رطوبتی و بهبود شاخص‌های رشد کینوا در مقایسه با شاهد شد. بنابراین کاربرد آن برای گیاه و به ویژه در شرایطی که گیاه تحت تنش خشکی است و یا در گلخانه‌ها و خزانه‌ها به‌منظور کاهش میزان آب مصرفی و بهبود رشد و عملکرد گیاه قابل توصیه می‌باشد. با توجه به اینکه تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد بین تیمار شوری ۲ و ۴ دسی زیمنس بر متر مشاهده نشد و درصد پروتئین دانه در شوری ۴ دسی زیمنس بیشتر از ۲ دسی زیمنس بود، می‌توان از آب با شوری ۴ دسی زیمنس برای آبیاری کینوا استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، شاخص سطح برگ، عملکرد، وزن سنبله

مقدمه

با توجه به رشد روزافزون جمعیت در کشور، نیاز به افزایش تولید محصولات کشاورزی نیز افزایش یافته است. همچنین به‌دلیل محدودیت منابع آبی با کیفیت در کشور و با توجه به این‌که بخش عمده مساحت ایران از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، امکان استفاده ازآب‌های شور و نامتعارف بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است (جمالی و همکاران، ۱۳۹۵). خشکی و شوری دو عامل اساسی در کاهش عملکرد و رشد گیاهان می‌باشند. مهمترین اثری که افزایش شوری آب آبیاری بر بهره‌وری گیاه می‌گذارد، کاهش توانایی گیاه برای رقابت با یون‌های محلول خاک به‌منظور جذب آب موجود در خاک است (Bauder et al., 2006). با افزایش شوری محلول خاک، اگرچه آب در دسترس گیاه است، ولی گیاه عامدانه یا عالمانه از آن استفاده نمی‌کند. افزون بر این شوری آب سبب کاهش مقاومت روزنه‌ای گیاه، آسیب رسانی به سلول‌های برگ و اخلال در فتوسنتز برگ‌ها می‌شود (Munns, 2005). از آن جا که میزان آب تعرق یافته از طریق گیاه با عملکرد محصول رابطه مستقیمی دارد، بنابراین آبیاری گیاهان با آب شور سبب کاهش عملکرد محصولات کشاورزی

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲ - دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۳ - استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان. ملاثانی، ایران
۴ - دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: H_piri2880@uoz.ac.ir)
DOR: 20.1001.1.20087942.1402.17.4.1.1

می‌شود (Bauder et al., 2006). تنش خشکی نیز از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی است که ۴۰ تا ۶۰ درصد اراضی کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به این موضوع که بخش کشاورزی با این واقعیت روبرو است که در آینده نزدیک بایستی ضمن مصرف آب کمتر، تولید بیشتری را عرضه نماید، بنابراین، تحقیق و مطالعه در مورد راهبردهای افزایش بهره‌وری آب، نقش حیاتی در توسعه کشاورزی خواهد داشت (Zhang et al., 2010). اعمال مدیریت صحیح آبیاری و کاشت گیاهان مقاوم به خشکی، به‌منظور حفظ ذخیره رطوبتی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک ازجمله اقدامات مؤثر برای افزایش بازدهی مصرف آبیاری و در نتیجه بهبود بهره‌برداری از منابع محدود آب کشور می‌باشد.

کینوا یکی از گیاهان نسبتا مقاوم به شوری و کم‌آبی می‌باشد. کینوا با نام علمی (*Chenopodium quinoa Willd.*) یک گیاه دولپه‌ای است که از کوه‌های آند کرانه غربی آمریکای لاتین (جنوبی) منشا گرفته است (Jacobsen et al., 2005). کینوا از گیاهان زیرخانواده اسفناج و چغندرقند بوده و با وجود ارزش غذایی بالایی که دارد، در شرایطی که اراضی دارای حاصلخیزی کم و یا دارای محدودیت هستند، به‌خوبی قابل کشت بوده و محصول مناسب تولید می‌کند. این گیاه مقاومت زیادی در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌های غیرزنده مانند سرما، شوری و خشکی از خود نشان می‌دهد. همچنین این گیاه قابلیت رشد در خاک‌های حاشیه‌ای را به خوبی دارا می‌باشد (Jacobsen et al., 2009). کینوا گیاهی است که علاوه بر دانه آن، از برگ گیاه جوان به‌عنوان سبزی تازه و یا به‌صورت پخته استفاده می‌شود (سپهوند و همکاران، ۱۳۹۴). دانه کینوا منبع غنی از طیف گسترده ای از مواد معدنی، ویتامین‌ها، روغن با کیفیت بالا، پروتئین و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی است (Repo Carrasco et al.,2003). این گیاه با بارش حداقل ۲۰۰ میلی‌متر در سال رشد می‌کند (Aguilar et al., 2006). کینوا بذرهای کوچک و به رنگ‌های متنوع از سفید تا تیره دارد. بذرها در گل‌آذین خوشه‌ای قرار دارند. این گیاه مانند گندم خودگرده‌افشان بوده و گاهی اوقات ۱۰ تا ۱۵ درصد گرده‌افشانی از خود نشان می‌دهد. طول دوره رشد این گیاه بین۹۰ تا ۱۲۰ روز متغیر است (Bilalis et al., 2012).

ایران دارای تنوع اقلیمی فراوانی است به‌عنوان مثال کشت کینوا از نظر تولید به‌خصوص در مناطق جنوبی موجب ایجاد تنوع در محصولات زراعی، تولید پایدار و ایجاد افزایش درآمد کشاورزان و امنیت غذایی خواهد شد. از آنجا که کینوا گیاهی دارویی و فاقد گلوتن است، از نظر غذایی ارزشمند بوده و به سلامت جامعه کمک خواهد کرد (Bonales-Alatorre et al., 2013). گزارش‌های متعددی بیانگر کاهش رشد و گیاه در نتیجه شرایط نامساعد و قرار گرفتن در شرایط تنش شوری و خشکی می‌باشد. بررسی اثر کم‌آبیاری بر کینوا در برزیل نشان داد کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد باعث کاهش ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه و برگ و وزن سنبله شد (Jayme-Oliveira et al., 2017). علی و همکاران در تحقیق خود بیان داشتند کاربرد شوری و کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد، ریشه و وزن اندام هوایی کینوا در شرایط اقلیمی عربستان شد (Aly et al., 2018). جمالی و همکاران (۱۳۹۵) سطوح مختلف شوری آب آبیاری را بر جوانه‌زنی و شاخص‌های رشد کینوا مورد بررسی قرار دادند. ایشان بیان داشتند اثر شوری آب آبیاری بر طول ساقه‌چه و وزن تر گیاه‌چه معنی‌دار بود. القصیبی و همکاران با بررسی اثر شوری آب بر گیاه کینوا نشان دادند بیشترین وزن هزاردانه (۳/۴۹ گرم) در شوری ۱/۲۵ دسی زیمنس و کمترین آن (۷۹۲ گرم) در شوری ۴ دسی زیمنس بر متر به‌دست آمد (Algosaibi et al., 2015). همان‌طور که مشاهده شد شوری و کم‌آبی بر شاخص‌های رشدی و عملکرد گیاه کینوا تأثیر معنی‌داری داشتند. بنابراین ضروری است در این شرایط با استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک اثرات این تنش‌ها را کاهش داد. یکی از اصلاح‌کننده‌هایی که جهت افزایش نگهداشت آب در خاک استفاده می‌شود بیوچار (زغال زیستی) می‌باشد (Li et al., 2018). زغال زیستی (بیوچار) از اصلاح‌کننده‌هایی می‌باشد که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. بیوچار زغال تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که سوختن آن‌ها در حضور کم و یا عدم حضور اکسیژن با فرآیند موسوم به پیرولیز انجام می‌شود (Glaser and Birk, 2012). توانایی بالای این ماده در جذب و نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از آبشویی آن‌ها، جذب فلزات سمی و کودهای شیمیایی باعث افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود (Berek et al., 2011). بیوچار با تأثیر بر مواد معدنی مانند کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم و گوگرد به‌صورت مستقیم موجب افزایش رشد گیاه شده و همچنین به‌صورت غیرمستقیم، با تأثیر بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، زمینه‌ی افزایش رشد گیاه را فراهم می‌آورد. شواهد نشان می‌دهد اضافه کردن این ماده به خاک محصول گیاه را افزایش می‌دهد و آبشویی مواد مغذی را کاهش داده و فعالیت-های میکروبی خاک را تحریک می‌کند (Quilliam et al., 2012). میر و همکاران (۱۴۰۰) اثر بیوچار گندم بر گیاه کارلا را در شرایط کم‌آبی مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد مصرف بیوچار تا سطح ۴ درصد وزنی، در شرایط تنش آبی، باعث افزایش عملکرد کمی و کیفی کارلا شد. مصرف بیشتر بیوچار (۵ درصد وزنی) به دلیل افزایش شوری خاک، باعث کاهش عملکرد کمی و کیفی کارلا شد. عباس‌پور و همکاران (۱۳۹۸) اثر بیوچار بر حاصلخیزی خاک و کارایی مصرف آب در گیاه سیاهدانه را در شرایط تنش خشکی مورد بررسی قرار دادند. ایشان بیان داشتند استفاده از بیوچار در مناطق خشک و نیمه‌خشک علاوه بر بهبود خصوصیات خاک، جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش داده و با تأثیر بهینه بر عملکرد،

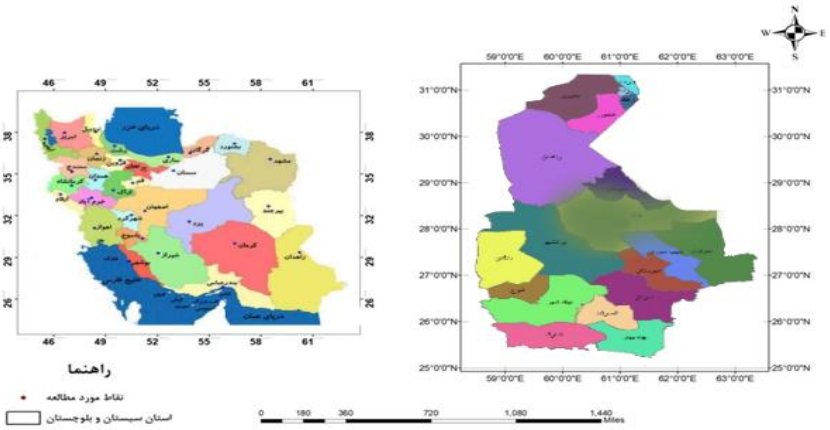
میزان آب مصرفی در سیاهدانه را کاهش داده و باعث صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود. محکمی و همکاران (۱۴۰۱) اثر بیوچار و ورمی-کمپوست را بر پارامترهای کمی و کیفی کینوا در شرایط تنش آبی مورد بررسی قرار دادند. نتیجه تحقیق ایشان نشان داد کاربرد کود آلی بیوچار و ورمی‌کمپوست از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و همچنین عناصر غذایی خاک باعث بهبود رشد و نمو گیاه کینوا در شرایط تنش خشکی می‌شود.

منطقه سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان یکی از مناطق مهم استان است که در سال‌های اخیر کشت کینوا در آن انجام می‌گیرد. کمبود آب در دشت سیستان، یک مسئله جدی و دارای اهمیت است. تنها منبع آب منطقه، رودخانه هیرمند است که از کوه-های بابا یغمای افغانستان سرچشمه می‌گیرد و بحران آب منطقه، ناشی از کمبود آب در این رودخانه است به‌گونه‌ای که عدم تأمین آب هیرمند منجر به نابودی کشاورزی منطقه گردیده است. در این منطقه اراضی زیادی وجود دارد که قابل زرع می‌باشد اما به خاطر کمبود منابع آب به صورت بایر رها شده‌اند. بنابراین باید دنبال راهکاری بود که با حفظ شرایط پایدار در منابع آب و خاک منطقه از لحاظ اقتصادی موجب توسعه کشاورزی شود. تدوین برنامه آبیاری و اعمال مدیریت صحیح آبیاری در این منطقه می‌تواند از زیان‌های ناشی از کمبود منابع آب در منطقه بکاهد. بعضی از کشاورزان منطقه جهت آبیاری اراضی کشاورزی از چاهک‌های سطحی که در مزارع آن‌ها حفر شده است، استفاده می‌کنند. آب این چاهک‌ها معمولا از نظر کیفی پایین و شور می‌باشد. استفاده از این آب‌ها باعث کاهش عملکرد گیاهان و درنهایت شوری خاک می‌شود. با توجه به کمبود آب در منطقه و وجود آب‌های با کیفیت پایین، کشت گیاهان مقاوم به تنش آبی و شوری و مدیریت آبیاری آن به‌گونه‌ای که تأثیری در عملکرد کمی و کیفی گیاه نداشته باشد از مهمترین مسائل می‌باشد. لذا در این تحقیق به بررسی تأثیر شوری و بیوچار بر عملکرد کمی و کیفی گیاه کینوا تحت شرایط کم‌آبی پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهرستان زابل با موقعیت جغرافیایی ۶۱ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و یک دقیقه عرض شمالی می‌باشد. زابل با ارتفاع ۴۸۷ متر از سطح دریا، بارندگی سالیانه کمتر از ۵۵ میلی‌متر و آب و هوایی گرم و خشک در شمال استان سیستان و بلوچستان قرار دارد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل۱- منطقه مورد مطالعه

تیمارها و اجرای مراحل زراعی

به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پیش از مراحل آماده‌سازی زمین نمونه‌های خاک از اعماق ۰ تا ۳۰ سانتی-متری خاک برداشت شد و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد. همچنین از آب مورد استفاده نیز جهت تعیین کیفیت آن نمونه‌برداری شد. برای تهیه بیوچار در این تحقیق از شاخ و برگ خشک شده درختان جنگلی استفاده شد. ابتدا شاخ و برگ‌های خشک شده بسته بندی شده و سپس در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و در شرایط بدون اکسیژن حرارت داده شد. نتایج تجزیه آب و خاک و بیوچار مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

تحقیق در قالب طرح فاکتوریل کاملا تصادفی در نیمه دوم آبان ۱۴۰۰ در گلخانه اجرا شد. تیمارها شامل سه تیمار آب آبیاری (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد مقدار آب آبیاری به‌ترتیب، I_1، I_2 و I_3)، سه سطح شوری (۱، ۴ و ۷ دسی زیمنس بر متر به‌ترتیب S_1، S_2 و S_3) و سه سطح بیوچار (۰، ۲ و ۴ درصد وزنی خاک گلدان به ترتیب B1، B2 و B3) بود. گلدان‌های مورد استفاده در تحقیق با قطر و ارتفاع ۲۰سانتی‌متر

بود. گلدان‌ها با خاک با بافت لوم شن عبور داده شده از الک ۲ میلی-متری پر شد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، آب و بیوچار

پارامترهای اندازه‌گیری شده	خاک	آب			بیوچار
		S1	S2	S3	
pH	۸/۳	۷/۸۱	۷/۴۲	۷/۱۲	۷/۳
هدایت الکتریکی EC (ds/m)	۰/۵۸	۱	۴	۷	۶/۱
کربن آلی (درصد)	۱/۳۶	–	–	–	۵۷/۵
فسفر (meq/lit)	۰/۶۳	۰/۲۶	–	–	۱۰/۹
پتاسیم (meq/lit)	۰/۷۸	۰/۴۱	۰/۶۵	۰/۷۴	۸۵/۴
کلسیم (meq/lit)	۰/۴۲	۴/۳۵	۴/۲۵	۴/۶۴	۱۷/۵
منیزیم (meq/lit)	۰/۷۵	۲/۹۵	۳/۷۴	۴/۱۶	۱۱/۶
سدیم (meq/lit)	۰/۶۳	۱۰	۲۱/۸۷	۴۴/۹۵	۳/۷
نیتروژن کل (درصد)	۰/۰۲	–	–	–	۲۹/۵
SAR	–	۵/۱	۱۰/۴	۲۲/۴	–

کود نیتروژن از منبع اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت سرک در سه مرحله یک‌سوم همزمان با کاشت، یک‌سوم مرحله رویشی(شاخه دهی) و یک‌سوم زمان گلدهی(۵۰ درصد گلدهی گیاه)، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم از نوع سولفات پتاسیم و کود فسفر از نوع سوپرفسفات تریپل به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار همزمان با کاشت به خاک اضافه شد. خاک‌های منطقه سیستان از نظر نیتروژن و درصد مواد آلی، خاک‌های فقیری می‌باشند و بر اساس عرف منطقه این مقدار کود به گیاه داده شد. ابتدا گلدان‌ها به‌صورت کامل اشباع شد. روی گلدان‌ها جهت جلوگیری از تبخیر آب پوشانده شد. خروج آب ثقلی از انتهای گلدان در بازه‌های زمانی مشخص تا زمانی که خروج آب ثقلی متوقف شود، اندازه‌گیری شد. وزن گلدان در این حالت به‌عنوان وزن در حالت ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد. در هر گلدان تعداد هشت عدد بذر کینوا رقم Titicaca در عمق ۲ سانتی‌متری از خاک کاشته شد. بوته‌های اضافی پس از استقرار گیاه در مرحله چهاربرگی به سه گیاه در گلدان تقلیل یافت. از زمان کاشت تا زمان استقرار گیاهچه، تمام گلدان‌ها به صورت کامل و با آب شیرین و تا حد ظرفیت زراعی آبیاری شد. سپس گلدان‌ها به‌صورت یک روز در میان توزین شده و در هر سطح بیوچار و شوری، کمبود آب تا حد رطوبت زراعی براساس تغییرات وزن گلدان محاسبه شد و سپس بر اساس سطح تیمار آبیاری، آبیاری انجام گرفت. میزان کل آب مصرفی طی دوره رشد از مجموع آب مصرفی در تمام روزهای دوره رشد به‌دست آمد. با توجه به اینکه رطوبت به صورت کمبود رطوبت گلدان نسبت به رطوبت ظرفیت زراعی اندازه گیری شد و این کمبود رطوبت به عنوان آب آبیاری به گیاه داده شد، مقداری برای LF درنظر گرفته نشده است. در شرایط زراعی مشابه جهت جلوگیری از شوری خاک باید مقداری آب به‌عنوان آبشویی در نظر گرفته شود. شکل ۲ مراحل مختلف رشد گیاه را نشان می‌دهد.

نمونه‌برداری گیاهی

پس از اتمام دوره‌ی رشدی گیاه و رسیدگی فیزیولوژیکی دانه گیاهان، در نیمه اول فروردین ۱۴۰۱ گیاهان کف‌بر شد؛ لازم به ذکر است که در طول دوره رشد نیز برای اندازه‌گیری برخی صفات مورد پژوهش برخی از گیاهان برداشت شدند. پارامترهای شاخص سطح برگ، وزن سنبله، عملکرد، بهره‌وری مصرف آب آبیاری و پروتئین دانه هر گلدان به‌دقت اندازه‌گیری شد. پروتئین دانه به روش استون و گیفورد اندازه‌گیری شد (Stone and Gifford, 1997). در پایان بعد از جمع آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودار با استفاده از نرم افزار Excel انجام گرفت.

بهره‌وری آب (WP)

عبارت است از: نسبت محصول تولید شده به آب آبیاری. از رابطه (۱) به دست آمد (Payero et al., 2009).

$$WP = \frac{Y}{IR} \quad (۱)$$

در این رابطه، WP: بهره‌وری مصرف آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب) Y: مقدار محصول برداشت شده (کیلوگرم در هکتار) IR: مقدار آب آبیاری (مترمکعب)

شکل ۲- مراحل مختلف رشد گیاه

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد اثر کم‌آبیاری، شوری و بیوچار بر پارامترها در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی‌دار بوده است. جداول ۳ تا ۶ به‌تر تیب مقایسه میانگین و اثرات متقابل پارامترهای اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

شاخص سطح برگ: شاخص سطح برگ بیان‌کننده نسبت سطح برگ به زمینی است که آن برگ‌ها اشغال می‌کنند (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۸۶). این شاخص رشد گیاه و عملکرد نهایی ماده خشک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مقادیر آب ابیاری در سطح احتمال ۵ درصد بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). با کاهش عمق آب آبیاری شاخص سطح برگ کاهش یافت. بیشترین شاخص سطح برگ (۴۷/۱۹ سانتی‌مترمربع) از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه (۴۱/۰۱ سانتی‌مترمربع) تفاوت معنی-دار نداشت. کاهش شاخص سطح برگ گیاه کینوا در شرایط تنش آبی را می‌توان به کاهش رشد طولی، کاهش تعداد شاخه‌های جانبی و ریزش برگ‌های پایینی نسبت داد. گسترش برگ حساس‌ترین عامل در پاسخ به کمبود آب بوده (Sun et al. 2014) و بستگی به فشار آماس سلولی، دما و جذب کافی منابع برای رشد دارد (Anjum et al., 2011)، کمبود آب باعث کاهش تعداد برگ در بوته، اندازه برگ-ها و طول عمر آن‌ها شده (Anjum et al., 2011) و در نهایت باعث کاهش سطح برگ می‌شود. تحقیقات مختلفی در خصوص کاهش سطح برگ کینوا در شرایط تنش آبی ارائه شده است (Sun et al., 2014; Salek Mearaji et al., 2020). مطابق جدول ۳ سطوح مختلف کیفی آب بر شاخص سطح برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. استفاده از آب شور باعث کاهش سطح برگ شد. تفاوت معنی‌دار بین آب با کیفیت ۱ و ۴ دسی زیمنس بر متر مشاهده نشد. سطح برگ، یکی از حساسترین اندام هوایی به شوری بوده (Parida and Das, 2005) و کاهش آن با افزایش سطح شوری آب آبیاری در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (Huang et al., 2012).

استفاده از بیوچار نیز تأثیر معنی‌دار بر شاخص سطح برگ داشت. سطح ۲ درصد وزنی بیوچار بیشترین شاخص سطح برگ (۴۷/۱۲ سانتی‌مترمربع) را دارا بود. تیمار عدم مصرف بیوچار شاخص سطح برگ بیشتری نسبت به تیمارهای ۴ درصد وزنی بیوچار داشت اما این مقدار معنی‌دار نبود. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۴) نشان داد در تمامی سطوح آبیاری بیشترین شاخص سطح برگ با مصرف ۲ درصد وزنی و کمترین آن با مصرف ۴ درصد وزنی بیوچار به‌دست آمد. بیشترین مقدار شاخص سطح برگ از تیمار I3B2 (۵۰/۱۱ سانتی‌متر مربع) به‌دست آمد اما با تیمار I2B2 (۴۹/۱۸ سانتی‌متر مربع) تفاوت معنی‌دار نداشت.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات و درجه آزادی) پارامترهای اندازه‌گیری شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص سطح برگ	وزن سنبله	عملکرد	بهره‌وری مصرف آب	پروتئین
تکرار (R)	۲	۱/۲۷۸ns	۵۴۹۵/۰۱۴ns	۱۲۷۸/۳۲ns	۳/۳۹ns	۱/۵۵ns
آب آبیاری(A)	۲	۲۹۱/۸۲۷**	۴۰۹۶۷/۲۱۵**	۲۴۶۱۳/۶۴**	۱۲/۰۴**	۵۴۷/۳۳**
بیوچار (B)	۲	۱۱۵/۴۳**	۰/۸۵*	۳۴۱۷/۱۲*	۰/۹۶*	۳۲۵/۷۳*
اثر متقابل (B× A)	۴	۴۸/۱۴*	۸۵۴۱/۸۱**	۷۲۵۳/۴۸*	۱۰/۴۹**	۱۱۵/۰۹**
شوری(S)	۲	۶۲۵/۸۴۷**	۱۰۴۷۱/۳۱۵**	۳۹۷۲۱/۶۵*	۱۶/۵۵**	۱۸۷/۰۰۲**
اثر متقابل (S× A)	۴	۱۴/۴۲*	۶۵۲۳/۷۱**	۴۳۸۵/۵۷**	۶/۴۶**	۴۴۱/۸۸**
اثر متقابل (S× B)	۴	۸۵/۲۹**	۴۲۱۵/۶۳**	۲۹۳۶/۸۴**	۷/۵۱۶**	۲۵۸/۸۴**
اثر متقابل (B ×S× A)	۸	۱۲۴/۶۹**	۲۸۴۷/۱۲*	۱۷۳۵۲/۰۸*	۶/۱۷**	۷۸/۳۳**
خطا	۱۶	۱۲/۱۸	۱۰۲۵/۷۵	۵۰۱۳/۱۴	۱/۵۶	۱۲/۹۵
ضریب تغیرات (CV)		۹/۵۶	۱۰/۱۷	۹/۶۳	۱۰/۱۶	۱۱/۵۲

*و **معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده

تیمارهای آزمایشی		شاخص سطح برگ (سانتی‌مترمربع)	وزن سنبله (گرم)	عملکرد دانه (کیلوکرم در هکتار)	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	پروتئین (درصد)
آب آبیاری	I1	۳۶/۱۴b	۲۰۵/۴۷b	۹۵۹/۷۶b	۱۰/۳۲a	۱۶/۰۴b
	I2	۴۱/۰۱ab	۲۳۰/۶۱ab	۱۱۸۹/۴۶ab	۹/۰۵ab	۲۰/۹۹a
	I3	۴۷/۱۹a	۲۸۸/۸۱a	۱۳۵۰/۱۲a	۸/۱۲b	۱۹/۹۳a
بیوچار	B1	۴۰/۴۹b	۲۳۱/۰۵b	۹۶۷/۸۶b	۷/۶۹b	۱۶/۵۵b
	B2	۴۷/۱۲a	۳۰۵/۷۳a	۱۳۸۶/۴۵a	۱۰/۳۵a	۲۰/۴۴a
	B3	۳۸/۳۴b	۲۵۸/۸۸b	۹۸۵/۲۷b	۷/۸۷b	۱۸/۵۵ab
شوری	S1	۵۵/۲۳a	۳۰۴/۸۶a	۱۲۱۹/۷۵a	۹/۱۴a	۱۸/۴۶ab
	S2	۴۳/۹۱ab	۲۶۸/۳۹ab	۱۰۴۷/۳۲ab	۸/۱۲ab	۲۱/۰۸a
	S3	۳۰/۰۳c	۲۰۵/c۸۹	۷۵۸/۶۳c	۶/۶۸b	۱۶/۸۱b

کاربرد کودهای آلی از طریق کاهش شدت تنش، بهبود رشد شاخساره و تحریک تولید شاخه‌های جانبی سبب افزایش شاخص سطح برگ می‌شود. افزایش سطح برگ با مصرف کودهای آلی علاوه بر افزایش تولید برگ می‌تواند به دلیل افزایش دوام سطح برگ و تأخیر در پیری و زرد شدن برگ‌ها باشد (Hakan, 2002). اثرات متقابل آب آبیاری و شوری (جدول ۵) نشان داد شاخص سطح برگ با کاهش عمق آب آبیاری و افزایش شوری کاهش یافته است که می‌توان آن را به کاهش دوام سطح برگ در اثر کم آبی و خشک شدن برگ‌ها نسبت داد. تیمار I3S1 با ۵۴/۳۲ سانتی‌متر مربع بیشترین شاخص سطح برگ را داشت که با تیمار I2S1 (۵۰/۱۸ سانتی‌مترمربع) تفاوت معنی‌دار نداشت. تیمار I1S3 کمترین شاخص سطح برگ (۲۸/۷۶ سانتی‌متر مربع) را دارا بود. تنش اسمزی ناشی از شوری، با افزایش آستانه فشار آماس لازم برای رشد سلول‌های برگ (Croser et al., 2001) و کاهش فضای بین سلولی از یک سو و ایجاد مسمومیت یونی ناشی از تجمع یون‌های سدیم و کلر و در نتیجه، صدمه به غشاها و مولکول‌های پروتئینی از سویی دیگر، زمینه لازم برای کاهش سطح برگ را فراهم می‌آورد. کاهش سطح برگ نیز متعاقباً باعث کاهش جذب نور و فتوسنتز و در نهایت کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی لازم برای رشد برگ شده و در نتیجه، توسعه برگ‌های جدید را با مشکل مواجه می‌سازد (حیدری شریف آبادی،۱۳۸۰). اثرات متقابل بیوچار و شوری (جدول ۶) نشان داد با افزایش شوری آب آبیاری و افزایش سطح بیوچار شاخص سطح برگ کاهش یافت به طوری‌که در شرایط استفاده از آب با شوری ۴ و ۷ دسی زیمنس بر متر، عدم مصرف بیوچار (تیمار B1) شاخص سطح برگ بیشتری نسبت به تیمارهای B2 (۲ درصد وزنی بیوچار) و B3 (۴ درصد وزنی بیوچار) داشت. بیشترین (۶۸/۷۵ سانتی‌متر مربع) و کمترین (۳۰/۱۲ سانتی‌متر مربع) به ترتیب از تیمارهای B2S1 و B3S3 حاصل شد.

وزن سنبله: مقایسه میانگین وزن سنبله (جدول ۴) نشان داد آب آبیاری، بیوچار و شوری در سطح احتمال ۵ درصد بر این پارامتر تأثیر معنی‌داری دارند. با کاهش عمق آب آبیاری وزن سنبله کاهش یافت. بیشترین وزن سنبله (۲۸۸/۸۱ گرم) در تیمار آبیاری کامل (I3) مشاهده شد. تأثیر معنی‌داری از این نظر بین تیمار I3 و I2 (۸۰ درصد نیاز آبی) مشاهده نشد. در طول دوره رشد، تقاضا برای دریافت مواد فتوسنتزی جهت پر شدن دانه‌ها و تنفس و نگهداری زیست توده، همزمان افزایش می‌یابد. بنابراین وقوع تنش در هنگام پرشدن دانه‌ها بیشترین تأثیر را بر کاهش وزن دانه و سنبله دارد (محکمی و همکاران، ۱۴۰۱). استفاده ۲ درصد وزنی بیوچار نسبت به تیمار عدم مصرف آن باعث افزایش ۲۴/۴۲ درصدی وزن سنبله شد. مصرف ۴ درصد وزنی بیوچار نسبت به تیمار ۲ درصد وزنی آن موجب کاهش وزن سنبله گردید. کاربرد آب شور وزن سنبله را کاهش داد. استفاده از آب با کیفیت ۴ و ۷ دسی زیمنس بر متر به ترتیب باعث کاهش ۱۱/۹۶ و ۳۲/۴۶ درصدی وزن سنبله شد. به نظر می‌رسد بیوچار سبب ایجاد محیط کشتی مناسب از طریق فراهمی عناصر غذایی و بهبود فتوسنتز، انتقال و ذخیره مواد غذایی در دانه شده و در نهایت منجر به افزایش وزن دانه و سنبله می‌شود. بین تیمار S1 (۱ دسی زیمنس بر متر) با تیمار S2 (۴ دسی زیمنس بر متر) تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه تحت شرایط شوری آب آبیاری را می‌توان ناشی از مضرات شوری، اختلالات تغذیه‌ای و سمیت یونی بر رشد اندام هوایی دانست. با قرار گرفتن گیاه در محیط شور، سرعت رشد برگ‌های در حال توسعه کاهش یافته، ظهور برگ-های جدید آهسته‌تر و درصورت ادامه تنش متوقف شده، تعرق و فتوسنتز برگ‌ها کاهش یافته و پنجه‌ها و شاخساره‌های کمتری تولید می‌شود (جمالی و انصاری، ۱۳۹۸). نباتی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیق خود به نتایج مشابه دست یافتند و بیان داشتند با افزایش تنش شوری وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه کاهش می‌یابد. از دلایل اصلی آسیب نمک در گیاهان، عدم تعادل کاتیون‌ها و آنیون‌های ضروری و تغییر ظرفیت نگهداری آب و سمیت حاصل از غلظت زیاد یون‌های نمک است. نبی‌زده مرودوست و همکاران (۲۰۰۳) علت کاهش وزن دانه و سنبله در گیاه زیره سبز را تغییر در مسیر مواد فتوسنتزی و مواد پرورده جهت مقابله با اثرات تنش شوری بیان کردند (Nabizadeh Marvdust et al.,2003). اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۴) نشان داد در سطوح مختلف آبیاری کاربرد ۲ درصد وزنی بیوچار منجر به افزایش وزن سنبله گردید. در تیمارهای تنش آبی ۶۰ درصد کاربرد ۴ درصد وزنی بیوچار نسبت به تیمار عدم مصرف آن باعث کاهش وزن سنبله شد. علت آن افزایش شدت تنش وارده به گیاه می باشد. در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی، گیاه تنش بیشتری نسبت به تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی دارد. از طرف دیگر استفاده از سطوح بالای بیوچار نیز به دلیل بالا بردن شوری خاک تنش مضاعف بر گیاه ایجاد می کند و وزن سنبله کاهش می یابد. بنابراین می‌توان گفت بیوچار در شدت تنش‌های بالا کارایی موثر ندارد. افزایش وزن سنبله در اثر کاربرد بیوچار در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی به‌علت بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک و تأمین آب و مواد غذایی در خاک و بهبود شرایط رشد گیاه می‌باشد. کاهش وزن آن در سطوح بالاتر بیوچار می‌تواند ناشی از شوری ایجاد شده در سطوح بالای بیوچار باشد (پورمنصور و همکاران، ۱۳۹۸). اثر متقابل آب آبیاری و شوری (جدول ۵) نشان داد با کاهش عمق آب آبیاری و افزایش شوری وزن سنبله کاهش یافت. تیمار I3S1 با وزن سنبله ۳۴۸/۲۵ گرم بیشترین مقدار و تیمار I1S3 با ۱۹۸/۵۴ گرم کمترین مقادیر وزن سنبله را دارا بودند. استفاده از آب شور با کیفیت ۴ دسی زیمنس بر متر (تیمار S2) در سطح آبیاری کامل (تیمار I3) باعث کاهش وزن سنبله گردید اما این کاهش با تیمار I3S1 معنی‌دار نبود. بنابراین می‌توان گفت تأثیر تنش شوری در شرایط آبیاری کامل بر گیاه کاهش می‌یابد. اثر متقابل بیوچار و شوری (جدول ۶) بر وزن سنبله نشان داد در تیمارهای S2 و S3 که گیاه با آب شور آبیاری شد استفاده از بیوچار باعث کاهش وزن سنبله گردید که این کاهش در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. تیمار B2S1 با ۳۴۴/۹۲ و تیمار B3S3 با ۱۳۲/۱۴ گرم به ترتیب بیشترین و کمترین وزن سنبله را دارا بودند. کاهش وزن سنبله در شرایط آب شور و مصرف بیوچار را می‌توان به ایجاد تنش مضاعف بر گیاه نسبت داد. تحقیقات نشان داده است استفاده از بیوچار باعث افزایش شوری خاک می‌شود (پورمنصور و همکاران، ۱۳۹۸) بنابراین می‌توان گفت در شرایط کاربرد آب شور تنش بر گیاه چندین برابر می‌شود.

عملکرد: مطابق جدول ۳ کاهش عمق آب آبیاری باعث کاهش ۱۱/۹ و ۲۸/۹۶ درصدی عملکرد دانه شد اما این کاهش بین تیمار I3 و I2 معنی‌دار نبود. افزایش تنش آبی منجر به کوچک شدن سطح برگ، کاهش شاخص سطح برگ، کاهش وزن سنبله و کوچک شدن دانه و به دنبال آن کاهش عملکرد دانه شد. گزارشات مختلف بیانگرکاهش عملکرد دانه با افزایش تنش خشکی می‌باشد (Elewa et al., 2017; Telahigue et al., 2017). اولین نشانه تنش خشکی در گیاهان کاهش فشار تورگور و در ادامه کاهش رشد سلول‌ها می-باشد. کاهش رشد سلول منجر به کاهش ارتفاع گیاه و کاهش تولید ماده خشک می‌شود. با کاهش رشد سلول، رشد برگ، میزان جذب نور خورشید، فتوسنتز و تولید ماده خشک کاهش می‌یابد (محکمی و همکاران، ۱۴۰۱). کابرد ۲ درصد وزنی بیوچار عملکرد دانه را افزایش داد. استفاده بیشتر بیوچار (تیمار B3) عملکرد دانه را افزایش داد اما با تیمار عدم مصرف بیوچار تأثیر معنی‌دار نداشت که احتمالا به‌دلیل افزایش شوری حاصل از کاربرد مقادیر زیاد بیوچار می‌باشد.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل مقدار آب آبیاری و بیوچار (A×B) پارامترهای اندازه‌گیری شده

تیمارها	شاخص سطح برگ (سانتی‌مترمربع)	وزن سنبله (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	پروتئین (درصد)
I1B1	۳۷/۴۷d	۲۰۲/۱۲d	۶۲۱/۵۷d	۶/۹۴e	۸/۵۳e
I1B2	۳۸/۳۱d	۲۱۵/۷۵dc	۶۹۷/۴۱dc	۷/۱۴de	۱۸/۹۸b
I1B3	۳۵/۳۲de	۱۸۳/۸۵e	۵۴۰/۱۲e	۶/۲۵e	۱۱/۹۱d
I2B1	۴۰/۳۳c	۲۳۳/۸۵c	۷۲۱/۸۲c	۹/۱۱b	۱۵/۵c
I2B2	۴۹/۱۸a	۳۰۹/۹۲a	۱۱۸۶/۶۱a	۱۲/۴۱a	۲۴/۴۴a
I2B3	۴۲/۹۱c	۲۳۵/۷۱c	۷۸۴/۵۳c	۹/۱۸b	۱۲/۶۸cd
I3B1	۴۳/۴۱bc	۲۴۱/۱۱c	۹۸۶/۲۷c	۷/۷۱d	۱۸/۴۱b
I3B2	۵۰/۱۱a	۳۳۴/۳۵a	۱۳۷۱/۲۹a	۸/۳۹c	۲۲/۴۶ab
I3B3	۴۵/۳۵b	۲۸۴/۱۵b	۱۰۰۲/۴۷b	۸/۰۳c	۱۴/۸۳c

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ٥- مقایسه میانگین اثرات متقابل مقدار آب آبیاری و شوری (A×S) پارامترهای اندازه‌گیری شده

تیمارها	شاخص سطح برگ (سانتی‌مترمربع)	وزن سنبله (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	پروتئین (درصد)
I1S1	۴۰/۶۵b	۲۳۲/۵۸b	۱۰۸۵/۲۵b	۱۱/۷۴a	۱۷/۸۵b
I1S2	۳۵/۶۳bc	۲۲۸/۶۹bc	۱۰۱۴/۵۲bc	۱۱/۱۷a	۱۲/۵۸cd
I1S3	۲۸/۷۶d	۱۹۸/۵۴d	۷۲۴/۵۶d	۷/۷۸c	۸/۹۶e
I2S1	۵۰/۱۸a	۳۴۱/۱۶a	۱۳۲۶/۸۵a	۱۰/۶۹a	۱۷/۶۳b
I2S2	۴۰/۶۱b	۲۳۰/۴۷b	۱۰۲۷/۳۹b	۹/۰۸b	۲۳/۵۶a
I2S3	۳۰/۵۶c	۲۲۰/۱۸c	۸۷۶/۴۷c	۷/۰۶c	۱۴/۲۵c
I3S1	۵۴/۳۲a	۳۴۸/۲۵a	۱۳۳۴/۵۷a	۸/۶۱bc	۱۰/۸۵d
I3S2	۴۵/۳۳ab	۲۳۸/۷۴ab	۱۲۵۸/۶۹ab	۸/۱۱bc	۲۰/۷۴ab
I3S3	۳۲/۷۸c	۲۳۴/۳۶c	۹۱۵/۶۸c	۵/۹۱d	۱۵/۴۲c

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل مقدار بیوچار و شوری (B×S) پارامترهای اندازه‌گیری شده

تیمارها	شاخص سطح برگ (سانتی‌مترمربع)	وزن سنبله (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	پروتئین (درصد)
B1S1	۶۰/۵۶ab	۲۹۸/۷۵b	۱۰۵۷/۲۴b	۸/۴۸b	۱۶/۴۷c
B2S1	۶۸/۷۵a	۳۴۴/۹۲a	۱۳۰۲/۵۳a	۱۰/۸۶a	۲۲/۳۲a
B3S1	۵۰/۶۴b	۱۹۴/۲۵c	۸۰۴/۴۹c	۸/۳۹b	۱۸/۱۸b
B1S2	۵۳/۳۷b	۲۰۴/۳۵c	۸۱۷/۳۶c	۸/۳۱b	۲۱/۴۶a
B2S2	۴۷/۱۲c	۱۸۰/۴۱d	۷۵۴/۲۹d	۷/۹۵bc	۲۲/۶۸a
B3S2	۳۷/۱۷d	۱۶۳/۲۱e	۶۲۴/۰۵e	۷/۰۸c	۱۵/۶۲cd
B1S3	۴۲/۴۴c	۱۷۶/۸۵de	۶۹۶/۸۵de	۶/۸۴cd	۱۹/۵۶b
B2S3	۳۴/۵۱df	۱۵۴/۸۷e	۶۰۴/۲۸e	۶/۷۳d	۱۶/۵۳c
B3S3	۳۰/۱۲f	۱۳۲/۱۴f	۵۴۷/۸۱f	۶/۲۲de	۱۲/۳۵d

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

سان و همکاران (۲۰۱۹) هفت سطح بیوچار را بر روی گیاه گندم مورد ارزیابی قرار دادند. نتیجه مطالعه آن‌ها نشان داد کاربرد ۵ تـا ۲۰ تن در هکتار بیوچار باعث افزایش عملکرد گندم شد اما کاربرد بیشـتر از آن موجب کاهش عملکرد گندم شد (Sun t al., 2019). محققـین

بیان داشتند افزایش عملکرد در اثر کاربرد بیوچار در خاک می‌تواند به‌دلیل اثرات مستقیم (عناصر غذایی موجود در زیست توده که طی فرایند تجزیه حرارتی به بیوچار تبدیل شده) و غیرمستقیم (بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک) آن باشد (Major et al., 2010). تیمار B2 با ۱۳۸۶/۴۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین و تیمار B1 با ۹۶۷/۸۶ کیلوگرم در هکتار کمترین مقادیر عملکرد دانه را داشتند. جرم مخصوص ظاهری کم، تخلخل زیاد، ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و ظرفیت نگهداری رطوبت قابل ملاحظه‌ی بیوچار باعث افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و حاصلخیزی خاک، افزایش رشد گیاه و عملکرد می‌شود (FathiGerdelidani and Mirseyed, 2015). محکمی و همکاران (۱۴۰۱) به نتایج مشابهی دست یافتند و بیان کردند استفاده از بیوچار باعث افزایش عملکرد کینوا در شرایط تنش خشکی شد. شوری آب آبیاری باعث کاهش معنی‌دار مقدار عملکرد دانه شد (جدول ۳). آب با کیفیت ۴ دسی زیمنس بر متر (تیمار S2) منجر به کاهش ۱۴/۱ درصدی عملکرد دانه شد اما با تیمار S1 تفاوت معنی‌دار نداشت. بنابراین می‌توان گفت کینوا از نظر تحمل شوری آب آبیاری گیاهی نسبتا مقاوم می‌باشد. تنش شوری باعث افزایش فشار اسمزی، اختلال در جذب آب توسط ریشه، کاهش فتوسنتز گیاه، کاهش مواد فتوسنتزی و در نتیجه کاهش عملکرد دانه می‌شود. کایرو و عیسی در تحقیق خود بیان کردند عملکرد دانه کینوا در شرایط استفاده از آب دریا کاهش می‌یابد (Koyro and Eisa, 2008). القصیبی و همکاران نشان دادند در شوری‌های بالای ۴ دسی زیمنس بر متر عملکر دانه کینوا کاهش یافت (Algosaibi et al., 2015). در شرایط تنش شوری وزن خشک اندام هوایی هم از طریق کاهش مقدار رشد رویشی و هم از طریق کاهش فتوسنتز کاهش می‌یابد. کاهش رشد رویشی و وزن خشک به دلیل کاهش آماس سلول‌ها در شرایط تنش شوری و متأثر از فرآیندهای اسمزی است. از علل دیگر کاهش رشد عملکرد گیاه در اثر شوری، بالا رفتن مصرف انرژی در گیاه برای خروج یون‌های سدیم مهاجم است که در محیط به مقدار فراوان وجود دارند در نتیجه مصرف مقدار زیادی از انرژی سلولی برای سازش و مقابله با تنش شوری است (پاپن و همکاران، ۱۳۹۹). اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۴) نشان داد در تمام سطوح آب آبیاری با افزایش مصرف بیوچار تا ۲ درصد وزنی عملکرد دانه افزایش یافت. افزایش بیشتر بیوچار (تیمار ۴ درصد وزنی) باعث کاهش عملکرد دانه شد. در سطوح تنش آبی شدید تیمار عدم مصرف بیوچار (B1) عملکرد دانه بیشتری نسبت به تیمار ۴ درصد وزنی بیوچار (B3) داشت. تیمار I1B3 کمترین (۵۴۰/۱۲ کیلوگرم در هکتار) مقدار عملکرد دانه را داشت. می‌توان بیان داشت استفاده از بیوچار با به‌کار بردن آب آبیاری مناسب، باعث فراهم شدن آب و مواد غذایی و درنتیجه رشد بهینه گیاه گردیده است. ابراهیم و همکاران به افزایش بیشتر عملکرد کاه و کلش در تیمارهای حاوی بیوچار و آبیاری بر اساس ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با تیمارهای بدون بیوچار و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه اشاره کردند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (Ibrahim et al., 2015). در تحقیق حاضر نیز عملکرد دانه (۱۱۸۶/۶۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمار I2B2 (۸۰ درصد نیاز آبی گیاه و استفاده ۲ درصد وزنی بیوچار) بیشتر از عملکرد دانه (۹۸۶/۲۷ کیلوگرم در هکتار) در تیمار I3B1 (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و عدم استفاده از بیوچار) بود. اثر متقابل آب آبیاری و شوری (جدول ۵) نشان داد با افزایش شوری آب آبیاری و کاهش عمق آب مصرفی عملکرد دانه کاهش یافت. بیشترین عملکرد دانه (۱۳۳۴/۵۷ کیلوگرم در هکتار) از تیمار I3S1 مشاهده شد. تیمار I2S1 با مقدار ۱۳۲۶/۸۵ کیلوگرم در هکتار در رتبه بعدی قرار گرفت که تفاوت معنی‌دار با تیمار I3S1 نداشت. در تنش‌های آبی بالا استفاده از آب با کیفیت پایین باعث کاهش شدیدتر عملکرد شد. یکی از دلایل کاهش عملکرد را می‌توان به کاهش فتوسنتز در نتیجه‌ی تنش حاصل از تجمع نمک در محدوده ریشه نسبت داد که این مسأله می‌تواند در نتیجه کاهش ورود دی‌اکسیدکربن به دلیل کاهش هدایت روزنه و همچنین کاهش سطح برگ باشد (Netondo et al., 2004). از سوی دیگر، افزایش پتانسیل اسمزی در نتیجه‌ی حضور نمک در محدوده ریشه و کاهش آن در سلول‌های گیاهی، موجب تغییر در مسیر انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی و تجمع آن در سلول‌های ریشه برای مقابله با تنش حاصله خواهد شد. به عبارت دیگر، کاهش انرژی آزاد آب در خاک گیاه را وادار خواهد کرد تا برای جذب آب انرژی بیشتری صرف کند که این امر مستلزم افزایش پتانسیل اسمزی در سلول‌های گیاهی با تجمع مواد قندی در آن است. تجمع مواد آلی ساخته شده در سلول‌های ریشه به منظور تنظیم اسمزی و مقابله با اثرات مخرب شوری در جذب آب، انتقال آن به سایر اندام‌های هوایی و متعاقباً رشد رویشی را محدود ساخته و در نهایت منتج به کاهش عملکرد خواهد شد (پیری و همکاران، ۱۳۹۵). اثر متقابل بیوچار و شوری آب آبیاری (جدول ۶) نشان داد با افزایش سطوح شوری و افزایش بیوچار مصرفی عملکرد دانه کاهش یافت. تیمار B2S1 (آب شیرین و ۲ درصد وزنی بیوچار) عملکرد دانه (۱۳۰۲/۵۳ کیلوگرم در هکتار) بالاتری نسبت به تیمار B1S1 (آب شیرین و عدم مصرف بیوچار) داشت. بنابراین می‌توان گفت در شرایط استفاده از آب شیرین بیوچار می‌تواند عملکرد دانه را افزایش دهد. در شرایط استفاده از آب شور با شوری S2 و S3 عملکرد دانه در تیمارهای عدم استفاده بیوچار بیشتر از تیمار ۲ و ۴ درصد وزنی بیوچار بود اما از این نظر با عملکرد دانه تیمار ۲ درصد وزنی بیوچار تفاوت معنی‌دار نداشت.

بهره‌وری مصرف آب: مطابق جدول ۳ با کاهش عمق آب آبیاری بهره‌وری مصرف آب افزایش یافت. بیشترین بهره‌وری آب از تیمار I1 (۱۰/۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب) به‌دست آمد که با تیمار I2

(۱۰/۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب) تفاوت معنی‌دار نداشت. همان‌طور که گفته شد کاهش عمق آب آبیاری باعث کاهش عملکرد شد. از طرف دیگر در تیمارهای کم‌آبی حجم آب مصرفی نسبت به تیمار آبیاری کامل کمتر بود. با توجه به این که کاهش عمق آب مصرفی نسبت به کاهش عملکرد بیشتر بود در تیمارهای کم‌آبی بهره‌وری مصرف آب بیشتر بود. تحقیقات محققین دیگر نیز گویای افزایش بهره‌وری مصرف آب با کاهش عمق آب آبیاری بود (Rashki et al., 2022; Piri et al., 2022). علت کم بودن بهره‌وری آب آبیاری در گیاه در اثر تنش خشکی را می‌توان به عوامل روزنه‌ای یا عوامل متابولیکی مؤثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن به داخل کلروپلاست و کاهش کربوکسیلاسیون در طول تنش که در این شرایط عوامل محدودکنندهٔ غیرروزنه‌ای ناشی از اختلال در واکنش‌های بیوشیمیایی نقش مهمی در کاهش فتوسنتز ایفا می‌کنند، نسبت داد. به علت نبود ارتباط خطی بین هدایت روزنه‌ای و جذب کربن، بیشتر گیاهان تمایل دارند در شرایط تنش آبی متوسط، بهره‌وری خود را افزایش دهند (پیری و بامری، ۱۳۹۸). مصرف بیوچار تا سطح ۲ درصد وزنی باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب شد. بیشترین مقدار بهره‌وری مصرف آب در تیمار ۲ درصد وزنی بیوچار (۱۰/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب) مشاهده شد. افزایش بیشتر بیوچار (تیمار B3) باعث کاهش بهره‌وری مصرف آب شد که با تیمار B1 (عدم مصرف بیوچار) از این نظر تفاوت معنی‌دار نداشت. سطوح بالای بیوچار به‌دلیل افزایش شدت تنش‌های وارده سبب کاهش بهره‌وری مصرف آب شد. افزودن بیوچار باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود. در نتیجه اصلاح خاک با بیوچار منجر به افزایش تولید محصولات زراعی از طریق حفظ بیشتر آب ناشی از بارندگی‌ها و کاهش دفعات آبیاری می‌شود. شوری آب آبیاری باعث کاهش بهره‌وری مصرف آب شد (جدول ۳). تیمار آب شور با شوری ۴ دسی زیمنس بر متر بهره‌وری مصرف آب ۸/۱۲ کیلوگرم در مترمکعب داشت که با بهره‌وری مصرف آب تیمار آب شیرین تفاوت نداشت. علت کاهش بهره‌وری مصرف آب با افزایش شوری به دلیل کاهش عملکرد گیاه در این شرایط می‌باشد. اثر متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۴) نشان داد کاهش عمق آب آبیاری و افزایش بیوچار تا ۲ درصد وزنی باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب شد. بیشترین بهره‌وری مصرف آب (۱۲/۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب) از تیمار I2B2 مشاهده شد. افزایش بهره‌وری مصرف آب با بالا بودن عملکرد و همچنین کاهش میزان آب مصرفی در تیمارها مرتبط است. افزایش بهره‌وری مصرف آب با کاربرد بیوچار در تحقیقات سایر محققین نیز گزارش شده است. ازوما و همکاران گزارش کردند کاربرد ۱۰، ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار کود گاوی کارایی مصرف آب ذرت را به‌ترتیب ۶، ۱۳/۹ و ۹/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (Uzoma et al., 2011). اثر متقابل آب آبیاری و شوری (جدول ۵) نشان داد با کاهش عمق آب آبیاری و کاهش سطح شوری بهره‌وری مصرف آب افزایش یافت. تیمار I1S1 و I1S2 بالاترین مقدار بهره‌وری مصرف آب راداشتند که با تیمار I2S1 تفاوت معنی‌دار نداشتند. سطوح بالای آبیاری (۱۰۰ درصد نیاز آبی) به دلیل مصرف آب زیاد نسبت به سایر تیمارها و سطوح شوری بالا (S3) به دلیل کاهش عملکرد دانه، بهره‌وری مصرف آب کمتری داشتند. مطابق جدول ۶ اثر متقابل شوری و بیوچار بر بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. در شرایط استفاده از آب شیرین کاربرد ۲ درصد وزنی بیوچار به علت بالا بردن عملکرد باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب شد به‌طوری که تیمار B2S1 با مقدار ۱۰/۸۶ کیلوگرم در هکتار بیشترین بهره‌وری مصرف آب را داشت. در تیمارهای آب شور کاربرد بیوچار به علت کاهش عملکرد دانه گیاه بهره‌وری مصرف آب را کاهش داد. همان‌طور که گفته شد بیوچار به علت افزایش شوری خاک در شرایط استفاده از شوری آب آبیاری بر تنش‌های گیاه افزوده و موجب کاهش عملکرد و بهره‌وری مصرف آب می‌شود.

پروتئین دانه: تنش آبی تأثیر مختلفی بر میزان پروتئین گونه‌های مختلف گیاهی داشته و پاسخ آن‌ها به این تنش بسته به گونه متفاوت است. این تفاوت حتی بین ارگان‌های مختلف یک گیاه هم قابل مشاهده است (Dubey,1999). اثر آب آبیاری، بیوچار و شوری بر پروتئین دانه کینوا در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با کاهش سطح آبیاری تا سطح ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه مقدار پروتئین افزایش یافت که با تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری تفاوت معنی‌دار نداشت. کاهش بیشتر آب آبیاری تا سطح ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه (تیمار I1) باعث کاهش پروتئین شد گرچه، برخی تحقیقات مثل پلاه و همکاران (Pelah et al., 1997) نتیجه گرفتند که تنش آبی موجب افزایش پروتئین می‌شود. اما؛ چون تولید پروتئین مانند سایر ترکیبات بیوشیمیایی به وجود آب کافی وابسته است، بروز تنش آبی شدید تولید آن را کاهش می‌دهد. داشاب و امیدی در تحقیق خود بیان داشتند تنش آبی باعث کاهش درصد پروتئین دانه کینوا می‌شود (Dashab and Omidi, 2021). کاهش سرعت فتوسنتز خالص تحت شرایط تنش خشکی، موجب صدمه زدن به فرآیندهای بیوشیمیایی و عوامل غیرروزنه‌ای گیاه می‌شود، از جمله باعث ایجاد تغییر در ساختمان پروتئین می‌شود. کاهش محتوای پروتئین تحت تنش خشکی در واکنش پروتئین به رادیکال‌های آزاد و در نتیجه تغییر اسید آمینه، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین، کاهش سنتز پروتئین و نیز تجمع اسیدهای آمینه آزاد می‌باشد (Ranjan et al., 2017). استفاده از بیوچار تا سطح ۲ درصد وزنی باعث افزایش درصد پروتئین دانه شد. تیمار عدم استفاده از بیوچار (B1) درصد پروتئین کمتری نسبت به سایر تیمارها داشت. بیوچار به دلیل جلوگیری از آبشویی مواد مغذی خاک و تحریک فعالیت‌های میکروبی باعث حاصلخیزی خاک و افزایش رشد گیاه شده و بنابراین درصد

پروتئین دانه به علت رشد بهتر گیاه و فراهم بودن شرایط مساعد افزایش می‌یابد. شوری آب آبیاری تا ۴ دسی زیمنس بر متر (تیمار S2) باعث افزایش درصد پروتئین دانه شد اما استفاده از آب با شوری بالاتر (تیمار S3) منجر به کاهش درصد پروتئین گردید. افزایش سطح پروتئین در شرایط استفاده از آب شور به‌دلیل افزایش سنتز پروتئین-های نو القا شده از شوری یا کاهش فعالیت آنزیم‌های پروتئولیتیک است (Pessarakli, 1999). اثر متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۴) نشان داد بیشترین درصد پروتئین دانه (۲۴/۴۴ درصد) در تیمار I2B2 به‌دست آمد که با تیمار I3B2 تفاوت معنی‌دار نداشت. کمترین مقدار پروتئین (۸/۵۳ درصد) از تیمار I1B1 حاصل شد. در تمامی سطوح آبیاری استفاده از ۲ درصد وزنی بیوچار درصد پروتئین دانه بیشتر از سایر سطوح بیوچار بود. اثر متقابل آب آبیاری و شوری (جدول ۵) نشان داد تنش توأمان شوری و کم‌آبی باعث کاهش درصد پروتئین دانه شد. تیمار I2S2 با ۲۳/۵۶ درصد بیشترین مقدار پروتئین دانه را داشت که به تیمار I3S2 تفاوت معنی‌دار نداشت. مطابق جدول (۵) در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی کاربرد آب شور باعث کاهش درصد پروتئین دانه شد. زمانی و همکاران (۱۳۸۶) درنتایج تحقیق خود بیان داشتند سطوح مختلف شوری باعث افزایش پروتئین دانه گندم شد. از (جدول ۶) مشاهده می‌شود اثرات متقابل بیوچار و شوری در سطح احتمال ۵ درصد بر پروتئین دانه معنی‌دار بود. بیشترین درصد پروتئین دانه (۲۲/۶۸ درصد) در تیمار B2S2 مشاهده شد که با تیمارهای B2S1 و B1S2 تفاوت معنی‌دار نداشت. در سطوح بالاتر بیوچار و شوری به علت افزایش شدت تنش‌های وارده بر گیاه درصد پروتئین دانه کاهش یافت.

نتیجه‌گیری

شوری و خشکی بر بسیاری از خصوصیات زیستی گیاهان اثر منفی و نامطلوب دارد. پاسخ گیاهان به تنش‌های خشکی و شوری متفاوت است. بیوچار از جمله مواد آلی است که به‌علت دارا بودن خاصیت پایداری بالا، در سال‌های اخیر در شرایط تنش‌های آبی مورد توجه محققین قرار گرفته است. تحقیق حاضر باهدف بررسی تأثیر بیوچار بر کینوا در شرایط کم‌آبی و شوری در گلخانه انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد اثرات شوری، کم‌آبی و بیوچار و اثرات متقابل آن‌ها بر پارامترهای اندازه‌گیری شده شاخص سطح برگ، وزن سنبله، عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و درصد پروتئین دانه تأثیر معنی‌دار داشت. کاهش سطح آب آبیاری باعث کاهش پارامترهای کمی اندازه-گیری شده شد اما از این نظر بین تیمار ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. استفاده از بیوچار تا سطح ۲ درصد وزنی پارامترهای اندازه‌گیری شده را افزایش داد اما کاربرد بیشتر آن باعث کاهش پارامترها شد. بیوچار با تأثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل بهبود اسیدیته خاک، بهبود عناصر غذایی خاک، افزایش قدرت نگهداری عناصر غذایی و ایجاد شرایط مناسب برای میکروارگانیسم‌های خاک می‌تواند بر رشد گیاه اثر مثبت داشته باشد. استفاده از آب شور نیز مقادیر پارامترهای کمی اندازه‌گیری شده را کاهش داد اما تفاوت معنی‌دار با تیمار آب شیرین نداشت. استفاده از آب با شوری بالاتر (شوری ۷ دسی زیمنس بر متر) باعث کاهش پارامترهای اندازه‌گیری شده شد. با کاهش عمق آب آبیاری تا سطح ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه درصد پروتئین افزایش یافت. استفاده از بیوچار باعث افزایش درصد پروتئین شد اما این افزایش در تیمار ۲ درصد وزنی بیوچار بیشتر از تیمار ۴ درصد وزنی بود. کاربرد آب با شوری ۴ دسی زیمنس بر متر نیز درصد پروتئین را افزایش داد. استفاده از آب با شوری ۷ دسی زیمنس بر متر منجر به کاهش درصد پروتئین شد. بهره‌وری مصرف آب با کاهش عمق آب آبیاری و مصرف بیوچار افزایش یافت. بیشترین مقدار بهره‌وری مصرف آب در تیمار I2B2 به‌دست آمد. مصرف بیوچار در شرایط کم‌آبی به‌دلیل داشتن منافذ زیاد و بالابردن ظرفیت نگهداری آب در خاک، باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب شد. این کار در مناطق خشک و نیمه‌خشک میزان آب مصرفی را کاهش داده و باعث صرفه‌جویی می‌شود. بنابراین با مصرف بیوچار می‌توان به جای ۱۰۰ درصد آب آبیاری از ۸۰ درصد آب آبیاری استفاده نمود و همان مقدار محصول تولید نمود. به طور کلی با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت استفاده از بیوچار تا سطح ۲ درصد وزنی سبب بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه کینوا در برابر تنش آبی و شوری شد. با توجه به مقاومت کینوا می‌توان از آب با شوری ۴ دسی زیمنس بر متر نیز برای آبیاری این گیاه استفاده کرد. پیشنهاد می‌گردد که جهت اجرایی نمودن نتایج این تحقیق، آزمایش در شرایط مزرعه‌ای نیز انجام شده و جنبه‌های فنی و اقتصادی نیز مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین با توجه به اهمیت دارویی گیاه کینوا، پیشنهاد می‌گردد تحقیقات بیشتری در زمینه کاشت این گیاه در منطقه انجام گیرد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل انجام شده است. کد پژوهانه IR-UOZ-GR-1837

منابع

پاپن، پ.، معزی، ع.ا.، چرم، م. و رهنما، ا. ۱۳۹۹. تأثیر کود نیتروژن بر برخی صفات رشدی و عملکرد گیاه کینوا در شرایط آبیاری با زه‌آب نیشکر. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱ (۶):۱۴۵۵-۱۴۴۲.

پورمنصور، س.، رزاقی، ف.، سپساخواه، ع. و موسوی، س. ع. ۱۳۹۸.

بررسی رشد و محصول گندم تحت سطوح مختلف بیوچار و کم-آبیاری در شرایط گلخانه‌ای. مدیریت آب و آبیاری، ۹ (۱): ۲۸-۱۵.

پیری، ح.، انصاری، ح. و پارسا، م. ۱۳۹۵. بررسی عملکرد کمی و کیفی سورگوم علوفه ای در سطوح مختلف شوری و آب آبیاری در سیستم آبیاری قطره ای زیرسطحی. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۰(۴):۴۸۲-۴۶۸.

جمالی، ص. و انصاری، ح. ۱۳۹۸. اثر کیفیت آب و مدیریت آبیاری روی رشد و عملکرد گیاه کینوا. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۳ (۳):۳۵۱-۳۴۰.

جمالی، ص.، شریفان، ح.، هزارجریبی، ا. و سپهوند، ن.ع. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر جوانه زنی و شاخص‌های رشد دو رقم گیاه کینوا. حفاظت منابع آب و خاک، ۶ (۱):۹۸-۸۸.

حیدری شریف آبادی، ح.۱۳۸۰. گیاه و شوری. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع، تهران. ص ۱۹۹.

زمانی، غ.ر.، کشکولی، ح.ع.، شهیدی، ع. و قریشی، س.غ. ۱۳۸۶. اثرات شوری و رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد، اجزاء عملکرد و درصد پوتئین دانه در دو رقم گندم. پژوهش کشاورزی، ۷(۲):۶۹-۵۵.

سرمدنیا، غ. ح. و کوچکی، ع. ۱۳۸۶. فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ص ۴۰۰.

محکمی، ع.، یزدان‌پناه، ن. و سعیدنژاد، ا.ح. ۱۴۰۱. اثر کاربرد ورمی-کمپوست و بیوچار بر خصوصیات مرفو فیزیولوژیک کینوا در شرایط تنش خشکی. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۱):۱۴۰-۱۳۰.

میر، ا.، پیری، ح. و ناصرین، ا. ۱۴۰۰. اثرات سطوح مختلف بیوچار گندم و تنش آبی بر ویژگی‌های کمی و کیفی کارلا (خربزه تلخ) در شرایط گلدانی. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۵ (۲):۱۸۵-۱۷۰.

نباتی، ج.، کافی، م.، نظامی، ا.، رضوانی‌مقدم، پ.، معصومی، ع. و زارع مهرجردی، م. ۱۳۹۳. اثر زمان اعمال سطوح مختلف تنش شوری بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی علوفه کوشیا. پژوهش-های زراعی ایران، ۱۲(۴):۶۲۰-۶۱۳.

Algosaibi, A. M., El-Garawany, M. M., Badran, A. E. and Almadini, A. M. 2015. Effect of irrigation water salinity on the growth of Quinoa plant seedlings. Journal of Agricultural Science. 7(8): 205.

Aly A.A., Al-Barakah F.N. and El-Mahrouky, M.A. 2018. Salinity Stress Promote Drought Tolerance of Chenopodium Quinoa Willd. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 49(11): 1331-1343.

Anjum, S. A., Xie, X. Y. Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C. and Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research. 6(9): 2026-2032

Bauder, T. A., Waskom, R. M. and Davis, J. G. 2006. Irrigation water quality criteria. Colorado State University Cooperative Extension Fact Sheet 0.506.

Berek, A. K., Hue, N. and. Ahmad, A. 2011. Beneficial use of biochar to correct soil acidity. The Food Provider. Available at Website http:// www.ctahr.hawaii.edu/huen/nvh/biochar. Biol. 16:1366-1379. Black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. Glob. Change.

Bilalis, D., Kakabouki, I., Karkanis, A., Travlos, I., Triantafyllidis, V. and Dimitra, H.E.L.A. 2012. Seed and saponin production of organic quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) for different tillage and fertilization. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj Napoca. 40(1):42-46.

Croser, C., Renault, S., Franklin, J. and Zwiazek, J. 2001. The effect of salinity on the emergence and seedling growth of piceamorian, picceaglausa and pinusbanksiana. Environmental pollution. 115:6-16.

Dubey R.S. 1999. Protein synthesis by plants under stressful conditions. Handbook of plant and crop stress, 2, pp.365-397.

Elewa, T. A., Sadak, M. S. and Saad, A. M. 2017. Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. Bioscience Research. 14(1): 21-33.

Fathi Gerdelidani, A. and Mirseyed, H. 2015. Different aspects of biocurrent effects in improving soil quality. International Conference on Applied Research in Agriculture, Tehran, 22 May: 1-12.

Glaser, B. and Birk, J.J. 2012. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio). Geochimica et Cosmochimica Acta. 82: 39-51

Hakan, O. 2002. Sowing date and nitrogen rate effects on growth, yield and yield components of two summer rapseed cultivars. Agronomy Journal. 19: 453-463.

Huang, C.H. Zong, L., Buonanno, M., Xue, X., Wang, T. and Tedeschi, A. 2012. Impact of saline water irrigation on yield and quality of melon (Cucumismelo cv.Huanghemi) in northwest China: European Journal of Agronomy 43: 68-76.

Ibrahim, O. M., Bakry, A. B., El Kramany, M. F. and Elewa, T. A. ۲۰۱۵. Evaluating the role of biochar application under two levels of water requirements on wheat production under sandy soil conditions. Global Journal of Advanced Research, 2(2): 411-

Marcel Dekker, Inc. 1188 pp.

Piri, H., Naserin, A. and Albalasmeh, A. 2022. Interactive effects of deficit irrigation and vermicompost on yield, quality, and irrigation water use efficiency of greenhouse cucumber. Journal of Arid Land, 14(11):1274-1292.

Quilliam. R.S., Marsden. K. A., Gertler, C., Rousk, J., Deluca, T.H. and Jones, L.D. 2012. Agriculture, Ecosystems, Environment.192-199.

Rashki, P., Piri, H. and Khammari, E. 2022. Effect of potassium fertilization on roselle yield and yield components as well as IWUE under deficit irrigation regime. South African Journal of Botany, 148-1-12

Salek Mearaji, H., Tavakoli, A. and Sepahvand, N. A. 2020. Evaluating the effect of cytokinin foliar application on morphological traits and yield of quinoa (Chenopodium quinoa willd.) under optimal irrigation and drought stress conditions. Journal of Crop Ecophysiology. 14(4): 479-498.

Stone, S. L. and Gifford, D. J. 1997. Structural and biochemical changes in loblolly pine (Pinus taeda L.) seeds during germination and early seedling growth: I. Storage protein reserves. International Journal of Plant Science. 158: 727–737.

Sun, H., Shi, W., Zhou, M., Ma, X. and Zhang, H. 2019. Effect of biochar on nitrogen use efficiency, grain yield and amino acid content of wheat cultivated on saline soil. Plant, Soil and Environment. 65: 83-89.

Sun, Y., Liu, F., Bendevis, M., Shabala, S. and Jacobsen, S. E. 2014. Sensitivity of two quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) varieties to progressive drought stress. Journal of Agronomy and Crop Science. 200(1):12-23.

Telahigue, D. C., Yahia, L. B., Aljane, F., Belhouchett, K. and Toumi, L. 2017. Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) under drought stress. Journal of scientific agriculture, 1:222-232.

Uzoma, K., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki H., Zahoor, A. and Nishihara, E. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. Soil Use and Management. 27: 205-212.

Zhang, A., Cui, L., Pan, G., Li, L., Hussain, Q., Zhang, X., Zhemg, J. and Growley, D. 2010. Effect of biochar amendument on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, Chaina. Agriculture, Ecosystems & Environment. 139: 469- 475.

418.

Jacobsen, S.E., Monteros, C., Christiansen, J. L., Bravo, L.A., Corcuera, L.J. and Mujica, A. 2005. Plant responses of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) to frost at various phenologicalstages. European journal of Agronomy. ۲۲: ۱۳۱–.۱۳۹.

Jayme-Oliveira, A., Ribeiro Júnior, W.Q., Ramos, M.L.G., Ziviani, A.C. and Jakelaitis, A. 2017. Amaranth, quinoa, and millet growth and development under different water regimes in the Brazilian Cerrado. Pesq.

Koyro, H. W. and Eisa, S. S. 2008. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of Chenopodium quinoa willd. Plant and Soil, 302(1-2): 79-90.

Li, J., Li, Y. E., Wan, Y., Wang, B., Waqas, M. A., Cai, W. and Gao, Q. 2018. Combination of modified nitrogen fertilizers and water saving irrigation can reduce greenhouse gas emissions and increase rice yield. Geoderma, 315: 1-10.

Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J., and Lehmann, J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant and Soil 333:117–128.

Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist. 167:645-663

Nabizadeh Marvdust, M.R., Kafi, M. and Rashed-MoHasel, M.H. 2003. Effect of salinity on growth, yield, collection of mineral and percentage of green cumin essence. Journal of Agricultural Sciences. 138: 53-60

Netondo, G.F., Onyango, J.C. and Beck. E. 2004. Sorghum and salinity: II. Gasexchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. Crop Science.44: 806–811.

Parida, A. K. and Das, A. B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: Areview. Ecotoxicol. Environ. Safety 60:324-349.

Payero, J.O., Melvin, S.R., Irmak, S. and Tarkalson, D. 2009. Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. Agricultural Water Management. 84:101–112.

Pelah, D., Wang, W., Altman, A., Shoseyov, O. and Bartels, D. 1997. Differential accumulation of water stress-related proteins, sucrose synthase and soluble sugars in Populus species that differ in their water stress response. Physiol plant journal. 99(1):153-159.

Pessarakli, M. 1999. Handbook of plant and crop stress.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 17, Oct.-Nov. 2023, p. 597-610

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۷، مهر - آبان ۱۴۰۲، ص. ۶۱۰-۵۹۷

Investigation the Effect of Biochar and Irrigation Water Salinity on Yield Indicators and Protein Percentage of Quinoa in Deficit Irrigation Conditions

O. Tourajzadeh[1], H. Piri*[2], A. Naserin[3], M.M. Cahri[4]
Recived: Mar.05, 2023 Accepted: Apr.16, 2023

Abstract

This research was conducted to investigate the effects of salinity of irrigation water and biochar on quinoa plants in deficit irrigation conditions. The experiment was carried out in a factorial and completely randomized design with three replications in greenhouse conditions. The treatments include three irrigation water treatments (60, 80, and 100% of the water requirement, respectively, I1, I2 and I3), three biochar treatments (0, 2, and 4% by weight of potting soil, respectively B1, B2 and B3) and three the water quality treatment was (1, 4, and 7 dS/m, S1, S2, and S3, respectively). From the time of planting until the establishment of seedlings, all the pots were fully irrigated with fresh water and up to the agricultural capacity. Then the pots were weighed every other day and at each level of biochar and salinity, the deficit irrigation to the level of humidity was calculated based on the changes in the pot's weight. At the end of the growing season, the seeds were harvested from the spike. The index parameters of leaf area, spike weight, seed yield, water consumption efficiency and seed protein percentage were measured carefully in each pot. The results showed that the effects of irrigation water, biochar and salinity levels were significant at the level of one and five percent on the measured parameters. With the reduction of irrigation water, the amount of quantitative parameters and plant yield decreased. The highest value of the parameters was obtained from the 100% irrigation water treatment, which was not significant from the 80% irrigation water treatment. The use of biochar up to the level of 2 percent by weight of the soil increased the parameters. The use of biochar at the level of 2 and 4% by weight increased the seed protein by 23.5 and % 12.08 respectively, compared to the control treatment. The use of the appropriate amount of biochar caused the reduction of the negative effects of moisture stress and the improvement of the quinoa growth indicators in comparison with the control treatment. Therefore, it is recommended to use it for the plant, especially in conditions where the plant is under drought stress, or in greenhouses and storages, to reduce the amount of water consumed and improve the growth and yield of the plant. Considering that there was no significant difference in yield between 2 and 4 dS/m salinity treatment and the percentage of seed protein in 4 dS/m salinity was higher than 2 dS/m, it is possible to use water with 4 dS/m salinity for quinoa irrigation.

Keywords: Leaf Area Index, Spike Weight, Water Productivity, Yield

1- Phd student, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran
2 - Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran
3 - Assistant Professor, Department of Water Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
4 - Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran
(*- Corresponding Author Email: H_piri2880@uoz.ac.ir)